

CHILLVENTA eSPECIAL

Refrigeration | AC & Ventilation | Heat Pumps

13.–15.10.2020

CONNECTING
EXPERTS.



NÜRNBERG MESSE

WÄRMEPUMPEN FÜR DEN MEHRFAMILIENHAUSBESTAND



©Fraunhofer ISE/Foto: Guido Kirsch

Dr. Constanze Bongs, Jeannette Wapler,
Dr. Marek Miara – Fraunhofer ISE

Dr. Stefan Hess – Uni Freiburg, INATECH

Chillventa eSPECIAL

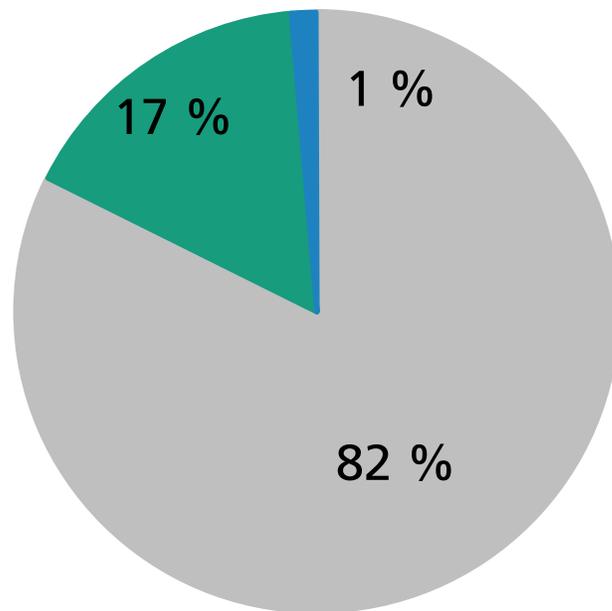
15. Oktober 2020

AGENDA

- Aktuelle Marktsituation
- Projektverbund LowEx im Bestand
- Systemlösungen im IEA HPP Annex 50
- Bewertung von Betriebsweisen mit Perspektive bis 2040
- Fazit

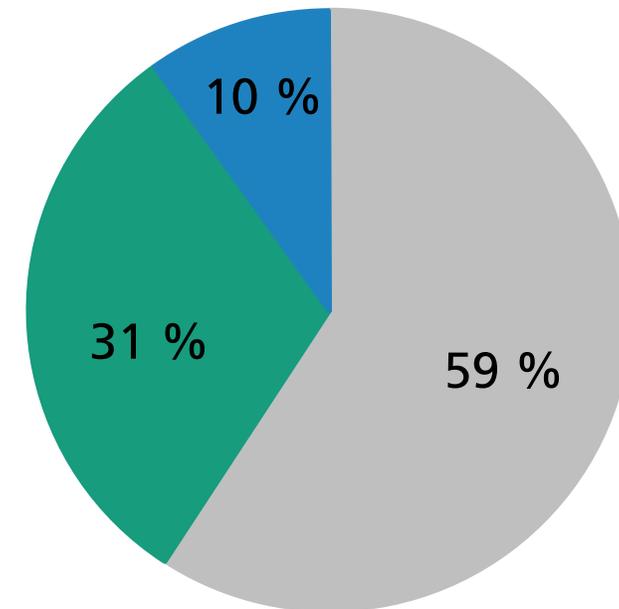
Mehrfamilienhäuser: Bestandsanalyse Gebäude

Anteil Gebäudebestand



MFH > 12 WE
MFH 3 - 12 WE
EZFH

Anteil Wohnfläche



Mehrfamilienhäuser: Marktanteile Wärmepumpen in Neubau und Bestand

- Marktanteil installierter Wärmepumpen in 2019 (BDH 2019)¹:
 - Gesamt: 11,6 %
- Marktanteile Wärmepumpen im Neubau 2019 (Destatis 2020)²:
 - EZFH: 46 %
 - MFH: 24 %
- Marktanteile Wärmepumpen im Bestand 2018 (BWP 2019)³:
 - Sanierung: ca. 5,5 %

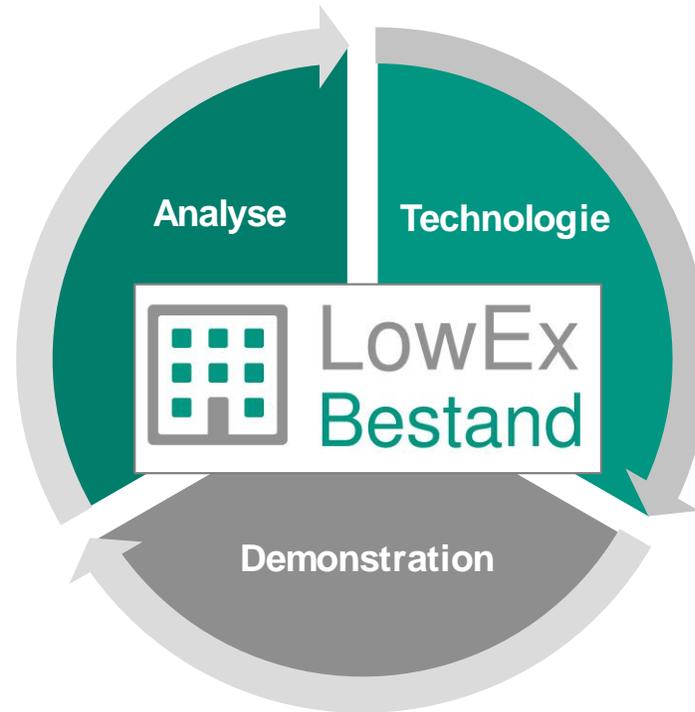
Projektverbund „LowEx im Bestand“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Analyse
in der Querspanne:



Technologie-Projekte
mit Fraunhofer ISE:

■ HTWP



■ FIHLS



■ HEAVEN



■ NK4HTWP



Demo-Projekte mit Fraunhofer ISE:

■ Wohnungsgesellschaft Adorf

■ KES Karlsruher Energieservice

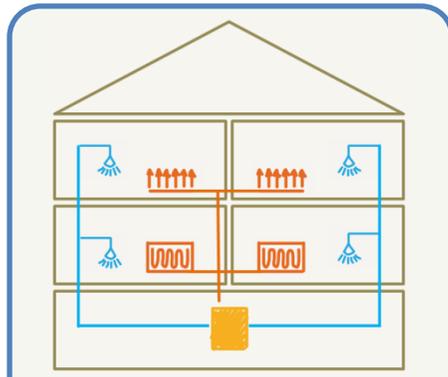
■ Frank Bramfeld GBR, Hamburg

■ AdoSan

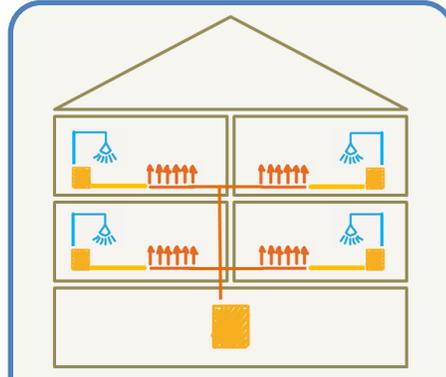


Klassifizierung der Lösungen

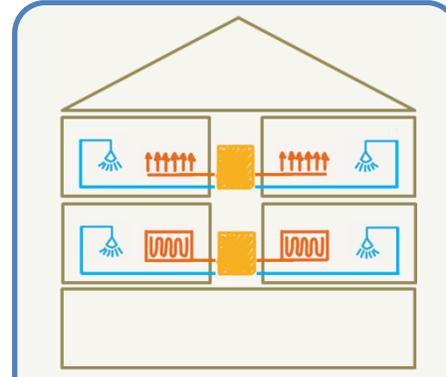
Annex 50: Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Heating and DHW



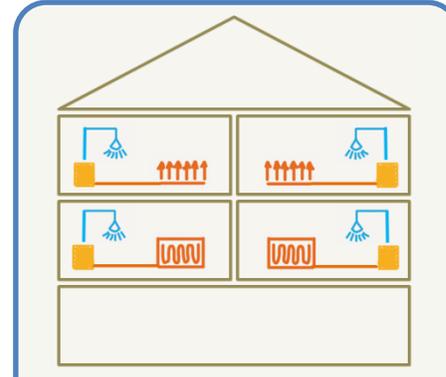
Zentrale WP-System
für Gesamtgebäude



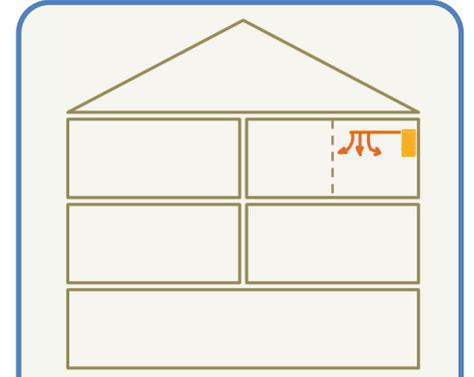
Kombination
zentral-dezentral



WP für mehrere
Wohnungen



WP für einzelne
Wohnungen



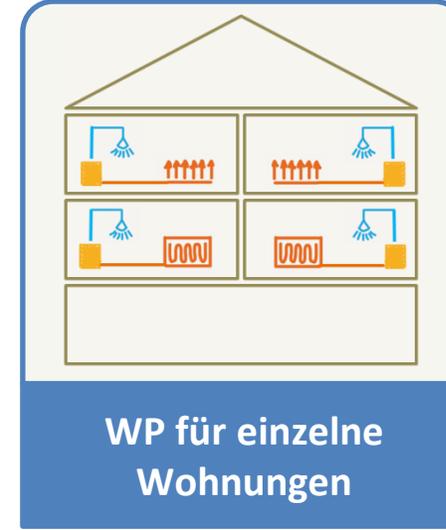
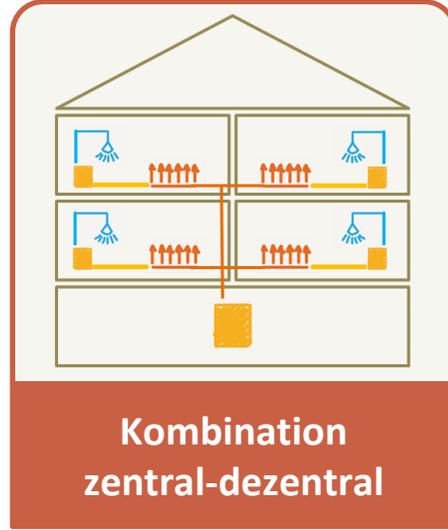
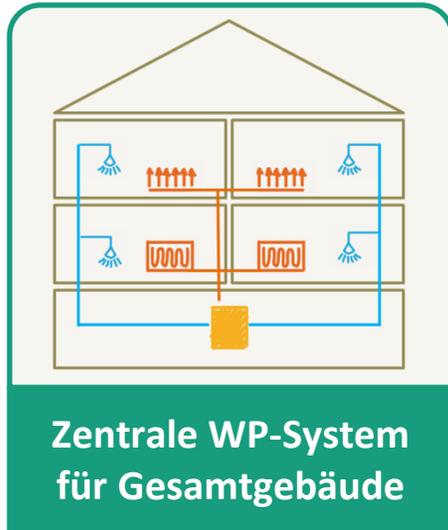
WP für Einzelräume

Gebäude

Einzelraum

Klassifizierung der Lösungen

Annex 50: Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Heating and DHW



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

FKZ 03SBE0001



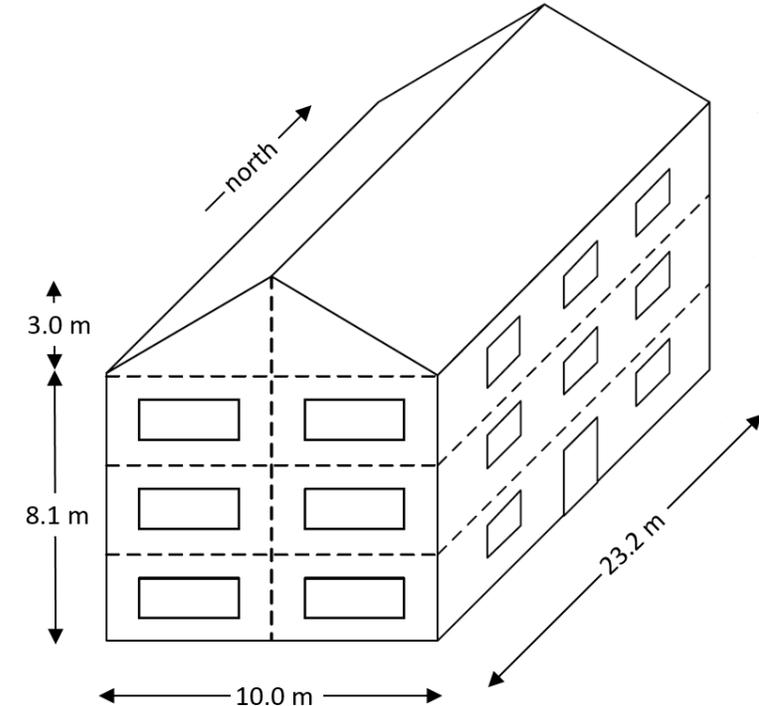
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 957007

AGENDA

- Aktuelle Marktsituation
- Projektverbund LowEx im Bestand
- Systemlösungen im IEA HPP Annex 50
- **Bewertung von Betriebsweisen mit Perspektive bis 2040**
- Fazit

Referenzgebäude LowEx Bestand

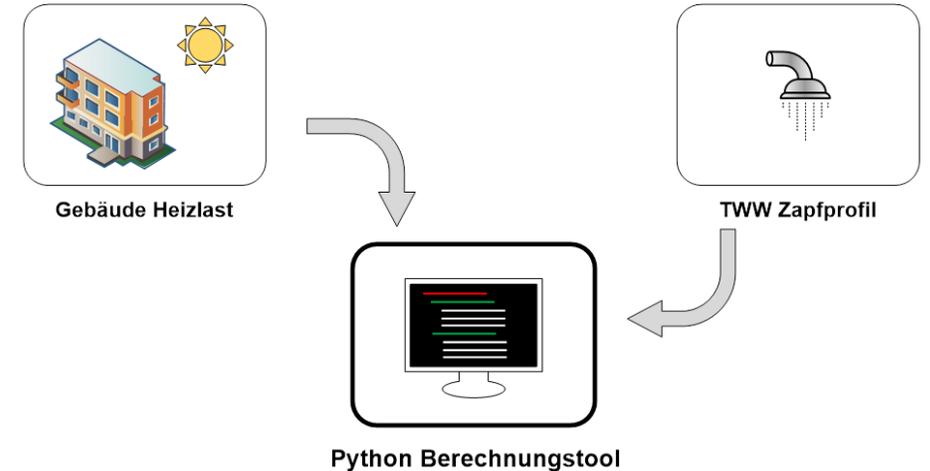
- **Baualtersklasse 1958 – 1978**
 - Höchster Anteil am MFH-Bestand
 - Häufiger Sanierungsfall, Kosten/Nutzen oft gut
- **Parameter:**
 - 581 m² Wohnfläche, Potsdam
 - Bedarf Raumheizung:
 - Saniert ~EnEV 2016 66 kWh/(m²*a)
 - Bedarf Trinkwarmwasser: 20 kWh/(m²*a)



Ebert, B. (2018): Systematische Analyse von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden. www.lowex-bestand.de

Gebäude-System-Analyse: **Berechnungstool**

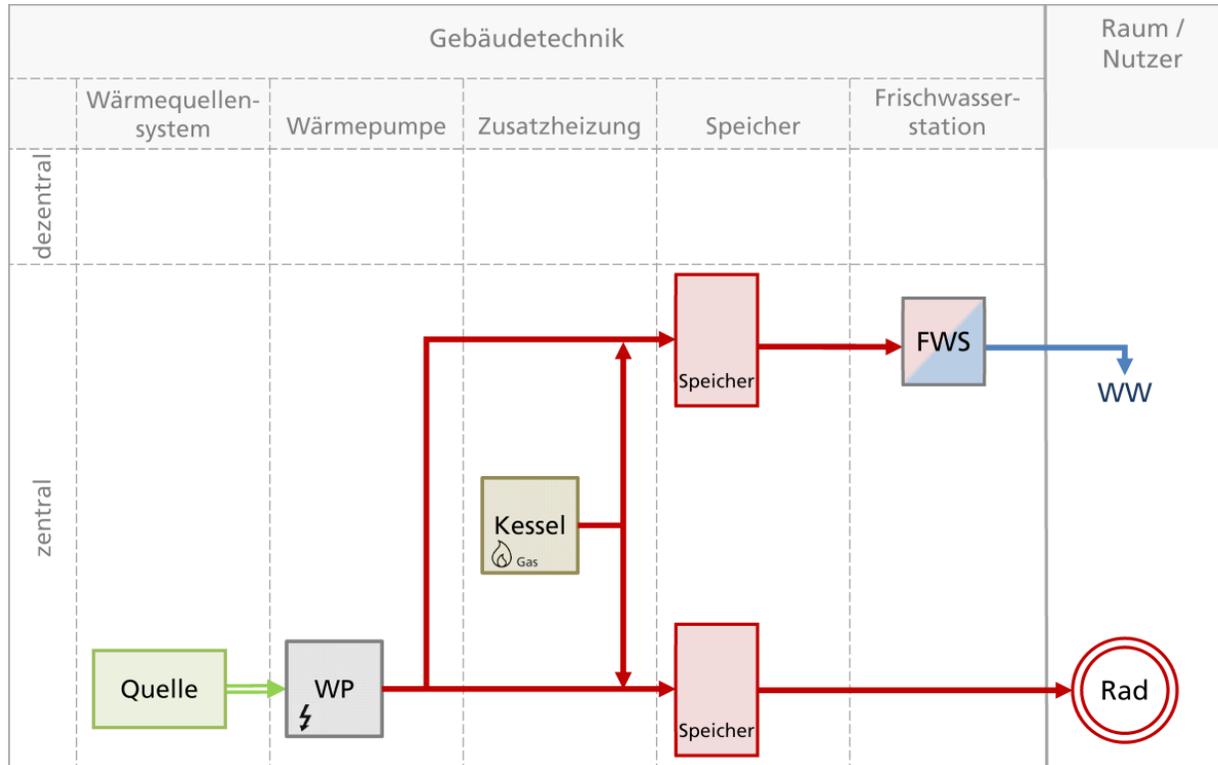
- Wärmepumpen-Modell: kennlinienbasiert
- Heizlast: Zeitreihen aus der Gebäudesimulation TRNBuild
- TWW: Zeitreihen aus SynPRO



- Energetische Bewertung von unterschiedlichen Systemvarianten
 - Mono-energetisch
 - Bivalent, optimiert nach
 - Energie-Bezugskosten
 - CO₂-Emissionen

System-Varianten (saniert)

Bivalent (WP + Gaskessel) und mono-energetisch (WP + Heizstab)



Bivalentes Wärmepumpen (WP) - System mit Gaskessel, zentraler Frischwasser-Station (FWS) und Radiatoren (Rad)

Verbraucher

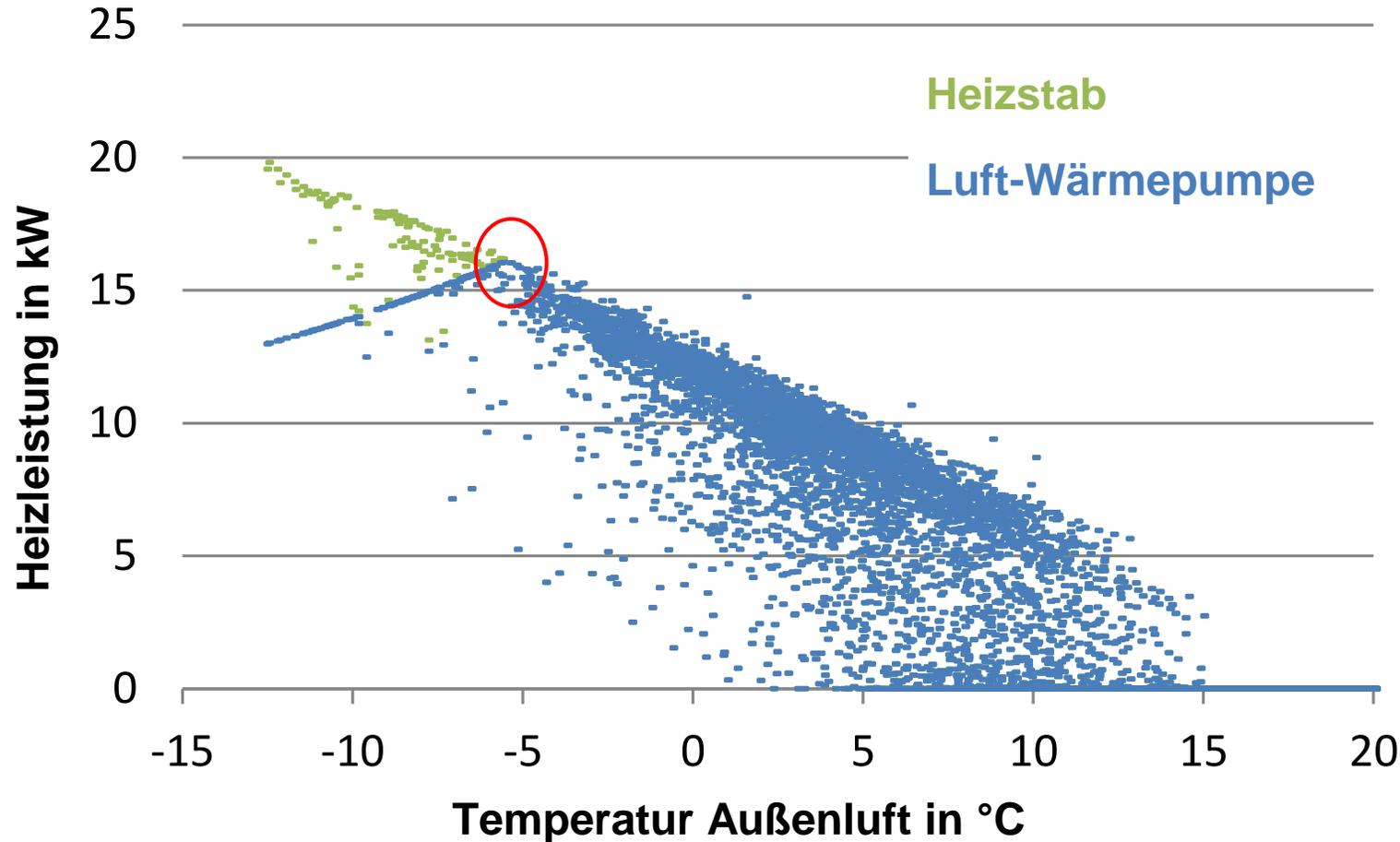
- Radiatoren 45/38°C
- Puffer TWE 66°C (laden)

