

Die neue Meisterprüfung

Tiator

Heizungsanlagen

mit der neuen EnEV 2014



Vogel Business Media

Heizungsanlagen mit der neuen EnEV 2014

Die neue Meisterprüfung

Heizungsanlagen mit der neuen EnEV 2014

Prof. Dipl.-Ing. Ingolf Tiator

4., aktualisierte und erweiterte Auflage

Vogel Business Media
Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Prof. Dipl.-Ing. INGOLF TIATOR

Jahrgang 1959, absolvierte nach einer Lehre als Maschinen- und Anlagenmonteur ein Studium an der Ingenieurschule für Anlagenbau in Glauchau, Fachrichtung Rohrleitungen und Isolierungen, danach ein Hochschulstudium an der TU Dresden, Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung. Von 1984 bis 1993 war er als Fachdozent an der Ingenieurschule in Glauchau tätig.

Seit 1994 ist er Dozent an der Staatlichen Studienakademie Glauchau, Fachrichtung Versorgungs- und Umwelttechnik, und hält Techniker- und Meisterkurse an der Fachschule für Technik der Steinbeis-Stiftung in Glauchau.

Weitere Informationen:
www.vbm-fachbuch.de

ISBN: 978-3-8343-3356-8

4. Auflage. 2016

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 1998 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG,
Würzburg

Umschlaggrafik: Icon, Veitshöchheim/Werksfoto
KERMI, Heizkörpermodell Decor-S

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 Heizungsbauer-Handwerk beitragen.

St. Augustin
Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Vorwort

In den letzten Jahren hat die Heizungstechnik eine ständige Entwicklung erfahren. Diese wird vor allem von dem Grundgedanken der umwelt- und energiebewussten Ausführung bestimmt. Gleichzeitig soll die Anlage regelungstechnischen Höchststand besitzen, aber auch bedienerfreundlich sein.

Die Umsetzung der durch Vorschriften gegebenen Rahmenbedingungen, z. B. der erhöhte Wärmeschutz von Gebäuden oder der Einbau von thermischen Regeleinrichtungen sowie die Reduzierung der Wärmeverluste aufgrund der Energieeinsparverordnung, aber auch die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs zur energetischen Beurteilung des Gebäudes inklusive Gebäudetechnik entsprechend der Energieeinsparverordnung führen dazu, dass sich die Anforderungen an die Planung und Ausführung von Heizungsanlagen auch weiterhin erhöhen. Ausschlaggebend ist aber auch der stetige Einfluss der Kundenwünsche, so z. B. thermische Behaglichkeit, die einfache Bedienung, die schnelle Betriebsbereitschaft, der steigende Brauchwasserbedarf, die modularen Systeme oder der umfassende Service.

Das vorliegende Buch stellt eine Überarbeitung bzw. Erweiterung der dritten Auflage dar. Es ist wiederum vor allem für den zukünftigen Techniker und Meister, aber darüber hinaus auch für Studierende entsprechender Studienrichtungen an Berufsakademien und Fachhochschulen als Wegbegleiter und Überblick über das Gebiet der Heizungstechnik gedacht. Der Inhalt der überarbeiteten Auflage beschränkt sich wiederum auf die wesentlichen Bereiche der Heizungstechnik, die durch gezielte Beispielrechnungen ergänzt wurden. Ein Großteil der Überarbeitungen umfasst die neue Energieeinsparverordnung – EnEV –, die seit 2014 gültig ist und umfangreiche Änderungen im Hinblick auf die weitere Reduzierung des Primärenergieeinsatzes mit sich bringt. Neu ist dabei, dass schon jetzt verschärfte Anforderungen ab 2016 definiert werden. Auf dieser Grundlage wurden die Änderungen in den Berechnungsvorschriften bezüglich der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach DIN V 4108-6, DIN V 4701-10 und DIN V 18 599 sowie zur Heizlastberechnung DIN EN 12 831 eingearbeitet. Gleichzeitig werden die neuen Anforderungen aus der Ökodesign-Richtlinie mit berücksichtigt. Daraus abgeleitet wurden die Berechnungsbeispiele entsprechend geändert und angepasst. Gleichzeitig erfolgte eine Überarbeitung einiger Abschnitte – so z. B. die bauphysikalischen Grundlagen – bzw. Erweiterung, z. B. hydraulische Schaltungen.

Dabei wird die Planung und Auslegung von Heizungsanlagen unter dem Gesichtspunkt der Erfüllung der Bedürfnisse des Menschen unter Beachtung der gesetzlichen und technischen Erfordernisse betrachtet, ohne jedoch den Blick auf die energie- und umwelt-

technischen Aspekte zu verlieren. Der Leser soll in die Lage versetzt werden, auf Grundlage der dargestellten Verordnungen und technischen Regeln eine Heizungsanlage hinsichtlich des Wärmebedarfs, der Heizflächenauswahl, der Dimensionierung und der Auswahl der entsprechenden Anlagenteile, wie Pumpen, Armaturen, Sicherheitstechnik, vollständig auszulegen.

Die dargestellten Beispielaufgaben sollen dabei als Leitfaden für die Auslegung einer heizungstechnischen Anlage dienen.

Es wird der grundlegende Aufbau, d.h. die wesentlichen Anlagenteile einer Heizungsanlage, dargestellt. Dazu zählen z.B. Rohrleitungswerkstoffe, Armaturenarten, grundlegende Kesselbauarten und grundlegende Regelungsmöglichkeiten. So wird z.B. auf die Anwendung der Brennwerttechnik großer Wert gelegt.

Dem Leser sollen auch einige Randgebiete, die für die Aufstellung und den Betrieb von Feuerstätten notwendig sind, aufgezeigt werden. Dazu zählen vor allem die Zufuhr der notwendigen Verbrennungsluft, die Aufstellungsbedingungen und die Brennstofflagerung.

Um den Rahmen nicht zu sprengen, wird das Gebiet der alternativen Energienutzung im Rahmen der Heizungstechnik, z.B. Solarenergienutzung und Wärmepumpen, nicht betrachtet.

Niederlungwitz

Ingolf Tiator

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	5
Vorwort	7
1 Grundlagen der Heizungstechnik	15
1.1 Historische Entwicklung	15
1.2 Weitere Entwicklung der Zentralheizungstechnik	17
1.3 Grundlagen aus der Bauphysik	21
1.4 Thermische Behaglichkeit	29
1.5 Wärmetechnische Grundlagen	36
1.6 Wärmespeicherung in Bauteilen	38
2 Einführung in die wichtigsten Verordnungen	41
2.1 Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung EnEV 2014	41
2.1.1 Grundlagen	41
2.1.2 Grundbegriffe aus der EnEV	55
2.1.3 Anforderungen an zu errichtende Gebäude	57
2.1.4 Anforderungen an bestehende Gebäude	60
2.1.5 Anforderungen an heizungs-, kühl- und lüftungstechnische Anlagen und Warmwasser- anlagen	63
2.1.6 Energieausweise und Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz	67
2.2 Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs	71
2.2.1 Anwendung und Bezugsgrößen im Rahmen der EnEV-Berechnungen	71
2.2.2 Berechnungsgrundlagen nach DIN V 4108-6	73
2.2.3 Berechnung des Transmissions-Wärmeverlust- koeffizienten H_T	77
2.2.4 Berechnung des Lüftungs-Wärmeverlust- koeffizienten H_V	79
2.2.5 Berechnung der Wärmegewinne	80
2.2.5.1 Solare Wärmegewinne	81
2.3 Grundzüge der Berechnung des Jahres-Primärenergie- bedarfs	84
2.3.1 Berechnungsverfahren nach DIN V 4701-10	85
2.3.2 Grundlagen der DIN 18 599 – Energetische Bewertung von Gebäuden	89

