

<b>A 1 Grundlagen</b>	
<b>Wärmepumpentechnik .....</b>	<b>2</b>
<b>A 1.1 Einführung .....</b>	<b>2</b>
<b>A 1.2 Funktionsweise .....</b>	<b>3</b>
<b>A 1.3 Verdichterbauarten .....</b>	<b>5</b>
<b>A 2 Planung.....</b>	<b>5</b>
<b>A 2.1 Dimensionierung der</b>	
<b>Wärmepumpe .....</b>	<b>5</b>
<b>A 2.1.1 Ermittlung des Wärmebedarfs .....</b>	<b>5</b>
<b>A 2.1.2 Heizleistung für</b>	
<b>Zusatzwärmebedarf .....</b>	<b>6</b>
<b>A 2.1.3 Abschaltzeiten.....</b>	<b>6</b>
<b>A 2.1.4 Faktor für die Betriebsweise .....</b>	<b>7</b>
<b>A 2.1.5 Heizungsanlagentemperatur .....</b>	<b>7</b>
<b>A 2.1.6 Wärmequellentemperatur .....</b>	<b>7</b>
<b>A 2.1.7 Beispiel für die Dimensionierung</b>	
<b>einer Sole – Wasser – Wärmepumpe .....</b>	<b>8</b>
<b>A 2.2 Planung der Wärmequellenanlage.....</b>	<b>9</b>
<b>A 2.3 Planung der Wärmeverteilung .....</b>	<b>9</b>
<b>A 2.3.1 Fußbodenheizung.....</b>	<b>9</b>
<b>A 2.3.2 Selbstreglereffekt .....</b>	<b>9</b>
<b>A 2.3.4 Pufferspeicher.....</b>	<b>10</b>

# A 1 Grundlagen Wärmepumpentechnik

## A 1.1 Einführung

In Deutschland werden ca. 75% des Energiebedarfs im Haushalt allein für die Raumheizung benötigt. Für die Warmwasserbereitung sind es 14%, für den Antrieb von Hausgeräten 9% und für Beleuchtung nur 2% (Bild A 1.1.1). In den letzten Jahrzehnten wurden erhebliche Anstrengungen unternommen um den Gebäudewärmebedarf an neuen und bestehenden Häusern zu reduzieren. Die Wärmeschutzverordnung

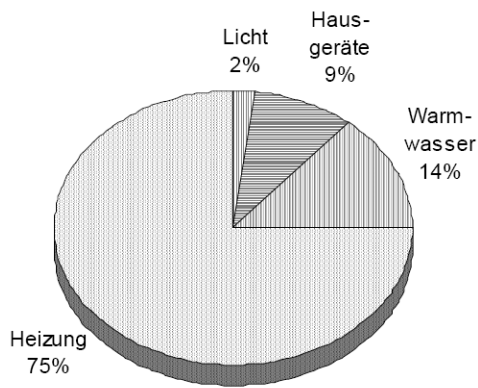


Bild A 1.1.1: Energieverbrauch im Haushalt Gebäudebestand

1995 führte dazu, dass der Gebäudewärmebedarf gegenüber der vorherigen Wärmeschutzverordnung um ca. 25% gesenkt wurde. Durch die Fortschreibungen der EnEV werden weitere Reduzierungen im Gebäudewärmebedarf erreicht.

Mit dieser Vorgabe werden in einem Neubau, der heute errichtet wird, immer noch 64% des Gesamtenergiebedarfs für die Heizung benötigt (Bild A 1.1.2). Das warme Wasser benötigt ca. 20%, die Hausgeräte ca. 13 %, das Licht ca. 3 %. In den letzten Jahren werden zunehmend mehr Anstrengungen unternommen um einen Teil des Energiebedarfs durch regenerative Energien zu decken.

So werden für die Warmwasserversorgung im zunehmenden Maße solarthermische Anlagen, vor allem in Einfamilienhäusern installiert, die ca. 50 – 60% des Warmwasserbedarfs eines Haushaltes bereitstellen können. Bedenken wir aber, dass nur ca. 20% des Energiebedarfs im Haushalt für die Warmwasserbereitung benötigt wird, ist mit der solarthermischen Anlage nur ca. 10% des Gesamtenergiebedarfs im Haushalt (Wärmeschutzverordnung 1995) regenerativ bereit zu stellen. Der Löwenanteil mit ca. 64 % für die Raum

heizung wird weiterhin durch fossile Energieträger wie Öl, Gas oder andere Brennstoffe erzeugt.

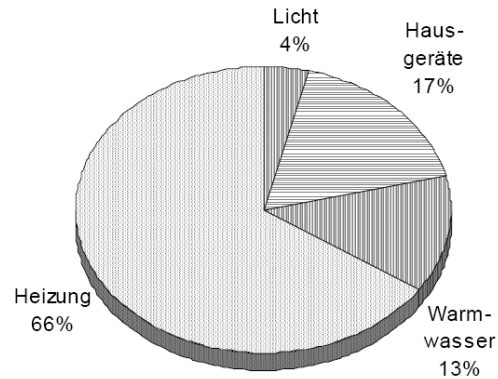


Bild A 1.1.2: Energieverbrauch im Haushalt Neubau nach EnEV

Einen regenerativen Anteil für die Heizung bereitzustellen, ist mit den solarthermischen Anlagen ohne großen technischen Aufwand nicht möglich. Es gibt vor allem Probleme mit der Deckungsgleichheit von Energiebedarf und Energieangebot. Immer dann, wenn ein sehr geringes Energieangebot an Sonnenstrahlung vorhanden ist, muss naturgemäß viel geheizt werden, weil dann die Außentemperaturen in der Regel sehr niedrig sind. Aus diesem Grunde leisten Solaranlagen nur einen sehr geringen Beitrag zur Beheizung eines Gebäudes.

Um das zu ändern, müssten große Speicher gebaut werden, um überschüssige Solarwärme im Sommer in diesen Speicher einzubringen, die im Winter für die Heizung genutzt werden könnte. Versuchsanlagen mit diesem Hintergrund wurden im letzten Jahrzehnt vermehrt erstellt. Die Anlagen führen zu erheblichen Mehrkosten und reichen trotzdem nicht aus, um den Gebäudewärmebedarf vollständig zu decken.

75 % Umweltenergie + 25 % Strom = 100 % Heizenergie

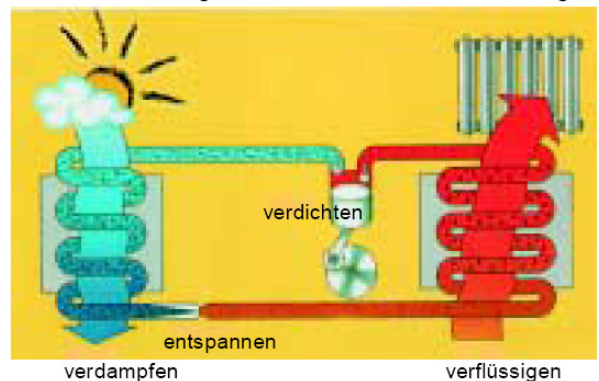


Bild A 1.1.3: Funktionsschema einer Wärmepumpe

Die Wärmepumpe bietet hier viel weitergehende Möglichkeiten. Mit der Wärmepumpe kann auf Grund physikalischer Gesetzmäßigkeiten aus einem Medium mit einer relativ tiefen Temperatur Wärme entzogen werden und auf einem höheren Temperaturniveau zum Beispiel an das Heizsystem abgegeben werden. (Bild A 1.1.3)

So nutzt die Wärmepumpe zum Beispiel im Erdreich auf natürliche Weise gespeicherte Sonnenwärme für die Heizung und für die Warmwasserversorgung und kann damit ca. 60% des Energiebedarfs zum Beispiel eines Einfamilienhauses regenerativ bereitstellen. Für den Antrieb der Wärmepumpe werden insgesamt ca. 23% (16% für die Heizung und 7 % für die Warmwasserversorgung) benötigt. (Bild A 1.1.4)

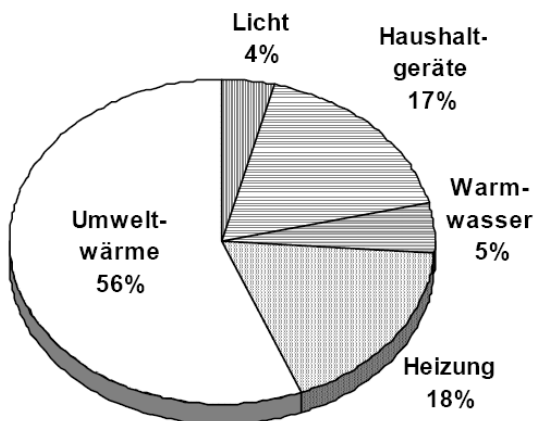


Bild A 1.1.4: Energieverbrauch im Haushalt Neubau mit Wärmepumpe EnEV

Damit wird gezeigt, dass mit einer Wärmepumpenheizungsanlage ein wesentlich größerer Beitrag zur Nutzung regenerativer Energie geleistet werden kann, als mit jeder anderen Technik wie zum Beispiel einer solarthermischen Anlage.

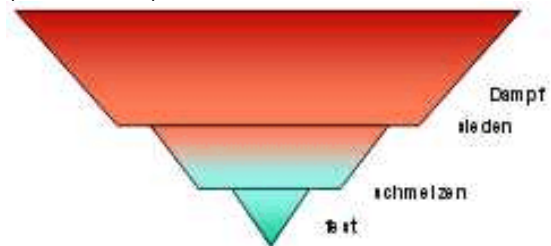
## A 1.2 Funktionsweise

In der Natur finden wir eine Vielzahl von unterschiedlichsten Stoffen, denen jedoch eines gemeinsam ist. Sie haben alle einen absoluten Nullpunkt, was den Wärmeinhalt angeht. Bei einer Temperatur von  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ , das entspricht 0 Kelvin, ist die Molekularbewegung gleich Null. Das bedeutet, dieser Stoff ist fest und hat keinen Wärmeinhalt. Es kann keine weitere Wärme entzogen werden. Mit einer Wärmezufuhr wird bei jedem Stoff irgendwann der Punkt erreicht, bei einem früher, beim anderen später, wo er zu schmelzen beginnt. Um den Stoff zu schmelzen, muss dann erheblich mehr Wärme zugeführt werden, um den Schmelzvorgang abzuschließen, ohne dass sich die Temperatur des Stoffes in diesem Zeitpunkt erhöhen würde. Ist

der Schmelzvorgang abgeschlossen, ist der Stoff also flüssig, wird wieder durch weitere Wärmezufuhr eine

Temperaturerhöhung des Stoffes erreicht. Bis zu einer nächsten Grenze, die auch bei jedem Stoff vorhanden

ist, dem Siedepunkt. In diesem Punkt wird der Stoff unter Zufuhr einer erheblich größeren Menge Wärme von der flüssigen in die dampfförmige Phase übergeleitet, ohne dass die Temperatur in dieser Siedephase erhöht würde. Erst wenn der Stoff völlig verdampft ist, kann die Dampftemperatur weiter ansteigen (Bild A 1.2.1).



In absoluten Zahlen gesehen, können wir am Beispiel Wasser einmal festmachen, wo der Hauptvorteil dieser verschiedenen Aggregatzustände für die Wärmepumpe zu finden ist. Um ein Kilogramm Wasser von dem absoluten Nullpunkt auf Null Grad zu erwärmen, also das Eis auf Null Grad zu erwärmen, müssen dem Eis ca. 590 KJ zugeführt werden. Um das Eis mit  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  in Wasser mit  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  zu überführen müssen 334 KJ zugeführt werden. Um das Wasser von  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  zu erwärmen, muss dem Kilogramm Wasser noch einmal 419 KJ zugeführt werden, um den Siedepunkt bei 100 Grad zu erreichen. Im Siedepunkt muss, um den Siedevorgang abzuschließen, bei konstanter Temperatur 2257 KJ zugeführt werden, um 1 kg Wasser vollständig von der flüssigen in die dampfförmige Phase zu überführen (Bild A 1.2.2). Um einen Stoff bei konstanter Temperatur zu verdampfen, muss also sehr viel Wärmeenergie zugeführt werden.

Diese große Wärmemenge bei der Verdampfung wird bei der Wärmepumpe zur Nutze gemacht. Bei der Verdampfung des Kältemittels im Verdampfer wird eine sehr große Wärmemenge aufgenommen, um das Kältemittel von der flüssigen in die dampfförmige Phase zu überführen. Umgekehrt wird bei der Verflüssigung im Verflüssiger eine sehr große Menge über den Verflüssiger an das Heizsystem abgegeben.

Bei der Wärmepumpe besteht gegenüber dem Beispiel mit Wasser nur ein geringfügiger Unterschied. Dieser Vorgang wird nicht mit Wasser durchgeführt, sondern mit einem Stoff, der bei sehr niedrigen Temperaturen bereits verdampft wie zum Beispiel Propan. Propan hat bei  $-42,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  bereits den Siedepunkt. Bei Umgebungsdruck würde Propan bei dieser Temperatur sieden und würde durch weitere Zufuhr von Wärme vollständig verdampfen. Um nun die Wärmepumpe mit unterschiedlichen Temperaturen bei der Verdampfung und bei der Verflüssigung betreiben zu können, müs-

sen wir uns einer weiteren physikalischen Gesetzmäßigkeit widmen.

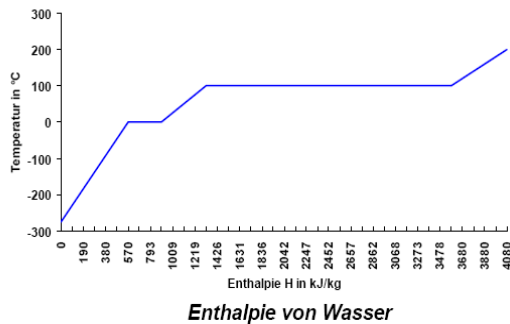


Bild A 1.2.2: Wärmehalt von Wasser

Der Siedepunkt eines Stoffes ist neben der Temperatur auch vom Druck abhängig. Zum Beispiel Wasser hat seinen Siedepunkt bei 100 Grad bei einem Druck von etwa 1 bar, dies ist etwa der Umgebungsdruck in der Atmosphäre. Wird dieser Druck verändert, ändert sich auch der Siedepunkt. Bei einem höheren Druck erhöht sich der Siedepunkt hin zu einer höheren Temperatur. Bei einem niedrigeren Druck verschiebt sich der Siedepunkt nach unten. Man kann zum Beispiel auch bei Kältemitteln wie Propan o. a. den Siedepunkt durch Erhöhung des Drucks nach oben und durch niedrigeren Druck nach unten verschieben (Bild A 1.2.3).

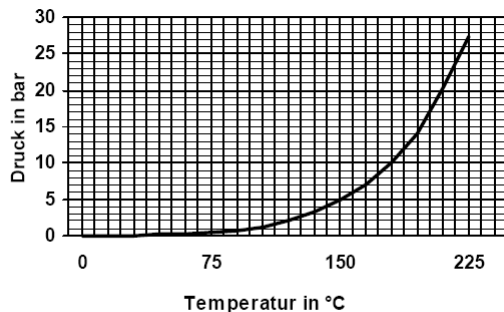


Bild A 1.2.3: Dampfdruckkurve von Wasser

Gehen wir davon aus, dass der wärmequellenseitige Wärmeträger eine Temperatur von 0 °C hat, so muss das Kältemittel eine Temperatur darunter annehmen, das heißt – 5 bis – 10 °C kalt sein um eine Wärmeübertragung von dem Wärmeträger auf das Kältemittel zu ermöglichen, da Wärme wie Wasser, nur von einem höheren Niveau zu einem tieferen Niveau fließen kann und nicht umgekehrt. Auf der anderen Seite muss die Temperatur des Arbeitsmittels oberhalb des Heizungswassers liegen, um wiederum auf der Heizungsseite den Temperaturfluss vom Kältemittel auf das Heizungswasser zu ermöglichen.

Um dies zu erreichen, wird der Druck des Kältemittels entsprechend verändert. Der Dampf aus dem Verdampfer wird von einem Verdichter angesaugt und auf ein höheres Druckniveau gepumpt, so dass die Ver-

flüssigungstemperatur oberhalb der Heizungswassertemperatur liegt. Mit dem Druck steigt auch die Tempera-

tur, so dass auch hier wieder Wärme von einem höheren auf ein niedrigeres Temperaturniveau fließen kann (Bild A 1.2.4).

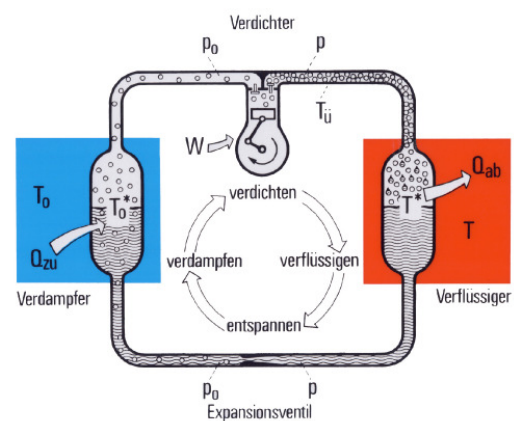


Bild A1.2.4: Kältekreis einer Wärmepumpe

In einem Expansionsventil wird unter dem Verflüssiger das Kältemittel wieder entspannt, so dass der Verdampfer wieder erneut Wärme aufnehmen kann. Vergleichbar ist der Kältekreis der Wärmepumpe mit jedem Kältekreis eines Kühlschranks (Bild 10). Im Kühlschrank gibt es einen Verdampfer, der aus dem Innenraum oder aus dem Eisfach Wärme entzieht, auf der Rückseite befindet sich ein Verflüssiger, der die Wärme an den Raum abgibt. Zur Wärmeaufwertung befindet sich ein Verdichter in diesem Kreislauf, der den kalten Kältemitteldampf auf ein höheres Druckniveau pumpt und damit die Verflüssigung des Kältemittels auf einem höheren Temperaturniveau erreicht.



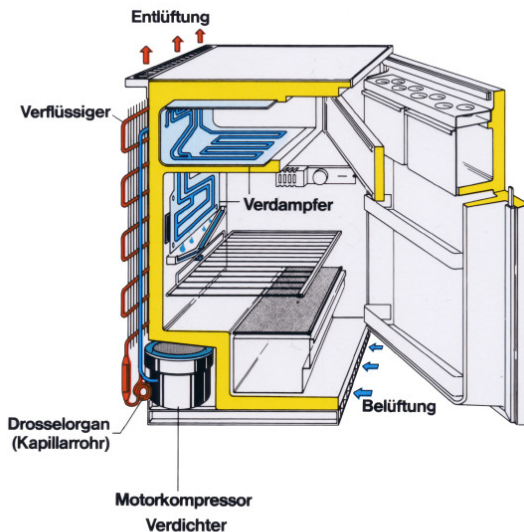


Bild A1.2.5: Kältekreis eines Kühlschranks

### A 1.3 Verdichterbauarten

In der Wärmepumpentechnik werden heute nur noch zwei Verdichterbauarten eingesetzt: der bewährte Hubkolbenverdichter und der neu entwickelte Scrollverdichter.

Beim Hubkolbenverdichter wird das Kältemittel durch die Auf und Ab Bewegungen eines Kolbens in einem Zylinder gefördert und verdichtet. Beim Scrollverdichter wird das Kältemittel durch zwei schneckenförmige Stahlelemente geführt, die in einer rotierenden Bewegung gegeneinander gerieben werden und dabei das Kältemittel fördern und verdichten.

Hubkolbenverdichter wurden in den vergangenen Jahren immer weiter optimiert. Vor allem der von Bristol vorgestellte Hubkolben Benchmark-Verdichter, der mit einer optimierten Strömung um ca. 10 bis 15% höhere Leistungszahlen ermöglicht, sorgte für Aufsehen in der Kälte- und Wärmepumpenbranche.

Im direkten Vergleich ist nicht ohne weitere Klärungen zu sagen, welcher Verdichtertyp vorteilhafter ist. Bei sehr niedrigen Heizwärmemetemperaturen hat ein Scrollverdichter leichte Vorteile gegenüber einem Hubkolbenverdichter. Werden jedoch höhere Temperaturen von zum Beispiel über 40 °C benötigt, ist der Hubkolbenverdichter erheblich im Vorteil. So ist die Leistungszahl einer Wärmepumpe mit Scrollverdichter beim Norm-Messpunkt B 0/W 35 zum Beispiel um ca. 2% (Typabhängig) höher als bei einem vergleichbaren Hubkolbenverdichter. Die Leistungszahl bei B 0/W 50 beim Hubkolbenverdichter ist um ca. 12% höher als beim Scrollverdichter.

## A 2 Planung

### A 2.1 Dimensionierung der Wärmepumpe

Die richtige Auslegung von der Wärmepumpe und der Wärmequellenanlage sichert eine einwandfreie Funktion und einen besonders wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpenanlage.

Für die Dimensionierung der Wärmepumpe muss der Gesamtwärmebedarf ermittelt werden und hierauf ist ein Zuschlag für die Abschaltzeiten und die Betriebsweise zu berücksichtigen.

#### Formel 1:

$$Q_{WP} = [Q_N + Q_Z] F_B \times F_A$$

$Q_{WP}$  = Wärmeleistung Wärmepumpe [KW]  
 $Q_N$  = Heizlast des Gebäudes [KW]  
 $Q_Z$  = Heizleistung für Zusatzwärmebedarf zum Beispiel Warmwasserbereitung [KW]  
 $F_B$  = Faktor Betriebsweise der Wärmepumpe (siehe nachstehende Tabelle Betriebsweise)  
 $F_A$  = Faktor Abschaltzeiten der Wärmepumpe (siehe nachstehende Tabelle Betriebsweise)

#### A 2.1.1 Ermittlung des Wärmebedarfs

Die benötigte Gesamtheizleistung für das Gebäude ( $Q_H$ ) setzt sich zusammen aus der Heizlast des Gebäudes ( $Q_N$ ) und falls vorhanden, einer Heizleistung für den Zusatzwärmebedarf ( $Q_Z$ ) zum Beispiel für Warmwasser oder Schwimmbadwasser.

#### Heizlast des Gebäudes

Die genaue Ermittlung der Gebäudeheizlast des zu beheizenden Objektes ( $Q_N$ ) erfolgt nach den jeweiligen gültigen internationalen Normen.

Deutschland:	EN 12831
Österreich:	ÖNORM 7500 (B 8135)
Schweiz:	SIA 380–1, SIA 384–2

Eine überschlägige Ermittlung des Wärmebedarfs in der Vorplanung kann auch über die zu beheizende Fläche erfolgen: Die spezifische Heizlast ( $q_N$ ) wird mit der Fläche ( $A$ ) multipliziert und ergibt so die ungefähre Gebäudeheizlast ( $Q_N$ ) inklusive Transmissions- und Lüftungswärmebedarf.

Hinweis: Dieses Verfahren ersetzt nicht die genaue Berechnung nach DIN 12831.

### Formel 2:

$$Q_N = (A \cdot q) / 1000$$

$Q_N$  = Heizlast des Gebäudes [KW]  
 $A$  = beheizte Fläche [m<sup>2</sup>]  
 $q_N$  = spezifische Heizlast pro m<sup>2</sup> [W/m<sup>2</sup>]

spezifische Heizlast von Gebäuden $q_N$ (Schätzwerte)	
Altbau ohne Wärmedämmung	120 W/m <sup>2</sup>
WSV 84	75 W/m <sup>2</sup>
WSV 95 bzw. EnEV 2002	50 W/m <sup>2</sup>
Niedrigenergiehaus	40 W/m <sup>2</sup>
Niedrigenergiehaus mit Lüftung	30 W/m <sup>2</sup>

Bei bestehenden Gebäuden, bei denen keine Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast vorliegt, oder bei denen nachträglich eine Reduzierung des Wärmebedarfs durch Wärmedämmung vorgenommen wurde, kann die Ermittlung der Wärmepumpenheizleistung, auch anhand des zurückliegenden durchschnittlichen Jahresöl- oder Gasverbrauchs vorgenommen werden. Hierfür sollte darauf geachtet werden, dass für diese Mittelwertbildung der Verbrauch mindestens der letzten fünf Jahre herangezogen wird, da andernfalls der Fehler wegen der möglicherweise starken klimatischen Unterschiede groß ist.

Die Berechnung erfolgt wie folgt:

Ölheizung:  $Q_N = \text{Heizölverbrauch in Liter}/250$   
 Gasheizung:  $Q_N = \text{Erdgasverbrauch in m}^3/220$

Ist die Heizungsanlage mit einer zentralen Warmwasserversorgung (zum Beispiel Kombikessel) ausgerüstet, so sind erfahrungsgemäß für die Bestimmung der Gebäudeheizlast auf der Grundlage des Öl- oder Gasbedarfs rund 10 bis 15 % von der jährlichen Brennstoffmenge für die Wassererwärmung abzuziehen.

#### Anmerkung:

Die Ermittlung des Wärmebedarfs über den Gasverbrauch ist nur als Orientierungsgröße zu verwenden, da der Wirkungsgrad gerade bei älteren Anlagen einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch hat. Der Bestimmung des Wärmebedarfs über die installierte Kessel- bzw. Brennerleistung ist abzuraten, da diese meistens überdimensioniert sind.

#### A 2.1.2 Heizleistung für Zusatzwärmebedarf

Für ggf. benötigten Zusatzwärmebedarf sind eventuell Zuschläge erforderlich. Ist eine Warmwasserbereitung mit der Heizwärmepumpe geplant und muss diese auch am kältesten Tag des Jahres mit der Wärmepumpe sichergestellt werden, muss ein Zuschlag von ca. 0,2 kW pro Person erfolgen.

Für Schwimmbäder sind folgende Zuschläge zu berücksichtigen:

#### a) Hallenschwimmbad

Für eine ungefähre Ermittlung des Wärmebedarfs des Beckenwassers kann ein Wärmeverlust von 100–150 W/m<sup>2</sup> Wasseroberfläche zugrunde gelegt werden.

In der Heizlastberechnung ( $Q_N$  Gebäude) ist bei Gebäuden mit Hallenschwimmbädern der Transmissionswärmebedarf und insbesondere ein erhöhter Luftwechsel zur Entfeuchtung zu berücksichtigen.

#### b) Freibad

Für die Beckenwassererwärmung eines Freibades in der heizfreien Zeit reicht in der Regel die vorhandene Heizleistung aus, die Wärmepumpe muss nicht mit zusätzlicher Leistung beaufschlagt zu werden. Bei besonderen Anforderungen zum Beispiel großer oder nicht abgedeckter Wasserfläche, oder bei Betrieb des Freibades in der Heizperiode, muss der Bedarf an zusätzlicher Heizleistung gesondert ermittelt und für die Auslegung der Wärmepumpe berücksichtigt werden.

#### A 2.1.3 Sperrzeiten

Sperrzeiten der Energieversorgungs-Unternehmen sind für die Dimensionierung der Wärmepumpen ebenfalls zu berücksichtigen.

Dies erfolgt über einen Zuschlagfaktor ( $F_A$ ) auf den Gesamtwärmebedarf ( $Q_G$ ).

Sperrzeit: 2h:  $F_A = 1.10$   
 3h:  $F_A = 1.15$   
 4h:  $F_A = 1.20$   
 6h:  $F_A = 1.25$

Im Allgemeinen reicht die Speichermasse, insbesondere die der Fußbodenheizung aus, die Sperrzeiten ohne Komforteinbußen zu überbrücken. Die Erfahrungen zeigen auch, dass knapp dimensionierte Anlagen meist wirtschaftlicher arbeiten, jedoch ist eine Dimensionierung ohne Berücksichtigung der Zuschläge nur nach schriftlicher Zustimmung mit dem Betreiber zulässig.

Für bivalent und monoenergetisch betriebene Wärmepumpenanlagen kann grundsätzlich der Zuschlag für die Sperrzeiten entfallen.

### A 2.1.4 Faktor für die Betriebsweise

Monovalent betriebene Wärmepumpenanlagen müssen so dimensioniert sein, dass sie auch am kältesten Wintertag die gesamte Gebäudeheizlast decken können. In diesen Anlagen sollte die Wärmepumpe möglichst genau dimensioniert werden, denn eine Überdimensionierung führt zu einer Verschlechterung der Jahresarbeitszahl. Aus diesem Grunde sollte möglichst die monoenergetische Betriebsweise gewählt werden.

Empfehlung für die Dimensionierung der Wärmepumpe (Faktor $F_B$ )		
monoenergetisch		1
monoenergetisch Sole o. Wasser	0,8-0,9	
monoenergetisch Luft	0,7-0,8	
bivalent	0,3-0,5	

Bei bivalenten Heizungsanlagen wird die Wärmepumpe wie aus oben stehender Tabelle ersichtlich ist auf 30 bis 50 % der Norm-Gebäudeheizlast ausgelegt.

Damit ist es möglich, den Wärmebedarf eines Gebäudes bis zu einer bestimmten Außentemperatur allein mit der Wärmepumpe zu decken. Somit ist eine exakte Dimensionierung der Wärmepumpenheizleistung nicht erforderlich. Durch die Dimensionierung des zweiten Wärmeerzeugers muss sichergestellt sein, dass die Norm-Gebäudeheizlast unabhängig von der gewählten Betriebsweise immer gedeckt ist.

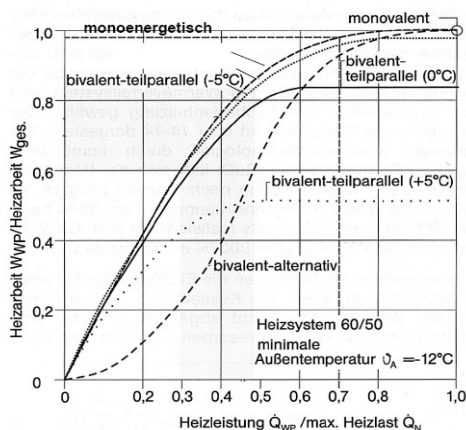


Bild A1.1 Wärmepumpenanteil an der Jahresheizleistung in Abhängigkeit von der Dimensionierung der Wärmepumpe

In Bild A 1.1 ist dargestellt, welchen Anteil an der Jahresheizleistung die Wärmepumpe abhängig von der Dimensionierung -Verhältnis von Wärmepumpenheizleistung zur Norm-Gebäudeheizlast und der Betriebsweise übernehmen kann. Der empfohlene Bereich einer Dimensionierung der Wärmepumpe für bivalenten Betrieb auf 30 bis 50 % der Norm-Gebäudeheizlast ist gekennzeichnet.

Man erkennt, dass derart dimensionierte Wärmepumpen (schraffierter Bereich) bei teilparalleler Betriebsweise (Sperrtemperatur der Wärmepumpe  $-5\text{ °C}$ ) bereits 60 bis 85% der Jahresheizarbeit decken. Eine Dimensionierung auf unter 30% hat zur Folge, dass ein wesentlich geringerer Anteil an der Jahresheizarbeit von der Wärmepumpe übernommen wird. Andererseits hat eine Dimensionierung über 50% nur eine unwesentliche Erhöhung des Anteils zur Folge.

Für monoenergetisch betriebene Systeme gilt dieser Grundsatz nicht, da der Anteil der Direktheizung an der Jahresheizarbeit so klein wie möglich gehalten werden muss.

Auch in Bild A1.1 zeigt die gestrichelte Linie, dass eine auf 70 % dimensionierte Wärmepumpe (die Heizleistung der Wärmepumpe am kältesten Tag des Jahres ist hier von Bedeutung) einen Anteil an der Jahresheizarbeit von durchschnittlich 97,5 % erreichen kann.

Eine kleinere Dimensionierung ist nicht zu empfehlen, da der Anteil der Direktheizung bei monoenergetischen Systemen in die Berechnung der Jahresarbeitszahl mit eingeht und daher möglichst klein gehalten werden muss.

### A 2.1.5 Heizungsanlagentemperatur

Die Vorlauftemperatur (VLT) ist bei neu projektierten Heizungsanlagen festzulegen. Diese Auslegetemperatur ist für die Dimensionierung der Wärmepumpe maßgeblich. Hier gilt die Regel, je niedriger die Auslegetemperatur der Heizung, umso wirtschaftlicher der Wärmepumpenbetrieb. Die hohen Anforderungen an Wirtschaftlichkeit und Komfort können nur von einer Niedrigtemperaturheizung erfüllt werden. Die Fußbodenheizung sollte die Vorlauftemperatur von  $35\text{ °C}$  und bei einer Radiatorenheizung von  $50\text{ °C}$  nicht überschreiten. Bestehende Heizungsanlagen sind hinsichtlich ihrer maximalen Vorlauftemperatur zu überprüfen. Oft liegt die tatsächliche Vorlauftemperatur deutlich unter der früher geplanten Auslegetemperatur.

### A 2.1.6 Wärmequellentemperatur

Die Temperatur der Wärmequelle ( $T_{WQ}$ ) hängt davon ab, welche Wärmequelle genutzt werden soll. Folgende Wärmequellentemperaturen können zur Dimensionierung der Wärmepumpe zugrunde gelegt werden:

- Wärmequelle Wasser:  $T_{WQ} = + 10\text{ °C}$
- Wärmequelle Erdreich:  $T_{WQ} = \pm 0\text{ °C}$
- Wärmequelle Außenluft:  $T_{WQ} = - 7\text{ °C bis } 20\text{ °C}$
- Wärmequelle Abluft:  $T_{WQ} = + 20\text{ °C}$

Die Angabe der Leistungsdaten einer Wärmepumpe erfolgt entsprechend EN 14551:

**a. Wasser-Wasser :**

W10/W35 oder W10/W50 das bedeutet, man geht von einer Quellentemperatur W von 10°C und einer Vorlauftemperatur W von 35°C bzw. 50°C aus.

**b. Sole-Wasser :**

B0/W35 oder B0/W50 das bedeutet, man geht von einer Quellentemperatur B von 0°C und einer Vorlauftemperatur W von 35°C bzw. 50°C aus. B steht für den englischen Begriff für Sole (Brain).

**c. Luft-Wasser :**

Hier werden wegen der unterschiedlichen Quellentemperatur A verschiedene Temperaturen für die Quelle angegeben. A7/W35, A2/W35 und A-7/W35 sowie A7/W50, A2/W50 und A-7/W50.

**d. Abluft-Wasser :**

A20/W35 oder A20/W50 das bedeutet, man geht von einer Quellentemperatur A von 20°C und einer Vorlauftemperatur W von 35 bzw. 50°C aus.

Für die Dimensionierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden und Fußbodenheizung wählt man also die Angaben für B0/W35.

**A 2.1.7 Dimensionierung einer Sole – Wasser – Wärmepumpe**

Q <sub>N</sub> Gebäude	8 kW
Zusatzheizlast	0 kW
Sperrzeiten	4 Stunden
Betriebsweise	monoenergetisch
Wärmequelle	Erdsonden
Heizsystem	Fußbodenheizung

Die Formel lautet wie folgt:

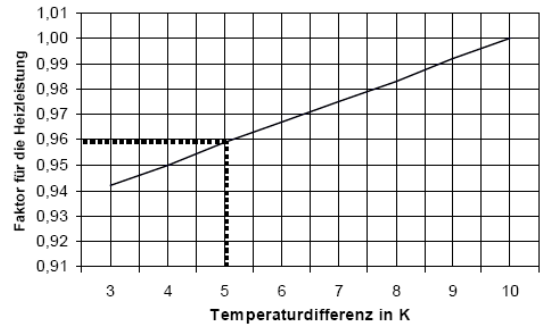
$$Q_{WP} = (Q_N + Q_Z) \times F_A \times F_B \text{ [kW]}$$

$$Q_{WP} = (8,0\text{kW} + 0\text{kW}) \times 1,2 \times 0,8 = 7,68 \text{ kW}$$

Nach Festlegung der Betriebsweise, der maximalen Vorlauftemperatur der Heizungsanlage und der Auslettemperatur der Wärmequelle kann anhand der HAUTEC Datenblätter die entsprechende Wärmepumpengröße ermittelt werden.

Für die Dimensionierung ist noch zu berücksichtigen, dass bei der Leistungsmessung auf dem Prüfstand nach EN 14511 mit einer Temperaturdifferenz von 10 K am Verflüssiger gemessen wird.

Da beim Betrieb der Fußbodenheizung in der Praxis jedoch nur 5 K erreicht werden, muss die Heizleistung nach folgendem Diagramm korrigiert werden:



Bei einer Temperaturdifferenz von 5K im Betrieb beträgt der Korrekturfaktor 0,959 und so können wir die Heizleistung der in Frage kommenden Wärmepumpen korrigieren.

Es sollte jedoch auch beachtet werden, dass eine Veränderung der Betriebsbedingungen auch zu einer Änderung der Leistungsdaten führt. Eine Absenkung der Soletemperatur um ca. 2°C führt zu einer Leistungsminderung von etwa 6%.

Bei der Auswahl von Wasser-Wasser-Wärmepumpen kann im Prinzip ebenso vorgegangen werden wie bei Sole-Wasser-Wärmepumpen.

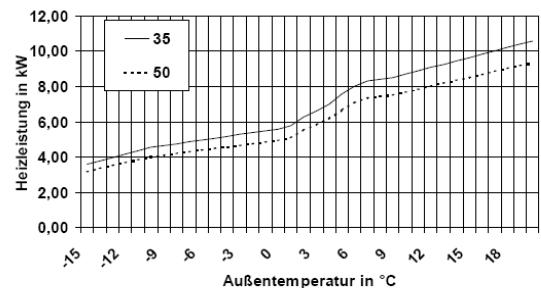


Bild A2.2 Heizleistung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe bei 35°C Vorlauftemperatur

Bei der Dimensionierung von Luft-Wasser-Wärmepumpen muss besonders beachtet werden, dass die Heizleistung im Winter stark abnimmt. Aus diesem Grunde ist von einer monovalenten Auslegung abzuraten. Vor allem auch wegen der damit verbundenen viel zu hohen Heizleistung im Sommer (Bild A 2.2), die vor allem in Verbindung mit einer Warmwasserbereitung über die Heizungswärmepumpe zu erheblichen Betriebsproblemen wie zum Beispiel Hochdrucktakten führen kann.



## A 2.2 Planung der Wärmequellenanlage

Für den Betrieb einer Sole-Wasser oder Wasser-Wasser-Wärmepumpe ist neben dem Wärmeverteilsystem immer auch eine Wärmequellenanlage notwendig.

Die Sole-Wasser-Wärmepumpen bieten die vielfältigsten Möglichkeiten zur Nutzung verschiedener Wärmequellen. Für die Auswahl sind folgende Kriterien zu beachten:

- ausreichende Verfügbarkeit
- möglichst hohe Speicherfähigkeit
- möglichst hohes Temperaturniveau
- ausreichende Regeneration
- kostengünstige Erschließung
- geringer Wartungsaufwand

Neben verschiedenen Arten von Erdwärmeabsorbern (Erdwärmesonde, Erdwärmekollektor, Grabenkollektor, Baugrubenkollektor) sind Erdberührende Betonteile, Massivabsorber, Energiekegel, Energiezäune und zwangsbelüftete Wärmetauscher als Wärmequelle nutzbar.

Ausführliche Informationen über die Planung der Wärmequellen Erdwärmesonde und Erdwärmekollektoren finden Sie im Kapitel B 1.5. Für weitere Wärmequellen bieten wir Ihnen individuelle Unterstützung an.

Für Wasser-Wasser-Wärmepumpen wird in der Regel Grundwasser als Wärmequelle genutzt. Hier ist vor allem auf ausreichende Verfügbarkeit, Wasserqualität und Temperatur zu achten. Ausführliche Hinweise hierzu finden Sie in Kapitel B 2.5.

Für weitere Wärmequellen, wie zum Beispiel Seewasser, Flusswasser usw. bieten wir Ihnen individuelle Unterstützung an.

## A 2.3 Planung der Wärmeverteilung

Das Betriebsergebnis von Wärmepumpen ist, wie in Kapitel A 1 schon beschrieben, sehr stark von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmeverteilsystem und Wärmequelle abhängig. Aus diesem Grunde sollte überall dort, wo die Wahl des Wärmeverteilsystems noch offen ist, also immer in Neubauten, eine Warm

wasser-Fußbodenheizung mit einer möglichst niedrigen Vorlauftemperatur gewählt werden. Durch die hohen Anforderungen an die Wärmedämmung in der Energieeinsparverordnung EnEV ist eine Fußbodenheizung mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 35 °C heute ohne besondere Mühe zu verwirklichen. Es sollte außerdem auf alles verzichtet werden, was

zu einer unnötigen Erhöhung der Vorlauftemperatur führen kann, wie zum Beispiel Mischer, Pufferspeicher oder zusätzliche Wärmetauscher.

### A 2.3.1 Fußbodenheizung

Bei der Auswahl des Fußbodenheizungssystems gibt es zurzeit unterschiedliche Meinungen. Durch die in den frühen achtziger Jahren aufgetretenen Verschlammungsprobleme durch Sauerstoffdiffusion hat sich in Deutschland die Verwendung des teuren, diffusionsdichten Rohres in Verbindung mit konventionellen Wärmeerzeugern durchgesetzt. Die Probleme traten jedoch immer nur in Heizungsanlagen auf, in denen Eisen verarbeitet wurde. Hier konnte der Sauerstoff Korrosion verursachen und dadurch konnte es erst zur Schlammbildung kommen.

Ist die Anlage frei von korrosionsanfälligen Teilen, kann es auch nicht zur Schlammbildung kommen. In anderen europäischen Ländern setzt man nach wie vor auf preiswertes, nicht diffusionsdichtes Rohr und verwendet korrosionsfeste Materialien für die Erstellung der Heizungsanlage und schützt den Kessel durch den Einbau eines Wärmetauschers.

### A 2.3.2 Selbstreglereffekt

Fußbodenheizungen arbeiten bei kleiner werdender Heizlast auch mit niedrigen Oberflächentemperaturen. Dadurch kommt der so genannte Selbstreglereffekt einer Fußbodenheizung besonders zum Tragen. Er ist für kürzere Zeiträume abhängig vom Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Fußbodenoberfläche. Beispielsweise beträgt die Fußbodenoberflächen

temperatur für einen Raum mit einer Raumtemperatur von 20 °C und einer maximalen spezifischen Heizlast von 40 W/m<sup>2</sup> 20 °C bis 24 °C.

Steigt die Raumtemperatur  $t_0$  wegen einer erhöhten Wärmezufuhr durch die Sonne oder durch interne Wärmegewinne auf 21 °C, verringert sich der Temperaturunterschied zwischen Raum und Fußboden von 4 K auf 3 K, also um 25 %.

Für längere Zeiträume muss mit dem Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Heizebene gerechnet werden. Für das genannte Beispiel beträgt die Temperatur der Heizebene 26,6 °C bei Fliesenbelag und 29,4 °C bei Teppichbodenbelag. In diesem Fall verringert sich bei einer Erhöhung der Raumtemperatur um 1 K die Wärmeabgabe um 16 bzw. 11 %, also

noch recht deutlich für den Tag der tiefsten Außentemperatur.

Die Betrachtung von mittleren Werten zeigt, welche Bedeutung der Selbstreglereffekt dann erhält. Bei Au-

Bentemperaturen um 0 °C betragen die Fußbodenoberflächentemperaturen 22 °C, die Temperaturen in der Heizebene 23,3 °C bzw. 24,9 °C. Eine Temperaturerhöhung wiederum um 1 K vermindert die Wärmeabgabe an der Oberfläche – kurzfristige Betrachtung – um 48 %, in der Heizebene um 30 bzw. 20 %.

### A 2.3.3 Heizwasserdurchflussmenge

Für die Übertragung der Wärmepumpenheizleistung an das Heizsystem sind folgende Größen von Einfluss:

- die durchströmende Heizwassermenge (m)
- die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf ( $\Delta t$ ) und
- der spezifische Wärmeinhalt des Wassers (c).
- Das Produkt dieser Größen ergibt die augenblickliche Heizleistung der Wärmepumpe

$$Q_{WP} = m \times c \times \Delta t \text{ (kW)}$$

Der spezifische Wärmeinhalt (1,16 kWh/m<sup>3</sup> x K) kann als annähernd konstant angesehen werden.

Die Temperaturdifferenz soll bei einer Wärmepumpe mit Fußbodenheizung etwa 5 K zwischen Vor- und Rücklauf betragen.

Aus diesen Werten ergibt sich rückgerechnet die erforderliche Heizwasserdurchflussmenge m.

$$m = \frac{Q_{wp}}{c \times \Delta t} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Beispiel:

$$m = \frac{10}{1,16 \text{ kWh/m}^3 \times \text{K} \times 5\text{K}} = 1,724 \text{ m}^3\text{/h}$$

$Q_{WP}$  = Heizleistung der Wärmepumpe (kW)

C = spez. Wärmekapazität für Wasser (kWh/m<sup>3</sup> x K)

$\Delta t$  = Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklaufwasser (K)

Nur wenn diese vom Hersteller geforderte Menge eingehalten wird, ist die Wärmepumpe in der Lage, die geforderte Heizleistung und Leistungszahl zu erbringen. Wird diese Heizwasserdurchflussmenge deutlich unterschritten, so vergrößert sich die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Ausgang der Wärmepumpe und so zu einer Erhöhung der Vorlauftemperatur.

Dies kann dazu führen, dass die Wärmepumpe an ihrer oberen Einsatzgrenze (zum Beispiel 55 °C bis 70 °C) über ihre Sicherheitsorgane (Hochdruckschalter)

abgeschaltet wird. Es liegt dann eine Störung vor, eine Wärmelieferung findet nicht mehr statt.

Die häufigsten Ursachen für diese Störung sind:

- zu klein bemessene Umwälzpumpe,
- der Heizwasserdurchfluss des Wärmeverteilungssystems wird durch geschlossene Ventile vermindert.

### A 2.3.4 Pufferspeicher

Die Verwendung von Pufferspeichern hat sich in der Vergangenheit bei bivalenten Heizungsanlagen immer mehr durchgesetzt. Dies war und ist notwendig, wenn die Wärmepumpe in ein bestehendes Wärmeverteilungssystem integriert werden muss, von dem die genauen hydraulischen Eigenschaften nicht bekannt sind.

Pufferspeicher haben jedoch auch Nachteile, die man bei Neuanlagen möglichst vermeiden sollte.

1. Die Trägheit des Heizsystems wird erhöht. Das führt bei immer kleiner werdender Heizleistung zu längeren Anheizeiten.
2. Wird der Puffer als Trennspeicher eingesetzt, kommt es zu einer Durchmischung des Speichers beim Betrieb der Wärmepumpe. Dadurch wird die Vorlauftemperatur am Ausgang der Wärmepumpe erhöht, was zu niedrigeren Jahresarbeitszahlen führt.
3. Pufferspeicher bestehen in der Regel aus Stahl und damit werden die Probleme durch die Sauerstoffdiffusion wieder akut.

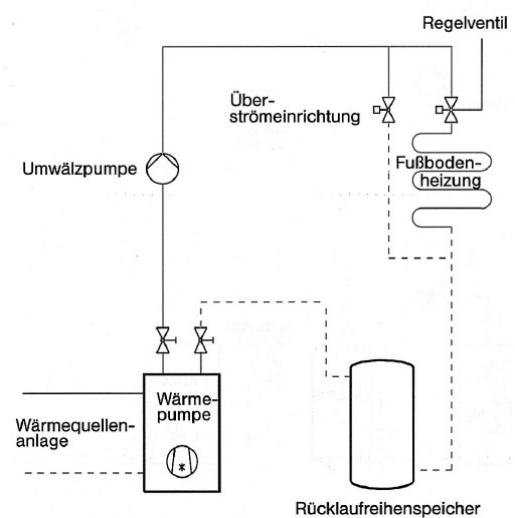


Bild A 2.3.1 Schema einer Wärmepumpenheizung mit Fußbodenheizung

Es sollte daher versucht werden, in Neuanlagen mit Fußbodenheizung auf einen Pufferspeicher zu verzichten. (Bild A 2.3.1)

Erfahrungen aus vielen Wärmepumpenanlagen mit Fußbodenheizung ohne Pufferspeicher zeigen, dass auch EVU Sperrzeiten von 3 x 2 Stunden innerhalb von 24 Stunden nicht zu einer wahrnehmbaren Absenkung der Raumtemperatur führt. Hier wirkt sich die Fußbodenheizung als vorteilhaft aus.

Auch bei der Verwendung von Einzelraumregelungen kann auf einen Pufferspeicher verzichtet werden, wenn einige Heizkreise immer offen bleiben und wenn eine Mindestöffnung der Heizkreisventile den Mindestwasserdurchsatz der Wärmepumpe sicherstellt. Ist dies nicht möglich, sollte der Pufferspeicher in emaillierter Ausführung oder aus Edelstahl verwendet werden, da auch mit diffusionsdichtem Rohr das Eindringen von Sauerstoff in die Anlage und damit Korrosion nicht absolut ausgeschlossen werden kann (Bild A 2.3.2).

Die Größe des Pufferspeichers sollte, falls erforderlich, so gewählt werden, dass die Wärmepumpe ohne Wärmeabnahme durch das Heizsystem mindestens 5 bis 10 Minuten in Betrieb bleibt. Der Inhalt sollte 10 Liter je kW Heizleistung betragen.

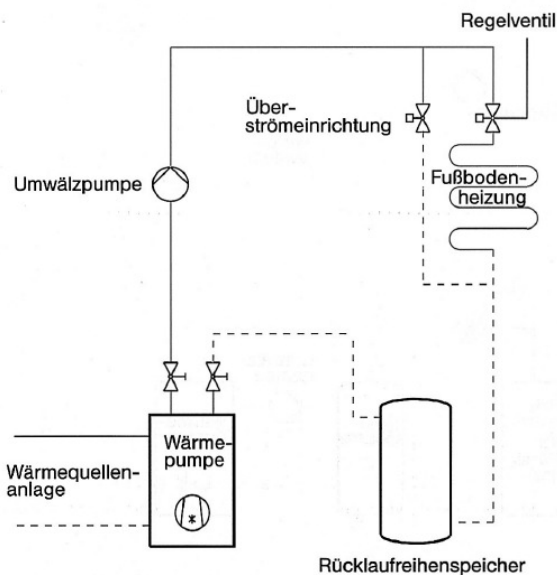


Bild A 2.3.2 Schema einer Wärmepumpenheizung mit Rücklaufreihenspeicher

### A 2.3.5 Bivalente Anlagen

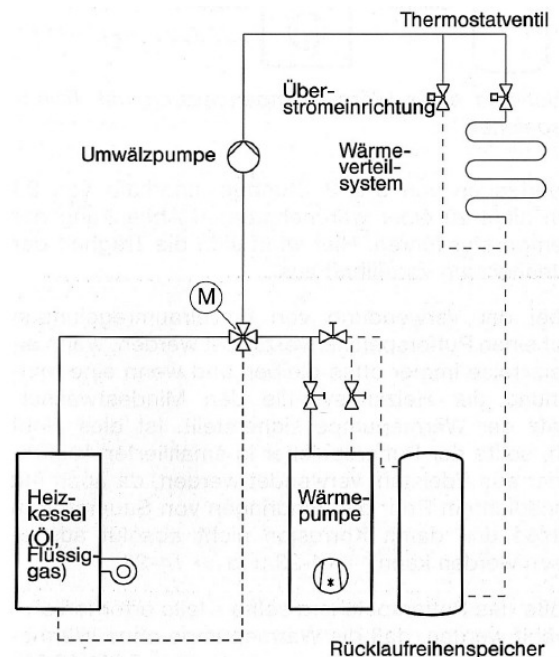


Bild A 2.3.3 Schema einer bivalenten Wärmepumpenheizung mit Rücklaufreihenspeicher

Bivalente Wärmepumpen erfordern wegen des Vorhandenseins von zwei Wärmeerzeugern eine besondere Anbindung an das Wärmeverteilungssystem, um einen zuverlässigen Betrieb beider Wärmeerzeuger sicherzustellen.

Bild A 2.3.3 zeigt die Wärmepumpenanbindung an ein Wärmeverteilungssystem mit einer Überströmeinrichtung in Verbindung mit einem Rücklaufreihenspeicher. Durch die Überströmeinrichtung ist eine konstante Wassermenge und durch den Rücklaufreihenspeicher eine ausreichend lange Laufdauer der Wärmepumpe sichergestellt.

Das Anbindungsschema Bild A 2.3.3 gewährleistet unabhängig von Einflüssen aus dem Wärmeverteilungssystem, wie zum Beispiel Schließen der Thermostatventile durch Sonneneinstrahlung oder zu hoch eingestellter Heizkurve oder nur einer teilweisen Beheizung des Gebäudes, einen zu jeder Zeit störungsfreien Betrieb der Wärmepumpe.