

Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland

Björn Drechsler, Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG
Kiel, 21.09.2023

Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland

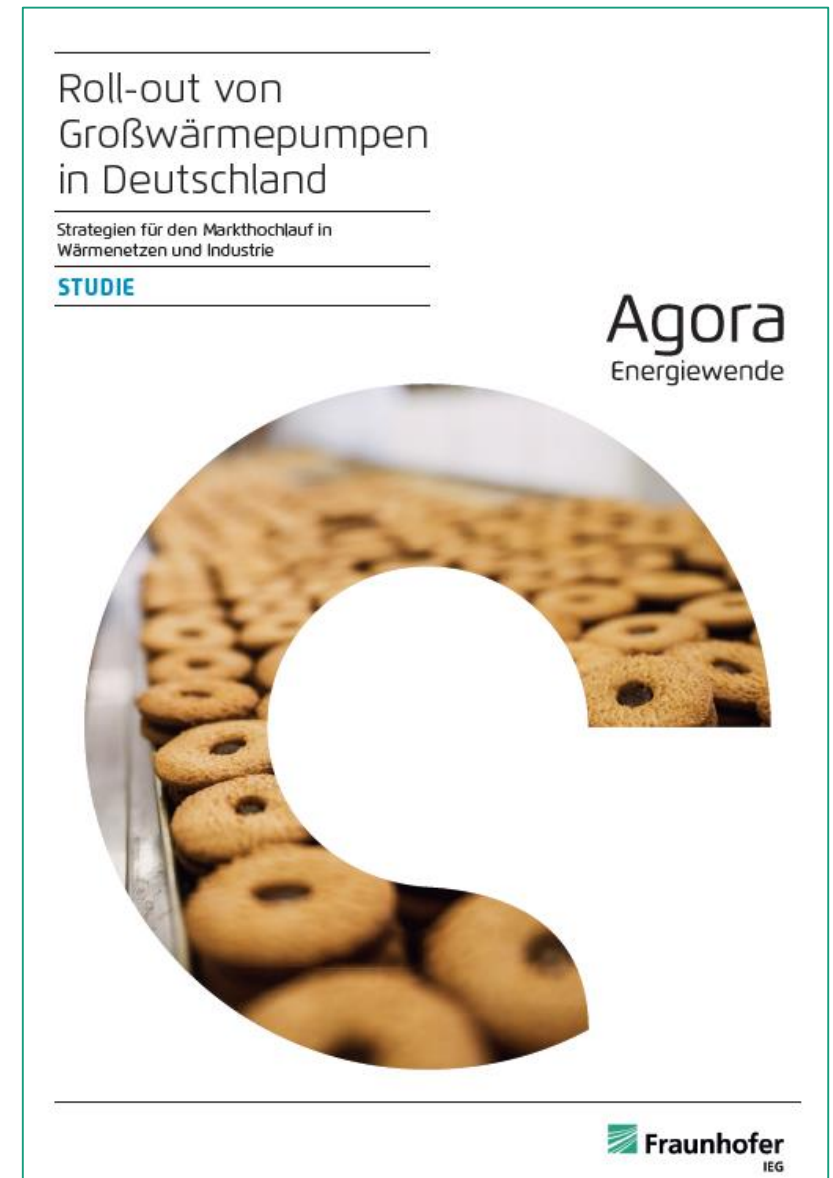
Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie

Studie des Fraunhofer IEG im Auftrag von Agora Energiewende (Veröffentlichung im Juni 2023)

- Aktuelle Rolle der Großwärmepumpen in Deutschland und Blick nach Europa
- Entwicklungsszenarien für Wärmenetze und Großwärmepumpen zur Erreichung der Klimaziele bis 2045
- Potenziale und Voraussetzungen der wichtigsten Wärmequellen
- Stand der Technik, Kernkomponenten, Kennzahlen und Ausblick
- Produkte und Hersteller am Großwärmepumpenmarkt
- Regulatorischer und wirtschaftlicher Rahmen, Anreize, Förderung
- Planung und Entwicklung von Großwärmepumpenprojekten aus Sicht der Fernwärmeversorger
- Handlungsfelder für den Roll-out von Großwärmepumpen in der Fernwärme

Bitte zitieren als:

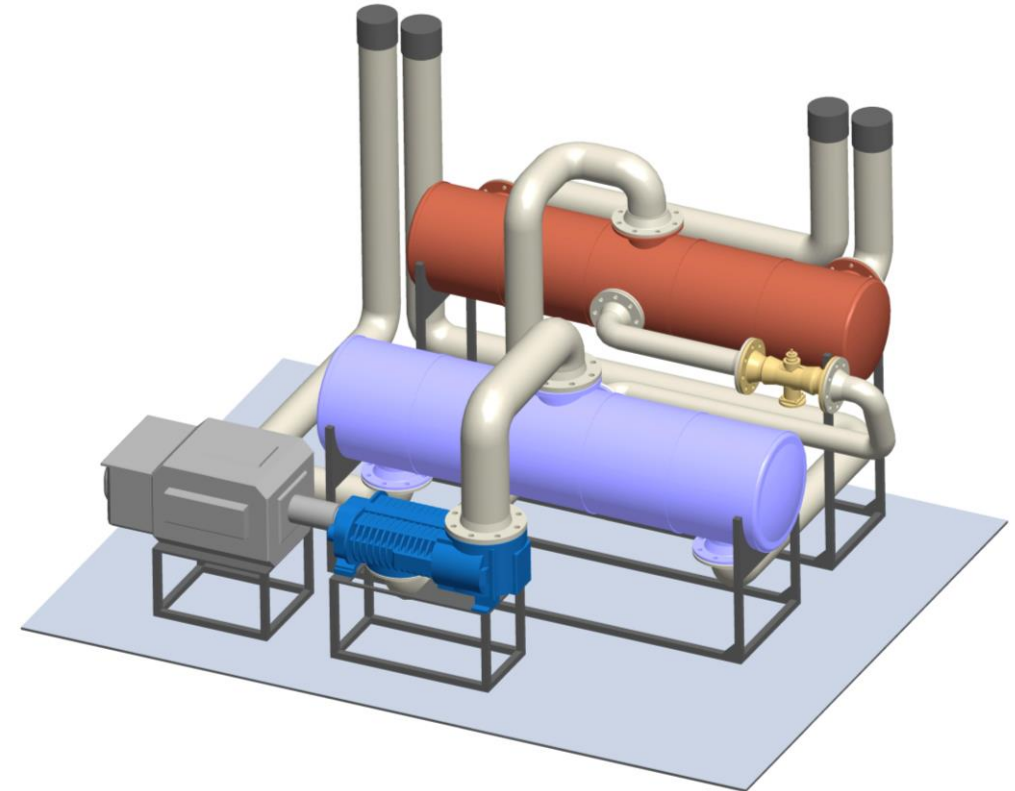
Agora Energiewende, Fraunhofer IEG (2023): Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie



Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland

Inhalt

1. Hintergrund & Status Quo
2. Szenarien zur Transformation der Fernwärmenetze
3. Wärmequellen und Stand der Technik
4. Handlungsfelder zur Beschleunigung des Roll-outs von Großwärmepumpen



Eigene Darstellung (exemplarisch)

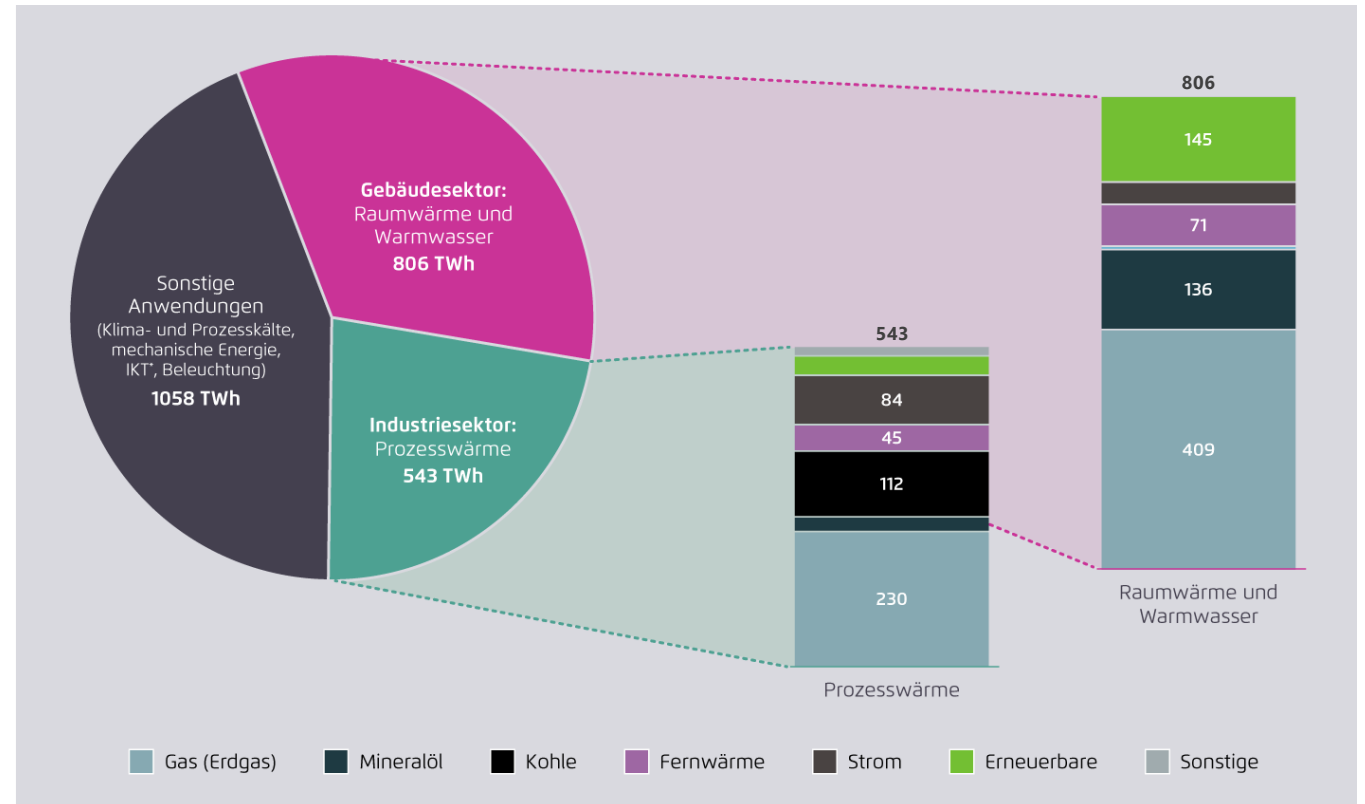


Hintergrund & Status Quo

Eine klimaneutrale Wärmeversorgung ist entscheidend, damit Deutschland seine Klimaziele erreichen kann

- Wärme wird in Deutschland noch größtenteils fossil erzeugt.
- Wärmebedarfe bis 200 °C (ca. 80% des gesamten Wärmebedarfs) sind verantwortlich für 3/4 des deutschen Gasverbrauchs und über 1/4 der deutschen Emissionen (2021)
- Erreichung der Klimaziele im Gebäudesektor erfordert neben beschleunigter Gebäudesanierung auch starken Ausbau von (Fern-)Wärmenetzen und Wärmepumpen
- Hochtemperatur-Wärmepumpen als wichtiger Baustein zur Dekarbonisierung im Industriesektor

Endenergieverbrauch nach Anwendungszwecken in Deutschland 2021 und Energieträger zur Bereitstellung

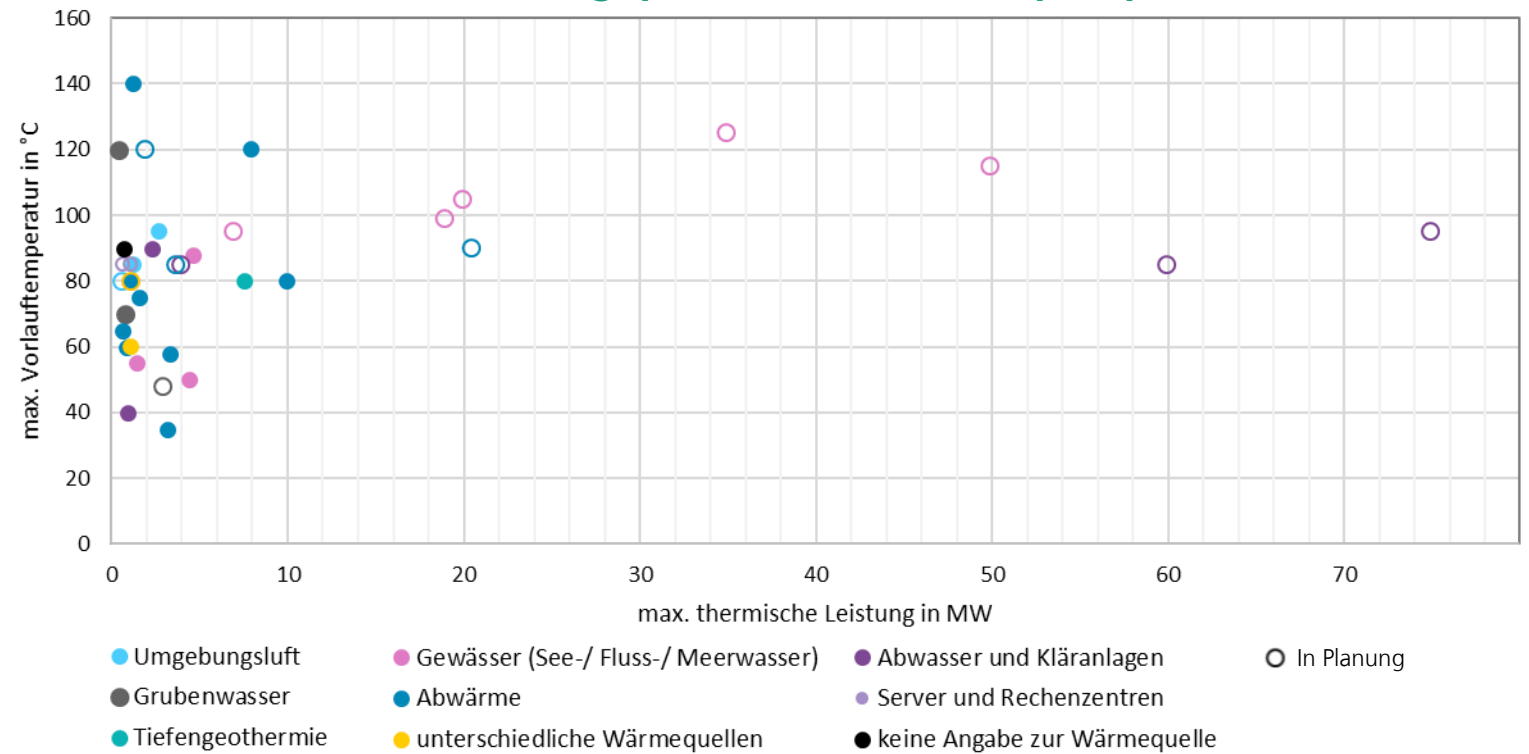


Agora Energiewende basierend auf AGEb (2022b). *Informations- und Kommunikationstechnik

Status Quo in Deutschland (09/2023): Mindestens 43 GWP mit ca. 127 MW_{th} in Betrieb & mind. 37 GWP mit >0,9 GW_{th} in Bau oder in Planung

- Derzeit sind in Deutschland mindestens 43 Großwärmepumpen mit insgesamt mind. 127 MW Heizleistung in Betrieb.
- Mind. 37 weitere Projekte für Wärmenetze und Industrie mit 859 MW sind derzeit in Bau oder in Planung.
- Fördermittelbedarf wegen hoher Strom- und niedriger Gas- und CO₂-Preise
- Vielerorts fehlende kommunale Wärmeplanung, fehlende Wärmekataster
- Hochindividuelle Einzelprojekte mit aufwendigen Planungs- und Genehmigungsverfahren

Wärmequellen, Leistung und Vorlauftemperatur bestehender und geplanter Großwärmepumpen in Deutschland



Fraunhofer IEG (2023), Quellen: Stadtwerke, Hersteller, BWP-Datenbank, IEA Annex 48 + 58 (Stand: 09/2023)



Szenarien zur Transformation der Fernwärmenetze

Fünf BMWK-Langfristszenarien (11/2022) zeigen verschiedene Wege zur Klimaneutralität bis 2045: Orientierung für Systementwicklung & Investitionen

- Festgelegter **EE-Ausbaupfad** definiert im Wesentlichen das Stromsystem der Zukunft.
- **Stromnetze** sind bis 2045 um 60-100% gegenüber dem heutigen Stand auszubauen.
- Deutschland bleibt in allen Szenarien **Netto-Energieimporteur** (am wenigsten im Stromszenario).
 - Wettbewerbsfähige Produktion von **grünem Wasserstoff** in Europa ist möglich.
- Zielerreichung im **Gebäudesektor** erfordert starken **Ausbau von Wärmenetzen & Wärmepumpen**: jährlich rund 800 km neue Wärmeleitungen und 130.000 – 150.000 neue Anschlüsse.
- **Elektrifizierung auch im Industriesektor** (u.a. mit Hochtemperatur-Wärmepumpen).
Wasserstoff hauptsächlich für die Stahl- & Chemieindustrie.
- Das **T45-Stromszenario** verursacht bis 2045 die **geringsten Kosten für das Gesamtsystem**.
Mehr synthetische Kohlenwasserstoffe und ineffizientere Gebäude führen zu höheren Gesamtkosten.

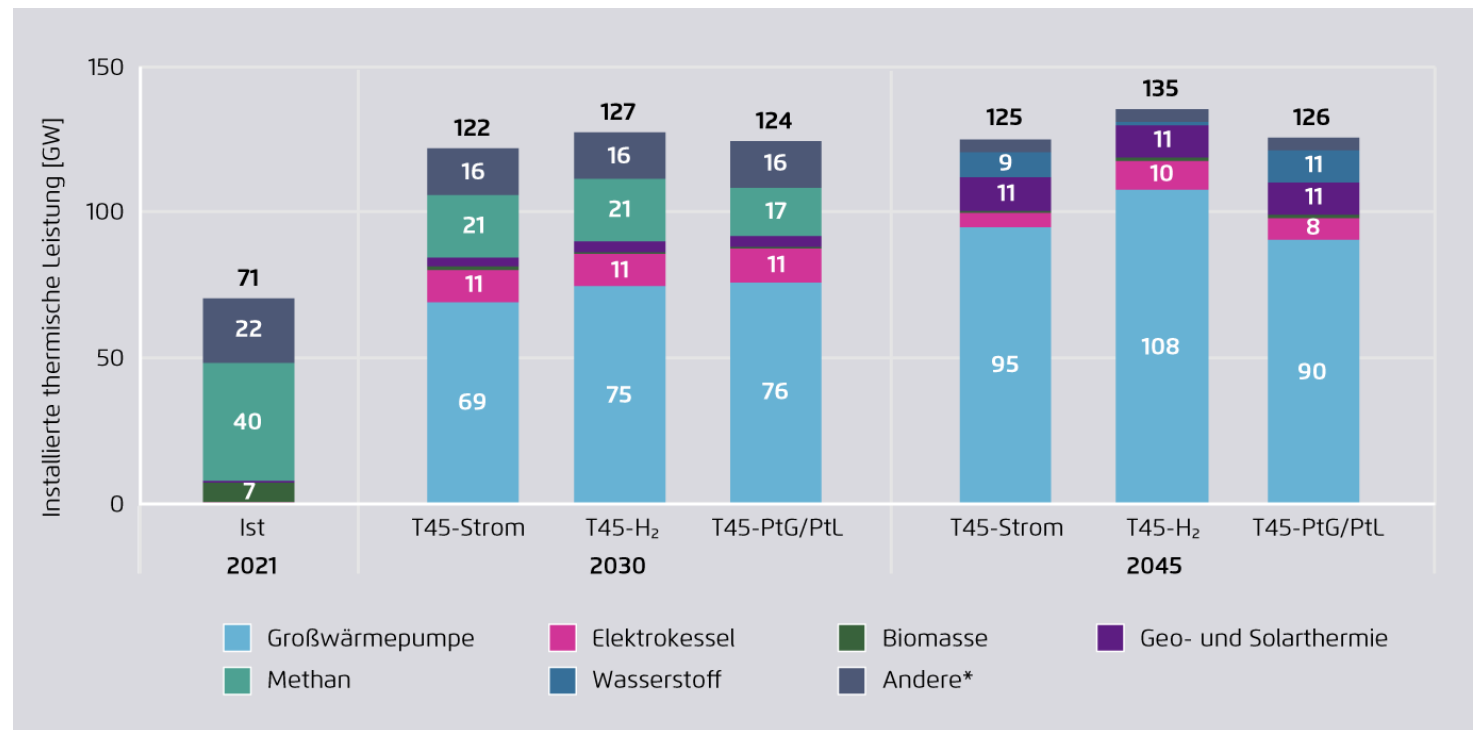
Fraunhofer ISI et al. (2022), Für mehr Informationen siehe: <https://langfristszenarien.de/>

Ergebnis der T45-Szenarien: Massiver Zubau von Großwärmepumpen in Höhe von mindestens 4 GW thermisch pro Jahr erforderlich

In den BMWK-Langfristszenarien dominieren Großwärmepumpen die künftigen Wärmenetze: >90 GW Heizleistung und >70% der Fernwärmeversorgung in 2045

- Mittlerer Zubaubedarf pro Jahr: rund 340 – 410 neue Großwärmepumpenprojekte mit 4,0 – 4,9 GW Heizleistung sowie 800 km neue Wärmeleitungen
- Damit verbundenes Investitionsvolumen beträgt mind. 3,1 – 4,4 Mrd. €/Jahr.
- Zukünftige Rolle der KWK: hocheffiziente Verbrennung von Biomasse, Abfall und Wasserstoff für Spitzenlasten/Backup (fossile KWK nur noch bis ca. 2035)

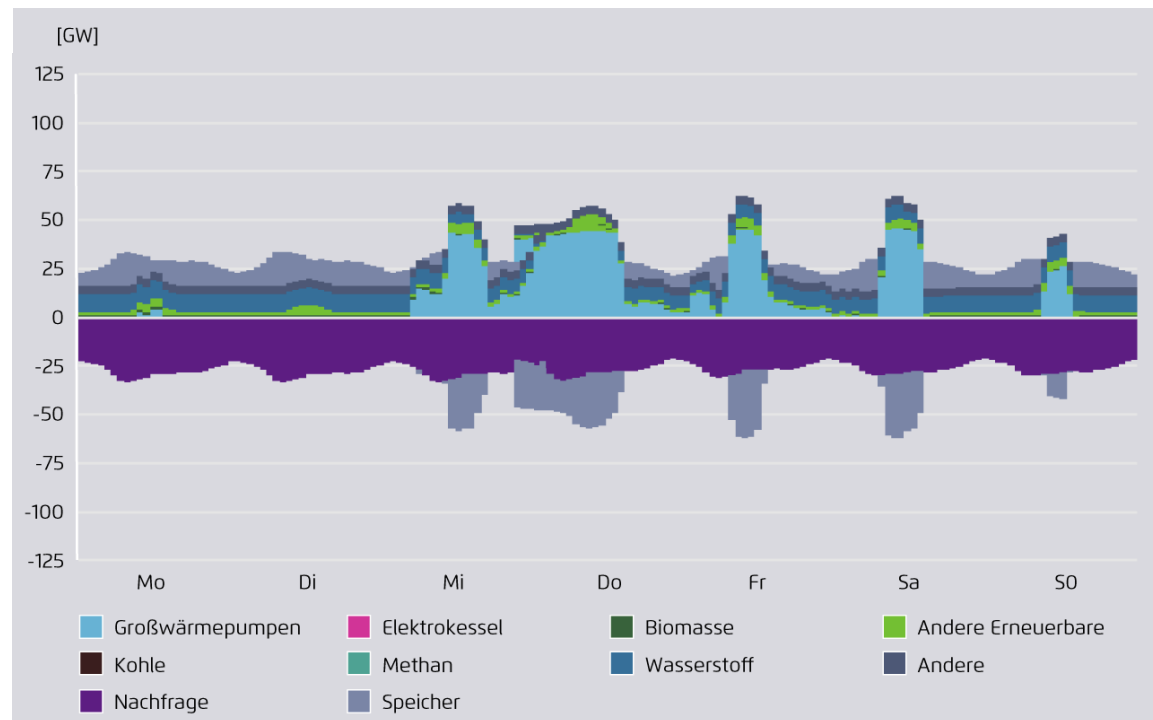
Entwicklung der installierten Wärmeleistung in der Fernwärme



Fraunhofer IEG (2023) basierend auf AGFW (2022), Fraunhofer ISI et al. (2022). * Braun-/Steinkohle, Abfall u. sonstige fossile Energien

