

Becker

Die neue Meisterprüfung

lüftungsanlagen



 **VOGEL**

Lüftungsanlagen

Die neue Meisterprüfung

Lüftungsanlagen

Dipl.-Ing. Anette Becker

2. Auflage 2011

Vogel Buchverlag
Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Dipl.-Ing. ANETTE BECKER
Jahrgang 1948, studierte Technische Gebäudeausrüstung an der
TU Dresden. Sie ist jetzt als Dozentin für Heizungs, Lüftungs- und
Klimatechnik in der Meister- und Techniker Ausbildung in Leipzig tätig.

Weitere Informationen:
www.vogel-buchverlag.de

ISBN 978-3-8343-3254-7

2. 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 2000 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

Umschlaggrafik: Icon, Veitshöchheim

Geleitwort

Mit Inkrafttreten der Novelle zur Handwerksordnung am 1. April 1998 ist mit dem *Installateur und Heizungsbauer* ein Handwerk entstanden, dessen Tätigkeitsgebiete den gesamten Bereich der Ver- und Entsorgungsanlagen in der Gebäudetechnik umfassen.

Absolventen der Meisterprüfung in diesem neuen Handwerk werden nach dem Willen des Gesetzgebers Kenntnisse über alle Arbeitsgebiete des Berufsbildes nachweisen müssen. Dies wird einen neuen Zuschnitt der Prüfungsfächer und damit auch eine Neugestaltung der Vorbereitungsmaßnahmen auf die Prüfung bedeuten. Dabei sind vor allem die vielfachen Überschneidungen zu berücksichtigen, die in einzelnen Technikgebieten zwischen den bisherigen Einzelberufen Gas- und Wasserinstallateur bzw. Zentralheizungs- und Lüftungsbauer bereits bestanden.

Im Vorgriff auf die zur Zeit in Arbeit befindliche neue Meisterprüfungsverordnung hat der Vogel Verlag in Abstimmung mit dem Zentralverband Sanitär Heizung Klima eine Lehrbuchreihe konzipiert, die diesen ganzheitlichen Prüfungsansatz bereits berücksichtigt. In dieser Buchreihe, die sowohl zur Vorbereitung auf die Meisterprüfung als auch als Nachschlagewerk dienen kann, ist der Stoff bereits nicht mehr nach einzelberuflicher Sichtweise, sondern nach übergreifenden Technikgebieten geordnet.

Die vorgesehene Abstimmung der Inhalte mit den Vorgaben des bundeseinheitlichen Rahmenplans des ZVSHK für die Vorbereitung auf die Meisterprüfung wird nach unserer Auffassung wesentlich zu einem gleichmäßig hohen Niveau der Sachkunde zukünftiger Meister im Installateur- und Heizungsbauerhandwerk beitragen.

St. Augustin
Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Vorwort

Das vorliegende Buch ist für den zukünftigen Meister auf dem Gebiet des Heizungs- und Lüftungsbaus konzipiert. Im Zuge der Neuordnung der Handwerksberufe ist es aber auch als Nahtstelle für fachübergreifende Gewerke zu verstehen.

Das Buch vermittelt spezielle, grundlegende Fachkenntnisse der Lüftungstechnik. Ziel ist es, dem zukünftigen Fachmann ein Arbeitsmittel an die Hand zu geben, mit dem er theoretische Zusammenhänge erfassen und eine praktische Umsetzung finden kann.

Die Darstellung ist kompakt gefasst und zum besseren Verständnis mit zahlreichen Bildern unterlegt; die Arbeit mit dem Buch wird anhand von Tabellen erleichtert. An geeigneten Stellen werden theoretische Abhandlungen mit einem Fallbeispiel ergänzt. Auf aktuelle gesetzliche Vorschriften und Normen wird hingewiesen.

Im Aufbau des Buches ist der Schwerpunkt auf die grundlegenden physikalischen Gesetze der feuchten Luft sowie auf die Dimensionierungsgrundlagen lufttechnischer Anlagen gelegt worden, die als Ausgangspunkte richtiger, energiesparender Bauweise gesehen werden müssen.

Zunächst werden die Grundlagen beschrieben, um dann auf die entsprechenden Anlagen einzugehen. Behandelt werden raumlufttechnische Anlagen zur Be- und Entlüftung sowie Luftheizungsanlagen. Auf die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung zur Energieeinsparung wird hingewiesen. Auf Anlagen, die Räume oder auch ganze Gebäude weitergehend klimatechnisch umfassen, wird in dem Themenband «Klimaanlagen» eingegangen.

Das Fachbuch versteht sich als Nachschlagewerk und Begleiter zu den entsprechenden Lehrveranstaltungen in der Ausbildung und soll als eine in das Fachgebiet der Lüftungstechnik einführende Publikation verstanden werden, die es dem Benutzer ermöglicht, Zusammenhänge zwischen Theorie und Praxis herzustellen.

Markkleeberg

Anette Becker

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	5
Vorwort	7
1 Einführung	13
2 Raumklima und thermische Behaglichkeit	15
2.1 Wärmephysiologische Grundlagen	15
2.2 Behaglichkeit und Einflussgrößen	17
2.2.1 Thermische Einflussgrößen.....	17
2.2.2 Sonstige Einflussgrößen.....	21
3 Physikalische Grundlagen der Luftbehandlung	23
3.1 Zustandsgrößen feuchter Luft	24
3.2 Prinzipieller Aufbau des Mollier- <i>h,x</i> -Diagramms.....	26
3.3 Zustandsänderungen im <i>h,x</i> -Diagramm	26
3.3.1 Erwärmen	26
3.3.2 Kühlen	28
3.3.3 Mischen zweier Feuchtluftströme	31
3.3.4 Befeuchten.....	32
4 Anlagen zur Luftbehandlung	35
4.1 Begriffe und Sinnbilder	35
4.1.1 Luftarten nach DIN 1946 Teil 1	35
4.1.2 Sinnbilder nach DIN 1946 Teil 1.....	36
4.2 Einteilung raumlufttechnischer Anlagen	44
5 Allgemeine Aufgaben der Raumluftechnik	49
6 Ermittlung notwendiger Luftvolumenströme	51
6.1 Außenluft-Volumenströme \dot{V}_{AU}	51
6.1.1 \dot{V}_{AU} nach der Luftwechselzahl LW	52
6.1.2 \dot{V}_{AU} nach der Außenluftrate AR	55
6.1.3 \dot{V}_{AU} nach der Schadstoffkonzentration im Raum ..	57

6.2	Zuluft-Volumenstrom \dot{V}_{ZU}	58
6.2.1	\dot{V}_{ZU} für die Raumbelüftung.....	59
6.2.2	\dot{V}_{ZU} für die Raumheizung.....	59
6.2.3	\dot{V}_{ZU} für die Raumkühlung.....	61
7	Freie Lüftung	63
7.1	Einfluss des Dichteunterschiedes $\Delta\rho$	63
7.2	Windeinfluss.....	65
7.3	Anlagen der freien Lüftung.....	67
7.3.1	Fugen- und Fensterlüftung.....	67
7.3.2	Schachtlüftung.....	69
7.3.3	Dachaufsatzlüftung.....	71
8	Anlagen der maschinellen Lüftung	73
8.1	Berechnungsgrundlagen.....	73
8.1.1	Luftvolumenströme und Heizregisterleistung für Luftheizungsanlagen.....	74
	<i>Außenlufterwärmung</i>	74
	<i>Lufterwärmung zur Raumheizung</i>	76
8.1.2	Querschnitte von Luftkanälen.....	80
8.1.3	Druckarten.....	83
8.1.4	Druckverluste im Kanalnetz.....	86
	<i>Druckverlust durch Rohrreibung</i>	86
	<i>Druckverlust durch Einbauten</i>	89
	<i>Gesamtdruckdifferenz</i>	99
8.2	Schalltechnische Grundlagen.....	101
8.2.1	Begriffe.....	104
8.2.2	Addition von Schallwellen.....	104
8.3	Ausgewählte Anlagen ohne Luftbehandlungsfunktion.....	107
8.3.1	Entlüftung innen liegender Bäder und Toiletten.....	107
8.3.2	Küchenentlüftung.....	117
8.3.3	Be- und Entlüftung mit Wand- und Fensterlüftern.....	119
8.4	Bauteile lüftungstechnischer Anlagen.....	121
8.4.1	Ventilatoren.....	121
	<i>Anlagenkennlinie und Betriebspunkt</i>	121
	<i>Axialventilatoren</i>	123
	<i>Radialventilatoren</i>	125
	<i>Leistungsbedarf</i>	129
	<i>Parallel- und Reihenschaltung</i>	129
8.4.2	Wärmeübertrager.....	130
	<i>Lufterwärmer</i>	131
	<i>Luftkühler</i>	137

8.4.3	Luftfilter.....	142
8.4.4	Mischkammer	143
8.4.5	Schalldämpfer	145
8.4.6	Luftdurchlässe.....	148
8.4.7	Wetterschutzgitter	151
8.4.8	Absperreinrichtungen	151
8.4.9	Luftkanäle.....	151
8.5	Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen.....	154
9	Brandschutz.....	163
9.1	Allgemeines zu Normen und Richtlinien	163
9.2	Baustoffe	165
9.3	Lüftungsleitungen.....	165
9.4	Brandschutz für Wohnungslüftungsanlagen.....	166
10	Wartung und Instandhaltung	169
	Anhänge	171
A.1	Gesetze, Normen, Richtlinien.....	171
A.2	Formelsammlung.....	173
A.3	Umrechnung von Einheiten	174
A.4	Mollier- <i>h-x</i> -Diagramm	178
A.5	Diagramm zur Ermittlung von <i>R</i> -Werten für runde Blechkanäle	179
A.6	Zustandsgrößen gesättigter feuchter Luft	180
A.7	Formblatt zur Druckverlustberechnung.....	181
	Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Einheiten ..	183
	Literatur- und Quellenverzeichnis	185
	Stichwortverzeichnis	187

1 | Einführung

Weltweit steigender Energiebedarf, begrenzte Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe und umwelttechnische Aspekte verlangen, sparsam mit Energie umzugehen. Im Energieeinsparungsgesetz (EnEG 2009) wird festgeschrieben, in Gebäuden nur so viel Energie zu verbrauchen, wie jeweils notwendig ist, um das Gebäude energieeffizient mit Heiz- und Kühlenergie zu versorgen.

Das Bundes-Immissionsgesetz (Neufassung 2010) begrenzt die Schadstoffbelastung der Luft, um Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.

Mit den verschärften Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz, gewinnt die Lüftungs- und Klimatechnik weiterhin an Bedeutung. Während Raum- und Gebäudeheizungen lediglich die Raumlufttemperatur beeinflussen, ist man mit der heutigen Raumlufttechnik in der Lage, außerdem den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und die Luftreinheit einzustellen.

Damit wird nicht nur ein wichtiger Beitrag zur Gesund- und damit Arbeitskrafterhaltung des Menschen geleistet, sondern auch das Gebäude mittels geeigneter Lufttechnik vor Feuchteschäden geschützt. Es entstehen Energieeinsparungseffekte hinsichtlich der erforderlichen Lüftungsheiz- bzw. Lüftungskühlleistung und zusätzlich sind Lärmschutzeffekte möglich.

Aus hygienischer und bauphysikalischer Sicht, ist es unumgänglich, die u.U. mit Feuchte, Schadstoffen und Gerüchen belastete Luft aus den Räumen abzuführen.

Bei der Lösung Lüftungstechnischer Probleme gibt es wie in allen anderen technischen Bereichen vielfältige Möglichkeiten. Hierbei sollte bei der Auswahl in Frage kommender Anlagen auf die Erfassung spezieller Randbedingungen – das Gebäude oder aber den Raum betreffend – Wert gelegt werden, denn nur eine speziell auf das jeweilige Problem bezogene Lösung wird einer umweltgerechten, energiesparenden, wirtschaftlichen Bauweise gerecht. Alle Ver- und Entsorgungseinrichtungen der Gebäudetechnik, besonders aber die Raumlufttechnik, müssen daher im engen Verbund mit der Architektur gesehen werden.

Lösung Lüftungstechnischer Probleme

Planungsphase Die Forderung, Energie einzusparen, setzt voraus, dass neue Erkenntnisse bereits in die Planungsphase integriert werden müssen. Dies trifft im Zusammenhang mit Lüftungstechnischen Anlagen insbesondere auf die kontrollierte Lüftung in Gebäuden und damit auch auf den Einbau möglicher Wärmerückgewinnungssysteme beim Neubau und bei der Sanierung von Bauwerken zu.

2

Raumklima und thermische Behaglichkeit

- Wärmephysiologische Grundlagen
- Behaglichkeit und Einflussgrößen auf die Behaglichkeit

Die Lüftungs- und Klimatechnik hat die Aufgabe, für das Wohlbefinden des Menschen in geschlossenen Räumen zu sorgen und damit einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung seiner Gesundheit und Arbeitsfähigkeit zu leisten.

Unter einer Raumklimatisierung versteht man die Aufrechterhaltung eines definierten konstanten Raumluftzustandes, der beispielsweise durch dessen Temperatur, Feuchte und Reinheit bestimmt ist.

Um die gewünschte Qualität der Raumluft aufrechtzuerhalten, ist es notwendig, die Einflüsse der Klimatisierung auf die Gesundheit des Menschen bzw. die Wechselwirkung zwischen Mensch und seiner Umgebung zu kennen.

2.1 Wärmephysiologische Grundlagen

Der menschliche Körper soll stets eine Körpertemperatur von annähernd 37°C halten, damit die Funktionen seiner inneren Organe gewährleistet sind.

Da beim Stoffwechsel des Menschen ständig Wärme produziert wird, muss er, um seine Körpertemperatur zu halten, ständig Wärme an die Umgebung (Umgebungsluft) abführen. Die thermische Wechselwirkung des Menschen mit seiner Umgebung bezeichnet man als Wärmegleichgewicht des Körpers.

Hierbei ist der **physikalischen Körpertemperaturregelung** (äußere Wärmeabgabe), die über seine Oberfläche erfolgt, eine besondere Bedeutung zuzumessen. Auf welche Art und Weise der Mensch in der Lage ist, Wärme an seine Umgebung abzugeben, verdeutlicht die Übersicht.

Wärmegleichgewicht des Körpers

**Wärmegleichgewicht
zwischen Mensch und
seiner Umgebung**

<p>Trockene Wärmeabgabe <i>Konvektion</i> erfolgt von der Körperoberfläche an die Raumluft, falls die Lufttemperatur geringer als die Körpertemperatur ist.</p> <p><i>Wärmeleitung</i> bei Kontakt von Körperteilen mit festen Gegenständen.</p> <p><i>Wärmestrahlung</i> über die Oberfläche des Körpers erfolgt ein Strahlungsaustausch zwischen Menschen und festen Körpern.</p>	<p>Feuchte Wärmeabgabe <i>Verdunstung</i> Kühlung der Hautoberfläche durch Wasserverdunstung.</p> <p><i>Atmung</i> Beim Ausatmen wird mit dem Wasserdampf latente Wärme abtransportiert.</p>
<p>= sensible (fühlbare) Wärmeabgabe \dot{Q}_{trocken}</p>	<p>= latente (verborgene) Wärmeabgabe \dot{Q}_{feucht}</p>

$$\text{Gesamtwärmeabgabe } \dot{Q}_{\text{gesamt}} = \dot{Q}_{\text{trocken}} + \dot{Q}_{\text{feucht}}$$

Welche Wärmeenergie vom Menschen an die Umgebung abgegeben wird, hängt im Wesentlichen von der Lufttemperatur und der körperlichen Betätigung (Aktivitätsgrad) ab (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1 Abhängigkeit der Wärme- und Wasserdampfabgabe des Menschen von seiner Umgebungstemperatur [5]

		Lufttemperatur	°C	18	20	22	23	24	25	26
physisch nicht tätiger Mensch	\dot{Q}_{tr} (trocken)	W	100	95	90	85	75	75	70	
	\dot{Q}_{f} (feucht)	W	25	25	30	35	40	40	45	
	\dot{Q}_{ges} Wasserdampfabgabe \dot{m}_{D}	g/h	35	35	40	50	60	60	65	
mittelschwere Arbeit	\dot{Q}_{ges}	W	270	270	270	270	270	270	270	
	\dot{Q}_{tr}	W	155	140	120	115	110	105	95	

Tabelle 2.2 Abhängigkeit der Wärmeabgabe des Menschen von seiner Aktivität [5]

Tätigkeit	Aktivitätsgrad DIN 1946 T.2	Wärmeabgabe \dot{Q}_{ges} ≈ W
ruhend		80
sitzend, entspannt	I	100
stehend, entspannt		125
sitzend, leichte Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	II	125
stehend, leichte Tätigkeit (Zeichenbrett-Tätigkeit)		145
(Shopping, Labor, leichte Industrie)	III	170
mäßige körperliche Tätigkeit (Haus-, Maschinenarbeit)		200
schwere körperliche Tätigkeit (schwere Maschinenarbeit)	IV	300

Je kleiner die Umgebungslufttemperatur (im Winter) wird, um so größer muss die sensible (fühlbare) Wärmeabgabe des Körpers werden. Der Mensch würde frieren, wenn er sich nicht durch entsprechende Kleidung vor zu hohen Wärmeverlusten schützt.

Bei hohen Lufttemperaturen (im Sommer) erhöht sich dann zwangsläufig die latente (feuchte) Abgabe von Wärme, damit die gesamte abzugebende Wärme über die Körperoberfläche etwa konstant bleibt.

Bei körperlich schwerer Arbeit gibt der Mensch vermehrt Wärme an seine Umgebung ab (Tabelle 2.2). Dies ist auch der Grund dafür, dass in Arbeitsräumen mit hohem körperlichen Einsatz die Raumlufttemperatur niedriger gehalten werden kann als beispielsweise in Aufenthaltsräumen.

2.2 Behaglichkeit und Einflussgrößen

Der Bereich äußerer messbarer Luftzustände (Lufttemperatur, -feuchte und -bewegung), unter denen sich der Mensch besonders wohl fühlt, nennt man den Behaglichkeitsbereich. Genau lässt sich dieser Bereich im Einzelnen jedoch nicht abgrenzen, da außerdem noch eine erhebliche Anzahl anderer Faktoren, wie z.B. die Kleidung, der Gesundheitszustand, das Alter des Menschen, die Temperaturen der Umschließungsflächen des Raumes, Geräusche, Gerüche und Luftverunreinigungen dabei eine Rolle spielen (Bild 2.1).

Behaglichkeit

2.2.1 Thermische Einflussgrößen

Raumlufttemperatur ϑ_i

Wie bereits erwähnt, spielt die Raumlufttemperatur für die Höhe der Gesamtwärmeabgabe des Menschen an die Umgebungsluft eine ent-

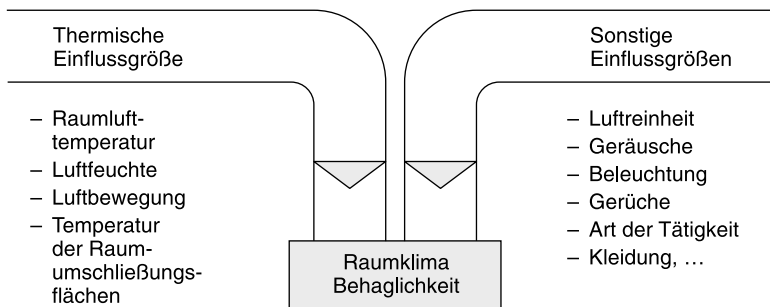
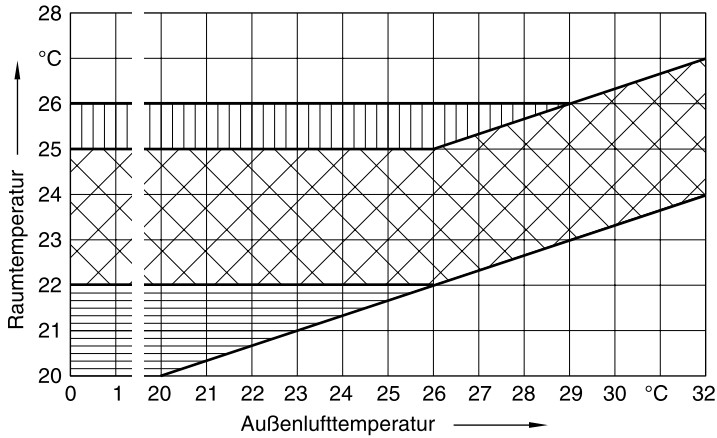


Bild 2.1
Einflussgrößen auf die Behaglichkeit

Bild 2.2
Zulässigkeitsbereich der
Raumlufttemperatur
nach DIN 1946 Teil 2 in
Abhängigkeit von der
Außentemperatur ϑ_a
– Aktivitätsstufen I
und II
– leichte bis mittlere
Bekleidung



scheidende Rolle. Die Temperaturangaben in Bild 2.2 sind als Mittelwert, also nicht als absolute Größen, zu betrachten.

Im Winter kann ϑ_i aufgrund der wärmeren Kleidung kleiner angesetzt werden als im Sommer. Diese Tatsache schlägt sich auch in der Wahl von Norm-Innentemperaturen im Zusammenhang mit der Ermittlung der Normheizlast nach DIN EN 12 831 nieder.

Auch bei körperlich schwerer Arbeit dürfen die Raumlufttemperaturen entsprechend niedriger liegen. Je nach Tätigkeit können sie zwischen 10 °C und 18 °C angesetzt werden.

**Raumlufttemperat-
uren als Funktion
der Tätigkeit**

Raumluftfeuchte φ

Menschen geben immer einen Teil ihrer Wärme als Verdampfungswärme \dot{Q}_f an die Raumluft ab. Dies bedeutet aber auch, dass die Umgebungsluft in der Lage sein muss, aufnahmefähig für Wasserdampf zu sein. Die empfohlene relative Feuchte φ als Richtgröße sollte sich etwa zwischen 40 % und 60 % bewegen (Bild 2.3).

**Empfohlene relative
Feuchte**

Tabelle 2.3 Feuchteabgabe in Wohnungen [3]

Topfpflanzen	7–15 g/Stunde
Mittelgroßer Gummibaum	10–20 g/Stunde
Trocknende Wäsche, 4,5-kg-Trommel, geschleudert	50–200 g/Stunde
Wannenbad	ca. 1100 g/Bad
Duschbad	ca. 1700 g/Bad
Kurzzeitgericht	400–500 g/Stunde Kochzeit
Langzeitgericht	450–900 g/Stunde Kochzeit
Geschirrspülmaschine	ca. 200 g/Spülgang
Waschmaschine	200–350 g/Waschgang
Menschen	
– Schlafen	40–50 g/Stunde
– Haushaltsarbeit	ca. 90 g/Stunde
– anstrengende Tätigkeit	ca. 175 g/Stunde

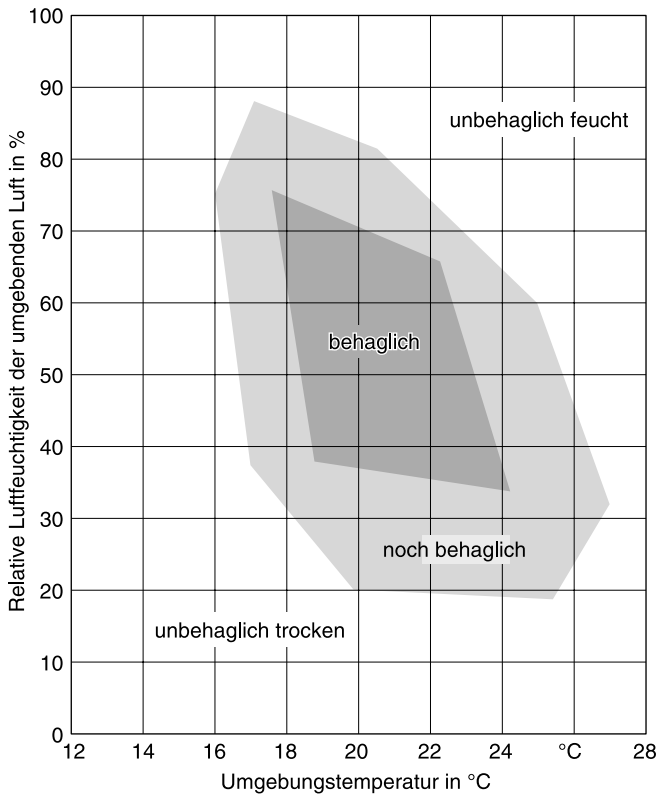


Bild 2.3
Behaglichkeitsbereich
der relativen Feuchte
[12]

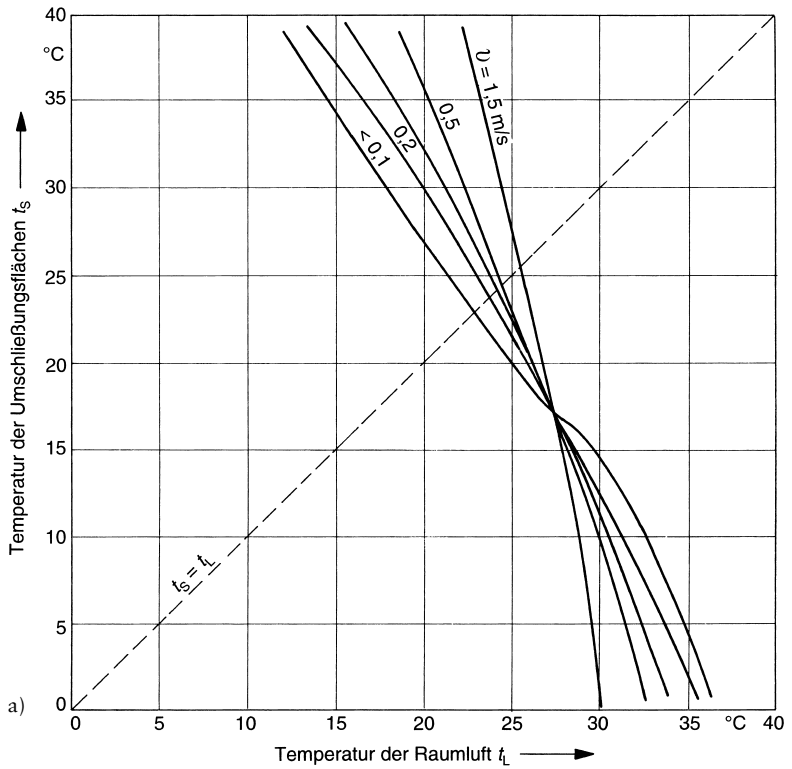
Die Raumluftfeuchte wird aber nicht nur vom Menschen allein beeinflusst. Beispielsweise lassen sich in Wohnungen auch andere Feuchtequellen, wie Wasserdampf aus Bad und Küche, finden (Tabelle 2.3).

Luftbewegung (Luftgeschwindigkeit) v

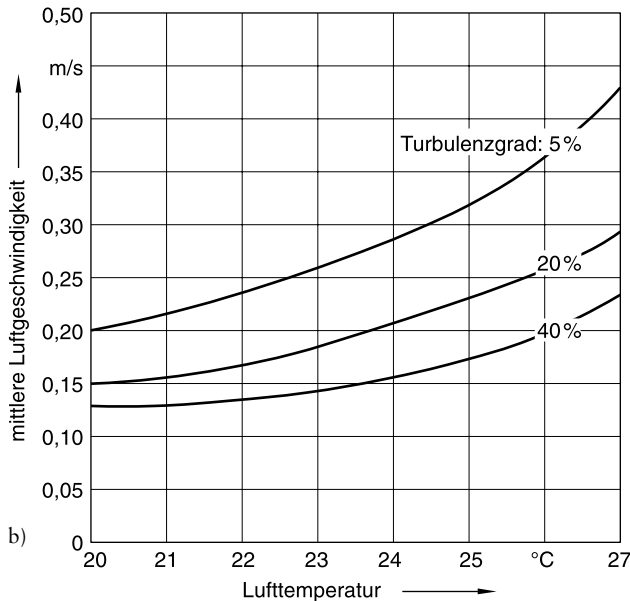
Die Art der Luftströmung in geschlossenen Räumen hat einen erheblichen, nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden. Im Zusammenhang mit Lüftungs- und Klimaanlage sind Zugserscheinungen durch zu kalte oder zu schnell eingeblasene Luft häufiger Grund der Unzufriedenheit mit der Anlage. Bei Normaltemperaturen (20...22°C) werden deshalb zulässige Raumluftgeschwindigkeiten von etwa 0,1...0,2 m/s angegeben (Bild 2.4). Die Wahl der Geschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich hängt auch von der jeweiligen Raumnutzung ab. So können in Räumen mit großer Aktivität höhere Geschwindigkeiten zugelassen werden.

Luftbewegung in Räumen

- Bild 2.4
- a) Luftgeschwindigkeiten als Funktion der Raumlufttemperatur und der Temperatur der Umschließungsflächen [3]
- b) Luftgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und Turbulenzgrad [4]



Die Werte gelten für Aktivitätsstufe I und einen Wärmedurchlasswiderstand der Kleidung von etwa $0,12 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Bei höheren Aktivitätsstufen und Wärmedurchlasswiderständen können die Grenzkurven z.B. VDI 2083 Blatt 5 (z.Z. Entwurf) entnommen werden. Die Kurve für 40 % gilt auch für Turbulenzgrade $> 40 \%$



2.2.2 Sonstige Einflussgrößen

Luftreinheit

Stäube, Schadstoffe und Gerüche in der Raumluft können nicht nur eine Belästigung, sondern auch eine Gefahr für die Gesundheit des Menschen bedeuten; sie müssen deshalb aus der Luft entfernt werden. Dies lässt sich mit geeigneten Filtern bzw. Filtersystemen oder aber durch einen definierten Luftaustausch (Frischlufte wird gegen belastete Luft ersetzt) realisieren.

Lärm

Eine Einwirkung von Geräuschen bestimmter Lautstärke und Zeitdauer, die als Lärm empfunden werden, kann nachweislich in bestimmter Schallpegelhöhe Gehörschädigung oder zumindest auf Dauer unangenehm wirken. Der Lärm kann von innen oder außen auf den Raum einwirken. Der durch Lüftungs- und Klimaanlage verursachte Lärm wird in seiner Geräuschkulisse unter anderem in der DIN 1946 Teil 5 oder der VDI-Richtlinie 2081 begrenzt. Bei Überschreiten eines zulässigen Schallpegels sind geeignete technische Maßnahmen (z. B. Einbau eines Schalldämpfers) zur Geräuschminderung zwingend erforderlich. Allgemeines über den Schallschutz im Hochbau ist in DIN 4109 enthalten. Teil 5 gibt Grenzwerte der zulässigen Schalldruckpegel, die durch haustechnische Anlagen verursacht werden, vor.

**Technische
Maßnahmen**

Beleuchtung

Die Beleuchtung, insbesondere von Arbeitsplätzen, ist für die Erhaltung der Gesundheit der Augen wichtig. Besonderer Wert muss dabei auf die richtige Auswahl von Lichtfarbe und Helligkeit gelegt werden.

Weitere Einflüsse auf die Behaglichkeit sind Luftelektrizität, Farbgestaltung der Räume, Innenarchitektur usw.

**Weitere Einfluss-
faktoren auf die
Behaglichkeit**

3 Physikalische Grundlagen der Luftbehandlung

- Zustandsgrößen feuchter Luft
- Prinzipieller Aufbau des Mollier- h,x -Diagramms
- Zustandsänderungen im h,x -Diagramm

Ziel einer Raumklimatisierung ist, wie schon in den vorangegangenen Ausführungen erwähnt, das ganze Jahr über einen gewünschten Raumluftzustand konstant aufrechtzuerhalten. Definierten Raumluftzuständen liegen sehr unterschiedliche Anforderungen zugrunde. Die technische Realisierung erfolgt durch den Einsatz einer Luftaufbereitungsanlage, die so konzipiert sein muss, dass die vereinbarten Raumluftbedingungen auch erreicht werden.

Die Luftaufbereitung in einer raumlufttechnischen Anlage erfolgt grundsätzlich nach zwei Gesichtspunkten:

- mit Änderung thermischer und
- ohne Änderung ihrer thermischen Eigenschaften.

Änderungen thermischer Eigenschaften beziehen sich lüftungstechnisch auf alle messbaren physikalischen Größen, die dem Einfluss der Temperatur – wie Luftfeuchte, Dichte, spezifisches Volumen, Energieinhalt – unterliegen.

Wird in der Klimaanlage eine temperaturabhängige Luftaufbereitung durchgeführt, so bezeichnet man die Anlagen im Sinne der DIN 1946

Aufgaben einer Klimaanlage

Klimatechnische Aufbereitung der Luft

Thermische Luftbehandlung

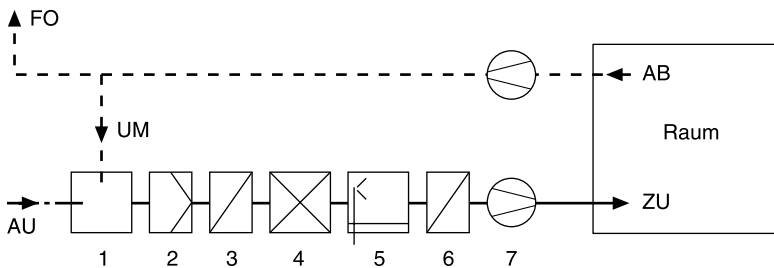


Bild 3.1 Schema einer zentralen Luftaufbereitung

1 Mischkammer	5 Sprühkammer	ZU Zuluft
2 Filter	6 Nachwärmer	AB Abluft
3 Vorwärmer	7 Ventilator	UM Umluft
4 Kühler	AU Außenluft	FO Fortluft

Teil 1 als **Anlagen mit thermischer Luftbehandlung**; besitzen aber die Anlagen solche Funktionen nicht, heißen sie **Anlagen ohne thermische Luftbehandlung**. Letzteres schließt aber ein Filtern der Luft natürlich nicht aus!

Das «Herstellen» von geeigneter Zuluft erfolgt in den Bauteilen einer Klimaanlage (Bild 3.1). Welche Zustandsänderungen die Luft dabei erfährt, lässt sich nur erfassen, wenn man das Verhalten feuchter Luft bei bestimmten Zustandsänderungen kennt.

3.1 Zustandsgrößen feuchter Luft

Als Zustandsgrößen bezeichnet man die physikalisch messbaren Eigenschaften eines Stoffes wie Druck, Temperatur, Masse, Volumen, Dichte usw. Feuchte Luft ist, wie aus dem Begriff ableitbar, ein Gemisch aus Gasen (Sauerstoff O_2 , Stickstoff N_2 usw.) und Wasserdampf (H_2O_D).

Je höher die Temperatur und der Dampfgehalt, desto größer auch der Wärmehalt (Enthalpie).

**Luft als
Gas-Dampf-Gemisch**

Während die trockenen Gase in der Luft ihre Phase (Aggregatzustand) unter gegebenen Bedingungen (Druck p , Temperatur T) nicht ändern können, hat die Komponente Wasserdampf im Gemisch die Eigenschaft, unter gleichen Umständen kondensieren oder flüssiges Wasser aufnehmen (Hineinverdampfen) zu können.

**Mögliche
Phasenänderungen
des Wasserdampfes**

Der Gehalt an Wasserdampf in der Luft kann aufgrund physikalischer Gesetze (Dampfdruckkurve) nicht beliebig groß werden. Inwieweit die Luft für Wasserdampf aufnahmefähig ist, hängt ganz wesentlich von deren Temperatur ab. Der Luftdruck liegt bei etwa einem Barometerdruck um rund 1013 mbar.

Der Gehalt an H_2O -Dampf wird über die relative und absolute Feuchte beschrieben.

Relative Feuchte φ

Die relative Feuchte gibt das Verhältnis des jeweiligen Teildampfdruckes zu seinem Sättigungsdruck an.

$$\varphi = \frac{\text{Teildampfdruck } p_D}{\text{Sättigungsdruck } p_s(\vartheta)} (\cdot 100 \%)$$

Teildampf- und Sättigungsdruck nennt man **① Partialdruck**.

Gesetz von DALTON: «Der Gesamtdruck setzt sich aus allen Teildrücken der einzelnen Gemischpartner zusammen».

Der Sättigungsdruck p_S (entspricht der maximalen H_2O_D -Aufnahmefähigkeit) ist von der Temperatur ϑ abhängig (siehe auch Anlage A.6). Je höher ϑ ist, desto größer auch p_S und umgekehrt.

Für φ lässt sich folgender Definitionsbereich ableiten:

$0 \leq \varphi < 1$, d. h.:

$\varphi = 0$: Die Luft ist völlig trocken, enthält also keinen Wasserdampf; $p_D = 0$

$\varphi < 1$: Die Luft ist mit Wasserdampf ungesättigt; $p_D < p_S(\vartheta)$

$\varphi = 1$: Die Luft ist mit Wasserdampf gesättigt; $p_D = p_S(\vartheta)$

Absolute Feuchte x (Wassergehalt)

Der Wasserdampfgehalt in der Luft kann auch über x ausgedrückt werden.

$$x = \frac{\text{Wassergehalt in der Luft in g}}{\text{Masse trockener Luft in kg}}$$

Die Aufnahmefähigkeit der Luft für H_2O -Dampf ist über x_S begrenzt und kann in Abhängigkeit von der Temperatur Anlage A.6 entnommen werden.

Aus dem tatsächlichen Wassergehalt x und seinem Höchstwert x_S lassen sich folgende Aussagen ableiten:

$x = 0$; die Luft ist völlig trocken

$x < x_S$; die Luft ist ungesättigt

$x = x_S$; die Luft ist gesättigt

Wie bei allen spezifischen Größen, deren Bezugsgröße die Masse ist, heißt auch beim Wassergehalt die Basis 1 kg trockene Luftmasse. Der Vorteil liegt in der Unveränderlichkeit – auch bei Feuchteänderungen – dieser Basis.

Spezifische Enthalpie h

Der Energie-(Wärme-)inhalt von 1 kg trockener Luft wird als spezifische Enthalpie bezeichnet. Sie ist von der Temperatur und der Luftfeuchte abhängig.

Praktisch sind die Änderungen der Enthalpien Δh (Enthalpiedifferenzen) während einer Zustandsänderung bedeutsam, die sich immer aus den Enthalpieänderungen des trockenen und des feuchten Anteils im Gemisch errechnen.

①

Der Druck, den eine einzelne Komponente im Gesamtgemisch erzeugt und der den gesamten zur Verfügung stehenden Raum einnimmt

Sättigungsdruck p_S

Wassergehalt x und x_S

Enthalpie als Wärmeinhalt der Luft

$$\Delta h = \Delta h_{\text{tr}} + \Delta h_{\text{f}}$$

$$\Delta h_{\text{tr}} = c_{\text{p}} \cdot \Delta \vartheta$$

$$\Delta h_{\text{f}} = x (c_{\text{pD}} \cdot \Delta \vartheta + r_0)$$

h_{tr} spezifische Enthalpie der trockenen Luft in kJ/kg

h_{f} spezifische Enthalpie des Wasserdampfes in der Luft

c_{p} spezifische Wärmekapazität der trockenen Luft 1,00 kJ/ kg K

x Wassergehalt der Luft in kg/kg

c_{pD} spezifische Wärmekapazität des Wasserdampfes 1,86 kJ/kg K

$\Delta \vartheta$ Temperaturdifferenz zwischen Lufttemperatur und $\vartheta = 0^\circ\text{C}$ in K

r_0 spezifische Verdampfungswärme der Luft bei 0°C , $r_0 = 2500$ kJ/kg

Weitere wichtige Zustandsgrößen zur Beschreibung des jeweiligen Luftzustandes sind die Dichte ϱ in kg/m^3 bzw. das spezifische Volumen ν in m^3/kg .

Spezifisches Volumen und Dichte der Luft

Alle physikalischen Eigenschaften und Zustandsänderungen feuchter Luft können dem Mollier- h,x -Diagramm (Anlage A.4) entnommen werden.

3.2 Prinzipieller Aufbau des Mollier- h,x -Diagramms

Anhand des Bildes 3.2 wird der prinzipielle Aufbau erklärt.

3.3 Zustandsänderungen im h,x -Diagramm

3.3.1 Erwärmen

In einer raumlufttechnischen Anlage erfolgt die Lufterwärmung in einem Luftheizer. Für die Geräteauswahl ist oft die Frage nach der erforderlichen zuzuführenden Wärmeleistung (\dot{Q}_{HR} , Heizregisterleistung) in diesem Bauteil sowie den Eigenschaften der Luft am Erwärmeraustritt von technischer Bedeutung, da diese Größen Ausgangspunkt für die Auswahl des Registers sind.

Der Verlauf der Zustandsänderung im h,x -Diagramm ist in Bild 3.3 dargestellt.

Erforderliche Heizleistung des Heizregisters:

$$\dot{Q}_{\text{HR}} = \dot{m}_{\text{L}} \cdot \Delta h = \dot{m}_{\text{L}} \cdot (h_2 - h_1)$$

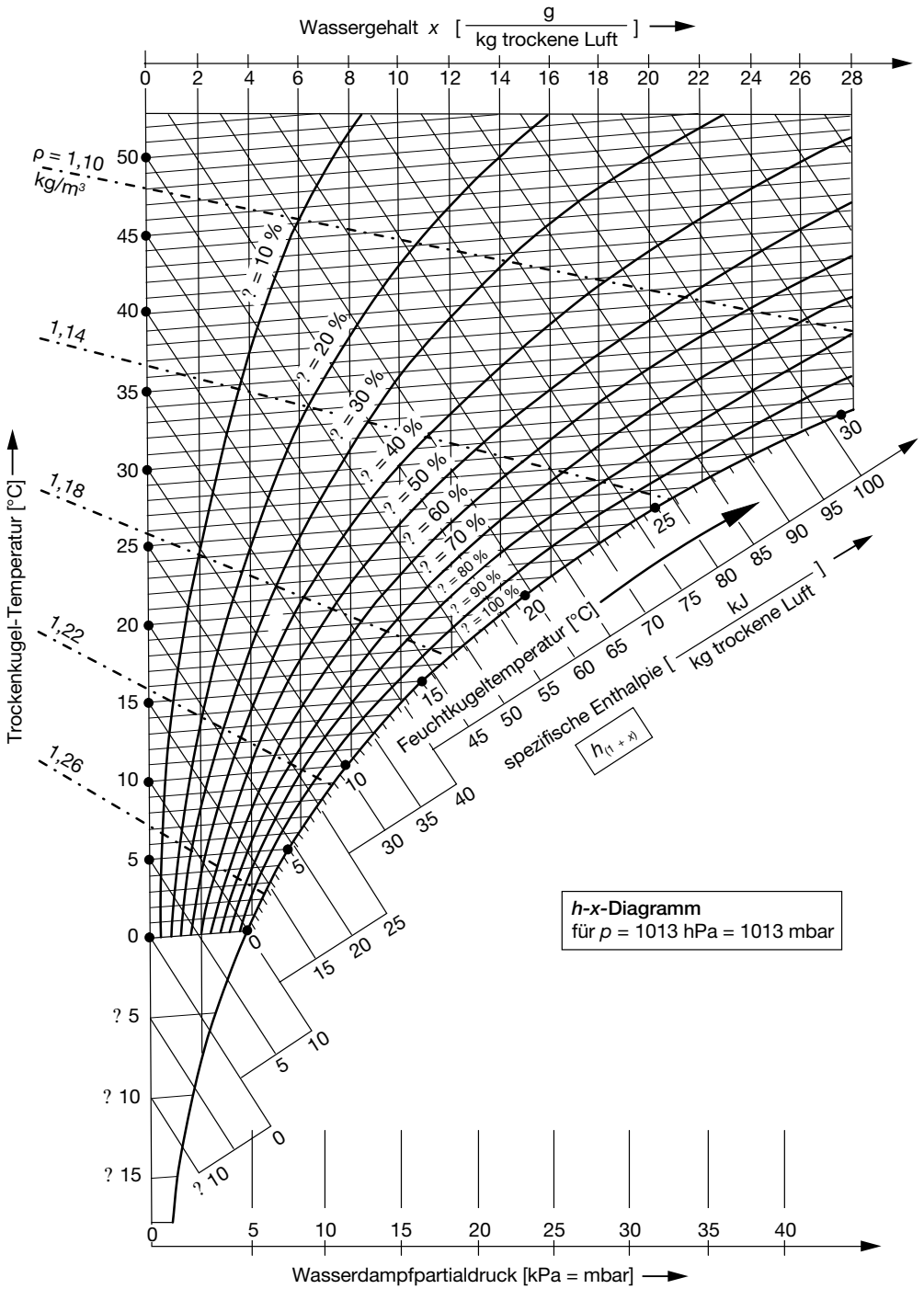


Bild 3.2 Aufbau des h,x -Diagramms [1]

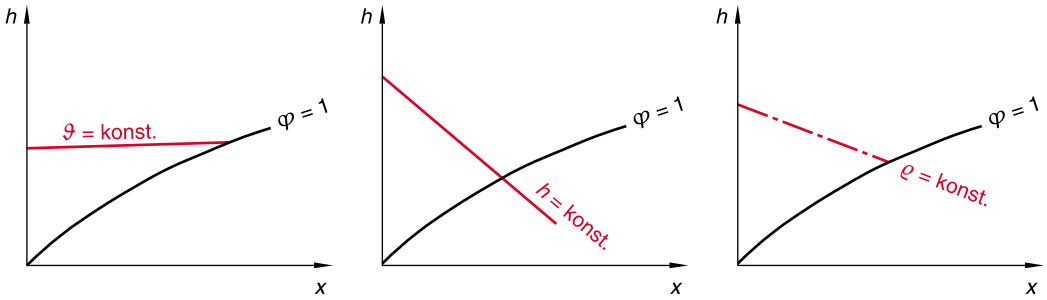


Bild 3.2 (Fortsetzung)

Die thermischen Eigenschaften der feuchten Luft nach dem Prozess können dem h,x -Diagramm entnommen werden.

Beispiel Berechnungsbeispiel 3.1

Heizleistung \dot{Q}_{HR}

Für die Belüftung eines Gastraumes wurden 800 kg/h Frischluft ermittelt.

Diese Luft mit $\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,8$ wird in dem Luftheizer auf $\vartheta_2 = 22^\circ\text{C}$ erwärmt. Welche Heizleistung in kW ist erforderlich?

Lösung

Abgelesen aus h,x -Diagramm: $h_1 = 7,9 \text{ kJ/kg}$

$h_2 = 30 \text{ kJ/kg}$

$$\dot{Q} = \dot{m}_L \cdot (h_2 - h_1) = 800 \text{ kg/h} \cdot (30 - 7,9) \text{ kJ/kg} \cdot \text{kWh}/3600 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q} = 4,91 \text{ kW}$$

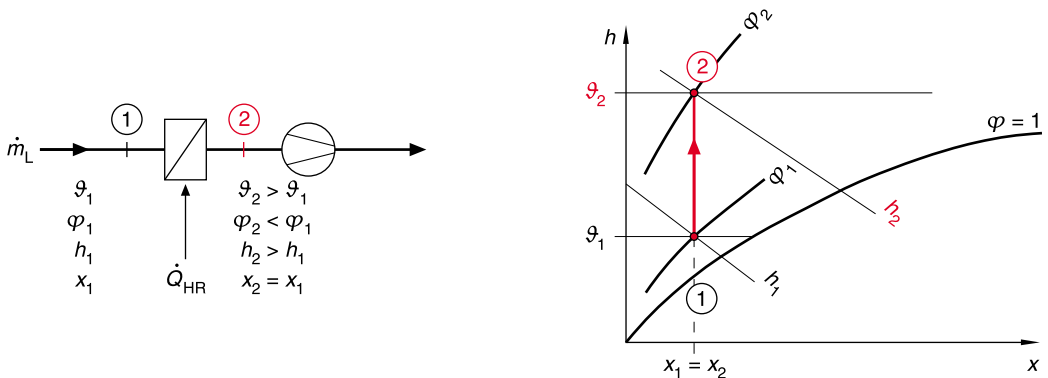


Bild 3.3 Verlauf der Zustandsänderung im h,x -Diagramm beim Erwärmen

3.3.2 Kühlen

Wie beim Erwärmen interessieren den Anwender auch hier die Kühlleistung, die Lufteigenschaften beim Verlassen des Kühlers und die zu erwartende Kondensatmenge. Damit eine Luftabkühlung stattfinden kann, muss die Kühleroberflächentemperatur kleiner als die Temperatur der Luft sein. Beim Vorgang des Kühlens sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- Abkühlen der Luft unter der Bedingung, dass die Kühleroberflächentemperatur (ϑ_K) oberhalb des Taupunktes (ϑ_T) der feuchten Luft liegt,
- Kühlen, wenn ϑ_K unterhalb ϑ_T liegt.

Vorgang des Kühlens

Den Taupunkt findet man im h,x -Diagramm, indem man bei $x = \text{konstant}$ senkrecht auf die Sättigungslinie lotet und nach links auf der Temperaturachse abliest.

Finden des Taupunktes im h,x -Diagramm

Luftkühlung oberhalb des Taupunktes (Bild 3.4)

Bei diesem Vorgang wird kein Wasser (Kondensat) aus der Luft ausgeschieden!

Erforderliche Kühlregisterleistung:

$$\dot{Q}_{KR} = \dot{m}_L \cdot \Delta h = \dot{m}_L \cdot (h_2 - h_1)$$

Kühlregisterleistung \dot{Q}_{KR} für $\vartheta_K >$ Taupunkttemperatur der Luft

Berechnungsbeispiel 3.2

Ein Büroraum soll im Sommer gekühlt werden. Die Luft tritt mit $\vartheta_1 = 26^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,5$ in den Luftkühler ein und soll ihn mit $\vartheta_2 = 19^\circ\text{C}$ verlassen. Die Kühleroberflächentemperatur liegt dabei oberhalb des Taupunktes ($\vartheta_T = 14,7^\circ\text{C}$), $\dot{m}_L = 1200 \text{ kg/h}$. Welche Kühlleistung ist bereitzustellen?

Beispiel

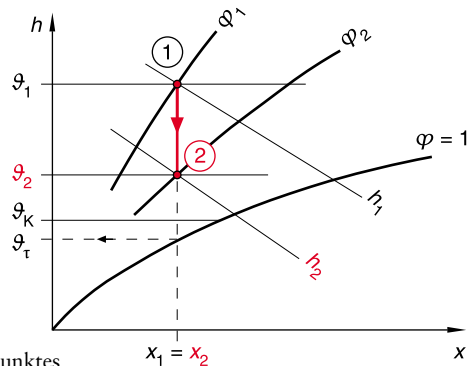
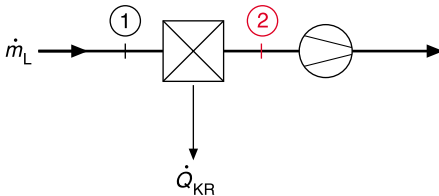


Bild 3.4 Verlauf im h,x -Diagramm bei Luftkühlung oberhalb des Taupunktes

Lösung

Abgelesen aus h,x -Diagramm: $h_1 = 53,3 \text{ kJ/kg}$

$h_2 = 46 \text{ kJ/kg}$

$$\dot{Q} = \dot{m}_L \cdot (h_2 - h_1) = 1200 \text{ kg/h} \cdot (46 - 53,3) \text{ kJ/kg} \cdot \text{kWh}/3600 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{KR} = -2,43 \text{ kW}$$

(Das negative Vorzeichen bedeutet Wärmeabgabe)

Luftkühlung unterhalb des Taupunktes

Bei diesem Vorgang entsteht Kondensat. In der Technik tritt diese Art der Kühlung am häufigsten auf (Bild 3.5).

Kondensatmenge:

$$\dot{m}_{Ko} = \dot{m}_L \cdot \Delta x = \dot{m}_L \cdot (x_2 - x_1)$$

Erforderliche Kühlregisterleistung:

$$\dot{Q}_{KR} = \dot{m}_L \cdot \Delta h = \dot{m}_L \cdot (h_2 - h_1)$$

Kühlleistung unterhalb ϑ_τ

Beispiel

Berechnungsbeispiel 3.3

Bei der Kühlung eines Versammlungsraumes werden 1000 kg/h Raumluft von $\vartheta_1 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,55$ auf $\vartheta_2 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ gebracht, wobei die Kühloberflächentemperatur $\vartheta_K = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt. Welche Kühlleistung ist erforderlich und wie viel Kondensat in l/h ist zu erwarten?

Lösung

Abgelesen aus h,x -Diagramm:

$h_1 = 50 \text{ kJ/kg}$, $x_1 = 10,2 \text{ g/kg}$

$h_2 = 41,4 \text{ kJ/kg}$, $x_2 = 9,2 \text{ g/kg}$

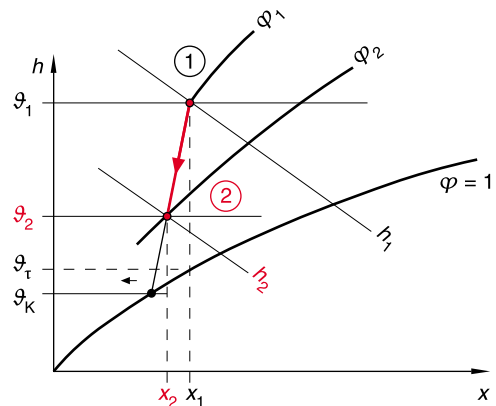
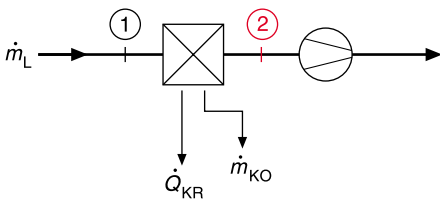


Bild 3.5 Verlauf im h,x -Diagramm bei Luftkühlung unterhalb des Taupunktes