2.4	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung	95
2.5	Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich – Erneuerbare-Energien- Wärmegesetz (EEWärmeG)	102
2.5.1	Begriffe	103
2.5.2	Nutzung erneuerbarer Energie	104
2.5.3	Ersatzmaßnahmen	106
2.5.4	Nachweise und Überprüfung	107
2.6	Wichtige Verordnungen und technische Vorschriften der Heizungstechnik	107
3	Berechnung der Norm-Heizlast in Gebäuden	
	nach DIN EN 12 831	109
3.1	Grundlagen und Begriffe	109
3.2	Norm-Wärmeverluste eines beheizten Raumes für Standardfälle	113
3.2.1	Notwendige Ausgangsdaten	113
3.2.2	Norm-Transmissionswärmeverluste	116
3.2.2.1	Direkte Wärmeverluste nach außen	116
3.2.2.2	Wärmeverluste durch unbeheizte Nachbarräume	119
3.2.2.3	Wärmeverluste an das Erdreich	121
3.2.2.4	Wärmefluss zwischen beheizten Zonen/Räumen unterschiedlicher Temperatur	126
3.2.3	Norm-Lüftungswärmeverlust	127
3.2.3.1	Natürliche Belüftung (ohne Lüftungsanlage)	128
3.2.3.2	Maschinelle Lüftung (RLT-Anlagen)	131
3.2.4	Räume mit unterbrochenem Heizbetrieb	136
3.3	Norm-Heizlast	137
3.3.1	Norm-Heizlast für einen beheizten Raum	137
3.3.2	Norm-Heizlast einer Gebäudeeinheit bzw. eines Gebäudes	138
3.4	Formblätter	139
3.5	Berechnungsbeispiel für die Heizlast eines Raumes	146
3.5.1	Aufgabenstellung	146
3.5.2	Berechnung der Wärmedurchgangs- koeffizienten	147
3.5.3	Berechnung der Norm-Heizlast	149
3.6	Berechnungsbeispiel für die Norm- Heizlast eines Gebäudes	153
3.6.1	Aufgabenstellung	153

3.6.2	Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten	157
3.6.2.1	Erdanliegende Flächen	157
3.6.2.2	Decke Obergeschoss als zusammengesetztes Bauteil	159
3.6.3	Gebäudedaten und Vereinbarungen	162
3.6.4	Norm-Heizlast der einzelnen Räume	165
3.6.5	Norm-Heizlast des Gebäudes	181
3.7	Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Gebäude- heizlast und der Wärmeerzeugerleistung	183
3.7.1	Hüllflächenverfahren	183
3.7.2	Verbrauchsverfahren	186
4	Raumheizflächen	189
4.1	Einteilung und Anforderungen	189
4.2	Überblick Kompaktheizflächen	191
4.2.1	Gliederheizkörper, Radiatoren	191
4.2.2	Sonderbauformen der Radiatoren	192
4.2.3	Plattenheizkörper	192
4.2.4	Konvektoren	193
4.3	Überblick über Flächen- und Strahlungsheizungen . . .	196
4.4	Auslegung von Heizkörpern	203
4.4.1	Wärmeleistung und Auswahl des Heizkörpers	203
4.4.2	Leistungsminde- rung bei Heizkörpern	207
4.4.3	Besonderheiten bei der Auslegung unter Berücksichtigung der thermischen Behag- lichkeit	211
5	Grundlagen der Heizkesseltechnik	215
5.1	Überblick über die Brennstoffarten	215
5.1.1	Kennwerte	215
5.1.2	Brennstoffarten	217
5.1.2.1	Festbrennstoffe	217
5.1.2.2	Heizöl	218
5.1.2.3	Brenngas	219
5.1.2.4	Brennstoffvergleich	221
5.2	Grundlagen der Kesselkonstruktion	222
5.3	Kessel für Heizöl EL	225
5.4	Gas-Heizkessel	227
5.5	Brennwert-Heizkessel	230
5.6	Spezialheizkessel für Festbrennstoffe	238

6	Grundlagen zu den Aufstellungsbedingungen von Wärmeerzeugern	241
6.1	Allgemeine Aufstellungsbedingungen	241
6.2	Verbrennungsluftversorgung	243
6.2.1	Verbrennungsvoraussetzungen und Verbrennungsluftbedarf	243
6.2.2	Möglichkeiten der Verbrennungsluftversorgung von raumluftabhängigen Feuerstätten	245
6.3	Besondere Festlegungen für raumluftabhängige Gasfeuerstätten nach TRGI 2008	248
7	Grundlagen der Brennstofflagerung	253
8	Rohre, Armaturen, Umwälzpumpen und Regelung	263
8.1	Rohrwerkstoffe und Rohrverbindungen	263
8.2	Rohrverlegung	264
8.3	Armaturen	267
8.4	Auswahl von Heizungsumwälzpumpen	270
8.5	Grundlegende Regelungsmöglichkeiten von Heizungsanlagen	276
8.5.1	Grundaufgaben der Regeltechnik	276
8.5.2	Raumtemperaturregelung	276
8.5.3	Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung	279
8.5.4	Brauchwasser-Temperaturregelung	282
8.5.5	Heizbetriebsarten	283
8.5.6	Grundlegende hydraulische Schaltungen	286
8.5.7	Hydraulischer Abgleich	292
9	Warmwasserheizungsanlagen	297
9.1	Grundlagen und Einteilung zentraler Heizungsanlagen	297
9.2	Sicherheitstechnische Anforderungen für Warmwasserheizungsanlagen nach DIN EN 12 828	302
9.2.1	Einrichtungen für offene Warmwasserheizungen	303
9.2.2	Einrichtungen für geschlossene Warmwasserheizungen	306
9.2.2.1	Einrichtungen gegen Überschreiten der maximalen Betriebstemperatur	306
9.2.2.2	Einrichtungen gegen Überschreitung des maximalen Betriebsüberdruckes	307
9.2.2.3	Wassermangelsicherung	309
9.2.2.4	Einrichtungen zum Ausgleich der Wasservolumenänderung	309

9.2.2.5	Auslegung eines Membran-Ausdehnungsgefäßes	311
9.2.3	Betriebliche Anforderungen	317
9.3	Dimensionierung von Pumpen-Warmwasserheizungsanlagen	317
9.4	Beispiel für eine Niedertemperaturheizungsanlage . . .	322
9.4.1	Aufgabenstellung	322
9.4.2	Dimensionierung	324
9.4.3	Hydraulischer Abgleich	334
9.4.4	Auswahl Ausdehnungsgefäß	335
9.5	Pumpenwarmwasserheizung mit Rohrsystem nach TICHELMANN	336
9.6	Grundprinzip der Dimensionierung von Schwerkraft- Warmwasserheizungen	337
9.7	Dimensionierung von Einrohrheizungsanlagen	339
9.7.1	Verteilungssysteme	339
9.7.2	Auslegung und Dimensionierung.	342
9.8	Auslegung von Fußbodenheizungssystemen.	344
9.8.1	Grundlagen und Begriffe	344
9.8.2	Inbetriebnahme von Fußbodenheizungen	350
9.8.3	Auslegung	351
9.8.3.1	Auslegungs-Wärmestromdichte	351
9.8.3.2	Bestimmung der Auslegungs- Vorlauftemperatur und Temperaturspreizung	357
9.8.3.3	Bestimmung des Auslegungs- Heizmittelstromes	358
9.8.3.4	Bestimmung des Druckverlustes	361
9.9	Selbstregeleffekt der Fußbodenheizung	362
9.10	Berechnungsbeispiel für eine Fußbodenheizung	363
9.10.1	Aufgabenstellung	363
9.10.2	Auslegung	363
9.10.2.1	Auslegungsraum Kinderzimmer 1	364
9.10.2.2	Bad/WC	367
9.10.2.3	Wohnzimmer	371
10	Grundlagen der Niederdruck-Dampfheizung	377
10.1	Systemmerkmale	377
10.2	Rohrführung und Grundlagen der Dimensionierung . . .	379
10.3	Sicherheitstechnische Ausrüstung	384
11	Fernwärme	387
11.1	Versorgungsnetze	387
11.2	Netzfahrweise.	388
11.3	Hausstation	389

12 Grundlagen der Blockheizkraftwerke (BHKW)	393
12.1 Grundlagen und Funktionsweise	393
12.2 Betriebsweisen	396
12.3 Grundlagen der Auslegung	398
12.4 Kennwerte	403
12.5 Grundlagen der Wirtschaftlichkeit und Fördermöglichkeiten	404
12.6 Einbindung des BHKW-Moduls in das Heizungs- system	405
12.7 Schallschutz	406
12.8 Anträge	408
Formelverzeichnis	410
Quellenverzeichnis	415
Stichwortverzeichnis	417

1 Grundlagen der Heizungstechnik

- Historie
- Tendenzen
- Bauphysikalische Grundlagen
- Wärmetechnische Grundlagen
- Wärmespeicherung in Bauteilen

1.1 Historische Entwicklung

Als erste Wärmequelle gilt die **offene Feuerstelle**. Am Anfang unserer Zeitrechnung entwickelten die Römer ein sehr aufwendiges Heizungssystem. Sie durchzogen die Fußböden mit Kanälen, durch die die Abgase aus ein oder mehreren Feuerstätten hindurchgeleitet wurden. Dieses System nennt man **Hypokaustenheizung**.

Hypokaustenheizung

Mit dem Untergang der römischen Kultur geriet dieses Ursystem in Vergessenheit. Es vergingen einige Jahrhunderte, bis man wieder von einem Heizungssystem sprechen konnte.

Die ersten Entwicklungen bezogen sich auf die **Einzelfeuerstätten**, die sich vom **freien Feuer unter einem Rauchfang** über den **offenen Kamin** zum **geschlossenen Ofen** wandelten.

Dabei stellte der **Kachelofen** aus keramischem Werkstoff eine enorme Verbesserung der Wärmeausnutzung dar.

Kachelofen

1763 startete **FRIEDRICH DER GROSSE** infolge der ersten Knappheit an Brennstoffen – zu dieser Zeit vor allem Holz – eine Aktion zur Verbesserung der Energieerzeugung. Das Ergebnis war der Urtyp des **Berliner Ofens**, der mit mehreren Rauchgaszügen ausgestattet war.

Die Einführung der **Stein- und Braunkohle** als Brennstoff führte zu einer weiteren Verbesserung der Wärmeleistung.

Mit Entwicklung der **Hüttentechnik** gegen Ende des 18. Jahrhunderts war auch die Zeit des **eisernen Ofens** gekommen.

Neben dieser Entwicklung der **Einzelfeuerstätten** gab es zur gleichen Zeit Überlegungen in Richtung einer **Sammelheizung**.

Allgemein gilt der Schwede **MARTEN TRIVALD** als Erfinder der **ersten zentralen Warmwasserheizung** (1716).

Ende des 18. Jahrhunderts wurden mit der Entwicklung der **Dampfmaschine** auch erste Möglichkeiten der Ausnutzung von **Dampf** als Heizmittel untersucht.

Dampf

1770 setzte JAMES WATT Dampf für die Beheizung seiner Fabrikgebäude ein, wobei er schon eine Art **Gliederheizkörper** als Heizflächen verwendete.

Zur gleichen Zeit entstand in England auch der erste **Gusskessel**.

Die ersten Patente für eine Dampfheizung wurden 1791 und 1793 erteilt, wobei hier schon eine Luftheizung patentiert wurde.

Trotz dieser Entwicklungen dominierte weiterhin die Einzelheizung, da diese wesentlich billiger war.

Niederdruckdampfheizung

Im Laufe des 19. Jahrhunderts setzte sich mit der Verbesserung der Technik die Niederdruckdampfheizung als gebräuchlichste zentrale Heizmethode durch.

1831 erhielt PERKINS das erste Patent für eine Heißwasserheizung. Er experimentierte auch an den ersten Ausdehnungsgefäßen für die Volumenänderung infolge der Wassererwärmung.

Warmwasser-Zentralheizung

Die Warmwasser-Zentralheizung wurde 1833 von dem Engländer PAALCOW erbaut, der allgemein auch als Urheber gilt.

Sein System bestand aus einem Kessel mit einer sehr langen Rohrschlange, wobei auch die Heizkörper Rohrschlangen waren. Es handelte sich dabei um ein vollkommen geschlossenes System.

Die erste Zentralheizung mit in Serie gefertigten Teilen wurde um 1860 in den USA gebaut. Zur gleichen Zeit setzte auch die Produktion von **Gusskesseln** und **Radiatoren** ein.

Dampfkesselgesetz

Um 1870 kam diese Entwicklung auch nach Deutschland. 1871 wurde das erste Dampfkesselgesetz erlassen, das z.B. bereits Sicherheitsstandrohre vorschrieb.

Gusskessel

1875 brachte Körting den ersten deutschen Gusskessel auf den Markt.

1898 begann Buderus mit der Serienfertigung von Gusskesseln nach eigenen Patenten.

Mit Beginn des 20. Jahrhunderts beschleunigten sich die Fortschritte – zum einen, weil die Komfortansprüche stiegen; zum anderen, weil zunehmend wissenschaftlich fundierte Grundlagen für die Berechnung von Warmwasser- und Niederdruckdampfheizungen zur Verfügung standen. Hier hat sich vor allem Professor HERMANN RIETSCHEL mit seinem «Leitfaden für die Berechnung von Lüftungs- und Heizungsanlagen» einen Namen gemacht.

Erste Berechnungsvorschrift

Die erste Berechnungsvorschrift entstand 1926 mit dem Normblatt DIN 4701 «Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden».

1901 wurde das erste **Dampffernheizwerk** Europas in Dresden erbaut.

1906 fertigte TICHELMANN die erste **Warmwasserfernheizung** in Plauen. Sie basierte auf dem **Schwerkraftprinzip**.

Pumpe

Mit der Entwicklung der ersten Pumpe durch W. OPLÄNDER 1930 war auch das Zeitalter der **Pumpenheizung** gekommen.

1950 kam die wartungsfreie Heizungsumwälzpumpe auf den Markt. Damit wurden die Einsatzmöglichkeiten der Warmwasserheizung enorm verbessert, so dass die Pumpenwarmwasserheizung ab 1955 die Niederdruckdampfheizung bei neuen Anlagen im Wohnungsbau ganz verdrängte. Der Anteil an Zentralheizungen stieg aber nur langsam an.

Als Heizkörper fanden vor allem die Radiatoren aus Guss und Stahl Anwendung. Die erste Norm dazu entstand 1936 bzw. 1938.

Ab Mitte der 50er-Jahre setzte auch die Entwicklung der Plattenheizkörper aus Stahl ein.

Plattenheizkörper

Wie bei den Heizkörpern wurde zur gleichen Zeit immer mehr auch bei den Heizkesseln die Stahlbauweise bevorzugt. Das lag vor allem daran, dass Erdöl als Hauptenergiequelle genutzt wurde. Mit der zunehmenden Verwendung von Erdgas stieg auch wieder die Bedeutung des Gusskessels.

Mit der ersten **Energiekrise** 1973 begann die Suche nach Alternativen zu den fossilen Brennstoffen und Energieeinsparungsmöglichkeiten.

Zum einen wurden neue Energieträger – z.B. Sonnenenergie und Umweltwärme – eingesetzt, zum anderen wurden Maßnahmen für die Minimierung des Wärmeverlustes eingeführt. Es kam zu einer tiefgreifenden Neuorientierung bei der Berechnung des Wärmebedarfs und Auslegung der Heizungssysteme.

Durch das gestiegene Umweltbewusstsein und das Erkennen der entstandenen Umweltschäden durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe wurde auch die Feuerungstechnik vorangetrieben, z.B. Senkung der Abgasverluste, NO_x-arme Verbrennung, Minimierung des Schwefelgehaltes im Brennstoff. Auch die immer knapper werdenden Rohstoffvorkommen führten zu einem neuen Denken.

1.2 Weitere Entwicklung der Zentralheizungstechnik

Die Zukunft der Heizungstechnik zu prognostizieren erscheint aufgrund der vielen möglichen Tendenzen sehr schwer. Man kann in Anlehnung an [1.1] jedoch von vier Haupteinflussfaktoren ausgehen, die wie in Bild 1.1 dargestellt beschrieben werden können.

Ein wichtiger Punkt in den Markt- und Rahmendaten ist die zu erwartende Entwicklung des Wohnungsbestandes.

Der Zuwachs an den neu zu versorgenden Einrichtungen wird von neuen schärferen gesetzlichen Bestimmungen begleitet. Trotz der Zunahme an Neubauten wird die Sanierung des Altbaubestandes einen großen Einfluss auf die Veränderungen in der Heizungstechnik haben.



Bild 1.1 Mögliche Entwicklungstendenzen in der Heizungstechnik

Die Umsetzung der Rahmenbedingungen, z.B. erhöhter Wärmeschutz von Gebäuden, der Einbau von Thermostatventilen, Regelung und Rohrdämmung der Anlage, führt dazu, dass der Anteil am Brennstoffverbrauch und somit am Schadstoffausstoß nicht im gleichen Maße steigen wird wie die neuen Heizungsanlagen zunehmen. Der Leistungsbedarf wird immer geringer.

Dieser Trend zu kleineren, gut regelbaren Leistungen führt auch zu Veränderungen des Energieträgereinsatzes und der Beheizungsstruktur hin zu mehr Zentralheizungssystemen und dem Brennstoff Gas, wie in Bild 1.2 dargestellt ist.

Die notwendigen Investitionsmaßnahmen zur Senkung der Wärmekosten bei Neu- und Altbauten werden durch die Art der Maßnahmen bestimmt (Bild 1.3).

Die Erkenntnisse aus den Wärmekosten und der Kosten-Nutzen-Rechnung finden in zunehmendem Maße in der Praxis ihren Niederschlag. Beispielsweise führt eine Erhöhung der Wärmedämmung zur Verringerung des Wärmebedarfs, aber auch zur Erhöhung der Investitionskosten. Es muss also eine optimale Dämmstärke ermittelt werden, die nach [1.1] unter dem Gesichtspunkt der Gesamtkostenminimierung bei 0,06 bis 0,08 m liegt.

Hier sei angemerkt, dass Dämmungen nur Einfluss auf den Transmissionswärmebedarf haben und der Lüftungswärmebedarf weitge-

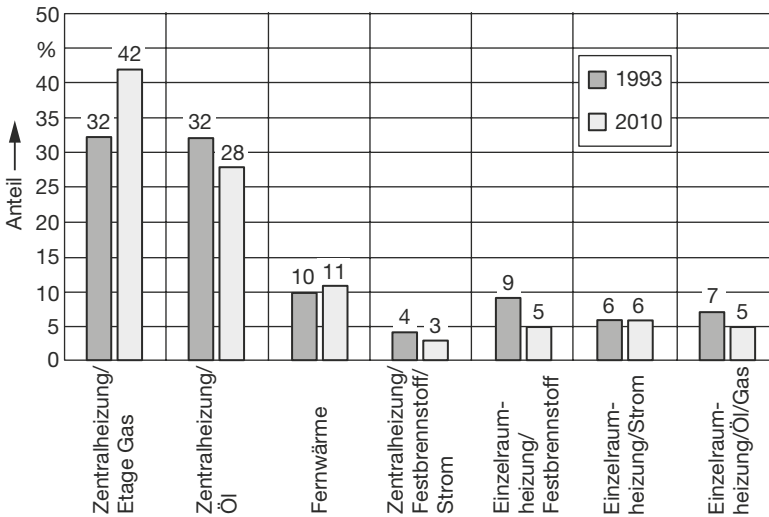


Bild 1.2
Gegenüberstellung der
Beheizungsstruktur [1.1]

Maßnahmen

Wärmekosten (Cent/kWh)
inkl. eventueller Betriebs-
und Wartungskosten

Bild 1.3
Wärmekosten der
eingesparten Energie
bei verschiedenen
Maßnahmen [1.1]

1. Brennwerttechnik	②	Kosten- anstieg ↓
2. Kellerdecke + 6 cm Polystyrol	3,3	
3. Kellerdecke + 6 cm Polystyrol + 5 cm Tektalan	11	
4. Dachdämmung + 8 cm Mineralwolle	13,2	
5. Außenwand Bims	14	
6. Gasmotorische Wärmepumpen	14	
7. Solarenergie aus großen Anlagen	12–20	
8. Kalksandstein bzw. Schalungsstein + Thermohaut 10 cm	14–21	
9. Dach + 18 cm Mineralwolle	20	
10. Kalksandstein bzw. Schalungsstein + Thermohaut 16 cm	22–26	
11. Außenwand porosierte Ziegel 36,5 cm	39	
12. Dreifach-Wärmeschutzglas	63	
13. Wärmerückgewinnung aus der Abluft	⑧3	

hend unberührt bleibt. Daraus ergibt sich, dass nur die Verbindung mehrerer Maßnahmen miteinander sich als günstig erweisen. Die weitere Erhöhung der Dämmstärke z.B. erbringt nur noch geringe Einsparungseffekte.

In diese ganzen Überlegungen gehen auch die finanziellen Bedingungen der Bauherren ein, so dass die Nachfrage nach preisgünstigen, aber zuverlässigen Heizsystemen steigen wird.

Ausschlaggebend ist aber auch der stetig steigende Einfluss der Kundenwünsche, so z.B. die thermische Behaglichkeit, die einfache Bedienung, die schnelle Betriebsbereitschaft, der steigende Brauchwasserbedarf, die modularen Systeme oder der umfassende Service.

Durch den gesetzlichen Rahmen und der weiteren Verfügbarkeit an Brennstoffen ergibt sich der Rahmen des Technologieangebotes

der Heizungstechnik. Im Hinblick auf die Reduzierung des Brennstoffeinsatzes und somit der Schadstoffe muss sich die Heizungstechnik noch stärker an die künftigen Energiesysteme orientieren.

Neben den fossilen Energiesystemen wird der Einsatz erneuerbarer Energien immer mehr an Bedeutung gewinnen, da zum einen das Umweltbewusstsein steigt und zum anderen die Technik anwendbare und auch bezahlbare Möglichkeiten der Nutzung alternativer Energiequellen bieten wird.

Die Bilder 1.4 und 1.5 zeigen den Stellenwert der Heizwärme und der Warmwassererzeugung hinsichtlich des Anteils am Energieverbrauch. Die Werte basieren auf dem «Energiedaten-Bericht» des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie mit dem Stand von 2010 [1.2].

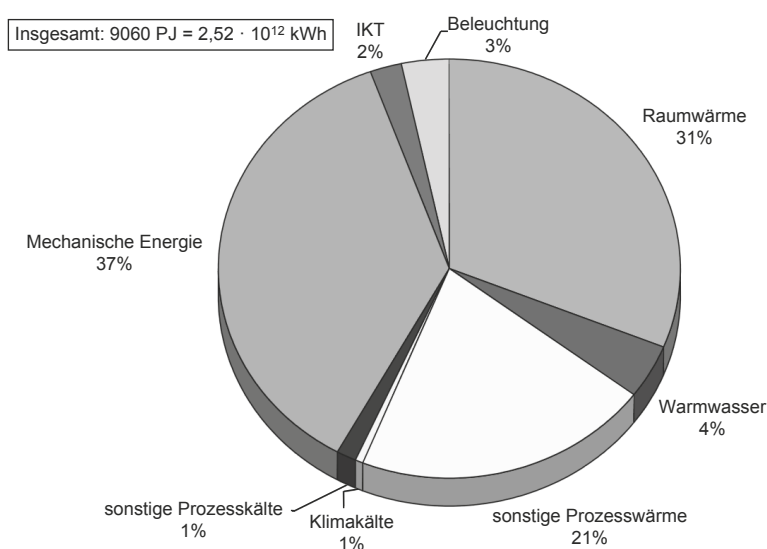


Bild 1.4 Endenergieverbrauch in Deutschland 2010 [1.2]

Aus den Darstellungen lässt sich ableiten, dass im privaten Haushalt der Großteil an Energie für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser (87%) verbraucht werden. Betrachtet man noch die Art der Energieerzeugung (Bild 1.6), so kann man erkennen, dass rund 80% der Raumwärme und des Warmwassers vor Ort mit fossilen Brennstoffen erzeugt werden.

Bei der Auswahl der Energieversorgung spielen die Erzeugerpreise und Primärenergieeinsatz, wie in Bild 1.7 dargestellt, eine bedeutende Rolle.

Bild 1.5
Endenergieverbrauch
privater Haushalte [1.2]

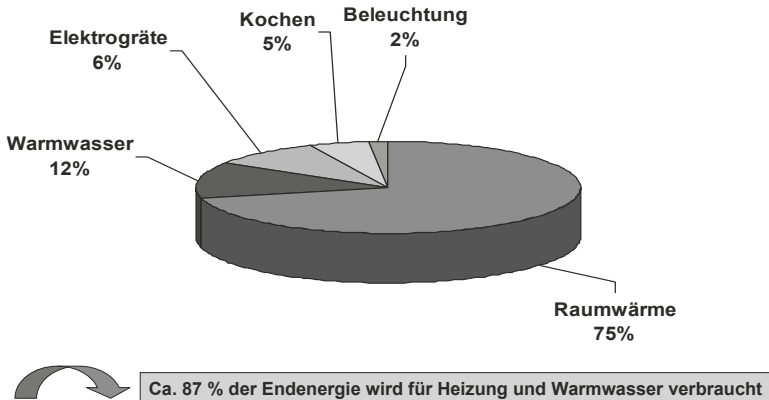
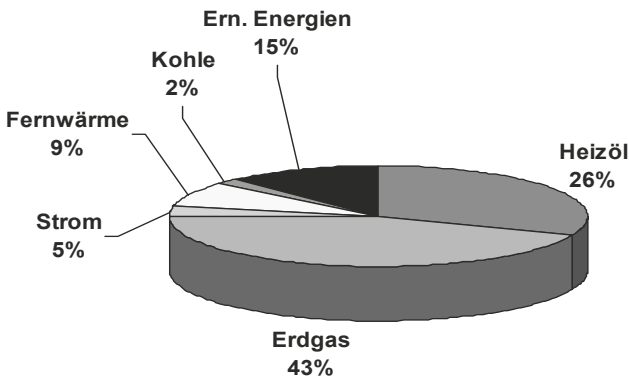


Bild 1.6
Energieträger
zur Erzeugung von
Raumwärme und
Warmwasser in privaten
Haushalten [1.2]



Aus allen diesen Bemühungen und Tendenzen kann man zwei Prognosen ableiten:

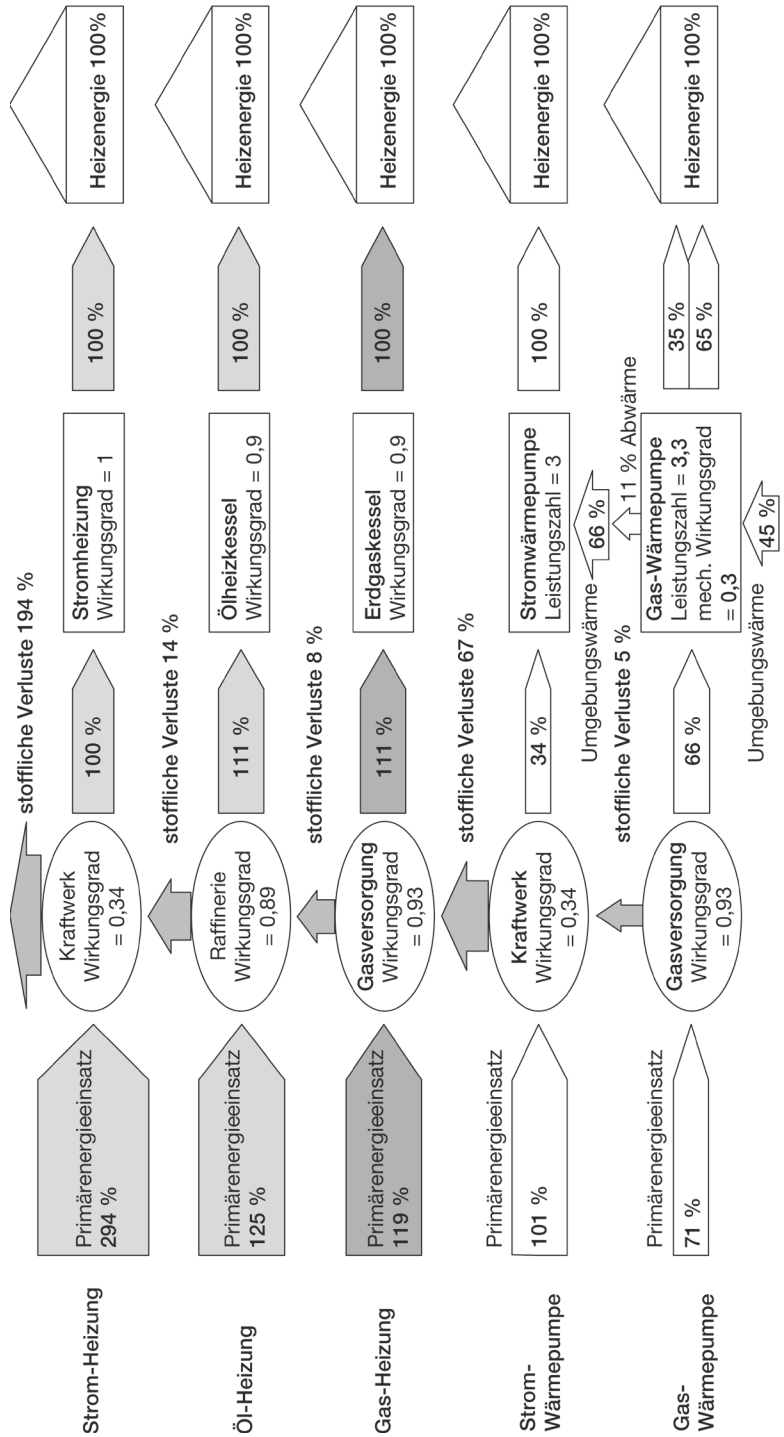
- die Dominanz der Kostenreduzierung,
- die Dominanz der CO₂-Reduzierung.

Prognosen

1.3 Grundlagen aus der Bauphysik

Ziel der Gebäudetechnik ist es, die geforderten Bedingungen des Raumklimas durch die entsprechende Heizungs- und Lüftungs- bzw. Klimatechnik zu erfüllen und somit den Wünschen der Benutzer zu entsprechen.

Bild 1.7
 Analyse verschiedener
 Heizungsanlagen
 im Vergleich des Primär-
 energieeinsatzes [1.1]



Die Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Menschen hängt im Wesentlichen von der Qualität des Raumklimas ab, da er ein Großteil seines Lebens in Wohn- oder Arbeitsräumen, d.h. in Gebäuden, verbringt.

Gesundheit wird als Zustand physischer, psychischer und sozialen Wohlbefindens verstanden.

Gebäudegestaltung und bauphysikalische Eigenschaften der raumumschließenden Bauteile schaffen eine wichtige Voraussetzung für das physische Wohlbefinden.

Ein Ausdruck des physischen Wohlbefindens stellt die **thermische Behaglichkeit** dar. Grundanliegen dabei ist, unter welchen von der Gebäudetechnik beeinflussbaren Bedingungen fühlt sich der Mensch in einem Raum wohl.

Weitverbreitet ist die Annahme, dass die Raum umschließenden Bauteile zum Zwecke des Luftaustausches zwischen Raum- und Außenluft in bestimmtem Maße luftdurchlässig wären – die Wand «atmet». Dies ist aber nicht der Fall, d.h., eine Verbesserung der Luftqualität des Raumes findet auf diesem Wege nicht statt.

Werden damit aber **① Diffusionsvorgänge** des in der Luft befindlichen Wasserdampfes gemeint, so sind diese real vorhanden. Ursache dafür ist, dass nahezu alle Baustoffe mehr oder weniger für **Wasserdampf durchlässig** sind. Diese Eigenschaft wird durch die **Diffusionswiderstandszahl μ** beschrieben.

Im Unterschied zu diffusionsdichten Stoffen (z.B. Glas) kann es nicht nur an der Bauteiloberfläche, sondern auch im Bauteil zur Kondensation des Wasserdampfes kommen.

Somit ist schon in der Planung dafür Sorge zu tragen, dass diesem Effekt vorgebeugt wird, d.h. z.B. besondere Maßnahmen für **poröse dampfdurchlässige Baustoffe** (Dämmstoffe) bei mehrschichtiger Konstruktionen, um Tauwasserniederschlag und eine Durchfeuchtung der Bauteile zu vermeiden und ein hygienisch unbedenkliches Bewohnen zu ermöglichen.

Hintergrund dieser Vorgänge sind:

- einerseits die unterschiedlichen Wasserdampfgehalte und somit auch unterschiedliche Teildrücke des Wasserdampfes auf beiden Seiten des Bauteils und
- andererseits der Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und Temperatur.

Nach DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau – [1.3] ist die **Wasserdampfdiffusion** wie folgt definiert:

«Luft mit unterschiedlicher Temperatur kann unterschiedliche Mengen Wasserdampf enthalten (Taupunkttemperatur, relative Feuchte). Die Wasserdampfkonzentration oder Wasserdampfdichte in Luft

Thermische Behaglichkeit

① *Ausgleich von Konzentrationsunterschieden*

Diffusionswiderstandszahl μ

Wasserdampfdiffusion

kann umso größer werden, je höher die Temperatur ist. Im Winter ist in beheizten Räumen die Wasserdampfdichte größer als in der kalten Außenluft. Unter der Wirkung des Wasserdampfdichteunterschiedes zwischen innen und außen wandert der Wasserdampf von der warmen Seite (innen) zur kalten Seite (außen).»

Bei ungünstigen Verhältnissen, z.B. hohe Luftfeuchtigkeit oder bauphysikalisch unzureichender Aufbau von mehrschichtigen Wänden, kann der Dampf innerhalb der Konstruktion kondensieren und sich als Feuchtigkeit niederschlagen.

Der Wasserdampfdiffusionsstrom von innen nach außen führt Wärme mit sich. Somit wird die Wärmeleitfähigkeit des Stoffes größer und das Wärmedämmverhalten schlechter.

Gleichzeitig können Bauschäden als Folgeerscheinung auftreten.

Die Einwirkung von Feuchtigkeit in Form von Wohn- und Baufeuchte, Kondensatbildung, Regen, Grundwasser sind nach wie vor Probleme des Bauens.

Sinn und Zweck muss es sein, Feuchtigkeit jedweder Art fernzuhalten. Dabei greifen Feuchte und Wärmeschutz eng ineinander.

Feuchteschutz

Mangelhafter Feuchteschutz reduziert Wärmeschutz, ein schlechter Wärmeschutz führt zu Feuchtigkeitsschäden.

Wie kommt es aber zu einer Kondensatbildung im Bauteil?

Luft ist stets mit Wasserdampf angereichert. Dabei ist die Luft bei einer bestimmten Temperatur in der Lage, eine bestimmte Menge an Wasserdampf aufzunehmen.

Sättigungsgrad

Ist der Sättigungsgrad erreicht, d. h., die relative Feuchte beträgt 100% und die **Taupunkttemperatur** ist erreicht, wird bei weiterer Dampfzufuhr ein Teil des Dampfes auskondensieren.

In der freien Umgebung tritt somit Nebel auf. In geschlossenen Räumen setzt sich das Kondensat an den Umschließungsflächen ab.

h-x-Diagramm

Die Zusammenhänge zwischen Raumlufttemperatur, relativer Feuchte und Taupunkt lässt sich am anschaulichsten im **h-x-Diagramm** (Bild 1.8) darstellen.

Um Feuchtigkeitsschäden zu vermindern, empfiehlt sich nach [1.4], entsprechende Lufttemperaturen einzuhalten (Tabelle 1.1).

Tabelle 1.1 Anhaltswerte für Wohnraumtemperatur und Wohnraumfeuchte [1.4]

Raum	Lufttemperatur in °C	Wandflächen- temperatur in °C	relative Raumluftfeuchte in %
Wohn-, Ess- und Kinderzimmer	20	17	45 bis 55
Schlafräume	14	11	60 bis 75
Bäder	22	17	70 bis 90

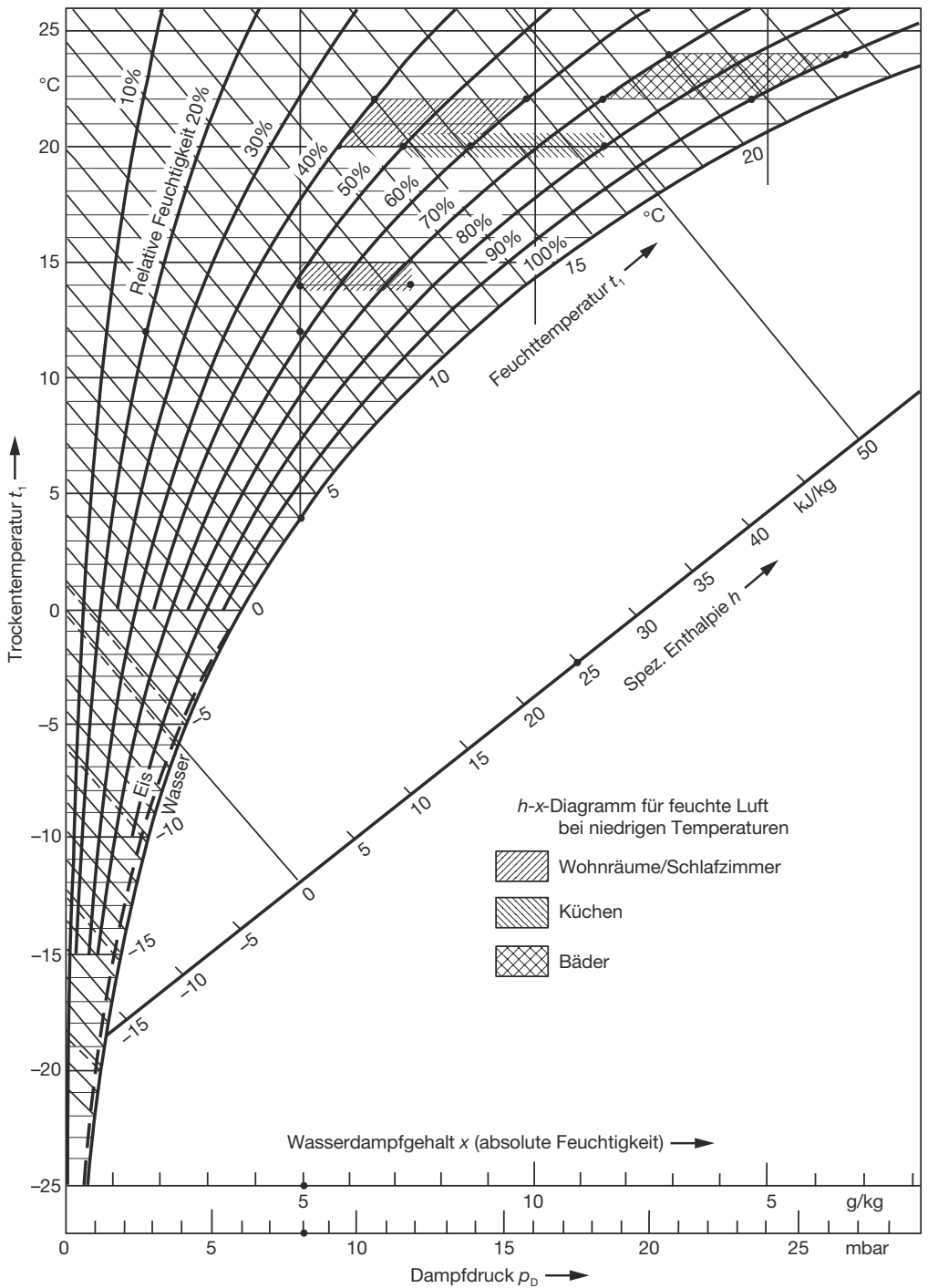


Bild 1.8 $h-x$ -Diagramm [1.4]

Dieser Vorgang ist sehr von der Lufttemperatur abhängig. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen.

Wird die Luft aber abgekühlt, kann sie nicht mehr so viel Wasserdampf aufnehmen, d.h., der überschüssige Wasserdampf wird auskondensieren.

Liegt dabei die Oberflächentemperatur des Bauteils auf der Innenseite unter der Taupunkttemperatur der Raumluft, so tritt an diesen Flächen Tauwasser auf (z.B. beschlagene Fenster).

Die reduzierte Feuchteaufnahme kann auch durch zu geringe Beheizung auftreten, d.h., die Raumlufttemperatur darf nicht zu weit verringert werden.

Würde man z.B. in einem Bad bei einer relativen Feuchte von 80% die Lufttemperatur von 22 °C auf 18 °C absenken bzw. die Oberflächentemperatur der Wand 18 °C betragen, würde der Wasserdampf auskondensieren.

Bei der Kondensation betrachtet man zwei Möglichkeiten:

- die Kondensation an Bauteiloberflächen,
- die Kondensation in Bauteilen.

Mindestwerte des Wärmedurchlasskoeffizienten U

Zur Verhinderung einer dauernden oder lang währenden Tauwasserbildung an Bauteiloberflächen sind **Mindestwerte des Wärmedurchlasskoeffizienten U** bzw. **Wärmedurchlasswiderstand R** nach DIN 4108, Teil 2 (Wärmeschutz im Hochbau) festgelegt, d.h., dass bei den üblichen Raumlufttemperaturen und Werten der relativen Feuchte sowie bei entsprechender Heizung und Lüftung Schäden durch Tauwasser vermieden werden (**Tauwasserfreiheit**).

Der höchstzulässige U -Wert zur Vermeidung von Tauwasserbildung ergibt sich nach Gleichung 1.1:

$$U_{\text{zul}} = \frac{\alpha_i \cdot (\vartheta_i - \vartheta_s)}{\vartheta_i - \vartheta_a} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right] \quad (\text{Gl. 1.1})$$

Die in der DIN 4108 definierten Werte sind so bemessen, dass bei 20 °C und 60 % relativer Feuchte eine dauernde oder lang währende Tauwasserbildung auf den Bauteiloberflächen mit hoher Sicherheit verhindert wird.

Die Taupunkttemperatur ergibt sich nach

$$\vartheta_s = \varphi^{8,02} (109,8 + \vartheta_L) - 109,8 \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{Gl. 1.2})$$

Zur Gewährleistung der Tauwasserfreiheit muss somit die Bedingung $\vartheta_{\text{ob}} > \vartheta_s$ erfüllt sein.

Eine Tauwasserbildung ist weitestgehend unbedenklich, wenn das Tauwasser in den Zeiträumen höherer Feuchtigkeit vom Bauteil aufgenommen wird (Tauperiode) und in Zeiträumen niedrigerer Feuchtigkeit an die Raumluft wieder abgegeben wird (Verdunstungsperiode).

Ist die Oberfläche aber diffusionsdicht (Glas- oder geflieste Oberflächen), wird das Kondensat ablaufen und evtl. im Bereich des Fußbodens oder Fensterrahmens zu Schäden führen.

Diese Gefährdung tritt nicht nur an Außenbauteilen auf, sondern auch bei Innenwänden zu unbeheizten Räumen. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, alle Räume innerhalb eines Nutzungsbereiches ausreichend zu beheizen.

Trotz der Einhaltung der Mindestwerte für den Wärmedurchgang kann es zu einer partiellen Unterschreitung der Taupunkttemperatur kommen. Dies ist der Fall, wenn örtlich ein schlechter U -Wert vorliegt, d. h. bei **Wärmebrücken**.

Wärmebrücken sind dabei Gebäudekanten bei Fenstern und Türen, Wand- und Deckenverbindungen, Deckenaufleger und dgl.

Diese sind entsprechend der DIN 4108-2 durch spezielle konstruktive Maßnahmen auszugleichen, z. B. durch zusätzliche Dämmung.

❶ **Hygroskopische Stoffe**, dazu gehören bekanntlich alle gängigen Wandbaustoffe, sind bei üblichen Raumluftbedingungen nicht völlig trocken, sondern sie nehmen je nach relativer Feuchte der Luft Feuchtigkeit auf. Bei Feuchteänderung der Luft ändert sich auch der Feuchtegehalt der Umschließungsflächen.

Diese **Entfeuchtungswirkung** sowohl durch **Dampfdiffusion** als auch infolge des **Luftwechsels** nimmt mit **sinkender Außenlufttemperatur** zu. Das ist darauf zurückzuführen, dass i. d. R. im Winter in beheizten Räumen aufgrund der höheren Lufttemperatur und üblichen Luftfeuchte ein höherer Wasserdampfdruck als im Freien herrscht. Somit bewegt sich der Wasserdampf vom Raum durch das wasserdampfdurchlässige Bauteil in Richtung zum Freien.

Bauphysikalisch bedeutet das, dass sich zwischen Feuchtegehalt der Raumluft und den Umschließungsflächen ein **Gleichgewicht** einstellt:

- Relative Luftfeuchte steigt – Feuchtegehalt Bauteil steigt;
- relative Luftfeuchte sinkt – Feuchtegehalt Bauteil sinkt.

Diese **Ausgleichsvorgänge (Absorption–Desorption)** werden zusammengefasst als **Sorption** bezeichnet und sind für ein gleichmäßiges Raumklima notwendig.

Die Linien des Gleichgewichtes zwischen feuchter Luft und dem aufgenommenen Wassergehalt ist die **Sorptionsisotherme**.

Die Menge des aufgenommenen Wassers ist im Wesentlichen abhängig von der Größe der inneren Oberfläche und von der Dicke und dem Dampfdiffusionswiderstand μ (DIN 4108) der Sorptionsschicht.

Wärmebrücken

❶ Wasserbindende Stoffe

Da der Feuchtegehalt temperaturabhängig und somit abhängig von Dampfdruck ist, kann durch die Dampfdiffusion bei entsprechender Temperatur- und Dampfdruckverteilung auch im Inneren von Bauteilen der Sättigungsdruck, d. h. der Taupunkt, erreicht werden. Die Folge ist **Tauwasseranfall**.

Eine Tauwasserbildung in Bauteilen ist unschädlich, wenn durch die Erhöhung des Feuchtegehaltes der Bau- und Dämmstoffe der Wärmeschutz und das Bauteil selbst nicht gefährdet werden.

Glaser-Diagramm

Eine Dauerdurchfeuchtung gilt entsprechend der DIN 4108 als ausgeschlossen, wenn die in der Tauperiode aufgenommene Feuchtigkeit in der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden kann. Es ist nach DIN 4108 nachzuweisen, ob die Tauwassermenge im Verdunstungszeitraum wieder abgeführt werden kann. Der rechnerische Nachweis erfolgt mittels des **Glaser-Diagramms**.

Bauschäden können dann auftreten, wenn der kritische Wassergehalt erreicht wird.

Der Wassergehalt im Bauteil kann so lange ansteigen, solange trockene Schichten vorhanden sind. Bei diffusionsdichten Schichten innerhalb des Bauteils bzw. wenn keine trockene Schicht mehr vorhanden ist, würde sich das Wasser absetzen und zu Schäden führen.

Aus diesem Grund sind z. B. Hinterlüftungen an gedämmten Außenfassaden vorteilhaft, um die Feuchte abzuführen.

Mehrschichtige Außenbauteile

Um eine Tauwasserbildung in Bauteilen zu vermeiden, sollte grundsätzlich bei **mehrschichtigen Außenbauteilen** die Wärmedämmfähigkeit nach außen hin zunehmen, der Wasserdampfdiffusionswiderstand aber abnehmen.

Somit erweist sich eine Außendämmung als vorteilhafter. Mit der Anordnung der Dämmung an die Außenseite wird gleichzeitig die Wärmespeicherfähigkeit der massiven Wand vergrößert.

Die Wasserdampfsorption ist für Räume mit großen Oberflächen und einer geringen Feuchtebelastung (Wohn- und Schlafräume) im Allgemeinen ohne größere Bedeutung unter Einhaltung der Bedingungen nach DIN 4108.

In kleinen Räumen mit vorwiegend höherem Feuchteanfall (Küche, Bad), d. h. höhere relative Feuchte, steigt auch die Taupunkttemperatur. Somit wird der Unterschied zwischen Lufttemperatur und Taupunkttemperatur geringer und somit vergrößert sich das Risiko der Taupunktunterschreitung an kalten Oberflächen.

Zusätzlich muss hierbei gut gelüftet werden, um eine Feuchteabfuhr zu ermöglichen, damit nicht die gesamte Feuchtigkeit vom Bauteil aufgenommen werden muss bzw. nicht in das Bauteil eindringen kann. Bei einer sorptionsdichten Oberfläche (geflieste Oberfläche) fließt das Tauwasser in benachbarte Bauteile und kann somit zu Feuchteschäden führen. Gleiche Erscheinungen treten an Fensterflächen im Rahmenbereich auf.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich vor allem folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Einhaltung der U-Werte nach DIN 4108,
- ausreichende Beheizung von Aufenthaltsräumen,
- Einhaltung des Mindestluftwechsels.

1.4 Thermische Behaglichkeit

Ein Ausdruck des physischen Wohlbefindens stellt die thermische Behaglichkeit dar. Grundanliegen dabei ist festzustellen, unter welchen von der Heizungsanlage beeinflussbaren Bedingungen sich der Mensch in einem Raum wohlfühlt.

Tabelle 1.2 Anhaltswerte für Gesamtwärmeabgabe je Person nach DIN 1946 Teil 2

Tätigkeit	Aktivitätsgrad	Gesamtwärmeabgabe je Person in W
sitzende Tätigkeit, normale Büroarbeit	I	100
leichte Tätigkeit im Stehen, Labortätigkeit	II	150
mäßig schwere körperliche Tätigkeit	III	200
schwere körperliche Tätigkeit	IV	über 250

Nach DIN 1946 Teil 2 (Gesundheitstechnische Anforderungen an die Raumluftechnik) ist die thermische Behaglichkeit gegeben, wenn die Person mit der Temperatur, Feuchte und Luftbewegung in ihrer Umgebung zufrieden ist und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluf wünscht.

Der Mensch besitzt eine konstante Körpertemperatur von ca. 37 °C. Um sich behaglich zu fühlen, muss die Grundbedingung der thermischen Behaglichkeit erfüllt werden:

Wärmeabgabe = Wärmeerzeugung.

Je nach seiner Tätigkeit erzeugt der Mensch Wärme, die ungefähr gleichmäßig an die Umgebung abgegeben wird. Nach DIN 1946 Teil 2 ergeben sich die in der Tabelle 1.2 aufgeführten Anhaltswerte.

Wird dem Menschen einseitig zuviel Wärme entzogen, z.B. durch kalte Umschließungsflächen, empfindet er das als unangenehm.

Neben der Kleidung und der Tätigkeit spielen die vorab genannten physikalischen Raumklimafaktoren

Thermische Behaglichkeit

Raumklimafaktoren

- ❑ relative Feuchte der Raumluft,
- ❑ Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile,
- ❑ Luftbewegung

eine große Rolle (Bild 1.9).

Empfundene Temperatur

Das Wärmeempfinden der Menschen ist nicht einheitlich, sondern von Person zu Person unterschiedlich. Dieses Empfinden wird auch als empfundene Temperatur ϑ_e bezeichnet und bildet sich aus dem Mittelwert zwischen der Temperatur der Umschließungsflächen und der Raumlufttemperatur.

$$\vartheta_e = \frac{\vartheta_u + \vartheta_L}{2} \quad (\text{Gl. 1.3})$$

Je niedriger die Oberflächentemperatur ist, desto wärmer muss die Raumluft sein, damit die gleiche Behaglichkeit entsteht.

Allgemein wird der Behaglichkeitsbereich im Winter zwischen $\vartheta_e = 19$ bis 23 °C angegeben. In diesen Grenzen sollte auch die Raumlufttemperatur liegen. Sie wird mittels Thermometer gemessen, das gegen den Strahlungsaustausch geschützt ist. Die empfundene Temperatur ist nicht messbar.

Für Flächen mit niedriger Oberflächentemperatur, z.B. Fenster, Außenwände, Innenwände zu unbeheizten Nebenräumen, werden Zuschläge berücksichtigt, die die Raumlufttemperatur erhöhen.

Die empfundene Temperatur wird als Norm-Innentemperatur ϑ_i nach DIN EN 12 831 für Heizlastberechnungen eingesetzt.

Der Ausgleich einer niedrigen Oberflächentemperatur durch eine Anhebung der Raumlufttemperatur ist nur in begrenztem Umfang möglich.

Die Oberflächentemperatur ergibt sich aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten k und kann nach den Anhaltswerten entsprechend Bild 1.10 ermittelt werden.

Beispiel nach Bild 1.10

Eine Person sitzt bei einer Innentemperatur von 20 °C vor einer Außenwand mit einer k -Zahl von $0,55$ W/m²K bei einer Außentemperatur von -12 °C. Nach Bild 1.10 ergibt sich eine Oberflächentemperatur an der Innenseite der Wand von $17,8$ °C. Nach Gleichung 1.1 ergibt sich eine empfundene Temperatur von $18,9$ °C. Soll diese nach DIN EN 12 831 20 °C betragen, müsste man in Umwandlung der Gleichung 1.3 die Raumlufttemperatur auf $22,1$ °C erhöhen.

Wärmeentzug

Eine vorhandene Differenz zwischen Wand- und Raumtemperatur wird als Wärmeentzug oder «Strahlungsentzug» bezeichnet.