

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

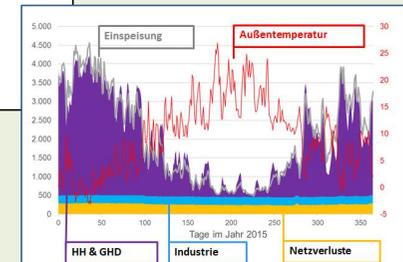
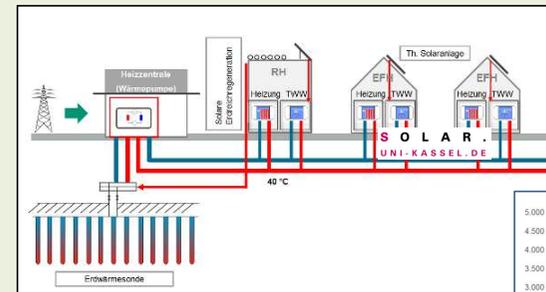
- Wärmeversorgung: Fernwärme & Quartiere
- Industrielle Prozesswärme



- 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

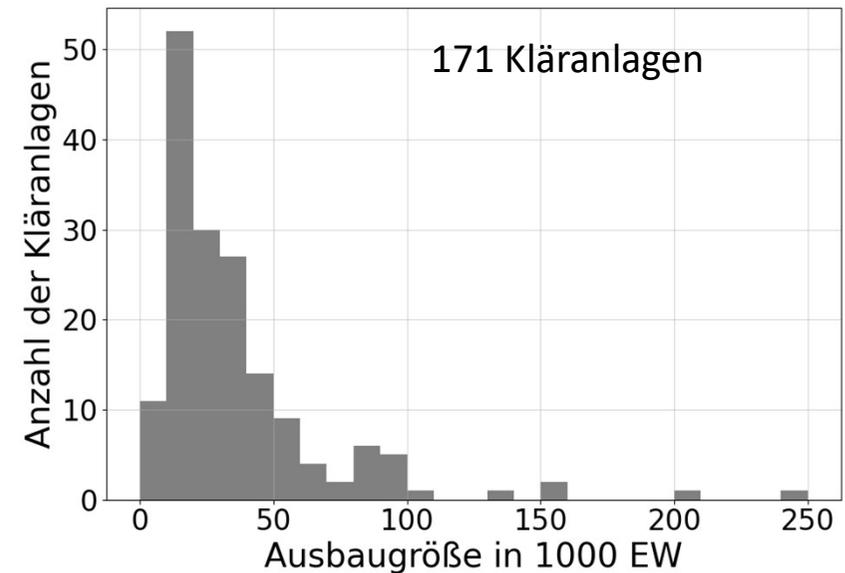
- **171 hessische Kläranlagen** ab 9.500 EW
- Detailuntersuchungen an **4 Kläranlagen**
 - **saisonale Verteilung** von Temp. & Abfluss



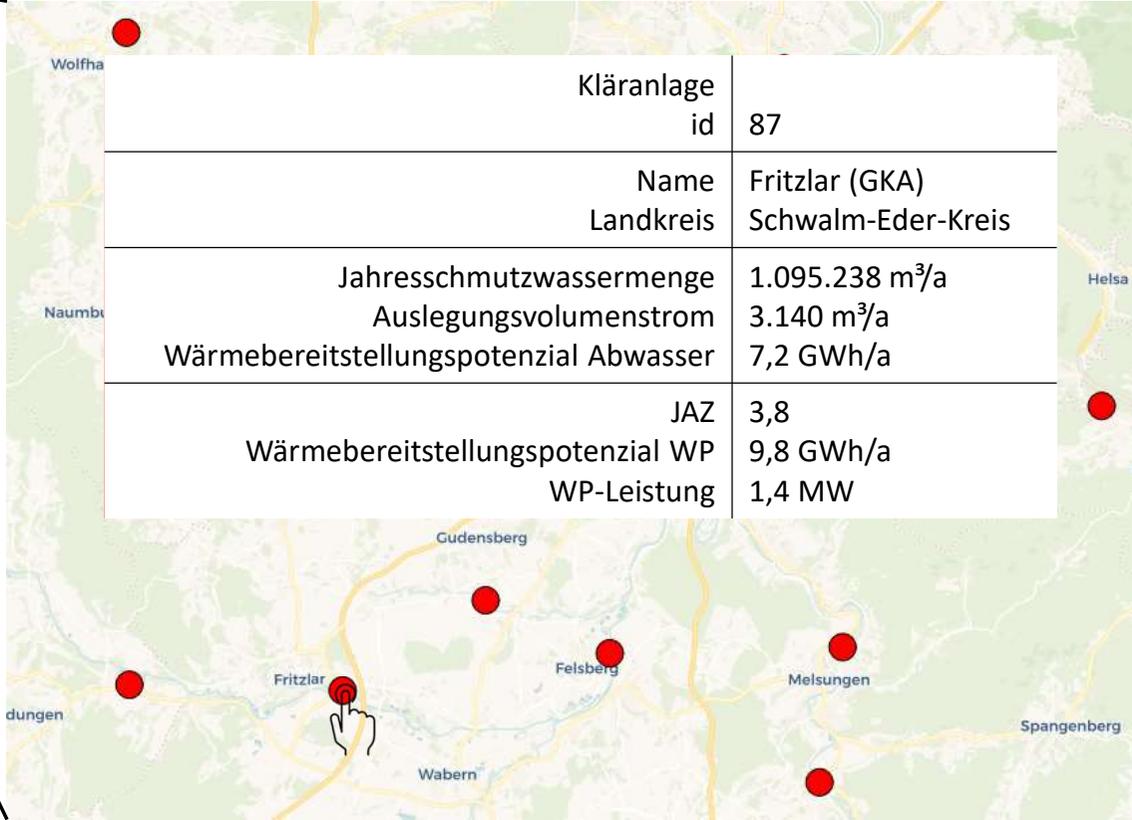
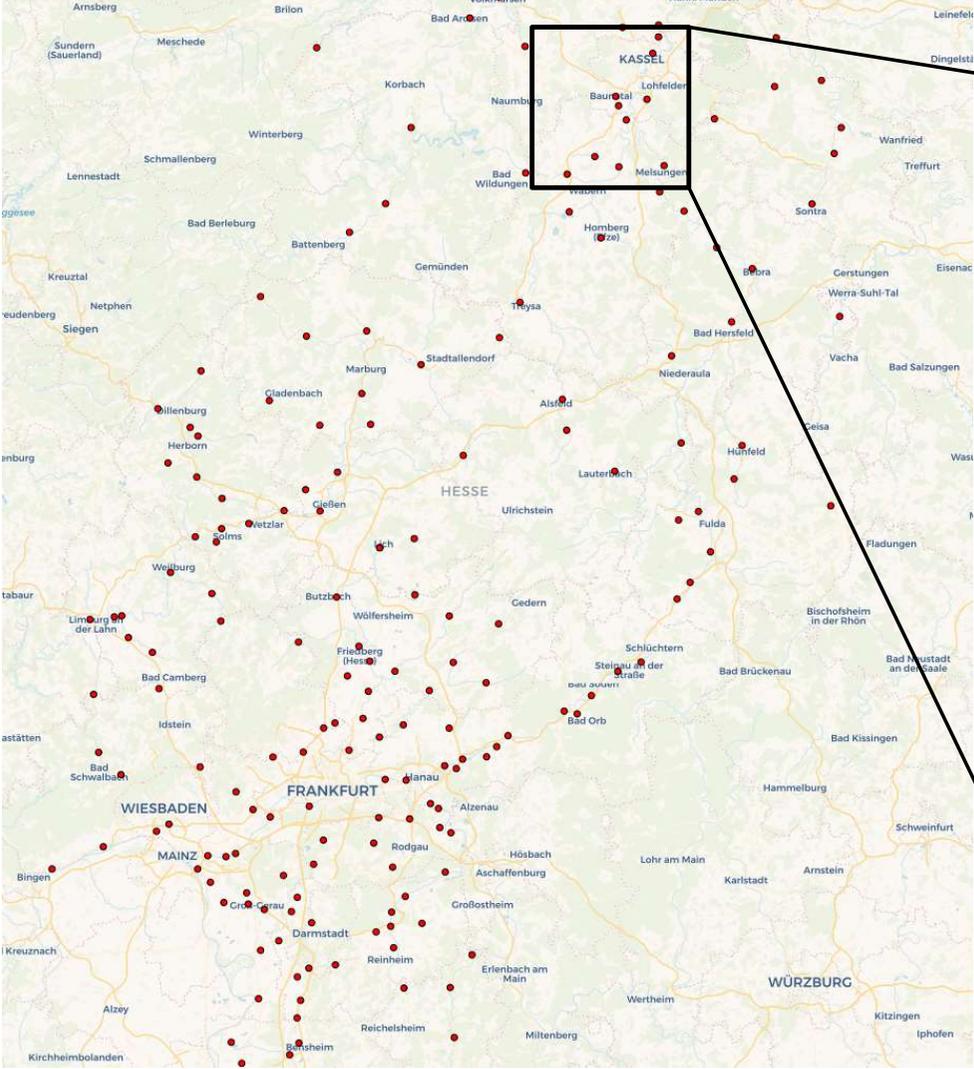
<https://www.kasselwasser.de/abwasser/klaerwerk>

