

---

# EFFIZIENZANALYSE VON WÄRMEPUMPEN IM EFH-BESTAND AUF BASIS VON FELDTTESTDATEN

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“

---



Danny Günther, Jeannette Wapler, Robert Langner, Sebastian Helmling, Marek Miara  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme  
ISE, Freiburg

Faktencheck Geothermie - 3. Forum  
Online, 11.11.2020  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

# WP<sup>smart</sup> im Bestand

## Schwerpunkte

## Fokus des Vortrages

- Effizienz von Elektrowärmepumpen im EFH-Bestandsbereich (Feldmessung und Analyse des Zustandes von Gebäude, WÜS usw.)
- Lastmanagement mit Wärmepumpen (Feldmessung und Systemsimulation)

**LEW**  
Lechwerke

**E-Werk**  
Mittelbaden  
*Dahem gut versorgt*

**STADTWERKE**  
STUTT GART

Gefördert durch:

 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**PTJ**  
Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich  
FKZ: 03ET1272A

 **BOSCH**

**STIEBEL ELTRON**  
Technik zum Wohlfühlen

**HELIO THERM**  
WÄRMEPUMPEN

**VIESSMANN**  
climate of innovation

**-weishaupt-**

**Dimplex**  
INNOVATIVES HEIZEN UND KÜHLEN

 **alpha innotec**

 **Vaillant**

# Weiterführende Informationen

- Projekt-Webseite

<https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-smart-im-bestand/german/index/index.html>

- Endbericht (inkl. detaillierter Steckbriefe aller Messobjekte)

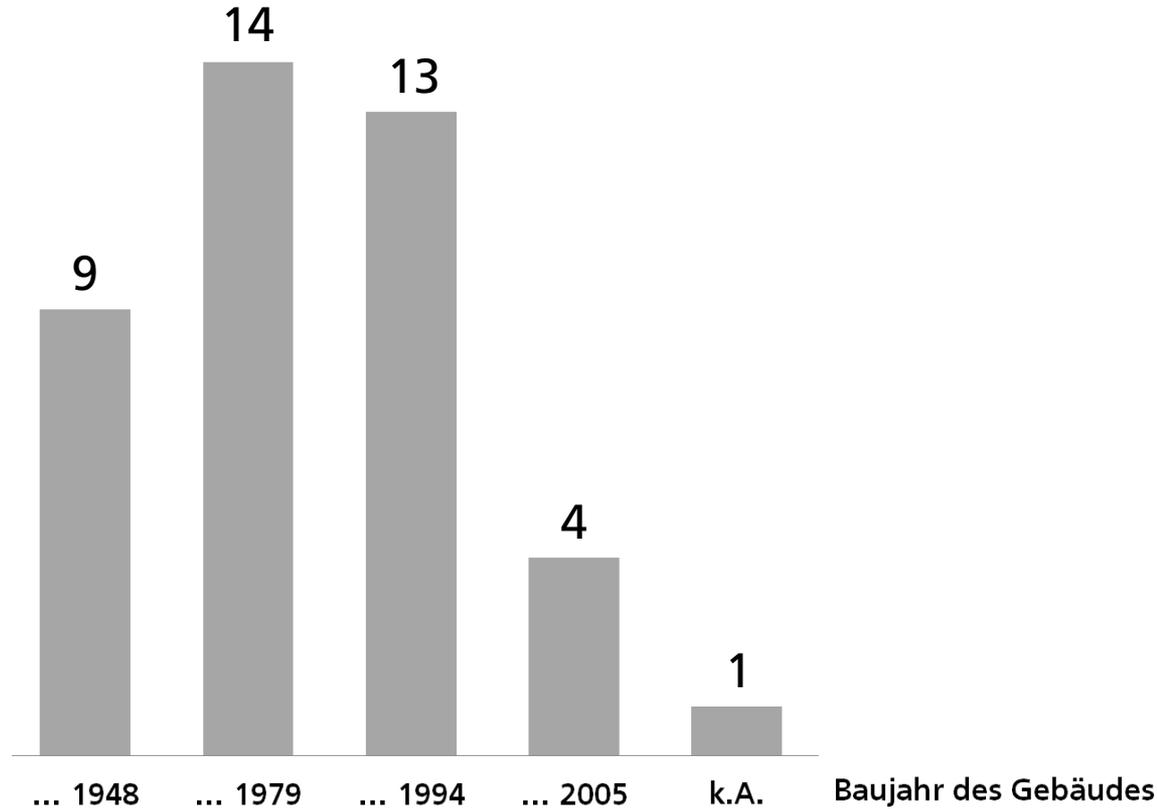
[https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-smart-im-bestand/download/Berichte/BMWi-03ET1272A-WPsmart\\_im\\_Bestand-Schlussbericht.pdf](https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-smart-im-bestand/download/Berichte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf)

# Charakterisierung der Datenbasis

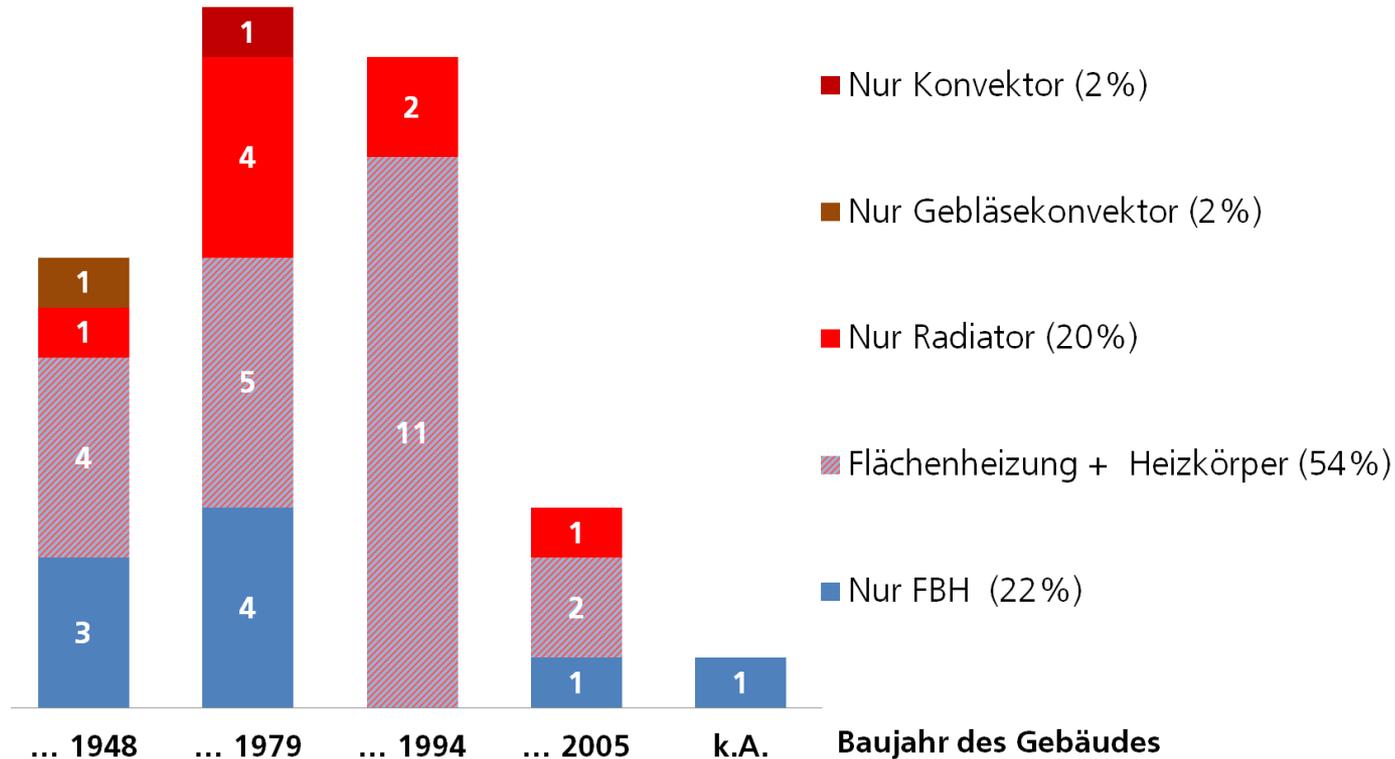
# Datenbasis Vergleichbare Anlagengruppen

- Projekt umfasst 56 Messobjekte
- 41 Messobjekte vergleichend auswertbar
  - Gemeinsamer Messzeitraum Juli 2018 bis Juni 2019
  - Gemeinsame Bilanzgrenze 3 zur Effizienzermittlung möglich
  - 29 Außenluft-Wärmepumpen
  - 12 Erdreich-Wärmepumpen (alle mit Erdwärmesonden)

# Datenbasis Gebäude und Wärmübergabesystem



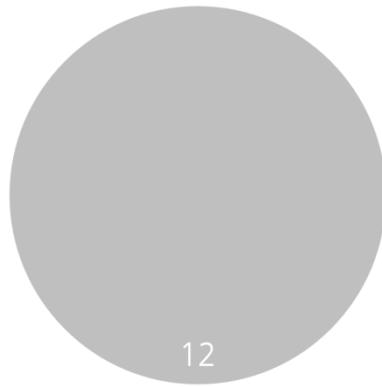
# Datenbasis Gebäude und Wärmübergabesystem



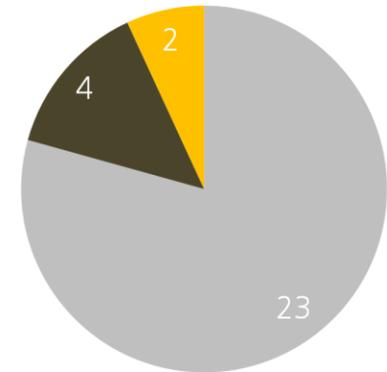
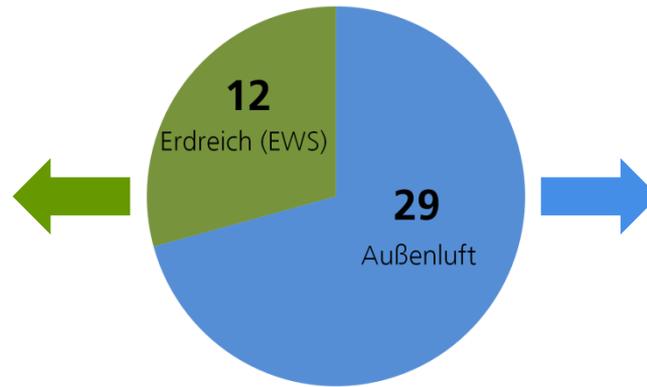
# Datenbasis Gebäude und Wärmübergabesystem

- Mittlere beheizte Wohnfläche der Gebäude\*: 199m<sup>2</sup> [91...423m<sup>2</sup>]
- Mittlerer gemessener spez. Heizwärmeverbrauch\*\*: 110 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) [48...233 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)]
- Gebäude, errichtet bis 1979
  - Alle Gebäude mindestens teilsaniert
  - Mittlere U-Werte reichen vom Niveau der WSchV'77 bis knapp oberhalb des Grenzwertes der WSchV'95
- Gebäude, errichtet nach 1979
  - Unsaniert oder geringfügig saniert
  - U-Werte liegen überwiegend auf dem Niveau des Grenzwertes der WSchV'95

# Datenbasis Wärmepumpen – zusätzliche Kessel

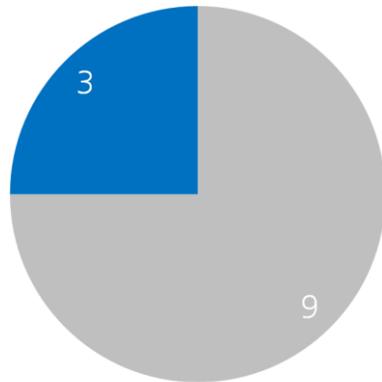


- ohne
- Ölkessel (TWE & RH)
- Gaskessel (TWE & RH)

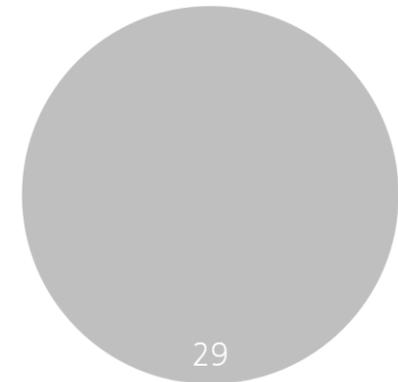
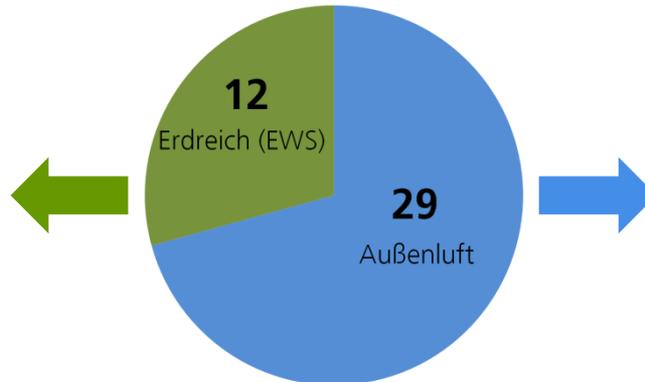


- ohne
- Ölkessel (TWE & RH)
- Gaskessel (TWE & RH)

# Datenbasis Wärmepumpen – Einbindung Solarthermie

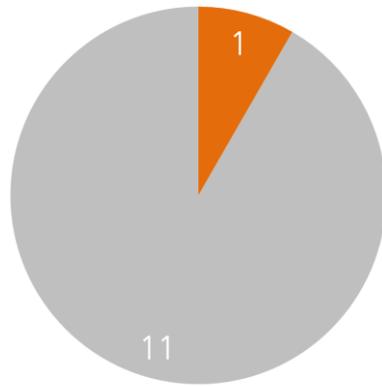


- ohne
- zur TWE
- zur TWE und RH

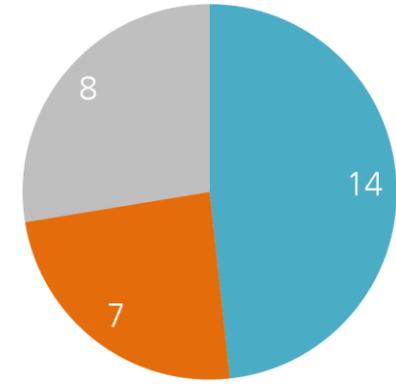
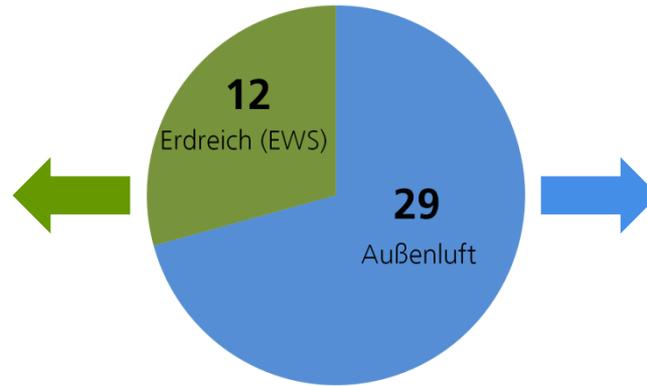


- ohne
- zur TWE
- zur TWE und RH

# Datenbasis Wärmepumpen – Leistungsregelung

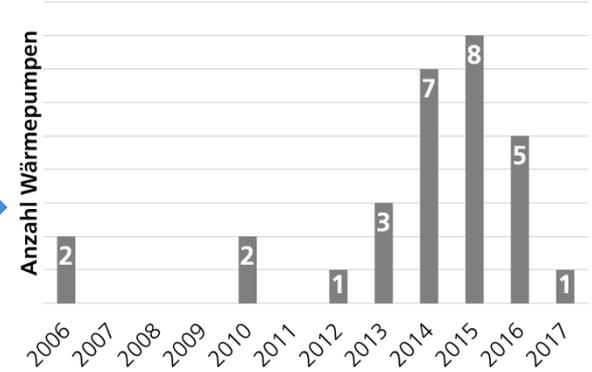
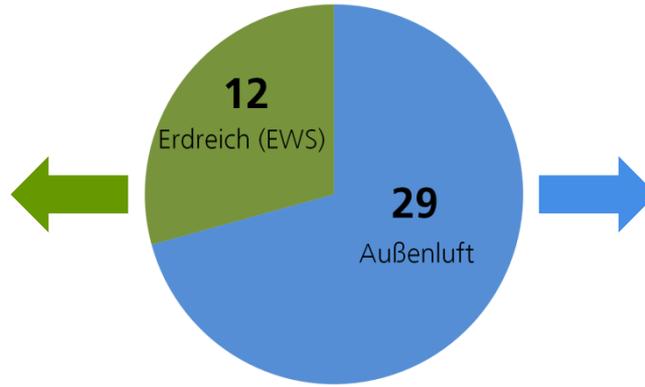
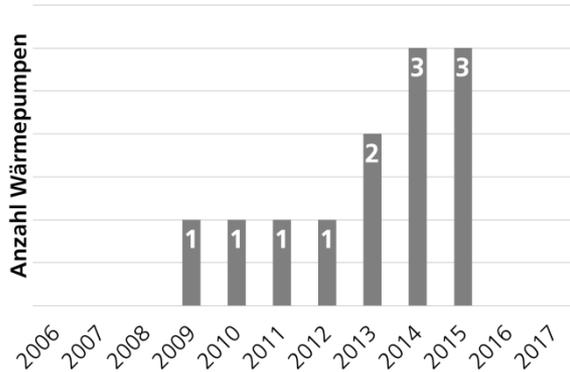


- Inverter geregelt
- Verdichter-Stufen
- unregelt

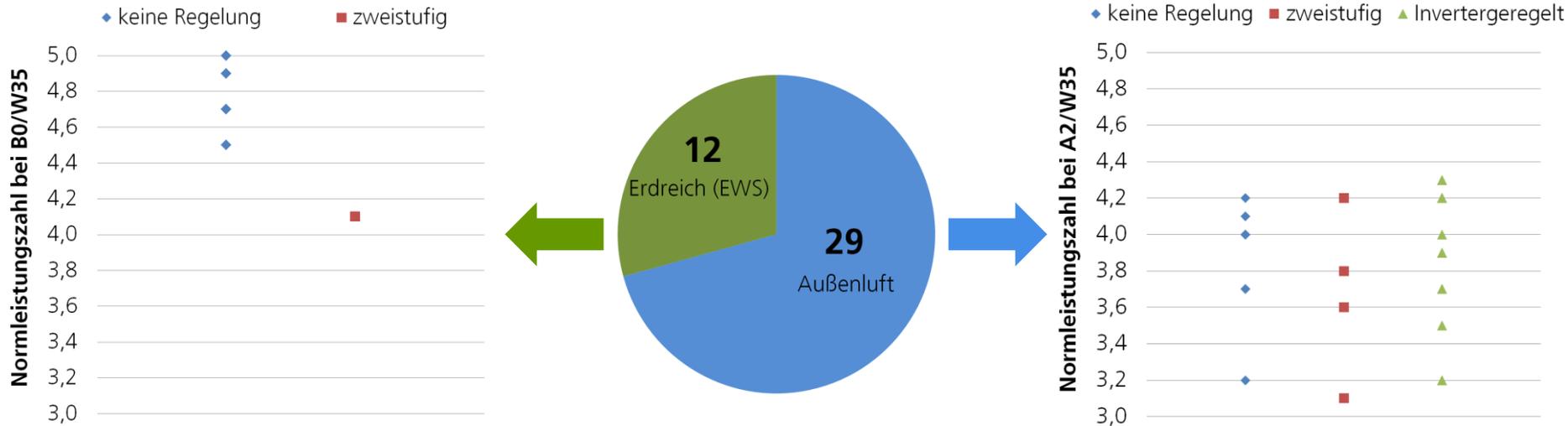


- Inverter geregelt
- Verdichter-Stufen
- unregelt

# Datenbasis Wärmepumpen – Baujahre



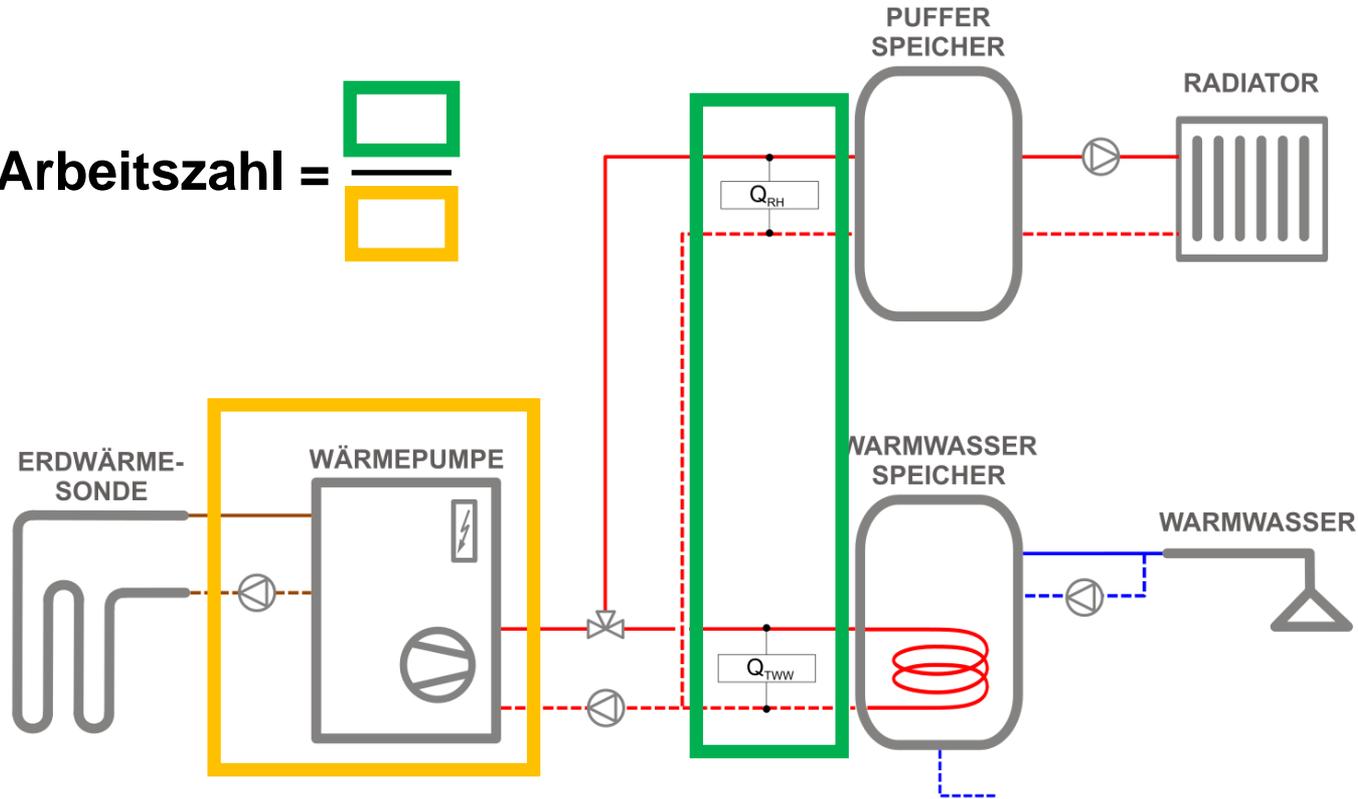
# Datenbasis Wärmepumpen – Norm-Leistungszahlen



# Ergebnisse

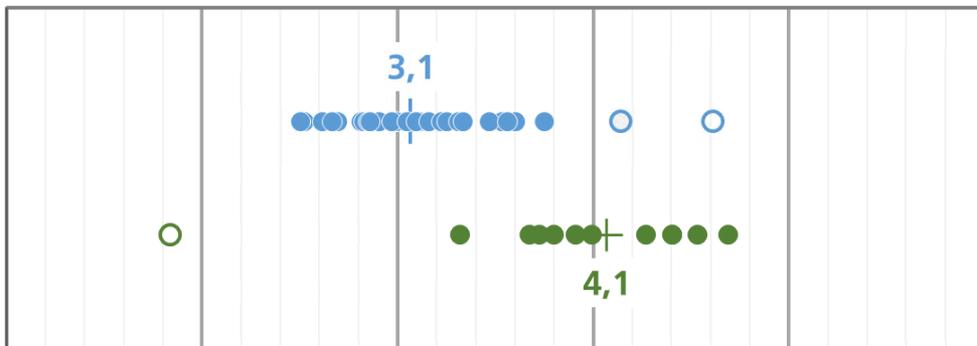
# Systemgrenze 3 für die Berechnung der Arbeitszahlen

$$\text{Arbeitszahl} = \frac{\boxed{\phantom{Q_{RH}}}}{\boxed{\phantom{Q_{TWW}}}}$$



# Jahresarbeitszahl 3

1,0      2,0      3,0      4,0      5,0      6,0



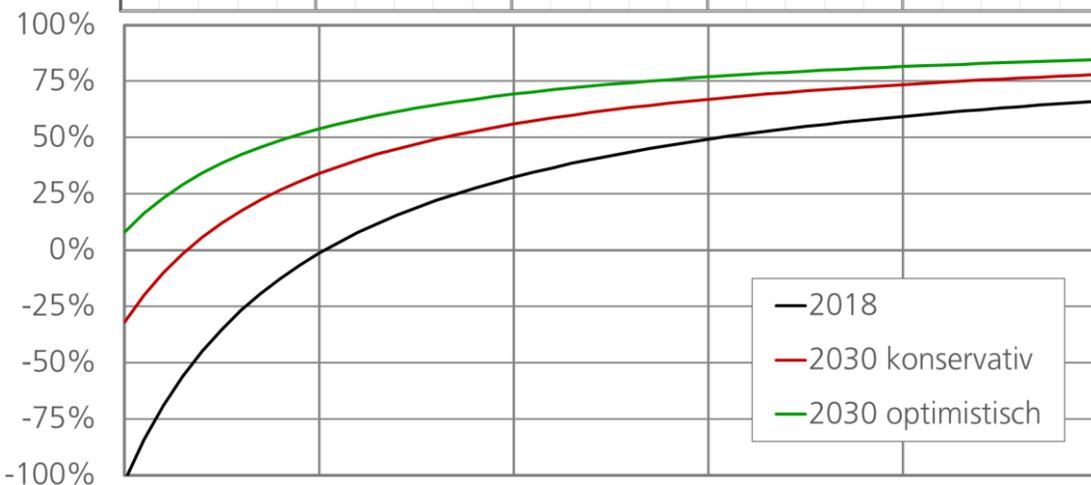
● 29 Außenluft-  
Wärmepumpen

Ausreißer: ○

● 12 Erdreich-  
Wärmepumpen

Mittelwert  
exklusive

Ausreißer: +

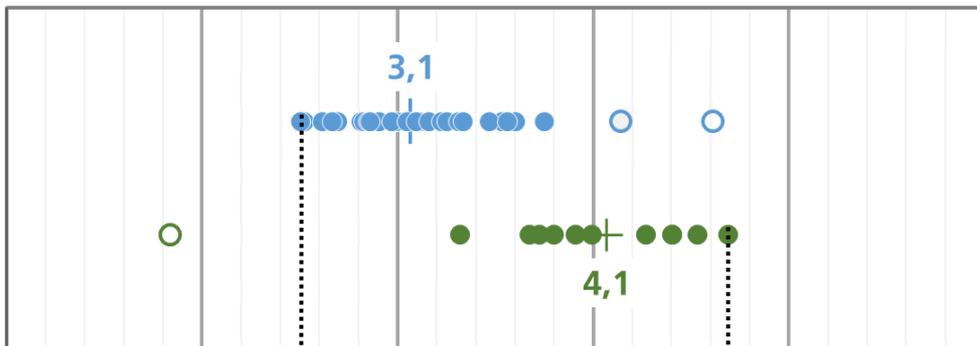


## CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionsminderungen ggü. Gaskessel bei folgenden Annahmen:

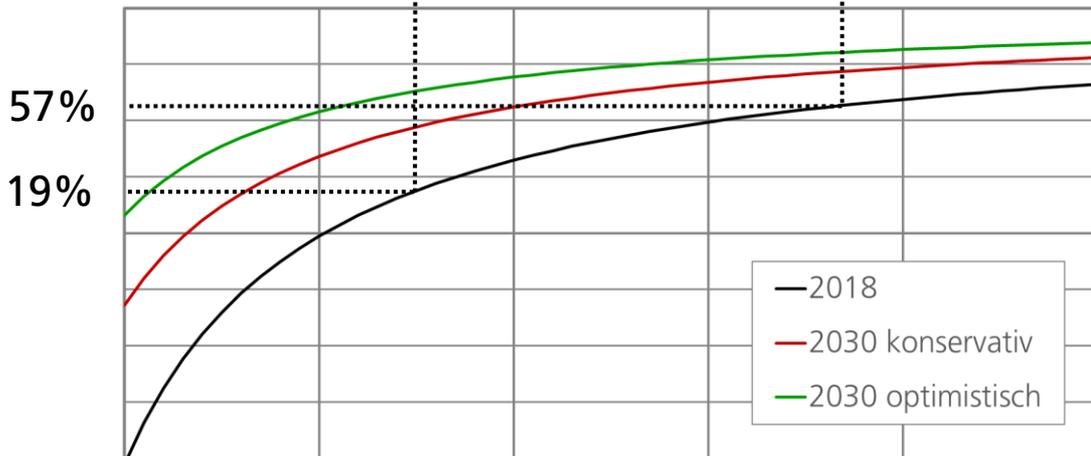
- 86,6 % Jahresnutzungsgrad nach [Wolff 2004]
- Emissionsfaktoren in gCO<sub>2</sub>-Äq/kWh<sub>EE</sub> nach [GEMIS 2019]
  - Strom 2018: 505
  - Strom 2030 konservativ: 319
  - Strom 2030 optimistisch: 195
  - Erdgas 2018: 240
  - Erdgas 2030 konservativ: 233
  - Erdgas 2030 optimistisch: 204

# Jahresarbeitszahl 3

1,0      2,0      3,0      4,0      5,0      6,0



● 29 Außenluft-Wärmepumpen	Ausreißer: ○
● 12 Erdreich-Wärmepumpen	Mittelwert exklusive Ausreißer: +

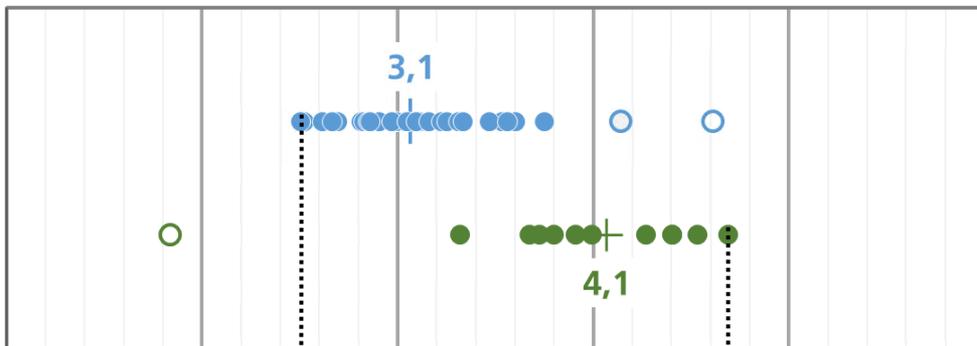


**CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionsminderungen ggü. Gaskessel bei folgenden Annahmen:**

- 86,6 % Jahresnutzungsgrad nach [Wolff 2004]
- Emissionsfaktoren in gCO<sub>2</sub>-Äq/kWh<sub>EE</sub> nach [GEMIS 2019]
  - Strom 2018: 505
  - Strom 2030 konservativ: 319
  - Strom 2030 optimistisch: 195
  - Erdgas 2018: 240
  - Erdgas 2030 konservativ: 233
  - Erdgas 2030 optimistisch: 204

# Jahresarbeitszahl 3

1,0      2,0      3,0      4,0      5,0      6,0



● 29 Außenluft-Wärmepumpen

Ausreißer: ○

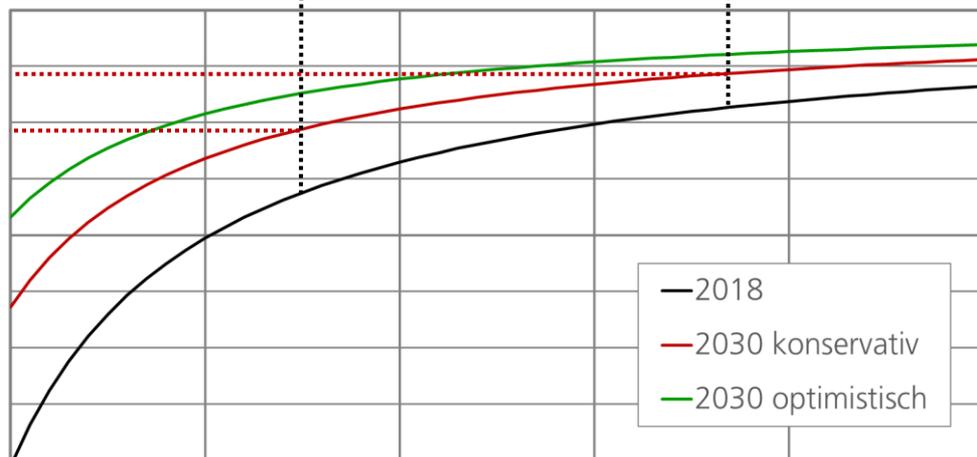
● 12 Erdreich-Wärmepumpen

Mittelwert

exklusive

Ausreißer: +

76%  
47%

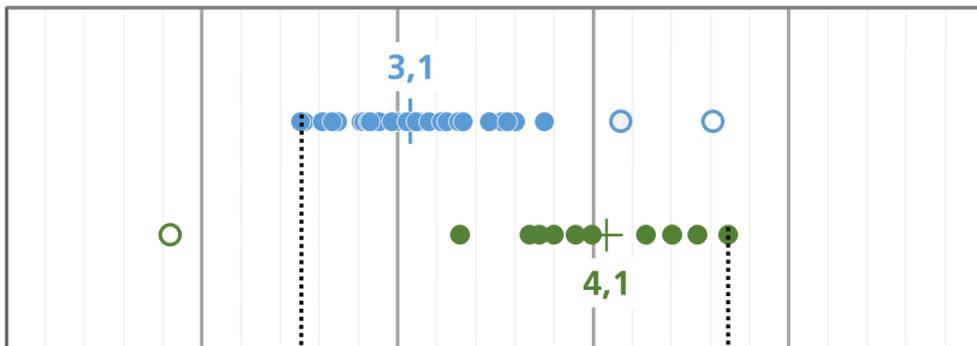


## CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionsminderungen ggü. Gaskessel bei folgenden Annahmen:

- 86,6 % Jahresnutzungsgrad nach [Wolff 2004]
- Emissionsfaktoren in gCO<sub>2</sub>-Äq/kWh<sub>EE</sub> nach [GEMIS 2019]
  - Strom 2018: 505
  - Strom 2030 konservativ: 319
  - Strom 2030 optimistisch: 195
  - Erdgas 2018: 240
  - Erdgas 2030 konservativ: 233
  - Erdgas 2030 optimistisch: 204

# Jahresarbeitszahl 3

1,0      2,0      3,0      4,0      5,0      6,0



● 29 Außenluft-Wärmepumpen

Ausreißer: ○

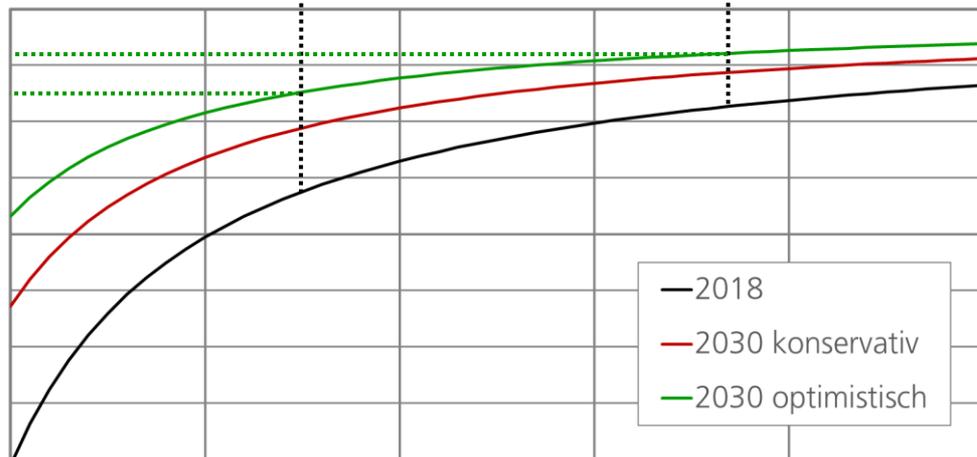
● 12 Erdreich-Wärmepumpen

Mittelwert

exklusive

Ausreißer: +

80%  
60%



— 2018  
— 2030 konservativ  
— 2030 optimistisch

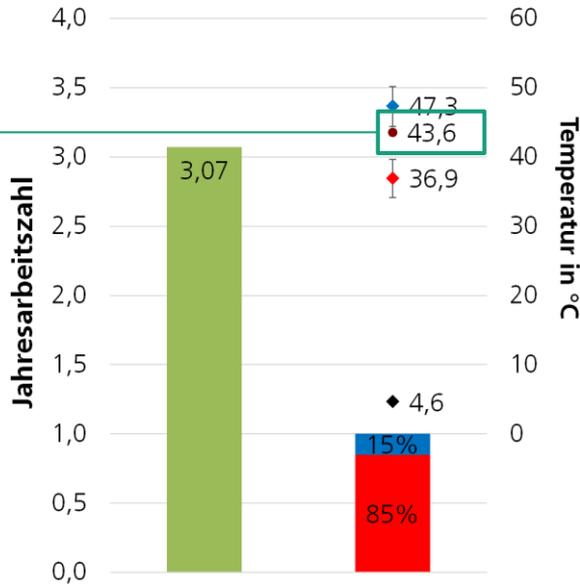
## CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionsminderungen ggü. Gaskessel bei folgenden Annahmen:

- 86,6 % Jahresnutzungsgrad nach [Wolff 2004]
- Emissionsfaktoren in gCO<sub>2</sub>-Äq/kWh<sub>EE</sub> nach [GEMIS 2019]
  - Strom 2018: 505
  - Strom 2030 konservativ: 319
  - Strom 2030 optimistisch: 195
  - Erdgas 2018: 240
  - Erdgas 2030 konservativ: 233
  - Erdgas 2030 optimistisch: 204

# Ergebnisse Mittlere Betriebsbedingungen

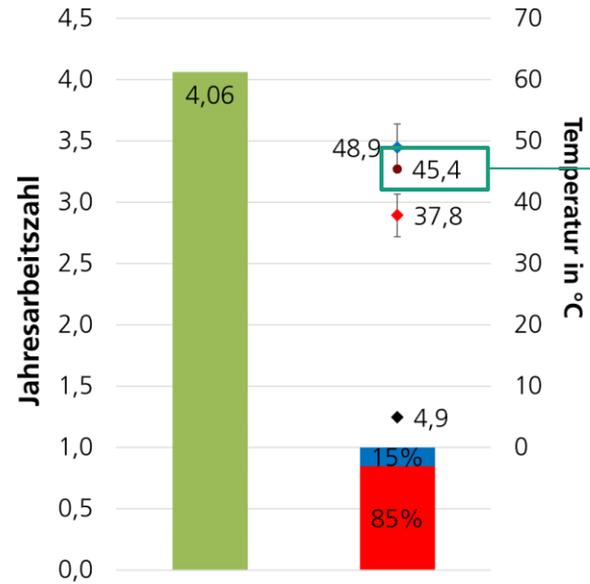
- Jahresarbeitszahl 3
- Energieanteil RH
- Energieanteil TWE
- ◆ T\_Wärmequelle
- ◆ T\_RH\_Mittel
- ◆ T\_TWE\_Mittel
- T\_RH\_Vorlauf\_max

34,6...52,4°C  
bei mittlerer  
Außenluft-  
temperatur  
von -3,0°C



27 Außenluft-Wärmepumpen

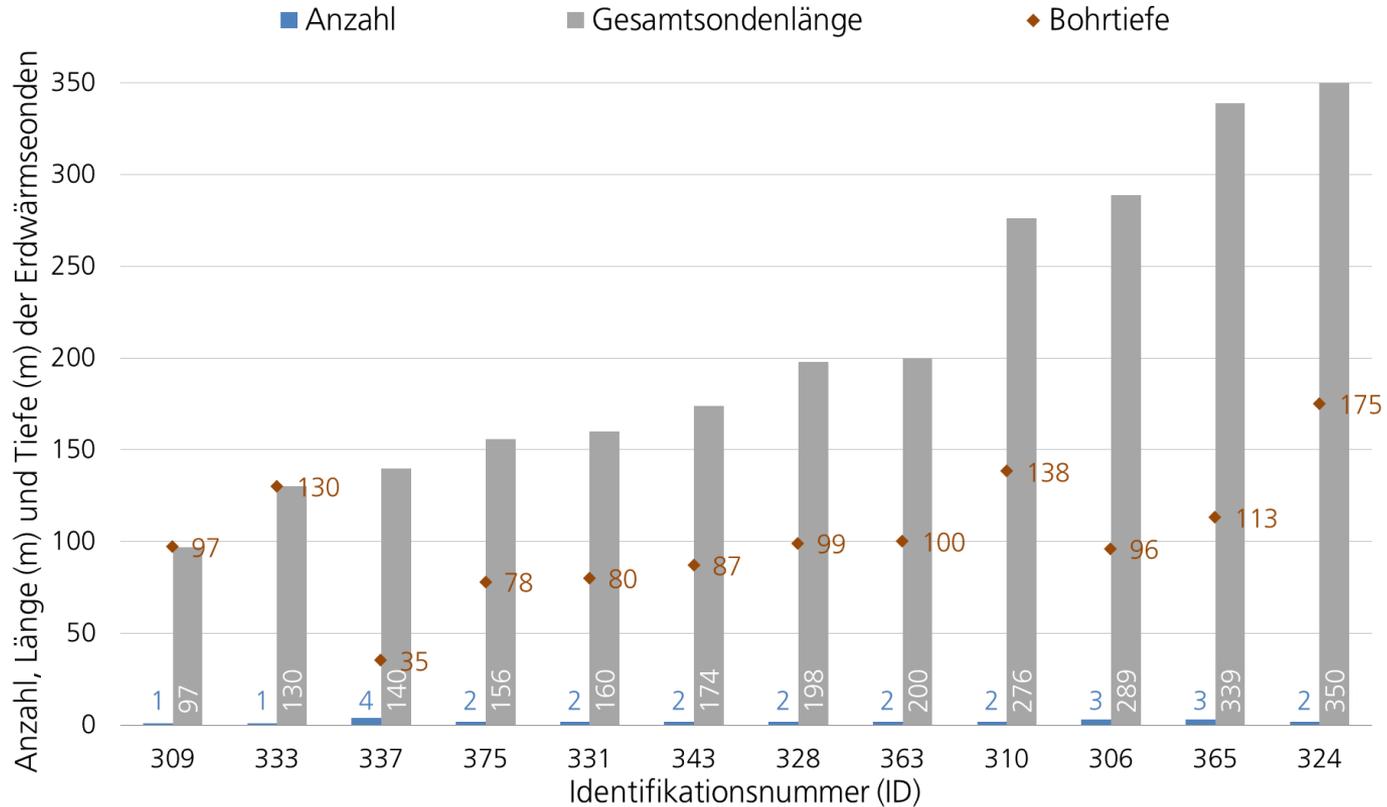
37,3...52,0°C  
bei mittlerer  
Außenluft-  
temperatur  
von -4,6°C



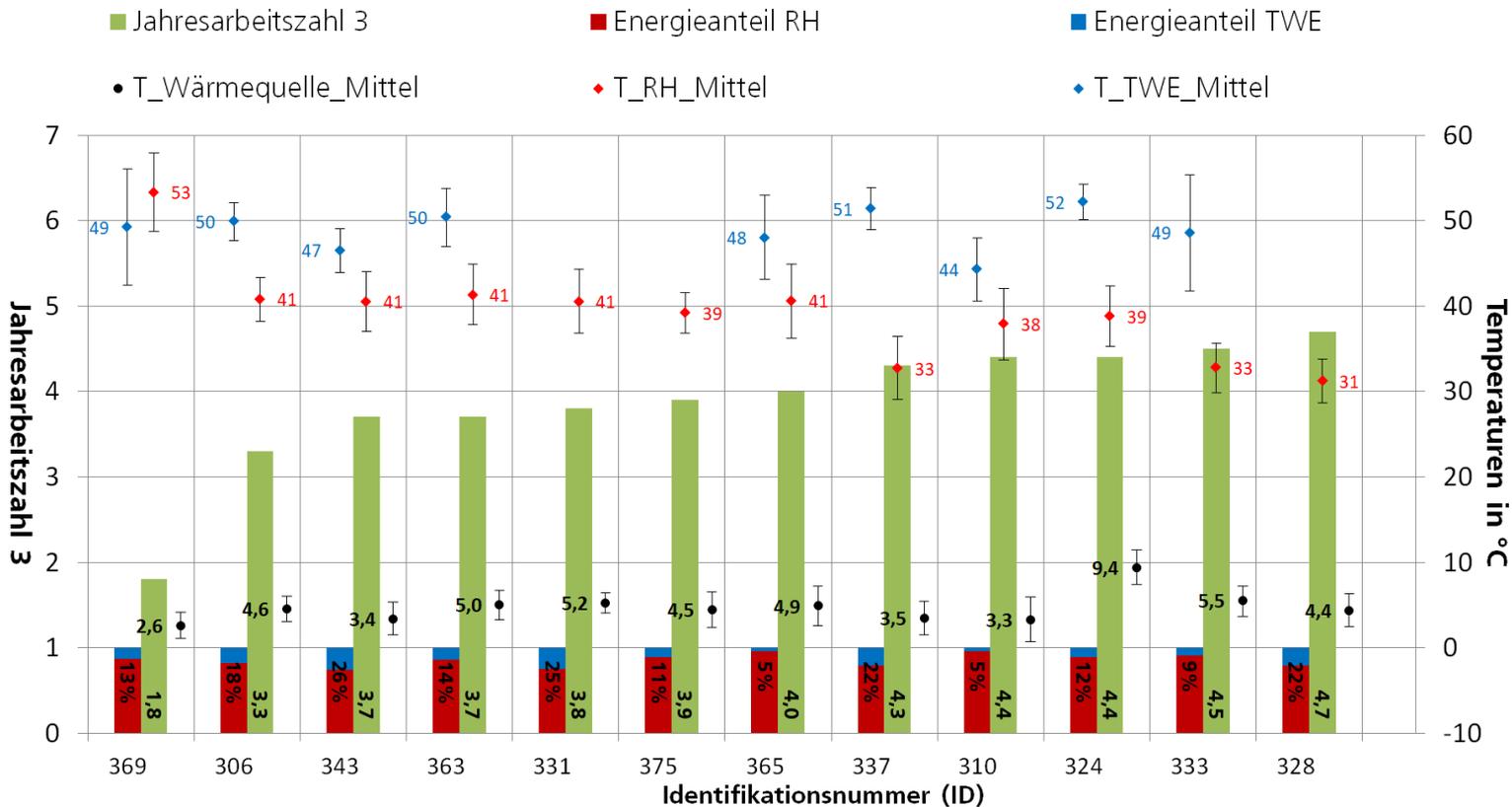
11 Erdreich-Wärmepumpen

# Ergebnisse mit Fokus Erdreich-Wärmepumpen

# Ergebnisse Charakterisierung Erdwärmesonden

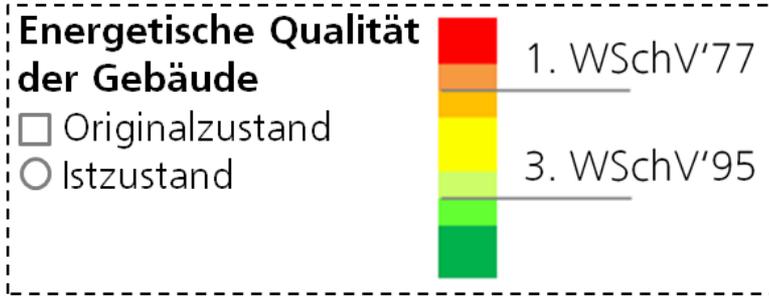


# Ergebnisse JAZ, Temperaturen, Energieverteilung



# Ergebnisse mit Fokus Außenluft-Wärmepumpen

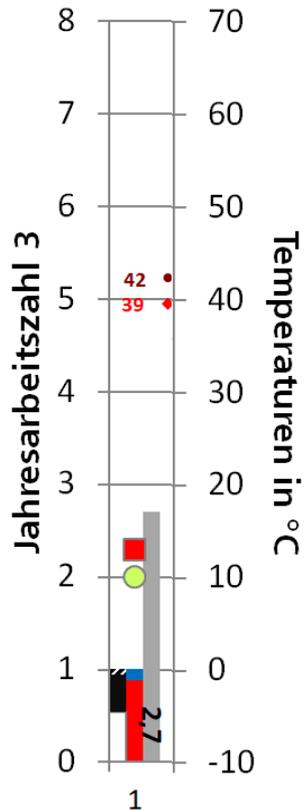
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



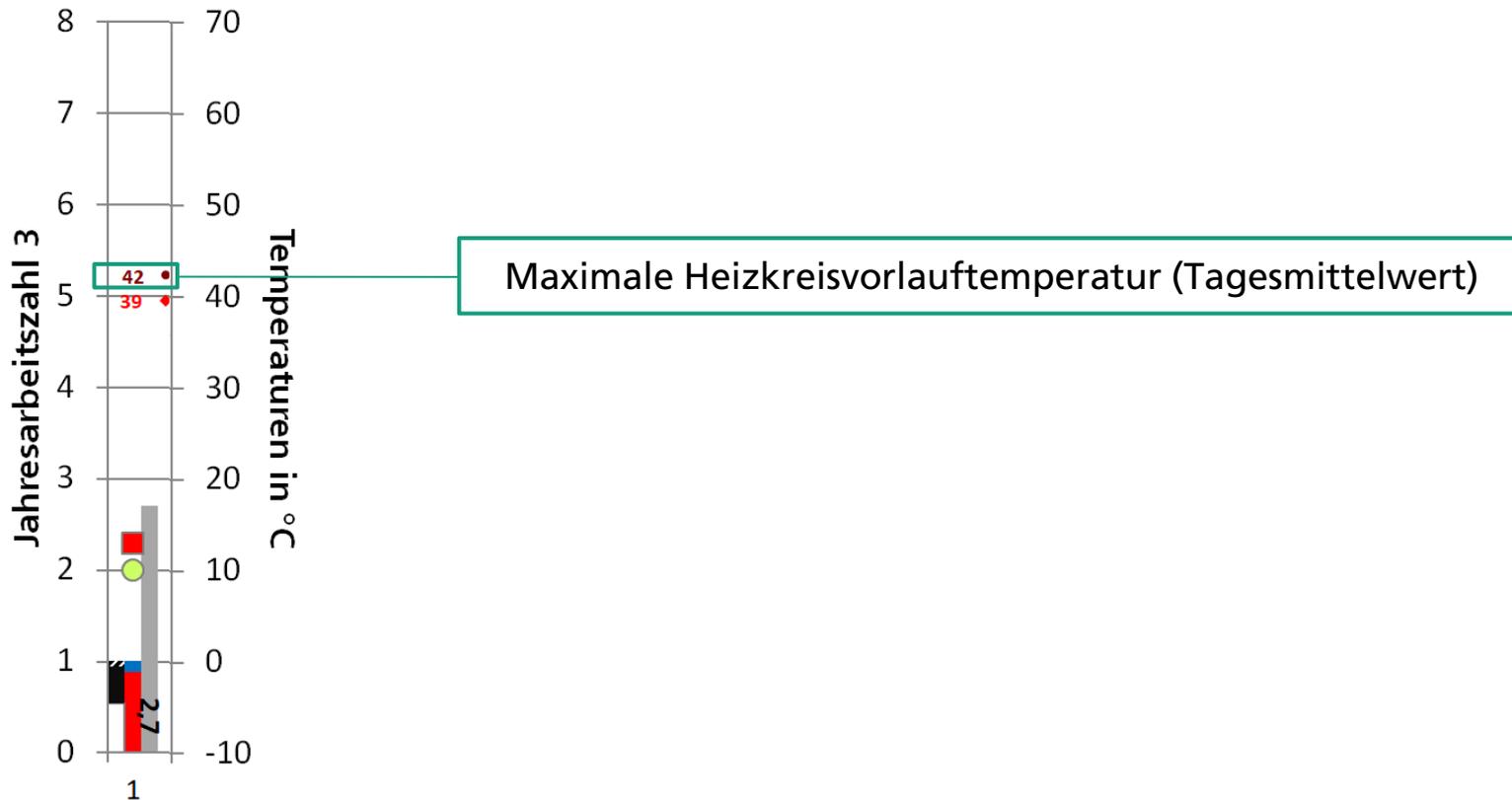
## Methodik zur Ermittlung des Gebäudekennwertes

- Zweistufige Befragung der Anlagenbetreiber (Bewohner) zum Zustand des Gebäudes und der erfolgten Sanierungsmaßnahmen
- Ermittlung von U-Werten für Dach, Außenwand und Fenster (Original- und Istzustand)
- Ermittlung eines mittleren U-Wertes für ein Referenzgebäude
- Orientierung der mittleren U-Werte an den Grenzwerten der WSchV'77 und '95

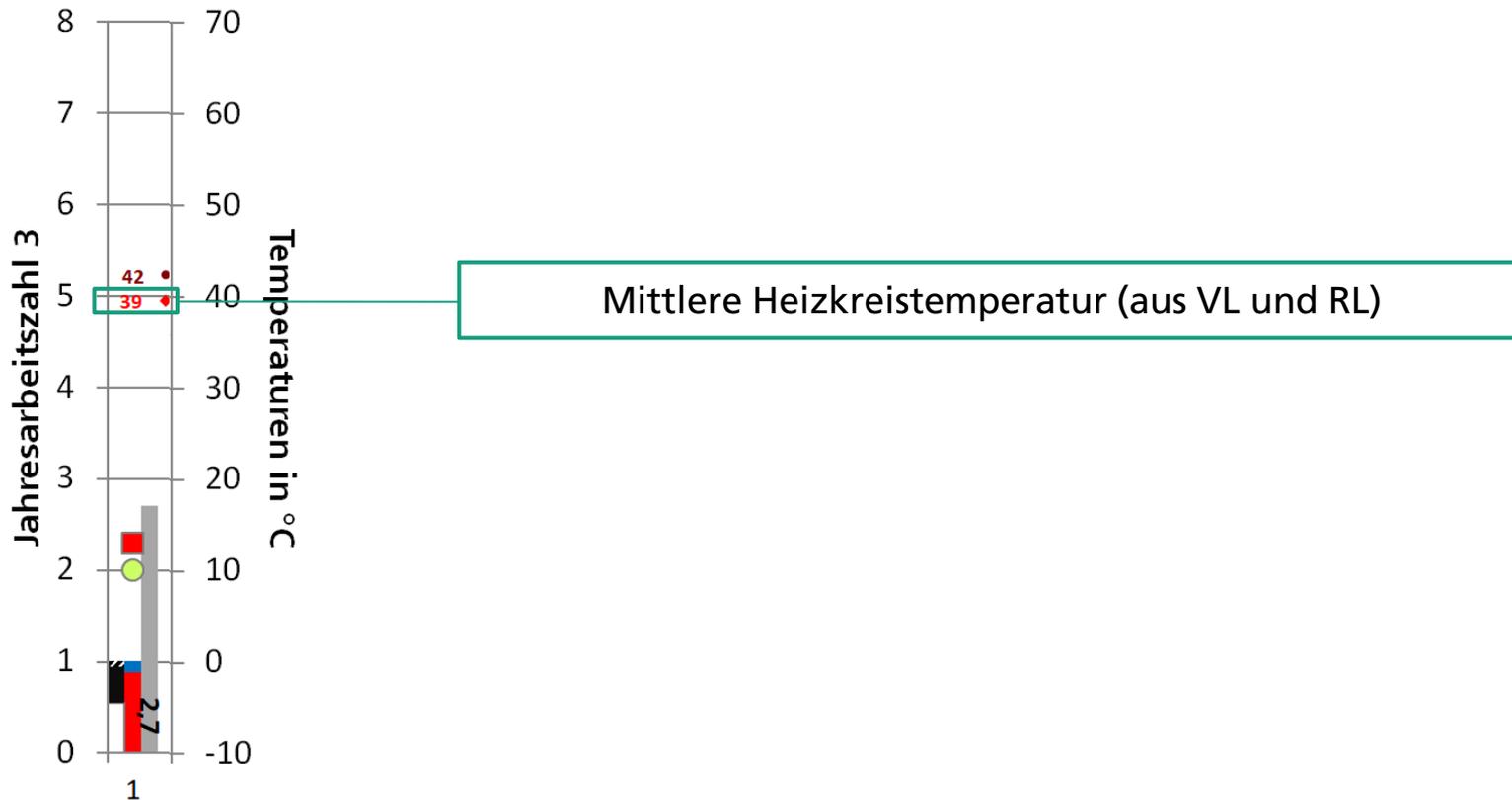
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



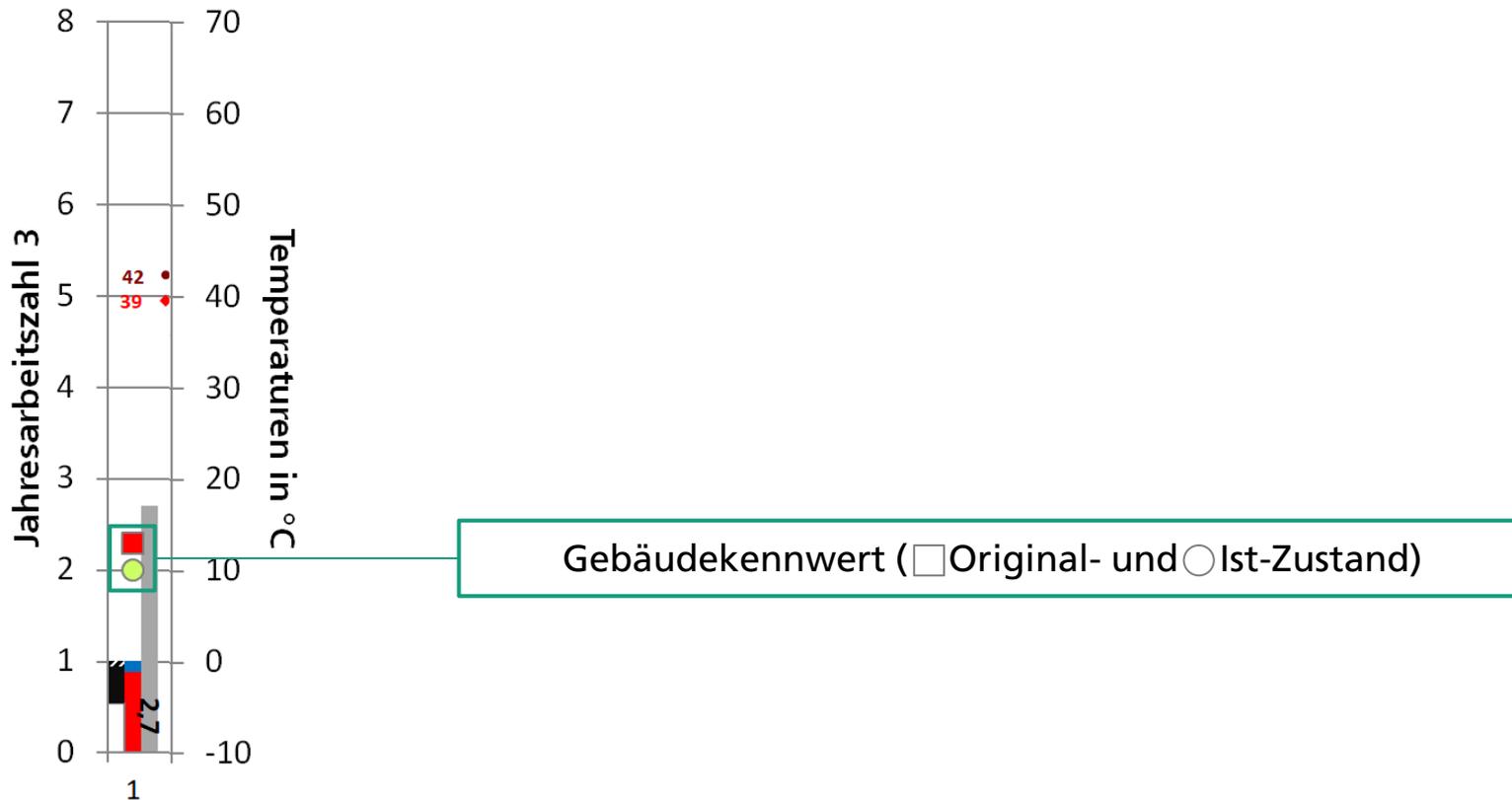
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



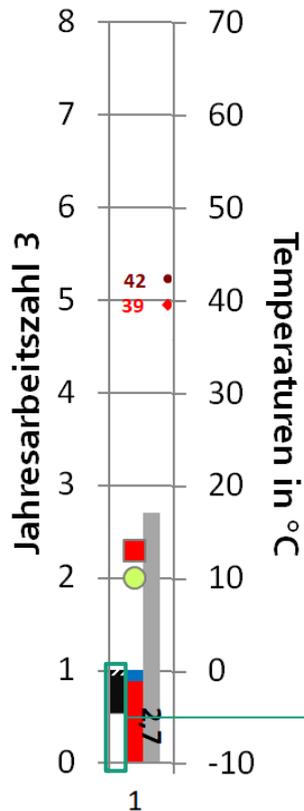
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



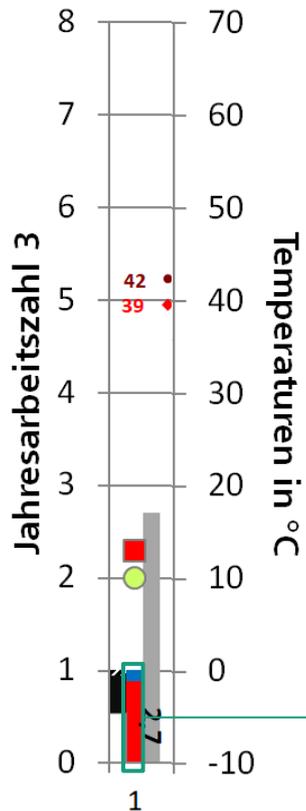
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



Anteil beheizte Fläche mit Wärmeübergabesystem:

- ▨ Anteil gemischt (FH+HK)
- Anteil nur Flächenheizung
- Anteil nur Heizkörper

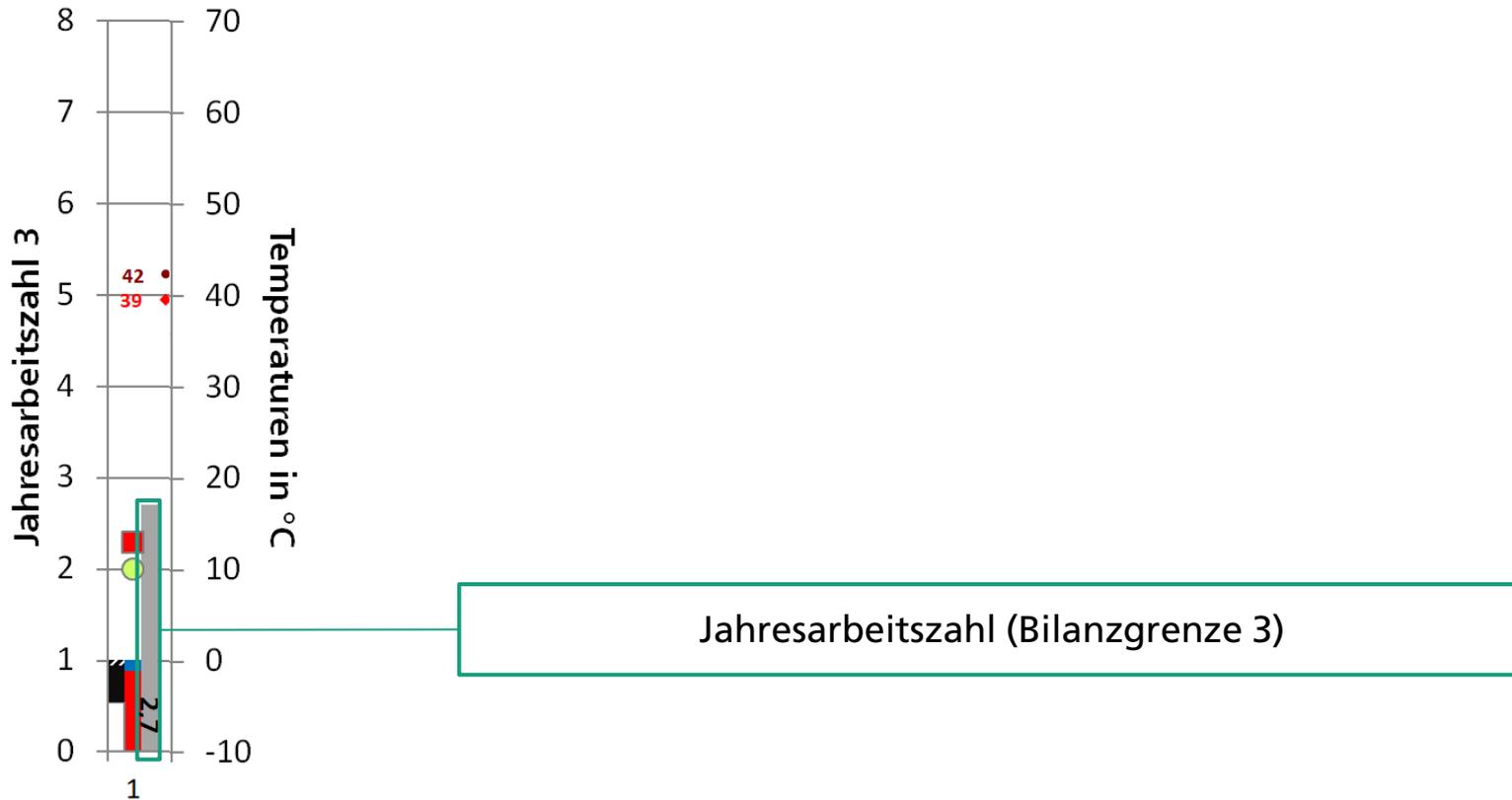
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



Anteil der Wärmepumpe bereitgestellter Energie für:

- Trinkwassererwärmung
- Raumheizung

# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften



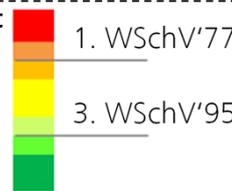
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften

■ Jahresarbeitszahl 3

■ Anteil Heizenergie

■ Anteil TW-Energie

**Energetische Qualität der Gebäude**



□ Anteil nur Flächenheizung

■ Anteil nur Heizkörper

■ Anteil nur gebl. Konv

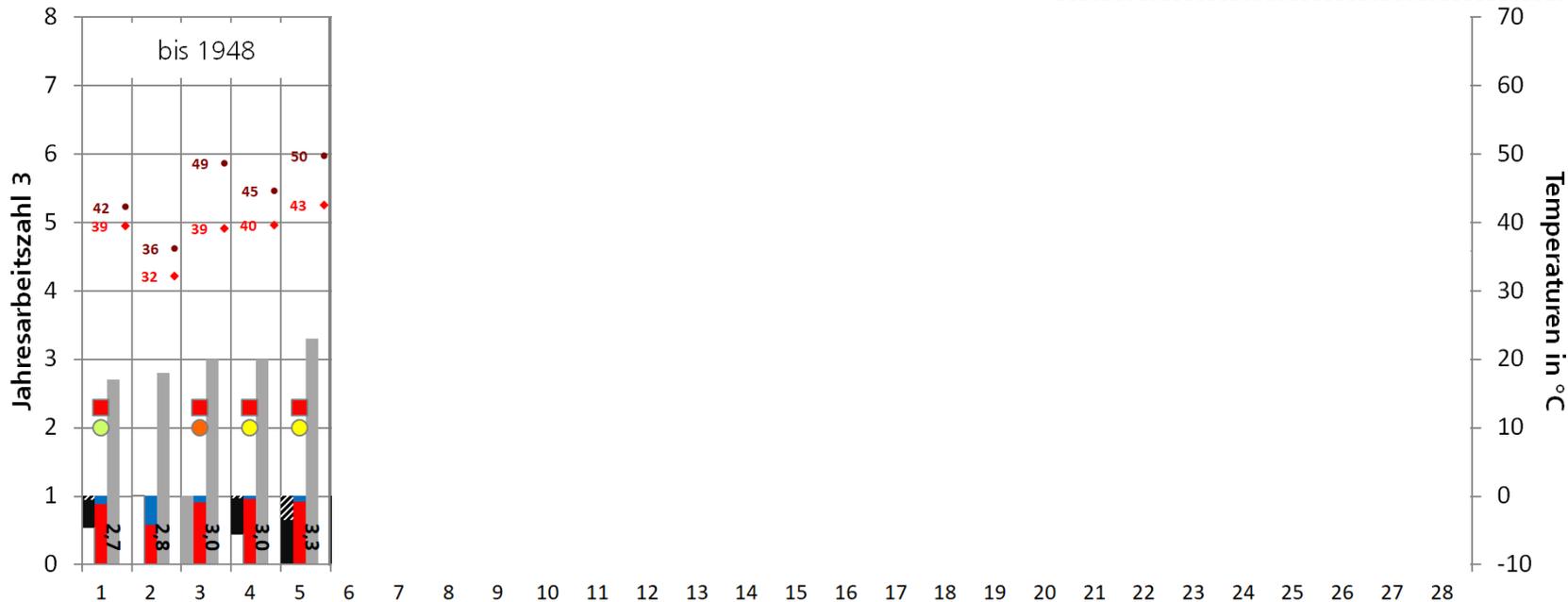
□ Originalzustand

○ Istzustand

▨ Anteil gemischt (FH+HK)

◆ T\_Heiz Mittel (Gesamtzeit)

● T\_Heiz Vorlauf (max)



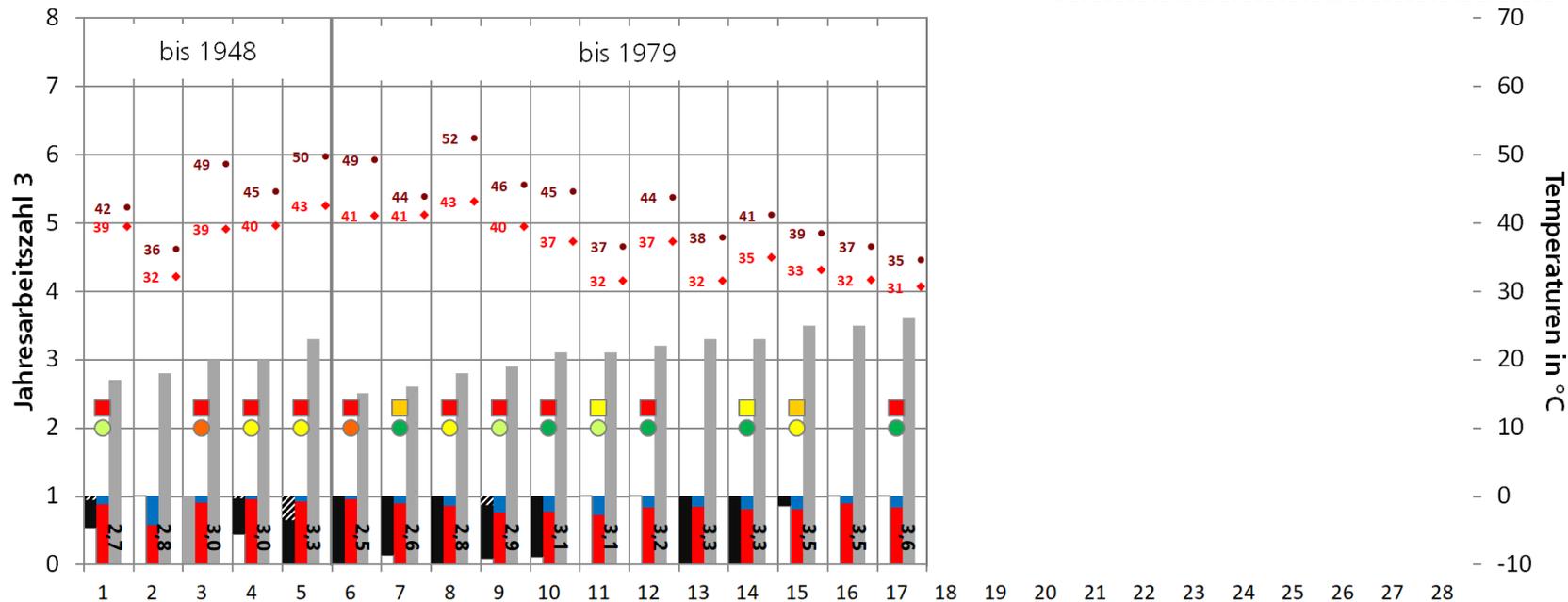
# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften

- Jahresarbeitszahl 3
- Anteil Heizenergie
- Anteil TW-Energie
- Anteil nur Flächenheizung
- Anteil nur Heizkörper
- Anteil nur gebl. Konv
- ▨ Anteil gemischt (FH+HK)
- ◆ T\_Heiz Mittel (Gesamtzeit)
- T\_Heiz Vorlauf (max)

**Energetische Qualität der Gebäude**

- 1. WSchV'77
- Originalzustand
- Istzustand
- 3. WSchV'95





# Ergebnisse Messergebnisse und Gebäudeeigenschaften

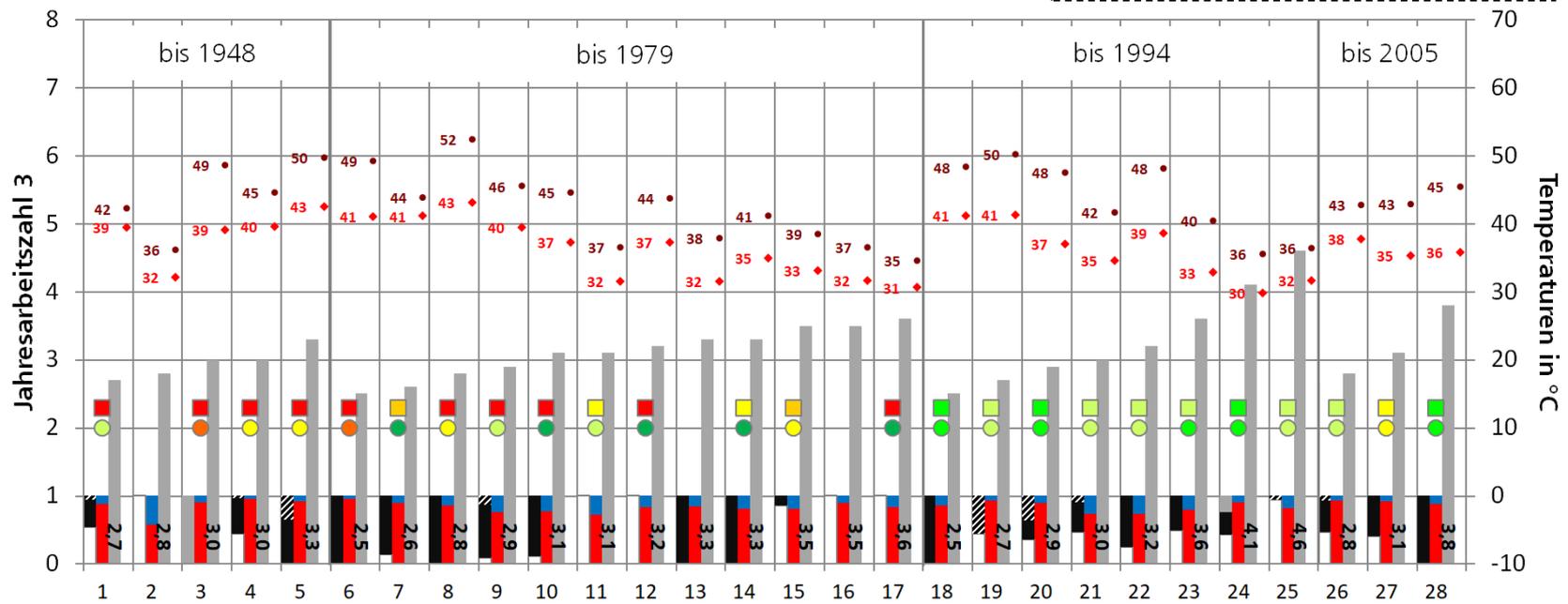
- Jahresarbeitszahl 3
- Anteil nur Flächenheizung
- ▨ Anteil gemischt (FH+HK)
- Anteil Heizenergie
- Anteil nur Heizkörper
- ◆ T\_Heiz Mittel (Gesamtzeit)
- Anteil TW-Energie
- Anteil nur gebl. Konv.
- T\_Heiz Vorlauf (max)

**Energetische Qualität der Gebäude**

- Originalzustand
- Istzustand



1. WSchV'77  
3. WSchV'95



# Fazit

- Beim Betrieb der Wärmepumpen kam es nur selten zu Störungen; offensichtliche Fehler bei der Installation oder Parametrierung der Regler traten im Vergleich zu vorherigen Feldtests (Günther et al. 2014), (Miara et al. 2011) nur selten auf
- Sanierung auf energetischem Neubaustandard ist nicht erforderlich, um Wärmepumpen ökologisch zweckmäßig zu betreiben
- Keine Korrelation zwischen den Effizienzwerten und den Baujahren der Gebäude erkennbar
  - Korrelation ausschließlich zwischen JAZ und Heizkreistemperatur erkennbar
  - individuelle Gegebenheiten bzgl. des Wärmeübergabesystems und der Heizlast entscheiden maßgeblich über die Heizkreistemperatur und damit über die Effizienz
- Heizkreistemperatur im Normauslegungspunkt nicht entscheidend für die JAZ (Heizkurve!)
- Signifikanter Heizstabeinsatz nur bei WP-Defekt (eine Anlage), falscher Parametrierung oder im Legionellen-Modus detektiert (nicht auf Folien enthalten)
- JAZ von 1,8 für eine Erdreich-Wärmepumpe zeigt die Grenzen zweckmäßigen WP-Betriebs und den Bedarf an Qualitätssicherungsmaßnahmen von der Planung bis zum Betrieb

# WP<sup>smart</sup> im Bestand



# W P Q S im Bestand

Laufzeit: 12/2014 – 07/2019

Fokus **Effizienzanalyse**

FKZ: 03ET1272A

<https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-smart-im-bestand/german/index/index.html>

Laufzeit: 12/2019 – 11/2022

Fokus **Qualitätssicherung**

FKZ: 03EN2029A

[wp-monitoring.ise.fraunhofer.de](http://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**PTJ**  
Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich

## Vielen Dank!

[danny.guenther@ise.fraunhofer.de](mailto:danny.guenther@ise.fraunhofer.de)