

07. März 2024, Report: Die Energiewende kosteneffizient gestalten – Szenarien zur Klimaneutralität 2045

Ariadne Szenarienreport: Gebäude



CHRISTOPH KOST (Fraunhofer ISE)
HANNAH NOLTE (Fraunhofer ISE)
CHARLOTTE SENKPIEL (Fraunhofer ISE)



GEFÖRDERT VOM



Ausgangslage im Gebäudebereich

- › Der Gebäudesektor machte im Jahr 2023 etwa **15 %** der deutschen Treibhausgasemissionen aus (Umweltbundesamt 2024d).
- › Wichtig: **Weitere Emissionen**, die ebenfalls mit Gebäuden verbunden sind, wie die Emissionen des Strommixes sowie der Fernwärme, werden entsprechend dem Quellprinzip im Sektor Energiewirtschaft bilanziert.
- › Anfang des Jahres 2024 trat die Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) in Kraft, welche die sogenannte **65 %-Erneuerbare-Energien-Regel an neue Heizsysteme** einführt.
 - › Gekoppelt ist das Gesetz an das **Kommunale Wärmeplanungsgesetz (WPG)**, das ebenfalls zum 01.01.2024 in Kraft trat und vorsieht, dass alle Städte und Gemeinden ab 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern bis zum Jahr 2026 eine **Wärmeplanung** durchgeführt haben müssen; alle kleineren Städte und Gemeinden bis zum Jahr 2028.
 - › Zudem wurden die zentralen Förderprogramme, die **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)** und die **Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)**, angepasst. Die BEG beinhaltet einkommensabhängige Fördersätze und einen Geschwindigkeitsbonus.

GEFÖRDERT VOM



Die wesentlichen strukturellen Hebel zur Reduktion der THG-Emissionen im Gebäudesektor sind :

› a) der Energieträgerwechsel durch Heizungstausch:

Ersatz von fossilen Heiztechnologien wie Öl- und Gasheizungen durch CO₂-arme Technologien wie **Wärmepumpen, Fernwärme oder Biomasse,**



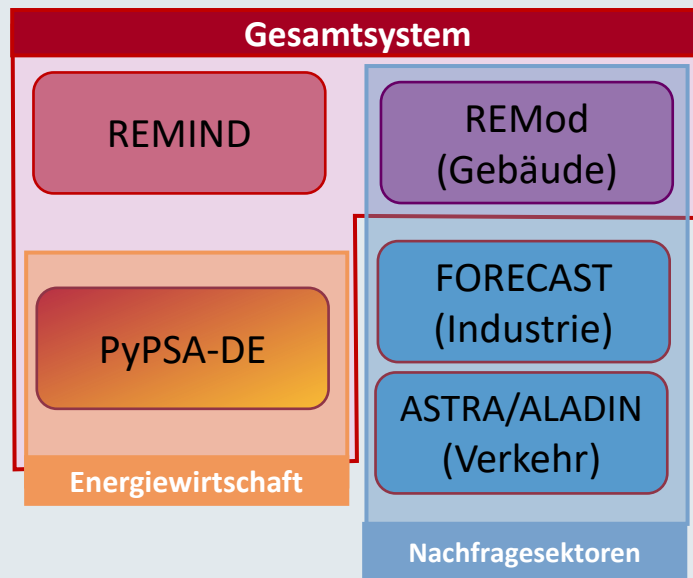
› b) die **energetische Gebäudesanierung** zur Reduktion der Endenergienachfrage und

› c) die **effiziente Nutzung von Wohnraum** sowie effizientes Heiz- und Lüftungsverhalten.



Methodik: Modelle und Szenarien

Modellensemble



REMIND: Integrierteres Energie-Ökonomie-Klima Modell
Deutschland im europäischen und globalen Kontext

PyPSA-DE: Gesamtsystemmodell mit hoher zeitlicher und
räumlicher Auflösung von Stromsystems, Infrastrukturen,
Sektorkopplung

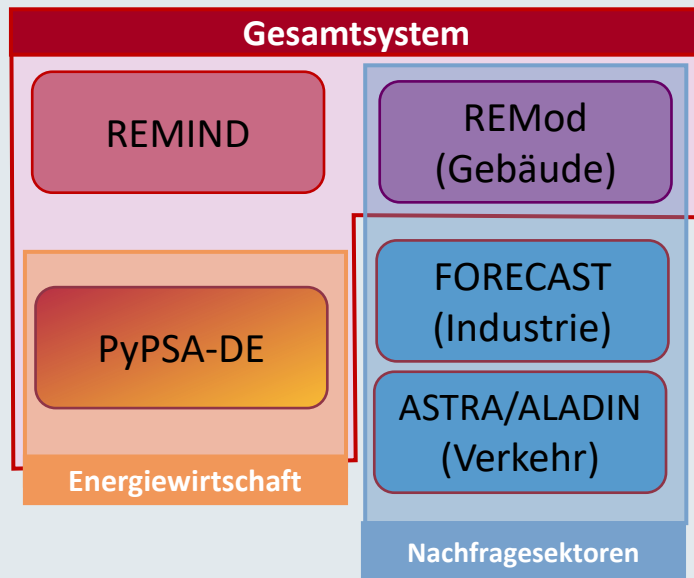
REMod: Gesamtsystemmodell mit stündlicher Auflösung des
Stromsystems, Sektorleitmodell für Gebäudewärme