Evaluationen

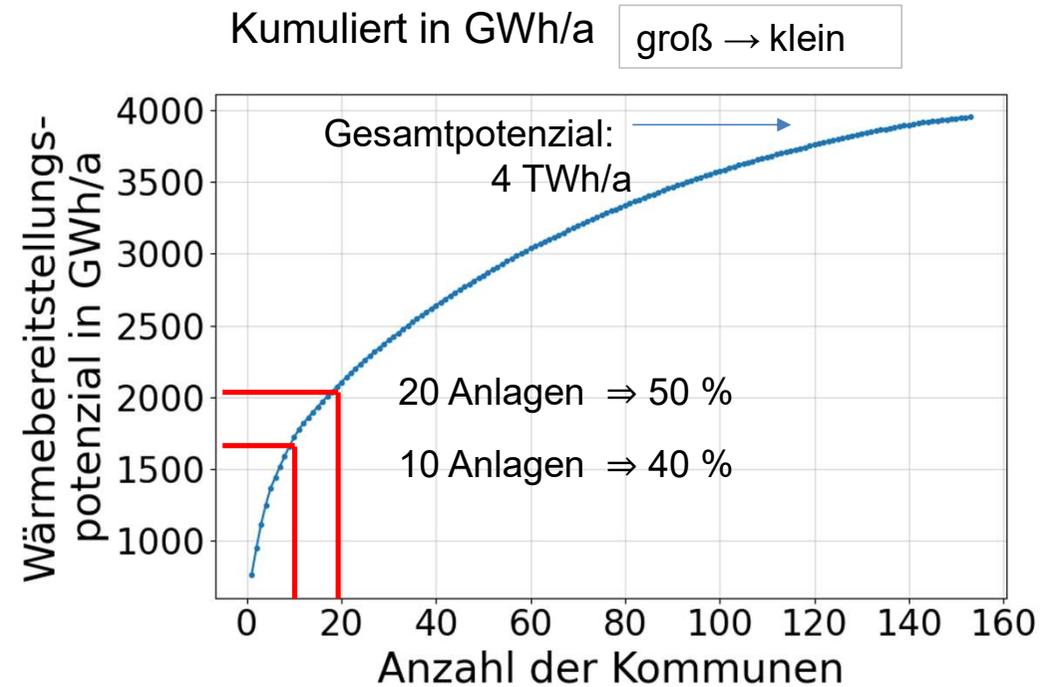
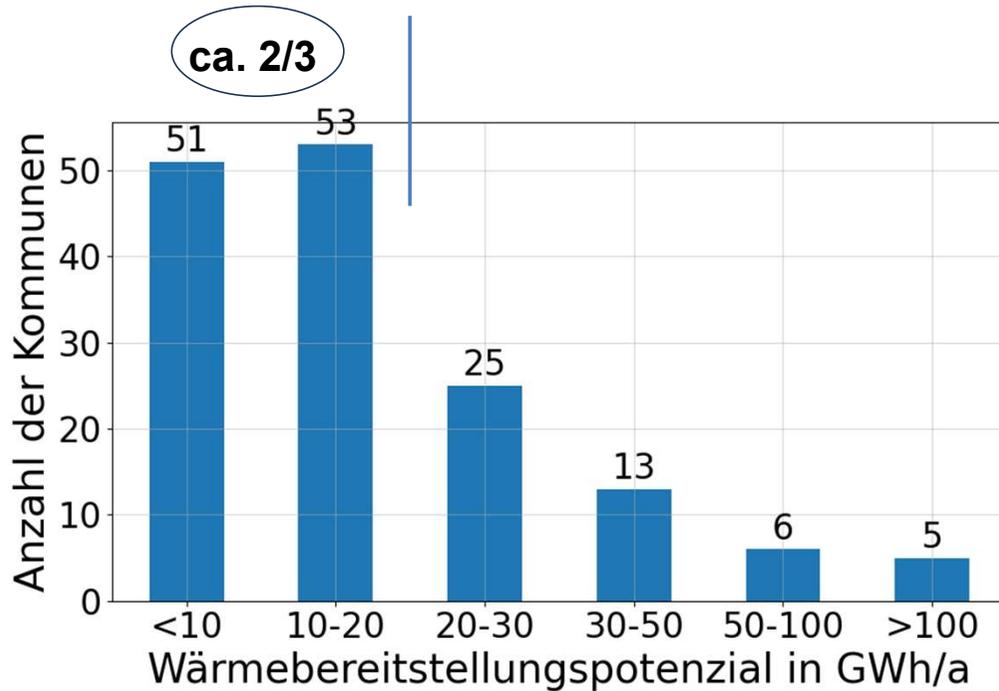
- Abwasserpotential
- Wärmeverbrauch, Wärmenetzgebiete
 - **Wärmebereitstellungspotential**



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

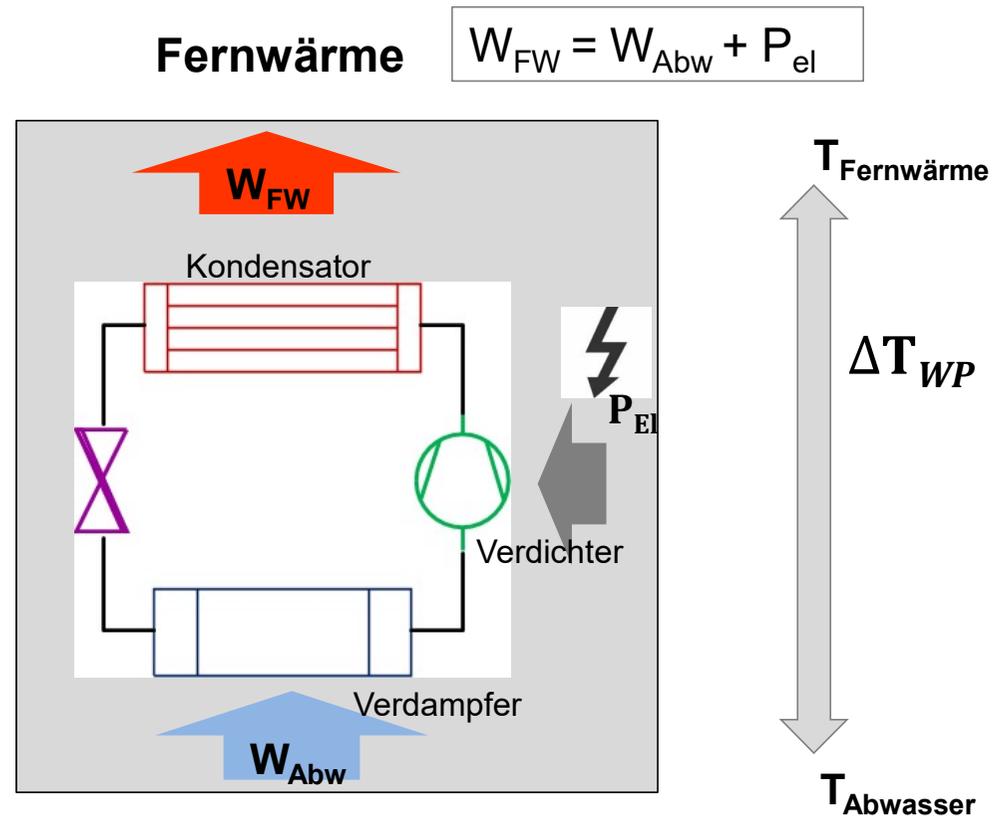
- Abkühlung: $\Delta T_{Abw,max}$
- Abfluss: \dot{V}_{Abw}
(Jahres-Schmutzwassermenge)

B) Wärmepumpe

- Temperaturhub: ΔT_{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)

$$T_{Abw,mittel} = 12^\circ C$$

$$T_{Abw,min} = 4^\circ C$$

$$\Delta T_{Abw,max} = 7^\circ C$$

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

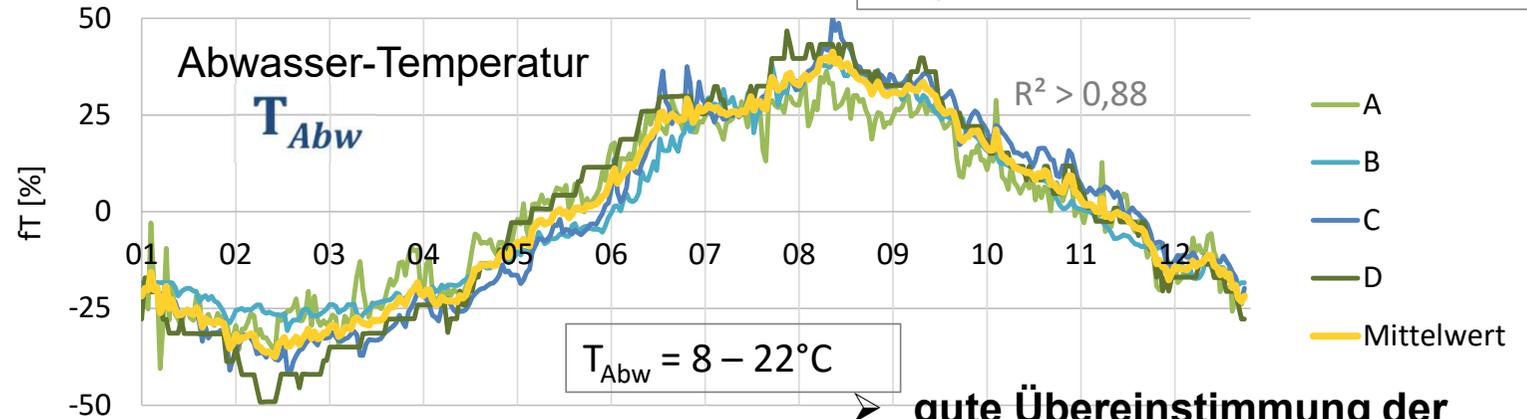
Gleitendes
7-Tagemittel

Zeitreihenanalyse

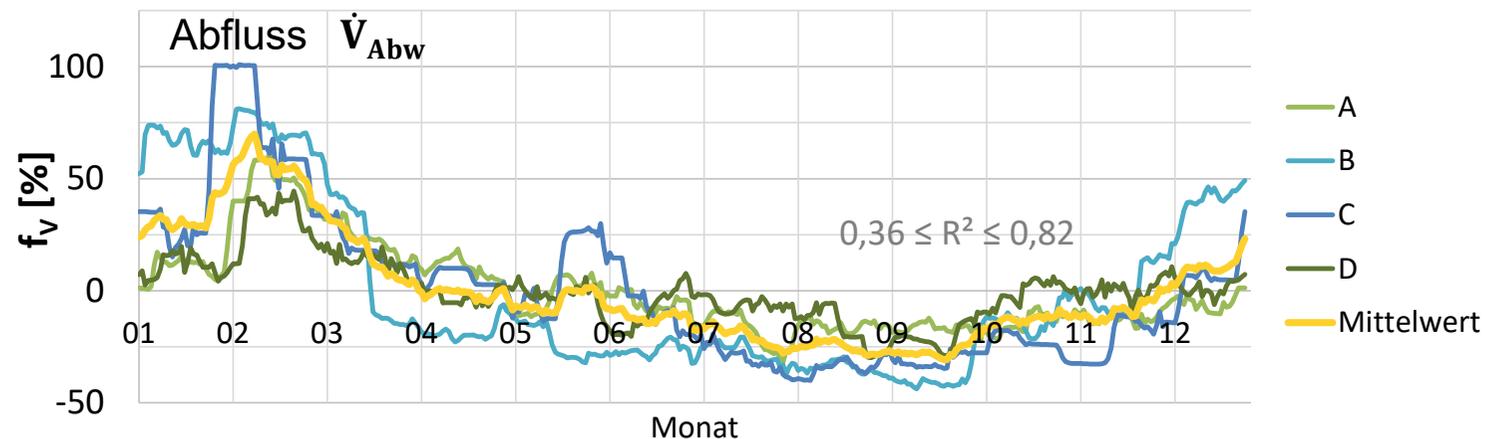
Tagesfaktoren
 f_T und f_V

Standardfaktoren
 f_T & f_V

Tageswerte \Rightarrow Standardfaktoren



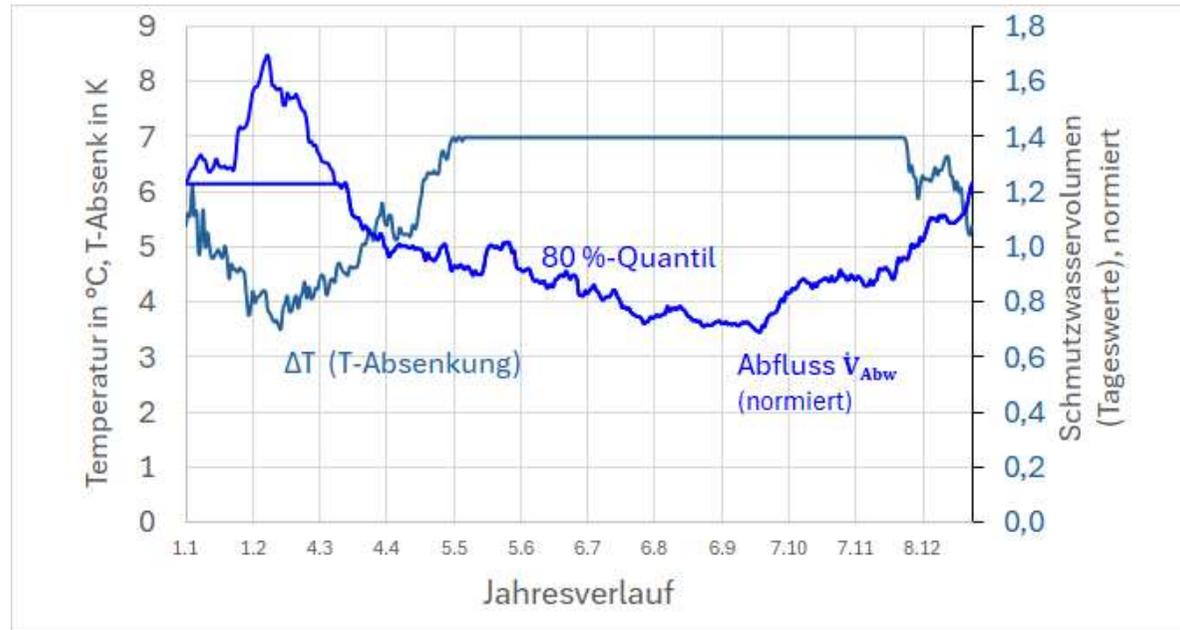
➤ gute Übereinstimmung der Jahres-Verläufe



➤ Fremdwasseranteil z.T. hoch

2.2 Berechnung der Wärme

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



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

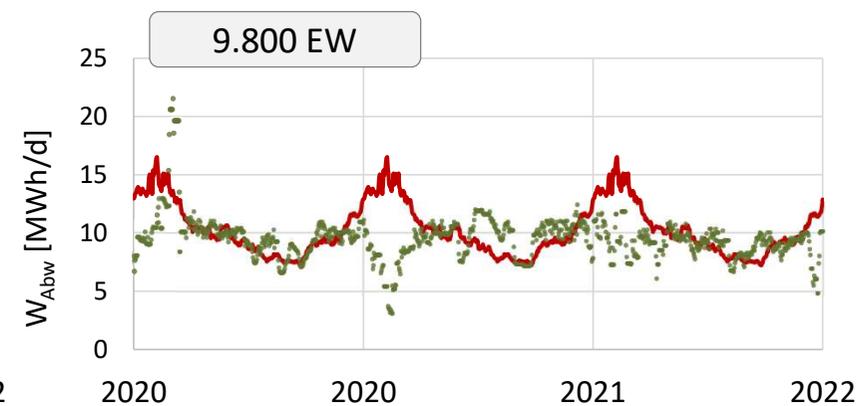
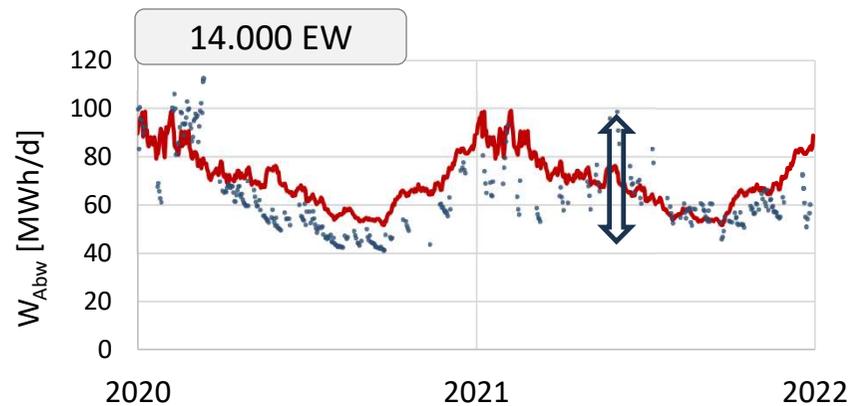
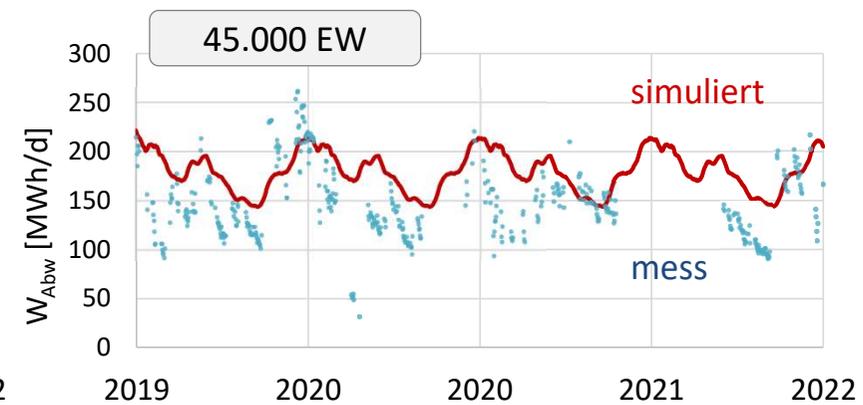
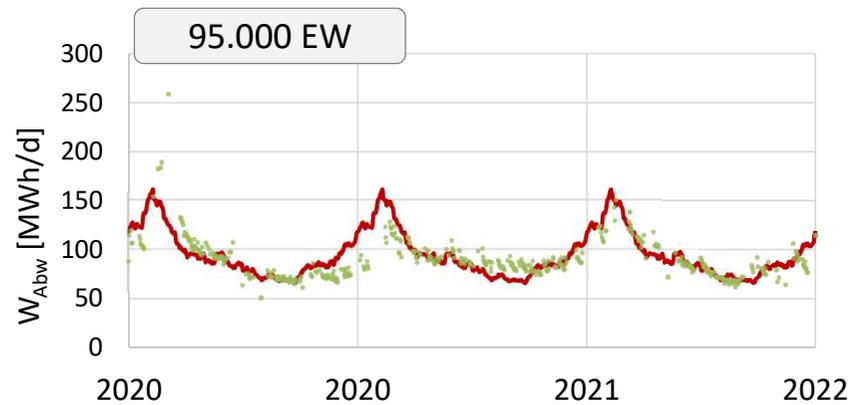
2.2 Berechnung der Wärme

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



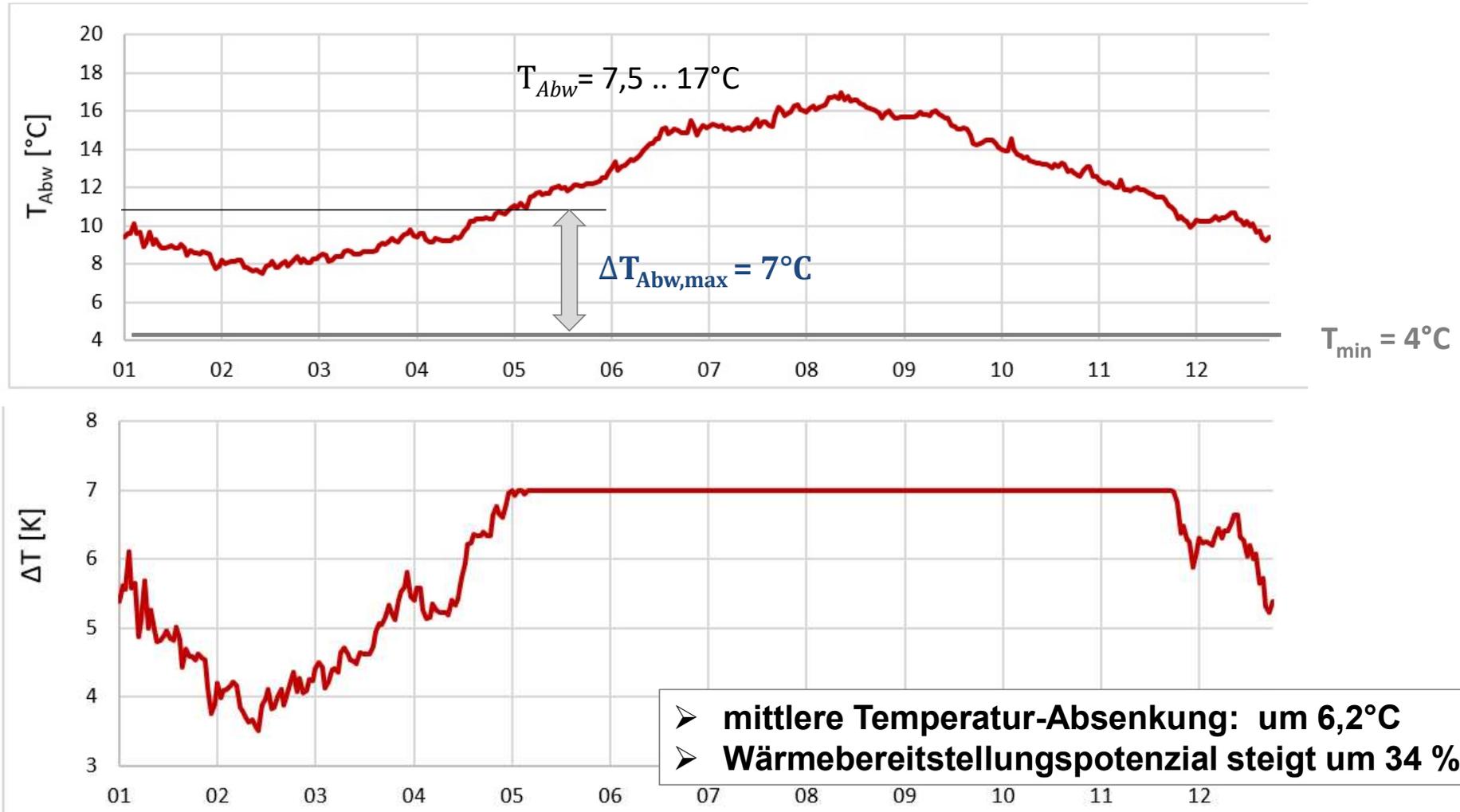
- Hohe Werte Jan-März (statt Mittelwert)
- Annahme: 80 %-Quantil

2.3 Abwasserwärmepotenzial Beispielanlagen



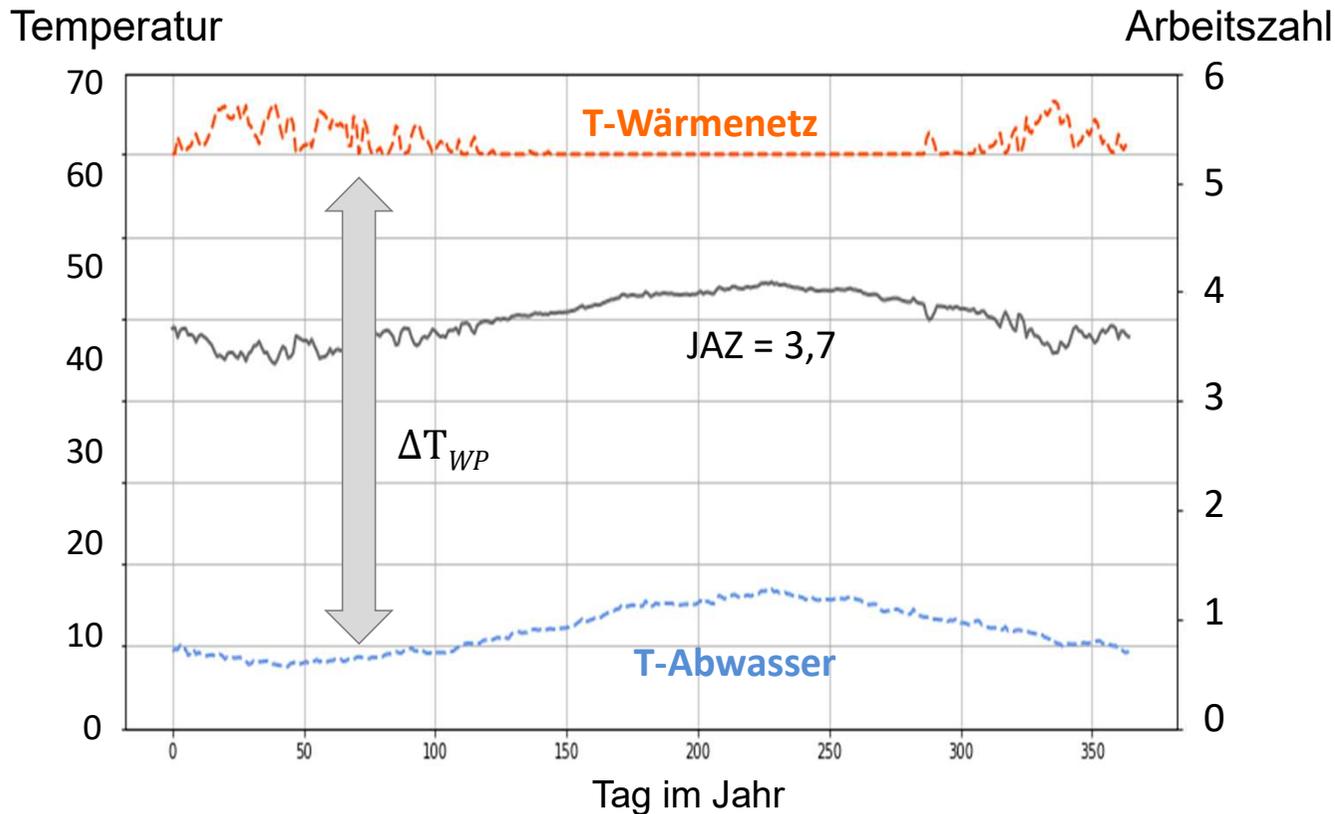
➤ **Erzeugte Profile weichen stark voneinander ab**

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

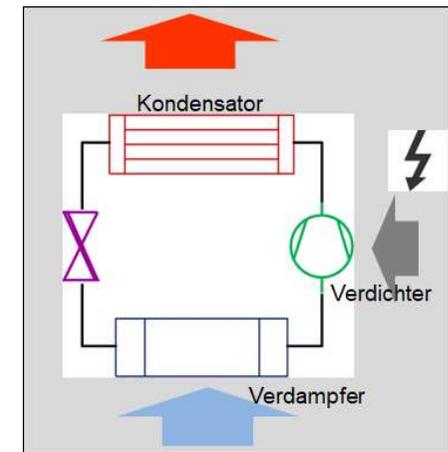


2.5 Jahresarbeitszahl

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):

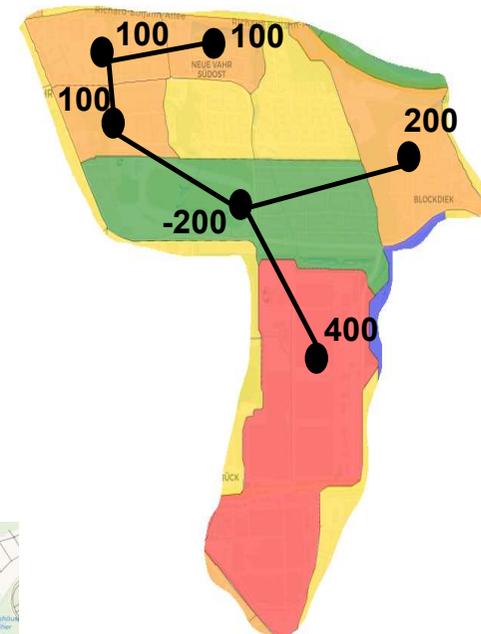
Wärmeliniendichte: $400 \frac{kWh}{m_{TR} \cdot a}$.. $1000 \frac{kWh}{m_{TR} \cdot a}$

- Netzauslegung auf Straßenzugsebene

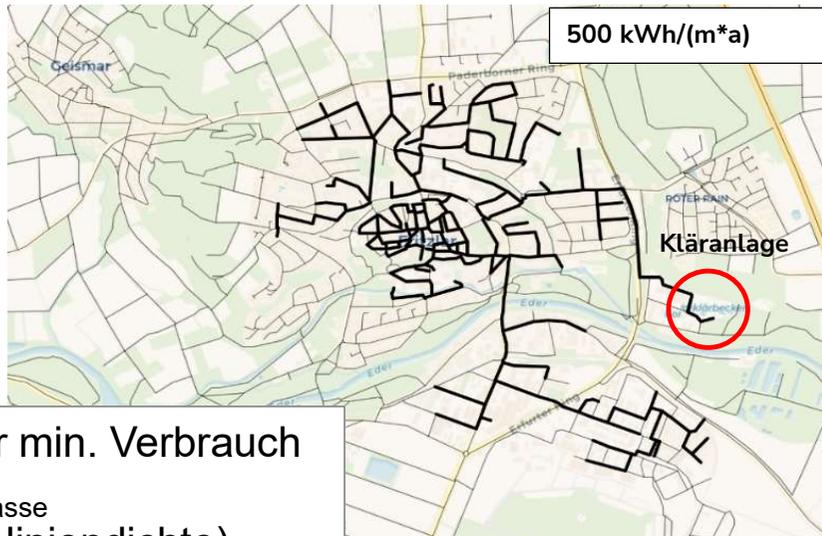
(nicht: Baublock oder Rasterebene)

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

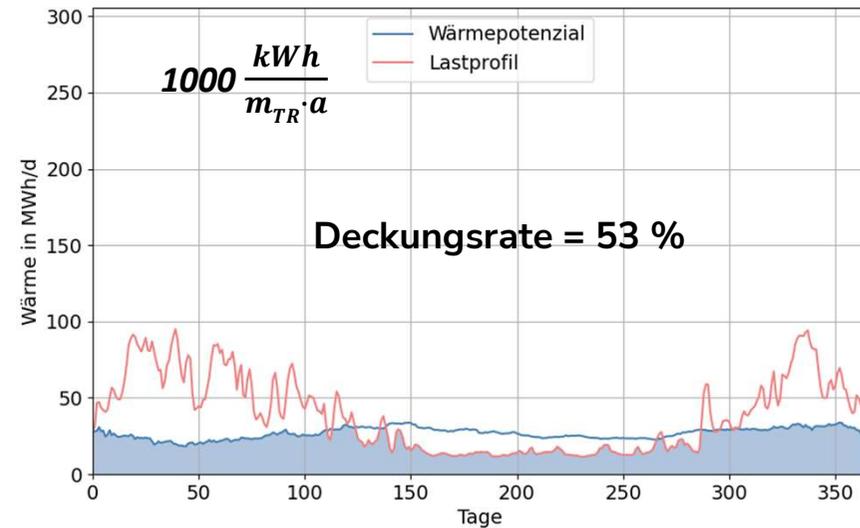
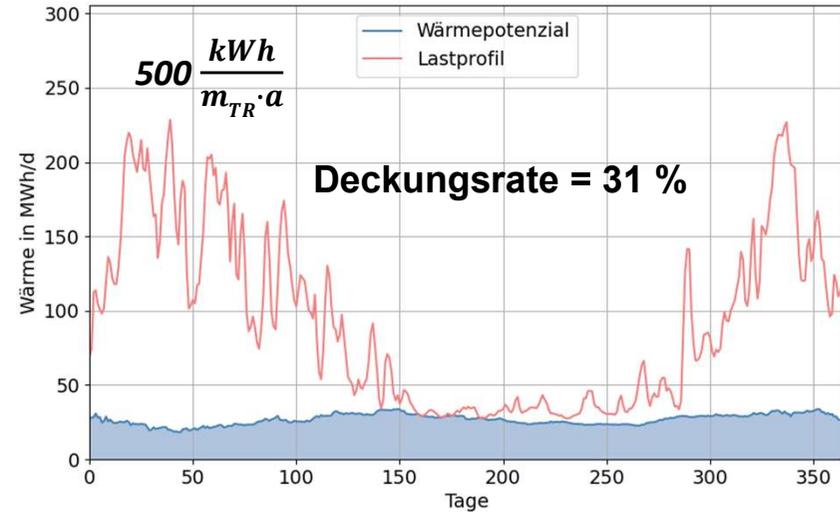
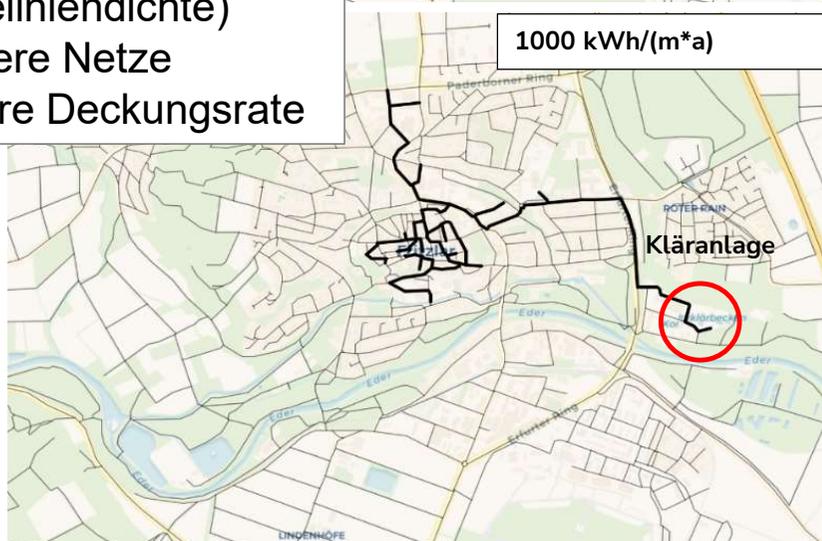
- Automatisierung



