

# Erneuerbare Wärmenetzsysteme im ländlichen Raum Überblick und aktuelle Forschungsthemen

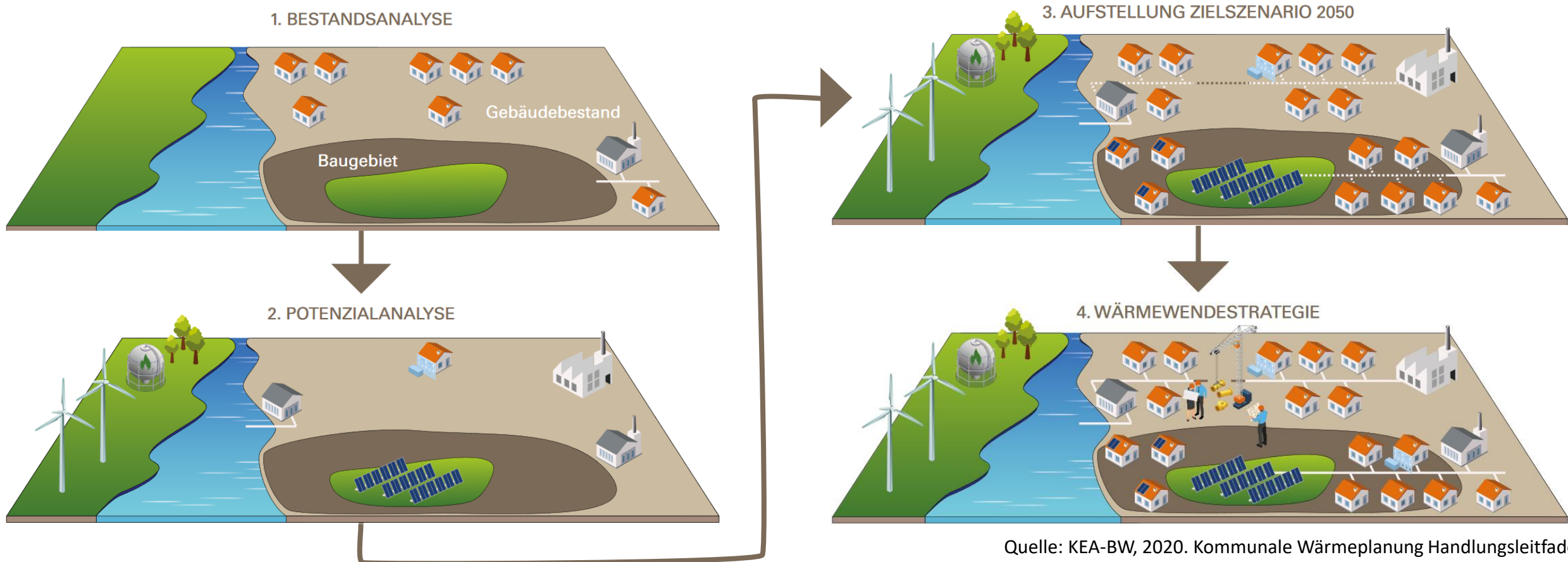
- Kurzüberblick
- Umsetzungen im ländlichen Raum: Bio- u. Solarenergiedörfer
- Machbarkeitsstudien und Forschungsthemen:  
Neue Wärmequellen und 100 % Erneuerbare Wärmenetze

# Wärmeplanung: Motivation und Vorgehensweise

**Fokus Wärmewende im Bestand bisher:** Sanierung + gebäudeindividuelle Wärmeversorgung

**THG-Einsparungen** → Bis 2030  $\geq - 65\%$  → 2040  $\geq - 88\%$  → THG-Neutralität ab 2045

**Zentral zur Umsetzung der Wärmewende:** (Kommunale) Wärme- u. Transformationsplanung



Quelle: KEA-BW, 2020. Kommunale Wärmeplanung Handlungsleitfaden

# Wärmeplanung / Bestandsanalyse

- Datenerhebung und Analyse
  - Gemeindestruktur
  - Gebäudestruktur
  - Versorgungsstruktur
  - Statistische Daten
  - Zählerpunktscharfe Verbrauchsdaten

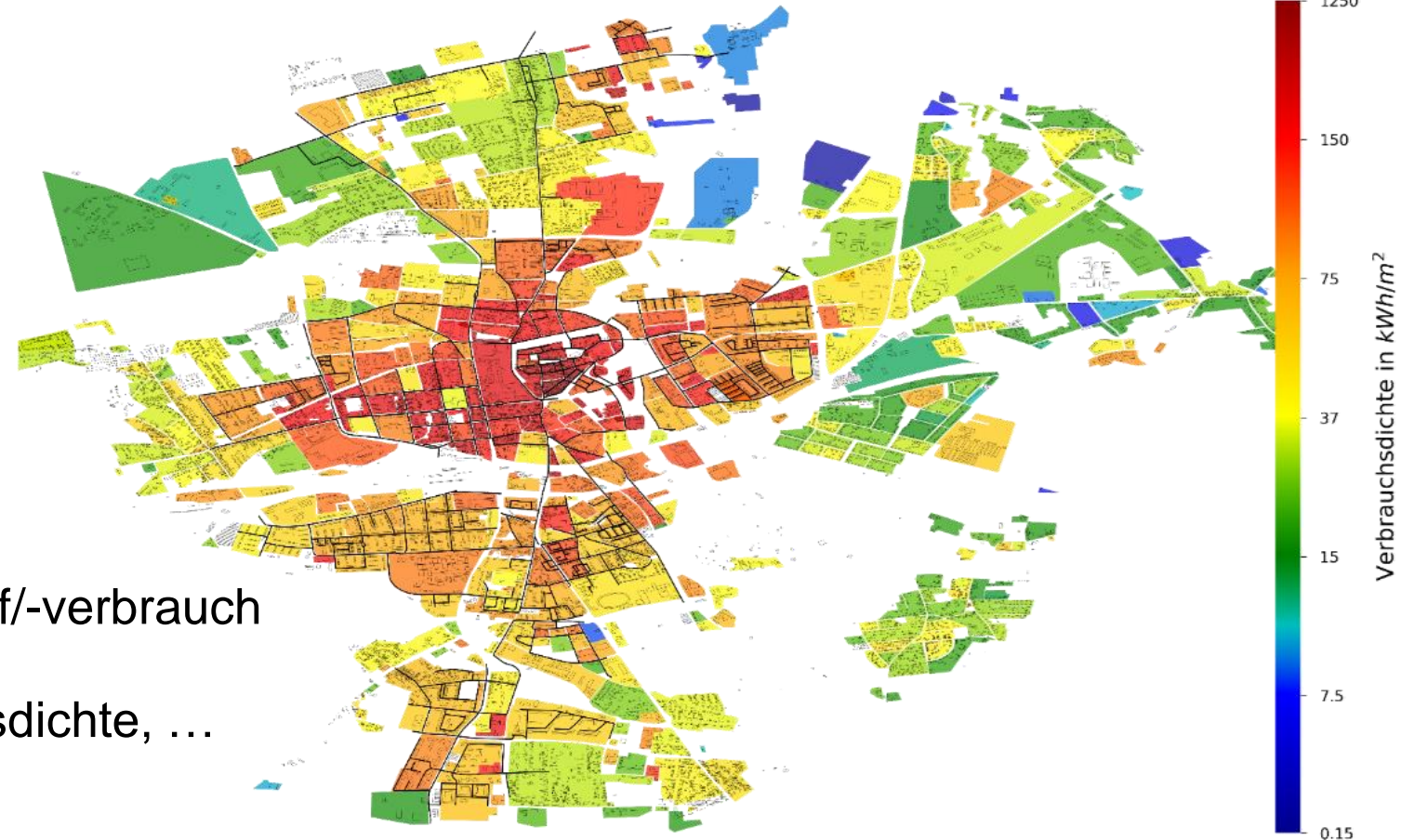
- Energie- und Treibhausgasbilanz
- Räumliche aufgelöster Wärmebedarf/-verbrauch

⇒ Output z.B. Wärmeatlas, Verbrauchsdichte, ...