FORECAST: Bottom-up Modell Industrie

ASTRA/ALADIN: Verkehrsnachfrage und bottom-up
Modellierung Antriebswende

Methodik: Modelle und Szenarien

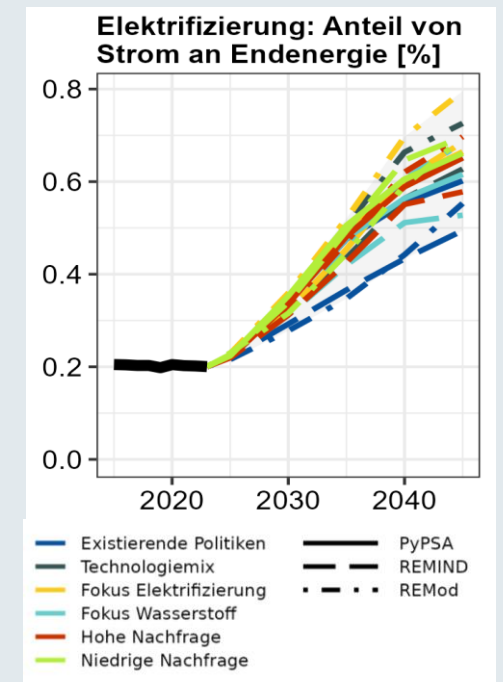
Modellensemble



Szenariendesign

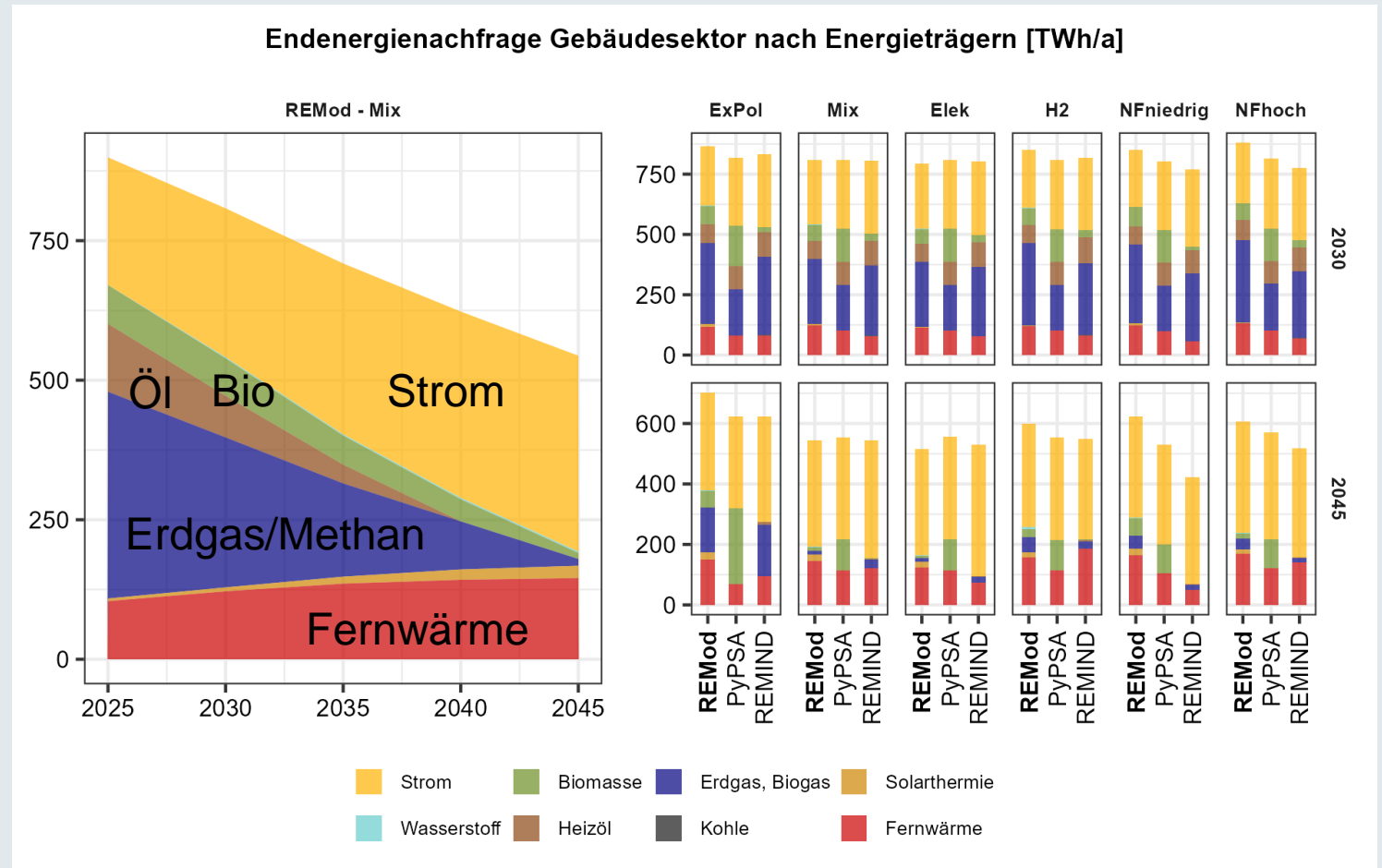
Klimaneutralität bis 2045	0 <i>Existierende Politiken – ExPol</i> bis Ende 2023 implementierte Maßnahmen
	1 <i>Technologiemix – Mix</i> breites Portfolio an Technologien und Energieträgern
	2 <i>Fokus Elektrifizierung – Elek</i> Priorisierung von direkter Elektrifizierung
	3 <i>Fokus Wasserstoff – H2 :</i> Stärkere Nutzung von Wasserstoff und H2-Derivate
	4 <i>Niedrige Nachfrage – NFniedrighoch:</i> Geringere Nachfrage und schnellerer nachfrageseitiger Technologiehochlauf
5 <i>Hohe Nachfrage – NFhoch:</i> Geringere Nachfrage und träger nachfrageseitiger Technologiehochlauf	

Modellrechnungen und Analysen



Endenergie reduziert sich um etwa 18-20% wegen Effizienz und Sanierung

- › Die **Sanierung** spielt für die Zielerreichung eine entscheidende Rolle und liegt in den Ergebnissen der Zielszenarien bei durchschnittlich 1,9 bis 2,0.
- › Im Szenario *Existierende Politiken* bleibt die Sanierungsrate mit etwa 1,0 % auf heutigem Niveau.