Flexibilität, Sektorkopplung und Speicherung im Energiesystem der Zukunft: Systemdienlicher Großwärmepumpenbetrieb ist zentral

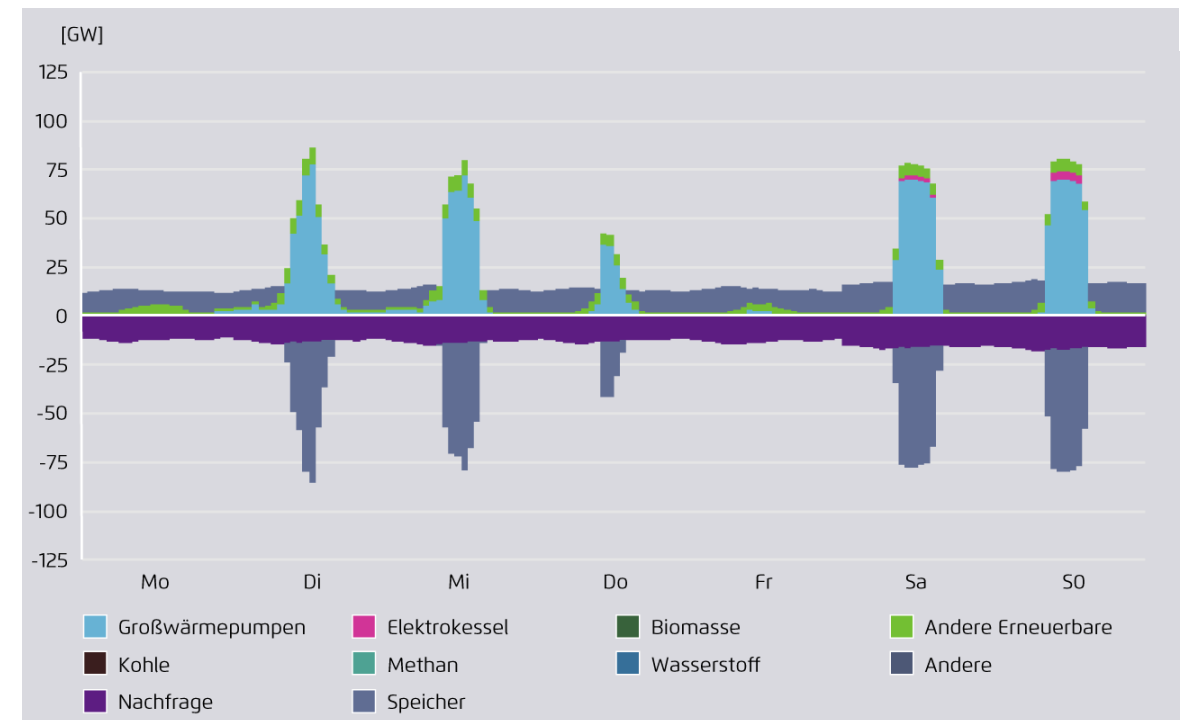
Angebot und Nachfrage im Fernwärmesektor im Winter 2045*



Fraunhofer IEG (2023) basierend auf Fraunhofer ISI et al. (2022b);

* Anfang Februar 2045 im T45-Stromszenario

Angebot und Nachfrage im Fernwärmesektor im Sommer 2045**



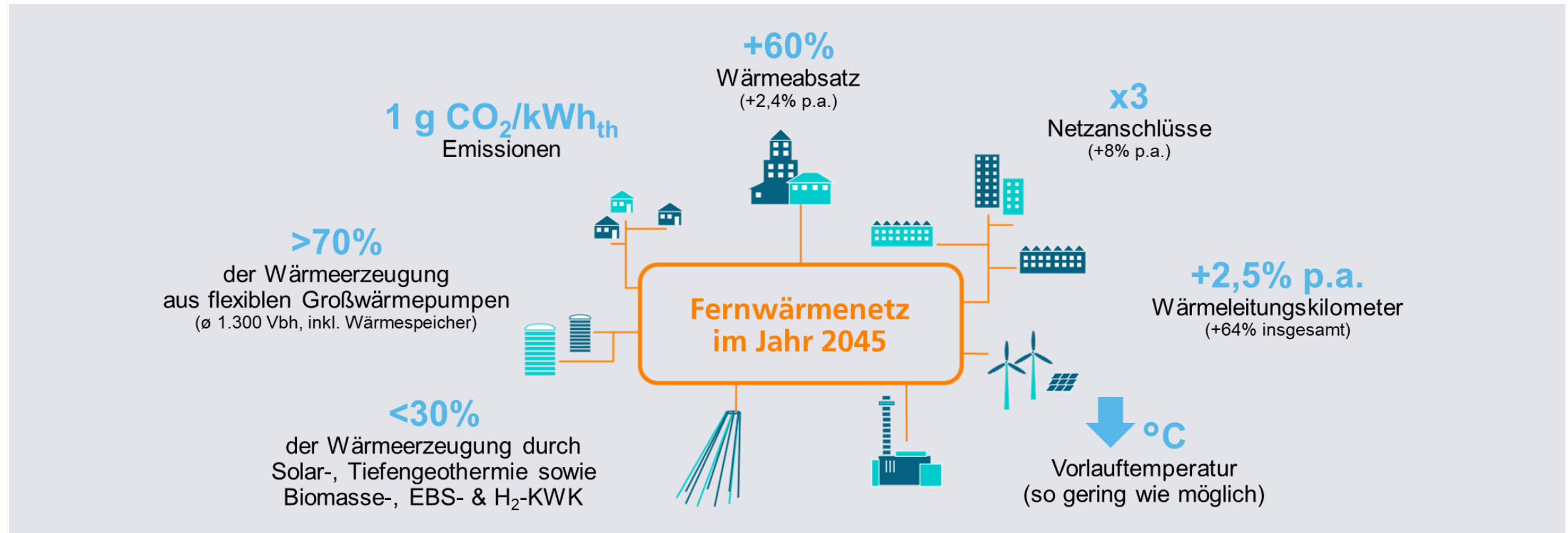
Fraunhofer IEG (2023) basierend auf Fraunhofer ISI et al. (2022b);

* Ende August 2045 im T45-Stromszenario

Das durchschnittliche Fernwärmenetz einer deutschen Stadt im Jahr 2045 ...

Wie müsste es sich verändern, wenn die Ergebnisse der T45-Szenarien zugrunde gelegt werden?*

Das durchschnittliche Fernwärmenetz einer deutschen Stadt im Jahr 2045 im Vergleich zum Jahr 2020



* ggü. dem Stand im Jahr 2020; Fraunhofer IEG (2023) basierend auf T45-Szenarien von Fraunhofer ISI et al. (2022b)

