

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

We are designing the climate-neutral energy systems of the future

Vorstellung Fraunhofer IEG



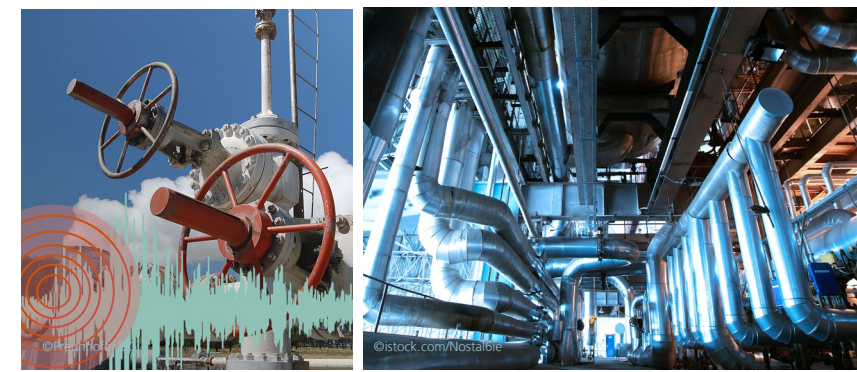
-  Bioökonomie
-  Next Generation Computing
-  Intelligente Medizin
-  Künstliche Intelligenz
-  Quantentechnologien
-  Ressourceneffizienz und Klimatechnologien
-  Wasserstofftechnologien

-  Digitalwirtschaft
-  Mobilitätswirtschaft
-  Anlagen- und Maschinenbau
-  Gesundheitswirtschaft
-  Chemische Industrie
-  Ernährungswirtschaft
-  Energiewirtschaft
-  Bauwirtschaft
-  Luft- und Raumfahrtwirtschaft

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

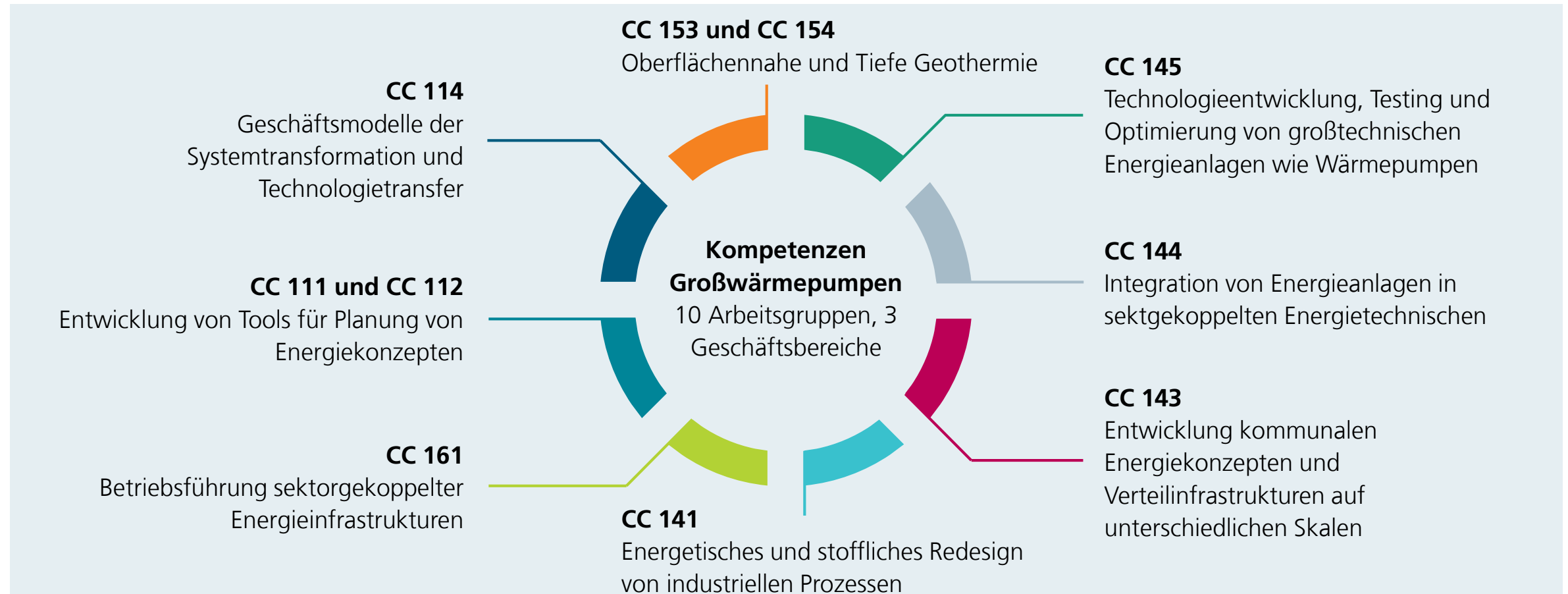
Vorstellung Fraunhofer IEG

- Integrierte **Energieinfrastrukturen**
 - Transport-/Übertragungs- und **Verteilnetze**
 - Sektorengekoppelte, integrierte **Quartiersplanung** (Open District Hub)
 - **Wasserstoffinfrastrukturen** (Netze und Speicher)
 - **Systemtransformation** und Technologietransfer
- Exploration und Erschließung von **Georessourcen**
 - **Geothermale Energie**, flache bis tiefe geothermale Systeme
 - **Geotechnologien**, Bohrtechnologien und -verfahren
 - **Untertägige Speicher** für Stoffe und Energien, Bergbaufolgenutzung
 - Carbon Storage/Utilization (**CCS/CCU**)
- Entwicklung **netzdienlicher thermischer Energieanlagen**
 - **Wärme-/Kältenetze** der 4. und 5. Generation
 - **Obertägige Speicher** für Energie und **Integration** sektorengekoppelter Energieanlagen
 - Effizientes Redesign **verfahrenstechnischer Prozesse** und **Carbon Capture**
- **Steuerung, Regelung, Automatisierung** & Betriebsführung von Energiesystemen
 - Dezentrale, **intelligente Netze** und Systeme
 - Integrierte **Gebäudeenergietechnik**



Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Wärmeversorgungskompetenzen am Fraunhofer IEG



Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

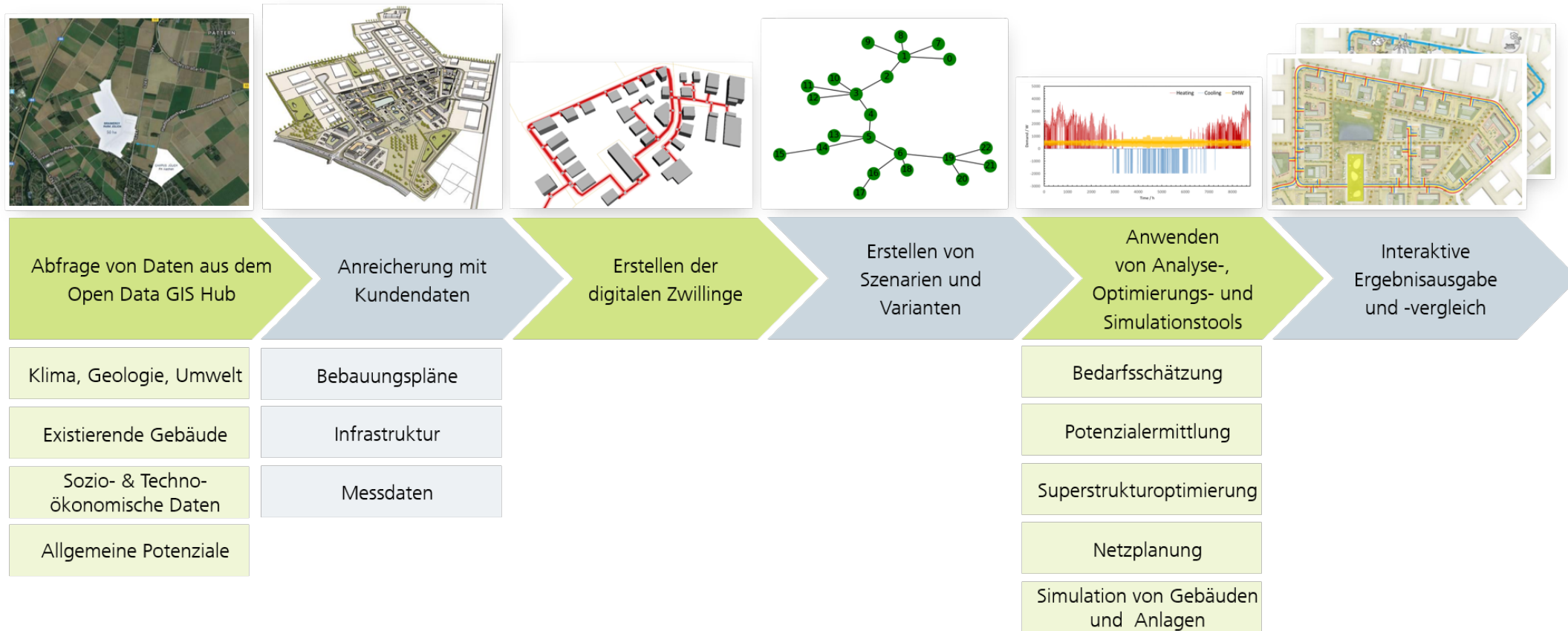
IEG Leistungen im Hinblick auf Leistungsphasen HOAI und Modulen BEW

HOAI Phasen		BEW Module		IEG Leistungen
1. Grundlagenermittlung		1. Transformations- und Machbarkeitsstudien		1. Definition Lösungsraum
2. Vorplanung				2. Analyse IST-Zustand
3. Entwurfsplanung		2. Neubau und Transformation von Bestandsnetze		3. Energetische Bedarfsentwicklung
4. Genehmigungsplanung				4. Potenzialanalyse Ressourcen
5. Ausführungsplanung		3. Einzelmaßnahmen		5. Zielsysteme und Zwischenstufen bis 2050
6. Vorbereitung Vergabe				6. Gemeinsames Umsetzungsprogramm
7. Mitwirkung Vergabe				7. Konzeptentwicklung (Bauherrnunterstützung)
8. Objektüberwachung		4. Betriebskosten		8. Konzeptüberwachung (Bauherrnunterstützung)
9. Objektbetreuung				9. Monitoring und Optimierung

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Integrierte Wärmeplanung von Kommunen, Quartieren & Gebäuden

Integrierte Quartiersplanung – ODH (Open Data Hub) - Prozessablauf

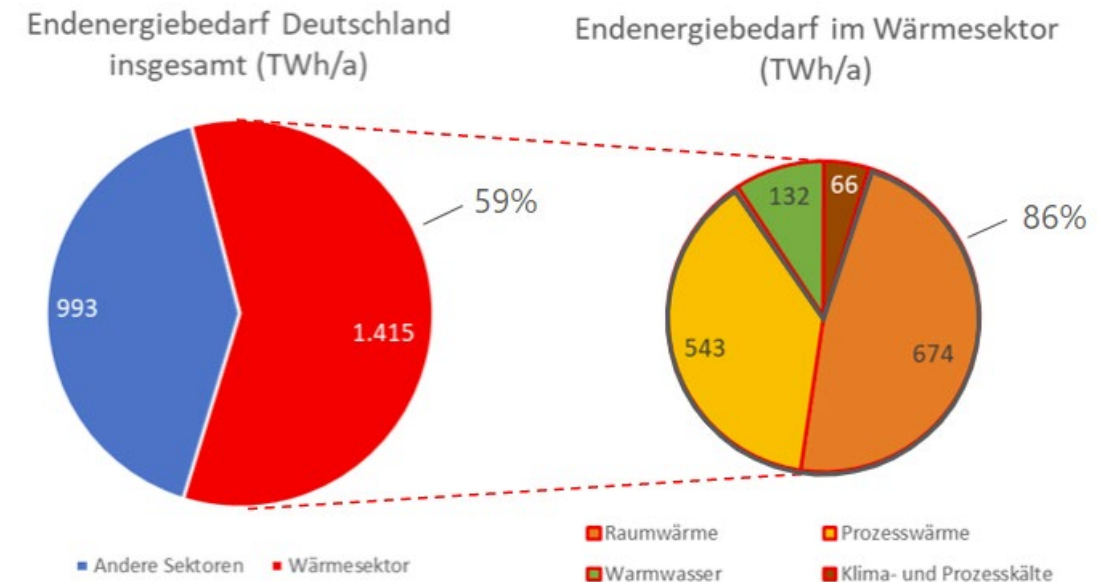


Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Motivation

Bedeutung Raum- und Prozesswärme

- 86% des gesamten Wärmebedarfs oder 51% des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland im Jahr 2021 entfielen auf Raumwärme und Prozesswärme.
- Immer noch wird rund 80 Prozent des Wärmebedarfs durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gedeckt.
- Im Gebäudesektor werden noch die Hälfte aller Wohnungen mit fossilem Gas versorgt.
- Der Anteil der Fernwärme am Endenergiebedarf verharrt mit etwa 8 Prozent auf ähnlichem Niveau wie 2011.

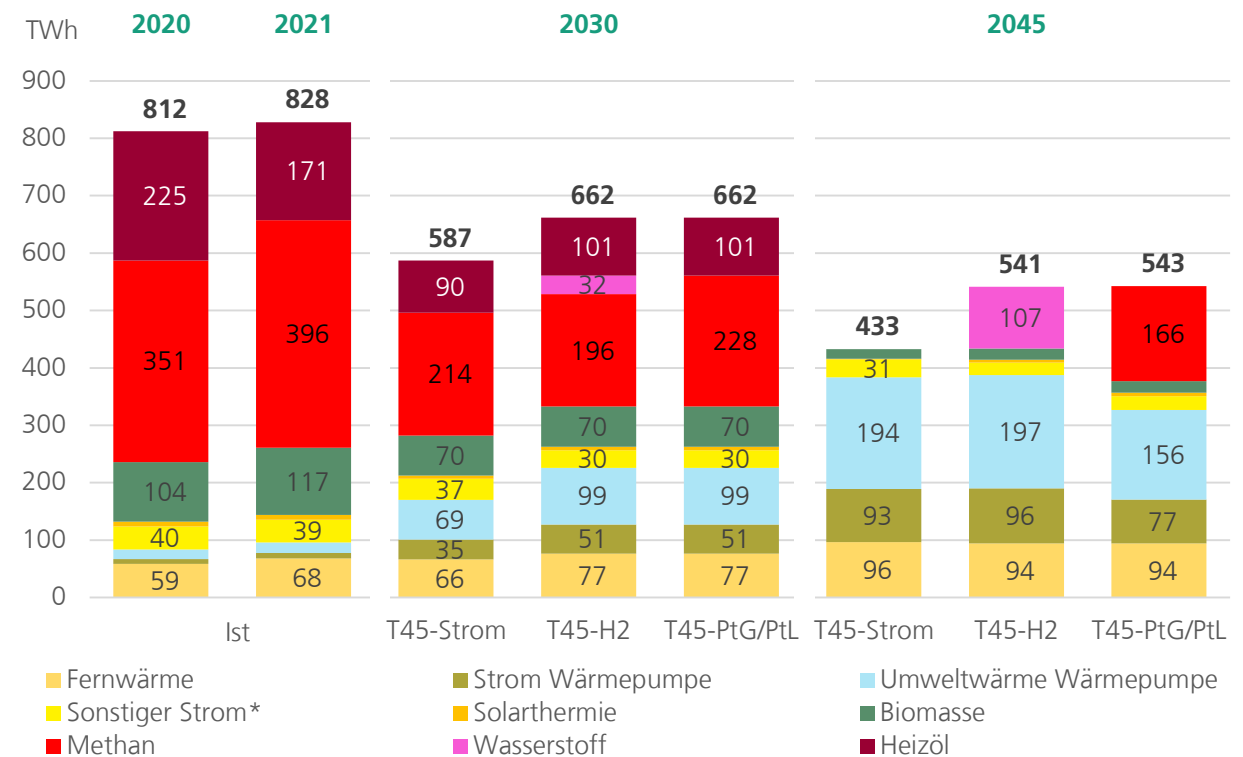


Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Wärmeversorgung der Zukunft

Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Gebäudesektor

- Immer noch wird rund 80 Prozent des Wärmebedarfs durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gedeckt.
- Im Gebäudesektor werden noch die Hälfte aller Wohnungen mit fossilem Gas versorgt.
- Der Anteil der Fernwärme am Endenergiebedarf verharrt mit etwa 8 Prozent auf ähnlichem Niveau wie 2011.



Fraunhofer IEG basierend auf AGEb (2022b), Fraunhofer ISI et al. (2022b), Mellwig et al. (2021)

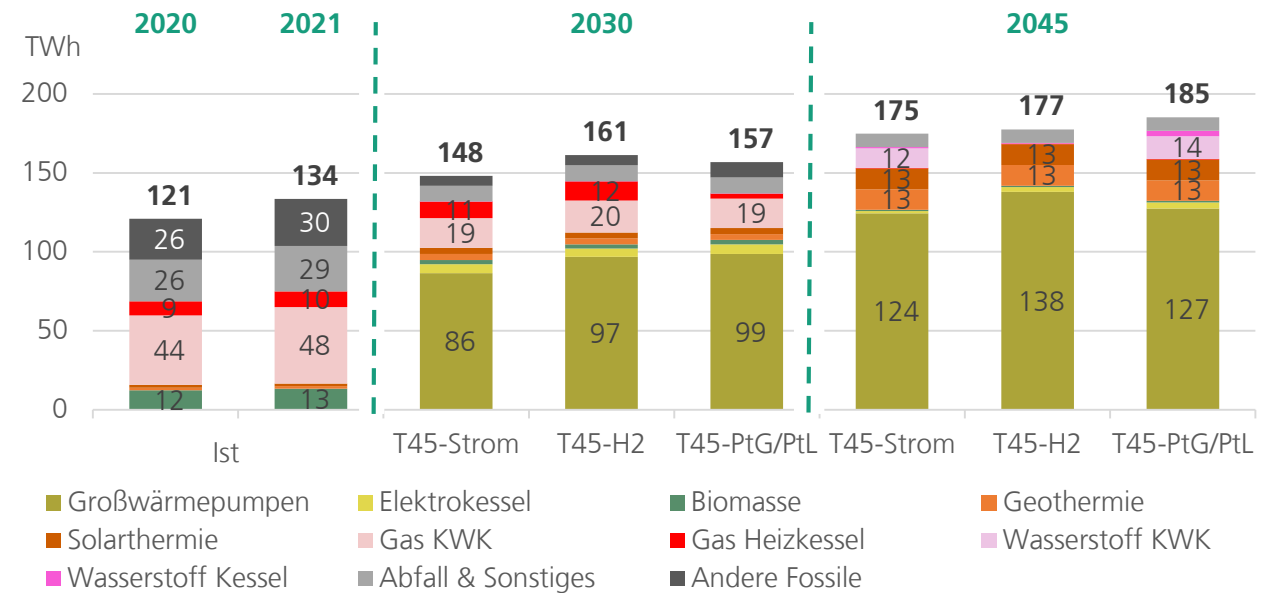
* Direktheizung, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Strom- und Wärmeversorgung der Zukunft

Technologie- und Energieträgemixes zur Fernwärmeerzeugung in den T45-Szenarien

- Immer noch wird rund 80 Prozent des Wärmebedarfs durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gedeckt.
- Im Gebäudesektor werden noch die Hälfte aller Wohnungen mit fossilem Gas versorgt.
- Der Anteil der Fernwärme am Endenergiebedarf verharrt mit etwa 8 Prozent auf ähnlichem Niveau wie 2011.



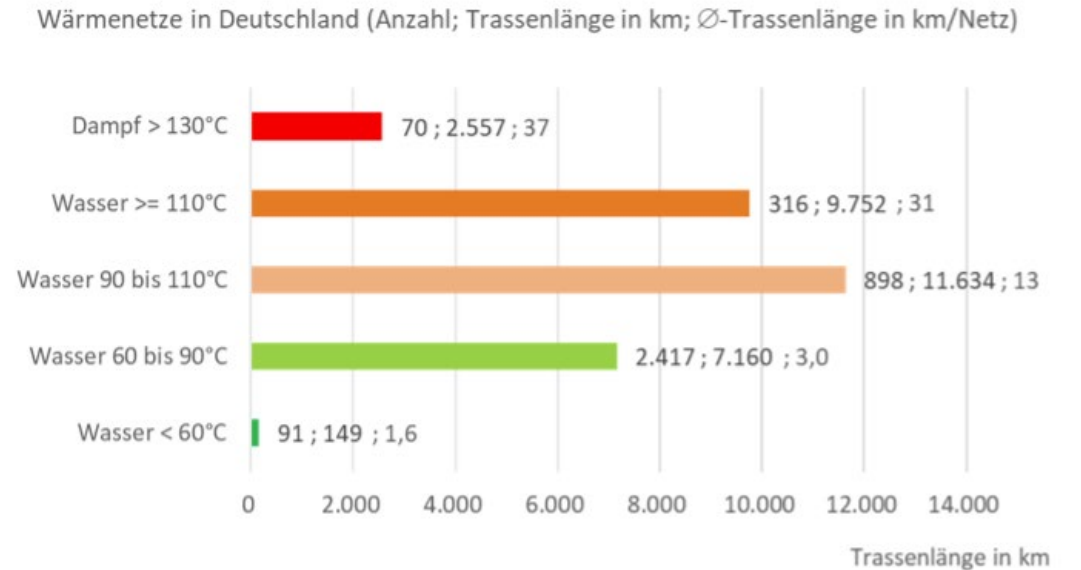
Fraunhofer IEG basierend auf AGEB (2022a), AGEE (2022), AGFW (2022), Fraunhofer ISI et al. (2022b)

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Ist-Stand

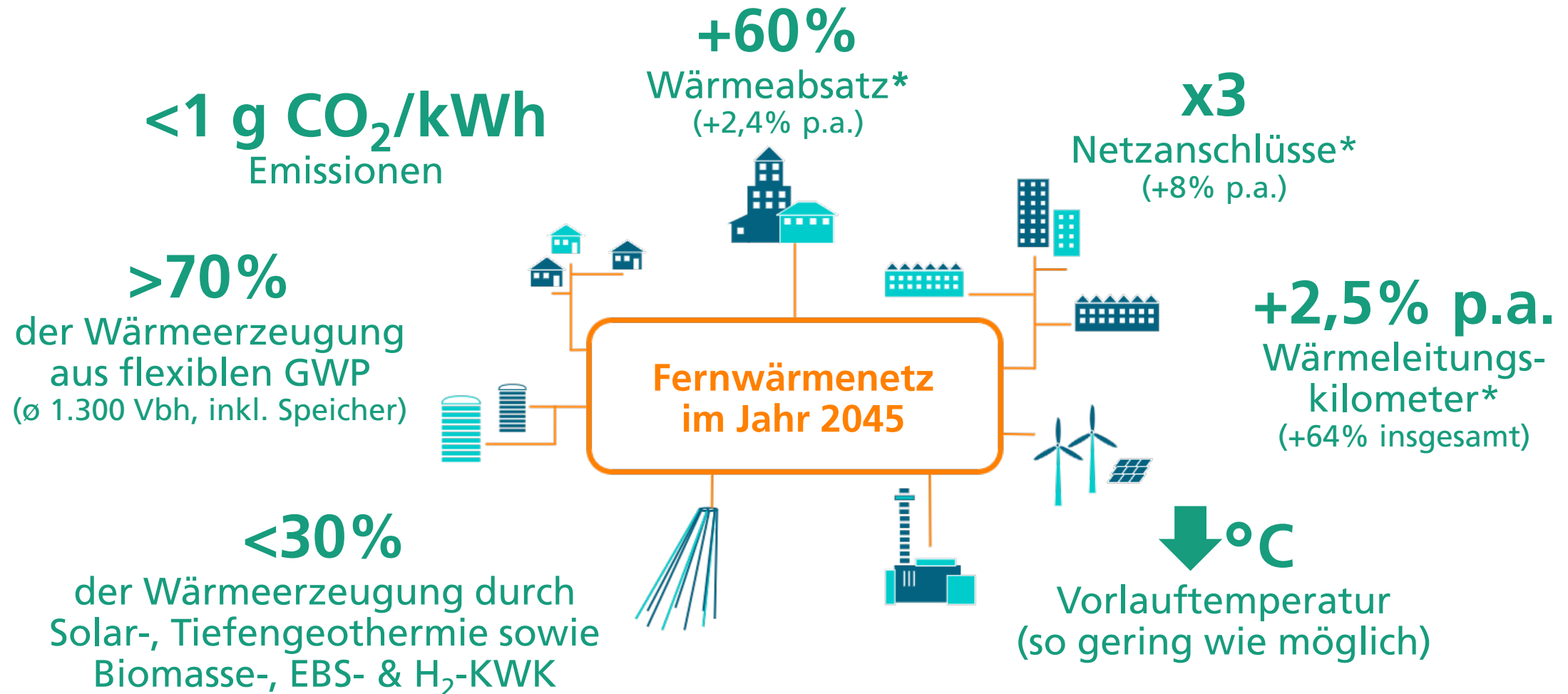
Trassen der Netze in Deutschland

- In Deutschland betreiben derzeit ca. 465 Fernwärmenetzbetreiber (BDEW 2022)
- Zahlreiche Nahwärme- und Quartiersnetzbetreiber knapp 3.800
- Fernwärmenetze mit hohen Temperaturniveaus sind in der Regel besonders große Netze
- Im Jahr 2020 betrug der Netto-Zubau in den Wärmenetzen rund 423 km (619,3 km Zubau vs. 196,3 km Rückbau).



Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

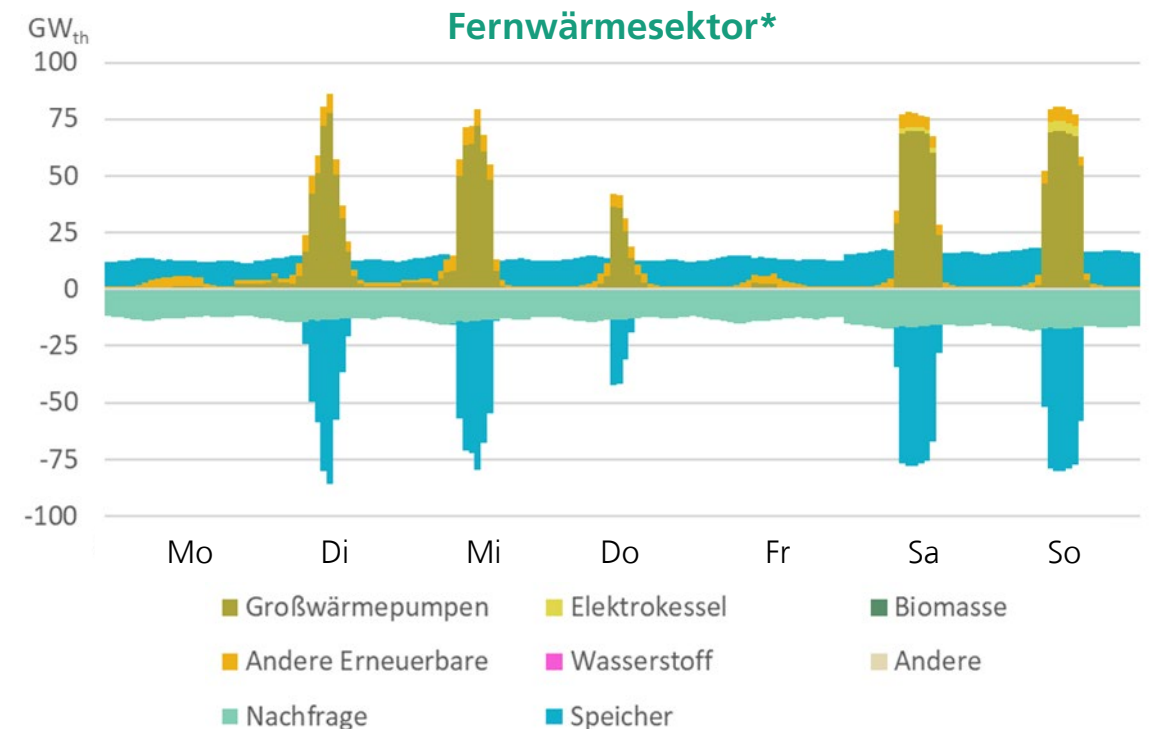
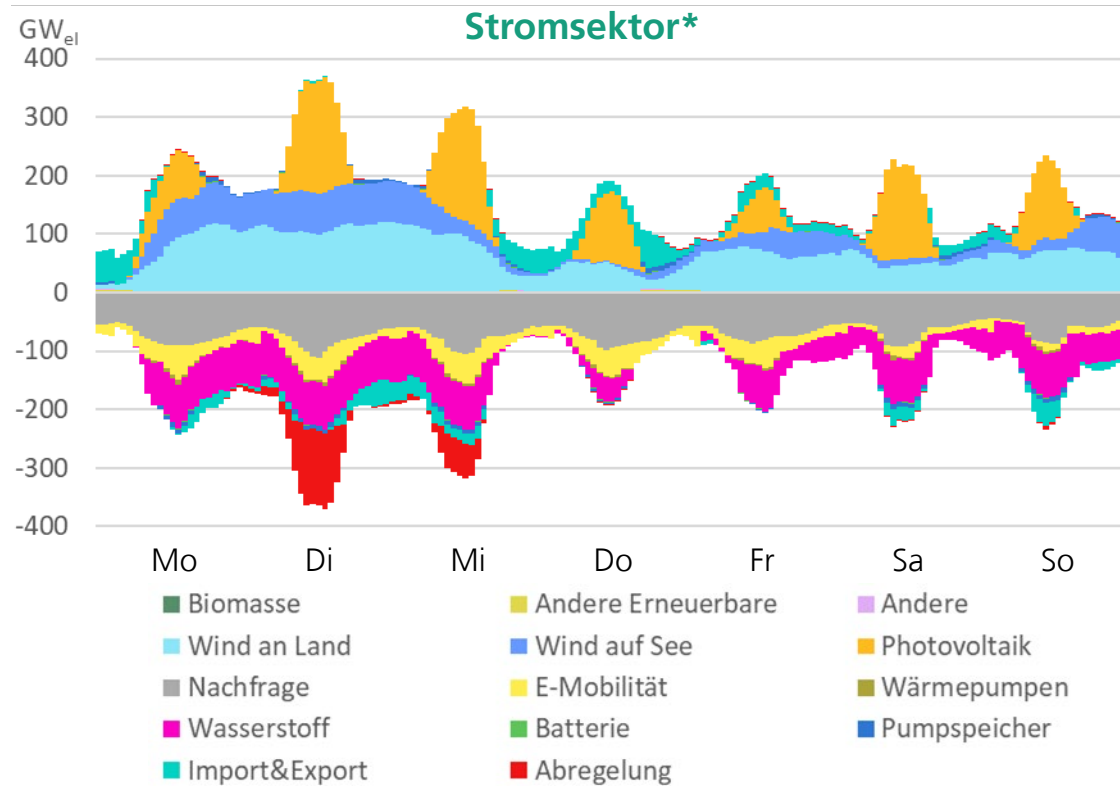
Fernwärmenetz einer deutschen Stadt 2045 im Vergleich zu 2020



* ggü. dem Stand im Jahr 2020; Zahlen auf Basis von: [Langfristszenarien III](#) (Sensfuß et al. 2022)

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Entwicklung des Stromangebots

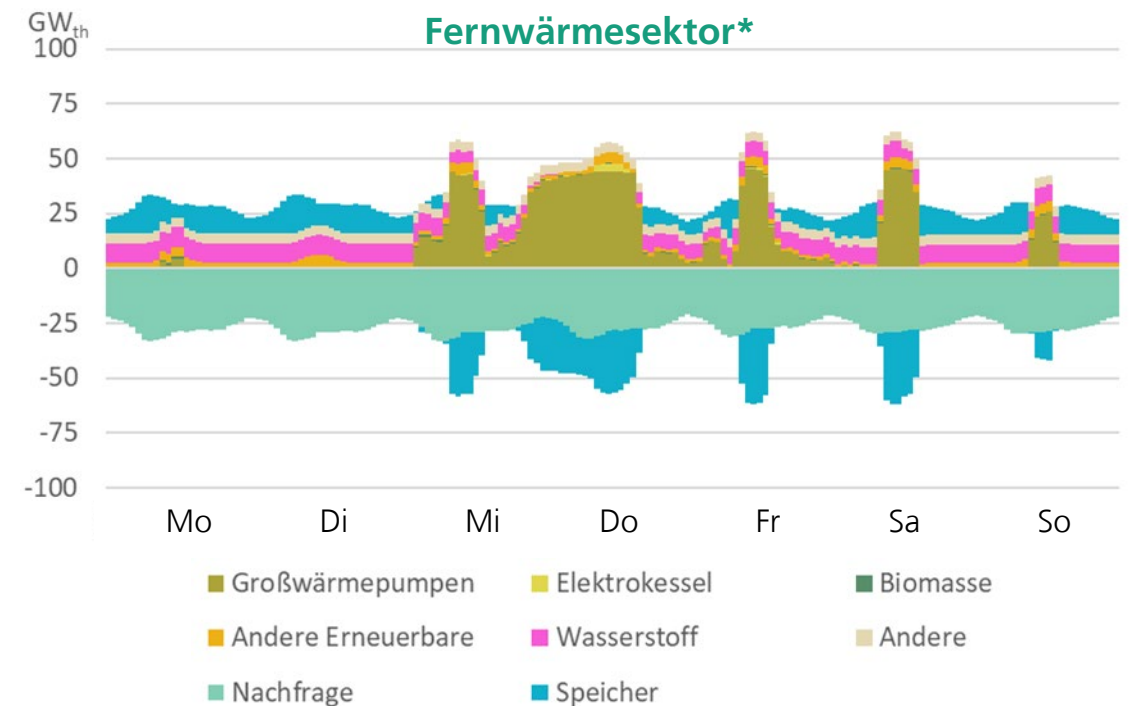
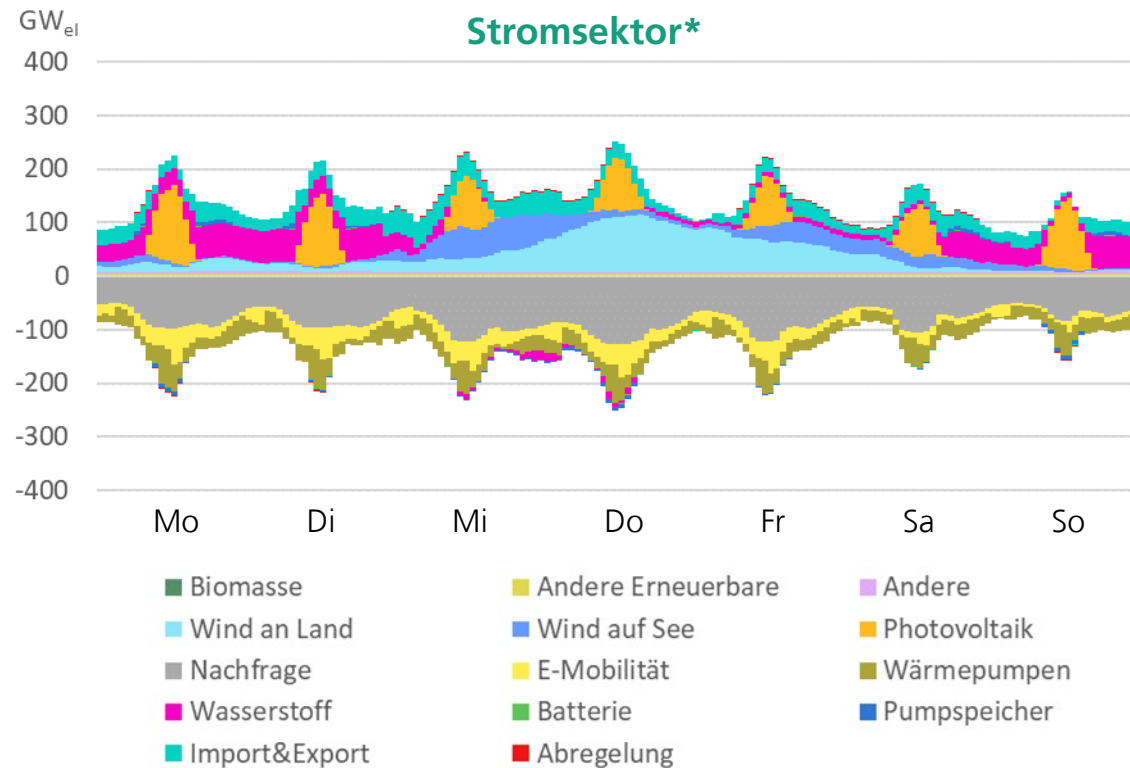


- Hohe EE-Stromerzeugung & geringer Wärmebedarf = hohe Netzauslastung & niedrigere Strompreise → Wärmepumpen laufen & die meiste Wärme wird für später gespeichert, wenn sie gebraucht wird. → Großwärmepumpen müssen große Leistungsbereiche mit hohen Lastgradienten abdecken.

* Anfang Februar 2045 im T45-Stromszenario; eigene Darstellung auf Basis von [Fraunhofer ISI \(2022\)](#)

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Entwicklung des Stromangebots



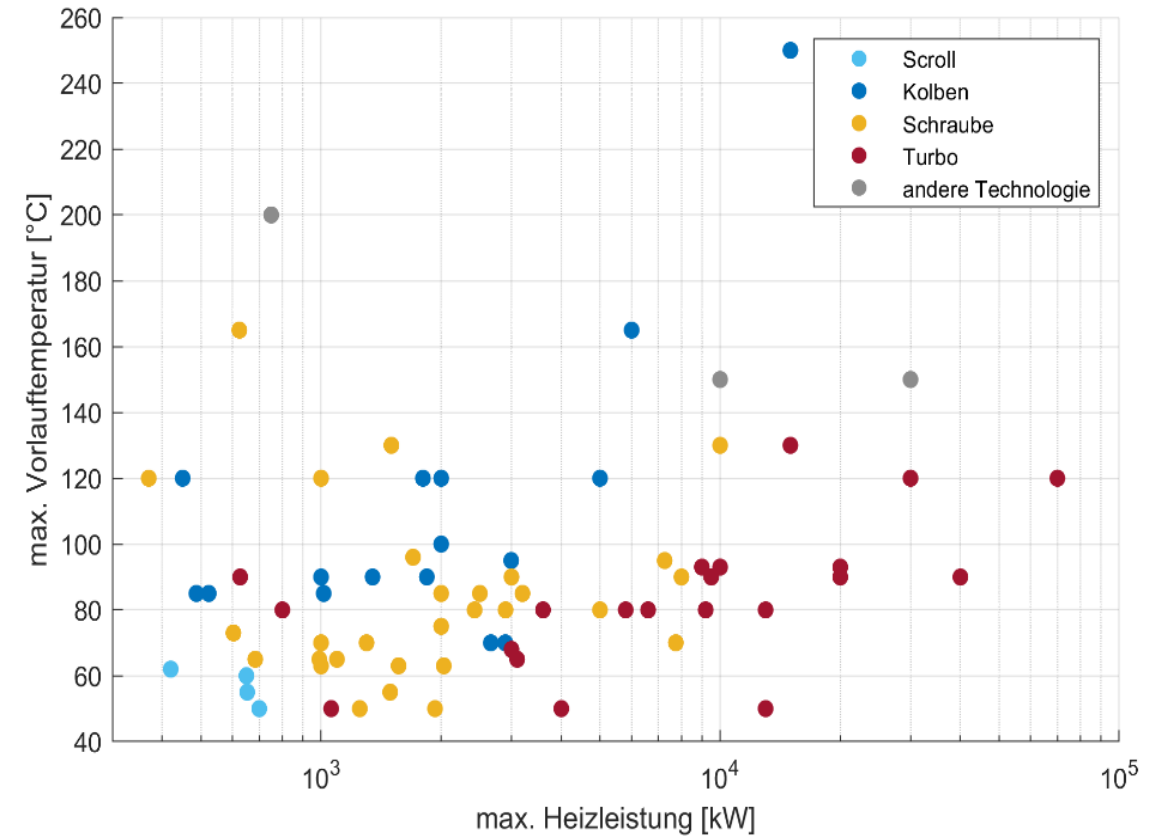
- Hohe EE-Stromerzeugung = hohe Netzauslastung & niedrige Strompreise → Wärmepumpen sind in Betrieb. Überschüssige Wärme wird gespeichert.
- Geringe EE-Stromerzeugung = hohe Strompreise → Der Wärmebedarf wird durch Wärmespeicher & andere Technologien (z. B. H₂-KWK) gedeckt.

* Anfang Februar 2045 im T45-Stromszenario; eigene Darstellung auf Basis von [Fraunhofer ISI \(2022\)](#)

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Marktübersicht Großwärmepumpen

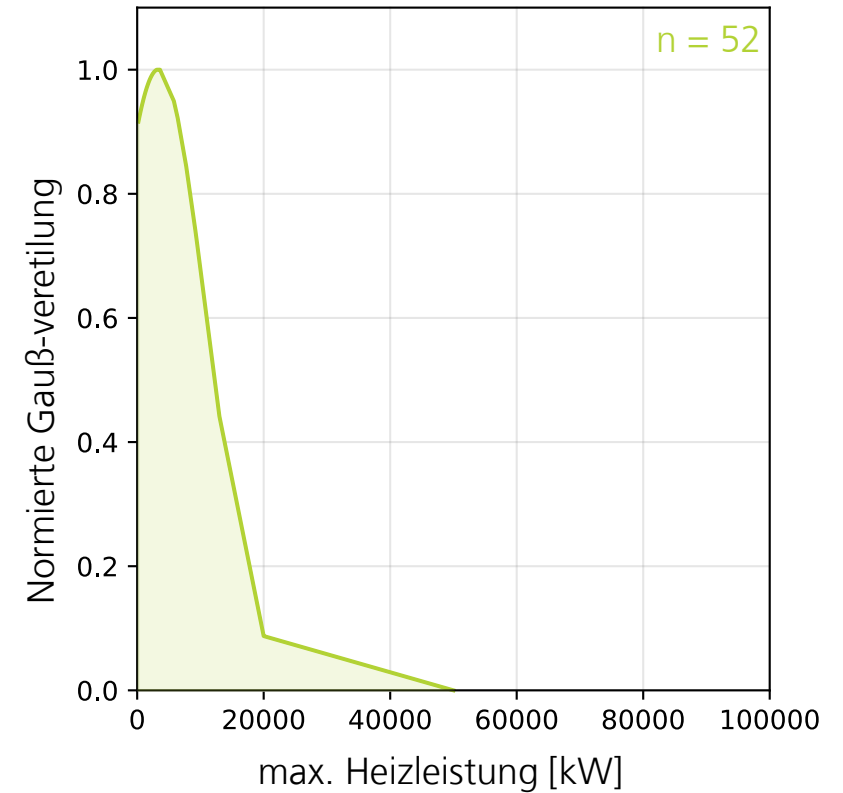
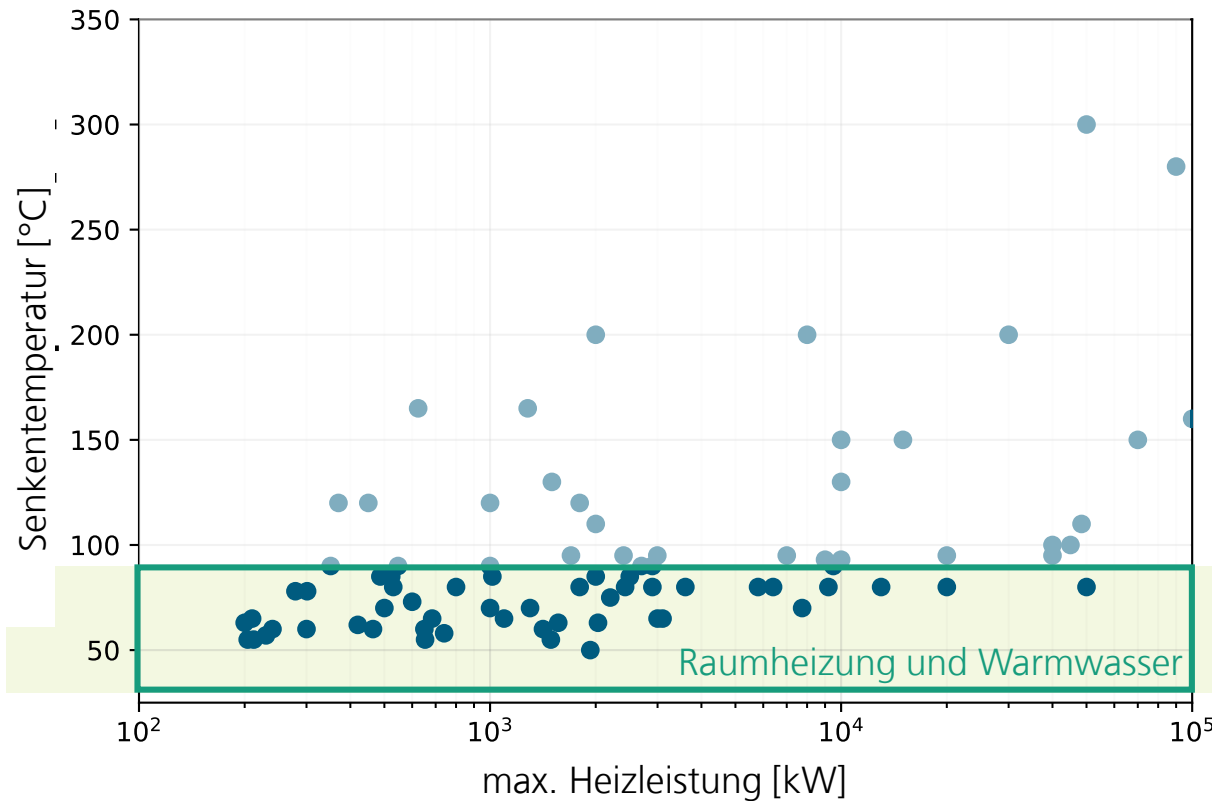
- Großwärmepumpen hier Geräte ab 200-500 kW Heizleistung, Grenze für Scrollverdichter
- Zerfall des Markts in **drei Bereiche** (Raumwärme & Warmwasser, Fernwärme, Prozesswärme)
- Häufung von Anlagen im kleinen MW-Bereich für Anlagen in der Fernwärme
- Überwiegend Schrauben- und Kolbenverdichter
- Verschiedenste Kältemittel



* Anfang Februar 2045 im T45-Stromszenario; eigene Darstellung auf Basis von [Fraunhofer ISI \(2022\)](#)

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

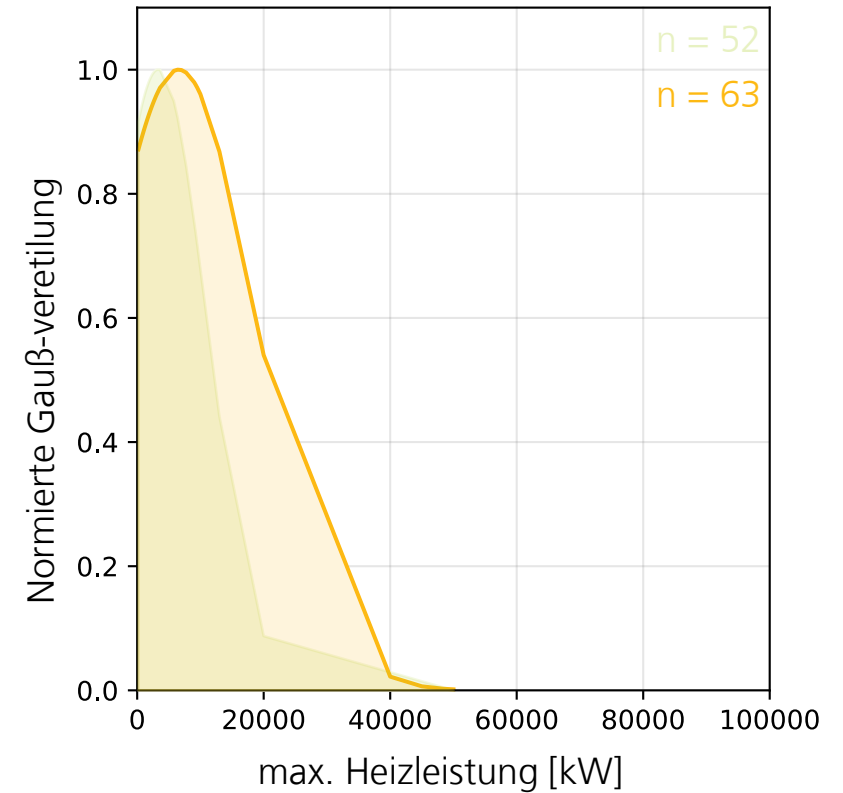
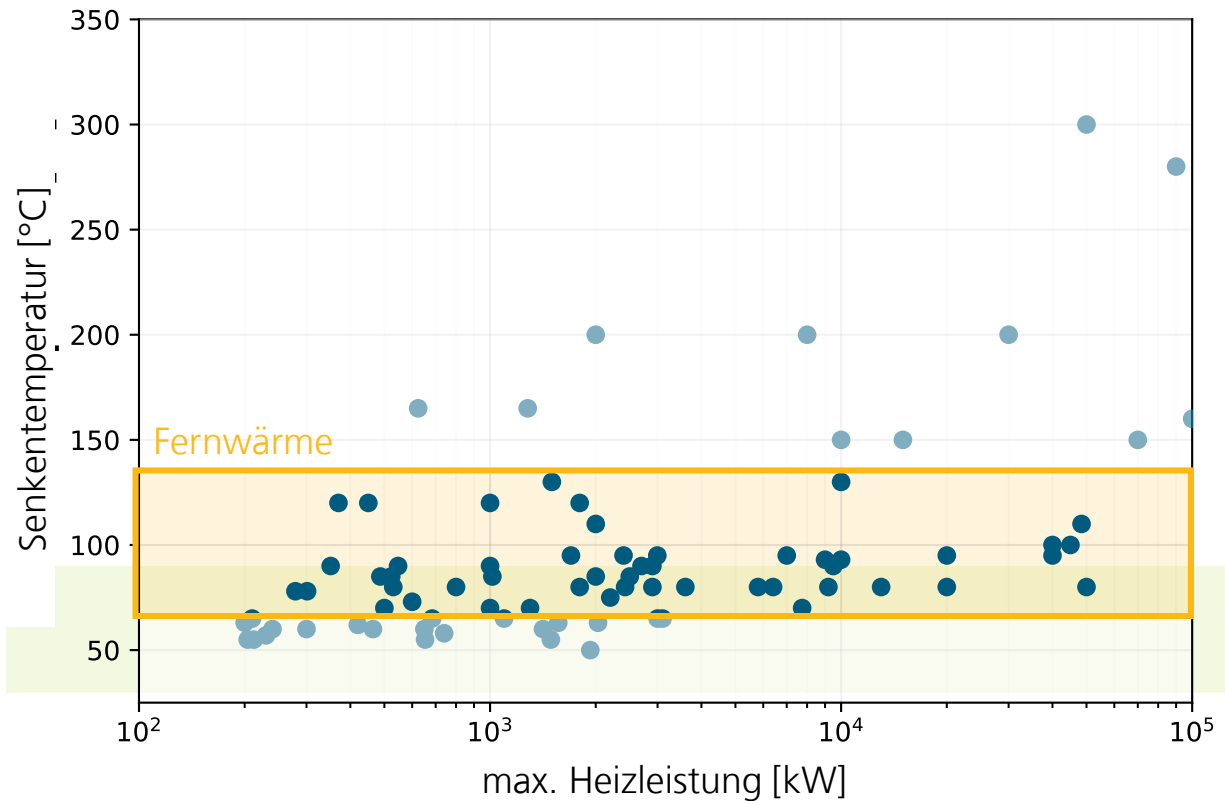
Raumheizung und Warmwasser > 200 kW_{th}



[Quelle: eigene Abbildung]

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

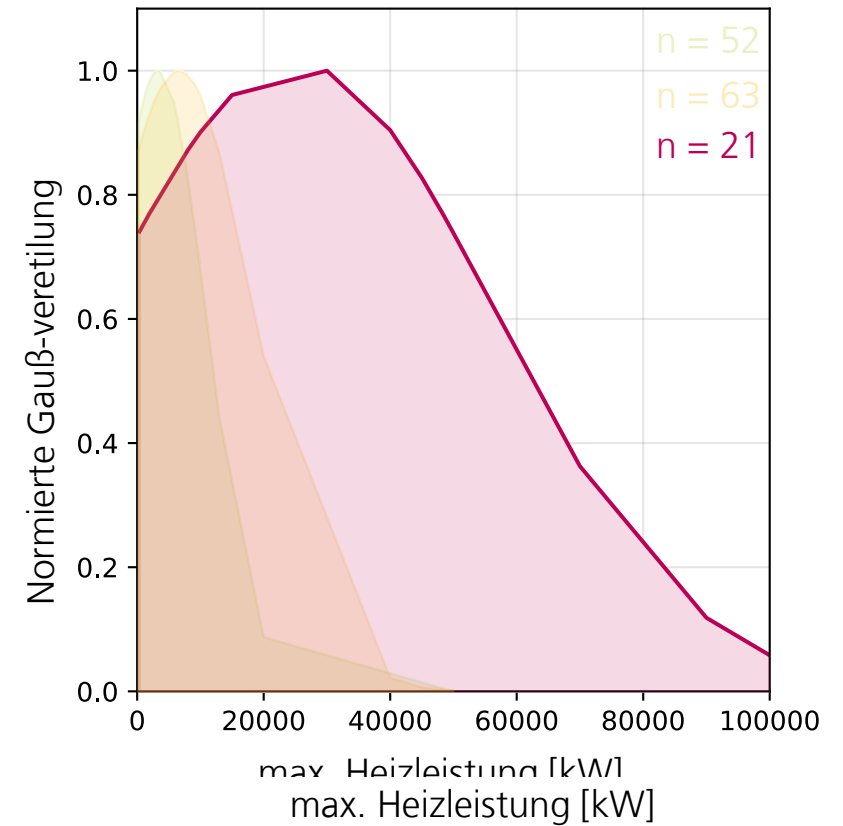
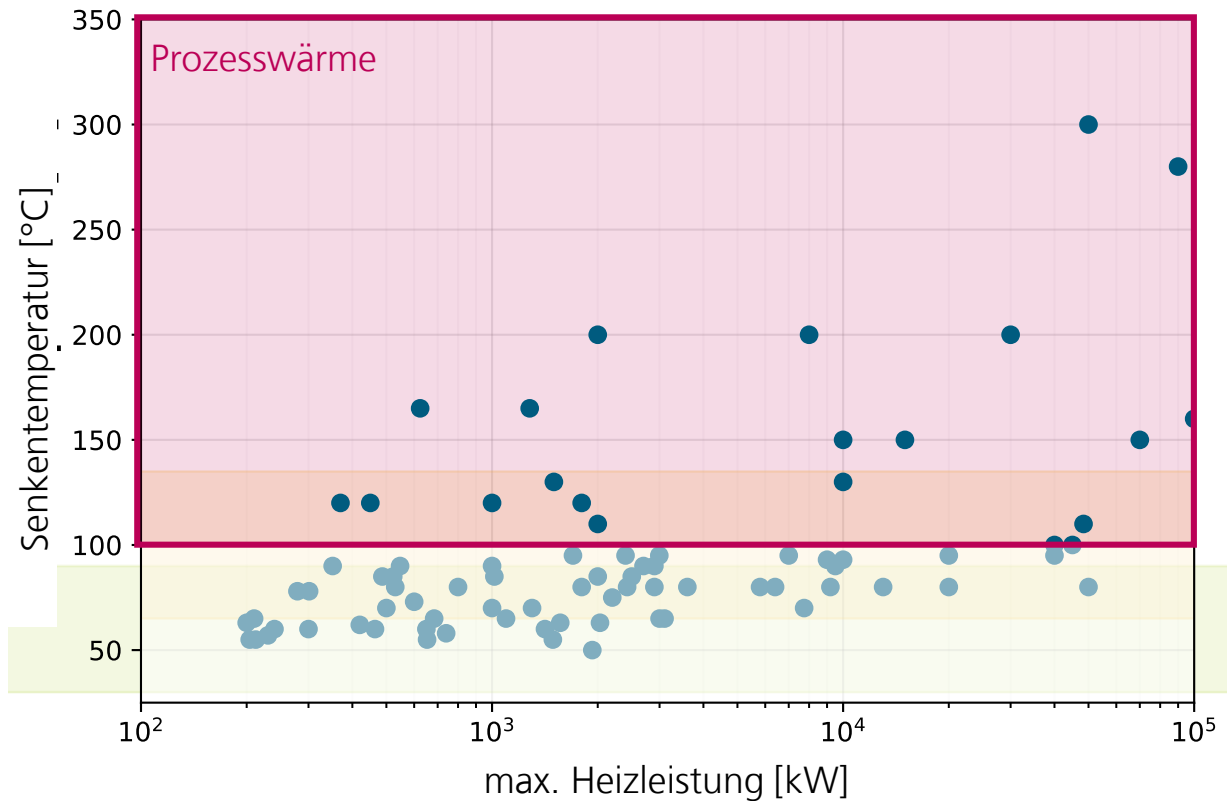
Fernwärme > 200 kW_{th}



[Quelle: eigene Abbildung]

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Prozesswärme > 200 kW_{th}

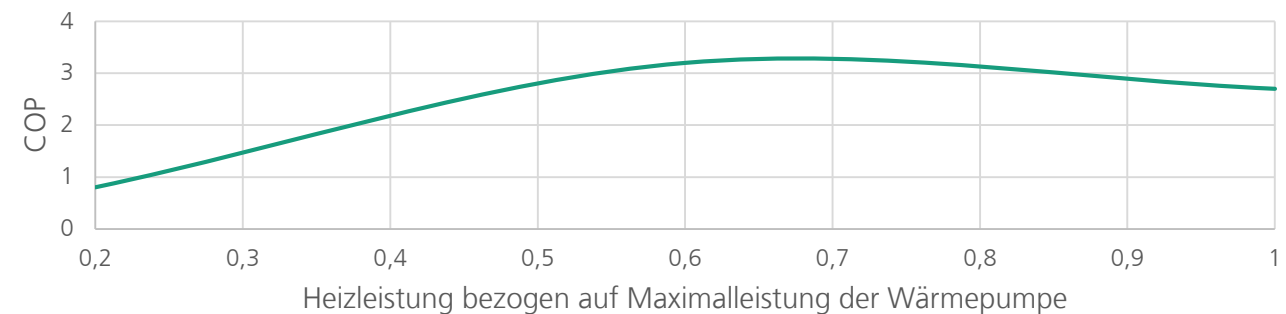
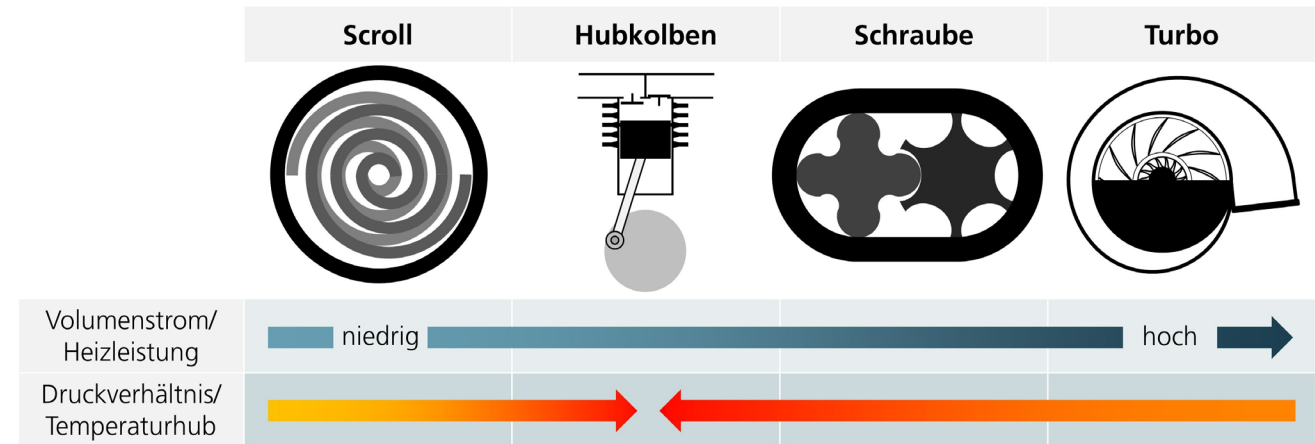


[Quelle: eigene Abbildung]

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Verdichter

- Wichtigste Komponente mit entscheidendem Einfluss auf Wirkungsgrad
- Eignung in Abhängigkeit von Volumenstrom und Temperaturhub
- Technologische Herausforderung der Kühlung und Schmierung sowie Anpassung an Kältemittel
- COP-Abfall bei kleinen Teillasten wegen Verdichtern

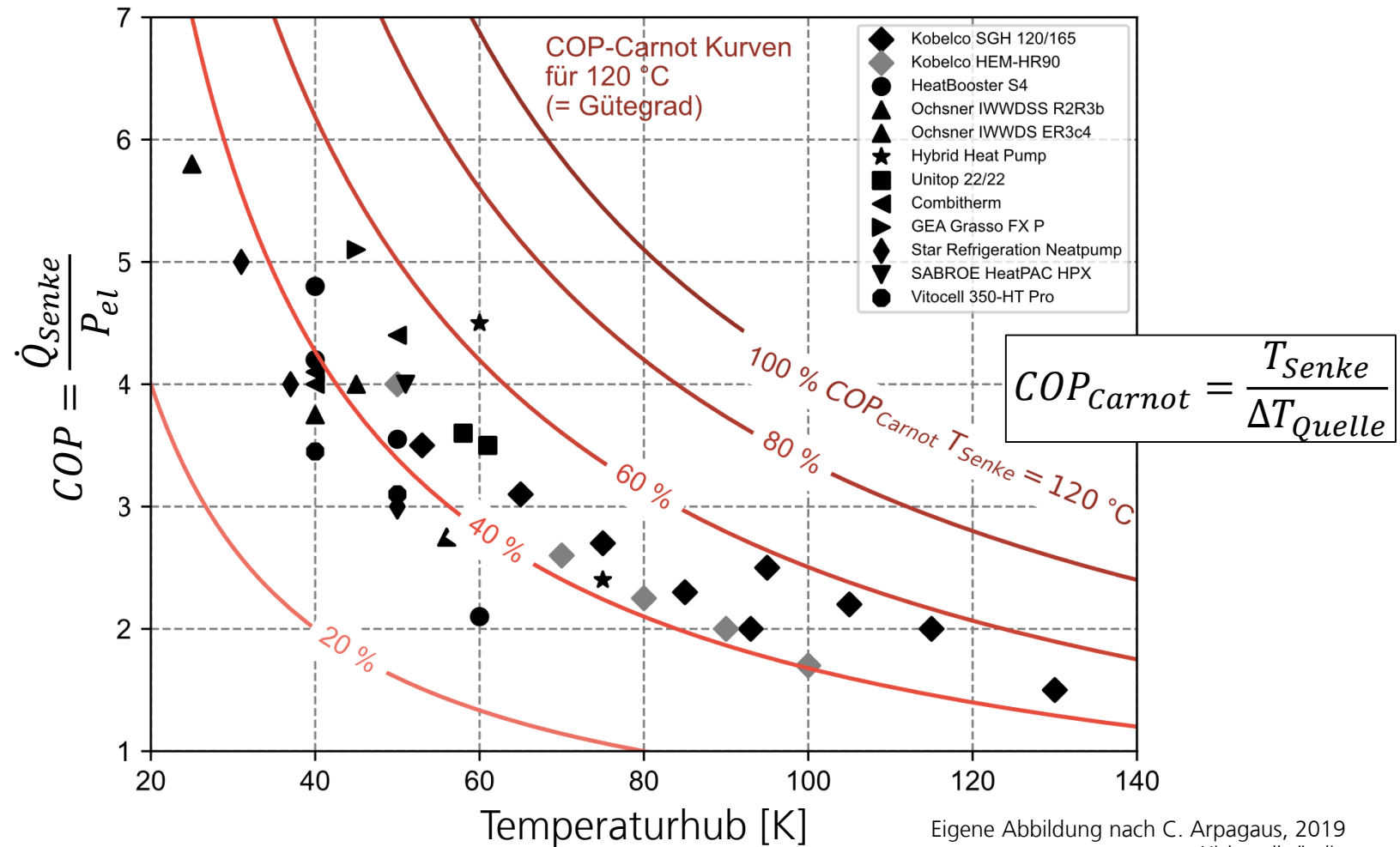


[Quelle: eigene Abbildung]

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

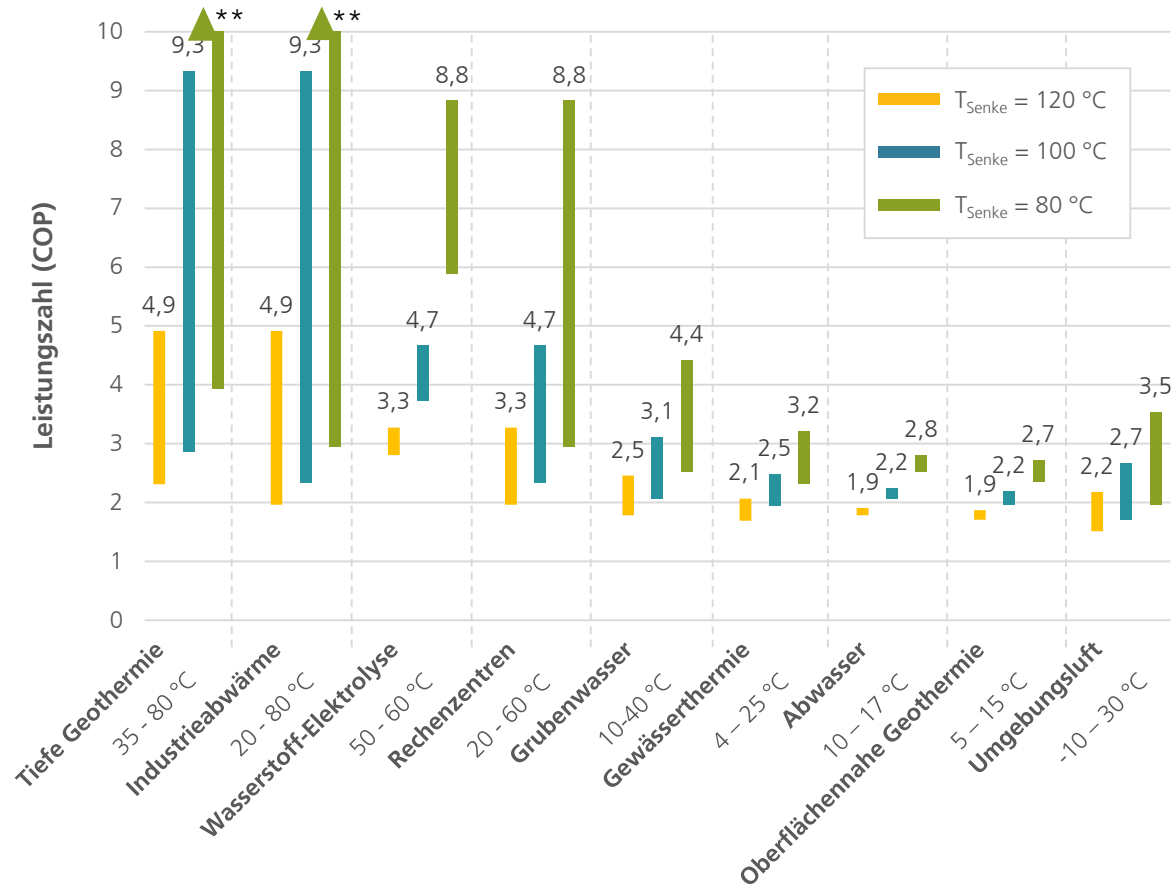
Gütegrad und COP

- Die Carnot- Effizienz beschreibt den physikalisch maximalen COP den Kaltdampfprozess
- Der maximale COP sinkt bei gegebener Senktemperatur mit steigendem Temperaturhub bzw. Sinkenden Quelltemperatur
- Steigerung von Effizienz geht mit Erhöhung der Komplexität in Form von weiteren Anlagen-komponenten einher
- Kostendegression mit Anlagengröße



Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

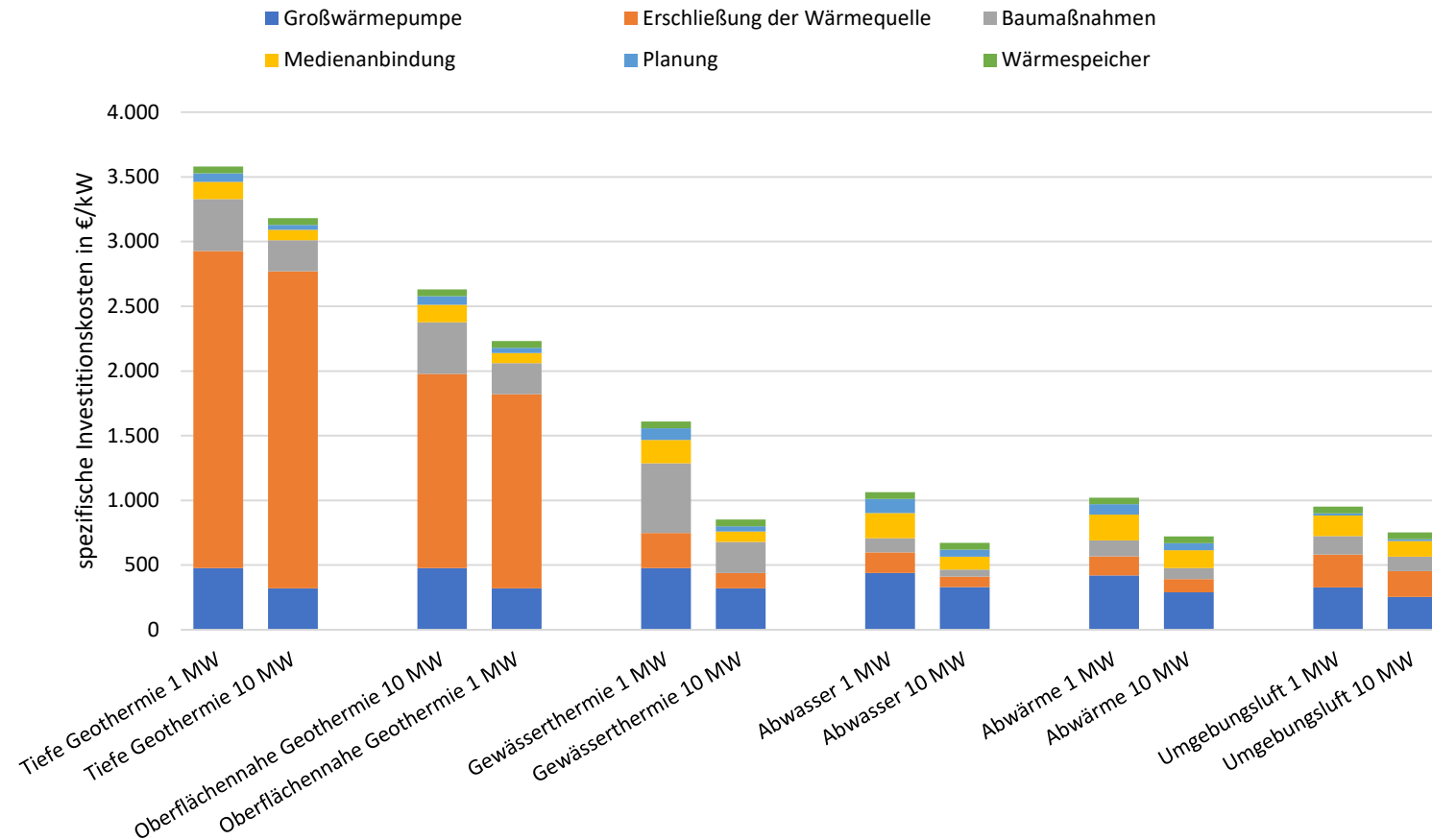
Auswirkung der Quelle auf den COP



[Quelle: eigene Abbildung]

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Kosten der Anbindung



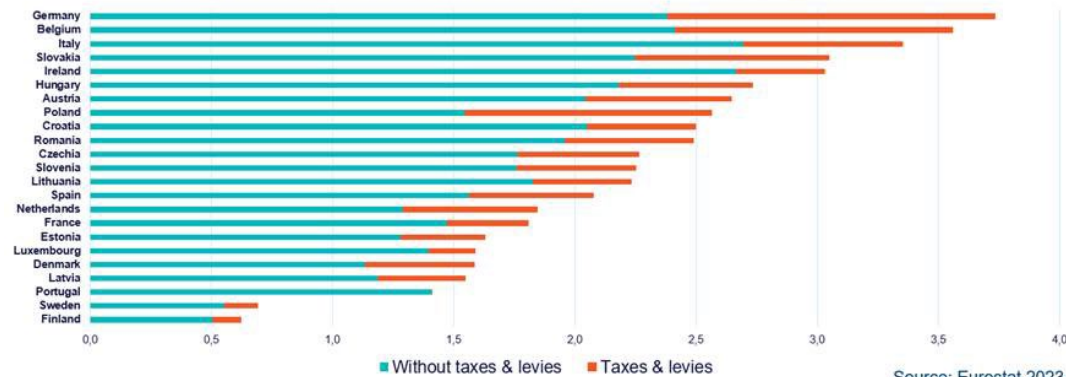
[Quelle: eigene Abbildung]

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

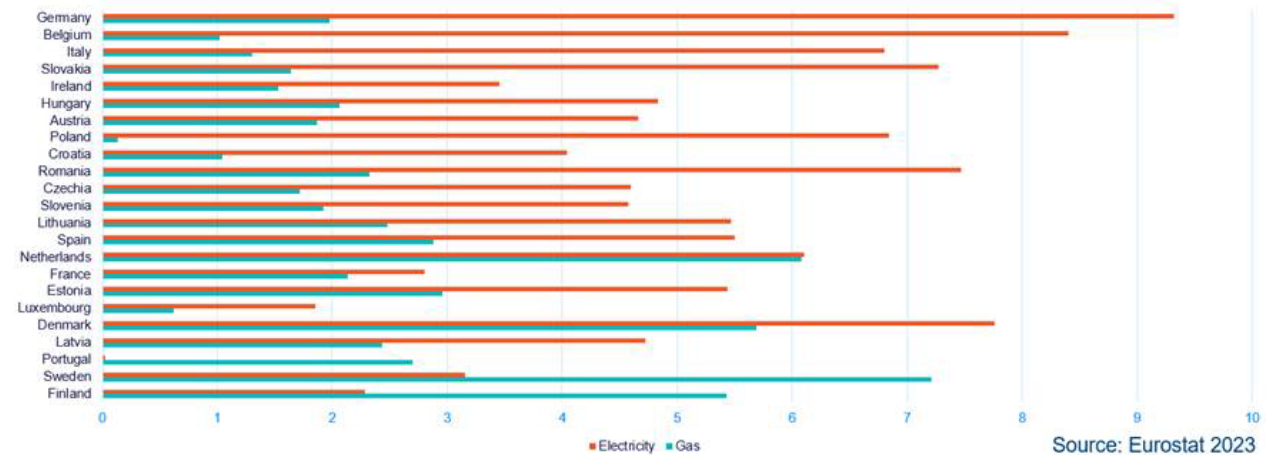
Stromkosten

- Im Vergleich ungünstiges Verhältnis vom Strom- und Gaspreise.
- Im Verhältnis höhere Abgaben auf EE-Strom
- Netzausbau kann perspektivisch zu höheren Netzentgelten führen

Ratio electricity to gas price for medium-sized industrial consumers in 2022 with and without taxes and levies

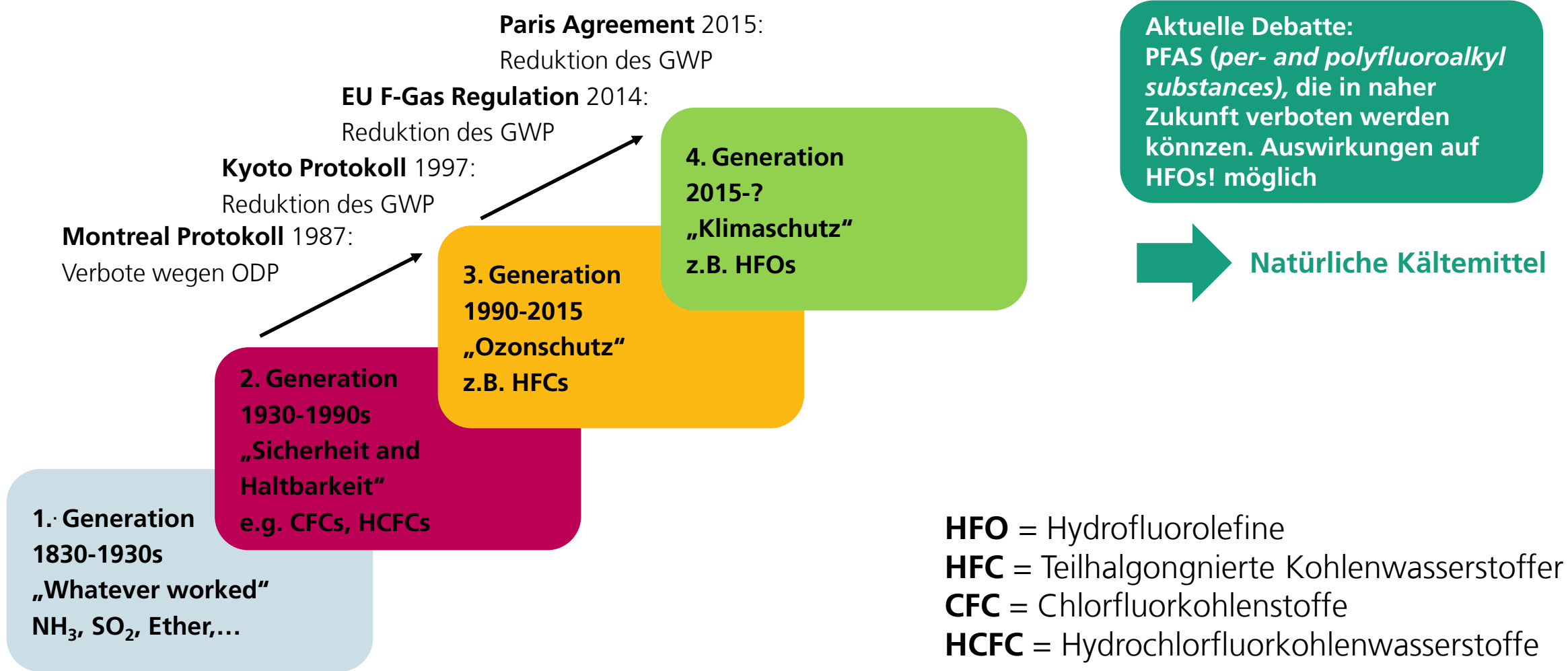


Taxes and levies in Eurocent per kWh for medium industrial consumers



Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

F-Gase- und Chemikalienverordnung REACH



Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

ACER: Revision Netzkodex für den Lastanschluss

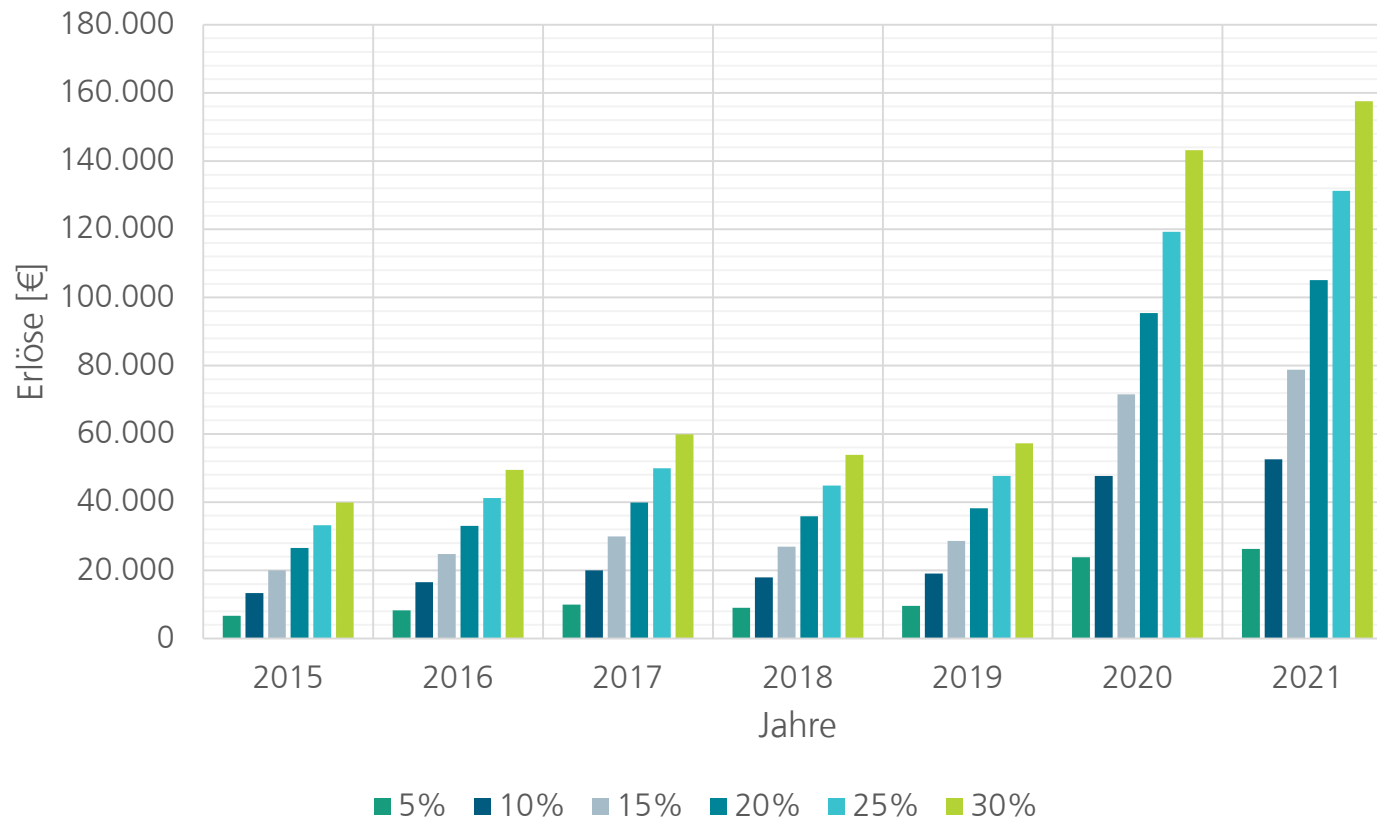
- **Spannungs- und Frequenzeinbrüche:** Frequenz- und Spannungsspanne ähnlich zu Generatoren, z.B. muss für 30 Minutes bei 51.2 Hz laufen können.
- **RoCoF (Rate of Change of Frequency):** Muss am Netz laufen können bei RoCoFs bis zu 4 Hz/s!
- **LFSM-UC (Limited Frequency Sensitive Mode – Underfrequency Consumption):** Muss Leistungsaufnahme bei Unterfrequenz anpassen und ggf. abschalten. Wiederverbindung nach zwischen 0 bis 5 min.
- **FRT (Fault Ride Through):** Lasten müssen in der Lage sein 15% der Nominalspannung bei einer Wirkleistungsumkehr nach Fehlerende von max. 1
- **Unit certificates:** Die oben genannten Anforderungen werden in der Netzanschlussordnung umgesetzt.

Nach der vorgeschlagenen Verordnung müssten Wärmepumpen, Elektrolyseure und Elektroautos strengere Anforderungen an die Netzanbindung erfüllen.

Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Mögliche Erlöse für Systemdienstleistungen

Durchschnittlicher Erlös aus Sekundärregelleistung als Funktion des Auslastungsfaktors



In diesem Beispiel wurde eine große Wärmepumpe betrachtet, die am Sekundärregelenergiemarkt teilnimmt.

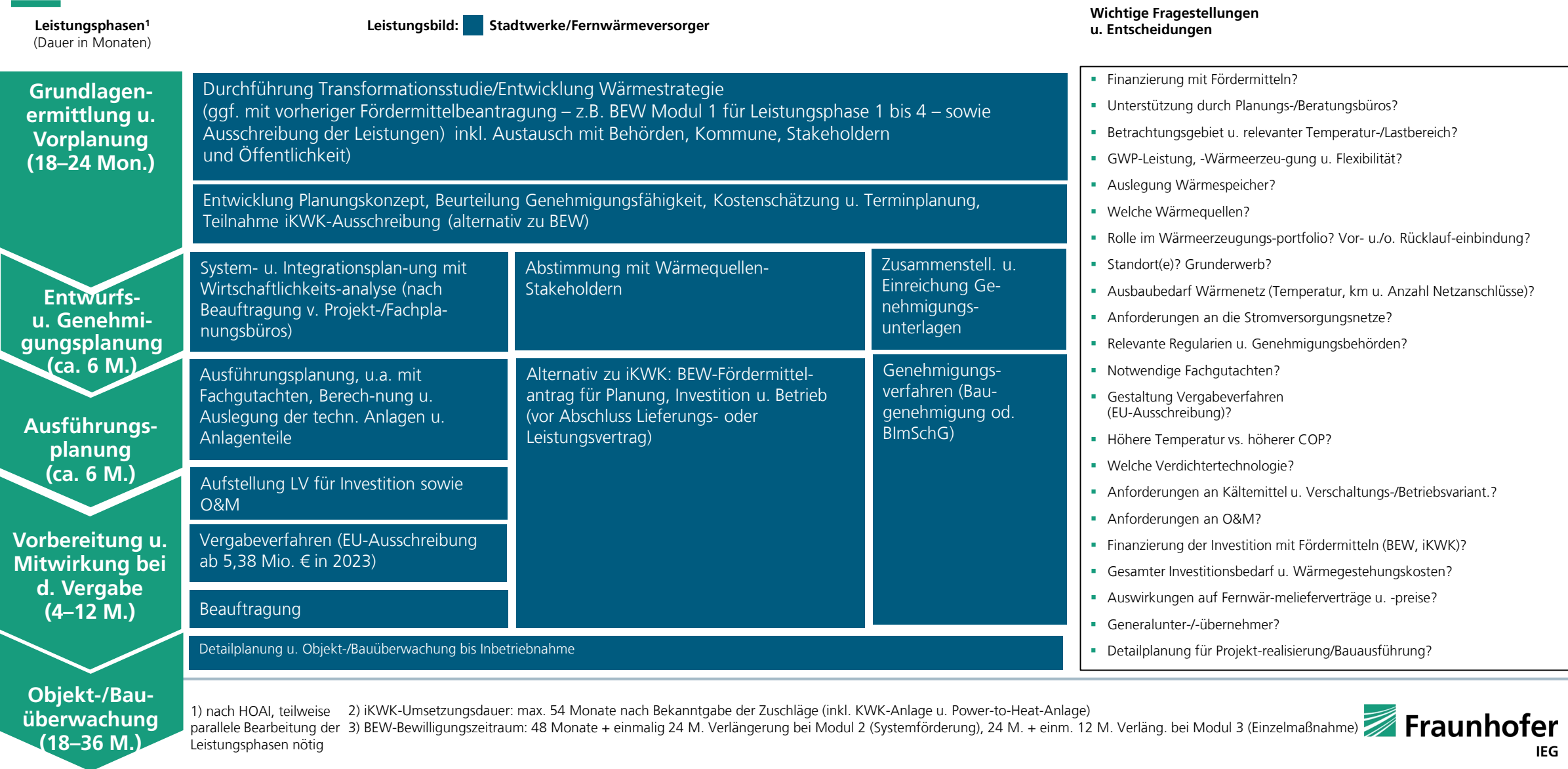
Annahmen:

- 5-30 % seiner Nennleistung als Sekundärregelleistung
- Nennleistung: 500 kW
- Betriebszeit: 6000 h/a

[Quelle: eigene Berechnungen basierend auf: <https://www.smard.de/home>]

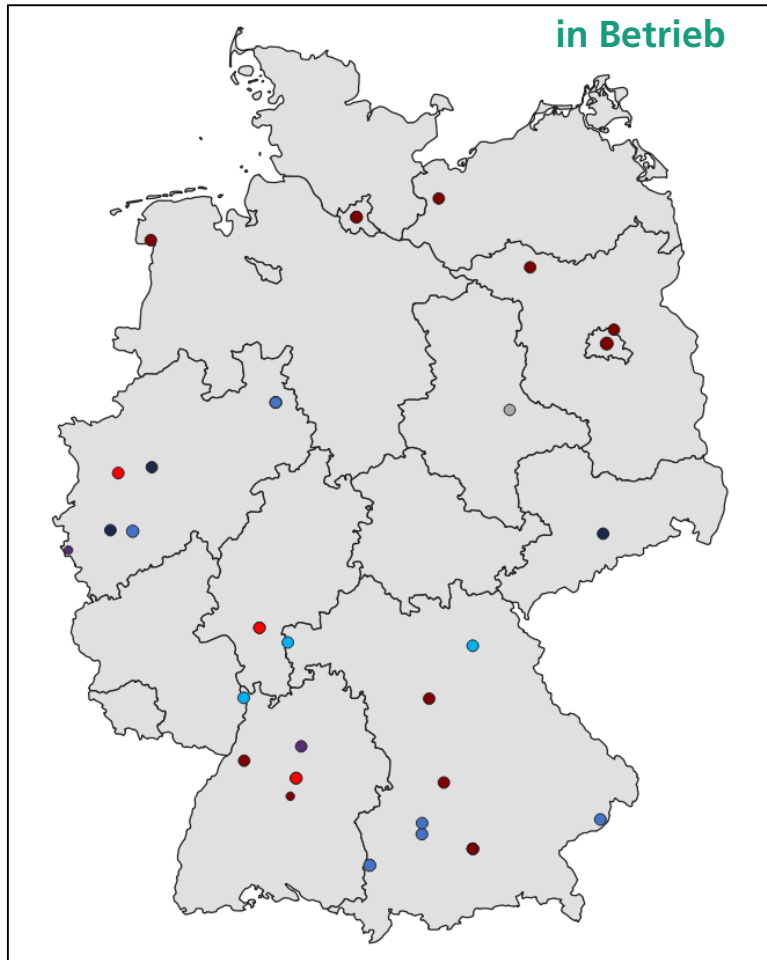
Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Prozesskette eines typischen Großwärmepumpenprojekts

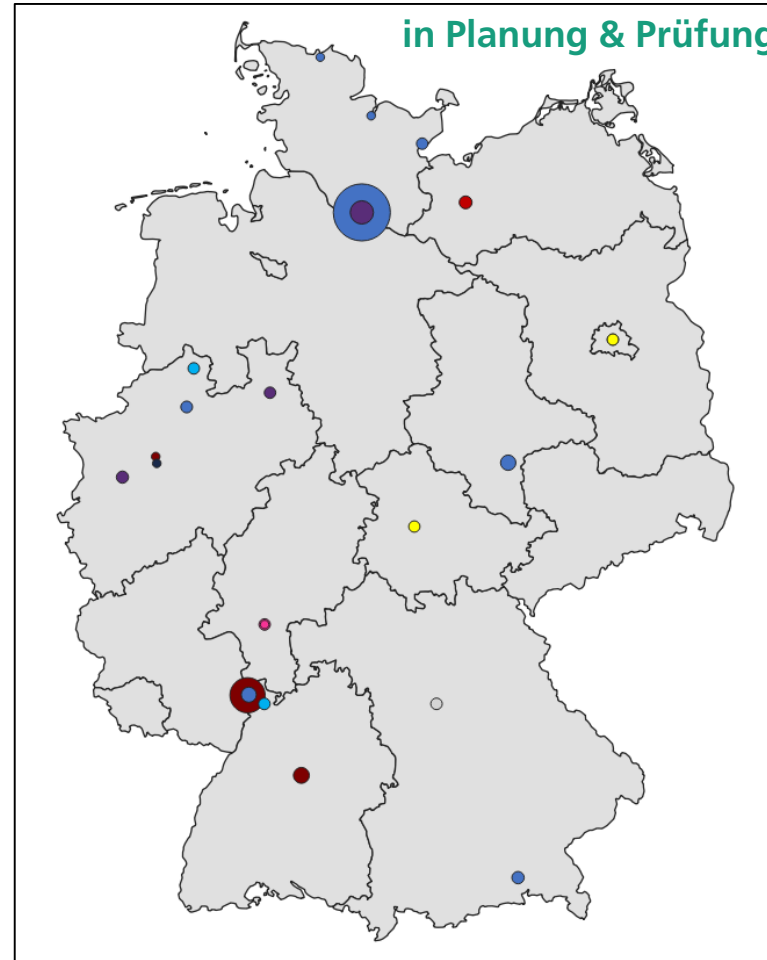


Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen

Installierte & geplante Leistung von Großwärmepumpen in Deutschland*



Großwärmepumpen in Betrieb in Deutschland (eigene Darstellung)*



Großwärmepumpen in der Planungsphase in Deutschland (eigene Darstellung)*

Wärmequelle

- Umgebungsluft
- See-/Fluss-/Meerwasser
- Grubenwasser
- Abwasser
- Server und Rechenzentrum
- Oberflächen Geothermie
- Tiefengeothermie
- Abwärme
- Unterschiedliche Wärmequellen
- keine Angaben zur Wärmequelle

Thermische Leistung

- keine Angaben
- 50 MW
- 100 MW
- 150 MW
- 200 MW
- 250 MW

* keine Garantie auf Vollständigkeit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt

Fabian Ahrendts
Leitung CC 145 Hochtemperatur-Wärmepumpen
Tel. +49 176 61527521
fabian.ahrendts@ieg.fraunhofer.de

Fraunhofer IEG
Gulbener Straße 23
03046 Cottbus
www.fraunhofer.de