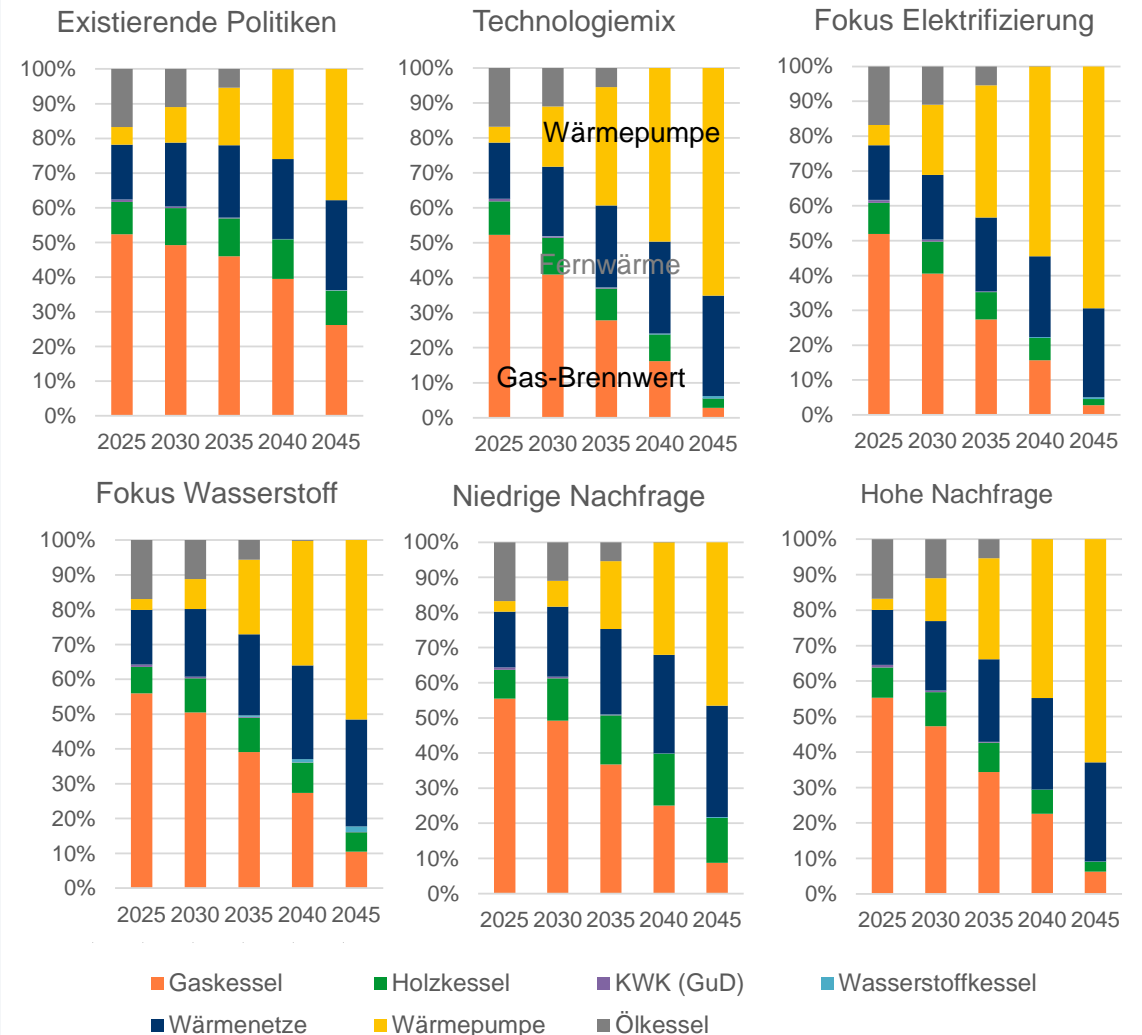


GEFÖRDERT VOM

Starke Veränderung der Heizstruktur in den Gebäuden

- › Im Jahr 2024 war in Neubauten zwar die **Wärmepumpe** die am häufigsten installierte Technologie mit rund **64 %**, gefolgt von der **Fernwärme** mit **24 %**. Im gesamten Gebäudebestand machen jedoch immer noch fossile Gas- und Ölheizungen mit rund 73 % den Großteil der Heizsysteme aus.
- › Szenario *Fokus Elektrifizierung* mit 66% Wärmepumpen im Jahr 2045
- › Die Nutzung von Wasserstoff ist in allen Szenarien nur in sehr geringem Umfang Teil der Modelllösung (2,3 bis 5 TWh).

Entwicklung der Technologiezusammensetzung im Gebäudesektor



GEFÖRDERT VOM

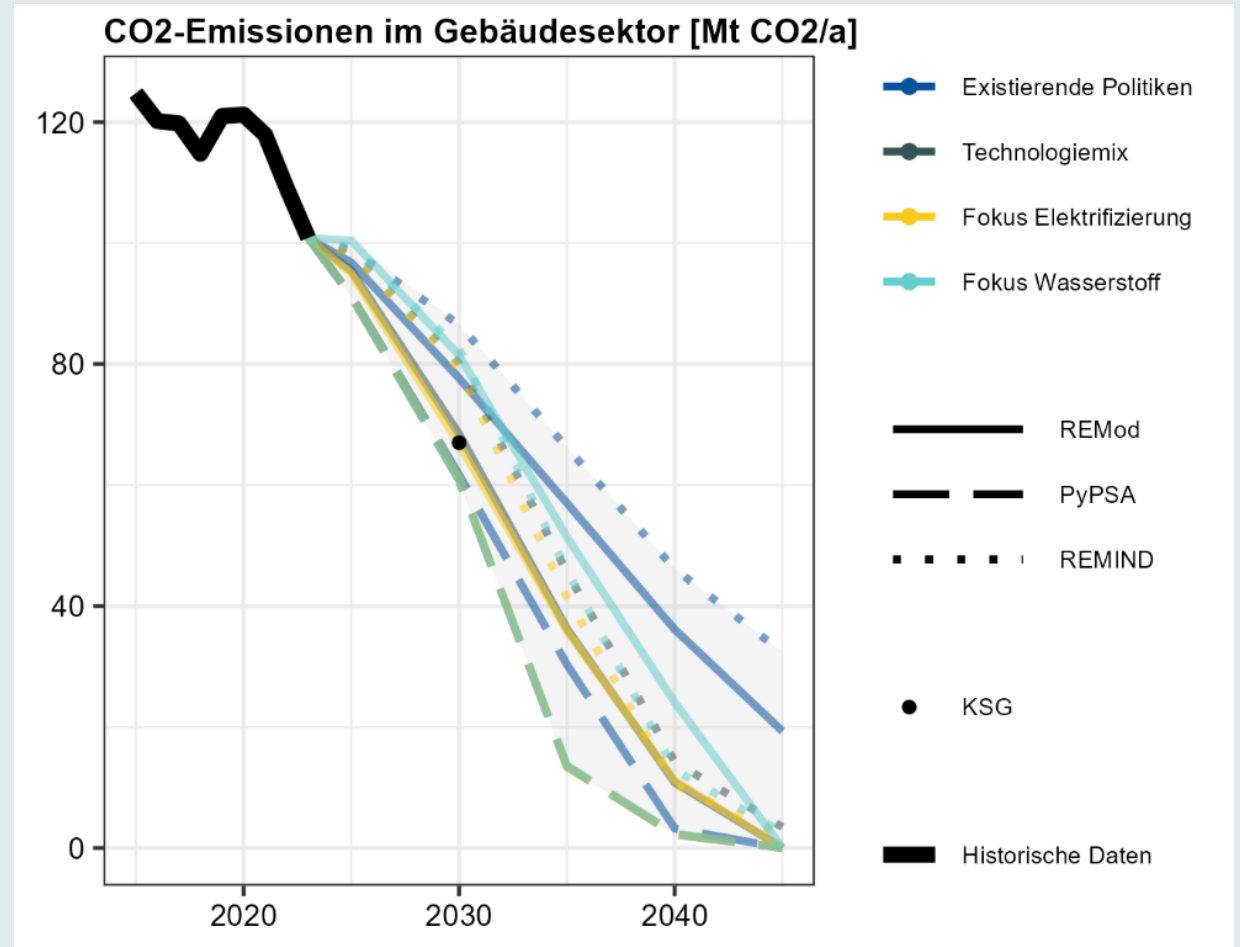
Die Dekarbonisierung der Fernwärmebereitstellung ist ein weiterer Schlüssel zur Transformation des Gebäudesektors.

- › Im Jahr 2045 wird zwischen 175 TWh (*Fokus Elektrifizierung*) und 225 TWh (*Hohe Nachfrage*) bereitgestellt.
- › In 2045 nimmt Strom in allen Szenarien den größten Anteil ein, was durch den verstärkten Zubau und Einsatz von Großwärmepumpen (und Wärmespeichern) erreicht wird.



Was sind die CO2-Emissionseffekte der Transformation?