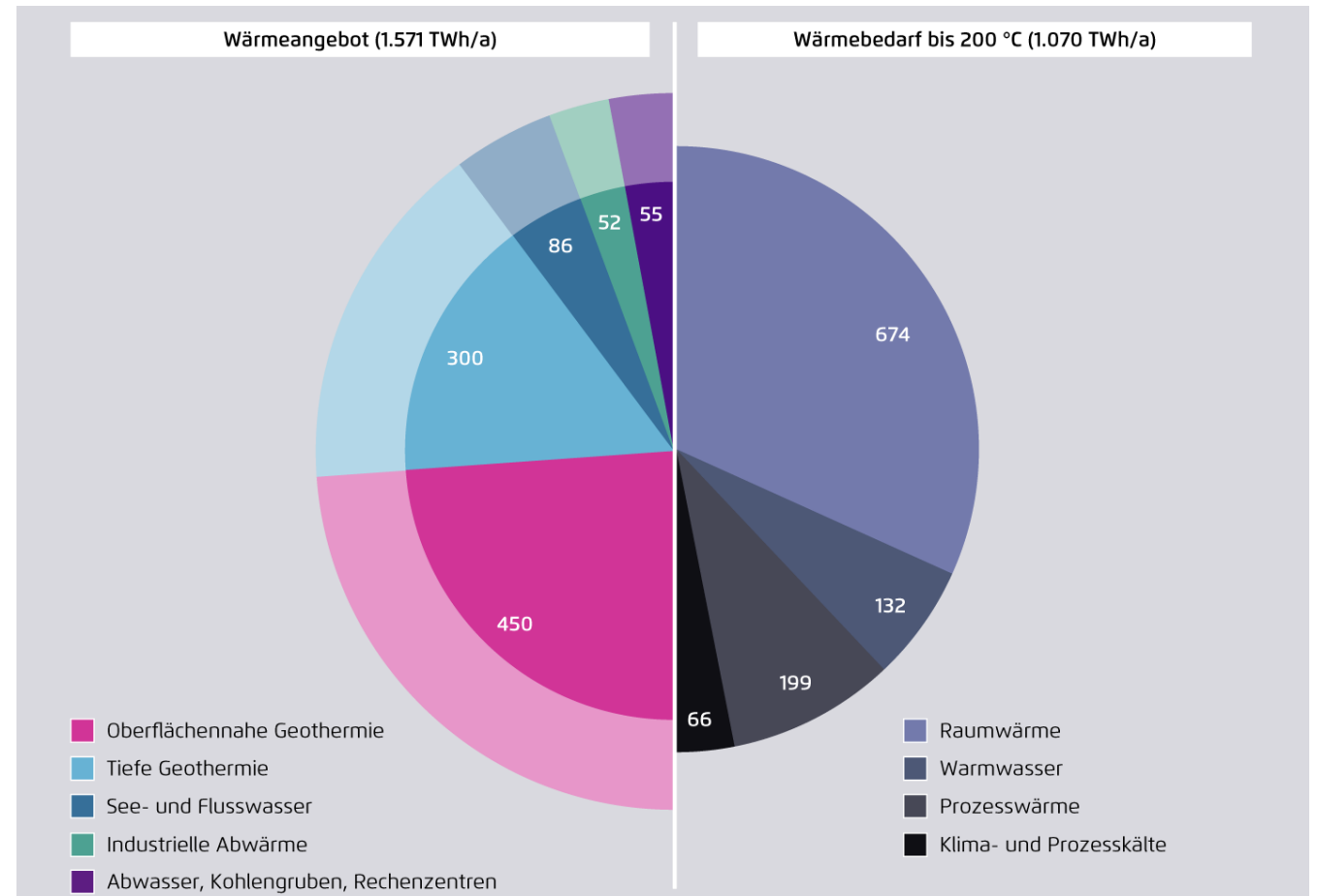


Wärmequellen und Stand der Technik

Langfristig lässt sich der gesamte Wärmebedarf bis 200 °C in Deutschland durch Wärmepumpen decken

Gegenüberstellung des mögl. Wärmeangebots durch Wärmepumpen und der Wärmebedarfe bis 200 °C in Deutschland (exkl. Umgebungsluft)

- Wärmebedarfe bis 200 °C sind verantwortlich für 3/4 des deutschen Gasverbrauchs und über 1/4 der deutschen Emissionen (2021)
- Knapp 2/3 des Wärmebedarfs entfallen auf Raumwärme
- Diese Bedarfe können vollständig durch Wärmepumpen gedeckt werden
- Ohne Berücksichtigung der Wärmequelle Luft bieten die oberflächennahe und tiefe Geothermie das mit Abstand größte Potenzial



Fraunhofer IEG (2023) basierend auf Born et al. (2022), Bracke et al. (2022), Kammer (2018), Gerhardt et al. (2019), Fritz und Pehnt (2018), Wolf (2017), Stobbe et al. (2015), AGE (2022b)

Die Hersteller von Großwärmepumpen haben bereits viele marktreife Produkte für den Einsatz in Wärmenetzen im Angebot

Maximale Vorlauftemperatur und Heizleistung verfügbarer Großwärmepumpen*

- Großwärmepumpen für Wärmenetze sind bereits heute im Temperaturbereich der Fernwärme (größtenteils < 110 °C) am Markt verfügbar.
- Viele Produkte erzielen bereits heute COPs von über 2,5.
- Bei höheren Temperaturen fällt die Bandbreite an Großwärmepumpen weitaus geringer aus: >140 °C ist der Markt noch nicht vollständig bedienbar
- Schlüsselkomponente Verdichter: gibt den Temperatur- und Leistungsbereich sowie die Effizienz maßgeblich vor

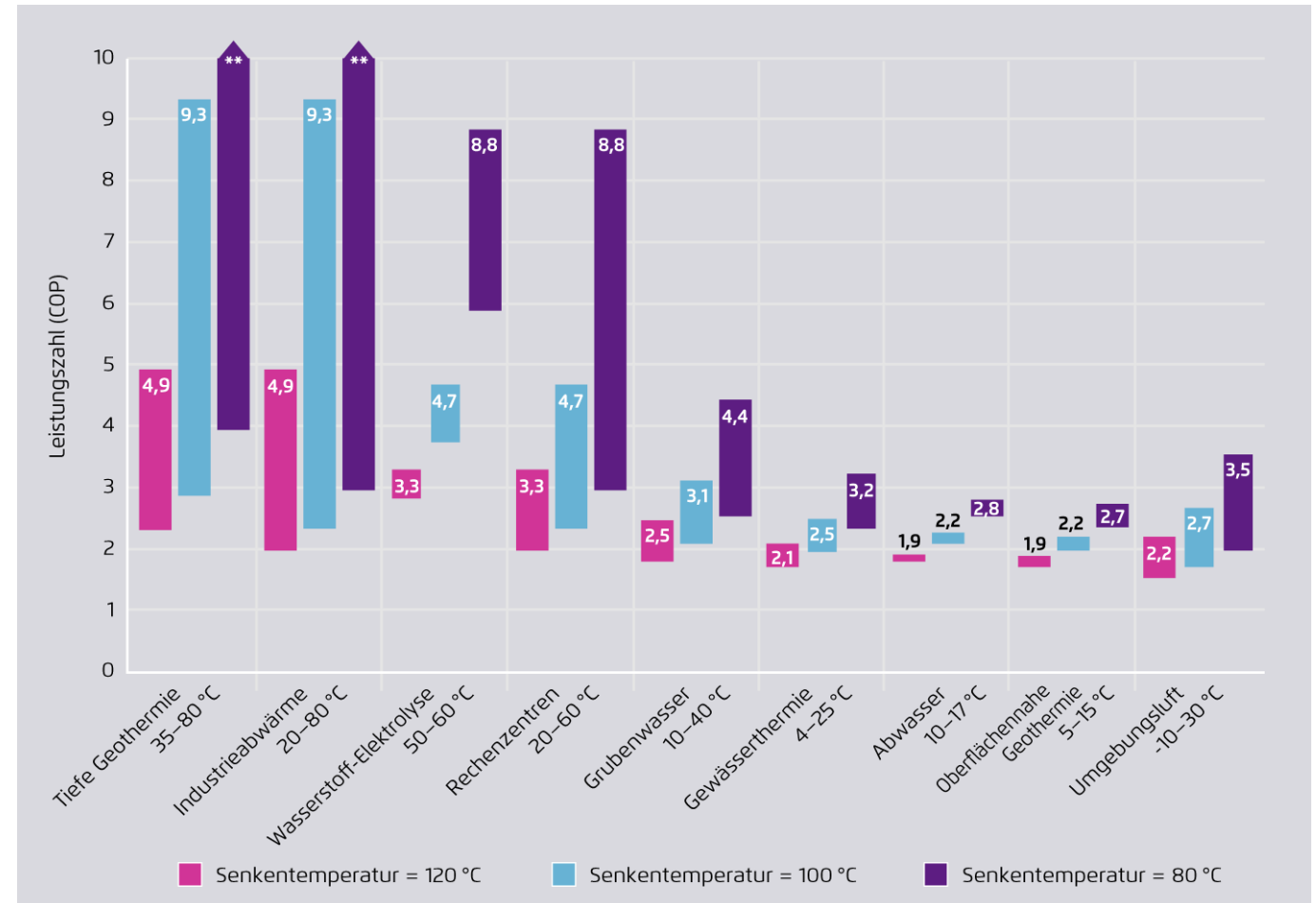


Fraunhofer IEG (2023) basierend auf Herstellerangaben * abhängig von Temperaturhub und max. Vorlauftemperatur

Die Effizienz einer Wärmepumpe steigt mit höheren Quellen- und niedrigeren Netztemperaturen

Theoretisch mögliche COPs von Wärmepumpen bei Nutzung verschiedener Wärmequellen*

- Die individuellen Standortbedingungen in Bezug auf die Temperatur der Wärmequelle und des Fernwärmenetzes bestimmen die erwartbare Anlageneffizienz.
- Höchste Quellentemperaturen bei Geothermie, niedrigste Quellentemperaturen bei Luft
- Temperaturabsenkung in Wärmenetzen erhöht den Einsatzbereich und steigert die Wirtschaftlichkeit von Großwärmepumpen

