
PROJEKT «SMARTES QUARTIER KARLSRUHE-DURLACH»

Wärmepumpen für ein energieeffizientes und wirtschaftliches Energiekonzept



Dr.-Ing. Manuel Lämmle

Berliner Energietage
Digitaler Sommer der Energiewende

04.06.2020

www.ise.fraunhofer.de

AGENDA

1) Projektübersicht

- Projektinhalte, -ziele und -partner

2) Energiekonzept

- Smarte Integration von PV, Wärmepumpen und BHKW

3) Wärmepumpen-Technologien

- PVT-Wärmepumpenanlage
- Mehrquellen-Wärmepumpenanlage
- LowEx-Maßnahmen

PROJEKTÜBERSICHT

Projekt «Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach»

- Quartier mit 5 Mehrfamiliengebäuden in Karlsruhe-Durlach:
 - 175 Wohneinheiten
 - 1963 errichtet (Heizenergieverbrauch ca. 125 kWh/m²a)
 - 1995 energetisch teilmodernisiert (Heizenergieverbrauch 55 kWh/m²a)
- Projektziele:
 - CO₂-Reduktion mindestens 50 %
 - Sanierung nur im Heizungskeller, nicht in Gebäuden und Wohnungen¹⁾
 - Demonstration neuer Wärmepumpen-Technologien
 - Wirtschaftliches und energieeffizientes Betreiberkonzept



Quartier Durlach

© Google Earth, Map data: Google, GeoBasis-DE/BKG

Projekt «Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach»

- **Smarte Integration bewährter Technologien**
 - Wärmepumpen
 - Photovoltaik
 - Erdgas-BHKW
 - Wärmenetz
- **Betreiberkonzept**
 - Mieterstrom
 - Areal-Strom-Netz
 - Eigenverbrauchsoptimierung



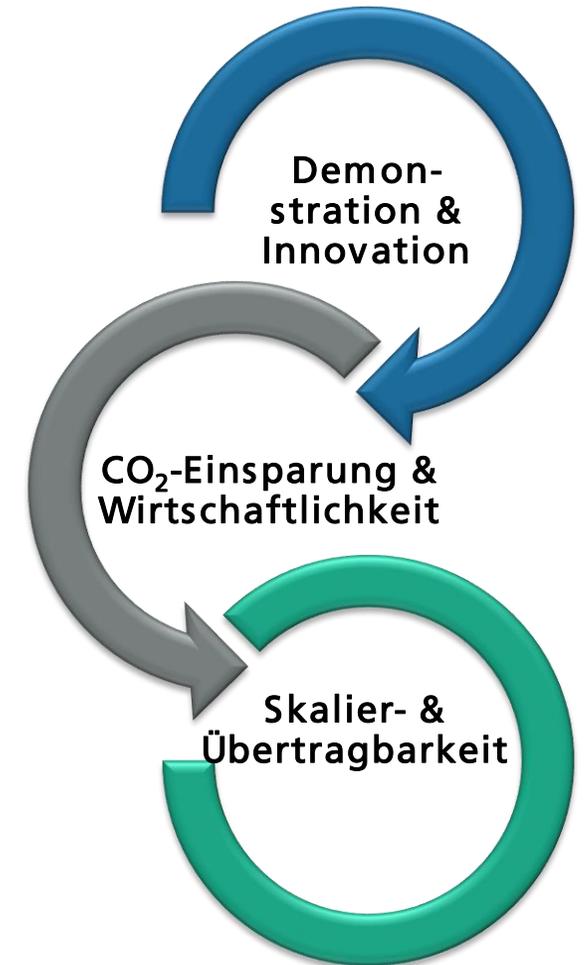
Smartes Quartier Durlach

© Google Earth, Map data: Google, GeoBasis-DE/BKG

Quartiersenergiekonzept mit Wärmepumpen, BHKW und Photovoltaik

Einsatz von Wärmepumpen in Bestands-MFH

- **Quellen-Verfügbarkeit:**
 - Außenluft
 - Erdwärmesonde
 - PVT/Solabsorber
- **Temperaturniveaus:**
 - Wärmeübergabesysteme
 - Temperaturabsenkung TW
 - WP-Technologien
- **Betreiberkonzept:**
 - Mieterstrommodelle, Eigenverbrauchsoptimierung,
 - Energiemanagementsystem, Smarte Regelung



Projekt «Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach»



Karlsruher-Energie-Service GmbH



LowEx im Bestand

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



FuE-Projekt «HEAVEN»



Fachplaner



EMS



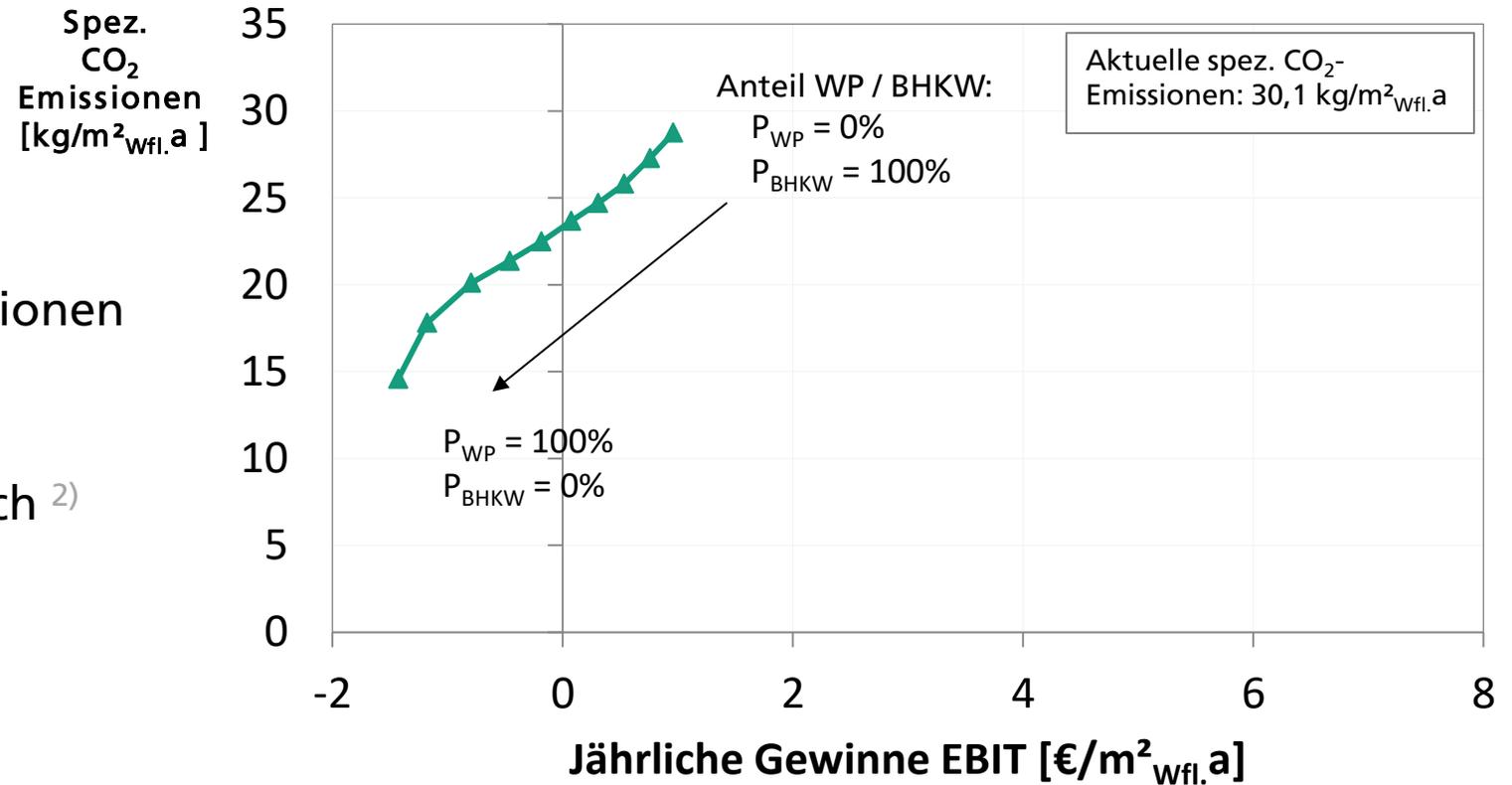
PVT-Anlage

ENERGIEKONZEPT

Smarte Integration von PV, Wärmepumpen und BHKW

Energiekonzept: Integration von Wärmepumpen, PV und BHKW

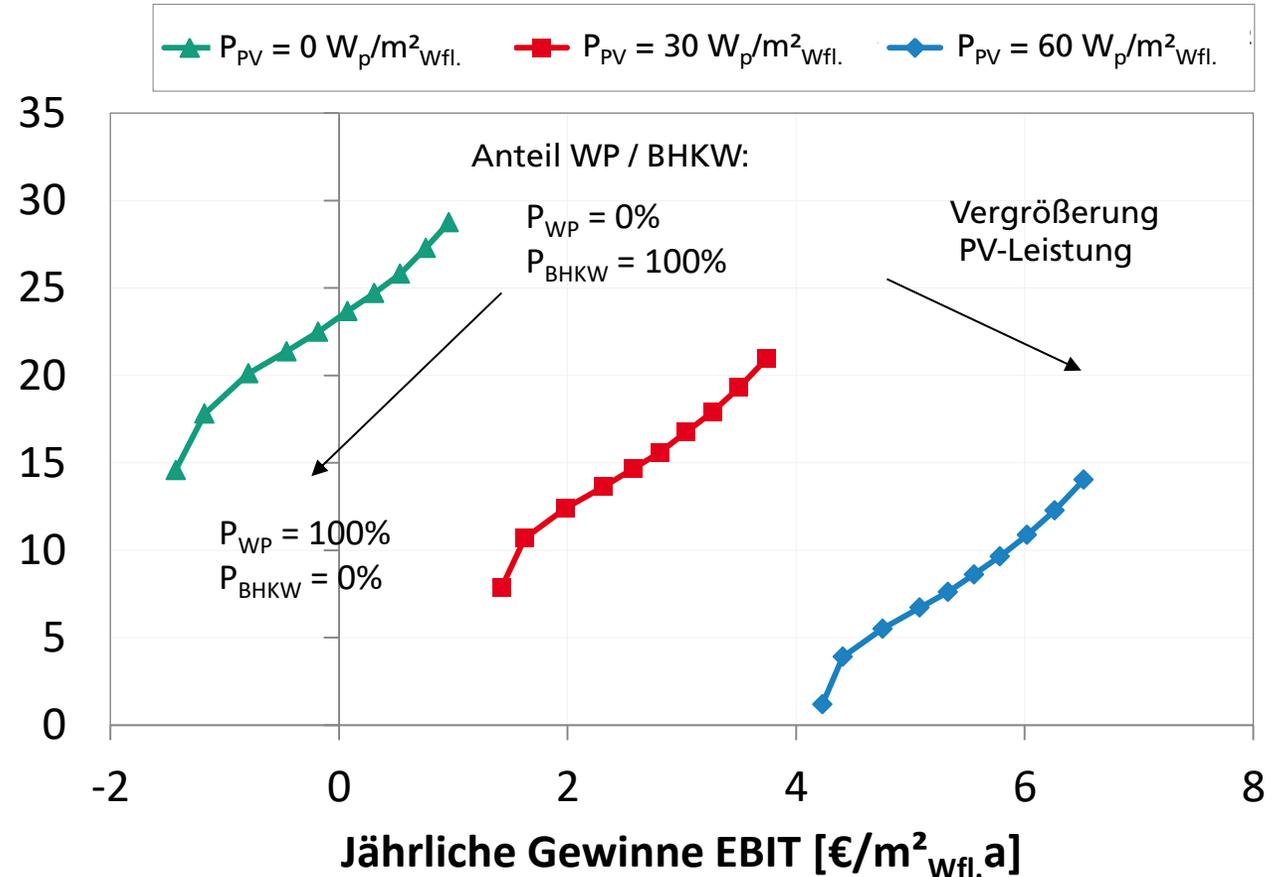
- Nur mit Wärmepumpen können signifikante CO₂-Reduktionen erzielt werden ¹⁾
- BHKWs unter jetzigen Förderbedingungen wirtschaftlich ²⁾



Energiekonzept: Integration von Wärmepumpen, PV und BHKW

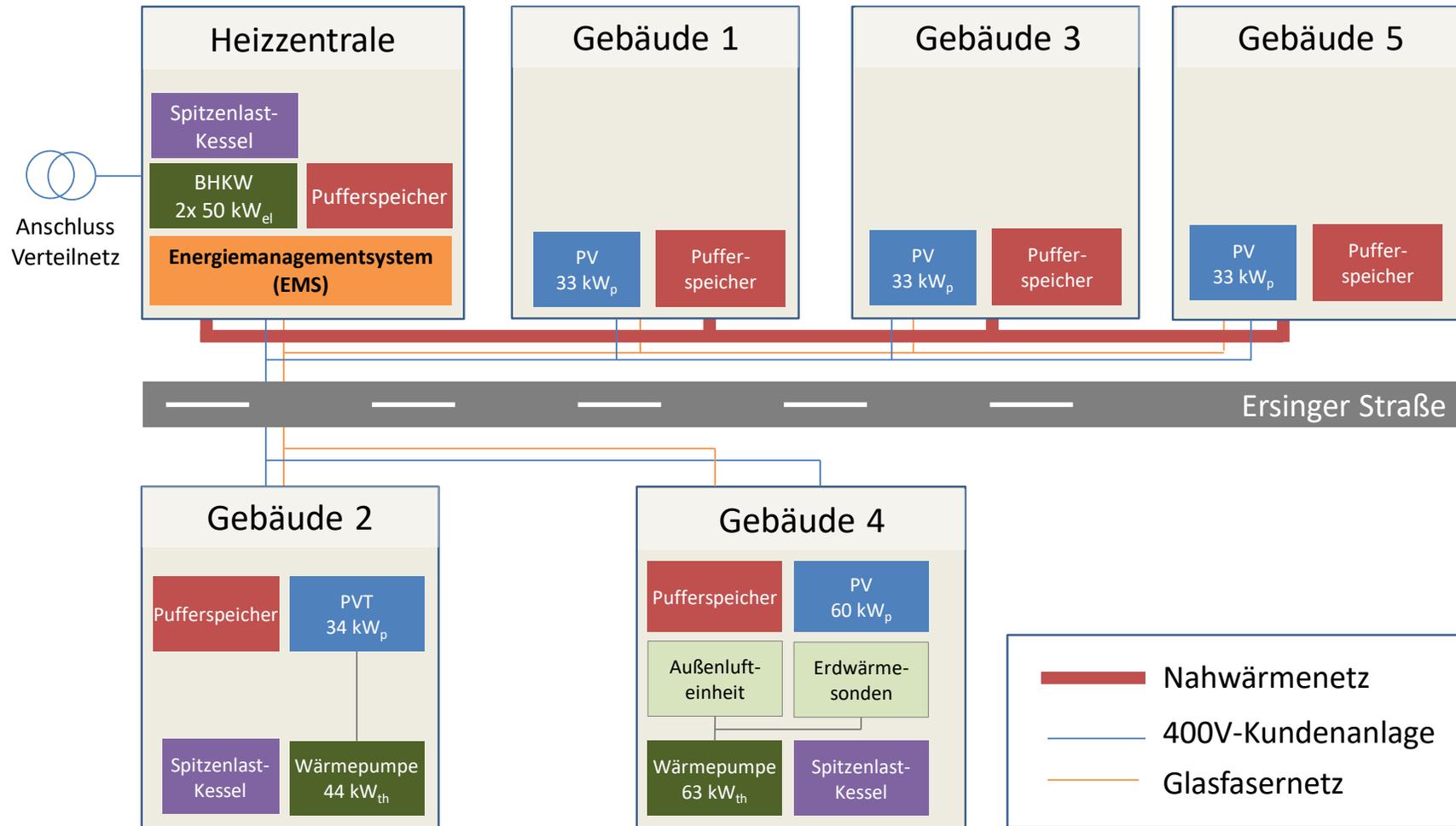
- Nur mit Wärmepumpen können signifikante CO₂-Reduktionen erzielt werden
- BHKWs unter jetzigen Förderbedingungen wirtschaftlich
- Photovoltaik sowohl wirtschaftlich als auch emissionsmindernd

Spez. CO₂ Emissionen [kg/m²_{Wfl.}a]

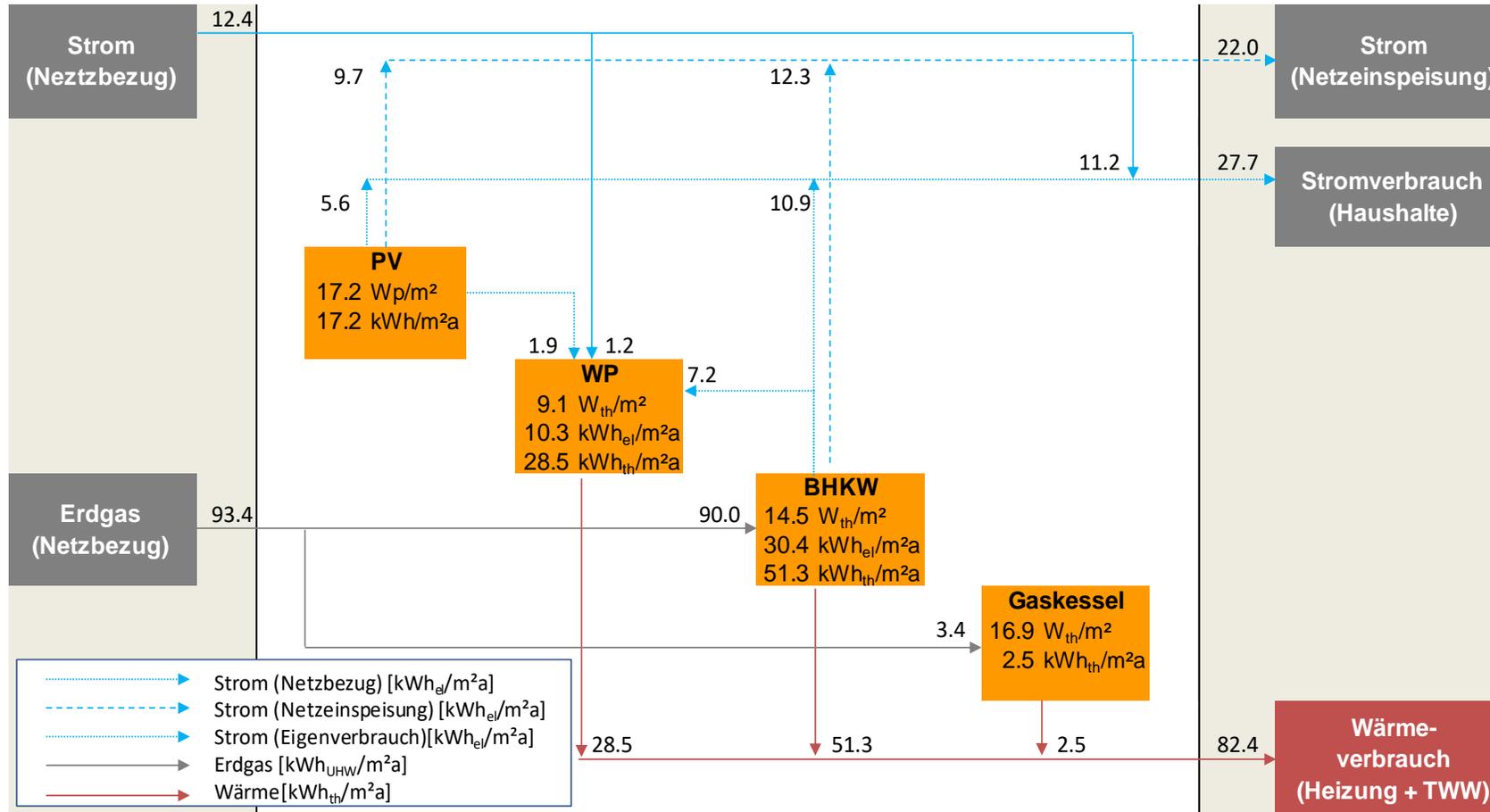


➔ Kombination aller drei Technologien führt zu größten Synergieeffekte (CO₂, EBIT)

Energiekonzept: Integration von PV, Wärmepumpen und BHKW



Energiekonzept: Integration von Wärmepumpen, PV und BHKW



Simulation der Energieflüsse im Quartier.
 Bezug auf m² beheizte Wohnfläche, insgesamt 11.600 m²

Energiebilanz:

- Eigenverbrauchsanteil: 54 % ¹⁾
- Autarkiegrad ²⁾: 67 %
- Autarkiegrad der Wärmepumpe: 88 %

CO_{2,äq}-Emissionen:

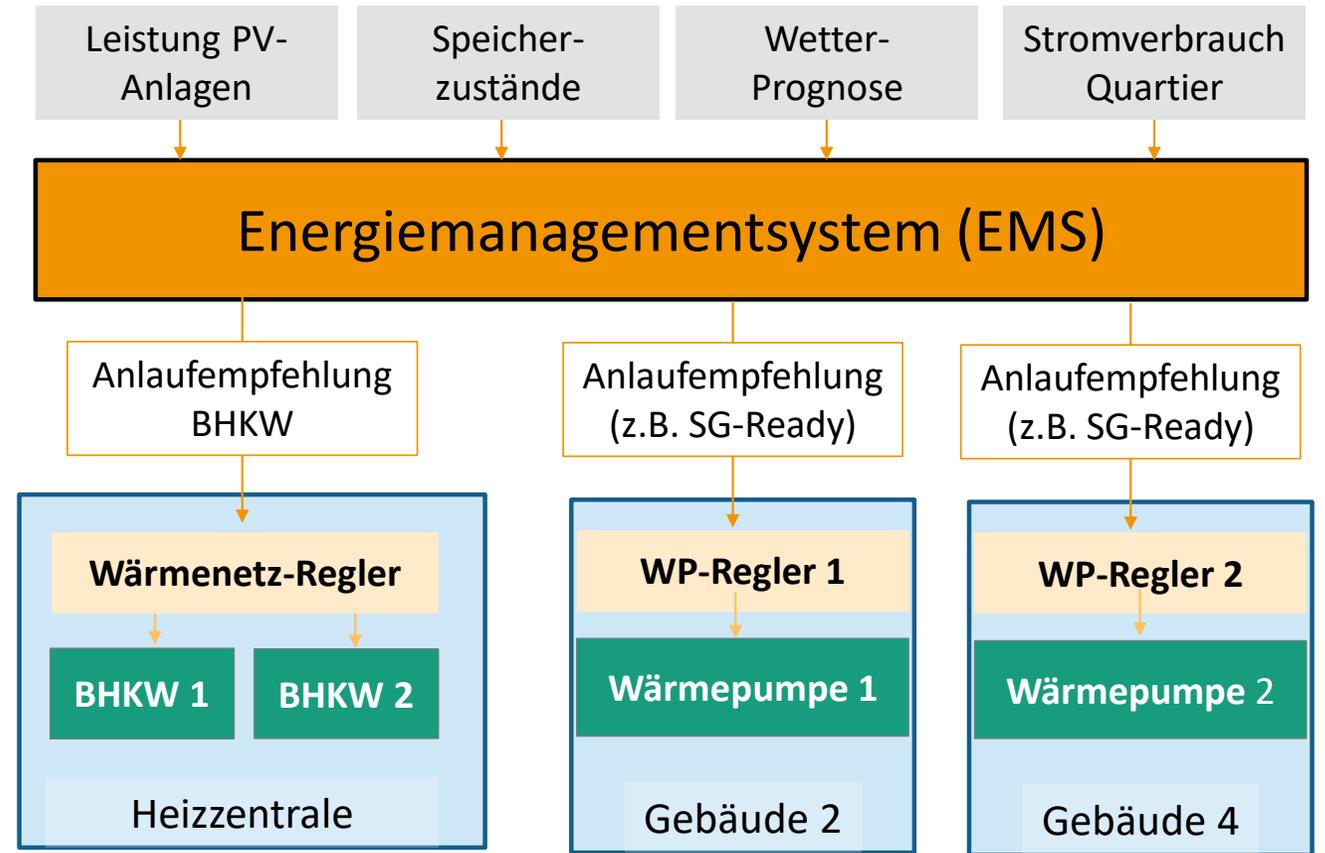
- -52 %
(im vgl. zu Projektstart)
- -77 %
(im vgl. zu Baujahr 1963)

¹⁾ Eigenverbrauchsanteil = Anteil des von PV und BHKW erzeugten Stroms, der im Quartier verbraucht wird

²⁾ Autarkiegrad = Anteil des Stromverbrauchs, der durch lokal erzeugten PV und BHKW-Strom gedeckt wird

Energiekonzept: Energiemanagement

- Ziele:
 - Optimierung des Eigenverbrauchs
 - Optimierung der Wirtschaftlichkeit
- Optimierung der WP- und BHKW-Fahrpläne:
 - Anforderung der Wärmepumpen bei Stromüberschuss
 - Anforderung der BHKWs bei Strombedarf
- Entwicklung geeigneter Regelungsstrategien mit Modellprädiktiver Regelung (MPC)
- Fehlererkennung mit Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI)

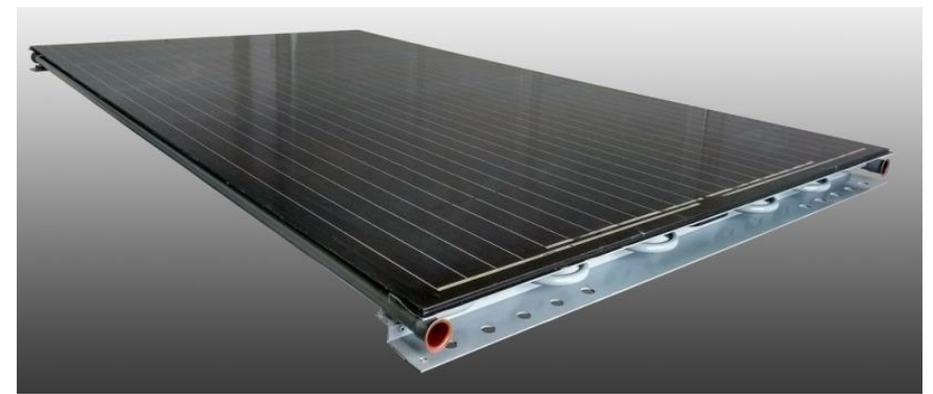
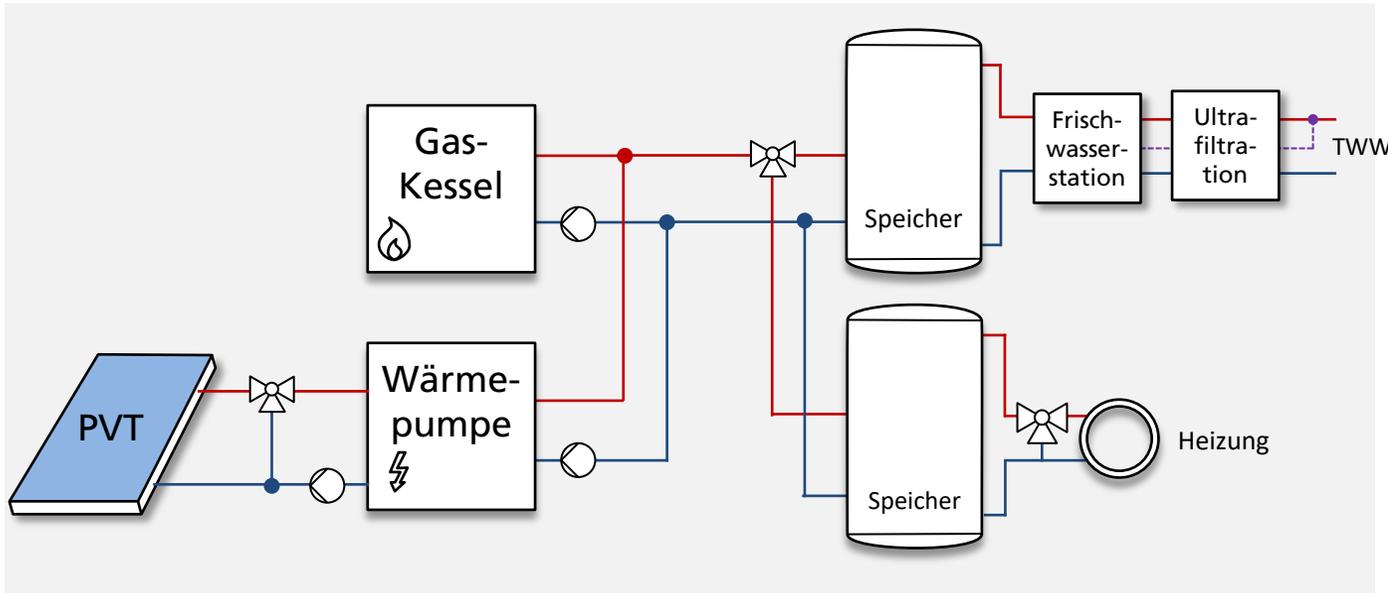


Logische Steuerungsstruktur des EMS

WÄRMEPUMPEN-TECHNOLOGIEN

PVT-Wärmepumpenanlage, Mehrquellen-Wärmepumpenanlage, LowEx-Maßnahmen

Wärmequellen I: Photovoltaisch-Thermische PVT-Kollektoren als WP-Quelle

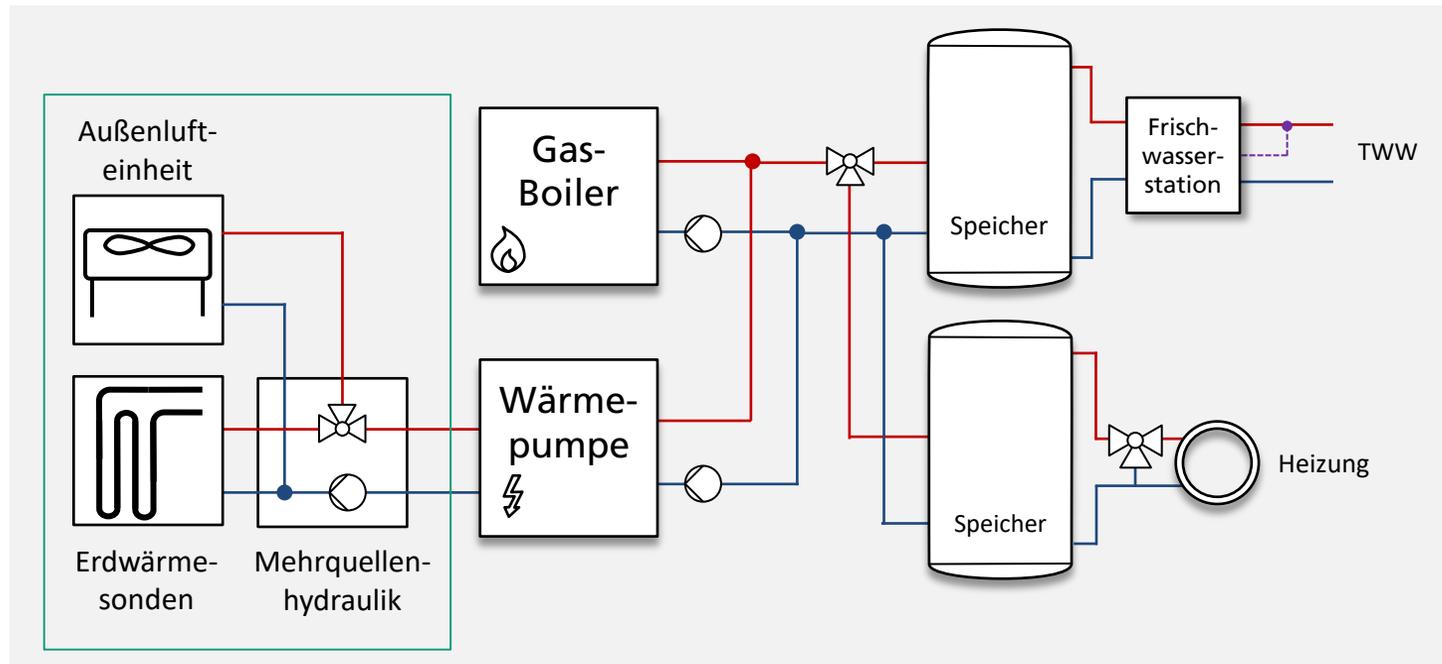


Solink PVT-Kollektor mit rückseitigen Lamellen © Consolar

- Alleinige Wärmequelle für die WP-Anlage
- Doppelnutzung der Dachfläche für Strom + Wärme
- Thermische Nutzung von Solarstrahlung + Umgebungswärme
- Keine Bohrungen notwendig, keine Geräusentwicklung

Erstmaliger Einsatz von PVT-Kollektoren als WP-Quelle in einem Bestands-MFH

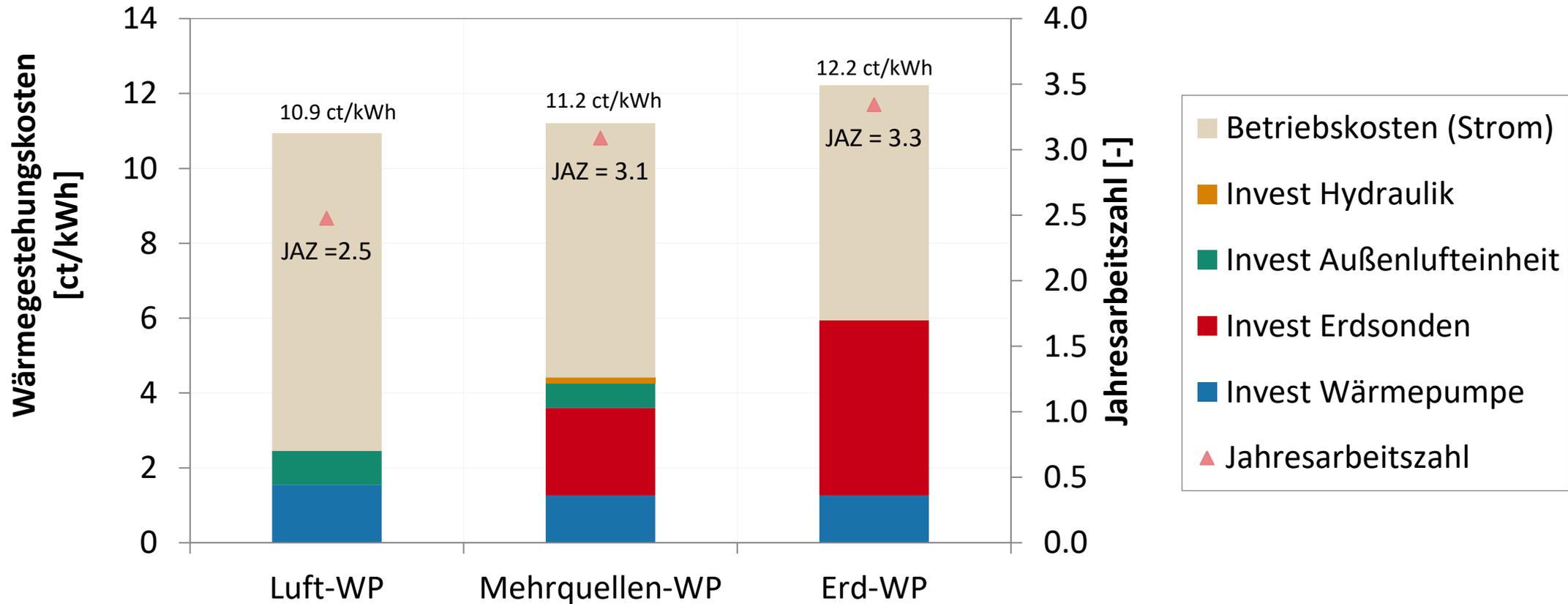
Wärmequellen II: Mehrquellen-System mit Erdwärmesonden und Außenluft



Verteiler und Sammler der Mehrquellenhydraulik im Teststandaufbau
© Jakob Metz, Fraunhofer ISE

- Demonstrationsobjekt des FuE-Projekts «HEAVEN» mit Fa. Viessmann
- Erschließung der Wärmequelle Erdreich im urbanen MFH-Bestand:
 - Erdwärmesonden werden auf Teillast ausgelegt → Senkung von Flächenbedarf & Kosten
 - Außenluft als flexibel dimensionierbare Wärmequelle

Wärmequellen II: Mehrquellen-System mit Erdwärmesonden und Außenluft

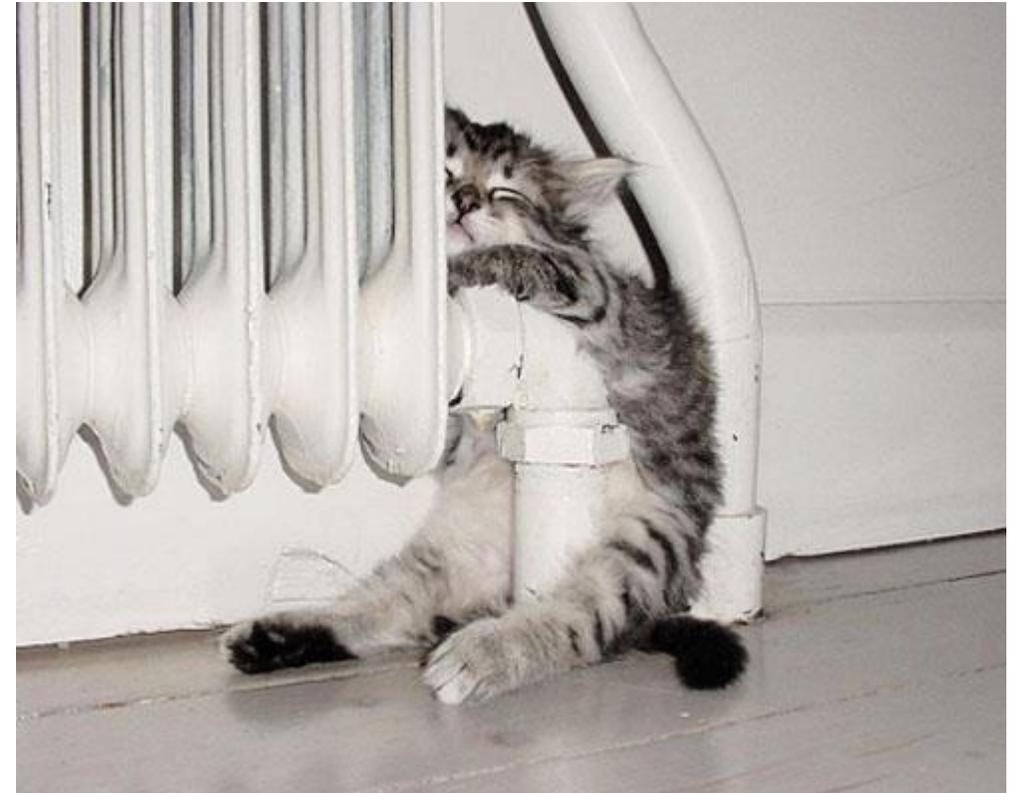


- ➔ Halbierung der Anzahl an Erdwärmesonden
- ➔ Jahresarbeitszahl im Bereich einer Erdreich-Wärmepumpe

Nutzung der Vorteile beider Wärmequellen

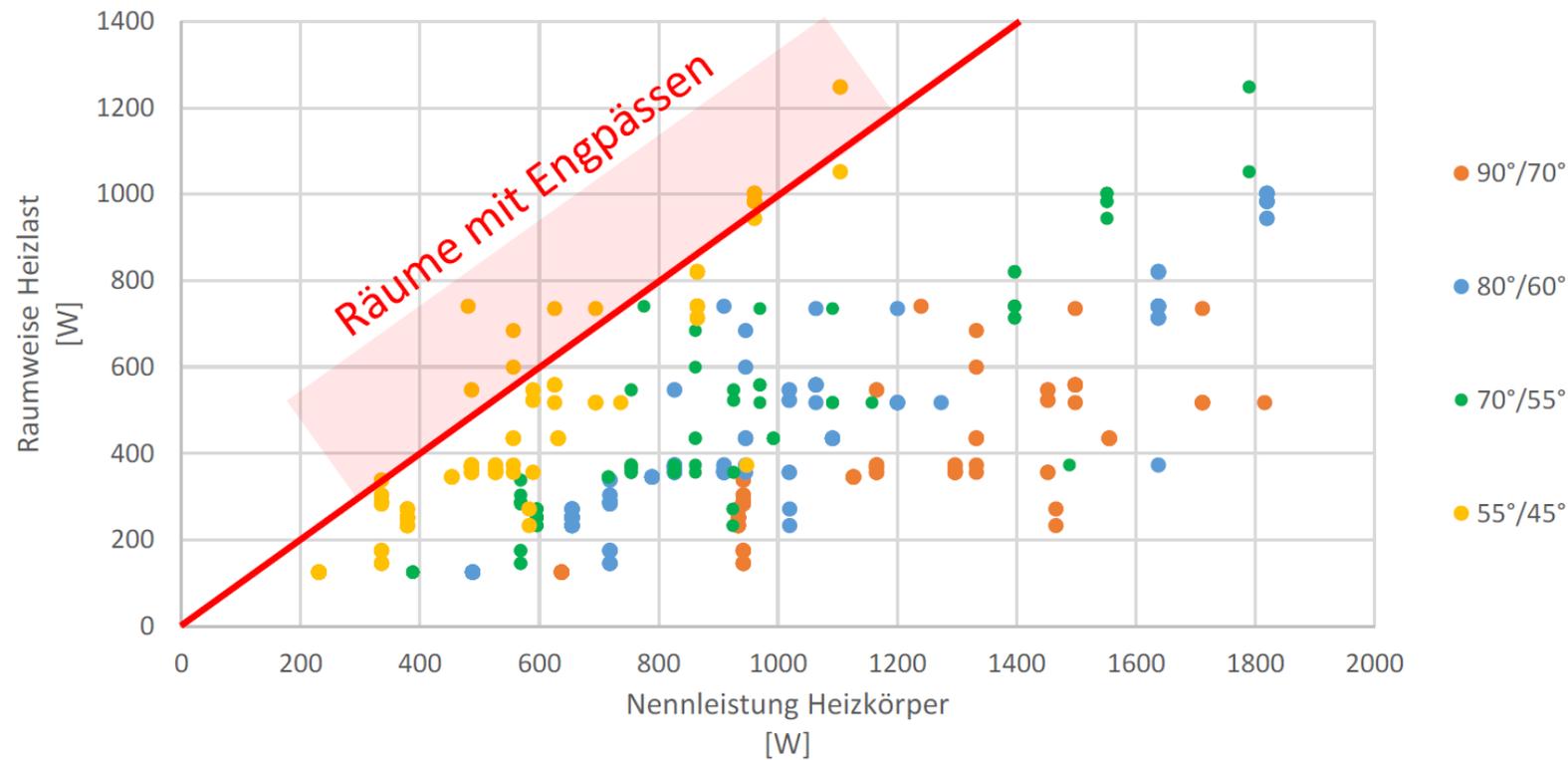
LowEx-Ertüchtigung der Wärmepumpen-Anlage

- **Gezielter Austausch einzelner Heizkörper**
 - Identifikation zu gering dimensionierter Heizkörper durch raumweise Heizlastberechnung
 - **Ultrafiltration zur Legionellenvermeidung**
 - Absenkung der Warmwassertemperatur auf 50 °C
 - Absenkung der Vorlauf-Temperaturen zur Frischwasserstation auf 55 °C
 - **Abgestimmte Hydraulik-Planung**
 - Getrennte Speicher für Heizung und Warmwasser, Zentrale Frischwasserstationen
 - **Hydraulischer Abgleich**
- **Ziel: Möglichst geringe Betriebstemperaturen für die Wärmepumpe**



© <http://radiatorsblog.blogspot.com/2010/02/cats-on-radiators.html>

LowEx-Ertüchtigung: Gezielter Austausch einzelner Heizkörper

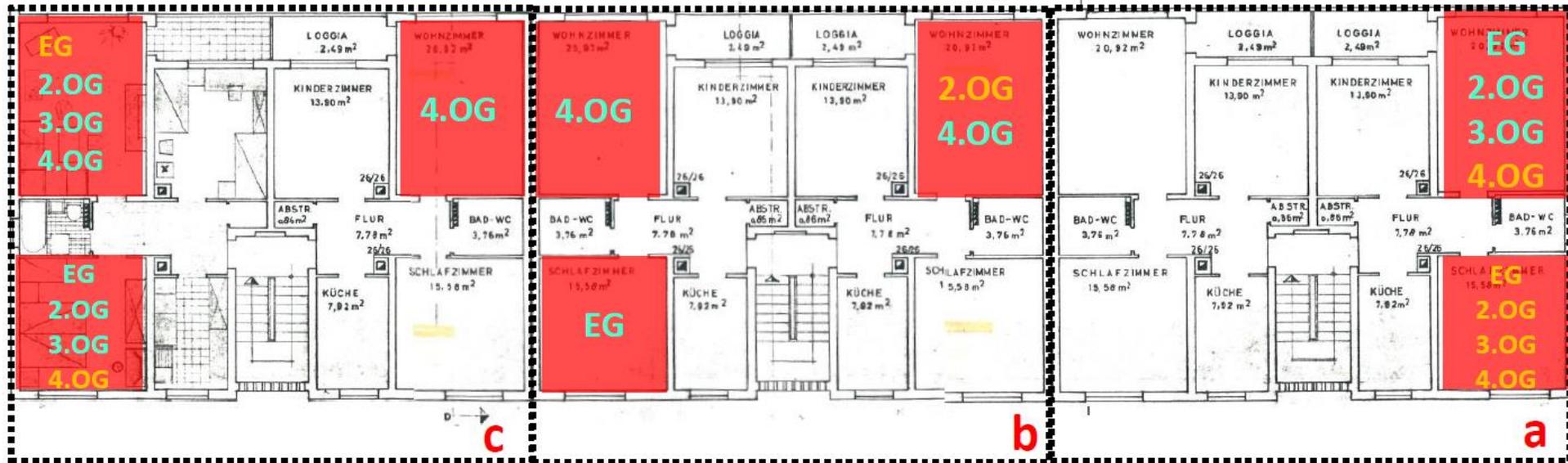


■ Vorgehen:

- 1) Berechnung der raumweisen Heizlast
- 2) Vergleich mit Nennleistung der Heizkörper bei unterschiedlichen Systemtemperaturen

➔ Identifikation der Räume bzw. Heizkörper mit Engpässen

LowEx-Ertüchtigung: Gezielter Austausch einzelner Heizkörper

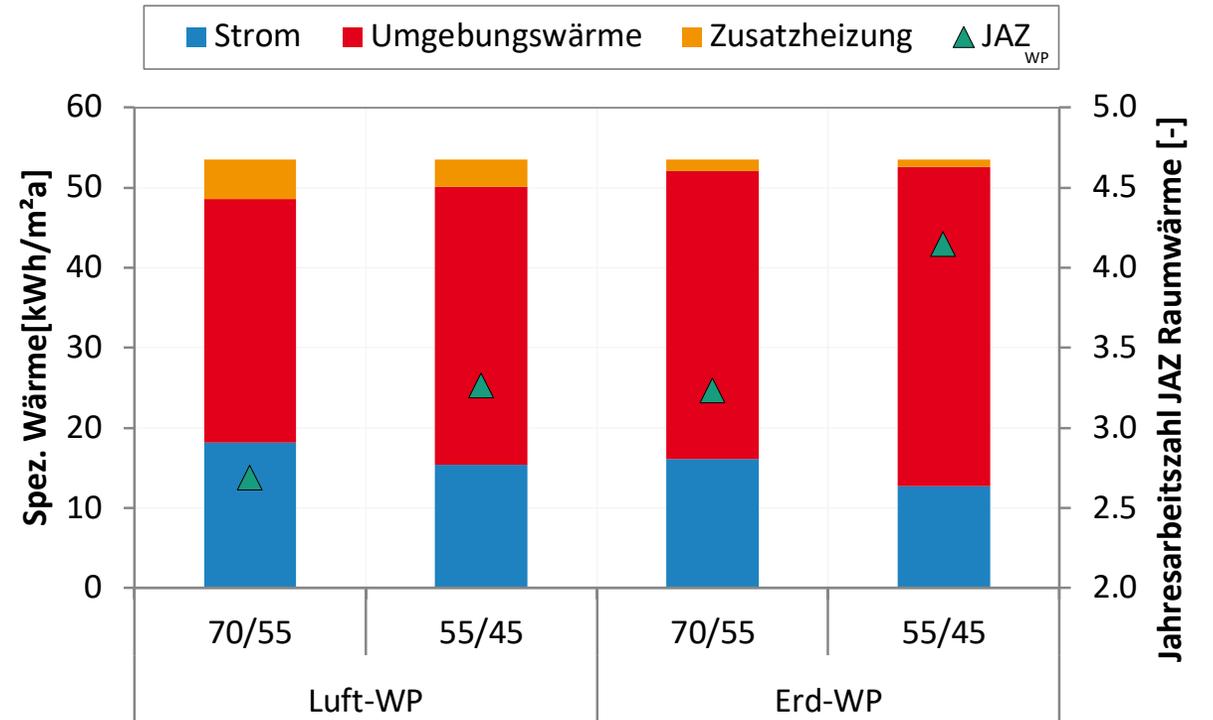


- Gebäude in Karlsruhe-Durlach:
 - Absenkung auf 70/55 °C → Austausch von 0/150 Heizkörpern
 - Absenkung auf 55/45 °C → Austausch von 17/150 Heizkörpern (11 %)
- Anteil unterdimensionierter Heizkörper variiert je nach Gebäude

LowEx-Ertüchtigung: Gezielter Austausch einzelner Heizkörper

- Betrachtung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe (nur Raumwärme)
- Einfluss der Systemtemperaturen auf Stromverbrauch:

	Luft-WP	Erd-WP
JAZ _{WP} bei 70/55 °C	2,7	3,2
Anteil neuer Heizkörper	11 %	11 %
JAZ _{WP} bei 55/45 °C	3,3	4,1
Reduktion Stromverbrauch	-18 %	-22 %



➔ Maßnahme steigert Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer der WP-Anlage

ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

Zusammenfassung & Ausblick

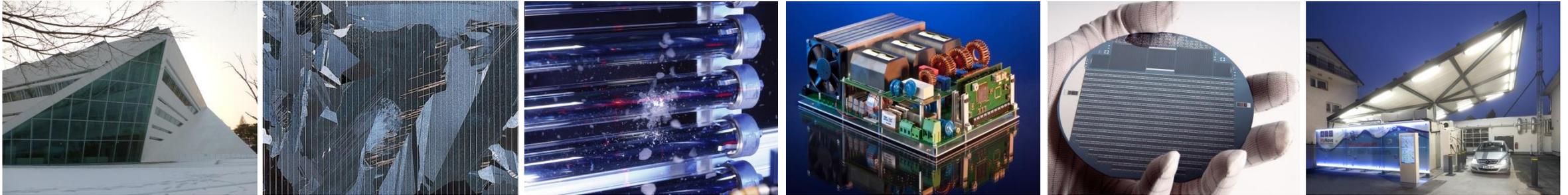
- Energiekonzept integriert bewährte Technologien für
 - Geringe CO₂-Emissionen (-50%)
 - Wirtschaftliches Betreiberkonzept
 - Umsetzung in 2020:
 - Wärmepumpenanlagen
 - LowEx-Maßnahmen
 - PV-Anlagen, Heizzentrale, Nahwärmenetz
 - Monitoring & Evaluation der Anlagen für 3 Jahre
- ➔ Übertragung auf ähnliche Quartiere



Smartes Quartier Durlach

© Google Earth, Map data: Google, GeoBasis-DE/BKG

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Manuel Lämmle, Sebastian Herkel, Danny Günther, Jakob Metz
Stefan Hess, Michael Kropp (INATECH)
und das Projektteam „SQ-Durlach“

www.ise.fraunhofer.de

manuel.laemmle@ise.fraunhofer.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages