

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

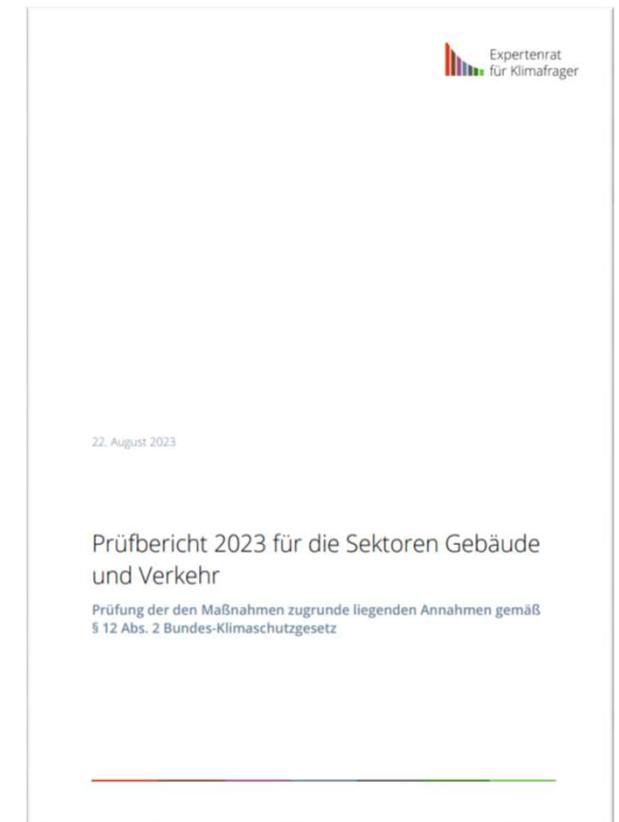
Wärmepumpen und Photovoltaik – Technik, Messkonzepte und
Potentiale

Ergebnisse des Klimaexpertenrates

22. August 2023



Expertenrat für Klimafragen (2023): Prüfbericht 2023 für die Sektoren Gebäude und Verkehr. Prüfung der den Maßnahmen zugrunde liegenden Annahmen gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de>



Verfehlung der Klimaziele im Gebäudesektor

Maßnahmen

Quantifizierte Maßnahmen:

- i) Novelle des Gebäudeenergiegesetzes („GEG-Novelle“)
- ii) EU-Gebäuderichtlinie und Mindestenergieeffizienzstandards („MEPS“)
- iii) Bundesförderung für effiziente Gebäude („BEG“)
- iv) Optimierung bestehender Heizungssysteme⁸ („EnSimiMaV“)
- v) Bundesförderung für effiziente Wärmenetze („BEW“)

Nicht-quantifizierte Maßnahmen:

- vi) Holzbauintiative
- vii) Serielle Sanierung
- viii) Initiative öffentliche Gebäude
- ix) Sanierung kommunaler Einrichtungen in den Bereichen Sport, Jugend und Kultur („Sanierung kommunaler Einrichtungen“)
- x) Zukunft Bau - Modellvorhaben für Innovation im Gebäudebereich („Zukunft Bau - Modellvorhaben“)
- xi) Energetische Stadtsanierung
- xii) Wärmeplanungsgesetz
- xiii) Wärmepumpenoffensive
- xiv) Fernwärmegipfel

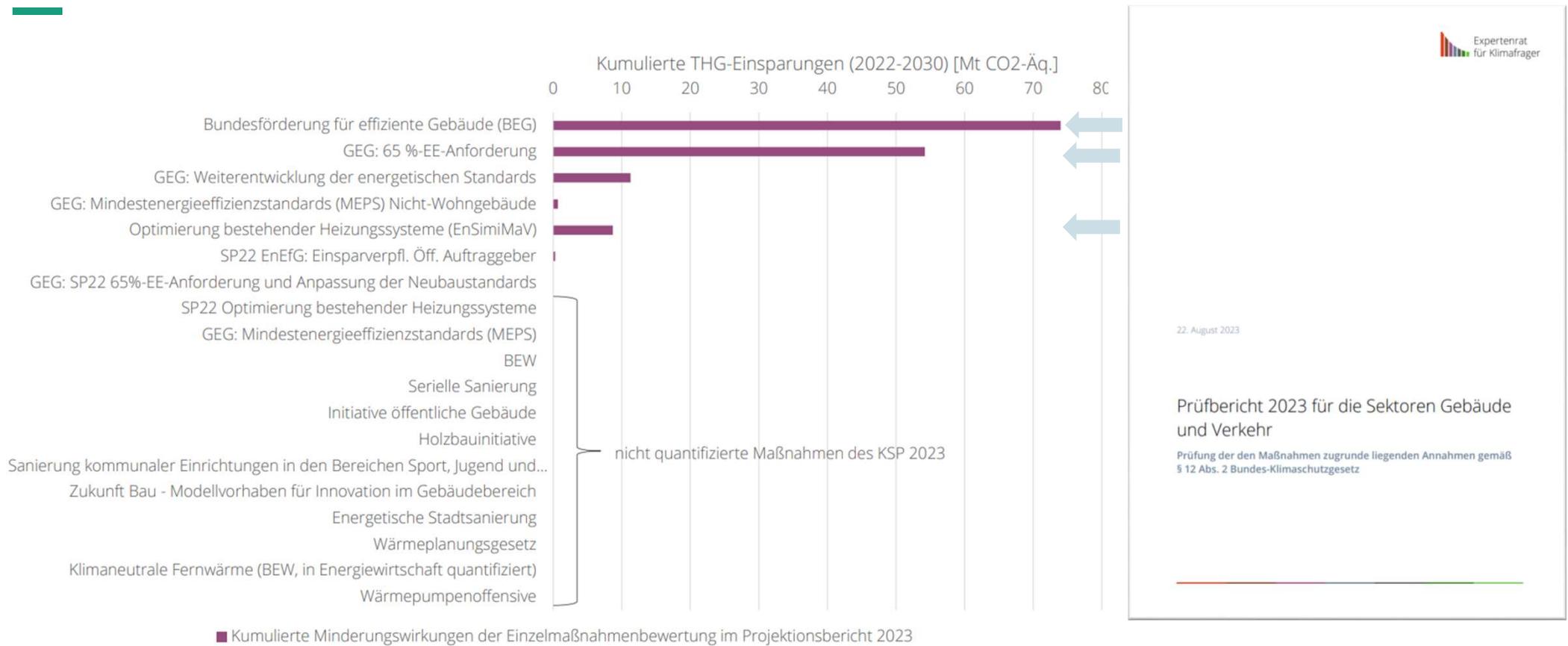
22. August 2023

Prüfbericht 2023 für die Sektoren Gebäude und Verkehr

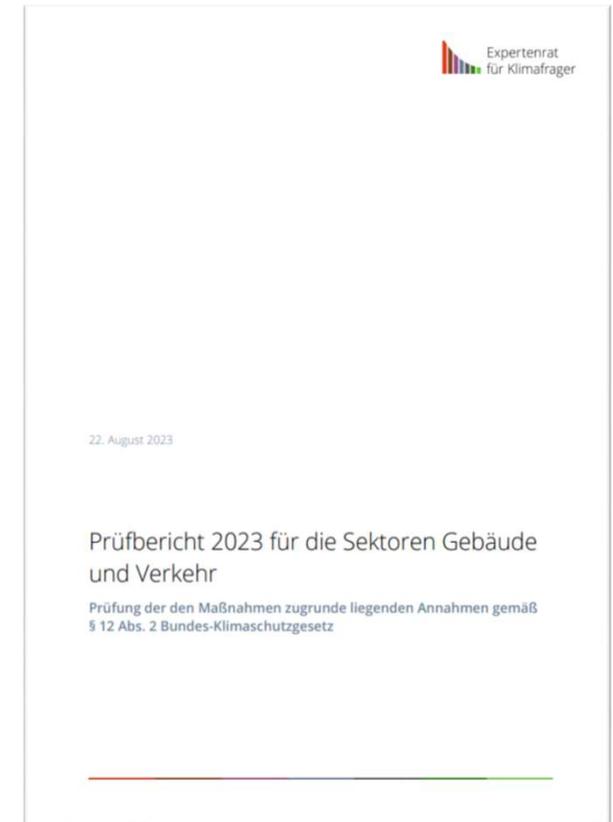
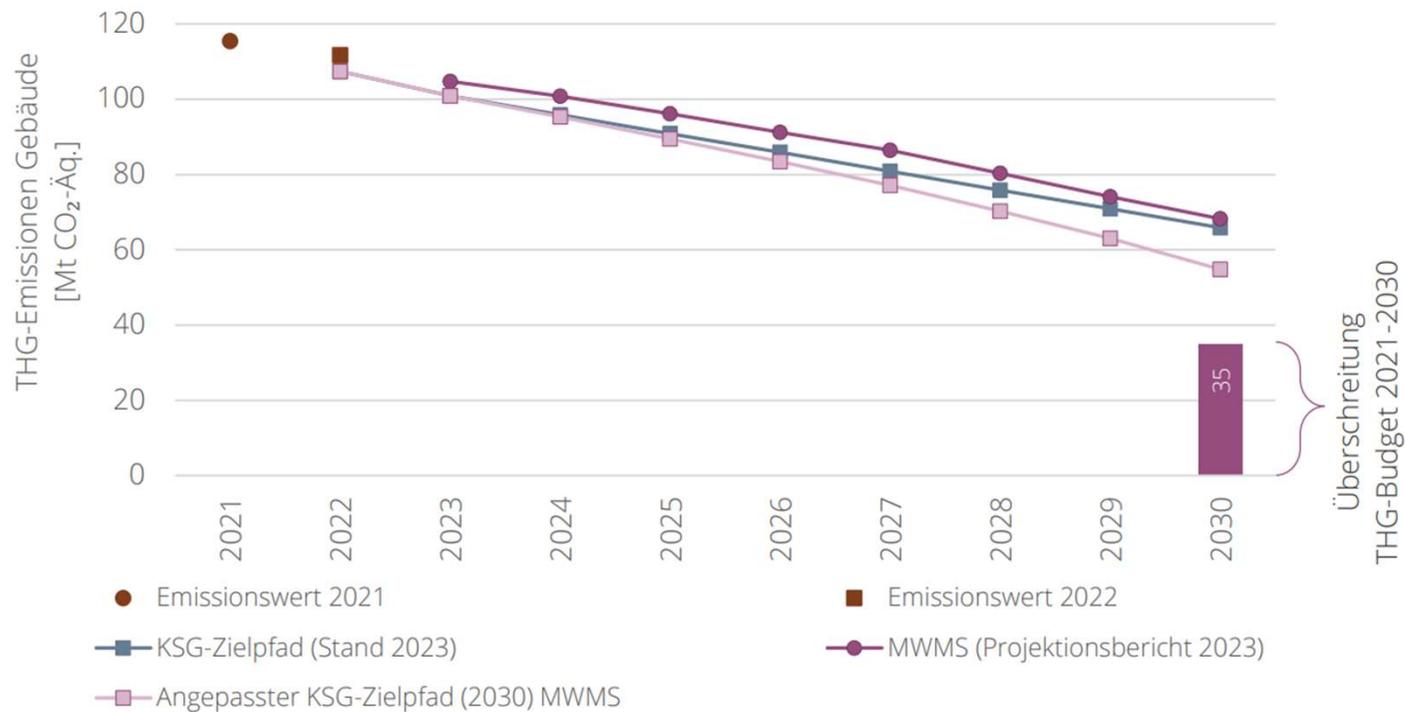
Prüfung der den Maßnahmen zugrunde liegenden Annahmen gemäß
§ 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz

Verfehlung der Klimaziele im Gebäudesektor

Maßnahmen und ihre Auswirkungen



Verfehlung der Klimaziele im Gebäudesektor THG-Emissionen





01

—
Wärmepumpen und Photovoltaik Technik

Ein paar Fragen zum aufwärmen...

Thema Wärmepumpe

Wie funktioniert eine Wärmepumpe?

Warum gelten Wärmepumpen als klimafreundlich?

Wo ist der Unterschied zwischen der Leistungszahl (COP) und der Jahresarbeitszahl (JAZ)?

Bei welchen Temperaturen arbeiten Wärmepumpen?

Woher kommt die viele Umweltwärme?

Warum sollte man die Wärmepumpe mit einer PV-Anlagen koppeln?

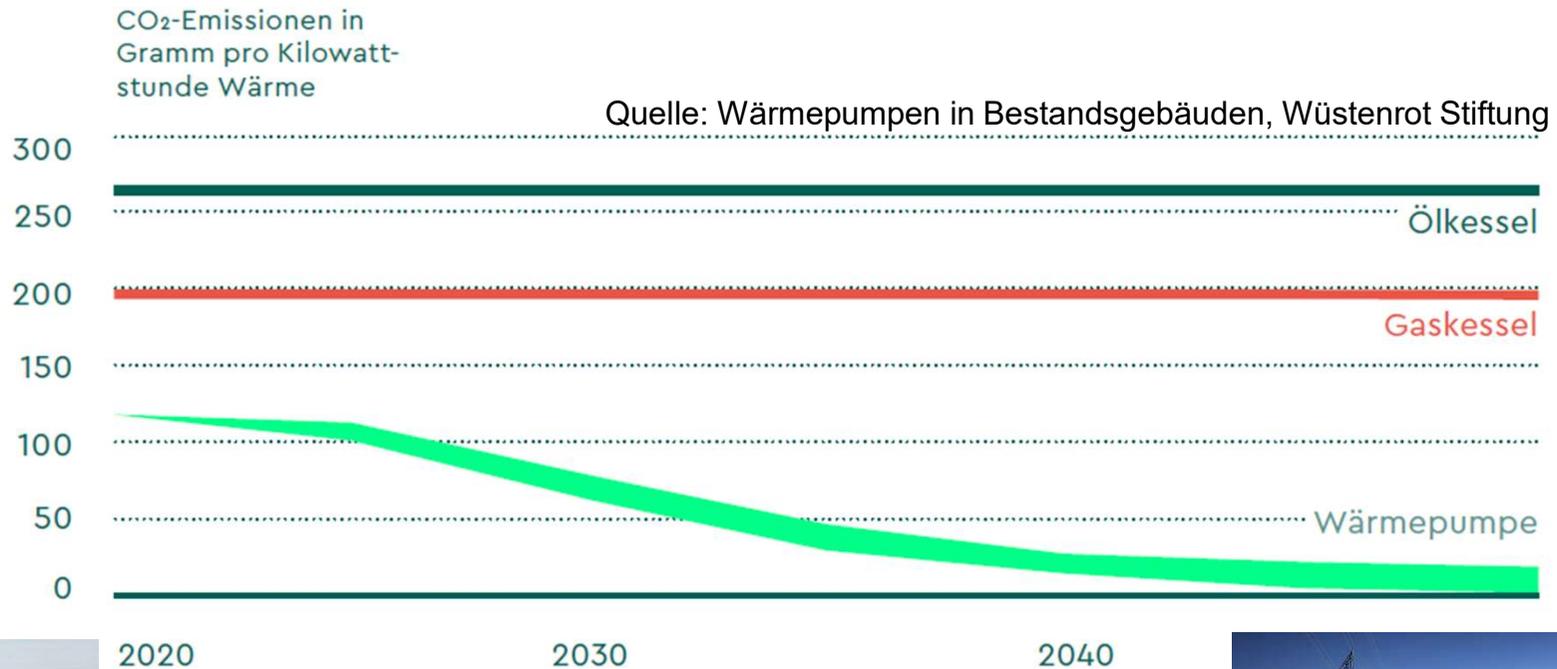


Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe ist eine Kraftwärmemaschine, die unter Aufwendung technischer Arbeit thermische Energie aus einem Reservoir mit **niedrigerer Temperatur** (in der Regel ist das die Umgebung) aufnimmt und – zusammen mit der **Antriebsenergie** – als Nutzwärme mit **höherer Temperatur** auf ein zu beheizendes System überträgt.

WP und PV: Technik

Klimafreundliche durch weniger CO2 Emissionen



2020



2030

2040



WP und PV: Technik

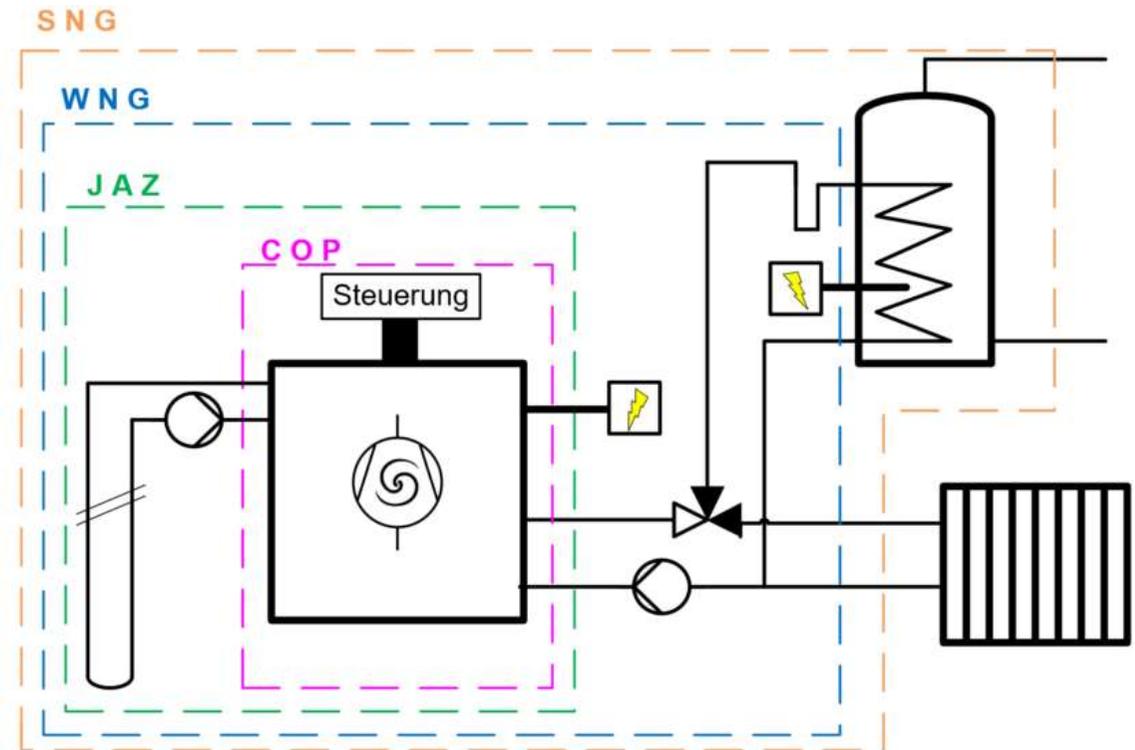
Übersicht – Energieeffizienz Kennzahlen

Systemnutzungsgrad (SNG)

Wärmenutzungsgrad (WNG)

Jahresarbeitszahl (JAZ)

Coefficient of Performance (COP)

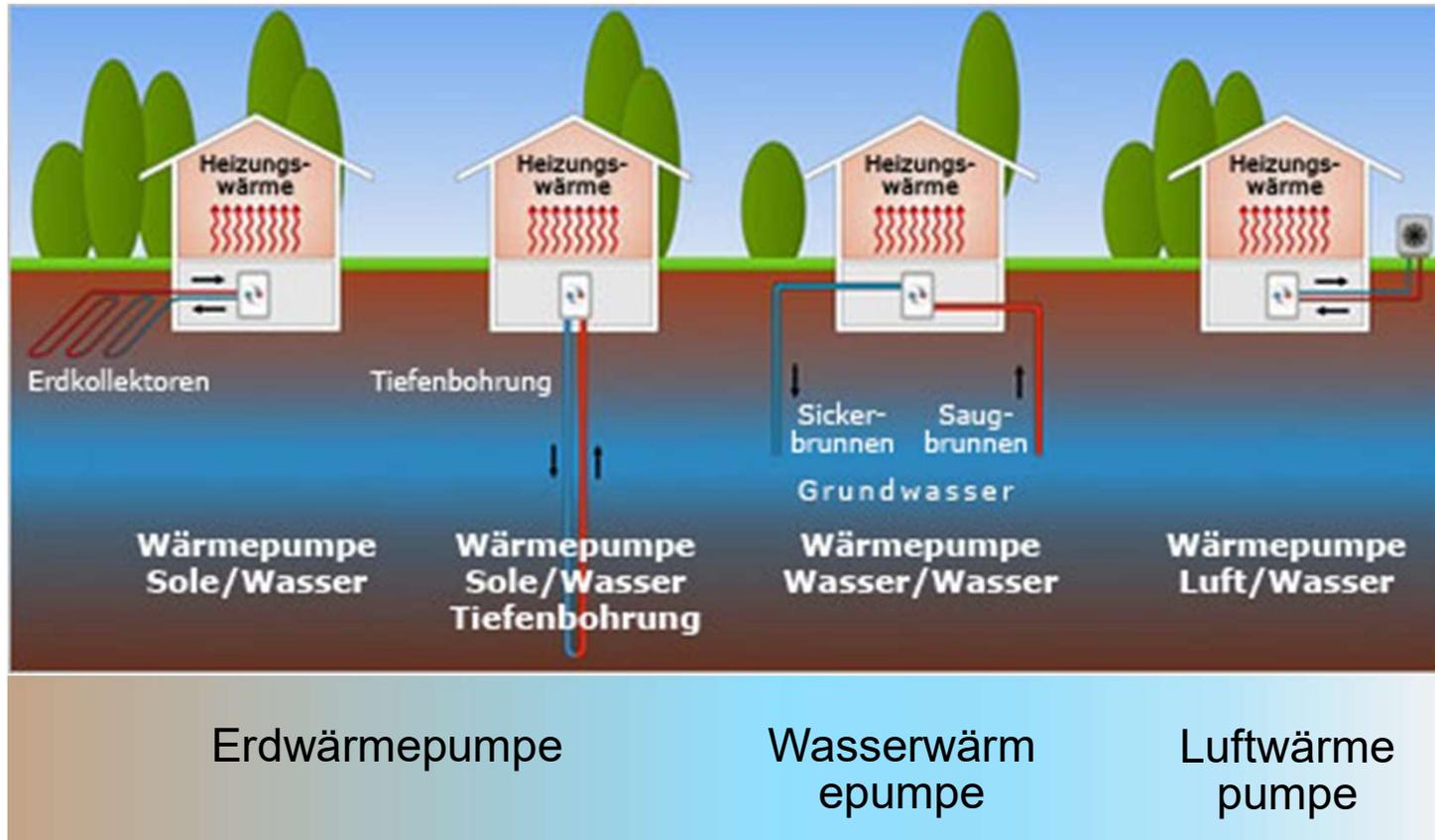


Quelle: www.gebaeudetechnik.ch

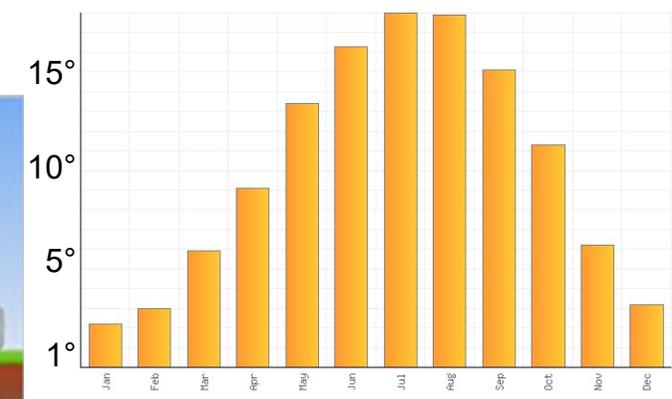
St. Bertsch, M. Berthold, M. Prinzing, M. Eschmann / 08. Januar 2021

WP und PV: Technik

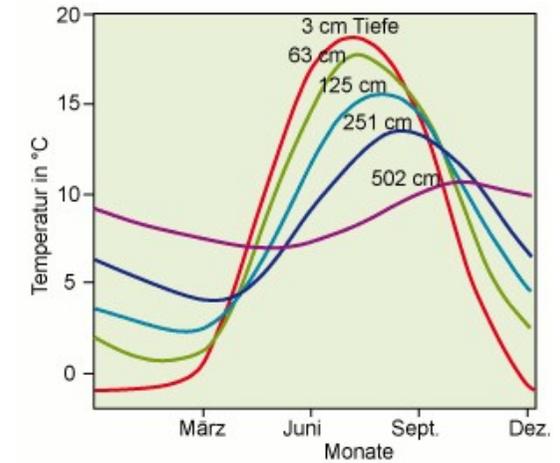
Umweltwärme



Mittlerer Temperaturverlauf pro Monat



Erdbodentemperatur für verschiedene Tiefen



WP und PV: Technik Betriebsweisen

Monovalent: Die Wärmepumpe deckt den gesamten Wärmebedarf

Bivalent (hybrid): Die Wärmepumpe wird mit einer zweiten Heizung kombiniert (Heizstab, Gaskessel, Ölkessel, ...)

Monoenergetisch: Die elektrische Wärmepumpe wird durch elektrische zweite Heizung ergänzt (Heizstab in Speicher oder WP)

Vorteile	Nachteile
einfacher Aufbau des Heizsystems, schnelle Installation und simple Regelung	hohe Anschaffungskosten
keine zusätzlichen Anschaffungs- und Betriebskosten für Zusatzheizung	
wartungsarm	
leicht bedienbar	
Versorgungssicherheit	
Förderung zwischen 25 und 40 Prozent	

Vorteile	Nachteile
Nutzung von bestehenden Wärmeerzeuger	wartungsintensiv
geringere Investitionskosten	umständlicher Aufbau der Anlage
Förderung möglich	aufwendige Regelung notwendig
Redundanz bietet Versorgungssicherheit	

WP und PV: Technik

...und mögliche weitere Komponenten

- PV-Anlagensystem mit Wechselrichter
 - Wärmepumpe
 - (Puffer) Speicher
 - Spitzenlastgerät (Heizstab)
 - 2. Wärmepumpe
 - 2. (Puffer) Speicher
 - Solarthermieanlage
- Gaskessel, Ölheizung (Hybridheizung)
 - Wärmemengenzähler
 - Stromzähler (Smartmeter)
 - Batteriesystem mit Wechselrichter
 - Wallbox für EKFz
 - Energiemanagementsystem



Quelle: FreePic, iStock

WP und PV: Technik

Einsatzbereiche

- Ein- und Zweifamilienhäuser
- Mehrfamilienhäuser und Quartiere
- Wärmenetzversorgung

- Neubauten
- Bestandsgebäude
- Altbauten

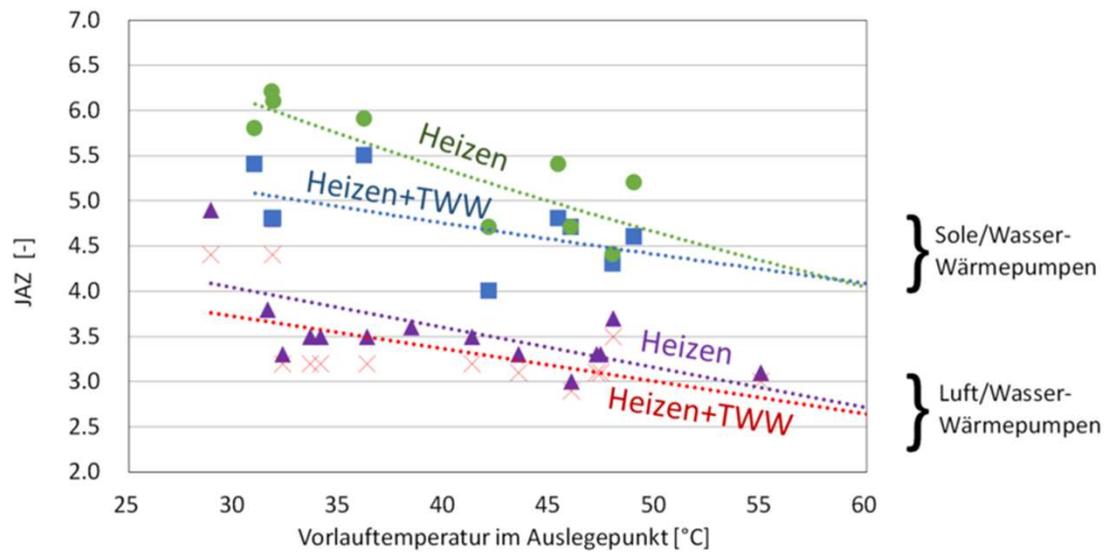


Quelle: FreePic, iStock

WP und PV: Technik

Übersicht – Energieeffizienz Messungen

Studie aus der Schweiz 2021



Vorlauftemperatur im Auslegepunkt	Neubau		Sanierung		Altbau	
	35-30 °C		45-40 °C		55-50 °C	
	Heizen	Heizen & TWW	Heizen	Heizen & TWW	Heizen	Heizen & TWW
LW-WP	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8
SW-WP	5.7	4.9	5.0	4.6	4.4	4.3

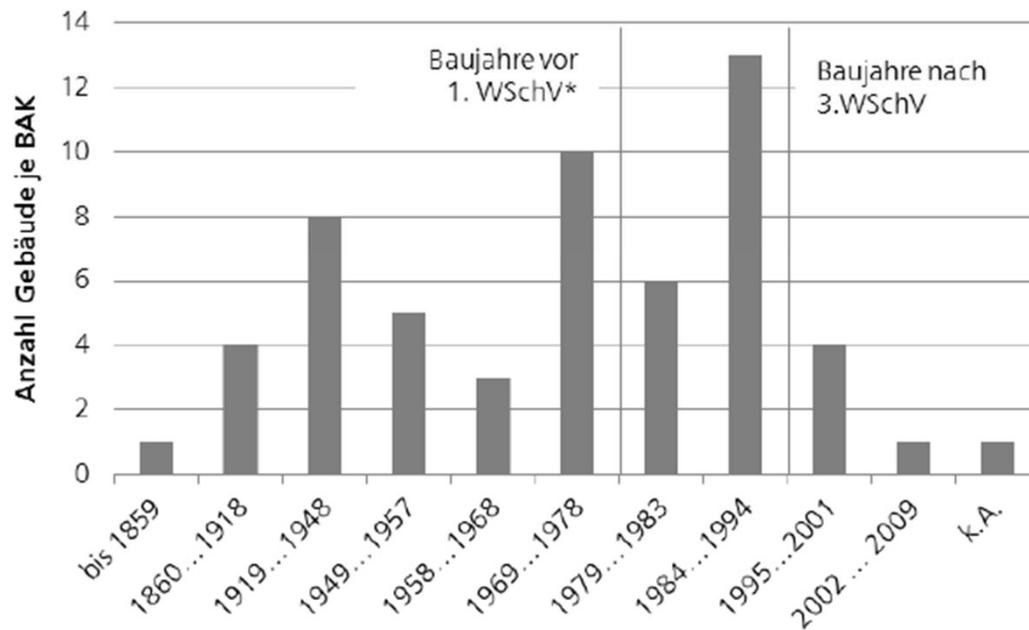
Quelle: www.gebaeudetechnik.ch

St. Bertsch, M. Berthold, M. Prinzing, M. Eschmann / 08. Januar 2021

WP und PV: Technik

Wärmepumpen im Bestand (Feldtest 100 WP)

- Baujahr bis 1979: 57 %
- Baujahr 1980 bis 1995: 32 %
- Baujahr 1996 bis 2005: 11 %



Abschlussbericht

WÄRMEPUMPEN IN BESTANDSGEBÄUDEN

ERGEBNISSE AUS DEM FORSCHUNGSPROJEKT „WPSMART IM BESTAND“



Version 2.1 (Stand: 23.07.2020)

[WPsmart im Bestand: Wärmepumpenfeldtest – Fokus Bestandsgebäude und smarterer Betrieb - Fraunhofer ISE](#)

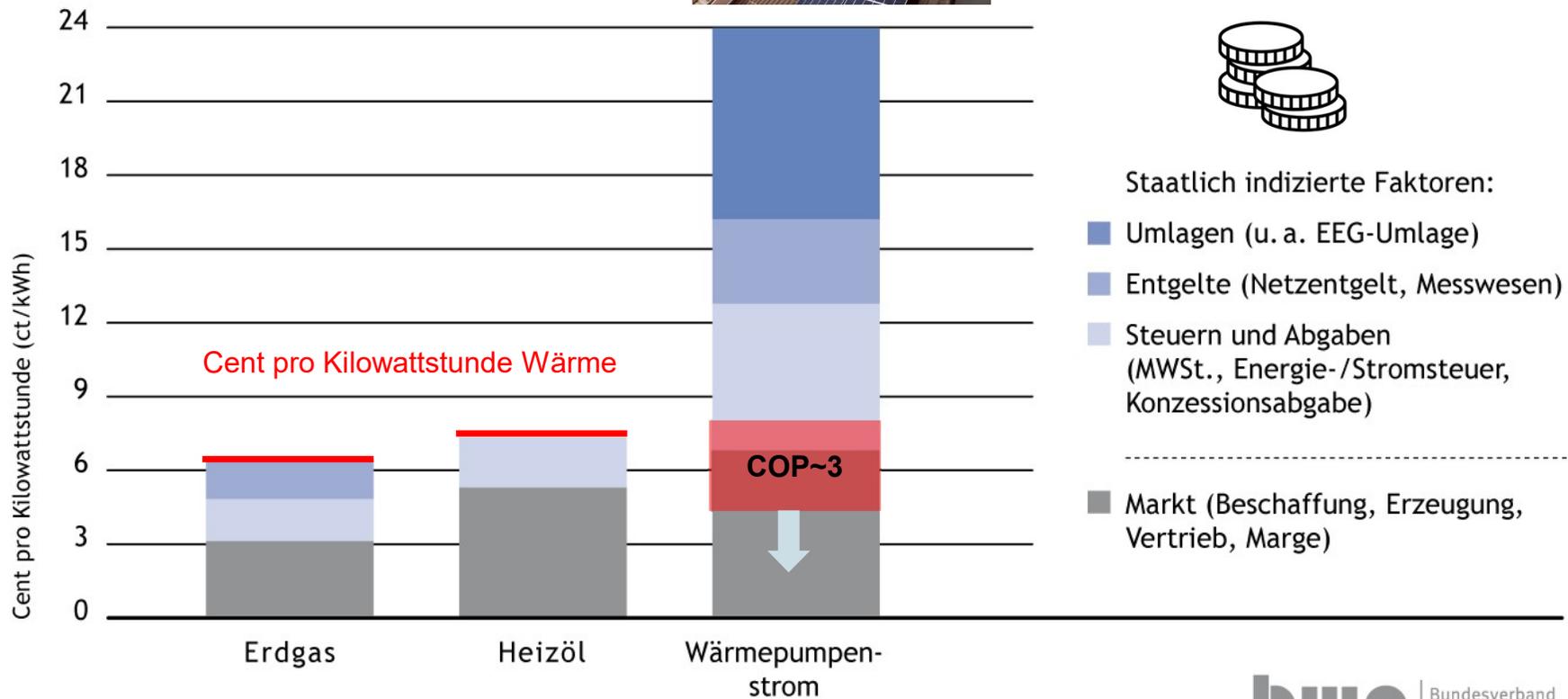
WP und PV: Technik Rahmenbedingungen

- Kosten
- Bestehender Wärmebedarf
- Bestehende Heizanlage
- Hoch- Mittel- und Niedertemperatursystem
- Platzbedarf
- Geräusentwicklung
- Messkonzepte
- Netzbetreiber/Stromnetz
- Liegenschaft als Teil eines Versorgungsgebiets



WP und PV: Technik

Kosten: Energieträgerpreise 2021





Lärmschutzverordnungen schreiben die **Grenzwerte für Lärm in Wohngebieten** vor. Die erlaubte Dezibel-Zahl beträgt dort:

- in Kern-, Misch- und Dorfgebieten: 60 dB(A) am Tag, 45 dB(A) in der Nacht
- in Wohn- und Kleinsiedlungsgebieten: 55 dB(A) am Tag, 40 dB(A) in der Nacht
- in Kurgebieten (einschließlich Gebiete in direkter Nähe zu Krankenhäusern und Pflegeheimen): 45 dB(A) am Tag, 35 dB(A) in der Nacht



Durchschnittliche Lautstärke

Luftwärmepumpe	ca. 48 – 57 dB(A) (innen)	ca. 56-63 dB(A) (außen)
Erdwärmepumpe	vernachlässigbar	
Grundwasserwärmepumpe	vernachlässigbar	

WP und PV: Technik Maßnahmen



- Einhausungen nutzen
- Eher Innenaufstellung oder Splitbauweise (Teilweise Innen- und Außenaufstellung)
- Nachtmodus (55 Dezibel am Tag, 35 Dezibel in der Nacht)
- Schallschluckender Untergrund (Holzboden, Rasenflächen)
- Nicht in leeren Raum aufbauen und/oder von Bausubstanz entkoppeln (e.g. Matte)
- Ausreichend Abstand zum Nachbarn (8 kW etwa 7m)
- Aufstellung mit Luftstrom zur Straße, keine Hindernisse im Luftstrom

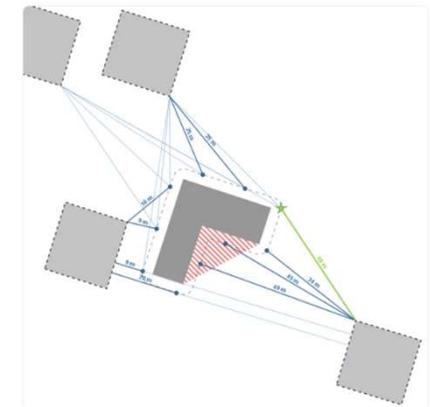
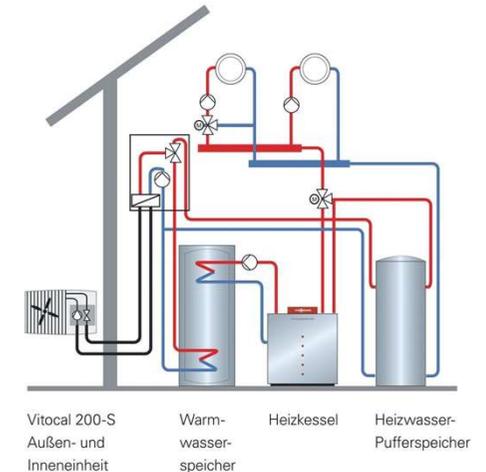


Abbildung: Ermittlung von Abständen zwischen Standorten für Luftwärmepumpen und Nachbarwohngebäuden (Gebäude: OpenStreetMap Mitwirkende)

WP und PV: Technik

Bundesverband für Wärmepumpe

[Schallrechner | Bundesverband Wärmepumpe \(BWP\) e.V. \(waermepumpe.de\)](https://www.waermepumpe.de)

[JAZ-Rechner | Bundesverband Wärmepumpe \(BWP\) e.V. \(waermepumpe.de\)](https://www.waermepumpe.de)

[Normen & Technik | Bundesverband Wärmepumpe \(BWP\) e.V. \(waermepumpe.de\)](https://www.waermepumpe.de)



AE Austria Email **bwp** Bundesverband Wärmepumpe e.V.

Schallberechnung

Generelle Angaben

Name: sfg

Angaben zur Luft-Wärmepumpe

Hersteller: Austria Email GmbH
Modell: LWP 10 AI
Schalleistung nach ErP: 62.00 dB(A)
Max. Schalleistungspegel im Tagbetrieb: 62.00 dB(A)
Max. Schalleistungspegel im schallreduzierten Betrieb: 58.00 dB(A)
Tonhaltigkeit: nicht hörbar

Immissionsrichtwert gemäß TA Lärm

Empfindlichkeitsstufe: allgemeines Wohngebiet / Kleinsiedlungsgebiet

Aufstellung

Raumwinkelmaß K0: +3 dB(A) WP frei aufgestellt, keine Wand näher als 3 m
Distanz (s) Quelle - Empfänger: 3 m
Abschirmung: Sichtkontakt: DI = 0 dB(A)

Mindestens ein Beurteilungspegel liegt über dem Immissionsrichtwert.

Tagbetrieb
Beurteilungspegel Lr: 50.5 dB(A)
Unterschreitung des Immissionsrichtwertes der TA Lärm um 4.5 dB(A)

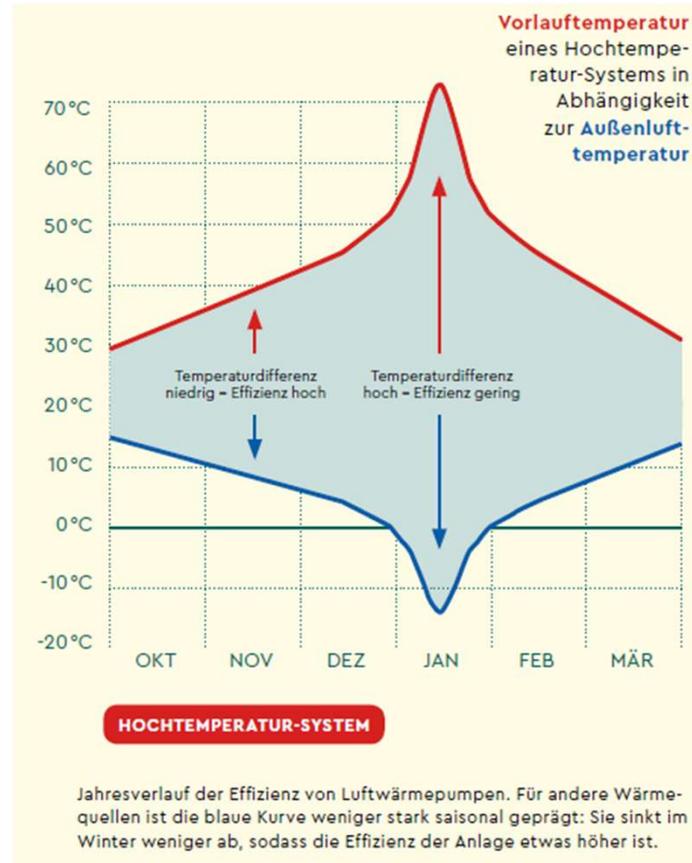
Nachtbetrieb (mit Schallreduzierung)
Beurteilungspegel Lr: 41.5 dB(A)
Überschreitung des Immissionsrichtwertes der TA Lärm um 1.5 dB(A)

WP und PV: Technik

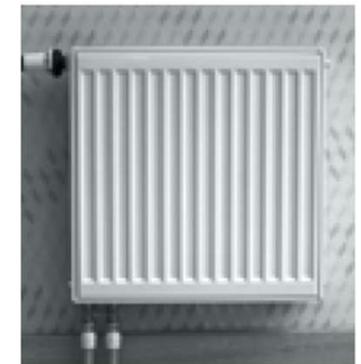
Temperaturniveaus: Hochtemperatursystem



Quelle: FreePic, iStock



Kleiner und schmaler Röhrenheizkörper



Kleiner Plattenheizkörper

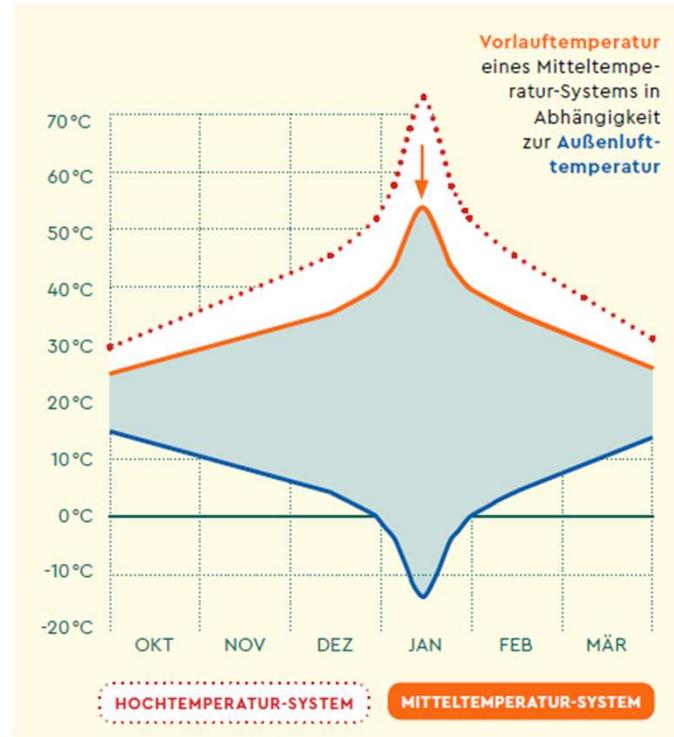
Quelle: Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, Wüstenrot Stiftung

WP und PV: Technik

Temperaturniveaus: Mitteltemperatursystem



Quelle: FreePic, iStock



Großer Plattenheizkörper



Großer und tiefer Gliederheizkörper

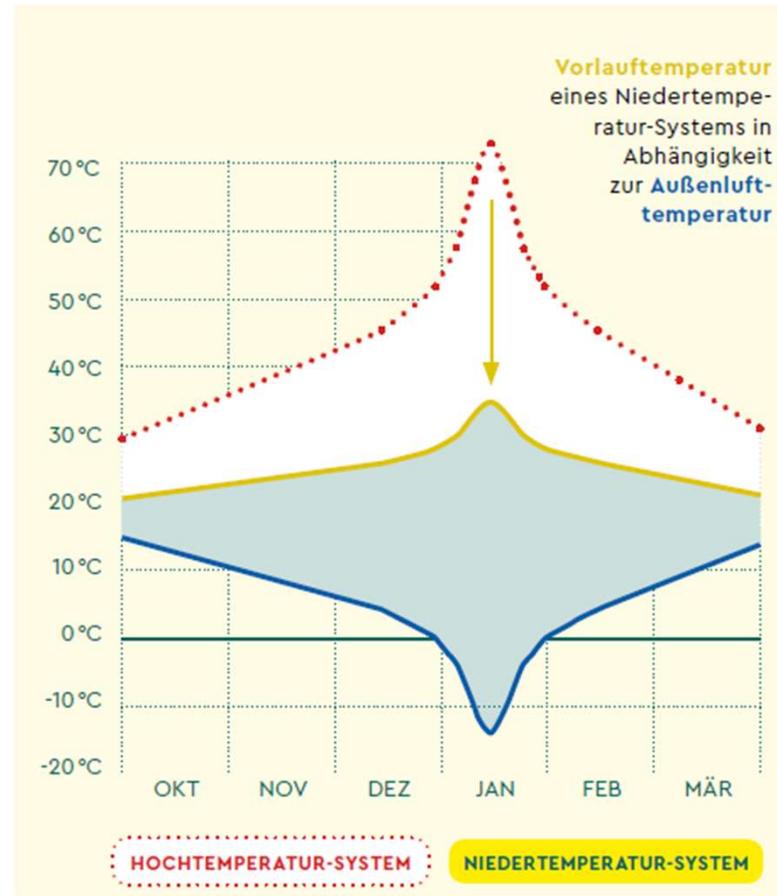
Quelle: Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, Wüstenrot Stiftung

WP und PV: Technik

Bestehende Heizungssysteme und Bestandsgebäude



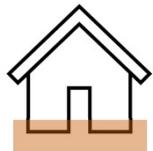
Quelle: FreePic, iStock



Quelle: Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, Wüstenrot Stiftung

WP und PV: Technik

Gebäudesanierung ist Reduzierung des Wärmebedarfs und damit der Energiekosten



Kellerdecke



Fenster, Türen



Dach



Wände



Quelle: FreePic, iStock

Auslegung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe

Gebäude eines mittelständigen Familienunternehmens im Sauerland

18.08.2023

Kontakt: Carsten.Tolle@ieg.fraunhofer.de



Quelle: istock, Bild stellt beliebiges ähnliches Gebäude dar

Definition der Anforderungen an das Wärmepumpensystem

- Gebäude wird saniert
- PV Anlage wird installiert zur Deckung der Grundlast im Gebäude, Einspeisung höchstens am Wochenende
- Die Berechnung der Heizlast und die genaue Auslegung der Komponente hat durch einen Fachplaner zu erfolgen
- Ein Anteil der Heizwärme und die Kälte für die Klimatisierung soll durch Sole-Wasser-WP bereitgestellt werden.
- Dafür wurden folgende Anforderungen definiert:

Teil Geothermie / Solewärmepumpe		
Heizleistung	260	kW
Vorlauftemp.	55	°C
JAZ	3.5	
Energie	435719	kWh
Volllaststunden	1676	

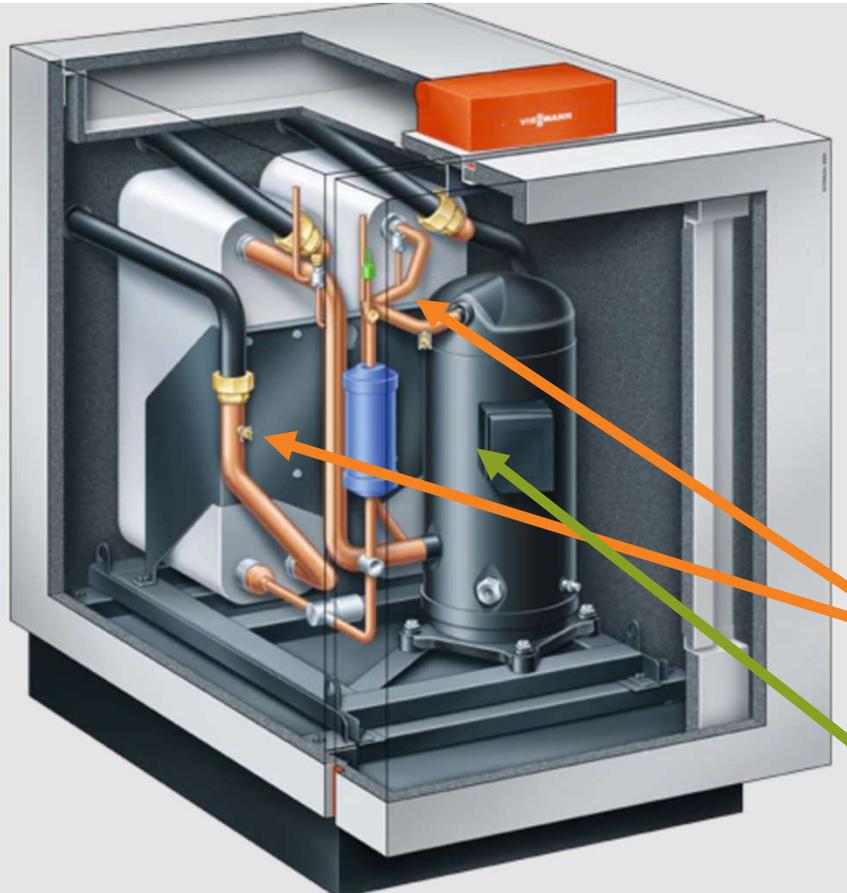
Bedingungen für einen effizienten Betrieb einer Wärmepumpe

Anpassung des Quellen- und Senken-Temperaturniveaus

- Die Effizienz einer Wärmepumpe der sogenannte COP gibt an, wie viel Wärmeenergie durch die eingesetzte elektrische Energie bereitgestellt werden kann.
- Der SCOP oder die JAZ gibt den leistungsgemittelten COP über ein Jahr an.
- Der COP steigt, wenn der Temperaturhub gering ist, also Quellen- und Senktemperatur nah beieinander liegen.
- Sole-Wasser-WP: Temperatur der Sole 3-8 °C **Vorteil der konstanten Quelltemperatur**
- Für die Vorlauftemperatur des Heizkreislaufes gilt: „So hoch wie nötig, so gering wie möglich“
- Das impliziert: Nutzung aller Heizflächen, Ausbau der Heizflächen, Hydraulischer Abgleich, Reduktion der Heizlast

Vorschlag 1: zwei Wärmepumpen 2* (2-stufig leistungsgeregelt)

Modell: Viessmann *Vitocal 300-G Pro BW 302.C(D)140*



- Abmaße (L*B*H):
1932*911*1650



- Zwei Wärmetauscher
- Verdichter/Drossel (abgeschirmt von Umgebung)

Quelle: Viessmann Deutschland

Vorschlag 1: zwei Wärmepumpen 2* (2-stufig leistungsgeregelt)

Modell: Viessmann Vitocal 300-G Pro BW 302.C(D)140

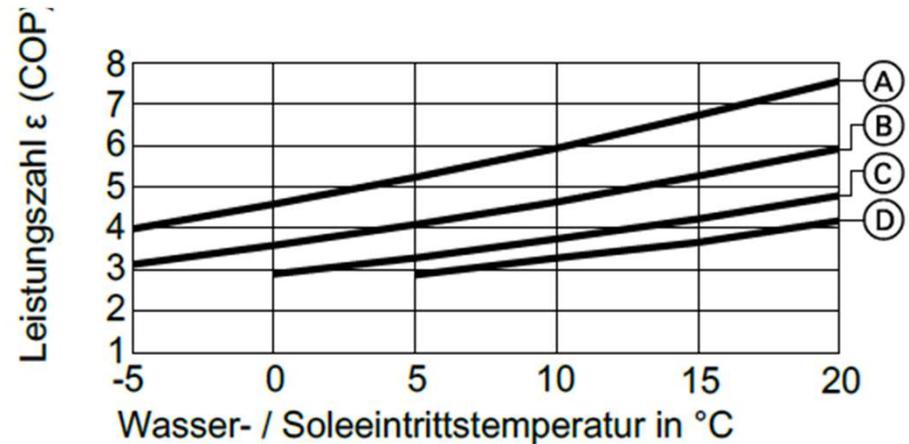
Leistungsdaten BW 302.CS140

Betriebspunkt	W °C B °C	35					
		-5	0	5	10	15	20
Heizleistung	kW	115,4	134,6	156	179,4	207	236
Kälteleistung	kW	88	106,6	127,8	150,8	177,4	206
Elektr. Leistungsaufnahme	kW	28,9	29,3	29,8	30,2	30,7	31,2
Leistungszahl ε (COP)		3,99	4,59	5,23	5,94	6,74	7,56

Betriebspunkt	W °C B °C	45					
		-5	0	5	10	15	20
Heizleistung	kW	111,2	129	148,4	170,4	195,2	223
Kälteleistung	kW	77,4	95	113,8	135,6	160	187,4
Elektr. Leistungsaufnahme	kW	35,5	35,9	36,2	36,7	37	37,6
Leistungszahl ε (COP)		3,13	3,59	4,10	4,64	5,28	5,93

Betriebspunkt	W °C B °C	55				
		0	5	10	15	20
Heizleistung	kW	127,6	145,4	166,6	189	215
Kälteleistung	kW	85,8	103,4	124,4	146,6	172,2
Elektr. Leistungsaufnahme	kW	44	44,2	44,4	44,6	44,8
Leistungszahl ε (COP)		2,90	3,29	3,75	4,24	4,80

- (A) $T_{HV} = 35 \text{ °C}$
- (B) $T_{HV} = 45 \text{ °C}$
- (C) $T_{HV} = 55 \text{ °C}$
- (D) $T_{HV} = 60 \text{ °C}$



- Die Kombination aus zwei Wärmepumpen kann ganzjährig eine Heizleistung von 260 kW gewährleisten
- Allerdings: Grenze der Wirtschaftlichkeit je nach Tarif bei einem COP von 3-4

Vorschlag 2: eine Wärmepumpe (4-stufig leistungsgeregelt)

Modell: IDM Energiesysteme GmbH TERRA SW 280 Max

	Q kW	Q _k kW	P kW	COP	
VL: 35°C	-5	238,77	178,63	60,14	3,97
	-2	261,02	201,18	59,84	4,36
	0	275,59	215,81	59,78	4,61
	2	289,60	229,51	60,10	4,82
	5	310,04	249,11	60,93	5,09
	7	323,82	262,49	61,33	5,28
VL: 45°C	-5	231,85	157,78	74,07	3,13
	-2	250,96	176,74	74,22	3,38
	0	263,94	189,59	74,35	3,55
	2	277,42	202,86	74,56	3,72
	5	298,17	223,22	74,94	3,98
	7	311,86	236,71	75,15	4,15

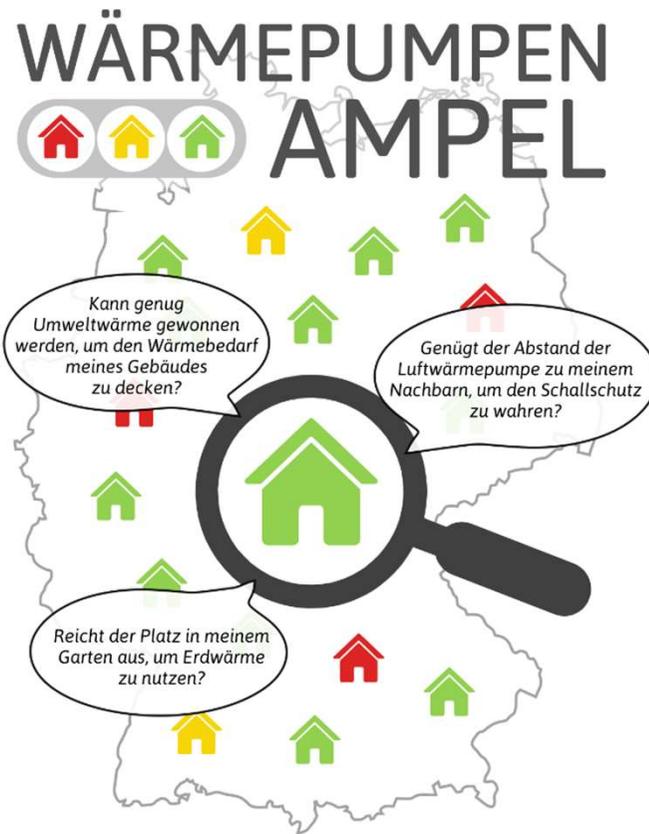
	Q kW	Q _k kW	P kW	COP	
VL: 55°C	-5	227,45	136,47	90,98	2,50
	-2	243,93	155,11	88,82	2,75
	0	255,51	167,71	87,81	2,91
	2	268,37	180,62	87,75	3,06
	5	289,00	200,35	88,65	3,26
	7	302,40	213,46	88,94	3,40



- Die Wärmepumpe kann ganzjährig eine Heizleistung von 260 kW gewährleisten
- Allerdings: Grenze der Wirtschaftlichkeit je nach Tarif bei einem COP von 3-4

WP und PV: Technik Wärmepumpenampel

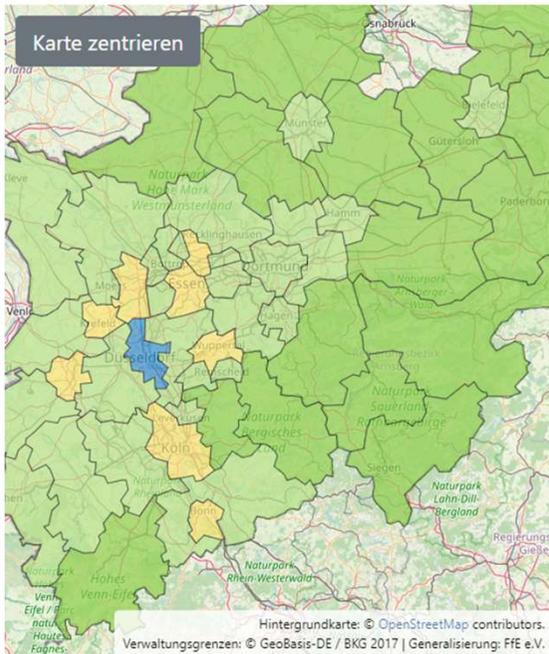
Wärmepumpen-Ampel – FfE



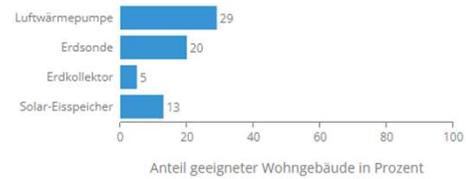
WP und PV: Technik Wärmepumpenampel

Wärmepumpen-Ampel – FfE

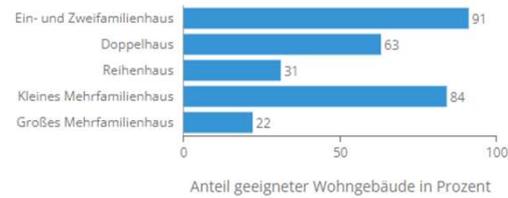
100 % bis 80 % 79 % bis 60 % 59 % bis 40 % 39 % bis 20 % 19 % bis 0 %



Wärmepumpen-Potenzial je Technologie
in Düsseldorf, Kreisfreie Stadt



Wärmepumpen-Potenzial je Gebäudetyp
in Düsseldorf, Kreisfreie Stadt



- Aufteilung nach Technologie
- Aufteilung nach Gebäudetyp

[Zurück zur Deutschlandkarte](#)

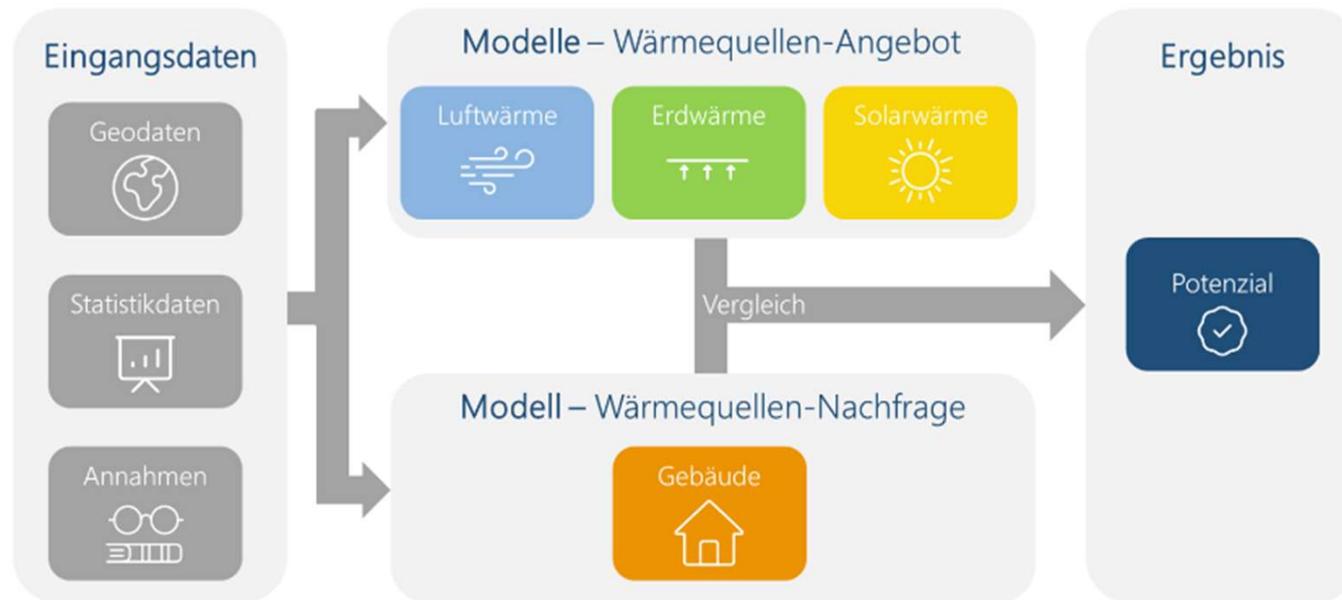
Sie möchten unseren Algorithmus für Ihr eigenes
Gebäude nutzen?

[Zum Einzelgebäude-Rechner](#)



WP und PV: Technik Wärmepumpenampel

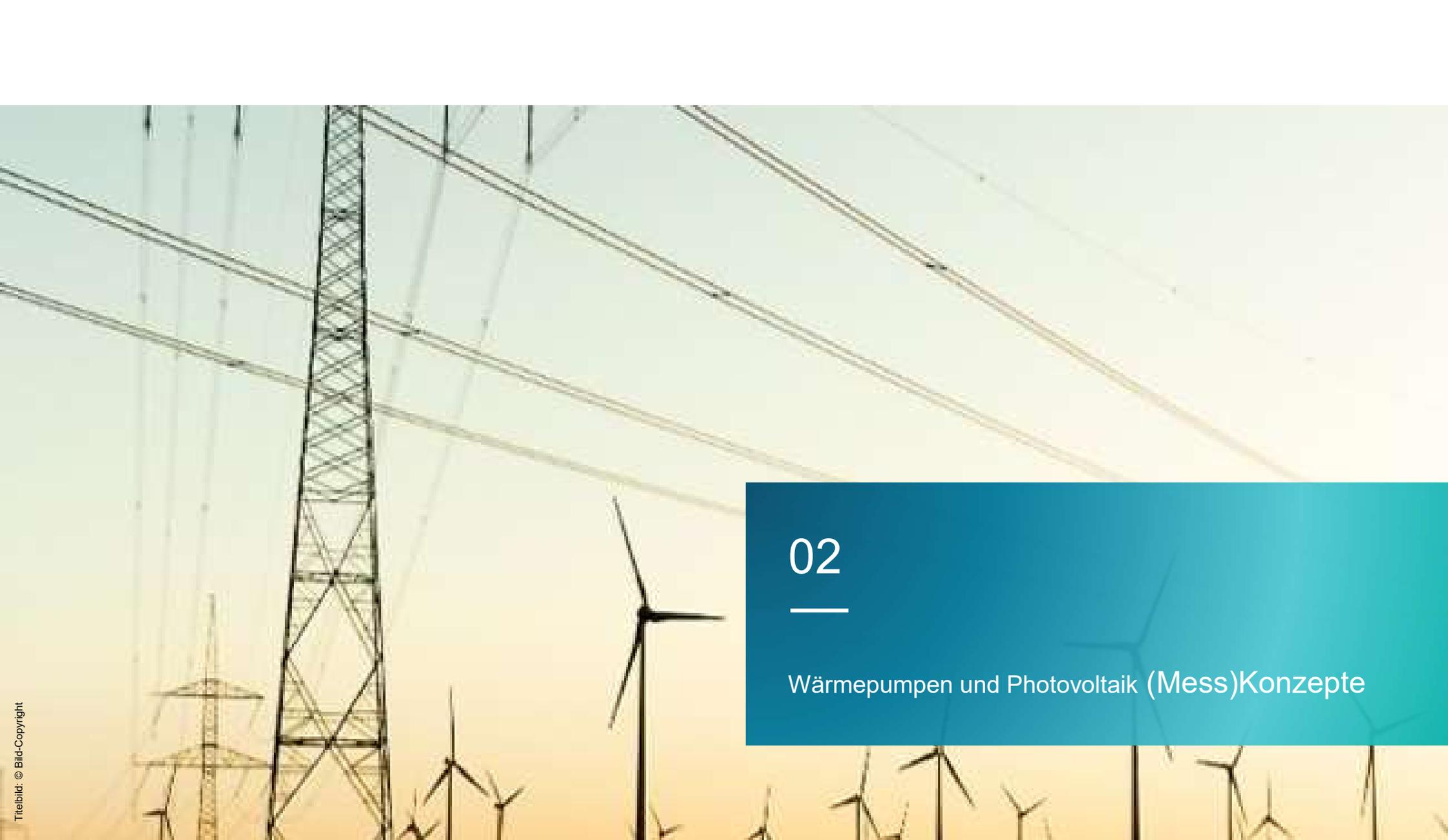
Wärmepumpen-Ampel – FfE



WP und PV: Technik

Pause für Fragen





02

Wärmepumpen und Photovoltaik (Mess)Konzepte

Titelbild: © Bild-Copyright

WP und PV: (Mess)Konzepte Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude

- 5 geschossiges Bürohochhaus KB4 im Businesspark „Airport City“ am Düsseldorfer Flughafen
- Wärmepumpen **Kaskade***) von 9 Wärmepumpen

Wärmepumpenkaskade*):

Zusammenschaltung von mehreren Wärmepumpenanlagen

- Sicherheit bei Ausfall eines Geräts
- Wärmebedarf lässt sich variabel anpassen
- BAFA Förderung für jede Wärmepumpe

Kaskade sinnvoll wenn:

- Große Heizleistung
- Heiz, Warmwasser, Kühlbedarf schwankt
- Hohe Anlagenverfügbarkeit erwartet wird



Neun in Kaskade geschaltete Wärmepumpen beheizen das neue Bürogebäude in der "Airport City" in Düsseldorf (Foto: Mitsubishi)

*)Mit dem Begriff **Kaskadierung** bezeichnet man in der Elektrotechnik und Elektronik die Hintereinanderschaltung bzw. Verkettung mehrerer Module/Baugruppen.

WP und PV: (Mess)Konzepte Wärmepumpenkaskade

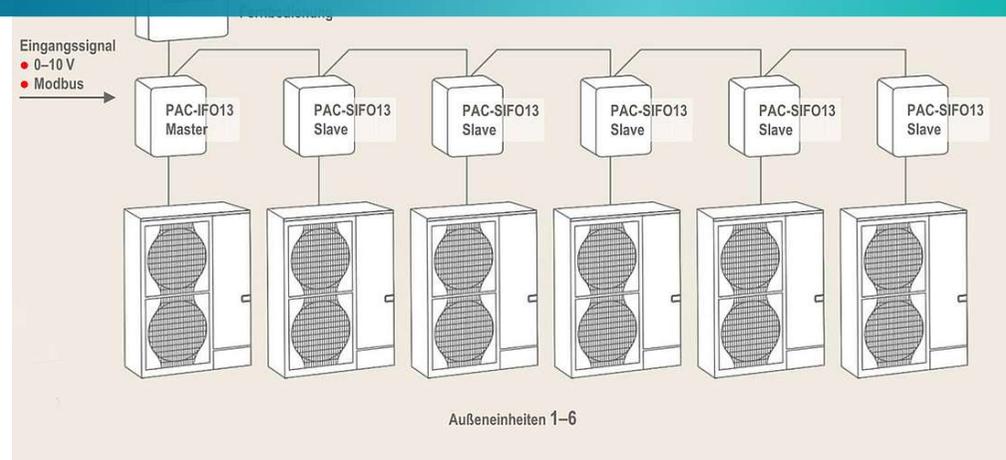
Neue Regelungen:

- Vermeidung eines häufigen ein- und ausschalten
- Häufiges Takten der Verdichter vermeiden
- Führungsgröße: Temperatur
- „First-in First-out Prinzip“
- Kombination von kleinen (Warmwasser) und großen (Heizen) WP



Der Einsatz mehrerer Wärmepumpen mit kleiner Leistung ermöglicht die **Nutzung von selbst erzeugtem Photovoltaik-Strom**. Dies gilt insbesondere in Phasen, in denen nur geringere Leistungen durch die PV-Anlage zur Verfügung gestellt werden können.

Haustec.de



WP und PV: (Mess)Konzepte

Projekt »LC R290 - Low charge HP solutions«

Entwicklung von WP für Bestandsgebäude als Ersatz von Öl- und Kellerheizungen (hoher HV, hoher Leistung)

Zentral Nutzung von WP:

Austausch der Gas- oder Öl Kellerheizung –
Entwicklung von WP mit größerer Leistung durch das Nutzung des Kältemittels Propan

Dezentral Nutzung von WP:

Austausch der Etagenheizung –
Ziel: Nutzung von <150 Gramm Kältemittel Propan

Kontakt: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
Projektleitung: lena.Schnabel@ise.fraunhofer.de
Fraunhofer ISE



WP und PV: (Mess)Konzepte

Mieterregelung im Solarpaket 1

EnWG §42a „Mieterstromverträge“

- „gebäudenah produzierter Strom“, Gebäude oder Quartier
- Ohne Nutzung des öffentlichen Netzes
- 2022 keine EEG Umlage mehr
- Zuschlag nach §21 Absatz 3 EEG
- Mieterstromzuschlag ~2-4 Cent pro kWh (20 Jahre)
- Mieterstrom Contracting möglich (Energieversorger Netzbetreiber, Dienstleister)

EnWG § 42b „Gemeinschaftliche Gebäudeversorgung“

- Gebäudestromverträge
- Stromlieferungsmengen
- Festlegung eines möglichen Entgelts in ct/kWh
- allgemeine Regelungen zum Betrieb
- Erhalt und Wartung der Anlage
- Regeln zur Abrechnung
- Rechtzeitige Ankündigung bei Versorgungsunterbrechungen

Für die Strommengen, die durch den günstigen Dachstrom nicht abgedeckt werden können, können Mieterinnen und Mieter künftig einen günstigen **Ergänzungstarif** mit einem Stromversorgungsunternehmen abschließen.



WP und PV: (Mess)Konzepte

Grundlagen Messkonzepte



Was ist ein Messkonzept?

Ein Messkonzept hilft Ihnen dabei, ein strukturiertes und umfassendes Bild über den Aufbau der energetischen Infrastruktur im Betrieb zu erhalten. Vorliegende und gewünschte Anwendungen (z.B. Erzeugungsanlage, Energiespeicher, Ladestation oder Wärmepumpe) werden auf die **benötigten Messpunkte** aufgeschlüsselt.

Warum werden Messkonzepte benötigt?

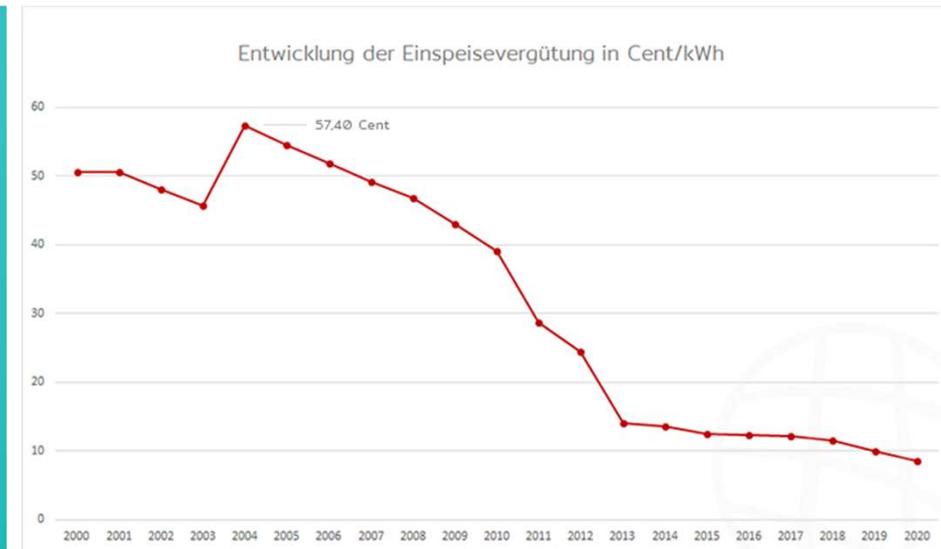
Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bzw. dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) erhalten Sie Förderungen für den eingespeisten und erzeugten Strom. Um die Vergütung in Anspruch nehmen zu können, sind Messkonzepte notwendig. Die Auswahl des Konzeptes liegt grundsätzlich beim **Anlagenbetreiber**. Die Prüfung auf Einhaltung des EEG, KWKG und den technischen Anschlussbedingungen liegt beim **Netzbetreiber**.

WP und PV: (Mess)Konzepte Vergütungen - Historie

- Photovoltaik: Volleinspeiser, Nulleinspeiser, Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung
- Wärmepumpe: **Vergünstigter Wärmepumpentarif** beim Energieversorger

Historie

- EEG 2012 Vergüteter Eigenverbrauch entfiel am 1. April 2012
- EEG 2014 Zahlung der EEG Umlage auf eigenverbrauchten Strom
- PV Anlagen ab 24. Juli 2017 Mieterstromzuschlag, wenn der Strom in „unmittelbare räumliche Zusammenhang“ verbraucht wird.
- EEG 2021 „unmittelbare räumliche Zusammenhang“ wurde durch Quartiersbegriff ersetzt (§ 21 Abs. 3 Satz 1 Nr. 1 EEG 2021)
- EEG 2023 Umlage auf Eigenverbrauch (ab 1.1.2023 abgeschafft §§ 3 Nr. 19 sowie 59 bis 69 EEG 2023)



Quelle: X2ENERGY

WP und PV: (Mess)Konzepte

EnWG 14a: Reduzierte Netzentgelte

Steuerbare Lasten für den Netzbetreiber

Die neue Fassung des § 14a EnWG (01.01.2023) sieht eine Reduzierung der Netzentgelte für diejenigen Verbraucher vor, die mit dem Netzbetreiber eine Vereinbarung über die Netzorientierte Steuerung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen oder von Netzanschlüssen mit steuerbaren Verbrauchseinrichtungen abgeschlossen haben.

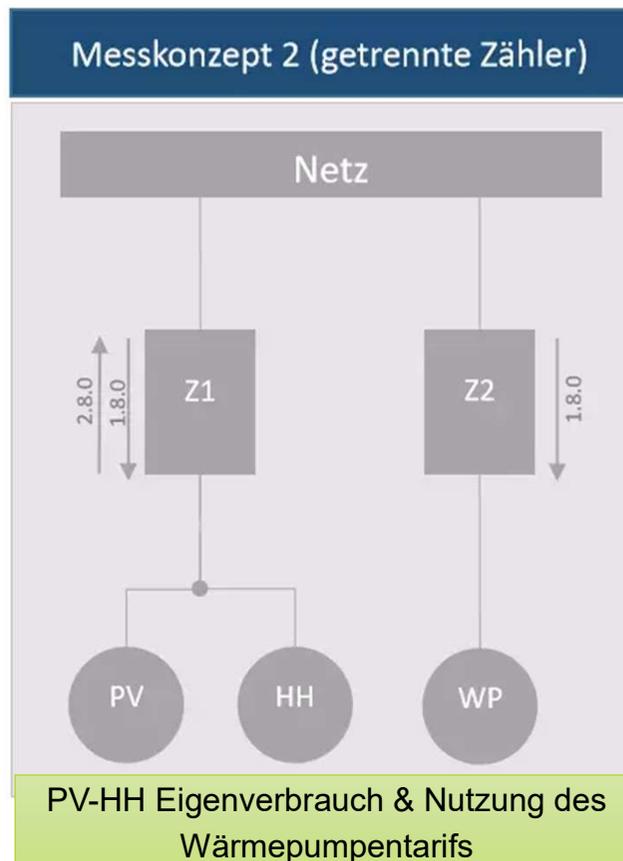
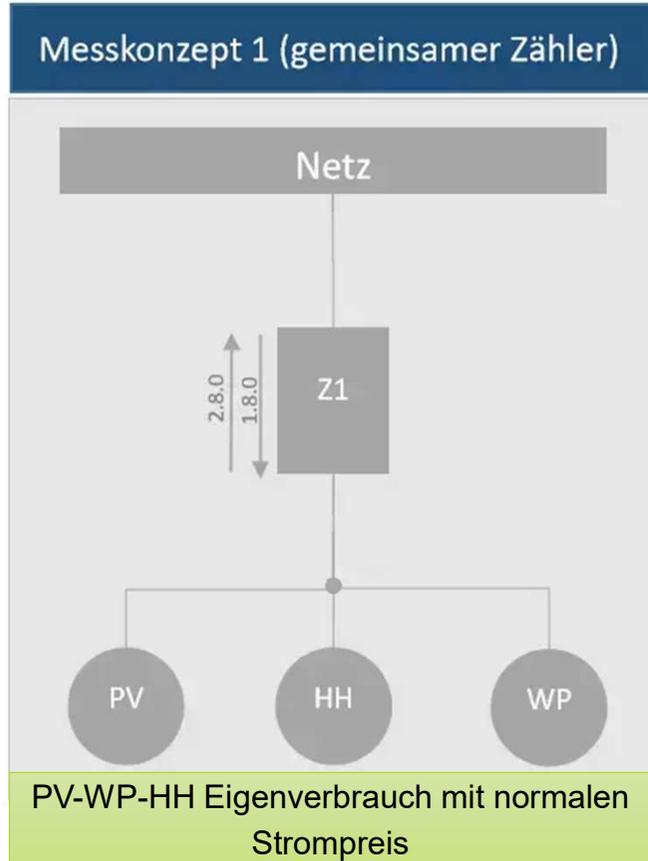
(3) Als steuerbare Verbrauchseinrichtungen im Sinne von Absatz 1 und 2 gelten insbesondere Wärmepumpen, nicht öffentlich-zugängliche Ladepunkte für Elektromobile, Anlagen zur Erzeugung von Kälte oder zur Speicherung elektrischer Energie und Nachtstromspeicherheizungen,



Nutzung eines Tonfrequenzrundsteuerempfänger

WP und PV: (Mess)Konzepte

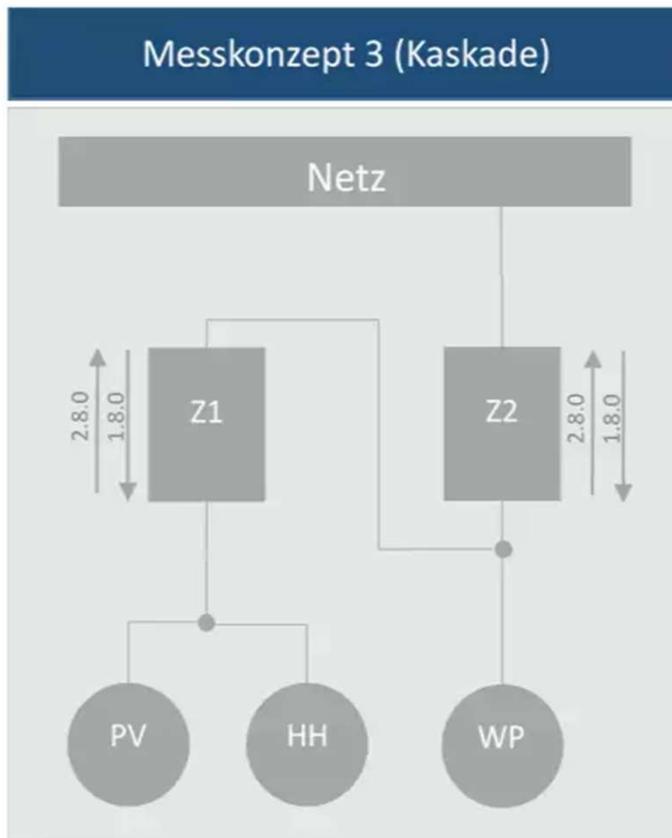
Messkonzept im Einfamilienhaus



- PV Photovoltaik
- HH Haushaltslast
- WP Wärmepumpe
- Z1 2-Wegezähler
- Z2 Verbrauchszähler

WP und PV: (Mess)Konzepte

Messkonzept im Einfamilienhaus



- Nutzung der PV-Anlage neben Eigenverbrauch der Haus auch zur Einsparung von Heizkosten
- Nutzung eines preisgünstigen Wärmepumpentarifs

Die Kaskadenschaltung*) kann beides!

$$Z1 = HH - PV \text{ (neg. wenn } PV > HH \text{)}$$

$$Z2 = WP + Z1 \text{ (} Z1 < 0 \text{)}$$

wenn PV Überschuss besteht und nutzt diesen als WP Strom)

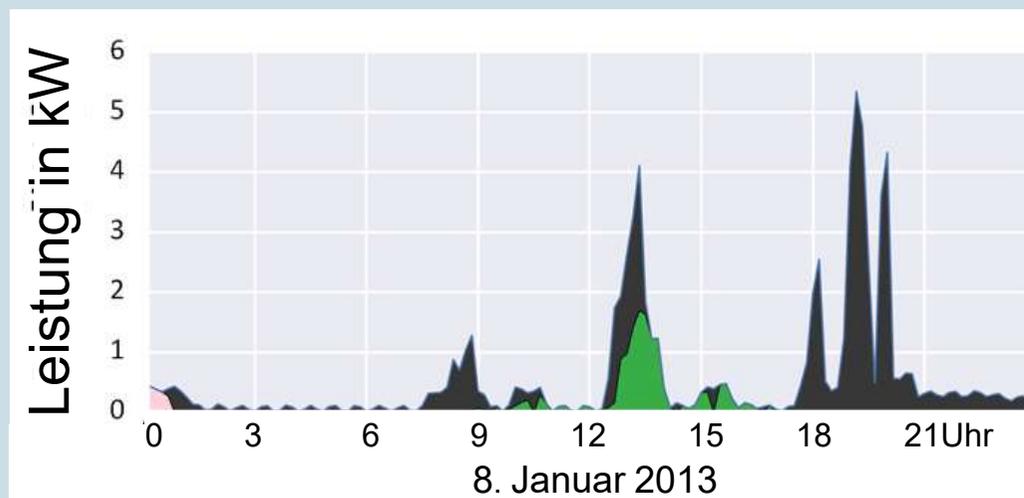
Restliches PV wird eingespeist, notwendiger Netzstrom wird bezogen

WP und PV: (Mess)Konzepte

PV-Eigenverbrauch



Stromverbrauch mit (natürlicher) PV Eigenstromnutzung (etwa 30% im Jahr)

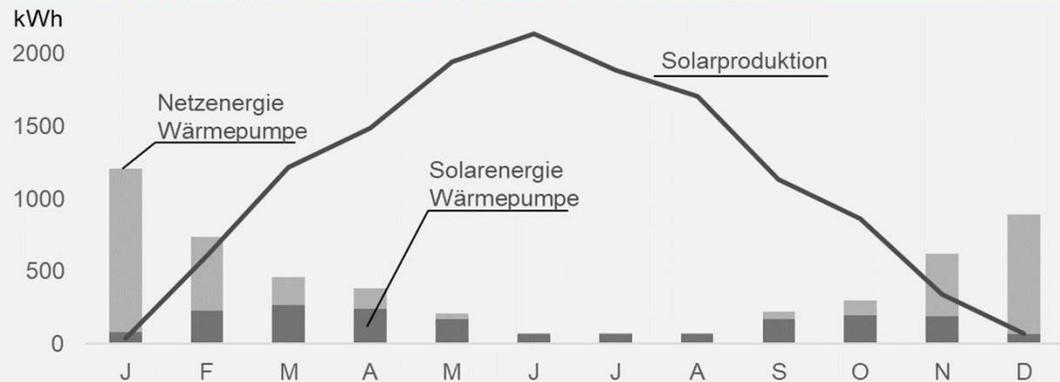


WP und PV: (Mess)Konzepte

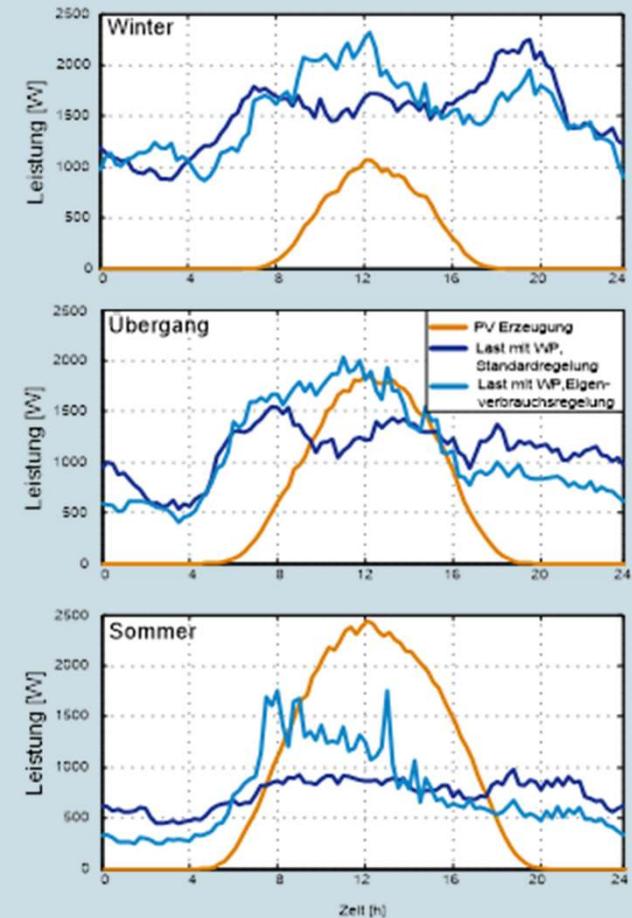
PV-Eigenverbrauch mit Wärmepumpe

Historie

- Wärmebedarf und PV-Erzeugung verhalten gegensätzlich! Trinkwarmwasser fällt das ganze Jahr an.
- Übereinstimmung erhält man im Frühling und Herbst.
- Auf Anlagendimensionierung achten.
- Nutzung des PV-WP Systems als Flexibilität durch smarte Steuerung oder Pooling



Stromverbrauch mit PV Eigenstromnutzung



WP und PV: (Mess)Konzepte

Pause für Fragen



WP und PV: Potentiale Nutzung als Flexibilität im Energiesystem

PV System mit Wechselrichter

Wärmepumpe

Wärmespeicher

Batteriespeicher

Energiemanagementsystem, Smarte Steuerung

Informations- und Kommunikationstechnologie



WP und PV: Potentiale Flexibilität im Energiesystem

Flexibilität:

„Die Änderung der Energieerzeugung oder des Energieverbrauchs als Reaktion auf ein externes Signal (Preissignal oder anderes) mit dem Ziel, eine Dienstleistung für das Energiesystem zu erfüllen.“

Zeit (Dauer, Reaktionszeit)

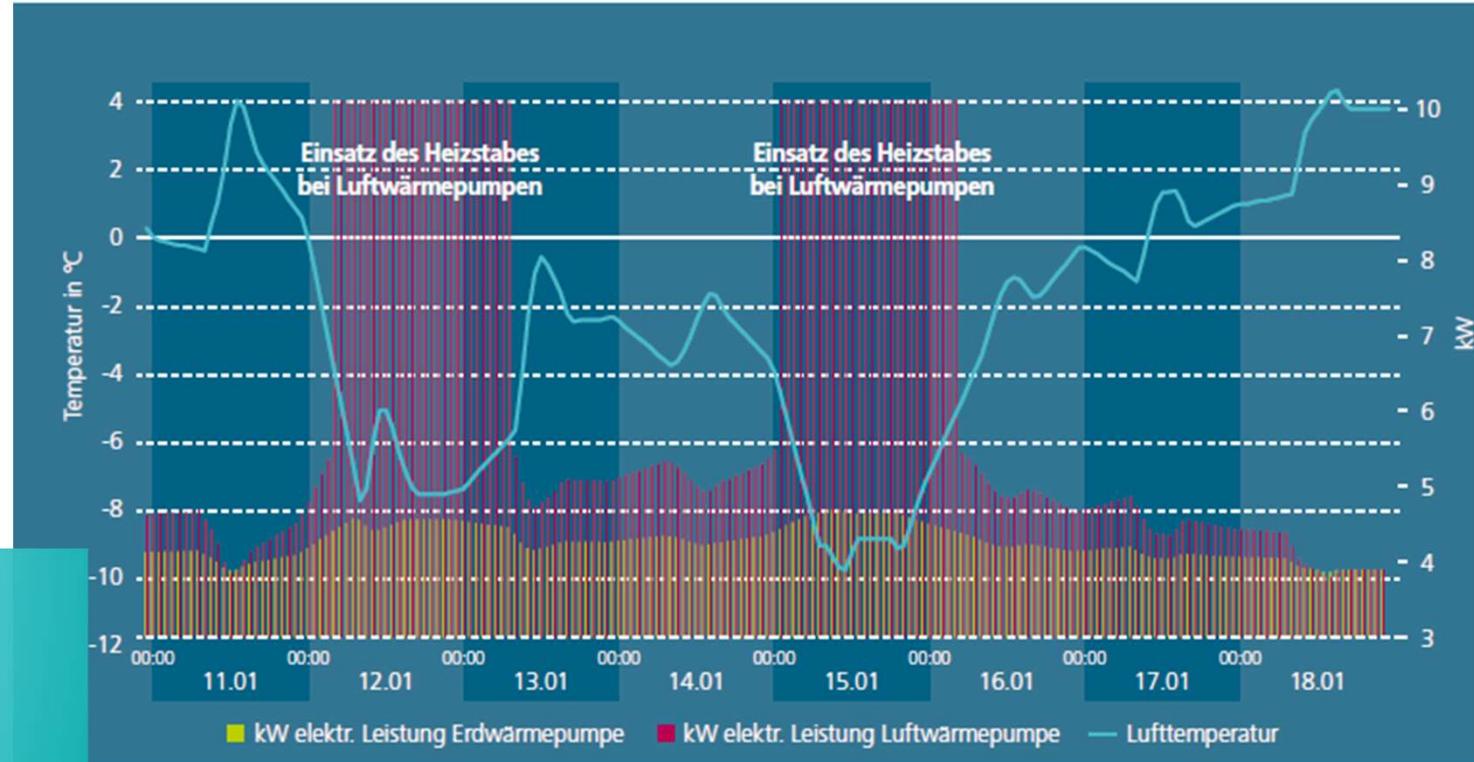
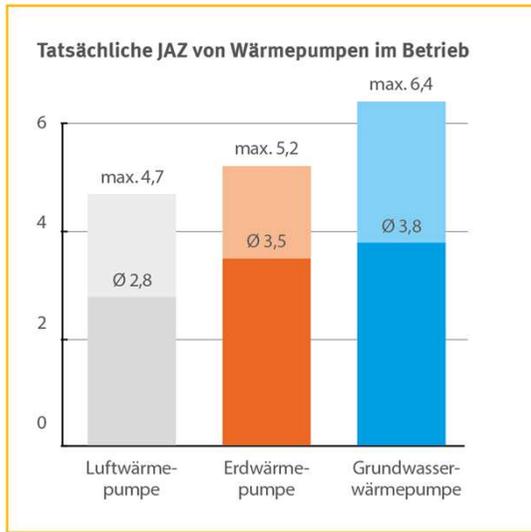
Region (EU, Deutschland, Haushalt)

Technologie (Wärmepumpe, Batterien, aber auch Energiemanagement, Optimierung, KI)

Anwendung (Markt, Engpassmanagement, Systemdienstleistungen)

WP und PV: Potentiale

Elektrische Lastspitzen bei Luftwärmepumpen mit Heizstab



Effizienz von Stromheizsystemen

Erd-WP 4:1 10 kW Wärme => ~4 kW Strom
 Luft-WP 3:1 10 kW Wärme => ~5 kW Strom
 Heizstab 1:1 10 kW Wärme => ~10 kW Strom

Quelle: Holger Born, Rolf Bracke, Timm Eicker, Michael Rath, Roadmap oberflächennahe Geothermie <https://doi.org/10.24406/publica-70>

WP und PV: Potentiale

Vermeidung von Einspeisespitzen (Heizstab)

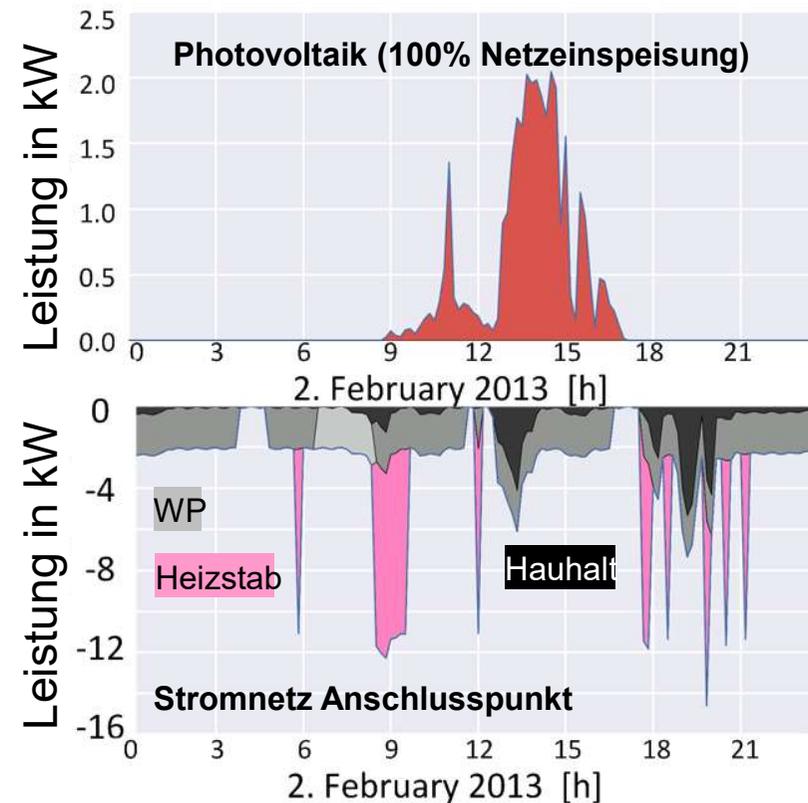
Nutzung einer smarten-optimierten Regelung zur Vermeidung von Einspeisespitzen

1) PV Anlage ist unabhängig von WP

- PV Strom wird eingespeist
- WP-System benötigt Heizstab zur Deckung des Wärmebedarfs

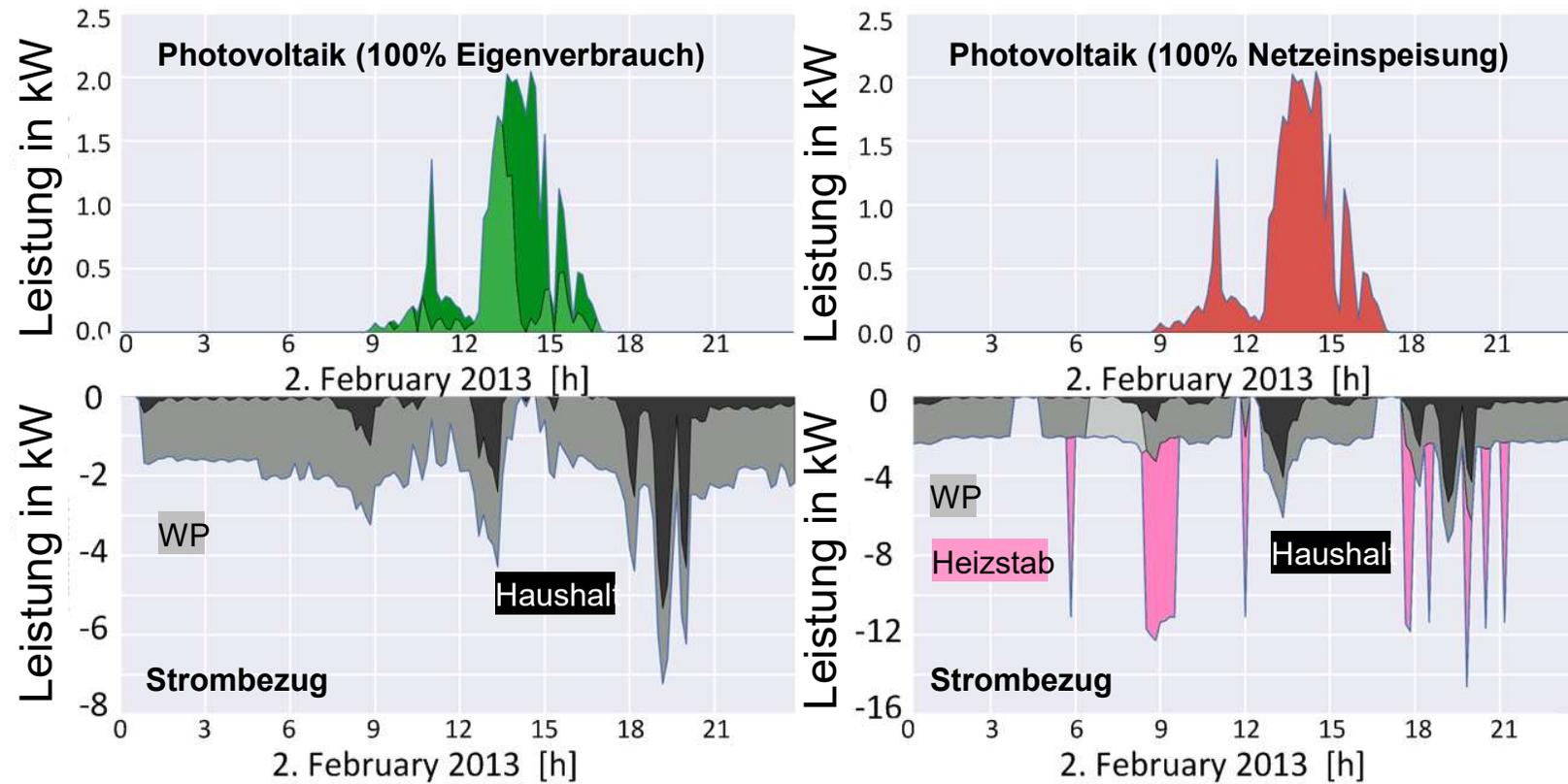
2) PV Anlage ist mit WP und Speicher smart gekoppelt

- Regelung beinhaltet Vorhersagen der nächsten 6-24h (Erzeugung und Bedarf) und berechnet optimalen Einsatz der WP
- PV Strom wird mit Hilfe von thermischen Speicher und Batterie zur Deckung des Wärmebedarfs optimal genutzt



WP und PV: Potentiale

Vermeidung von Einspeisespitzen (Heizstab) durch vorausschauende Regelung



WP und PV: Potentiale

Smart Grid Ready



Betriebszustand 1 (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösung: 1:0):

Dieser Betriebszustand ist **abwärtskompatibel** zur häufig zu festen Uhrzeiten geschalteten EVU-Sperre und umfasst maximal 2 Stunden „harte“ Sperrzeit.

Betriebszustand 2 (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösungen: 0:0):

In dieser Schaltung läuft die Wärmepumpe im energieeffizienten Normalbetrieb mit anteiliger Wärmespeicher-Füllung für die maximal zweistündige EVU-Sperre.

Betriebszustand 3 (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösung 0:1):

In diesem Betriebszustand läuft die Wärmepumpe innerhalb des Reglers im verstärkten Betrieb für Raumheizung und Warmwasserbereitung. Es handelt sich dabei nicht um einen definitiven Anlaufbefehl, sondern um eine Einschalttempfehlung entsprechend der heutigen Anhebung.

Betriebszustand 4 (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösung 1:1):

Hierbei handelt es sich um einen definitiven Anlaufbefehl, insofern dieser im Rahmen der Regeleinstellungen möglich ist. Für diesen Betriebszustand müssen für verschiedene Tarif- und Nutzungsmodelle verschiedene Regelungsmodelle am Regler einstellbar sein:

Variante 1: Die Wärmepumpe (Verdichter) wird aktiv eingeschaltet.

Variante 2: Die Wärmepumpe (Verdichter und elektrische Zusatzheizungen) wird aktiv eingeschaltet, optional: höhere Temperatur in den Wärmespeichern

[SG Ready-Datenbank | Bundesverband Wärmepumpe \(BWP\) e.V. \(waermepumpe.de\)](#)

WP und PV: Potentiale

Geschäftsmodelle und Stakeholder

Stakeholder

- Bewohner:
Dieser möchte, dass zu jedem Zeitpunkt ausreichend Wärme für Heizung und Trinkwassererwärmung zur Verfügung steht, um seine Komfortbedürfnisse zu decken, und dafür oft möglichst wenig bezahlen.
- Wärmepumpen Besitzer:
Dieser möchte, in den meisten Fällen eine hohe Rentabilität des Objekts. Dies bedeutet, dass die Kosten über die Lebenszeit möglichst gering sein sollten. (geringer Wärmegestehungspreis)
- Wärmepumpenhersteller:
Dieser möchte durch Anlagenverkauf und ggf. Serviceleistungen, bspw. Wartung der Anlage, Gewinn erzielen.
- Contractor und Energieversorgungsunternehmen:
Dieser möchte Produkte verkaufen. Hierunter fallen alle Dienstleistungen im Energiesektor an den Endkunden – Stromverkauf, Wärmeverkauf, Bereitstellung von Anschlussleistung und Flexibilität.
- Der Gesetzgeber schafft durch die Gestaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen die Grundlagen für mögliche Geschäftsmodelle.

Aufgaben

- Besitzen:
Eigentümer des Wärmepumpensystems.
- Betreiben:
Den Betrieb der Wärmepumpe gewährleisten durch adäquate Steuerung, Instandhaltung und ggf. Wartung der Anlage.
- Finanzieren:
Finanzielle Mittel für den Kauf der WP zur Verfügung stellen.
- Wärmeverkauf:
Mit der WP erzeugte Wärme an den Letztverbraucher verkaufen.
- Flexibilitätsverkauf:
Die Vergütung der Möglichkeit die Wärmepumpe zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bzw. auszuschalten.

WP und PV: Potentiale

Variable Strompreise

Zeitvariable Tarife mit NT- und HT-Zeiten: Hier besteht in bestimmten Stunden ein niedrigerer Strompreis (NT-Tarif), meist nachts. Tagsüber gilt dann ein höherer Preis (HT-Tarif). Für einen solchen tageszeitabhängigen Tarif benötigst Du einen Zweitarifzähler.

Festen Hochtarif und
Niedrigtarif

Zeitvariable Tarife ohne festgelegte Zeiten: Es gibt moderne zeitvariable oder tageszeitabhängige Tarife auch für Haushaltsstrom. Bei diesen ist nicht festgelegt, in welchen Stunden ein bestimmter günstigerer Preis besteht – das entscheidet sich am Strommarkt. Allerdings besteht entweder ein Korridor, innerhalb dem sich der Preis bewegt, oder der Anbieter rechnet einen Mittelwert pro Monat ab. Anbieter können einen intelligenten Zähler voraussetzen, das muss aber nicht sein. Einen zeitvariablen Tarif kannst Du auch mit einem einfachen digitalen oder sogar analogen [Stromzähler](#) abschließen.

Variabler Hochtarif und Niedrigtarif

Lastvariable Tarife: Diese Tarife werden für steuerbare Nachtspeicherheizungen, [Wärmepumpen](#) und Ladestationen für [Elektroautos](#) angeboten. Steuerbar bedeutet dabei, dass der Netzbetreiber über ein Schaltgerät die Stromversorgung des jeweiligen Geräts verringern kann. Das macht er aber nicht nach Belieben, sondern innerhalb festgelegter Zeitfenster und gewährt dafür niedrigere Netzentgelte. Für einen lastvariablen Tarif braucht das Heizgerät oder die Ladestation einen eigenen Stromzähler.

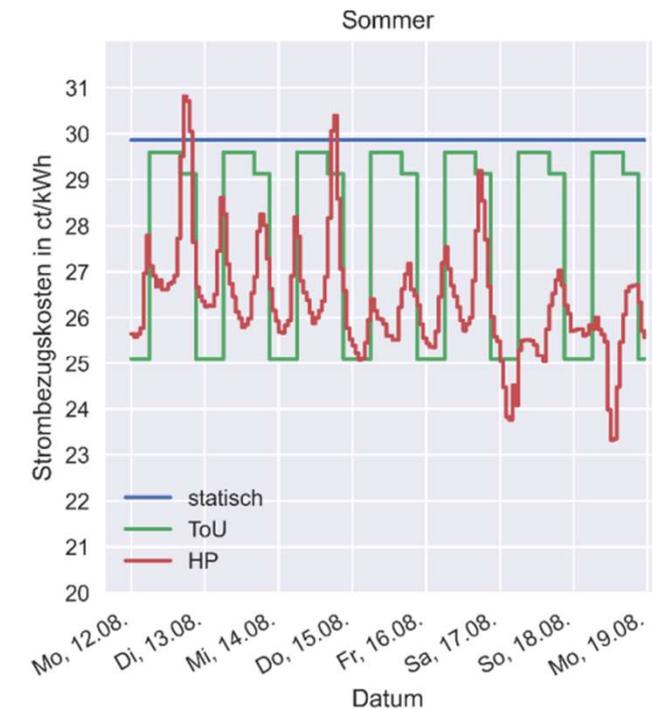
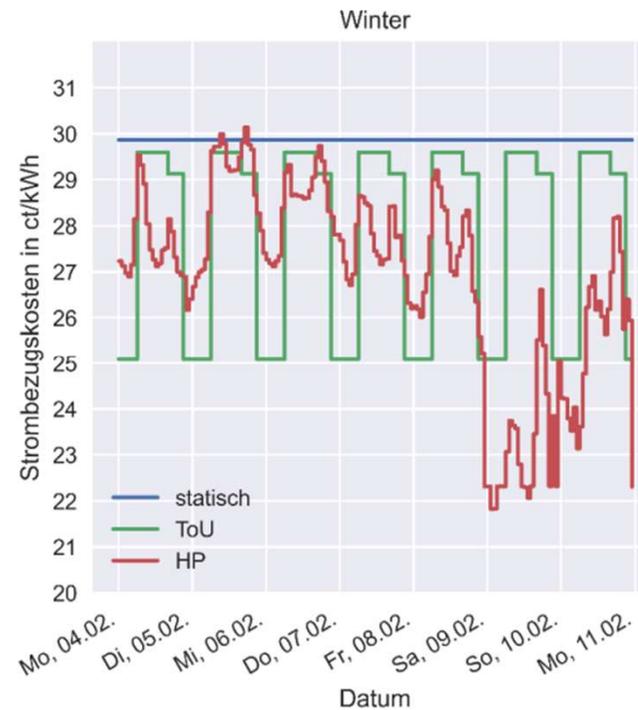
Wärmepumpentarif

Dynamische Tarife: Dynamische Stromtarife gehören auch zu den zeitvariablen Tarifen. Ihr Strompreis ist sehr flexibel und orientiert sich dabei am aktuellen Börsenpreis – er verändert sich zigmal am Tag und kann stärker steigen und fallen als die zeitvariablen Tarife mit Preisgrenzen oder festen oder gemittelten Preisen. Um einen dynamischen Stromtarif abzuschließen, brauchst Du ein [intelligentes Messsystem](#).

Börsenbasiert EPEX

WP und PV: Potentiale Beispiele variabler Strompreise

Einsparungen sind in (fast) allen Varianten zwischen 3 und 8 Cent pro kWh und variablen Strompreismodellen möglich.



- Statische Preise (statisch) → Grundpreis + Arbeitspreis
- Time-of-Use (ToU) “E.ON SmartStrom Öko” → uhrzeitabhängig (HT1, HT2 und NT)
- Hourly Pricing (stündliche Preise) (HP) → EPEX SpotDE Tarif “HOURLY” der aWATTar Detuschland GmbH

Dynamische Stromtarife unter Berücksichtigung des Nutzendenverhaltens: Auswirkungen auf das Verteilnetz

Judith Stute^{1,a}, Matthias Kühnbach^b

^a Fraunhofer Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, Deutschland, +49 721-6809-120, judith.stute@ieg.fraunhofer.de, <http://www.ieg.fraunhofer.de>

^b Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, Deutschland, +49 721-6809-147, matthias.kuehnbach@isi.fraunhofer.de, www.isi.fraunhofer.de

WP und PV: Potentiale

Kommunale Wärmeplanung, GEG und BEW

Gebäudeenergiegesetz (GEG) (Gebäude)

Das GEG enthält **Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden**, die Erstellung und die Verwendung von Energieausweisen sowie an den **Einsatz erneuerbarer Energien** in Gebäuden. Die frühere EnEV, das EnEG und das EEWärmeG wurden mit dem GEG zusammengeführt. (Neue Heizung mind. 65% durch EE betrieben) (Frist: 2 Jahre nach Erwerb, neues Heizsystem)

Kommunale Wärmepläne (Kommunen)

Ein herausragendes **Ziel der Wärmeplanung ist es, den vor Ort besten und kosteneffizientesten Weg zu einer klimafreundlichen und fortschrittlichen Wärmeversorgung** zu ermitteln. (Fristen bis 30.6.2026 >100.000 und Einwohner 30.6.2028 muss die Planung vorliegen.)

Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) (Wärmenetze)

Die BEW **schafft Anreize für Wärmenetzbetreiber** in den Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien zu investieren und bestehende Netze zu dekarbonisieren (Mindestens 75% der Netze müssen durch EE gespeist werden). (Antragsstellung ab 15.9.2022 möglich)



Großwärmepumpen für die Fern- und Prozesswärmeversorgung

- Untersuchungen zur COP-Optimierung im Labormaßstab
- Skalierung des Labormusters zu einer Pilotanlage
- Betrieb des Piloten in einem Hybridkonzept aus GWP und BHKW
- Analyse ökonomischer Hemmnisse und Weiterentwicklung der ökonomischen Rahmenbedingungen
- Erfassung und Bewertung von Niedertemperaturquellen und Fernwärme-Netzspezifika
- Potenzialermittlung für die Bereitstellung von Prozesswärme durch GWP
- Einbeziehung von Stakeholdern und Ergebnisverbreitung



Seewasser - Wärmepumpe Cottbus

- Nutzung des Wärmepotenzials des Cottbuser Ostsees zur Fernwärmegewinnung für die Stadt Cottbus
- Geplante Fernwärmeleistung: 20 - 25 MW
- 190.000 MWh klimaneutrale Wärme
- 40% des heutigen Fernwärmebedarfes der Stadt



www.lr-online.de/lausitz/cottbus/cottbuser-ostsee-alle-infos-zu-deutschlands-groesstem-kuenstlichen-gewaesser-38154160.html



www.leag.de/de/geschaeftsfelder/bergbau/cottbuser-ostsee/

Zusammenfassung

Technik



■ Auslegung und Optimierung der Anlagensysteme je nach individuellem Verbrauch und gegebenen Rahmenbedingungen
 ■ Kosten und Effizienzen (COP, JAZ) beachten

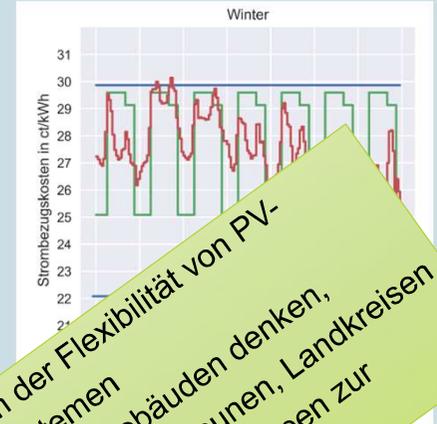
Mehrfamilienhäuser, Messkonzepte



■ Grundlegende Technik von WP entwickelt sich immer weiter
 ■ Größere Leistungen und höhere Effizienz bei höheren Vorlauftemperaturen
 ■ Neue Gesetze für Geschäftsmodelle beachten



Potentiale



■ Potentiale liegen in der Flexibilität von PV-Wärmepumpen Systemen
 ■ Nicht nur in einzelnen Gebäuden denken, sondern in Quartieren, Kommunen, Landkreisen
 ■ Entwicklung von Großwärmepumpen zur Versorgung von Fernwärmepnetzen



Kontakt

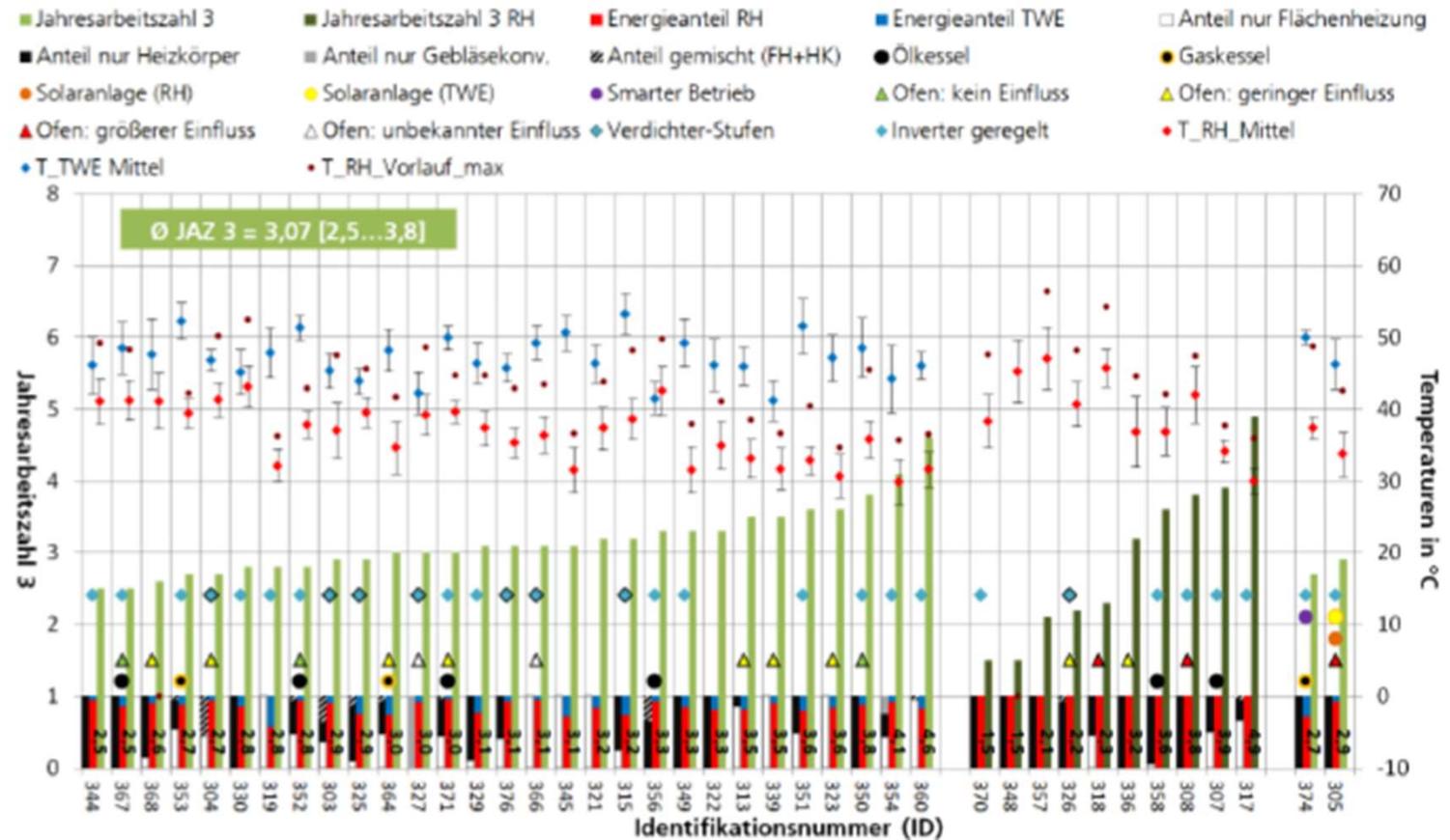
Dr. Tanja Kneiske
Integrierte Planung von Infrastrukturen, Quartieren
tanja.kneiske@ieg.fraunhofer.de

Fraunhofer Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie
Gulbener Straße 23
03046 Cottbus
www.ieg.fraunhofer.de

Additional Information

WP und PV: Technik

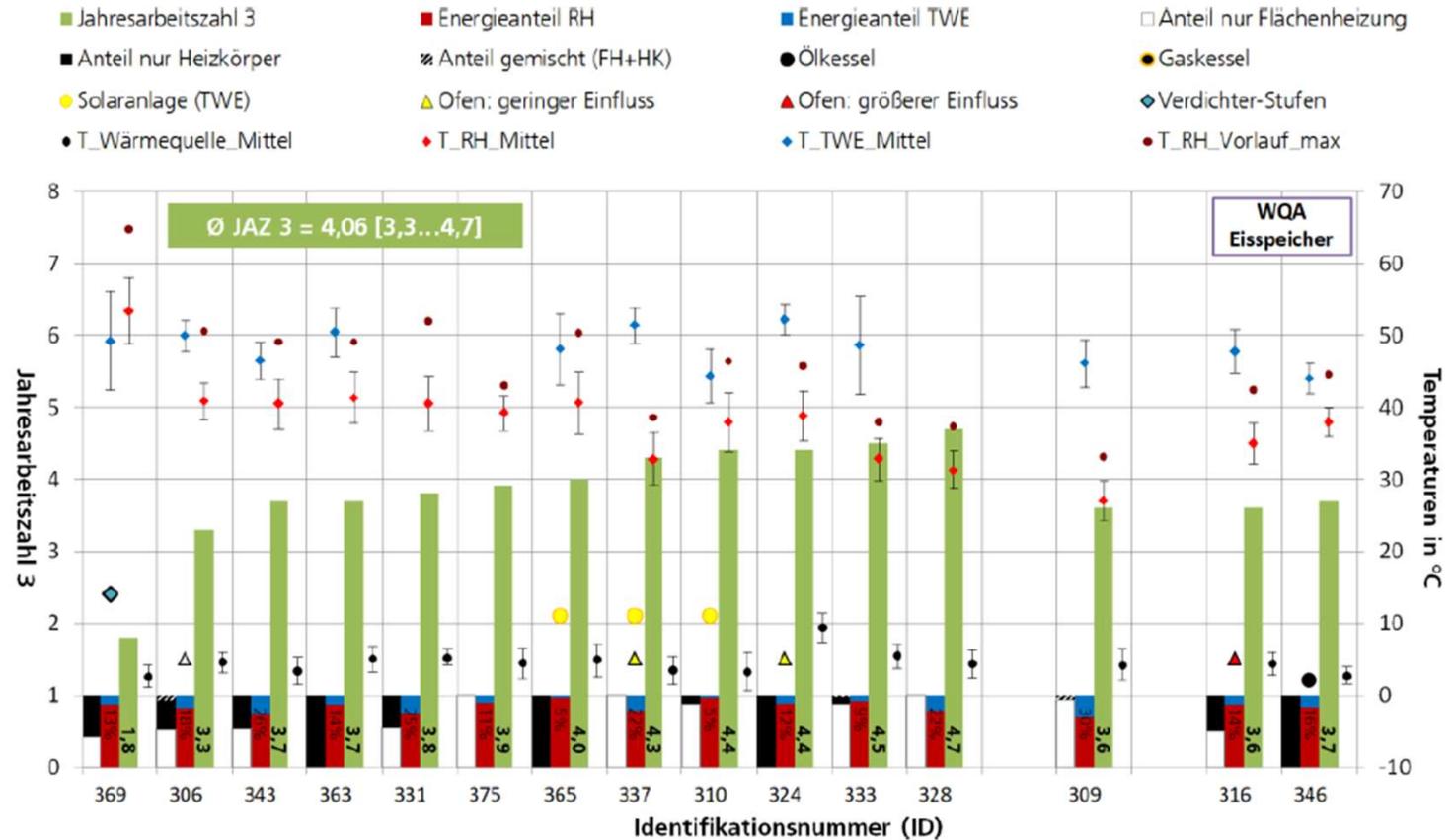
Luftwärmepumpen JAZ ~ 3



WPsmart im Bestand: Wärmepumpenfeldtest – Fokus Bestandsgebäude und smarter Betrieb - Fraunhofer ISE

WP und PV: Technik

Erdreichwärmepumpen JAZ~4



WP und PV: (Mess)Konzepte

Etagen- und Kellerheizsysteme für Mehrfamilienhäuser

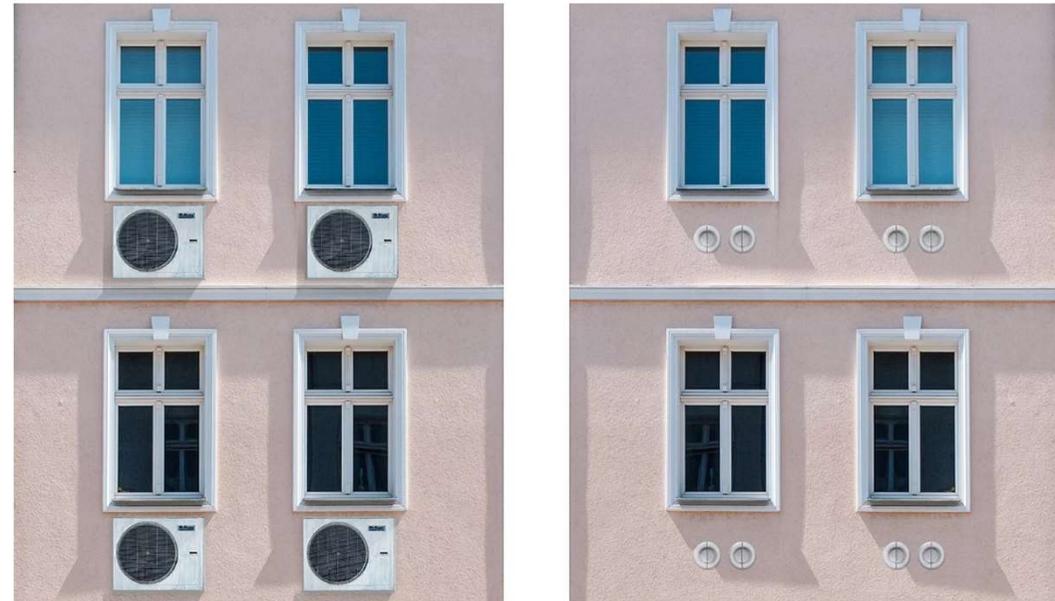
Neubauten (niedriger HV)

Zentral:

Wärmepumpenkaskade in Niedrigenergie oder Passivhäusern zum Heizen des Gebäudes als Ganzes ähnlich der Kellerheizsysteme

Dezentral:

Wohnungsweise Installation von neuentwickelten kleinen Luft-Wärmepumpen ähnlich der Etagenheizung



Die ETHERMA FIRE+ICE ist eine Monoblock-Luftwärmepumpe mit einer Heizleistung von 3,05 kW bei einem COP-Wert von 3,28. Sie wird ohne Außeneinheit einfach an der Innenseite von Außenwänden montiert, kann heizen und kühlen und eignet sich ideal für Sanierungen von Wohnungen von 50 bis 150 m². (Foto: ETHERMA)

WP und PV: Potentiale

Digitalisierung open-data/open-source: Projektbeispiel ODH@Jülich

1. Entwicklung eines umfassenden Open Source Frameworks an Planungs- und Simulationstools für die sektorübergreifende und CO2-freie Energieversorgung von Quartieren (u.a. Photovoltaik- und Wärmepumpenmodelle)
2. Abbildung von Quartieren in digitalen Zwillingen für die Begleitung von Planungs- und Betriebsphasen
3. Schaffung einer Open-Data-Basis
4. Entwicklung standardisierter Schnittstellen
5. Konzeptionierung eines IKT-Ökosystems für viele Teilnehmende zur Beschleunigung der Energiewende im Quartier

Weiterentwicklung der Toollandschaft durch ...

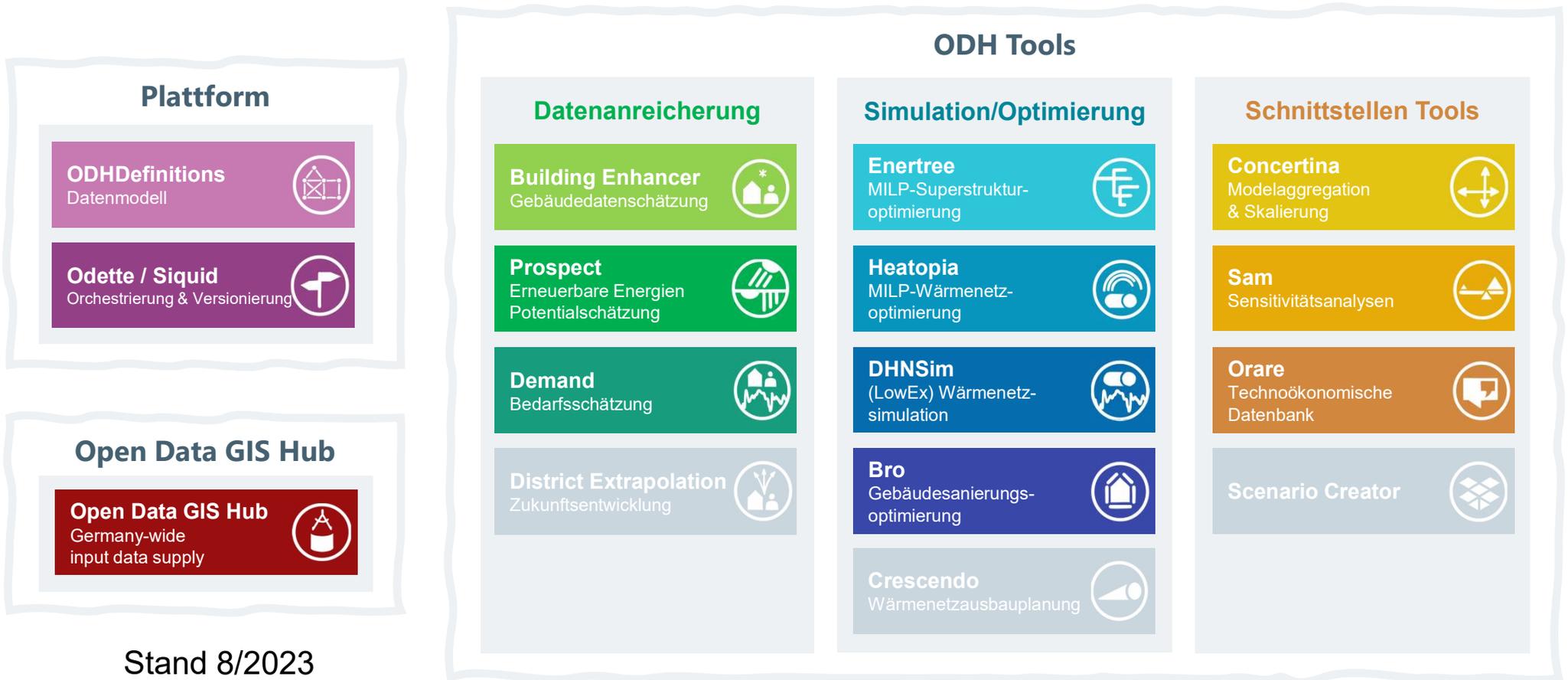
1. Use Cases
2. Stakeholder Workshops
3. Automatisierung
4. Evaluierung
5. Open Source Tools
6. IKT-Plattform



Projektdaten

Konsortium: Fraunhofer IEG (Leitung)
Fraunhofer IESE, IOSB, UMSICHT, FIT
Laufzeit: 9/2020-3/2025
gefördert durch BMBF
anette.anthrakidis@ieg.fraunhofer.de

WP und PV: Potentiale Toolbox von ODH@Jülich



Stand 8/2023

Weiterführende Links

[Wärmepumpen-Ampel – FfE](#)

[WPsmart im Bestand: Wärmepumpenfeldtest – Fokus Bestandsgebäude und smarterer Betrieb - Fraunhofer ISE](#)

[Normen & Technik | Bundesverband Wärmepumpe \(BWP\) e.V. \(waermepumpe.de\)](#)

[Schallrechner | Bundesverband Wärmepumpe \(BWP\) e.V. \(waermepumpe.de\)](#)

[JAZ-Rechner | Bundesverband Wärmepumpe \(BWP\) e.V. \(waermepumpe.de\)](#)