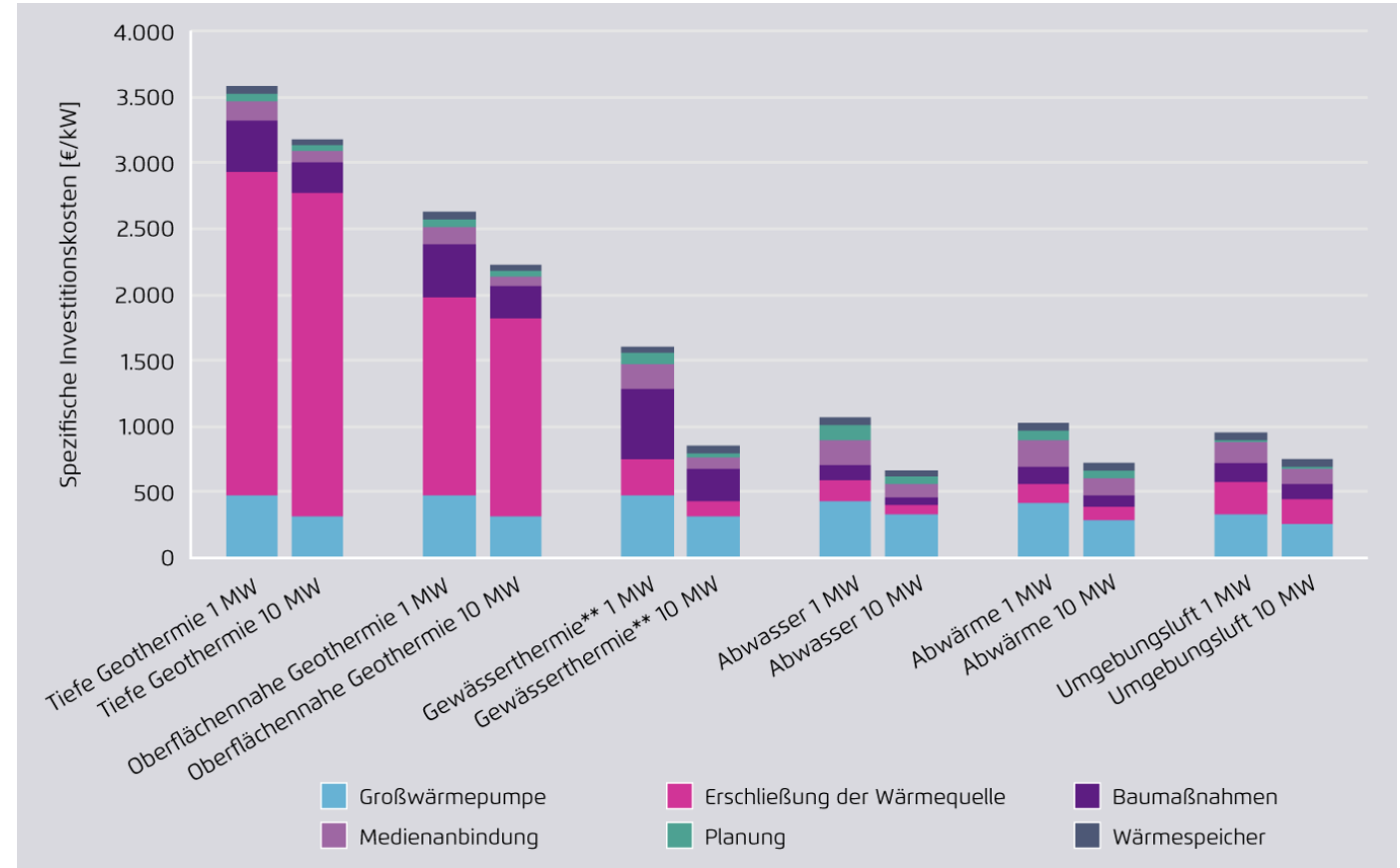


Fraunhofer IEG (2023) * Bei einem WP-Gütegrad von 50 % u. unterschiedl. Wärmenetztemperaturen. Der Carnot-Prozess bestimmt den höchsten theoretisch erreichbaren COP einer WP. Gütegrad = realer COP / Carnot-COP

Investitionsbedarf hängt maßgeblich von der Wärmequelle, den individuellen Standortvoraussetzungen u. der Dimensionierung der Großwärmepumpe ab

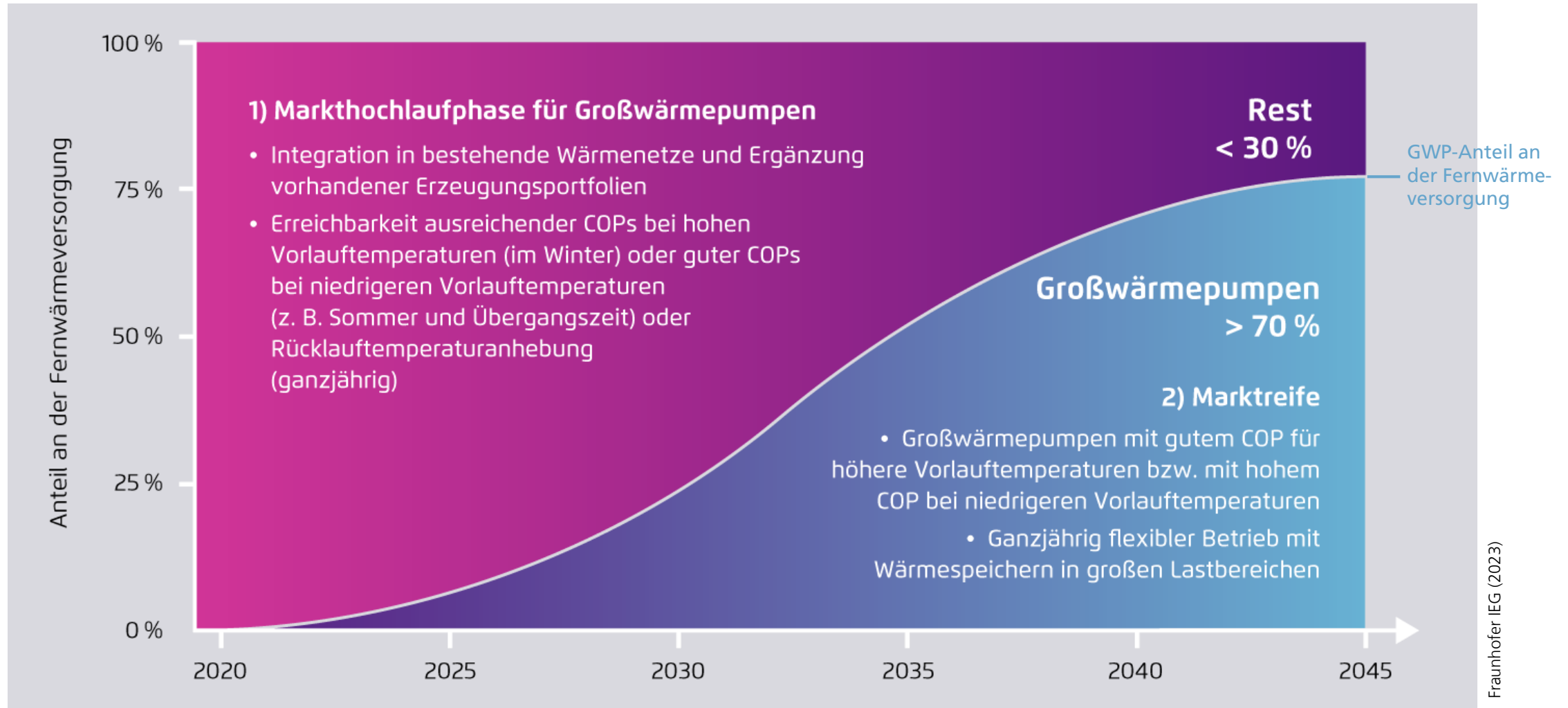
Einfluss der Wärmequelle und der übrigen Anlagenkomponenten auf die Investitionskosten von Großwärmepumpenprojekten

- Investitionskosten sinken mit Anlagengröße
- Wärmequelle und vorhandene Infrastruktur mit größtem Einfluss. Große Unterschiede in Kosten der Peripherie (hohe Standortabhängigkeit)
- Geothermiebohrungen mit höherer Lebensdauer als Wärmepumpen
- Wärmegestehungskosten zusätzlich abhängig von Betriebsstunden und COPs
- Hoher Investitionsbedarf und hoher COP
→ eher für Einsatz mit höherer Auslastung
- Geringe Auslastung (siehe T45-Szenarien)
→ niedrige spez. Investitionskosten werden wichtiger



Fraunhofer IEG (2023) basierend auf Pieper et al. (2018), Grosse et al. (2017) und eigener Datenerhebung zu aktuellen GWP-Projekten.