⇒ Kennzahlen für Eignungsgebiete

415 MWh/ha \ 1500..2000 kWh/m<sub>Trasse</sub> (früher < 500 kWh/m<sub>Trasse</sub> nicht förderfähig)

**ABER: Ländliche Netze genau in diesem Bereich (500..700 kWh/m<sub>Trasse</sub>) und wirtschaftlich!**



# Wärmeversorgung im ländlichen Raum

**Bisheriger Fokus:** umfangreiche Gebäudesanierung + Gebäudeindividuelle Wärmeversorgung

**ABER:** Sanierungskosten oftmals relativ zum Gebäudewert sehr hoch → Umsetzung fraglich

## Herausforderungen Wärmenetze im ländlichen Raum

- (oftmals) Keine Industrie(-abwärme), Heizkraftwerke, etc. im Bestand
- Geringere Wärmebelegungsdichte

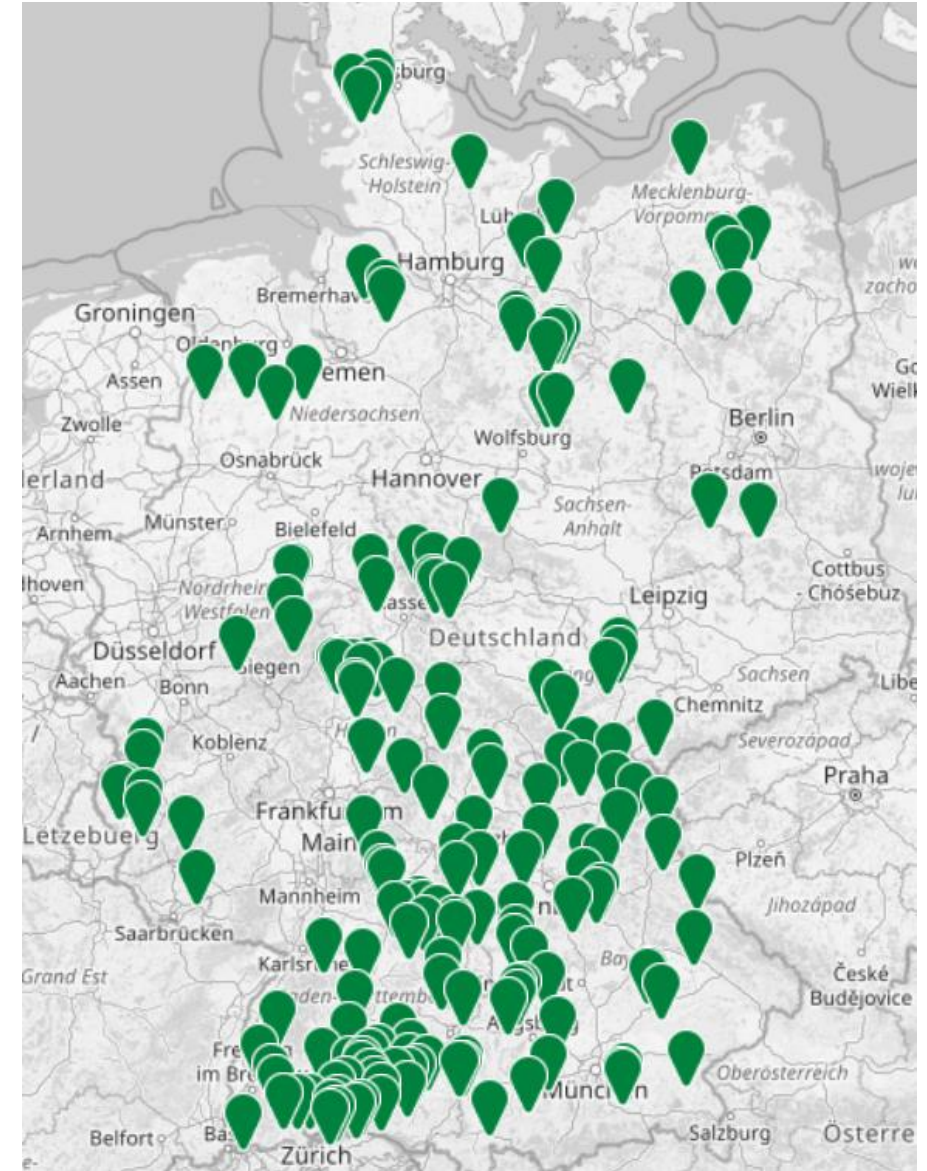
## Vorteile

- Flächenverfügbarkeit (Solarthermie, saisonale Speicher, Heizzentrale, ...)
- Günstigere Infrastrukturaufbaukosten (z.B. Verlegekosten Netz)
- Bürgerinitiativen, Genossenschaften (nicht auf Gewinn ausgerichtet)

➤ **Bioenergiedörfer, Solarenergiedörfer u. solare Wärmenetze**

# Bioenergiedörfer

- Ca. 180 Dörfer in DE
- Strom und Wärmebedarf überwiegend (> 50 %) mit Biomasse gedeckt
- Biomasse nachhaltig und regional (keine Monokulturen / gentechnisch veränderte Pflanzen)
- Häufig: Biogasanlagen (Silage, Mist, Gülle), Biomasseheizkraftwerke (Holzhackschnitzel), PV, Solarthermie
- Bürger in Entscheidungsprozesse (und Umsetzung) eingebunden
- Bioenergieanlagen im Eigentum der Wärmekunden oder Landwirte vor Ort
- Energieeffizienz und -einsparung wird regelmäßig geprüft



Quelle: FNR, Link: <https://bioenergiedorf.fnr.de/karten/bioenergiekommunen/>

# Ziel: Versorgung mit 100% Erneuerbarer Energien

## Erstes Bioenergie-Dorf (2005)

(Verkauf an EAM 2019)

### Jühnde

- 750 Einwohner
- Biogasanlage: Strom & Wärme
- Holzschnitzel-Heizwerk
- Nahwärmenetz (145 HH)
- Invest.kosten 5,4 Mio. €

### Biomasse

- Gülle, Restholz
- 27 % der landwirtschaftlichen Flächen (260 ha), z.B. Roggen, Weizen, Sonnenblumen, Mais (Ganzpflanzensilagen), z.T. Multikulturen

⇒ **96% des Wärmeverbrauchs**

⇒ **200% des Stromverbrauchs**



Quelle: [www.bioenergiesdorf.de](http://www.bioenergiesdorf.de)

### Heizwärme

- Biogas: 2,8 GWh/a
- Holz: 1,5 GWh/a, 550 kW

### Strom

- Biogas: 4 GWh<sub>el</sub>/a, 716 kW<sub>el</sub>



2 x 50 m<sup>3</sup> Wärmespeicher

Quelle: [www.bioenergiesdorf.de](http://www.bioenergiesdorf.de)

**Netz:** 70% der Einwohner angeschlossen (820 kWh/m<sub>Trasse</sub>)

Q = 4,5 GWh/a, 80°C, 4 bar, Länge: 5,5 km, 145 HH

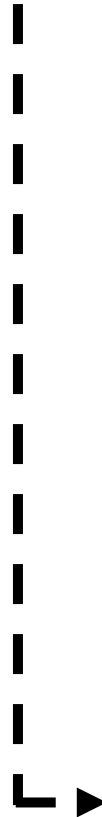
Planungen für eine **Flexibilisierung** der Biogasanlage

# Solarenergiedörfer

- Zum Teil als Weiterentwicklung von Bioenergiedörfern
- Betrieb über Genossenschaften, kommunale Versorger, aber auch spezialisierte Unternehmen
- Solare Deckungsraten idR „gering“

Übersicht der wichtigsten Daten der fünf im Jahr 2018 realisierten Solarenergiedörfer

Solar-energiedorf	Liggeringen	Randegg	Mengsberg	Breklum	Ellern
Betreiber	Stadtwerke Radolfzell GmbH	Solarcomplex AG	Bioenergiegenossenschaft Mengsberg BEGM eG	Bürger-GemeindeWerke Breklum eG	Kommune
Hausanschlüsse	90 (1. BA)	150	150	42 (1. BA)	105
Netzlänge	5 km	6,6 km	9 km	3,8 km	5,3 km
Kollektortyp	HT-Flachkollektor	Vakuurröhrenkollektoren	HT-Flachkollektoren	Vakuurröhrenkollektoren	Vakuurröhrenkollektoren
Kollektorfläche	1.100 m <sup>2</sup>	2.400 m <sup>2</sup>	3.000 m <sup>2</sup>	652 m <sup>2</sup>	1.245 m <sup>2</sup>
Erwarteter solarer Jahresertrag	470 MWh/a	1.100 MWh/a	900 MWh/a	289 MWh/a	555 MWh/a
Erwarteter solarer Deckungsanteil	20 %	20 %	17 %	8 %	15 %



Quelle: Umweltbundesamt: Ein neuer Weg zu effizienten Wärmenetzen mit Niedertemperaturwärmeströmen (Leitfaden)

# Holz + Solar: Mengersberg

(Landkreis Marburg-Biedenkopf, 840 Einwohner)

