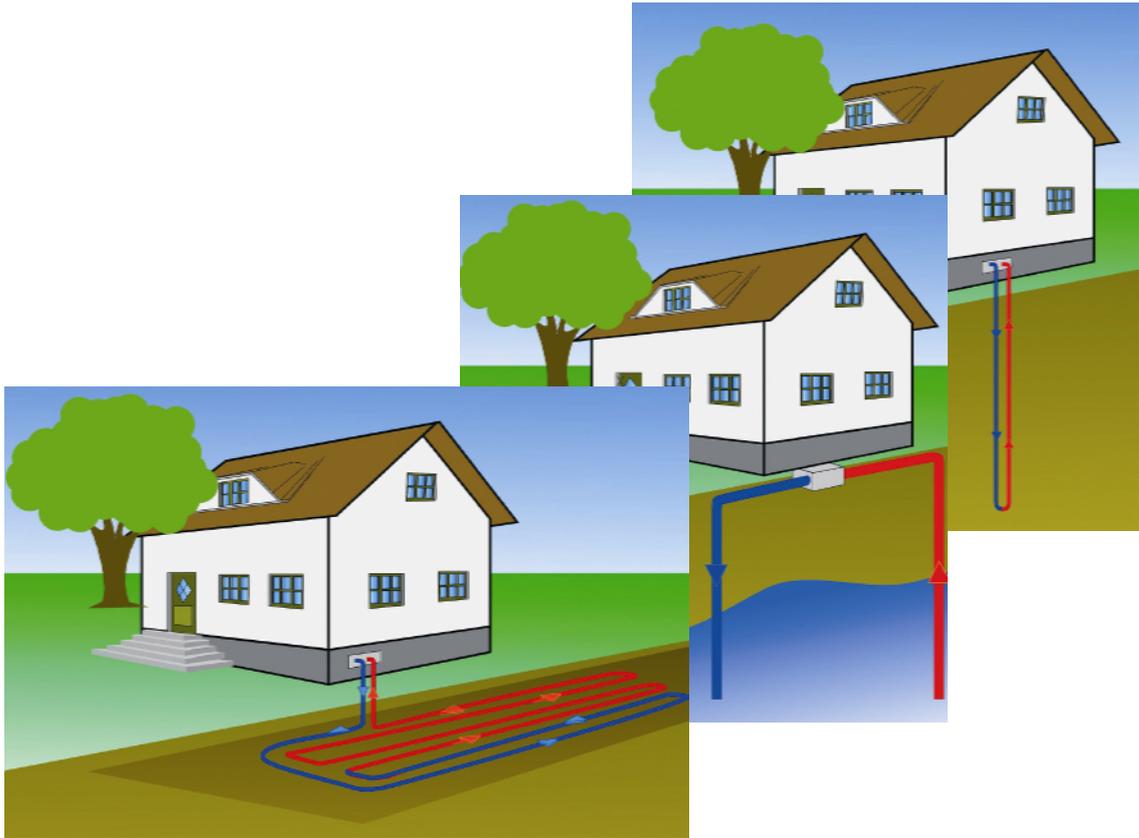


Projekt Wärmepumpe



Projekt Wärmepumpe

1	Aufgabenstellung:	3
2	Planung der Anlage	3
2.1	Ermittlung der Heizleistung:	3
2.2	Ermittlung des Warmwasserbedarfes	4
2.3	Wahl des Wärmepumpensystems	5
2.3.1	Was ist eine Wärmepumpe	5
2.3.2	Betriebsarten	12
2.3.3	Umweltaspekte	14
2.3.4	Entscheidung	15
2.4	Wahl des Warmwasserspeichers	16
2.4.1	Wahl der Warmwasserbereitung	16
2.4.2	Auswahl	18
2.5	Berechnung der Wärmequelle	19
2.5.1	Ermittlung der Kälteleistung	19
2.5.2	Auslegung des Erdreichkollektors	19
2.5.3	Entzugsleistung des Erdkollektors (VDI 4640T2)	20
2.5.4	Erdsonde	21
2.5.5	Entzugsleistung der Erdsonde (VDI 4640T2)	22
2.6	Wahl des Hydrauliksystems	22
2.6.1	Grundsätzliches zur Planung	22
2.6.2	Heizkreise	22
2.6.3	Einsatz von Flächenheizungen	23
2.6.4	Besonderheiten bei Radiatorenheizungen	23
2.7	Sonstige Bauteile	24
2.7.1	Elektro-Zusatzheizung:	24
2.7.2	Hydraulische Weiche:	24
2.7.3	Pufferspeicher	24
2.7.4	Mischer:	24
3	Anfertigung eines Angebotes	26
4	Ermittlung der voraussichtlichen Betriebskosten	26

1 Aufgabenstellung:

Kunde Meier möchte seinen Neubau, ein EFH, mit einer Wärmepumpenanlage ausstatten.

Folgende Parameter können angenommen werden:

Grundfläche des Hauses:	12 m * 6 m
Grundfläche der Garage:	5 m * 3 m
Grundfläche der Zufahrt:	6 m * 3 m
Grundfläche der Terrasse:	6 m * 4 m
Zu beheizende Fläche:	140 m ²
Spez. Heizbedarf Q_n:	50 W/m ²
Personenzahl:	4
Warmwasserbereitung:	zentral
Grundstücksfläche:	400 m ²
Elektrotarif:	12,01 Cent , 2 x 2 h Sperrzeiten (Vorgegeben)
Entzugsleistungen:	50 W/m → bei einer Erdwärmesonde 20 W/m ² → bei einem Erdwärmekollektor

2 Planung der Anlage

2.1 Ermittlung der Heizleistung:

Im Zuge dieser Planung genügt die überschlägige Berechnung:

$$\begin{aligned}\text{Heizbedarf des Gebäudes} &= \text{zu beheizende Fläche [m}^2\text{]} * \text{spez. Heizbedarf [W/ m}^2\text{]} \\ &= A \cdot Q_n \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2 * \underline{\hspace{2cm}} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}\end{aligned}$$

Projekt Wärmepumpe

2.2 Ermittlung des Warmwasserbedarfes

Für die Warmwasserbereitung des Hauses kann überschlägig ein Warmwasserverbrauch von $50 \frac{l}{\text{Person} \cdot d}$ (Erfahrungswert) veranschlagt werden.

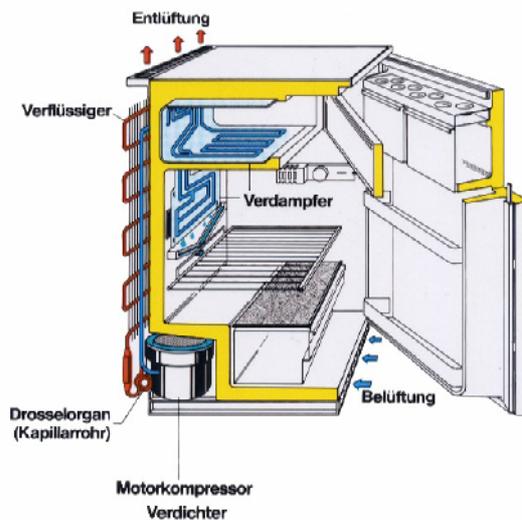
$$\begin{aligned} \text{Warmwasserbedarf} &= \text{Personenzahl} \cdot \text{WW - Bedarf je Person} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ Personen} * \underline{\hspace{2cm}} \frac{l}{\text{Person} \cdot d} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \frac{l}{d} \end{aligned}$$

2.3 Wahl des Wärmepumpensystems

Was ist eine Wärmepumpe?

Eine Wärmepumpe ist ein Heizsystem, das Umweltwärme nutzt, um kosten- und energie­günstig ein Gebäude zu beheizen. Der große Anteil an Umweltwärme ist die Ursache dafür, dass Wärmepumpen, im Vergleich zu Heiztechniken mit fossilen Brennstoffe, die CO₂ Emissionen um ca. 30% und mehr reduzieren können.

Wir alle kennen eine Wärmepumpe und nutzen sie täglich, denn in fast jedem Haushalt ist mindestens eine Wärmepumpe vorhanden: Es ist der Kühlschrank.



Quelle: RWE-Bauhandbuch

Ein Kühlschrank „pumpt“ Wärme aus seinem Innenraum nach außen. Deshalb wird es im Kühlschrank kalt und an der Rückseite steigt warme Luft auf. Den Namen hat der Kühlschrank nur deshalb bekommen, weil der Effekt der Kühlung im Vordergrund steht.

Man könnte aber mit dem Kühlschrank auch heizen, dafür müsste der Kühlschrank nur groß genug und der Wärmebedarf der Küche entsprechend gering sein. Jeder, der eine Gefriertruhe besitzt, weiß, dass der Raum, in dem die Truhe steht, am wärmsten ist – eben durch die beim Kühlen entstehende Wärme. In diesem Fall Abwärme, bei der Wärmepumpe aber gewollte Wärmeproduktion.

Technisch gesehen ist das Herzstück einer Wärmepumpe eine Kältemaschine und man nutzt die Tatsache, dass der Kälteprozess dann sowohl Kälte als auch Wärme produziert.

Grundlage für das Funktionieren dieses Kälteprozesses ist der Kältekreis mit seinen Komponenten. Der Begriff Kältekreis besagt bereits, dass die einzelnen Komponenten mit einem Rohrsystem zu einem geschlossenen Kreis verbunden sind werden. Dieser Kreis wird mit einer Flüssigkeit befüllt, dem Kältemittel. Das Kältemittel verdampft bereits bei sehr niedrigen Temperaturen und der Prozess verdampfen/kondensieren ist das Grundprinzip der Funktion einer Kältemaschine.

Zu Flüssigkeiten noch ein paar Worte: Wasser verdampft bei einer Temperatur von +100° C und der Dampf kondensiert unter +100° C und wird wieder zu Wasser. Bei Kältemitteln reichen bereits wesentlich niedrigere Temperaturen aus, damit dieser Prozess ablaufen kann und die Änderungen der Aggregatzustände flüssig/dampfförmig/flüssig möglich sind. Die

Projekt Wärmepumpe

chemische Zusammensetzung des Kältemittels bestimmt, bei welchen Temperaturen diese Veränderungen eintreten. Das kann, nur um ein Beispiel zu nennen, schon bei -50°C sein.

Da Wärme immer vom wärmeren zum kälteren Niveau fließt, kann eine Flüssigkeit nur dann verdampfen, wenn ihr Wärme zugeführt wird. Umgekehrt gelten die gleichen Voraussetzungen: Nur wenn der Dampf Wärme abgeben kann und dabei kälter wird, kann er wieder kondensieren.

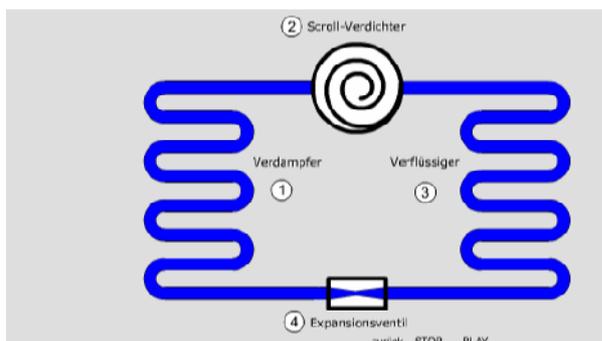
Um diese Prinzipien wirksam werden zu lassen, sind im Kältekreis vier Komponenten notwendig. Man benötigt einen Verdampfer, in dem die Kälteflüssigkeit verdampft. Es handelt sich um einen Wärmetauscher, in dem das Kältemittel ein Trägermedium, z.B. Wasser, abkühlt. Das funktioniert, wenn die Temperatur des Kältemittels niedriger ist, als die des Mediums. Je größer diese Temperaturdifferenz, umso größer ist auch die Wärmemenge, die vom Medium auf das Kältemittel übergeht.

Die Oberfläche des Wärmetauschers muss allerdings so groß sein, dass das Kältemittel vollständig verdampfen kann, bevor es den Wärmetauscher verlässt.

Der Kältemitteldampf wird zu einem Kompressor geführt und darin verdichtet. Deshalb nennt man den Kompressor auch Verdichter. Bei der Verdichtung reiben sich die Dampfmoleküle aneinander, wodurch die Temperatur des Kältemitteldampfes deutlich ansteigt. Genannt wird der Dampf in diesem Zustand Heißgas, das Temperaturen über $+100^{\circ}\text{C}$ erreicht und unter hohem Druck steht.

Das Heißgas wird durch einen zweiten Wärmetauscher geführt, der von dem Wasser im Heizungskreis durchflossen wird. Diesen Wärmetauscher nennt man Kondensator oder auch Verflüssiger. Der Kondensator muss so dimensioniert werden, dass das Heißgas so viel Wärme an das Heizungswasser abgeben kann, dass der Kältemitteldampf wieder kondensiert.

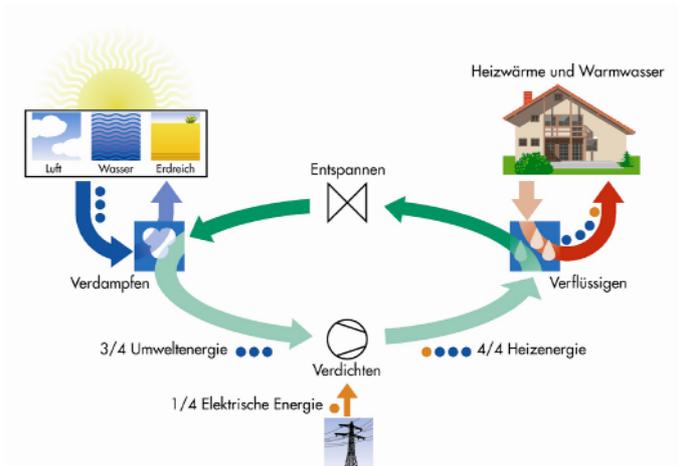
Eine weitere wichtige Komponente ist das Expansionsventil. Der von dem Kompressor erzeugte Überdruck wird durch das Expansionsventil abgebaut, damit der Prozess verdampfen/verdichten/verflüssigen erneut beginnen kann.



Quelle: Viessmann

Das vorstehende Schema zeigt den Aufbau und die Komponenten eines Kältekreislaufes. Die Darstellung des Kompressors entspricht der Kompressorgeneration, die jetzt verwendet wird und die zu einer deutlichen Steigerung der Effektivität führt.

Projekt Wärmepumpe



Quelle: Geologischer Dienst NRW

Diese Grafik veranschaulicht, dass eine Wärmepumpenanlage immer aus drei getrennten Kreisen besteht. Aus dem Herzstück der Anlage, dem Kältekreis, dem Wärmequellenkreis und dem Heizungskreis. Das Bindeglied zwischen diesen Kreisen ist lediglich der jeweilige Wärmetauscher, nämlich der Verdampfer auf der Seite der Wärmequelle und der Kondensator auf der Seite der Heizungsanlage.

2.3.1 Umweltwärme

Wärmepumpen nutzen Umweltwärme als Energiequelle. Typische Energiequellen im Heizbetrieb sind:

- Erdreich
- Grundwasser
- Außenluft.

Aber auch Abwärme und Abluft eignen sich hervorragend als Energiequellen für den sinnvollen Einsatz von Wärmepumpen.

2.3.1.1 Erdreich

Das Erdreich ist ein einziger, sehr großer Energiespeicher, im oberflächigen Bereich von Sonne und Niederschlägen gespeist, in tieferen Schichten aus dem Erdkern versorgt. Dabei erhöht die Wärme aus dem Erdkern die Temperaturen um jeweils 3 °C je 100 m Tiefe.

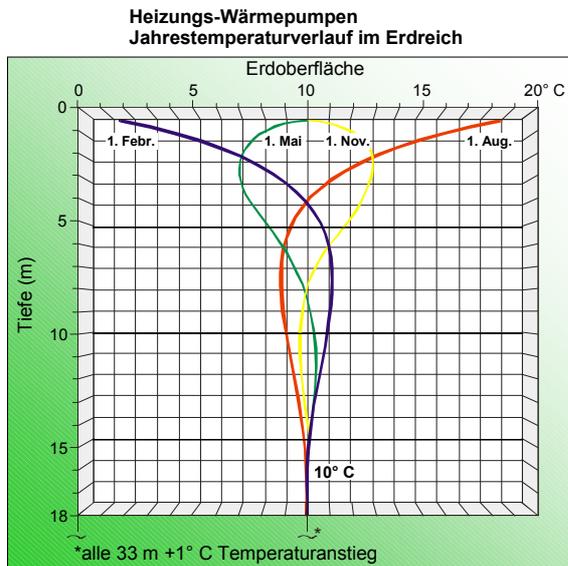
In Verbindung mit Wärmepumpen sprechen wir von oberflächennaher Geothermie und damit sind Tiefen bis zu 400 m gemeint. Im Allgemeinen hält man sich jedoch an Tiefen bis zu 100 m.

Für Tiefen über 400 m verwendet man den Begriff Tiefengeothermie.

Erdreich muss erschlossen werden, um es als Energiequelle für Wärmepumpen nutzen zu können. Dabei stellt das Erdreich ca. 75% der Energiemenge zur Verfügung, die für die Beheizung eines Gebäudes erforderlich ist. Für die Erschließung verwendet man ein spezielles Wärmetauschersystem, das aus Kunststoffrohren besteht, die in die Erde eingebracht werden. Die Rohre sind aus unverrottbarem HDPE in Durchmessern von 25 mm oder 32 mm gefertigt.

Projekt Wärmepumpe

Das Rohrsystem wird entweder flächig, als Erdwärmekollektor oder in Bohrungen als Erdwärmesonden eingebracht. Die Temperaturverhältnisse im Erdreich, auch unter dem Einfluss der Jahreszeiten, veranschaulicht die folgende Grafik.



Quelle: Stiebel Eltron

Für die Nutzung von Erdwärme muss eine behördliche Zustimmung eingeholt werden. Dabei ist bis zu einer Tiefe von 100 m eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich, die von den Unteren Wasserbehörden erteilt wird. Über 100 m Tiefe ist das Bergrecht anzuwenden. Deshalb ist hierfür eine Genehmigung beim Landesoberbergamt in Arnshausen einzuholen.

