

# Konzeptstudie zur Abwärmennutzung aus Rechenzentren in Frankfurt-Sossenheim und Eschborn

Dialogforum Nachhaltige Rechenzentren | DTdT23 am 13.6.2023

Studie im Auftrag von



LANDES  
ENERGIE  
AGENTUR



Hessisches Ministerium für  
Wirtschaft, Energie, Verkehr  
und Wohnen

In Kooperation mit

STADT  FRANKFURT AM MAIN





# Fragestellungen für Abwärmenutzung aus Rechenzentren

Zentrale Frage:

Welchen Beitrag kann die Abwärmenutzung aus RZ für die Dekarbonisierung der Gebiete leisten?

Eschborn-Mitte

Wärmebedarf der Gebiete?  
Zukünftige Entwicklung?

Eschborn-Süd

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

Wärmebedarf der Gebiete?  
Zukünftige Entwicklung?

Querung Autobahn?

Rechenzentrums  
Cluster

Frankfurt  
Sossenheim

Potential Abwärme?  
Aufwand zur Auskopplung?

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



# Abwärmepotential Rechenzentren

## RZ-Cluster in Frankfurt Sossenheim:

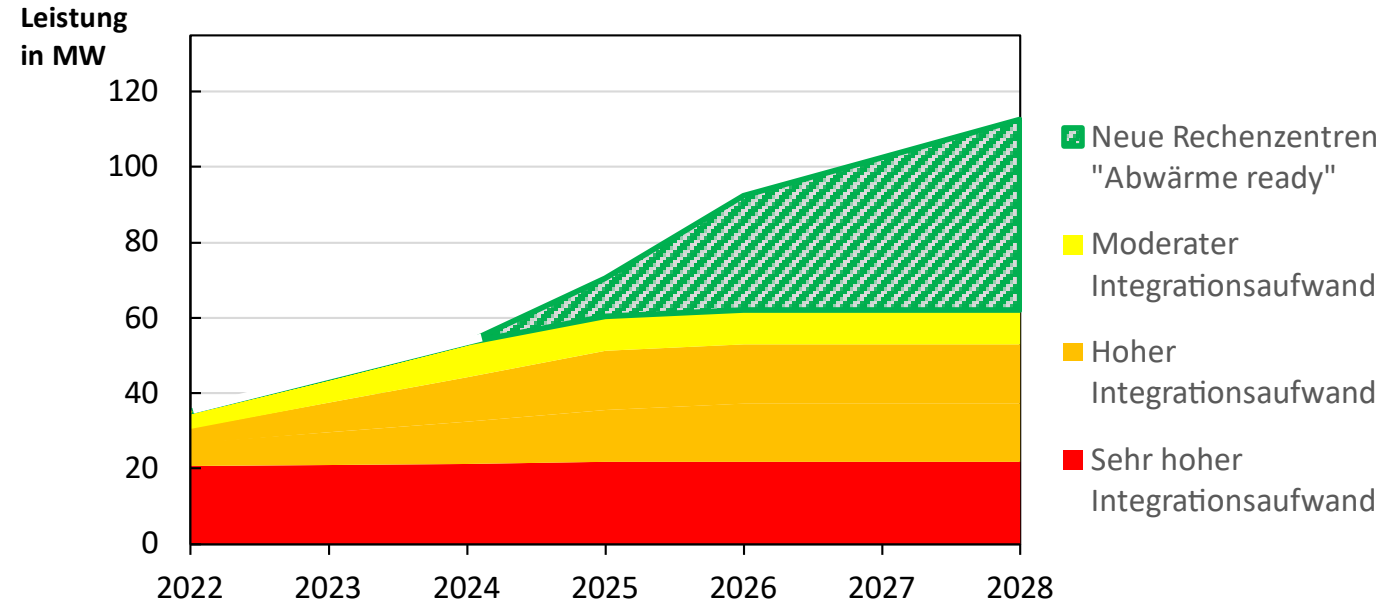
- 10 bestehende RZ, weitere 3+ große RZ in Planung

## Abwärmepotential:

- Hohe stetige Abwärmeleistung >35 MW
- Potential stark steigend auf > 100 MW (2028)
- Alle RZ setzen auf Luftgekühlte IT-Technik  
→ Abwärme Temperaturen ca. 25 °C / 15 °C

## Integrationsaufwand Abwärme:

- Interviews mit Betreibern zur Analyse der Kühltechnik  
→ Klassifizierung der RZ nach Integrationsaufwand
- Erschließung in bestehenden RZ meist mit hohen Hürden verbunden (dezentralisierte Kühltechnik, Umbau im laufenden Betrieb, Platzprobleme, u.v.a.)
- Bei neuen RZ sollte/muss (EnEfG) die Abwärme-Integration bereits bei Planung und Bau berücksichtigt werden → „Abwärme ready“