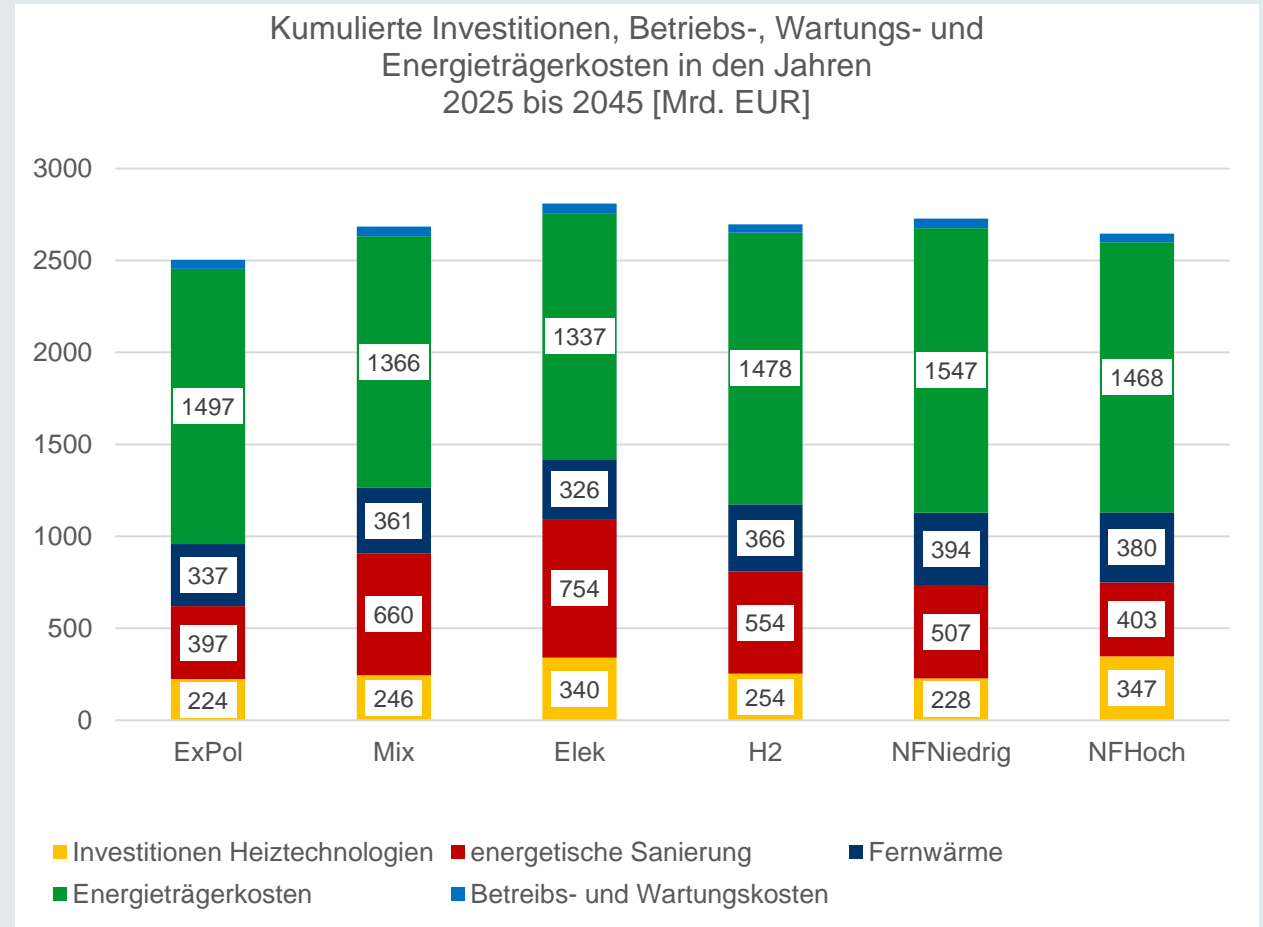
- › Im Jahr 2023 hat der Gebäudesektor 102 Mt CO₂äq emittiert und machte 15,2 % der Gesamtemissionen aus (Umweltbundesamt 2024c).
- › Starkes Absinken durch Energieträgerwechsel
- › Höhere Emissionen, wenn auf mehr Erdgas und H₂ gesetzt wird. (H₂ Szenario)



GEFÖRDERT VOM

Energieträgerkosten, Sanierung und neue Heiztechnologien bestimmen die Kosten im Gebäudebereich

- › Großteil der Investitionen im Bereich der energetischen Gebäudesanierung in einer Größenordnung zwischen 403 und 754 Mrd. EUR kumuliert über die Jahre 2025 bis 2045 bzw. 19 bis 36 Mrd. EUR pro Jahr liegen.
- › Für den Heizungstausch fallen Investitionen von 228 bis 347 Mrd. EUR (2025–2045) beziehungsweise jährlich 12 bis 18 Mrd. EUR an.

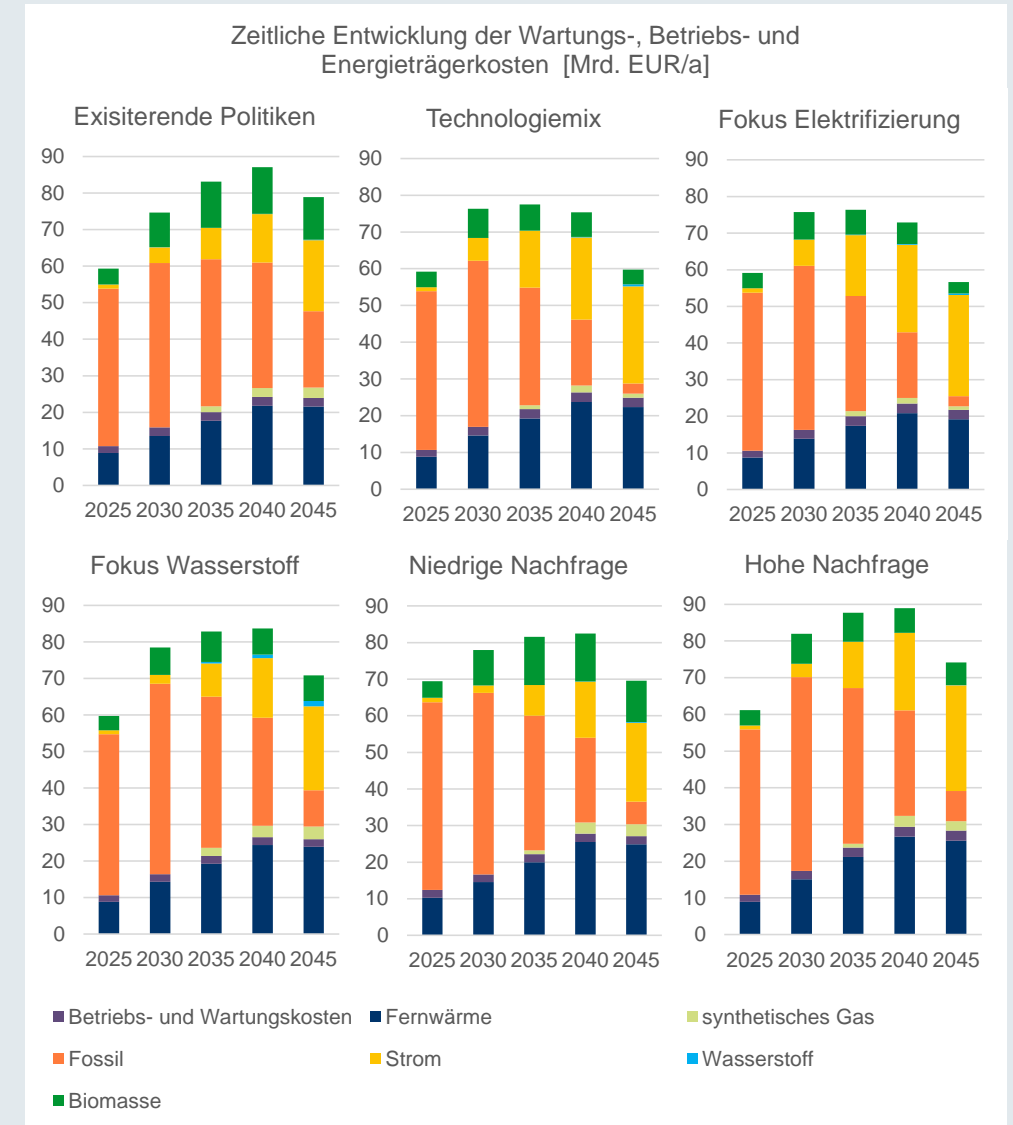


GEFÖRDERT VOM



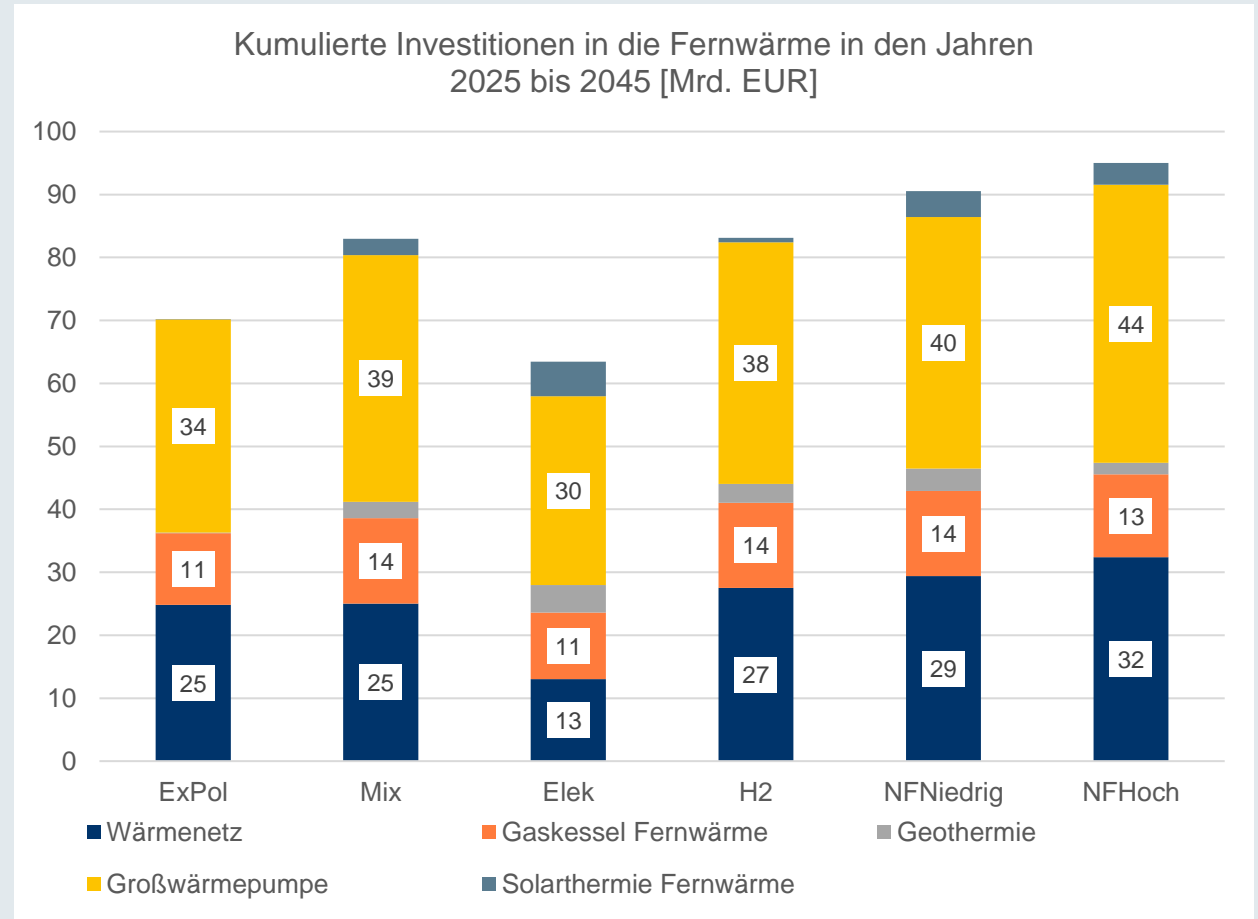
Energieträgerkosten geringer je mehr elektrifiziert wird – Gründe sind der CO2-Preis und hohe Kosten für Wasserstoff

- › Die gesamten Wartungs-, Betriebs- und Energieträgerkosten liegen bei durchschnittlich etwa 60 – 87 Mrd. Euro pro Jahr.
- › Höhere Wartungs-, Betriebs- und Energieträgerkosten im Szenario *Existierende Politiken* (1.550 Mrd. EUR) im Vergleich zum Szenario *Technologiemix* (1.420 Mrd. EUR). Das ergibt sich durch 30 % höhere Kosten für die fossilen Energieträger und 76 % höhere Kosten für biogene Energieträger im Szenarienvergleich.



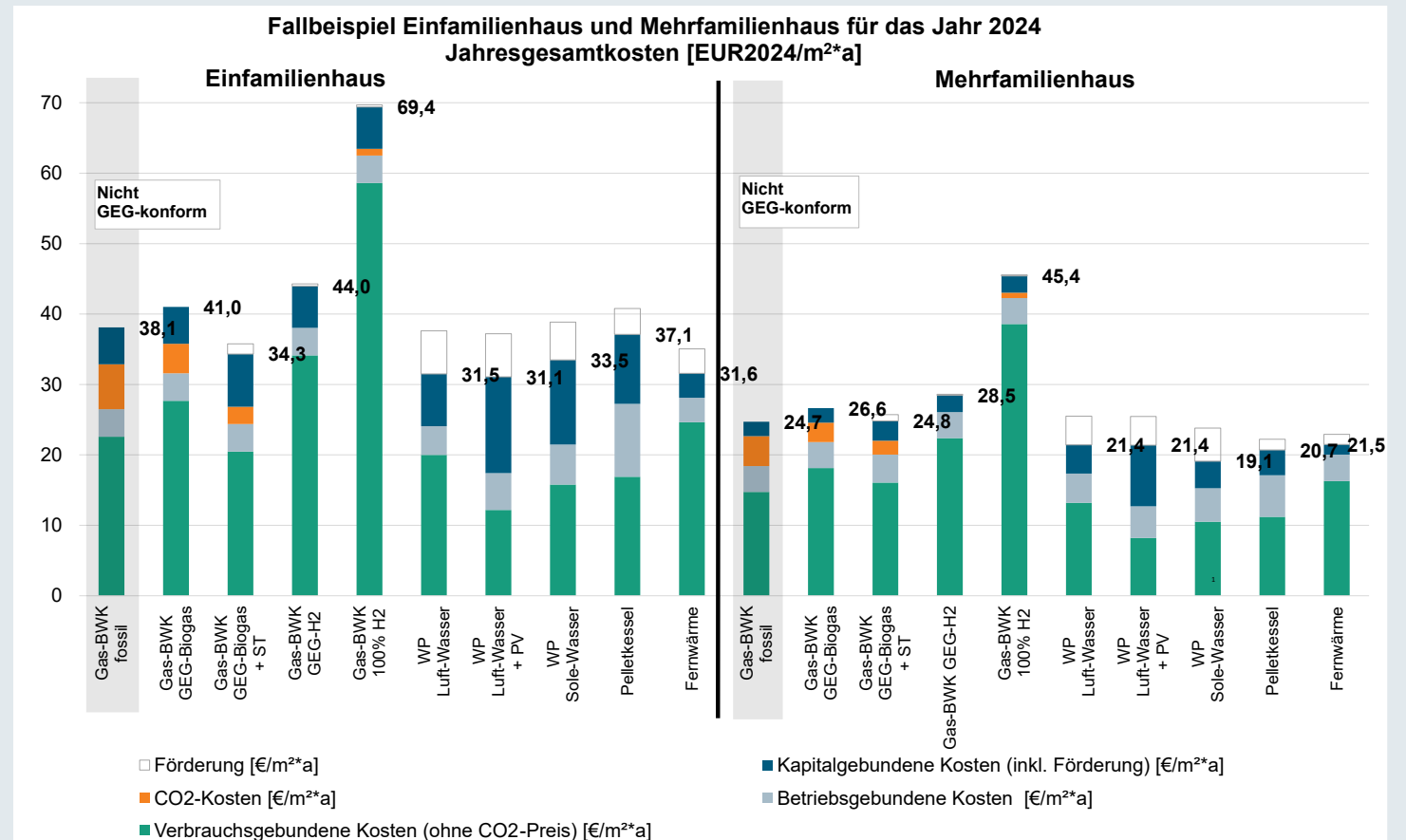
Investitionen in die Fernwärme sind wichtig

- › Die Gesamtkosten in der Fernwärme von rund 67 bis 96 Mrd. EUR beziehungsweise durchschnittlichen 4 Mrd. EUR pro Jahr im Szenario *Technologiemix*.
- › Die niedrigsten Investitionen in die Fernwärme fallen in dem Szenario *Fokus Elektrifizierung* an, da hier der Fokus auf dezentralen Wärmepumpen liegt.
- › Die Investitionen in die Fernwärme liegen in allen Szenarien deutlich unterhalb derer des dezentralen Heizungstauschs und der energetischen Sanierung.
- › Der Hauptanteil der Investitionen entfallen auf die Fernwärmebereitstellung durch Großwärmepumpen (41 Mrd. EUR im Szenario *Technologiemix*) und die Wärmenetze (21 Mrd. EUR im Szenario *Technologiemix*).



Die Sicht der Endkunden: Wärmebereitstellungskosten bei Bestandsgebäuden im Jahr 2024

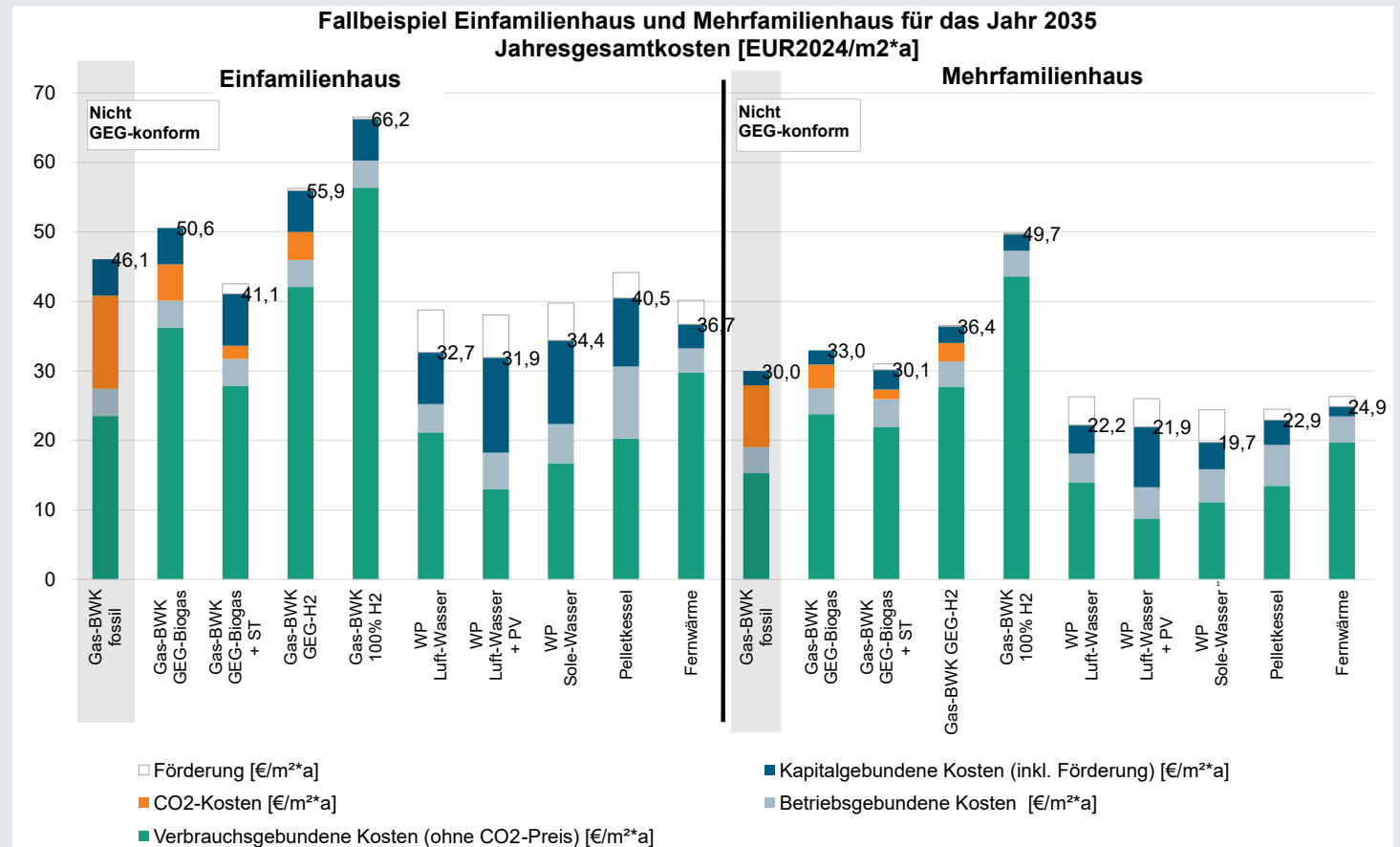
- › Analyse von Bestandsgebäuden, da Neubau überwiegend mit Wärmepumpen und Wärmenetzen versorgt
- › Angabe als durchschnittliche Kosten über die Lebensdauer
- › Aktuelle Investitionsförderung: weißer Kasten
- › Fernwärme stark Gebiet und Struktur abhängig, hier nur beispielhaft.



GEFÖRDERT VOM

Die Sicht der Endkunden: Wärmebereitstellungskosten bei Bestandsgebäuden im Jahr 2035

- Neue fossile Heizungen im Jahr 2035 sehen einen höheren Effekt von CO₂-Kosten
- Wasserstoff als teuerste Heizungsoption
- Förderung von 2025 berücksichtigt. Natürlich unklar, wie sich die Fördersituation im Jahr 2035 darstellt
- Auch im Mehrfamilienhaus können Wärmepumpen technisch und wirtschaftlich genutzt werden



GEFÖRDERT VOM

Zentrale Ergebnisse

- › **Die Wärmewende in Gebäudesektor macht mit 40 – 50 Mrd. EUR pro Jahr einen großen Anteil der Investitionsbedarfe der Energietransformation aus.** Vor allem Ausgaben für die energetische Sanierung und, in einem geringeren Umfang, der Einbau klimafreundlicher Heizungssysteme schlagen hier zu Buche.
- › **Wärmepumpen können Heizkosten in Neubauten und Bestandsgebäuden senken.** Höhere Anschaffungskosten von Wärmepumpen verglichen mit Gasheizungen stehen niedrigeren Energiekosten für Strom verglichen mit Erdgas (auch aufgrund steigender CO₂-Preise) gegenüber.

Mögliche Handlungsfelder

- **Klare politische Signale für den Umstieg auf klimaneutrale Heizsysteme:** Kostenfalle bei fossilbetriebenen Heizungen, großskalige Nutzung von Wasserstoff in Gebäuden unwirtschaftlich
- **Wärmepumpen sind aus systemischer Sicht die kostengünstigste Option für die Dekarbonisierung der dezentralen Wärmeversorgung.** Daneben spielt in allen Zielszenarien die zentrale Wärmeversorgung über Wärmenetze eine wichtige Rolle. Hier kommen zur Wärmebereitstellung Großwärmepumpen, KWK-Anlagen, Geothermie, Biomasse und Solarthermie zum Einsatz.
- **Entlastung in Strompreisbildung** unterstützt den Trend zur Nutzung von Wärmepumpen
- **Investitionskosten für klimaneutrale Heizsysteme zielgenau fördern:** Förderung zielgenauer und sozial gerecht ausrichten, und Mitnahmeeffekte minimieren

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

KONTAKT: CHRISTOPH KOST
christoph.kost@ise.fraunhofer.de

