

Wärmepumpen im Gebäudebestand

Wie sinnvoll ist der nachträgliche Einbau?

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

Rosenheimer Energiedialoge 2023

8. März 2023, TH Rosenheim



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

- 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

- Festschaltregelung (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

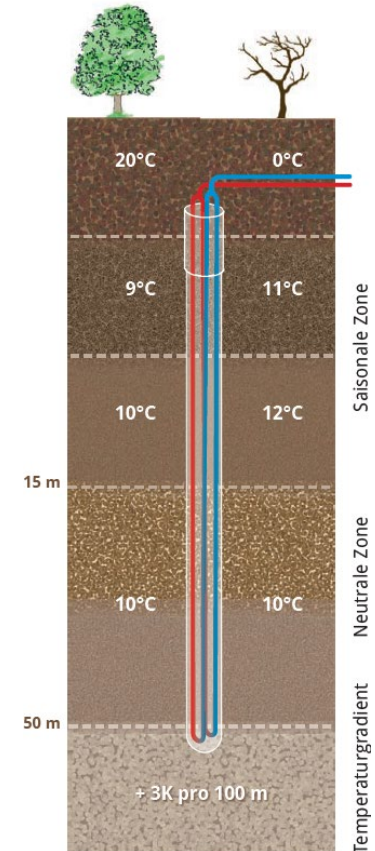
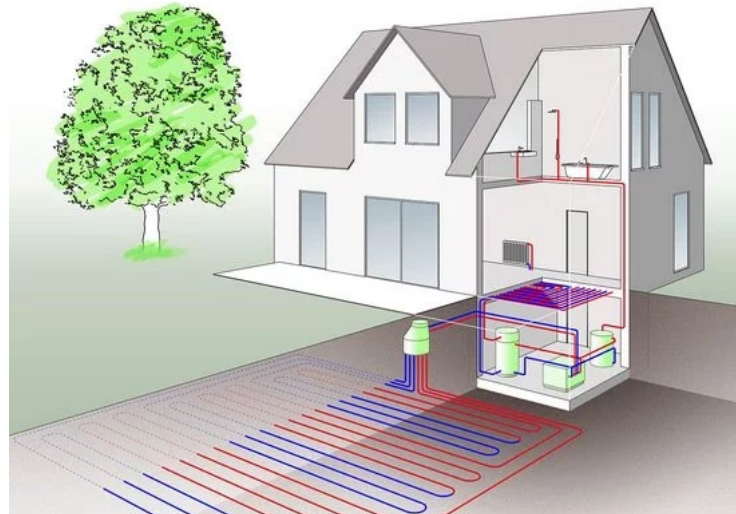
(im Bestand meistens nur Sonde realistisch)

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

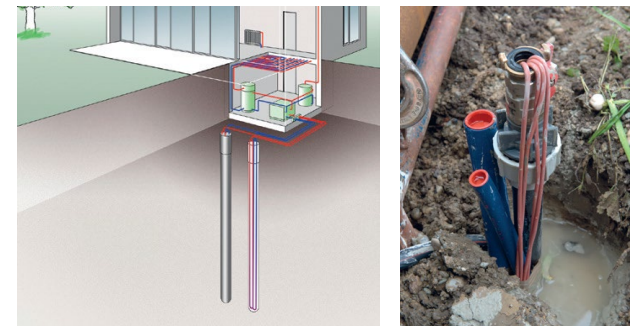


Erdwärmekorb



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: Heizlast [kW] x 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

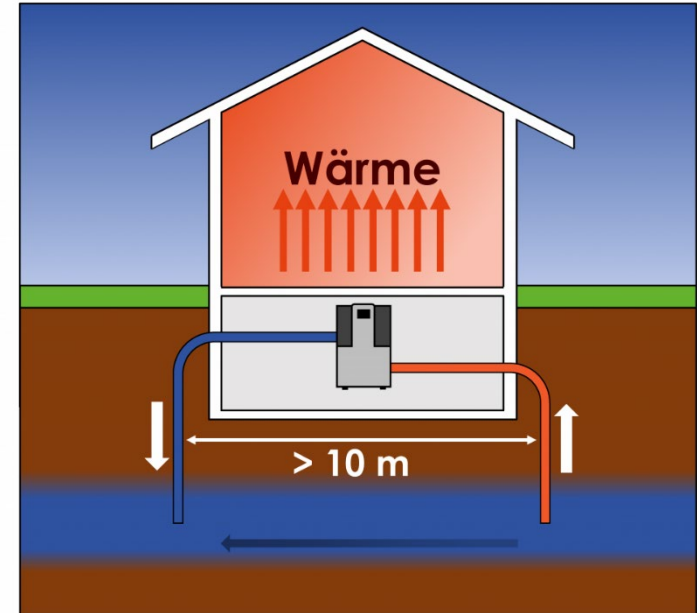
Vorteile:

- 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**



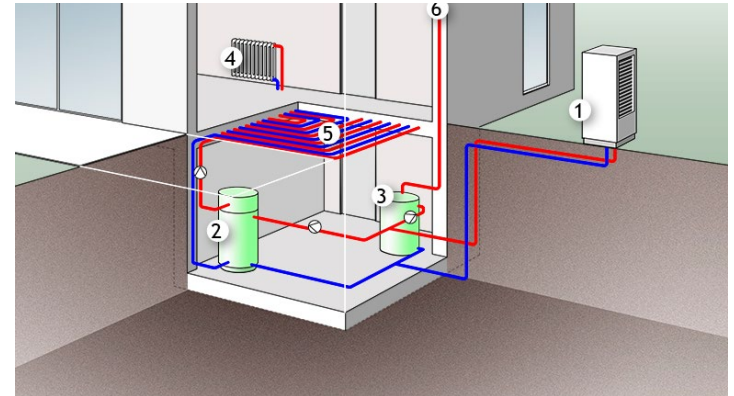
Bildquelle: CARMEN e.V.

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

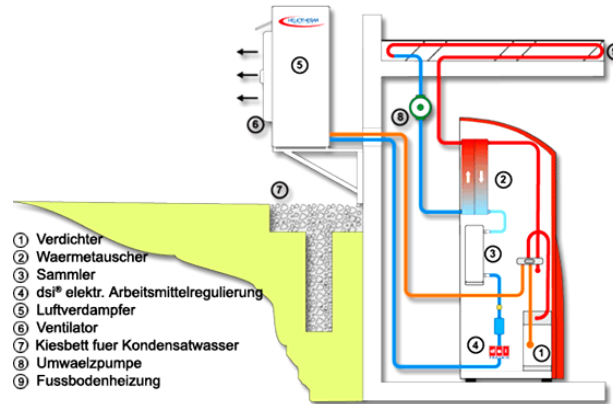
Split und Solezwischenkreis

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

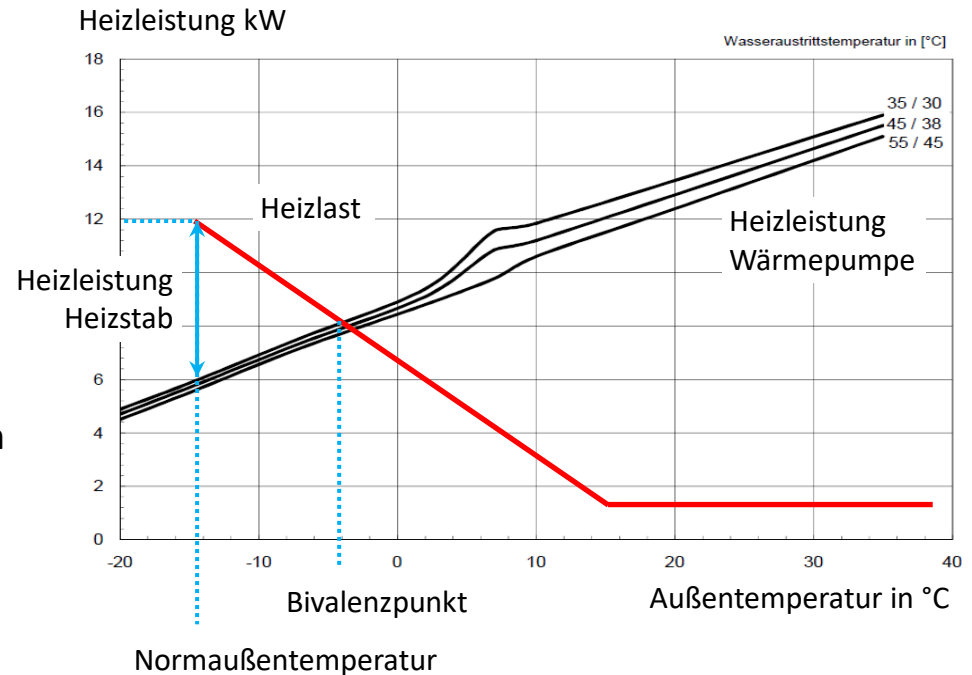
- Wärmepumpe ist alleiniger Wärmeerzeuger
- Standardauslegung bei EFH/ZFH für Erd- und Grundwasserwärmepumpen

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

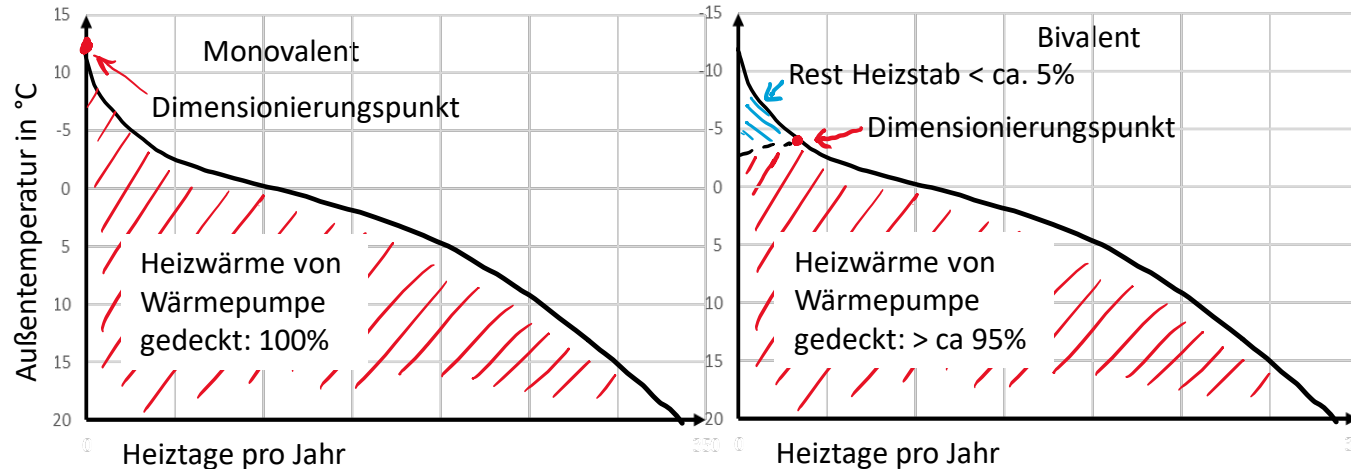
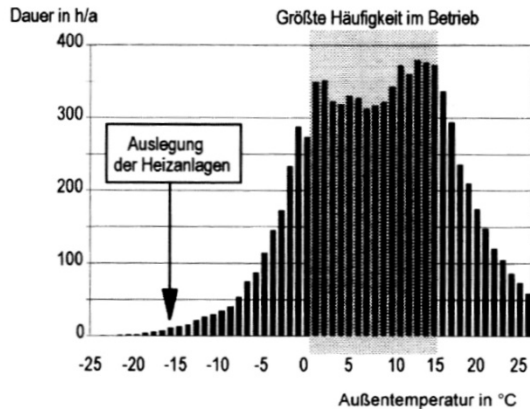


Wieviel % der Wärme liefert eine bivalente Wärmepumpe?

Heizstabeinsatz verschlechtert JAZ

- COP Heizstab = 1
- Beispiel: JAZ der WP = 3, 95 % Deckungsgrad durch WP
- $JAZ \text{ inkl. Heizstab} = 95\% \cdot 3 + (100\% - 95\%) \cdot 1 = 2,9$

Stunden pro Jahr nach
Außentemperatur – München



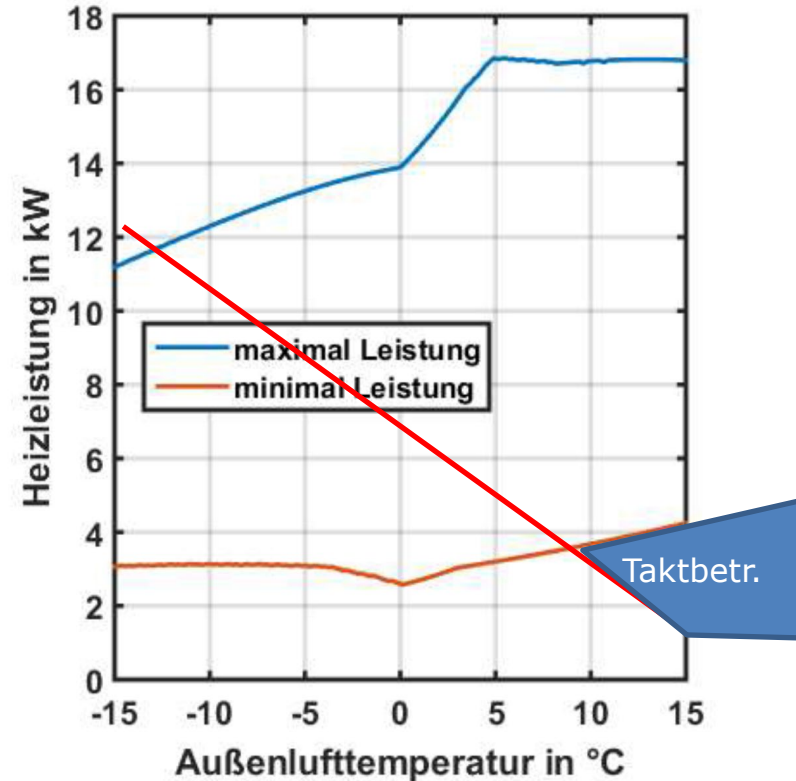
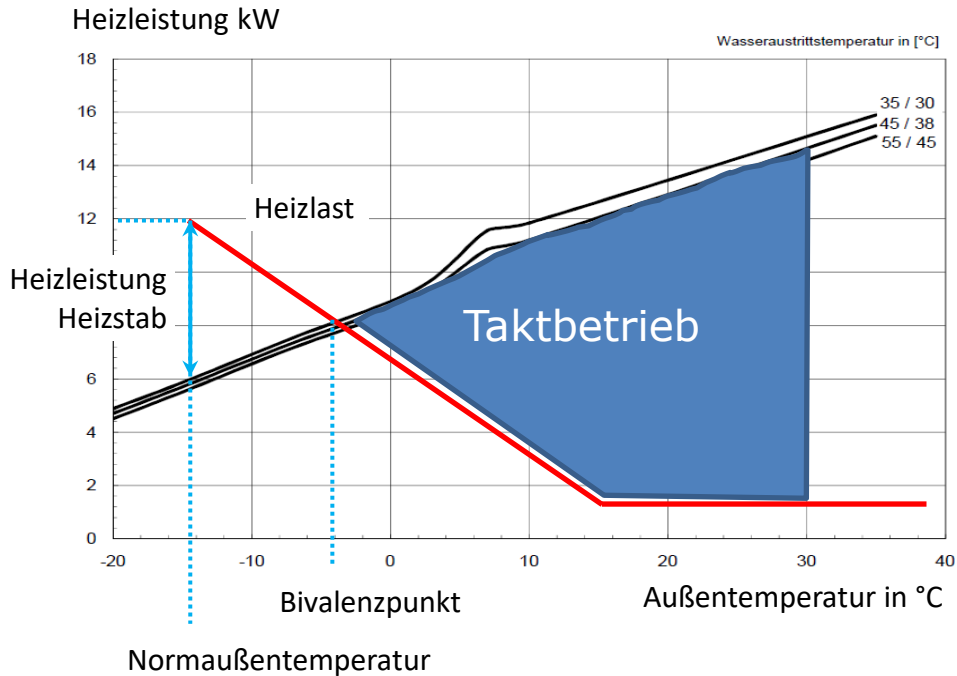
Deckungsanteil der Wärmepumpe abhängig von Normaußentemperatur und Bivalenzpunkt

Deckungsanteil der Wärmepumpe abhängig von Normaußentemperatur und Bivalenzpunkt

Deckungsanteil der Wärmepumpe (%)																			
Klimazone / Auslegungs- temperatur	Bivalenzpunkt / Dimensionierungspunkt (°C)																		
	(°C)	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-10	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	98	97	96	94	92	90	87	84	81
-12	100	100	100	99	99	99	99	98	98	97	96	95	93	90	88	86	83	80	77
-14	100	100	99	98	98	98	98	97	97	96	94	92	90	88	85	82	79	75	72
-16	99	99	98	98	97	97	97	96	95	94	92	90	87	84	81	78	74	71	67

Quelle: Haustechnik Dialog SHK Wissen
<https://www.haustechnikdialog.de/SHKwissen/1247/Bivalenzpunkt>

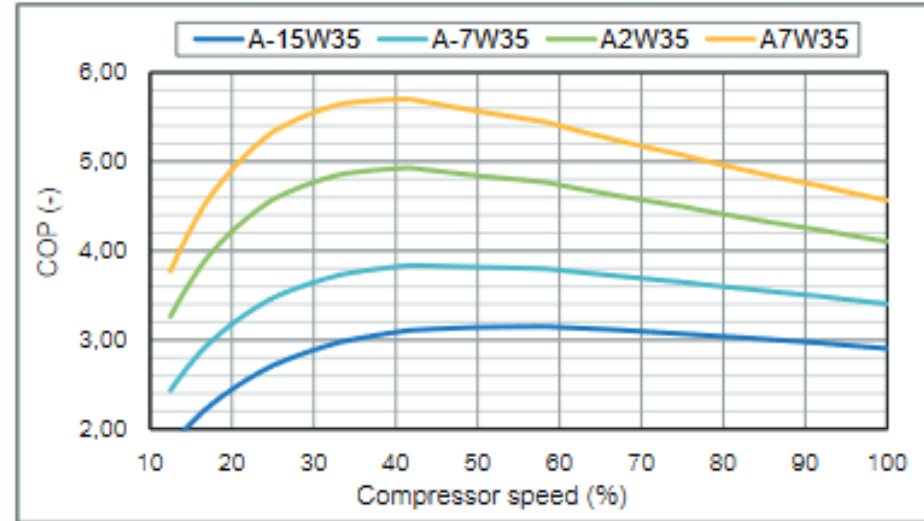
Fixspeed vs Modulierende Wärmepumpe



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

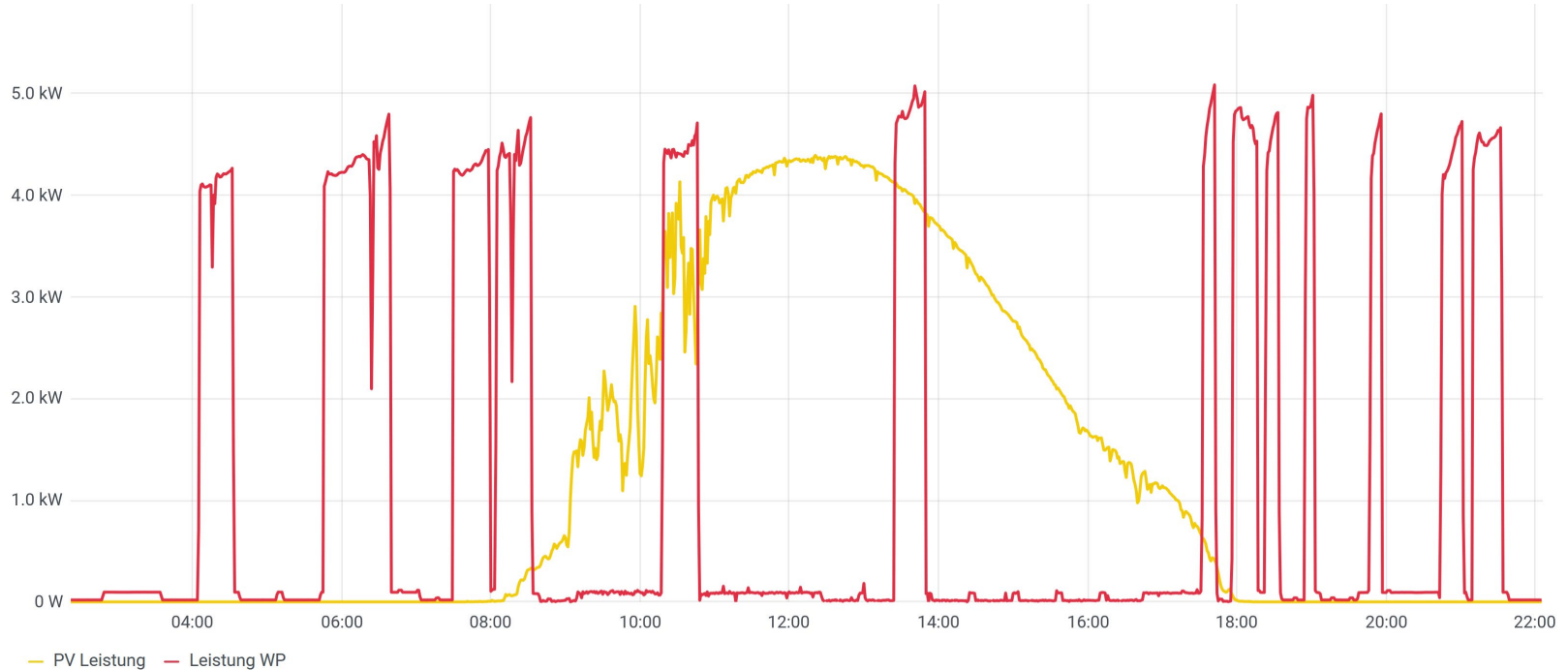
Bei H-FKW evtl. jährliche Dichtheitskontrolle je nach Treibhauspotential und Füllmenge

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

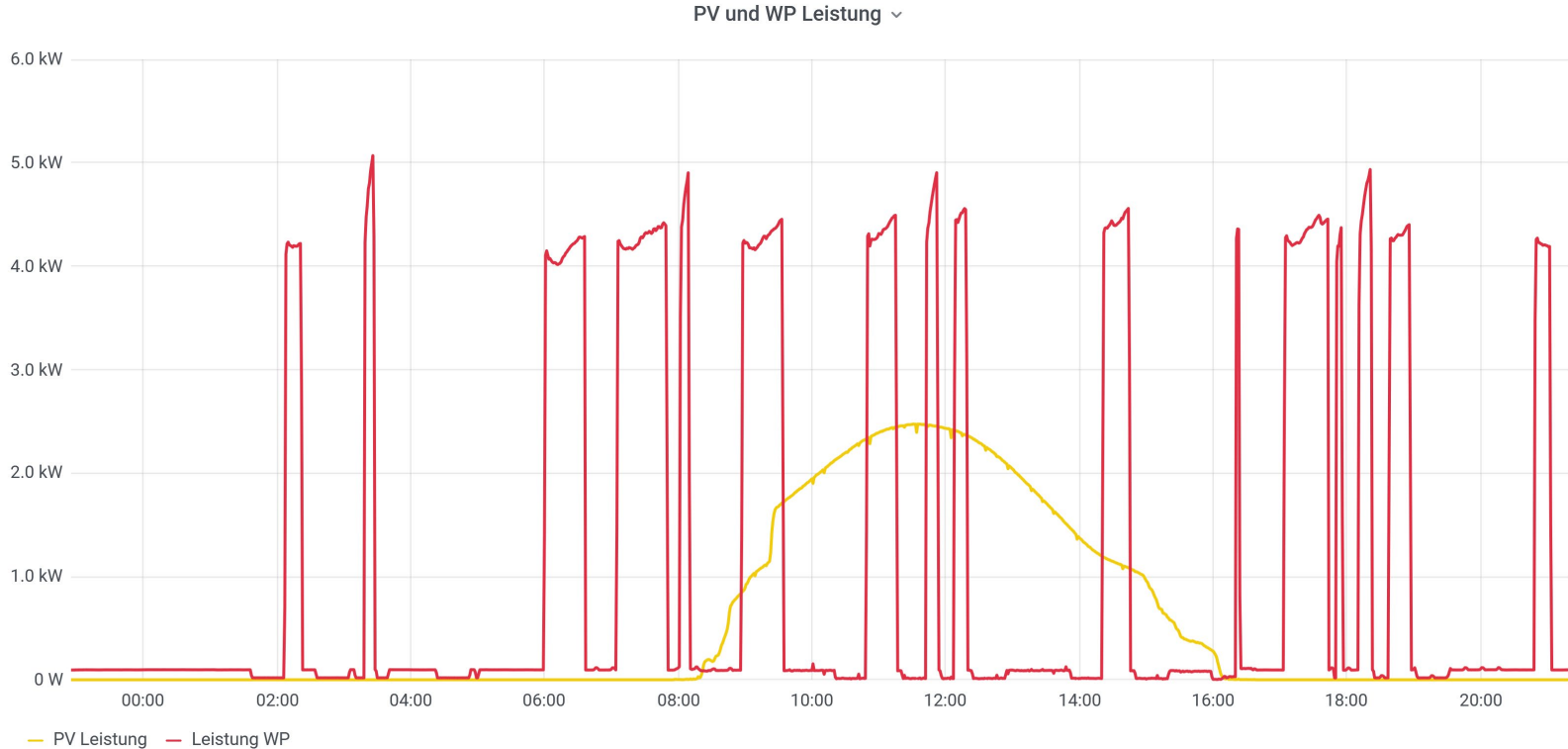
Sonniger Tag, 18.10.



Nicht auf PV-Betrieb optimierte Anlage

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

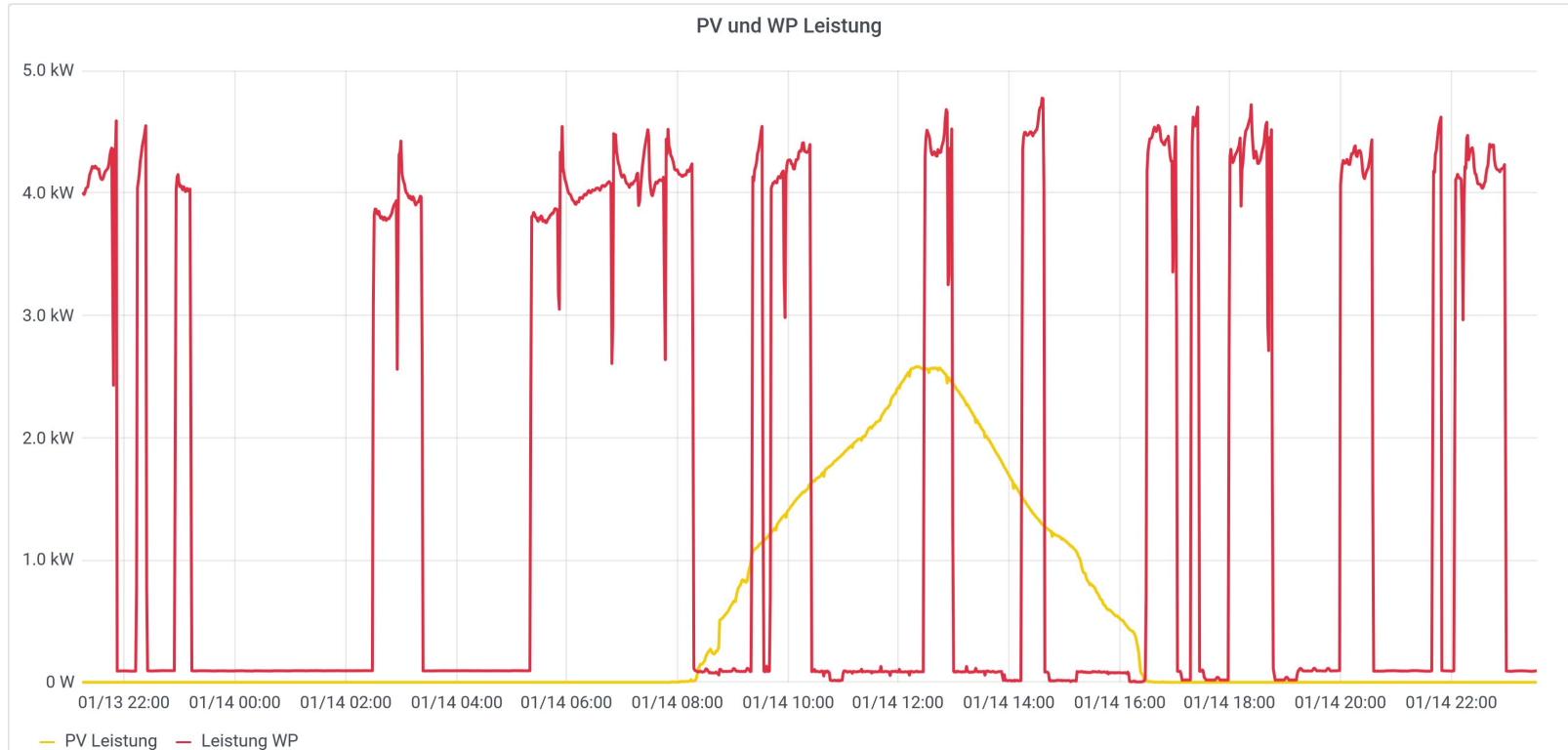
Sonniger Tag, 30.12.



Nicht auf PV-Betrieb optimierte Anlage

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

Relativ sonniger, sehr kalter Tag, 14.1.



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 verdoppelt

Studie des SPF Instituts für Solartechnik in Rapperswill

- Effizienz eines Batterie- und thermischen Speichers sind ähnlich
- Mehr als Tagespeicher 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% Uraltkessel,
 - 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

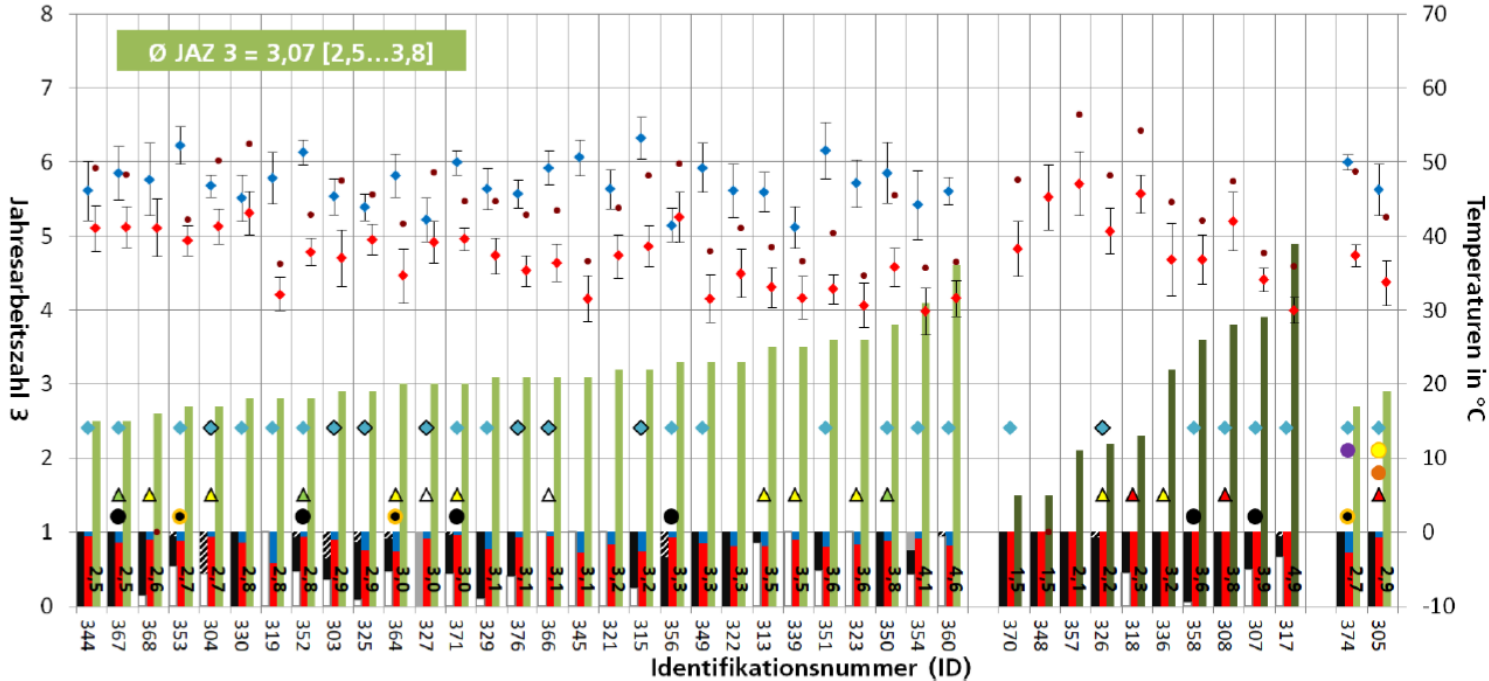
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit





Feldtest Wärmepumpen im Bestand – Fraunhofer ISE

- Jahresarbeitszahl 3
- Anteil nur Heizkörper
- Solaranlage (RH)
- ▲ Ofen: größerer Einfluss
- ◆ T_TWE Mittel
- Jahresarbeitszahl 3 RH
- Anteil nur Gebläseconv.
- Solaranlage (TWE)
- ▲ Ofen: unbekannter Einfluss
- T_RH_Vorlauf_max
- Energieanteil RH
- ▨ Anteil gemischt (FH+HK)
- Smarter Betrieb
- ◆ Verdichter-Stufen
- Energieanteil TWE
- Ölkessel
- ▲ Ofen: kein Einfluss
- ◆ Inverter geregelt
- Anteil nur Flächenheizung
- Gaskessel
- ▲ Ofen: geringer Einfluss
- ◆ T_RH_Mittel



Warmwasserwärmepumpe

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 PV: 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: Ochsner

Heizungswärmepumpe

Ersetzt den Heizkessel komplett

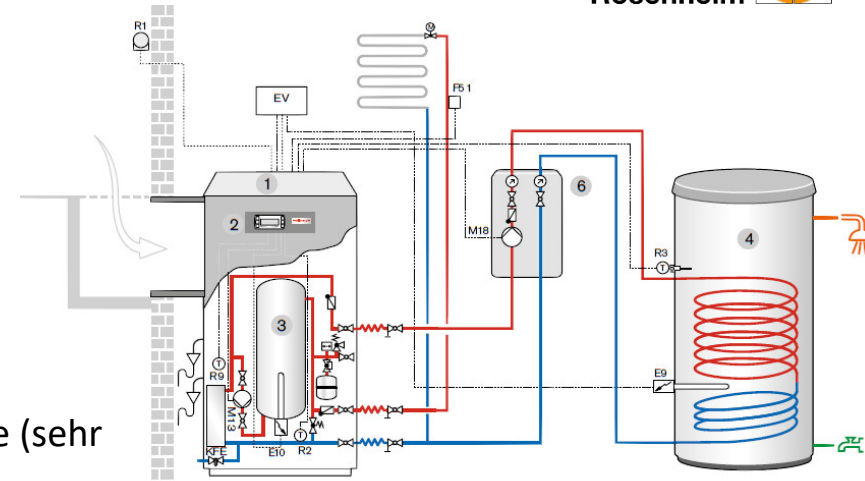
- Heizwärmeerzeugung
- Warmwassererzeugung

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



Bilder: Weishaupt

- 1 Luft/Wasser-Wärmepumpe WWP L 8 IK-2
- 2 Wärmepumpenmanager / Regler
- 3 Pufferspeicher
- 4 Trinkwasserspeicher WAC
- 6 Trinkwassermodul WTM

- EV Elektroverteiler
- E9 Flanschheizung Trinkwasser
- E10 Tauchheizkörper integriert
- FB 1 Temperatur w. Fußbodenh.
- M13 Heizungsumwälzpumpe
- M18 Trinkwasserladepumpe
- R1 Aussenfühler
- R2 Rücklauffühler (intern)
- R3 Trinkwasserfühler
- R9 Vorlauffühler (intern)

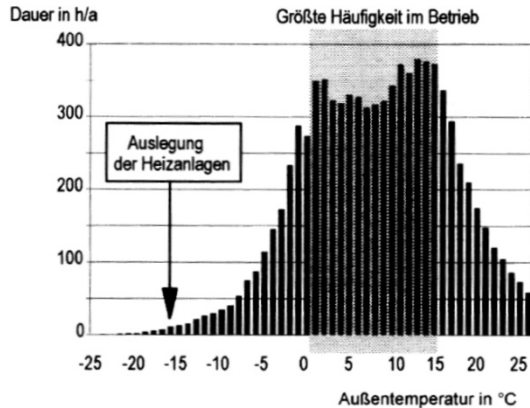
10°C zu hohe Heizungswassertemperatur:
Alter Kessel -1% Effizienz
Brennwertkessel -10% Effizienz
Wärmepumpe -25% Effizienz

Wieviel % der Wärme liefert eine bivalente Wärmepumpe?

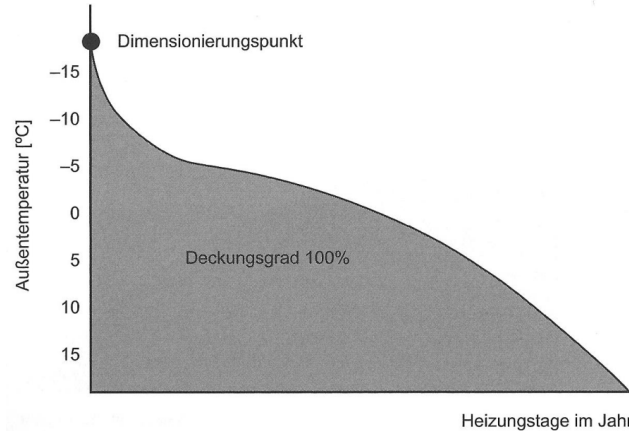
Heizstabeinsatz verschlechtert JAZ

- COP Heizstab = 1
- Beispiel: JAZ der WP = 3, 95 % Deckungsgrad durch WP
- $JAZ \text{ inkl. Heizstab} = 95\% \cdot 3 + (100\% - 95\%) \cdot 1 = 2,9$

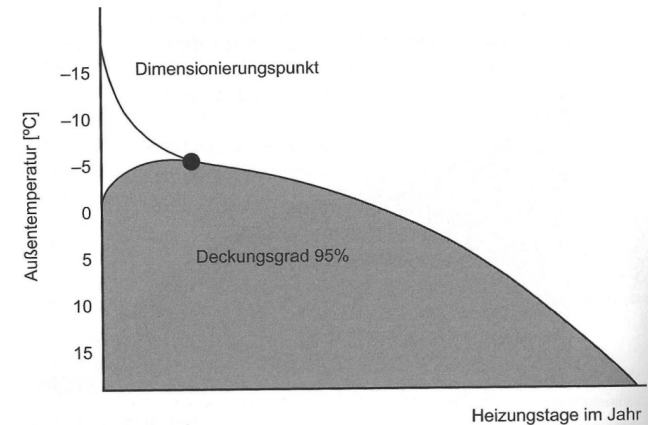
Stunden pro Jahr nach
Außentemperatur – München



Monovalent
100 % durch Wärmepumpe



Bivalent – ca. 95 % durch
Wärmepumpe, Rest Heizstab





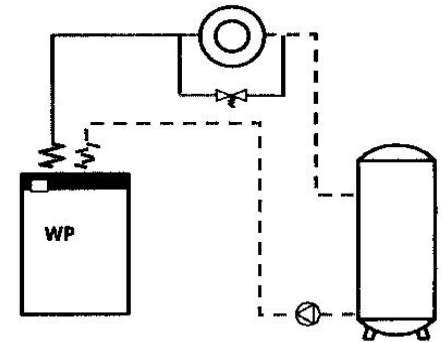
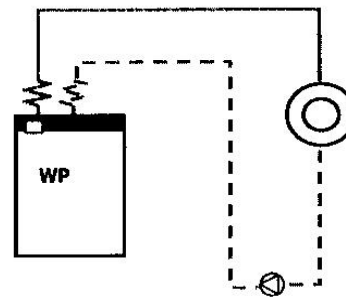
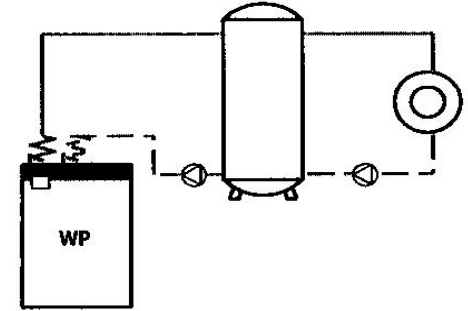
3.3.4 Wärmepumpen Hydraulik

Hinweise zur Hydraulik:

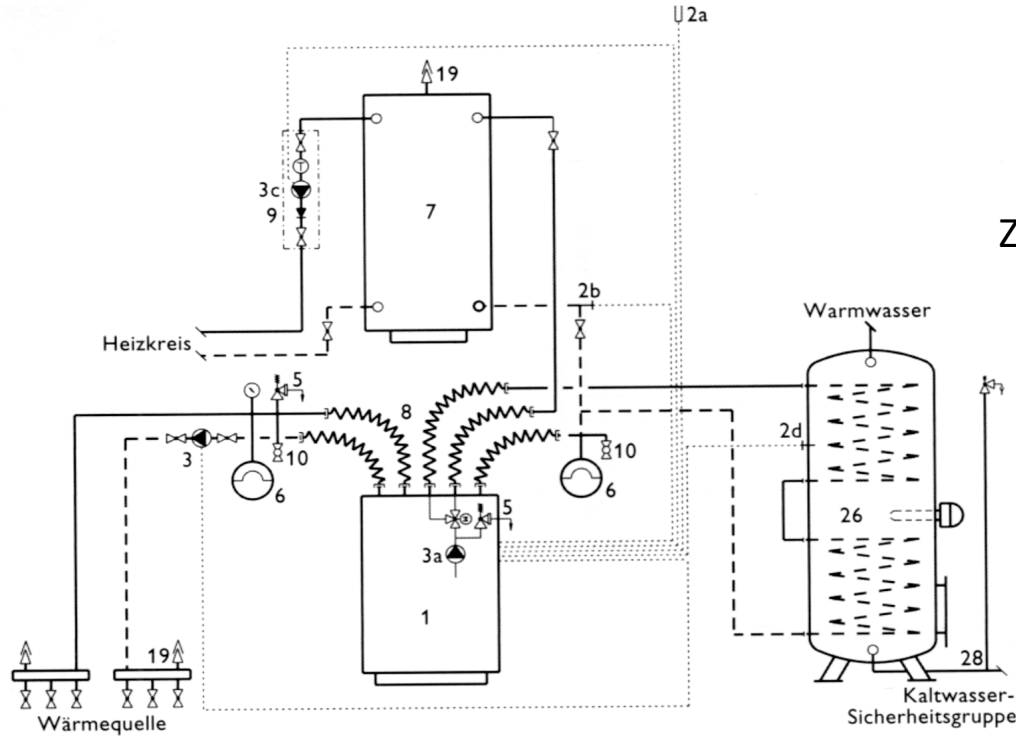
Wärmepumpen gehen bei Überhitzung auf Störung
→ Mindestdurchfluss nötig

3 hydraulische Prinzipien:

- direkte Ankopplung an Heizkreis → einige Heizkreise müssen immer offen sein
- Technischer Speicher in Reihe, wenn Heizkreise alle zu → Überströmventil
- Technischer Speicher als hydraulische Weiche



3.3.4 Wärmepumpen Hydraulik



Techn. Speicher



Zur Heizfläche

Solekreis

www.tecalor.de

3.3.4 Wärmepumpen Hydraulik

Auslegung der Heizflächen:

- max. Vorlauftemperatur $< 35^{\circ}\text{C}$
- Temperaturspreizung $< 5\text{K}$
- Flächenheizung statt Heizkörperheizung
- Verlegeabstände je nach Wärmebedarf des Raumes
- möglichst gleiche Rohrlängen je Kreis
- Rohrlängen max. 80 bis 100m \rightarrow geringe Pumpenenergie
- bei spez. Heizlast $< 50\text{W}/\text{m}^2$: möglichst Verzicht auf Einzelraumregelung
 \rightarrow Ausnahmegenehmigung von EnEV





3.3.4 Wärmepumpen Begriffe

Leistungszahl (ϵ)

- Die Leistungszahl ist das Verhältnis von der ans Heiznetz abgegebenen Wärmeleistung zu der aufgenommenen elektrischen Leistung des Antriebsmotors bei einem bestimmten Betriebspunkt, d.h. einer definierten Vor- und Rücklauftemperatur und Wärmequellentemperatur.

COP (Coefficient of Performance)

- Hierbei wird zusätzlich die elektrische Leistung der Hilfsaggregate, soweit sie für den Betrieb der Wärmepumpe nötig sind, einbezogen.

Jahresarbeitszahl (JAZ)

- Gibt das Verhältnis der Leistungsabgabe an das Warmwasser und die Heizung zur eingesetzten elektrischen Energie inkl. aller Zusatzaggregate (z.B. auch Nachheizstab) an und stellt damit die für die Praxis ausschlaggebende Bewertungsgröße dar.

Leistungszahl (ϵ)

- Die Leistungszahl ist das Verhältnis von der ans Heiznetz abgegebenen Wärmeleistung zu der aufgenommenen elektrischen Leistung des Antriebsmotors bei einem bestimmten Betriebspunkt, d.h. einer definierten Vor- und Rücklauftemperatur und Wärmequellentemperatur.

COP (Coefficient of Performance)

- Hierbei wird zusätzlich die elektrische Leistung der Hilfsaggregate, soweit sie für den Betrieb der Wärmepumpe nötig sind, einbezogen.

Jahresarbeitszahl (JAZ, SCOP)

- Gibt das Verhältnis der Leistungsabgabe an das Warmwasser und die Heizung zur eingesetzten elektrischen Energie inkl. aller Zusatzaggregate (z.B. auch Nachheizstab) an und stellt damit die für die Praxis ausschlaggebende Bewertungsgröße dar.
- Rechner: <https://www.waermepumpe.de/jazrechner/>

Wärmepumpe

Luft

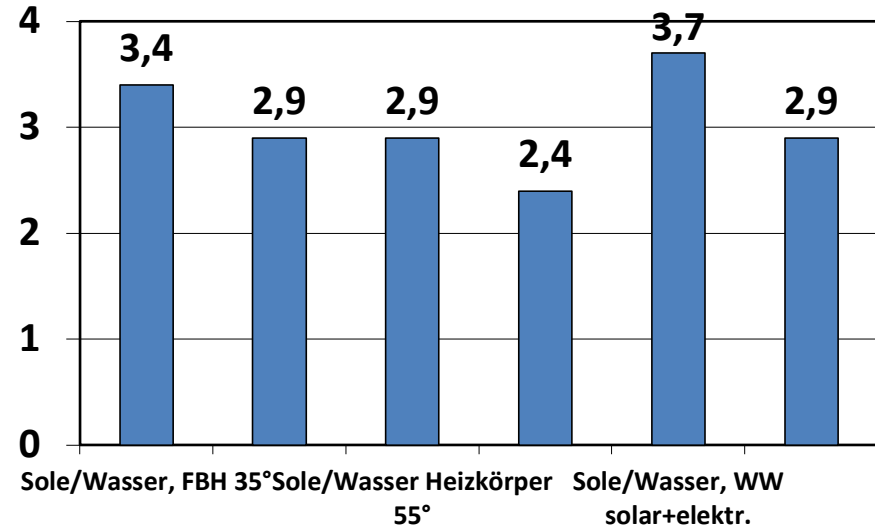
			WW Anteil	Heiz T	JAZ
Bestand	Stiebel	WPL 13 cool außen	18%	35/30	
			18%	55/45	
	Wolf	CHA 10	18%	35/30	
			18%	55/45	
Neubau	Stiebel	WPL 13 cool außen	40%	35/30	
			40%	55/45	
	Wolf	CHA 10	40%	35/30	
			40%	55/45	

Erdkollektor

			WW Anteil	Heiz T	JAZ
Bestand	Stiebel	WPL 13 cool außen	18%	35/30	
			18%	55/45	
	Wolf	CHA 10	18%	35/30	
			18%	55/45	
Neubau	Stiebel	WPL 13 cool außen	40%	35/30	
			40%	55/45	
	Wolf	CHA 10	40%	35/30	
			40%	55/45	

3.3.4 Kompressionswärmepumpen Jahresarbeitszahl

Einflussgrößen auf die Jahresarbeitszahl	Wirkung
Niedrige Auslegungs-Vorlauftemperatur des Heizsystems	++
Niedrige Wärmequellentemperatur durch (z.B. falsche Dimensionierung)	--
Hoher Druckverlust im Fördersystem der Wärmequelle (z.B. zu klein dimensionierte Leitungen im Solekreislauf)	-
Wärmepumpe mit hohen COP Werten	++
Trinkwassererwärmung ausschließlich über Elektroheizstab	--

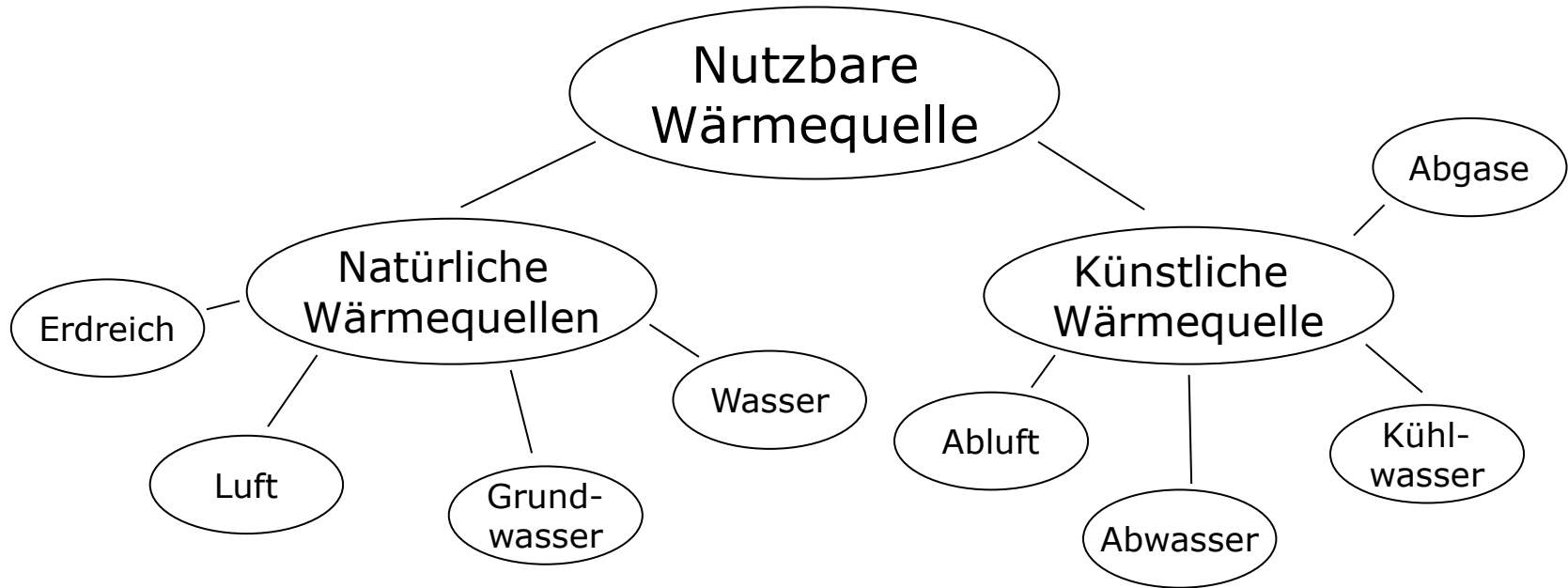


Faustformel:

Vorlauftemperatur - 1K ⇒ Leistungszahl + 2,5%

Quellentemperatur + 1K ⇒ Leistungszahl + 2,7 %

3.3.4 Wärmepumpen Wärmequellen



3.3.4 Wärmepumpen Bemessung

Bemessung bei monovalenter und monoenergetischer Betriebsweise					Bemerkung
1	Heizlast nach DIN EN 12831			kW	
2	Warmwasserleistung		250 W/P (EFH) 200 W/P (MFH)	+ kW	
3	Sperrzeiten für Heizstrom	... Stunden/Tag	pro Stunde ca. 5% der Wärmeleistung	+ kW	
4	Heizleistung der Wärmepumpe			kW	* s.u.
5	el. Leistungsaufnahme der Wärmepumpe	Heizleistung / Leistungszahl	COP	- kW	Hersteller- angabe
6	Entzugsleistung Wärmequelle		Heizleistung – el. Leistungsaufn.	kW	

*Die Heizleistung der Wärmepumpe kann je nach Jahresdauerlinie auf 80% reduziert werden, wenn der Rest z.B. direktelektrisch abgedeckt wird. Die Wärmequelle sollte dennoch auf Basis der Heizleistung in Zeile 4 bemessen werden.

3.3.4 Wärmepumpen Erdreichtemperaturen

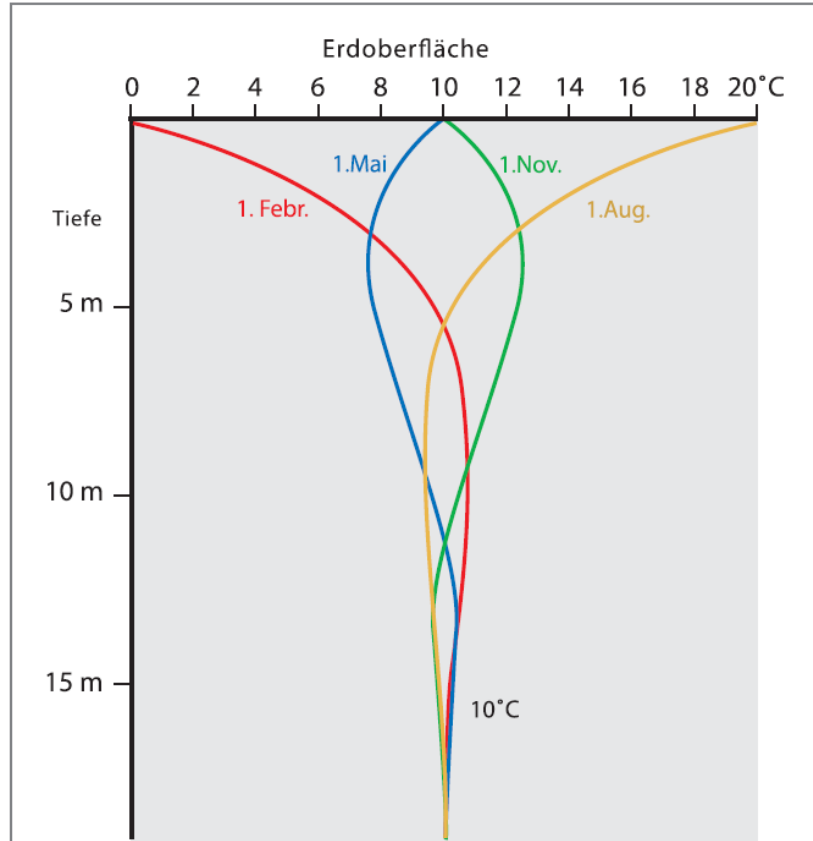


Abb.9 Einfluss der Jahreszeiten auf die Temperatur der obersten Erdschichten (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

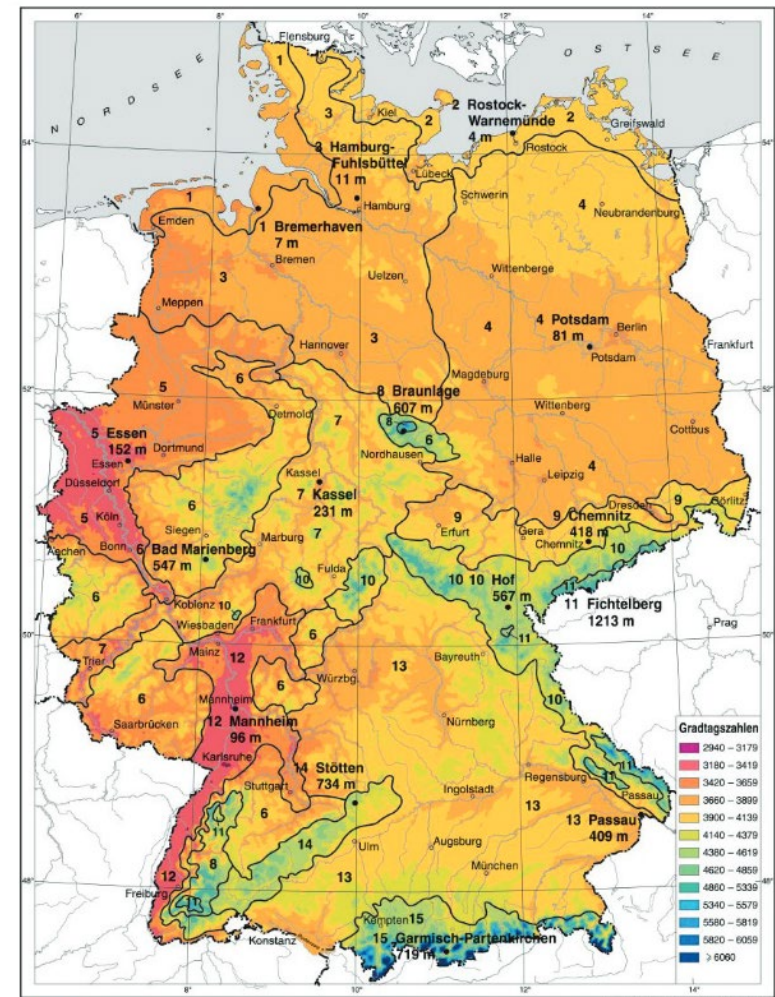
Erdwärme-Auslegung nach VDI 4640-2:2019

Auslegung nach zwei Kriterien

- Entzugsleistung (=Verdampferleistung) der Wärmepumpe
 - Jahresentzugsenergie der Wärmepumpe (=Jahreswärmebedarf – Strombedarf WP)
- Das Kriterium mit dem größeren Flächen- bzw. Längenbedarf bestimmt

Lokale Einflußfaktoren:

- Klimazonen für Heiz- und Raumlufttechnikbelange (DIN 4710)
- Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs



Leistungskriterium

- Während der Laufzeit soll Soletemperatur nur wenig abfallen
- Bemessung nach Verdampferleistung und **nicht** Heizlast: $\dot{Q}_V = \dot{Q}_{WP} \cdot \frac{COP-1}{COP}$
- Einflussfaktoren auf thermische Ankopplung Sole-Erdreich:
 - Wärmetauscherfläche (Rohroberfläche)
 - Wärmeleitfähigkeit von Rohr ins Erdreich
 - Turbulente oder laminare Strömung der Sole

Jahresentzugsenergie („Entzugsarbeit“)

- Regeneration des Erdreichs übers Jahr (entzogene Wärme muss wieder nachfließen können)
 - Erdkollektoren: Kollektorfläche und Eintrag durch Klima (Regen, Jahresmitteltemperatur)
 - Sonden: Sondenzahl/-anordnung und Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds
- Entzogene Jahreswärme: $Q_{Entz} = Q_{WP} \cdot \frac{SCOP-1}{SCOP}$
- Bei gleichzeitiger Nutzung für Kühlung: Wärmeeintrag berücksichtigen
- Regeneration durch Solarwärme möglich

Auslegung von Erdwärmekollektor mit Tabellen aus VDI 4640-2:2019

Tabelle unterscheidet nach Klimazone und Bodenart

Beispiel:

Standort Rosenheim

Lehmboden

max. Vorlauftemperatur: 35°C

B0/W35: 8 kW/ COP 4,2

Wärmebedarf: 16.000 kWh/a

SCOP: 4,0

Klimazone		Entzugsleistung in W/m ² Entzugsarbeit in kWh/a Volllaststunden in h/a Rohrabstand in m	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
PE-Rohr 32x2,9	Klimazone 12	Entzugsleistung	30	37	39	42
		Entzugsarbeit	40	49	52	56
		Volllaststunden	1350	1350	1350	1350
		Rohrabstand	0,2...0,3	0,35...0,45	0,4...0,5	0,4...0,5
	Klimazone 13	Entzugsleistung	16	25	27	29
		Entzugsarbeit	28	45	48	52
		Volllaststunden	1800	1800	1800	1800
		Rohrabstand	0,5...0,6	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7
Kapillarrohrmatten	Klimazone 12	Entzugsleistung	41	45	52	58
		Entzugsarbeit	55	60	70	78
		Volllaststunden	1350	1350	1350	1350
		Rohrabstand	0,25...0,35	0,65...0,8	0,75...0,85	0,7...0,8
	Klimazone 13	Entzugsleistung	17	26	33	34
		Entzugsarbeit	30	46	59	61
		Volllaststunden	1800	1800	1800	1800
		Rohrabstand	0,3...0,45	0,65...0,8	0,75...0,9	0,7...0,85

Quelle: VDI 4640-
2:2015

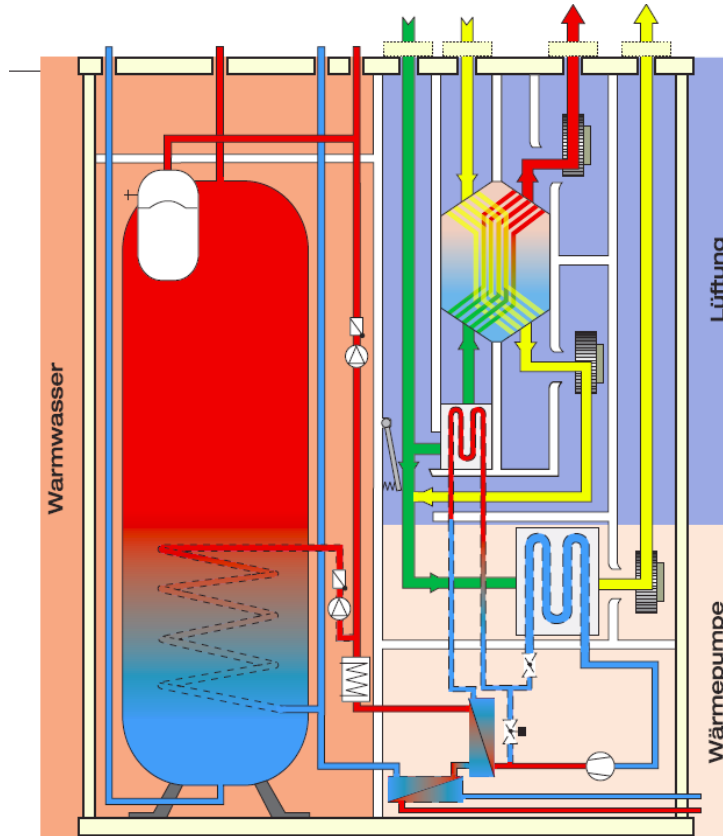
Tabelle B5. Entzugsleistung bei Anlagenbetrieb „Heizen und Trinkwassererwärmung“, mit $T_{WP\text{-Austritt}} \geq -5 \text{ °C}$ bei Maximalleistung (Spitzenlast), in W/m

Gültig für:

- Anlagen bis 30 kW
- Sondentiefe zwischen 50 und 200 m
- Max. 5 Sonden
- Mind. 6 m Abstand keine deutliche Abweichung von Linienanordnung
- Eigenschaften entsprechen etwa einer Doppel-U-Sonde (Bohrlochwiderstand)
- Auslegung nach Wärmepumpenleistung und **nicht** Gebäudeheizlast
- Tabellen für 6 Szenarien $T_{WP\text{-Austritt}}: \geq 0\text{°C}, -3\text{°C}, -5\text{°C}$ bei Maximalleistung und mit und ohne Warmwasserbereitung

Jahresvolllaststunden	Anzahl Sonden	Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Untergrunds			
		Entzugsleistung bei turbulentem Durchfluss in W/m			
		1,0 W/(m·K)	2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)	4,0 W/(m·K)
1500 h/a	1	33,4	48,0	57,9	65,0
	2	30,1	44,3	54,3	61,6
	3	28,0	41,8	51,8	59,2
	4	26,4	39,9	49,9	57,4
	5	25,5	38,8	48,8	56,5
1800 h/a	1	29,4	43,9	53,9	61,3
	2	26,3	40,1	50,2	57,7
	3	24,4	37,6	47,5	55,1
	4	22,9	35,7	45,5	53,1
	5	22,1	34,6	44,4	52,1
2100 h/a	1	26,6	40,7	50,7	58,3
	2	23,6	36,9	46,8	54,4
	3	21,7	34,4	44,1	51,7
	4	20,4	32,5	42,0	49,6
	5	19,6	31,4	40,8	48,5
2400 h/a	1	24,4	38,2	48,3	55,9
	2	21,6	34,4	44,1	51,2
	3	19,8	31,9	41,3	48,9
	4	18,4	30,0	39,2	46,8
	5	17,7	28,9	38,0	45,5

3.3.4 Wärmepumpen: Kompaktgerät inkl. Lüftung



Quelle: tecalor.de

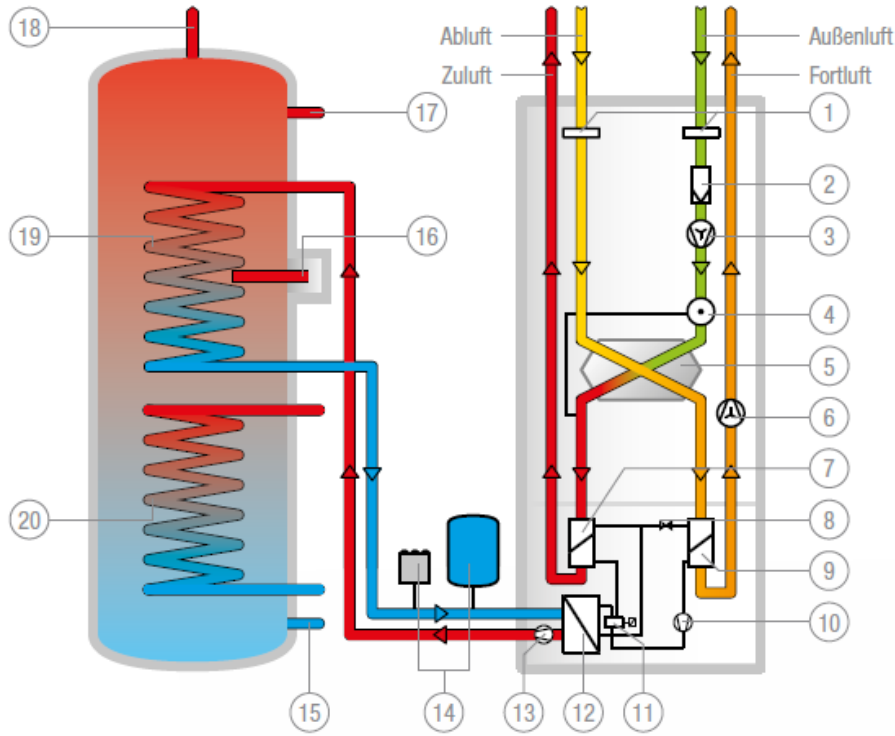
Kompaktgerät:

- Außenluft/Abluft-Wärmepumpe
- Lüftung mit WRG
- Elektr. Nachheizung
- Warmwasserbereitung
- Solareinbindung
- Heizleistung bis ca. 6 kW

3.3.4 Wärmepumpen: Passivhaus-Kompaktgerät

Trinkwasser-Speicher PHS 300

Kompaktgerät PHK 180



Quelle: Aerex

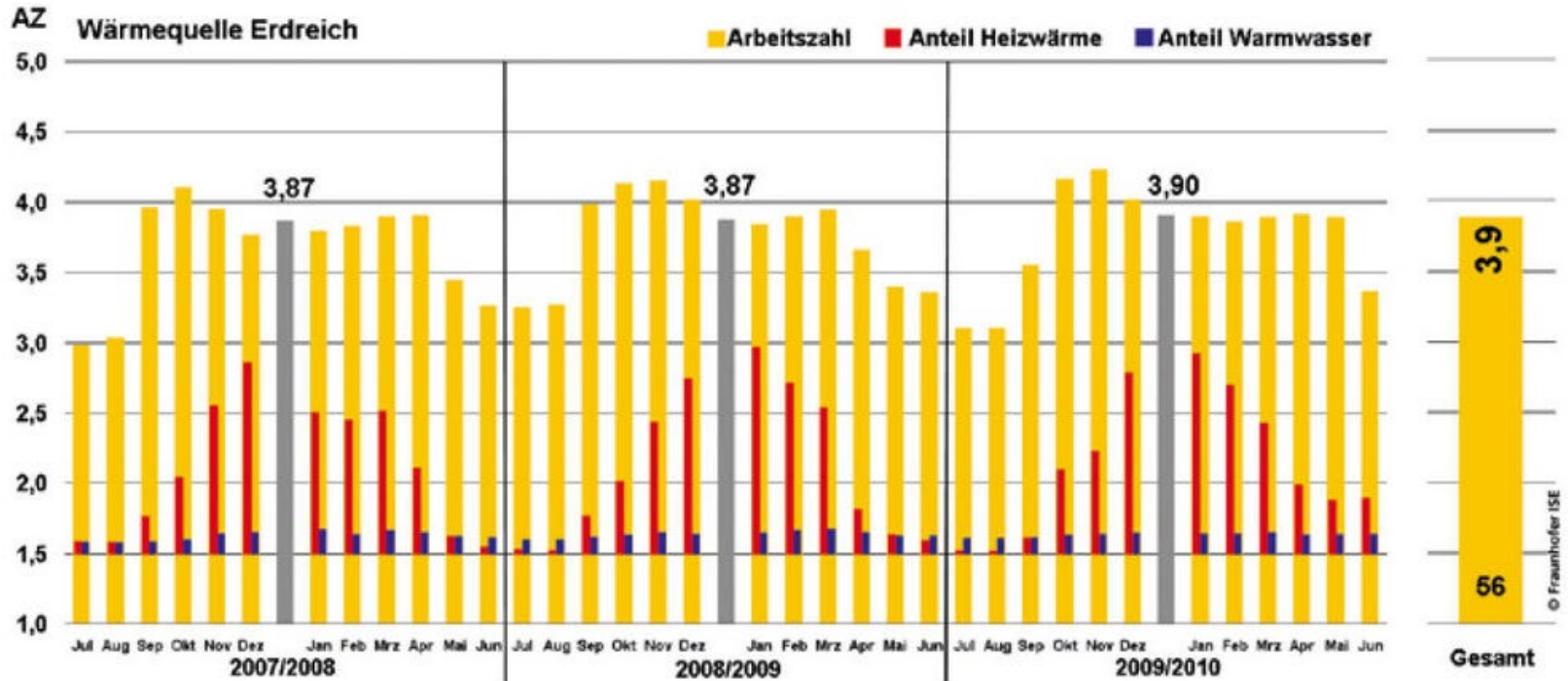
Kompaktgerät:

- Abluft-Wärmepumpe
- Lüftung mit WRG
- Elektr. Nachheizung
- Warmwasserbereitung

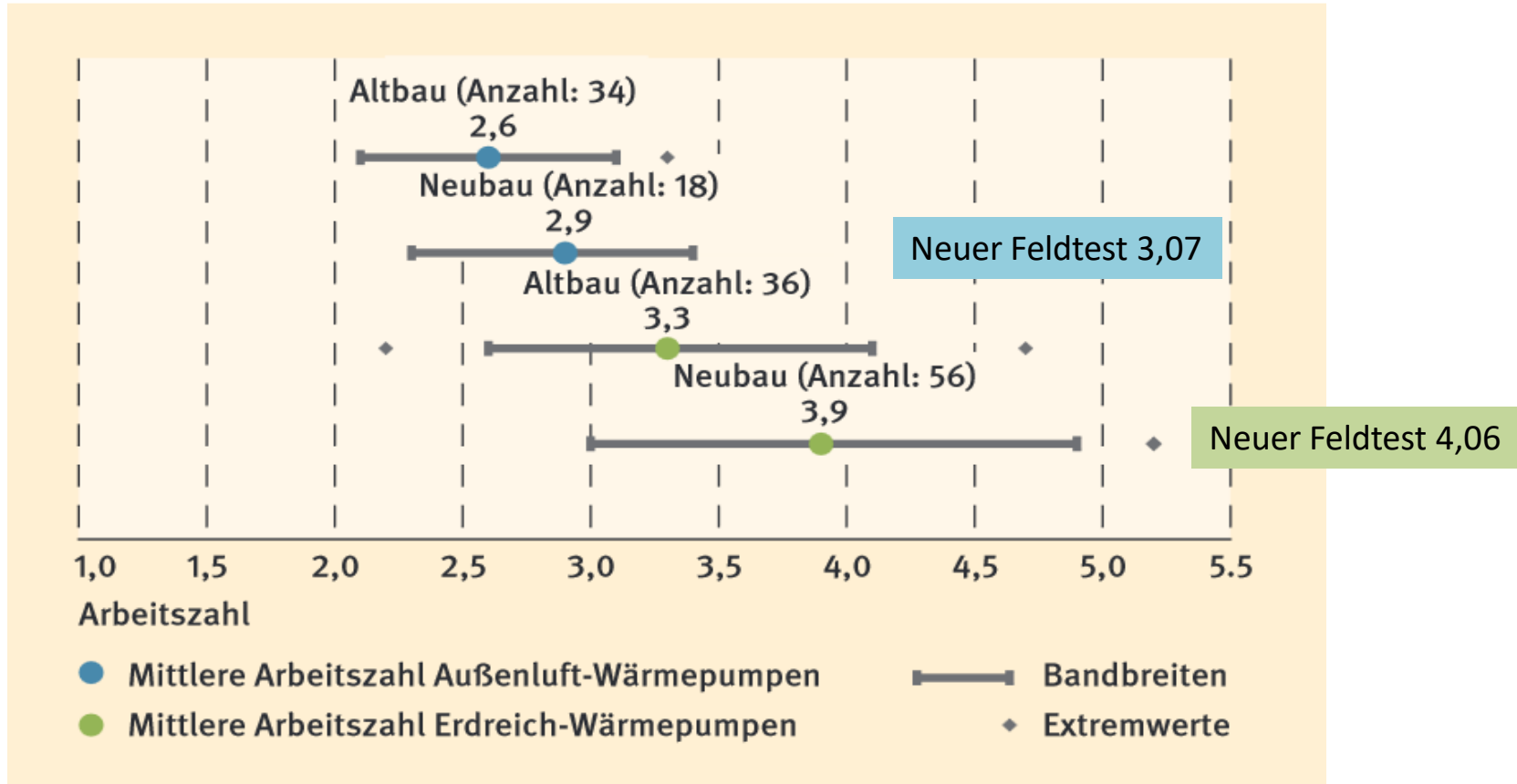
1. Grobfilter G4
2. Feinfilter F7
3. Außenluftventilator,
4. Automatische Sommer-Bypass-Klappe
5. Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher
6. Fortluftventilator
7. Luft-Kondensator,
8. Expansionsventil
9. Verdampfer
10. Kompressor,
11. Umschaltventil Luft / Brauchwasser
12. Wasser-Kondensator
13. Umwälzpumpe
14. Sicherheitsgruppe
15. Kaltwasseranschluss
16. Elektroheizstab
17. Zirkulationsanschluss
18. Warmwasseranschluss
19. Wärmetauscher/ Umwälzpumpe
20. Wärmetauscher / Solar

3.3.4 Wärmepumpen: Feldtest

2 Arbeitszahlen Sole/Wasser-Wärmepumpen (Neubau)



Quelle: Marek Miara, Fraunhofer ISE 2010



Quelle: Bine Themeninfo I/2013

Flächenheizung großzügig dimensionieren

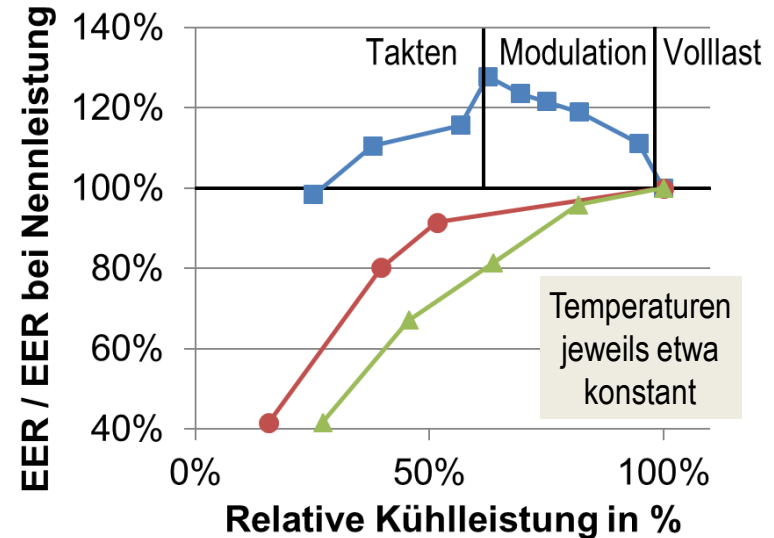
Inverter-WP wesentlich bessere Wahl

- Deutlich besserer Teillastwirkungsgrad
- Einzelraumregelung evtl. auch ohne Speicher realisierbar
- Bei Luftwärmepumpen evtl. monovalenter Betrieb möglich

Überdimensionierung vermeiden (Problem Heizlast-Berechnung!)

EU Kältemittel Phase down

- R410a nicht zukunftsfähig
→ zukünftige Reparaturkosten?



- Inverter-Luft-/Wasser-Wärmepumpe
- Sole-/Wasser-Wärmepumpe
- ▲ luftgekühlter Kaltwassersatz

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Mario Adam
Praxisbericht aus Projekt „Coolplan-Air“