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

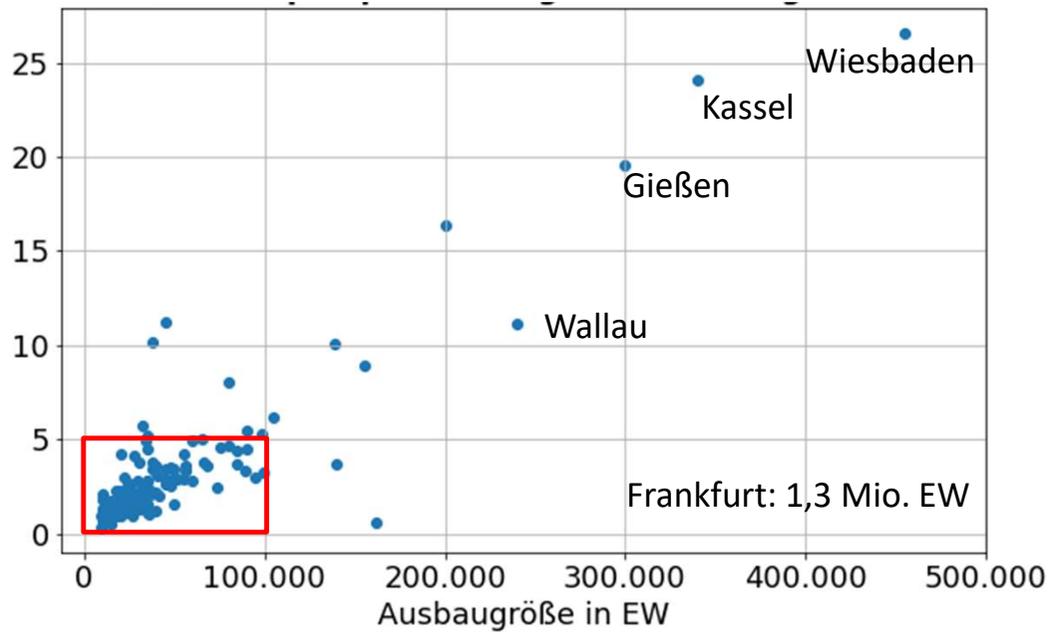
Wärmenetze - Verbrauchsprofil

4. Bereitstellungspotenzial

Deckungsraten

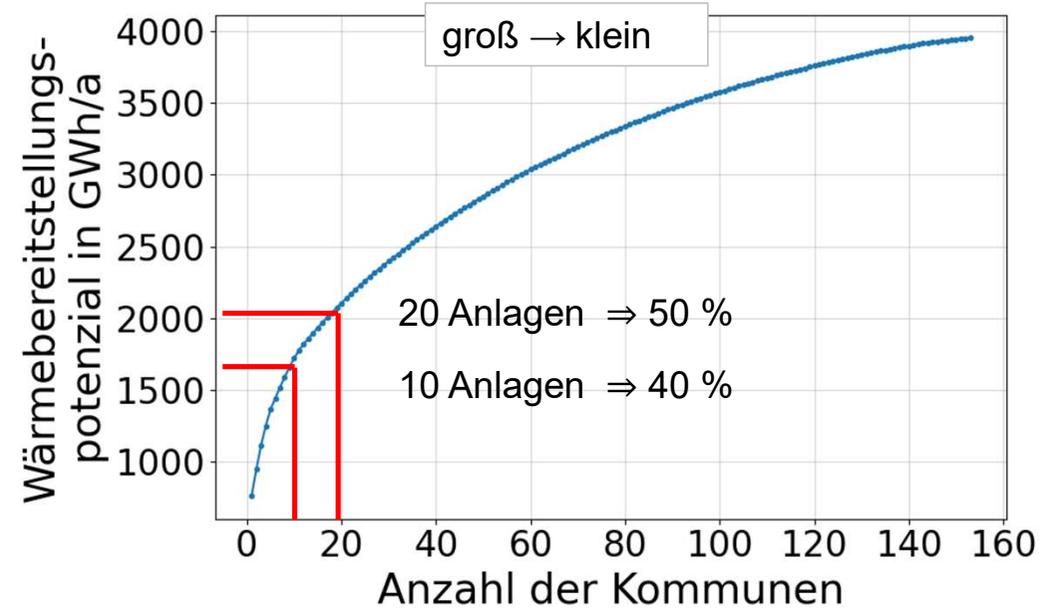
4.1 Wärmepumpenleistungen

in MW



Wärmebereitstellungspotenzial

Kumuliert in GWh/a

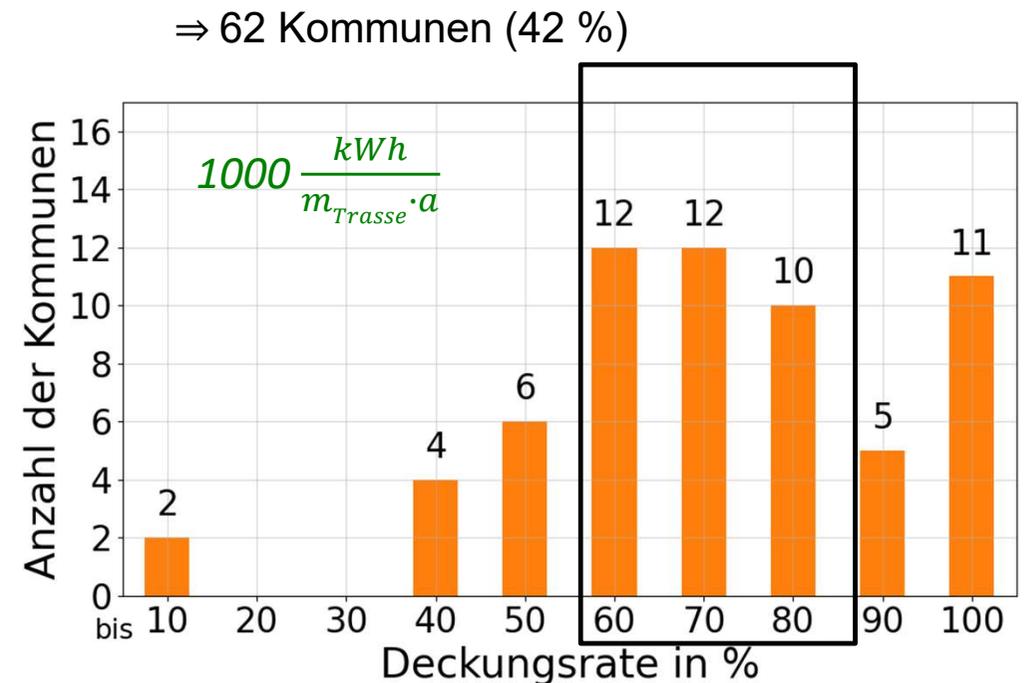
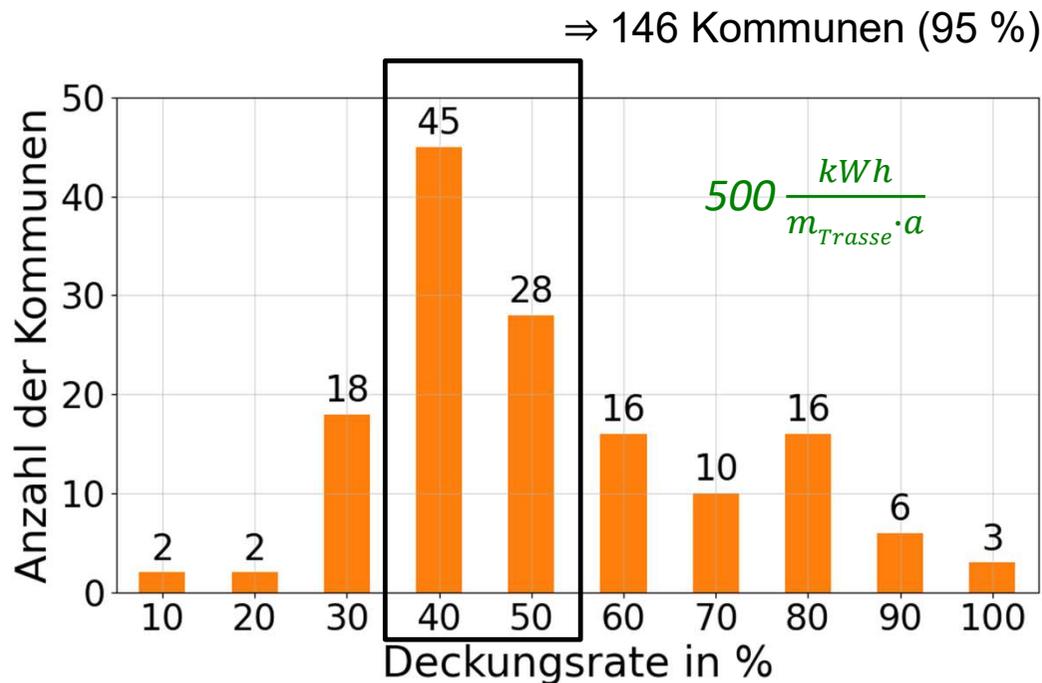


➤ Gesamtpotenzial: 4 TWh/a

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

4.2 Deckungsraten

gesamt: 153 Kommunen



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

Fazit

Evaluation der saisonalen Verteilung

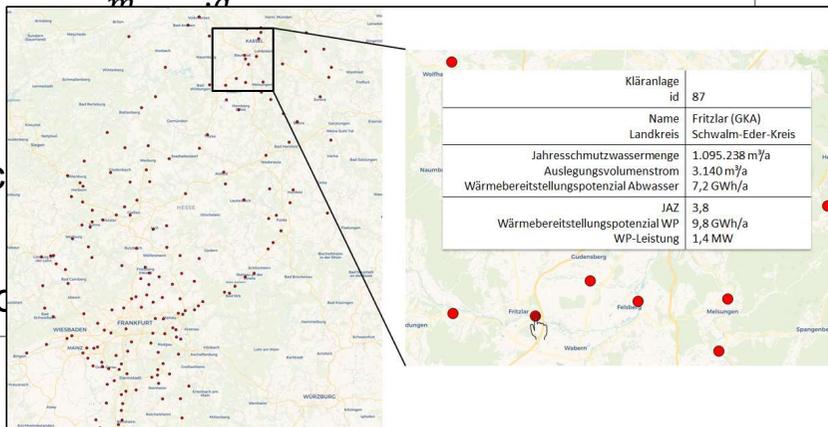
- **Standardfaktoren** definiert für T_{Abw} , T_{FW} , \dot{V}_{Abw}
- Abfluss in Jan-März meist deutlich erhöht
- Steigerung vom **Jahres-Wärmebereitstellungspotenzial** um **34 %**
($\Delta T = 6,2 \text{ K}$ ggü $\Delta T = 4 \text{ K}$, konstanter Abfluss)

Wärmenetze

Eignung von Wärmenetzen in untersuchten Kommunen:

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

- Bei
- Dec
- Aut



Wärmebereitstellungspotenzial

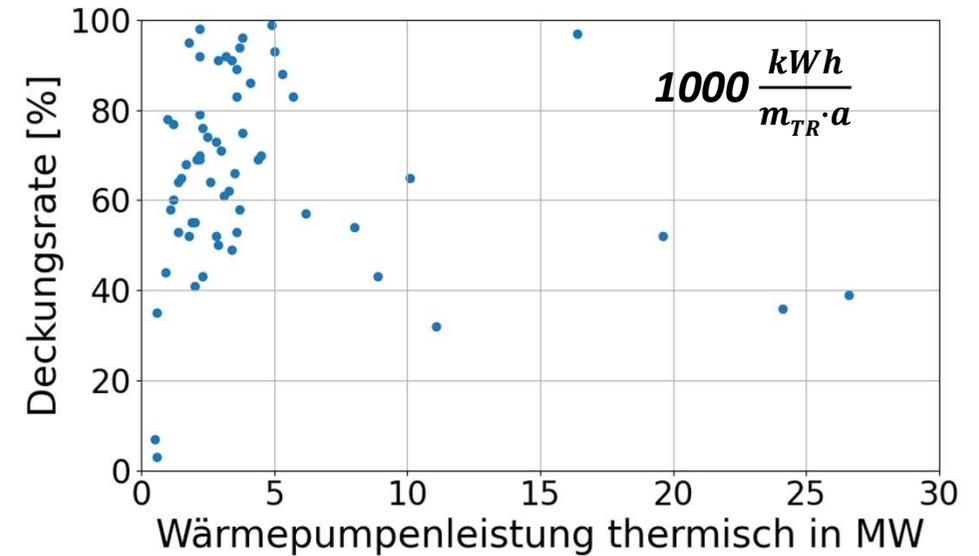
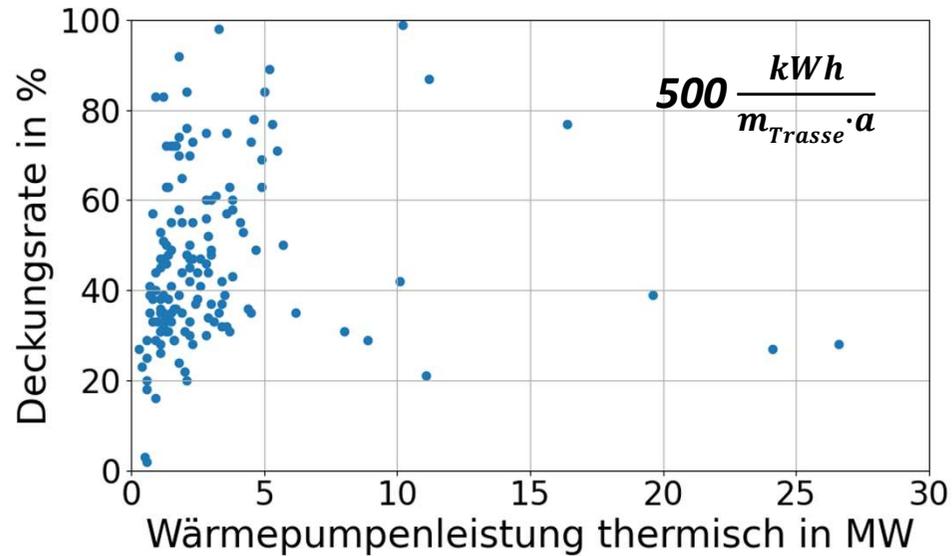
- Gesamt in Hessen: ca. **4 TWh/Jahr**
 \cong 7 % des Raumwärmeverbrauchs in Hessen (*)
[Wärmeverbrauch gemäß hess. Wärmeatlas]
- Wärmebereitstellungsleistung **bis 5 MW_{th}** für 90% der Kommunen

\Rightarrow **nützliche Planungsgrundlage für Kommunen**

*Monitoringbericht 2022 E-Wende Hessen 71 TWh

Anhang

4.3 Deckungsraten über Wärmepumpenleistung



- Deckungsrate unabhängig von Wärmepumpenleistung
- $\dot{Q}_{th,WP} < 5 \text{ MW}$ (ca. 90 %)

6 Klärwasser-Wärmepumpen in Wien: $\Sigma = 110 \text{ MW}_{\text{th}}$; 880 GWh/a

Ziel bis 2040: 50 - 60 % Groß-WP & Geothermie; Rest: MHKW, Abwärme, grüne BZ



Januar 2023: Lieferung von drei Wärmepumpen

Bild: Wien Energie/Johannes Zinner

https://www.industr.com/de/europas-leistungsstaerkste-grosswaermepumpe-2688748?GP_NR=%7bGP_NR%7d&Article_ID=2688748?utm_source=newsletter&utm_medium=E40EP&utm_campaign=2022-38-264&Article_ID=2657750&GP_NR=78742251

Fernwärme Wien

- 1300 km Trassenlänge
- 440.000 HH & 7.800 Großkunden
- $T = 100 - 150^\circ\text{C}$

14 % (Vollausbau)

6 WP: je $W_{\text{el}} = 6 \text{ MW}$

Inbetriebnahme 3 WP: Ende 2023
Vollausbau bis 2027

$\Delta T = 6 \text{ K}$; $T_{\text{VL}} = 90^\circ\text{C}$

$T_{\text{Abw}} = 12 - 23^\circ\text{C}$

Kosten

- gesamt: 70 Mio €
- davon 3 WP: 19,3 Mio. €

Zweite Wärmepumpe

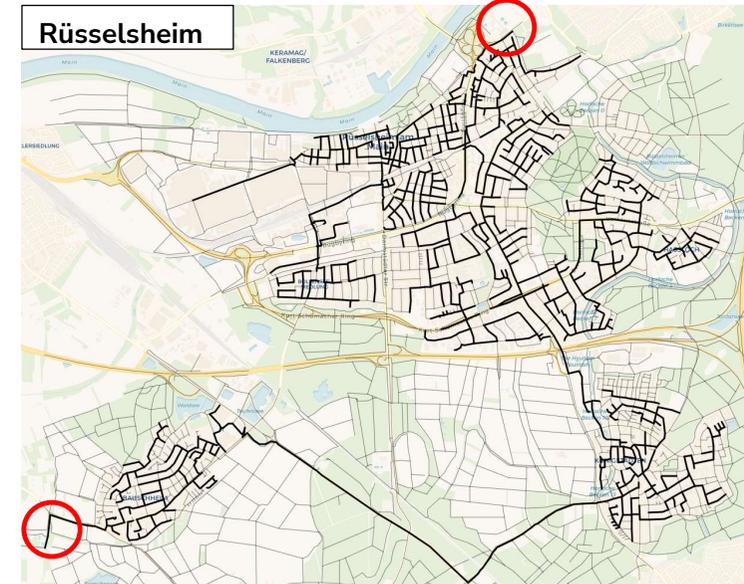
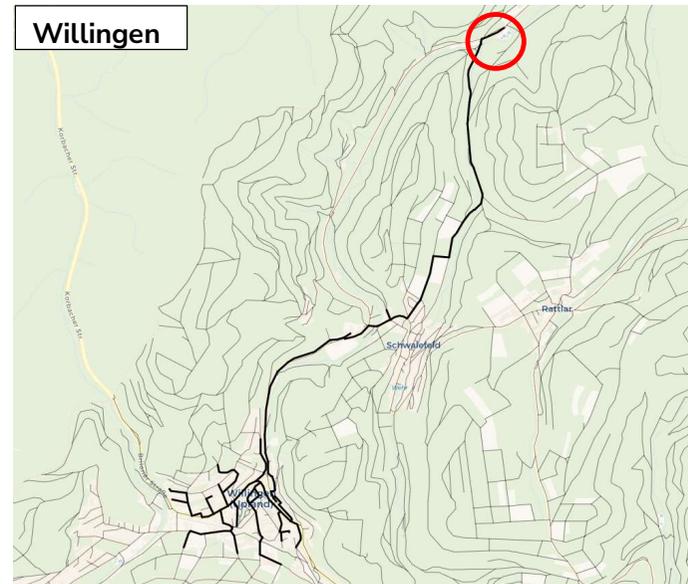
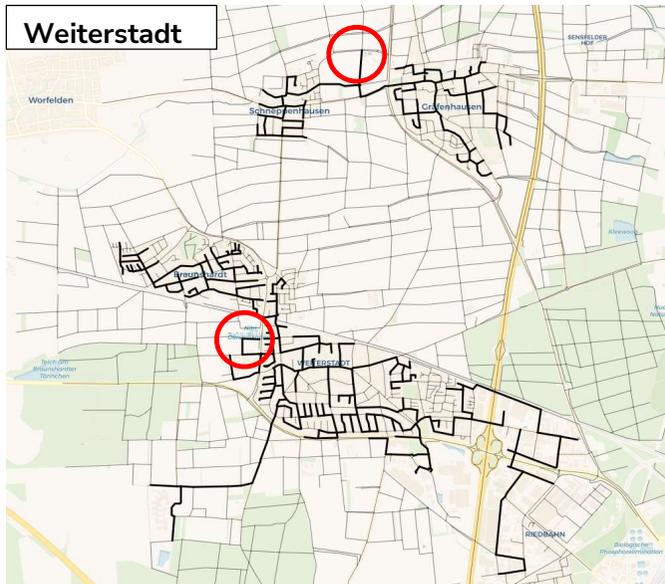


Video <https://www.youtube.com/watch?v=6DII7Bhjp1E>

https://www.industr.com/de/europas-leistungsstaerkste-grosswaermepumpe-2688748?GP_NR=%7bGP_NR%7d&Article_ID=2688748?utm_source=newsletter&utm_medium=E40EP&utm_campaign=2022-38-264&Article_ID=2657750&GP_NR=78742251

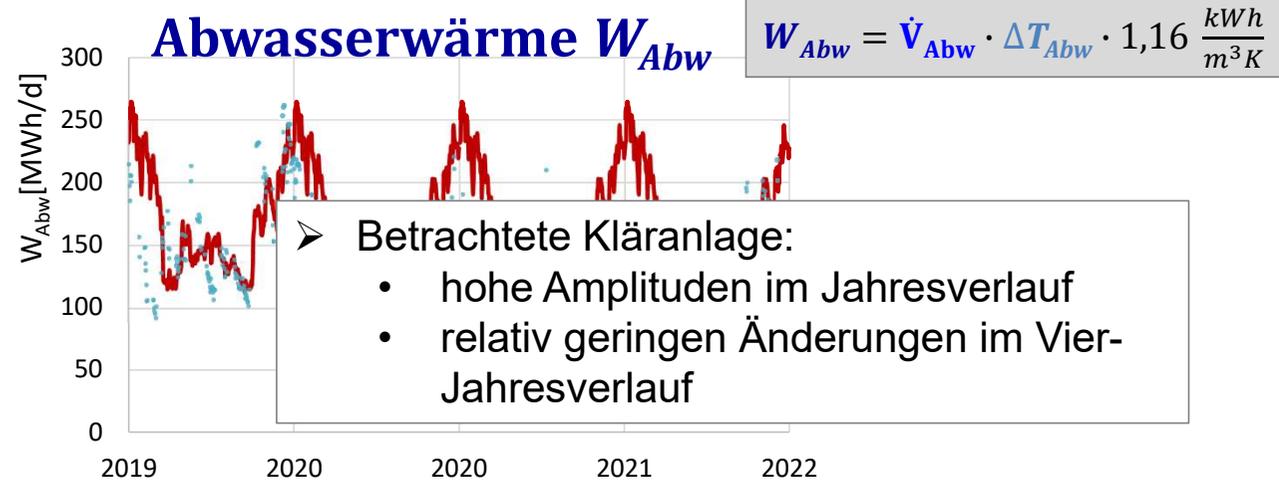
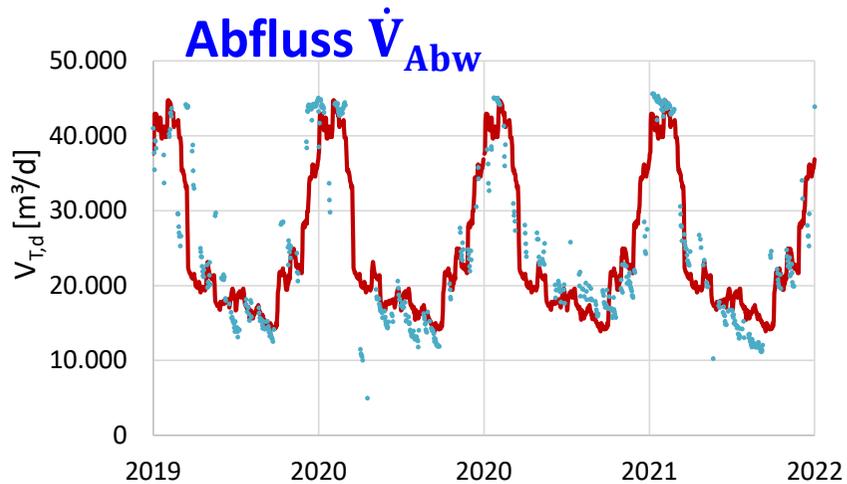
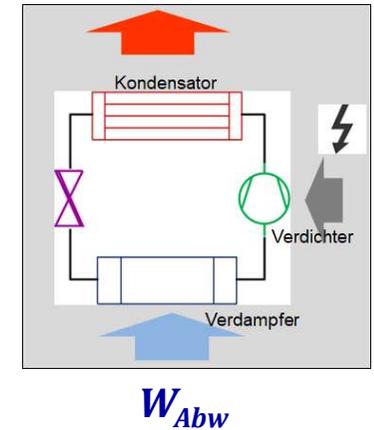
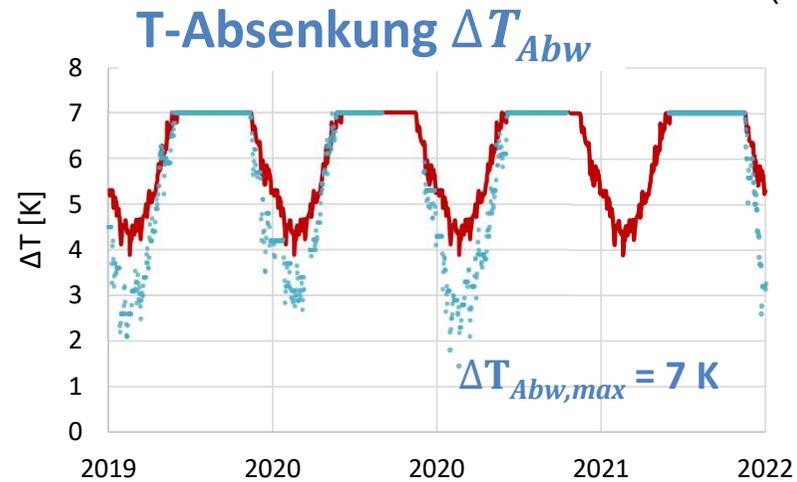
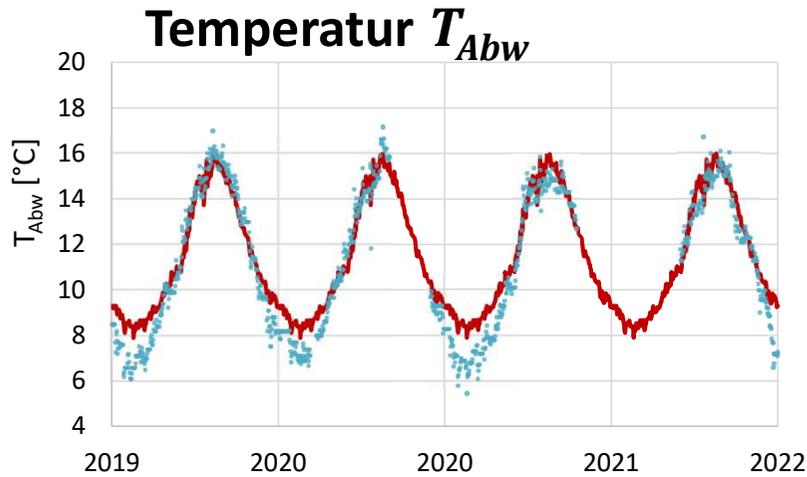
AP3 – Wärmenetze Auffälligkeiten

- 2 Kläranlagen in einer Kommune
- Zwei getrennte Netze
 - Lastprofil für die gesamte Kommune
- Kläranlage Willingen sehr weit entfernt von Wärmesenke
 - Luftlinie 5 km
 - Hohe Wärmeverluste
- Kläranlage „Rüsselsheim“ liegt im Gebiet von Raunheim (rechts oben)
- Kläranlage im Gebiet Rüsselsheim ist „Bauschheim“
 - Kleinere Anlage
 - Geringer Deckungsgrad (2 %)



2.3 Beispielanlage: Messdaten & Simulation

4 Jahre (2019-2022)

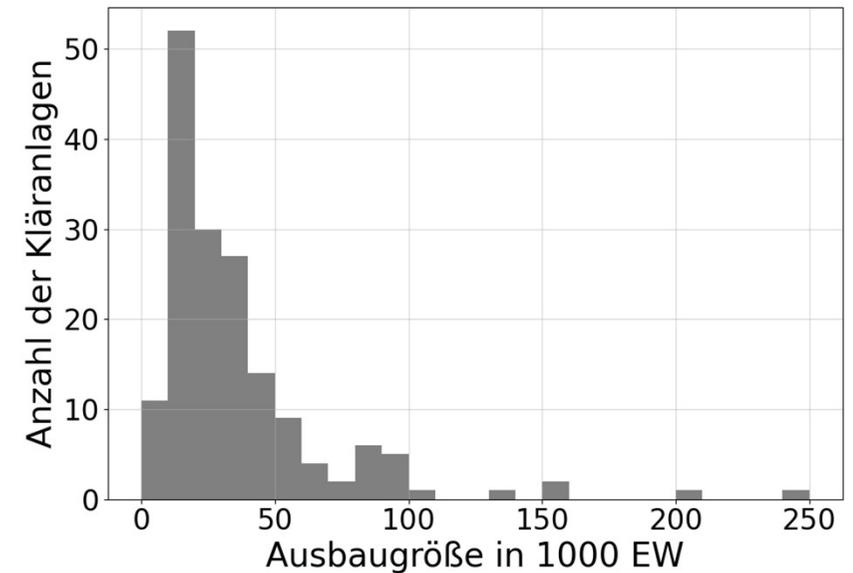


Übersicht DWA-Leistungsvergleich Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland

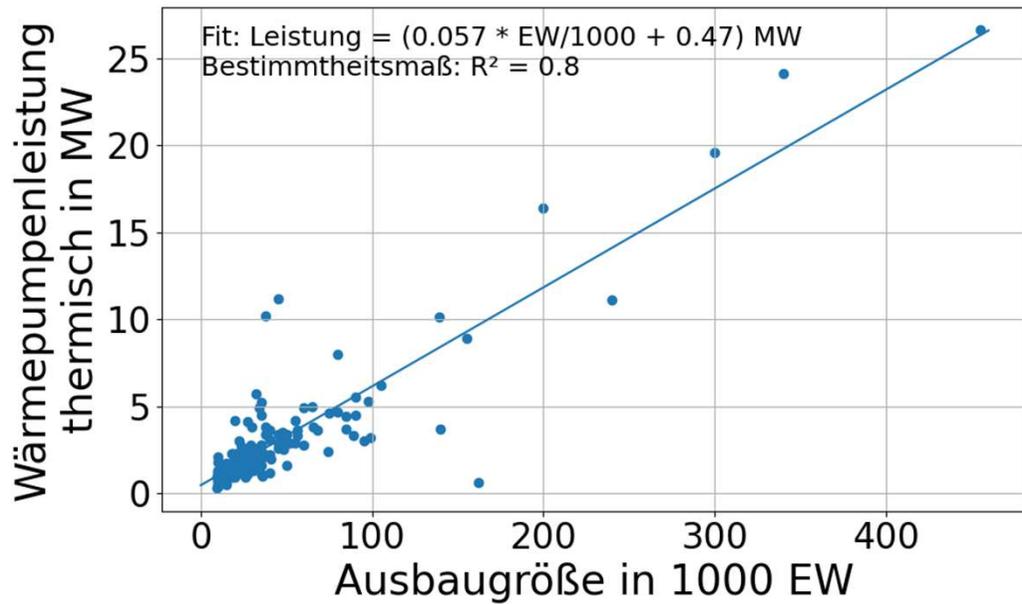
Größenklasse	EW	Anzahl in Hessen
5	< 100.000	11
4b	50.001 – 100.000	22
4a	10.001 – 50.000	123
3	9.500 – 10.000	15

Relevante verfügbare Daten

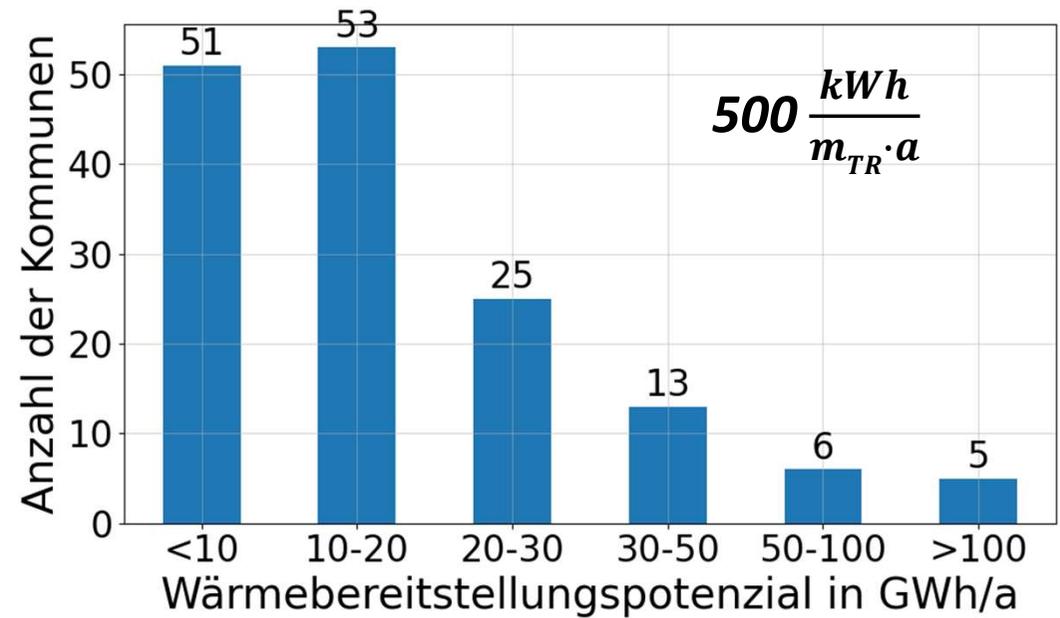
- Name der Kläranlage
- Ausbaugröße
- Jahresschmutzwassermenge



4.1 Leistung der Wärmepumpen

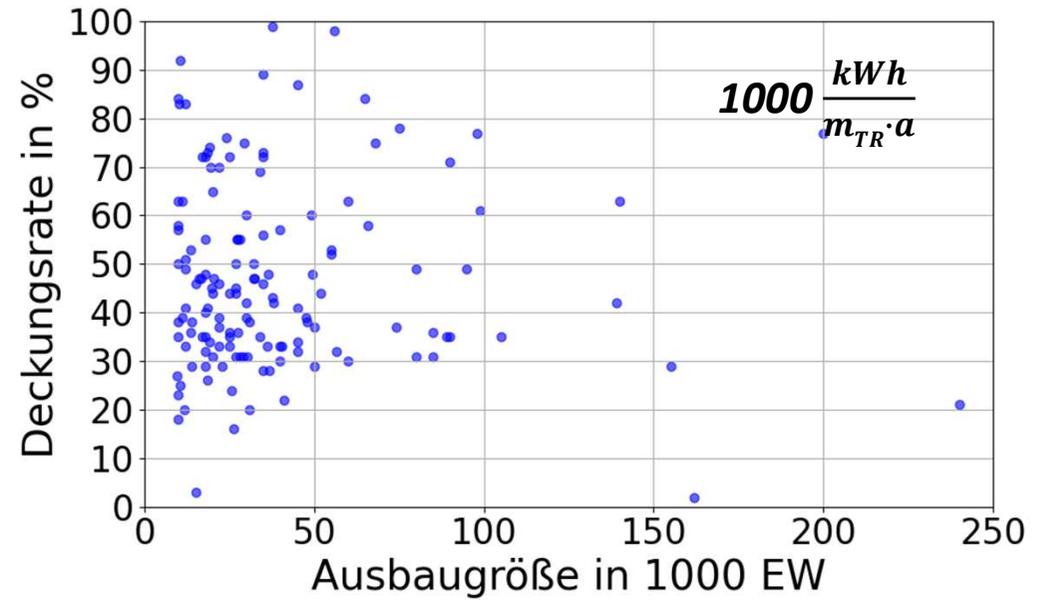
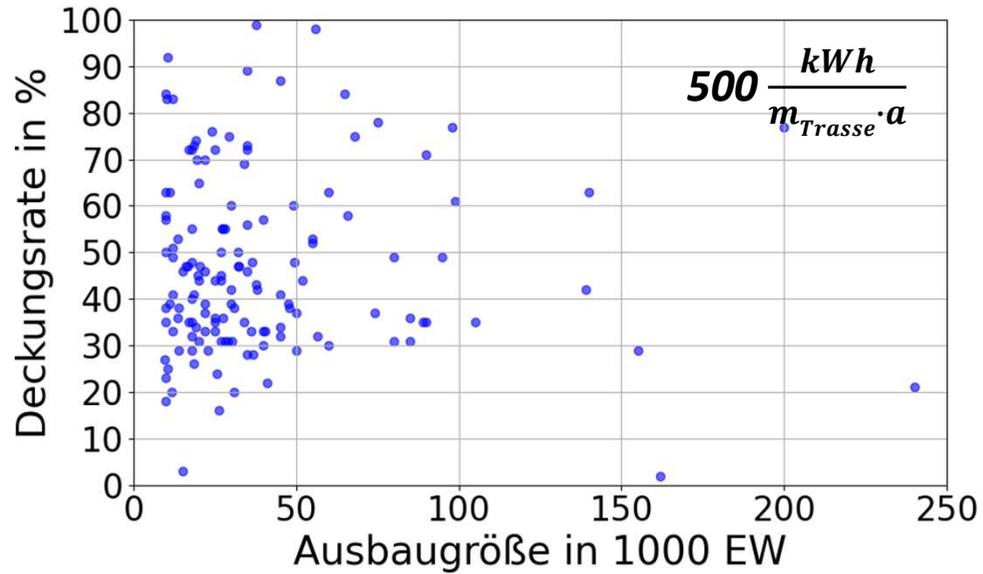


➤ **Lineare Näherung: sehr ungenau**



➤ **151 Wärmenetze**

Deckungsrate über EW

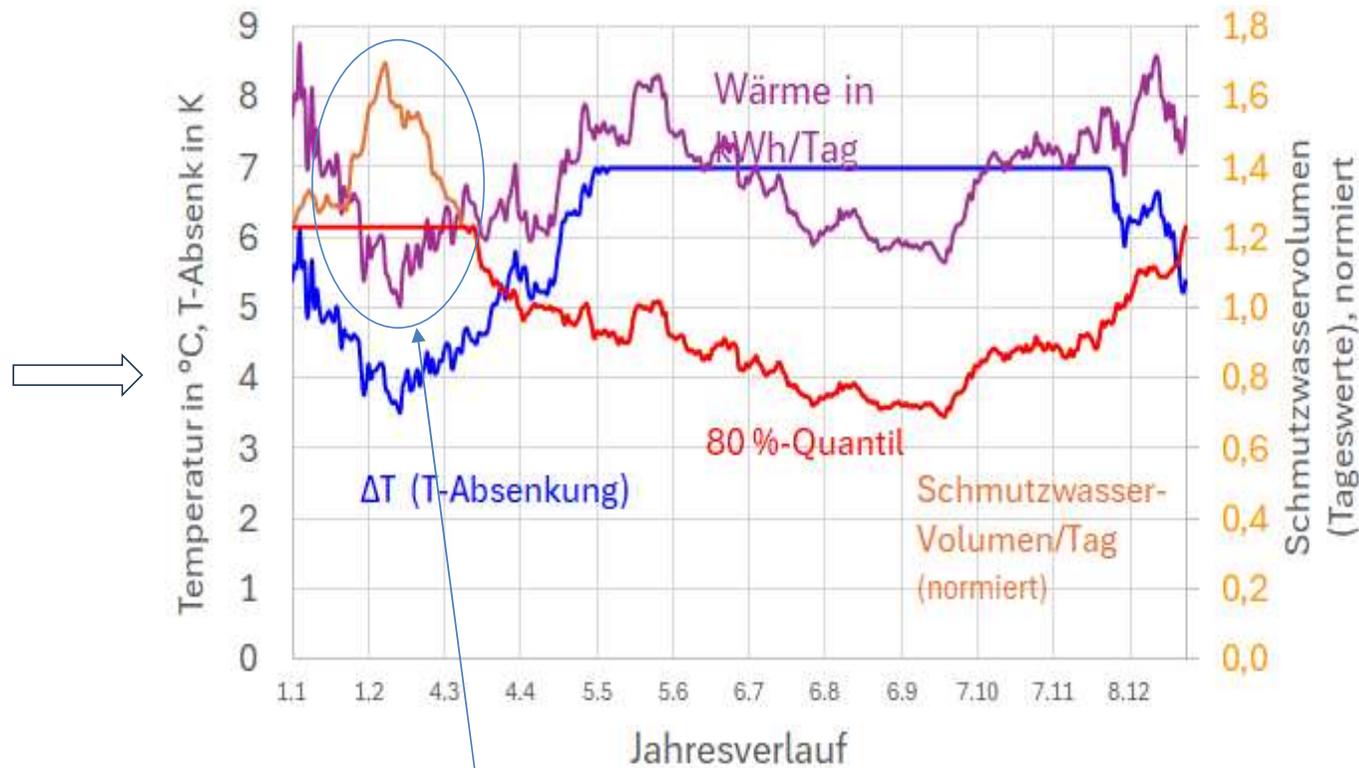


2.1 Vier Kläranlagen

	Ausbaugröße [EW]	$\dot{V}_{T,d,aM}$ [m ³ /d]	T_{Abw} [°C]	Q_{Abw} simuliert [GWh/a]
A	95.000	12.000	15,9	35
B	45.000	25.000	11,4	65
C	14.000	9.200	12,5	26
D	9.800	1.300	14,0	3,8

2.2 Berechnung der Wärme

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



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

2.1 Saisonale Verteilungen

Schmutzwasser

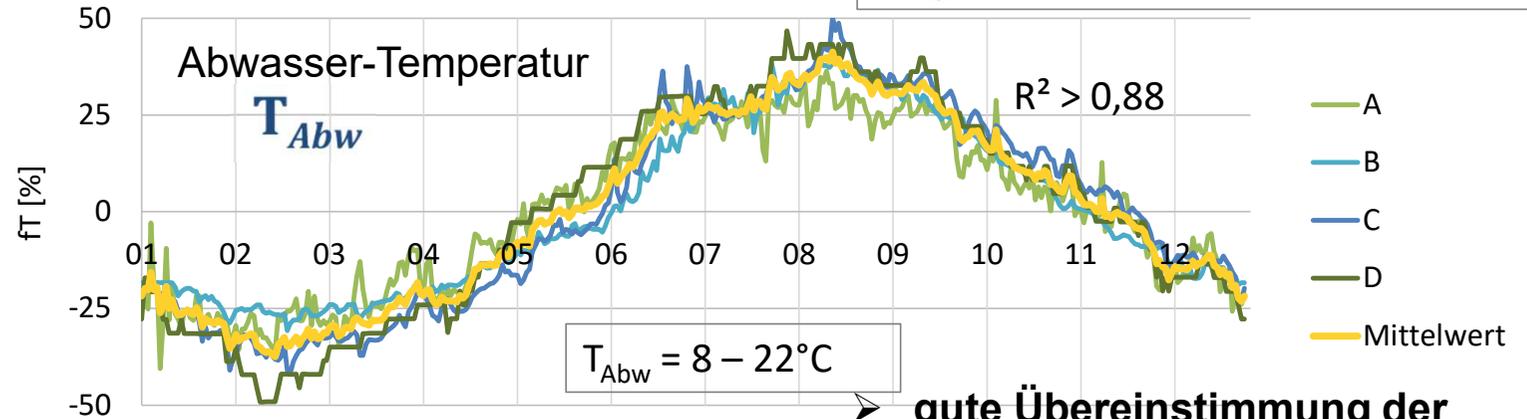
Gleitendes
7-Tagemittel

Zeitreihenanalyse

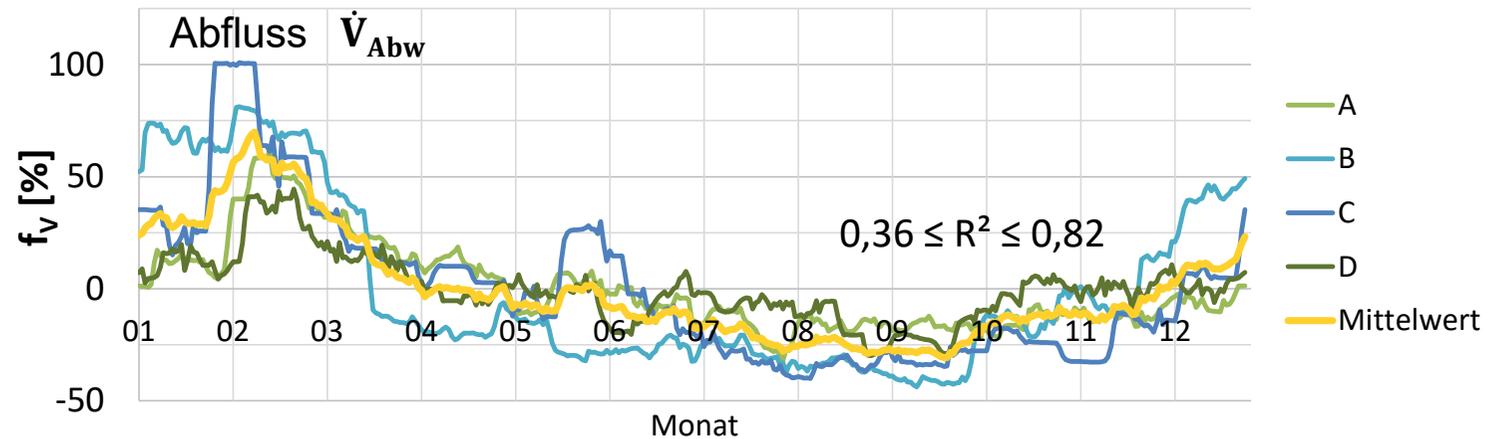
Tagesfaktoren
 f_T und f_V

Standardfaktoren
 f_T & f_V

Tageswerte \Rightarrow Standardfaktoren



gute Übereinstimmung der
Jahres-Verläufe



Fremdwasseranteil z.T. hoch