Abschätzung Abwärmepotential 2022-2028 nach Integrationsaufwand

-> Abwärmennutzung in bestehenden RZ sehr aufwändig / praktisch nicht möglich

-> Hohes, gut erschließbares Abwärmepotential (>40 MW) durch neue RZ

## Wärmebedarfsermittlung:

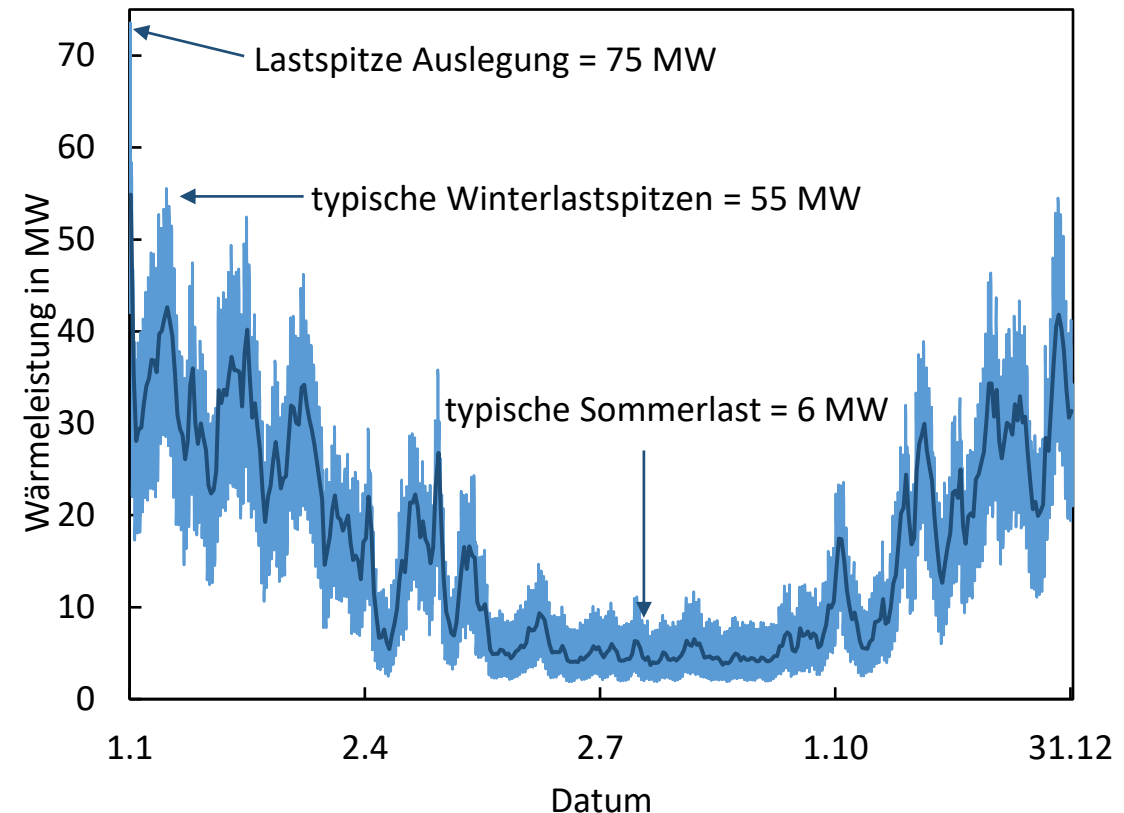
- Aus Daten zu Gasverbrauch und Gebäudegeometrie ermittelt (für Sossenheim aus Quartierskonzept GERTEC / ICM übernommen)
- Prognose Bedarfsentwicklung (Sanierung, Klimawandel, Flächenentwicklung)

## Erkenntnisse Wärmesenken:

- Bürostadt Eschborn-Süd mit außerordentlich hohem Wärmebedarf und Wärmebedarfsdichte
- Deutlich sinkender Wärmebedarf bis 2045 zu erwarten, insbesondere Eschborn-Süd (-43 %) => Kompensation durch Nachverdichtung / Netzerweiterung

## Lastprofil für das Wärmenetz:

- Erstellung stündliches Lastprofil mittels Standard-Lastprofilen („SigLinDe“, Unterscheidung von EFH, MFH und GHD)
- Bei 75 % Anschlussgrad: 144 GWh/a bei Spitzenlast 75 MW



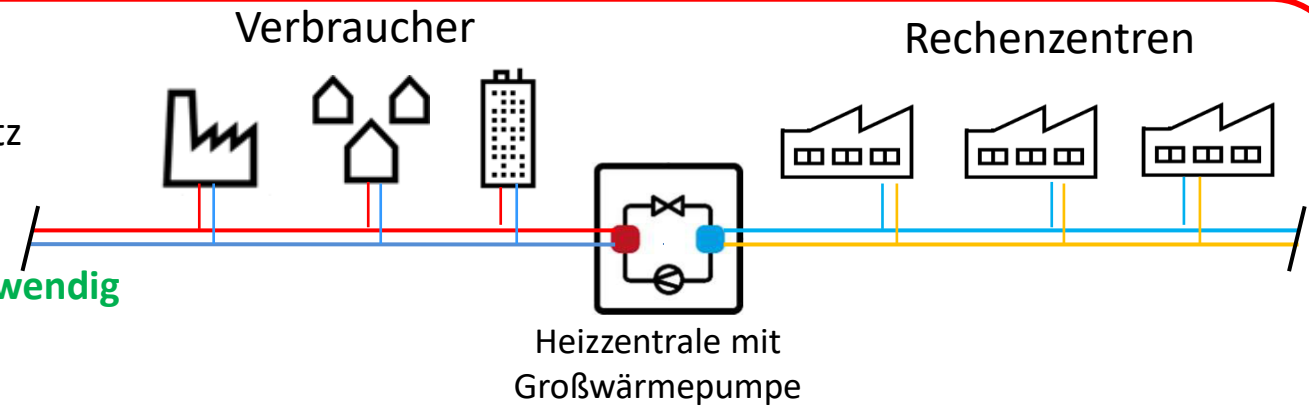
**Große Wärmesenken in unmittelbarer Nähe zu den Rechenzentren**

# Vergleich Versorgungskonzepte



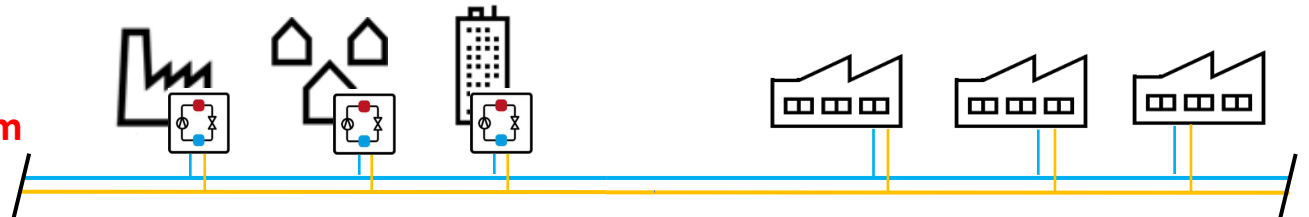
## a) Zentrale Großwärmepumpe(n)

- Heißes Wärmeverteilnetz, kaltes Abwärmesammelnetz
- Temperaturhub Sammelnetz auf Verteilnetz zentral
- **Versorgung von Bestandsgebäuden**  
→ flächendeckend ähnliche hohe Temperaturen notwendig
- **Skaleneffekte Hauptkomponenten nutzbar**
- **Unter den Randbedingungen passendes Konzept**



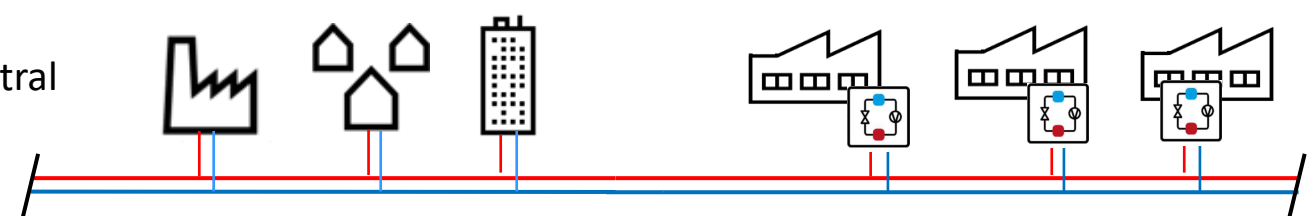
## b) Dezentrale Wärmepumpen Verbraucher

- Kaltes Wärmeverteilnetz = Abwärmesammelnetz
- Temperaturhub Wärmenetz auf Hausnetz dezentral
- **Temperaturniveau 25/15 °C erfordert auch bei kühlem Netz eine Isolation der Rohre**
- **Bei diesem großen Versorgungsgebiet absehbar zu hohe Netzbaukosten und Pumpaufwand**
- **Hohe Investkosten für dezentrale Wärmepumpen**



## c) Dezentrale Wärmepumpen Erzeuger

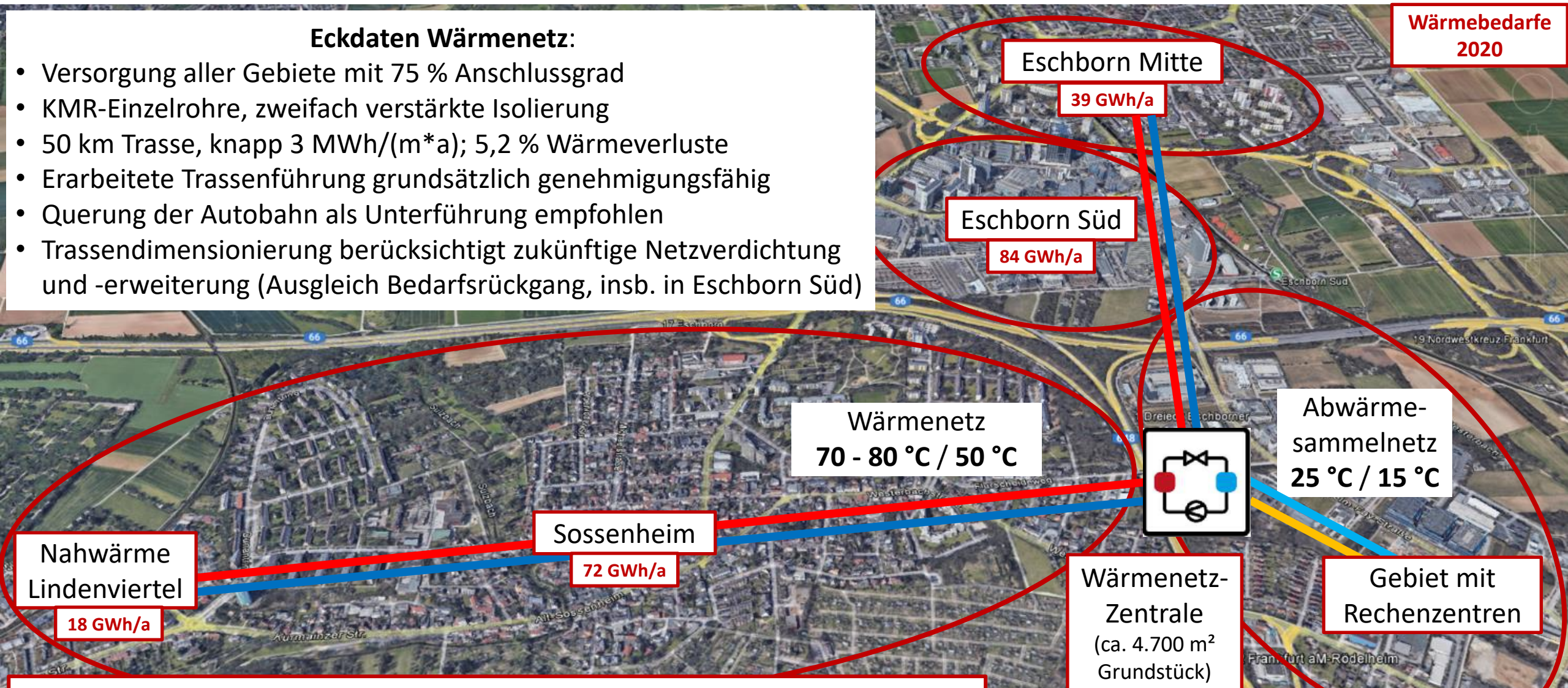
- Heißes Wärmeverteilnetz
- Temperaturhub Abwärme auf Wärmeverteilnetz dezentral
- **Platz für Wärmepumpen direkt bei Rechenzentren u. U. nicht verfügbar**
- **Komplexer Betrieb von Wärmepumpen und Netz**





## Eckdaten Wärmenetz:

- Versorgung aller Gebiete mit 75 % Anschlussgrad
- KMR-Einzelrohre, zweifach verstärkte Isolierung
- 50 km Trasse, knapp 3 MWh/(m\*a); 5,2 % Wärmeverluste
- Erarbeitete Trassenführung grundsätzlich genehmigungsfähig
- Querung der Autobahn als Unterführung empfohlen
- Trassendimensionierung berücksichtigt zukünftige Netzverdichtung und -erweiterung (Ausgleich Bedarfsrückgang, insb. in Eschborn Süd)



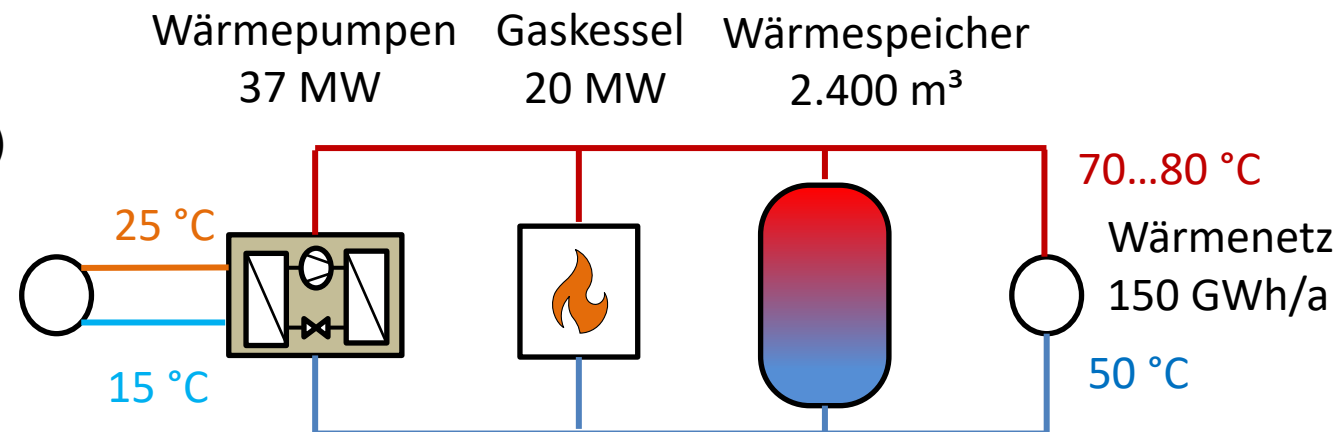
Quelle Hintergrundbild: <https://www.google.de/maps/>

→ Hoher Wärmebedarf in direkter Nachbarschaft zu Rechenzentren  
→ Autobahnquerung und Versorgungsleitung ist technisch umsetzbar

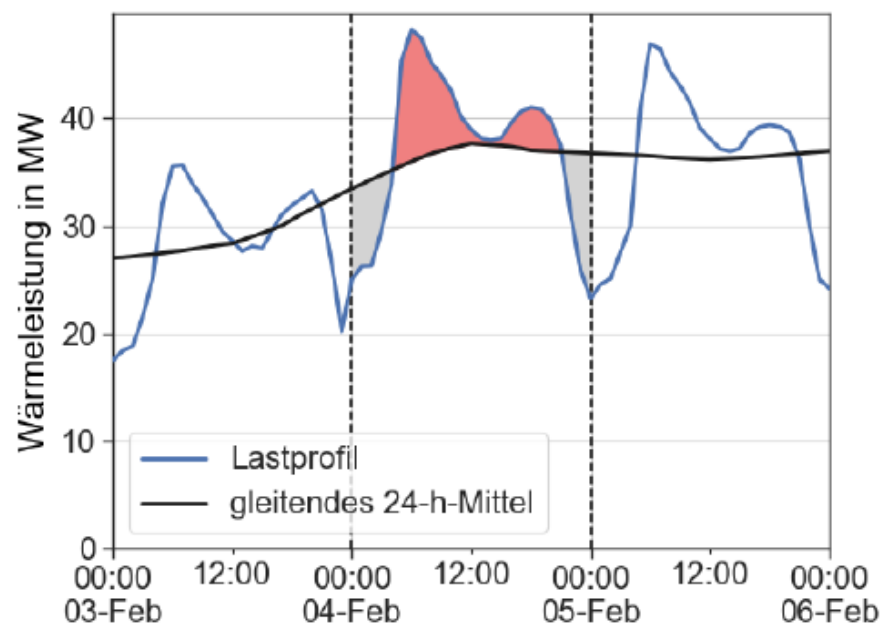
# Wärmeerzeugung

## Auslegung

- Großwärmepumpen 37 MW (3 Aggregate mit jeweils 12,3 MW)  
Kältemittel R1234ze (GWP < 1)
- Spitzenlast-Gaskessel 20 MW
- Speicher 2.400 m<sup>3</sup> bzw. 82 MWh  
(optimiert für Glättung Tagesgang)



Lastglättung mit Wärmespeicher



Wärmepumpe: 8500\*4500\*6300 (L\*B\*H)

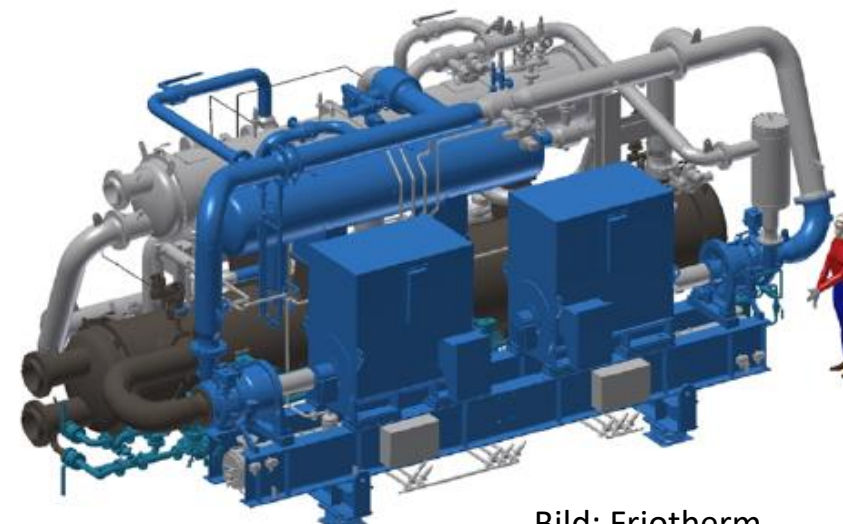


Bild: Friotherm



# Wärmeerzeugung

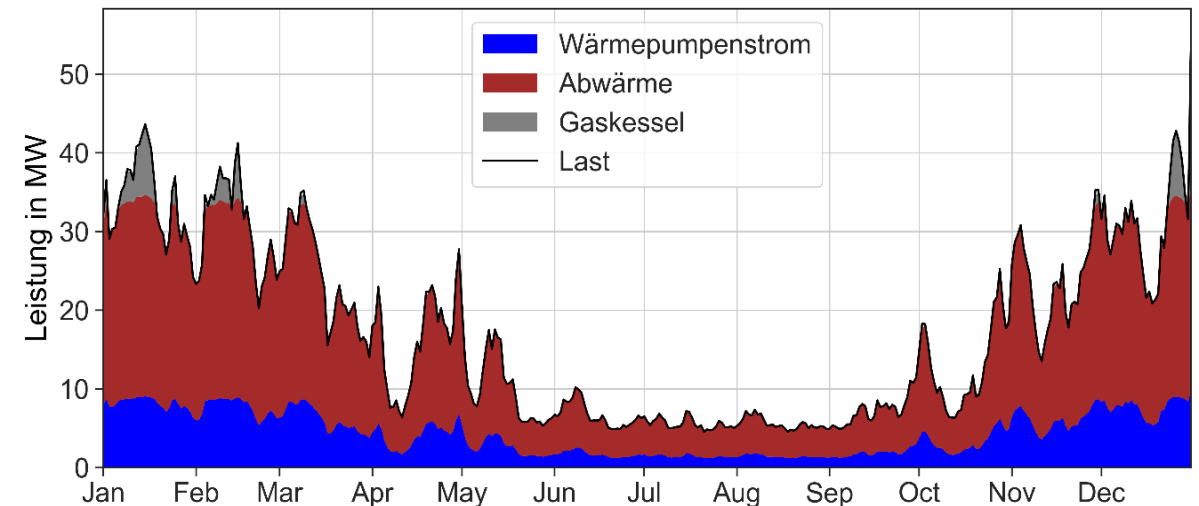
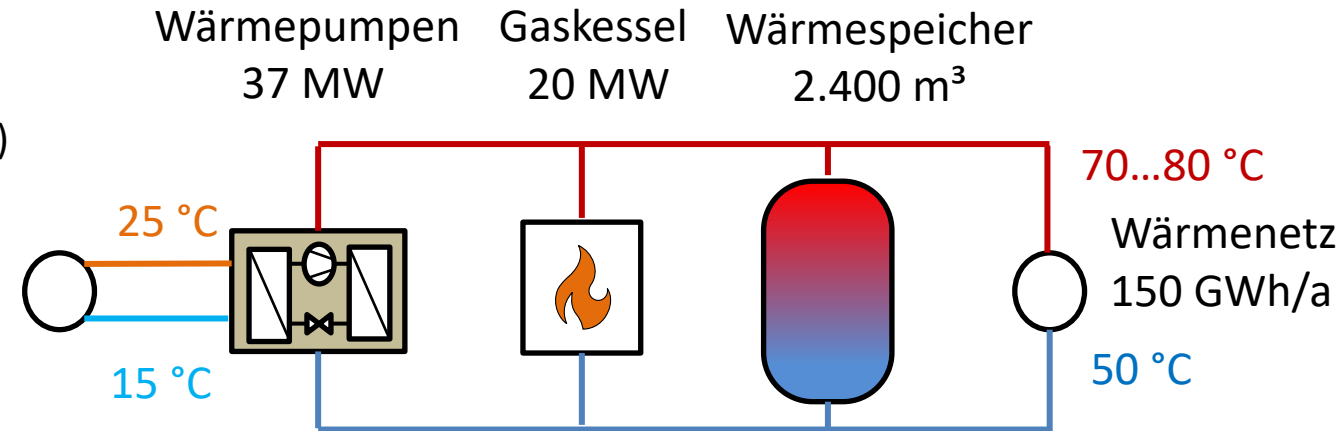
## Auslegung

- Großwärmepumpen 37 MW (3 Aggregate mit jeweils 12,3 MW)  
Kältemittel R1234ze (GWP < 1)
- Spitzenlast-Gaskessel 20 MW
- Speicher 2.400 m<sup>3</sup> bzw. 82 MWh  
(optimiert für Glättung Tagesgang)

## Energiebilanz

- Anteil Großwärmepumpen 97,5 %, 4000 Vollbenutzungsstunden
- Anteil Gaskessel 2,5 % (höherer Gasanteil nicht wirtschaftlich)
- JAZ Groß-WP = 3,85
- Verdrängung von 140 GWh/a fossiler Brennstoffe  
(Erdgas und Heizöl)
- **CO<sub>2</sub>-Vermeidung: im Mittel -80 % (=25.000 t/a), 2045 sogar -96 %**

**Wärmeversorgung fast ausschließlich durch  
Wärmepumpen mittels RZ-Abwärme;  
Dekarbonisierung der Wärmeversorgung bis 2045**



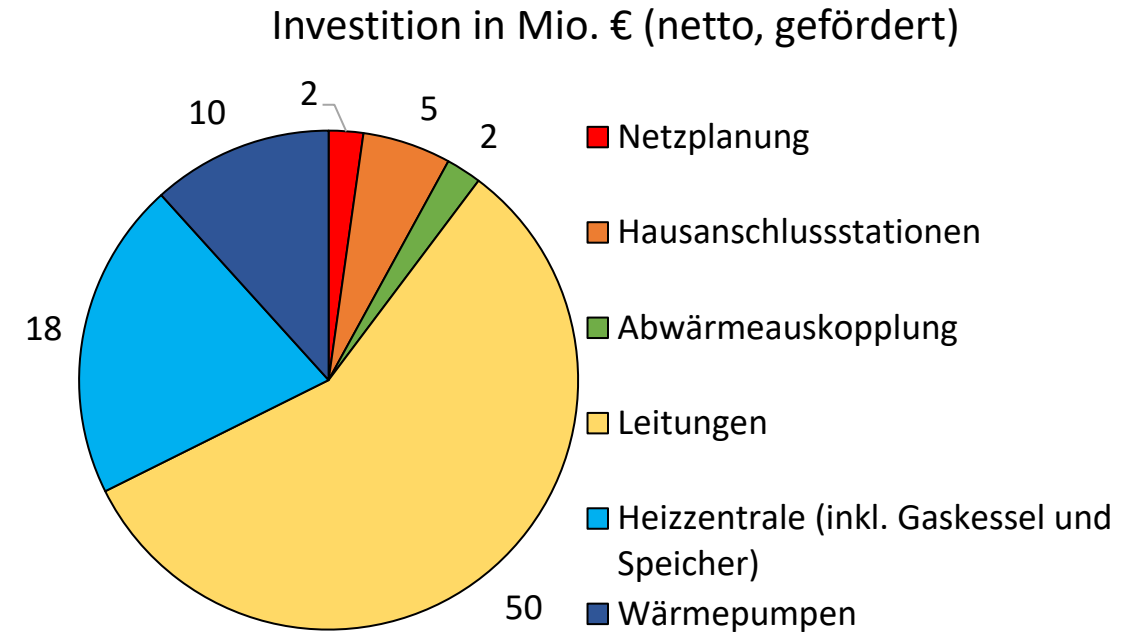


## Gesamtinvestition

- Investitionsvolumen: 135 Mio € (netto); mit Förderung 90 Mio. €
- davon 60 % Wärmenetz, 30 % Heizzentrale, 10 % Abwärme-Auskopplung mit Sammelnetz
- Investition für Abwärmeauskopplung an den Rechenzentren vergleichsweise klein

## Spezifische Investitionskosten

- Leitungen:
  - deutliche Preissteigerung des letzten Jahres: 1000 €/Trassenmeter (DN 25) bis 4000 €/m (DN400)
  - Im Durchschnitt 1560 €/Trassenmeter (netto)
- Groß-Wärmepumpen: 440 €/kW (netto, ohne Förderung), Angebot der Firma Friotherm von Anfang 2023



**Investitionsvolumen von 135 Mio. € bzw. 90 Mio. € mit Förderung, Großteil für Wärmenetz**

# Wirtschaftlichkeit

## Wärmegestehungskosten:

- mit Förderung: **118 €/MWh** (netto) im Mittel zwischen 2025 und 2045

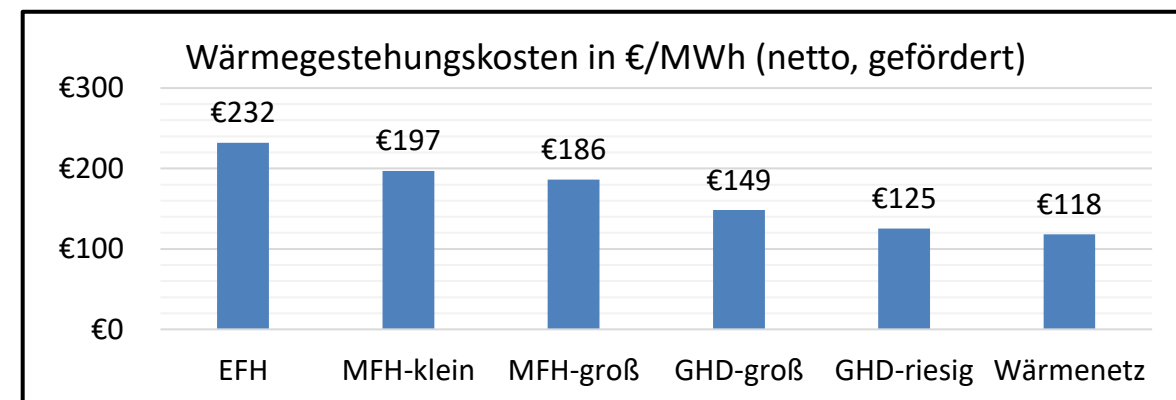
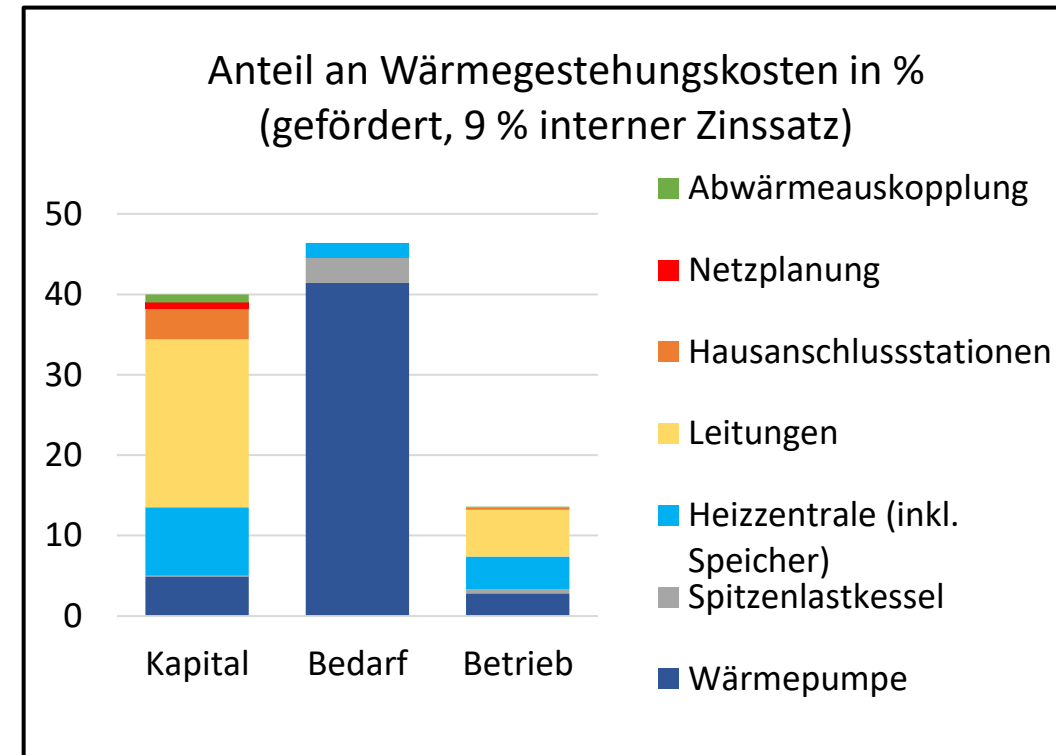
## Annahmen:

- 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

## Vergleich mit dezentralen Wärmepumpen:

- Abwärmenutzung über Wärmenetz ist günstiger als dezentrale Wärmepumpe, für alle Gebäudetypen
- interner Zinssatz 3 % (dezentrale Wärmepumpen)

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





# Fazit

## Machbarkeitsstudie Frankfurt-Sossenheim und Eschborn

- Think Big: Großes Wärmenetz mit 50 km Trassenlänge, 135 Mio € Invest
- Technisch und wirtschaftlich machbar, 118 €/MWh Vollkosten für Wärme

## Allgemein

- Abwärmenutzung muss in neuen Rechenzentren von Anfang an vorgesehen werden
- Abwärme aus Rechenzentren ist eine wichtige Wärmequelle zur Dekarbonisierung umliegender Gebiete

## Kontakt



**Dr. Janybek Orozaliev**

Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik

**Universität Kassel**

**Institut für Thermische Energietechnik**

Kurt-Wolters-Str. 3, 34125 Kassel

Tel.: +49 561 804 2636

[orozaliev@uni-kassel.de](mailto:orozaliev@uni-kassel.de) [www.solar.uni-kassel.de](http://www.solar.uni-kassel.de)

**Danke für die Förderung an**



Hessisches Ministerium für  
Wirtschaft, Energie, Verkehr  
und Wohnen



LANDES  
**ENERGIE**  
AGENTUR