Dimensionierung Erzeuger

- Kessel 24 kW (Referenz)
- Luft-WP 64°C ($T_{VL,max}$)
- Bivalent alt. + Kessel 8,4 kW (A2/W35) + 24 kW
- Monoenerg. + Heizstab 21 kW (A2/W35) + 11 kW

Mono-energetisches System

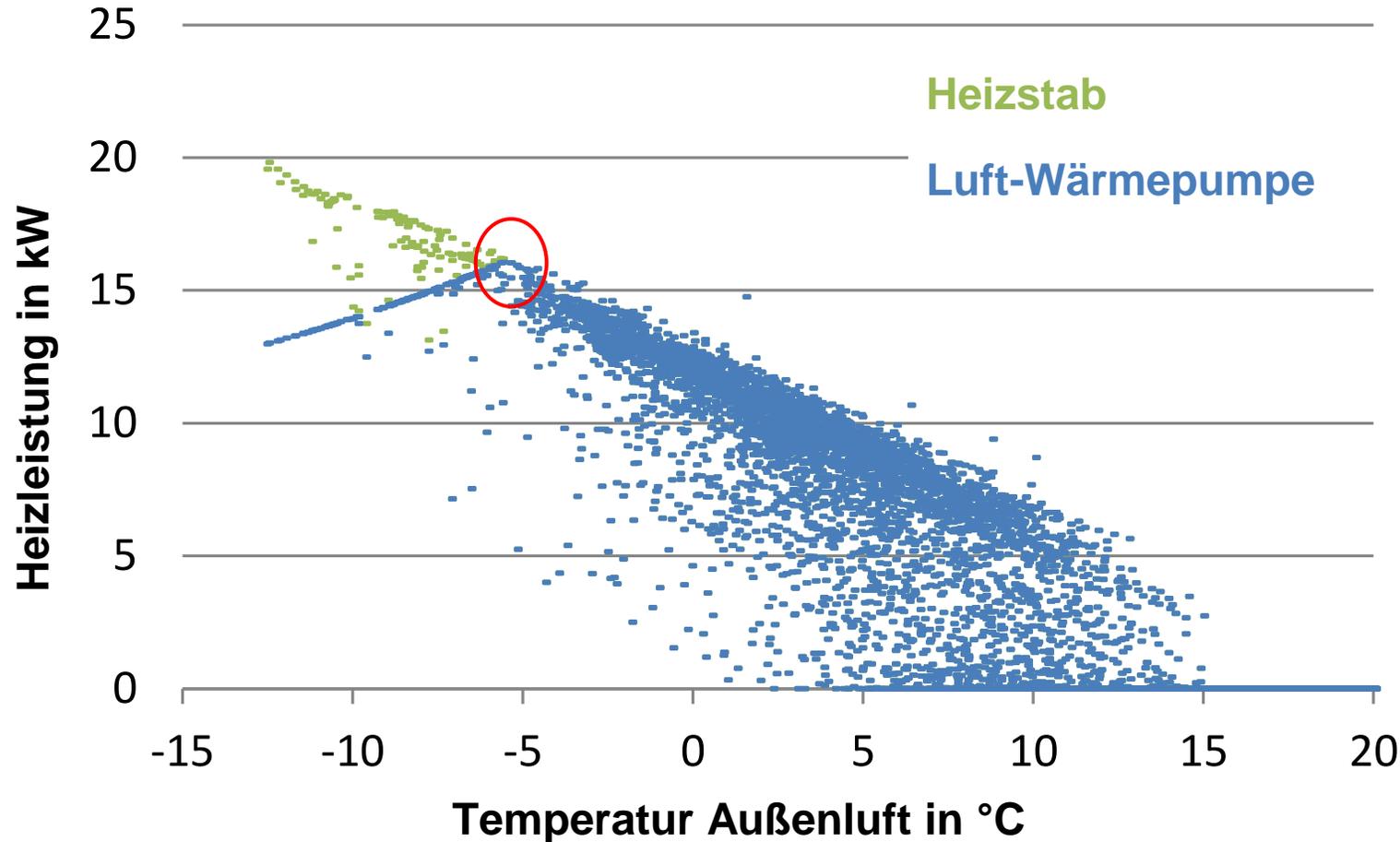
Luft-Wärmepumpe mit Heizstab (parallel)



- bivalent-paralleler Betrieb unterhalb der Bivalenz-Temperatur (-5°C)
- Deckungsgrad WP Heizung + TWW: 95,4 %
- Jahres-Arbeitszahl Heizung + TWW: 3,29

Mono-energetisches System

Luft-Wärmepumpe mit Heizstab (parallel)



Vergleich WP zu Gaskessel

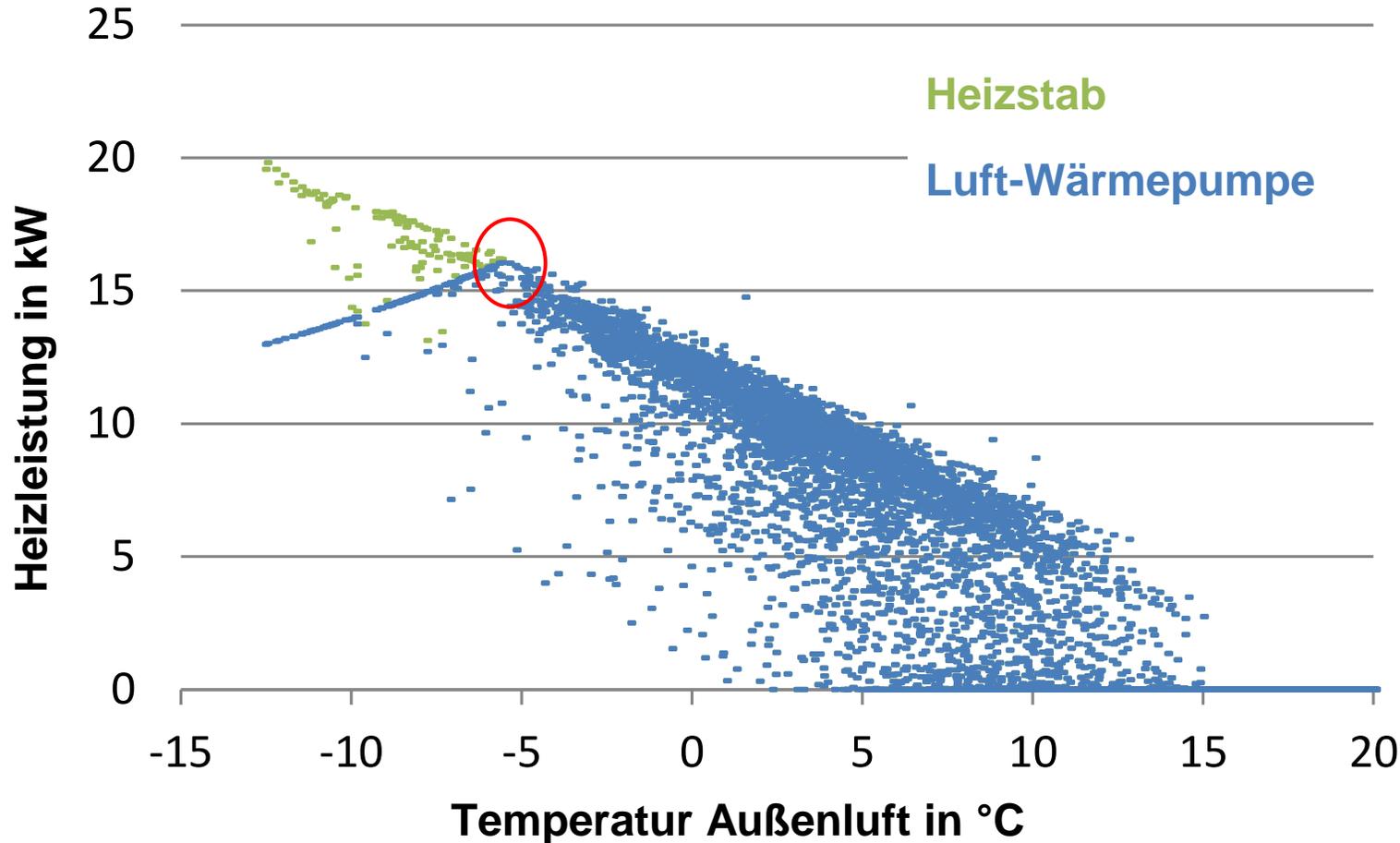
- CO_{2,e} Emissionen
- 2020: -37 %
- 2040: -81 %

Jahr	Strom [g/kWh]	Gas* [g/kWh]	Verhältnis [-]
2020	403	223	1,8
2040	107	194	0,6

* Mit PtG

Mono-energetisches System

Luft-Wärmepumpe mit Heizstab (parallel)



Vergleich WP zu Gaskessel

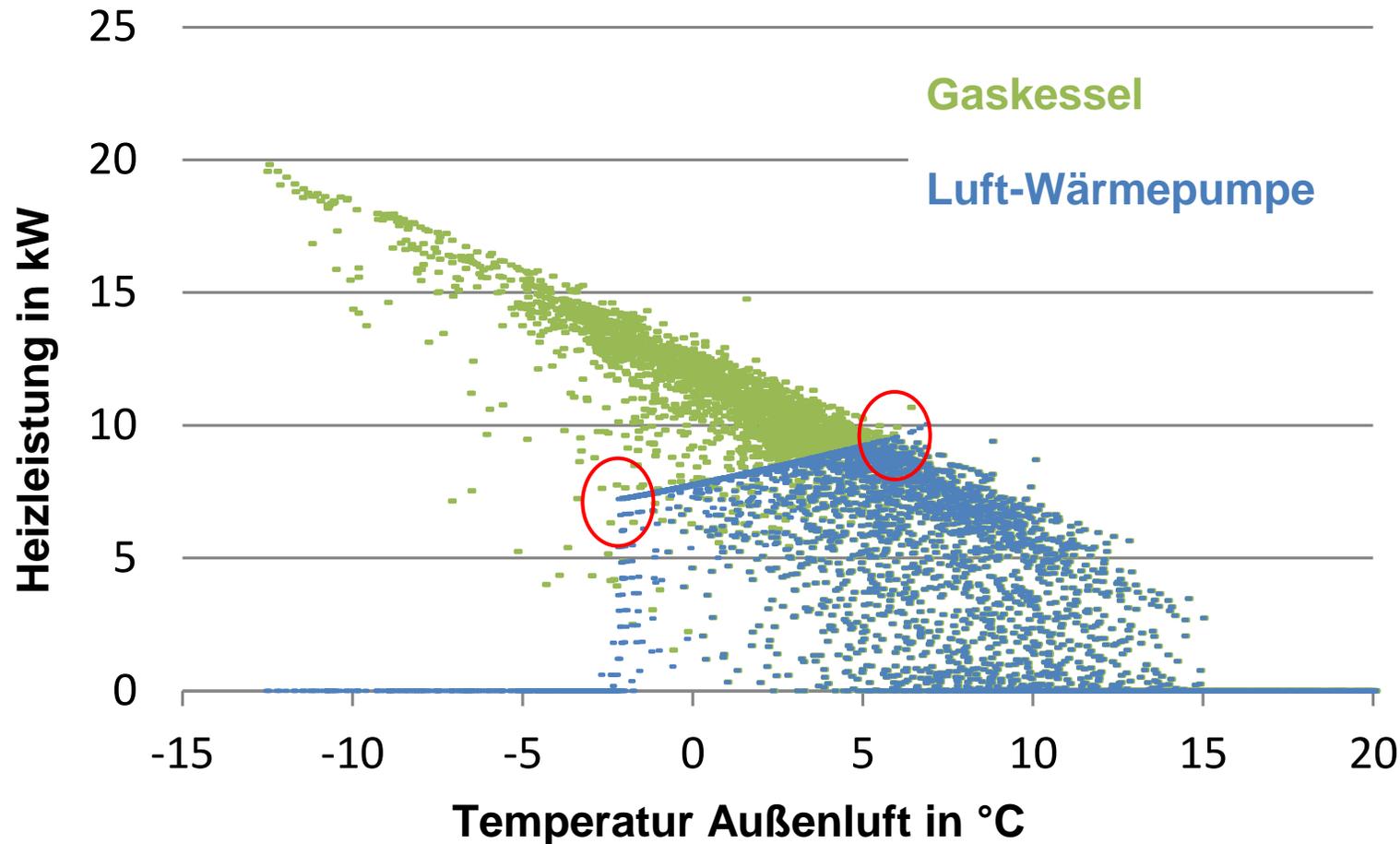
- CO_{2,e} Emissionen
 - 2020: -37 %
 - 2040: -81 %
- Energiebezugskosten
 - 2020: +11 %
 - 2040: -34 %

Jahr	Strom* [ct/kWh]	Gas [ct/kWh]	Verhältnis [-]
2020	22,5	6,4	3,5
2040	20,4	9,7	2,1

* WP-Tarif

Bivalent-teilparalleles System

Luft-Wärmepumpe mit Gaskessel – optimiert nach Energie-Bezugskosten (2020)



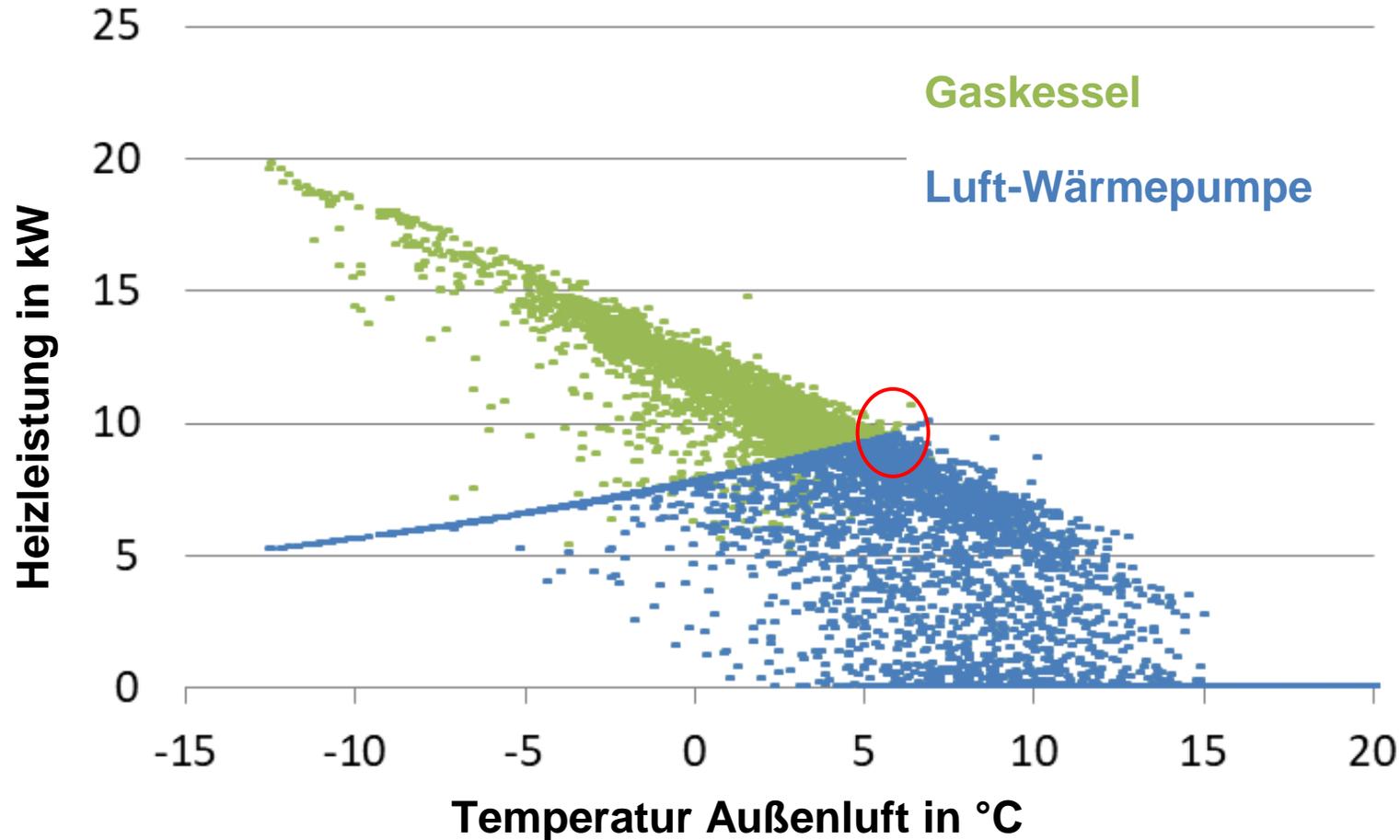
■ Aus Energiepreis-Kriterium ergibt sich WP-Abschaltung Raumheizung bei -2°C (im Jahr 2020)

■ Deckungsgrad WP Heizung + TWW: 54,6 %

■ Jahres-Arbeitszahl Heizung + TWW: 4,02

Bivalent-teilparalleles System

Luft-Wärmepumpe mit Gaskessel – optimiert nach Energie-Bezugskosten (2040)



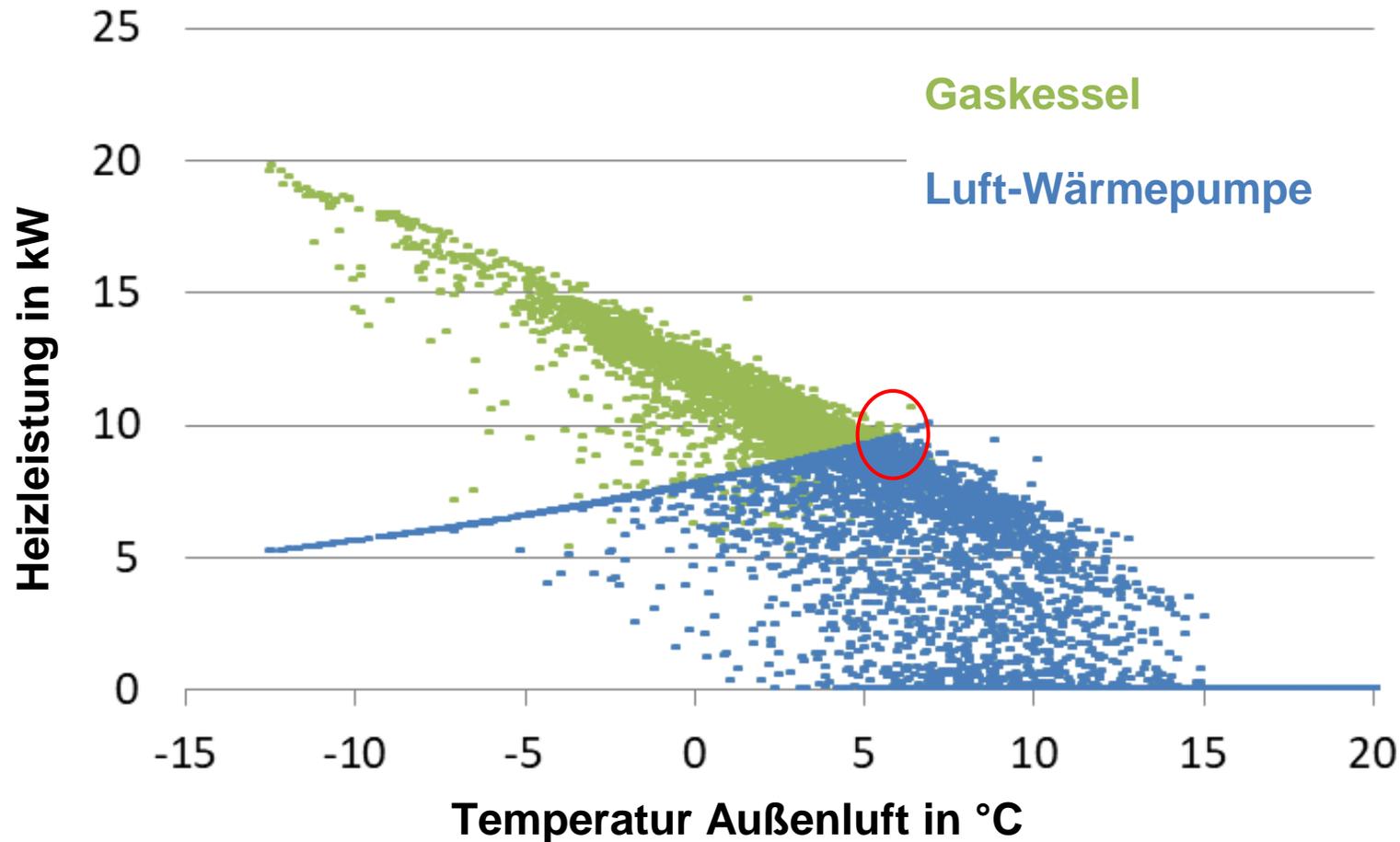
■ Aus Energiepreis-Kriterium ergibt sich **keine** WP-Abschaltung Raumheizung (im Jahr 2040)

■ **Deckungsgrad WP**
Heizung + TWW: 72 %

■ **Jahres-Arbeitszahl**
Heizung + TWW: 3,57

Bivalent-teilparalleles System

Luft-Wärmepumpe mit Gaskessel – optimiert nach Energie-Bezugskosten (2020 und 2040)



Vergleich WP zu Gaskessel

- CO_{2,e} Emissionen
 - 2020: -28 %
 - 2040: -60 %
- Energiebezugskosten
 - 2020: -9 %
 - 2040: -32 %

Perspektive bis 2040

Verwendete Quellen für CO_{2,e} Emissionsfaktoren und Energie-Bezugskosten

Jahr	CO _{2,e} Emissionen Netzstrom [g/kWh]	CO _{2,e} Emissionen Gas mit PtG* [g/kWh]
2020	402,90	222,9
2030	193,00	204,2
2040	107,05	194,4
2050	21,10	184,7

*PtG = Power to Gas, Bezug: Heizwert

CO_{2,e}-Emissionen Netzstrom nach IINAS (KS 95), 2019:

Fritsche et. al. (2019): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2018 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Kurzstudie. Darmstadt.

CO_{2,e}-Emissionen Erdgas nach IINAS/GEMIS 5.0, 2018:

GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme). Version 5.0. Hg. v. IINAS - Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien. Online verfügbar unter <http://iinas.org/gemis-de.html>.

Jahr	WP Strompreis [ct/kWh]	CO ₂ -Preis (COP 1) [€/t]	Gaspreis mit CO ₂ -Preis [ct/kWh]
2020	22,50	0	6,36
2030	21,60	80	8,48
2040	20,44	130	9,72
2050	19,28	180	10,86

Strompreise E.ON, RWTH, ewi (2019) mit WP-Tarif 75 % des Haushaltsstrompreises (Bundesnetzagentur).

E.ON, RWTH, ewi (2019): Auswirkungen von CO₂-Preisen auf den Gebäude-, Verkehrs- und Energiesektor. Online verfügbar.

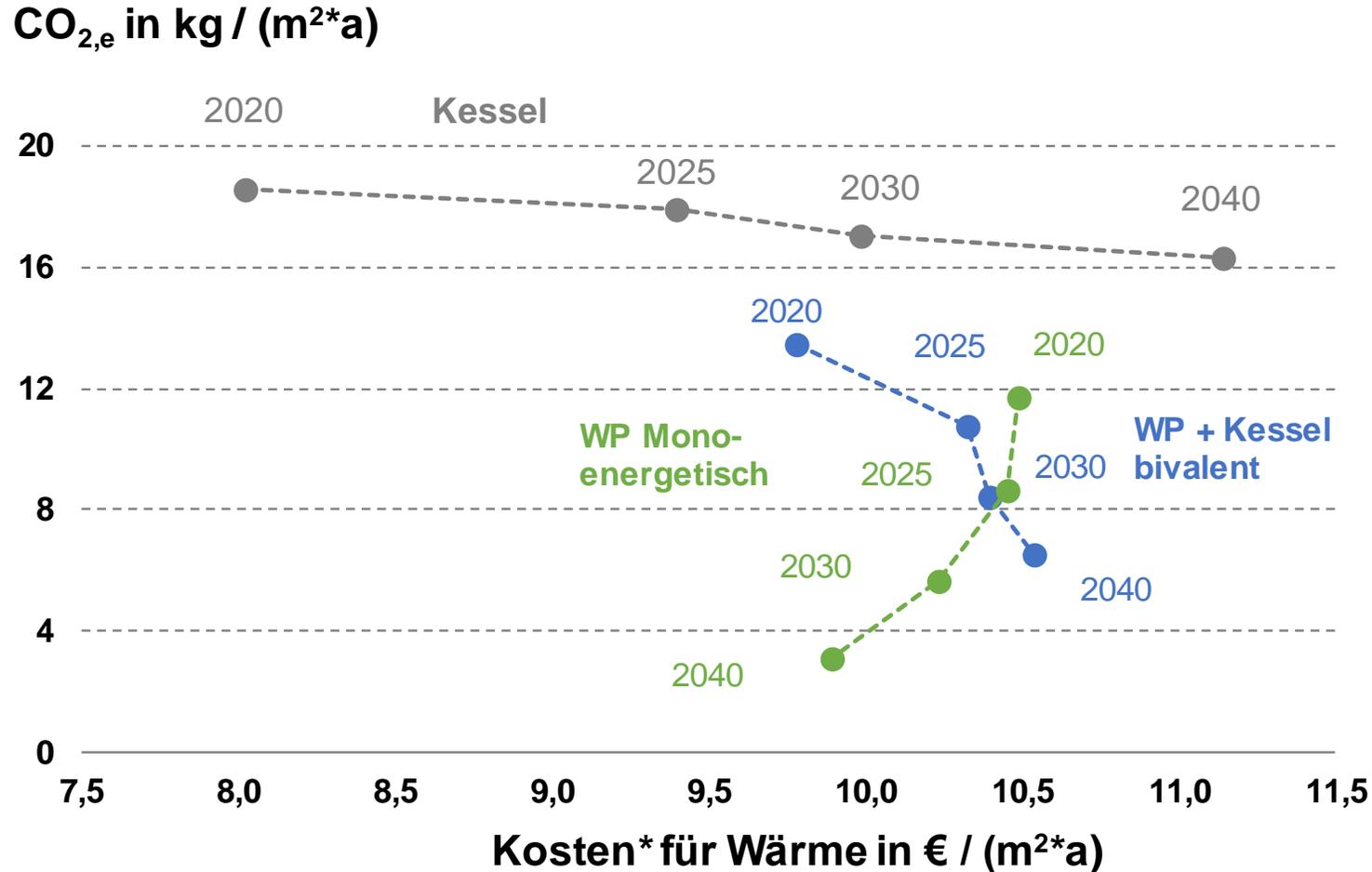
Bundesnetzagentur (2020): Monitoringbericht 2019. Online verfügbar.

Gaspreise EU Reference Scenario (2016):

Capros, P. et al. (2016): EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions, Trends to 2050. Hg. v. European Commission. Luxembourg. Online verfügbar.

Perspektive bis 2040

Systemvergleich ohne Förderung



	Kessel	WP + Kessel	WP Mono
Investition [€]	10.204	20.938	19.203
Wärmegestehungs-kosten [ct/kWh]	11,1	11,9	12
Emissionen kumuliert [kg/(m ² *a)]	17,3	9,4 (-46 %)	6,7 (-61 %)

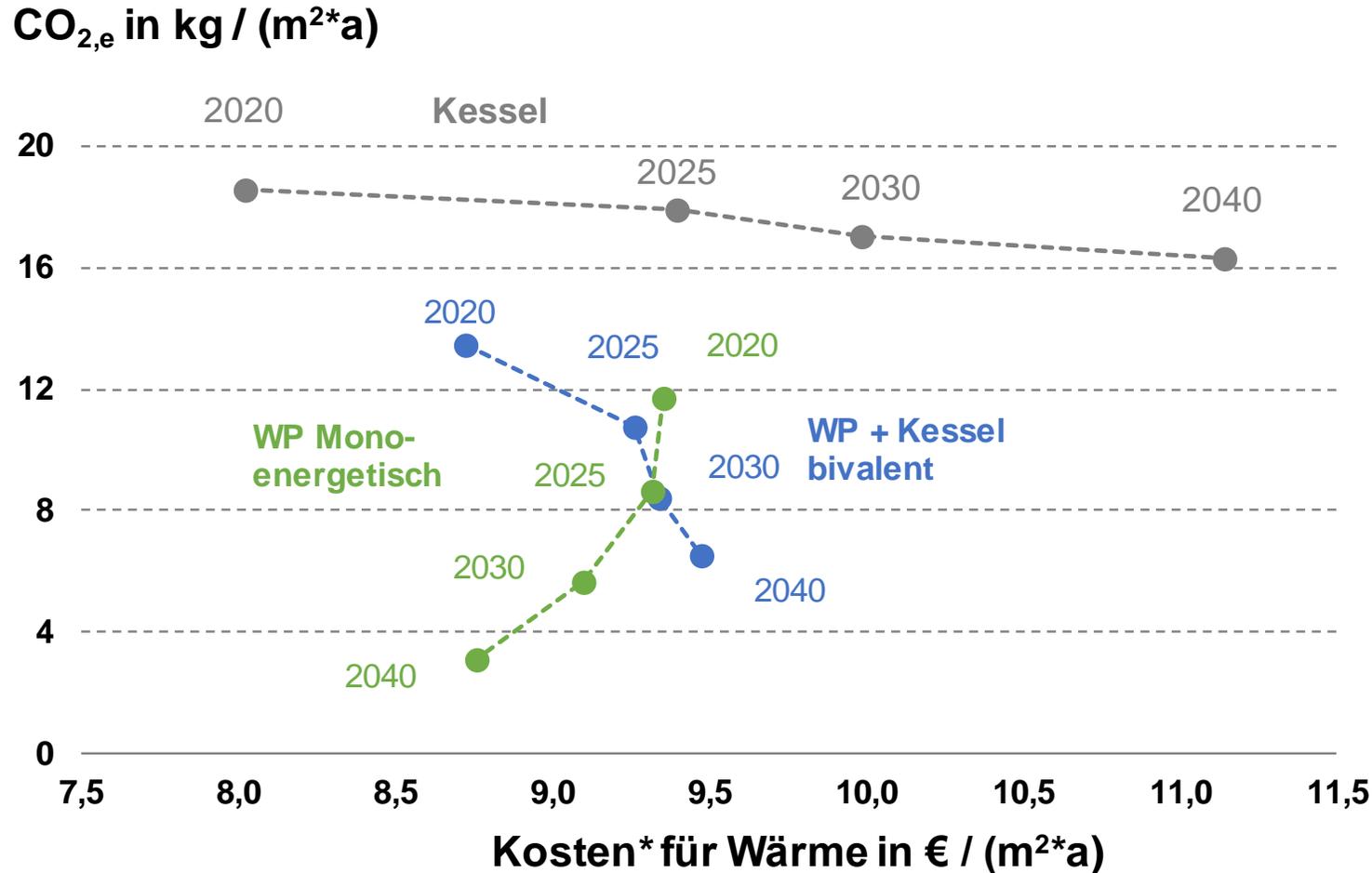
Systemvergleich für LowEx-Bestand
Referenzgebäude saniert nach EnEV 2016.

Systeme: Gas-Brennwertkessel, Luft-WP mono-energetisch mit Heizstab, Luft-WP bivalent teilparallel mit Kessel (Betrieboptimierung jährlich nach Energie-Bezugskosten). Auslegung: Höchster Barwert mit Zinssatz 7,5%, Energie-Bezugskosten und Emissionsfaktoren vgl. vorherige Folien, weitere Parameter u. Förderung vgl. Folgefolie)

* Abb. zeigt jährliche Energie-Bezugskosten (inflationsbereinigt, nicht diskontiert) plus Annuität von Investitions- und Wartungskosten

Perspektive bis 2040

Systemvergleich mit BAFA-Investitionszuschuss



	Kessel	WP + Kessel	WP Mono
Investition [€]	10.204	14.657	12.482
Wärmegestehungs-kosten [ct/kWh]	11,1	10,7	10,7
Emissionen kumuliert [kg/(m ² *a)]	17,3	9,4 (-46 %)	6,7 (-61 %)

Systemvergleich für LowEx-Bestand
Referenzgebäude saniert nach EnEV 2016.

Systeme: Gas-Brennwertkessel, Luft-WP mono-energetisch mit Heizstab, Luft-WP bivalent teilparallel mit Kessel (Betrieboptimierung jährlich nach Energie-Bezugskosten). Auslegung: Höchster Barwert mit Zinssatz 7,5%, Energie-Bezugskosten und Emissionsfaktoren vgl. vorherige Folien, weitere Parameter u. Förderung vgl. Folgefolie)

* Abb. zeigt jährliche Energie-Bezugskosten (inflationsbereinigt, nicht diskontiert) plus Annuität von Investitions- und Wartungskosten

Perspektive bis 2040

Parameter und Ergebnisse Systemvergleich (Kosten: BKI-Datenbank incl. Montage, brutto)

	Einheit	Ohne Investitions-Zuschuss			Mit Investitions-Zuschuss			War- tung % p.a.
		Gaskessel System	WP + Gaskessel System	WP Mono System	Gaskessel System	WP + Gaskessel System	WP Mono System	
Förderung BAFA	%	-	-	-	0	30	35	
Investition	EUR	10.204	20.938 (+Restwert WP)	19.203 (+Restwert WP)	10.204	14.657 (+Restwert WP)	12.482 (+Restwert WP)	
Kessel		7.334 (24 kW)	7.334 (24 kW)	-	7.334 (24 kW)	5.134 (24 kW)	-	2,8
Wärmepumpe		-	10.117 (8,4 kW)	13.974	-	7.082 (8,4 kW)	9.083 (20,9 kW)	2,5
TWW-Speicher		2.870 (400 l)	2.870 (400 l)	2.870 (400 l)	2.870 (400 l)	2.009 (400 l)	1.866 (400 l)	1
Heizungsspeicher		-	1.094 (200 l)	1.785 (420 l)	-	766 (200 l)	1.160 (420 l)	1
Heizstab		-	-	1.233 (11,3 kW)	-	-	801 (11,3 kW)	1
Annuität	EUR / a	-5.524	-5.968	-5.994	-5.524	-5.352	-5.335	
Anteil Invest	%	18	34	31	18	27	23	
Wärmegesteh- ungskosten	ct /kWh	11,1	11,9	12	11,1	10,7	10,7	
Emissionen kumuliert	kg / (m ² *a)	17,3	9,4 (-46 %)	6,7 (-61 %)	17,3	9,4 (-46 %)	6,7 (-61 %)	

Zusammenfassung und Fazit

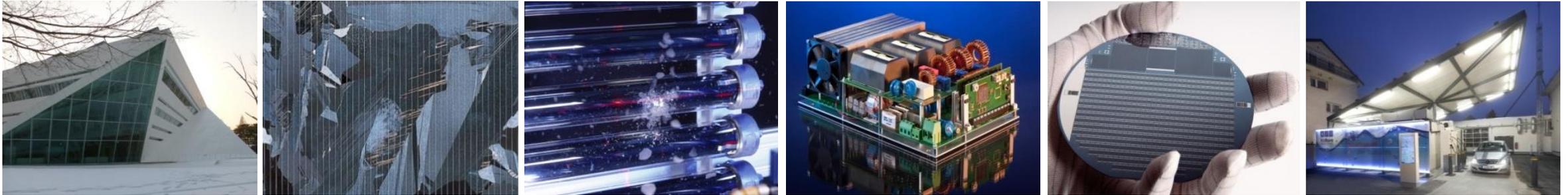
- Identifikation verschiedener Lösungsgruppen
- Ergebnisse des Annex 50 sowie Karte der Case Studies einsehbar auf der Website:
<https://heatpumpingtechnologies.org/annex50>
- Betrachtungsfall saniertes Gebäude (~Standard EnEV 2016)
- Systembetrachtung erfolgte auf Basis von in der Literatur verfügbaren Prognosen für die Entwicklung von CO₂-Äquivalenten und Energiekosten (Strom und Gas)
- WP-Systeme bieten hohe CO_{2,e}-Einsparungen, jedoch im mono-energetischen Berechnungsfall derzeit noch höhere Betriebskosten im Vergleich zum Referenzsystem Gaskessel
- Perspektivisch: Erhöhung der CO_{2,e}-Einsparungen sowie Betriebskosteneinsparungen zu erwarten, v.a. bei hohem Deckungsanteil der WP
- Aktueller BAFA-Investitionszuschuss führt über die Lebensdauer zu vergleichbaren Wärmegestehungskosten der Wärmepumpen-Systeme gegenüber dem Gaskessel-Standard-System

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Round Table zum Thema: heute, 15.10. von 13:00-14:00



www.lowex-bestand.de



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Constanze Bongs, Jeannette Wapler, Marek Miara

Uni Freiburg, INATECH
Stefan Hess

Mitarbeit: B. Rodenbücher, F. Braeuer, F. Ohr, M. Kleinstück, M. Abunofal

constanze.bongs@ise.fraunhofer.de
stefan.hess@inatech.uni-freiburg.de

Gefördert durch:



FKZ: 03SBE0001

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Thank you for your
attention.**

**CONNECTING
EXPERTS.**

