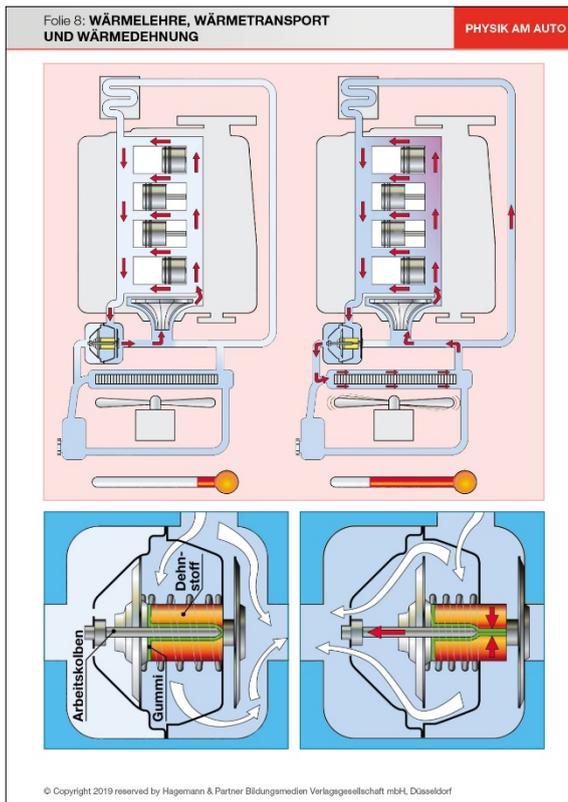


Wärmetransport und Wärmedehnung



Energietransport durch strömende Flüssigkeiten; Ausdehnung fester und flüssiger Körper in Folge von Temperaturerhöhung

Einsatz der Folie

Mit dieser Folie werden die Teilaspekte **Wärmetransport durch Materie** sowie **Wärmedehnung** an einem typischen Anwendungsbeispiel im Kraftfahrzeug vorgestellt: dem Kühlsystem eines flüssigkeitsgekühlten Verbrennungsmotors.

Diese beiden Aspekte zum Thema Wärmelehre sind auf der Folie gekoppelt, da beide Erscheinungen beim Kühlsystem eine wichtige Rolle spielen.

Der rechte Teil der Folie betrifft den **Wärmetransport**. Er zeigt das Kühlsystem in zwei Zuständen:

- anfängliche Warmlaufphase
- maximale Kühlleistung.

Dieser Teil der Folie eignet sich sowohl für eine motivierende Hinführung zum Thema „Wärmetransport durch Materie“ als auch für eine Nachbesprechung und Vorstellung einer weit verbreiteten Anwendung. Der linke Teil der Folie zeigt als Anwendungsbeispiel für die **Wärmedehnung** ein Kühlwasserthermostat. Der Einsatz dieses Folienteils ermöglicht im Unterricht im Anschluss an die Behandlung der Wärmedehnung ein sehr interessantes Beispiel aus der Technik zu besprechen.

Inhalt

Rechts Wärmetransport: Die Darstellung zeigt eine vereinfachte Übersicht über das Kühlsystem eines flüssigkeitsgekühlten Verbrennungsmotors.

Rechts oben: Dargestellt ist zunächst die **Warmlaufphase**. Der Kühlventilator läuft noch nicht mit. Er wird durch einen separat zuschaltbaren Elektro-

motor angetrieben. Dagegen arbeitet die Wasserpumpe, welche immer bei laufendem Motor mitdreht, auch jetzt schon. Sie pumpt die noch kalte Kühlflüssigkeit durch den sogenannten „**kleinen Kreislauf**“. Bei diesem „kleinen Kreislauf“ zirkuliert die Kühlflüssigkeit nur durch Motorblock, Wasserpumpe und – je nach Heizungsbaueinrichtung – eventuell noch durch die Heizung, weil das Thermostat die Verbindung zum Kühler noch geschlossen hält. In diesem Zustand erreicht der Motor schnell höhere Temperaturen, da keine Kühlung durch den Kühler stattfindet.

Rechts unten: Beim Erreichen einer bestimmten Temperatur gibt das eingebaute Thermostat der Kühlflüssigkeit auch den Weg über den Kühler frei. Mit zunehmender Erwärmung wird der Anteil der direkt zum Motorblock zurückströmenden Flüssigkeit immer geringer, und es wächst der Anteil, der durch den Kühler fließt. Es wird nun auch der sogenannte „**große Kreislauf**“ durchflossen. Mit zunehmender Erwärmung wird auch der Kühlerventilator zum Mitlaufen eingeschaltet. Nur wenn der Motor stark belastet wird, wie etwa durch eine längere Steigungsstrecke bei hohen Außentemperaturen und voller Zuladung, fließt **sämtliche** Kühlflüssigkeit über den „großen Kreislauf“.

Links: Die Abbildung erklärt die Funktionsweise des im Kühlkreislauf so wichtigen **Kühlwasserthermostats**. Es ist ein höchst interessantes Beispiel geschickter Nutzung des physikalischen Grundprinzips der **Wärmedehnung**. Seine Aufgabe ist die temperaturabhängige Steuerung des Strömens der Kühlflüssigkeit: Die im Bild von rechts kommende, erwärmte Kühlflüssigkeit aus dem Motorblock, wird nach unten in den „kleinen Kreislauf“ geschickt und/oder nach oben in den „großen Kreislauf“. Wie an der Darstellung erkennbar, funktioniert das Ventil über die Verlängerung der Baueinheit aus Dehnstoffelement und Arbeitskolben. Deren Baulänge, von der unteren Dichtungsfläche bis zur Oberkante des grau gezeichneten Arbeitskolbens, muss mit zunehmender Temperatur größer und mit abnehmender Temperatur kleiner werden. Die Schülerinnen und Schüler sollten überlegen, wie diese Längenveränderung herbeizuführen ist:

- Eine reine Längenveränderung eines Metallbolzens, wie sie den Schülern durch andere einfache Beispiele aus dem Unterricht bekannt sein dürfte, würde angesichts der hier vorliegenden, geringen Gesamtlänge nur zu einer nahezu unmerklichen Längenänderung führen.
- Eine vielleicht denkbare Alternative wäre eine Längenänderung, hervorgerufen durch einen metallenen, mit einer geeigneten leichtsiedenden Flüssigkeit gefüllten Faltenbalg. Nach diesem Prinzip arbeitende Thermostate – ähnlich dem der Regelung beim Kühlschrankschrankthermostaten oder bei den Automatikplatten bestimmter Elektroherde – wurden früher benutzt. Sie eignen sich jedoch nicht für Kühlsysteme, die bei normaler Motortemperatur schon mit deutlichem Überdruck arbeiten.

Der „Trick“ bei dem abgebildeten Thermostatmodell ist die Nutzung der wesentlich größeren **Wärmedehnung wachstiger Dehnstoffe**. Dieser Dehnstoff ist im Bild orange gezeichnet. Wenn er in Folge der Wärmewirkung sein Volumen vergrößert, drückt er über die grün gezeichnete Gummiwand den Arbeitskolben,

der unten stark verjüngt ist, nach oben. Geht die Ausdehnung bei Abkühlung des Systems zurück, wird durch Federwirkung einer Spiralfeder der Arbeitskolben wieder zurückgedrückt. Für die Besprechung dieses Phänomens sollte den Schülerinnen und Schülern die Wärmedehnung fester und flüssiger Körper vertraut sein. An dieser Stelle sei auf die Möglichkeit verwiesen, anlässlich von Werkstattbesuchen nach einem gebrauchten, noch zu Demonstrationszwecken funktionierenden, Thermostat zu fragen, um ihn im Unterricht im Experiment vorführen zu können (Wasserbad!).

Im oberen Teil der **Kopiervorlage 8** findet sich, exemplarisch für den Begriff „Regelkreise“, eine Darstellung des **Regelvorganges** durch ein Kühlmittelthermostat. Dieses Diagramm bedarf angesichts der Folie und der Informationen dazu an dieser Stelle keiner weiteren Erklärung für den Lehrer. Im unteren Teil der Kopiervorlage wird ein bekanntes Beispiel für die Ausnutzung der **Wärmedehnung** behandelt: die Nutzung eines **Bimetallstreifens**.

Anmerkung: Die dargestellte Version eines Bimetallreglers, der unmittelbar das Ein- und Ausschalten des elektrischen Kühlerventilators veranlasst, wird mit dem derzeitigen Anwachsen elektronischer Steuerungen und Regelungen im Auto bald historisch sein. Doch dessen Verständlichkeit für Schülerinnen und Schüler und die Einfachheit dieser Grundschaltung machen ihn zu einem sinnvollen Beispiel.

Hinweis:

Es kann, wenn interessierte Schüler dazu Fragen stellen sollten, auch auf die Nachteile (Kontaktbrand!) einer solchen direkten Schaltung ohne zusätzliches Relais bzw. elektronische Weiterverarbeitung kurz eingegangen werden.

Lernziele: Die Schüler sollen

- den Ablauf des vorgestellten Regelvorgangs mit eigenen Worten beschreiben können (je nach Intention des Lehrers: auswendig oder nur anhand dieser Darstellung).
- das Prinzip eines Regelkreises erklären können.
- die Funktion eines Bimetallstreifens kennen und richtig beschreiben können.
- die Verwendung eines solchen Streifens zum Zwecke der Temperaturregelung analysieren und beschreiben können.

Weiterer Regelkreis

Auf der Kopiervorlage ist der Regelvorgang beim Regeln der Kühlmitteltemperatur beim Auto ein zentrales Thema. Im Alltag werden aber die Begriffe „Steuern“ und „Regeln“, die im Bereich der Technik einen streng definierten Bedeutungsinhalt haben, oft falsch benutzt. Vielfach wird ihre Bedeutung dahingehend fehlinterpretiert, dass man meint, die beiden Begriffe seien identisch. Deshalb sollen die beiden Begriffe, anhand des Themas „Wärme im Auto – Heizung – genauer erklärt werden.

In einem herkömmlichen Fahrzeug hat der Fahrer die Möglichkeit, die Temperatur im Fahrzeuginnenraum zu beeinflussen, indem er die Bedienelemente für den Wirkungsgrad des Wärmetauschers (üblicherweise mit blauen und roten Symbolen gekennzeichnet) und für die Gebläsestärke einstellt. Die Temperatur im Fahrzeug

stellt sich darauf nach kurzer Zeit auf einen bestimmten Wert ein, wird aber vom Fahrzeug selbst nicht automatisch kontrolliert und angepasst.



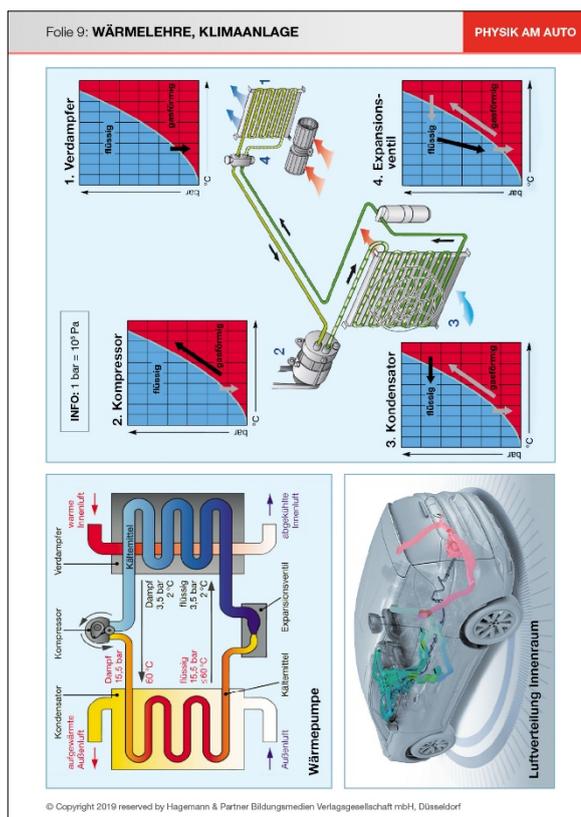
Ein solcher Vorgang ist ein reines **Steuern** der Heizung durch den Fahrer. Dass man oft hört, der Fahrer habe die Heizung geregelt, beruht auf einem naheliegenden Irrtum. Man betrachtet den Fahrer als **Element in einem Regelkreis**: Der Fahrer greift in den Steuerungsvorgang der Heizung ein und verändert die Eingabewerte. Dies geschieht beim Auftreten von Störgrößen (z. B. plötzliche stärkere Sonneneinstrahlung) immer wieder. Insofern stellt das System mit Fahrer tatsächlich einen Regelkreis dar.

Ein tatsächliches **Regeln** liegt aber erst dann vor, wenn der Fahrer seine Wunschtemperatur einstellen kann und diese anschließend ohne sein Zutun eingehalten wird. Dann übernimmt ein **Regelkreis** die automatisch ablaufende Temperaturregelung. Störgrößen werden vom Fahrzeug erkannt und berücksichtigt. Laufend wird der **Istwert (tatsächliche Ausgangsgröße = Fahrzeugtemperatur im Innenraum)** mit dem eingestellten **Sollwert (geforderte Ausgangsgröße = Wunschtemperatur)** verglichen. Dieser Vergleich geschieht mithilfe eines „Sensors“. Bauteile für die Erfassung von Istwerten werden Sensoren genannt; in unserem Beispiel kommt ein Temperatur-sensor zum Einsatz.



Abweichungen zwischen Soll- und Istwert werden vom Regler festgestellt. Der **Regler** gibt ein **Stellsignal** an ein Bauteil, das die Ausgangsgröße (die Temperatur im Fahrzeug) in der gewünschten Richtung verändern kann, einen sogenannten „Aktor“ oder auch „**Stellglied**“. Regler und Stellglied zusammen sind bautechnisch oft eine Einheit, die sogenannte „**Regel-einrichtung**“. Das hier gewählte Beispiel umfasst nur wenige Komponenten und eignet sich daher gut zum Verständnis des Prinzips (siehe Diagramm). Im Fahrzeugbau finden sich zahlreiche Regelvorgänge, vor allem bei Systemen mit „elektronischem Motor-management“. Diese sind teilweise von erheblich komplexerer Natur, sodass die Anzahl der Sensoren und Aktoren beträchtlich sein kann.

Wärmepumpe



Einsatz der Folie

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 der Folie

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. $1 \cdot 10^5$ Pa 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 anderen. Prinzipiell kann sie also sowohl zu Heizungs- als auch zu Kühlzwecken eingesetzt werden.

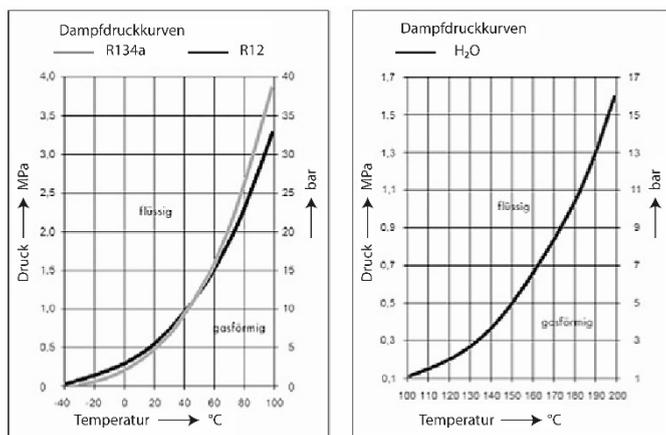
Vorgänge im Verdampfer

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 (Kühlmittel) 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 $3,5 \cdot 10^5$ Pa 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 $1 \cdot 10^5$ Pa 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 2 258 kJ/kg. Diese Verdampfungswärme ist übrigens wesentlich höher als die „spezifische Schmelzwärme“, 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**:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant}$$

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