

Vogel Fachbuch

Service-Fibel

Ulrich Deh

**Kfz-
Klimaanlagen**

Ulrich Deh
Kfz-Klimaanlagen

Service-Fibel

Dr.-Ing. habil. Ulrich Deh

Kfz-Klimaanlagen

3., aktualisierte Auflage

Vogel Buchverlag

Dr.-Ing. habil. ULRICH DEH

Jahrgang 1941, Lehre als Schiffsschlosser,
Studium an der Universität Rostock, Dipl.-Ing. für
Schiffsmaschinenbau, Lehr- und
Forschungstätigkeit an der Technischen
Universität Magdeburg, Promotion und
Habilitation auf dem Gebiet der
Konstruktionstechnik, Dozent für CAD und
Grundlagenfächer in der Kfz-Techniker- und
Meisterausbildung.

Weitere Informationen:
www.vogel-buchverlag.de

ISBN 978-3-8343-3212-7

3. Auflage 2011

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form
(Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen
Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt
oder verbreitet werden. Hiervon sind die in
§§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten
Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 1999 by Vogel Business Media
GmbH & Co. KG, Würzburg

Vorwort

Der Anteil an Personenkraftwagen, die bereits von den Herstellern mit Klimaanlage ausgerüstet werden, nimmt stetig zu, und bereits ausgelieferte Fahrzeuge werden immer häufiger mit Klimaanlage nachgerüstet. Damit verbunden sind Wartungsarbeiten, die die Werkstätten vor neue Anforderungen stellen und ein geschultes Personal benötigen.

Die Luftbehandlung beschränkt sich nicht nur auf Heizen und Lüften, was mit traditionellen Ausrüstungen wie Wärmeaustauscher und Lüfter bewerkstelligt werden kann, sondern es kommen Kühlen, Trocknen, Mischen und teilweise auch Befeuchten hinzu. Das dabei angewendete technische Prinzip des Wärmetransportes unter Ausnutzung der Änderung des Aggregatzustandes des Betriebsstoffes, nämlich des Kältemittels, in einem geschlossenen Kreisprozeß ist für den Kraftfahrzeugtechniker neu. Voraussetzung für einen fachgerechten Umgang mit der Klimaanlage sind umfassende Kenntnisse über das Verhalten des Kältemittels, des Kältemaschinenöls in allen möglichen Betriebszuständen der Anlage sowie Eventualitäten, die im Nutzungszklus eines Kraftfahrzeugs eintreten können.

Aber nicht nur den Kältemittelkreislauf, auf den sich das technische Interesse meistens konzentriert, muß ein Wartungstechniker beherrschen, auch die lufttechnischen Angelegenheiten sind wichtig, denn erst mit der richtig konditionierten Luft wird die mit der Klimaanlage angestrebte Behaglichkeit für Insassen erreicht. Deshalb muß der Wartungstechniker seinen Kunden auch den richtigen Gebrauch der Anlage bei unterschiedlichen Raum- und Außenluftzuständen erklären können.

Kfz-Meister, -Mechaniker, Techniker und Auszubildende erhalten hiermit eine zusammenfassende Darstellung der physikalischen, technischen und sicherheitstechnischen Probleme, die im Zusammenhang mit Pkw-Klimaanlagen entstehen. Auch als Nachschlagewerk ist das Buch wertvoll. Anhand von Wiederholungsfragen kann man den erreichten Kenntnisstand selbständig überprüfen. Soweit es möglich war, sind Betriebsdaten verschiedener Fahrzeugtypen und Fahrzeughersteller aufgenommen worden.

Aus der Erfahrung mehrjähriger Tätigkeit in der Ausbildung von Kfz-Meistern wurden die physikalischen Zusammenhänge (auch die thermodynamischen Grundlagen) so beschrieben, daß allgemeine mathematische Kenntnisse zum Verständnis ausreichen.

Danken möchte ich allen fachkundigen Helfern, insbesondere den Unternehmen der Kfz-Industrie, die technische Daten und Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben, sowie dem Geschäftsführer der Fachakademie für Technik und Betriebswirtschaft Magdeburg für die steti-ge Förderung des Projektes.

Magdeburg

Dr. Ulrich Deh

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung	9
2 Anforderungen an das Raumklima im Kfz	11
2.1 Thermische Behaglichkeit	11
2.2 Weitere Einflüsse	13
3 Konditionierung der Luft	15
3.1 Zustandsgrößen der Luft	15
3.2 Verdampfung und Kondensation von Flüssigkeiten	19
3.3 h - x -Diagramm	20
4 Kälteerzeugung und Kältemittelkreislauf	25
4.1 Verdichter	26
4.2 Verflüssiger	33
4.3 Sammler und Filtertrockner	36
4.4 Schauglas	38
4.5 Expansionsventil als Drosselorgan	39
4.6 Verdampfer	43
4.7 Bauelemente für die Drosselregelung des Kältemittelkreislaufs	46
4.8 Druck- und Temperaturüberwachung des Kältemittelkreislaufs	49
4.9 Zubehör	51
4.9.1 Schläuche und Anschlüsse	51
4.9.2 Serviceventile	53
4.9.3 Dämpfer	53
4.10 Kältemittelkreisprozeß	54
4.10.1 p - h -Diagramm	54
4.10.2 Kältemittelkreisprozeß im p - h -Diagramm	56
4.10.3 Verbesserung der Kälteleistung mit einem inneren Wärmetauscher	57
4.10.4 Verbesserung der Kälteleistung durch Arbeit verrichtende Expansion	59
5 Betrieb von Klimaanlage	63
5.1 Klimatisierung des Fahrgastraums	63
5.2 Kraftstoffverbrauch der Klimaanlage	67
5.3 Bedienung der Klimaanlage	68
6 Betriebsstoffe und ihre Handhabung	71
6.1 Kältemittel	71
6.1.1 Zusammensetzung und Bezeichnung der Frigene	72
6.1.2 Ozonabbau durch FCKW	74

6.1.3	Treibhauseffekt der Kohlenwasserstoffe	75
6.1.4	Kältemittel mit geringem Treibhauspotential	76
6.2	Kältemaschinenöl	84
7	Service und Wartung	89
7.1	Arbeiten mit dem Servicegerät	90
7.2	Lecksuche	94
7.3	Kältemittelumstellung	95
7.4	Wartung und Instandsetzung	96
7.4.1	Unzureichende Kühlleistung	97
7.4.2	Geräusche in der Klimaanlage	98
7.4.3	Geruchsentwicklung	99
7.5	Fehlersuche durch Druckprüfung	102
7.6	Füllmengen, Drücke, Diagnosewerte	103
7.7	Schema der elektrotechnischen Schaltung	120
8	Vorschriften für Arbeiten an Kfz-Klimaanlagen	123
8.1	Druckbehälterverordnung	123
8.1.1	Einteilung der technischen Mittel in Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen	124
8.1.2	Prüfungen	127
8.1.3	Prüfungsberechtigte Personen, Nachweise	128
8.1.4	Füllanlagen – Technische Regeln für Druckgase	130
8.1.5	Betrieb von Füllanlagen	135
8.2	Verordnungen und Richtlinien zum Klimaschutz	136
8.2.1	FCKW-Halon-Verbotsverordnung	136
8.2.2	Bestimmungen zur Begrenzung der Emission von Treibhausgasen	136
8.3	Entsorgung von Abfällen	140
8.4	Nachweis des Verbleibs von Abfällen und Kältemitteln	142
8.5	Unfallverhütungsvorschriften	146
8.5.1	Geltungsbereich	146
8.5.2	Einteilung der Kältemittel	146
8.5.3	Bauvorschriften und Kennzeichnungen	147
8.5.4	Sicherheitseinrichtungen	148
8.5.5	Betrieb, Wartung und Instandhaltung	150
8.5.6	Persönliche Schutzausrüstungen	151
8.5.7	Prüfung durch Sachkundige	152
8.5.8	Umgang mit Kältemitteln und Druckbehältern	152
9	Klimaanlagen in Fahrzeugen mit Hybrid- oder Elektroantrieb	155
9.1	Alternative Heizung	155
9.2	Klimaanlagen in Fahrzeugen mit alternativen Antrieben	157
10	Wiederholungsfragen und Lösungen	159
	Formelzeichen	179
	Literaturverzeichnis	181
	Stichwortverzeichnis	185

1 Einleitung

Klimaanlagen in Kraftfahrzeugen erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Neben dem größeren Komfort bieten sie eine wesentliche Zunahme der passiven Sicherheit, da die Konzentrationsfähigkeit des Fahrers durch ein optimal eingestelltes Innenraumklima unterstützt wird.

Werkstätten erhalten durch Wartung und Nachrüstung von Klimaanlagen ein neues Betätigungsfeld. Dafür wird sachkundiges Personal benötigt, das durch Ausbildung und Schulung zu qualifizieren ist. Sachkunde auf dem Gebiet der Kraftfahrzeug-Klimaanlagen enthält im wesentlichen Grundkenntnisse über die Luftbehandlung, Detailkenntnis der erforderlichen Gerätetechnik und des dazu vom Gesetzgeber erlassenen Vorschriften- und Regelwerkes sowie handwerkliche Fertigkeiten.

Das vorliegende Material unterstützt die Durchführung von Lehrgängen zum Erwerb der Sachkunde, fördert die individuelle Vorbereitung des Lehrgangsteilnehmers auf die Sachkundigenprüfung und dient bei auftretenden Problemen als Nachschlagewerk.

2 Anforderungen an das Raumklima im Kfz

Die Anforderungen an das Raumklima in Kraftfahrzeugen werden durch die zu befördernden Personen und Güter bestimmt. Hier stehen die für den Personentransport wichtigen Anforderungen im Vordergrund. Vom Standpunkt der Sicherheit des Straßenverkehrs ist dem Führer des Kraftfahrzeugs besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Ihm sind nach Möglichkeit alle Mittel der passiven Sicherheit zu gewähren. Dazu gehören vor allen Dingen die Maßnahmen, die die Aufmerksamkeit beim Führen des Fahrzeugs auch über einen längeren Zeitraum erhalten. Die Konzentrationsfähigkeit eines Menschen wird durch schlechte atmosphärische Bedingungen, wie hohe Temperaturen, hohe Luftfeuchtigkeit und Staub-, Lärm- und Geruchsbelästigungen negativ beeinflusst. Durch eine Klimatisierung der Raumluft kann man diese Einflüsse größtenteils ausschalten.

Neben den objektiven Voraussetzungen für das sichere Führen eines Kraftfahrzeugs sind die subjektiven Voraussetzungen des Fahrers von großer Bedeutung. Dazu muß man das Wohlfühl des Fahrers zählen. In der Klimatechnik hat man versucht, dieses subjektive Empfinden unter dem Begriff der Behaglichkeit zu objektivieren. Sie wird von thermischen, chemischen, physikalischen und optischen Komponenten beeinflusst.

Natürlich dienen die Maßnahmen zur Verbesserung des Raumklimas im Kfz auch der Behaglichkeit von anderen Fahrzeuginsassen, um Reisen und Fahren auch unter widrigen Witterungsbedingungen angenehm zu machen. Klimaanlage in Personenkraftwagen bieten dem Fahrgast neben einem zweifellos höheren Komfort auch ein größeres Maß an Sicherheit.

2.1 Thermische Behaglichkeit

Das Wärmeempfinden des Menschen wird durch Temperatur, Feuchtigkeit und Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft maßgeblich beeinflusst. Als weitere Komponente kommt die Temperatur der Umschließungsflächen des Raums hinzu. Diese 4 Komponenten

beeinflussen sich teilweise gegenseitig. Temperatur, Feuchtigkeit und Verteilung der Luft können mit Klimaanlage gesteuert werden.

Die Temperatur der Raumumschließungsflächen wird durch das Design sowie die verwendeten Materialien für Innenraumverkleidungen und Isolierungen beeinflusst. Der negative Einfluß zu kalter Flächen auf das Behaglichkeitsgefühl kann durch eine richtige Wahl der 3 anderen Komponenten reduziert werden. Die Temperatur und in gewissem Umfang auch die Feuchtigkeit der Luft werden mit den heute in Kfz üblichen Klimaanlage gesteuert.

Zu starke Luftbewegung, die den sitzenden Menschen einseitig trifft, wird als Zug empfunden. Zur Verhinderung von Zugescheinungen kann die Raumluftgeschwindigkeit im Kfz über die Lüfterleistung und zusätzlich an den in Richtung und Volumenstrom veränderlichen Luftaustrittsdüsen geregelt werden. Insbesondere kann dadurch eine gleichmäßige Temperaturverteilung erreicht werden, was z.B. im Sommerbetrieb von Bedeutung ist, wo in Fahrerhäusern von Nkw in Kopfhöhe gemessene Temperaturen von 50 °C und mehr keine Seltenheit sind.

Die in Abhängigkeit von der Außentemperatur bei bestimmtem Luftdurchsatz als behaglich empfundenen Innentemperaturen sind aus dem Diagramm Bild 2.1 zu entnehmen.

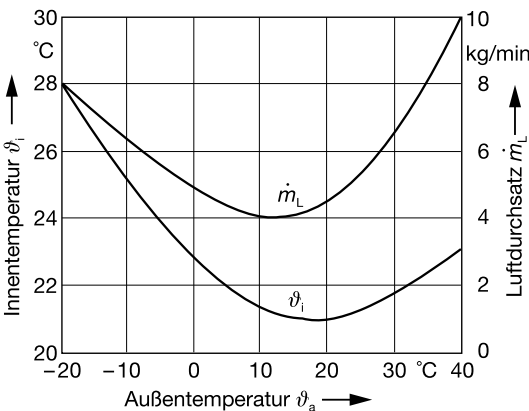


Bild 2.1
Behaglichkeit der Innentemperatur und des Luftdurchsatzes bei unterschiedlichen Außentemperaturen

2.2 Weitere Einflüsse

Die Qualität der Raumluft wird durch die CO₂-Abgabe sowie durch Geruchs-, Ekelstoffe und Tabakqualm negativ beeinflusst. Zur objektiven Beurteilung der Luftverunreinigung durch Personen dient die Maßeinheit Olf (olfaction – Geruchssinn). Sie ist definiert als Luftverunreinigung, die von einem durchschnittlichen, nichtrauchenden Erwachsenen bei sitzender Tätigkeit an einem nichtgewerblichen Arbeitsplatz in behaglicher Wärme ausgeht und der einen Hygienestand von 0,7 Bädern/Tag bei täglich frischer Wäsche hat. Die Stärke von Geruchsquellen wird durch die Angabe in Olf mit der Wirkung der entsprechenden Anzahl von «Standardpersonen» verglichen.

Staub, Pollen, Sporen, Abgase und Gerüche sind weitere Verunreinigungen, die die Qualität der Atemluft mindern und ihre Reinigung mit entsprechenden Filtern erforderlich machen.

Die Wirkung von elektrischen Feldern und Ionenkonzentrationen auf den Menschen ist gegenwärtig nicht ausreichend geklärt. Sie wird deshalb weder bei der Gebäudeklimatisierung noch bei der Fahrzeugklimatisierung berücksichtigt.

3 Konditionierung der Luft

Die uns umgebende Luft ist ein Gemisch aus Gasen und unsichtbarem Wasserdampf. Physikalisch und technisch reicht es aus, die Komponenten trockene Luft mit den Volumenbestandteilen

Stickstoff	78,08%
Sauerstoff	20,95%
Argon	0,93%
Kohlendioxid	0,03%

sowie weiteren Edelgasen und Wasserdampf zu unterscheiden. Der Wasserdampfanteil kann je nach Witterungslage 0,5...3% Gewichtsanteile betragen. Mit Klimaanlage oder -geräten wird also der Zustand der feuchten Luft verändert bzw. konditioniert.

3.1 Zustandsgrößen der Luft

In der Thermodynamik wird der jeweilige Zustand eines Gases durch physikalische Größen beschrieben. Der Zustand der feuchten Luft wird durch die Zustandsgrößen

Temperatur:	T	[K]
Dichte:	ρ	[kg/m ³]
Druck:	p	[Pa]
Wassergehalt:	x	[g/kg]
Enthalpie:	h	[J/kg]

angegeben.

Den Zusammenhang zwischen den Zustandsgrößen gibt die Zustandsgleichung für ideale Gase an. Sie lauten für die beiden Mischungskomponenten trockene Luft und Dampf

$$p_L = m_L \cdot R_L \cdot T/V$$

$$p_D = m_D \cdot R_D \cdot T/V$$

Die Gaskonstanten haben die Zahlenwerte

$$R_L = 287,1 \text{ J/kg K}$$

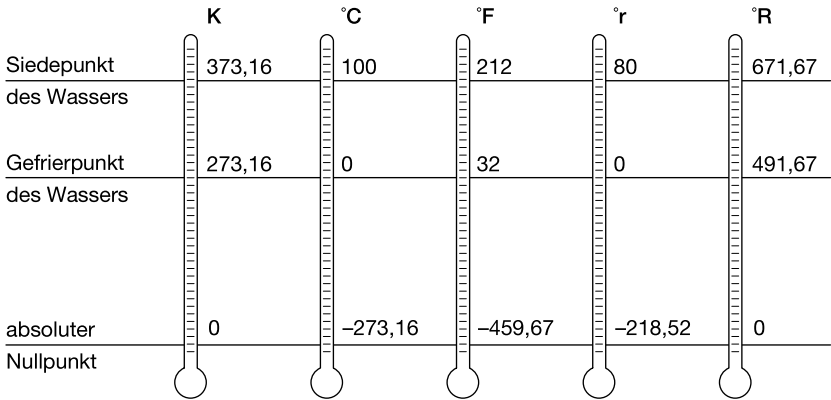
$$R_D = 461,5 \text{ J/kg K}$$

In der Klimatechnik erfolgt die Temperaturangabe häufig nach der Celsiusskala. Als Formelzeichen wird dann der Buchstabe ϑ (Griechisch: «teta») verwendet. Weitere Temperaturskalen sowie die Umrechnungen sind in Bild 3.1 angegeben.

Der Wassergehalt x der Luft oder ihre absolute Feuchte ist das Massenverhältnis von Wasserdampf und trockener Luft.

$$x = m_D / m_L$$

Luft kann bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck nur eine begrenzte Wassermenge aufnehmen. Die Sättigungsdampfmenge wird mit x_s bezeichnet. Bei einer Verringerung der Tem-



$$K = °C + 273,16$$

$$°C = (°F - 32) / 1,8$$

$$K = (°F + 459,67) / 1,8$$

$$°C = K - 273,16$$

$$K = (°r \cdot 1,25) + 273,16$$

$$K = °R / 1,8$$

Bild 3.1

Temperaturskalen und ihre Umrechnungen

peratur kondensiert ein Teil des Wasserdampfes. An kalten Umgebungsflächen wird Schwitzwasser abgeschieden.

Dem Feuchteempfinden des Menschen als Behaglichkeitskomponente entspricht die relative Feuchte

$$\varphi = x/x_s$$

Sie drückt aus, welches Verhältnis zwischen der in der Luft vorhandenen Wasserdampfmenge zu einer bei gleicher Temperatur und gleichem Druck maximal möglichen Wasserdampfmenge besteht. Die Angabe erfolgt in Prozent.

Ein Beispiel verdeutlicht die Zusammenhänge: Bei einer herbstlichen Wetterlage wird eine Tagestemperatur von 18 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 82% erreicht. In der darauffolgenden Nacht sinkt die Temperatur auf 8 °C. Besteht die Gefahr der Nebelbildung?

Aus einschlägigen Tabellenbüchern kann entnommen werden, daß bei $\vartheta_1 = 18$ °C die Sättigungsdampfmenge $x_{s1} = 15,4$ g/m³ und bei $\vartheta_2 = 8$ °C, $x_{s2} = 7,8$ g/m³ beträgt.

Der Wassergehalt der Luft bei $\vartheta_1 = 18$ °C und $\varphi = 0,82$ beträgt

$$x_1 = \varphi \cdot x_{s1} = 0,82 \cdot 15,4 \text{ g/m}^3 = 12,6 \text{ g/m}^3.$$

Bei $\vartheta_2 = 8$ °C kann 1 m³ Luft nur $x_{s2} = 7,8$ g Wasserdampf aufnehmen, so daß

$$x_1 - x_{s2} = (12,6 - 7,8) \text{ g/m}^3 = 4,8 \text{ g/m}^3$$

ausgeschieden werden, die sich in Tröpfchenform als Tau niederschlagen oder in feinsten Verteilung als Nebel in der Schwebe bleiben.

Der Druck ist die auf die Fläche bezogene Wirkung einer Kraft. In Flüssigkeiten und Gasen breitet sich der Druck in alle Richtungen gleichmäßig aus. Der absolute Druck in einem Behälter setzt sich immer zusammen aus dem Druck der umgebenden Atmosphäre p_{amb} und dem nutzbaren oder effektiven Druck p_e

$$p = p_{\text{amb}} + p_e$$

In einem Gasgemisch wird der Gesamtdruck aus den Teildrücken der Mischungsteilnehmer erzeugt (Daltonsches Gesetz). Für feuchte Luft gilt somit

$$p = p_L + p_D$$

Die Maßeinheit des Druckes ist

$$\text{N/m}^2 = \text{Pa} = \text{MPa}/10^6 = \text{bar}/10^5$$

Die Dichte der feuchten Luft ist der Quotient aus Masse und Volumen. Die Masse besteht aus den Teilmassen der trockenen Luft und des Wasserdampfes.

$$\rho = (m_L + m_D)/V = m_L/V + m_D/V = \rho_L + \rho_D$$

Da die Dichte von Wasserdampf kleiner ist als die der trockenen Luft, ist feuchte Luft leichter als trockene. Infolge dessen steigt sie auf.

Der Wärmeinhalt eines trockenen Gases wird bestimmt durch die Masse m , die Wärmekapazität c und die Temperatur T .

$$Q = m \cdot c \cdot T$$

Wählt man als Bezugstemperatur $\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ und bezieht den Wärmeinhalt auf die Masse, erhält man die spezifische Enthalpie

$$h = Q/m = c \cdot \vartheta$$

Die Enthalpie der feuchten Luft setzt sich aus dem Wärmeinhalt der trockenen Luft, dem Wärmeinhalt des Wasserdampfes und der Verdampfungswärme zusammen.

$$h = c_L \cdot \vartheta + c_D \cdot \vartheta + x \cdot r$$

Der Ausdruck $x \cdot r$ ist die zum Verdampfen der entsprechenden Wassermenge erforderliche Wärmemenge. Der Wärmeanteil $c_L \cdot \vartheta + c_D \cdot \vartheta$ ist mit Hilfe der Temperaturmessung bestimmbar und wird deshalb sensible (fühlbare) Wärme genannt. Die Verdampfungswärme wird als latente (verborgene) Wärme bezeichnet. Beide Wärmeanteile werden bei der Bestimmung der Kühlleistung der Klimaanlage berücksichtigt.

Um unterschiedliche Gasvolumen vergleichen zu können, ist in DIN 1343 der Normzustand mit

$$\vartheta_n = 0 \text{ °C bzw. } T_n = 273,15 \text{ K und}$$
$$p_n = 1,01325 \text{ bar}$$

festgelegt.

3.2 Verdampfung und Kondensation von Flüssigkeiten

Wird Wasser bei Umgebungsdruck von 1 bar erwärmt, so verdampft es unter weiterer Wärmeaufnahme bei einer konstanten Siedetemperatur von 100 °C. Erhöht man den Umgebungsdruck des Wassers, so tritt die Dampfbildung erst bei einer höheren Temperatur ein. Es sind folgende bemerkenswerten Erscheinungen zu beobachten:

- Dampfbildung erfolgt bei einer konstanten Temperatur.
- Zur Erhaltung des Prozesses ist ständige Wärmezufuhr erforderlich.
- Eine Temperaturerhöhung tritt erst wieder ein, wenn das Wasser restlos verdampft ist.

Die Dampfdruckkurve, Bild 3.2, trennt den flüssigen (unteren) vom gasförmigen (oberen) Zustandsbereich. Je nach Zustand (Temperatur und Druck) ist eine bestimmte Wärmemenge – die Verdampfungswärme – zur Verdampfung einer bestimmten Flüssigkeitsmenge erforderlich.

Der geschilderte Prozeß ist umkehrbar (reversibel). Wird Wasserdampf abgekühlt, so kondensiert das Wasser in Tröpfchenform, z.B. als Schwitzwasser an einer kalten Wand oder freischwebend als Nebel. Dabei wird die ursprünglich zum Verdampfen aufgewendete Energie frei.

Der physikalische Effekt des Wärmeaustausches bei der Verdampfung und Kondensation der Flüssigkeit wird in der Kältetechnik genutzt. Die zum Verdampfen des Kältemittels erforderliche Energie wird dem Kühlgut entzogen. Die Kondensation des Kältemittels erfolgt durch Abführen dieser Wärme nachdem die Temperatur durch Verdichten des Kältemittels erhöht wurde. Voraussetzung ist ein Kältemittel, dessen Dampfdruckkurve in einem technisch verwertbaren Bereich liegt. Um den Wärmeaustausch im Temperaturbereich des