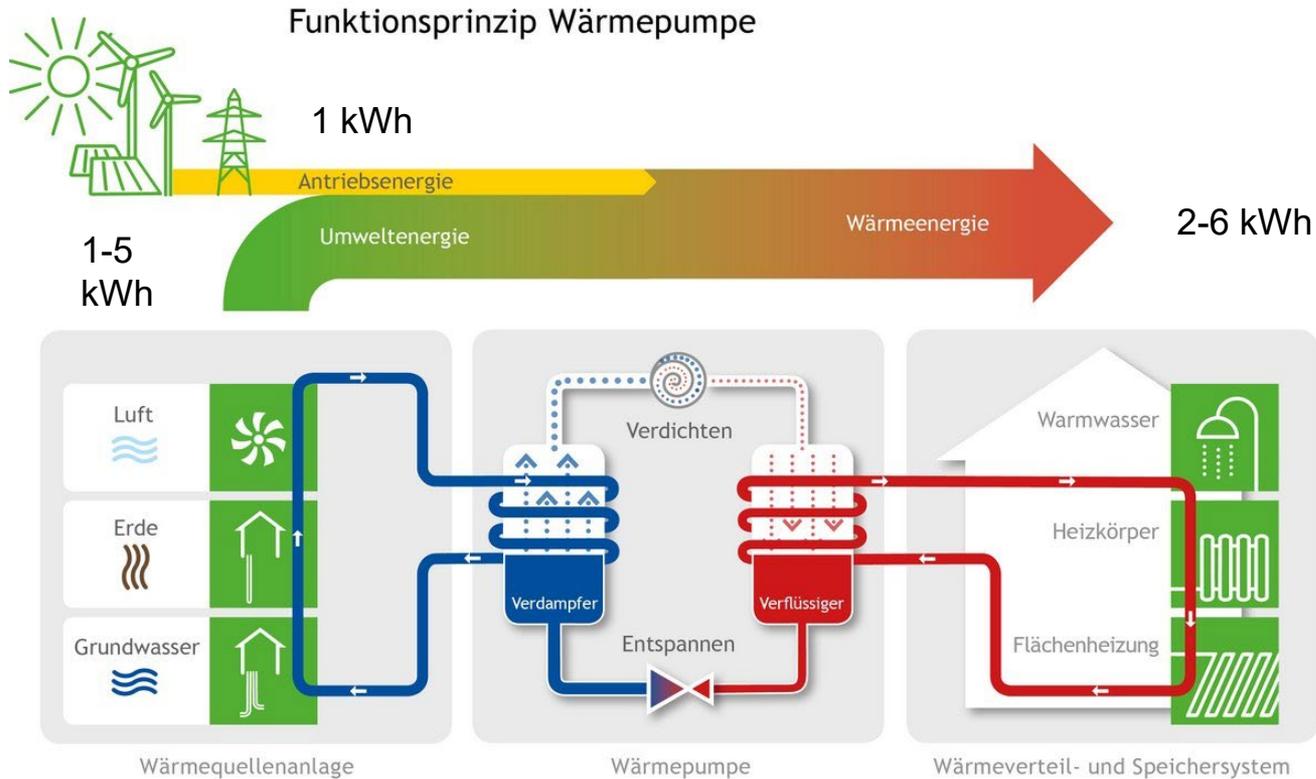


Wärmepumpen im Gebäudebestand

Prof. Dr. Harald Krause / Prof. Uli Spindler
Technische Hochschule Rosenheim
Studiengang Energie und Gebäudetechnologie

cb live

7. Juni 2023, TH Rosenheim Campus Burghausen



Werte geben ALLE an, wieviel Wärme pro Stromeinsatz erzeugt wird

COP – Coefficient of Performance

- Messung (Labor) bei bestimmten Temperaturpunkten (A=Luft, B=Sohle, W=Wasser)

SCOP – Seasonal COP

- Vorgegebene Berechnung des mittleren Jahres-COP aus gewichteten COP-Werte für EU-Energielabel
- Angabe für unterschiedliche Klimazonen und Heizungstemperaturen
- Guter Anhaltspunkt für Vergleich von Wärmepumpen (ähnlich Normverbrauch bei Autos)

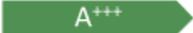
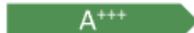
JAZ – Jahresarbeitszahl / SPF – Seasonal Performance Faktor

- Von der Wärmepumpe erzeugte Wärme / verbrauchten Strom pro Jahr
- Relevante Zahl für den Hausbesitzer

EER und SEER – Energie Efficiency Ratio

- Wie COP aber für Kühlung

Typisches Datenblatt einer Wärmepumpe

Leistung und Effizienz Heizen		EU08L	EU13L
Energieeffizienzklasse bei Niedertemperatur (mittleres Klima)			
		226% SCOP 5,66	227% SCOP 5,68
Energieeffizienzklasse bei Mitteltemperatur (mittleres Klima)			
		179% SCOP 4,48	180% SCOP 4,49
Heizleistung variabel A7W35	kW	2,2 – 10,9	3,3 – 16,8
Heizleistung variabel A2W35	kW	2,0 – 10,3	2,9 – 15,0
Heizleistung variabel A-7W35	kW	2,1 – 8,4	3,3 – 12,9
Heizleistung variabel A-7W55	kW	2,1 – 8,1	3,3 – 12,4

Deutschland =
mittleres Klima

Niedertemperatur
= 35°C

Mitteltemperatur
= 55°C

		EU08L		EU13L	
EN14511		Leistung [kW]	COP	Leistung [kW]	COP
Heizbetrieb	A7W35	4,1	5,77	5,2	5,94
	A2W35	8,2	5,19	8,3	5,05
	A-7W35	8,4	3,79	13,0	3,77
	A-15W35	6,7	3,02	10,8	3,19
	A7W45	4,6	4,46	5,2	4,57
	A7W55	4,4	3,55	5,4	3,71
	A-7W55	8,1	2,55	12,4	2,59

Quelle:
www.lambda-wp.at

Was sind die wichtigsten Faktoren für eine gute JAZ?

Wärmepumpe mit sehr guten COP Werten

Niedrige Vorlauftemperatur

- Heizungstemperatur soweit runter, dass es gerade noch warm genug wird
- Hydraulischer Abgleich
- Auf Wärmepumpen abgestimmte Hydraulik und Regelung

Hohe Wärmequellentemperatur

- bei Erdreichwärmepumpen großzügig dimensionierte Sonden bzw. Kollektoren

Jahresarbeitszahlrechner nach VDI 4540:

- <https://www.waermepumpe.de/jazrechner/>
→ Werte wie bei Normverbrauch von Autos etwas zu gut

Art

- Warmwasserwärmepumpe
- Heizungswärmepumpe

Umgebungswärmequelle

- Erdreich (Sonden, Erdkollektor, Erdwärmekörbe) → Solewärmepumpe
- Luft (Monoblock innen oder außen aufgestellt, Split)
- Grundwasser
- Eisspeicher mit Solarabsorber

Betriebsart

- Monovalent
- Bivalent
- Monoenergetisch

Regelung

- Festschaltzahl (An/Aus-Regelung)
- Drehzahl geregelt (modulierende oder Inverter-Wärmepumpe)

Kältemittel

- Natürlich
- Herkömmlich

Nur für Warmwassererzeugung

- Meistens als Luftwärmepumpe mit Luft aus Keller
- JAZ ca. 2,5 bis 3
- ca. 500 – 600 W elektrische Leistung
- Kann im Bestand etwa 20 – 25% des Gesamtwärmebedarfs erzeugen

Vorteile

- Kellerentfeuchtung und Kühlung
- Mit Fotovoltaik: Alternative zu Solarthermie für solare Warmwassererzeugung
- Ersetzt den bei alten Kesseln im Sommer besonders unwirtschaftlichen reinen Warmwasserbetrieb

Nachteile

- Je nach Lage und Dämmung des Kellers wird evtl. in der Heizperiode dem Gebäude Heizwärme entzogen



Bildquelle: NIST

Ersetzt den Heizkessel komplett

- Heizwärmeerzeugung
- Warmwassererzeugung

Vorteile

- Umstellung von Öl/Gas/Holz auf Strom + Umweltwärme (sehr deutliche CO₂-Reduktion, je nach Voraussetzung Energiekosteneinsparung)
- Kleiner Teil des Strombedarfs kann mit PV gedeckt werden

Nachteile

- Hohe Investitionskosten
- Je nach Kältemittel evtl. Einschränkung bei Vorlauftemperatur
- Gute Regler- und Hydraulikeinstellung zwingend nötig



Bildquelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.

10°C zu hohe Heizungswassertemperatur:	
Alter Kessel	-1% Effizienz
Brennwertkessel	-10% Effizienz
Wärmepumpe	-25% Effizienz

Erdreichnutzung mit Solewärmepumpen

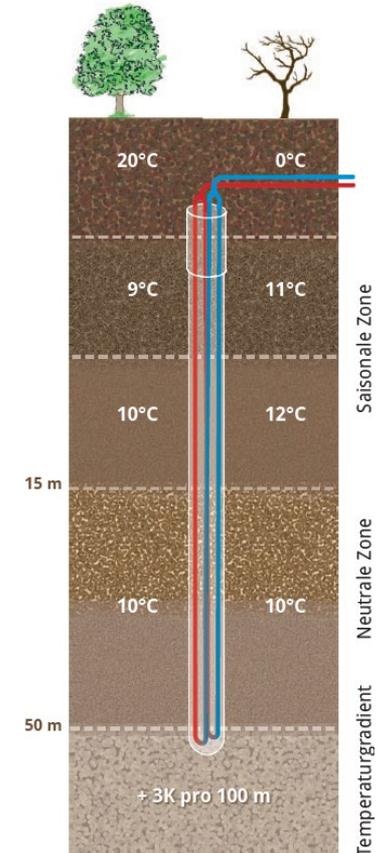
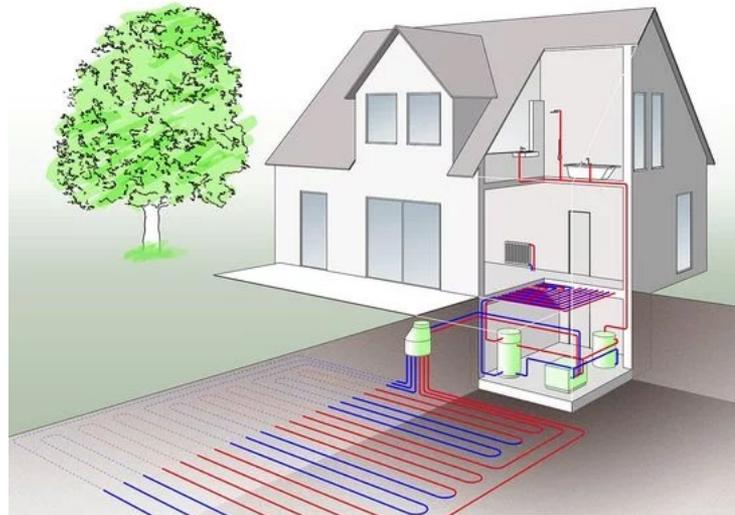
(im Bestand meistens nur Sonde realistisch)

Funktion:

- Zwischen WP und Kollektor/Sonde zirkuliert Sole (Wasser + Frostschutz)
- WP kühlt die Sole ab, im Erdreich wird sie wieder erwärmt (ca. -5° - 5°C)

Hohe Heizlast im unsanierten Bestand \rightarrow viel Fläche bzw lange Sonden

- Generell gilt: Sonden und Kollektor besser großzügig auslegen



Bildquelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.

**Erdreichkollektoren bedeuten viel Grabarbeiten (Tiefe 1,5 – 2 m)
→ deswegen meistens nicht für Bestand geeignet**

- Grober Wert: 25 – 50 m² / kW Heizleistung

Flächenkollektor



Grabenkollektor

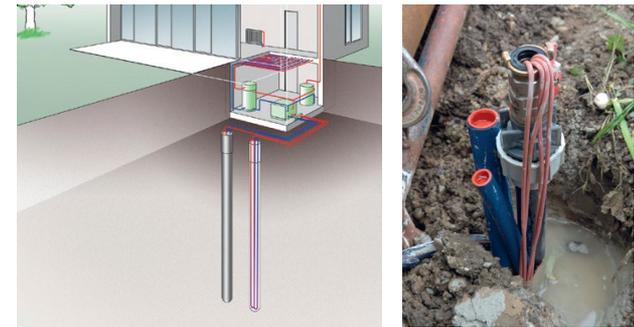


Erdwärmekorb



Eigenschaften

- Wenig Platzbedarf, Sondenabstand mindestens 6 m
- Genehmigungspflichtig und nicht überall möglich
Vorauskunft im Internet: Energieatlas-Bayern → Geothermie
→ Oberflächennahe Geothermie → Standortcheck
- Bohrtiefenbeschränkung je nach Grundwasserverhältnissen
- In D ab 100 m zusätzliche Genehmigung nach Bergrecht nötig
- Schätzung nötige Sondenlänge: $\text{Heizlast [kW]} \times 80\% / 0,050$
- Zugelassener Bohrbetrieb, Gutachter, Haftpflichtversicherung
- Kosten grob: 5000 € + 60 €/m
- Lebensdauer Sonden: mind. 50 Jahre
- Erdsonden-Wärmepumpen haben in Feldtests die beste Effizienz
- Sehr gut für passive Kühlung geeignet



Bildquelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.

- Förder- und Schluckbrunnen nötig
Abstand min. 10m, Fließrichtung beachten
- Bohr- und wasserrechtl. Genehmigung
- hydrologisches Gutachten sinnvoll (nicht jedes Grundwasser ist geeignet)
- Grundwasserspiegel sollte nicht tiefer als 10 – 15 m sein

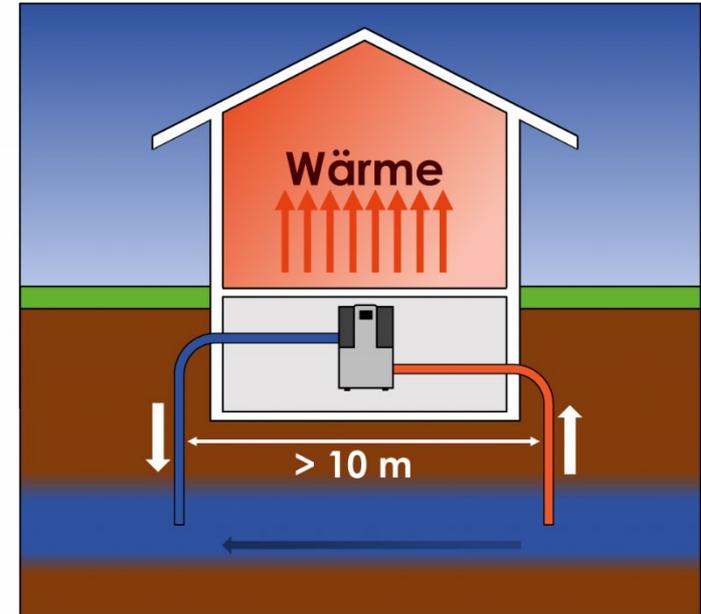
Vorteile:

- Warme Umweltwärmequelle (ca. 8 – 12°C)
- Bei großen Gebäuden kostengünstige Wärmequelle

Nachteile:

- Sehr hohe Investitionskosten bei kleinen Gebäuden
- JAZ in EFH/ZFH-Feldtests meist etwas schlechter als Sonden (hoher Stromverbrauch der Brunnenpumpe)

→ **Im EFH/ZFH nur bei optimalen Grundwasserbedingungen sinnvoller als Sonden**



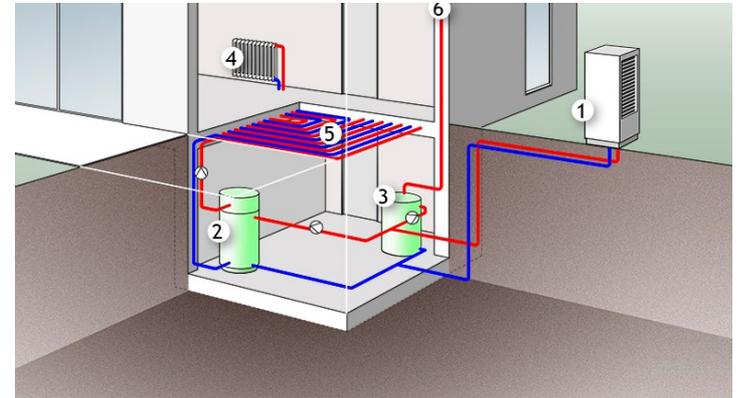
Bildquelle: CARMEN e.V.

Vorteile

- Keine Erdarbeiten nötig → geringere Gesamtinvestitionskosten
- Neuste Modelle haben deutlich verbesserte Effizienz
- Viele Modelle können in Kühlbetrieb umschalten

Nachteile

- Geräuschemission (sehr unterschiedlich je nach WP)
- Bis her JAZ in Feldtests ca. um 0,6 – 1,0 schlechter als Erdreich-WP (neueste Modelle noch nicht in Feldtest enthalten)
- Heizleistung sinkt mit Außentemperatur, monovalente Betriebsweise nur mit modulierenden Wärmepumpen sinnvoll
- Luftwärmepumpen sind teurer als Sole/Wasser-Wärmepumpen



Bildquelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.

Luftwärmepumpen – Varianten

Monoblock – Kompaktgerät

Außenaufgestellt

- Natürliches Kältemittel (Propan) mit sehr hoher Effizienz und Temperaturen bis 70°C möglich
- Einfache Installation
- Heizungswasser wird nach draußen geführt
 - Zus. Wärmeverlust der Leitung
 - Kann bei längerem Stromausfall einfrieren

Innenaufgestellt

- 100% Frostsicher
- Draußen minimale Geräuschemissionen
- Luftschächte für Außenluft von und zur Wärmepumpe
 - Meistens aufwändig
 - Zus. Wärmeverlust im Aufstellraum
- Derzeit nur H-FKW Kältemittel

Luftwärmepumpen – Varianten

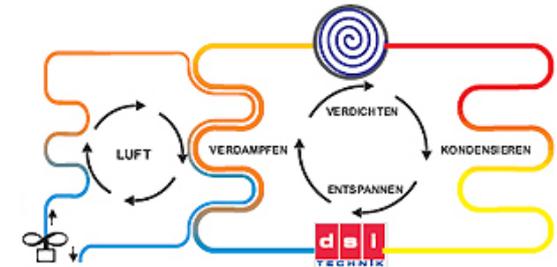
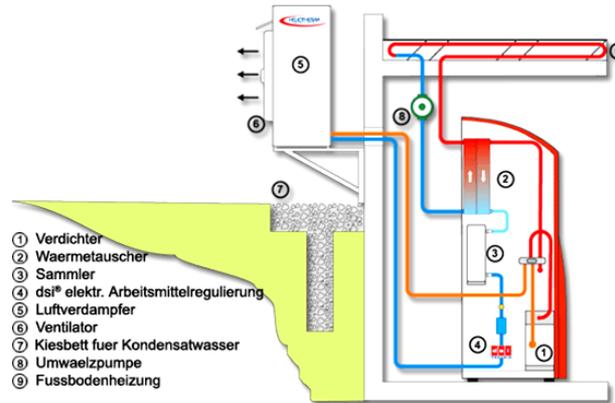
Split und Solezwischenkreis

Split-WP (Verdampfer draußen, Kondensator drinnen)

- 100% frostsicher
- Installation einfach, aber Kältetechniker nötig → kaum Vertrieb durch Installateure
- Derzeit nur H-FKW Kältemittel

Innenaufgestellte Sole-WP mit Solekreis zu Luftwärmetauscher

- 100% frostsicher
- Einfache Installation
- Deutlicher Effizienzverlust (10-15%) durch zus. Wärmeübertragung und zus. Solepumpe
- Derzeit fast nur H-FKW Kältemittel



Bildquelle: Heliotherm

Monovalent

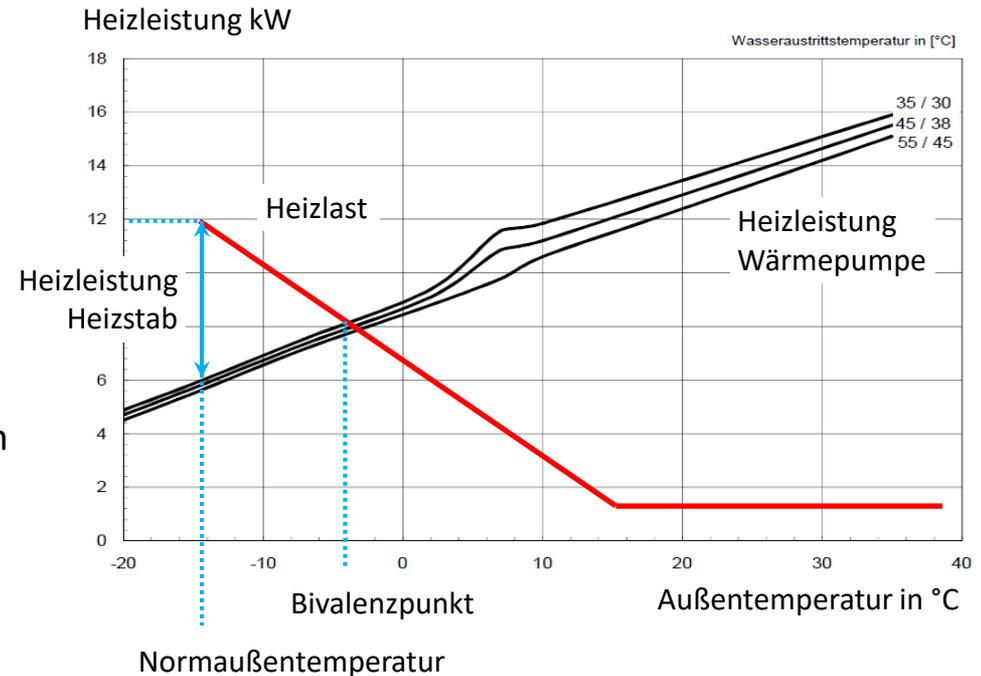
- Wärmepumpe ist alleiniger Wärmeerzeuger
- Standardauslegung bei EFH/ZFH für Erd- und Grundwasserwärmepumpen

Bivalent

- Neben Wärmepumpe wird noch ein weiterer Wärmeerzeuger genutzt
- Gründe: technisch oder wirtschaftlich
- Früher bei Luftwärmepumpen nötig (Auslegung nur auf ca. 80% Heizlast möglich), bei modernen LWP nicht mehr unbedingt so

Monoenergetisch = bivalent mit elektrischem Heizstab als 2. Erzeuger

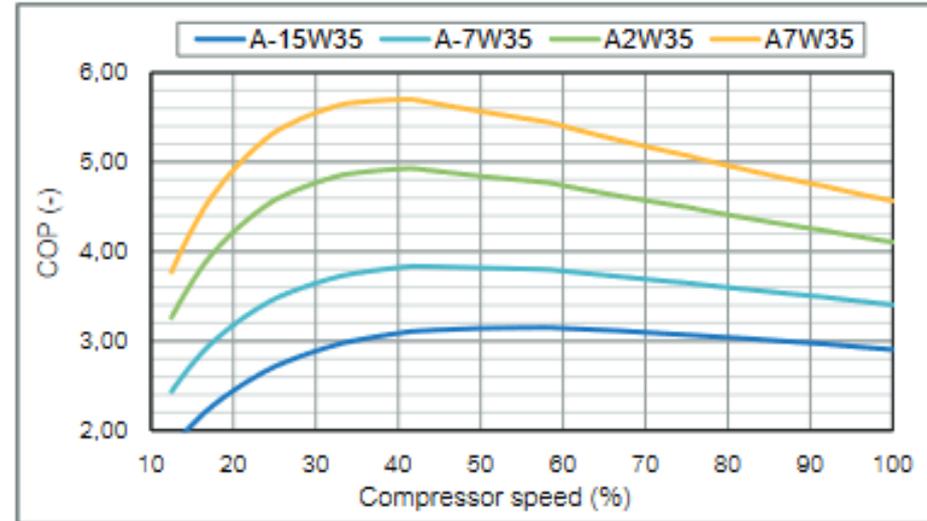
Bivalenzpunkt = Außentemperatur, bei der 2. Wärmeerzeuger zugeschaltet wird



Weitere Vorteile Modulierend

- Im Teillastbetrieb steigt die Effizienz, im Taktbetrieb sinkt die Effizienz
- Bei Fußbodenheizung und Einzelraumregelung Betrieb ohne Pufferspeicher möglich
- Bessere Anpassung an die Hydraulik
- Bessere PV-Ausnutzung

Quelle: Ecoforest Datenblatt ecoGeo 1-6 Pro



Modulierende Wärmepumpen sind einer der wichtigen Gründe für die Effizienzverbesserung von Luftwärmepumpen

H-FKW

- Hohes Treibhauspotential
 - R410a und R407c: nicht zukunftsfähig
 - R32: reduziertes Treibhauspotential, mittelfristige Lösung, brennbar
- Gute Effizienz
- Maximal Temperatur ca. 60 – 65°C

Natürliches Kältemittel R290 (Propan)

- Treibhauspotential vernachlässigbar
- Sehr gute Effizienz
- Explosiv → ab 150 g Füllmenge nur Außenaufstellung
- Maximal Temperatur 70 – 75°C

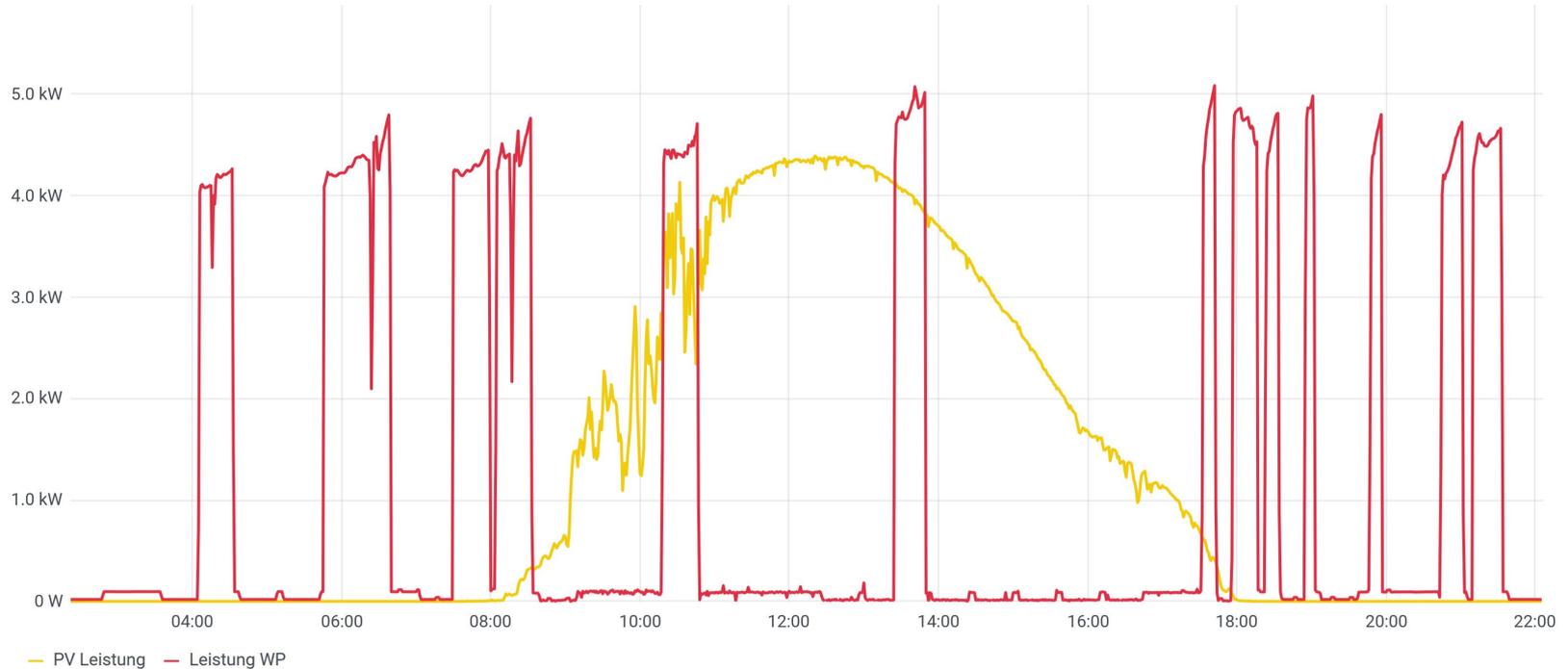
Bei H-FKW evtl. jährliche Dichtheitskontrolle je nach Treibhauspotential und Füllmenge

Kältemittel	hermetisch	n. hermetisch
R407c	5,62 kg	2,81 kg
R410a	4,78 kg	2,39 kg
R32	14,8 kg	7,4 kg

Nicht auf PV-Betrieb optimierte Anlage

12 kW Luftwärmepumpe, KfW60 Haus, 9,5 kW PV nur auf der WP

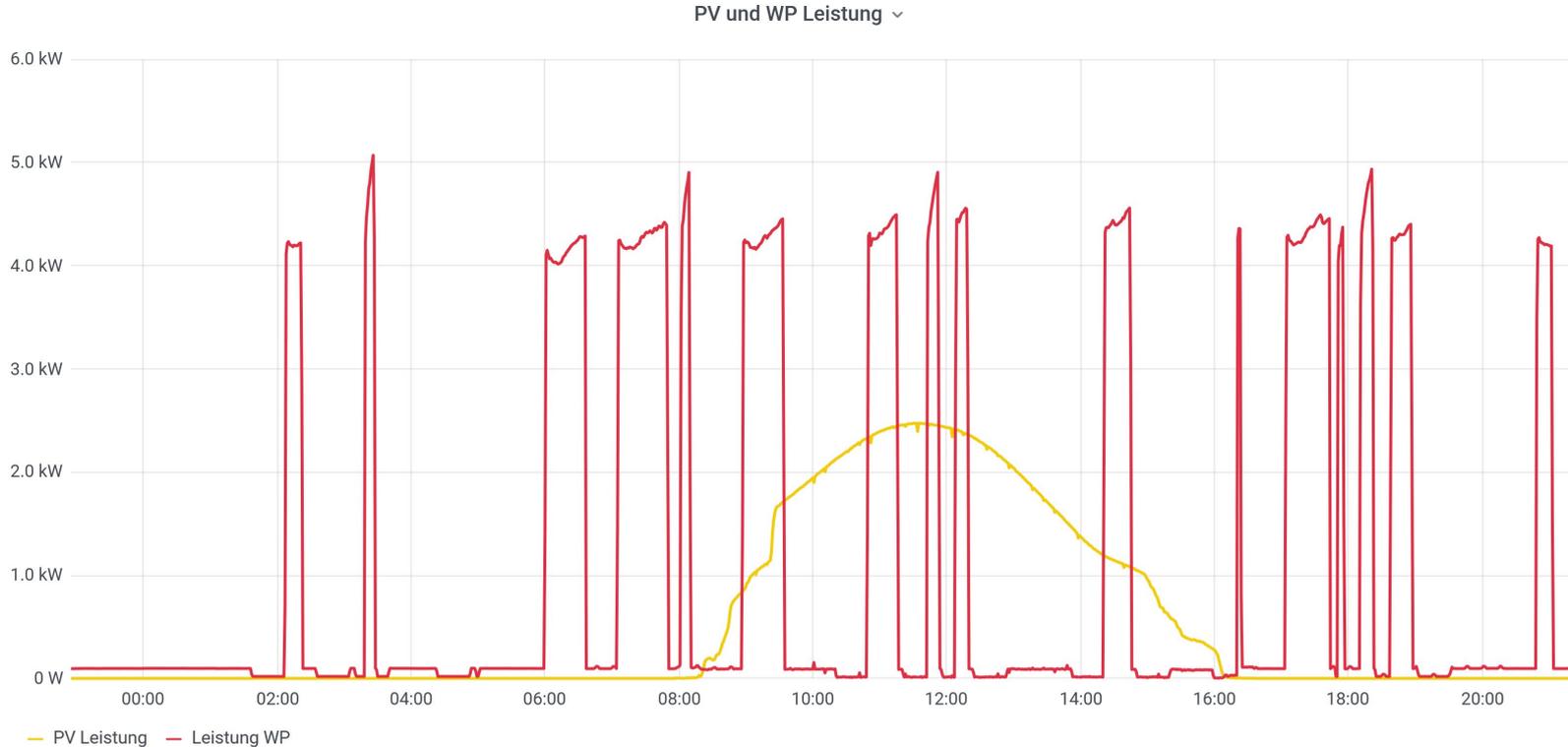
Sonniger Tag, 18.10.



Nicht auf PV-Betrieb optimierte Anlage

12 kW Luftwärmepumpe, KfW60 Haus, 9,5 kW PV nur auf der WP

Sonniger Tag, 30.12.



Beispiel Anlage

- PV-Stromanteil von ca. 15%
- Modulierende Wärmepumpe erhöht Anteil, weil Wärmepumpenleistung an PV-Erzeugung angepasst werden kann
- Mit Tagesspeicher ließe dieser Anteil vermutlich etwa verdoppeln

Studie des SPF Instituts für Solartechnik in Rapperswill

- Effizienz eines Batterie- und thermischen Speichers sind ähnlich
- Mehr als Tagesspeicher bringt wenig Zusatznutzen
- Thermische Speicher sind kostengünstiger und haben weniger Carbon Footprint

Saisonal passen Verbrauch und Produktion nicht zusammen

Nutzbarer Stromanteil hängt sehr von den verschiedenen Anlagengrößen und sonstigen Verbrauchern ab

Derzeit Energiekostenprognose sehr schwierig

Abschätzung der jährlichen Heiz- und Warmwasserkosten basierend auf Öl-/Gasverbrauch

- 1 l Heizöl = 10 kWh Wärme, Gas wird in kWh abgerechnet
- Multipliziert mit Jahresnutzungsgrad des Kessel:
ca. 70% Uralkessel,
ca. 80% Niedertemperaturkessel,
ca. 90% Ölbrennwert,
ca. 95% Gasbrennwert
- Ergibt überschlägigen Wärmebedarf
- Geteilt durch JAZ ergibt Stromverbrauch der WP

Beispiel:

- EFH mit Jahresverbrauch von 4000 l Öl und Niedertemperaturkessel,
- Schlechter Fall mit JAZ 2,5

$$\text{Strom} = \frac{4000l \cdot 10 \frac{kWh}{l} \cdot 80\%}{2,5} = 12.800kWh$$

- Sehr guter Fall mit JAZ 4,5 → 7.111 kWh
- Heizölpreis ca. 120 ct/l

Verbrauchskosten:

Heizöl 4.800 €

Strompreis	35 ct	40 ct
JAZ 2,5	4.480 €	5.120 €
JAZ 4,5	2.489 €	2.844 €

Wärmepumpen in Bestandsgebäuden sind fast immer möglich

Die Effizienz von Wärmepumpen hängt von der Heizwassertemperatur und nicht vom Dämmstandard ab

- Allerdings haben alte Gebäude tendenziell höhere Heizwassertemperaturen
- Heizwassertemperatur in Bestandsgebäuden kann oft abgesenkt werden

Neueste Generation von Luftwärmepumpen ist deutlich effizienter → dürften Unterschied zu Erdreichwärmepumpen verringern

Natürliche (Propan) und low-GWP (z.B. R32) Kältemittel sollten bevorzugt werden

Energiekostenvergleiche hängen sehr stark an den Preisen von Öl, Gas und Strom

- Derzeit keine Prognose möglich
- Unter ungünstigen Verhältnissen kann eine Wärmepumpe auch etwas höhere Betriebskosten haben, unter günstigen deutlich niedrigere

CO₂-Emissionen werden deutlich bis sehr deutlich reduziert