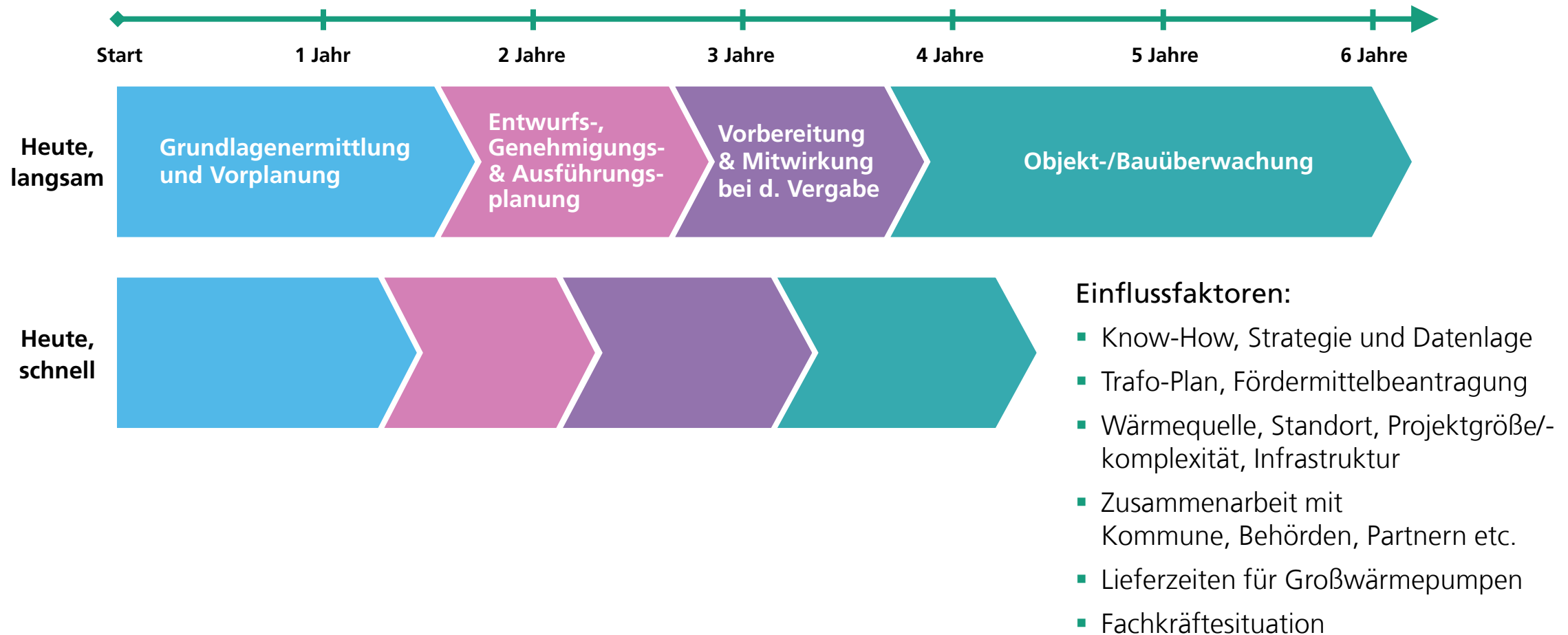
Vom Markthochlauf zur Marktreife: Der Roll-out von Großwärmepumpen in Wärmenetzen und der Industrie kann und muss jetzt starten





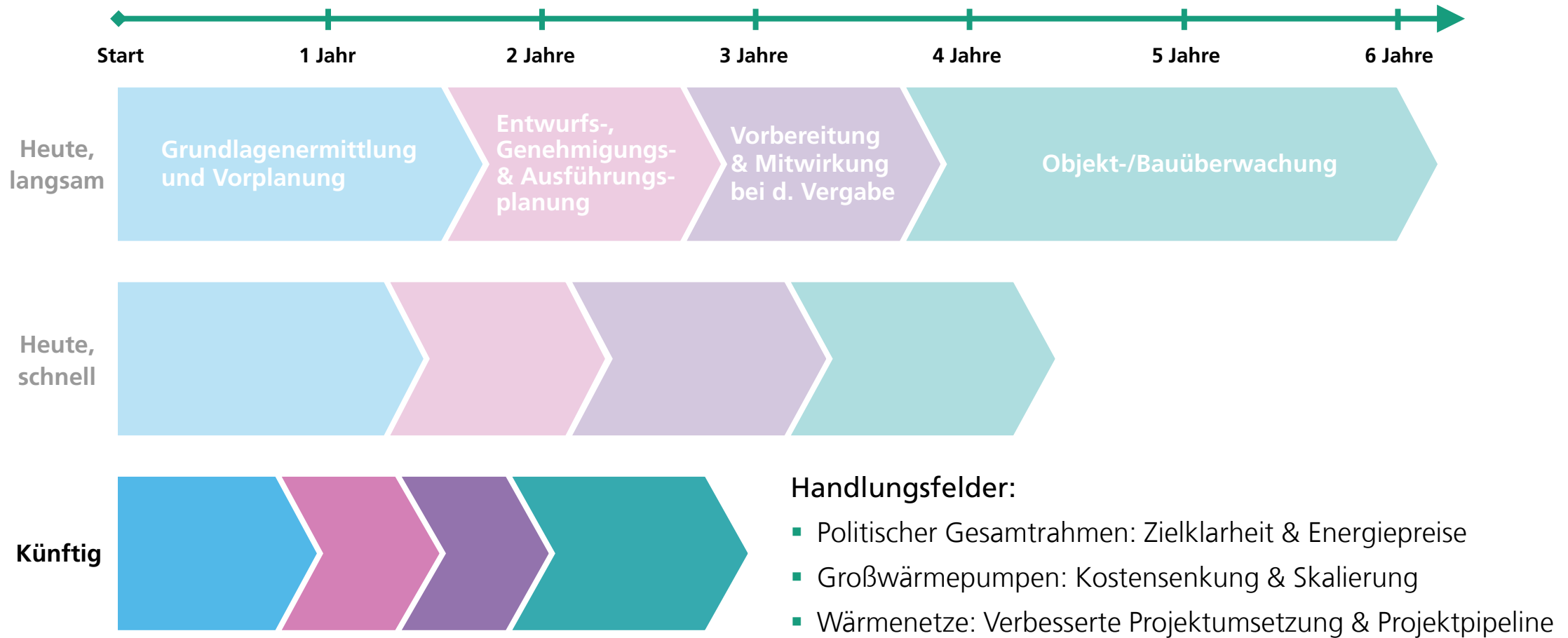
Handlungsfelder

Potenzial zur Beschleunigung der Planung, Genehmigung und Realisierung von Großwärmepumpenprojekten



Fraunhofer IEG (2023) basierend auf Informationen von Fernwärmeversorgern und GWP-Projektentwicklern (Stand: 05/2023)

Potenzial zur Beschleunigung der Planung, Genehmigung und Realisierung von Großwärmepumpenprojekten



Fraunhofer IEG (2023) basierend auf Informationen von Fernwärmeversorgern und GWP-Projektentwicklern (Stand: 05/2023)

Für den schnellen Hochlauf von Großwärmepumpen sind drei Handlungsfelder entscheidend

1

Gesamtrahmen:

Klare Ziele und Leitplanken, effiziente Energiepreise und reformierte Netzentgelte

- Stakeholder-Prozess für Zielklarheit: Fernwärme-/Großwärmepumpengipfel
- Wirtschaftlichkeit von Strom gegenüber Gas, CO₂-Bepreisung
- Energiesystemdienliche Netzentgelte und schnellere Stromnetzanschlüsse

2

Großwärmepumpen:

Kostensenkung, Ausbau der Fertigungskapazitäten und weitere Performancesteigerung

- Standardisierung, Modularisierung u. Skalierung der Produkte u. Prozesse
- Umgehender Aufbau größerer Fertigungskapazitäten
- Innovationsschwerpunkte: Verdichter, Temperaturhübe, Effizienzsteigerungen und flexibler Betrieb, breiterer Einsatz natürlicher Kältemittel

3

Wärmenetze:

bereinigte Förderlandschaft, verbindliche Wärmeplanung und vereinfachte Umsetzung

- Aufstockung BEW-Fördertopf und Beseitigung von Fehlanreizen
- Verbindliche kommunale Wärmeplanung u. Netztemperaturabsenkung. Weiterentwicklung zur integrierten (kommunalen) Energiesystemplanung
- Vereinfachte und beschleunigte Planung, Genehmigung und Umsetzung von Großwärmepumpenprojekten



**Investitionen in
Großwärmepumpen
sind wahre No-regret-
Maßnahmen.«**

Kontakt

Björn Drechsler

Geschäftsmodelle der Systemtransformation und Technologietransfer

T: +49 355 355 40 154

M: bjoern.drechsler@ieg.fraunhofer.de

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

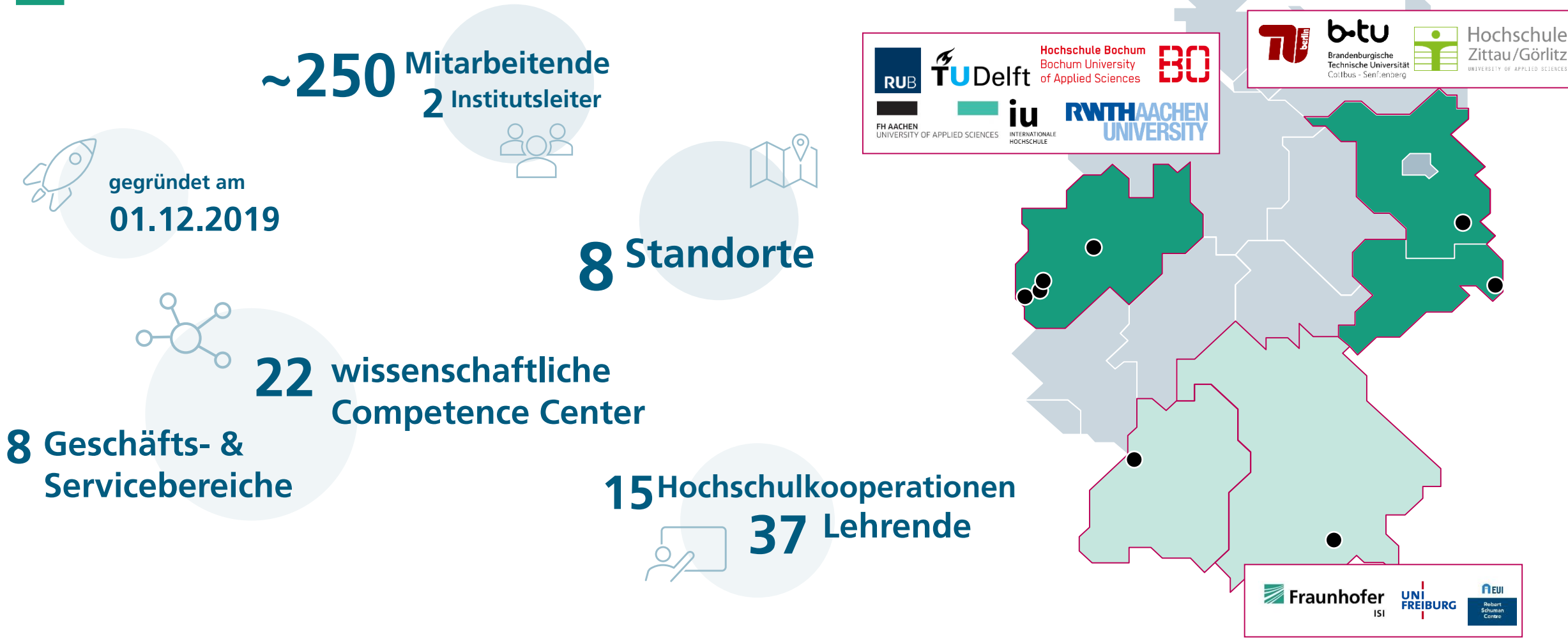
Gulbener Str. 23

03046 Cottbus

www.ieg.fraunhofer.de

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

Kurzvorstellung und Kennzahlen



Forschungsfelder des Fraunhofer IEG im Überblick

10 Forschungsfelder für die Gestaltung der klimaneutralen Energiesysteme der Zukunft

1. Entwicklung Methoden u. Tools zur **sektorenübergreifenden Analyse und Planung integrierter Infrastrukturen**
2. Entwicklung von Geotechnologien für neue Erschließungs- und Nutzungsmethoden des **Untergrundes als zentralem Infrastrukturelement** für defossilisierte Energiesysteme
3. Neue Verfahren der Exploration u. Charakterisierung von Georessourcen zur **Energiegewinnung und -speicherung**
4. Weiterentwicklung **thermodynamischer Wandler** und **Hochtemperaturwärmepumpen** der MW-Klasse
5. Entwicklung von Technologien und Konzepten für **Wärme- und Kältenetze der nächsten Generation**
6. Systematische Analyse und Modellierung künftiger **Wasserstoffinfrastrukturen** (Netze und Speicher) für die Planung der deutschen und europäischen Transport- und Verteilnetze
7. Entwicklung Verfahren zur **CO₂-Abscheidung und Nutzung (CCU)** und die dazugehörige Infrastruktur
8. Technologien und Verfahren für **Monitoring, Steuerung, Regelung und Automatisierung** von Energiesystemen
9. Betreibung marktkonformer **Entwicklungs- und Testumgebungen** und digitale Vernetzung der Laborumgebung
10. Innovative **Reallabore** als Schlüsselement zur Entwicklung und Implementierung marktgängiger Anwendungen



Verfahren zur Dampfreduktion

K+S Minerals and Agriculture GmbH

Konzept zur Reduktion des Prozessdampfeinsatzes mittels nachhaltig betriebener Wärmepumpen.

Eckdaten

- Thermische Leistung von 16 MW
- Temperaturniveau von 90°C

Standortspezifische Prozessanalyse

- Identifikation und Quantifizierung von Wärmequellen und -senken
- Bewertung von Möglichkeiten zur Prozessintegration durch Wärmepumpen
- Auslegung der Anlagenperipherie
- Erarbeitung eines Realisierungs- und Wartungskonzepts

Mit dem Vorhaben kann ein Einsparpotenzial von über 25 Tonnen Prozessdampf pro Stunde realisiert werden.



mehr Informationen



FernWP

Wärmepumpen statt Kohleverbrennung

Fern- und Prozesswärmeversorgung durch Wärmepumpen als Ersatz der Kohleverbrennung

Das Projekt befasst sich mit den techno-ökonomischen Fragen bei der Systemintegration von Großwärmepumpen bei der Erzeugung von Fernwärme und Prozesswärme. Neben einer Bewertung der aktuellen Rahmenbedingungen steht die Analyse des Einsatzpotenzials von Groß- bzw. Hochtemperaturwärmepumpen zur Wärmebereitstellung und dem Weiterentwicklungsbedarf.

Projekthalte

- Identifikation geeigneter erneuerbarer Temperaturquellen
- Systematische Adressierung der netzseitigen Anforderungen
- Identifikation des Weiterentwicklungsbedarfs konstruktiver Bauelemente
- Identifikation geeigneter Kältemittel
- Erarbeitung geeigneter Betriebsstrategien zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit



Bild: Stadtwerke Cottbus

Neuer Großwärmepumpenprüfstand des Fraunhofer IEG

Eckdaten:

- Standort: Heizkraftwerk Cottbus (Wärmequelle: Becken des Kühlturms)
- Auslegung für 1 MW thermisch und 90°C
- Zielgruppe: GWP-Hersteller und FuE-Projekte (z.B. FernWP)
- Inbetriebnahme und erste Messungen für Hersteller im August 2023 erfolgt
- Aufbau eines weiteren Prüfstands für größere GWP-Leistungsklassen durch Fraunhofer IEG in Planung



Foto: D. Zocher/Fraunhofer IEG



Foto: A. Unger/Fraunhofer IEG



Foto: F. Ahrendts/Fraunhofer IEG

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit