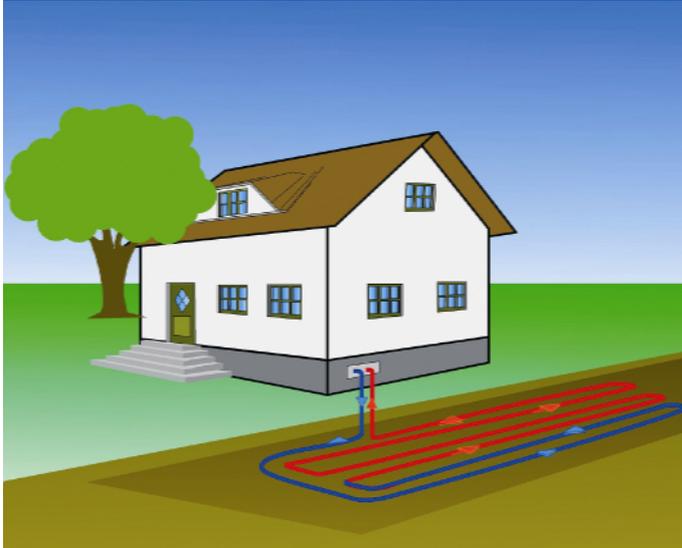
2.3.1.2 Erdwärmekollektor

Es genügt, bereits in 1,20m Tiefe einen Erdwärmekollektor zu verlegen, um genügend Energie für die Beheizung eines Gebäudes zu gewinnen.

Der Erdwärmekollektor wird aus schlangenförmig verlegtem HDPE-Rohr gebildet. Der Mindestabstand zwischen den Rohren sollte $> 0,50$ m sein. Der Erdwärmekollektor muss als ein in sich geschlossenes Kreissystem angelegt werden, bei dem die einzelnen Kreise gleich lang sein müssen aber nicht länger als 100 m sein sollten. Da fast immer mehrere Kreise erforderlich sind, um die notwendige Energiemenge zu gewinnen, werden die Kreise parallel zueinander über einem Verteiler verbunden.

Die Rohre sind zu ihrem Schutz in einem Sandbett zu verlegen und können anschließend mit dem vorhandenen Boden wieder abgedeckt werden. Zur Verlegung der Rohre hebt man entweder Gräben aus oder legt eine komplette Fläche frei; je nach den örtlichen Gegebenheiten.

Projekt Wärmepumpe



Quelle: Wärmepumpen-Marktplatz NRW

Von dem Verteiler führen dann zwei Rohre in das Gebäude; jeweils für den Vor- und den Rücklauf des Erdwärmekollektors.

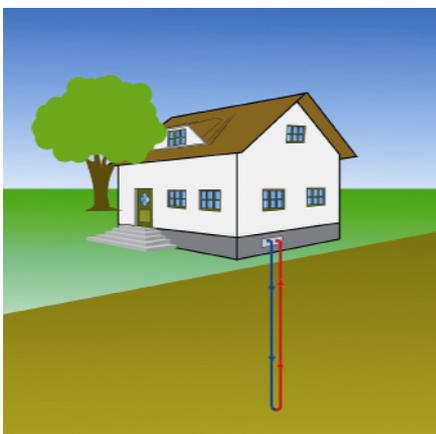
Bei der Planung des Erdwärmekollektors ist zu berücksichtigen, dass die Fläche offen sein muss und nicht versiegelt werden darf, z.B. durch Bebauung oder befestigte Wege und Flächen.

Der Grund für diese Vorgabe: Die meiste Energie wird durch Niederschläge in den Boden eingebracht. Versiegelte Flächen verhindern das Eindringen der Niederschläge und können deshalb nicht so viel Energie abgeben. Die Leistung des Erdwärmekollektors kann verbessert werden, wenn man das Oberflächenwasser über der Kollektorfläche verrieseln lässt.

Außerdem sollten auf der Fläche keine tief wurzelnden Pflanzen gesetzt werden, da die Wurzeln unter Umständen das Rohrsystem beschädigen können.

2.3.1.3 Erdwärmesonde

Für die Installation einer Erdwärmesonde muss mit einem speziellen Bohrgerät, z.B. durch ein Bohrunternehmen, eine entsprechende Bohrung erstellt werden, in die die Sonde eingebracht wird. Überwiegend werden Doppel-U-Sonden verwendet, die vorgefertigt sind. Das Rohrmaterial ist mit dem Material für den Erdwärmekollektor identisch und somit ebenfalls unverrottbar.



Quelle: Wärmepumpen-Marktplatz NRW

Projekt Wärmepumpe

Die Doppel-U-Sonde ist ein System, das zwei geschlossene Kreise bildet, die in eine Bohrung eingebracht werden. Sind mehrere Sonden notwendig, um die entsprechende Heizleistung zu erreichen, werden die Sonden ebenfalls parallel, außerhalb des Hauses, an einen Verteiler angeschlossen. Von dort führen dann wiederum zwei Leitungen, ein Vor- und ein Rücklauf, in das Gebäude zum Anschluss an die Wärmepumpe.



Quelle: Viessmann

Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren müssen bemessen werden. In Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens, den geologischen Schichten und des Heizwärmebedarfes des Hauses ergeben sich unterschiedliche Anforderungen. Bei den Erdsonden drücken sich die Unterschiede in laufende Meter Sonden und damit in Bohrmeter und Anzahl der Sonden aus. Bei Erdwärmekollektoren haben diese Faktoren Einfluss auf die erforderliche Fläche und damit auf die Zahl der Kreise und letztlich auf die laufenden Meter Rohr.

Die fertige Anlage zur Wärmeerschließung wird anschließend mit einem Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel befüllt. Das Gemisch wird als **Sole** bezeichnet und besteht zu 70% aus Wasser und zu 30% aus dem Frostschutzmittel. Vergleichbar ist die Sole mit der Flüssigkeit im Kühlersystem eines Autos. Das Frostschutzmittel in der Sole muss besondere Anforderungen zum Schutz des Bodens und des Grundwassers erfüllen. Nach der Befüllung des Rohrsystems mit der Sole muss das System entlüftet werden, um den einwandfreien Betrieb der Wärmepumpe zu gewährleisten.

Der Frostschutzmittelanteil ist notwendig, damit die Sole nicht einfriert, auch wenn sie unter 0° C abgekühlt wird. Um die Wärmepumpe und das System vor Frostschäden zu schützen, ist Frostsicherheit bis -10°C Soletemperatur zu gewährleisten.

2.3.1.4 Grundwasser

Grundwasser ist in Deutschland mehr oder weniger gut erreichbar und eignet sich als Energiequelle besonders gut. Denn, das Grundwasser hat nahezu gleich bleibende Temperaturen und kann deshalb ca. 80% der Energiemenge, die zum Beheizen eines Gebäudes erforderlich ist, liefern. Die restlichen 20% sind elektrischer Strom, den man für den Antrieb des Kompressors der Wärmepumpe benötigt.

Um Grundwasser zu erschließen, ist ein Brunnen zu errichten, der die Wärmepumpe mit dem Wasser in der benötigten Menge versorgt. Dieser Brunnen wird **Zapfbrunnen** genannt. Die Wärmepumpe kühlt das Wasser ab, um damit die Energiemenge zu gewinnen, die für die Beheizung des Gebäudes benötigt wird.

Das abgekühlte Wasser wird über einen zweiten Brunnen dem Grundwasser wieder zugeführt. Diesen Brunnen nennt man **Schluckbrunnen**.

Projekt Wärmepumpe



Quelle: Wärmepumpen-Marktplatz NRW

Die Wärmepumpe entnimmt dem Grundwasser also nur Wärme, verändert aber nicht den Grundwasserspiegel und die Qualität des Grundwassers.

Zu beachten ist jedoch, dass das Grundwasser in seiner chemischen und physikalischen Zusammensetzung für den Wärmetauscher in der Wärmepumpe geeignet sein muss und die Funktion des Schluckbrunnens nicht beeinträchtigt. Deshalb ist vor der Planung einer derartigen Wärmepumpenanlage dringend eine ausführliche Wasseranalyse einzuholen und das Ergebnis der Analyse mit dem Hersteller der Wärmepumpe abzustimmen.

Aus den genannten Gründen ist das Grundwasser nur bedingt verwendbar und wird in der Praxis nicht sehr häufig eingesetzt.

Wichtige Parameter:

- Wassermenge $[240 \frac{l}{h \cdot kW(\text{Heizleistung})}]$
- Wassergüte [Eisen, Mangan und Nitrat schränken die Eignung ein]
- Tiefe des Brunnens [Grundwasserspiegel]

2.3.1.5 Außenluft

Auch die Luft ist energiereich genug, um als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt zu werden.

Luft kann man ebenfalls nicht direkt verwenden. Man muss die in ihr enthaltene Energie erst erschließen. Natürlich wieder mit einem Wärmetauscher und zwar direkt mit dem Verdampfer. Die Luft wird durch den Verdampfer geleitet. Dafür sorgt ein Ventilator, der den Verdampfer mit ausreichender Luftmenge versorgt, damit das Kältemittel die für die Beheizung erforderliche Energiemenge der Luft entziehen kann. Für eine Heizleistung von 10 kW ist eine Luftmenge von ca. 4.000 m³/h erforderlich.

Die übrigen Komponenten entsprechen wiederum den vorher beschriebenen, also Kompressor, Kondensator und Expansionsventil.

Projekt Wärmepumpe

Für die Nutzung der Außenluft als Energiequelle werden zwei unterschiedliche Gerätearten angeboten:

- Eine Geräteart wird außen aufgestellt. Es sind lediglich die Rohrverbindungen für den Heizungsvor- und -rücklauf und die Stromversorgung herzustellen. Alle anderen Komponenten sind in dem Gerät betriebsfertig integriert. Bei der Wahl des Standortes ist darauf zu achten, dass die Auflagen der TA Lärm erfüllt werden.
- Eine zweite Gerätevariante ist für die Innenaufstellung konzipiert. Bei dieser Lösung ist jeweils ein Luftkanal vorzusehen, um das Gerät mit Außenluft zu versorgen und ein zweiter, um die abgekühlte Luft wieder nach außen zu leiten. Die Luftein- und -auslässe müssen so geplant werden, dass ein Kurzschluss zwischen der anzusaugenden und der abgekühlten Luft vermieden wird.

2.3.2 Betriebsarten

Wärmepumpen werden mit unterschiedlichen Betriebsarten geplant. Man unterscheidet zwischen

- monovalent,
- monoenergetisch,
- bivalent.

2.3.2.1 Monovalenter Betrieb

Unter monovalentem Betrieb versteht man eine Heizungsanlage, die nur von einem Wärmeerzeuger mit nur einem Energieträger versorgt wird. Der Wärmeerzeuger kann ein Öl- oder Gaskessel sein, es kann aber auch eine Wärmepumpe zum Einsatz kommen.

2.3.2.2 Monoenergetischer Betrieb

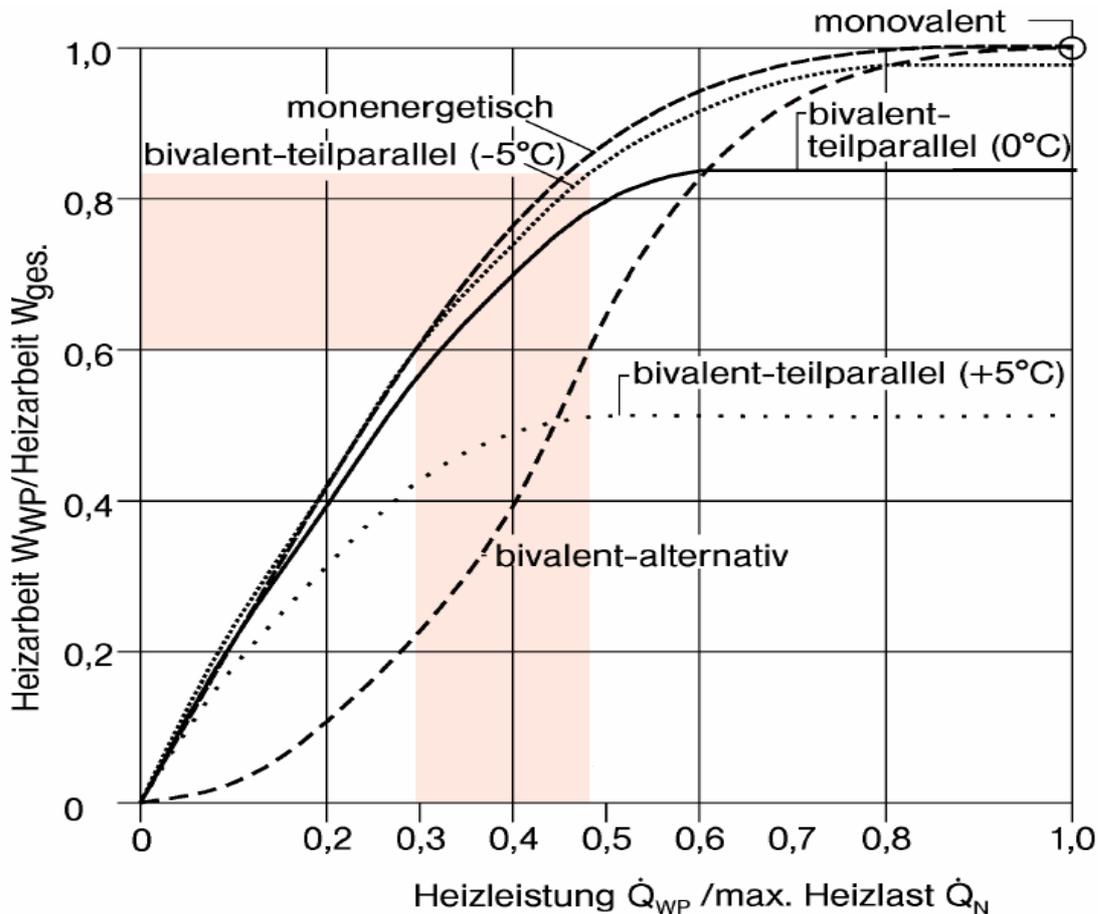
Monoenergetischer Betrieb bedeutet, dass nur ein Energieträger verwendet wird, aber mehr als ein Wärmeerzeuger eingesetzt ist. Das kann zum Beispiel eine Wärmepumpe sein, die durch ein zusätzliches elektrisches Heizregister unterstützt wird.

2.3.2.3 Bivalenter Betrieb

Bei bivalentem Betrieb werden mindestens zwei Wärmeerzeuger eingesetzt, die unterschiedliche Energieträger verwenden. Im Zusammenhang mit dem Einsatz einer Wärmepumpe kann es sinnvoll sein, vor allem bei Großanlagen und in der Sanierung von älteren Gebäuden, dass die Wärmepumpe die Deckung der Grundlast übernimmt und zum Beispiel ein Gas- oder Ölkessel für die Spitzenlast eingesetzt wird.

Wird die Wärmepumpe, z.B. eine Luft-Wasser-Wärmepumpe, bis zu Außentemperaturen von 0°C eingesetzt und dann der Ölkessel zugeschaltet, spricht man von einem **bivalent/teilparallelem** Betrieb. Wird bei dem gleichen Beispiel die Wärmepumpe abgeschaltet, wenn der Ölkessel in Betrieb geht, nennt man das einen **bivalent/alternativen** Betrieb.

Projekt Wärmepumpe



Quelle: RWE-Bauhandbuch

Beispiele für die Nutzung der Kurven

Beispiel 1

Eine Wärmepumpe soll monoenergetisch eingesetzt werden, also mit Unterstützung durch eine elektrische Heizpatrone. Die Wärmepumpe deckt 80% der Heizlast, die E-Heizpatrone also 20%.

$$\text{Das entspricht } \frac{\dot{Q}_{WP}}{\dot{Q}_N} = 0,8.$$

Bei diesen Verhältnissen weist die Kurve für den monoenergetischen Betrieb aus, dass der Anteil, den die Wärmepumpe übernimmt >99% der Jahresheizarbeit ist.

Beispiel 2

Für die Modernisierung einer Heizungsanlage soll eine Wärmepumpe eingesetzt werden. Das Wärmeverteilsystem ist für den Temperaturbereich 70/50 ausgelegt und es soll eine Luft-Wasser-Wärmepumpe zum Einsatz kommen. Man entscheidet sich daher für den teilparallelen Betrieb. Der Bivalenzpunkt soll bei 0°C liegen. Die Wärmepumpe soll 50% der Heizlast übernehmen.

$$\text{Das entspricht } \frac{\dot{Q}_{WP}}{\dot{Q}_N} = 0,5.$$

Die Kurve weist aus, dass die Wärmepumpe einen Anteil von >80% der Jahresheizarbeit übernimmt und die Anlage kann deshalb entsprechend kosten- und umweltschonend betrieben werden.

Projekt Wärmepumpe

2.3.3 Umweltaspekte

Wie bereits beschrieben, nutzen Wärmepumpen in der Heiztechnik überwiegend Umweltwärme, die von der Natur kostenlos zur Verfügung gestellt wird. Überdies erneuert sich die Umweltwärme ganz natürlich, so dass ihre Nutzung keine Belastungen verursacht.

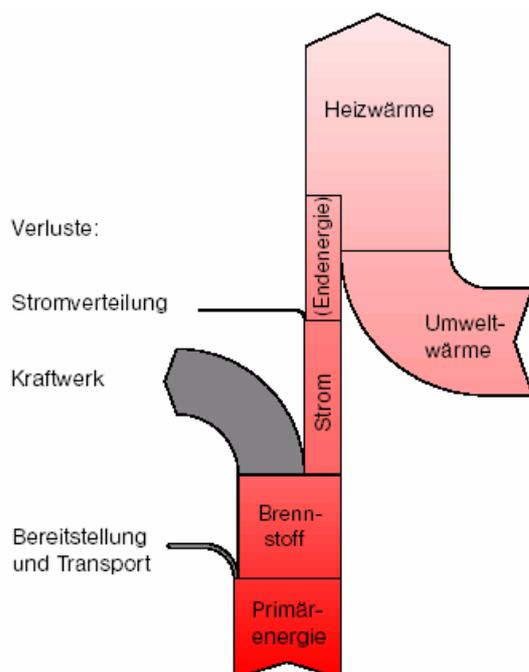
Schön wäre es, wenn man sagen könnte, Wärmepumpen arbeiten deshalb schadstofffrei. Das ist aber leider nicht der Fall, denn für den Antrieb der Wärmepumpe wird Strom benötigt. Vorteilhaft ist jedoch, dass der Stromanteil, im Verhältnis zur Energiemenge die für die Beheizung eines Gebäudes benötigt wird, entsprechend gering ist.

In Abhängigkeit des Systems liefert die Umwelt für 100% Heizleistung folgende Anteile:

Grundwasser	ca. 80%
Erdreich	ca. 75%
Außenluft	ca. 65%.

Im Umkehrschluss bedeutet das, dass der Strom in Bezug auf 100% Heizleistung nur einen Anteil zwischen 20% und 35% ausmacht.

Daraus zu folgern, dass Wärmepumpen die CO₂ Emissionen um bis zu 80% reduzieren, trifft aber leider nicht zu. Denn, man muss den Wirkungsgrad für die Stromerzeugung berücksichtigen. Das Ergebnis: Gegenüber Heizsystemen mit fossilen Brennstoffen können Wärmepumpen die CO₂ Emissionen immerhin um 30% und mehr reduzieren. Das ist ein bemerkenswerter Beitrag zur spürbaren Entlastung der Umwelt.



Projekt Wärmepumpe

Wagt man jedoch einen Blick in die nähere Zukunft, so steigt das CO₂ Einsparpotential der Wärmepumpe deutlich. Der Anteil der regenerativ erzeugten Strommenge vergrößert sich ständig u.a. durch die steigende Zahl von Windkraft- und Fotovoltaikanlagen. Aber auch die verstärkte Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung trägt zur positiven Veränderung bei. Eine ganz besondere Bedeutung gewinnt in dem Energiemix der Zukunft aber die Tatsache, dass im Laufe der nächsten 20 Jahre der heutige Kohlekraftwerkspark erneuert werden muss. In NRW ist bereits ein Kraftwerk im Bau, das Wirkungsgrade von 46% und mehr erreichen wird. Die Planungen weiterer Kraftwerke gehen von noch höheren Wirkungsgraden aus.

Ein weiterer wichtiger Aspekt – und das gilt sowohl für die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe, als auch für ihre Umweltfreundlichkeit – sind die technischen Rahmenbedingungen unter denen die Wärmepumpe zu arbeiten hat. Dabei spielen die Temperaturverhältnisse eine ganz entscheidende Rolle.

Das bedeutet, dass einerseits die Wärmequellentemperatur zu berücksichtigen ist und andererseits auch die Temperatur in der Wärmenutzungsanlage (sprich im Heizkreis) die Parameter beeinflusst. Die Effektivität der Wärmepumpe wird nämlich von dem Temperaturhub (der Temperaturdifferenz) zwischen diesen beiden Faktoren bestimmt. Je geringer der Temperaturhub, umso höher die Effektivität.

Der Wert der Effizienz einer Wärmepumpe wird mit COP (Coefficient Of Performance) bezeichnet. Entsprechend der oben dargestellten Energiemengen, die als Umweltwärme zur Verfügung stehen, ist auch der COP der einzelnen Systemlösungen unterschiedlich. Es leuchtet sicherlich ein, dass eine Wärmepumpe, die Grundwasser als Energiequelle nutzt, einen höheren COP erzielt, als eine Sole-Wasser-Wärmepumpe und diese wiederum einen besseren Wert erreicht, als eine Luft-Wasser-Wärmepumpe.

In Abhängigkeit einzelner Fabrikate und Typen bewegen sich die COP-Werte meistens in folgender Bandbreite:

Wärmequelle	Quellen- / Vorlauftemperatur	COP
Wasser / Wasser	10 / 35	5,1 – 5,4
Sole / Wasser	0 / 35	4,2 – 4,6
Luft / Wasser	2 / 35	3,0 – 3,4

Genauere Auskunft geben die Unterlagen der Hersteller. Aber auch diese berücksichtigen veränderte Temperaturbedingungen der Wärmequelle und die erforderliche Vorlauftemperatur.

2.3.4 Entscheidung

In dem Beratungsgespräch hat der Kunde Meier seine Vorstellungen formuliert. Er möchte eine Wärmepumpe mit größtmöglicher Effizienz und eine zeitgemäße, moderne Heizungsanlage mit hohem Komfort.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, kommt nur eine Sole-Wasser-Wärmepumpe in Frage, denn das Grundwasser ist für den Betrieb einer Wärmepumpe nicht geeignet, da es Eisen und Mangan enthält. Außerdem stellt der Kunde sehr hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Systems.

Projekt Wärmepumpe

Da für den Kunden die Effizienz an oberster Stelle seiner Wünsche steht, scheidet eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ebenfalls aus. Zur Erfüllung dieses Anspruches ist außerdem ein Wärmeverteilsystem zu wählen, das mit möglichst niedrigen Vorlauf-temperaturen zu betreiben ist. Deshalb ist eine Flächenheizung zu planen - in unserem Fall eine Fußbodenheizung.

Der Kunde wünscht eine zentrale Versorgung mit warmem Wasser. Hierfür ist ein entsprechendes Speichersystem einzusetzen. Die Wahl fällt auf einen Speicher mit innen liegendem Wärmetauscher.

Bei dieser Konstellation kann auf einen Pufferspeicher verzichtet werden. Die Fußbodenheizung bietet ein entsprechend großes Volumen an Heizungswasser, so dass die Gefahr des Taktens nicht gegeben ist. Dafür sollte jedoch weitgehend auf eine raumabhängige Regelung der Heizungsanlage verzichtet werden.

Bei der Auslegung der Wärmepumpe kann auf Zuschläge für Sperrzeiten des EVU verzichtet werden, da die Fußbodenheizung genügend Speichermasse bietet, um die Sperrzeiten überbrücken zu können.

2.4 Wahl des Warmwasserspeichers

2.4.1 Wahl der Warmwasserbereitung

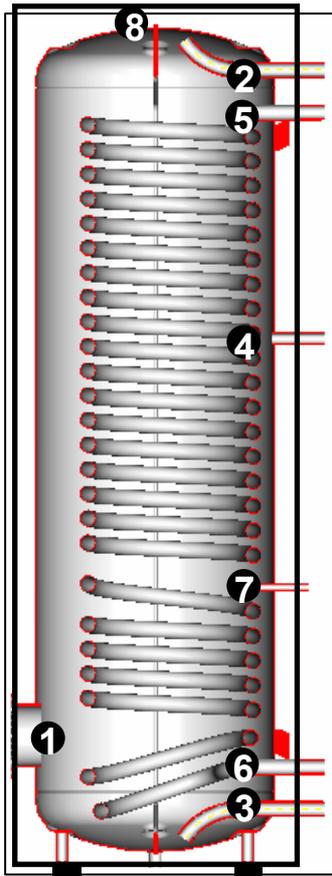
Besonderes Augenmerk ist auf die Wahl der Warmwasserbereitung zu richten. Da sich mit der Wärmepumpe eine maximale Vorlauftemperatur von 55 - 65 °C erzielen lässt, sind Systeme zu nutzen, die diese Temperatur mit möglichst geringen Verlusten auf das Brauchwasser übertragen. Deshalb müssen die Wärmetauscher der Speichersysteme entsprechend großzügig dimensioniert sein. Bei der Auswahl des Warmwasserbereiters sind der zu erwartende Warmwasserbedarf (Speichervolumen), die Heizleistung der Wärmepumpe und die Wärmeübergangsleistung des Wärmetauschersystems zu berücksichtigen.

Nachfolgende Systemlösungen bieten sich an:

2.4.1.1 Indirekt beheizte Speicher mit innen liegendem Wärmetauscher:

Um mit der Wärmepumpe einen störungsfreien Betrieb der Warmwasserbereitung zu gewährleisten, ist überschlägig eine Tauscherfläche von ca. 1 m² pro 3 kW Heizleistung der Wärmepumpe zu veranschlagen. Ist die Wärmetauscheroberfläche zu klein dimensioniert, können niedrige Warmwassertemperaturen (und damit eine erhöhte Anforderung der Wärmepumpe für Warmwasserbereitung) oder eine Störabschaltung der Wärmepumpe über den Hochdruckpressostat die Folge sein.

Projekt Wärmepumpe

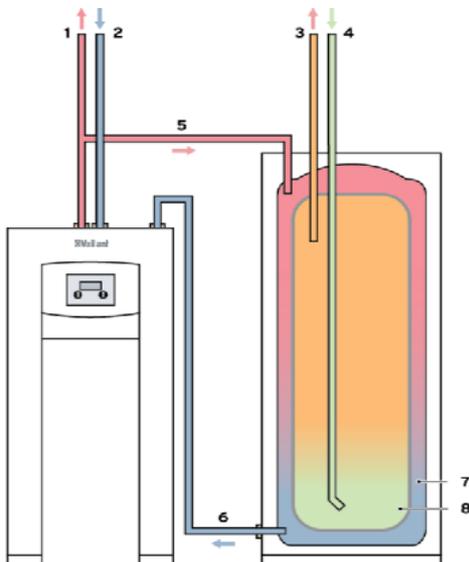


- 1 Revisionsöffnung
- 2 Warmwasseranschluss
- 3 Kaltwasseranschluss
- 4 Zirkulationsanschluss
- 5 Heizungsvorlauf
- 6 Heizungsrücklauf
- 7 Tauchhülse für Heizungsfühler
- 8 Magnesium-Schutzanode

Bild: Schnitt eines Indirekt beheizten Speichers
Quelle: Vaillant

2.4.1.2 Doppelmantelspeicher:

Als Warmwasserbereiter eignet sich ein spezieller Doppelmantelspeicher mit hohem Wasservolumen im Heizungskreisbehälter (Primärvolumen) besonders gut, denn er bietet eine große Oberfläche zwischen dem Heizungs- und dem Brauchwasser. Damit können sehr gut hohe Temperaturen des Brauchwasserbehälters (Sekundärvolumen) erzielt werden.



- 1 Vorlauf Heizung
- 2 Rücklauf Heizung
- 3 Warmwasser
- 4 Zulauf Kaltwasser
- 5 Vorlauf Wärmepumpe (zum Warmwasserspeicher)
- 6 Rücklauf Wärmepumpe
- 7 Äußerer Speicher (Primärvolumen)
- 8 Innerer Speicher (Sekundärvolumen)

Bild: Schnitt eines Doppelmantelspeichers
Quelle: Vaillant

Projekt Wärmepumpe

2.4.1.3 Multifunktionsspeicher:

Multifunktionsspeicher sind Pufferspeicher, die Heizungswasser speichern. Im Inneren des Speichers sorgt ein hochwertiges Edelstahl-Wellrohr für eine hygienische und keimfreie Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip. Die Multifunktionsspeicher können zusätzlich mit einem Solarwärmetauscher zur Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung ausgerüstet werden.

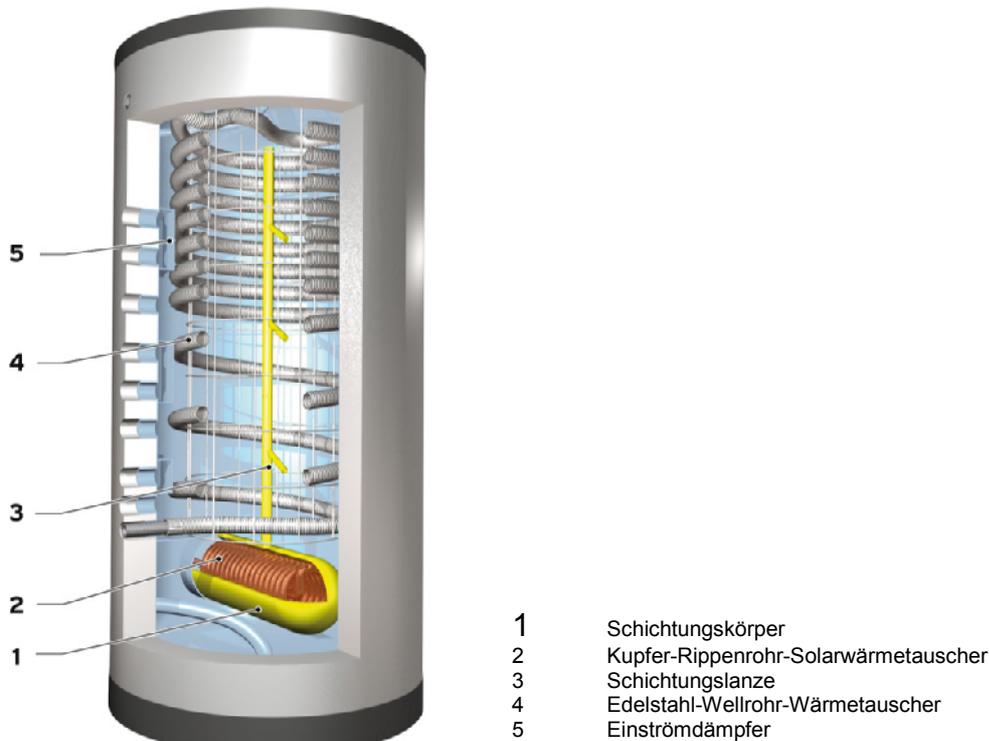


Bild: Schnitt eines Multifunktionsspeichers
Quelle: Vaillant

2.4.1.4 Warmwasser-Wärmepumpe:

Bei der Entkopplung von Heizungs- und Warmwasseranforderungen durch eine Warmwasser-Wärmepumpe erfolgt während der Sommermonate auf Grund der höheren Lufttemperatur die Warmwasserbereitung mit höherer Wirtschaftlichkeit. Durch das in der Warmwasser Wärmepumpe verwendete Kältemittel R 134a sind Warmwassertemperaturen von ca. 55 °C zu erzielen.

2.4.2 Auswahl

Die Hersteller bieten zur Auswahl Hilfsmaterial, z.B. eine Auswahlmatrix, an. Wir wählen im vorliegenden Fall:

Speichervolumen: 300l

Speichertyp: Indirekt beheizter Speicher mit innen liegendem Wärmetauscher

Projekt Wärmepumpe

2.4.2.1 Ermittlung der Zuschläge

Bei der Auslegung von Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden werden üblicherweise Zuschläge für Sperrzeiten bzw. die Warmwasserbereitung berücksichtigt. Diese können, je nach Hersteller, variieren und sind im Einzelfall mit diesem zu beurteilen.

In diesem Projekt wird folgender Zuschlag ausgewählt:

	Warmwasserbedarf bei Warmwassertemperatur 45 °C Liter/Tag pro Person	Spezifische Nutz- wärme in Wh/Tag pro Person	Empfohlener Heizlastzu- schlag für Trinkwasser- erwärmung kW/Person
Einfamilienhaus (mittlerer Bedarf)	50	ca. 2000	ca. 0,25

Bei der Bewohnerzahl von 4 Personen ergibt sich:

$$\begin{aligned} \text{Zuschlag} &= \text{Personenanzahl} * \text{Zuschlag} * \text{WW-Bedarf je Tag und Person} \\ &= \text{_____ Personen} * \frac{\text{kW}}{\text{Person}} \\ &= \text{_____ kW} \end{aligned}$$

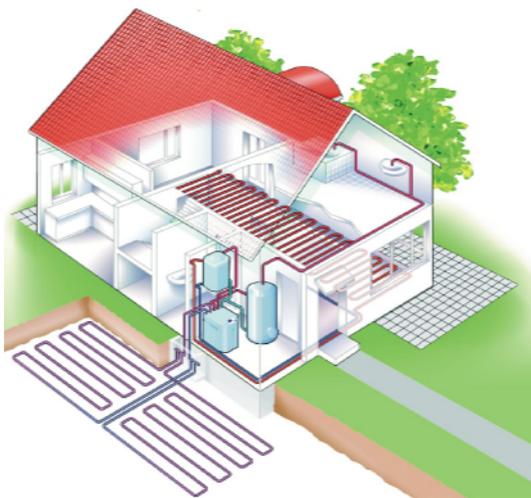
2.5 Berechnung der Wärmequelle

2.5.1 Ermittlung der Kälteleistung

Kälteleistung = Heizleistung – Leistungsaufnahme + Zuschlag WW

$$Q_K = Q_{WP} + \text{Zuschlag WW} - P_{WP}$$

2.5.2 Auslegung des Erdwärmekollektors



Quelle: Stiebel Eltron

Die Größe des Erdwärmekollektors hängt von der Kälteleistung der Wärmepumpe und von der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs ab. Unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit wird die erforderliche Größe des Erdwärmekollektors berechnet. Um dem Erdreich die Wärme zu entziehen, werden Kunststoffrohre HDPE in einer Tiefe von ca. 1,2 Meter in mehreren Kreisen im Erdreich verlegt. Die einzelnen Rohrkreise sollten eine Länge von 100 Meter nicht überschreiten, da sonst größere Umwälzpumpen mit einer höheren Leistungsaufnahme erforderlich sind. Der Verlegungsabstand zwischen den Rohren sollte min. 0,5 m betragen. Die Fläche darf nicht überbaut werden. Erdwärmekollektoren müssen bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde angezeigt werden.

2.5.3 Entzugsleistung des Erdwärmekollektors

- bei trockenem nicht bindigem Boden
 $q_E = 10-15 \text{ W/m}^2$
- bei feuchtem bindigem Boden
 $q_E = 15-20 \text{ W/m}^2$
- bei sehr feuchtem bindigem Boden
 $q_E = 20-25 \text{ W/m}^2$
- bei wassergesättigtem Boden
 $q_E = 25-30 \text{ W/m}^2$
- bei Grundwasser führendem Erdreich
 $q_E = 30-40 \text{ W/m}^2$

Berechnung:

Kälteleistung = $Q_K = Q_{WP} - P_{WP} + \text{Zuschlag WW}$

$Q_K = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW} - \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW} + \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW}$

$Q_K = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW}$

Fläche = Q_K / q_E

Fläche = $\underline{\hspace{2cm}} \text{ W} / \underline{\hspace{2cm}} \text{ W/m}^2$

Fläche = $\underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$

Bei einem gewählten Rohrabstand von 0,6 m ergibt sich folgende Rohrlänge:

$\underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2 / \underline{\hspace{2cm}} \text{ m} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$

Das entspricht 6 Rohrkreisen je $\underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$ Länge.

Prüfung der Grundstücksfläche:

Grundstücksfläche: 400 m²
Grundfläche des Hauses: 12 m * 6 m

Projekt Wärmepumpe

Grundfläche der Garage: 5 m * 3 m
Grundfläche der Zufahrt: 6 m * 3 m
Grundfläche der Terrasse: 6 m * 4 m

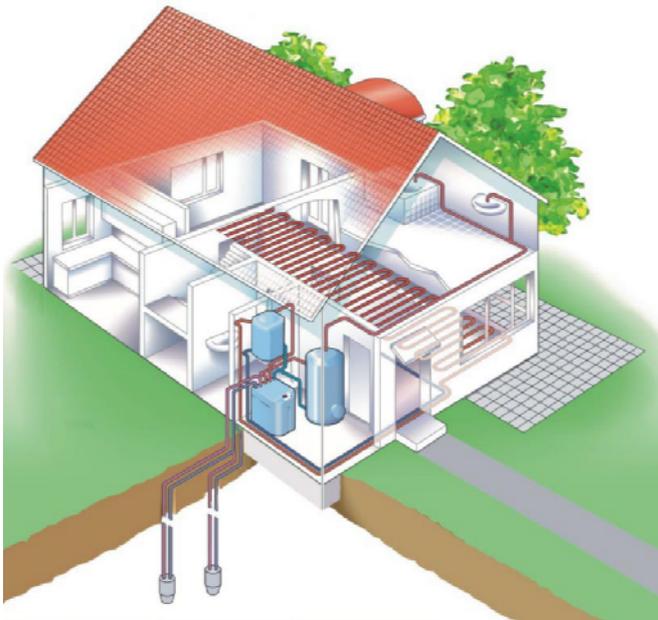
Verfügbare Fläche = Grundstücksfläche - Grundfläche des Hauses - Grundfläche der Garage - Grundfläche der Zufahrt - Grundfläche der Terrasse

$$= \text{_____ m}^2 - \text{_____ m}^2 - \text{_____ m}^2 - \text{_____ m}^2 - \text{_____ m}^2$$

Verfügbare Fläche = _____ m²

Daraus ergibt sich, dass die Grundstücksfläche nicht ausreicht.

2.5.4 Erdwärmesonde



Quelle: Stiebel Eltron

Erdwärmesonden bestehen aus einem Sondenfuß und „endlosen“ Sondenrohren (Rohrdurchmesser 25 x 2,3 mm bis 60 m Tiefe und 32 x 3 mm bis 150 m Tiefe).

Die Erdwärmesonde wird in eine vorbereitete Erdbohrung eingebracht. Nach Einführung der Rohre werden die Bohrungen mit einer Suspension (z.B. Betonit) verpresst. Diese muss nach Aushärtung eine dichte und dauerhaft physikalisch stabile Einbindung der Erdwärmesonde in das umgebende Gestein gewährleisten. Damit wird ein guter Wärmeübergang gewährleistet.

2.5.5 Entzugsleistung der Erdwärmesonde

- Untergrund mit hohem Grundwasserfluss 100 W/m
- Untergrund mit hoher Wärmeleitfähigkeit 80 W/m
- **Festgestein mit normalem Untergrund 55 W/m**
- Schlechter Untergrund, trockene Sedimente 30 W/m

Berechnung:

$$\text{Erdsondenlänge} = \frac{Q_k}{\text{Entzugsleistung Erdwärmesonde}}$$

$$\text{Erdsondenlänge} = \frac{W}{\frac{W}{m}} = 118 \text{ m}$$

Hier ist die Erdwärmesonden-Anlage auf _____ Bohrung(en) je _____ m aufzuteilen.

2.6 Wahl des Hydrauliksystems

2.6.1 Grundsätzliches zur Planung

Bei der Planung von Wärmepumpenanlagen ist eine Betriebsart mit möglichst niedrigen Vorlauftemperaturen zu wählen. Sie unterscheiden sich daher grundlegend von gas- oder ölbetriebenen Kesseln / Wandheizgeräten, die Vorlauftemperaturen von über 80 °C erzeugen können. Um den niedrigeren Vorlauftemperaturen der Wärmepumpe Rechnung zu tragen, muss die gesamte Heizungsanlage und Warmwasserbereitung darauf abgestimmt werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Bauteile der Wärmenutzungsanlage und deren Besonderheiten beim Einsatz in Verbindung mit einer Wärmepumpe erläutert.

2.6.2 Heizkreise

Um mit der Wärmepumpe eine hohe Jahresarbeitszahl erzielen zu können, ist das Ziel der Planung einerseits eine möglichst hohe Wärmequellentemperatur und andererseits eine möglichst niedrige Temperatur in der Wärmenutzungsanlage.

Projekt Wärmepumpe

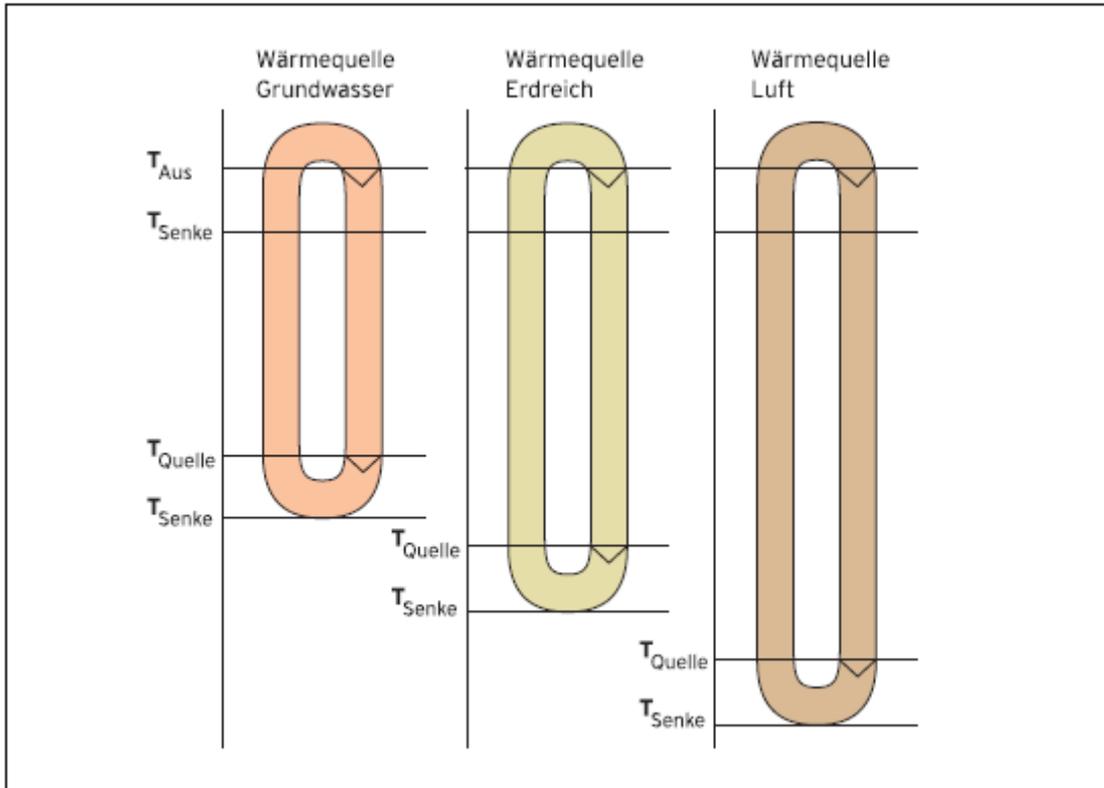


Bild: Darstellung des Temperaturhubs der Wärmequellen
Quelle: Vaillant

2.6.3 Einsatz von Flächenheizungen

Für die Kombination mit der Wärmepumpe haben sich Flächenheizungen, insbesondere Fußbodenheizungen, die mit Vorlauftemperaturen von 35 °C oder weniger bei tiefster Normaußentemperatur das Objekt beheizen, besonders bewährt. Um einen wirtschaftlichen Betrieb gewährleisten zu können, ist eine Spreizung von 7-8 K anzustreben. Wird die Wärmepumpe durch VNB (EVU)- Sperrzeiten vom Netz genommen und dadurch eine Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpe unterbrochen, ist im Unterschied zur Radiatorenheizung eine Pufferung von Wärmeenergie in einem gesonderten Pufferspeicher nicht notwendig, da der Estrich in Verbindung mit der Fußbodenheizung über ein ausreichendes Speichervolumen verfügt.

2.6.4 Besonderheiten bei Radiatorenheizungen

Wird der Einsatz einer Radiatorenheizung in Betracht gezogen, ist es wichtig, diese für möglichst niedrige Vorlauftemperaturen (z. B. max. 45 °C) auszulegen. Werden höhere Temperaturen als 55 °C benötigt, kann die Wärmepumpe nur in Verbindung mit einem zweiten Wärmeerzeuger betrieben werden. Es wird der monovalente/monoenergetische Betrieb der Wärmepumpe angestrebt, um die Heizungsanlage nicht noch mit der zusätzlichen Investition eines zweiten Wärmeerzeugers zu belasten. Im Sanierungsfall kann die Kombination einer Wärmepumpe mit einem bereits vorhandenen Wärmeerzeuger aber durchaus eine sinnvolle Kombination sein. Bei VNB (EVU)- Sperrzeiten ist ein Pufferspeicher für die Überbrückung dieser Zeiten mit einzuplanen.

2.7 Sonstige Bauteile

2.7.1 Elektro-Zusatzheizung

Elektro-Zusatzheizungen können zur Deckung von Spitzenlasten für die Beheizung und für die Warmwasserbereitung eingesetzt werden. Bei vielen Fabrikaten ist die Zusatzheizung bereits werksseitig integriert.

2.7.2 Hydraulische Weiche

Eine hydraulische Weiche ist nichts anderes als eine stark überdimensionierte Bypassleitung. Ähnlich wie beim Trennspeicher, wird bei der hydraulischen Weiche die Wärmepumpe von der Wärmenutzungsanlage hydraulisch getrennt (entkoppelt). Die Mindestumlaufwassermenge ist unabhängig von der Wärmenutzungsanlage sichergestellt. Auf der Nutzungsseite kann die Einzelraumregelung angewendet werden.

2.7.3 Pufferspeicher

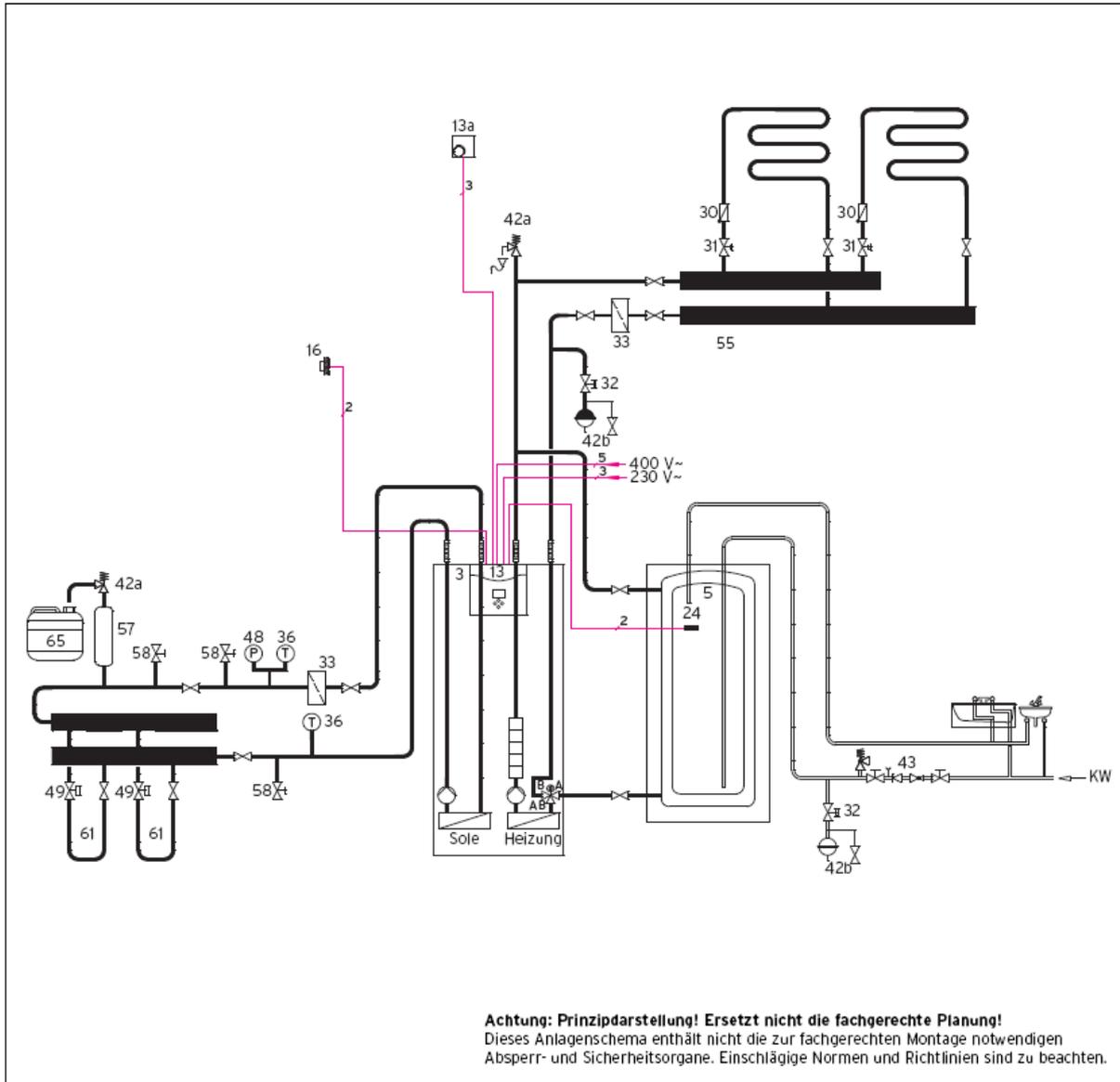
Pufferspeicher erfüllen in einer Wärmepumpenanlage prinzipiell vier Aufgaben:

- Überbrückung von Sperrzeiten der Energieversorgungsunternehmen, um eine kontinuierliche Wärmelieferung zu gewährleisten,
- Mindestlaufzeiten der Wärmepumpe werden bei Anlagen mit geringem Wasserumlauf erhöht,
- Gewährleistung der Mindestwasserumlaufmenge bei der Verschaltung des Pufferspeichers als Trennspeicher und
- Pufferung von Wärmeenergie für den Abtauvorgang des Verdampfers bei der Luft/Wasser Wärmepumpe.

2.7.4 Mischer

Mischer sollten in Verbindung mit einer Wärmepumpenanlage vermieden werden, da ansonsten der Jahresnutzungsgrad und damit die Wirtschaftlichkeit der Heizungsanlage leidet.

Projekt Wärmepumpe



Wärmepumpe kombiniert mit einer Fußbodenheizung und einem Warmwasserspeicher. Der Pufferspeicher entkoppelt die Wärmeerzeugung (Wärmepumpe) von der Nutzungsanlage (Fußbodenheizung) und versorgt die Fußbodenheizung in ev. vorhandenen Sperrzeiten.

Quelle: Vaillant

- | | |
|--|--------------------------------|
| 3 Wärmepumpe | 48 Druckanzeige |
| 5 Doppelmantelspeicher | 49 Durchfluss-Mengeneinsteller |
| 13 Energiebilanzregler | 55 Verteilerbalken |
| 13a Raumtemperaturregler | 57 Sole-Ausgleichsbehälter |
| 16 Außentemperaturfühler | 58 Füll- und Entleerungshahn |
| 24 Speichertemperaturfühler | 61 Solekreislauf |
| 30 Schwerkraftbremse | 65 Misch- und Auffangbehälter |
| 31 Regulierventil mit Stellungsanzeige | |
| 32 Klappenventil | |
| 33 Luftabscheider/Schmutzfilter | |
| 36 Temperaturanzeige | |
| 42a Sicherheitsventil | |
| 42b Ausdehnungsgefäß | |
| 43 Sicherheitsgruppe (Speicher) | |

3 Anfertigung eines Angebotes

Ein Angebot für eine Wärmepumpen Anlage sollte nach Möglichkeit folgende Positionen enthalten.

- Wärmepumpenanlage zugeschnitten auf die benötigte Heizleistung.
 - Angebot über eine Erdwärmesondenanlage inkl. Sonde, Befüllung, Verpressung und Einführung in den Aufstellraum oder
 - Angebot für Soleverteiler, Wärmeträgermedium, Erdarbeiten im Falle eines Erdkollektors sowie
 - Notwendige Anschlussarbeiten im Innen- und Außenbereich bei Einbau einer Luft-Wasser WP,
- Warmwasserbereiter passend zur angebotenen WP unter Berücksichtigung der Personenzahl,
- Berücksichtigung der elektrotechnischen Anschlüsse.

4 Ermittlung der voraussichtlichen Betriebskosten

Ermittlung der voraussichtlichen Energiekosten

Grundlagen:

Vollbenutzungsstunden nach VDI 2067

Ort	Einfamilienhaus			Mehrfamilienhaus		
	WSchV 83	WSchV 95	EnEV	WSchV 83	WSchV 95	EnEV
Berlin	2063	1650	1403	1929	1543	1312
Bremen	2253	1802	1532	2107	1686	1433
Dresden	2220	1776	1510	2076	1661	1412
Dortmund	2131	1705	1449	1993	1594	1355
Frankfurt	2150	1720	1462	2110	1688	1435
Hannover	2180	1744	1482	2038	1630	1386
Hamburg	2349	1879	1597	2197	1758	1494
Köln	2051	1641	1395	1918	1534	1304
Kassel	2232	1786	1518	2087	1670	1419
Leipzig	2133	1706	1450	1994	1595	1356
München	2325	1860	1581	2174	1739	1478
Nürnberg	2611	2089	1775	2441	1953	1660
Stuttgart	2059	1647	1400	1925	1540	1309

Projekt Wärmepumpe

Jahresarbeitszahl der Heizungs-Wärmepumpe

Bivalenz-Punkt AT °C	Vorlauf-temperatur 35 °C			Vorlauf-temperatur 60 °C		
	Luft	Wasser	Sole	Luft	Wasser	Sole
-12	3,3	5,4	4,2	2,7	3,8	3,3
-10	3,4	5,5	4,3	2,8	3,9	3,4
-8	3,4	5,5	4,3	2,9	3,9	3,4
-6	3,4	5,5	4,3	2,9	3,9	3,4
-4	3,4	5,5	4,3	2,9	3,9	3,4
-2	3,5	5,5	4,4	3,0	4,0	3,4
0	3,6	5,5	4,4	3,1	4,1	3,5
+2	3,8	5,6	4,4	3,3	4,2	3,6
+4	4,0	5,6	4,4	3,5	4,3	3,7
+6	4,1	5,6	4,5	3,7	4,5	3,8
+8	4,1	5,6	4,5	3,7	4,5	3,8

Quelle: Vaillant

Jahresenergiebedarf:

- Heizung

$$\text{Jahresenergiebedarf}_{(\text{Heizung})} = \frac{\text{Heizlast} \cdot \text{Vollbenutzungsstunde n}}{\text{Jahresarbeitszahl}}$$

$$= \frac{\text{_____ m}^2 \cdot \text{_____ } \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot \text{_____ h}}{\text{_____}}$$

$$= \text{_____ kWh}$$

- Warmwasser

$$\text{Jahresenergiebedarf}_{(\text{Warmwasser})} = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot 365}{3,5}$$

$$= \frac{\text{_____ kg} \cdot \text{_____ } \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{_____ K} \cdot \text{_____}}{\text{_____}}$$

$$= \text{_____ kWh}$$

$$\Rightarrow \text{Gesamtenergiebedarf} = \text{_____ kWh} + \text{_____ kWh} = \text{_____ kWh}$$

Der Jahresenergiebedarf beträgt ca. _____ kWh.

Projekt Wärmepumpe

Die Stromversorgungsunternehmen (EVU) rechnen den Stromverbrauch der Wärmepumpen über einen separaten Stromzähler ab. Dieser Verbrauch wird zu einem Sondertarif (12,01 Ct/kWh) abgerechnet. Der zusätzliche Zähler kostet ca. 70 € an Gebühren im Jahr.

Jahres-Energiekosten = (Stromverbrauch x Energiepreis) + Zählergebühr

$$= (\text{_____ kWh} \times \text{_____ €/kWh}) + \text{___ €}$$

$$= \text{_____ €}$$

Bei den Betriebskosten sind Fixkosten, wie z.B. die Wartung, zu berücksichtigen, die jedoch niedriger sind, als bei einem Heizsystem mit Verbrennungssystemen.