

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

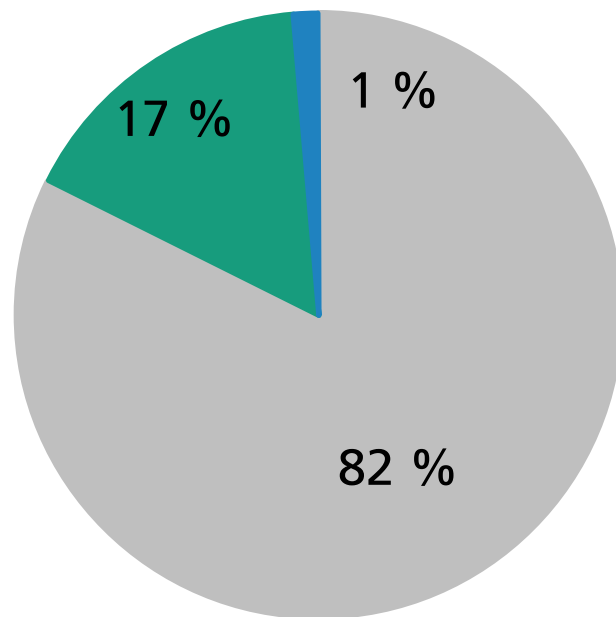
15. Oktober 2020

AGENDA

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

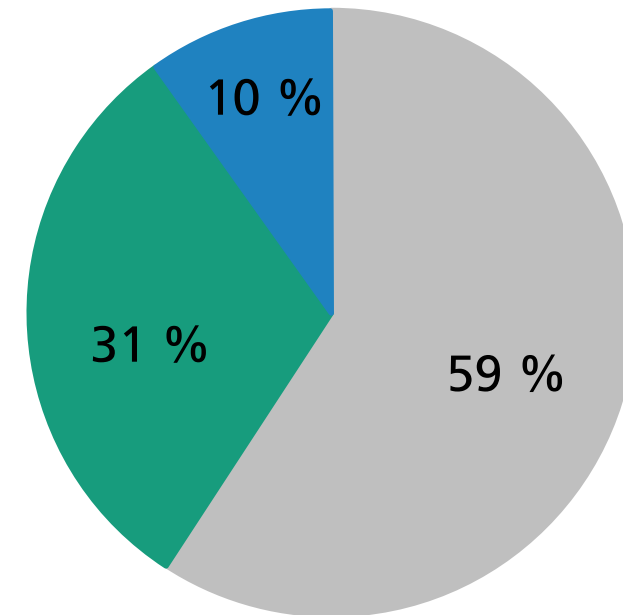
Mehrfamilienhäuser: Bestandsanalyse Gebäude

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“

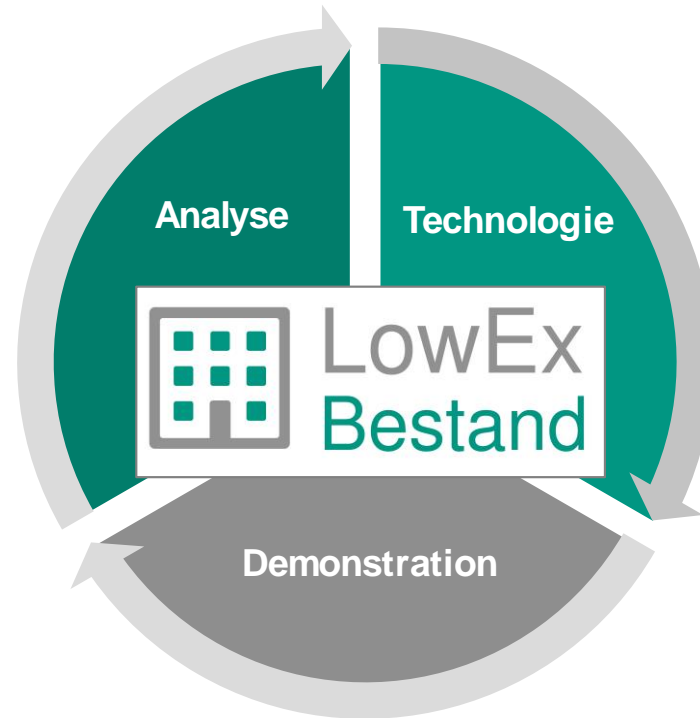
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Analyse

in der Querspanne:



Technologie-Projekte mit Fraunhofer ISE:

■ HTWP



■ FIHLS



■ HEAVEN



■ NK4HTWP



■ AdoSan



Demo-Projekte mit Fraunhofer ISE:

■ Wohnungsgesellschaft Adorf

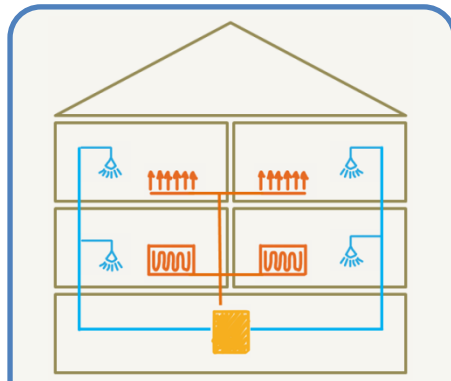
■ KES Karlsruher Energieservice

■ Frank Bramfeld GBR, Hamburg

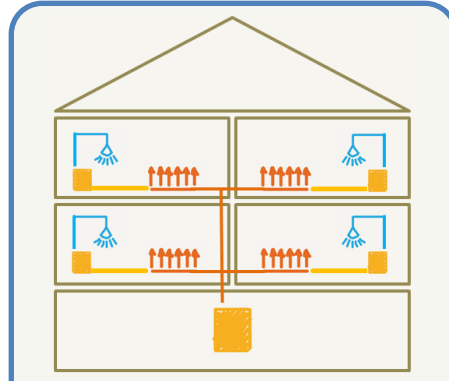


Klassifizierung der Lösungen

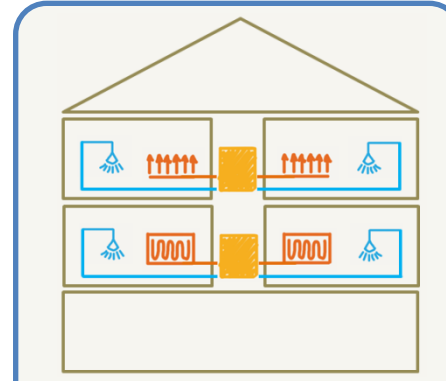
Annex 50: Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Heating and DHW



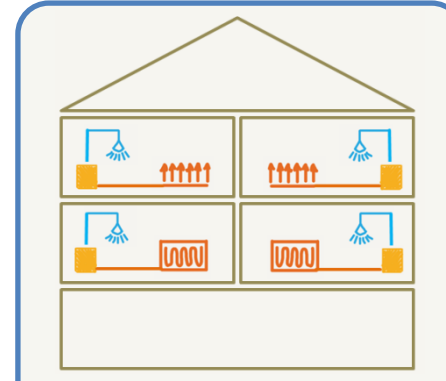
Zentrale WP-System
für Gesamtgebäude



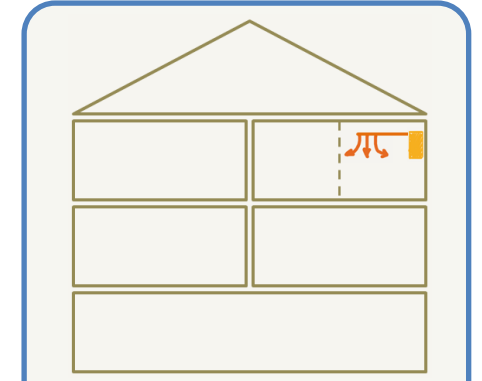
Kombination
zentral-dezentral



WP für mehrere
Wohnungen



WP für einzelne
Wohnungen



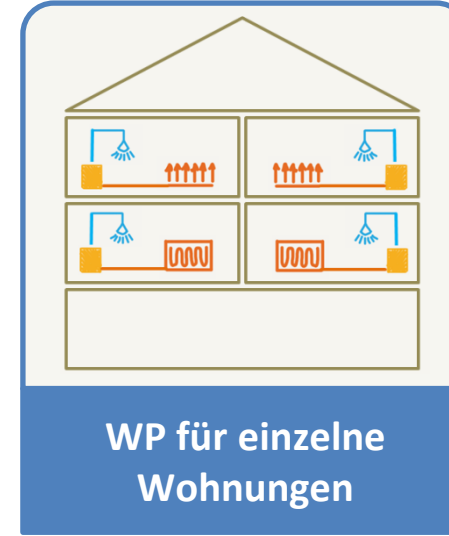
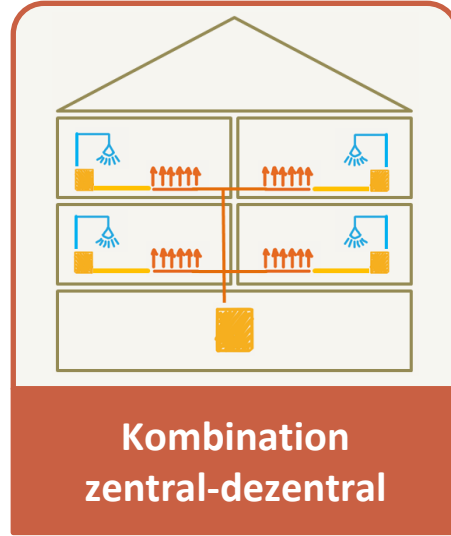
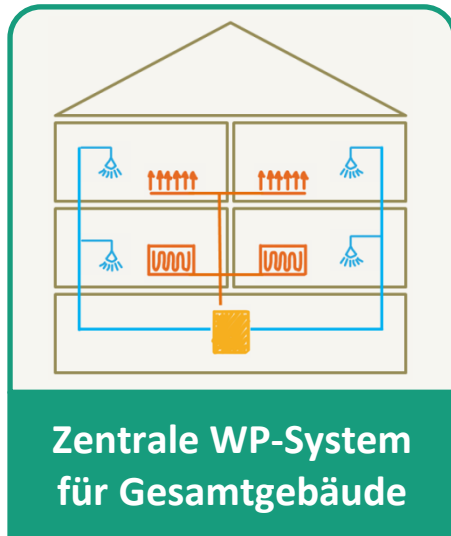
WP für Einzelräume

Gebäude

Einzelraum

Klassifizierung der Lösungen

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



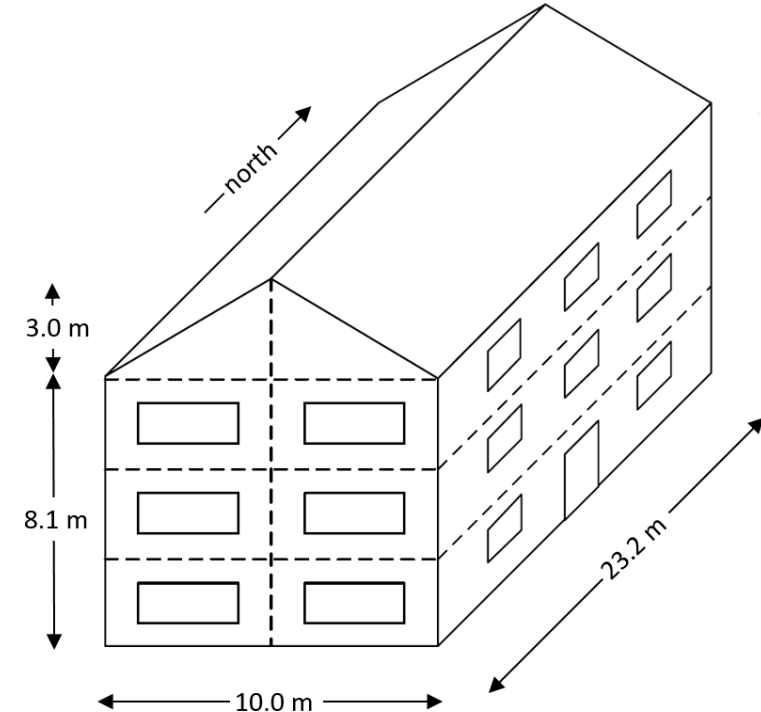
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 957007

AGENDA

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

Referenzgebäude LowEx Bestand

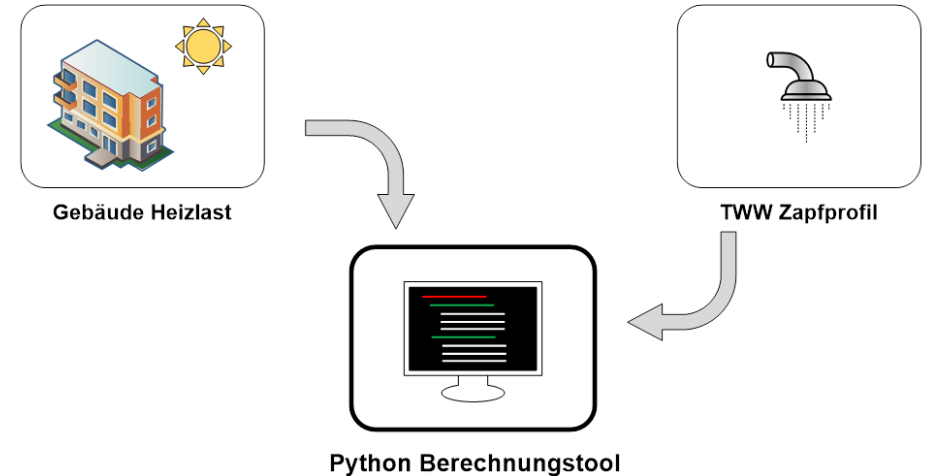
- **Baualtersklasse 1958 – 1978**
 - Höchster Anteil am MFH-Bestand
 - Häufiger Sanierungsfall, Kosten/Nutzen oft gut
- **Parameter:**
 - 581 m² Wohnfläche, Potsdam
 - Bedarf Raumheizung:
 - Saniert ~EnEV 2016 66 kWh/(m²*a)
 - Bedarf Trinkwarmwasser: 20 kWh/(m²*a)



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

Gebäude-System-Analyse: **Berechnungstool**

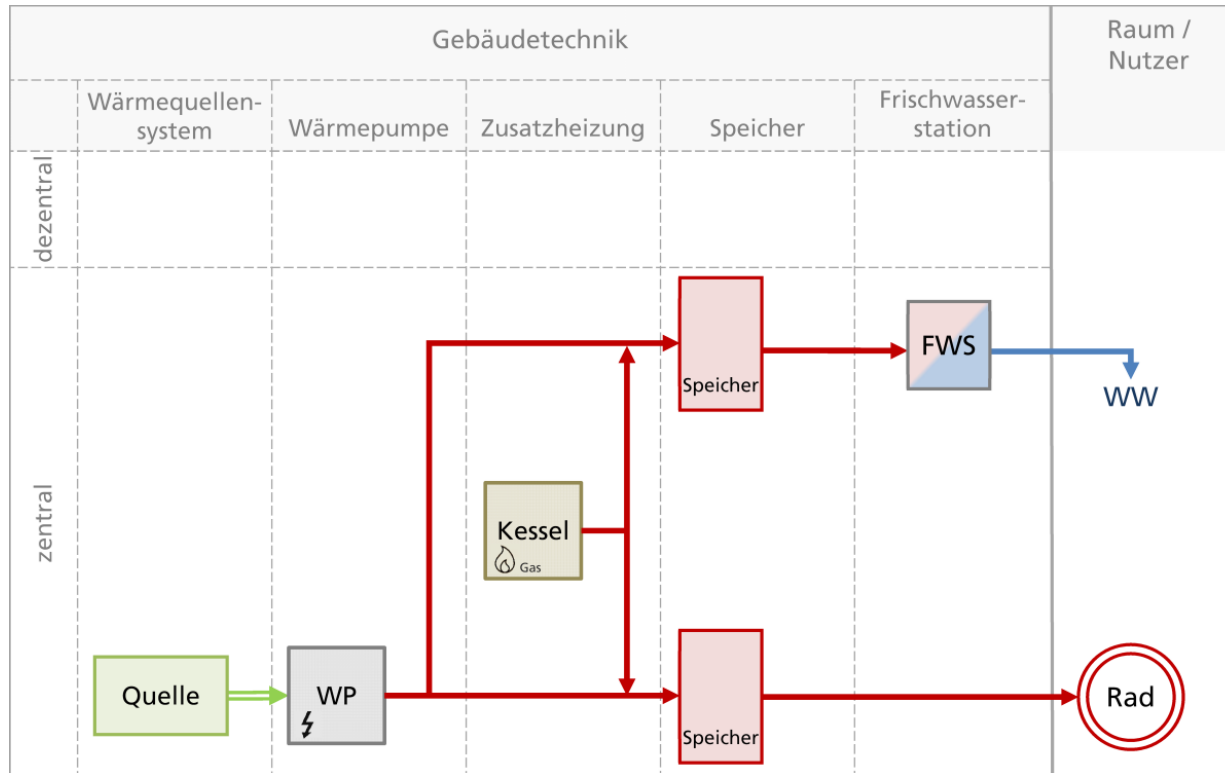
- Wärmepumpen-Modell: kennlinienbasiert
- Heizlast: Zeitreihen aus der Gebäudesimulation TRNBuild
- TWW: Zeitreihen aus SynPRO



- 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

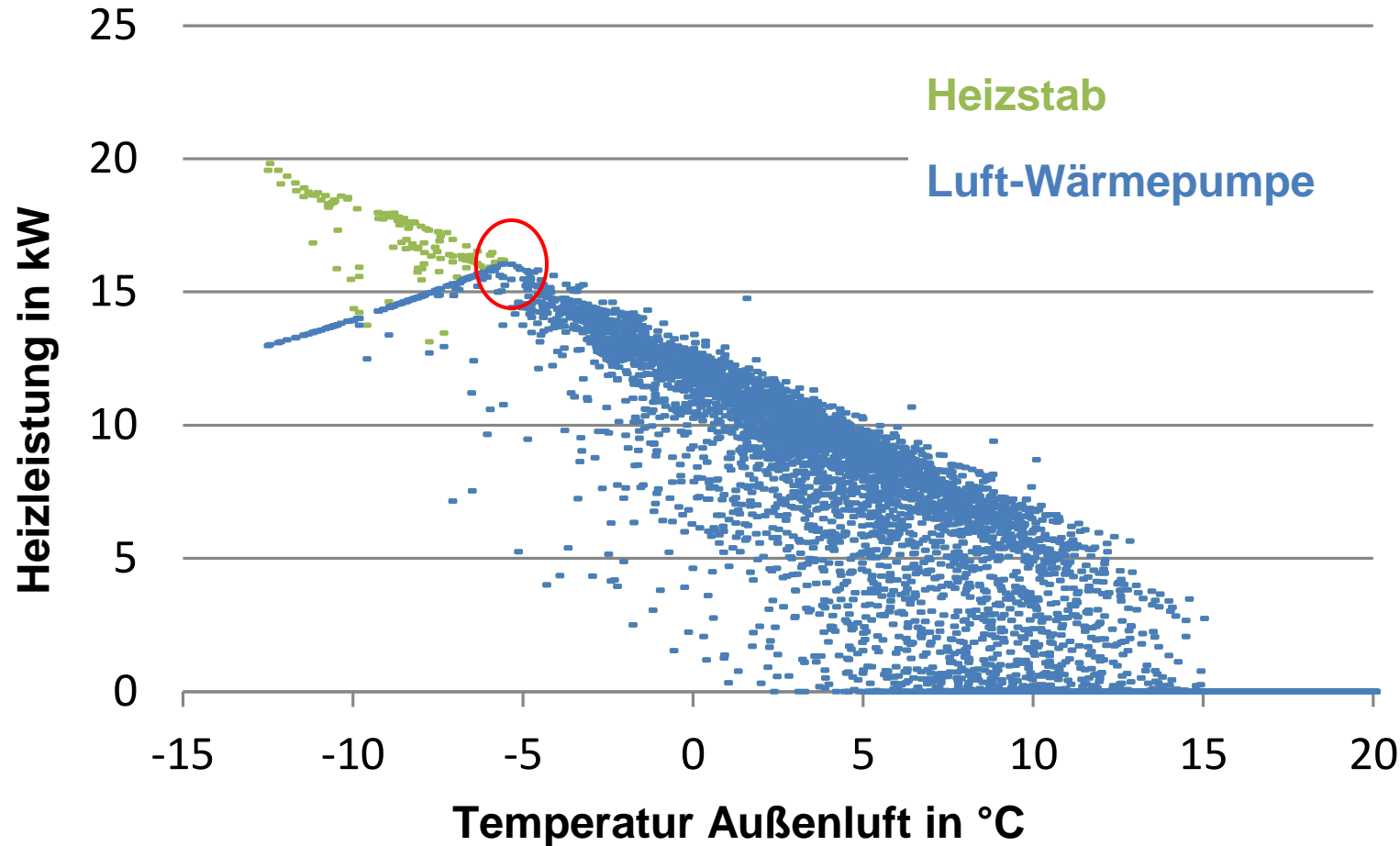
- Radiatoren 45/38°C
- Puffer TWE 66°C (laden)

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

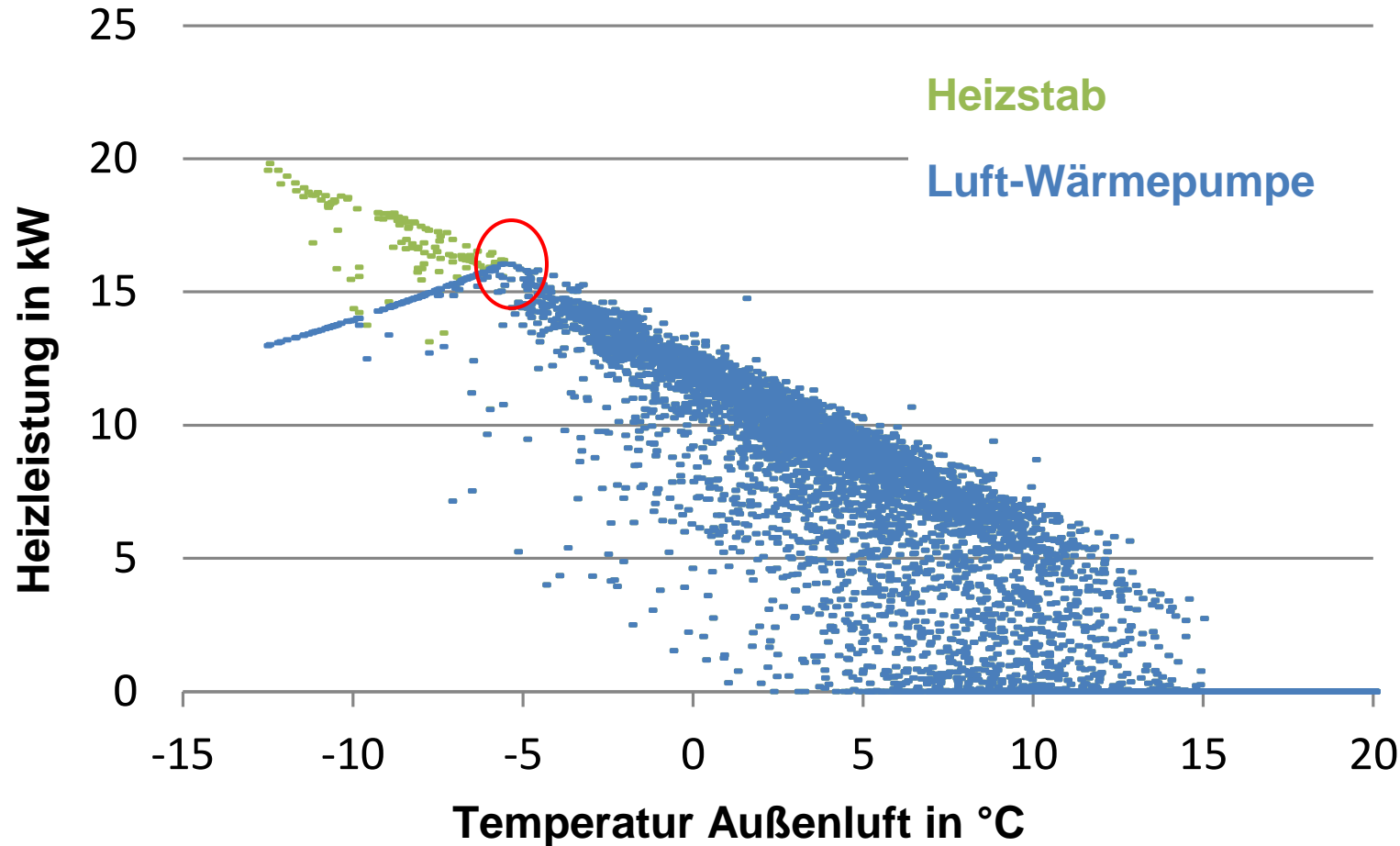
Luft-Wärmepumpe mit Heizstab (parallel)



- 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

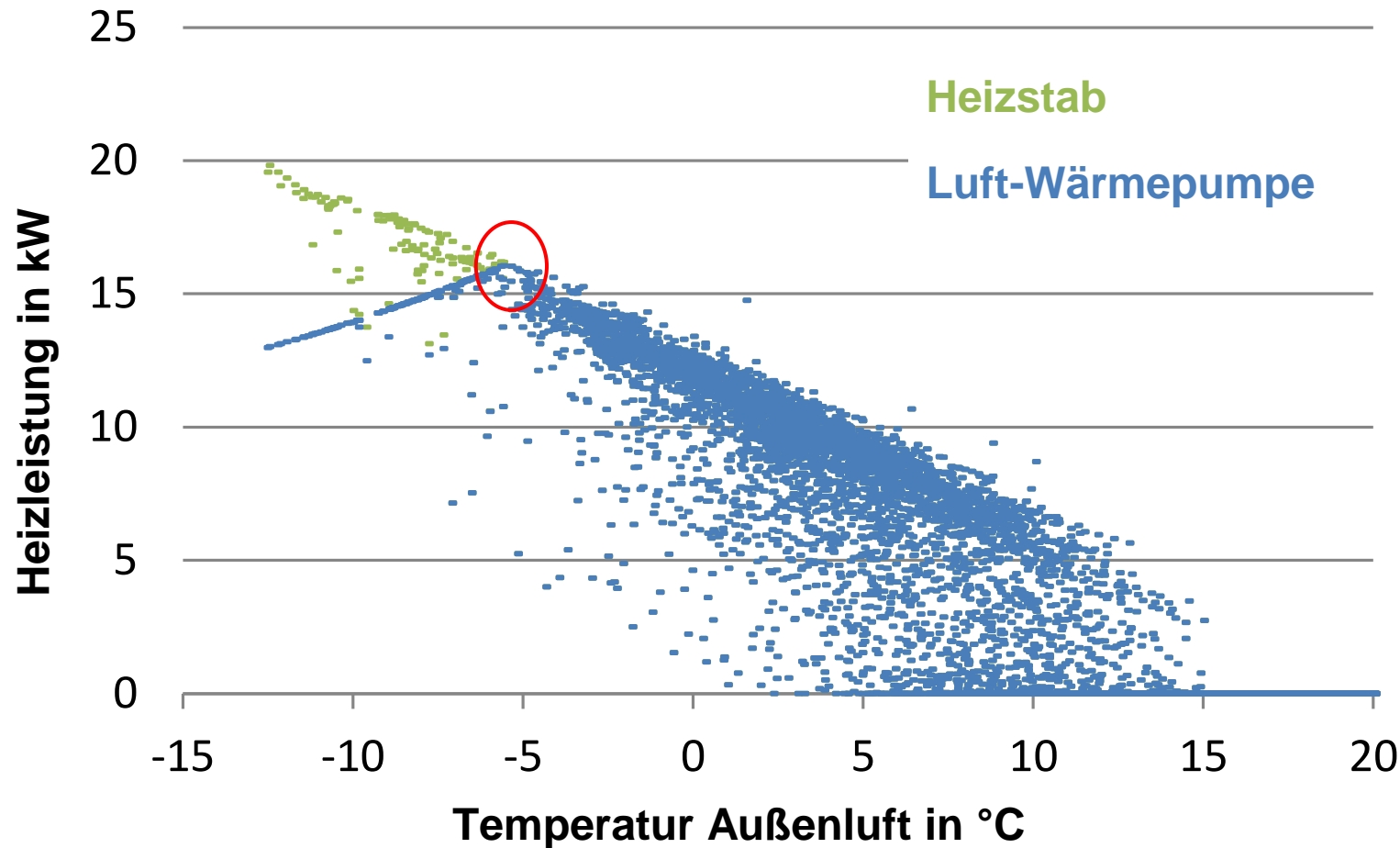
- CO_{2,e} Emissionen
- 2020: -37 %
- 2040: -81 %

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

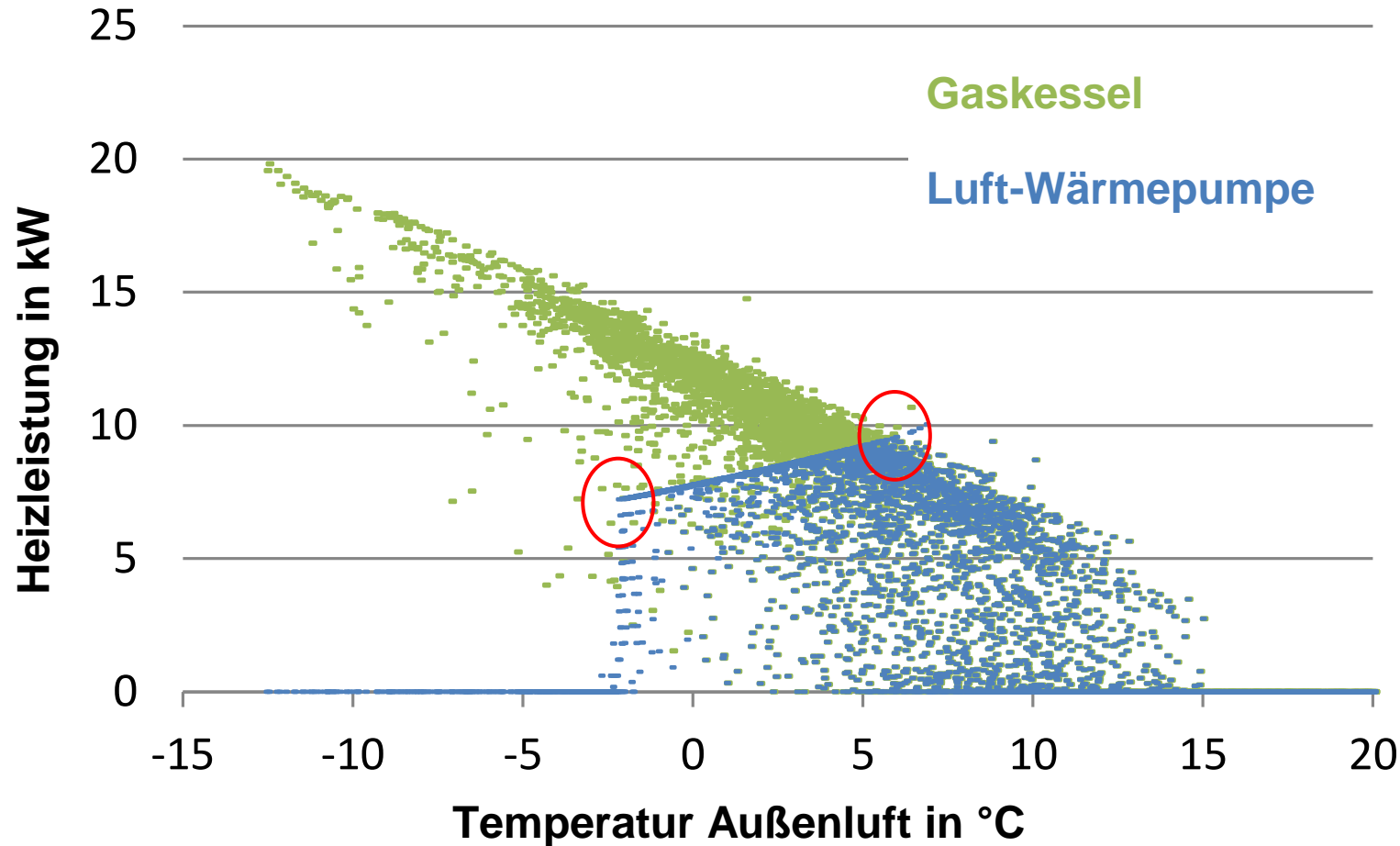
- CO_{2,e} Emissionen
 - 2020: -37 %
 - 2040: -81 %
- Energiebezugskosten
 - 2020: +11 %
 - 2040: -34 %

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)



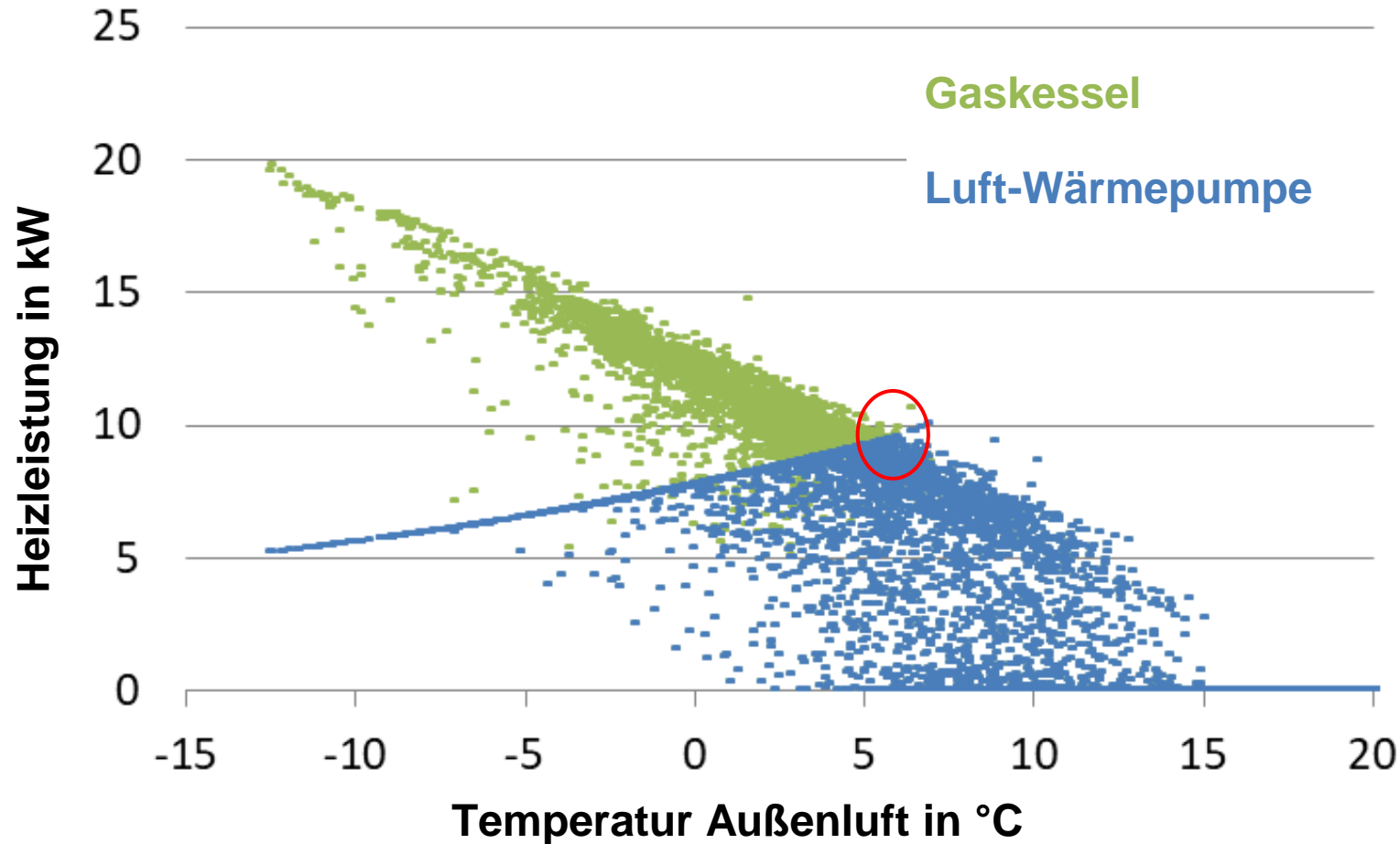
■ Aus Energiepreis-Kriterium ergibt sich WP-Abschaltung Raumheizung bei -2°C (im Jahr 2020)

■ Deckungsgrad WP Heizung + TWW: 54,6 %

■ Jahres-Arbeitszahl Heizung + TWW: 4,02

Bivalent-teilparalleles System

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



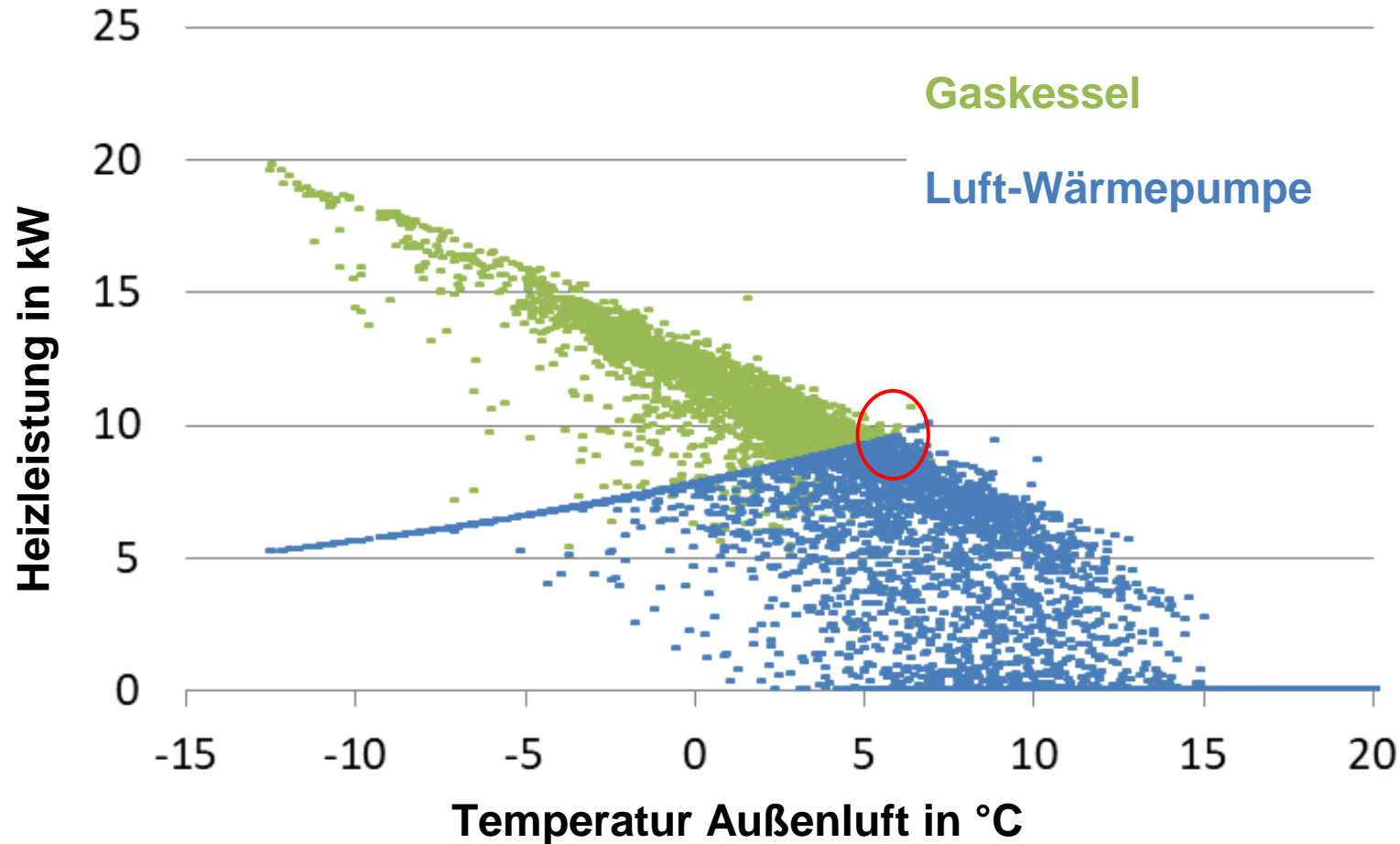
■ Aus Energiepreis-Kriterium ergibt sich **keine** WP-Abschaltung Raumheizung (im Jahr 2040)

■ **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.

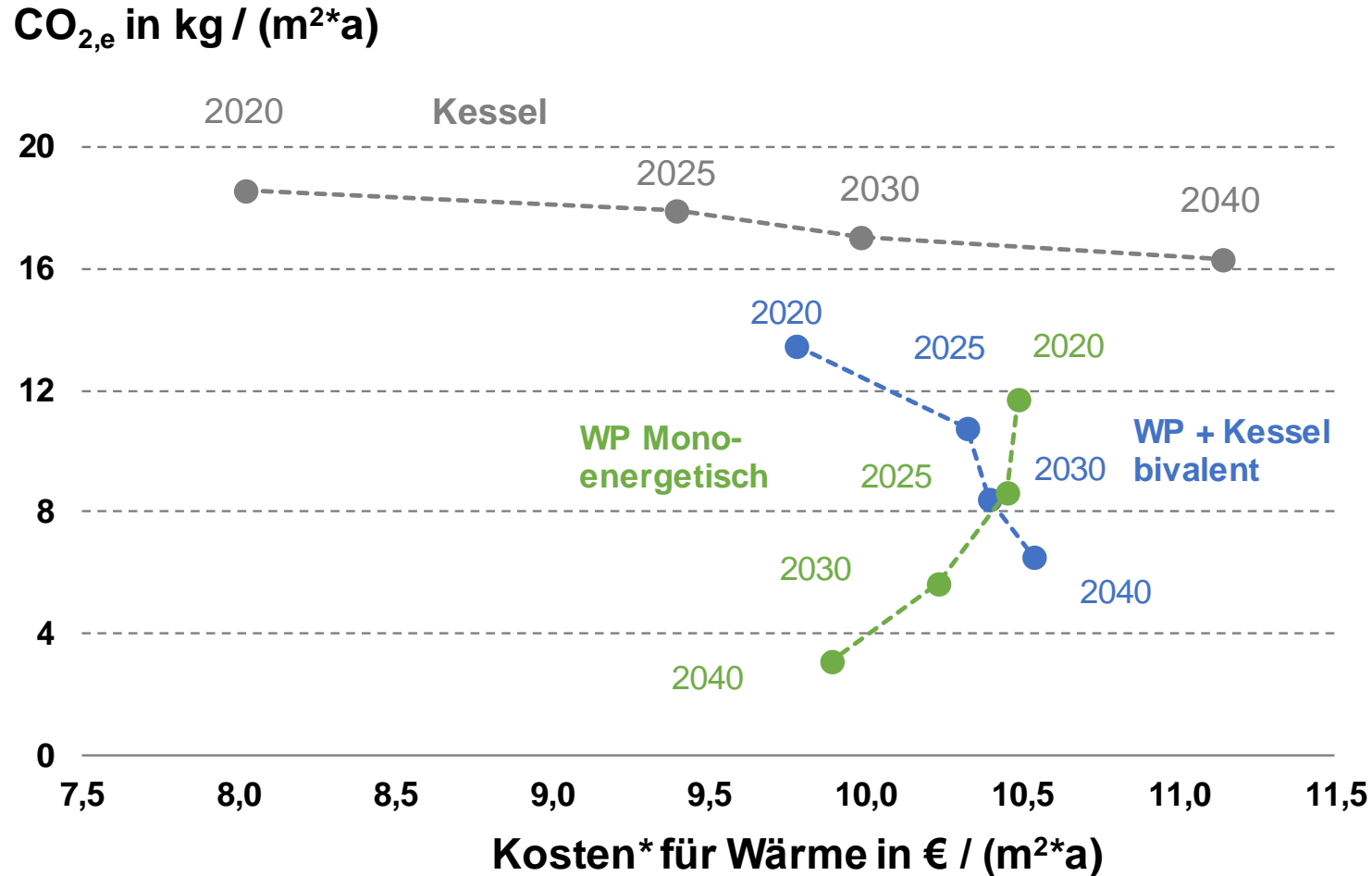
Bundesnetzagentur (2020): Monitoringbericht 2019. Online verfügbar.

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 %)

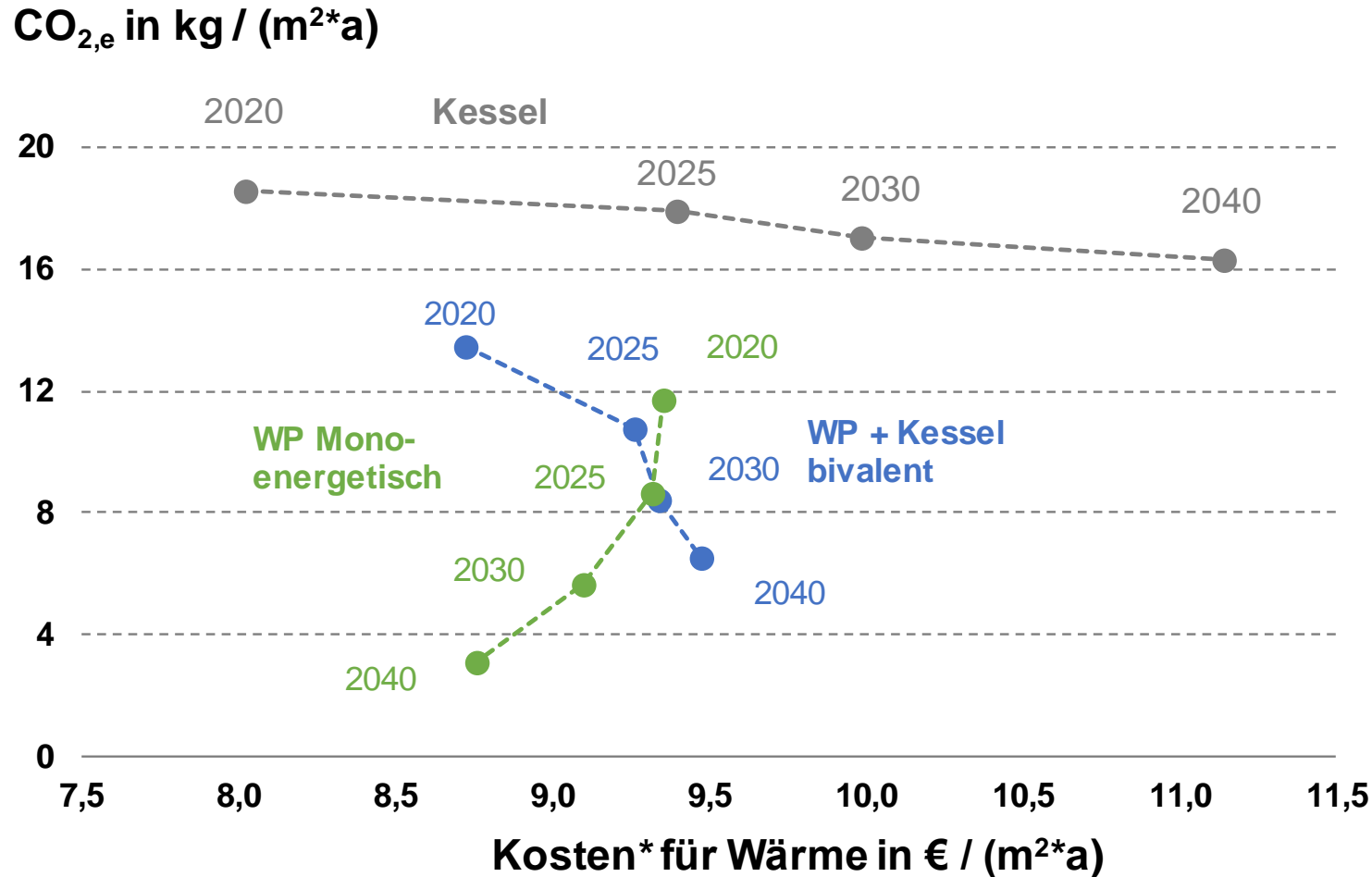
Systemvergleich für LowEx-Bestand
Referenzgebäude saniert nach EnEV 2016.

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	
Wärmegestehungskosten	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

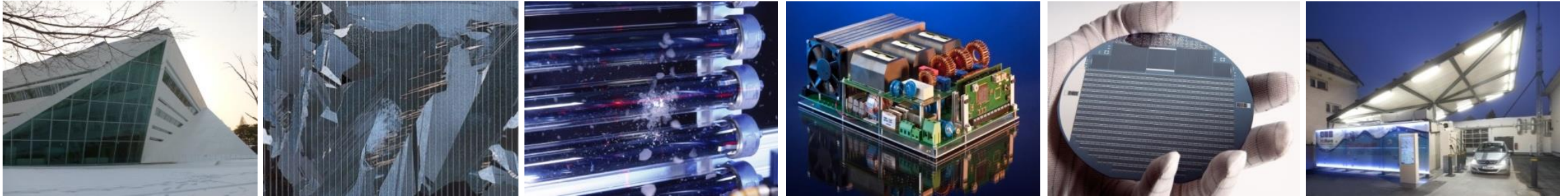
- Identifikation verschiedener Lösungsgruppen
- Ergebnisse des Annex 50 sowie Karte der Case Studies einsehbar auf der Website:
<https://heatpumpingtechnologies.org/annex50>
- Betrachtungsfall saniertes Gebäude (~Standard EnEV 2016)
- Systembetrachtung erfolgte auf Basis von in der Literatur verfügbaren 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.**

