



FFE

Grundlagenstudie Wärmepumpen-Fahrplan

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch, Simon Greif

24.03.2021 Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Agenda

1

Vorstellung der FfE

2

Motivation und Ziel der Grundlagenstudie zur Roadmap Wärme

3

Gebäude- und Heizsystembestand

4

Modernisierungsoption Wärmepumpe im finanziellen Vergleich

5

Fazit & Diskussion

1.) Die FfE auf einen Blick

Leitbild

- Zukunftsfähiges Energiesystem in Deutschland, Europa und der Welt
- Chancen durch notwendige Transformation für Gesellschaft, Politik und Wirtschaft aufzeigen
- Unabhängige, wissenschaftliche Analysen als Basis für fundierte Entscheidungen
- Talente junger Wissenschaftler*innen fördern



Zahlen

- Gründung 1949 als gemeinnütziger Verein, seit 2001 Tochter: FfE GmbH
- Mehr als 100 Mitglieder, > 50 korporativ
- 80 Mitarbeitende
- 3 Dissertationen, 30 Abschlussarbeiten pro Jahr

Themenfelder

- Energiesystem
- Energiemärkte
- Energieeffizienz
- Ressourcen und Klimaschutz
- Digitalisierung

Kompetenzen

- Datenanalyse & -management
- Modellierung & Simulation
- Projektkoordination & IT
- Energiemanagement
- Feldtests & Transfer in die Praxis

1.) Aufbau der FfE

FFE Forschungsstelle für
Energiewirtschaft e.V.

Geschäftsleitung



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner
(Wissenschaftlicher Leiter)



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch

FFE Forschungsgesellschaft
für Energiewirtschaft mbH

Geschäftsleitung



Dr.-Ing. Serafin von Roon

- Non-Profit, projektbasierte Organisation
- > 95 % des Umsatzes durch Projekte
- Enge fachliche Zusammenarbeit mit der TU München

Vorstand

Präsidium

Prof. Dr. Florian Bieberbach (Vorsitzender)

Dr. Marcus Bollig (stellv. Vors.)

Prof. Dr. Wolfram Münch (stellv. Vors.)

Vorstand & Gäste

K. Andreae, G. Brühl, U. Brockmeier,

F.-D. Drake, K. Engels, C. Friedrich,

W. Götz, P. Hoffmann, E. Höhne,

U. Keussen, H. Mennel, M. Riechel,

N. Schürmann, A. Schnauß, S. Schweizer,

M. Wagner, M. Weinhold, E. Westphal,

P. Wolffram

Mitgliedsunternehmen



2.) Motivation und Ziel



Fragestellung

- Unter welchen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen kippt die Heizungsmodernisierung im gesamten Gebäudebestand zugunsten der Wärmepumpe?



Motivation

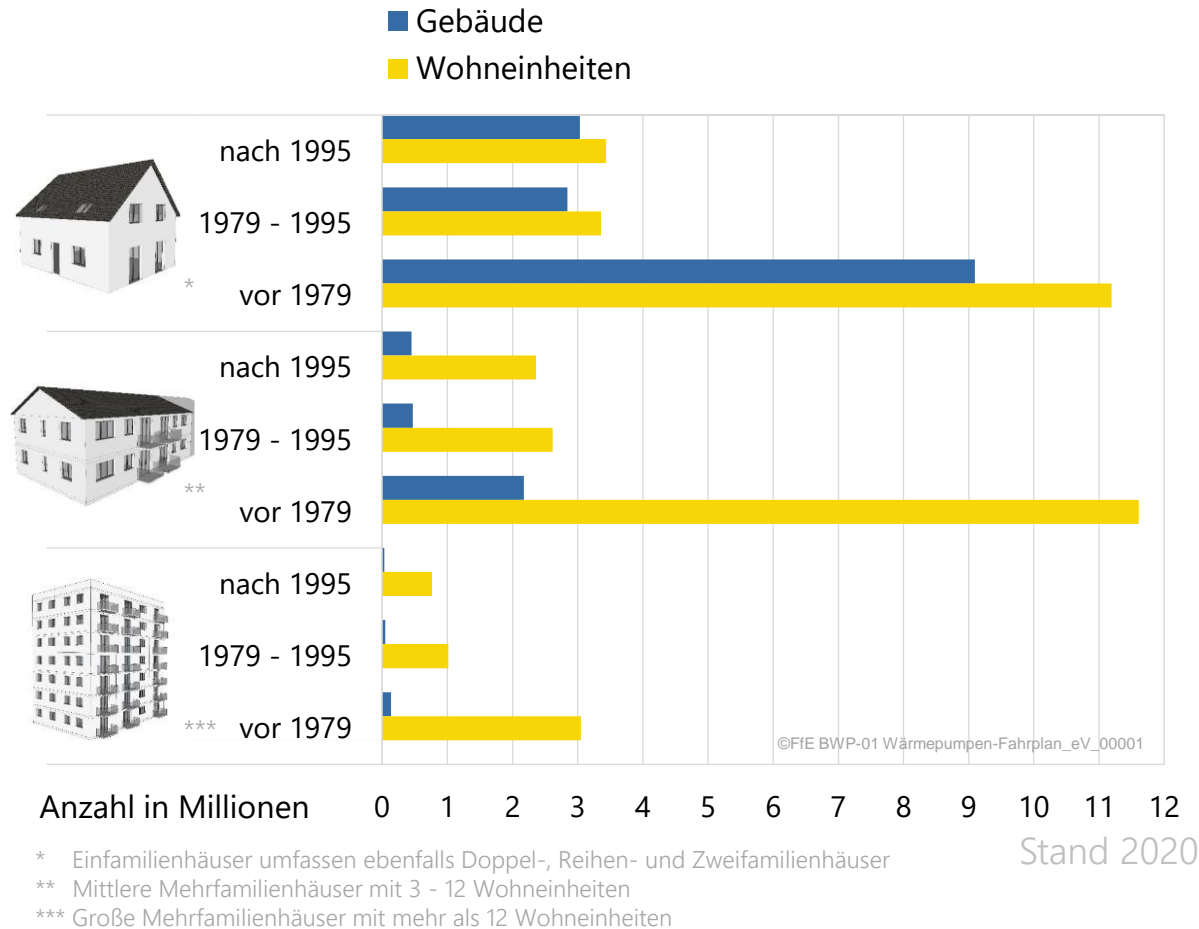
- Vor 1995 errichtete Gebäude entscheidend für Wärmewende
- Neue Gas- und Ölkessel viele Jahre im Einsatz -> Begrenzttes Emissionsbudget
- Wärmepumpen für Altbau technisch geeignet und reduzieren Emissionen



Ziele

- Gebäude- und Heizsystembestand beschreiben
- Modernisierungsoptionen aufzeigen
- Kipppunkte zur Umstellung auf Wärmepumpen identifizieren
- Einfluss von CO₂-Preis und Strompreisentlastung analysieren

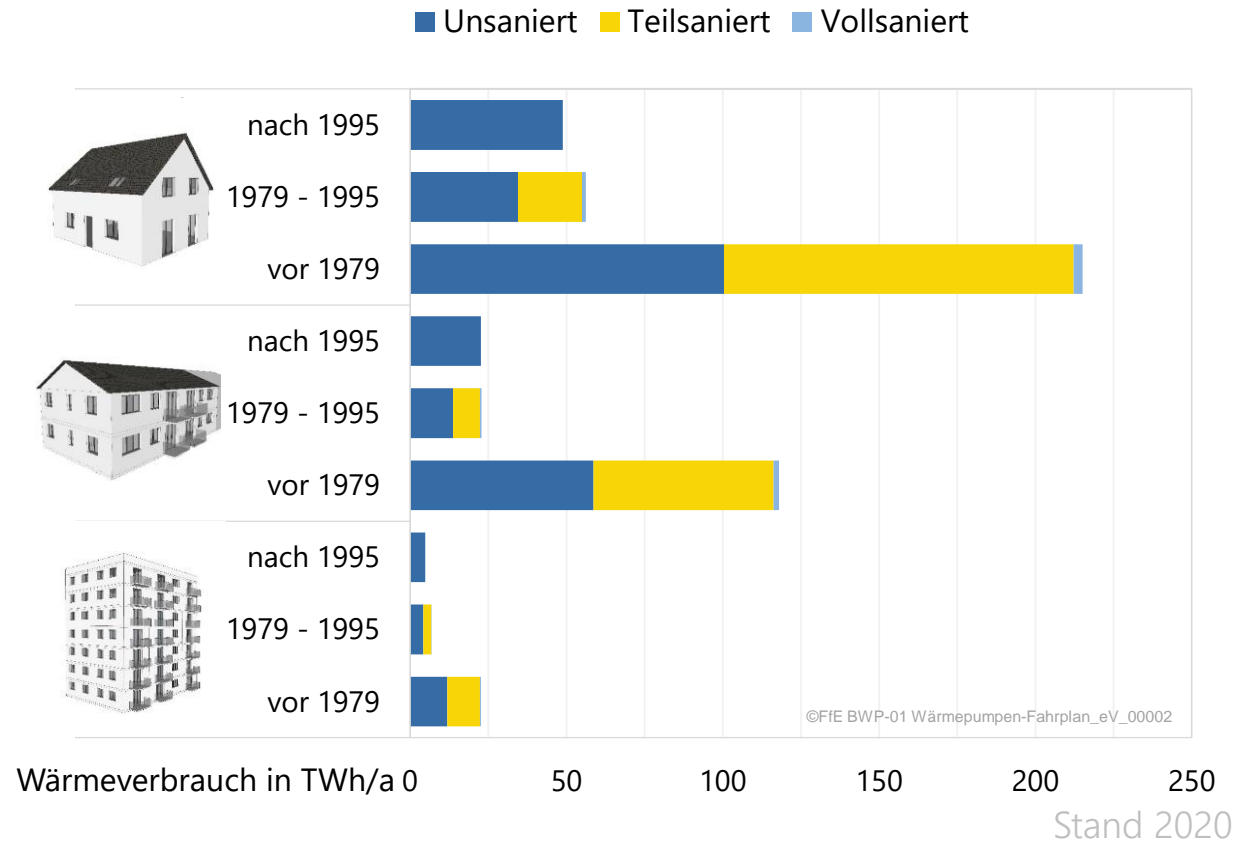
3.) Gebäudebestand – Struktur



- **15 Millionen Einfamilienhäuser**
 - davon 9 Millionen vor 1979 errichtet
 - davon 3 Millionen 1979 – 1995 errichtet
 - davon 3 Millionen nach 1995 errichtet
- **3 Millionen mittlere Mehrfamilienhäuser**
 - mit 17 Millionen Wohneinheiten
- **0,2 Millionen große Mehrfamilienhäuser (jeweils mehr als 12 Wohneinheiten)**
 - mit knapp 5 Millionen Wohneinheiten
- Modell beschreibt Mengengerüst je Gemeinde und Entwicklung bis zum Jahr 2050
- Quellen: [1] [2] [3] [4] [5]

Vor 1979 errichtete Einfamilienhäuser und mittlere Mehrfamilienhäuser stellen den Großteil des deutschen Wohngebäudebestands

3.) Gebäudebestand – Wärmeverbrauch



Gebäudesimulation mit 32 Typgebäuden

- Daten zur energetischen Qualität der Gebäudehülle
- Teilsanierung → Modernisierung Dach & Fenster
- Vollsanieung → Alle Bauteile

Kalibrierung mittels praxisnaher Energieverbräuche von über 1 Millionen Wohnungen

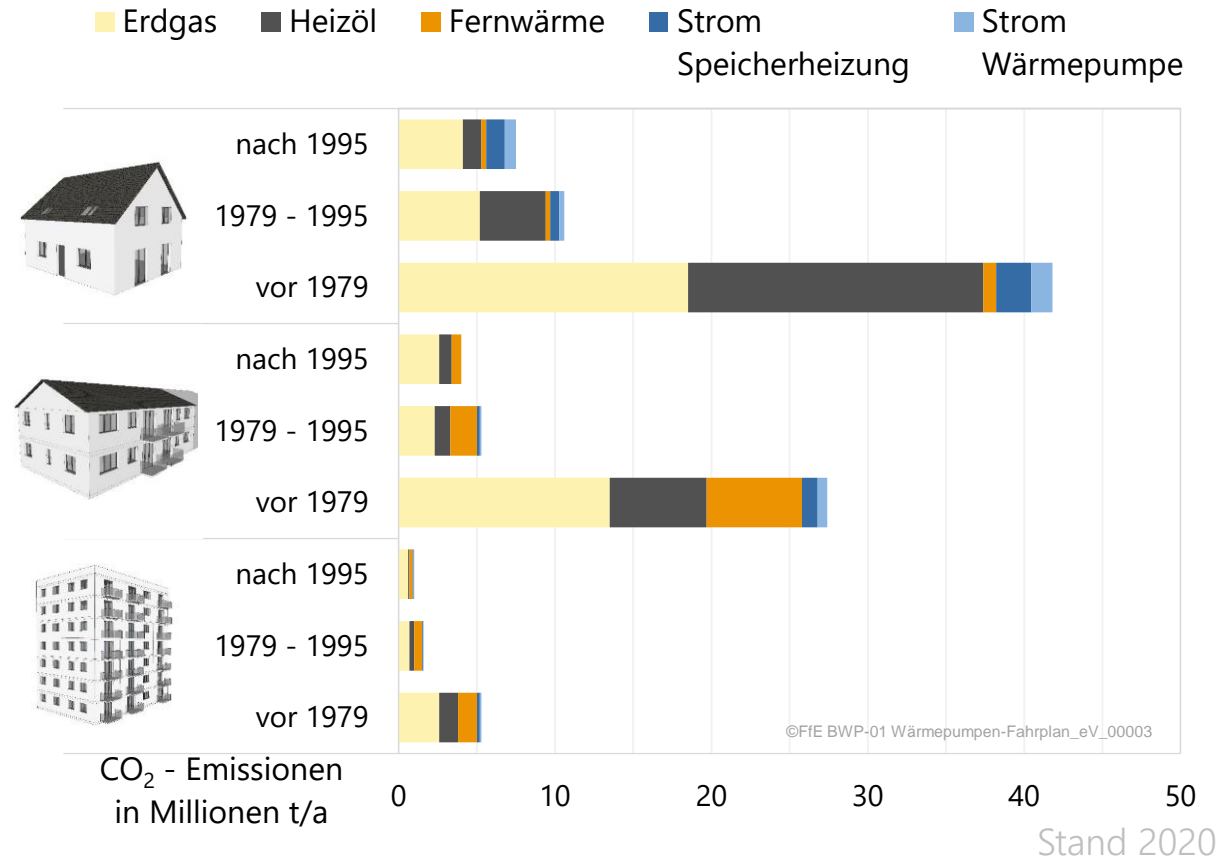
- Im Vergleich zur ENEC abweichende Annahmen zu Raumtemperatur, Luftwechsel, Heizperiode und internen Gewinnen
- Keine Überdimensionierung der Anlagenleistung

Top-Down-Validierung um Summe korrekt abzubilden

- Quellen: [6] [7] [8] [9] [10]

Gebäudemodell ermöglicht differenzierte Aussagen zu verschiedenen Gebäudetypen und Baualtersklassen

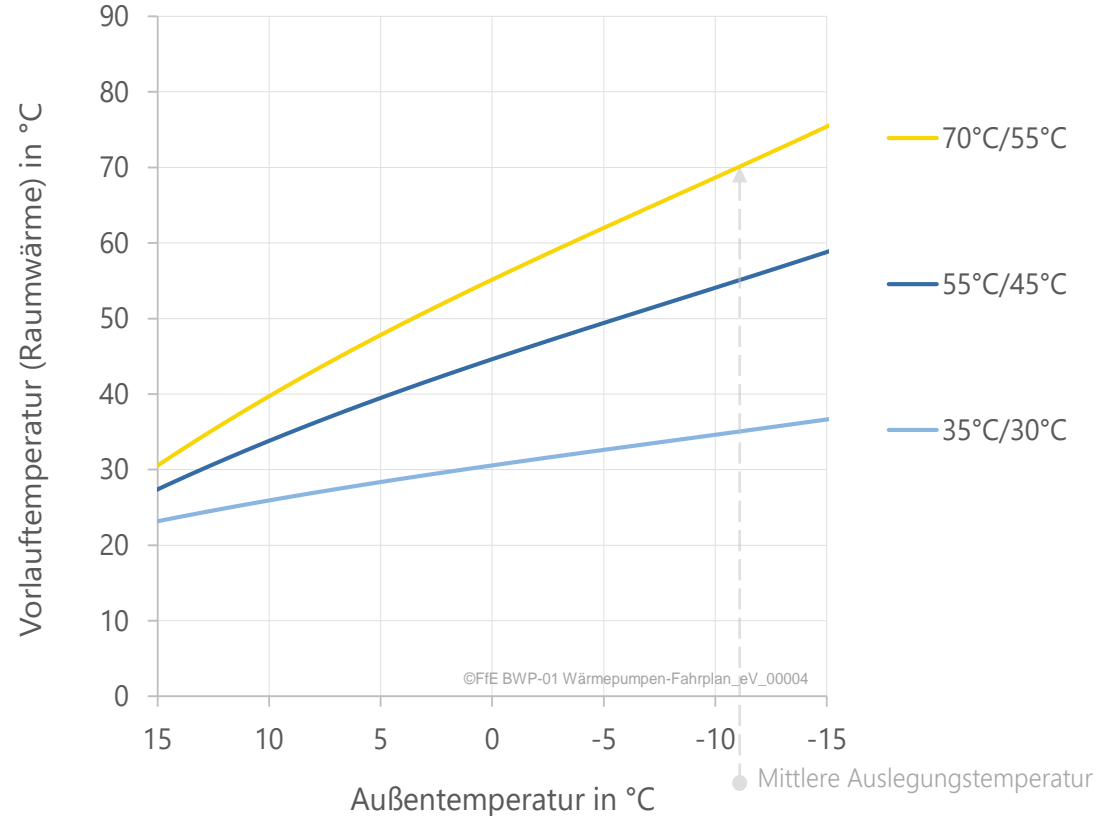
3.) Heizsysteme – CO₂-Emissionen



- Gas- und Ölkessel für die meisten CO₂-Emissionen in Wohngebäuden verantwortlich
- Eingeschränkte Verwendung von Ölkesseln ab 2026
- Referenz zu Modernisierung mit Wärmepumpe: Wechsel von Gasniedertemperaturkessel auf Gasbrennwertkessel & Ertüchtigung Abgassystem
- Quellen: [11] [12] [13] [14] [15] [16]

Schlüsselrolle spielen vor 1979 errichtete Einfamilienhäuser und mittlere Mehrfamilienhäuser, die mit Öl und Gas beheizt werden

3.) Heizsysteme – Systemtemperaturen



Heizflächen - Auslegungstemperaturen

- 90°C/70°C bis Mitte der 1970er Jahre
- 70°C/55°C ab Ende der 1970er Jahre ausschließlich
- 55°C/45°C zunehmend ab Anfang der 1980er Jahre (Niedertemperaturtechnik)
- 60°C/40°C ab Anfang der 1990er Jahre (Brennwerttechnik)
- 35°C/30°C (Flächenheizung) ab Anfang der 1990er Jahre, vereinzelt auch früher

4.) Modernisierung mit Wärmepumpen – Umfeldmaßnahmen

Heizkörper weiterverwenden

- Häufig ausreichend dimensionierte Heizkörper, insbesondere in neueren Gebäuden oder nach Sanierung
- Systemtemperatur über 60°C → Hochtemperaturwärmepumpe

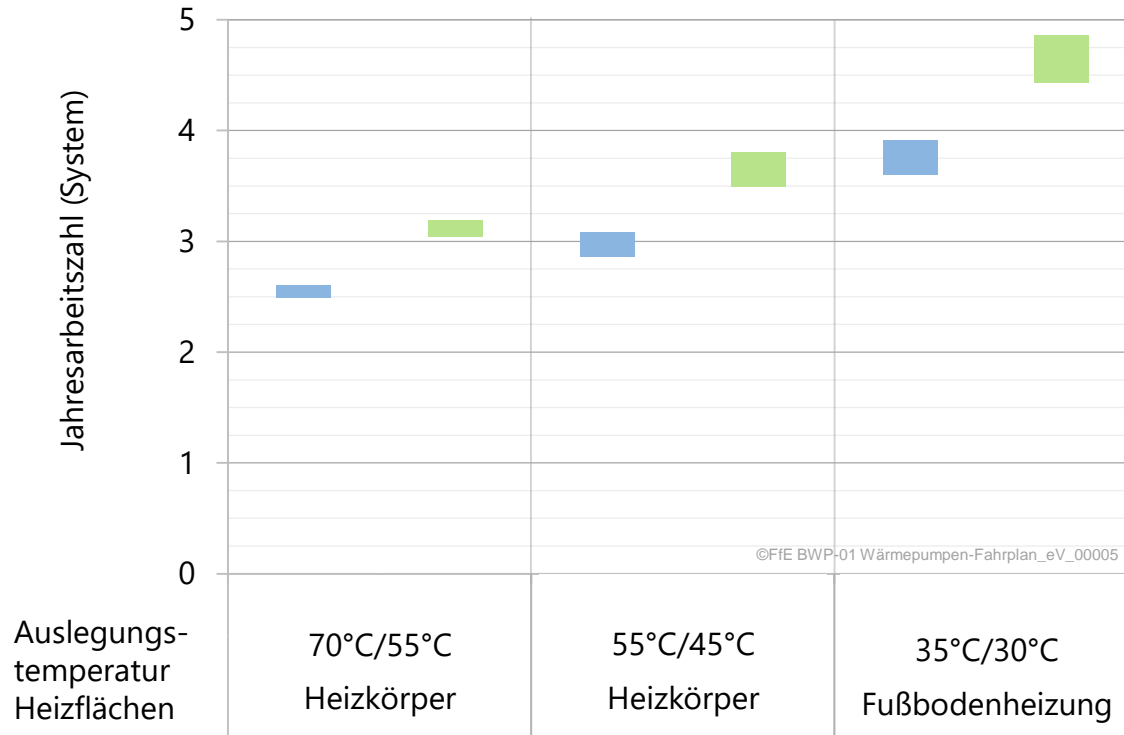
Heizkörper tauschen

- Dimensionierung im Verhältnis zur Heizlast der einzelnen Räume oft nicht einheitlich
- Heizkörper mit geringster Dimensionierung limitierend
- Für relevante Reduktion der Systemtemperatur reicht meist der Ersatz einzelner Heizkörper

Dämmung der Gebäudehülle

- Reduziert Wärmebedarf, Heizlast und Systemtemperatur
- Sinnvolle Ergänzung, aber keine technische Voraussetzung für Einsatz von Wärmepumpen

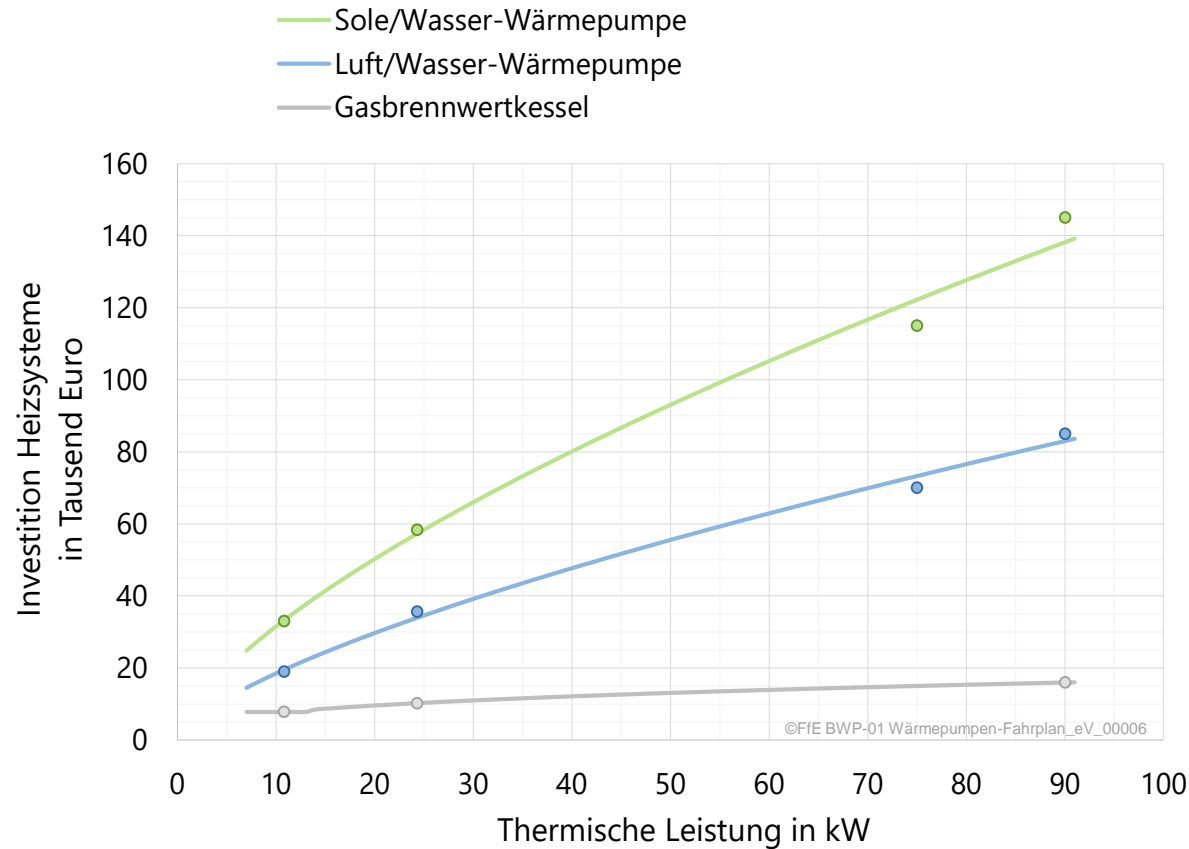
4.) Modernisierung mit Wärmepumpen – Jahresarbeitszahl



- Erreichbare Jahresarbeitszahl maßgeblich von Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Wärmesenke abhängig
- **Mittlere Vorlauftemperatur berücksichtigt:**
 - Heizkurve & Lastgang jedes Typgebäudes
 - Mittleres Klima
 - Anteil Trinkwarmwasser
 - 42 - 45°C (bei Auslegung 55°C/45°C)
- **Mittlere Wärmequellentemperatur:**
 - Außenluft: 3,5 – 4,4 °C je nach Typgebäude
 - Erde: 4,9°C
- Kalibrierung mit gemessenen Jahresarbeitszahlen
- Quellen: [17] [18]

Jahresarbeitszahl hängt von Systemtemperatur ab

4.) Modernisierung mit Wärmepumpen – Investitionskosten



Berücksichtigte Komponenten

- Erdwärmepumpe, Luftwärmepumpe, Gasbrennwertkessel zur Einzelgebäudeversorgung
- Puffer- & Warmwasserspeicher
- Quellenerschließung (Erdwärmesonde)
- Ertüchtigung Abgassystem (Gasbrennwertkessel)
- Planung und Installation (inkl. hydraulischer Abgleich)

Datengrundlage

- BDEW- Heizkostenvergleich & Expertenbefragung
- Quelle: [19]

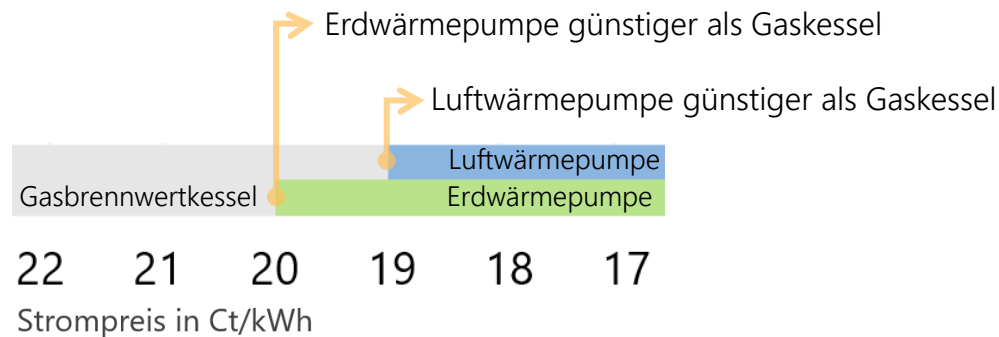
4.) Finanzieller Vergleich – Kippunkte

Vergleich

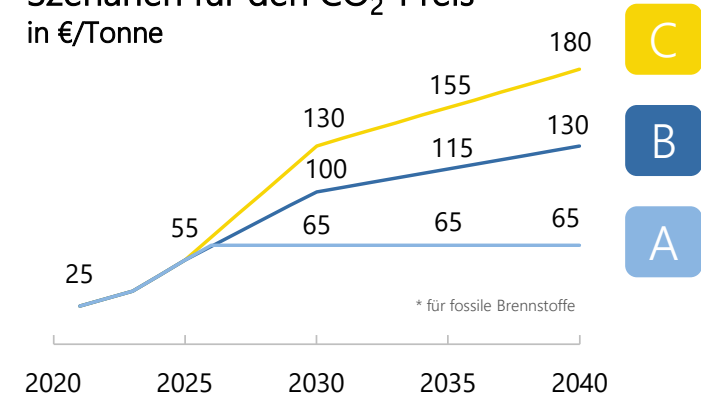
- Installation und Betrieb Wärmepumpe vs. Gasbrennwertkessel
- Betrieb der Wärmepumpe mit Auslegung 55°C/45°C
 - Gebäude nach 1995: ohne Heizkörpertausch
 - Gebäude vor 1995: Tausch von 33% der Heizkörper
- Sensitivitätsanalysen: Variation Heizkörpertausch & Teilsanierung

Kippunkt

- Wird ermittelt durch Variation des Strompreises
- Repräsentativ für den Durchschnitt der jeweiligen Gebäudekategorie d.h. es gibt attraktive Fälle links bzw. unattraktive Fälle rechts vom Kippunkt



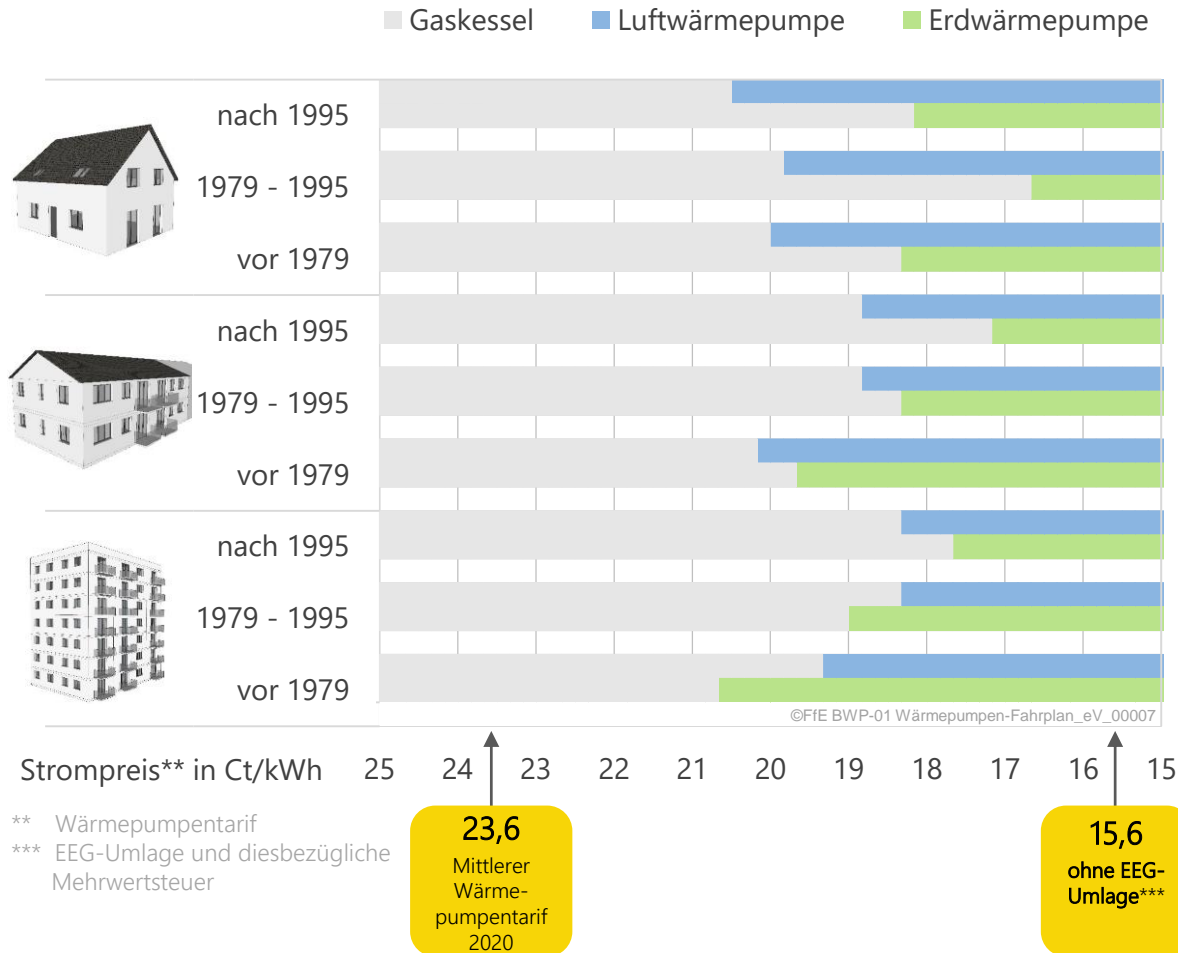
Szenarien für den CO₂-Preis*
in €/Tonne



Parameter (Auszug)

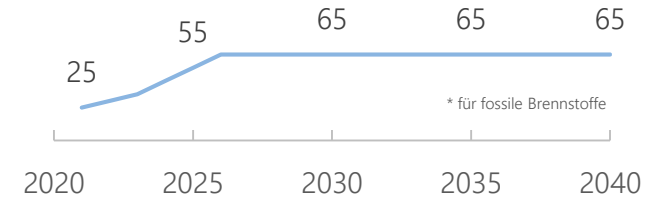
- Investitionszeitpunkt 2021
- Betrachtungszeitraum 20 Jahre
- Kalkulatorischer Zinssatz 1% p.a.
- Gaspreis konstant bei 6,31 Ct/kWh (2020)
- 35 % Förderung Wärmepumpe (inkl. Heizkörper)
- Quellen: [20] [21]

4.) Szenario A – CO₂-Preis steigt bis 65€/t



CO₂-Preis*
in €/Tonne

A

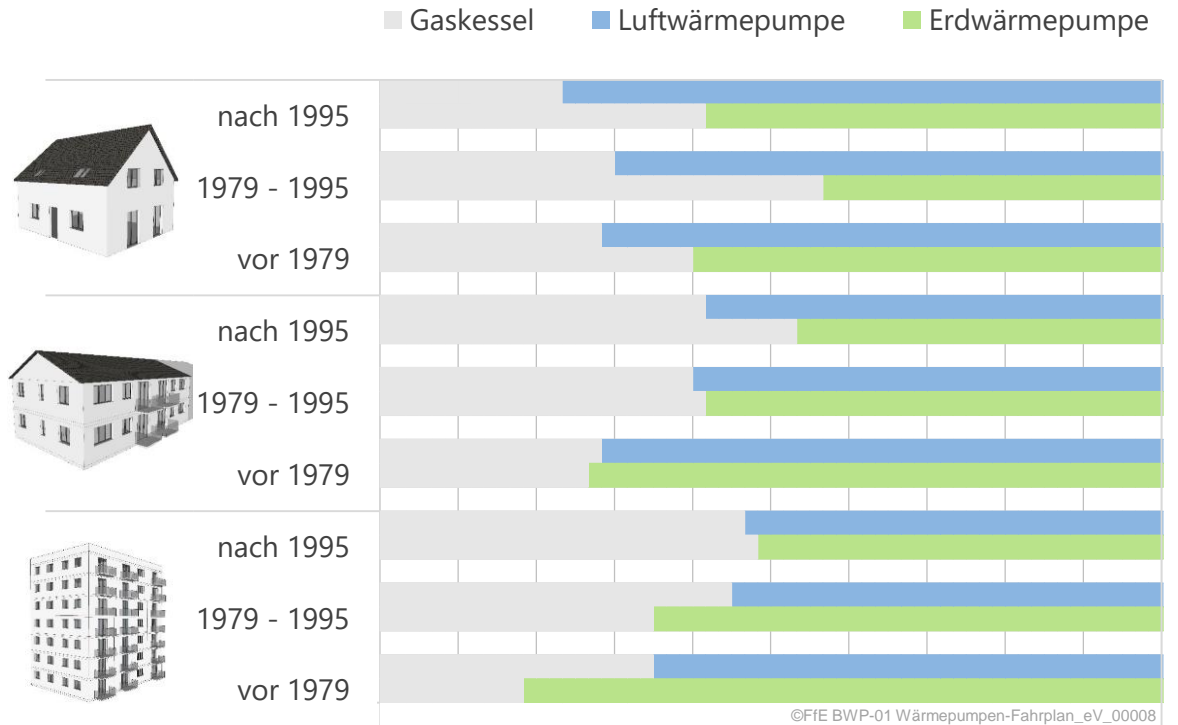


- Mit aktuellem Strompreis sind Wärmepumpen für Großteil des Gebäudebestands nicht ausreichend attraktiv
- Verstärkter Einsatz von Wärmepumpen durch Strompreise rechts vom Kipppunkt erreichbar (z.B. durch Wegfall der EEG-Umlage)
- Lenkungswirkung CO₂-Preis nicht ausreichend

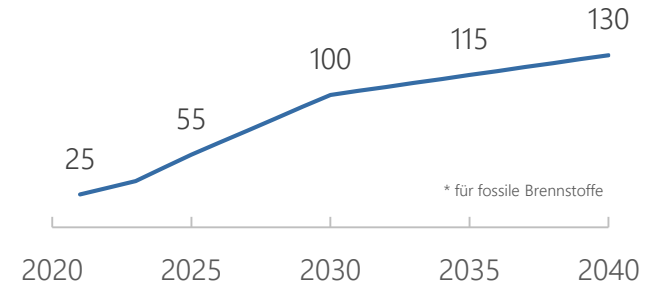
Strompreissenkung schafft Planungssicherheit auch bei geringem CO₂-Preis

4.) Szenario B – CO₂-Preis steigt auf 100 €/t bis 2030

B



CO₂-Preis*
in €/Tonne



Strompreis** in Ct/kWh 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15

** Wärmepumpentarif
*** EEG-Umlage und diesbezügliche Mehrwertsteuer

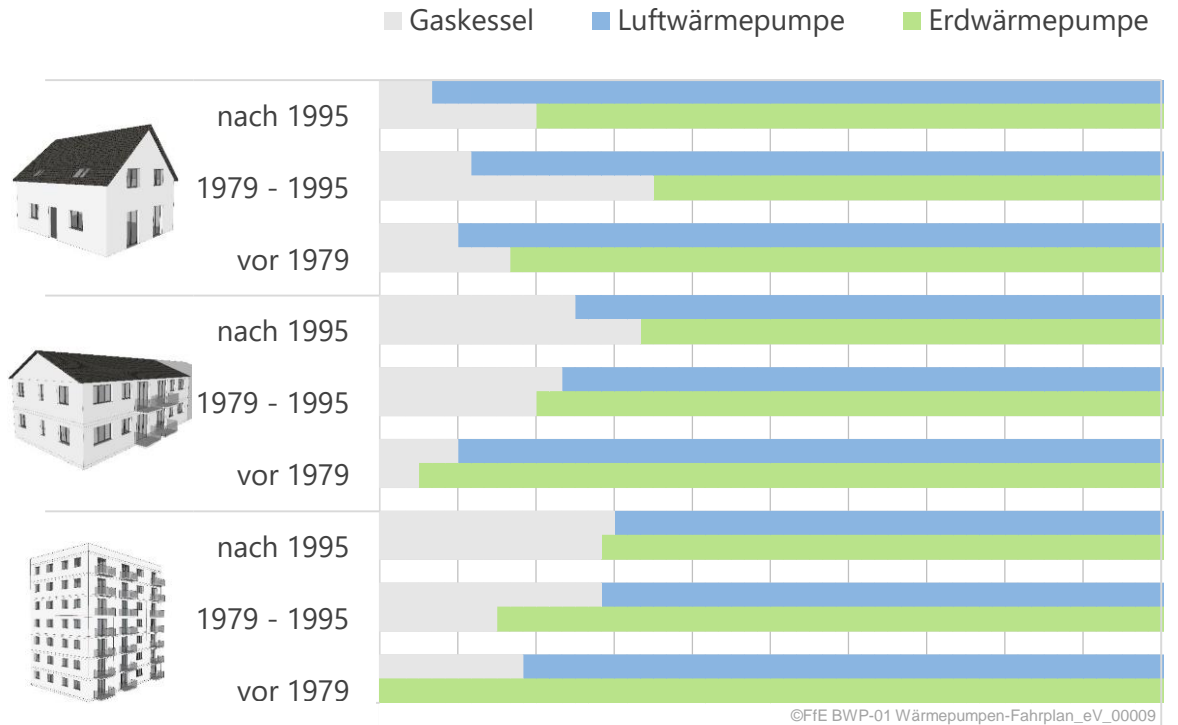
23,6
Mittlerer Wärmepumpentarif 2020

15,6
ohne EEG-Umlage***

- Unter Annahme eines moderat steigenden CO₂-Preises nähern sich die Kippunkte an aktuellen Wärmepumpentarif an
- Verstärkter Einsatz von Wärmepumpen im gesamten Gebäudebestand erfordert zusätzliche Entlastung des Strompreises
- Voraussetzung: Planbarkeit des CO₂-Preises

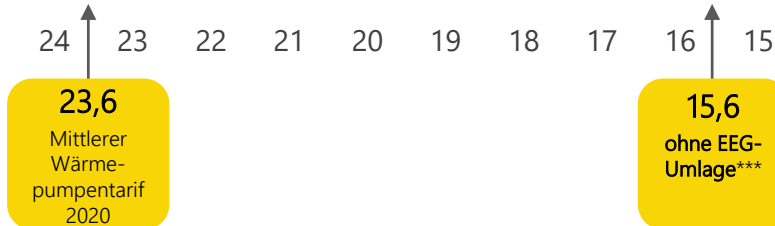
Technologiewechsel erfordert Mix aus CO₂-Preis und Strompreisentlastung

4.) Szenario C – CO₂-Preis steigt auf 130 €/t bis 2030

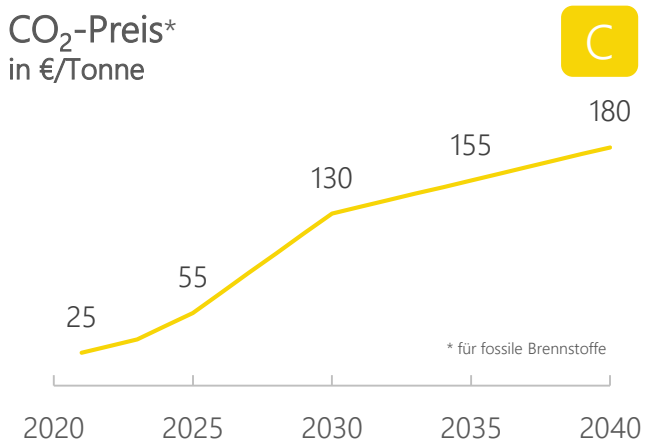


Strompreis** in Ct/kWh

** Wärmepumpentarif
 *** EEG-Umlage und diesbezügliche Mehrwertsteuer



CO₂-Preis*
 in €/Tonne



- Ohne Strompreisentlastung führt nur ein hoher CO₂-Preis zum Einsatz von Wärmepumpen im gesamten Gebäudebestand
- Kosten für Wärmeversorgung steigen dabei deutlich an
- Voraussetzung: Planbarkeit des CO₂-Preises

Ohne Strompreisentlastung hoher CO₂-Preis für Technologiewechsel nötig

5.) Fazit

Aktueller Strompreis für Wärmepumpen ist eine „Modernisierungsbremse“

- Wärmepumpen für einen Großteil des Gebäudebestands noch nicht ausreichend attraktiv
- Lenkungswirkung des CO₂-Emissionshandels nicht verlässlich, da Preis nach 2026 für Verbraucher nicht kalkulierbar
- Deutliche Absenkung des Strompreises erhöht finanzielle Attraktivität der Wärmepumpe im gesamten Gebäudebestand

Mögliche Weichenstellungen für den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen

- Sofortige Entlastung des Strompreises z.B. durch vollständige Entlastung von der EEG-Umlage → zeitnahe Wirkung und für Akteure planbarer als CO₂-Emissionshandel
- Moderate Erhöhung des CO₂-Preises mit festgelegtem Preiskorridor → Technologiewechsel wenn zusätzliche Strompreisentlastung
- Notwendige Rahmenbedingung → Förderung für Wärmepumpe und Umfeldmaßnahmen beibehalten

5.) Diskussion





Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch

Geschäftsführer

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Tel.: +49(0)89 15 81 21- 0

Email: wmauch@ffe.de

Simon Greif, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Tel.: +49(0)89 15 81 21- 58

Email: sgreif@ffe.de



Florian Mayer, B. Eng.

Wissenschaftliche Hilfskraft

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Email: fmayer@ffe.de



Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.

Am Blütenanger 71 – 80995 München

Tel.: +49(0)89 15 81 21 – 0

Email: info@ffe.de

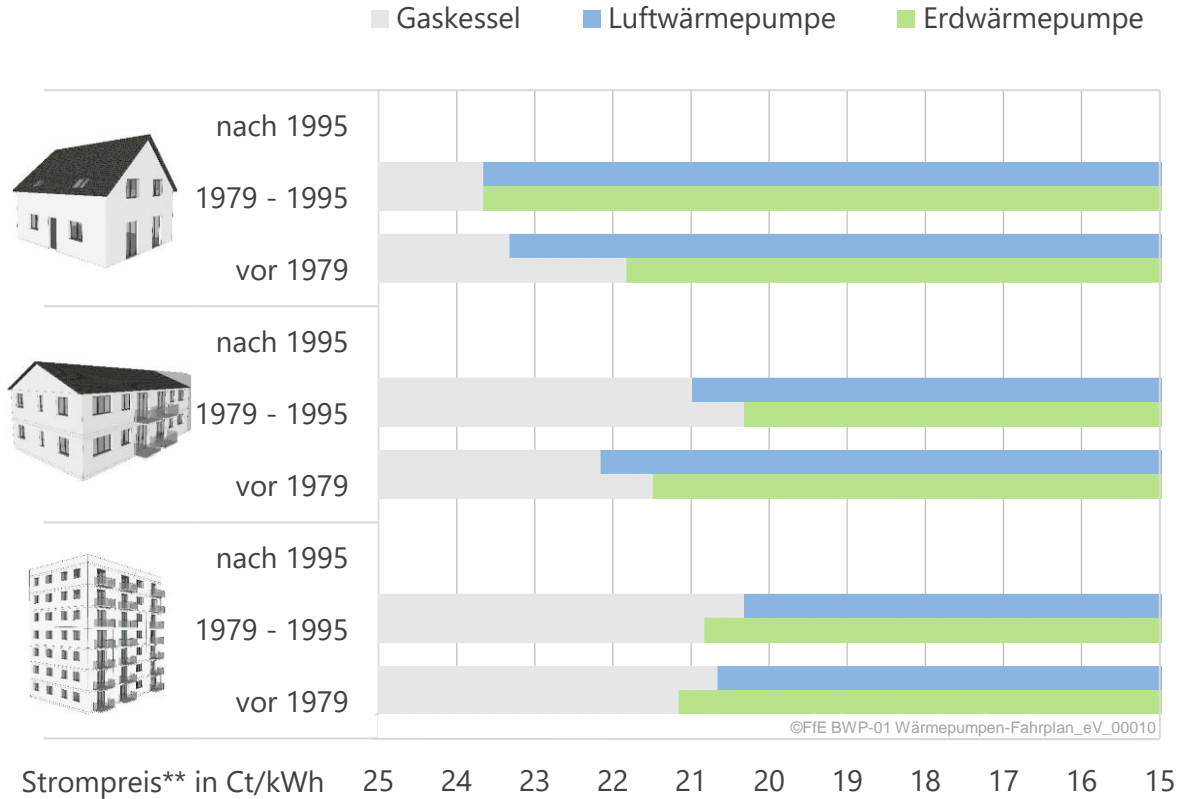
Internet: www.ffe.de

Twitter: [@FfE_Muenchen](https://twitter.com/FfE_Muenchen)

- 1 Zensusdatenbank des Zensus 2011: <https://ergebnisse.zensus2011.de/>, Wiesbaden: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2013.
- 2 Schlömer, Claus: Raumordnungsprognose 2030 – Bevölkerung, private Haushalte, Erwerbspersonen. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2012.
- 3 Conrad, Jochen: Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur kosteneffizienten CO₂-Verminderung im Sektor private Haushalte. Dissertation. Herausgegeben durch Technische Universität München - Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, geprüft von Wagner, Ulrich und Auer, Thomas: München, 2020.
- 4 Regionaldatenbank – www.regionalstatistik.de. Wiesbaden: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014.
- 5 Jochum, Patrick et al.: Ableitung eines Korridors für den Ausbau der erneuerbaren Wärme im Gebäudebereich. Berlin: Beuth Hochschule für Technik, 2017.
- 6 Diefenbach, Nikolaus et al.: Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2010.
- 7 Loga, Tobias et al.: TABULA – Scientific Report Germany - Further Development of the German Residential Building Typology. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2012.
- 8 Schlesinger, Michael et al.: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose - Projekt Nr. 57/12 - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2014.
- 9 Stratou, Evangelia: Auswirkung der energetischen Gebäudequalität auf den Wärmelastgang von Wohngebäuden – Abbildung mittels repräsentativer Typologien und Baualtersklassen. Masterarbeit. 2018.
- 10 Zahlen und Fakten Energiedaten – Nationale und internationale Entwicklung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017.
- 11 Mikrozensus-Zusatzserhebung zur Wohnsituation. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2015.
- 12 Gesamtbestand zentrale Wärmeerzeuger 2014. Köln: Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e.V., 2015.
- 13 10 Jahresverlauf Absatz Wärmeerzeuger Deutschland – Marktentwicklung Wärmeerzeuger 2005-2015. Köln: Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V., 2016.
- 14 Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2016. Sankt Augustin: Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband, 2016.
- 15 Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2010.
- 16 Fattler, Steffen; Conrad, Jochen; Regett, Anika et al.: Dynamis - Dynamische und intersektorale Maßnahmenbewertung zur kosteneffizienten Dekarbonisierung des Energiesystems in: <https://www.ffe.de/dynamis>. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Technische Universität München, 2019.
- 17 Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“ in: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf. Freiburg: Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme, 2020
- 18 Conrad, Jochen et al.: Modelling Load Profiles of Heat Pumps. In: Energies Special Issue "Energy Efficiency in Plants and Buildings" Volume 12 Issue 4. <https://doi.org/10.3390/en12040766>. Basel: MDPI, 2019.
- 19 BDEW-Heizkostenvergleich Altbau 2017 in: https://www.bdew.de/media/documents/Heizkostenvergleich_Altbau.pdf. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V, 2018
- 20 Monitoringbericht 2020 in https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Monitoringbericht_Energie2020.pdf?__blob=publicationFile&v=5. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2021
- 21 Wärmepumpen Förderratgeber 2021 in: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/BWP_Foerderung_A6_2021_final.pdf. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2021
- 22 Verordnung über die Emissionsberichterstattung nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz für die Jahre 2021 und 2022 (Emissionsberichterstattungsverordnung 2022 - EBeV 2022). Berlin. 2020

Anhang

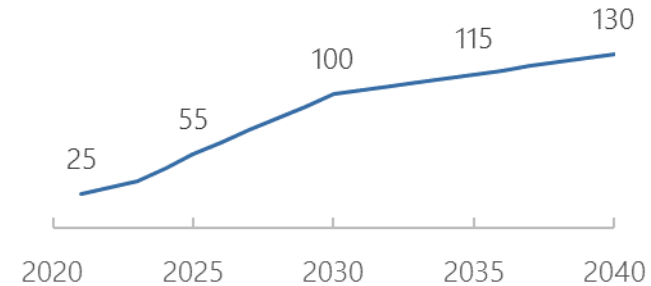
Sensitivitätsanalyse – bereits teilsanierte Gebäude



** Wärmepumpentarif

CO₂-Preis*
in €/Tonne

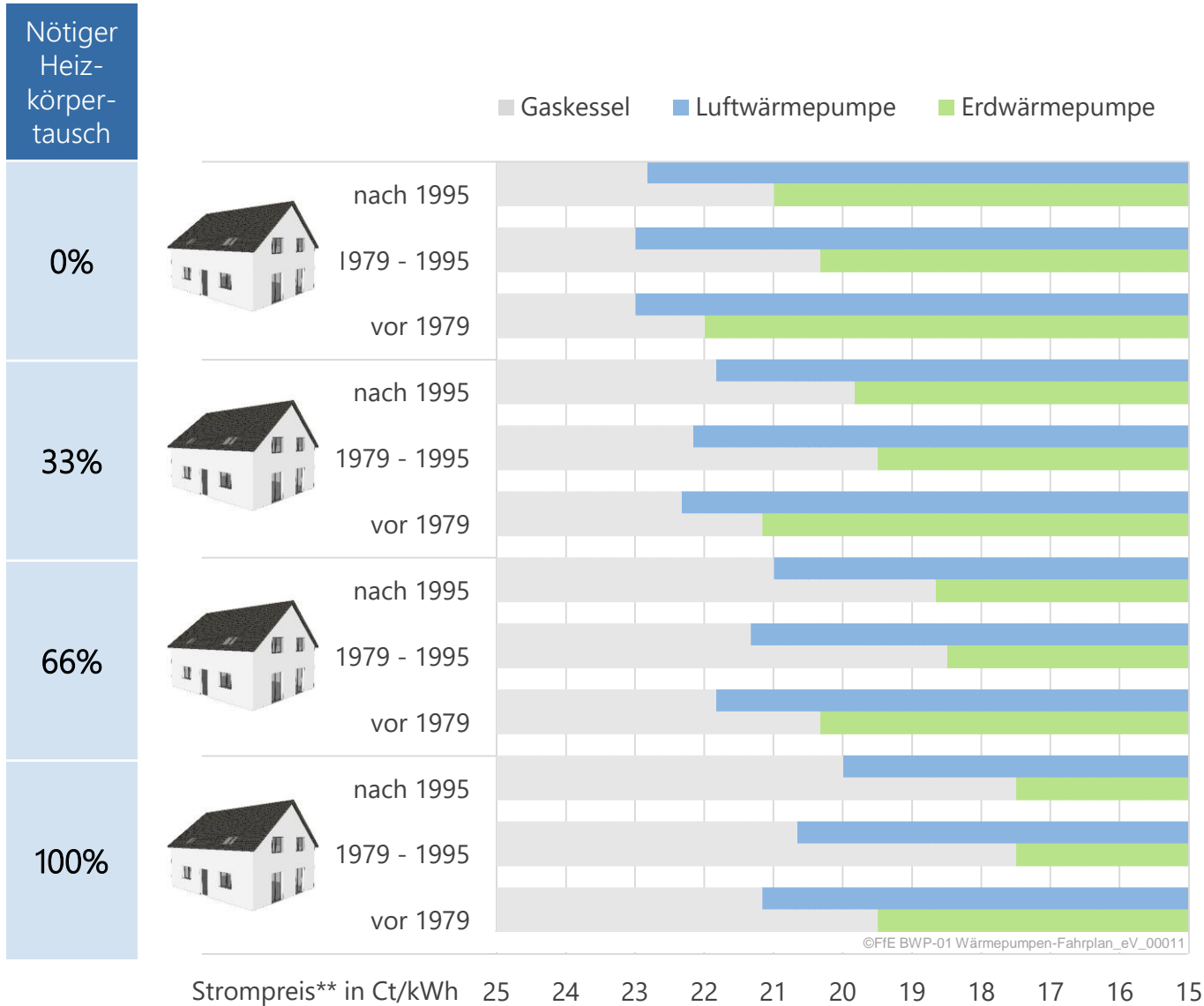
B



- Bereits teilsanierte Gebäude (v.a. Dach und Fenster)
- Häufig ausreichend dimensionierte Heizkörper → Annahme: 0% Heizkörpertausch notwendig
- Teilsanierung führt bei Einfamilienhäuser zu einer Erhöhung der Attraktivität von Wärmepumpen

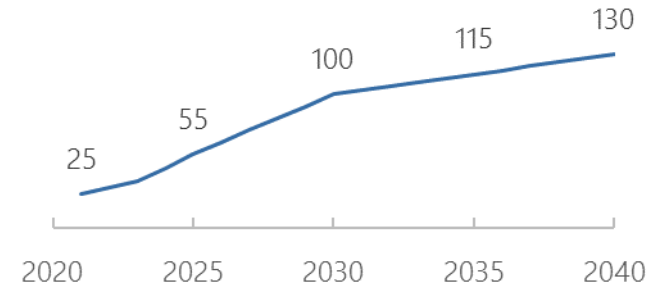
Teilsanierung ist sinnvolle Ergänzung, aber keine technische Voraussetzung für Einsatz von Wärmepumpen

Sensitivitätsanalyse – Notwendiger Heizkörpertausch







CO₂-Preis*
in €/Tonne

B



- Variation der Annahme, wie viele Heizkörper getauscht werden müssen, um Auslegung von 55°C/45°C zu erreichen
- Notwendiger Anteil zu tauschender Heizkörper hängt von bisheriger Überdimensionierung ab
- Investition in notwendigen Heizkörpertausch verschiebt Kipppunkt um 2-3 Ct/kWh

Gebäudedaten

| Gebäudetyp | | Anzahl Wohneinheiten | Wohnfläche in m ² | Baualter | Spezifischer Wärmeverbrauch inklusive Trinkwarmwasser in kWh/m ² *a |
|-------------------------------|--|----------------------|------------------------------|-----------|--|
| Ein- und Zweifamilienhäuser |  | 1,2 | 139 | Nach 1995 | 109 |
| | | | | 1979-1995 | 145 |
| | | | | Vor 1979 | 178 |
| Mehrfamilienhäuser (3 -6 WE) |  | 4,1 | 310 | Nach 1995 | 104 |
| | | | | 1979-1995 | 133 |
| | | | | Vor 1979 | 159 |
| Mehrfamilienhäuser (7 -12 WE) |  | 8,8 | 589 | Nach 1995 | 97 |
| | | | | 1979-1995 | 128 |
| | | | | Vor 1979 | 153 |
| Mehrfamilienhäuser (> 12 WE) |  | 22,9 | 1.398 | Nach 1995 | 84 |
| | | | | 1979-1995 | 121 |
| | | | | Vor 1979 | 142 |