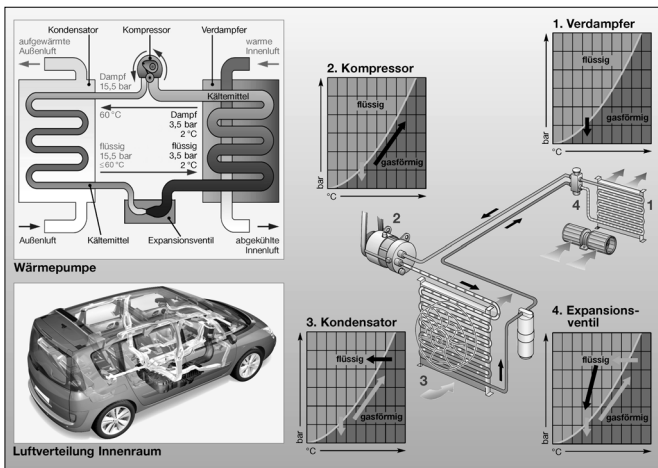


# Transparent 9: Auto-Klimaanlage, eine Wärmepumpe



## Einsatz des Transparents

*Oben links* sieht man eine Prinzipskizze der Anlage. Sie entspricht der Kreisprozess-Darstellung, wie sie auch in Physikbüchern zum Thema „Wärmepumpe“ zu finden ist, und zeigt die vier Hauptteile der Klimaanlage (Kompressor, Verdampfer, Expansionsventil, Kondensator) in übersichtlicher Anordnung. Alle wichtigen Angaben über die jeweils herrschenden Druck- und Temperaturwerte sowie Aggregatzustände sind eingetragen. In der großen Zeichnung *rechts* sind diese Bauteile der Anlage ähnlich ihrer tatsächlichen Ausführung im Fahrzeug dargestellt. Zusätzlich sind Diagramme gezeichnet, auf denen der dort jeweils ablaufende physikalische Vorgang dargestellt wird.

Das Foto *unten links* soll verdeutlichen, welcher fahrzeugtechnische Aufwand zusätzlich nötig ist, um die klimatisierte Luft durch eine Vielzahl gewundener Kanäle an die Fahrzeugpassagiere heranzubringen (im hier gezeigten Beispiel also auch in den hinteren Teil eines Großraumfahrzeuges).

## Inhalt des Transparents

### Prinzip einer Wärmepumpe

In einem geschlossenen System befindet sich eine Flüssigkeit mit geeignetem Siedepunkt (s. u.). Besonders zu beachten ist außerdem, dass dieser Siedepunkt vom Umgebungsdruck abhängt. Im System besteht grundsätzlich ein Überdruck gegenüber dem atmosphärischen Normaldruck von ca. 1 bar in der uns umgebenden Luft. Allerdings ist dieser Überdruck nicht überall im System gleich groß, da nicht überall derselbe Siedepunkt sein darf (vergleiche die Beispielangaben im Bild *oben links* auf der Folie).

Eine solche „Wärmepumpe“ transportiert Wärmeenergie von einem Ort zu einem andern. Prinzipiell kann sie also sowohl zu Heizungs- als auch zu Kühlzwecken eingesetzt werden.

### Vorgänge im Verdampfer

Zur Funktionserklärung hilft der Kreislauf der abgebildeten Wärmepumpe auf der Folie (*oben links*), der entsprechend der rechten Abbildung gegen den Uhrzeigersinn gelesen wird. In den dort dargestellten Verdampfer (Wärmetauscher) tritt die Spezialflüssigkeit (Kältemittel) in *flüssiger Form* ein. Der Druck und die Temperatur im Innern der Anlage müssen dort also entsprechend sein, im Beispiel sind dies ein Druck von 3,5 bar und eine Temperatur von 2 Grad Celsius. Beim Durchströmen durch den Wärmetauscher *ändert* sich an diesen Daten (Druck und Temperatur) *nichts (!)*.

Die Flüssigkeit ist allerdings hinsichtlich ihres Siedepunktes so gewählt, dass die *zugeführte Wärmeenergie* (beim Durchströmen des Wärmetauschers) zu einer *Änderung des Aggregatzustands* der Flüssigkeit führt. Das verwendete Medium verlässt den Verdampfer also in Gasform. Die benötigte Wärmeenergie wird der Umgebung des Wärmetauschers entzogen. Durch die Veränderung des Siedepunktes wird es dort also „*kälter*“.

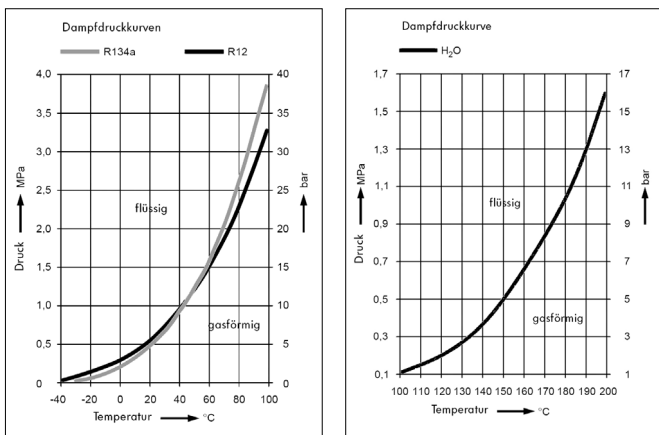
Die Bezeichnung „*Verdampfer*“ beschreibt exakt seine Funktion, nämlich das „Kältemittel“ während des Durchlaufs in den dampfförmigen (= gasförmigen) Zustand zu bringen. Bei einem Kühlschrank befindet sich der Verdampfer im Innern des Geräts nahe bei den zu kühlenden Lebensmitteln, bei der Klimaanlage im Auto kühlt er die vorbeiströmende Luft, die dann ins Fahrzeuginnere geleitet wird.

**Physikalischer Hintergrund:** Jeder Stoff braucht zur Änderung des Aggregatzustands die Zufuhr von Wärmeenergie. Erwärmt man eine beliebige Flüssigkeit und gelangt an den „Siedepunkt“ (= Temperatur, bei der dieser Stoff von dem flüssigen Zustand in den gasförmigen übergeht), so führt die weitere Zugabe von Wärmeenergie zunächst nicht zu einer Temperaturerhöhung. Sie wird stattdessen dazu benutzt, die molekularen Verbindungen in der Flüssigkeit aufzubrechen: der Stoff wird gasförmig.

In allen Physikbüchern wird als bekanntestes Alltagsbeispiel zu diesem Phänomen das Sieden von Wasser bei 100 Grad Celsius erwähnt. Gerade dieser Sachverhalt veranlasste Celsius zu der Definition von „100 Grad“ auf seiner Temperaturskala. Dabei ist in diesem Zusammenhang die Angabe „bei Normaldruck in Meereshöhe“ besonders wichtig, denn der Siedepunkt hängt bei einem bestimmten Material immer vom herrschenden Umgebungsdruck ab. Unter höherem Druck als 1 bar siedet Wasser erst bei einer Temperatur von deutlich über 100 Grad Celsius. Ohne eine Möglichkeit zur Druckerhöhung würde man Wasser im offenen Topf niemals über den üblichen Siedepunkt hinaus erhitzen können. Verwendet man aber einen Topf mit druckfestem Deckel („Schnellkochtopf“), kann man den im Innern des Topfes gültigen Siedepunkt nach

oben verlegen und dadurch die Zeit zum Garen von Speisen abkürzen.

Man beachte bei der Darstellung also die **unterschiedlichen Druckangaben** in den beiden Wärmetauschern: Dies hat in ihrem Innern **unterschiedliche Siedepunkte** zur Folge!



Wenn nun ein Stoff seinen Aggregatzustand ändern soll, wird dafür eine beträchtliche Energiemenge benötigt. Man nennt sie „**spezifische Verdampfungswärme**“. Sie beträgt bei Wasser 2258 kJ/kg. Diese Verdampfungswärme ist übrigens wesentlich höher als die „spezifische Schmelzenergie“, die für den Übergang vom festen Zustand in den flüssigen benötigt wird. Diese beträgt zum Beispiel bei Wasser nur 335 kJ/kg.

**Wichtig:** Kondensiert umgekehrt ein Stoff aus dem gasförmigen Zustand zurück in den flüssigen, wird eine ebenso große Energiemenge (Kondensationswärme) wieder frei, was in der dargestellten Anlage im Kondensator ausgenutzt wird.

### Der Kompressor

Das nunmehr durch die Energiezufuhr **gasförmige** Medium wird nun im Kompressor „komprimiert“, d. h. man **erhöht** den **Druck**, wobei das **Volumen** des Gases **abnimmt**.

Bei einem solchen Vorgang steigt die Temperatur des eingeschlossenen Mediums an. Diesen Effekt kennt man vom Aufpumpen eines Fahrrads mit einer Handluftpumpe: Das vordere Pumpenteil erwärmt sich während des Pumpens etwas. Der gleiche Effekt begründet auch die Funktion des Dieselmotors (daher oft „Selbstzünder“ genannt), bei dem die angesaugte Luft im Verbrennungsraum durch starke Kompression so sehr erwärmt wird, dass sich der eingespritzte Kraftstoff „von selbst“ entzündet.

**Physikalischer Hintergrund:** Da sich hier sowohl der Druck als auch das Volumen ändern, gilt die „**allgemeine Gasgleichung**“:

$$p_1 \cdot V_1 / T_1 = p_2 \cdot V_2 / T_2 \quad \text{bzw.}$$

$$p_1 \cdot V_1 \cdot (T_2 / T_1) = p_2 \cdot V_2$$

Die folgende Gleichung erleichtert die Umrechnung von Grad Celsius in Kelvin und umgekehrt:

$$T_K = T_C + 273$$

$$T_C = T_K - 273$$

### Der Kondensator

Für die Fortsetzung des Kreisprozesses steht nun hinter dem Kompressor „Dampf“ von deutlich höherem Druck und höherer Temperatur zur Verfügung. Die gesamte innere Energie des Füll-Mediums stammt hier etwa zu 30 % aus dem Verdichtungsprozess im Kompressor und zu 70 % aus der Energieaufnahme im Verdampfer. Das Transportmedium gelangt nun links zum Kondensator, dem zweiten Wärmetauscher. In diesem Bauteil kann es nun **(Wärme)energie abgeben**.

Handelt es sich bei der gesamten Anlage z. B. um eine „Wärmepumpe“ zum **Beheizen** eines Hauses, wird an dieser Stelle die Heizung des Hauses mit der Wärmeenergie versorgt, die zum größten Teil draußen mit Hilfe des Verdampfers etwa einem Fluss, dem Grundwasser oder der Umgebungsluft entzogen worden ist.

Ist der Zweck der Anlage die **Kühlung**, z. B. eine „Klimaanlage“, ist die Wärmeenergie an dieser Stelle eher ein „Abfallprodukt“: Sie wird an die Umgebung abgegeben und heizt diese auf. Auch beim Auto kann diese typischerweise im Sommer anfallende Energie leider nicht für einen Abruf im nächsten Winter gespeichert werden. Der zweite Wärmetauscher ist also auch hier eher ein „notwendiges Übel“, und der Betrieb mit eingeschalteter Klimaanlage bedeutet auch deshalb stets einen höheren Kraftstoffverbrauch.

Im Kondensator muss nun die Umkehrung dessen geschehen, was vorher im Verdampfer stattgefunden hat: Das Medium, das in Gasform eintritt, gibt beim Hindurchströmen Energie ab. Dabei sollen Druck und Temperatur konstant bleiben; die abgegebene „**Kondensationsenergie**“ dient dazu, das Mittel wieder in eine Flüssigkeit zu verwandeln. Nach dem Durchlaufen des „**Kondensators**“ steht das Füllmaterial wieder als Flüssigkeit zur Verfügung, allerdings noch mit hohen Druck- und Temperaturwerten.

Bei der Auto-Klimaanlage kommt es im Gegensatz zu den meisten anderen Wärmepumpen jedoch – je nachdem wie stark sie eingeschaltet wird – schon im Kondensator zu geringem Temperaturabfall von 10 °C bis im Extremfall 30 °C. Um den Schülern das grundsätzliche Verständnis der Vorgänge zu erleichtern, ist dieser Temperaturabfall auf der Folie nur durch  $\leq 60$  °C dargestellt. Der wesentliche Temperaturabfall findet auch im Auto im Expansionsventil statt.

### Das Expansionsventil

Diese Flüssigkeit gelangt nun zum „**Expansionsventil**“. Dort wird ihr die Möglichkeit geboten, zu „expandieren“, d. h. einen wesentlich größeren Raum auszufüllen (Volumenvergrößerung). Dabei tritt das genaue Gegenteil der Vorgänge im Kompressor ein: Temperatur und Druck sinken stark ab.

Auch diesen Vorgang kennt man aus dem Alltag: Bei Aktivierung der Patrone eines handelsüblichen „Sahnesyphons“, strömt das Füllgas, das bis dahin unter hohem Druck in der kleinen Patrone eingeschlossen war, in den ihm nun zur Verfügung gestellten „großen“ Innenraum des Sahnesyphons. Dabei tritt eine deutlich bemerk- und fühlbare Abkühlung der Patrone auf. Wenn eine höhere Luftfeuchtigkeit herrscht, beschlägt die Patrone augenblicklich mit Eis, und wenn

man sie anfasst, friert sogar der Finger dort fest.

Der dort als einmaliger Vorgang auftretende Effekt wird nun mit dem Expansionsventil immer wieder hervorgerufen. Das abgekühlte Medium gelangt nun unter niedrigen Druck- und Temperaturwerten wieder in den rechten Verdampfer und nimmt dort aus der Umgebung Wärmeenergie auf, wobei diese, wie oben dargestellt, zu einer erneuten Änderung des Aggregatzustandes benutzt wird.

Der gesamte Vorgang ist ein „Kreisprozess“, der mittels der durch den Kompressor nachgelieferten Energie kontinuierlich fortgesetzt werden kann.

### **Funktionsplan und Bauteile der Auto-Klimaanlage**

Wie die entsprechenden Bauteile bei einer Klimaanlage im Auto aussehen, zeigen die auf der Folie aufgeführten Prinzipdarstellungen.

Im **Verdampfer** entspannt sich das flüssig eingesprühete Kältemittel und verdampft. Die dazu notwendige Verdampfungswärme wird der durch die Verdampferlamellen streichenden, warmen Frischluft entzogen, die sich dabei abkühlt. Im Fahrzeug wird es so schön kühl. Das nun gasförmige Kältemittel tritt aus dem Verdampfer aus. Es wird dann vom Kompressor angesaugt.

Der **Kompressor** saugt kaltes, gasförmiges Kältemittel mit niedrigem Druck an. Das Kältemittel wird im Kompressor verdichtet und erhitzt sich dabei. Es wird in den Kreislauf gepumpt. In dieser Phase ist das Kältemittel gasförmig, steht unter hohem Druck bei hoher Temperatur.

Das Kältemittel gelangt auf kurzem Weg in den **Kondensator** (Verflüssiger). Dem verdichteten, heißen Gas wird jetzt im Kondensator durch die durchströmende Luft (Fahrtwind und Gebläse) Wärme entzogen. Bei Erreichen des vom Druck abhängigen Taupunktes kondensiert das Kältemittelgas und wird flüssig. In dieser Phase ist das Kältemittel also flüssig, steht unter hohem Druck mit mittlerer Temperatur.

Das flüssige Kältemittel fließt weiter zu einer Engstelle, hier dem **Expansionsventil**. Dort wird es in den Verdampfer eingesprüht, wodurch es zum Druckabfall kommt.

Zur kompletten Anlage, wie sie tatsächlich im Auto zu finden ist, gehören zu einem störungsfreien Langzeitbetrieb noch weitere Bauteile. Eine solche Übersicht zeigt die **Abbildung auf der Folie rechts**.

### **Kopiervorlage**

**Kopiervorlage 9** enthält in Aufgabe 1 eine Vorgabe von Textbausteinen, die in die richtige Reihenfolge gebracht werden müssen. Obwohl es sich um die Beschreibung eines zyklisch ablaufenden Vorganges handelt und daher weniger der Anfangsbaustein, sondern vor allem die Reihenfolge wichtig ist, kann man am begrüßenden „Hi“ erkennen, dass der Textbaustein mit [WO] der Anfangsbaustein sein sollte.

### **Lernziele**

- Die Schüler sollen die Begriffe „Verdampfungsenergie“ und „Kondensationsenergie“ kennen und erläutern können .

- Die Schüler sollen die Bedeutung des Umgebungsdruckes für die Vorgänge „Verdampfung“ bzw. „Kondensation“ beschreiben und erläutern können.
- Die Schüler sollen die Bauteile der Klimaanlage/Wärmepumpe richtig bezeichnen können.
- Die Schüler sollen den Kreisprozess in einer Wärmepumpe beschreiben können und die physikalischen Hintergründe in jeder Baugruppe der Anlage erläutern können.

### **Lösung der Kopiervorlage**

#### **Aufgabe:**

Lösungswort: WO HL FU EH LK LI MA

### **Zusatzinformation für den Lehrer**

Die Umstellung des Kältemittels vom anfänglich verwendeten umweltschädlichen R12 (Dichlordifluormethan) auf chlorfreie Nachfolgeprodukte wird hier nicht weiter thematisiert. Dies könnte allerdings ein geeignetes Thema für ein zusätzliches Referat sein.