

WÄRMEPUMPEN FÜR MEHRFAMILIENHÄUSER IM BESTAND



©Fraunhofer ISE/Foto: Guido Kirsch

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

Dr. Stefan Hess – Uni Freiburg, INATECH

DKV Tagung 2020

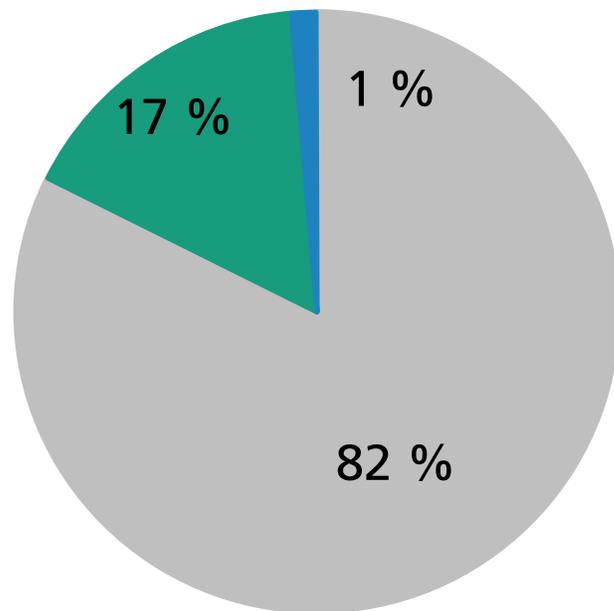
19. November 2020

AGENDA

- Bestandsanalyse
- Projektverbund LowEx im Bestand
- Systemlösungen
- Exemplarische Systemanalyse im Zeitraum 2020 bis 2040
 - Betriebsweise & energetische Betrachtung
 - Techno-ökonomischer Vergleich
- Fazit

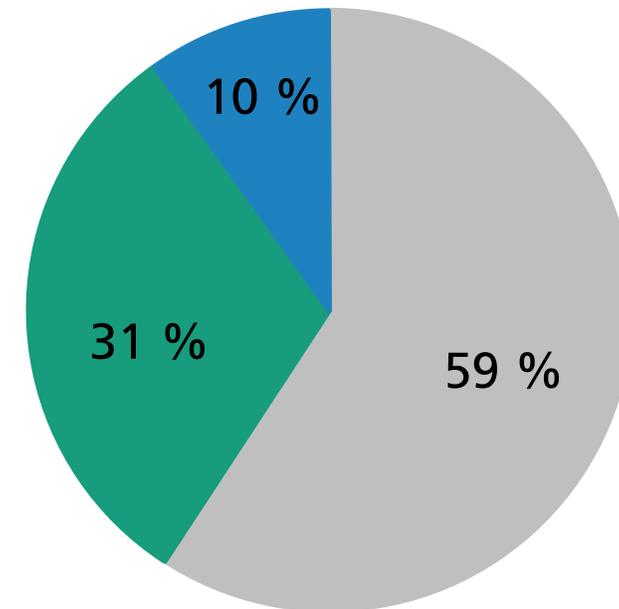
Mehrfamilienhäuser: Bestandsanalyse Gebäude

Anteil Gebäudebestand



MFH > 12 WE
MFH 3 - 12 WE
EZFH

Anteil Wohnfläche



Wärmepumpen: Marktanteile in Neubau und Bestand

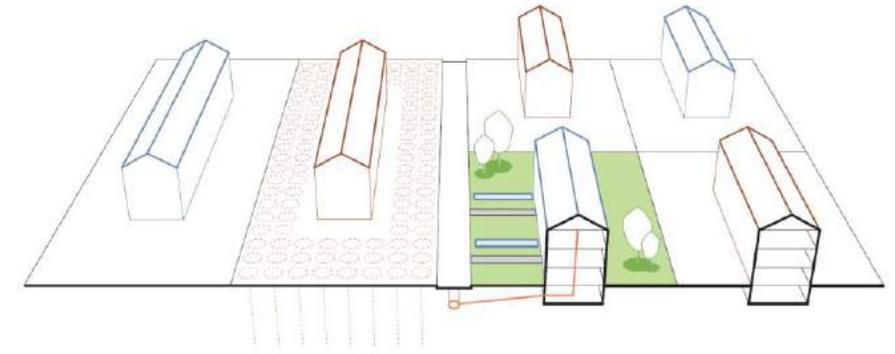
- Marktanteile Wärmepumpen im **Neubau 2019** (Destatis 2020)¹:
 - EZFH: 46 %
 - MFH: 24 %

- Marktanteile Wärmepumpen im **Bestand 2018** (BWP 2019)²:
 - Wohngebäude: 5,5 %

Wärmepumpen: Hemmnisse für WP im Mehrfamilienhausbestand

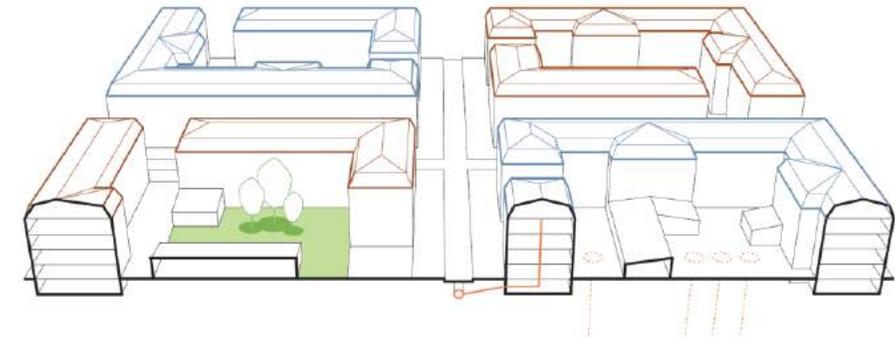
■ Technisch

- Begrenzte Flächenverfügbarkeit quellenseitig
→ Erdsonden-Abstände, Schallemissionen
- Hohe Vorlauf-Temperaturen
→ Trinkwassererwärmung



■ Wirtschaftlich

- Hohe Investitionskosten im Vergleich zu Gas-Brennwertkessel
- Hohe Endkunden-Strompreise



Projektverbund „LowEx im Bestand“: „Querspange“

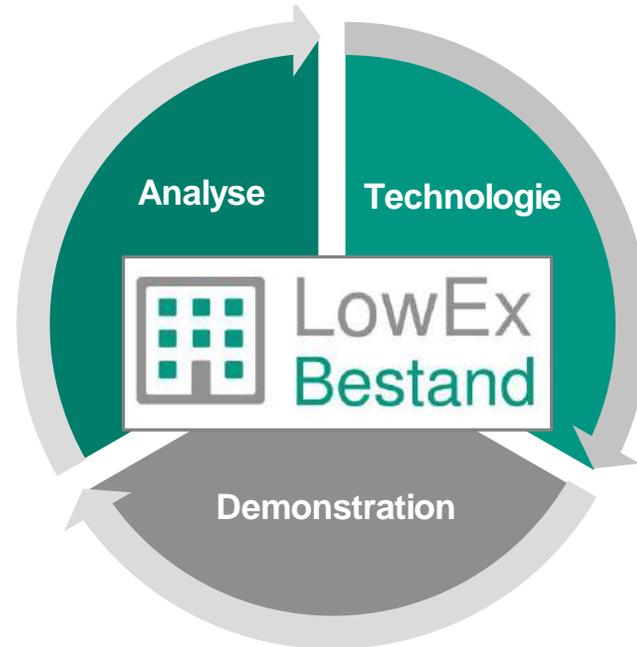


Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektverbund „LowEx im Bestand“: 5 Technologieprojekte



„HTWP“  **BOSCH**
Technik fürs Leben 

„FIHLS“  **Beck+Heun**
BESTE WERTE FÜRS HAUS  **KERMI**  **westaflex** 

„HEAVEN „  **VIESMANN**
climate of innovation 

„NK4HTWP“  **STIEBEL ELTRON**
Technik zum Wohlfühlen 

„AdoSan“  **FAHRENHEIT**  **hermann**
KÜHLER **HAUGG**  

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektverbund „LowEx im Bestand“: Demonstration



VOLKS  WOHNUNG

Frank Bramfeld
GBR, Hamburg

 **Stadtwerke
Karlsruhe**
Besser versorgt, weiter gedacht.

 **WG
Adorf**

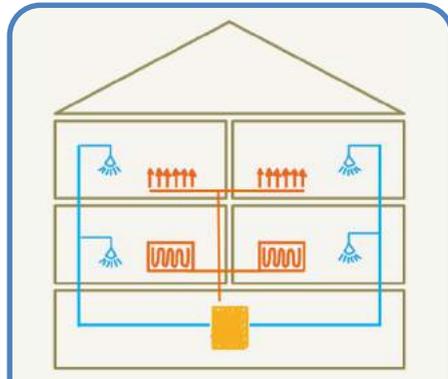
Gefördert durch:



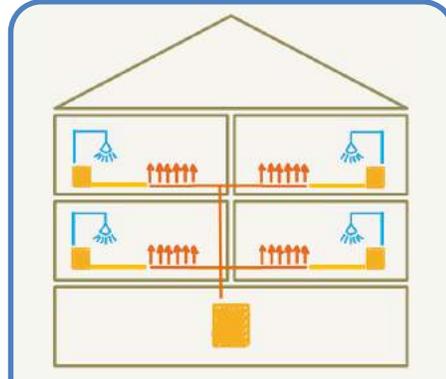
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Klassifizierung der Lösungen

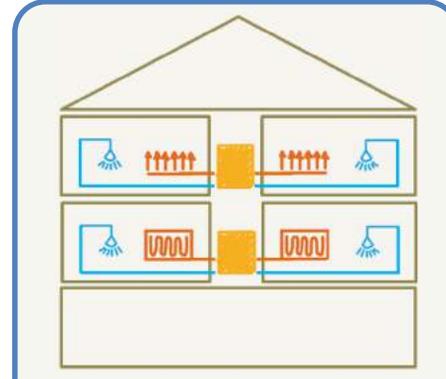
Annex 50: Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Heating and DHW



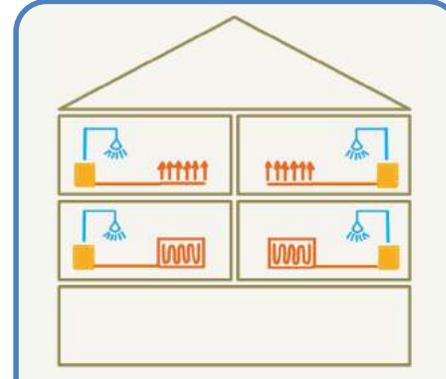
Zentrale WP-System
für Gesamtgebäude



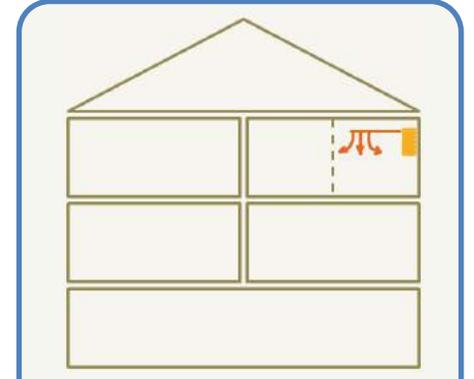
Kombination
zentral-dezentral



WP für mehrere
Wohnungen



WP für einzelne
Wohnungen



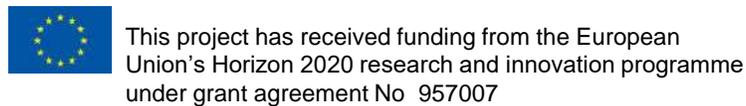
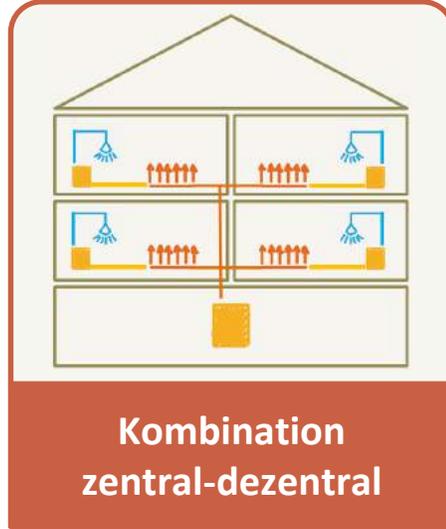
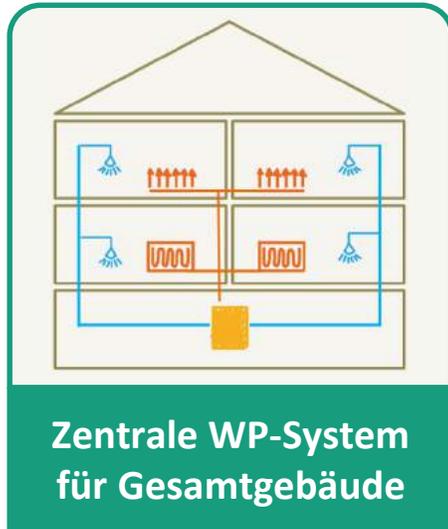
WP für Einzelräume

Gebäude

Einzelraum

Klassifizierung der Lösungen

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

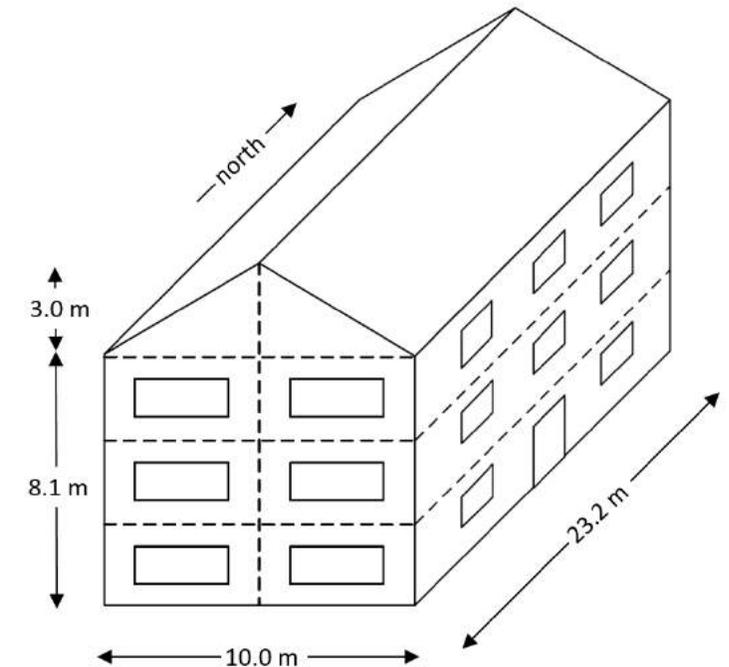


AGENDA

- Bestandsanalyse
- Projektverbund LowEx im Bestand
- Systemlösungen
- Exemplarische Systemanalyse im Zeitraum 2020 bis 2040
 - Betriebsweise & energetische Betrachtung
 - Techno-ökonomischer Vergleich
- Fazit

Gebäude-System-Analyse: Gebäude

- Gebäude-Kenngrößen
 - Baualtersperiode 1958 – 1978 (33% der MFH)
 - 580 m² Wohnfläche
 - Potsdam
 - Wärmebedarf Raumheizung
Vollsanierung (~EnEV 2016) 66 kWh/(m²*a)
 - Wärmebedarf Trinkwarmwasser
Zapfung & Verluste 20 kWh/(m²*a)



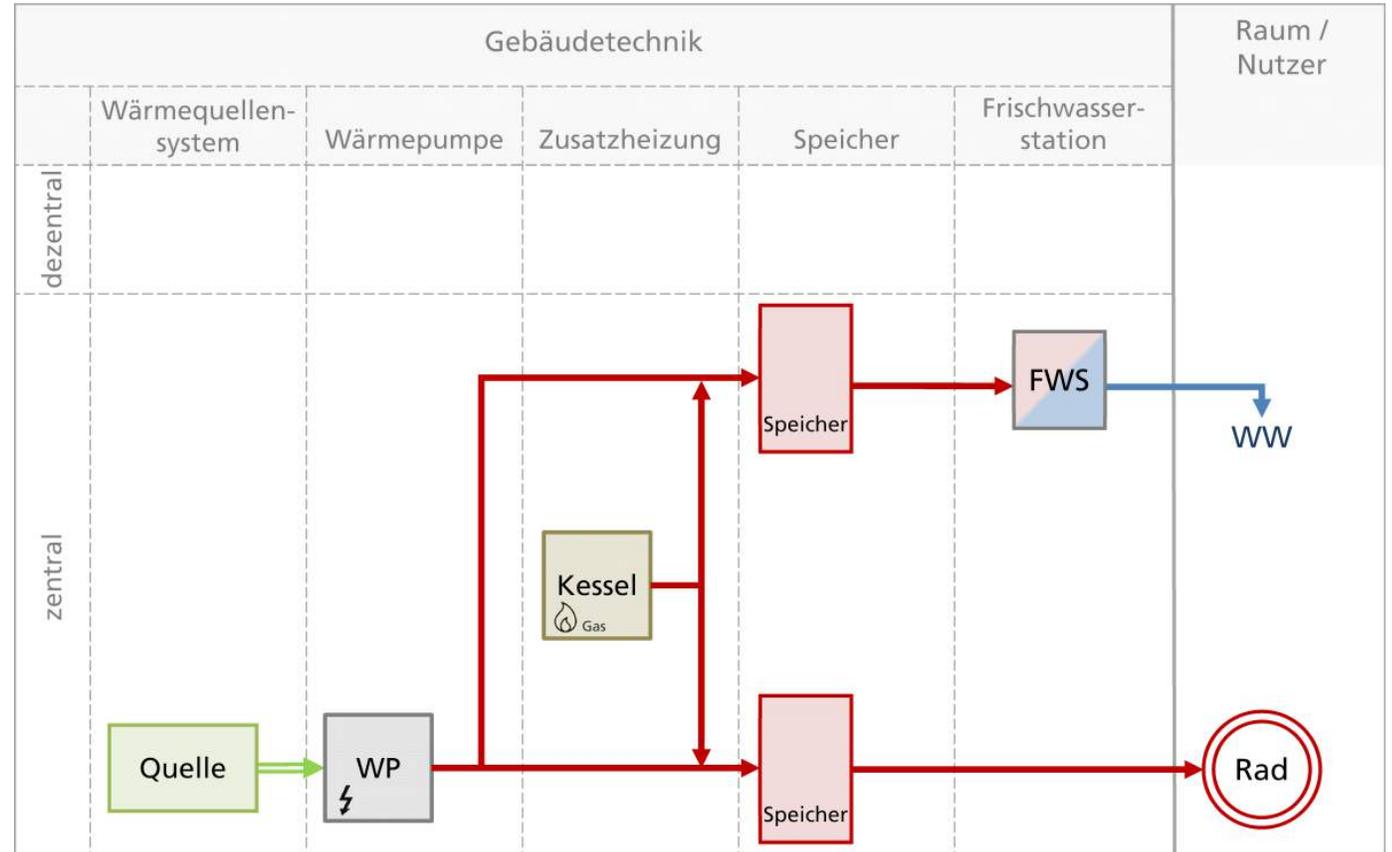
Gebäude-System-Analyse: System

■ Systemvarianten

- Monoenergetisch
- Bivalent, unterschiedliche Betriebskonzepte

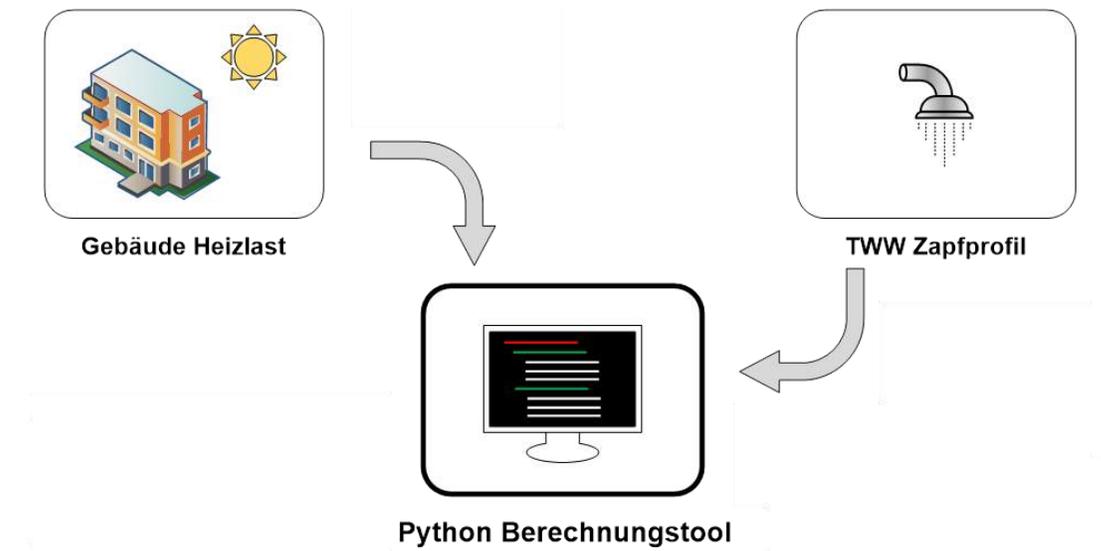
■ Kenngrößen

- Radiatoren 45/38°C (-14°C)
- Puffer TWE 66°C
- WP $T_{VL,max}$ 64°C
- $COP_{A2/W35}$ 3,9
- $\eta_{Kessel, Ho}$ 96% (W35), 85% (W65)

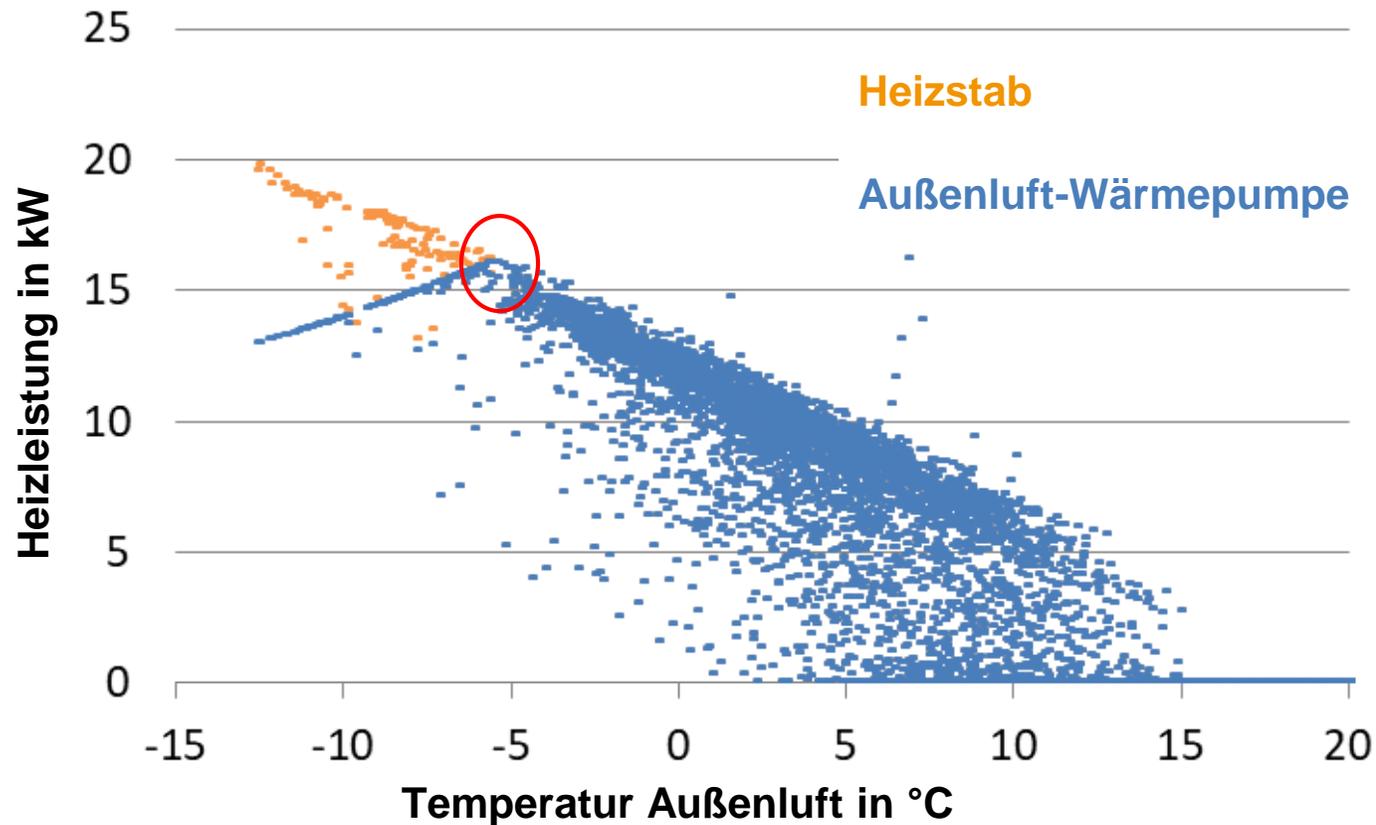


Gebäude-System-Analyse: Berechnungsansatz

- Modellbildung
 - Heizlast:
Zeitreihen aus der Gebäudesimulation TRNBuild
 - Trinkwasserprofil:
Zeitreihen aus SynPRO
 - Speicher: Schichtenmodell
 - Kessel: kennlinienbasiert
 - Wärmepumpen-Modell: kennlinienbasiert



Gebäude-System-Analyse: Monoenergetisches System



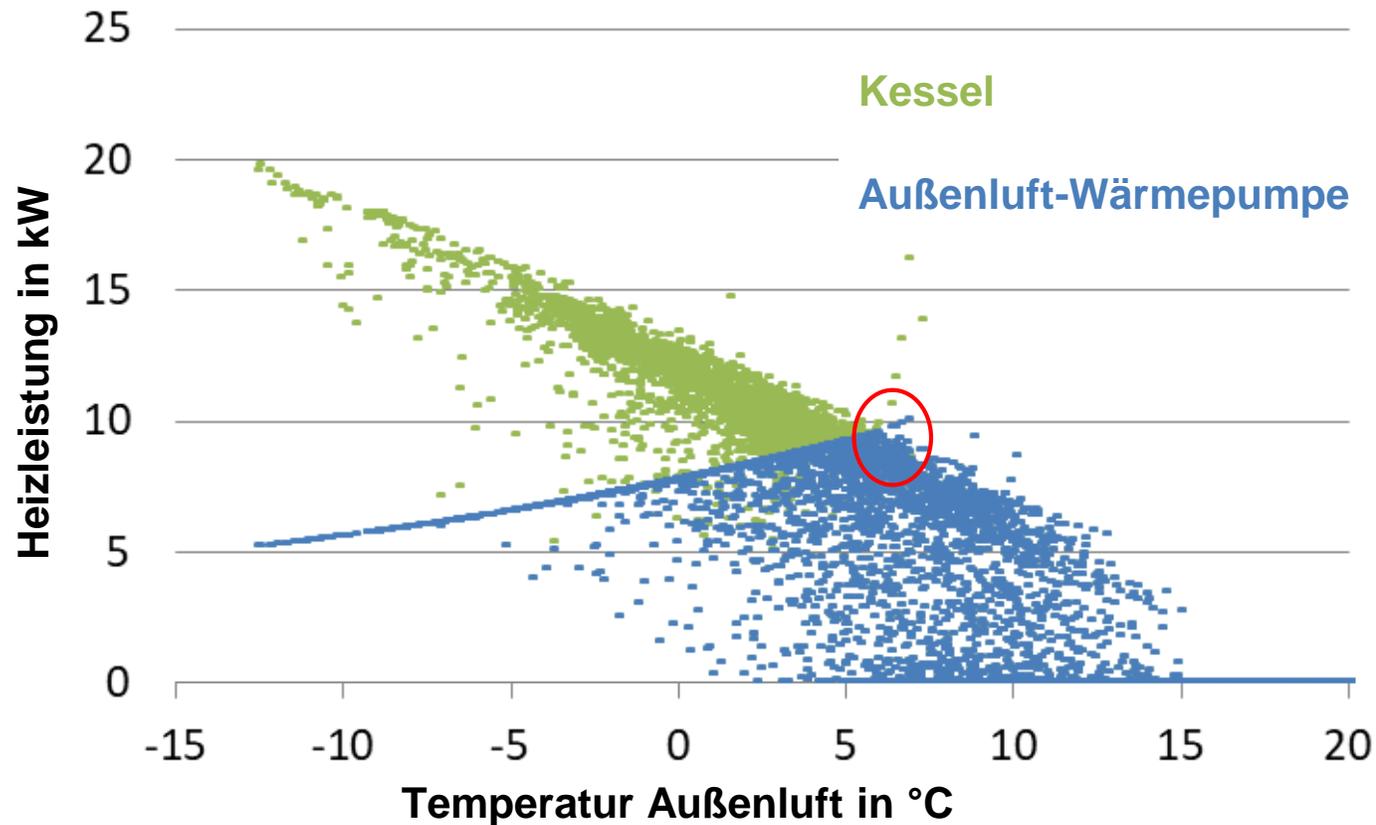
Randbedingungen

- Auslegung WP auf -5°C
- bivalent-paralleler Betrieb & alternativer Betrieb bei TWE

Ergebnisse

- Deckungsgrad WP: 95 %
RH: 99 %
TWE: 83%
- Jahresarbeitszahl WP: 3,3
RH: 3,7
TWE: 2,3

Gebäude-System-Analyse: Bivalentes System mit Gaskessel



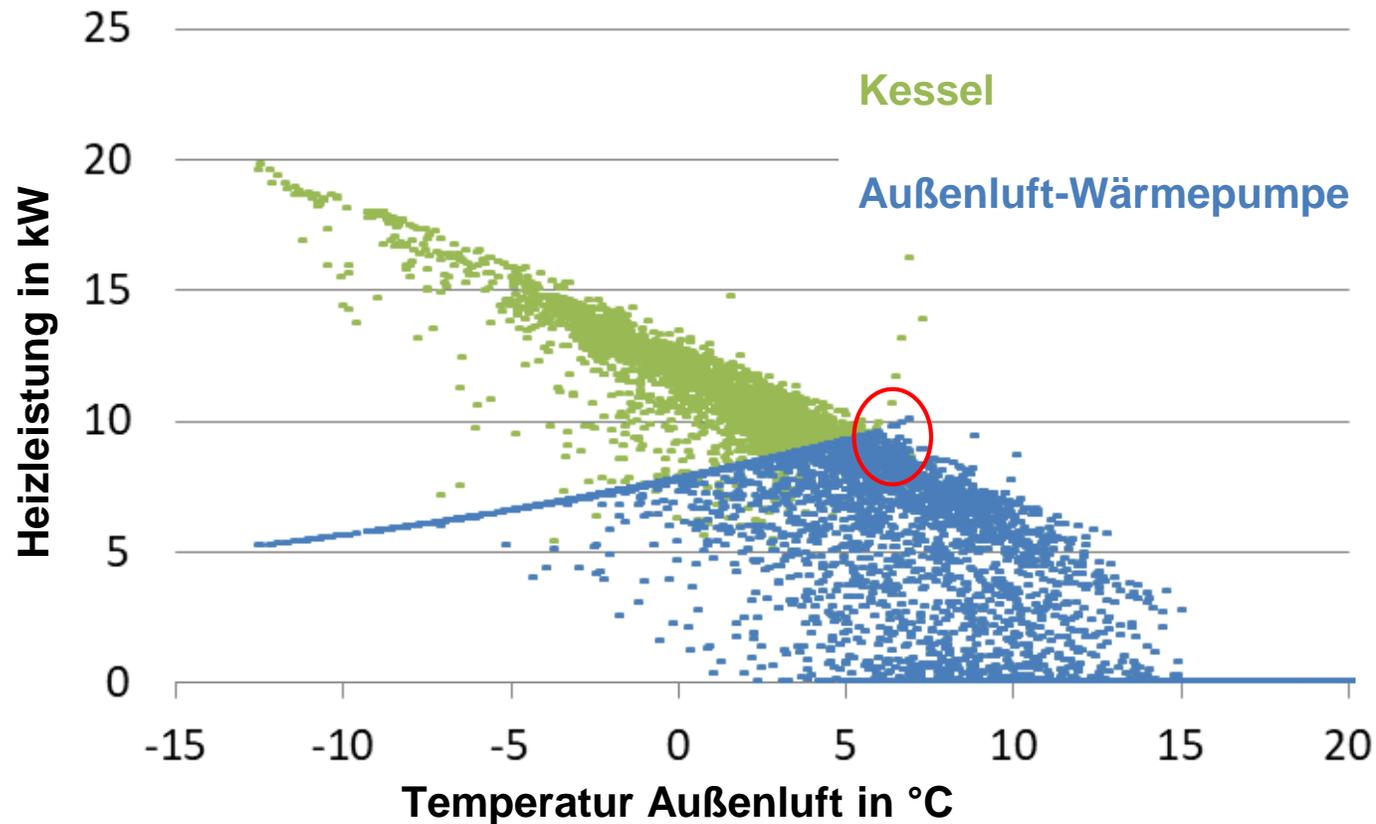
Randbedingungen

- Auslegung WP: 40% $\dot{Q}_{th,-5^{\circ}C}$
- bivalent-paralleler Betrieb & alternativer Betrieb bei TWE

Ergebnisse

- Deckungsgrad WP: 72 %
RH: 77 %
TWE: 55%
- Jahresarbeitszahl WP: 3,6
RH: 3,9
TWE: 2,6

Gebäude-System-Analyse: Bivalentes System mit Gaskessel



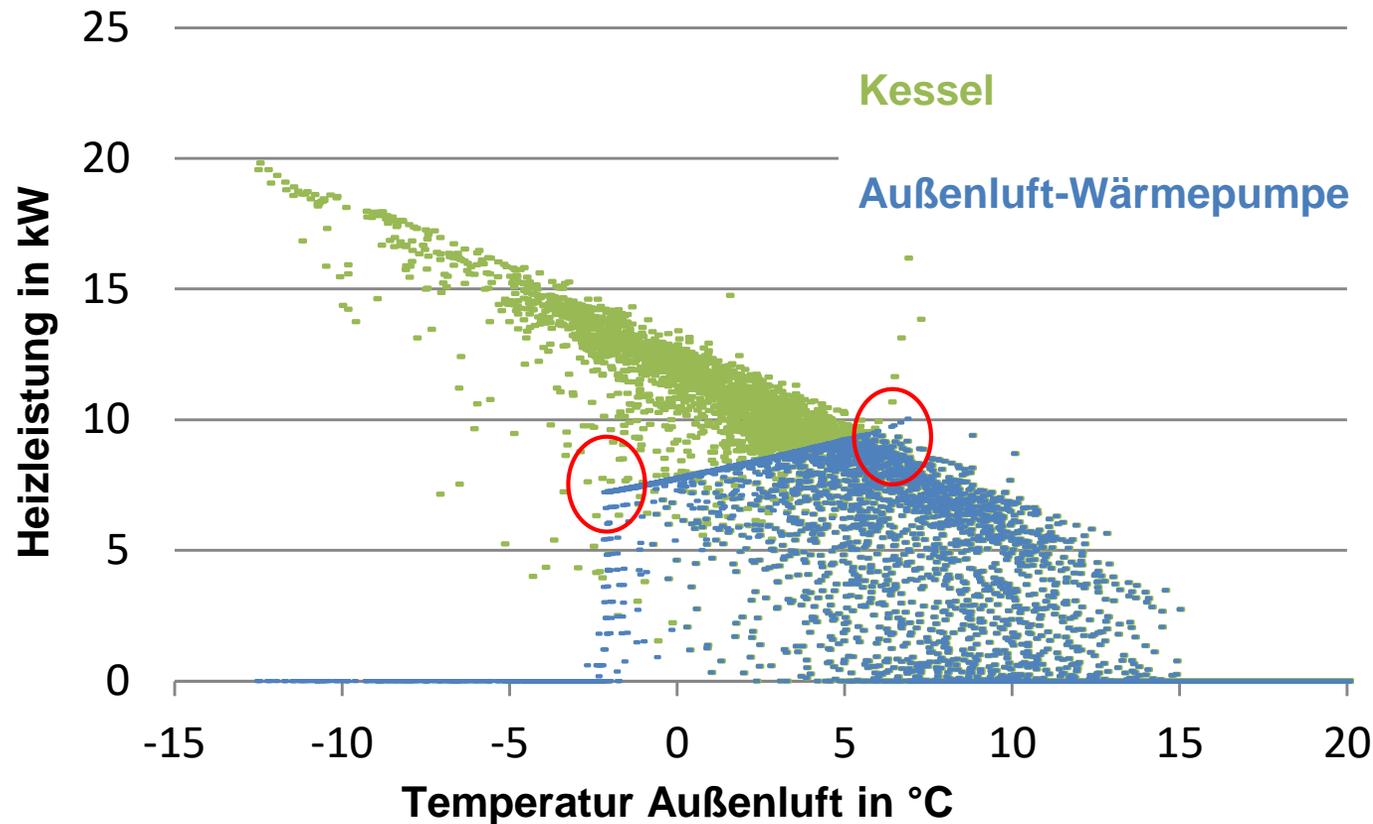
Randbedingungen

- Auslegung WP: 40% $\dot{Q}_{th,-5^\circ C}$
- Kostenoptimierter Betrieb ?

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

* WP-Tarif

Gebäude-System-Analyse: Bivalentes System mit Gaskessel



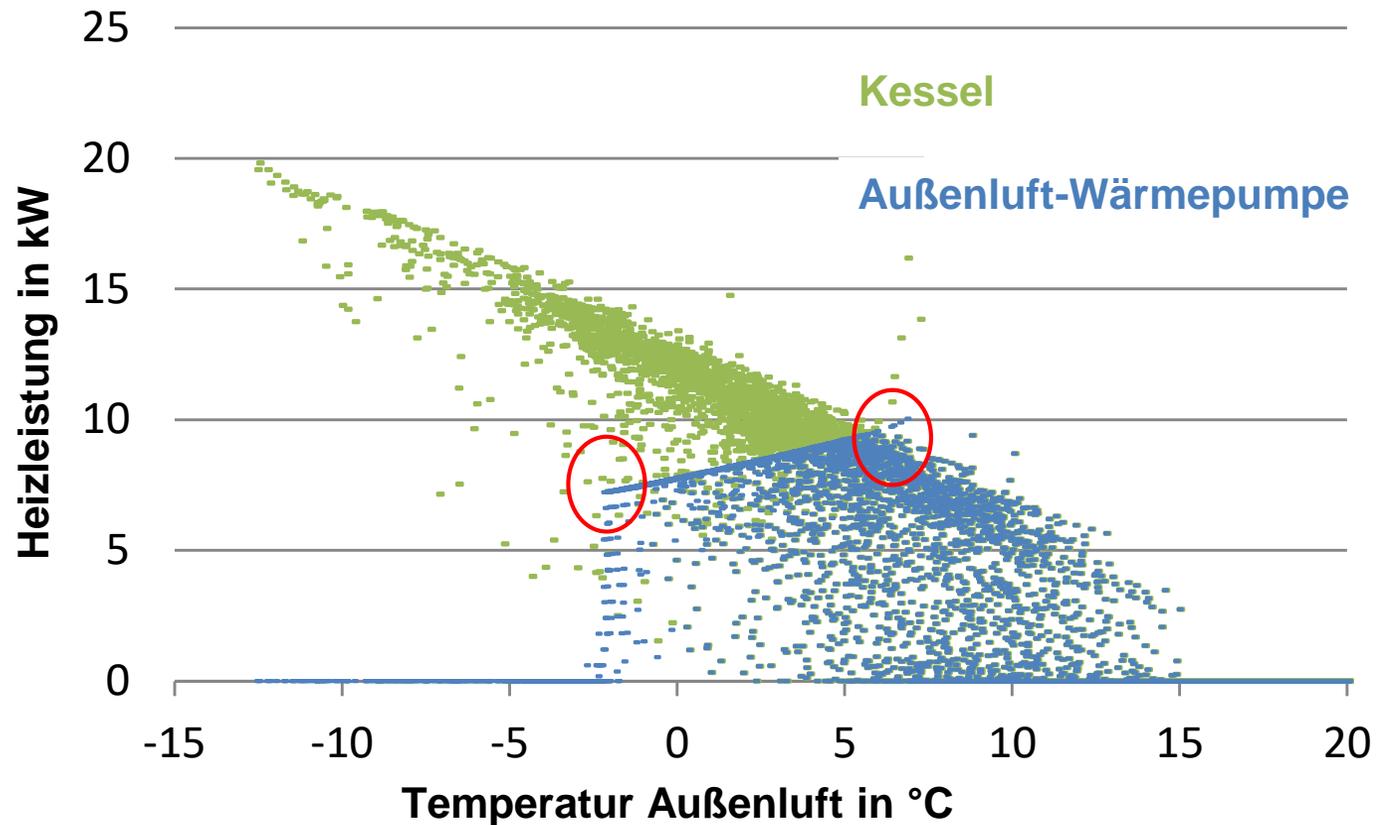
Randbedingungen

- Auslegung WP: 40% $\dot{Q}_{th,-5^\circ C}$
- Kostenoptimierter Betrieb
- Abschaltpunkt RH:
 - 2020: - 2°C
 - 2040: keiner

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

* WP-Tarif

Gebäude-System-Analyse: Bivalentes System mit Gaskessel

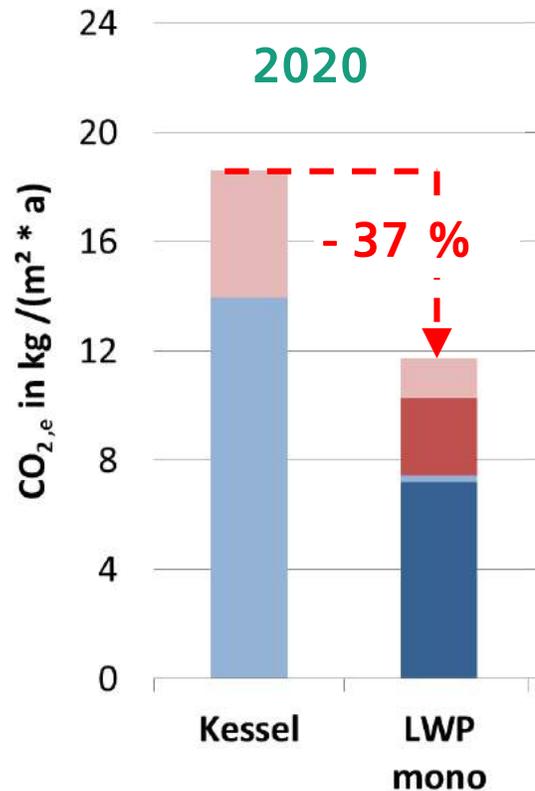


Ergebnisse Jahr 2020 -> 2040

- Deckungsgrad WP: 55% -> 72 %
RH: 68% -> 77 %
TWE: 10% -> 55 %
- Jahresarbeitszahl WP: 4,0 -> 3,6
RH: 4,1 -> 3,9
TWE: 3,2 -> 2,6

Gebäude-System-Analyse: CO_{2,e}-Emissionen

WP: 100% $\dot{Q}_{th,-5^\circ C}$
monoenergetisch



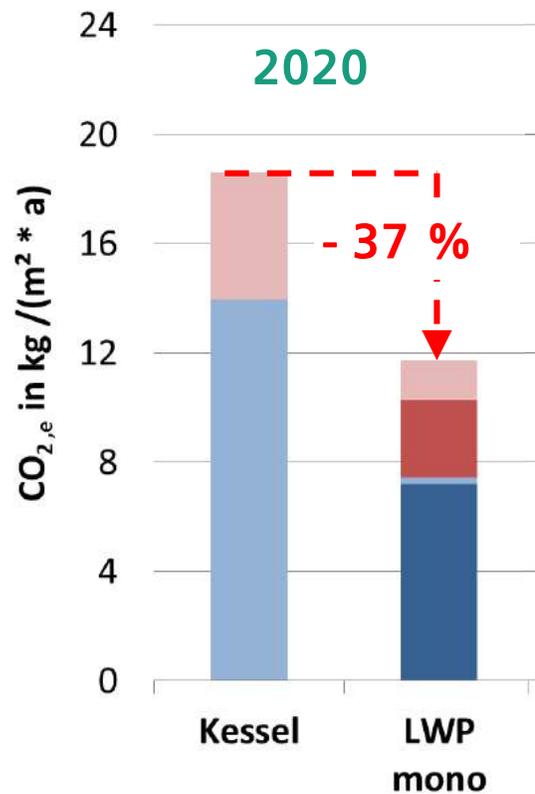
- RH: Gaskessel / Heizstab
- TWE: Gaskessel / Heizstab
- RH: WP
- TWE: WP

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

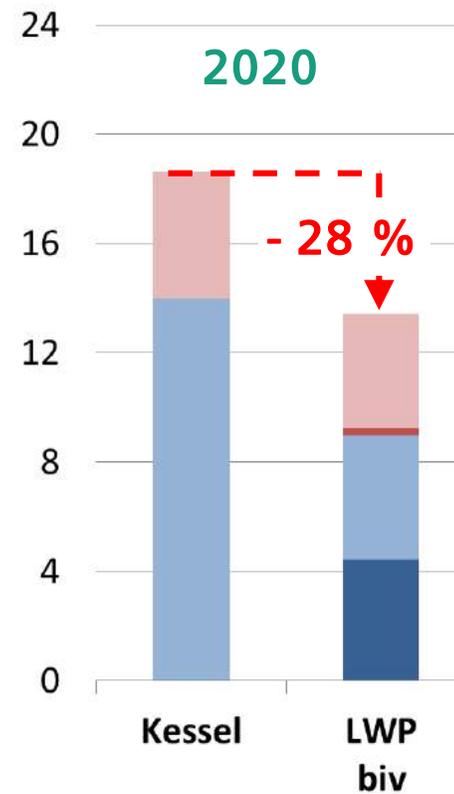
* Mit PtG

Gebäude-System-Analyse: CO_{2,e}-Emissionen

WP: 100% $\dot{Q}_{th,-5^\circ C}$
monoenergetisch



WP: 40% $\dot{Q}_{th,-5^\circ C}$
bivalent-alternativer Betrieb



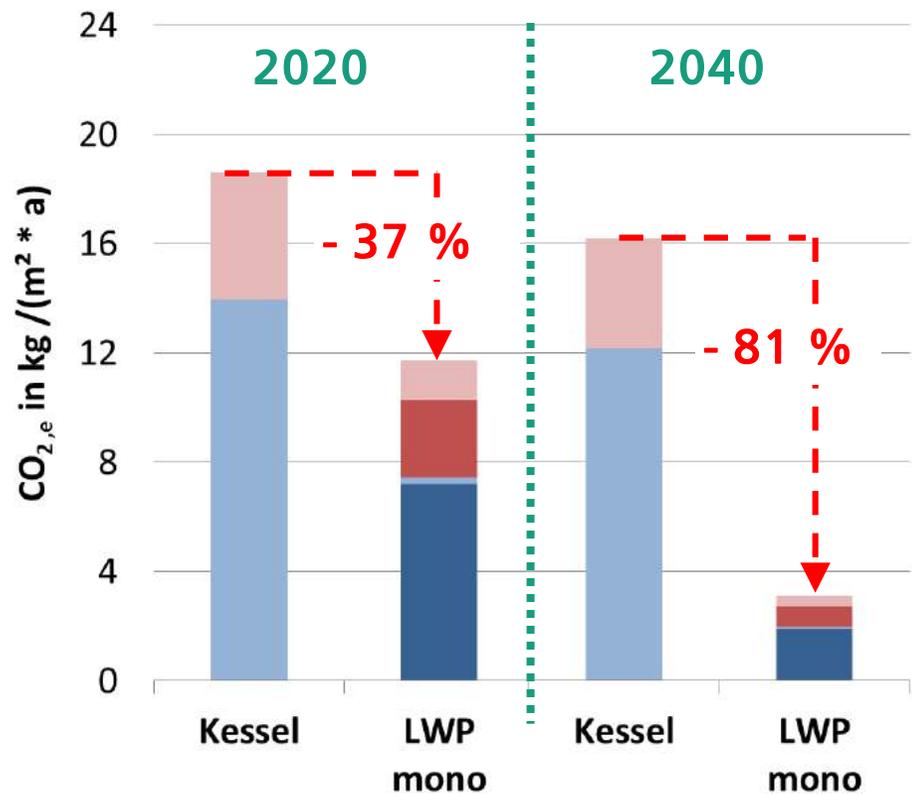
- RH: Gaskessel / Heizstab
- TWE: Gaskessel / Heizstab
- RH: WP
- TWE: WP

Jahr	Verhältnis [-]
2020	1,8
2040	0,6

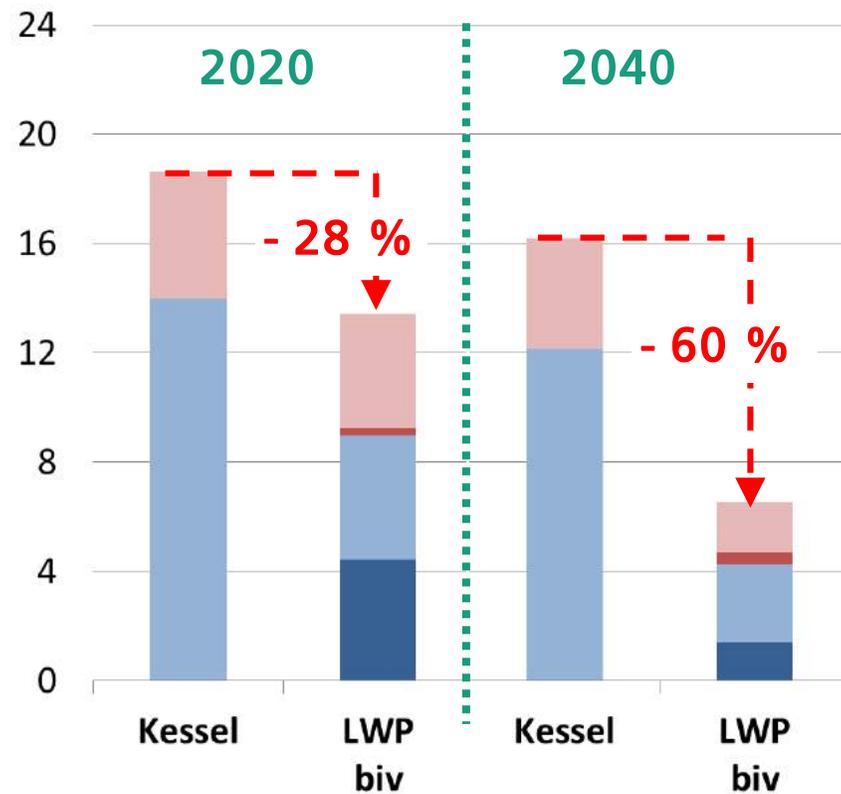
* Mit PtG

Gebäude-System-Analyse: CO_{2,e}-Emissionen

WP: 100% $\dot{Q}_{th,-5^\circ C}$
monoenergetisch



WP: 40% $\dot{Q}_{th,-5^\circ C}$
bivalent-alternativer Betrieb



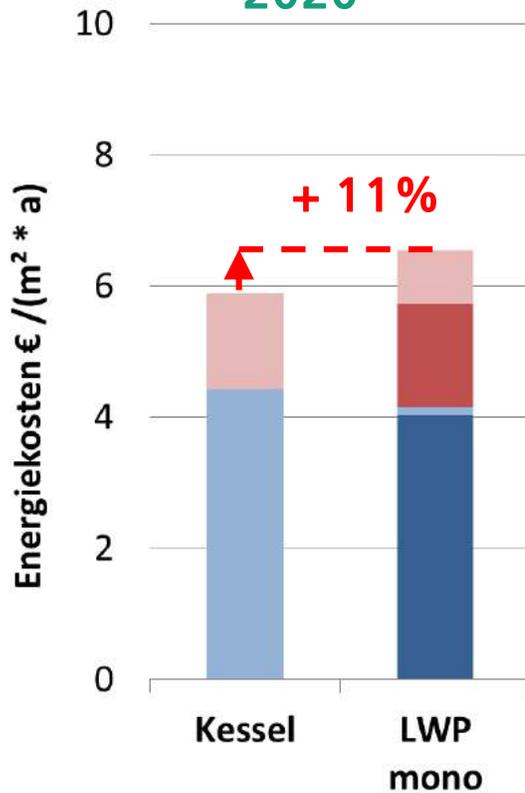
- RH: Gaskessel / Heizstab
- TWE: Gaskessel / Heizstab
- RH: WP
- TWE: WP

Jahr	Verhältnis [-]
2020	1,8
2040	0,6

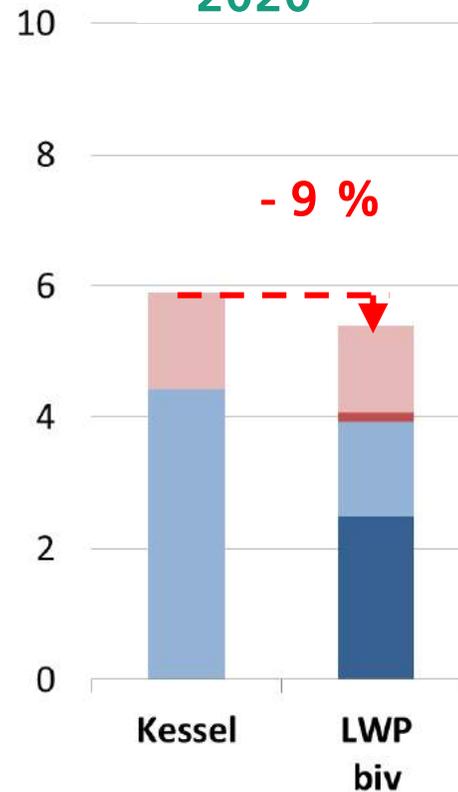
* Mit PtG

Gebäude-System-Analyse: Endenergie-Kosten

WP: 100% $\dot{Q}_{th,-5^{\circ}C}$
monoenergetisch
2020



WP: 40% $\dot{Q}_{th,-5^{\circ}C}$
bivalent-alternativer Betrieb
2020

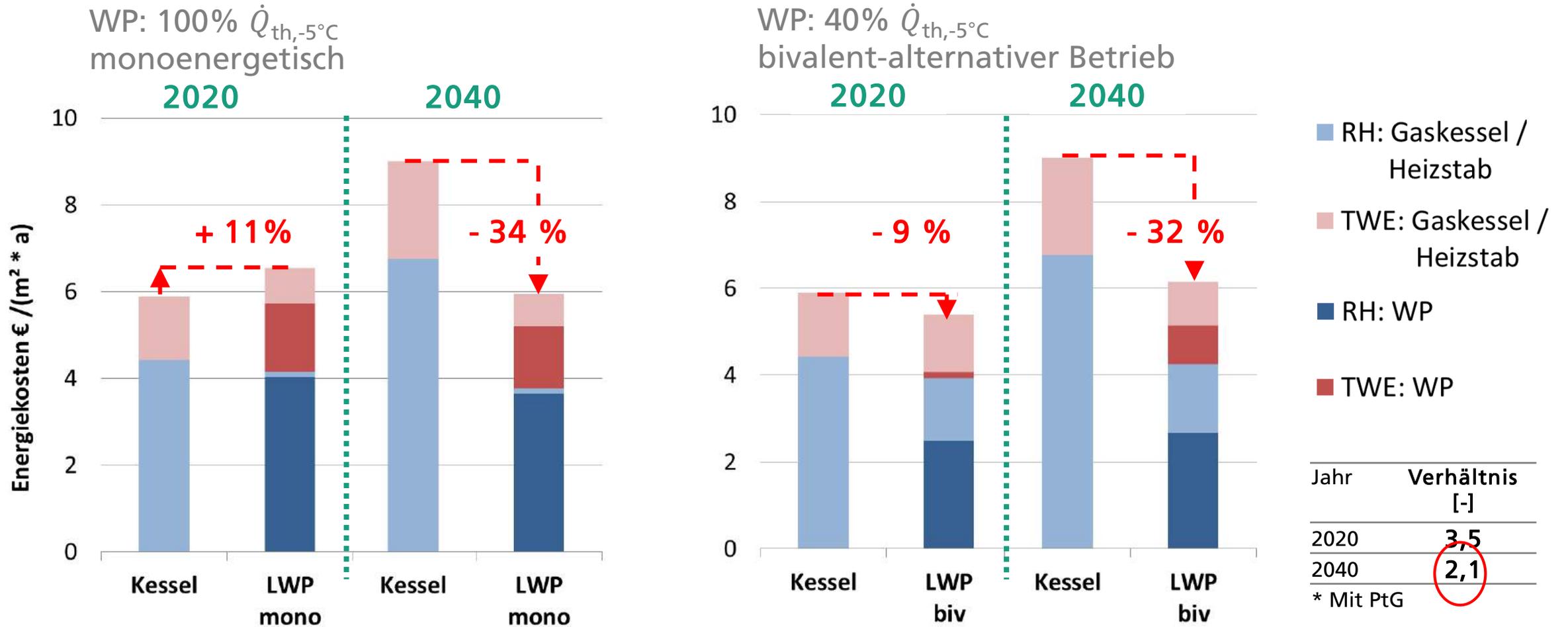


- RH: Gaskessel / Heizstab
- TWE: Gaskessel / Heizstab
- RH: WP
- TWE: WP

Jahr	Verhältnis [1]
2020	3,5
2040	2,1

* Mit PtG

Gebäude-System-Analyse: Endenergie-Kosten



AGENDA

- Bestandsanalyse
- Projektverbund LowEx im Bestand
- Systemlösungen
- **Exemplarische Systemanalyse im Zeitraum 2020 bis 2040**
 - Betriebsweise & energetische Betrachtung
 - **Techno-ökonomischer Vergleich**
- Fazit

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	403	223
2030	193	204
2040	107	194
2050	21	185

*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	22,5	0	6,4
2030	21,6	80	8,5
2040	20,4	130	9,7
2050	19,3	180	10,9

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.

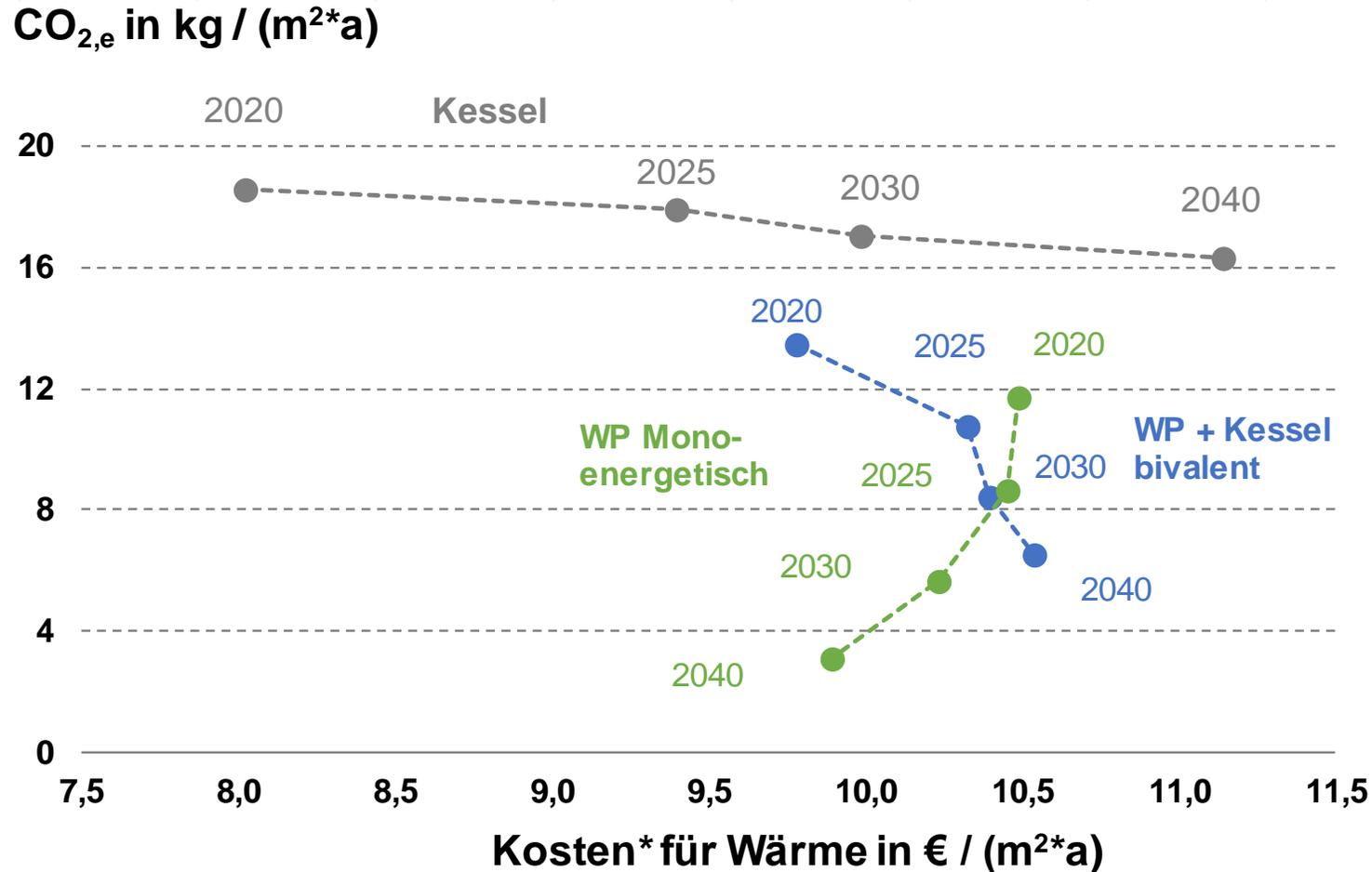
Bundesnetzagentur (2020): Monitoringbericht 2019. Online verfügbar.

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 %)

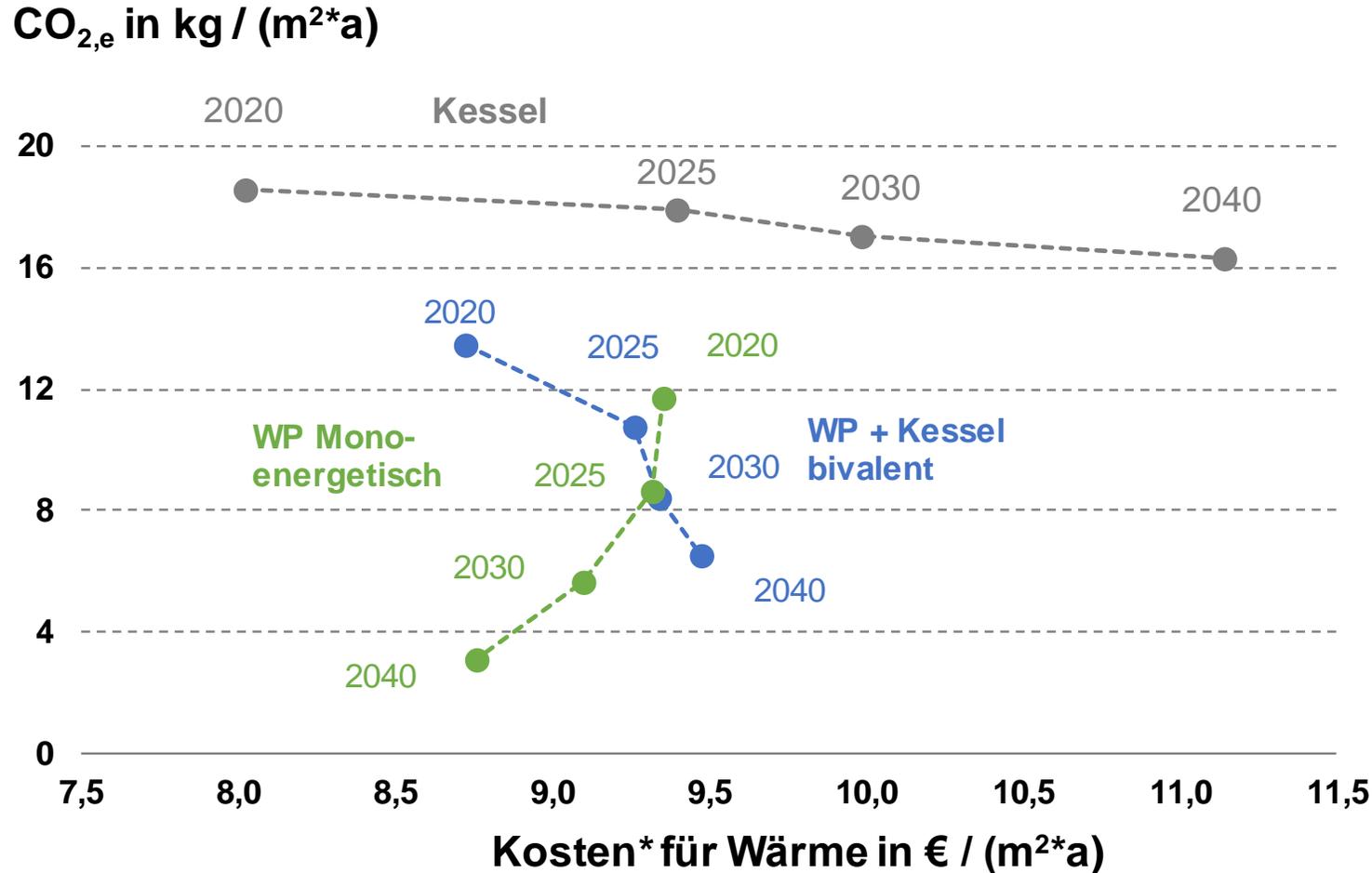
Systemvergleich für LowEx-Bestand
Referenzgebäude saniert nach EnEV 2016.

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

- Basis der Systembetrachtung:
Literaturwerte für die prognostizierte Entwicklung von $\text{CO}_{2,\text{eq}}$ -Emissionen und Energie-Bezugskosten (Strom und Gas)
- WP-Systeme im sanierten Bestand bieten schon heute hohe $\text{CO}_{2,\text{eq}}$ -Einsparungen, haben jedoch im monoenergetischen Fall derzeit noch keinen Energie-Bezugskosten-Vorteil gegenüber dem Gaskessel-Referenzsystem
- Perspektivisch: Weitere Erhöhung der $\text{CO}_{2,\text{eq}}$ -Einsparungen sowie Energie-Bezugskosten-Vorteil zu erwarten, v.a. bei hohem Deckungsanteil der WP
- Aktueller BAFA-Investitionszuschuss führt über die Lebensdauer zu vergleichbaren Wärmegestehungskosten der WP-Systeme gegenüber dem Gaskessel-Referenzsystem



www.lowex-bestand.de



<https://heatpumpingtechnologies.org/annex50>

Constanze Bongs, Jeannette Wapler, Marek Miara (Fraunhofer Institut ISE)
Stefan Hess (Uni Freiburg, INATECH)

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

FKZ: 03SBE0001

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages