

Grundlagen Wärmepumpen

Abstract / Zusammenfassung des Lernfelds

In diesem Lernfeld werden Komponenten, Funktionsweise, Betriebsarten und Anwendungsmöglichkeiten von Wärmepumpen dargestellt. Wärmepumpen können verschiedene Wärmequellen nutzen; die unterschiedlichen Systeme werden erklärt und verglichen. Bei der Planung und Ausführung einer Wärmepumpenheizungsanlage sind mehrere Aspekte zu beachten, um ein effizientes und gut funktionierendes System zu erhalten (z. B. Dimensionierung, Auswahl der passenden Wärmepumpe etc.); diese Aspekte und entsprechende Qualitätskriterien werden dargestellt, häufige Fehler werden aufgezeigt. Wirtschaftliche Faktoren bei der Planung einer Wärmepumpe werden zusätzlich beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

1. LERNZIELE	5
2. ZUM NACHDENKEN	5
3. EINLEITUNG	6
3.1 Zum Üben	7
4. WAS SIND DIE HAUPTKOMPONENTEN EINER WÄRMEPUMPENHEIZUNGSANLAGE?	8
4.1 Zum Üben	8
5. WAS IST DAS FUNKTIONSPRINZIP EINER WÄRMEPUMPE?	9
5.1 Zum Üben	10
6. WAS SIND DIE HAUPTKOMPONENTEN EINER WÄRMEPUMPE?	11
6.1 Verdampfer	11
6.2 Verdichter (Kompressor)	11
6.3 Verflüssiger (Kondensator).....	13
6.4 Drosselorgan (Expansionsventil)	13
6.5 Arbeitsmittel (Kältemittel)	13
6.6 Weitere Komponenten	15
6.7 Zum Üben	15
7. WELCHE WÄRMEQUELLEN SIND GEEIGNET?	16
7.1 Außenluft.....	16
7.2 Erdwärme	18
7.2.1 Flachkollektoren	18
7.2.2 Erdwärmesonden	20
7.2.3 Energiepfähle	20
7.3 Grundwasser	21
7.4 Abwärme	22
7.5 Zum Üben	22
8. WAS MUSS BEI DER WÄRMENUTZUNGSANLAGE BEACHTET WERDEN?.....	23
8.1 Heizen mit Wärmepumpen	23
8.1.1 Wärmeabgabesystem	23
8.1.2 Speicher im Heizsystem.....	24

8.2	Warmwassererzeugung mit Wärmepumpen.....	24
8.3	Zum Üben.....	24
9.	BETRIEBSARTEN	25
9.1	Zum Üben.....	25
10.	KENNZAHLEN.....	25
10.1	Leistungszahl (COP)	25
10.2	Jahresarbeitszahl (JAZ)	26
10.3	Zum Üben.....	27
11.	DIMENSIONIERUNG EINER WÄRMEPUMPE	28
11.1	Zum Üben.....	28
12.	ANWENDUNGSGEBIETE VON WÄRMEPUMPEN	29
12.1	Wärmepumpe im Neubau	29
12.2	Wärmepumpe bei Sanierung.....	29
12.3	Kombination mit Solaranlage	29
12.4	Kühlen mit der Wärmepumpe.....	30
12.5	Zum Üben.....	30
13.	QUALITÄTSSICHERUNG.....	31
13.1	Qualitätslabel	31
13.2	Kriterien für die Auswahl der Wärmepumpe	32
13.3	Dämmung der Leitungen	32
13.4	Wärmemengenzähler und Zähler für elektrische Antriebe	32
13.5	Heizregelung.....	32
13.6	Geräusentwicklung	33
14.	DIE HÄUFIGSTEN FEHLER	34
14.1	Zum Üben.....	34
15.	WIRTSCHAFTLICHKEIT	35
15.1	Zum Üben.....	35
16.	AUSBLICK	36
17.	QUELLEN.....	37
18.	ÜBERSICHT AUFGABEN	38

19. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	40
20. IMPRESSUM	41

1. Lernziele

- Hauptkomponenten einer Wärmepumpe benennen
- Das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe erklären
- Anwendungsgebiete einer Wärmepumpe erläutern
- Verschiedene Wärmepumpensysteme vergleichen
- Die Planungsschritte für eine Wärmepumpe darstellen
- Planungsfehler aufzeigen und Qualitätskriterien anwenden

2. Zum Nachdenken ...

Aufgabe 1: Welche Wärmequellen gibt es in der direkten Umgebung eines Gebäudes?

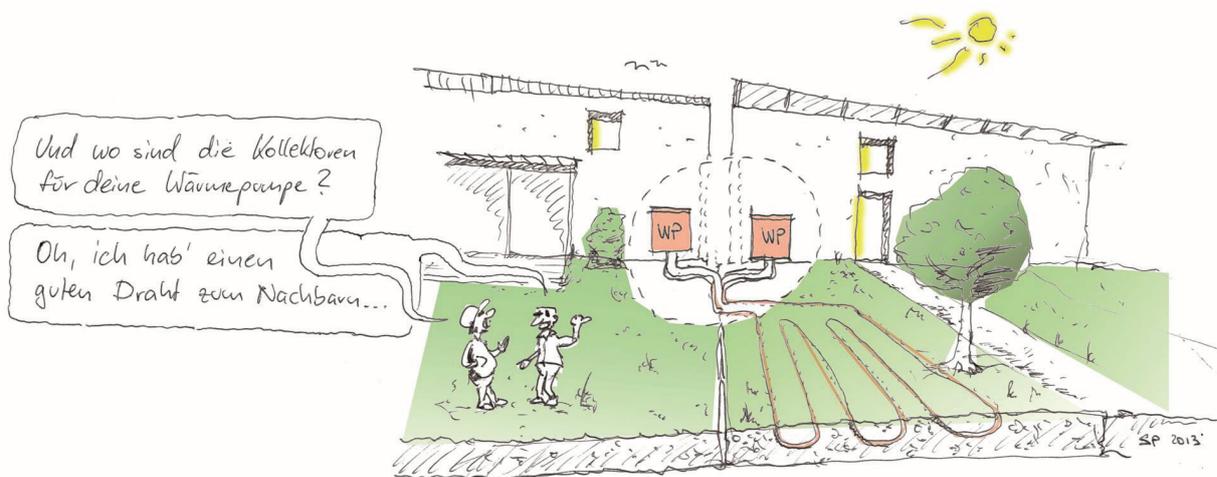


Abbildung 1: Nicht nur eigene Wärmequellen können angezapft werden... (Quelle: Stefan Prokupek, GrAT)

3. Einleitung

Eine Wärmepumpe ist eine Arbeitsmaschine, die mithilfe höherwertiger Antriebsenergie (elektrischer Energie) Wärme von einem tieferen auf ein höheres Temperaturniveau hebt. Wärme wird aus einer Wärmequelle (z. B. Außenluft, Erdwärme, Grundwasser oder Abwärme) entzogen und für die Herstellung der gewünschten Raumlufttemperatur in einem Gebäude verwendet.

Die Kompressionswärmepumpe ist die gängigste Bauart. Dabei bewegt sich ein Kältemittel in einem Kreisprozess und ändert wiederholt den Aggregatzustand zwischen flüssig und gasförmig:

1. Im **Verdampfer** verdampft das Kältemittel bei niedrigem Druck und nimmt dabei Energie aus der Wärmequelle auf.
2. Der **Kompressor** (Verdichter) komprimiert das Kältemittel, der Druck wird dabei erhöht, die Temperatur ebenso. Dazu wird hochwertige (meist elektrische) Energie benötigt.
3. Im **Verflüssiger** (Kondensator) kondensiert das Kältemittel wiederum. Dabei wird Energie über einen Wärmetauscher an das Heizungswasser abgegeben.
4. In einem **Drosselorgan** (Expansionsventil) wird das Kältemittel wieder auf den (geringen) Ausgangsdruck entspannt, dabei kühlt es ab.

Danach wird das Kältemittel wieder dem Verdampfer zugeführt, der Kreislauf beginnt von vorne.

Schauen Sie nach auf YouTube!

Die Funktionsweise des Wärmepumpenkreislaufs

<http://www.youtube.com/watch?v=orAjaSibepg&feature=related>

Dauer: 0:39 min.

Eine wesentliche Kennzahl der Wärmepumpe ist die **Jahresarbeitszahl (JAZ oder SPF)**. Diese gibt Aufschluss über die Effizienz des Wärmepumpensystems. Die Jahresarbeitszahl ist das Verhältnis zwischen abgegebener Heizleistung und aufgenommener Leistung während eines Jahres. Je höher sie ist, desto besser arbeitet die Wärmepumpe, je niedriger sie ist, desto unwirtschaftlicher arbeitet die Wärmepumpe, da mehr Energie zugeführt werden muss.

Ausschlaggebend für die JAZ ist unter anderem die Temperaturdifferenz von Wärmequelle und Heizsystem. Kleine Temperaturdifferenzen können effizienter bewältigt werden. Wird die Quelltemperatur um 1 K erhöht, wird um 2,5 % weniger elektrische Energie verbraucht; erhöht sich die Temperatur des Heizsystems um 1 K, wird hingegen nur ein Mehrverbrauch von 1,8 % verzeichnet.

Deshalb eignen sich Niedertemperatur-Fußbodenheizungen mit Vorlaufzeiten unter 30 °C besonders gut für das System der Wärmepumpe. Vor allem die Beiheizung von gut gedämmten Ein- und Mehrfamilienhäusern ist mit der Wärmepumpe gut vereinbar, eine effiziente Konditionierung der Raumtemperatur wird dabei gewährleistet.

Für die Wärmepumpe kommen hauptsächlich folgende **Wärmequellen** infrage:

- Außenluft: ist preislich günstig, aber nicht sehr effizient, da die höchsten Heizleistungen dann erforderlich sind, wenn auch die Außentemperatur sehr niedrig ist, also die Differenz zwischen Quellen- und Heizsystemtemperatur sehr hoch ist.
- Erdwärme: Erdgekoppelte Systeme arbeiten effizient, da die höheren Temperaturen im Erdreich genutzt werden können.
- Grundwasser: Die effizientesten Wärmepumpenanlagen beruhen auf der Nutzung von Grundwasser. Dieses verfügt über eine konstant hohe Temperatur von etwa 10 °C.
- Abwärme: Die Wärmequelle ist in diesem Fall die Abluft des Gebäudes. Diese ist in den Wintermonaten wärmer als die Außenluft, die Quellentemperatur ist also höher als bei der Nutzung von Außenluft.

3.1 Zum Üben ...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 2: Was ist die grundlegende Funktion einer Wärmepumpe?

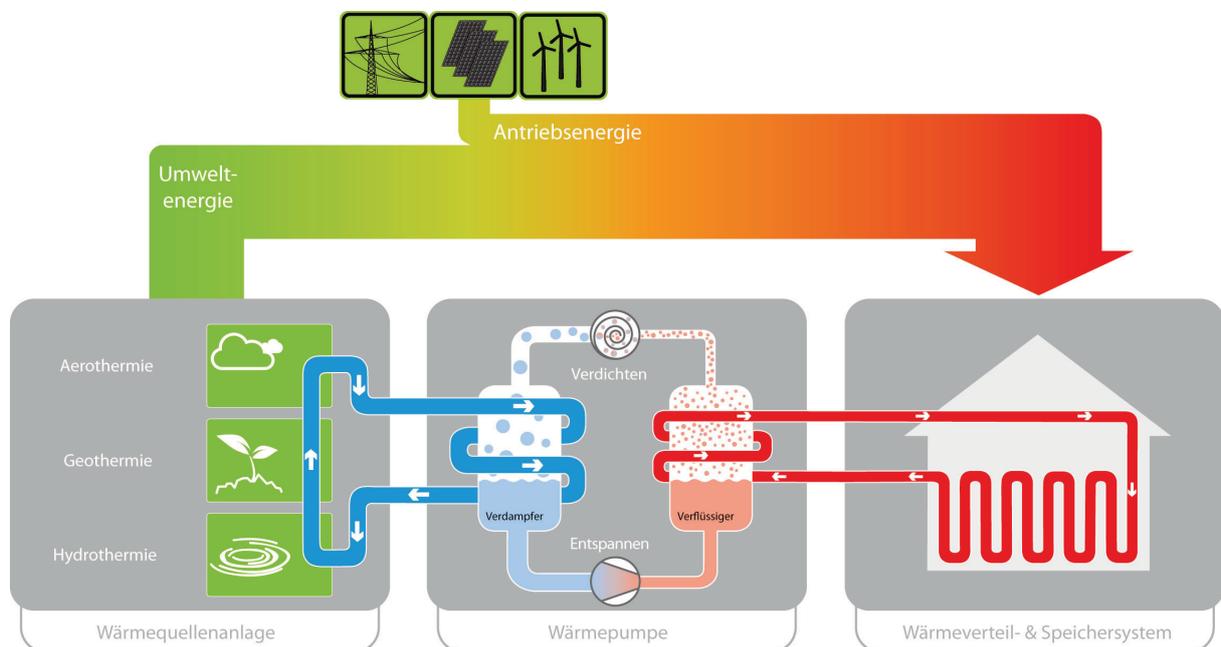
Aufgabe 3: Welche Wärmequellen können für eine Wärmepumpe genutzt werden?

Aufgabe 4: Wie wirkt sich die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem aus?

4. Was sind die Hauptkomponenten einer Wärmepumpenheizungsanlage?

Eine Wärmepumpenheizungsanlage (WPHA) besteht aus drei Hauptkomponenten:

- **Wärmequellenanlage (WQA):** Mit dieser Anlage wird Wärme aus der Wärmequelle entzogen und mit dem Wärmeträger von der Wärmequelle zur Wärmepumpe transportiert.
- **Wärmepumpe (WP):** Mit der Wärmepumpe wird Wärme von einem niedrigen auf das für die Raumheizung und Warmwasserbereitung notwendige Temperaturniveau gehoben.
- **Wärmenutzungsanlage (WNA, Wärmevertei- und Speichersystem):** Mit der Wärmenutzungsanlage (inklusive Zusatzeinrichtungen) wird Wärme von der warmen Seite der Wärmepumpe zu den Verbrauchern (z. B. Raumheizung) transportiert.



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V. – www.waermepumpe.de

Abbildung 2: Aufbau einer Wärmepumpenheizungsanlage (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.)

4.1 Zum Üben ...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 5: Welchen Zweck erfüllt die Wärmequellenanlage als Komponente einer Wärmepumpenheizungsanlage?

5. Was ist das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe?

Von der Funktion her ist die Wärmepumpe mit einem Kühlschrank vergleichbar: Während der Kühlschrank dem Innenraum (den Lebensmitteln) Wärme entzieht und über die Rückseite an die Umgebung abgibt, entzieht die Wärmepumpe der Umgebung die Wärme und gibt sie an den Innenraum (in Form von Raumtemperatur) ab. Dies geschieht, indem auf ein höheres Temperaturniveau gepumpt wird, mit dem das Gebäude beheizt werden kann. Die tiefere Umgebungstemperatur wird also in höhere Raumtemperatur umgewandelt.

Die meisten Wärmepumpen, die in Privathäusern eingesetzt werden, verwenden elektrisch betriebene Kältemittelverdichter. Die Arbeitsmedien sind in der Regel Kältemittel mit einer sehr niedrigen Siedetemperatur, meist -25 °C bis -40 °C bei Atmosphärendruck.

Beim am häufigsten verwendeten System, dem Kaltdampf-Kompressionsverfahren, wird die Abhängigkeit der Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur vom Druck genutzt. Das Kältemittel verdampft auf der kalten Seite und nimmt dabei eine möglichst große Verdampfungswärme auf. Danach wird es im Verdichter wieder komprimiert, gibt Kondensatwärme ab und wird verflüssigt. Im Drosselorgan wird es wieder auf den „anfänglichen“ Verdampfungsdruck gebracht (Kunz et al. 2010, S. 6–7).

>>> Info-Box >

Thermodynamischer Kreisprozess

Ein thermodynamischer Kreisprozess ist definiert als ein Prozess, in dem ein Arbeitsmedium eine Reihe von Zustandsänderungen durchläuft, bevor es seinen ursprünglichen Zustand wieder erreicht und der Vorgang erneut beginnen kann. Der Drehrichtung des Kreisprozesses gemäß unterscheidet man:

- rechtslaufende Prozesse: Ein Teil der zugeführten Wärmeenergie wird in mechanische Arbeit umgesetzt (z. B. Kraftwerk).
- linkslaufende Prozesse: Umweltwärme mit niedrigerer Temperatur wird durch Zufuhr mechanischer Arbeit auf ein höheres Temperaturniveau gehoben (z. B. Wärmepumpe).

Der thermodynamische Kreisprozess von Kompressionswärmepumpen ist in vier Hauptphasen unterteilt:

1. **Verdampfung:** Das Kältemittel wird im Verdampfer bei niedrigem Druck und niedriger Temperatur verdampft. Die Energie hierfür wird der Wärmequelle entzogen. In dieser Phase ist das Kältemittel auf einem niedrigen Druckniveau gasförmig.
2. **Verdichtung:** Der Kältemitteldampf wird mittels eines elektrisch angetriebenen Verdichters auf einen höheren Druck verdichtet, wodurch die Temperatur des Kältemittels ansteigt. In dieser Phase ist das Kältemittel auf einem hohen Druckniveau gasförmig.

3. **Verflüssigung:** Der unter hohem Druck und hoher Temperatur stehende Kältemitteldampf wird im Kondensator verflüssigt, wobei das Kältemittel Wärme an einen Wärmeträger abgibt. Diese Wärme wird dem Verbraucher (z. B. Raumheizung, Warmwasser) zur Verfügung gestellt. Das Kältemittel ist auf einem hohen Druckniveau flüssig.
4. **Entspannung:** Das flüssige Kältemittel wird durch ein Drosselorgan (Expansionsventil) entspannt (expandiert), wodurch das Kältemittel von hohem auf niedrigen Druck gebracht wird. Dies führt zu einem starken Temperaturabfall, und der Kreisprozess kann erneut beginnen. In dieser vierten Phase ist das Kältemittel auf einem niedrigen Druckniveau größtenteils flüssig.

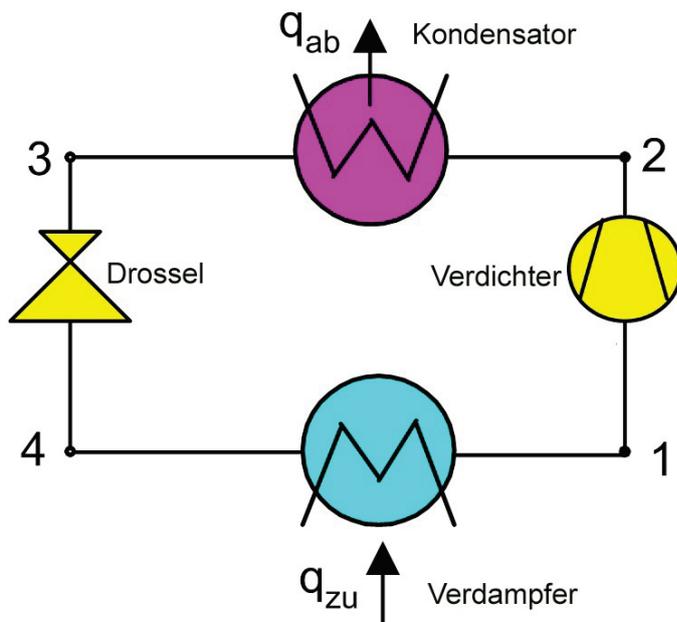


Abbildung 3: Schaltbild einer Wärmepumpe (Quelle: Volker Sperlich; <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:WP-Schaltbild-.jpg&filetimestamp=20091209151011>)

5.1 Zum Üben ...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 6: Beschreiben Sie das Funktionsprinzip einer Kompressionswärmepumpe.

6. Was sind die Hauptkomponenten einer Wärmepumpe?

Die herkömmliche Kompressionswärmepumpe (= Kaltdampf-Kreisprozess) benötigt für die Funktion fünf Hauptkomponenten:

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

6.1 Verdampfer

Im Verdampfer nimmt kaltes, unter niedrigem Druck stehendes Kältemittel Wärme von der Wärmequelle auf und beginnt dadurch zu sieden. Während der Verdampfung bleiben Druck und Temperatur konstant. Es ist sehr wichtig, dass der Kältemitteldampf vor Verlassen des Verdampfers überhitzt (über seine Verdampfungstemperatur hinaus erhitzt) wird, damit kein flüssiges Kältemittel in den Verdichter gelangen kann. Andernfalls könnten sogenannte Flüssigkeitsschläge den Verdichter beschädigen.

Verdampfer können je nach Art der Wärmepumpe unterschieden werden:

- Luft/Luft-Wärmepumpen und Luft/Wasser-Wärmepumpen: Der Verdampfer besteht aus Kupferrohren, auf die Aluminiumrippen aufgespresst sind. Ein Ventilator fördert die Luft über die Aluminiumrippen.
- Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen: Der Verdampfer ist hier meist ein Plattenwärmeübertrager. Diese sind kompakt, wirtschaftlich und platzsparend. Außerdem können sie problemlos mit einer Wärmedämmung versehen werden.
- Direktverdampfer-Wärmepumpen: Der Verdampfer besteht hier aus kunststoffummantelten Kupferleitungen, die direkt im Erdreich verlegt werden und mit Kältemittel durchströmt werden.

6.2 Verdichter (Kompressor)

Der Verdichter (Kompressor) ist ein elektrisch angetriebenes Gerät, welches das dampfförmige Kältemittel fördert und es von einem niedrigen Anfangsdruck zu einem hohen Enddruck verdichtet. Dabei wird die Temperatur erhöht.

In Wärmepumpenanlagen für Einfamilienhäuser, kleinere und mittlere Mehrfamilienhäuser sowie Industriegebäude werden Verdichter in drei unterschiedlichen Bauarten eingesetzt:

- Rollkolbenverdichter
- Hubkolbenverdichter
- Scrollverdichter

>>> Info-Box >

Hubkolben-, Rollkolben-, Scrollverdichter

Hubkolbenverdichter sind die am längsten eingesetzten Verdichter. Ein sich hin- und herbewegender Kolben saugt Gas durch ein Ansaugventil an, wenn er sich in einem Zylinder nach unten bewegt, und verdichtet das angesaugte Gas, wenn er sich nach oben bewegt. Das Ansaugventil ist während des Verdichtungs Vorgangs geschlossen, und das Druckventil öffnet, wenn der Druck im Zylinder den Druck auf der Hochdruckseite des Verdichters überschreitet. Aufgrund seiner Bauart ist der Hubkolbenverdichter sehr empfindlich auf Flüssigkeitsschläge.

Rollkolbenverdichter werden oft in Luft/Luft-Wärmepumpen eingesetzt. Eine Exzenterwelle und ein radial umlaufender Rollkolben komprimieren das Gas im Gehäuse. Rollkolbenverdichter haben im Allgemeinen eine höhere Leistungszahl als Hubkolbenverdichter mit gleicher Leistung.

Scrollverdichter sind die für Wärmepumpen am häufigsten verwendeten Verdichter. Zwei sich ineinander bewegende Spiralen verdichten und fördern das Kältemittel. Scrollverdichter haben gegenüber anderen Verdichterarten einige entscheidende Vorteile. Unter anderem haben sie weniger bewegliche Teile, sodass sie eine längere Lebensdauer als andere Verdichterarten aufweisen und auch verhältnismäßig leise und vibrationsfrei arbeiten. Die Nutzung von Scrollverdichtern hat es ermöglicht, Wärmepumpen auch an Orten zu installieren, an denen sie ansonsten aufgrund von Lärmbeschränkungen nicht möglich wären. Ein weiterer Vorteil ist, dass Scrollverdichter relativ unempfindlich gegenüber Flüssigkeitströpfchen sind, die in den Verdichter gelangen.

Die Verdichter dieser drei Bauarten sind häufig „hermetisch geschlossen“ ausgeführt, man spricht von „vollhermetischen Kompressoren“. Das bedeutet, dass Verdichter und Elektromotor zusammen in einem verschweißten Gehäuse (Druckbehälter) untergebracht sind und nur zwei oder drei Anschlussleitungen zur elektrischen Versorgung durch das Gehäuse geführt sind. Durch diese Bauweise wird verhindert, dass Kältemittel durch eine Verbindung oder Dichtung austreten und in die Außenluft gelangen kann.

Im Gegensatz zu vollhermetischen Kompressoren kann bei sogenannten „halbhermetischen Kompressoren“ das Kompressorgehäuse zu Reparaturzwecken geöffnet werden.

Zuletzt gibt es noch „offene Kompressoren“, bei denen der Kompressor über Riemen, Getriebe oder Zahnräder angetrieben wird.

6.3 Verflüssiger (Kondensator)

Während der Verdampfer Wärme aufnimmt, gibt der Verflüssiger (Kondensator) Wärme ab. Der überhitzte Dampf tritt in den Verflüssiger ein, wird auf Verflüssigungstemperatur abgekühlt (Enthitzung) und kondensiert (Verflüssigung). Das Kondensat wird häufig noch weiter gekühlt (Unterkühlung) (Waldschmidt 2007).

Der Verflüssiger überträgt die Wärme des Arbeitsmittels auf das Heizmedium (z. B. Heizwasser). Bei den meisten Wärmepumpen werden für den Verflüssiger hartgelötete oder verschweißte Plattenwärmeübertrager eingesetzt.

Der Wärmestrom von Arbeitsmittel zu Heizmedium wird durch die Übertragungsfläche, die Temperaturdifferenz (ca. 2–5 K bei Heizmedium Wasser, ca. 5–10 K bei Heizmedium Luft) und die Wärmedurchgangszahl bestimmt. Die Wärmemenge, die der Verflüssiger auf das Heizmedium überträgt, ist in etwa die Summe der Wärme, die im Verdampfer aufgenommen wurde, plus der vom Verdichter aufgenommenen elektrischen Energie.

6.4 Drosselorgan (Expansionsventil)

Expansionsventile arbeiten als verstellbare Drosseln und halten den Druckunterschied zwischen der Hoch- und Niederdruckseite aufrecht. Sie regeln den Kältemittelstrom vom Verflüssiger zum Verdampfer. Wenn das Kältemittel durch das Expansionsventil strömt, fällt der Druck ab und ein Teil des Kältemittels verdampft sofort zu Gas. Die für diese Verdampfung benötigte Wärme wird dem Kältemittel selbst entnommen, sodass die Temperatur des Gas- und Flüssigkeitsgemischs, das in den Verdampfer geführt wird, bis auf die Verdampfungstemperatur abfällt.

In ihrer einfachsten Form ist die Drossel eine Kapillarröhre, die fest zwischen dem Verflüssiger und dem Verdampfer vorgesehen ist. Für Wärmepumpen, die bei unterschiedlichen Bedingungen (z. B. schwankenden Temperaturen auf der Quellen- und Senkenseite) betrieben werden, werden im Allgemeinen thermostatische Expansionsventile verwendet. Diese Ventile besitzen gute Regeleigenschaften über einen verhältnismäßig großen Arbeitsbereich.

6.5 Arbeitsmittel (Kältemittel)

Das Kältemittel ist das Arbeitsmittel einer Wärmepumpe. An Kältemittel werden mehrere Anforderungen gestellt. Sie sollten:

- umweltfreundlich sein
- eine hohe volumetrische Kälteleistung besitzen (d. h. große Wärmemengen bezogen auf die Masse transportieren können)
- nicht brennbar sein
- ungiftig sein
- einfach zu handhaben sein

- verträglich mit Ölen und Elastomeren (Dichtungen und O-Ringen) sein
- chemisch und thermisch stabil sein
- niedrige Druckverluste bei der Strömung haben
- gute Mischbarkeit beziehungsweise Löslichkeit mit Schmiermitteln besitzen
- kostengünstig sein
- in einem breiten Druck- und Temperaturbereich einsetzbar sein

Kein Kältemittel kann alle diese Anforderungen zu 100 Prozent erfüllen, sodass immer ein Kompromiss gemacht werden muss.

Aus ökologischen Gründen ist die Menge an Kältemitteln möglichst gering zu halten. Kältemittel mit geringem Treibhauspotenzial sollten verwendet werden. Es gibt vier Kältemittelgruppen:

- FCKW: stark Ozonschicht abbauend und klimaschädlich (der Einsatz von FCKW ist in Österreich verboten)
- H-FCKW: Ozonschicht abbauend und klimaschädlich (der Einsatz von H-FCKW in neuen Anlagen ist in Österreich verboten. Ab 2015 sind H-FCKW generell verboten)
- H-FKW: klimaschädlich
- Natürliche Kältemittel – Ammoniak, CO₂, Propan, Isobutan, Wasser: nicht Ozonschicht abbauend und nicht klimaschädlich

(Kunz et al. 2008, S. 19f.)

>>> Info-Box >

Auswirkungen von Kältemitteln auf die Atmosphäre

Kältemittel sind ein wichtiger Bestandteil von Wärmepumpenkreisläufen. Allerdings können einige Kältemittel die Umwelt schädigen, wenn sie in die Atmosphäre gelangen. Die negativen Umweltfolgen von Kältemitteln beruhen dabei auf folgenden Faktoren:

Ozonabbaupotenzial ODP (Ozone Depletion Potential) ist vorhanden, weil Ultraviolett-(UV-)Strahlung FCKW-Partikel vom Kältemittel löst und Chloratome freisetzt, welche die Ozonschicht zerstören. Der Ozonabbaufaktor (ODP-Faktor) gibt an, wie schädlich ein Kältemittel im Vergleich mit dem Referenzkältemittel R11 für die Ozonschicht ist. R11 enthält drei Chloratome, und sein ODP-Faktor ist mit 1,0 festgelegt.

Treibhauspotenzial GWP (Global Warming Potential) gibt an, um wie viel höher der Treibhauseffekt eines Stoffes im Vergleich zu CO₂ ist. FCKW sind beispielsweise 8500-mal höher treibhauswirksam als CO₂, dessen GWP-Faktor mit 1,0 festgelegt ist.

TEWI (Total Equivalent Warming Impact) beschreibt den Beitrag einer Kälteanlage zum Treibhauseffekt für eine Betriebsdauer von 20 Jahren. Dabei werden sowohl die direkte Auswirkung des Kältemittels bei Freisetzung als auch der indirekte Beitrag der erforderlichen Betriebsenergie berücksichtigt. TEWI wird nur angegeben, um alternative Anlagen oder mögliche Kältemittel für einen Anwendungsfall an einem bestimmten Aufstellungsort zu vergleichen (EN 378-1:2008).

6.6 Weitere Komponenten

Einige weitere mögliche Komponenten einer Wärmepumpe und ihre Funktionen sind (Kunz et al. 2008, S. 15):

- Filtertrockner zur Aufnahme von Restfeuchte im Kältesystem (Schutz vor Vereisung)
- Schauglas mit Feuchtigkeitsindikator
- Magnetventil (Verhinderung von Kältemittelverlagerung im Stillstand)
- Kältemittelsammler (Kältemittelaufnahme bei unterschiedlichen Betriebszuständen)
- Absperrventil und Messarmaturen (Wartung und Kontrolle)

6.7 Zum Üben ...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 7: Nennen Sie die Hauptkomponenten einer Wärmepumpe.

Aufgabe 8: Was ist der Kondensator?

Aufgabe 9: Welche Funktion hat der Kompressor?

Aufgabe 10: Nennen Sie einige Anforderungen an Kältemittel für eine Wärmepumpe.

7. Welche Wärmequellen sind geeignet?

Die Sonne ist eine große Wärmequelle. Sie wärmt die Luft, das Erdreich, das Gestein, das Grundwasser sowie die Seen und Meere. Mit einer Wärmepumpe kann die in diesen verschiedenen natürlichen Ressourcen gespeicherte Energie genutzt werden.

Es gibt eine Reihe von Faktoren, die bei der Wahl der für den jeweiligen Fall am besten geeignete Wärmequelle zu berücksichtigen sind, darunter folgende:

- Wärmebedarf des Hauses
- Art des Heizsystems
- geografische Lage
- verfügbare Ressourcen
- geltende Gesetze und Bestimmungen

Für Wärmepumpen sind folgende Wärmequellen geeignet:

- Außenluft
- Erdwärme
- Grundwasser
- Abwärme

7.1 Außenluft

Die effizienteste Anwendung findet die Luft-Wasser-Wärmepumpe in Gebäuden mit sehr gutem Dämmstandard (z. B. Niedrig- und Niedrigstenergiegebäude).

Außenluft ist unbegrenzt verfügbar und leicht und deshalb preisgünstig zu erschließen. Ein Nachteil ist, dass an den Tagen tiefer Außenlufttemperaturen ein großer Wärmebedarf besteht. Genau dann aber kann die Wärmequelle nicht sehr effizient genutzt werden. Die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle Außenluft und der Vorlauftemperatur der Heizung kann an diesen Tagen in Mitteleuropa bis zu 60 °C betragen. Dadurch sinkt die Arbeitszahl dramatisch ab. Bei der Luft-Wärmepumpe kann ein Elektroheizstab verwendet werden, der die Heizung übernehmen kann, wenn die Wärmepumpe nicht mehr wirtschaftlich arbeitet.

>>> **Info-Box** >

Abtausysteme

Da Lamellenwärmeübertrager Reif und Eis ansetzen können und dadurch die Wärmeübertragung vermindert wird, ist ein Abtauen der Oberfläche notwendig. Für das Abtauen des Verdampfers muss Energie eingesetzt werden. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen gibt es zwei verschiedene Abtausysteme:

- Heißgas-Bypass
- Prozessumkehr

(Kunz et al. 2008, S. 15)

Ein weiterer Nachteil von Luft-Wärmepumpen ist die Geräuschentwicklung der Ventilatoren des Systems, deshalb ist frühzeitig eine geeignete Lage für diese zu finden.

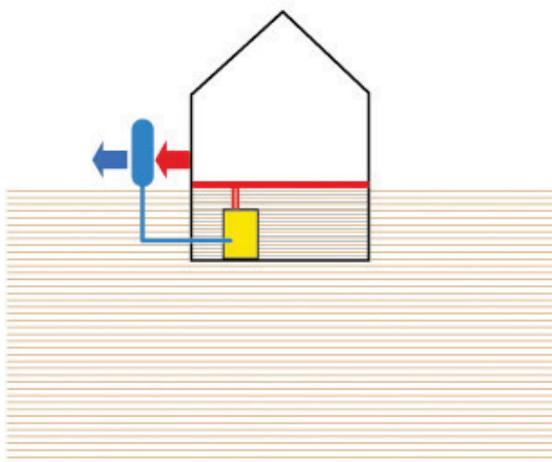


Abbildung 4: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Außenluft als Wärmequelle, Innenaufstellung (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; <http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/luft/>)

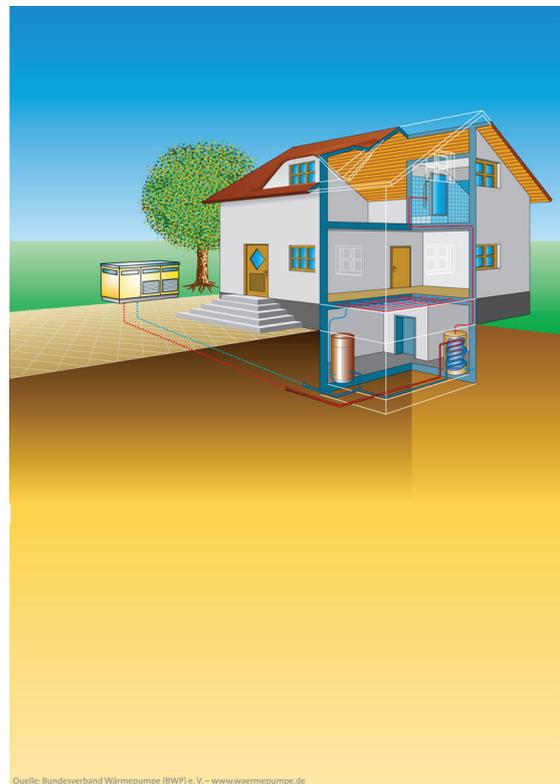


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Außenluft als Wärmequelle, Außenaufstellung (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.)

Bei der **Innenaufstellung** sind alle Komponenten der Luft-Wärmepumpe in einem Gehäuse untergebracht. Die Ansaugung der Außenluft erfolgt über Rohrleitungen. Für die Förderung des notwendigen Luftvolumenstromes werden meist Radialventilatoren eingesetzt. Die

Aufstellung der Luft-Wärmepumpe ist in allen Räumen möglich, die trocken und nicht frostgefährdet sind.

Bei einer **Außenaufstellung** kann Platz gespart werden. Die Aufstellung im Freien hat aber gegenüber der Aufstellung in Innenräumen einige Nachteile. Der Installateur hat sicherzustellen, dass durch das entstehende Kondensat/Abtauwasser und durch das Geräusch der Wärmepumpe keine Störungen oder Nachteile für die EigentümerInnen oder für ihre NachbarInnen entstehen. Wenn das Gerät im Freien aufgestellt wird, kommt es weiters zu Wärmeverlusten durch das Gerät selbst und durch die warmen Versorgungsleitungen.

7.2 Erdwärme

Erdreich ist ein sehr guter Wärmespeicher. Die Temperatur ist das ganze Jahr über relativ konstant bei etwa 8 bis 12 °C. Bereits 10 m unter der Erde ist das ganze Jahr über eine annähernd konstante Temperatur verfügbar. Pro 100 m zusätzlicher Tiefe ist das Erdreich um 3 K wärmer (Kunz et al. 2008, S. 25).

Diese Wärmequelle kann mit drei verschiedenen Möglichkeiten genutzt werden:

- Flachkollektoren
- Erdwärmesonden
- Energiepfähle

7.2.1 Flachkollektoren

Bei Flachkollektoren wird dem Erdreich in geringer Tiefe ein sehr kleiner Teil der im Laufe des Jahres aufgenommenen Wärme entzogen. Diese Wärme stammt von Sonneneinstrahlung und Regen (Kunz et al. 2008, S. 26f.).

Rohre oder Matten werden mit Sole durchflossen. Sie sind ca. 20 cm unter der Frostgrenze (1,2 bis 1,5 m unter der Terrainoberfläche; Kunz et al. 2008, S. 26) horizontal in Rohrschlangen verlegt. Für Flachkollektoren sind feuchte Lehmböden ideal. Schlechter eignen sich trockene Schotterschichten. Beim Neubau kann der Erdkollektor schon bei den erforderlichen Erdarbeiten verlegt werden.

Der Platzbedarf eines Erdwärmekollektors ist circa 1,5- bis 3-mal so groß wie die beheizte Wohnfläche. Die Größe steht mit der Heizlast des Gebäudes in Zusammenhang. Bei einer Dimensionierung gemäß dem Stand der Technik sind Einflüsse auf die Vegetation und die Bodenlebewesen nicht zu befürchten (Studer et al. 2006).

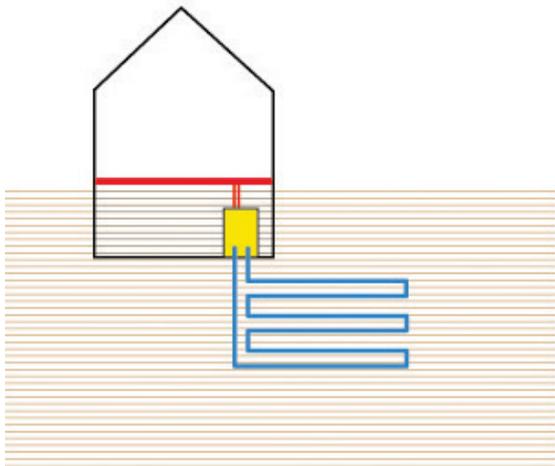


Abbildung 6: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Erdwärme als Wärmequelle (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; <http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/erdkollektor/>)

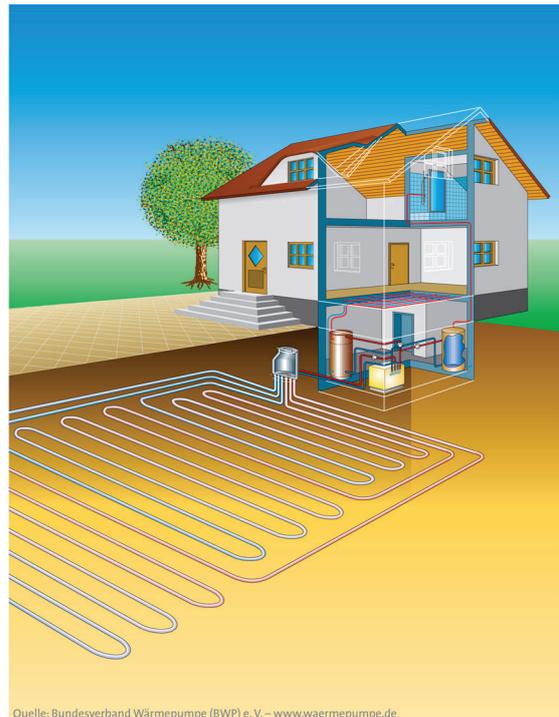


Abbildung 7: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Flachkollektoren (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V. – www.waermepumpe.de)

Flachkollektoren unterliegen in Österreich grundsätzlich keiner wasserrechtlichen Bewilligungspflicht, es sei denn, sie werden in Wasserschutz- oder Schongebieten sowie in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung errichtet.

Es gibt zwei verschiedene Systemarten von Flachkollektoren:

Solesystem: Eine Umwälzpumpe pumpt die Sole (Mischung aus Wasser und Alkohol oder Glykol als Frostschutzmittel) durch die Kunststoffleitungen. Dabei nimmt die Sole die im Untergrund gespeicherte Wärme auf und transportiert sie zum Verdampfer der Wärmepumpe. Es handelt sich somit um ein indirektes System, da ein eigenes Wärmeträgermedium für den Transport der Wärme von der Wärmequelle zum Verdampfer verwendet wird. Das Solegemisch verhindert das Zufrieren der Kollektoren, da es einen Schutz bis meist -15 °C bietet.

Direktverdampfungssystem: In Direktverdampfungssystemen zirkuliert das Kältemittel der Wärmepumpe als Wärmeträger im Kollektor, wo es verdampft. Es ist (im Gegensatz zum Solesystem) kein Wärmeübertrager und keine Soleumwälzpumpe nötig, wodurch höhere Jahresarbeitszahlen erreicht werden. Der Kollektor wird bei Direktverdampfungssystemen auch als Verdampferkreis bezeichnet.

7.2.2 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden sind für gewöhnlich indirekte Systeme, d. h. U-förmige, mit Sole gefüllte Kunststoffleitungen, die in eine Tiefenbohrung abgesenkt werden. Erdwärmesonden werden senkrecht (30 bis 350 m tief) ins Erdreich eingelassen (Kunz et al. 2008, S. 25).

Während des Betriebs transportiert die umlaufende Sole Wärme aus dem Erdreich in den Verdampfer der Wärmepumpe. Bei diesem Prozess wird kein Grundwasser entzogen.

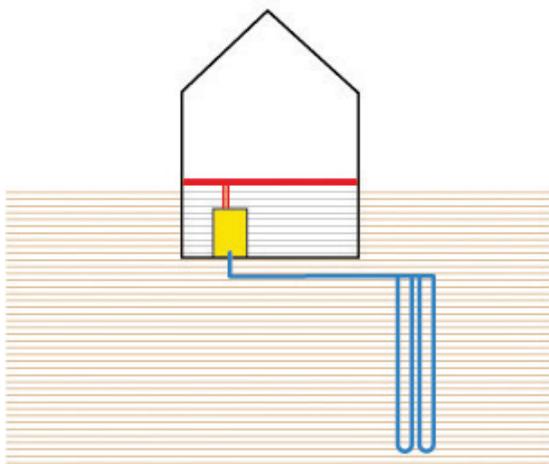


Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; <http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/erdwaermesonde/>)

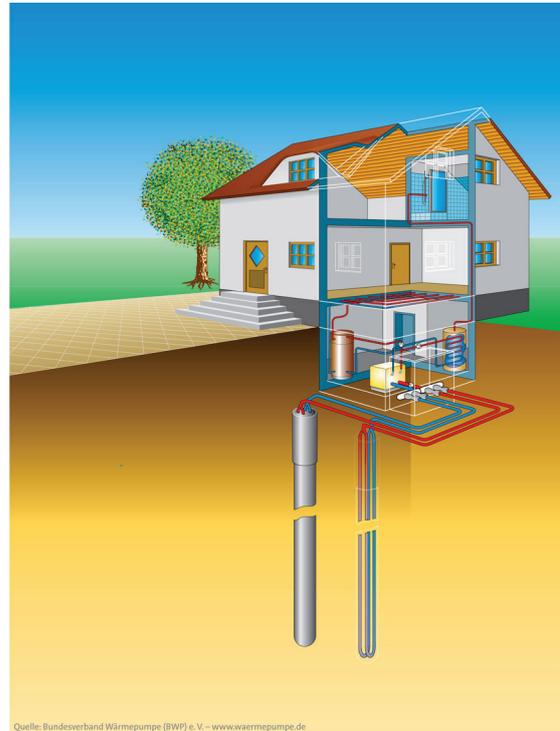


Abbildung 9: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V. - www.waermpumpe.de)

Mit Tiefensonden wird eine konstant hohe Temperatur der Wärmequelle erreicht. Dafür wird eine geringe Grundfläche benötigt, was die Tiefensonden besonders für schwierige Gelände und kleine Bauplätze attraktiv macht. Von Vorteil ist außerdem, dass ein kurzer Arbeitsaufwand und eine lange Lebensdauer zu erwarten sind.

Das Vorhaben, Tiefensonden zu installieren, ist in ganz Österreich bei der Behörde anzuzeigen.

7.2.3 Energiepfähle

Das Prinzip von Energiepfählen ist dem von Erdwärmesonden ähnlich. Manche Gebäude (häufig große Bürogebäude) benötigen aus statischen Gründen Gründungspfähle. In solche Gründungspfähle aus Beton wird während der Errichtung ein Wärmetauscher (meist soledurchflossene Kunststoffrohre) eingelassen. Dieser Wärmetauscher entzieht dem Beton und damit dem umgebenden Erdreich Wärme, die zu Heizzwecken genutzt wird.

7.3 Grundwasser

Das Prinzip einer Grundwasser-Wärmepumpe ist, Grundwasser über eine Förderpumpe zum Verdampfer zu bewegen und die enthaltene Wärme dort zu nutzen. Das Wasser wird dazu über einen Förderbrunnen entnommen und nach dem Wärmeentzug über einen zweiten Brunnen, den Schluckbrunnen, wieder dem Grundwasser zugeführt.

Wärmepumpen, die Grundwasser nutzen, setzen einen konstanten Grundwasserstrom voraus. Zwischen den Brunnen ist ein Abstand von mindestens 15 m einzuplanen.

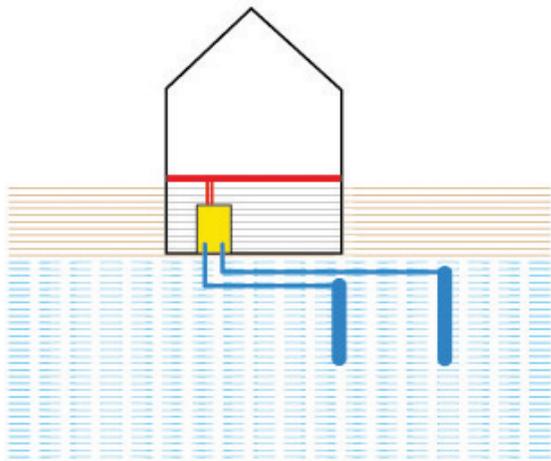
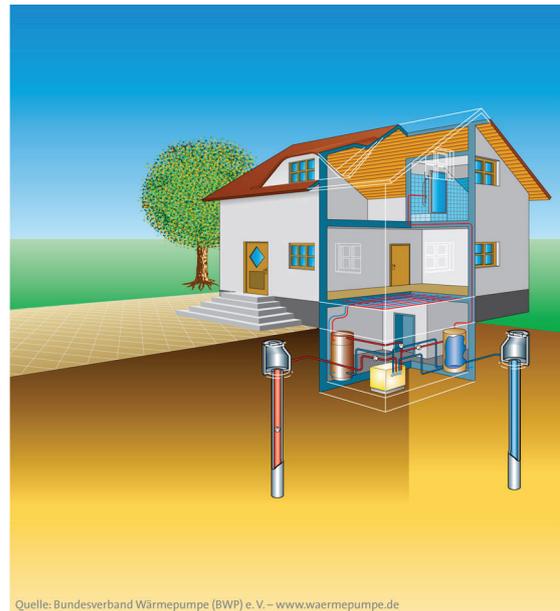


Abbildung 10: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; <http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/grundwasser/>)



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V. – www.waermpumpe.de

Abbildung 11: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.)

Der Vorteil dieser Wärmequelle ist, dass das Grundwasser auch über die Wintermonate hinweg ein relativ hohes Temperaturniveau (durchschnittlich circa 10 °C) behält, welches für höhere Leistungen und bessere Leistungszahlen sorgt. Grundwasser-Wärmepumpen erfordern wenig Baugrundfläche, die Nutzung von Grundwasser muss jedoch wasserrechtlich bewilligt werden. Um eine etwaige Kontaminierung des Grundwasserhorizonts zu vermeiden, sind zusätzliche Maßnahmen, wie zum Beispiel Materialauswahl der Wärmeübertrager entsprechend der Wasserqualität, erforderlich. (Huber 2008)

>>> Info-Box >

Schutz des Grundwassers

Der Schutz des Grundwassers gegen die Folgen menschlicher Aktivitäten ist sehr wichtig, denn:

- Grundwasser ist eine wichtige Trinkwasserquelle.
- Grundwasser bewegt sich nur langsam durch den Boden. Die Folgen von menschlichen Aktivitäten werden daher möglicherweise nicht schnell genug erkannt.
- Bei einer Verschmutzung des Grundwassers ist dessen Reinigung oft sehr schwierig und teuer, auch dann, wenn die Verschmutzungsquelle bereits beseitigt wurde.
- Grundwasser sorgt für einen ständigen Basisabfluss hin zu Oberflächengewässersystemen, der es ermöglicht, dass Flüsse und Ströme auch bei trockenem Wetter fließen, und der häufig eine wichtige Funktion bei der Speisung von Feuchtgebieten und ihren Ökosystemen hat.
- Landwirtschaftliche, industrielle und andere menschliche Aktivitäten stellen eine Gefahr für die Grundwasserqualität und -menge dar.

7.4 Abwärme

Kombigeräte, zum Teil auch Kompaktgeräte genannt, sind Lüftungsgeräte, die mit einer Wärmepumpe kombiniert sind: Lüftung, Heizung, Warmwasserbereitung und -speicherung sind in einem Gerät vereint.

Die in der Abluft verbliebene Restwärme wird von einer Wärmepumpe für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung eingesetzt. Die Wärmequelle ist in diesem Fall also die Abluft des Gebäudes.

7.5 Zum Üben ...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 11: Vergleichen Sie die Wärmequellen Außenluft und Erdwärme in Hinblick auf ihren Nutzen für eine Wärmepumpe.

Aufgabe 12: Welche Voraussetzungen müssen für die Erschließung und Nutzung von Grundwasser für eine Wärmepumpe gegeben sein?

8. Was muss bei der Wärmenutzungsanlage beachtet werden?

Je nachdem, ob eine Wärmepumpe für Heizzwecke installiert wird oder für die Brauchwassererwärmung, müssen bestimmte Anforderungen erfüllt werden, beispielsweise in Bezug auf Speicher, das Wärmeabgabesystem oder die Vorlauftemperatur.

8.1 Heizen mit Wärmepumpen

Wenn eine Wärmepumpe zu Heizzwecken installiert werden soll, dann ist besonders darauf zu achten, dass ihre Heizleistung richtig bemessen ist. Die benötigte Heizleistung ist vom Gebäude abhängig. Überdimensionierte Wärmepumpen verursachen unverhältnismäßig hohe Installationskosten und verkürzen darüber hinaus durch häufiges Takten (Ein- und Ausschalten) die Lebensdauer der Anlage.

Was ist beim Heizen mit Wärmepumpen zu beachten?

- Eine Wärmepumpe erreicht eine höhere Effizienz, wenn die Vorlauftemperatur des Heizmediums niedrig ist.
- Eine Wärmepumpe erreicht eine höhere Effizienz, wenn die Wärmequellentemperatur hoch ist.
- Wärmepumpen sind in den meisten Fällen nicht in der Lage, höhere Vorlauftemperaturen als 50–55 °C zu erzeugen (Ausnahme sind spezielle Hochtemperaturwärmepumpen). Dies hängt mit dem verwendeten Kältemittel und den technischen Einzelheiten des Kältekreises zusammen.
- Die Investitionskosten pro Kilowatt Heizleistung sind bei einem Wärmepumpensystem höher als bei konventionellen Öl- oder Gaskesseln.
- Konventionelle Heizungssysteme sind oft mit großen Sicherheitsspannen ausgestattet, da die Leistung dieser Systeme einfach zu regulieren ist und sich das Arbeiten im Teillastbereich nicht negativ auf das System auswirkt. Weiters sind die Investitionskosten für einen größeren Kessel nur unerheblich höher. Wärmepumpensysteme hingegen erfordern eine exakte Systemauslegung, da eine Überdimensionierung zu einer deutlichen Erhöhung der Investitions- und Betriebskosten führt und sich negativ auf die Lebensdauer der Wärmepumpe auswirkt.

8.1.1 Wärmeabgabesystem

Heizungsanlagen sollten so dimensioniert werden, dass die Vorlauftemperaturen möglichst gering gehalten werden, um die maximale Effizienz der Wärmepumpenanlage zu erreichen. Aus diesem Grund werden Flächenheizungen mit niedrigen Oberflächentemperaturen und hohem Strahlungsanteil bevorzugt, wie beispielsweise Fußboden- oder Wandheizungen. Die maximale Vorlauftemperatur im Auslegungsfall sollte zwischen 30 und 35 °C liegen, um das Energieeinsparpotenzial der Wärmepumpe vollständig ausnutzen zu können. In jedem Fall

darf die maximale Vorlauftemperatur 50–55 °C nicht überschreiten, um den Einsatz von konventionellen Wärmepumpen in monovalenter Betriebsweise zu ermöglichen. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass solch hohe Vorlauftemperaturen die Effizienz des gesamten Systems erheblich verschlechtern und damit die Betriebskosten deutlich erhöhen.

8.1.2 Speicher im Heizsystem

Da Speicher immer einen erhöhten Wärmeverlust bedeuten, ist ein System ohne Heizungsspeicher anzustreben. Um häufiges Takten (Ein- und Ausschalten; verkürzt die Lebensdauer des Gerätes) des Aggregats zu vermeiden und Abschaltzeiten des Stromversorgers überbrücken zu können, kann eine ausreichende Wärmespeicherung jedoch sinnvoll sein.

Bei Fußbodenheizungen ist die Speicherwirkung des Fußbodenaufbaus zu berücksichtigen. Es muss überprüft werden, ob ein Heizungsspeicher nötig ist.

8.2 Warmwassererzeugung mit Wärmepumpen

Grundsätzlich unterscheidet man zwei unterschiedliche Arten der Brauchwassererwärmung mit Wärmepumpen:

- **Mittels Heizungswärmepumpe:** Die Brauchwasserbereitung erfolgt gemeinsam mit der Bereitstellung der Heizungswärme mittels Heizungswärmepumpe.
- **Mittels separater Brauchwasserwärmepumpe:** Die Brauchwasserbereitung mit einer separaten Brauchwasserwärmepumpe wird häufig mit kompakten Luft/Brauchwasser-Wärmepumpen oder Brauchwasserwärmepumpen mit Direktverdampfung realisiert.

Erfolgt die Warmwasserbereitung über eine Heizungswärmepumpe, kann die Brauchwasserbereitung mithilfe einer Frischwasserstation, die dem Pufferspeicher nachgeschaltet wird, realisiert werden. Erfolgt die Warmwasserbereitung über eine separate Brauchwasserwärmepumpe, kann die Brauchwasserbereitung über einen eigenen Warmwasserspeicher erfolgen. (Fechner 2011, S. 12)

8.3 Zum Üben...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 13: Wieso ist die Berechnung der Heizlast für die Planung einer Wärmepumpe wichtig?

Aufgabe 14: Welches Wärmeabgabesystem ist für das Heizen mit Wärmepumpe zu empfehlen?

9. Betriebsarten

Abhängig von der Auswahl der Wärmequelle, der Leistung der Wärmepumpe, der Gebäudeheizlast, der Art des Heizsystems und der Aufgabe, welche die Wärmepumpe zu erfüllen hat, kann das Wärmepumpensystem für verschiedene Betriebsarten ausgelegt werden.

Monovalenter Betrieb: Die Wärmepumpe ist hier der einzige Wärmeerzeuger und deckt somit 100 % des Wärmebedarfs. Monovalente Wärmepumpen sind dort wirtschaftlich, wo es ein Niedertemperaturheizsystem gibt und eine Wärmequelle mit relativ hohem Temperaturniveau vorhanden ist, z. B. erdreichgekoppelte Systeme mit Fußbodenheizung.

Bivalenter Betrieb: In bivalenten Anlagen wird die Wärme von zwei verschiedenen Energiequellen geliefert, das heißt, die Wärmepumpe arbeitet zusammen mit einem zusätzlichen Heizsystem (z. B. Pelletskessel). Der sogenannte Umschalt- oder Bivalenzpunkt ist die niedrigste Außentemperatur, bei der die Wärmepumpe die Heizlast vollständig abdecken kann. Bei Temperaturen, die niedriger sind als der Bivalenzpunkt, wird die zusätzliche Wärmequelle automatisch zugeschaltet.

9.1 Zum Üben...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 15: Wenn eine Wärmepumpe allein 100 % des Wärmebedarfs deckt, so nennt man dies wie?

10. Kennzahlen

Die relevanten Prozessgrößen der Wärmepumpe sind Arbeit und Wärme. Es handelt sich dabei um mögliche Formen des Energietransports über die Systemgrenzen. Die Einheit von Energie, Arbeit und Wärme ist Joule.

10.1 Leistungszahl (COP)

Die Leistungszahl ϵ , im Englischen als Coefficient of Performance (COP) bezeichnet, ist eine Kennzahl für die Effizienz einer elektrischen Kompressionswärmepumpe im stationären Betriebszustand bei bestimmten Temperaturbedingungen. Sie ist definiert als das Verhältnis zwischen der von der Wärmepumpe gelieferten Heizleistung und der zum Antrieb des Verdichters benötigten elektrischen Antriebsleistung.

$$LZ (COP) = \frac{\text{Heizleistung}}{\text{elektrische Energie}} = \frac{\dot{\Phi}}{P}$$

>>> Info-Box >

Angabe des COP

Es ist zu beachten, dass eine Leistungszahl nur für einen bestimmten Betriebspunkt gültig ist, z. B. B0/W35, wobei zuerst die Quelltemperatur angegeben ist und an zweiter Stelle die Senktemperatur („B“ steht für Sole – *brine*; „W“ für Wasser – *water*, „A“ für Luft – *air*; „E“ für Erreich – *earth*).

Die COP-Werte sind mit dem Nachweis der Leistungsprüfung gemäß EN 14511 eines akkreditierten Prüfinstituts (z. B. in Österreich: AIT Austrian Institute of Technology GmbH; <http://www.ehpa.org/ehpa-quality-label/registered-test-centres/>) zu bestätigen.

Die Anforderungen für das EHPA- (European Heat Pump Association-)Gütesiegel beinhalten unter anderem folgende Grenzwerte für den COP:

- Sole/Wasser-Wärmepumpen: B0/W35 – 4,3
- Wasser/Wasser-Wärmepumpen: W10/W35 – 5,1
- Luft/Wasser-Wärmepumpen: A2/W35 – 3,1
- Direktverdampfer-Wärmepumpen: E4/W35 – 4,3

Eine Liste aller zertifizierten Wärmepumpen ist unter <http://www.ehpa.org/ehpa-quality-label/> einsehbar.

10.2 Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die über ein ganzes Jahr gemittelte Leistungszahl einer Wärmepumpe wird als Jahresarbeitszahl β bzw. JAZ bezeichnet oder im Englischen als Seasonal Performance Factor (SPF). Sie ist definiert als das Verhältnis zwischen der (in einem Jahr) von der Wärmepumpe gelieferten Wärme und der (in einem Jahr) zum Antrieb benötigten elektrischen Energie.

Bei der Berechnung der Jahresarbeitszahl wird üblicherweise nicht nur der Stromverbrauch des Verdichters berücksichtigt, sondern zusätzlich auch der Stromverbrauch von Hilfsaggregaten (wie Solepumpe, Abtauvorrichtung des Verdampfers, Regel- und Steuerungsgerät usw.).

$$JAZ = \frac{\text{Summe der an das Heizungssystem abgegebenen Wärmemenge}}{\text{Summe der aufgenommenen elektrischen Energie}} = \frac{\sum Q_c}{\sum E_{el}}$$

Die Anforderungen zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl sind derzeit in Österreich allerdings unterschiedlich. Der Vergleich von Jahresarbeitszahlen ist daher schwierig. Es ist zu klären, ob Speicherverluste, E-Heizstab und Umwälzpumpen der Heizungsanlage in die Ermittlung einbezogen wurden, und es ist zwischen JAZ für Heizung und JAZ für Heizung und Warmwasser zu unterscheiden.

>>> Info-Box >

Vertiefung ...

... zur Jahresarbeitszahl

Ausschließlich die Jahresarbeitszahl JAZ kann die Effizienz einer Wärmepumpenanlage beschreiben. Im Gegensatz zu den konventionellen Wärmeerzeugungssystemen (Öl, Gas, Biomasse) haben bei einer Wärmepumpenanlage bereits kleine Planungs-, Ausführungs- oder Betriebsfehler große Auswirkungen auf die JAZ.

Eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 ist nicht ausreichend, da eine Jahresarbeitszahl von 3 in der Praxis ein ökologisches Nullsummenspiel und damit unbefriedigend ist. „Damit elektrische Wärmepumpen eine spürbare Umweltentlastung bewirken können, muss ihre Jahresarbeitszahl viel größer als 3,0 sein“, definiert beispielsweise das Umweltbundesamt Deutschland. (Schlader 2012)



Die JAZ kann nach der BIN-Methode im Planungsstadium ermittelt werden, z. B. mithilfe des Excel-Tools „JAZcalc“, zu finden über: www.guetesiegel-erdwaerme.at.

>>> Info-Box >

Wann ist welche JAZ erreichbar?

Für Gebäude nahe am Passivhaus-Standard ist aufgrund des großen Anteils für Warmwasser mit vergleichsweise hohem Temperaturniveau eine JAZ für Heizung und Warmwasser über 4 schwer erreichbar, wenn nicht eine Solaranlage kombiniert wird. Auch in thermisch nicht sanierten Altbauten mit Beheizung über Radiatoren ist eine JAZ von 4 nicht erreichbar. (Fechner 2011)

10.3 Zum Üben...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 16: Was bedeutet die Kennzeichnung „A2/W35 – COP 2,5“?

11. Dimensionierung einer Wärmepumpe

Im Vergleich zu einer Öl-, Gas- oder Pelletsheizung ist für die Planung und Ausführung einer effizienten Wärmepumpenanlage umfangreicheres und tieferes Know-how erforderlich. Die sorgfältige Abstimmung und Dimensionierung von Wärmebedarf des Gebäudes, Wärmequelle, Wärmepumpe und Wärmeabgabe ist enorm wichtig, damit die Wärmepumpenanlage mit hoher Effizienz und über viele Jahre Wärme zu niedrigen Kosten liefern kann. Die Planung muss sämtliche Komponenten des Gesamtsystems aufeinander abstimmen. Folgende Planungsschritte sind notwendig:

- Ermittlung der Heizlast des Hauses
- Ermittlung der Heizlast für Warmwasser
- Sperrzeiten der EVU (Energieversorgungsunternehmen)
- Auswahl der Wärmenutzungsanlage (max. Vorlauftemperatur)
- Auswahl der Wärmequelle
- Wahl der passenden Wärmepumpe
- Auslegung der Wärmequelle, z. B.:
 - Dimensionierung der Erdsonde und der Solepumpe
 - Dimensionierung eines Erdkollektors
- Einbindung Warmwasserbereitung
- Korrekte Betriebseinstellungen

11.1 Zum Üben...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 17: Sie sollen eine Wärmepumpe für ein Einfamilienhaus planen. Welche Schritte sind zu setzen, um ein gut funktionierendes und richtig dimensioniertes System zu erreichen?

12. Anwendungsgebiete von Wärmepumpen

Wärmepumpen können sowohl im Neubau als auch in der Sanierung von Gebäuden eingesetzt werden. Sie können mit thermischen Solaranlagen kombiniert werden und eignen sich auch für Kühlzwecke.

12.1 Wärmepumpe im Neubau

Ein umweltschonendes und kostengünstiges Heizsystem sind Wärmepumpen vor allem im Niedrig(st)energie- und Passivhaus. Durch eine geringere Heizlast des Gebäudes ergeben sich Vorteile für die Anwendung einer Wärmepumpe, da die Komponenten kleiner dimensioniert werden können und damit platz- und kostensparender sind.

Die Heizwärme wird über Fußboden- oder Wandheizungen oder Radiatoren abgegeben oder über die Komfortlüftungsanlage. Im Neubau werden Niedertemperatur-Flächenheizungen mit Vorlauftemperaturen kleiner als 35 °C realisiert.

Die Abluft der Komfortlüftung kann gleichzeitig als Wärmequelle genutzt werden.

12.2 Wärmepumpe bei Sanierung

Vor einer Sanierung ist genau zu prüfen, ob und wie eine Wärmepumpe für die Heizwärmegewinnung genutzt werden kann. Bei der Sanierung sollte zunächst durch eine gute Dämmung die Heizlast verringert werden, wodurch auch die Vorlauftemperatur reduziert werden kann. Folgende Aspekte sind für das Bestandsgebäude zu prüfen:

- Art des vorhandenen Wärmeabgabesystems
- Geplanter Heizwärmebedarf
- Notwendige Vorlauftemperatur (max. 40 °C erforderlich)
- Art und Anteil der Warmwasserbereitung
- Paralleler (bivalenter) Betrieb von bestehender Heizung und Wärmepumpe?

12.3 Kombination mit Solaranlage

Generell ist die Kombination von thermischen Solaranlagen und Wärmepumpen empfehlenswert. Mit dieser Kombination werden meist 70 % der Warmwasserbereitung über die Solaranlage abgedeckt und die restlichen 30 % durch die Wärmepumpe.

Dadurch

- steigt die Anlageneffizienz,
- erhöht sich der Anteil erneuerbarer Energien,
- wächst der Umweltnutzen.

Die Ökobilanz ist dementsprechend gut.

Eine Wärmepumpe ist auch in Kombination mit einer thermischen Solaranlage sinnvoll, da die Warmwasserbereitung für eine Wärmepumpe sehr energieintensiv ist. Diese Kombination kann eine deutliche Verbesserung der Energieeffizienz bringen und damit eine höhere Jahresarbeitszahl.

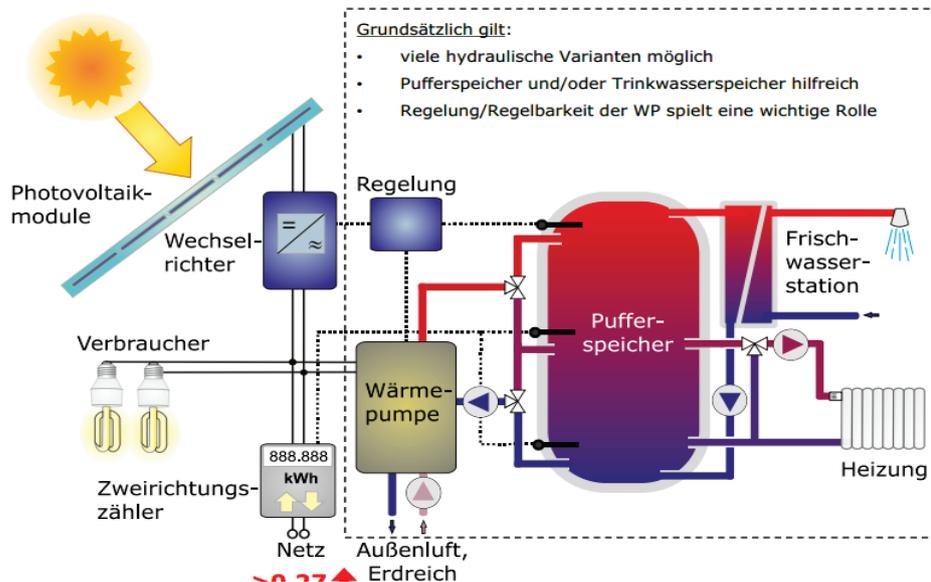


Abbildung 12: PV-Speichersystem mit Wärmepumpe (Quelle: Tjaden et al. 2013)

12.4 Kühlen mit der Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe kann auch für Kühlung genutzt werden, was vor allem im Hochsommer und in gewerblichen Gebäuden sinnvoll ist. Generell sollte jedoch schon mit baulichen Prinzipien (z. B. Verschattung, Ausrichtung des Gebäudes, Wärmedämmung, Wärmespeicherung) die sommerliche Überhitzung vermindert werden, bevor zusätzliche technische Komponenten geplant werden.

In Form einer aktiven Kühlung wird die Funktionsweise der Wärmepumpe umgedreht, sodass sie wie ein Kühlschranks funktioniert („reversible Wärmepumpe“).

Bei einer passiven Kühlung (direct cooling) ist der Kompressor der Wärmepumpe nicht aktiv; die niedrige Temperatur aus dem Erdreich oder dem Grundwasser wird ins Gebäude gepumpt und mittels Wärmeabgabesystem übertragen.

12.5 Zum Üben...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 18: Wo und für welche Anwendungsgebiete können Wärmepumpen eingesetzt werden?

Aufgabe 19: Was ist beim Einbau von Wärmepumpen im Zuge einer Gebäudesanierung zu beachten?

13. Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung bei Wärmepumpen erfolgt anhand von Qualitätslabels (Gütesiegeln). Bestimmte Kriterien für die Auswahl einer Wärmepumpe, z. B. die Dimensionierung, sind zu beachten, um einen effizienten Betrieb zu gewährleisten. Dazu kommen zusätzliche Qualitätsanforderungen wie die Dämmung der Leitungen oder der Einbau eines Wärmemengenzählers.

13.1 Qualitätslabel

Das **EHPA-Gütesiegel** für Wärmepumpen wurde 2009 eingeführt, um einheitlich messbare Standards in Europa zu schaffen, nach denen Produkt- und Servicequalität beurteilt werden können. Es basiert auf dem D-A-CH-Gütesiegel, welches auf Initiative der Wärmepumpen-Verbände aus Österreich, der Schweiz und Deutschland bereits 1998 in den genannten Ländern eingeführt wurde.

Das EHPA-Gütesiegel gilt in über zehn Ländern Europas. Es bestätigt, dass serienmäßig hergestellte Wärmepumpeneinheiten unter anderem folgende Kriterien erfüllen:

- Mindestanforderungen an die Leistungszahl (COP)
- Übereinstimmung der Hauptbauteile zwischen Datenblatt und Gerät
- CE-Konformität, Erfüllung der Anschlussbedingungen
- Planungsunterlagen
- Betriebsanleitung
- Kundendienstnetz, Service innerhalb von 24 Stunden, zehnjährige Ersatzteilgarantie
- zwei Jahre Vollgarantie ab Inbetriebnahme

Die Wärmepumpen werden von neutralen Testzentren wie dem Austrian Institute of Technology (AIT) geprüft. Die Vergabe erfolgt in Österreich durch die Gütesiegelkommission Austria.

Das **Europäische Umweltzeichen** oder **Ecolabel** ist ein freiwilliges anerkanntes Programm, das Unternehmen dazu anhält, umweltfreundlichere Produkte und Dienstleistungen zu produzieren und anzubieten, und das die europäischen KonsumentInnen (auch im öffentlichen und privaten Sektor) dabei unterstützt, umweltgerechte Produkte und Dienstleistungen leichter zu erkennen. Das bedeutet, dass sich eine unabhängige öffentliche Organisation davon überzeugt hat, dass ein Produkt den strengen ökologischen Leistungskriterien entspricht, die nach umfassenden Beratungen auf europäischer Ebene festgelegt worden sind.

Seit kurzem gibt es das Umweltzeichen auch für Wärmepumpen. Die mit der „Ökoblume“ gekennzeichneten Wärmepumpen wurden genauestens auf die Einhaltung strenger

ökologischer und gebrauchstauglicher Kriterien überprüft und erfüllen diese von der AUEU (Ausschuss für das Umweltzeichen der Europäischen Union) vorgegebenen Standards.



Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie auf der Website der European Heat Pump Association unter <http://www.ehpa.org/> sowie auf der Website des Europäischen Umweltzeichens unter <http://www.ecolabel.eu/> oder <http://www.umweltzeichen.at/cms/home/ecolabel/content.html/>.

13.2 Kriterien für die Auswahl der Wärmepumpe

Für die Auswahl einer Wärmepumpe sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Bei COP-Wert auf richtigen Prüfpunkt achten (Prüfnormen: ÖNORM EN 14511 und ÖNORM EN 15879).
- Zur Warmwasserbereitung werden zusätzlich 250 W pro Person benötigt.
- Bei Kombination mit thermischer Solaranlage: deren Ertrag.
- Einplanung von Armaturen oder Messstutzen für hydraulischen Abgleich: gruppen- und raumweise.
- Wenn möglich: Wärmequellenerschließung durch eine „Gütesiegel Erdwärme“-Bohrfirma.
- Dimensionierung der Wärmepumpe: Sperrzeiten beachten, Überdimensionierung vermeiden.

13.3 Dämmung der Leitungen

Sämtliche Heiz- und Warmwasserleitungen in nicht beheizten Räumen sind mindestens gemäß ÖNORM M 7580 bzw. OIB RL6 gegen Wärmeverluste zu dämmen.

Apparate und Armaturen in nicht beheizten Räumen müssen ebenfalls wärme gedämmt werden.

13.4 Wärmemengenzähler und Zähler für elektrische Antriebe

Zur Kontrolle der Jahresarbeitszahl sind ein Wärmemengenzähler sowie ein separater Stromzähler für den Kompressor und die Hilfsantriebe einzubauen. Ist ein Wärmemengenzähler in der Wärmepumpe integriert, kann die Installation des Wärmemengenzählers entfallen. (Fechner 2011, S. 10)

13.5 Heizregelung

Die Heizkurve wird je nach anlagentechnischen und örtlichen Bedingungen und NutzerInnen eingestellt. Über eine Zeitschaltuhr mit Tages- und Wochenprogramm (und evtl. Ferienprogramm) wird die Heizung geregelt.

Im Einfamilienhaus wird zusätzlich zur Regelung an der Anlage ein einfaches Bediengerät im Wohn-/Aufenthaltsbereich installiert, mit dem die Heizung ein- und ausgeschaltet, das Temperaturniveau geändert, Zeitschaltprogramme und der reduzierte Betrieb eingestellt werden.

Die Systemtemperaturen (Temperaturniveau und Schaltdifferenz) sollten durch Fachleute einstellbar sein, die Temperatur von Vor- und Rücklauf sollten für jede Heizgruppe ablesbar sein, und die Heizregelung sollte den Betrieb je nach Stromlieferant an Hoch- und Niedertarifangebote anpassen können. (Fechner 2011, S. 11)

13.6 Geräusentwicklung

Die Wärmepumpe als Punktschallquelle darf keine unzulässigen Schallemissionen bewirken. Die Planungsrichtwerte sind in der ÖNORM S 5021 festgelegt. Für Wohngebiete in der Nacht gilt ein Richtwert von 30 dB(A). Pro Abstandsverdoppelung kann mit einer Abnahme des Pegels um 6 dB gerechnet werden. (Fechner 2011, S. 12)

>>> Info-Box >

Qualitätslinien für Wärmepumpen

Im „Merkblatt Wärmepumpe“ der „Qualitätslinien Haustechnik“ werden Anwendungsbereiche von Wärmepumpen beschrieben und Hinweise für BauherrInnen gegeben, z. B. in Hinblick auf Entscheidungskriterien, Einholung von Angeboten und Qualitätskontrolle.

Die „Qualitätslinien Haustechnik“ wurden im Rahmen des Programms „Haus der Zukunft“ erstellt und vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft herausgegeben.

Link zu den Downloads: <http://www.klimaaktiv.at/publikationen/bauen-sanieren/qualitaetslinien.html>

14. Die häufigsten Fehler

Zu klein ausgelegte Quellen sind ein Fehler, der im Nachhinein meist nur schwer zu korrigieren ist. Flachkollektoren werden zu klein oder Tiefensonden zu kurz geplant. Die Abgabeleistung sollte immer auf der sicheren Seite angenommen werden und der Kollektor besser zu groß als zu klein realisiert werden.

Zu hohe Vorlauftemperaturen der Senke können nur schwer korrigiert werden. Hierzu müssten die Wärmeabgabeflächen vergrößert werden. Es muss immer darauf geachtet werden, die Vorlauftemperatur des Heizungskreislaufs möglich gering zu halten, um einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe zu ermöglichen.

Überdimensionierte Wärmepumpen müssen häufig takten und verlieren dadurch an Effizienz. Dieses Verhalten wirkt sich auch häufig negativ auf die Lebensdauer der Wärmepumpe aus. Um dies zu verhindern, muss die Auslegung der Wärmepumpe sehr sorgfältig erfolgen.

Durch eine **falsche Aufstellung** entstehen Schallprobleme.

Hohe Verluste des hydraulischen Systems können mehrere Ursachen haben. Bei der Planung sollte Wert auf ein möglichst einfaches Hydraulikkonzept gelegt werden. Die Leitungen müssen ausreichend gedämmt werden. Der Einsatz eines Speichers sollte nur in begründeten Fällen erfolgen. Die Fläche der verwendeten Wärmetauscher (z. B. Warmwasserbereitung) sollte groß genug sein. Auch aus Komfortgründen muss in jedem Fall ein hydraulischer Abgleich erfolgen.

Schauen Sie nach auf YouTube!

Der hydraulische Abgleich

<http://www.youtube.com/watch?v=R8S3PVLMM8>

Dauer: 5:14 min.

14.1 Zum Üben...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 20: Nennen Sie einige häufige Fehler, die bei der Planung und Ausführung von Wärmepumpen auftreten.

15. Wirtschaftlichkeit

Um zu berechnen oder abzuschätzen, ob eine Wärmepumpe wirtschaftlich ist, sind die Gesamtkosten heranzuziehen und davon mögliche Förderungen der Länder oder des Bundes oder anderer Stellen abzuziehen.

Die Gesamtkosten setzen sich zusammen aus Anschaffungskosten, laufenden Energiekosten im Betrieb und Wartungs-/Servicekosten. Die Anschaffungskosten bestehen aus Kosten für Geräte und Material, Installationskosten, Planungskosten und Kosten für die Erschließung der Wärmequelle.

Je höher die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe, desto wirtschaftlicher arbeitet sie. Abhängig von der Jahresarbeitszahl können die zu erwartenden jährlichen Betriebskosten inklusive Wartung für eine bestimmte Raumtemperatur angegeben werden.

Darüber hinaus ist der energetische Standard des Gebäudes eine wesentliche Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe, da bei gutem Standard die Temperatur und damit der Energieverbrauch niedriger ist.

Die **Anschaffungskosten** für eine Wärmepumpe sind im Vergleich zu konventionellen Heizungsanlagen höher. Man kann mit Mehrkosten von circa 6000 Euro rechnen, je nach Art der Wärmepumpe.

Die **laufenden Energiekosten** für eine Wärmepumpe sind gegenüber konventionellen Heizungsanlagen niedriger. Wenn man von einem ungefähren Mittelwert von 12,4 Ct/kWh für einen Sondertarifstrom und einer mittleren Leistungszahl von 4 ausgeht, dann betragen die Betriebskosten einer Wärmepumpe circa 3,1 Ct/kWh erzeugter Wärme. Zum Vergleich:

- Betriebskosten für Wärmepumpe: circa 3,1 Ct/kWh
- Betriebskosten für Heizöl: circa 9,9 Ct/kWh
- Betriebskosten für Erdgas: circa 6,3 Ct/kWh

(Energieinstitut Vorarlberg 2013)

Aus ökologischen Gründen sollte auch die Variante eines Betriebes mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen in Betracht gezogen werden.

Die **Wartungskosten** für eine Wärmepumpe sind vergleichbar mit konventionellen Heizsystemen.

15.1 Zum Üben...

Aufgaben zum Üben oder als Anregung für den Unterricht

Aufgabe 21: Welche Kosten fallen bei einer Wärmepumpe an?

16. Ausblick

Systemkombinationen, bei denen eine Wärmepumpe mit anderen (erneuerbaren) Energiesystemen (z. B. Solarthermie) kombiniert wird, werden am Markt zunehmen. Auch eine erhöhte Kombination mit Photovoltaik erscheint sinnvoll. Der Strom der Photovoltaikanlage wird unter anderem zum Betrieb der Wärmepumpe verwendet. Dies hat natürlich positiven Einfluss auf die CO₂-Bilanz des Systems.

Weiters kommt es zu technologischen Weiterentwicklungen vor allem im Bereich der Hochtemperatur-Wärmepumpen. Diese haben ein spezielles Kältemittel, mit dem auch Temperaturen von über 60 °C erreichbar sind.

Die chemische Industrie forscht außerdem an Kältemitteln mit niedrigerem GWP (Global Warming Potential), um die Umweltverträglichkeit weiter zu erhöhen.

17. Quellen

Bertsch, S. S. (o. J.): Energie im Gebäude, Beurteilung verschiedener Heizsysteme und intelligenter Fassaden. Vortrag. URL: http://institute.ntb.ch/fileadmin/Institute/IES/bilder/2010_Energie_im_Gebaeude_bertsch_ntb.pdf (12.10.2012).

Energie Tirol (o. J.): Wärmepumpen. URL: https://www.energie-tirol.at/fileadmin/static/folder/ET_Folder_Waermepumpe.pdf (12.10.2012).

Energieinstitut Vorarlberg (2013): Kostenvergleich Brennstoffe. URL: <http://www.energieinstitut.at/?sID=2850> (20.01.2013).

Fechner, J. (2011): Merkblatt Wärmepumpe, Qualitätslinie. URL: <http://www.klimaaktiv.at/publikationen/bauen-sanieren/qualitaetslinien.html> (14.04.2014).

Qualitätsgemeinschaft Erdwärme c/o Energieinstitut Vorarlberg (o. J.): Kombination mit einer Solaranlage. URL: <http://www.erdwaerme-info.at/effizienz-oekologie/solar-kombination/> (14.04.2014).

Huber, H. (2008): Grundwasser-Störfallpotenzial des Kältemittelkreislaufs von Wärmepumpen. Möglichkeiten und Stand der Technik der Störfallvorsorge. 8. Internationales Anwenderforum. Oberflächennahe Geothermie. Erdgekoppelte Wärmepumpen und unterirdische thermische Speicher. Regensburg.

Kunz, P.; Afjei, T.; Betschart, W.; Hubacher, P.; Löhner, R.; Müller, A.; Prochaska, V. (2008): Wärmepumpen. Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung. Zürich.

Schlader, W. (2012): Wann ist eine Wärmepumpe sinnvoll? <https://www.energieinstitut.at/> (10.12.2014).

Schlader, W. (2013): „JAZcalc“, Wärmepumpen-Berechnungsprogramm. Bedienungsanleitung V8. Hrsg. Energieinstitut Vorarlberg. http://www.erdwaerme-info.at/uploads/media/Bedienungsanleitung_JAZcalc_V8_20131016.pdf (16.11.2014).

Studer, H.; Haage, U.; Staller, S. (2006): Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität. URL: <http://www.noe-wohnbauforschung.at/dokumente/uploads/2127.pdf> (20.01.2013).

Tjaden, T.; Weniger, J., Quaschnig, V. (2013): Möglichkeiten und Grenzen von Photovoltaik-Wärmepumpen-Systemen zur Erhöhung des Eigenverbrauchs von Solarstrom. http://experts.top50-solar.de/?qa=blog&qa_blobid=7271319817481690508 (16.11.2014).

Waldschmidt, W. (2007): ABC der Wärmepumpe. Frankfurt am Main.

18. Übersicht Aufgaben

1. LERNZIELE	5
2. ZUM NACHDENKEN	5
3. EINLEITUNG	6
3.1 Zum Üben	7
4. WAS SIND DIE HAUPTKOMPONENTEN EINER WÄRMEPUMPENHEIZUNGSANLAGE?	8
4.1 Zum Üben	8
5. WAS IST DAS FUNKTIONSPRINZIP EINER WÄRMEPUMPE?	9
5.1 Zum Üben	10
6. WAS SIND DIE HAUPTKOMPONENTEN EINER WÄRMEPUMPE?	11
6.1 Verdampfer	11
6.2 Verdichter (Kompressor)	11
6.3 Verflüssiger (Kondensator).....	13
6.4 Drosselorgan (Expansionsventil)	13
6.5 Arbeitsmittel (Kältemittel)	13
6.6 Weitere Komponenten	15
6.7 Zum Üben	15
7. WELCHE WÄRMEQUELLEN SIND GEEIGNET?	16
7.1 Außenluft.....	16
7.2 Erdwärme	18
7.2.1 Flachkollektoren	18
7.2.2 Erdwärmesonden	20
7.2.3 Energiepfähle	20
7.3 Grundwasser	21
7.4 Abwärme.....	22
7.5 Zum Üben	22
8. WAS MUSS BEI DER WÄRMENUTZUNGSANLAGE BEACHTET WERDEN?.....	23
8.1 Heizen mit Wärmepumpen	23
8.1.1 Wärmeabgabesystem	23

8.1.2	Speicher im Heizsystem.....	24
8.2	Warmwassererzeugung mit Wärmepumpen.....	24
8.3	Zum Üben.....	24
9.	BETRIEBSARTEN	25
9.1	Zum Üben.....	25
10.	KENNZAHLEN.....	25
10.1	Leistungszahl (COP)	25
10.2	Jahresarbeitszahl (JAZ)	26
10.3	Zum Üben.....	27
11.	DIMENSIONIERUNG EINER WÄRMEPUMPE	28
11.1	Zum Üben.....	28
12.	ANWENDUNGSGEBIETE VON WÄRMEPUMPEN	29
12.1	Wärmepumpe im Neubau	29
12.2	Wärmepumpe bei Sanierung.....	29
12.3	Kombination mit Solaranlage	29
12.4	Kühlen mit der Wärmepumpe.....	30
12.5	Zum Üben.....	30
13.	QUALITÄTSSICHERUNG.....	31
13.1	Qualitätslabel	31
13.2	Kriterien für die Auswahl der Wärmepumpe	32
13.3	Dämmung der Leitungen	32
13.4	Wärmemengenzähler und Zähler für elektrische Antriebe	32
13.5	Heizregelung.....	32
13.6	Geräuschentwicklung	33
14.	DIE HÄUFIGSTEN FEHLER	34
14.1	Zum Üben.....	34
15.	WIRTSCHAFTLICHKEIT	35
15.1	Zum Üben.....	35
16.	AUSBLICK	36
17.	QUELLEN.....	37

18. ÜBERSICHT AUFGABEN	38
19. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	40
20. IMPRESSUM	41

19. Abbildungsverzeichnis

<u>Abbildung 1: Nicht nur eigene Wärmequellen können angezapft werden... (Quelle: Stefan Prokupek, GrAT).....</u>	5
<u>Abbildung 2: Aufbau einer Wärmepumpenheizungsanlage (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.).....</u>	8
<u>Abbildung 3: Schaltbild einer Wärmepumpe (Quelle: Volker Sperlich; http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:WP-Schaltbild-.jpg&filetimestamp=20091209151011)</u>	10
<u>Abbildung 4: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Außenluft als Wärmequelle, Innenaufstellung (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/luft/).....</u>	16
<u>Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Außenluft als Wärmequelle, Außenaufstellung (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.)</u>	16
<u>Abbildung 6: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Erdwärme als Wärmequelle (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/erdkollektor/)</u>	18
<u>Abbildung 7: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Flachkollektoren (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.).....</u>	18
<u>Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/erdwaermesonde/).....</u>	19
<u>Abbildung 9: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.).....</u>	19
<u>Abbildung 10: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle (Quelle: Qualitätsgemeinschaft Erdwärme; http://www.erdwaerme-info.at/funktion/waermequelle/grundwasser/)</u>	20
<u>Abbildung 11: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.)</u>	20
<u>Abbildung 12: PV-Speichersystem mit Wärmepumpe (Quelle: Tjaden et al. 2013).....</u>	29



20. Impressum

Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich:



e-genius – Verein zur Förderung und Entwicklung offener Bildungsmaterialien im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich

Postfach 16
1082 Wien
Österreich

E-Mail: [info\(at\)e-genius.at](mailto:info(at)e-genius.at)

Projektleiterin: Dr. Katharina Zwiauer
E-Mail: [katharina.zwiauer\(at\)e-genius.at](mailto:katharina.zwiauer(at)e-genius.at)

AutorInnen: Ing. Heinrich Huber MSc, DI (FH) Petra Schöfmann

Fachdidaktisierung: Magdalena Burghardt MA, DI Karin Reisinger, Dr. Katharina Zwiauer

Lektorat und technische Umsetzung: Magdalena Burghardt MA

Finanziert durch:



Nutzungsbedingungen:

Alle Inhalte sind unter folgender Creative-Commons-Lizenz lizenziert:



[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Austria Lizenz.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/at/)

Das bedeutet:



Sie dürfen

- das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen,
- Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen.

Zu den folgenden Bedingungen:

- **Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- **Keine kommerzielle Nutzung** — Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden.
- **Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch oder vergleichbar sind.

Hinweise zur Namensnennung/Zitierweise:

Texte: AutorInnen des Lernfelds, Titel des Lernfelds. Hrsg.: Verein e-genius, www.e-genius.at

Bilder: Nennung der Rechteinhaberin/des Rechteinhabers und www.e-genius.at

Haftungsausschluss:

Sämtliche Inhalte auf der Plattform e-genius wurden sorgfältig geprüft. Dennoch kann keine Garantie für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität und Verfügbarkeit der Inhalte übernommen werden. Der Herausgeber übernimmt keinerlei Haftung für Schäden und Nachteile, die allenfalls aus der Nutzung oder Verwertung der Inhalte entstehen. Die Zurverfügungstellung der Inhalte auf e-genius ersetzt keine fachkundige Beratung, die Abrufbarkeit der Inhalte ist kein Angebot zur Begründung eines Beratungsverhältnisses.

e-genius enthält Links zu Webseiten Dritter. Das Setzen von Links ist ein Verweis auf Darstellungen und (auch andere) Meinungen, bedeutet aber nicht, dass den dortigen Inhalten zugestimmt wird. Der Herausgeber von e-genius übernimmt keinerlei Haftung für Webseiten, auf die durch einen Link verwiesen wird. Das gilt sowohl für deren Verfügbarkeit als auch für die dort abrufbaren Inhalte. Nach Kenntnisstand der BetreiberInnen enthalten die verlinkten Seiten keine rechtswidrigen Inhalte, sollten solche bekannt werden, wird in Erfüllung rechtlicher Verpflichtungen der elektronische Verweis umgehend entfernt.

Inhalte Dritter sind als solche gekennzeichnet. Sollten Sie trotzdem auf eine Urheberrechtsverletzung aufmerksam werden, bitten wir um einen entsprechenden Hinweis. Bei Bekanntwerden von Rechtsverletzungen werden wir derartige Inhalte umgehend entfernen bzw. korrigieren.

Link zur Lernplattform: <http://www.e-genius.at>