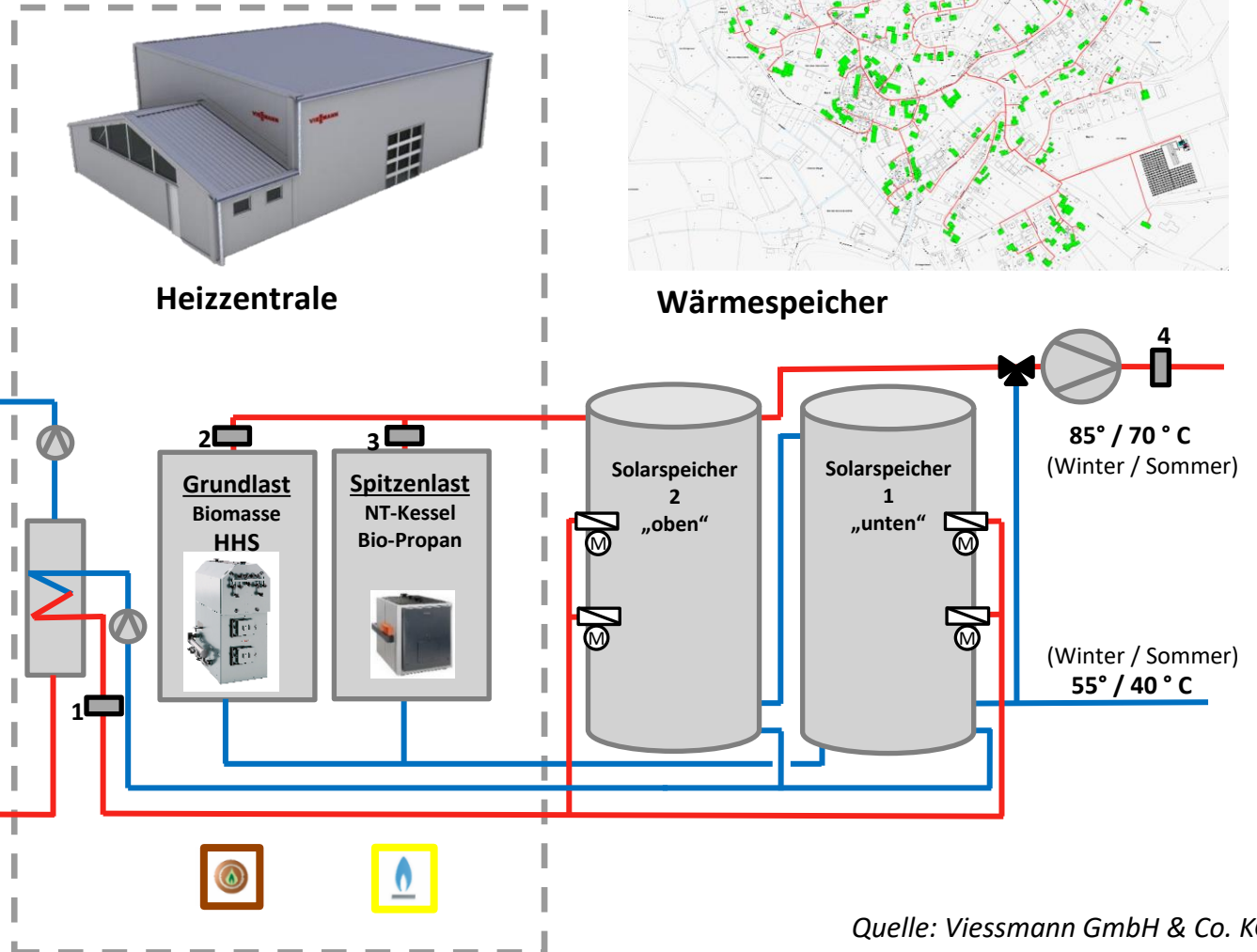
Inbetriebnahme 2017

## Wärmequellen

- Grundlast: 1,1 MW Hackschnitzelkessel
- 3.000 m<sup>2</sup> Solarthermie-Kollektorfläche (17% solare Deckung)
- 1,6 MW Biopropan-Kessel zur Redundanz

## Netz

- 300 m<sup>3</sup> Pufferspeicher
- 9 km Netzlänge
- 150 Anschlüsse
- 4,7 GWh/a Wärmebedarf
- Wärmebelegungsichte 520 kWh/m<sup>2</sup>a



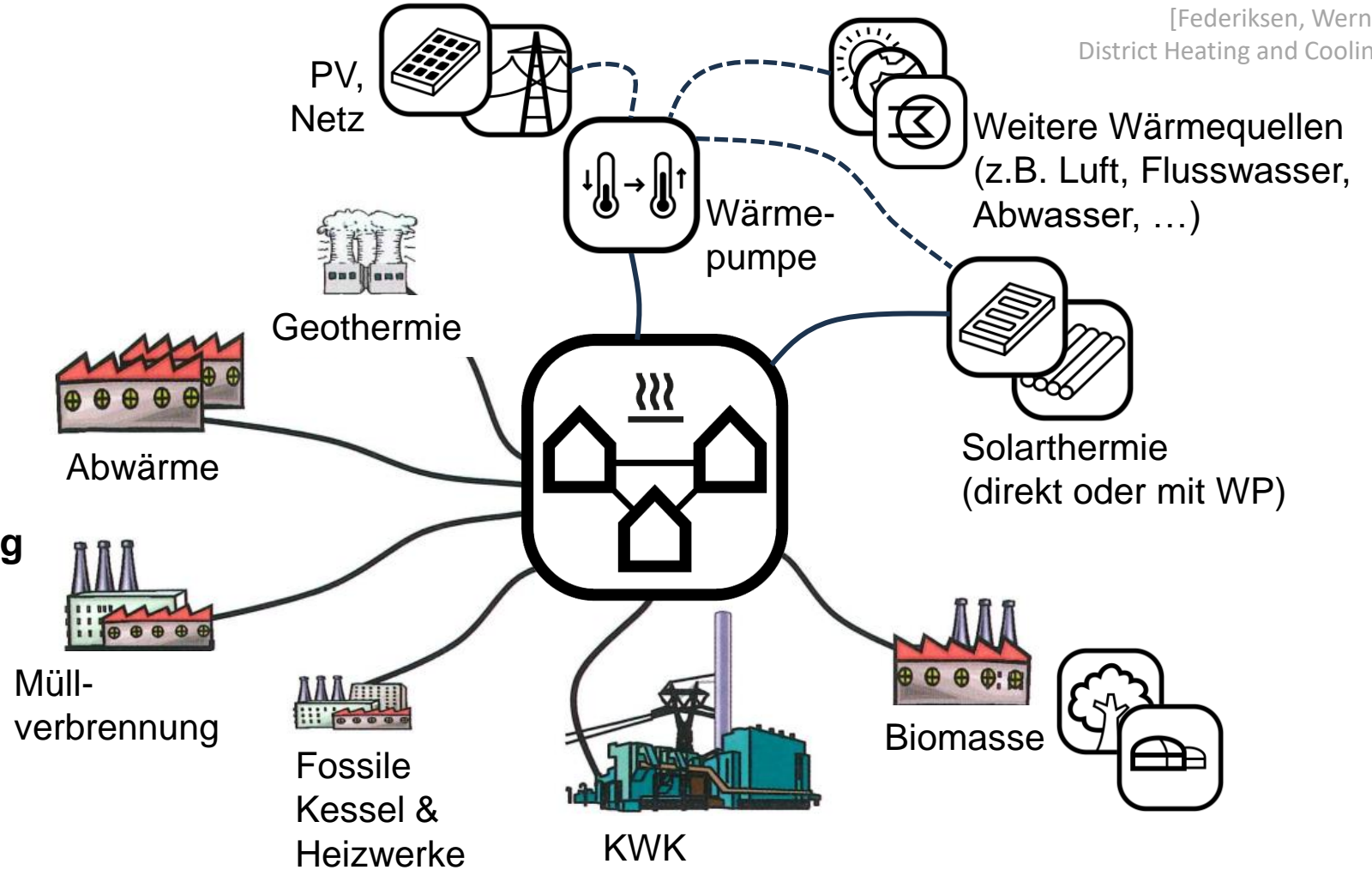
Quelle: Viessmann GmbH & Co. KG

# Wärmeerzeugung: Bisherige und zukünftige Kombinationen

Abbildung angepasst nach  
[Federiksen, Werner 2017  
District Heating and Cooling, S.26]

## Bewertungskriterien für Energieträger/Technologien:

- (lokales) Potential
- Integrationsaufwand
- Treibhausgasemissionen, sonst. Umwelteinwirkungen
- Wirtschaftlichkeit
- **Förderung** → **„Neue“ BEW-Förderung**
  - Machbarkeitsstudie (neue Netze)
  - Transformationsplanung (bestehende Netze)
  - 40 % Invest.-Förderung
  - **Betriebskostenförderung**
- **Groß-WP** und Solarthermie



➔ **BEW: Durch Groß-WP Erschließung neuer Wärmequellen**

# Beispiel: Abwärmenutzung aus Rechenzentren

# Technische Machbarkeit: Abwärme aus Rechenzentren

**Zentrale Frage:**  
**Welchen Beitrag kann die Abwärmenutzung aus RZ für die Dekarbonisierung der Gebiete leisten?**

Eschborn-Mitte

Eschborn-Süd

Wärmeversorgungskonzept?  
(„kaltes“ vs. „warmes“ Netz)

Rechenzentrums Cluster

Frankfurt  
Sossenheim

Potential Abwärme?  
Aufwand zur Auskopplung?

Quelle Hintergrundbild: <https://www.google.de/maps/>

# Abwärmepotential Rechenzentren

## RZ-Cluster in Frankfurt Sossenheim:

10 bestehende RZ, weitere 3+ große RZ in Planung

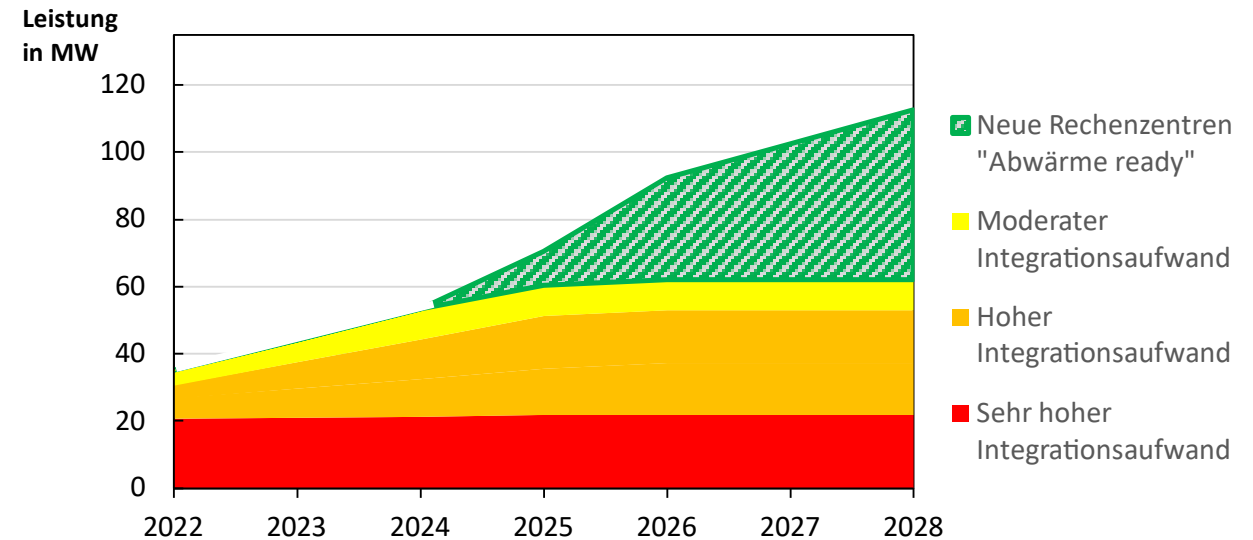
## Integrationsaufwand Abwärme:

- **Bestehende RZ: Auskopplung mit hohen Hürden verbunden (dezentralisierte Kühltechnik, Umbau im laufenden Betrieb, Platzprobleme, u.v.a.)**
- **Neue RZ: EnEfG → Abwärme-Auskopplung muss bei Planung und Bau berücksichtigt werden → „Abwärme ready“**

## Abwärmepotential:

- Abwärmepotential stark steigend
- Hohe stetige Abwärmeleistung >35 MW
- Alle RZ setzen auf Luftgekühlte IT-Technik  
→ **Abwärme Temperaturen ca. 25 °C / 15 °C**

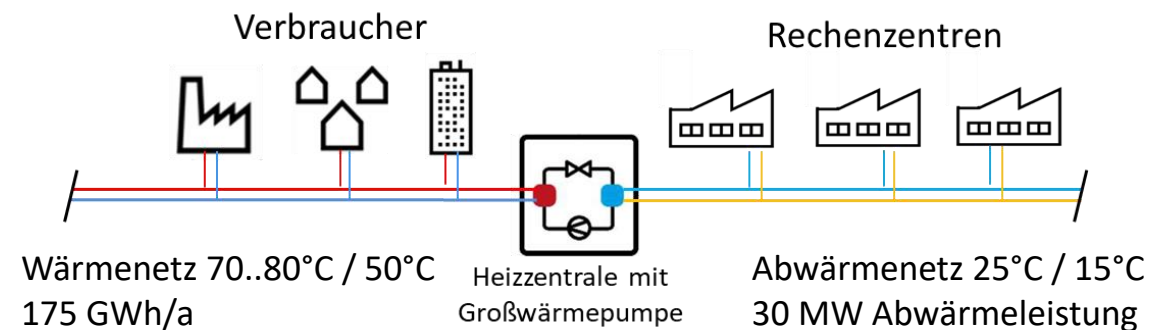
- **Abwärmennutzung in bestehenden RZ sehr aufwändig / praktisch nicht möglich**
- **Hohes, gut erschließbares Abwärmepotential (>40 MW) durch neue RZ**



Abschätzung Abwärmepotential 2022-2028 nach Integrationsaufwand

## Netzvarianten:

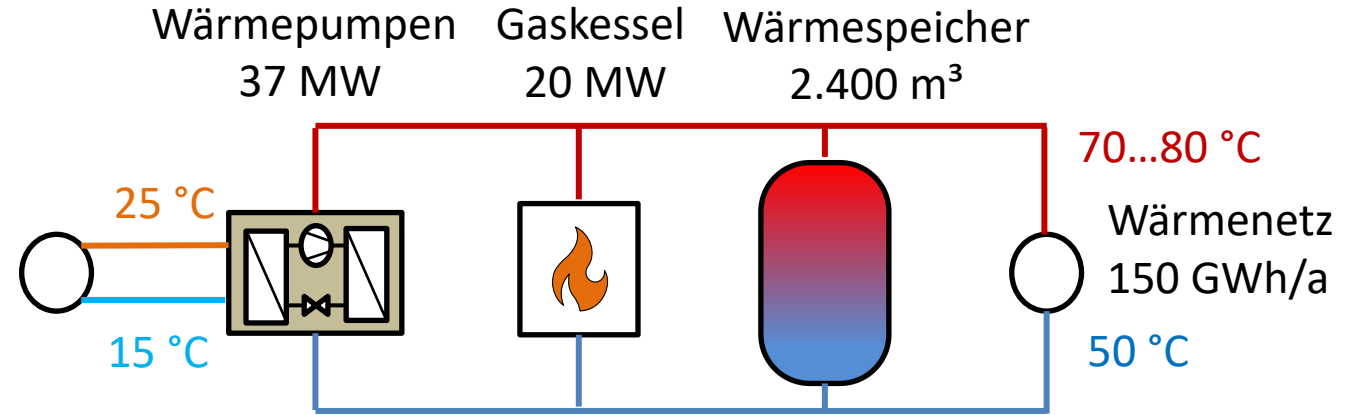
Warmes Verteil-Netz mit niedrigsten Wärmegestehungskosten



# Bilanz und Wirtschaftlichkeit

## Eckdaten Wärmenetz u. Energiebilanz

- 50 km Trasse, 75 % Anschlussgrad
- ca. 3 MWh/(m\*a)
- Anteil Großwärmepumpen 97,5 %, JAZ 3,85
- **CO<sub>2</sub>-Vermeidung: im Mittel -80 % (=25.000 t/a), 2045 sogar -96 %**



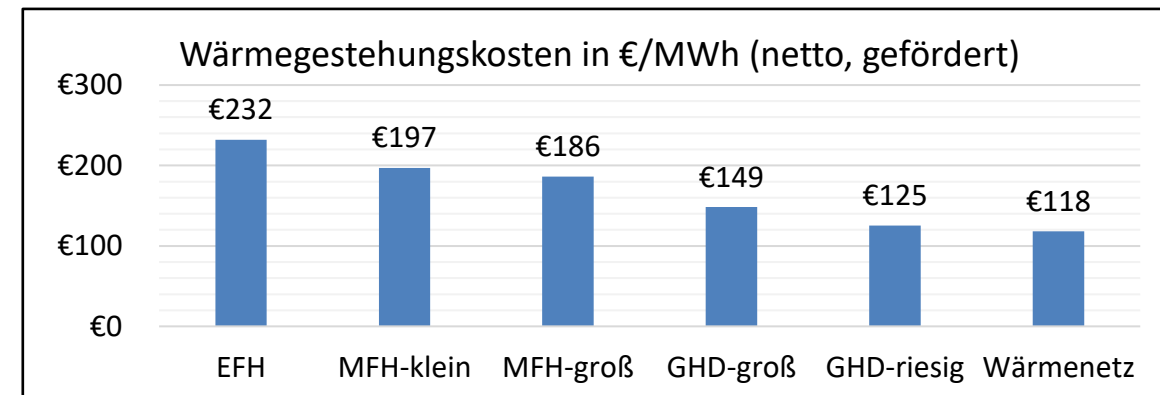
## Wirtschaftlichkeit

- Wärmegestehungskosten mit Förderung: **118 €/MWh (netto)** im Mittel
- Günstiger als dezentrale Wärmepumpe, für alle Gebäudetypen (interner Zinssatz 3 % f. dezentrale Wärmepumpen)

### Annahmen Wirtschaftlichkeit

- interner Zinssatz 9 %
- Preisänderungsrate 3 % p.a. für alle Kosten (auch Strom, Gas)
- Betrachtungszeitraum 2025 - 2044
- Strompreis zu Beginn 199 €/MWh (in 2025, Industriepreis)
- Gaspreis zu Beginn 80 €/MWh (in 2025), CO<sub>2</sub>-Bepreisung nach BEHG
- Wärmeübergabestationen sind inklusive, kein Baukostenzuschuss

