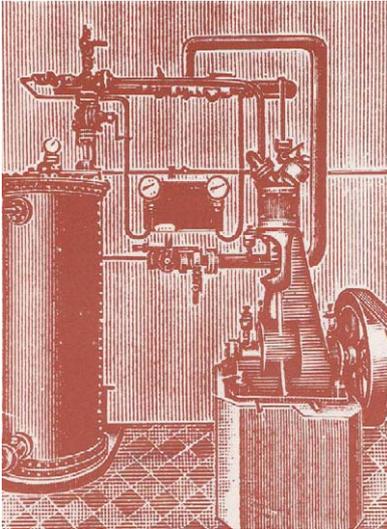


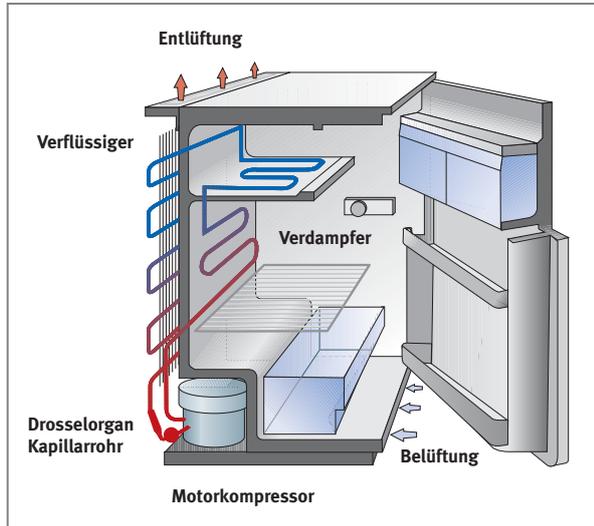
### 3 Was ist eine Wärmepumpe und wie funktioniert sie?

Eine Wärmepumpe ist eine „Kältemaschine“. Eine Kältemaschine ist ein Gerät, welches in der Regel kühlt, z. B. ein Kühlschrank. Dabei wird dem Innenraum durch das Kühlen Wärme entzogen. Diese Wärme muss anderweitig wieder abgegeben werden. Dies geschieht beim Kühlschrank über einen Kühler (Verflüssiger), der die Wärme an die Umgebungsluft abgibt.

Die Wärmepumpe bzw. Kältemaschine hat schon eine längere Geschichte. Bereits 1876 wurde von Carl von Linde die erste funktionstüchtige und betriebssichere Ammoniak-Kältemaschine gebaut. Dies ist der Beginn der kombinierten Kälte- und Wärmenutzung.



**Bild 3.1:** 1876 – erste Kältemaschine von Carl von Linde



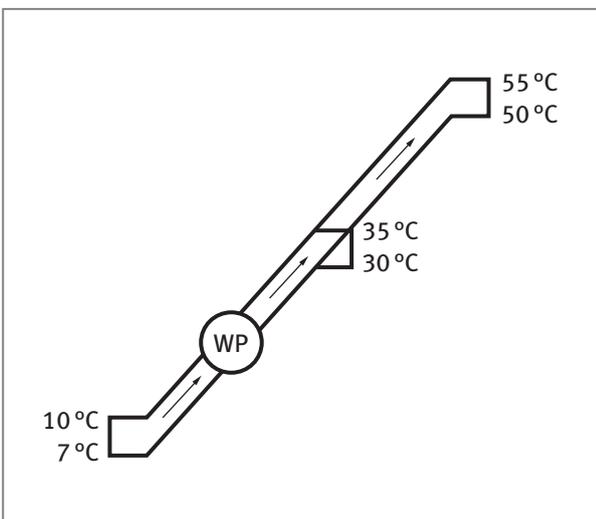
**Bild 3.2:** Der Kühlschrank – eine Wärmepumpe

#### 3.1 Warum heißt die Wärmepumpe „Wärmepumpe“?

Der Begriff „Wärmepumpe“ lässt sich am nachfolgenden Diagramm gut erklären:

Eine „Wärmepumpe“ „pumpt“ „Wärme“ von einem tieferen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau.

Hier handelt es sich z. B. um eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe. Sie nimmt aus einem Grundwasser mit einer Temperatur von 10 °C Wärme auf, indem es dieses um 3 °C auf 7 °C abkühlt. Diese aufgenommene Wärme wird z. B. zum Heizen auf eine Vorlauftemperatur von 35 °C erwärmt. Aus der Fußbodenheizung kommt das Wasser dann um 5 °C kühler, d. h. mit 30 °C, wieder zurück zur Wärmepumpe.



**Bild 3.3:** Temperaturniveaus einer Wärmepumpe

Die Wärmepumpe hat also Wärme von 10 °C auf 35 °C gepumpt. Um dieses Temperaturniveau zu erreichen, muss die Wärmepumpe arbeiten. Dazu braucht sie Energie, in der Regel elektrische Energie aus dem Stromnetz.

Für die Warmwasserbereitung muss die Wärmepumpe die „Wärme“ auf ein höheres Temperaturniveau „pumpen“, auf 55 °C Vorlauftemperatur. Um diese höhere Vorlauftemperatur zu erreichen, muss die Wärmepumpe mehr arbeiten und braucht daher mehr elektrische Energie.

Diese Betrachtungen haben folgende wichtige Hintergründe:

- Je höher die erforderliche Vorlauftemperatur ist, desto mehr muss eine Wärmepumpe arbeiten. Deswegen ist es von größter Bedeutung, dass die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (z. B. Grundwasser, Sole oder Luft) und Heizwärme (z. B. Vorlauftemperatur zum Heizen) so niedrig wie möglich ist.

Diese Betrachtung zeigt, dass eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer Quelltemperatur von ca. 10 °C weniger Hilfsenergie braucht als eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Quelltemperatur von ca. 0 °C. Des Weiteren macht diese Betrachtung deutlich, dass die Vorlauftemperatur so gering wie möglich sein sollte. Dies ist mit einer Fußboden- oder Wandflächenheizung gut realisierbar. Hier wird deutlich, dass eine Wärmepumpe zum Heizen über Heizkörper mit hohen Vorlauftemperaturen wenig bzw. keinen Sinn macht.

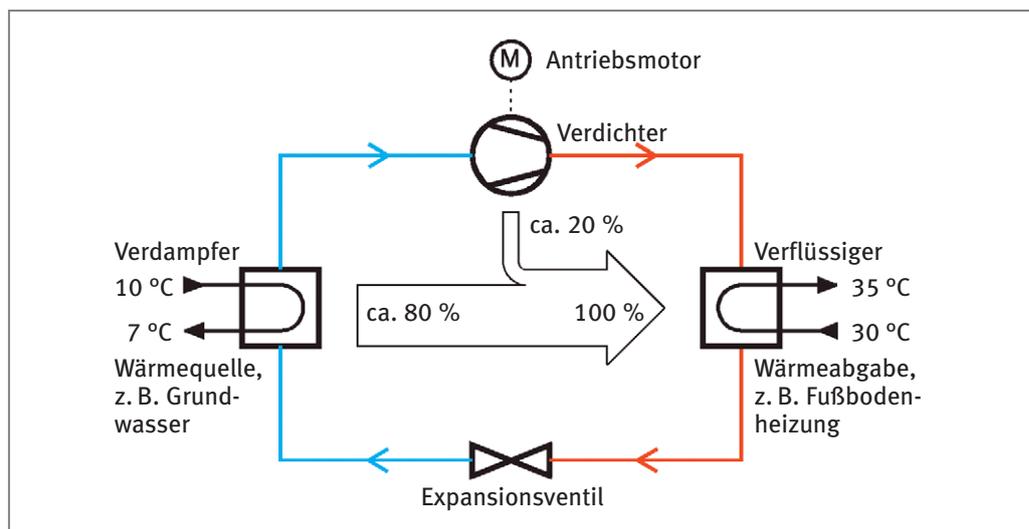
Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu den Gas-, Öl- oder Pelletkesseln. Da spielt die Vorlauftemperatur nahezu keine Rolle, sondern allein die Wärmemenge.

### 3.2 Aufbau einer Wärmepumpe und deren Komponenten

Eine Wärmepumpe besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten:

- Kompressor bzw. Verdichter mit Antriebsmotor
- Kondensator, auch Verflüssiger genannt
- Expansionsventil
- Verdampfer

In Bild 3.2.1 sind der prinzipielle Aufbau einer Wärmepumpe und deren Energieflüsse abgebildet. Dieses vereinfachte Fließbild dient in den späteren Erläuterungen auch als weitere Grundlage.

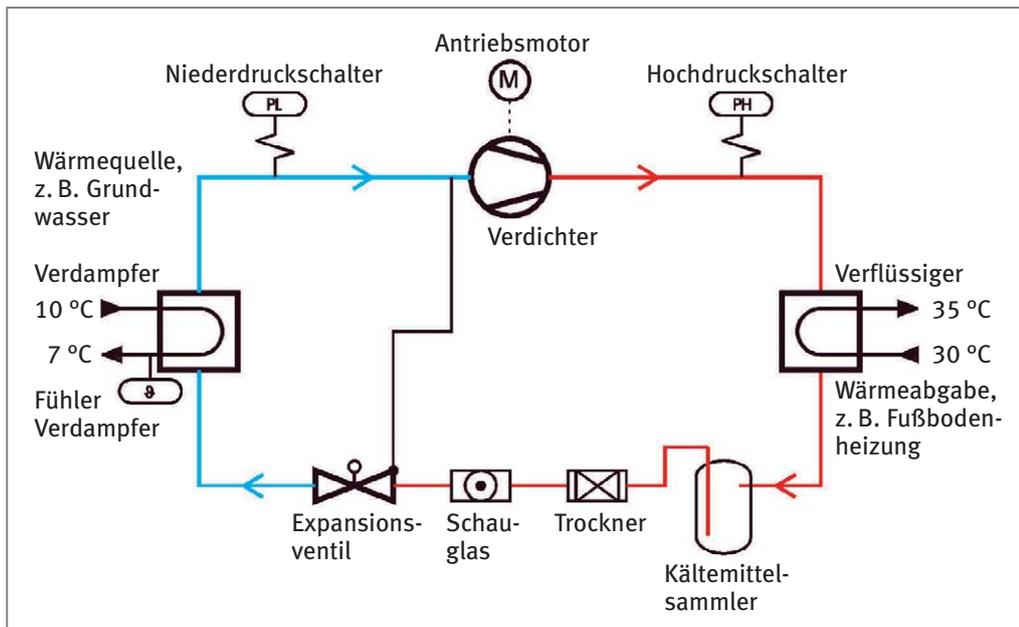


**Bild 3.4:** Prinzipieller Aufbau einer Wärmepumpe

### 3.3 Der technische Kältekreislauf und die Funktion der Wärmepumpe

Dargestelltes Fließbild 3.5 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Kältemaschine und deren Energiefluss. Zu einem sicheren Betrieb einer Kältemaschine gehören jedoch noch ein paar weitere Komponenten wie Kältemittelsammler, Trockner, Schauglas und die Überwachungs- und Schutz-einrichtungen wie Hoch- und Niederdruckschalter.

Im Kältekreislauf befindet sich hermetisch abgeschlossen ein Gas, das sogenannte Kältemittel. Dieses Kältemittel wird, mithilfe des Kompressors, durch den Kältekreislauf, den sogenannten „Carnot’schen Kreisprozess“ gepumpt. Dabei haben die einzelnen Komponenten folgende Funktionen (Bild 3.5):



**Bild 3.5:** Wärmepumpe und deren Komponenten

#### 1. Der Verdichter mit Antriebsmotor

Der Verdichter ist das Herz einer Wärmepumpe. Er verdichtet das Kältemittel und pumpt dieses durch den Kältekreislauf der Wärmepumpe. Es gibt verschiedene Verdichtertypen: den Schrauben- oder auch Scroll-Verdichter sowie den Kolbenverdichter. Schraubenverdichter besitzen keine sich hin- und herbewegenden Teile und haben daher einen ruhigeren Lauf. Deswegen sind sie leiser als Kolbenverdichter.

Jedes Gas erwärmt sich, wenn es komprimiert wird. Je höher die Verdichtung ist, desto stärker ist die Erwärmung.

Dieser Vorgang ist vergleichbar mit einer Luftpumpe, die sich beim Pumpen am unteren Ende erwärmt. Diese Erwärmung wird nicht durch Reibung verursacht, sondern durch das Komprimieren der Luft. Bei einer Fahrradpumpe sind das etwa 0,5–1,5 bar; bei einem Kompressor für Wärmepumpen ca. 15–20 bar und je nach Kältemittel auch mehr. Entsprechend wärmer wird das Kältemittel – warm genug zum Heizen und zur Warmwasserbereitung.

#### 2. Der Verflüssiger

Der Verflüssiger ist ein Wärmetauscher, in der Regel ein großflächiger Plattenwärmetauscher. Hier strömt das Gas in den Verflüssiger und wird durch das kältere Heizungswasser abgekühlt. Es kondensiert im Verflüssiger, d.h. es verflüssigt sich. Die über dem Verflüssiger abgegebene Wärme wird so der Heizung zugeführt.

Bei diesem Vorgang ändert sich nicht oder nur unwesentlich die Temperatur, jedoch insbesondere der Aggregatzustand vom gasförmigen Zustand in den flüssigen Zustand. Durch diese Änderung des Aggregatzustandes wird sehr viel Wärmeenergie zum Heizen und zur Warmwasserversorgung freigesetzt – viel mehr, als wenn nur Wärme entzogen wird.

Das Kältemittel ist nun in einem flüssigen Zustand.



**Bild 3.6:** Wärmetauscher

Wird bei diesem Vorgang nicht genug Wärme am Verflüssiger abgenommen, erhöht sich durch das Verdichten die Temperatur, die sogenannte Heißgastemperatur, des Gases. Die Folge ist ein Anstieg des Druckes auf der Hochdruckseite. Der Hochdruck wird mittels Hochdruckschalter überwacht. Bei einer Überschreitung eines Maximaldruckes kommt es zu einer sogenannten Hochdruckstörung, indem der Hochdruckschalter schaltet. Die Wärmepumpe schaltet dann im Regelfall über den Regler ab. Bei unzureichender Wärmeabnahme kann die Heißgastemperatur sehr stark ansteigen und damit verbunden auch der Druck.

Wird nach der Verflüssigung des Kältemittels durch weiteren Wärmeentzug die Temperatur gesenkt, spricht man von einer Unterkühlung des Kältemittels. Dadurch wird etwas mehr Wärmeleistung über den Verflüssiger (Kondensator) abgegeben. Dies führt zu einer geringfügigen Leistungserhöhung der Wärmepumpe.



**Bild 3.7:** Expansionsventil

### 3. Expansionsventil

Das Expansionsventil – oftmals auch E-Ventil genannt – hat eine sehr kleine Öffnung, durch die das flüssige Kältemittel mit hohem Druck gepresst wird. Nach dem E-Ventil entspannt das Kältemittel. Dabei verringern sich deutlich der Druck und insbesondere die Temperatur des Kältemittels.

Dieser Vorgang ist damit vergleichbar, wenn beim Nachfüllen eines Gases in ein Feuerzeug etwas Gas ausströmt und dieses dabei deutlich und fühlbar abkühlt. Dasselbe passiert durch das E-Ventil, nur mit einem deutlich größeren Druckunterschied, nämlich von z. B. 15 bar auf 4 bar (je nach Kältemittel). Die Temperatur des Kältemittels kann dabei deutlich unter 0 °C fallen.

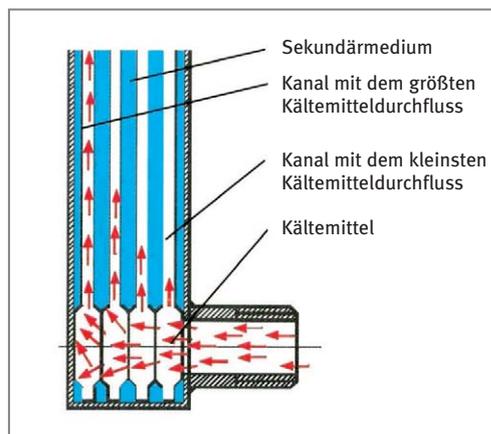
E-Ventile regeln die Einspritzung des flüssigen Kältemittels in den Verdampfer. Diese Einspritzung wiederum wird von der Überhitzung des Kältemittels hinter dem Verdampfer gesteuert. Bei einer Überhitzung hinter dem Verdampfer erfährt das Kältemittel nicht nur eine erneute Aggregatzustandsänderung, sondern auch eine Temperaturerhöhung (Überhitzung). Je höher diese Temperatur hinter dem Verdampfer ist (Überhitzung des Kältemittels), desto mehr öffnet das E-Ventil, um mehr Kältemittel einzusprühen. So wird mehr Kältemittel dem Verdampfer zugeführt, dadurch verringert sich die Temperatur hinter dem Verdampfer. Ist die Temperatur hinter dem Verdampfer zu gering, schließt das E-Ventil etwas, um weniger Kältemittel einzusprühen. Das E-Ventil hat somit die Aufgabe, die Kältemittelzufuhr zum Verdampfer zu regeln.

Im Wesentlichen differenziert man zwischen einem thermischen E-Ventil und einem elektronischen E-Ventil. Für den Bau von Wärmepumpen werden arbeitende E-Ventile meist eingesetzt. Bei dem thermischen E-Ventil wird die Temperatur vor dem Verdichter gemessen.

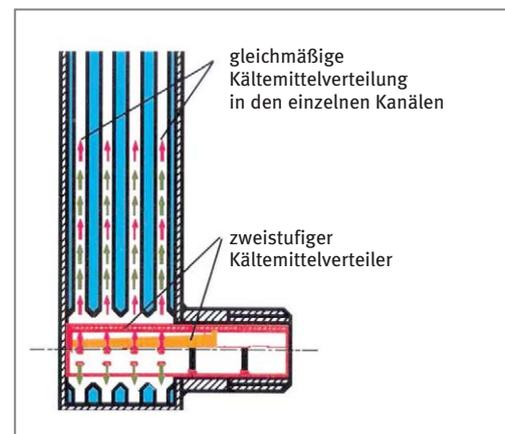
In den letzten Jahren wurden zunehmend mehr Wärmepumpen mit einer sogenannten Inverter-technik gebaut, in welche dann elektronisch geregelte Expansionsventile installiert sind.

### 4. Der Verdampfer

Der Verdampfer ist in der Regel ein Plattenwärmetauscher. Hier strömt das flüssige, sehr kalte Kältemittel mit Temperaturen von deutlich unter 0 °C in den Wärmetauscher. Durch das dem Wärmetauscher zugeführte Medium Sole (mit 0 °C – Sole-Wasser-Wärmepumpe) oder Wasser



**Bild 3.8:** Verdampfer ohne Kältemittelverteiler



**Bild 3.9:** Verdampfer mit zweistufigem Kältemittelverteiler

(10 °C – Wasser-Wasser-Wärmepumpe) oder Umgebungsluft (Luft-Wasser-Wärmepumpe) wird das Kältemittel entsprechend erwärmt und dadurch verdampft. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen ist der Wärmetauscher ein Lamellenwärmetauscher.

Bei diesem Vorgang ändert sich wieder der Aggregatzustand, jetzt vom flüssigen Zustand in den gasförmigen Zustand – es verdampft. Dabei wird von dem Kältemittel sehr viel Wärmeenergie aufgenommen, die später wieder zum Heizen zur Verfügung steht. Auch hier ist durch die Änderung des Aggregatzustandes die Energieaufnahme deutlich höher, als wenn das Kältemittel nur erwärmt würde.

Wird im Verdampfer die Temperatur des Kältemittels zusätzlich erwärmt, spricht man von einer Überhitzung des Kältemittels (umgekehrt wie die Unterkühlung hinter dem Verflüssiger).

Beim Verdampfer ist es wichtig, dass sich das Kältemittel im Wärmetauscher gleichmäßig verteilt – wie es in Bild 3.9 gezeigt ist.

Hinter dem Verdampfer wird das Kältemittel wieder zum Verdichter angesaugt. Es wird dort wiederum verdichtet und es schließt sich der Kältekreislauf. Allerdings sind im Kältekreislauf noch weitere Komponenten installiert, die einen sicheren und optimalen Betrieb ermöglichen:

### 5. Der Kältemittelsammler

Der Kältemittelsammler ist ein Puffer und nimmt das flüssige Kältemittel aus dem Kondensator auf. Es sorgt dafür, dass nur flüssiges Kältemittel zum Expansionsventil gelangt.

### 6. Der Trockner

Bei der Herstellung der Wärmepumpe kann trotz sorgfältigster Evakuierung immer noch eine Restfeuchtigkeit im Kältekreislauf verbleiben. Diese würde die Funktion empfindlich beeinträchtigen. Zur Entfernung / Bindung dieser Restfeuchtigkeit dient ein Trockner.

### 7. Das Schauglas

Das Schauglas dient in erster Linie dem Kälteanlagenbauer oder Servicetechniker, um die Kältemittelmaschine richtig einzufahren. Hier kann der Techniker optisch erkennen, ob die Kältemittelmaschine in den verschiedenen Betriebspunkten optimal arbeitet.

Außerdem kann im Schauglas noch eine Restfeuchte durch Verfärbung des Indikatorringes festgestellt werden.

### 8. Der Niederdruckschalter

Dieser Schalter ist ein wichtiges Sicherheitsorgan. Er hat die Aufgabe, die Kältemittelmaschine abzuschalten, wenn der Kältemitteldruck auf der Seite der Wärmequelle zu niedrig ist. Das würde einer zu starken Unterkühlung des Kältemittels entsprechen.

Es gibt prinzipiell zwei Ursachen, wenn dieser Schalter eine Störung signalisiert:

1. Der Kältekreislauf ist undicht und Kältemittel entweicht. Dann muss der Niederdruckschalter den Verdichter abschalten, damit dieser nicht beschädigt wird.
2. Die Abkühlung auf der Seite der Wärmequelle ist zu stark, sodass das Kältemittel nicht ausreichend verdampft. Auch hier schaltet der Niederdruckschalter ab, um den Verdichter vor einer Überhitzung zu schützen.

In diesem Fall ist zu überprüfen, ob die Wärmequelle ausreichend groß dimensioniert ist. Bei Sole-Wasser-Wärmepumpen sind dann meistens die Erdsonden oder Erdkollektoren nicht ausreichend groß dimensioniert. Bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen ist der Wasserzufluss unzureichend.

**Achtung!** Bei einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe besteht Vereisungsgefahr!

Es muss auf jeden Fall seitens der Wärmequelle (Sole- oder Wasserzuführung, Erdsonden oder Erdkollektoren) nachgebessert werden.

### 9. Der Hochdruckschalter

Auch dieser Schalter ist ein wichtiges Sicherheitsorgan. Er hat die Aufgabe, den Verdichter abzuschalten, wenn der Kältemitteldruck hinter dem Verdichter auf der Hochdruckseite zu hoch wird, um so den Kompressor und den Kondensator zu schützen.



**Bild 3.10:** Kältemittelsammler

Dies geschieht, wenn am Verflüssiger nicht genügend Wärme abgenommen wird. Dadurch wird dann zu wenig Kältemittel, das sogenannte Heißgas, verflüssigt und der Druck auf der Heißgas-seite steigt. Bei ausreichender Verflüssigung (Kondensation) passiert dies nicht.

Tritt eine sogenannte Hochdruckstörung ein, muss diese nicht zwangsläufig unmittelbar zu einer Abschaltung und Hochdruckstörung führen. Einige Regler ermöglichen es, dass eine Hochdruckstörung erst mit einer kleinen Verzögerung von wenigen Sekunden erfasst wird. Weil der Hochdruckschalter eine Sicherheitsabschaltung ist, sollte eine sofortige Abschaltung bei Überschreitung des Hochdrucks erfolgen. Weiterhin besteht die Möglichkeit (je nach Reglertyp), eine Abschaltung mit Verriegelung der Wärmepumpe erst nach z. B. zwei oder drei Hochdruckstörungen pro Tag zu aktivieren.

Der Hochdruckschalter ist ein Sicherheitsorgan und dient in erster Linie zum Schutz des Kompressors.

### 10. Fühler Verdampfer

Mithilfe dieses Fühlers (wenn vorhanden) wird die Ausgangstemperatur im Verdampfer vom Regler erfasst. Ist diese Temperatur zu gering, erfolgt eine Sicherheitsabschaltung, um eine Vereisung möglichst zu verhindern. Um eine möglichst schnelle Sicherheitsabschaltung zu realisieren, sollte dieser Fühler bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen im Verdampfer eingebaut sein.

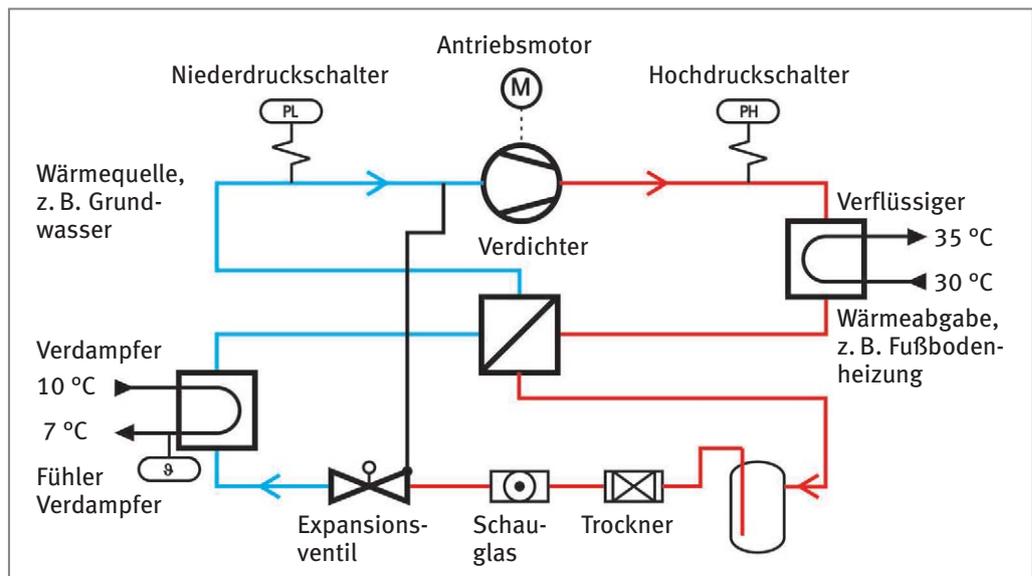
Dieser Sicherheitsfühler ersetzt jedoch nicht einen Strömungswächter, der zum Schutz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe unbedingt zu empfehlen ist.

### 11. Regler und Fühler

Der Regler ist das Gehirn einer Wärmepumpe. Mithilfe der Fühler erfasst der Regler wesentliche Informationen, steuert die Wärmepumpe und regelt die vorgegebenen Temperaturen für die gesamte Wärmepumpenanlage. Weitere Informationen siehe nachfolgendes Kapitel zum Regler. Nachfolgend werden einige abweichende Varianten von Kältekreisläufen dargestellt und diskutiert:

#### 3.3.1 Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Unterkühlung und Überhitzung

Eine andere Möglichkeit des Aufbaus des Kältekreislaufs besteht in folgendem Aufbau (Bild 3.11):



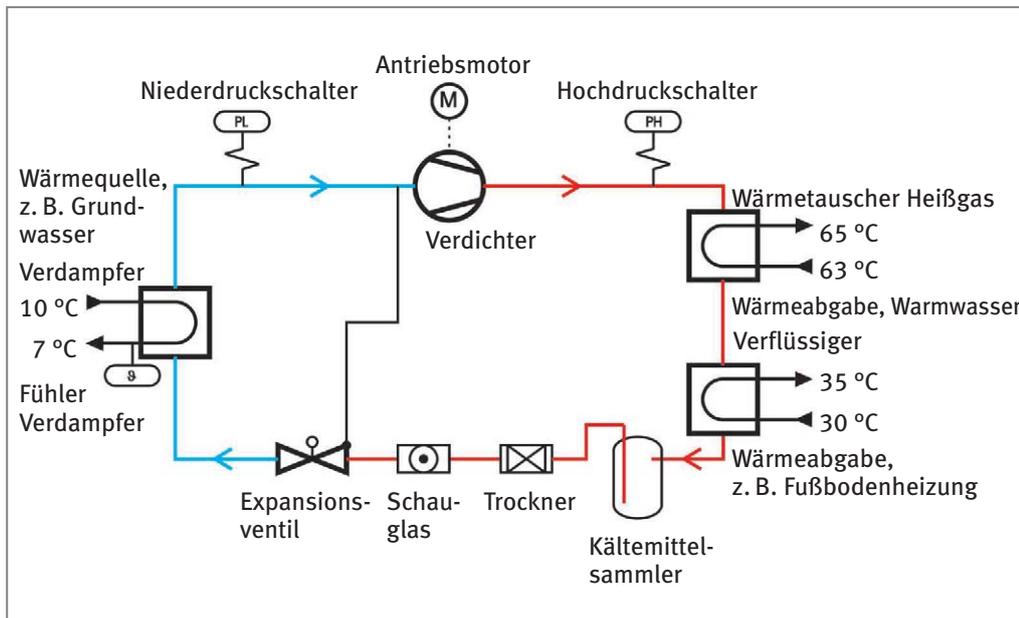
**Bild 3.11:** Wärmepumpe und deren Komponenten mit Zwischenwärmetauscher

Bei diesem Kältekreislauf wird das eventuell nicht vollständig kondensierte Kältemittel in dem Zwischenwärmetauscher durch Unterkühlung weiter abgekühlt, sodass das Kältemittel vollständig kondensiert. Die dabei abgegebene Wärme wird saugseitig dem Kältemittel wieder zugeführt. Dieses wird dadurch überhitzt.

Dieser Kältekreislauf hat gleich mehrere Vorteile: Die Überhitzung des Kältemittels vor dem Kompressor gewährleistet dauerhaft einen sicheren Betrieb für den Kompressor. Dadurch werden Kältemittelschläge sicherer vermieden, weil kein flüssiges Kältemittel in den Kompressor gelangt. Und die höhere Unterkühlung verbessert den Wirkungsgrad. Außerdem kann hierbei der Sammler entfallen.

### 3.3.2 Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Heißgasnutzung

Weiterhin werden einige Wärmepumpen mit einem zusätzlichen Wärmetauscher zur Heißgasnutzung ausgestattet (siehe Bild 3.12).



**Bild 3.12:** Wärmepumpe und deren Komponenten mit Heißgastechnik

Das heiße Gas, welches aus dem Kompressor austritt, hat in der Regel recht hohe Temperaturen – es ist also heiß. Damit lässt sich das Warmwasser entsprechend höher erwärmen. Es ist dabei zu beachten, dass, wenn im Wärmetauscher Heißgas das Kältemittel kondensiert, der Druck des Kältemittels zuvor entsprechend hoch sein muss. Dadurch würde der Gesamtwirkungsgrad der Wärmepumpe verringert, weil die Stromaufnahme des Kompressors entsprechend ansteigt. Wird in diesem Wärmetauscher „nur“ etwas Wärme zum Erhöhen der Warmwassertemperatur abgegeben, ist die abgegebene Wärmemenge entsprechend gering, denn erst durch die Änderung des Aggregatzustandes können große Wärmemengen abgegeben werden. Diese entspricht dann nur der Wärmemengenabgabe eines Gases, mit entsprechend für Gase typisch geringer spezifischer Wärmekapazität. Erst bei der Änderung des Aggregatzustandes kann eine entsprechend große Wärmemenge übertragen und abgegeben werden. Dies ist allein die Aufgabe des Verflüssigers.

### 3.3.3 Beispiel zum prinzipiellen Aufbau einer Wärmepumpe

Bild 3.13 zeigt den Aufbau einer typischen Wärmepumpe als Einzelgerät. Die einzelnen Komponenten sind gut erkennbar.

Einblick in das Innere einer **Geo-Max**<sup>®</sup>-Wärmepumpe:

#### Elektrotechnik

- ① Hauptschalter
- ② Wärmepumpenregler

#### Kältetechnik

- ③ 2-schaliges Stahlblechgehäuse, besonders schalldämmend
- ④ Verdampfer
- ⑤ Kondensator
- ⑥ Trockner
- ⑦ Chassis
- ⑧ Schauglas
- ⑨ Scroll-Verdichter
- ⑩ Sammler
- ⑪ Schwingungsdämpfer, 3-fach schwingungsgedämpft



**Bild 3.13:** Kältetechnik einer Wärmepumpe

Sie ist besonders leise durch das 2-schalige Stahlblechgehäuse mit innerem Lochblech und hochwertiger Schalldämmung plus 3-facher Schwingungsdämpfung.

Bei dieser Wärmepumpe ist die Kältetechnik von der Elektrotechnik räumlich gut getrennt. Im unteren Teil befindet sich die Kältetechnik und im oberen die Elektrotechnik. Für eventuelle Servicearbeiten sind alle Teile gut zugänglich.

Im oberen Teil dieser Wärmepumpe in Bild 3.14 befindet sich die Elektrotechnik mit einer durchgehenden Klemmleiste als Schnittstelle für alle elektrischen Anschlüsse.

- ① Leistungsschütze und
- ② Motorschutzschalter
- ③ Klemmleisten
- ④ Kabeldurchführungen



**Bild 3.14:** Elektrotechnik einer Wärmepumpe

Für die Regelung gibt es weitere Sicherheitseinrichtungen, wie Strömungswächter und ggf. Trockenlaufschutz (bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen) bzw. Strömungs- und/oder Druckwächter (bei Sole-Wasser-Wärmepumpen) sowie Motorschutzschalter.

- Besonders wichtig für nicht unterkellerte Häuser ist eine möglichst geringe Schallemission! Eine gut schalldämmte Wärmepumpe ist auch ein gutes Qualitätsmerkmal.