



# Die Rolle der Wärmepumpe in der Energiewende

**Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl**

9. M4F-Stammtisch, 23.03.2022

**Ostfalia**  
Hochschule für angewandte Wissenschaften



## Inhalt

1. Wärmepumpen im Kontext der „Energiewende“
2. Funktionsprinzip - Thermodynamische Grundlagen
3. Wärmepumpen- Bauteile
4. Kältemittel
5. Wärmequellenanlagen
6. Auslegung, Systemintegration, Projektbeispiele
7. Zusammenfassung und Ausblick

## 1. Wärmepumpen im Kontext der „Energiewende“

- **Wärmepumpen nehmen in der aktuellen Entwicklung der Heiztechnik und dem Wechsel der Energieversorgung von dem Verbrauch fossiler zur Nutzung regenerativer Energieträger einen besonderen Stellenwert ein**
- **Sie nutzen Umweltenergie oder Abwärme**, um Wärme auf höherem Temperaturniveau zur Verfügung zu stellen und verwenden dazu in der Regel elektrische Energie mit einem steigenden regenerativen Anteil
- **Die steigende Zahl der umgesetzten Wärmepumpen-Heizsysteme ergibt sich u.a. auch über Anforderungen des Gesetzgebers im Gebäudeenergiegesetz (GEG)**, in dem der Primärenergiebedarf von Gebäuden begrenzt und entsprechend nachzuweisen ist.
- **Ein weiterer Anreiz zur Nutzung von Wärmepumpen ergibt sich aus der Förderung bei Unterschreitung des Primärenergiebedarfs Grenzwertes** von Gebäuden über die BEG-Förderung
- **Die Wärmepumpe stellt eine Lösung dar, die ganzjährig Wärme auf einem Temperaturniveau zur Gebäudeheizung zur Verfügung stellen kann**
- Eine **ergänzende Option zur Kühlung** (insbesondere in Bürogebäuden) **bietet zusätzliche Vorteile**

Übersicht der Wärmeerzeugervarianten für ein Wohngebäude im vereinfachten Nachweisverfahren im GEG, Anlage 5

Tabelle 1  
Ausführungsvarianten für ein freistehendes Gebäude

Anlagenvariante Nummer	Beheizte Bruttogrundfläche des Gebäudes $A_{BGG}$ in $m^2$	Erforderliche Wärmeschutzvariante															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	von	115	141	166	196	236	281	341	406	481	581	701	881	1101	1401	1801	
	bis	140	165	195	235	280	340	405	490	580	700	880	1100	1400	1800	2300	
1	Kessel für feste Biomasse, Pufferspeicher und zentrale Trinkwassererwärmung	D															
2	Brennwertgerät zur Verfeuerung von Erdgas oder leichtem Heizöl, Solaranlage zur zentralen Trinkwassererwärmung, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	B						A									
3	Brennwertgerät zur Verfeuerung von Erdgas oder leichtem Heizöl, Solaranlage zur zentralen Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlage), Pufferspeicher, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	C															
4	Nah-/Fernwärmeversorgung oder lokale Kraft-Wärme-Kopplung, zentrale Trinkwassererwärmung	D			C				B								
5	Nah-/Fernwärmeversorgung oder lokale Kraft-Wärme-Kopplung, zentrale Trinkwassererwärmung, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	D															
6	Luft-Wasser-Wärmepumpe, zentrale Trinkwassererwärmung	D															
7	Luft-Wasser-Wärmepumpe, dezentrale Trinkwassererwärmung	D						C			B		A		X		
8	Luft-Wasser-Wärmepumpe, dezentrale Trinkwassererwärmung, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	D							C								
9	Wasser-Wasser-Wärmepumpe, zentrale Trinkwassererwärmung	D															
10	Sole-Wasser-Wärmepumpe, zentrale Trinkwassererwärmung	D															



Die Integration von Wärmepumpen in Heizsysteme für Gebäude stellt eine förderfähige Maßnahme der Effizienzsteigerung für Gebäude dar.

Die Umsetzung kann ausschließlich für die Wärmepumpe im Sanierungsfall des Heizsystems sowie innerhalb der Umsetzung eines Effizienzgebäudes (z.B. EG40 oder EH40) erfolgen.

EH ... Effizienzhaus Wohngebäude

EG ... Effizienzgebäude  
Nichtwohngebäude

Förderübersicht BEG

 Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

### Förderübersicht: Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

Einzelmaßnahmen zur Sanierung von Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG)		Fördersatz	Fördersatz mit Austausch Ölheizung	Fachplanung und Baubegleitung
Gebäudehülle <sup>1)</sup>	Dämmung von Außenwänden, Dach, Geschossdecken und Bodenflächen; Austausch von Fenstern und Außentüren; sommerlicher Wärmeschutz	20 %		50 %
Anlagentechnik <sup>1)</sup>	Einbau/Austausch/Optimierung von Lüftungsanlagen; WG: Einbau „Efficiency Smart Home“; NWG: Einbau Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Raumkühlung und Beleuchtungssysteme	20 %		
Heizungsanlagen <sup>1)</sup>	Gas-Brennwertheizungen „Renewable Ready“	20 %	20 %	
	Gas-Hybridanlagen Solarthermieanlagen	30 % 30 %	40 % 30 %	
	Wärmepumpen Biomasseanlagen <sup>2)</sup> Innovative Heizanlagen auf EE-Basis EE-Hybridheizungen <sup>2)</sup>	35 % 35 % 35 % 35 %	45 % 45 % 45 % 45 %	
	Anschluss an Gebäude-/Wärmenetz mind. 25 % EE mind. 55 % EE	30 % 35 %	40 % 45 %	
Heizungsoptimierung <sup>1)</sup>		20 %		

<sup>1)</sup> iSFP-Bonus: Bei Umsetzung einer Sanierungsmaßnahme als Teil eines im Förderprogramm „Bundesförderung für Energieberatung für Wohngebäude“ geförderten individuellen Sanierungsfahrplanes (iSFP) ist ein zusätzlicher Förderbonus von 5 % möglich.  
<sup>2)</sup> Innovationsbonus: Bei Einhaltung eines Emissionsgrenzwertes für Feinstaub von max. 2,5 mg/m<sup>3</sup> ist ein zusätzlicher Förderbonus von 5 % möglich.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)  
Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz (CC BY-ND4.0)

Stand: 1. Januar 2021

Quelle: Bundesamt für Wirtschafts- und Ausfuhrkontrolle – BAFA, www.bafa.de

### Das Effizienzhaus in der BEG – orientiert an GEG\*-Vorgaben

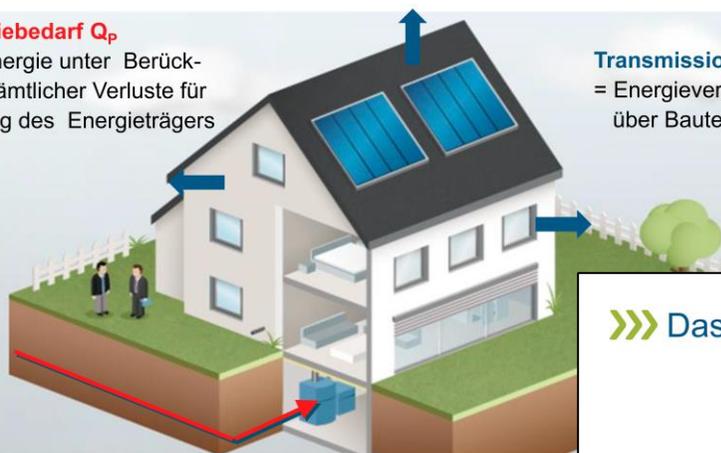
Konzept BEG WG mit dem Effizienzhaus

#### Primärenergiebedarf $Q_p$

= benötigte Energie unter Berücksichtigung sämtlicher Verluste für Bereitstellung des Energieträgers

#### Transmissionswärmeverlust $H_T$

= Energieverlust des Gebäudes über Bauteile/Gebäudehülle



\* Gebäudeenergiegesetz

Die Anlagentechnik im Gebäude zur Heizung, Lüftung, Kühlung und Trinkwarmwasserbereitung sowie Beleuchtung beeinflusst wesentlich die Höhe des Primärenergiebedarfs von Gebäuden

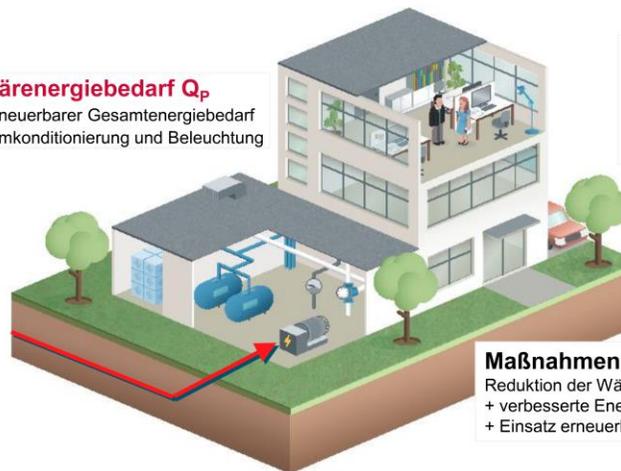
### Das Effizienzgebäude in der BEG – orientiert an GEG-Vorgaben

#### Primärenergiebedarf $Q_p$

nicht erneuerbarer Gesamtenergiebedarf für Raumkonditionierung und Beleuchtung

#### Mittlerer U-Wert der Bauteile

verbesserte energetische Qualität der Gebäudehülle zur Reduktion von Wärmeverlusten



#### Maßnahmen:

Reduktion der Wärmeverluste über Gebäudehülle  
+ verbesserte Energieeffizienz der Anlagentechnik  
+ Einsatz erneuerbarer Energien

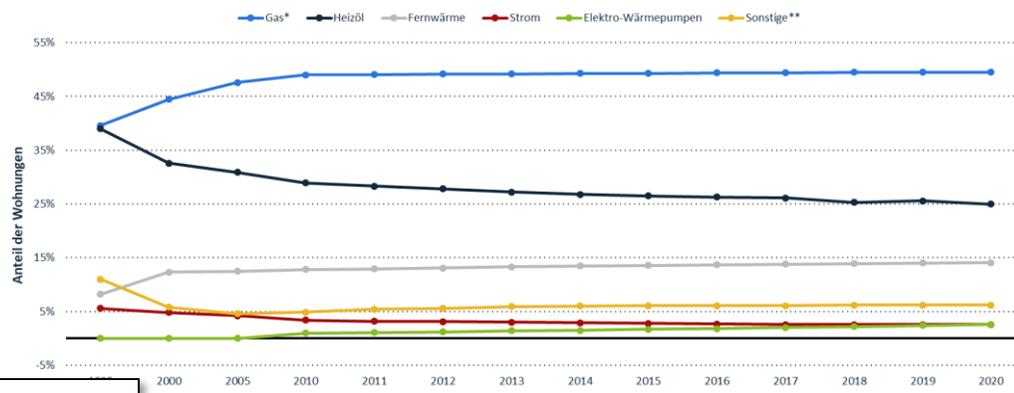
\* Gebäudeenergiegesetz



Wärmeerzeuger in Deutschland – Bestand und Zubau

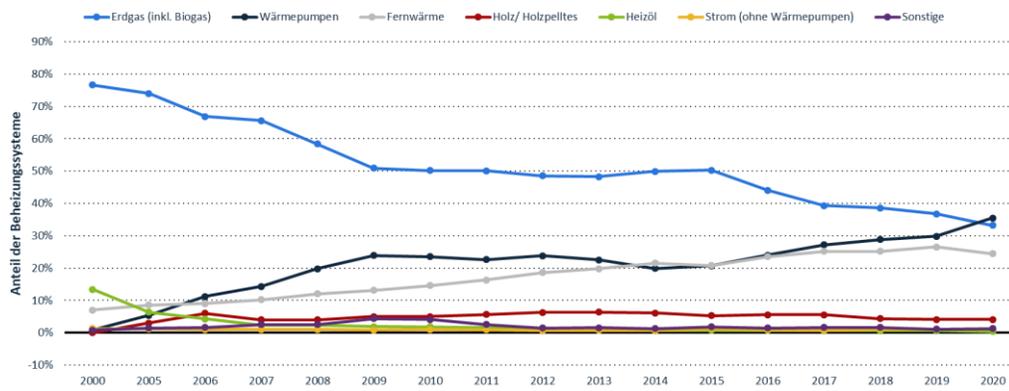
Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2020

Wohnungsbestand - Beheizungsstruktur in Deutschland bis 2020



Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2020

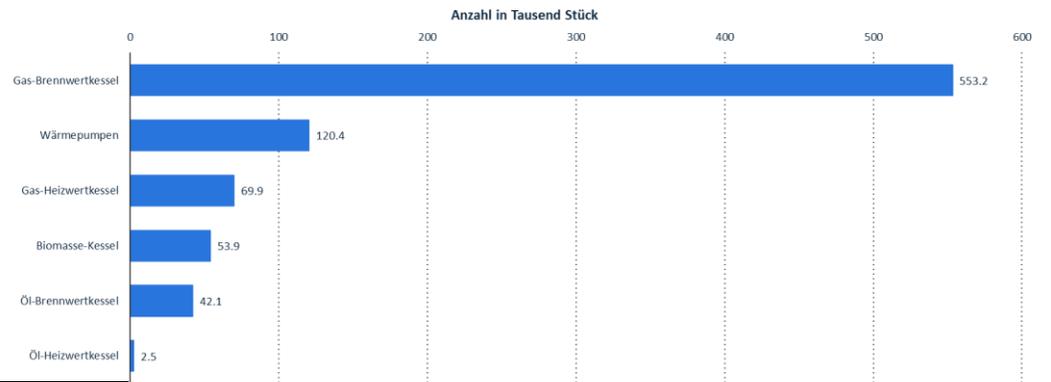
Wohnungsneubau - Anteil der Beheizungssysteme in Deutschland bis 2020



## Bestand und Absatz von Wärmerezeuger in Deutschland

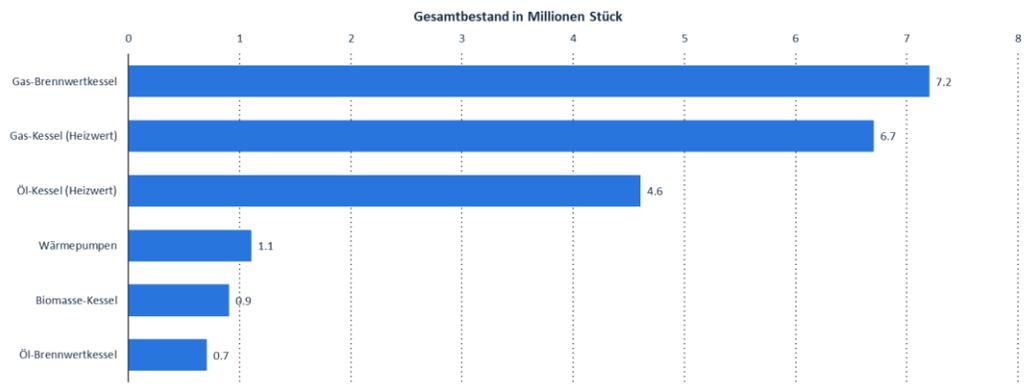
Absatz von Wärmerezeugern in Deutschland nach Kategorie im Jahr 2020 (in 1.000 Stück)

Wärmerezeuger - Absatz in Deutschland nach Kategorie 2020



Bestand zentraler Wärmerezeuger für Heizungen in Deutschland nach Kategorie im Jahr 2020 (in Millionen Stück)

Wärmerezeuger - Bestand in Deutschland nach Kategorie 2020

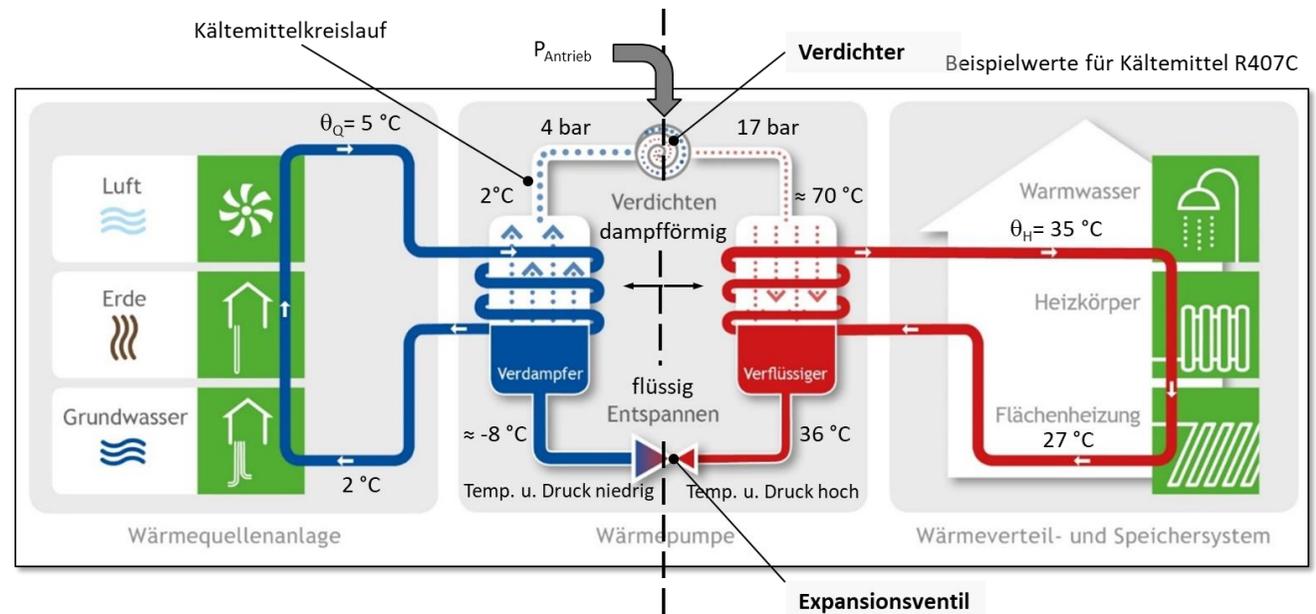


## 2. Funktionsprinzip - Thermodynamische Grundlagen

Eine Wärmepumpe ist ein Aggregat, das einer **Wärmequelle** auf niedrigem Temperaturniveau Wärme entzieht und an die **Wärmesenke** auf höherem Temperaturniveau überträgt. Die erforderliche **Antriebsenergie** des Wärmepumpenprozesses als linkslaufender Kreisprozess wird über einen Verdichter zugeführt.

### Funktionsprinzip:

- flüssiges Kältemittel wird im **Verdampfer** bei sehr geringen Temperaturen über zugeführte Umwelt-/Abwärme verdampft
- Innerhalb des **Verdichters** wird der Kältemitteldampf komprimiert. Die Temperatur und der Druck des Kältemitteldampfes steigen an.
- Der Dampf gelangt dann in den **Verflüssiger** und kondensiert. Über einen Wärmeübertrager gibt der heiße kondensierende Dampf nun Wärme an das Heizsystem ab
- Über das **Expansionsventil** wird das Kältemittel auf das Ausgangs-Druckniveau entspannt und gelangt zum Verdampfer zurück.





Die Leistungszahl der Wärmepumpe beschreibt das Verhältnis aus abgegebenem Wärmestrom und aufgenommener elektrischer Leistung. Die Leistungszahl  $\varepsilon$  wird allgemein auch als Coefficient of Performance – COP bezeichnet.

**Leistungszahl**

$$\varepsilon_{WP} = \text{COP} = \dot{Q}_{\text{Heiz}} / P_{\text{el,WP}}$$

Die abgegebene Wärmeleistung der Wärmepumpe ergibt sich bei Elektro-Kompressions-Wärmepumpen aus der Summe von aufgenommener el. Leistung durch den Verdichter und die der sog. Kältequelle entzogenen thermischen „Kälteleistung“.

$$\dot{Q}_{\text{Heiz}} = \dot{Q}_{\text{Kälte}} + P_{\text{el,WP}} \quad [\text{kW}]$$

Zur Bewertung der Effizienz des Wärmepumpenbetriebes zur Heizung (und ggf. Trinkwarmwasserbereitung) innerhalb der Heizperiode ist die Summe der abgegebenen Wärme und der aufgenommenen el. Energie zu bewerten. Das Verhältnis wird als Arbeitszahl  $\beta$  bzw. SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) bezeichnet.

**Arbeitszahl**

$$\beta_{WP,a} = \text{SCOP} = Q_{\text{Heiz,a}} / W_{\text{el,WP,a}} \quad [\text{kWh / a}]$$

Unter Berücksichtigung der der Kältequelle entzogenen thermischen Energie und dem bei Elektrowärmepumpen aufgenommenen el. Energie ergibt sich die Arbeitszahl auch aus:

$$\beta_{WP,a} = \text{SCOP} = (Q_{\text{Kälte,a}} + W_{\text{el,WP,a}}) / W_{\text{el,WP,a}} \quad [\text{kWh / a}]$$



Ohne weiteren Energieaufwand kann die zur Erschließung der Quelle kann die Wärmepumpe nicht betrieben werden. Grundwasser oder Sole muss wie auch Außen- oder Abluft zum Verdampfer gefördert werden. Dieser weitere Energieaufwand muss bei der Bewertung des Betriebes einer Wärmepumpe berücksichtigt werden. Entsprechend ergibt sich eine sog. „System-Leistungszahl“ bzw. System-Arbeitszahl. Die Berechnung erfolgt über:

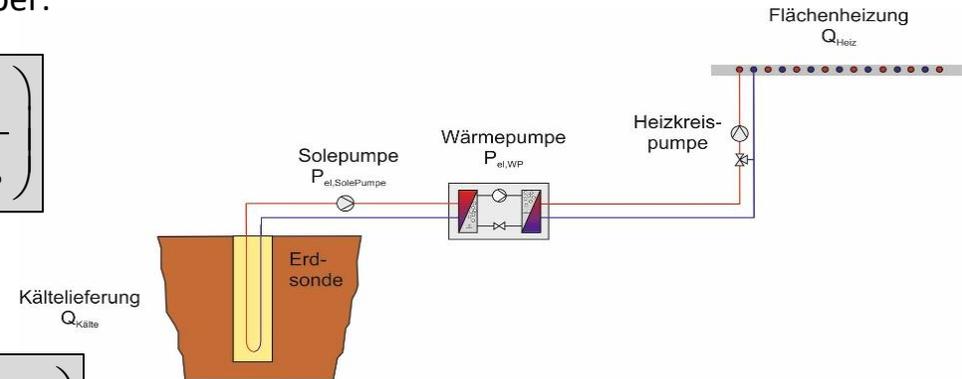
**System-Leistungszahl**

$$\varepsilon_{WP, Sys} = SCOP_{Sys} = COP \cdot \left( 1 + \frac{P_{el, P}}{P_{el, WP}} \right)$$

Entsprechend gilt für die System-Arbeitszahl:

**System-Arbeitszahl**

$$\beta_{WP, Sys} = SCOP_{Sys} = SCOP \cdot \left( 1 + \frac{W_{el, P}}{W_{el, WP}} \right)$$

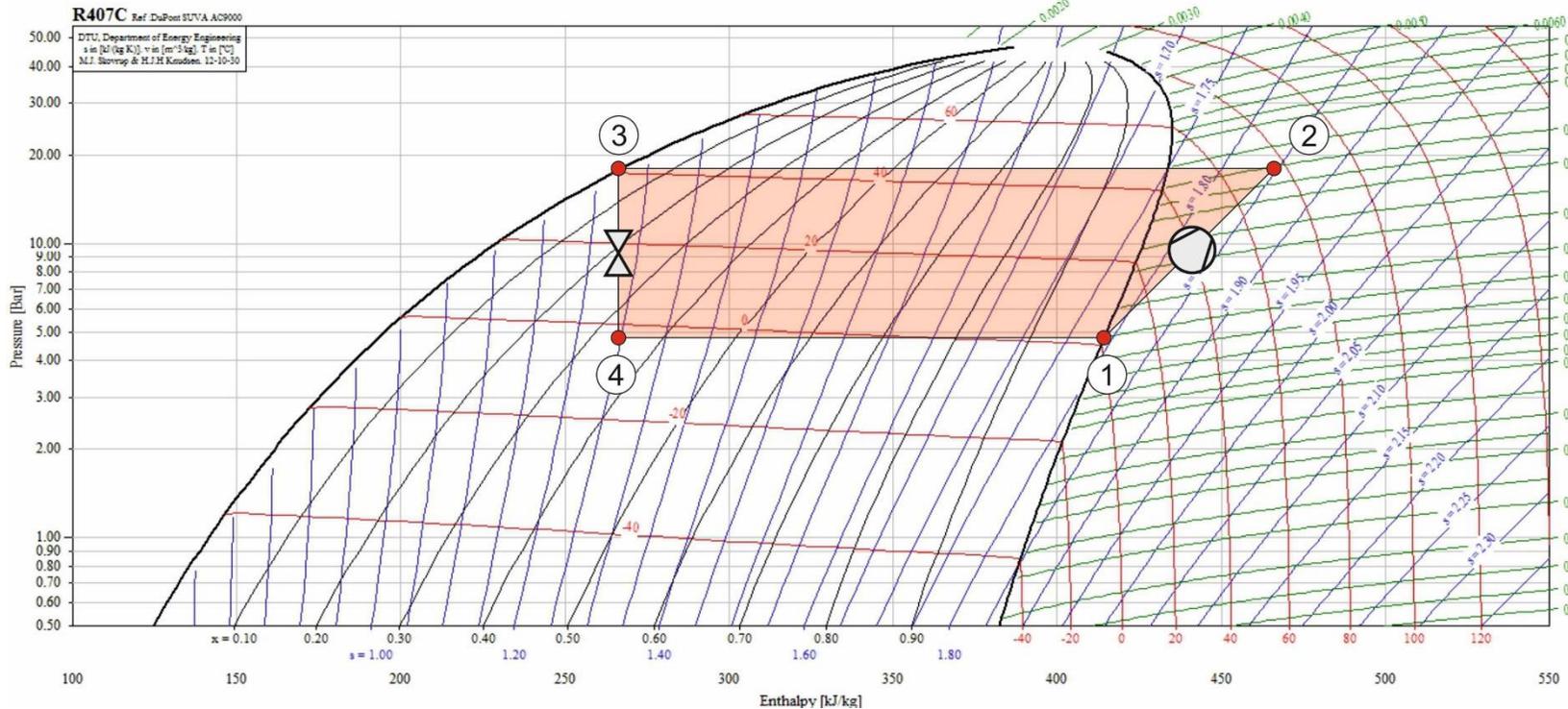
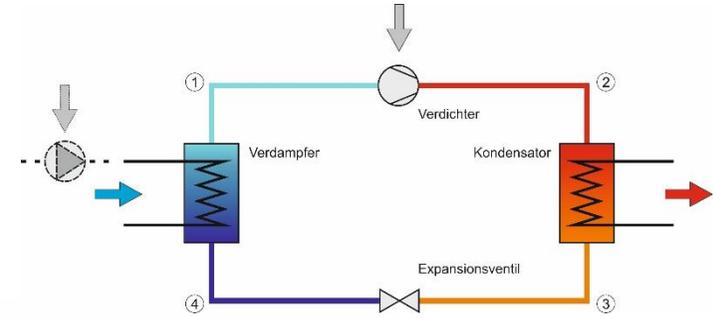


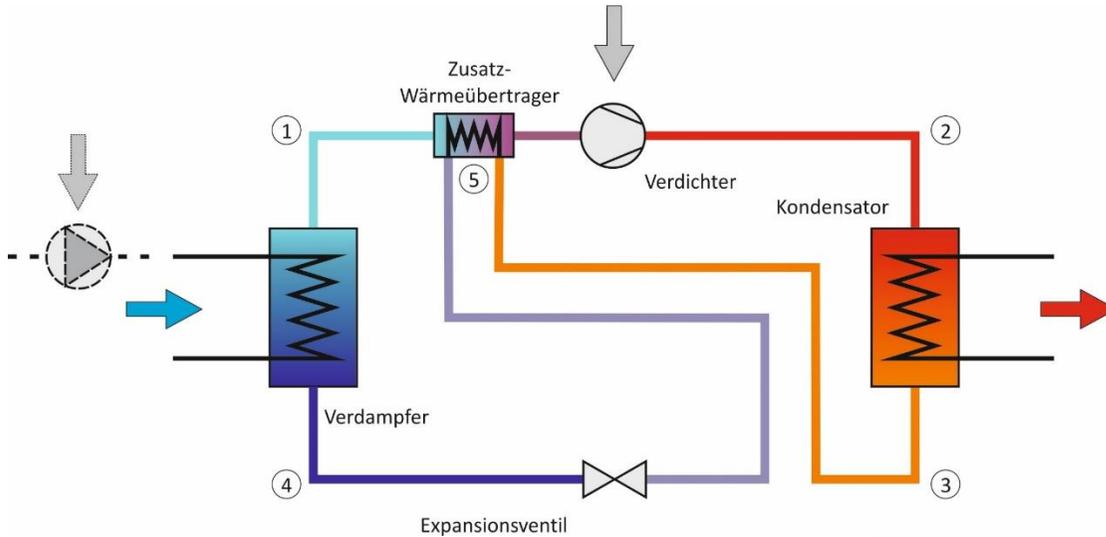
Das Verhältnis der von der Pumpe oder dem Ventilator zur Erschließung der Kältequelle aufgenommenen el. Leistung bzw. Energie zur Leistungsaufnahme des Verdichters  $P_{el, P} / P_{el, WP}$  bzw.  $W_{el, P} / W_{el, WP}$  bei Elektrowärmepumpen kann angenommen werden zu 0,1 ... 0,2 (siehe hierzu auch VDI 4650 Blatt 1).



### Wärmepumpenkreislauf im lg p - h - Diagramm

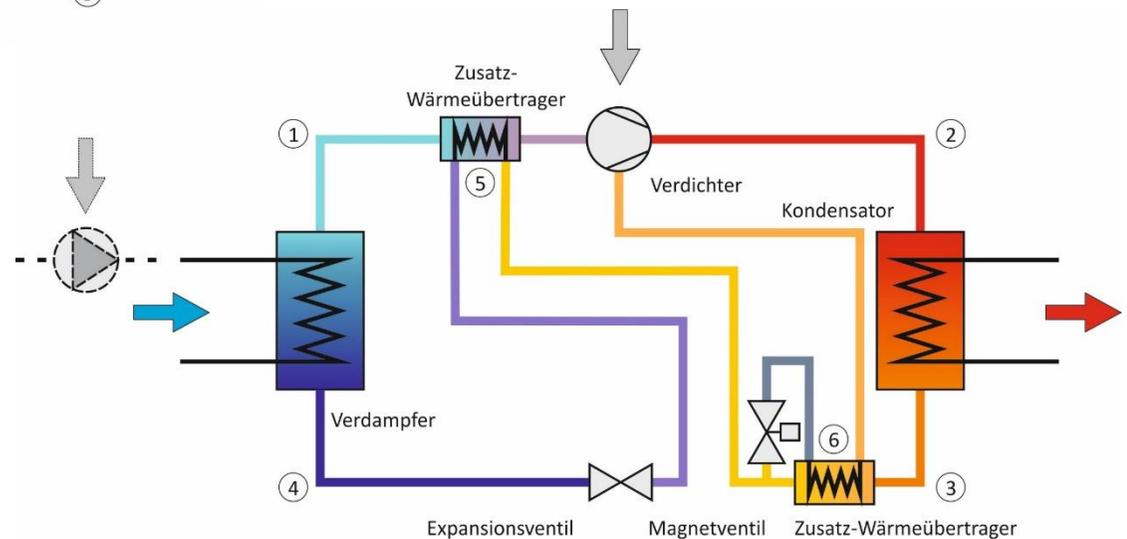
Kreislauf ohne Zwischenüberhitzung





Energetisch verbesserter  
Wärmepumpenprozess mit  
Zwischenüberhitzung

Energetisch verbesserter Wärmepumpenprozess mit  
EVI-Zyklus und Zwischenüberhitzung  
(Dampfeinspritzung – Enhanced vapour injection)  
Vorteil: höhere Temperaturniveaus  
im Kondensator erreichbar (TWW-Bereitung)





### Erreichbares Temperaturniveau von Standard-Wärmepumpen

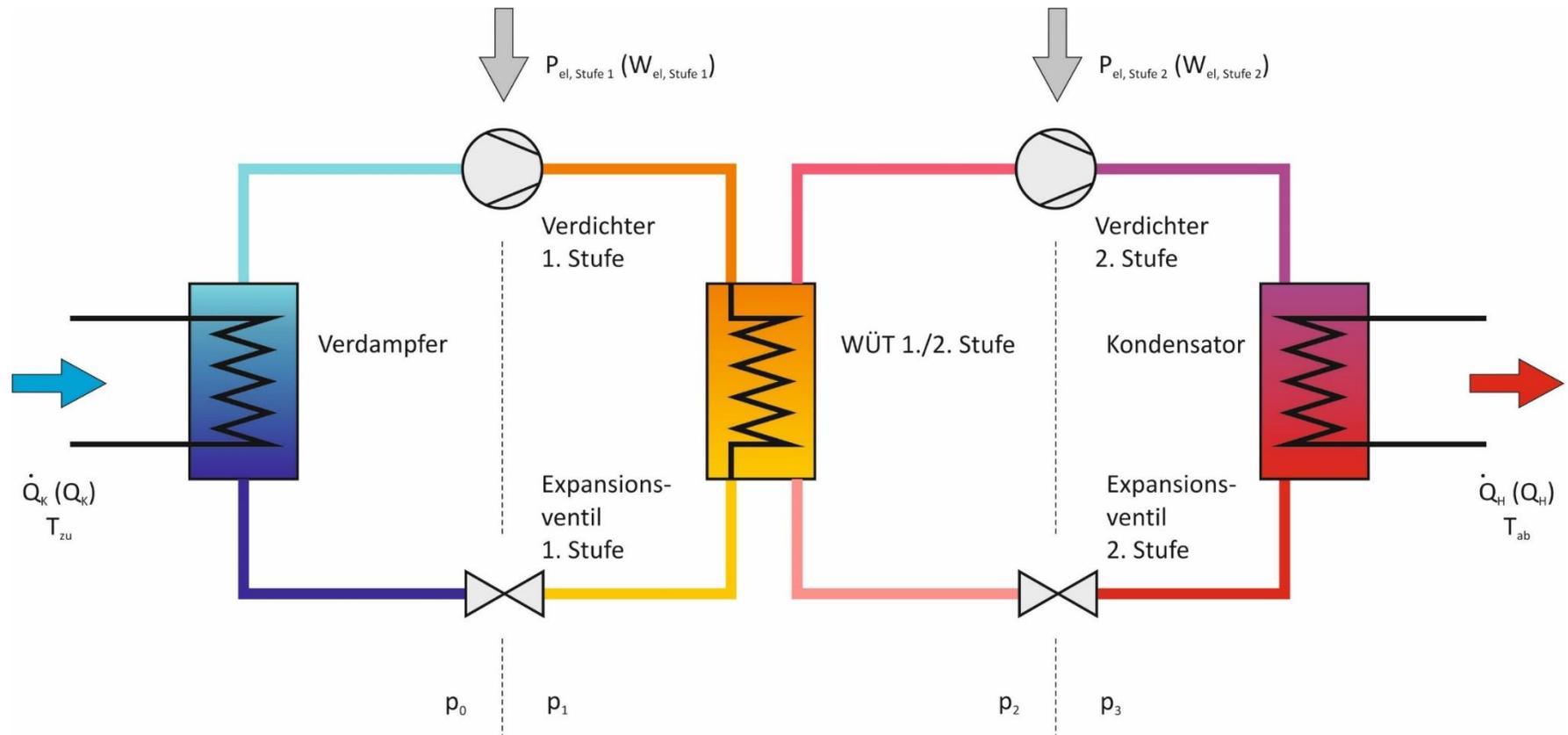
- Mit der heute am meisten verbreiteten Wärmepumpen-Technologie werden Heizungsvorlauftemperaturen von bis zu 65°C erzeugt. Als Wärmequelle kann Umgebungswärme, wie zum Beispiel Grundwasser, Erdreich oder Außenluft, dienen
- Der Vorteil der Wärmequelle Grundwasser und Erdreich besteht darin, dass, im Gegensatz zur Außenluft, die Wärmemenge ganzjährig mit relativ hohen, konstanten Temperaturen zur Verfügung steht. Auch Abwärme kann als Wärmequelle genutzt werden (Abwärme aus Serverräumen, Abluftsystemen, Klimasystemen, Kältenetzen, Abwasserkanälen, ...)
- Die realisierbare Vorlauftemperatur ist durch die Temperaturen im Kreisprozess (thermodynamische Eigenschaften des Kältemittels) begrenzt.
- Typische Temperaturen des Arbeitskreises (Beispiel: Kältemittel R134a):  
Verdampfung des Arbeitsmittels bei ca. 4 ... 10°C, Kompression des Arbeitsmittels auf ca. 95°C Heißgastemperatur, Kondensation (Verflüssigung) des Arbeitsmittels und Abgabe der frei werdenden Wärme bis 65°C, Expansion auf ca. 4°C

### Hochtemperatur-Wärmepumpe $\geq 100^\circ\text{C}$

- Die Bewältigung des für die Hochtemperatur-Wärmepumpe benötigten Temperaturhubes von zum Beispiel 10°C (Wärmequelle Grundwasser) auf 100°C (Wärmenutzung/Heizungswasser) kann durch einen zweistufigen Kreisprozess gelöst werden
- Bei der einstufigen Hochtemperatur-Wärmepumpe können Wärmequellentemperaturen zwischen 30 und 55°C genutzt und Vorlauftemperaturen von bis zu 100°C erreicht werden. Als Wärmequelle kann zum Beispiel die Abwärme aus mechanischen Fertigungs- oder Kühlprozessen in der Lebensmittelindustrie, Chemie- und Pharmaindustrie, Kunststoffindustrie oder metallverarbeitenden Industrie genutzt werden.



Wärmepumpenkreislauf im lg p - h - Diagramm – 2 stufiger Wärmepumpenbetrieb



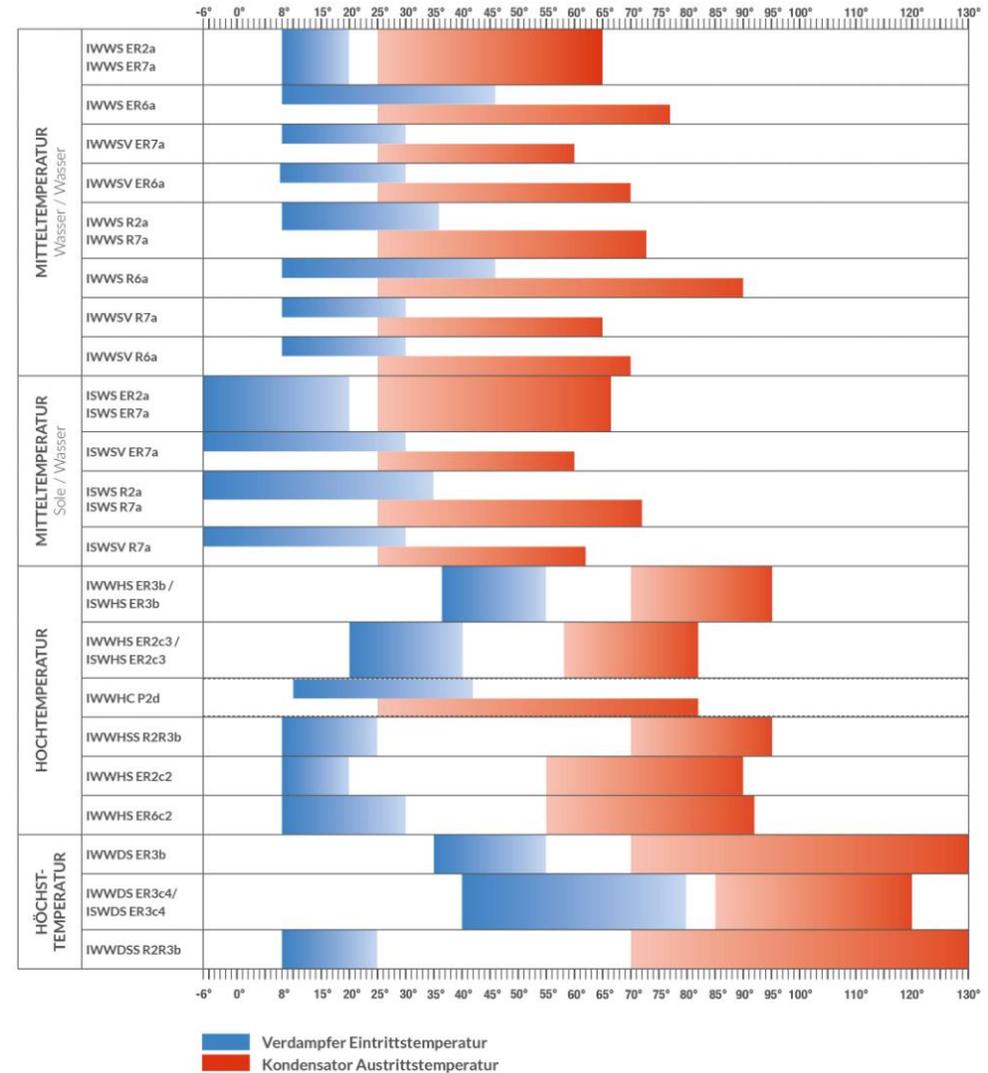
## Erreichbare Temperaturniveaus von Hochtemperatur-Wärmepumpen



**Baureihe einstufig: IWWHS  
60 ER3b –640 ER3b**  
KM: ÖKO1,  
WQ: Wasser od. Sole  
Heizleistung: 60 bis 640 kW  
\*VLT: bis 95 °C\* W45/W85

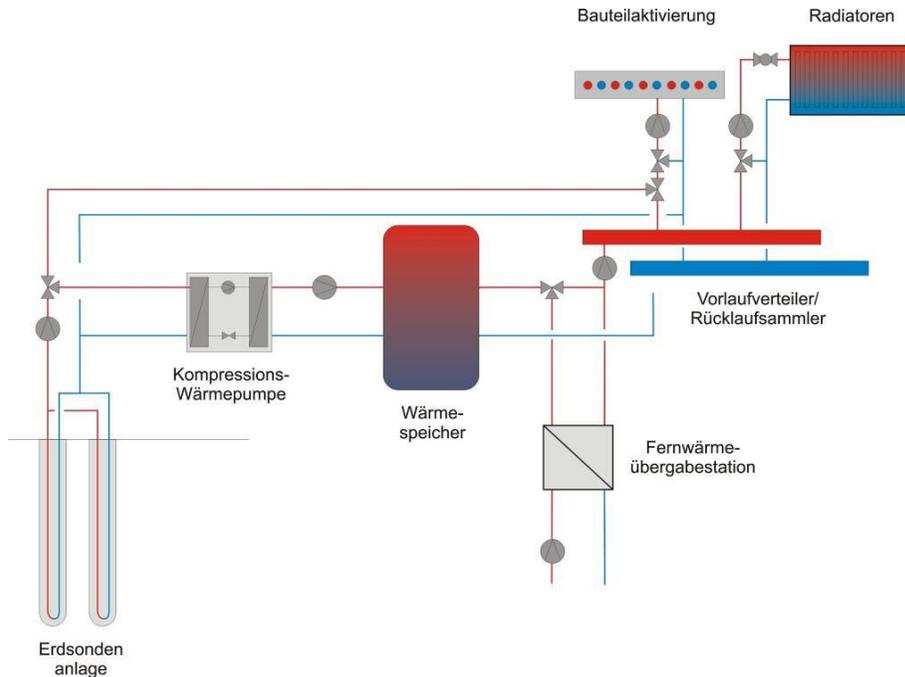


**Baureihe zweistufig: IWWHS  
190 R2 R3b –750 R2 R3b**  
KM: R134a / ÖKO1,  
WQ: Wasser  
Heizleistung: 190 bis 750 kW  
\*VLT: bis 95 °C\* W10/W85





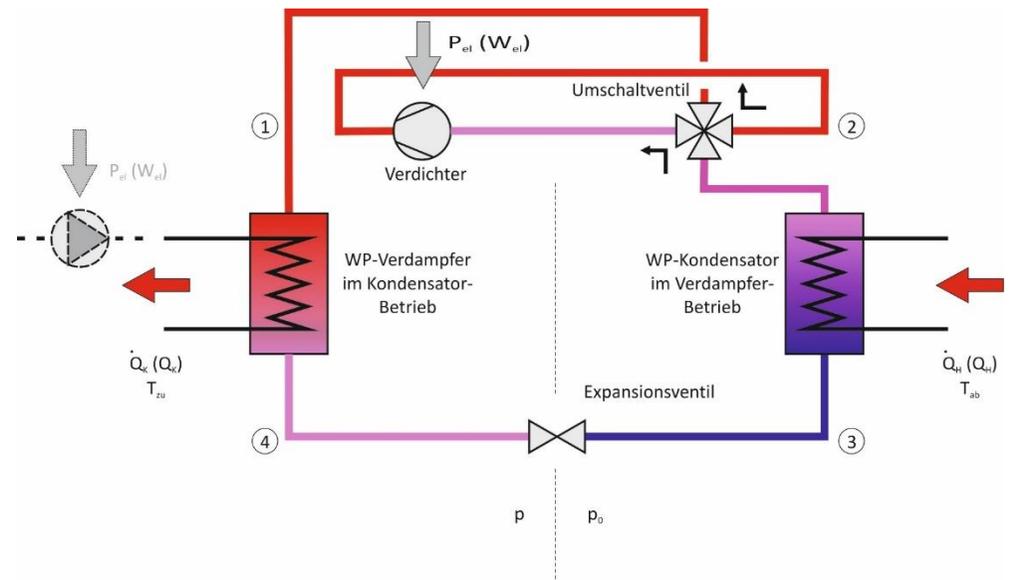
umschaltbarer WP-KM-Betrieb



Umschaltbarer WP/KM-Betrieb –  
Kühlbetrieb – Sommerperiode  
(Wärmequelle Außenluft)

Wärmequelle zur Kühlung des Gebäudes im „Direct Cooling“ –  
Betrieb (Wärmequelle Geothermie/Grundwasser)

Über Umschaltventile wird die Quelle der Wärmepumpe  
direkt zur Wärmeabfuhr aus dem Gebäude genutzt.



### 3. Wärmepumpen - Bauteile

Die vier Hauptkomponenten, ohne die kein herkömmlicher Kaltdampf-Kreisprozess (Verdichtungskältesystem) funktioniert, sind:

- Verdichter (Kompressor)
- Verflüssiger (Kondensator)
- Drosselorgan (Expansionsventil)
- Verdampfer

Scroll-Verdichter



Scroll-Spiralenpaar

Platten-WÜT  
Verflüssiger



Thermostatisches  
Expansionsventil



Lamellen-WÜT  
Verdampfer



## 4. Kältemittel

### Soll-Eigenschaften von Kältemitteln:

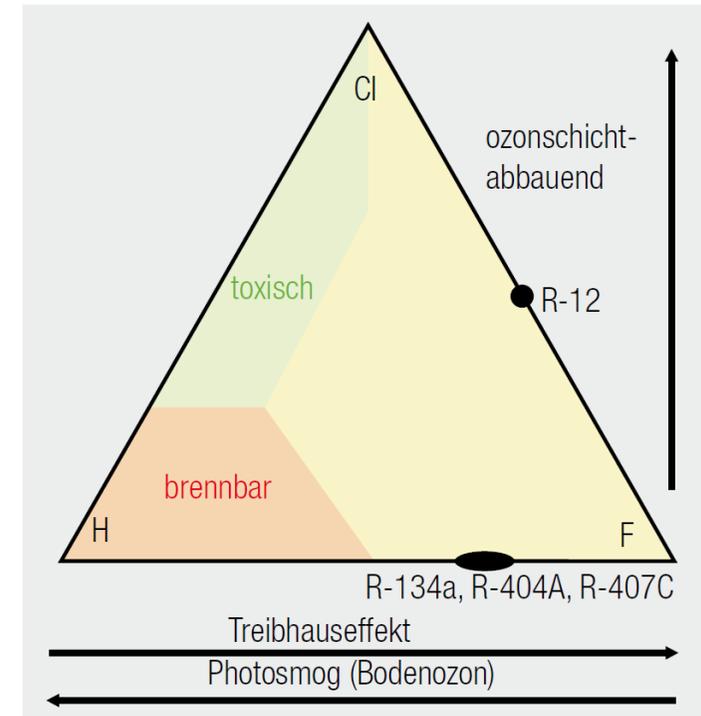
- gute thermodynamische Eigenschaften
- hohe volumetrische Kälteleistung (kleine Verdichter)
- für Anwendungsbereich geeignetes Druckniveau (kritische Temperatur genügend hoch und Erstarrungstemperatur tief)
- niedrige Druckverluste bei der Strömung
- chemisch und thermisch stabil
- nicht giftig und nicht brennbar
- gute Mischbarkeit mit Schmiermitteln
- kein Ozonabbaupotenzial und geringes Treibhauspotenzial
- Kostengünstig

Es wird zwischen **vier Kältemittel-Gruppen** unterschieden:

- **FCKW** (vollhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe), stark Ozonschicht abbauend und klimaaktiv.
- **H-FCKW** (teihalogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe), Ozonschicht abbauend und klimaaktiv.
- **H-FKW** (teihalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe), klimaaktiv
- **Natürliche Kältemittel**, wie z.B. R-717 (Ammoniak), R-744 (CO<sub>2</sub>), R-718 (Wasser), nicht Ozonschicht abbauend oder klimaaktiv

Synthetische Kältemittel (Halogen-Derivate des Methans und Ethans) /

Quelle: BFE Schweiz, Wärmepumpen, 2008



## 5. Wärmequellenanlagen

Folgende Wärmequellenarten können mit Wärmepumpen genutzt werden:

- Aussenluft
- Erdwärme
- Grund- und Oberflächenwasser
- Abwärme



Grundsätzlich gilt, je tiefer das Temperaturniveau der Wärmequelle, desto schlechter ist die Effizienz (COP) der Wärmepumpe.

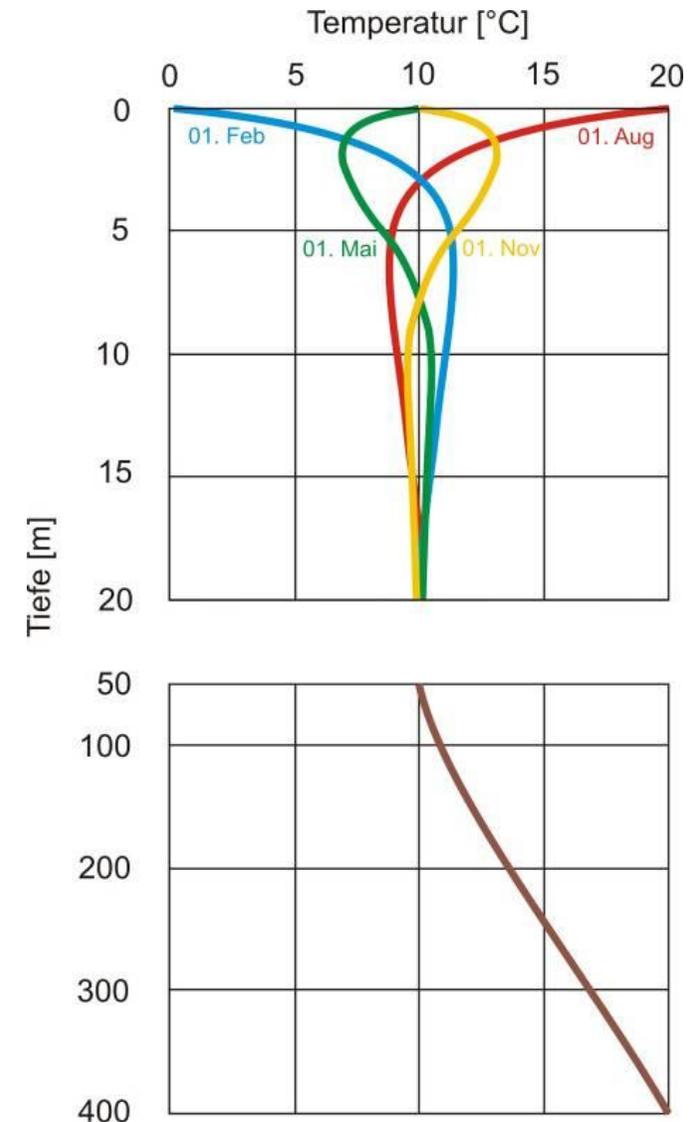


## Oberflächennahe Geothermie

### Thermische Eigenschaften des Erdreichs

Gestein	volumenbez. spez. Wärmekapazität $\rho \cdot c$ [kWh/(m <sup>3</sup> ·K)]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/(m·K)]
Kies, trocken	0,39 – 0,44	0,4 – 0,5
Kies, wassergesättigt	ca. 0,67	ca. 1,8
Sand, trocken	0,36 – 0,44	0,3 – 0,8
Sand, wassergesättigt	0,61 – 0,81	1,7 – 5,0
Ton / Schluff, trocken	0,42 – 0,44	0,4 – 1,0
Ton / Schluff, wassergesättigt	0,44 – 0,94	0,9 – 2,3

Etwa ab 15 m Tiefe entspricht die im Erdreich gemessene Temperatur praktisch der Jahresmitteltemperatur des Standortes (ca. 8 bis 10°C in Deutschland).

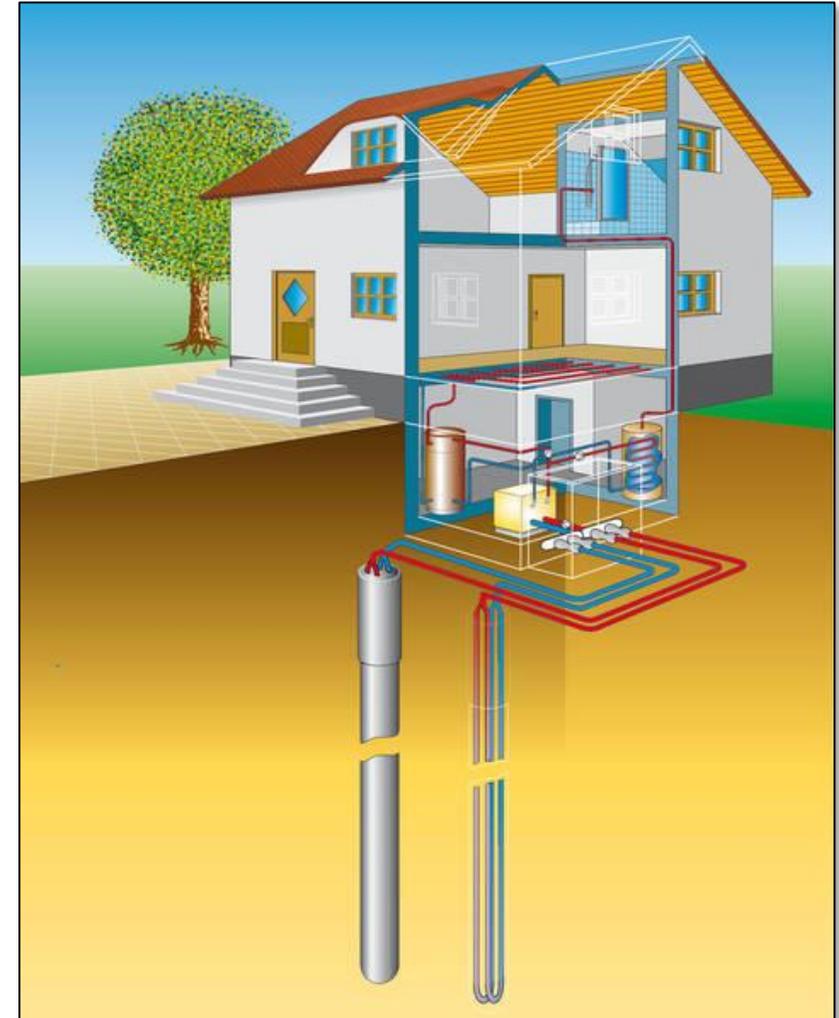


### Erdsonden (EWS):

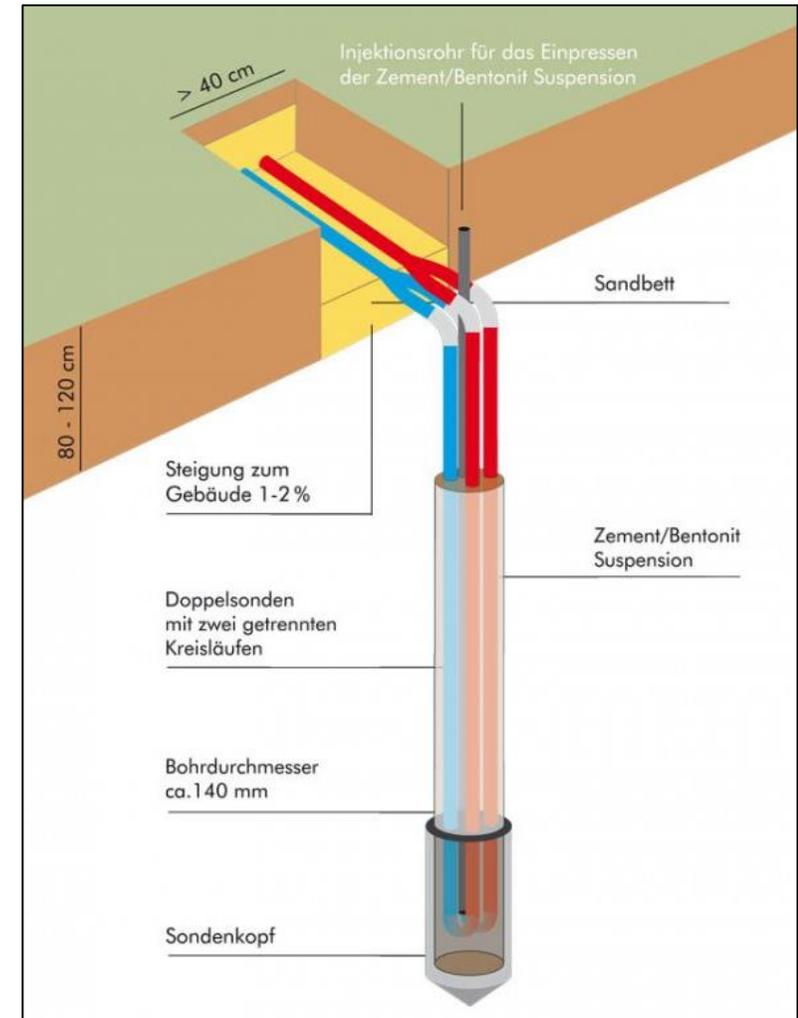
- geschlossenes System mit thermischer Rückwirkung
- vertikal im Erdreich eingebaute Sonden von 10 bis 400 m Tiefe
- die Ausführung der Anlagen in Deutschland erfolgt in der Regel mit 50 -150 m langen Sonden
- Herstellung durch Bohren oder seltener durch Einrammen
- verpresst mit Verfüllmaterial mit guter Wärmeleiteigenschaften (Zement-Wasser Gemisch + Ton/Betonit)
- von Wärmeträgerfluid (Sole/Wasser-Gemisch) durchströmt
- ca. 6m Abstand zwischen den Sonden ist zur Vermeidung thermischer Rückwirkung einzuhalten

Einteilung in 2 Typen nach der Art der Umwälzung:

1. mittels Umwälzpumpe
2. durch Phasenwechsel (natürl. Umwälzung)



- die korrekte Hinterfüllung der EWS ist zu beachten zur Verhinderung des vertikalen Grundwasserflusses, der Sicherstellung zwischen Rohrwand und Erdreich sowie des Vermeidens von Setzungserscheinungen
- Verfüllung von unten nach oben über ein separat mit eingebrachtes Rohr
- ab 200 m ist ein Stützen des Sondendrohres zur Vermeidung einer Überdehnung des Rohres erforderlich
- die Wärmeleitfähigkeit des Rohres soll mindestens  $\lambda = 2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  betragen
- bis ca. 120 m Tiefe sollten Sonden-Rohre bis DN 32 verwendet werden, danach sollte auf DN 40 gewechselt werden
- die Erreichung einer turbulenten Strömung ist wesentlich für die Erzielung eines guten Wärmeübergangs
- die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf sollte zwischen 3 K (geringere Tiefen) und 5 K (ab 200 m Tiefe der EWS) gewählt werden



### Überschlägige EWS - Auslegung:

Für eine erste überschlägige Ermittlung der erforderlichen Sondenlänge kann man eine mittlere **Entzugsleistung** von 35 ... 40 W/m annehmen. Die Entzugsleistung gibt an, welche thermische Leistung dem Erdreich pro Meter Erdsondenlänge entzogen werden kann.

Die Leistungszahl bzw. der COP-Wert bewertet die energetische Effizienz der Wärmepumpe

Die erforderliche „Kälteleistung“ für den Wärmepumpenbetrieb ist berechenbar über

Definiert man ein längenbezogene „Kälteleistung“ ist die Erdsondenlänge berechenbar

### Anwendungsbeispiel:

Eine Wärmepumpe mit 100 kW Heizleistung benötigt bei einem COP von 4,0 eine Kälteleistung von 75 kW. 25 kW werden über den Verdichter in den Wärmepumpenprozess eingetragen.

Bei einer Sondenlänge  $l_{EWS}$  von 100 m und einer anzusetzenden längenbezogenen Kälteleistung von  $\dot{q}_K$  von 30 W/m ergibt sich als erforderliche Sondenanzahl  $n_{EWS}$  25.

aber: Betriebsweise und Erdreichbeschaffenheit beeinflussen die **tatsächliche** Entzugsleistung.

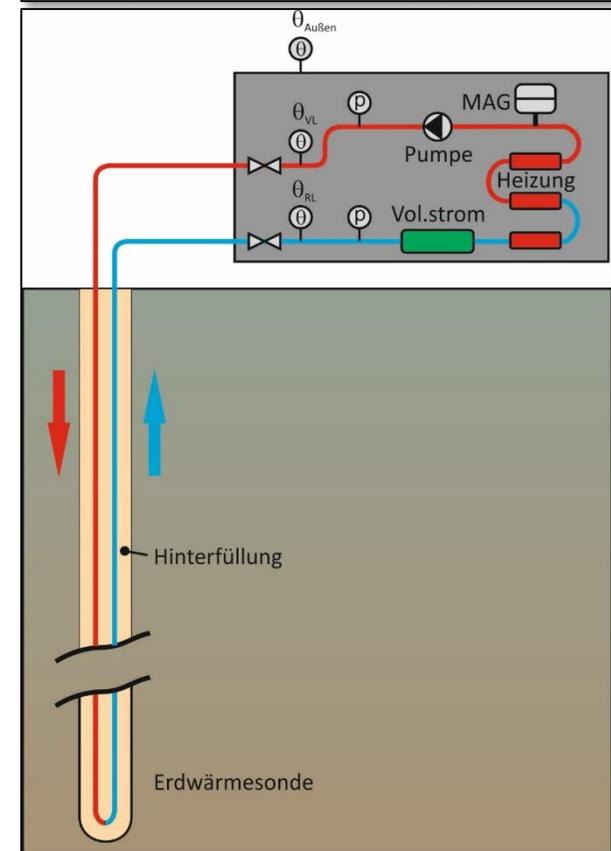
$$COP = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}} = \frac{\dot{Q}_K + P_{el}}{P_{el}}$$

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_H \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

$$l_{EWS} = \frac{\dot{Q}_K}{n_{EWS} \cdot \dot{q}_K}$$

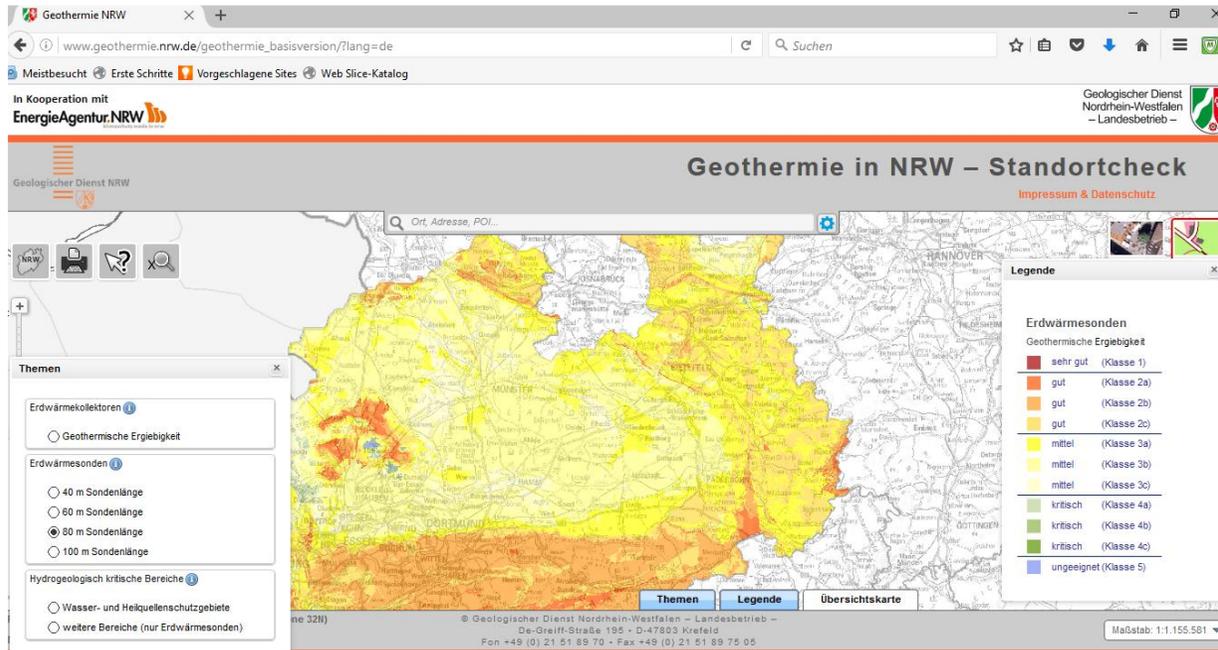
$\dot{Q}_H$	[W]	WP-Heizleistung
$\dot{Q}_K$	[W]	WP-Verdampfer(Kälte-)leistung
$P_{el}$	[W]	el. Verdichterleistung
COP	[1]	Leistungszahl
$l_{EWS}$	[m]	Länge Erdwärmesonde
$n_{EWS}$	[1]	Anzahl Erdwärmesonden
$\dot{q}_K$	[W/m]	längenbezogene Wärmeleistung

- Der Thermal-Response-Test (TRT) ist eine Feldmethode, um die thermischen Eigenschaften des Erdreiches vor Ort genau zu bestimmen, **gemessen werden die Vor- und Rücklauftemperatur** der Sondenanlage während des Testbetriebes, bestimmt werden:
  - **Wärmeleitfähigkeit**
  - **Bohrlochwiderstand**
  - **die ungestörte Temperatur des Erdreichs**
- Der Testzeitraum beträgt ca. 72 h
- **Mittels Simulationsprogrammen (z.B. Earth Energy Designer) können Sonden und Sondenfelder simuliert und ausgelegt werden:**
  - Grundlage zur Bemessung von Erdwärmesonden
  - Gewährleistung der Planungssicherheit, Vermeidung von Überdimensionierung der Quellenanlage
  - **Erforderlich ab einer installierten Leistung von > 30 kW**
  - Durchführung an Testbohrung oder erster Bohrung des Erdsondenfeldes
  - Eintrag einer konstanten Wärmemenge und Messung der Temperatur-Antwort (engl. Response)

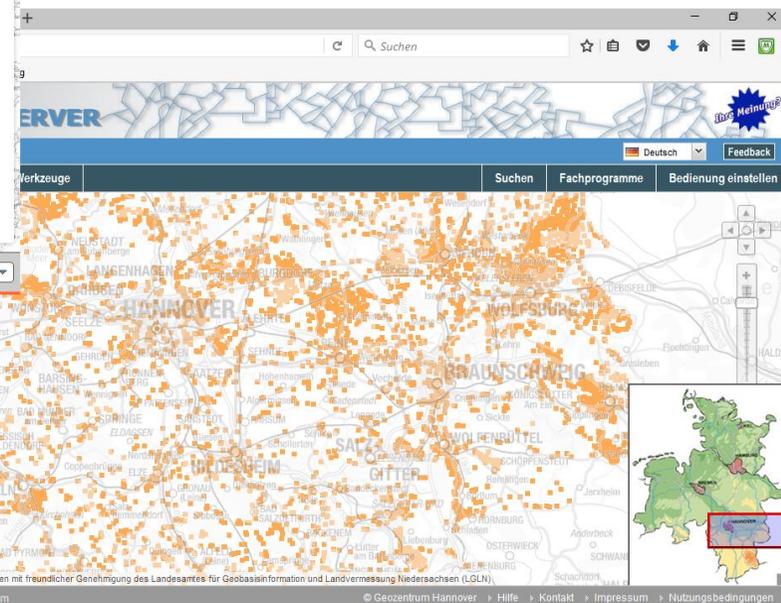




## Geo-Informationssysteme



Überschlägige Angaben zur Abschätzung der Eignung eines Standortes für die Nutzung von oberflächennaher Geothermie.  
Beispiele: [www.geothermie.nrw.de](http://www.geothermie.nrw.de), [nibis.lbeg.de](http://nibis.lbeg.de)



- Geophysik und Tiefbohrungen
- Geothermie
  - Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeiten
  - Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit (S...
  - Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit (S...
  - Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit (S...
  - Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit (S...
  - Nutzungsbedingungen oberflächennaher G...
  - Potenzielle Standorteignung für Erdwärm...
  - Sulfatgesteinsverbreitung – Betrachtungs...
- Geotope
- Hydrogeologie
- Ingenieurgeologie
- Klima
- Luftbilder aus Niedersachsen

### Oberflächennahe Nutzung des Untergrunds mit Erdsonden

Erdsonden werden in Bohrungen mit Tiefen von meist weniger als 100 m, teils aber auch von über 200 m Tiefe eingebaut. In Deutschland gelten für Bohrungen, die mehr als 100 m in den Boden eindringen sollen, Regelungen des Bundesberggesetzes (BbergG).

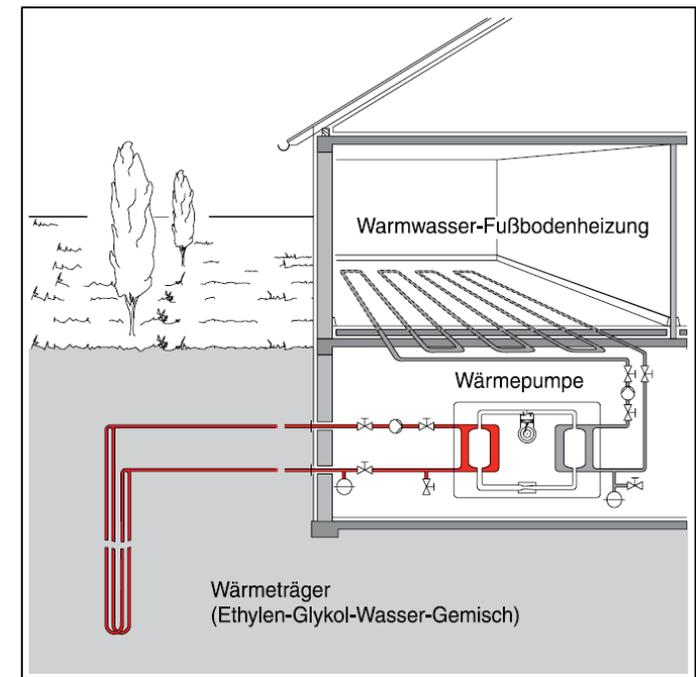
### Einfluss auf Wärmeleistung und –verfügbarkeit

Die Entzugsleistung sowie die verfügbare Energie sind wie auch bei den Erdkollektoren abhängig von der Speicherkapazität und den Wärmeleiteigenschaften des Erdreichs über den verschiedenen Gesteinshorizonten in Abhängigkeit der thermischen Regeneration.

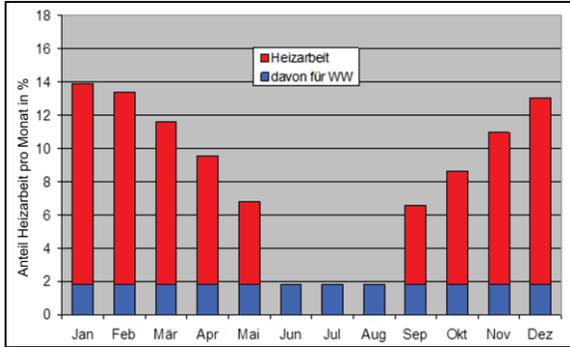
Für den Betrieb der Erdsondenanlage stellt weiterhin die Geometrie der Sondenanordnung ein wesentliches Kriterium dar. Zur Vermeidung einer gegenseitigen Beeinflussung der Erdsonden ist auf die Einhaltung von Mindestabständen (ca. 6 m Achsabstand) zu achten. Weiterhin sollte die Anordnung möglichst linienförmig sein.

Erdsonden können mit einem integrierten Solekreislauf oder als Direktverdampfungssystem ausgeführt werden.

ICS 27.080		VDI-RICHTLINIEN	Juni 2019 June 2019
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Thermische Nutzung des Untergrunds Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen	VDI 4640	Blatt 2 / Part 2
	Thermal use of the underground Ground source heat pump systems		Ausg. deutsch/englisch Issue German/English



Quelle: VDI 4640 Blatt 2 (2019-06)



Heizlastverteilung über das Jahr für die Basisannahme „Heizen und Trinkwassererwärmung“, ohne Kühlung

Quelle: VDI 4640 Blatt 2 (2019-06)

Tabelle B5. Entzugsleistung bei Anlagenbetrieb „Heizen und Trinkwassererwärmung“, mit TWP-Austritt  $\geq -5$  °C bei Maximalleistung, in W/m

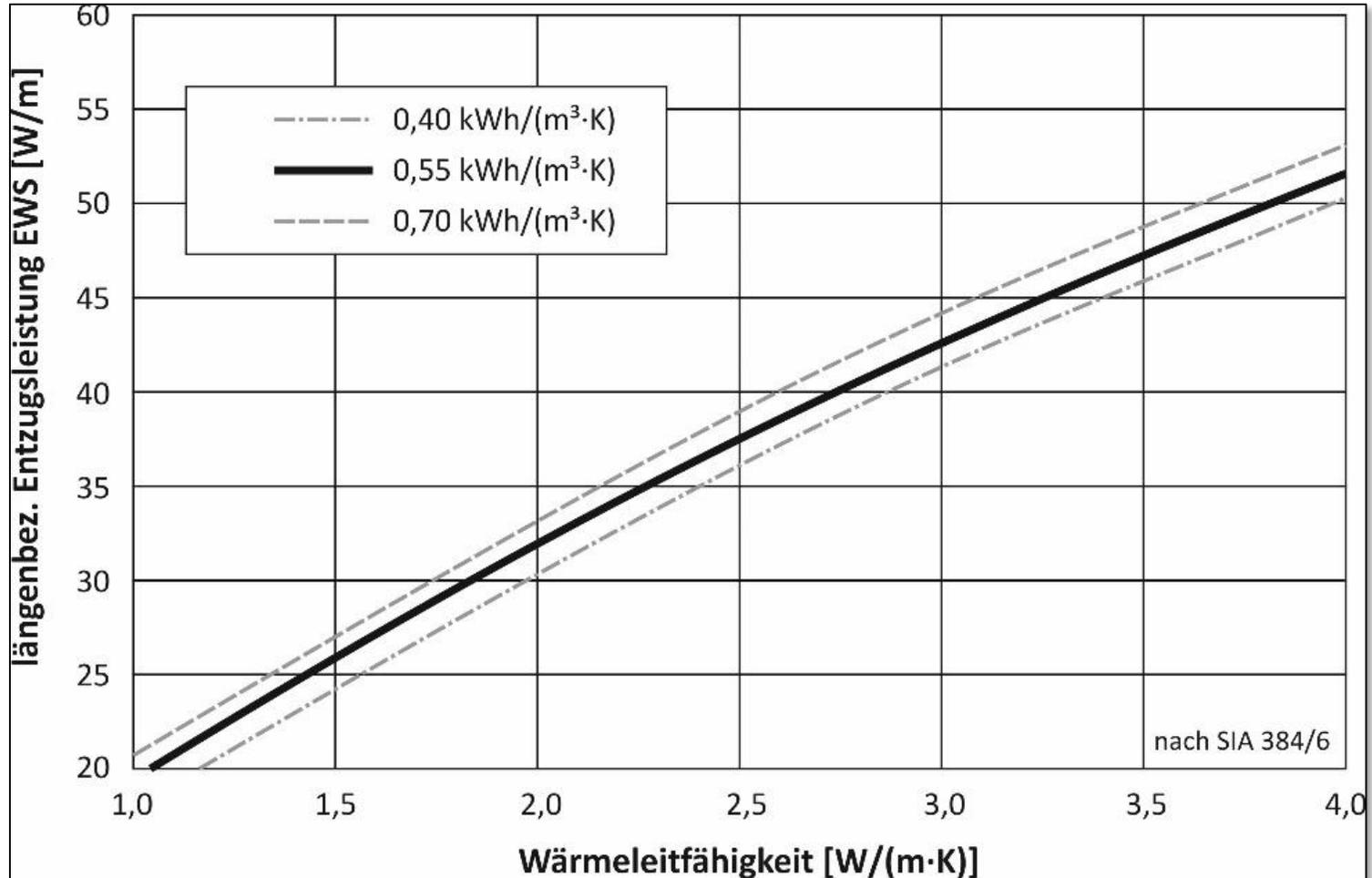
1800 h/a	Anzahl Sonden	Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Untergrunds			
		Entzugsleistung bei turbulentem Durchfluss in W/m			
		1,0 W/(m·K)	2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)	4,0 W/(m·K)
1800 h/a	1	29,4	43,9	53,9	61,3
	2	26,3	40,1	50,2	57,7
	3	24,4	37,6	47,5	55,1
	4	22,9	35,7	45,5	53,1
	5	22,1	34,6	44,4	52,1

Tabelle B7. Entzugsleistung bei Anlagenbetrieb „Heizen und Trinkwassererwärmung“, mit TWP-Austritt  $\geq 0$  °C bei Maximalleistung, in W/m

1800 h/a	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)
1800 h/a	1	18,6	27,8	34,2	39,1
	2	17,0	25,8	32,1	36,9
	3	15,6	24,0	30,1	34,9
	4	14,6	22,6	28,5	33,3
	5	14,1	21,8	27,7	32,6

Tabelle B6. Entzugsleistung bei Anlagenbetrieb Heizen und Trinkwassererwärmung, mit TWP-Austritt  $\geq -3$  °C bei Maximalleistung, in W/m

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	28,6	41,2	49,7	55,8
	2	25,8	37,9	46,4	52,7
	3	23,9	35,6	44,1	50,4
	4	22,6	33,9	42,3	48,7
	5	21,8	33,0	41,4	47,8
1800 h/a	1	25,3	37,7	46,3	52,6
	2	22,6	34,3	42,8	49,3
	3	21,2	32,1	40,5	46,9
	4	19,6	30,4	38,6	45,1
	5	18,8	29,5	37,6	44,1
2100 h/a	1	22,8	34,9	43,5	50,0
	2	20,2	31,6	39,9	46,4
	3	18,5	29,3	37,5	44,0
	4	17,3	27,7	35,6	42,0
	5	16,7	26,7	34,6	41,0
2400 h/a	1	21,0	32,8	41,3	47,9
	2	18,5	29,4	37,7	44,2
	3	16,9	27,2	35,2	41,6
	4	15,8	25,5	33,3	39,6
	5	15,1	24,5	32,1	38,5



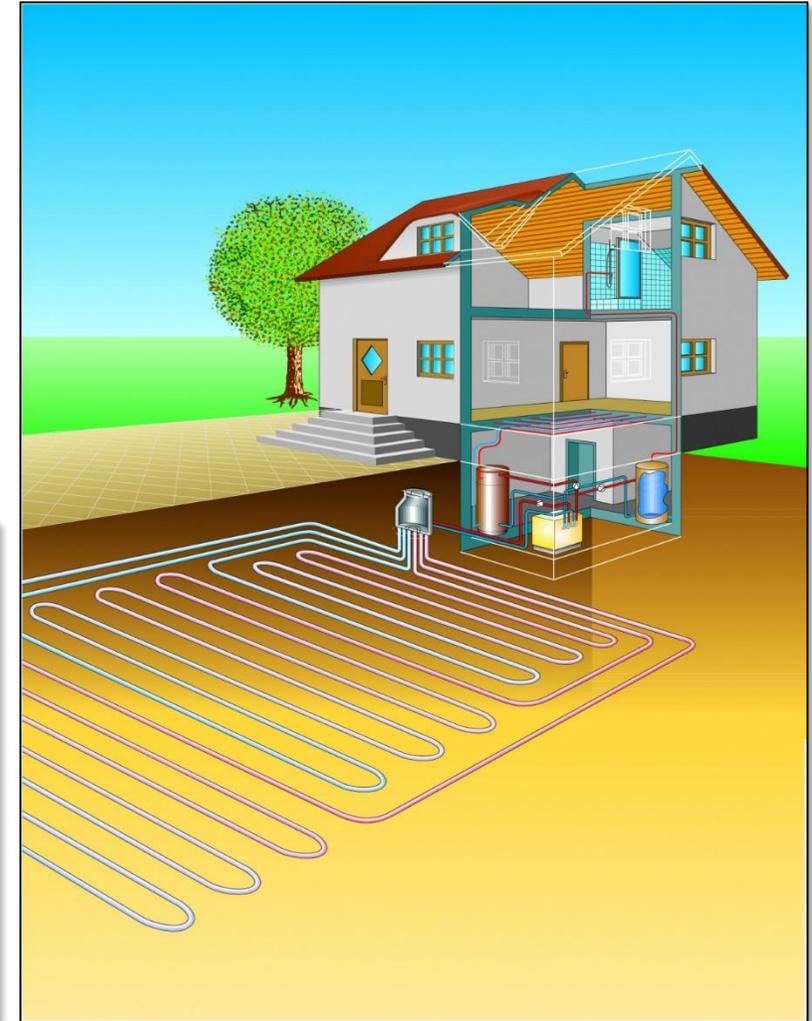
Typische Werte für die Entzugsleistung von Erdwärmesonden in Abhängigkeit von Wärmeleitfähigkeit und -kapazität

### Erdkollektor

- geschlossenes System mit therm. Rückwirkung
- waagrecht bzw. oberflächennah (< 5 m Tiefe) verlegte Wärmeübertrager
- Verlegung im frostsicheren Bereich (ab 0,8 m)
- Verlegetiefe häufig zwischen 1 - 1,5 m
- Rohrabstand 30 bis 80 cm
- Durchströmung mit Sole/Wasser-Gemisch als Wärmeträger



Quelle: emcal-waermepumpe.de



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe, www.bwvp.de

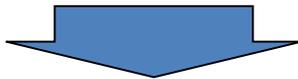


### Erdkolektor:

Im Gegensatz zu EWS:

*Verlegung erfolgt im oberflächennahen Bereich.*

Diese Bodenzone ist in der Winterperiode kalt und in der Sommerperiode warm.



- Jahresarbeitszahlen sind im Mittel geringer als bei EWS-Systemen
- für Kühlzwecke weitestgehend ungeeignet
- höhere Temperaturen für TWW-Bereitung im Sommer zur Verfügung stehend
- Heizbetrieb: oft im Frostbereich um 0 °C

### Tiefenprofil der Erdreichtemperaturen

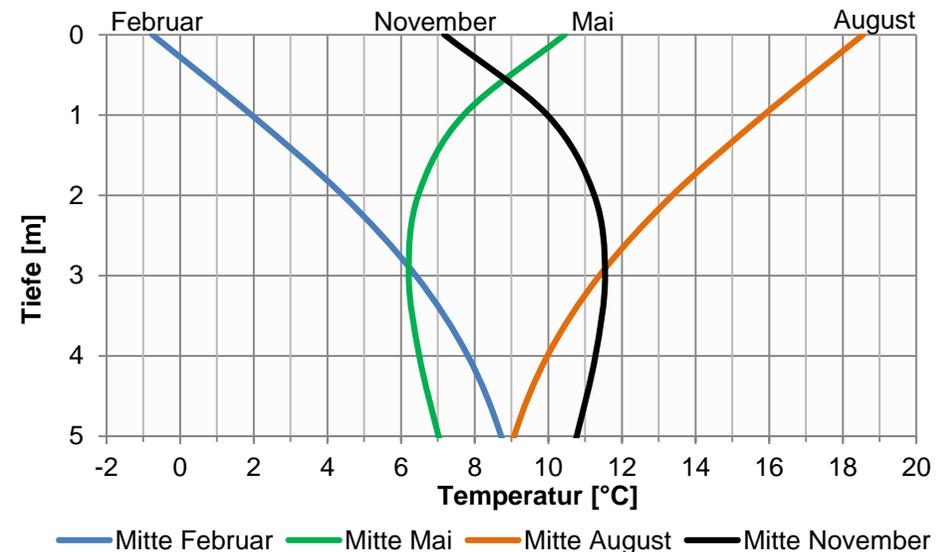


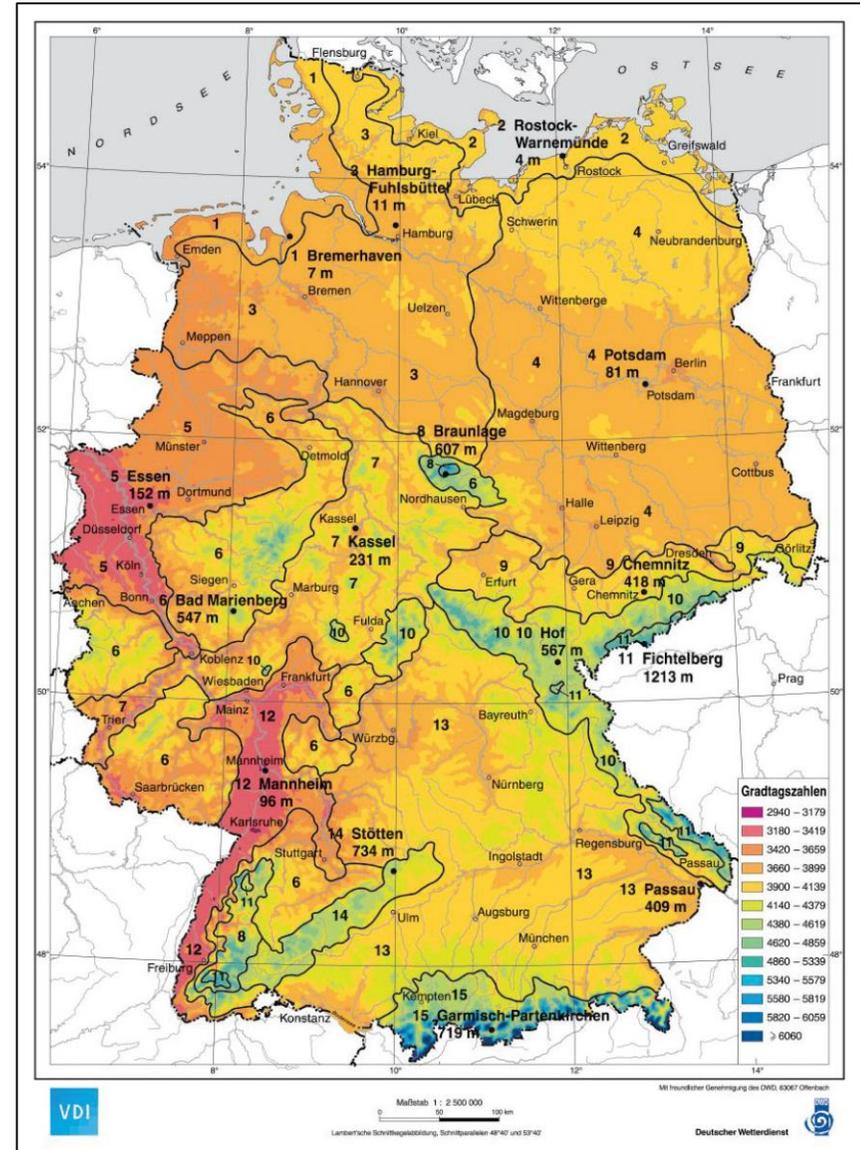


Tabelle A1. Für die Berechnung von Tabelle A2 bis Tabelle A3 und Anhang F zugrunde gelegten Bodenarten

Bodenarten	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
Wassergehalt in % Volumenanteil	< 10	25...31	35...40	35...40
Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)	1,2	1,5	1,5	1,8

Tabelle A1 Gesteinseigenschaften; Quelle: VDI 4640 Blatt 2 (2019-06)

Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in 15 Klimazonen für die  
Belange der Heiz- und Raumlufttechnik (Zonenkarte) (DIN 4710:2003-01)  
Quelle: VDI 4640 Blatt 2 (2019-06)



Klimazonen	Entzugsleistung in W/m <sup>2</sup> Entzugsarbeit in kWh/a Volllaststunden in h/a Rohrabstand in m	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
Klimazone 1	Entzugsleistung	28	34	36	39
	Entzugsarbeit	46	56	59	64
	Volllaststunden	1650	1650	1650	1650
	Rohrabstand	0,2...0,3	0,45...0,55	0,45...0,55	0,45...0,55
Klimazone 2	Entzugsleistung	21	29	29	31
	Entzugsarbeit	37	52	52	55
	Volllaststunden	1800	1800	1800	1800
	Rohrabstand	0,3...0,4	0,5...0,6	0,55...0,65	0,55...0,65
Klimazone 3	Entzugsleistung	25	32	35	38
	Entzugsarbeit	41	52	57	62
	Volllaststunden	1650	1650	1650	1650
	Rohrabstand	0,25...0,35	0,45...0,55	0,45...0,55	0,45...0,55
Klimazone 4	Entzugsleistung	23	30	33	36
	Entzugsarbeit	34	45	49	54
	Volllaststunden	1500	1500	1500	1500
	Rohrabstand	0,25...0,35	0,5...0,6	0,5...0,6	0,5...0,6
Klimazone 5	Entzugsleistung	29	37	38	41
	Entzugsarbeit	49	62	64	69
	Volllaststunden	1700	1700	1700	1700
	Rohrabstand	0,2...0,3	0,4...0,5	0,4...0,5	0,4...0,5
Klimazone 6	Entzugsleistung	16	26	28	30
	Entzugsarbeit	31	50	54	58
	Volllaststunden	1950	1950	1950	1950
	Rohrabstand	0,5...0,6	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7
Klimazone 7	Entzugsleistung	25	32	33	37
	Entzugsarbeit	40	51	52	59
	Volllaststunden	1600	1600	1600	1600
	Rohrabstand	0,2...0,3	0,45...0,55	0,45...0,55	0,45...0,55

Tabelle A2. Horizontale Erdwärmekollektoren, Maximalwerte der flächenspezifischen Entzugsleistung und Entzugsarbeit für PE-Rohr 32 mm × 3,0 mm; Quelle: VDI 4640 Blatt 2 (2019-06)

Klimazonen	Entzugsleistung in W/m <sup>2</sup> Entzugsarbeit in kWh/a Volllaststunden in h/a Rohrabstand in m	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
Klimazone 8	Entzugsleistung	12	23	25	26
	Entzugsarbeit	24	46	50	52
	Volllaststunden	2000	2000	2000	2000
	Rohrabstand	0,6...0,7	0,65...0,75	0,65...0,75	0,65...0,75
Klimazone 9	Entzugsleistung	17	26	29	32
	Entzugsarbeit	29	45	50	56
	Volllaststunden	1750	1750	1750	1750
	Rohrabstand	0,4...0,5	0,55...0,65	0,55...0,65	0,55...0,65
Klimazone 10	Entzugsleistung	13	23	26	28
	Entzugsarbeit	23	41	46	50
	Volllaststunden	1800	1800	1800	1800
	Rohrabstand	0,5...0,6	0,65...0,75	0,65...0,75	0,65...0,75
Klimazone 11	Entzugsleistung	5	9	12	13
	Entzugsarbeit	12	21	28	31
	Volllaststunden	2400	2400	2400	2400
	Rohrabstand	0,3...0,7	0,3...0,7	0,3...0,7	0,3...0,7
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
Klimazone 14	Entzugsleistung	14	25	27	28
	Entzugsarbeit	25	46	49	51
	Volllaststunden	1850	1850	1850	1850
	Rohrabstand	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7
Klimazone 15	Entzugsleistung	14	25	26	29
	Entzugsarbeit	24	43	45	50
	Volllaststunden	1750	1750	1750	1750
	Rohrabstand	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7

## Erdwärmekörbe und -spiralen

Mithilfe von Erdwärmekörben kann eine kompakte Bauweise, verbunden mit einer deutlichen Platzeinsparung gegenüber dem horizontalen Erdwärmekollektor, realisiert werden. Insbesondere dort, wo eine kompakte Bauweise notwendig ist, oder ein größerer Tiefenbereich als bei horizontalen Erdwärmekollektoren genutzt werden kann, finden sie ihren Einsatzbereich.

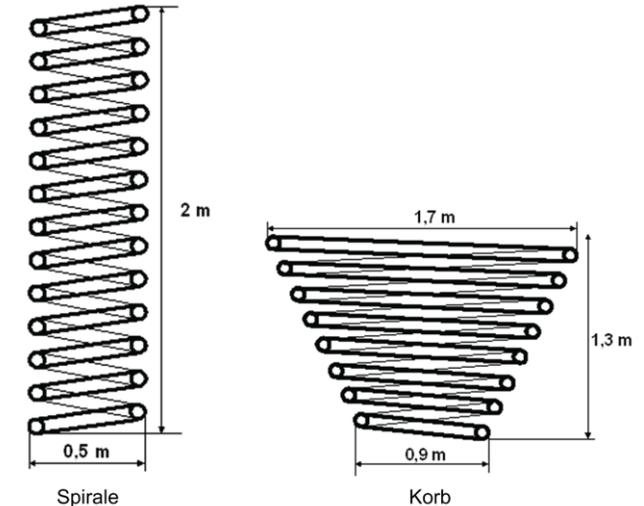
Bei Erdwärmekörben können zwei typische Bauformen unterschieden werden:

- die zylindrische Bauform, welche einer Spirale gleicht und
- die konische Bauform, welche einem Korb gleicht

Grundsätzlich ist die installierte Rohrlänge für die Entzugsleistung und das damit erschlossene Untergrundvolumen für die jährlich zu entziehende Energie maßgebend.

**Zur Auslegung von Erdärmekörben und –spiralen werden Simulationsberechnungen empfohlen.**

Geometrien  
typischer  
Bauformen von  
Erdwärmekörben



Quelle: VDI 4640 Blatt 2 (2019-06)

Quelle: innotec-brb.de, 2012

Quelle: knobel-bau.de, 2012



## Grabenkollektor

Bei Grabenkollektoren wird ein Graben mit einer Tiefe von bis zu 3 m oder tiefer ausgehoben. Sofern der Graben für die Verlegung der Kollektorrohre begangen werden soll, müssen zur Berücksichtigung der Arbeitssicherheit die Vorgaben aus der DIN 4124 insbesondere zur Erstellung des Böschungswinkels eingehalten werden. Nur wenn die dort vorgesehenen Sicherungsmaßnahmen getroffen wurden, darf die Grabensohle betreten werden.

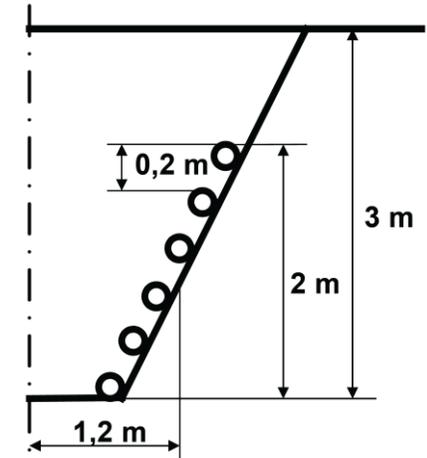
An die Grabenwände werden die Kollektorrohre in einem engen Abstand von 20 cm bis ca. 10 cm horizontal verlegt und mit Halteleisten fixiert. Eine weitere Möglichkeit, die Grabenwände zu belegen, ohne den Graben zu begehen, ist es, vorgefertigte Kollektormatten an der Grabenwand von oben einzubringen.

### Typische Parameter für den Einbau

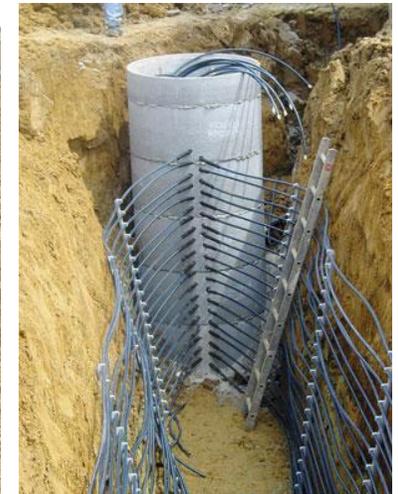
- Kollektorhöhe ca. 3 m
- Oberkante des Kollektors 1 -1,5 m tief
- 5 bis 6 m Graben pro kW Heizleistung (VDI 4640-2)

Quelle: elektrotechnik-held.de, 2012

Beispiel für einen  
Grabenkollektor



Quelle: VDI 4640 Blatt 2 (2019-06)





## Grundwasserbrunnen

Bei Nutzung geothermischer Energie über Grundwasserbrunnen werden in der Regel mindestens ein Förder- und einen Schluckbrunnen gebohrt. Grundwasser liegt ganzjährig mit Temperaturen von 8 bis 12 °C vor.

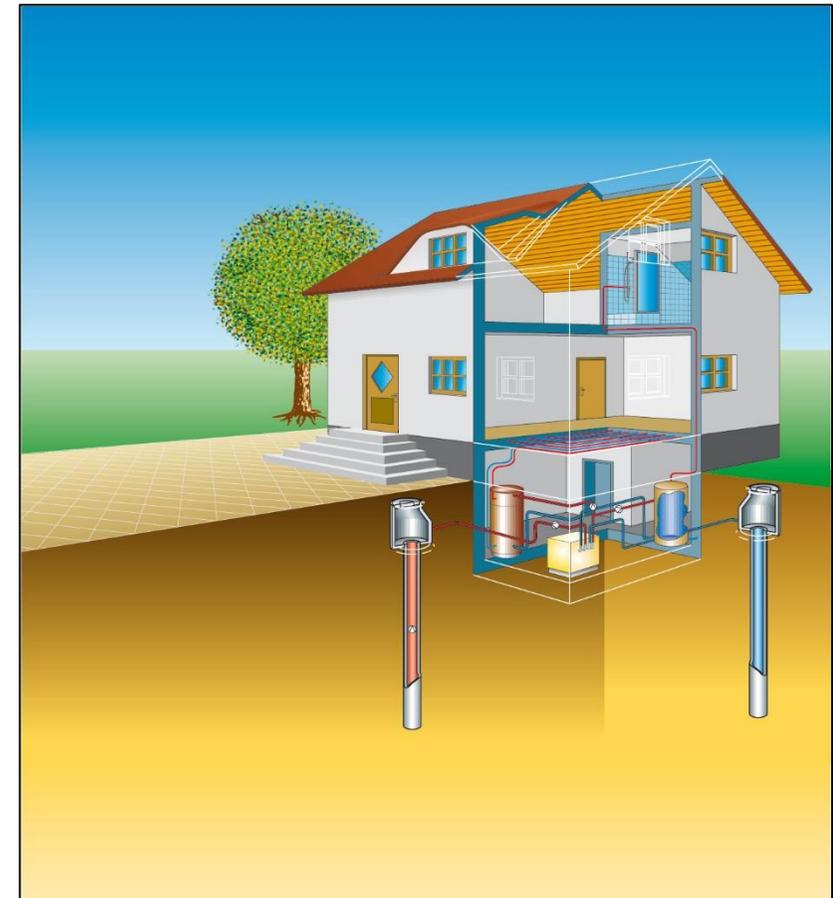
Das Grundwasser (GW) wird gefördert und gelangt zunächst in einen Wärmeübertrager, wo es Wärme an eine Wärmepumpe abgibt oder für Kühlzwecke genutzt werden kann.

Nach der thermischen Nutzung erfolgt die Rückführung des GW in das Erdreich über einen Schluckbrunnen, Förder- und einen Schluckbrunnen werden so angeordnet, dass keine thermische Rückwirkung entsteht.

Bei einer üblichen Temperaturspreizung auf der Quellenseite der Wärmepumpe von 3 K bis 4 K beträgt der Volumenstrom: 0,22 ... 0,29 m<sup>3</sup>/h pro Kilowatt Verdampferleistung

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_k}{\rho \cdot c \cdot \Delta\theta}$$

$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /h]	Nenndurchfluss
$\dot{Q}_k$	[kW]	Kälteleistung der Quelle
$\rho \cdot c$	[Wh/m <sup>3</sup> ·K]	volumetrische spezifische Wärmekapazität
$\Delta\theta$	[K]	Temperaturspreizung des Wassers in der Wärmepumpe



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe, www.bwpp.de

Die Qualität von Grundwasser kann durch Infiltration aus Oberflächengewässern entscheidend beeinflusst werden. Neben der thermischen Beeinflussung ist auch der Beeinflussung der Grundwasserqualität Beachtung zu schenken. Grundwasser ist in den meisten Fällen nicht aggressiv. Insbesondere der Eintrag von organischem Material oder Sauerstoff durch Zutritt von Oberflächenwasser kann zu unerwünschten Reaktionen führen.

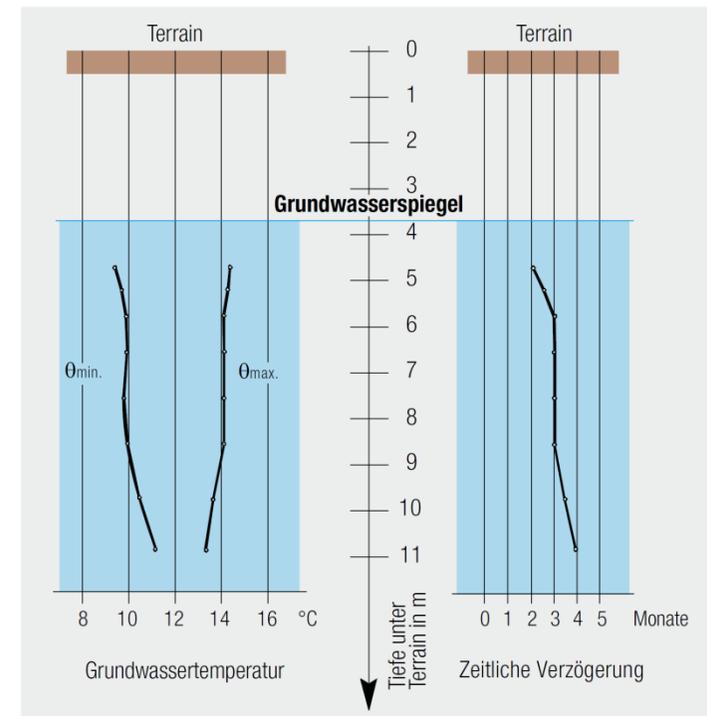
Aus diesen Gründen ist eine einfache Analyse der Grundwasserqualität empfehlenswert.

Folgende Grenzwerte sollten eingehalten werden:

- pH-Wert:  $\geq 7$
- Eisen (gelöst):  $\leq 0,15 \text{ mg/l}$
- Mangan (gelöst):  $\leq 0,1 \text{ mg/l}$

Verunreinigungen durch Sand sollten weder durch Oberflächenwassereinfluss noch durch die Förderung im Filterbrunnen auftreten.

Grundwasser-  
Temperaturen /  
Quelle: BFE Schweiz,  
Wärmepumpen, 2008



### Grundwassernutzung über Brunnenausbau

- Verfügbarkeit eines gleichbleibenden Temperaturniveaus von 7 bis 12°C
- Entnahme (Förderbrunnen) und Wiedereinleitung (Schluckbrunnen) müssen in Grundwasserfließrichtung erfolgen (Kurzschluss)
- Prüfung der entnehmbaren Wassermenge sowie der Wasserbeschaffenheit über einen **Pumpversuch**

### Hydrochemische Parameter

- bei sauerstofffreien Grundwässern mit niedrigem Redox-Potential und hohem Gehalt an Eisen und Mangan Gefahr der „Verockerung“
- Korrosionsgefahr in Abhängigkeit der Wasserbeschaffenheit
- Kalkausfällungen bei Temperaturänderungen über +/- 6K möglich

Durchführung einer Analyse auf alle Haupt- Wasserinhaltsstoffe zur Beurteilung der Grundwasserqualität : Temperatur, pH-Wert, O<sub>2</sub>- Gehalt, Leitfähigkeit, Redox-Potential, Calcium, Eisen, Mangan, ...

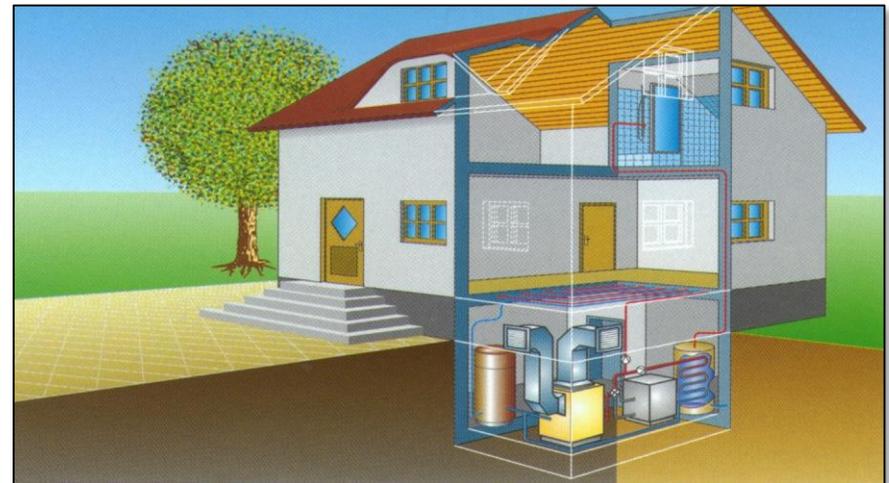
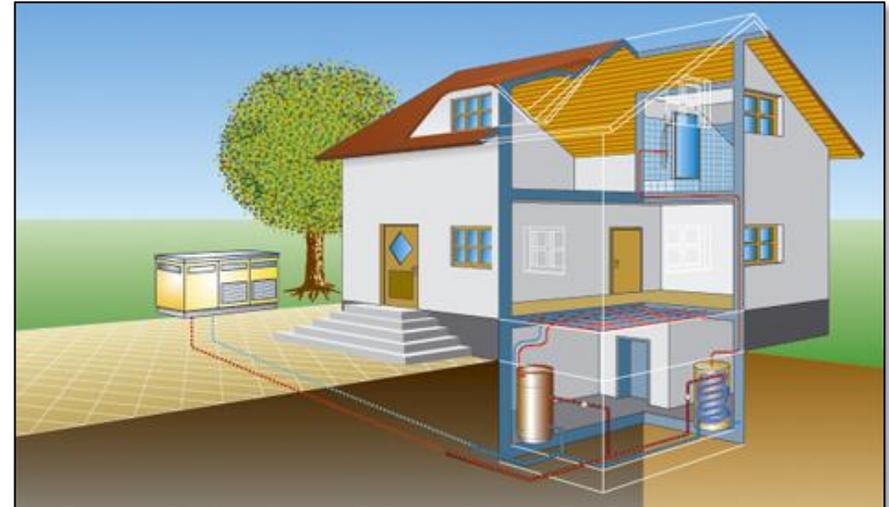


## Außenluft

Die Außenluft steht in unbeschränkter Menge als Wärmequelle zur Verfügung und erfordert keine behördliche Bewilligung. Nachteilig ist, dass die Wärmequellentemperatur gegenläufig zur Heizsystemtemperatur ist. Man unterscheidet folgende Bauarten:

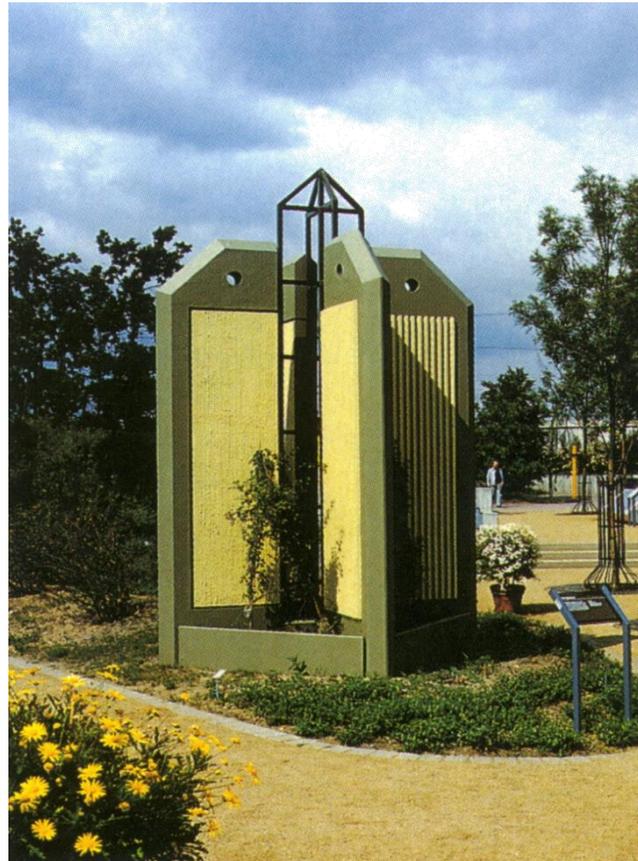
- Kompakt-Anlage für Innenaufstellung
- Kompakt-Anlage für Außenaufstellung
- Split-Anlage

Die kompakte Bauart für Innenaufstellung wird in der Regel für kleinere und mittlere Anlagen eingesetzt. (Heizleistung: 5 kW bis 50 kW). Die kompakte Bauart für Außenaufstellung kommt dort zum Einsatz, wo im Gebäude kein Platz vorhanden ist. Split-Anlagen kommen dort zum Einsatz, wo die Außenluft aufgrund der erforderlichen Luftvolumenstrommenge nicht direkt dem im Gebäude platzierten Aggregat zugeführt werden kann.



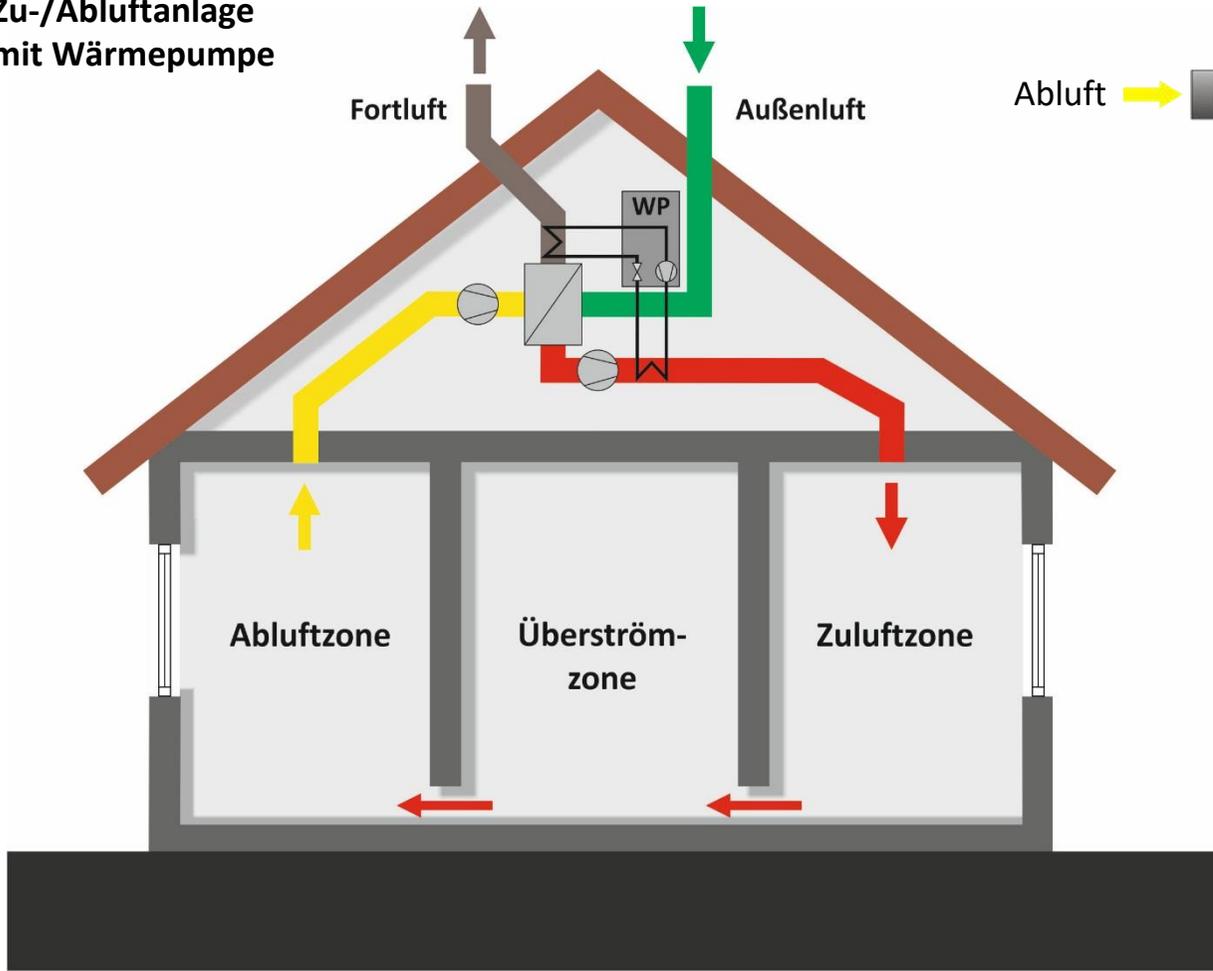


Luft/Wasser-Wärmepumpe - Außenabsorber

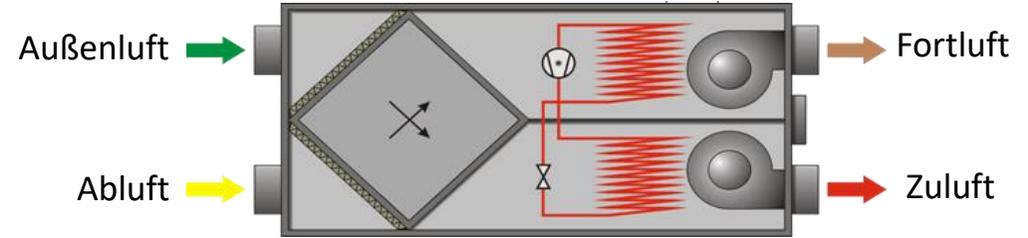




Zu-/Abluftanlage  
mit Wärmepumpe



Wärmepumpe

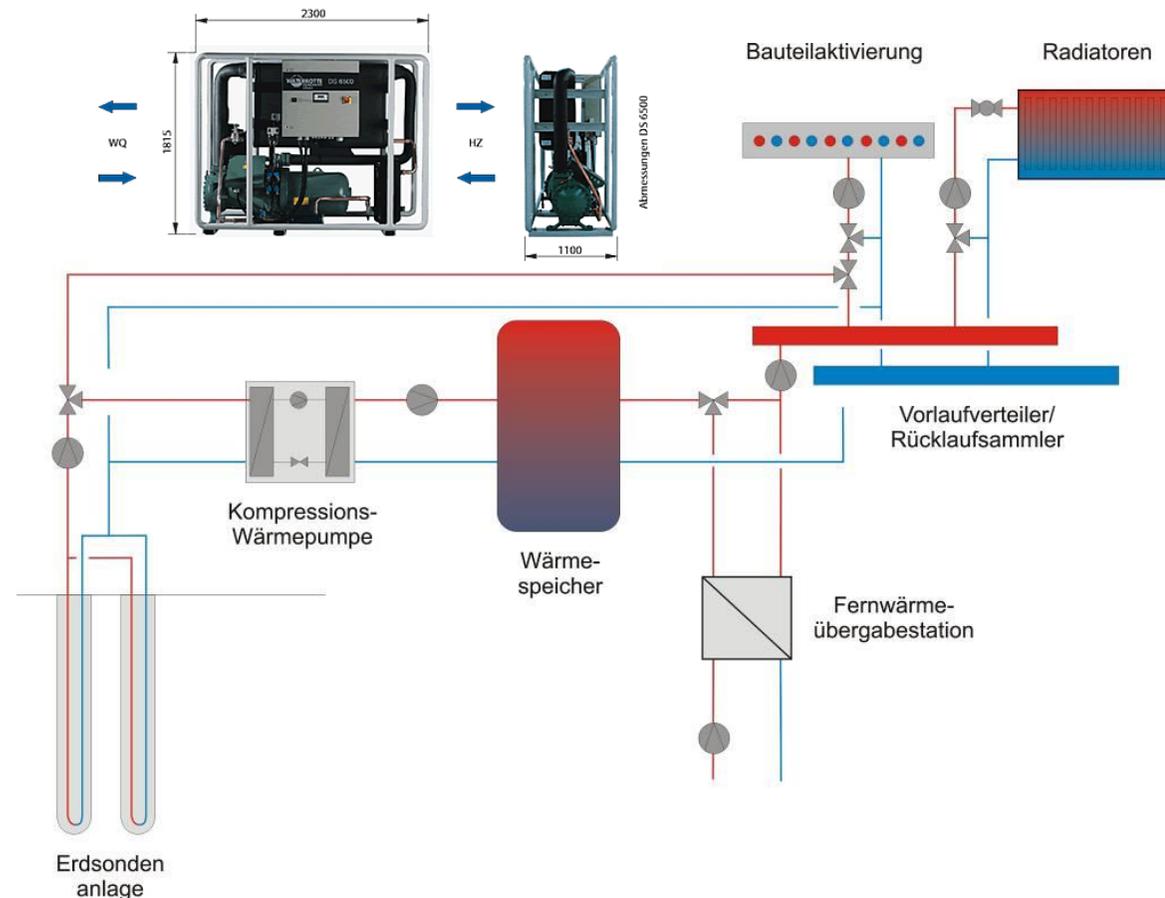


## 6. Auslegung, Systemintegration, Projektbeispiele

Die Auslegung der Wärmepumpe erfolgt bei Kleinanlagen bis ca. 50 kW Heizleistung in der Regel auf die gesamte Heizlast. In größeren Anlagen ist die Wärmepumpe auf die Grundlast auszulegen und die Spitzenlast über einen weiteren Wärmeerzeuger (z.B. Gas-Heizkessel oder Fernwärme) zu decken.

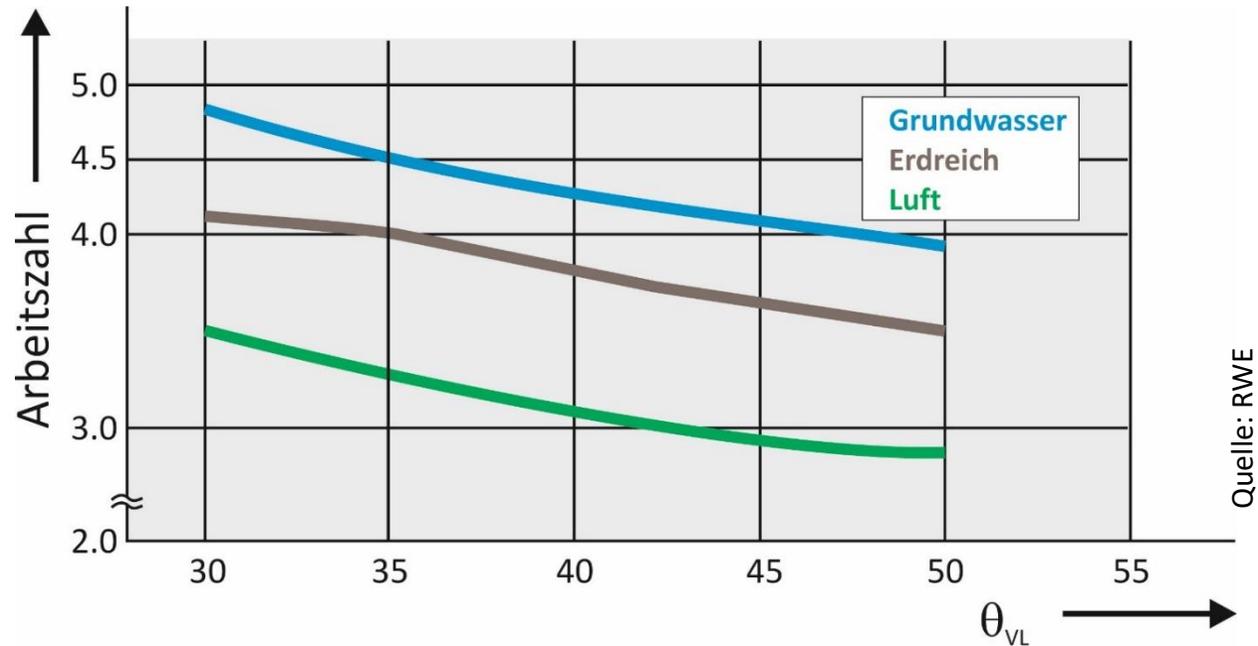
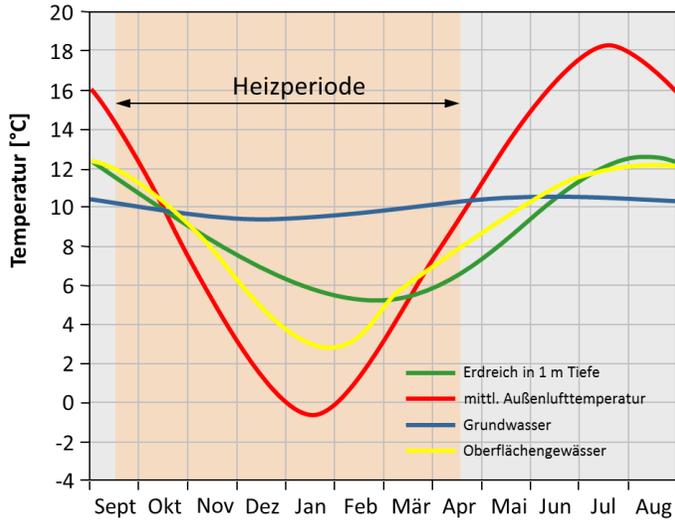
Folgende grundsätzliche Punkte sind zu beachten:

- höhere Quellentemperaturen führen zu höheren Arbeitszahlen. Grundwasser und Erdsonden sind aus energetischer Sicht günstige Quellen
- geringere Temperaturen im Heizsystem führen ebenfalls zu höheren Arbeitszahlen. Flächenheizungen und Bauteilaktivierung sind geeignete Heizsysteme
- Warmwasserbereitung erfordert eine höhere (ungünstigere) Betriebstemperatur (ggf. sind zusätzlich Durchlauferhitzer vorzusehen)
- Kombination mit Wärmespeicher und wirtschaftlich sinnvoller Spitzenlastdeckung





### Quellen- und Senkentemperaturen

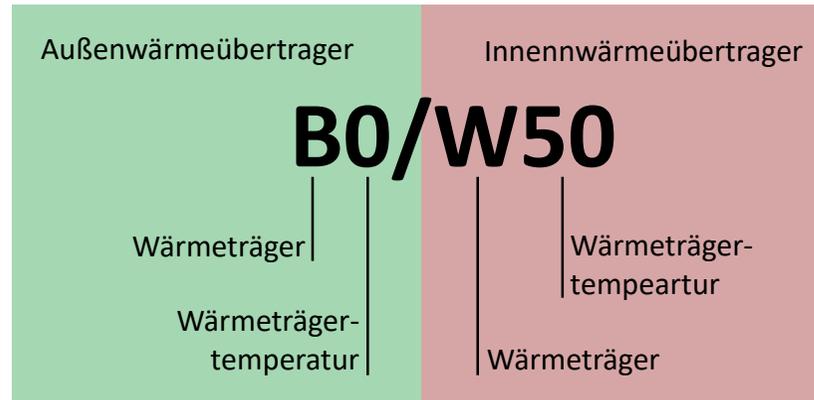


Nutzungsgrad einer Wärmepumpe (Arbeitszahl)

Quelle: RWE



Bezeichnung von Wärmepumpen



Wärmeträger		Benennung
Außenwärme- übertrager	Innenwärme- übertrager	
Luft	Luft	Luft-/Luft-Wärmepumpe
Wasser	Luft	Wasser-/Luft-Wärmepumpe
Sole	Luft	Sole-/Luft-Wärmepumpe
Luft	Wasser	Luft-/Wasser-Wärmepumpe
Wasser	Wasser	Wasser-/Wasser-Wärmepumpe
Sole	Wasser	Sole-/Wasser-Wärmepumpe



Vom Hersteller werden technische Daten als Kennlinien oder Tabellen zur Verfügung gestellt. Zulässige Quellentemperaturen und erreichte Vorlauftemperaturen werden mit den jeweiligen Leistungszahlen angegeben.

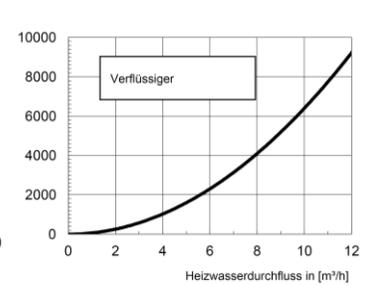
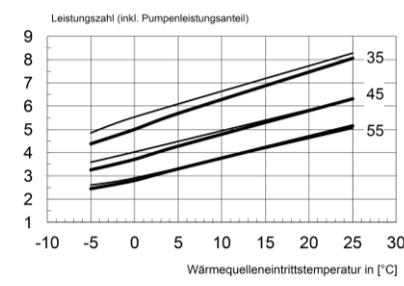
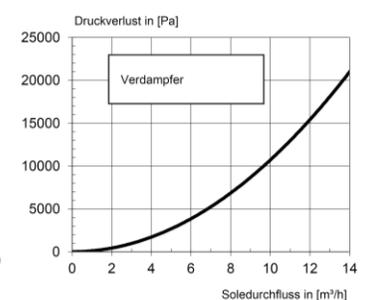
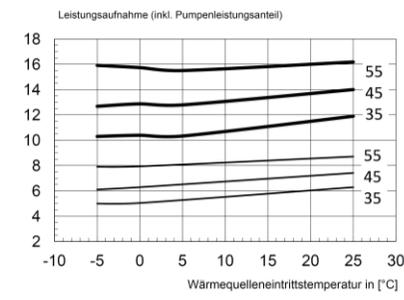
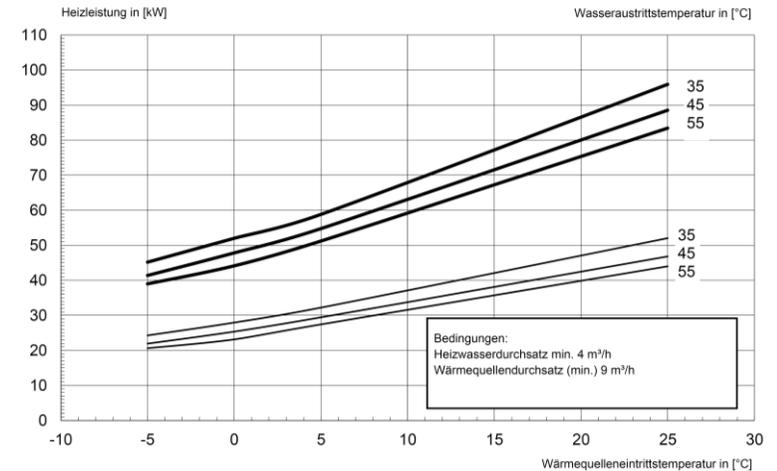
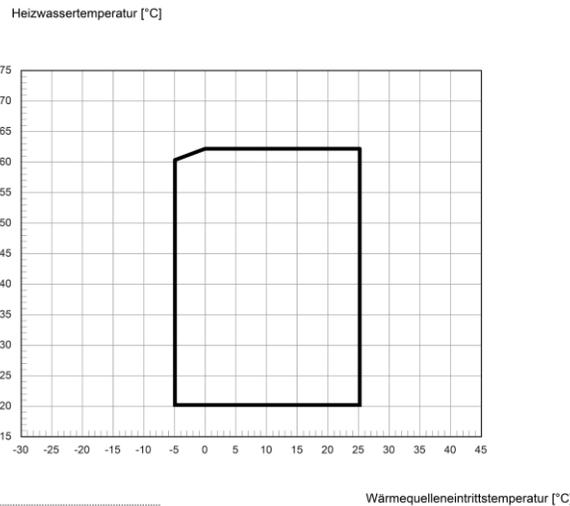


Heizleistung / Leistungszahl (COP) nach EN 14511:1

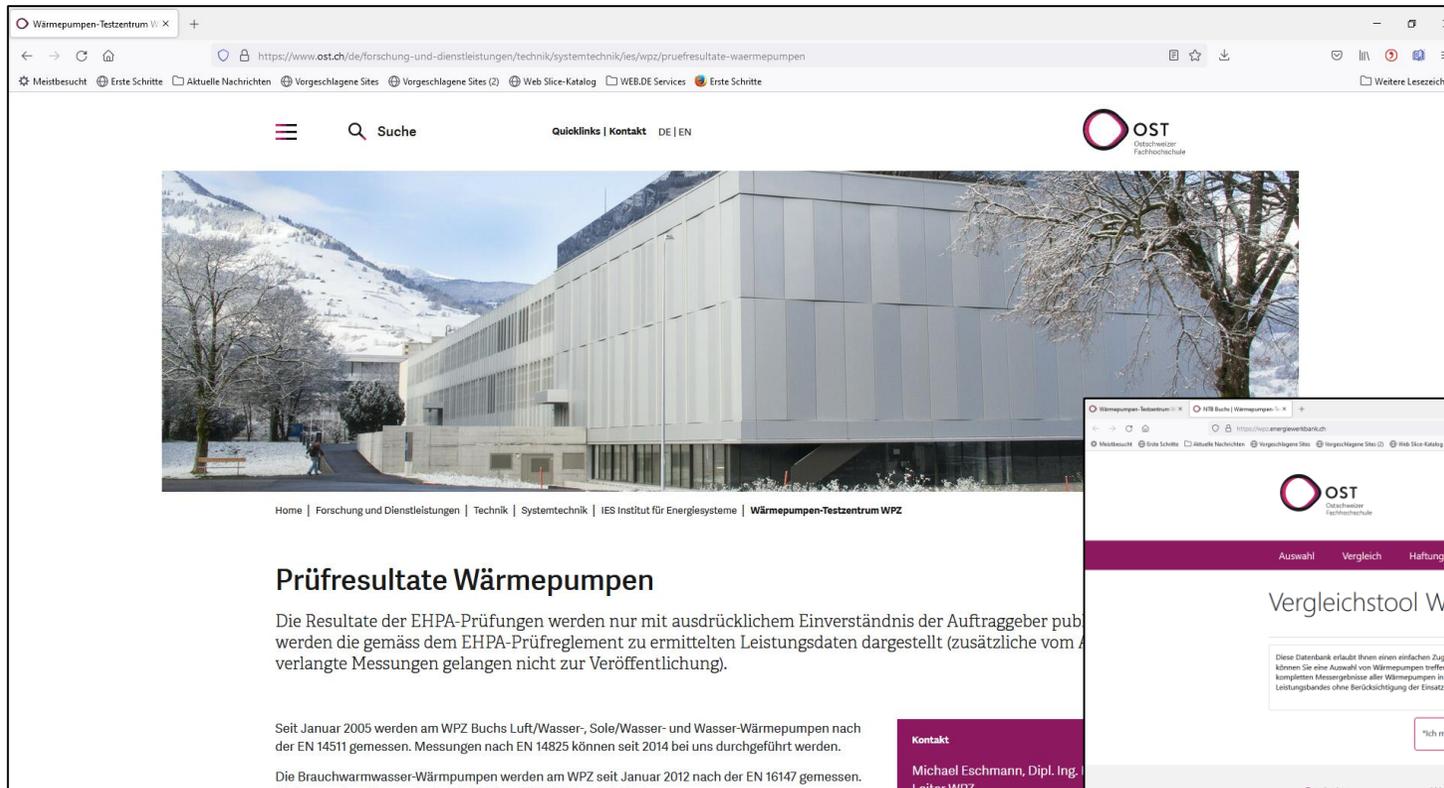
Heizen 1 Verdichter	W35	W45	W55
B-5	25.0 kW / 4.9	21.9 kW / 3.60	20.5 kW / 2.6
B0	27.4 kW / 5.4	25.1 kW / 4.0	23.1 kW / 2.9
B10	37.0 kW / 7.1	33.3 kW / 5.4	31.5 kW / 4.2
B25			

Heizen 2 Verdichter	W35	W45	W55
B-5	46.0 kW / 4.4	41.3 kW / 3.3	39.0 kW / 2.5
B0	52.0 kW / 5.0	47.8 kW / 3.7	44.1 kW / 2.8
B10	68.10 kW / 6.80	62.70 kW / 5.20	59.20 kW / 4.10
B25			

Leistungsdiagramm und Auslegungsdaten einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 50 kW Heizleistung – Dimplex Sole/Waser-WP SI50TU



In Wärmepumpen-Testzentren werfen Leistungszahlen unter definierten Betriebsbedingungen gemessen. Die Messergebnisse werden in Prüfberichten veröffentlicht und sind zugänglich.



OST Ostfalia Fachhochschule

Home | Forschung und Dienstleistungen | Technik | Systemtechnik | IES Institut für Energiesysteme | **Wärmepumpen-Testzentrum WPZ**

## Prüfresultate Wärmepumpen

Die Resultate der EHPA-Prüfungen werden nur mit ausdrücklichem Einverständnis der Auftraggeber publiziert. Die gemäss dem EHPA-Prüfreglement zu ermittelten Leistungsdaten dargestellt (zusätzliche vom Auftraggeber verlangte Messungen gelangen nicht zur Veröffentlichung).

Seit Januar 2005 werden am WPZ Buchs Luft/Wasser-, Sole/Wasser- und Wasser-Wärmepumpen nach der EN 14511 gemessen. Messungen nach EN 14825 können seit 2014 bei uns durchgeführt werden.

Die Brauchwarmwasser-Wärmepumpen werden am WPZ seit Januar 2012 nach der EN 16147 gemessen.

**Kontakt**  
Michael Eschmann, Dipl.-Ing. | Leiter WPZ



OST Ostfalia Fachhochschule

WPZ Wärmepumpen-Testzentrum

Auswahl Vergleich Haftung Überblickstabellen Zum WPZ

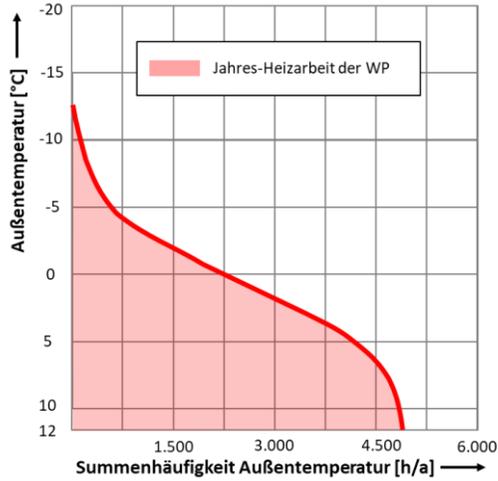
## Vergleichstool Wärmepumpen

Diese Datenbank erlaubt Ihnen einen einfachen Zugang auf alle veröffentlichten Messdaten des WPZ. Über die zwei untenstehenden Suchmasken können Sie eine Auswahl von Wärmepumpen treffen und diese anschaulich vergleichen. Zudem können Sie in der Rubrik „Gesamtergebnisse“ die kompletten Messergebnisse aller Wärmepumpen in tabellarischer Form herunterladen. Die Auswahl der Wärmepumpen erfolgt auf Basis eines Leistungsbandes ohne Berücksichtigung der Einsatzgrenzen. Somit kann sie die Auslegung durch einen Fachmann nicht ersetzen.

Ich möchte eine  Auswählen... Wärmepumpe

Bachelor Weiterbildung / Kurse  
Master Kurse  
News & Events Medien  
FAQ Impressum  
Downloads Forschung & Entwicklung

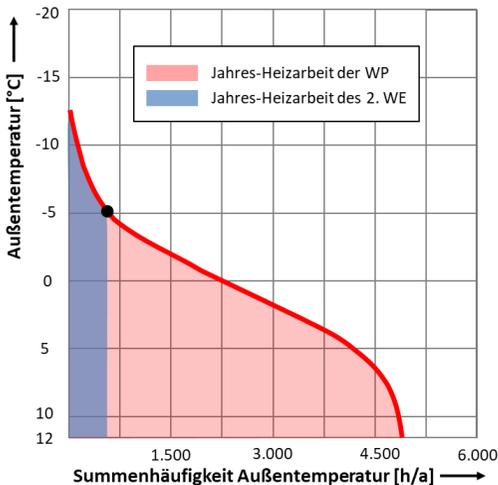
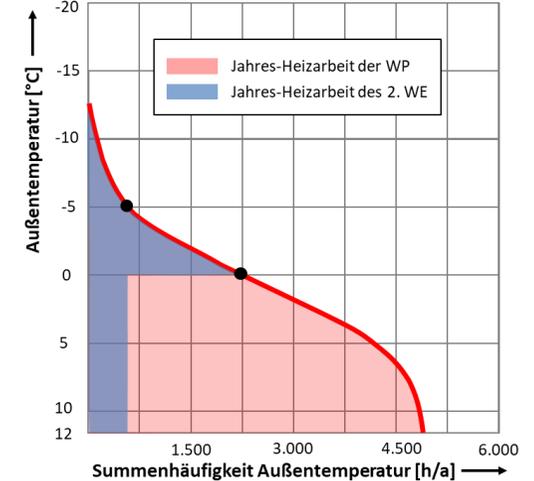
Ost -> Campus Buchs  
Kontakt



Monovalenter  
Betrieb

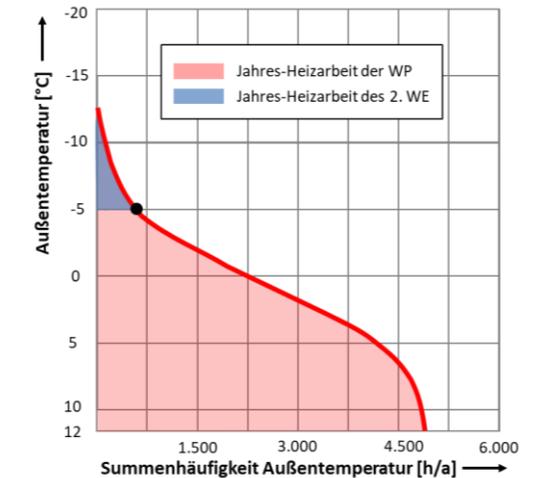
Bivalent-paralleler  
Betrieb

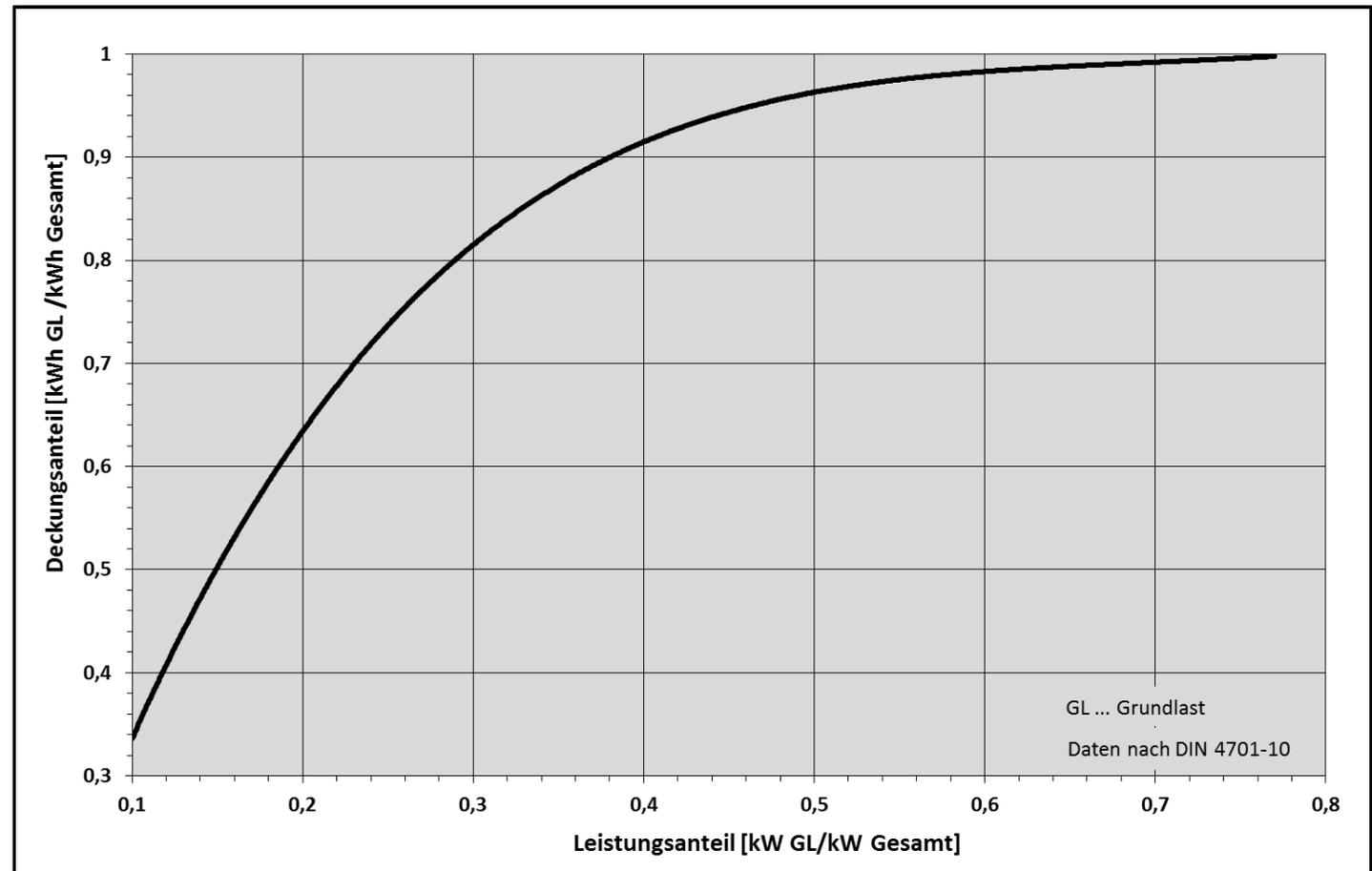
## Betriebs- weisen



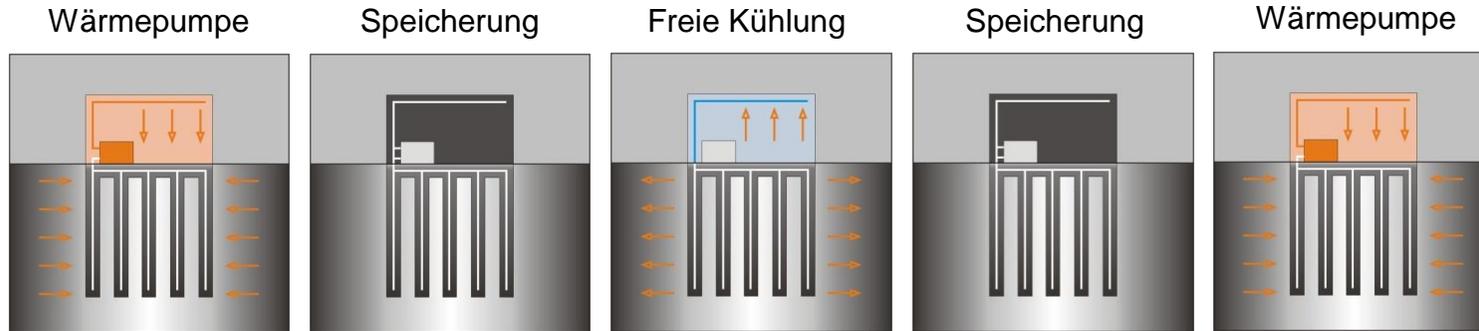
Bivalent-alternativer  
Betrieb

Bivalent-teilparalleler  
Betrieb

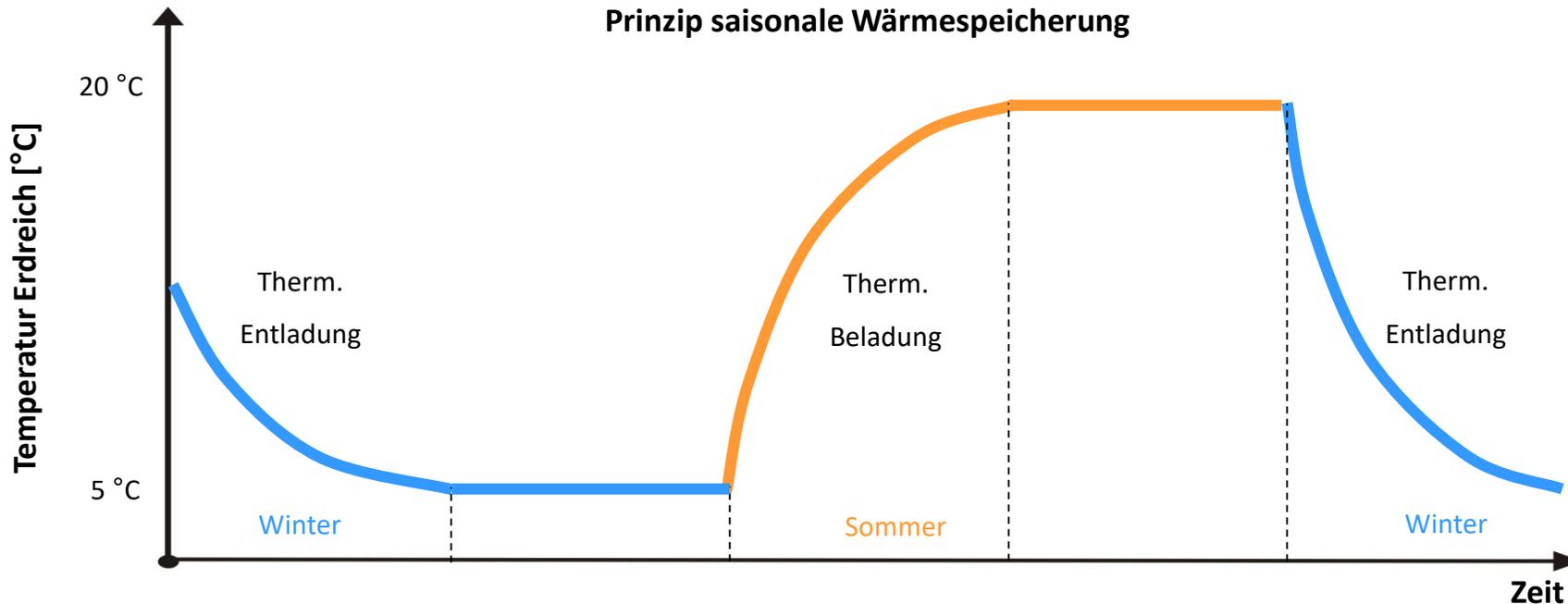




Ermittlung des  
Deckungsanteils des  
Wärmegrundlasterzeugers  
nach DIN 4701-10



Prinzip saisonale Wärmespeicherung



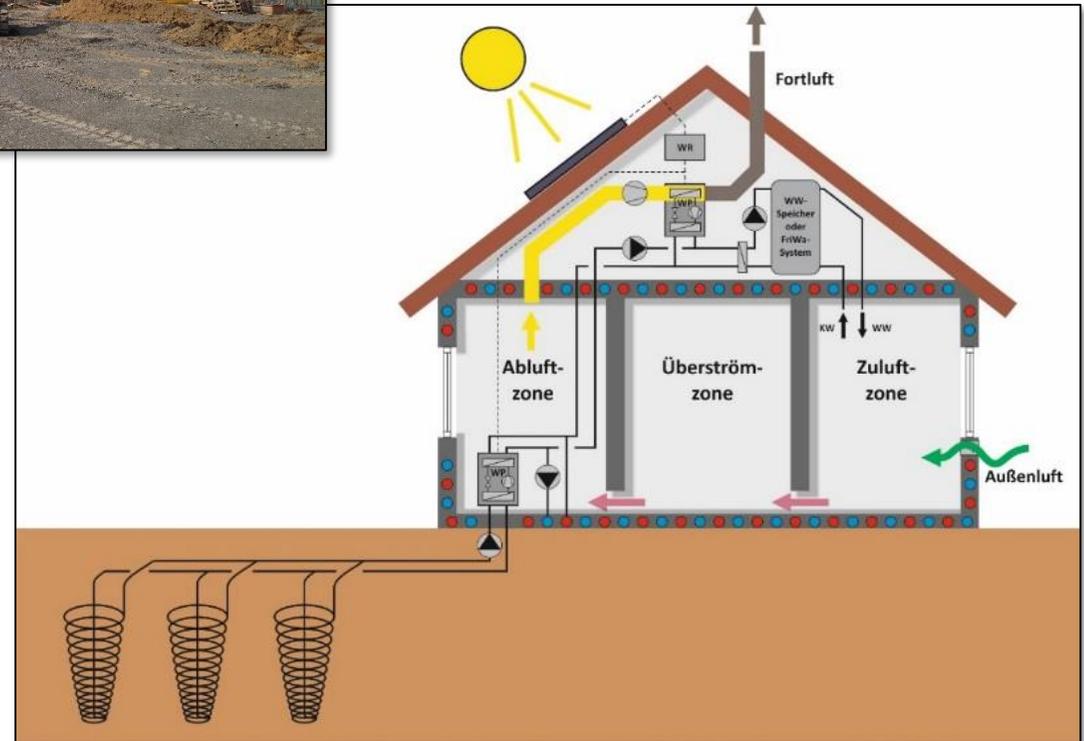
Projektbeispiele - Energieoptimierte Wohngebäude – hoher Wärmeschutz und bauteilintegrierte Technik



Projekt „active envelope building“

simulationsgestützte Entwicklung eines Regel- und Betriebskonzeptes für ein Low-Ex-Mehr-geschoss-Wohngebäude mit 100% regenerativer Wärmeversorgung und thermisch aktiven Bauteilen

- Simulationsunterstützte Konzeptentwicklung
- Monitoring
- Betriebsoptimierung





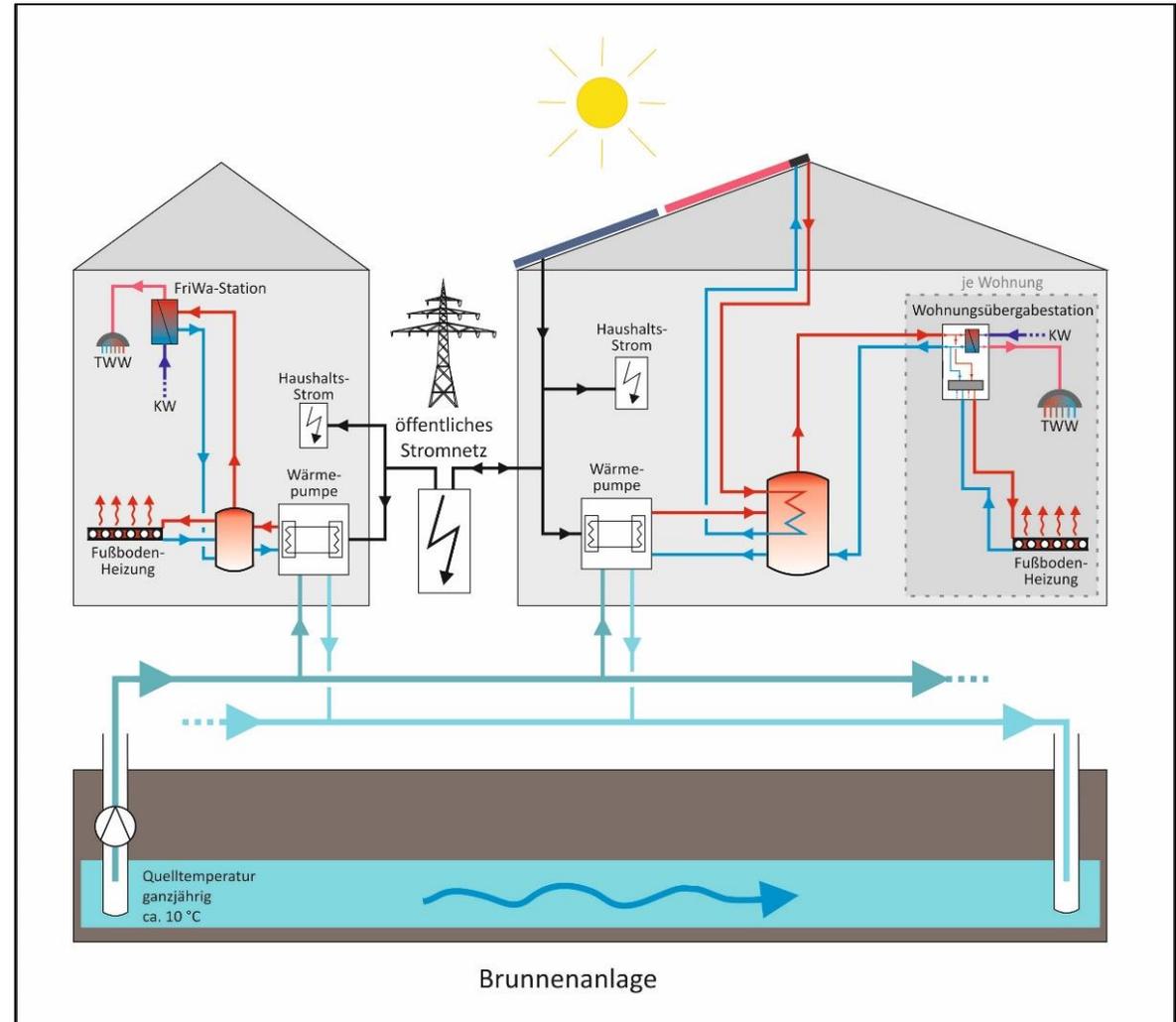
Projektbeispiele – Integration von Wärmepumpen in kalten Nahwärmenetze



Die Wohnfläche beträgt im vorgesehenen Bebauungsplan 14.626 m<sup>2</sup>. Die Anzahl der Wohneinheiten beträgt einschl. der Reihenhäuser 162.

Entsprechend ergibt sich ein Jahres-Wärmebedarf bei einem umgesetzten Energiestandard der Gebäude von BEG NH55 von 730 MWh/a





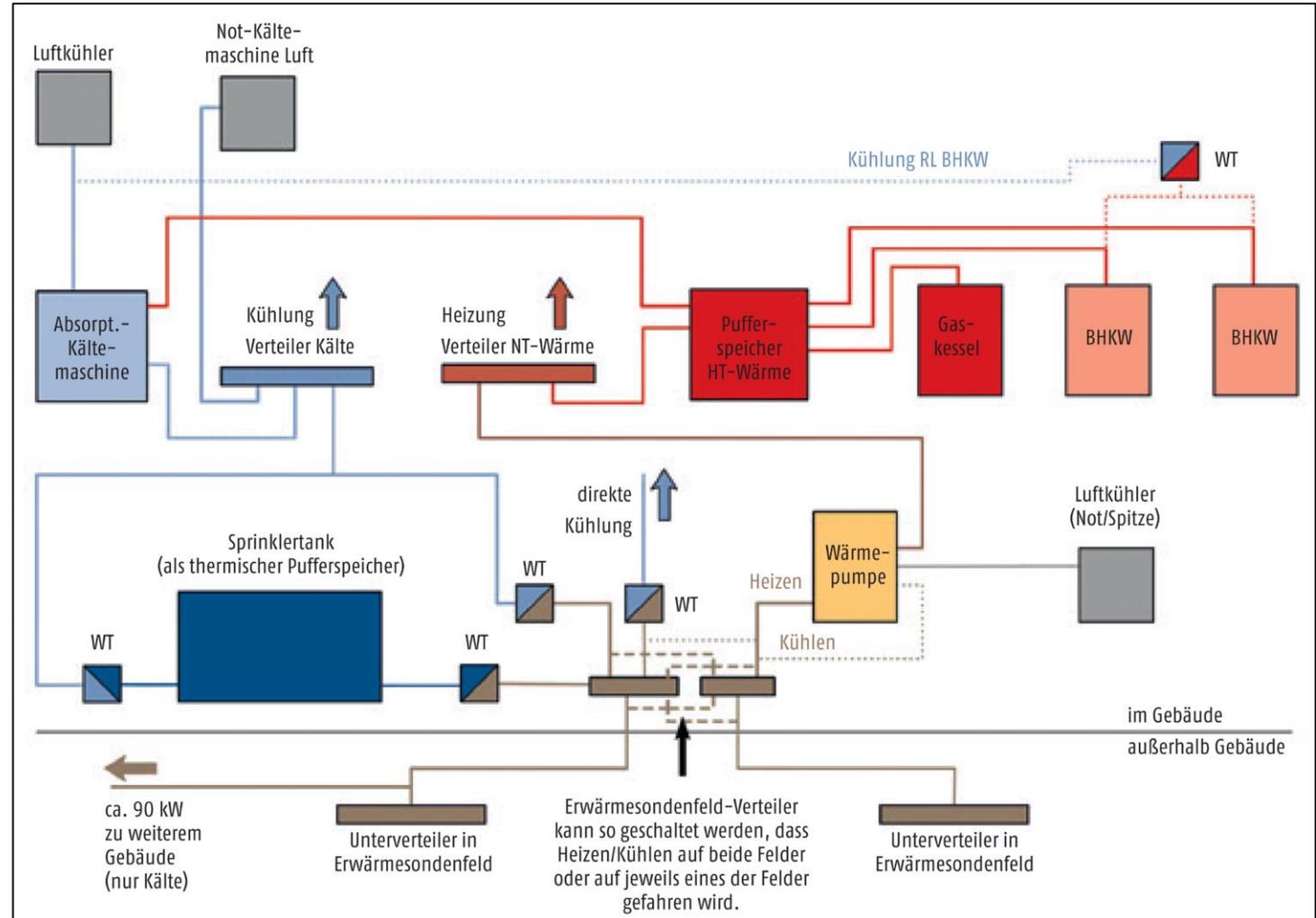
Dezentrale Wärmepumpen in Gebäuden werden über ein kaltes Nahwärmenetz gespeist - Anlagenschema

## Projektbeispiele - Geobase - Energetische u. ökologische Optimierung von Betriebs- und Regelstrategien für komplexe Energieversorgungssysteme auf Basis oberflächennaher Geothermie im Gewerbe- und Nichtwohnbau

- Dokumentation der Planung sowie der Regelungsstrategien
- Aufbau eines Monitorings, Betriebsoptimierung und Validierung von Optimierungsmaßnahmen
- Entwicklung von Simulationsmodellen der Energieversorgungssysteme einschl. oberflächennaher Geothermie
- Kopplung von Simulationsmodellen der Geothermie sowie der Gebäude- und Anlagentechnik
- Auslegungsempfehlungen sowie Betriebs- und Regelungsstrategien für komplexe Energieversorgungssysteme für Produktionsgebäude u. -prozesse



Luftbild Produktionsstandort Fa. Leica, Wetzlar



Energiekonzept mit Einbindung  
einer Erdsondenlage



## 7. Zusammenfassung und Ausblick

- Wärmepumpen stellen insbesondere im Wohnbau-Bereich eine aktuell stark genutzte und förderwürdige Alternative zu konventionellen Heizsystemen dar
- Die Quelltemperatur sollte möglichst hoch sein und die Senktemperatur des Heizsystems möglichst niedrig sein, um eine hohe energetische Effizienz (COP-Wert) zu erreichen
- Generell sind Wärmepumpen-Heizsysteme in der Regel für den Einsatz bis 50 ... 60°C Vorlauftemperatur geeignet, damit können auch sanierte Altbaugebäude mit Wärmepumpen beheizt werden
- Zentrale Trinkwarmwassersysteme (Speichersysteme in Mehrfamilien-Wohngebäuden) stellen hinsichtlich der dauerhaft hohen Temperaturen ein problematisches Einsatzgebiet dar (alternativ sollte die Umsetzung von „Frischwasserstationen“ mit TWW-Bereitung im Direktbetrieb geprüft werden)
- Luft/Wasser-Wärmepumpen erreichen in der Regel bei Wohngebäuden eine höhere Wirtschaftlichkeit als Erdsonden- oder Grundwasser-Wärmepumpen
- Die Option einer Kühlung ist insbesondere in Bürogebäuden ein wesentliches Kriterium für die Integration von Wärmepumpen
- Eine Einbindung von Wärmepumpen in die Quartiersversorgung mit zentralen oder dezentralen Wärmepumpen (in Kombination mit kalten Nahwärmenetzen) ist möglich
- Hochtemperatur-Wärmepumpen ermöglichen die Erreichung von Temperaturniveaus im Bereich klassischer Öl-/Gas-Heizkessel
- Wärmepumpen sind damit nicht nur im Bereich von Neubau-Einfamilienhäusern mit Fußbodenheizung einsetzbar



Die Prüfergebnisse der Leistungszahlen der Wärmepumpen nach den Regeln der Technik (Prüfnormen) werden veröffentlicht und sind zugänglich.



**OST**  
Zürcherseer Fachhochschule



**WPZ**  
Wärmepumpen-Testzentrum

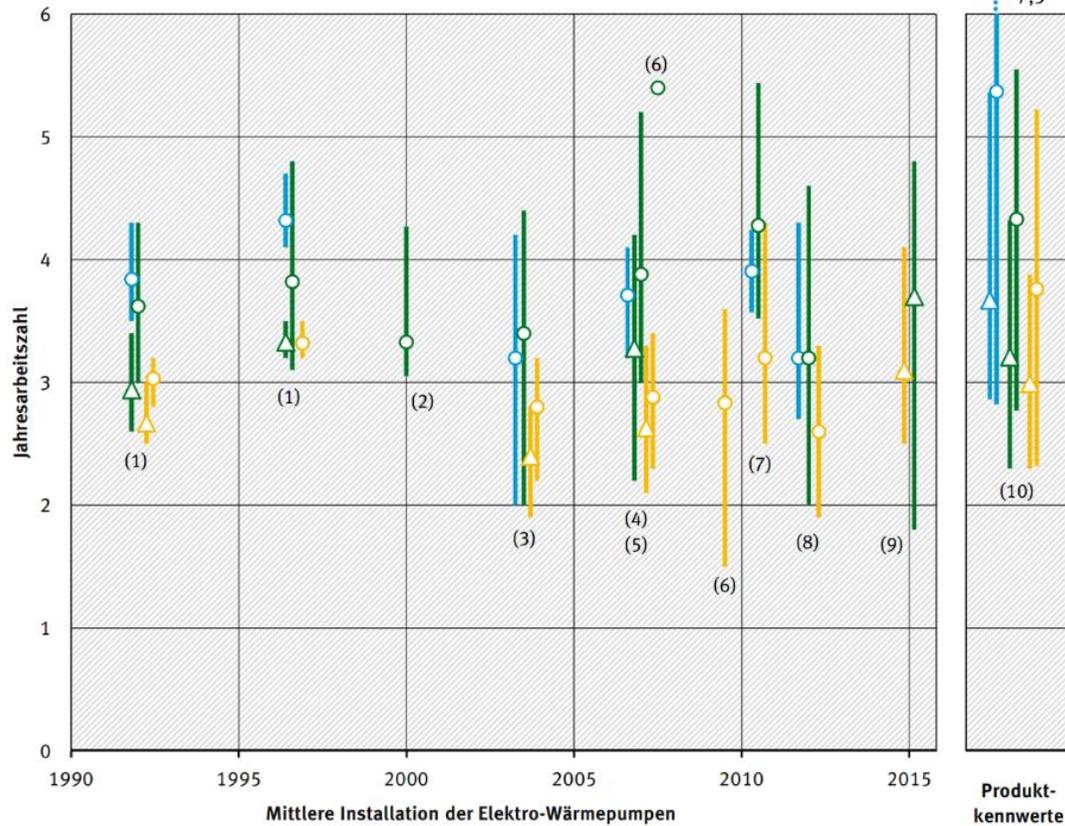
**Prüfergebnisse Luft/Wasser-Wärmepumpen basierend auf der EN 14511 und EN 14825**  
Test results of air to water heat pumps based on EN 14511 and EN 14825

Auftraggeber Customer	Gerät Type	Prüfnummer Test number	Baureihe Type of construction	Kältemittel Refrigerant	Kältemittelmenge [kg] Capacity of refrigerant	Prüfbedingungen Test conditions	low (35°C) - average										Bivalentpunkt [°] Bivalent point	Volumenstrom [m³/h] Volume flow	SCOP	Schallleistungspegel aussen [dB(A)] Sound power level outdoor	Schallleistungspegel innen [dB(A)] Sound power level indoor
							A7 / W35 (87% r. H.)	A2 / W35 (84% r. H.)	A-10 / W35 (-)	A-7 / W34 (74% r. H.)	A2 / W30 (84% r. H.)	A7 / W27 (87% r. H.)	A12 / W24 (89% r. H.)	Abh / W 0							
Ochsner Wärmepumpen GmbH Krackowizerstrasse 4 A - 4020 Linz	Eagle 717	243-15-15	c,d	R410A	7.6	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	7.1	7.1	13.5	12.8	9.2	6.6	7.5	10.3	-2 / 32	1.20	4.48	63.4	-		
						El. Leistung / Input power [kW]	1.5	1.7	4.2	4.1	1.9	1.2	1.1	2.7						COP [-]	4.8
	AIR HAWK 208 C11B	404-19-17	c,d	R513A	2.7	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	2.5	2.5	4.9	5.3	3.2	2.1	1.1	5.3	-7 / 34	0.44	4.46	45.4	-		
						El. Leistung / Input power [kW]	0.5	0.6	1.9	2.0	0.7	0.3	0.2	2.0						COP [-]	5.0
	AIR 85 C14A	505-21-03	c	R410A	32.0	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	68.1	50.2	45.0	47.9	50.9	68.5	77.7	47.9	-7 / 34	11.60	4.32	70.9	64.5		
						El. Leistung / Input power [kW]	14.0	13.0	13.3	13.2	12.2	12.8	12.6	13.2						COP [-]	4.9
Sapac AG Mühleweg 2 CH - 1734 Tentlingen	Mistral Compact 11	298-17-25	a,d	R410A	2.3	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	8.3	5.7	8.8	9.8	5.9	5.9	7.1	9.8	-7 / 34	1.45	4.03	59.7	57.2		
						El. Leistung / Input power [kW]	1.8	1.6	3.6	3.7	1.5	1.1	1.1	3.7						COP [-]	4.6
Striega-Therm AG Breitenstrasse 10 CH - 4852 Rothrist	AWS 17	434-19-47	c	R407C	5.6	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	14.4	10.2	8.2	9.5	10.1	10.8	12.9	9.5	-7 / 34	2.46	3.72	65.1	48.8		
						El. Leistung / Input power [kW]	3.2	2.9	3.1	3.0	2.7	2.7	2.6	3.0						COP [-]	4.6
Swisscondens.ch GmbH Bahnhofstrasse 2 CH - 3432 Lützelflüh	CGK-060V2	522-21-20	b,d	R410A	3.2	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	7.5	13.9	12.1	12.9	8.0	7.6	8.7	12.9	-7 / 34	1.30	4.75	59.0	-		
						El. Leistung / Input power [kW]	1.4	4.1	3.9	3.9	1.8	1.2	1.1	3.9						COP [-]	5.3
Templari s.r.l. Via Pitagora 20/A I - 35030 Rubano	KITA L Split (3 Phase)	246-15-18	c,d	R410A	13.0	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	11.9	12.2	17.7	19.1	11.8	10.1	10.6	19.1	-7 / 34	2.01	4.77	63.9	-		
						El. Leistung / Input power [kW]	2.3	2.8	6.3	6.4	2.4	1.5	1.4	6.4						COP [-]	5.1
Viessmann Werke Allendorf GmbH Viessmannstrasse 1 D-35108 Allendorf (Eder)	Vitocal 252-A 251A10	539-21-37	b,d	R290	2.0	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	-	-	8.2	8.9	5.4	5.8	5.7	8.9	-7 / 34	1.26	5.01	-	-		
						El. Leistung / Input power [kW]	-	-	2.6	2.6	1.1	0.9	0.7	2.6						COP [-]	-
	Vitocal 252-A 251A13	540-21-38	b,d	R290	2.0	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	-	-	10.3	11.0	6.7	5.8	5.7	11.0	-7 / 34	1.40	4.96	-	-		
						El. Leistung / Input power [kW]	-	-	3.5	3.6	1.3	0.9	0.7	3.6						COP [-]	-
Walter Meier (Klima Schweiz) AG Bahnstrasse 24 CH - 8603 Schwerzenbach	LSI 80 SHW-AA	310-17-37	c,d	R410A	4.6	Heizleistung / Heat. cap. [kW]	5.0	7.0	8.9	9.2	7.1	5.5	6.4	9.2	-7 / 34	0.87	4.33	56.9	38.6		
						El. Leistung / Input power [kW]	1.0	1.7	3.0	2.9	1.7	0.9	0.9	2.9						COP [-]	4.9

Wärmepumpen-Testzentrum WPZ, www.wpz.ch
15.11.2021
Seite 3 / 18



Jahresarbeitszahlen von Elektro-Wärmepumpen in Feldtests



Wärmequelle und Einsatzbereich der Wärmepumpen:

- △ Wasser Altbau    ○ Wasser Neubau    ▲ Erdreich Altbau    ● Erdreich Neubau    ▲ Luft Altbau    ● Luft Neubau

Hinweise:

- Das Diagramm zeigt jeweils den Mittelwert (Symbole) sowie die Bandbreite (Balken) der festgestellten Jahresarbeitszahlen.
- Die Jahresarbeitszahlen stammen aus mehreren Feldtests. Die Nummer steht jeweils im Diagramm in Klammern und im Quellenverzeichnis.
- Die Fallzahlen der Feldtests unterscheiden sich stark und sind bei den Quellen angegeben.
- Die Installation der Wärmepumpen erstreckte sich über Zeiträume von vier bis sechs Jahren. Die Feldtests sind zum mittleren Zeitpunkt der Installation der Wärmepumpen eingetragen.
- Die Jahresarbeitszahlen umfassen, soweit die Angaben der Feldtests ausreichen, die Wärmeerzeugung für Raumwärme und Warmwasserbereitung (ohne Speicherverluste) und die dafür eingesetzte Energie (Wärmepumpe inkl. Hilfsantriebe ohne Heizungsumwälzpumpe) - "Erzeuger-Arbeitszahl" genannt.
- Die Wärmepumpen wurden in Wohngebäuden installiert, hauptsächlich in Einfamilienhäusern.
- Die Unterscheidung zwischen Neubau und Altbau ist nur fließend möglich und dient daher ausschließlich der Orientierung. Neubau meint überwiegend Fußbodenheizung mit geringen Vorlauftemperaturen bis 35 °C. Altbau (teilsanisiert bis unsaniert) meint überwiegend Heizkörperheizung mit höheren Vorlauftemperaturen im Bereich von etwa 35...55 °C.
- Die Produktkennwerte für die Energieverbrauchskennzeichnung gemäß Verordnung (EU) Nr. 811/2013 beruhen auf Messungen auf Prüfständen und Berechnungen. Sie werden deshalb abgesetzt dargestellt. Die Jahresarbeitszahlen wurden mit Anteilen für Raumwärme/Warmwasserbereitung von 80/20 Prozent im Altbau und 70/30 Prozent im Neubau gemittelt.

Quellen:

- (1) R. Heidelck, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen, Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik e.V., Hannover 2000 (88 Anlagen)
- (2) M. Ewert, Feldtest bestätigt hohe Effizienz von Wärmepumpen, in: HLH 3/2005, S. 24ff. (14 Anlagen; ohne andere Anlagentypen bzw. nicht ausgewertete Anlagen)
- (3) F. Auer, H. Schote, Zweijähriger Feldtest Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein, Agenda Gruppe Lahr 2008 (33 Anlagen; ohne Warmwasser-Wärmepumpen)
- (4) C. Russ et al., Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand, Freiburg 2010 (71 Anlagen; nur Anlagen für Raumwärme und Warmwasser)
- (5) M. Miara et al., Wärmepumpen Effizienz, Freiburg, Februar 2011 (112 Anlagen)
- (6) F. Auer, H. Schote, Feldtest Wärmepumpen: Wärme aus der Umwelt auch gut für die Umwelt?, Agenda Gruppe Lahr 2014 (7 Anlagen; nur Anlagen mit passender Bilanzgrenze und Anwendungsbereich; ohne andere Anlagentypen)
- (7) M. Miara et al., Wärmepumpen-Monitor, Freiburg 2014 (37 Anlagen; ohne aus (5) fortgeführte Anlagen)
- (8) A. Bergmann, H. Erhorn, Energieeffizienz elektrisch angetriebener Wärmepumpen - Praxisergebnisse aus dem Monitoring, Fraunhofer IBP Mitteilung 44, Stuttgart 2017 (23 Anlagen; nur Anlagen mit passender Bilanzgrenze)
- (9) D. Günther, M. Miara, Feldtests bestätigen Potenzial von Wärmepumpen, in: HLH 3/2018, S. 25ff. (27 Anlagen; inkl. Ausreißern, teilweise mit Fußbodenheizung)
- (10) VdZ e.V., Datenbank Heizunglabel.de, Sonderauswertung für das Umweltbundesamt, Berlin 2017

Grafik: Umweltbundesamt (April 2018)