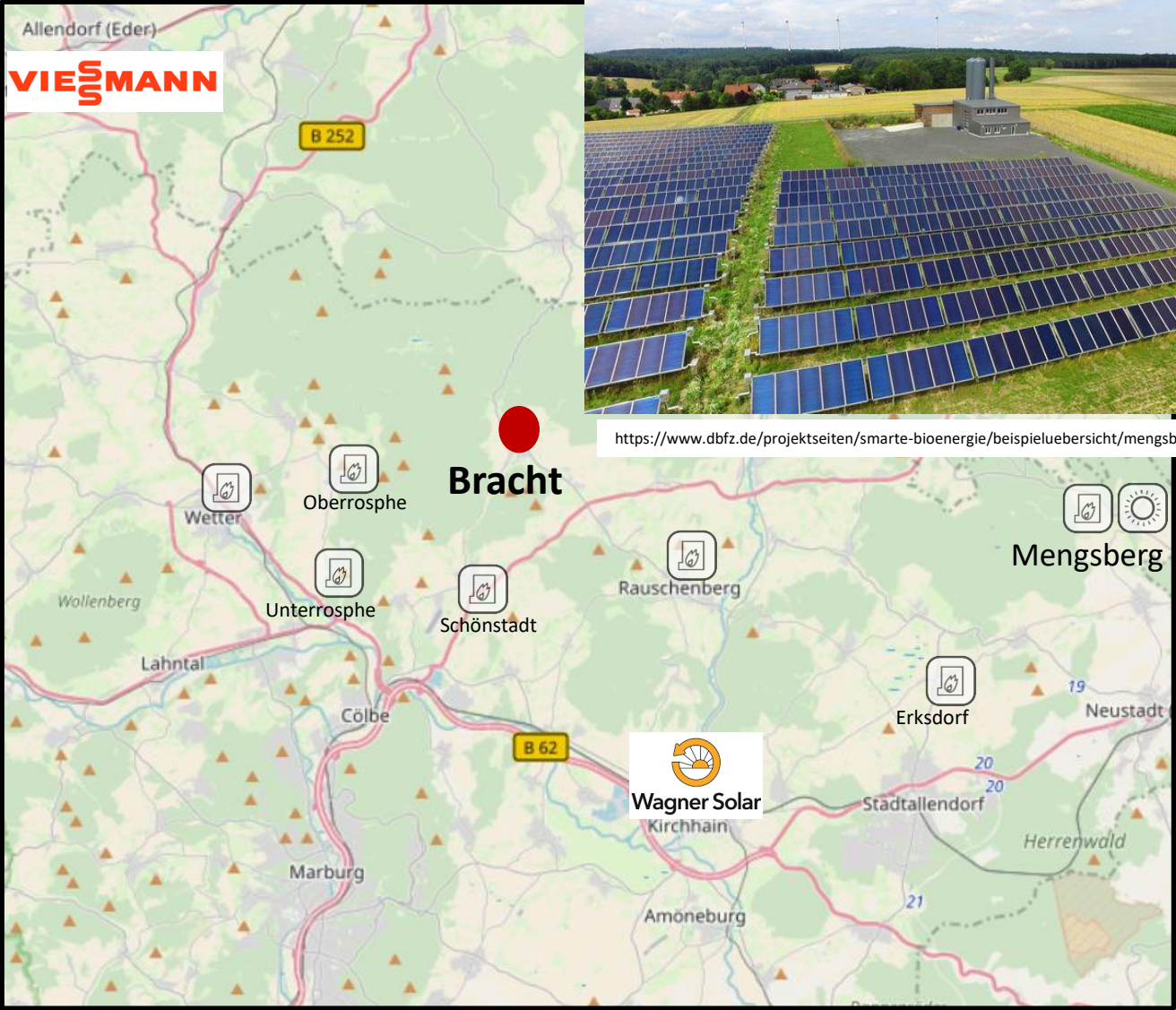
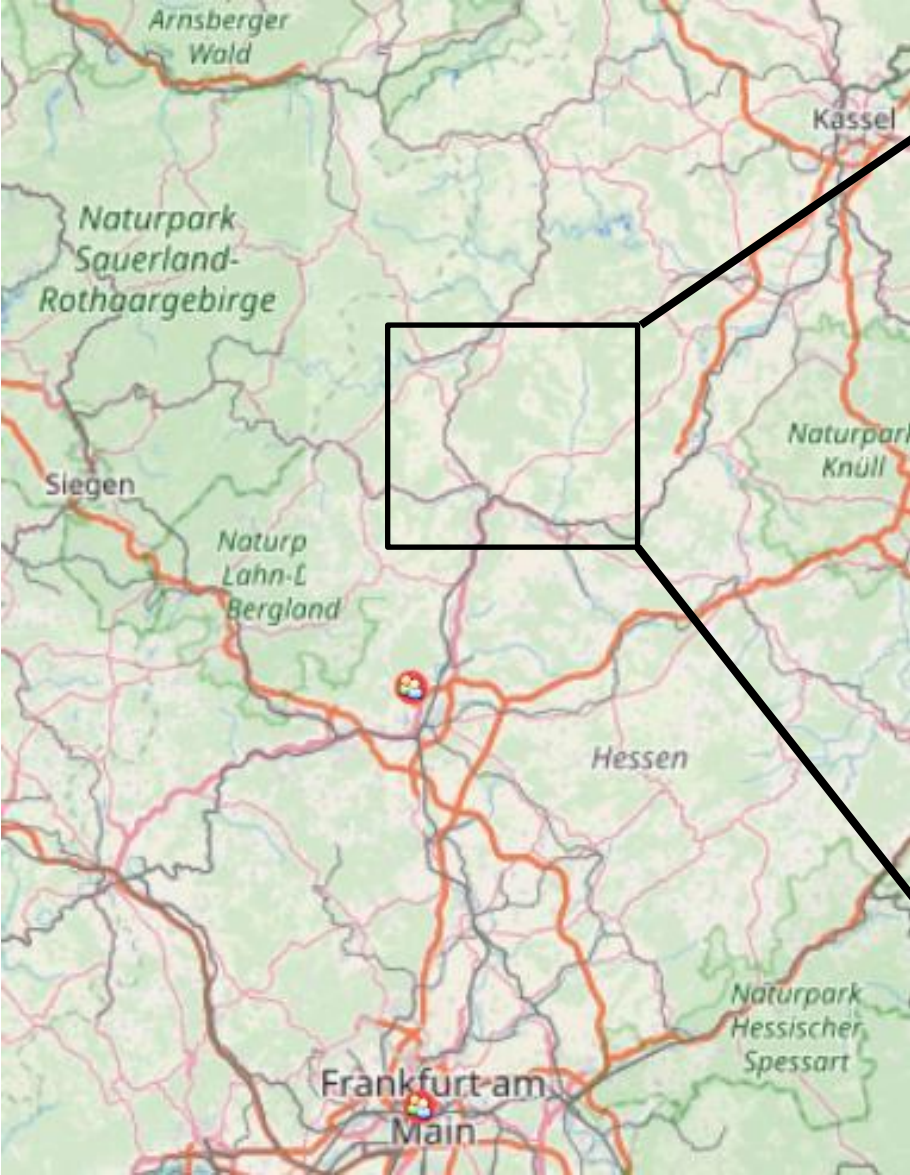
**Versorgung über ein Wärmenetz nahezu vollständig mit Abwärme ist wirtschaftlich und kostengünstiger als andere zukunftsfähige Alternativen**



**Beispiel:**

# **Hohe solare Deckungsgrade – Solare Nahwärme Bracht**

# Solare Nahwärme Bracht

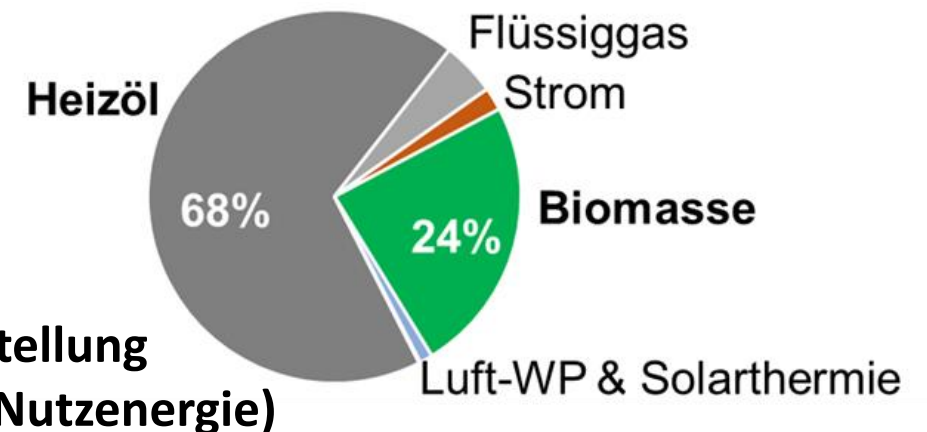
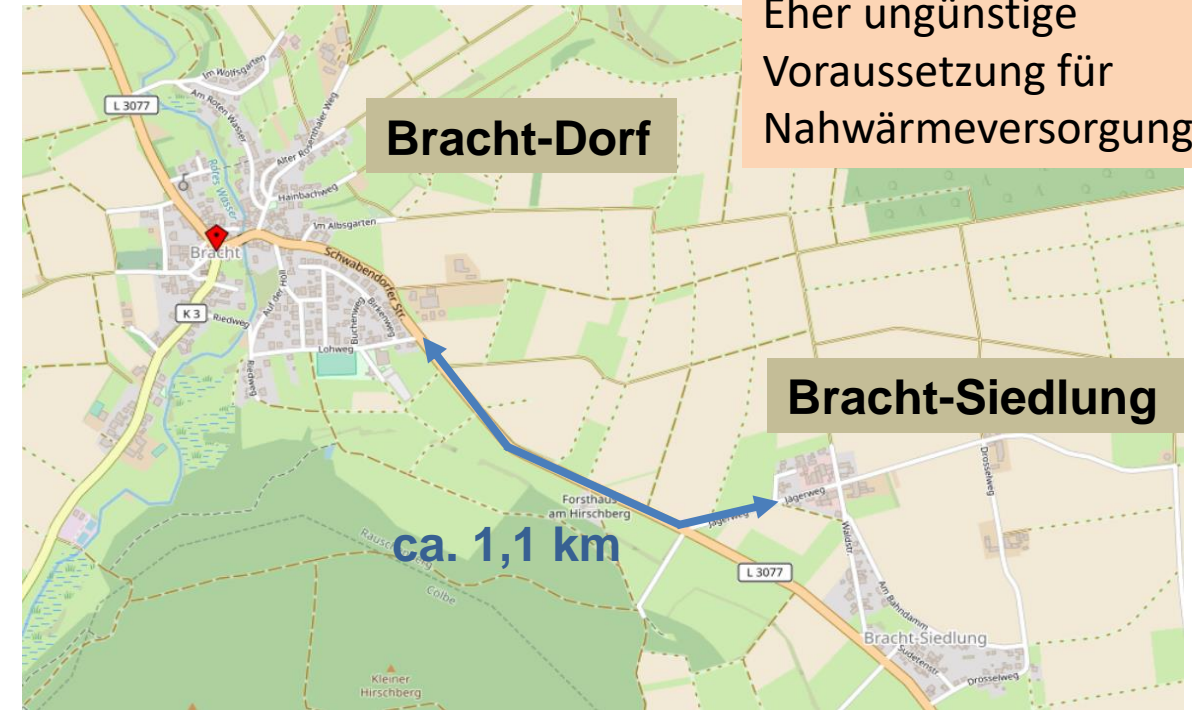


# Solare Nahwärme Bracht

- ≈ 294 Gebäude in zwei Ortsteilen, 90% vor 1980, etwa 30% Fachwerkhäuser
- kein Gasnetz vorhanden

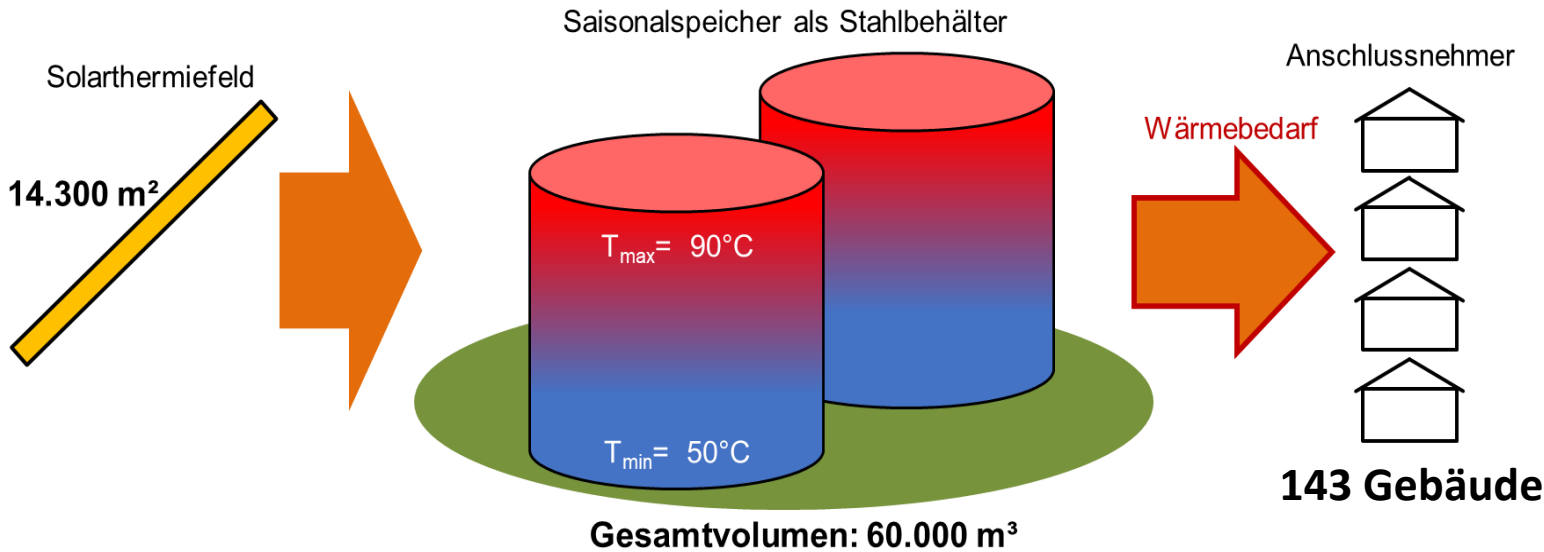
## → Bisherige Wärmeversorgung ca. 2/3 Öl und 1/4 Holz

- erste Ideen für eine solare Nahwärme ca. 2016, seitdem sehr engagierte Bürgerinitiative
- Kooperation mit Uni Kassel seit 2018
- Land Hessen unterstützt Vorhaben v.a. durch Machbarkeitsstudien, Energieberatungen, ...
- Gründung der Energiegenossenschaft „Solarwärme Bracht eG iG“ im Juli 2021
- ≈ 180 Anschlüsse → Anschlussrate 61%
- Baubeginn „offiziell“ Oktober 2023



# Ursprüngliches solares Wärmeversorgungskonzept (2017)

(Projektskizze an HMWEVW)



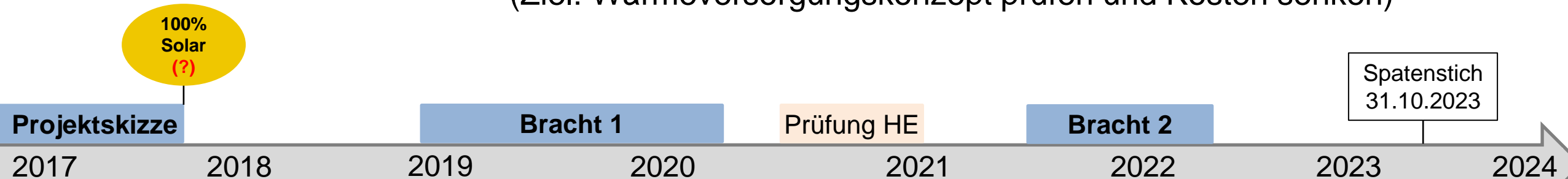
## Ergebnis der Projektskizze 2017:

- Invest. je Gebäude: 90 T€
- Hohe Landeszuschüsse notwendig
- Kosten zu hoch
- Technische Machbarkeit unzureichend belegt

→ **Trotzdem:** Land findet Projektidee grundsätzlich unterstützenswert

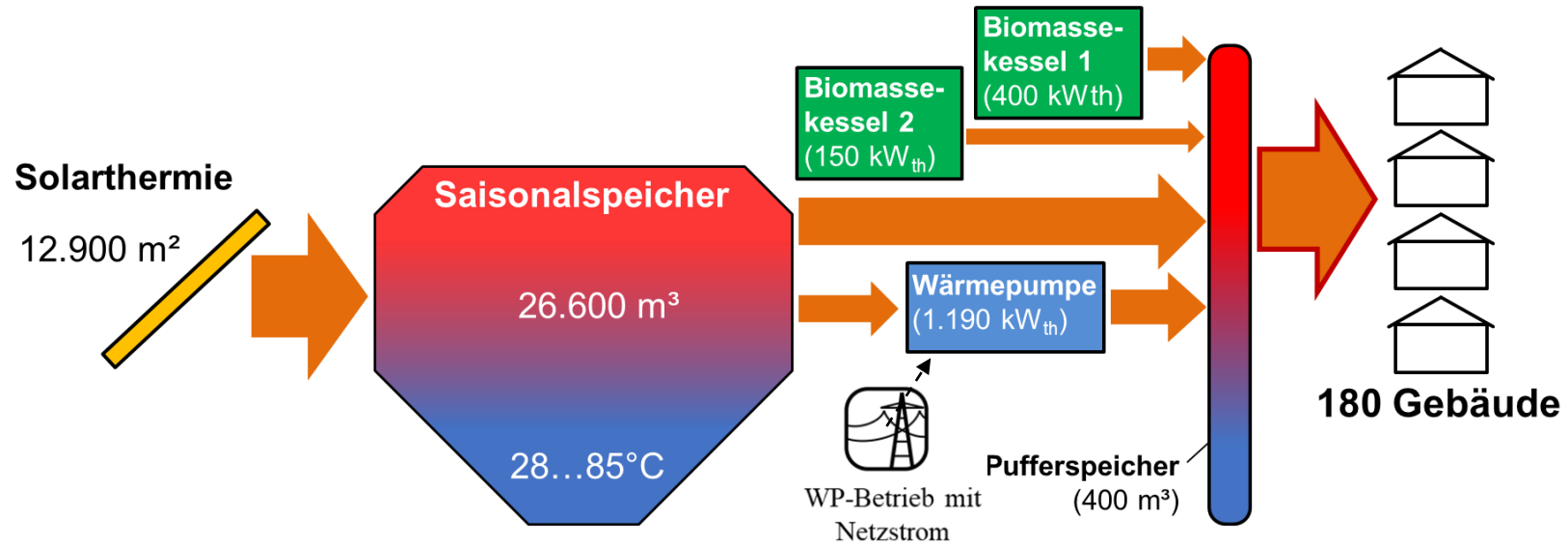
→ **Erweiterte Machbarkeitsstudie „Bracht 1“**

(Ziel: Wärmeversorgungskonzept prüfen und Kosten senken)

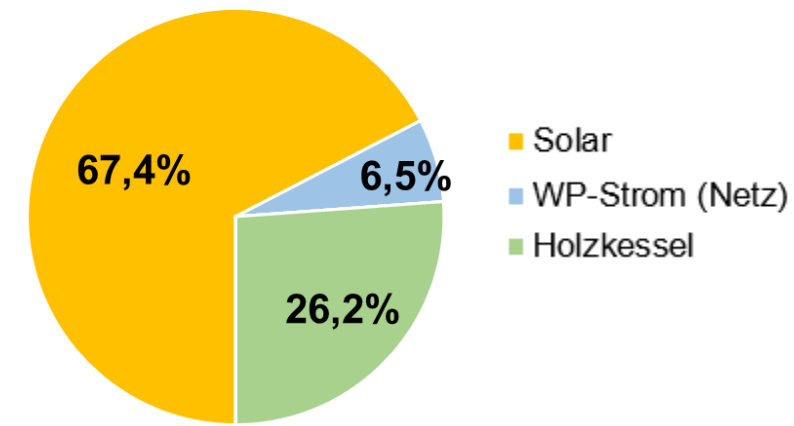


# Bracht: Optimierung und Ergebnis

- Abbildung der Erzeuger + Speicher in Simulationsumgebung TRNSYS
- Optimierungsziel → minimale Wärmegehungskosten (Abnahme Hausübergabestation, Ct/kWh)
- Variation der Dimensionierung von Hauptkomponenten (Kollektor, Speicher, Wärmepumpe, Kessel)



Wärmeeintrag ins Netz



→ THG-Emissionen um 98% reduziert

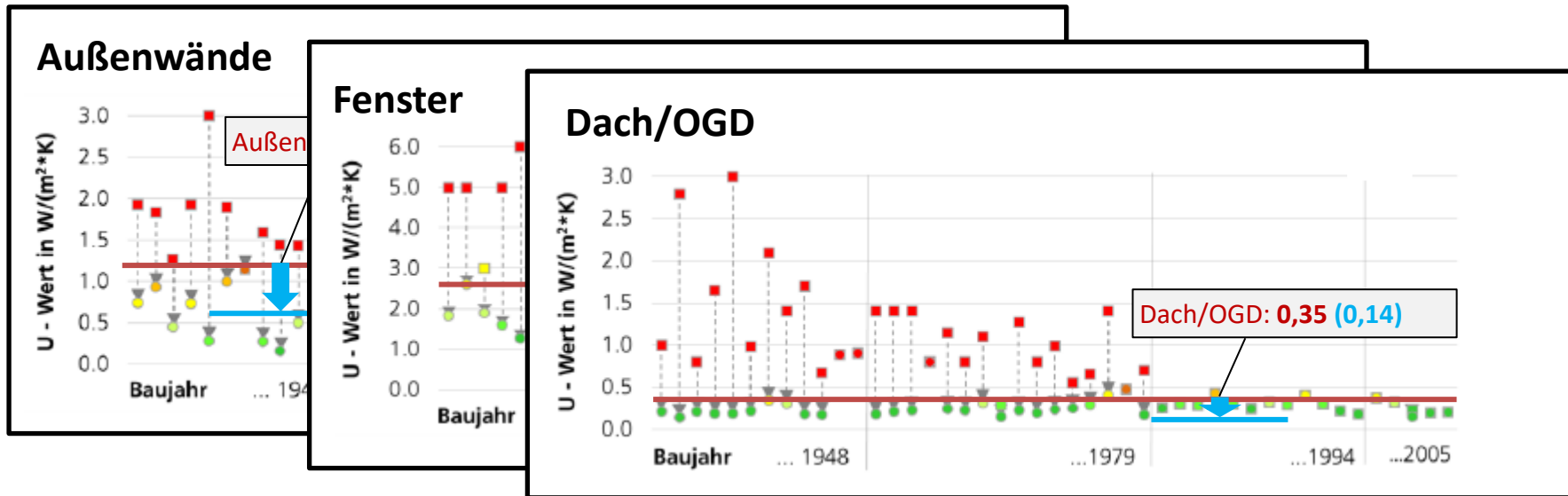
→ Energiekosten brutto: 25,3 Ct/kWh ohne Förderung,  
 17,3 Ct/kWh (nur Bundesförderung)  
**12,4 Ct/kWh (Bund- & Landesförderung)**

**Sanierung der Bestandsgebäude nicht sinnvoller?**

# Bracht: Vorgehensweise dezentrale Sanierung

## Gebäudesanierung mit Wechsel zu Luft-Wärmepumpe oder Biomassekessel

1. Detaillierte Daten für 27 Gebäude vorhanden (aus Energieberatungen LEA)  
→ Bauteilflächen, Wärmedurchgangskoeffizienten
2. Abschätzung von individuellen Maßnahmen für 27 Gebäude



### aus ISE-Feldtest:

1. Vorgabe:  $\phi$  JAZ=3,1 für Luftwärmepumpen
2. Vorgabe:  $\phi$  40% Fußbodenheizung bei Bestandsgebäuden
3. Sanierungsschwellwerte

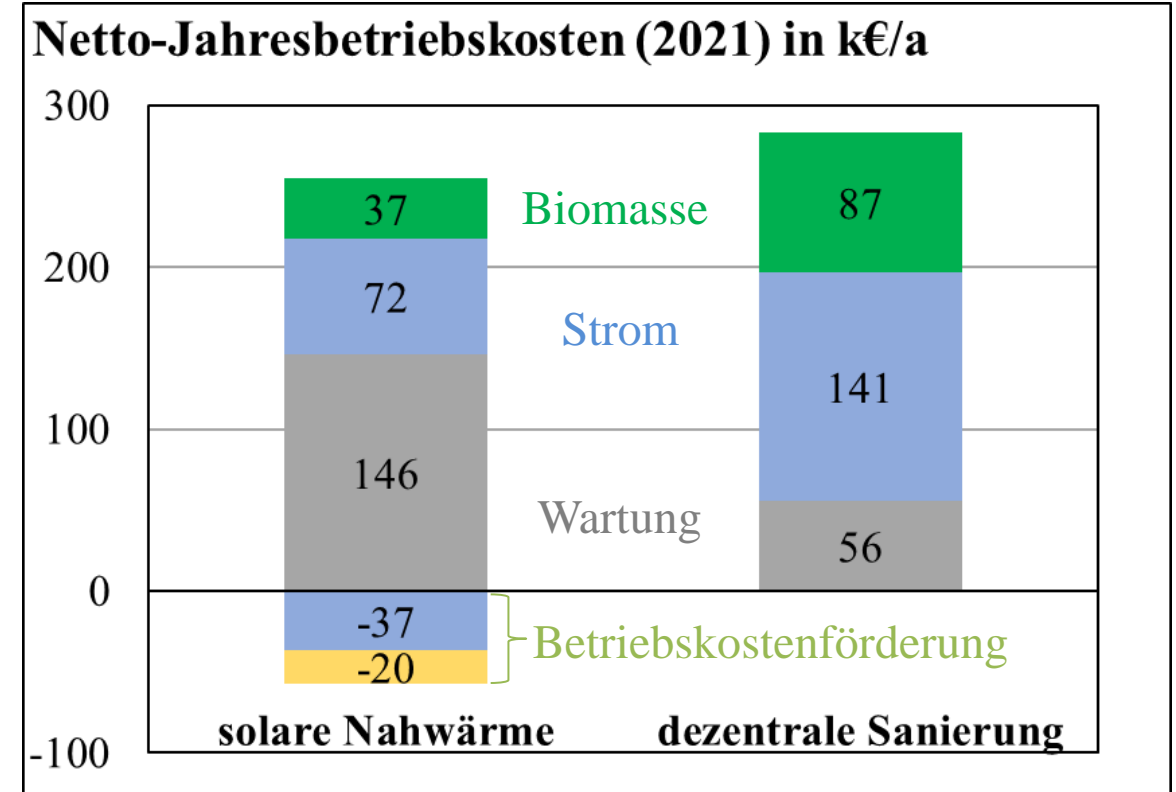
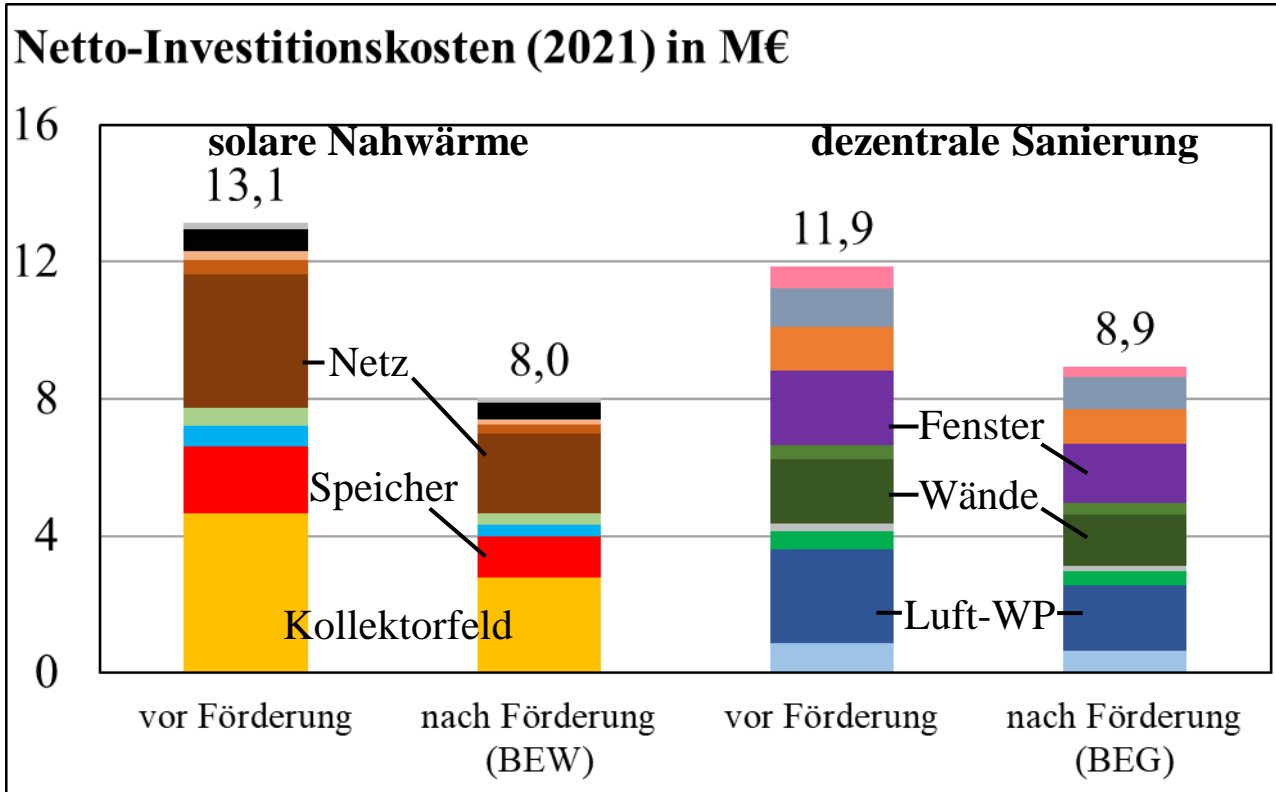
**Sanierungszielwerte nach BEG:**  
Förderbarkeit als Einzelmaßnahme

3. Extrapolation der Maßnahmen auf 180 Gebäude anhand des Baujahres:  
vor 1980 // 1980 bis 2000 // nach 2000

Abbildungen aus Studie entnommen:

Günther, D.; Wapler, J.; Langner, R.; Helmling, S.; Miara, M.; Fischer, D. et al. (2020): Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "WPSMART im Bestand". 2.1. Aufl. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg.

# Bracht: Vergleich der Investitions- und Betriebskosten

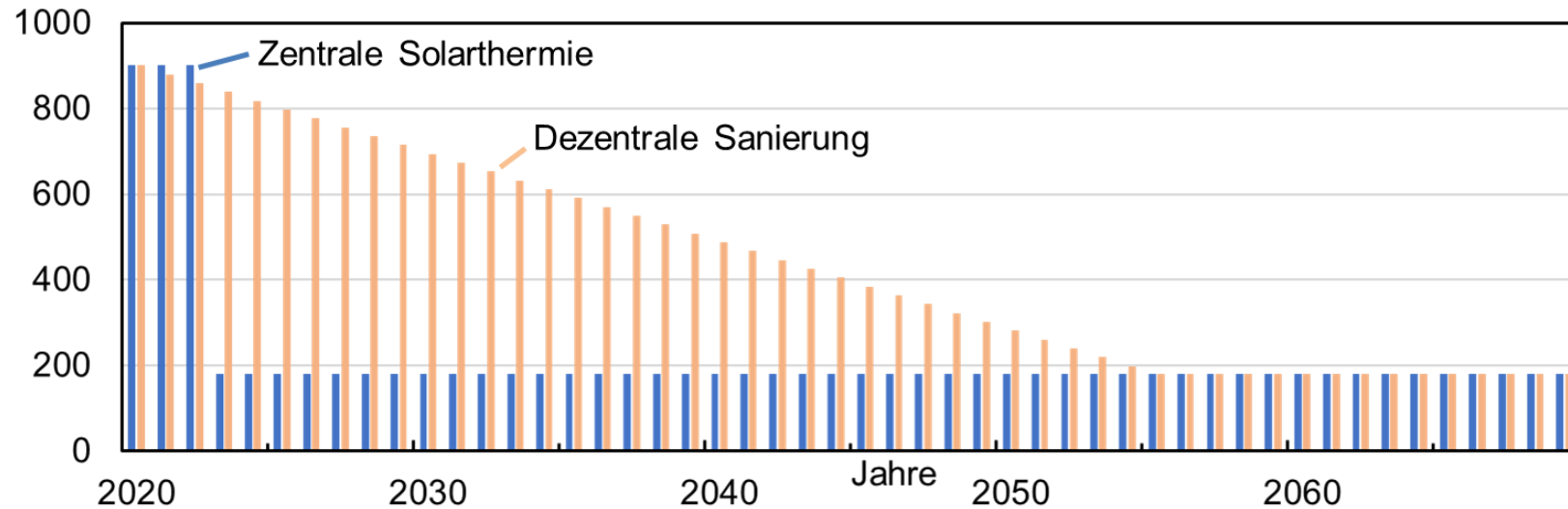


- Netto-Investitionskosten im Rahmen der Rechengenauigkeit praktisch gleich

- Betriebskosten (über 20 Jahre) bei solarer Nahwärme 10% bzw. 30% niedriger als bei dezentraler Sanierung

# Fazit Bracht: Netz vs. dezentrale Sanierung

Jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen in t



→ Wärmekosten je Durchschnitts-Gebäude sehr ähnlich

→ **Unterschied:**

- 80% CO<sub>2</sub>-Einsparung mit solarer Nahwärme deutlich schneller erreichbar
- Kumulierte THG-Emissionen der nächsten 30 Jahre dezentral 4x höher als solar (*ohne graue Energie*)

→ **Solare Nahwärme ist ökonomisch konkurrenzfähig und kann die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ländlicher Gebiete signifikant beschleunigen**

## Wärmenetz Bracht

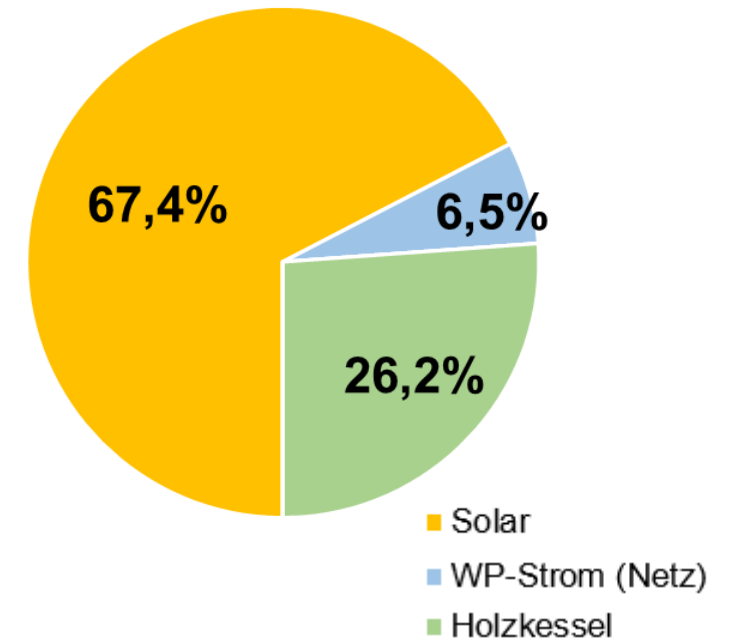
Auslegung: 80/50 °C, 250 Pa/m, Doppelrohre 2fach verstärkt  
Netzvariante: 162 minus 2 Abnehmer Stand 02/2022; Netzverlauf inkl. Infos eG

Gesamtverbrauch: 3601 MWh/a  
Trassenlänge: 8196 m (ohne Verbindungsleitung: 6946 m)  
Wärmebelegung: 439 kWh/(m\*a) (ohne Verbindungsleitung: 518 kWh/(m\*a) )  
Netzbaukosten: 2,95 Mio. €, also 0,82 €/kWh\*a) (Schätzung)  
Wärmeverluste: 615 MWh/a , also 14,6 % (Schätzung)  
Pumpenstrom: 10,8 MWh/a (Schätzung über 1500 Vollbelastungsstunden)

Simulationsergebnisse Auslegungszustand.  
Tagesmitteltemperatur: -12,0 °C  
Momentane Abnahme: 1557 kW / 1557 kW (Ist / Soll)  
Momentane Erzeugung: 1638 kW  
Momentane Verluste: 82 kW  
Druck Min / Max: 1,00 bar / 8,86 bar  
dp Abnehmer Mini/Max: 0,60bar / 3,21 bar

Strang Bracht | Strang Siedlung  
Leistung Erzeuger: 1217 | 421 kW  
dp Erzeuger: 4,23 | 2,89 bar  
Massenstrom Erzeuger: 34,5 | 12,0 t/h  
el. Leistung Pumpe: 5,8 | 1,4 kW (bei 70% Wirkungsgrad)

## Wärmeeintrag ins Netz



## Erneuerbares Wärmenetz

- Trotz „geringer“ Wärmebelegungsichte u. ungünstigen lokalen Bedingungen
- Mit > 2/3 Solarenergie
- „Sinnvoller“ als Gebäudesanierung

## Ausgangslage

- Wärmenetzsysteme im ländlichen Raum auch im Bereich 400...700 kWh/m\*a wirtschaftlich
- Vorteile: Flächenverfügbarkeit, Bürgerinitiativen und geringe Infrastrukturkosten
- Ländliche Netze bisher häufig Biomasse-basiert, ggf. bis 20 % Solarthermie

## Entwicklungen und Forschungsthemen

- BEW-Förderung: Besonders vorteilhaft für Großwärmepumpen (und Solarthermie)
  - Fokus auf zentrale WP mit warmem Netz wirtschaftlicher (zuvor: „kältere“ Netze mit vielen dezentralen WP)
  - Erschließung neuer Energiequellen (ggf. Niedertemperatur, z.B. Rechenzentren)
- 100 % erneuerbare Wärmenetze mit hohen Solaren Deckungsgraden (> 2/3) möglich
- Wärmenetze im Gebäudebestand vs. Gebäudesanierung u. dezentrale Energieversorgung:
  - Kosten je Gebäude vergleichbar (Wärmenetz durch Förderung günstiger)
  - CO<sub>2</sub>-Einsparungen sofort, nicht erst über 20 Jahre

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit**