

Tiator

Die neue Meisterprüfung

Heizungsanlagen

mit dem neuen Gebäudeenergiegesetz



Ingolf Tiator

Heizungsanlagen mit dem neuen Gebäudeenergiegesetz

Prof. Dipl.-Ing. Ingolf Tiator

Heizungsanlagen mit dem neuen Gebäudeenergiegesetz

5., aktualisierte und erweiterte Auflage

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 Berufsakademie Sachsen, jetzt Duale Hochschule Sachsen, im Studiengang Versorgungs- und Umwelttechnik, und hält Techniker- und Meisterkurse an der Fachschule für Technik der Steinbeis-Stiftung in Glauchau.

Weitere Informationen:

www.vogel-professional-education.de

ISBN: 978-3-8343-3539-5

E-Book ISBN: 978-3-8343-6321-3

5. Auflage. 2025

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.

Druck: General Nyomda Kft.

6728 Szeged, Kollegiumi ut 11/H

Gedruckt auf zertifiziertem Papier mit mineralölfreien Druckfarben

Lektorat: Ulrike Klein, Berlin

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

Umschlaggrafik: Icon, Veitshöchheim/Werksfoto

KERMI, Heizkörpermodell Decor-S

Vogel Communications Group GmbH & Co. KG

Max-Planck-Straße 7/9

97082 Würzburg

Tel.: +49 931 418-0

Fragen zur Produktsicherheit:

produktsicherheit@vogel.de

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 bzw. des Gebäudeenergiegesetzes, 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 vierten Auflage dar. Es ist wiederum vor allem für den zukünftigen Techniker und Meister, aber darüber hinaus auch für Studierende entsprechender Studienrichtungen an Dualen Hochschulen 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 das neue Gebäudeenergiegesetz 2020/2023, das in der novellierten Fassung seit dem 01.01.2024 gültig ist und umfangreiche Änderungen im Hinblick auf die weitere Reduzierung des Primärenergieeinsatzes mit sich bringt. 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 18599 sowie zur Heizlastberechnung DIN EN 12831 und DIN TS 12831 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 umwelttechnischen 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 Wärmeerzeugerarten und grundlegende Regelungsmöglichkeiten.

In Anbetracht der gesetzlichen Vorgaben durch das Gebäudeenergiegesetz, das den Einsatz von erneuerbaren Energien vorschreibt, werden auch die Grundlagen der Wärmepumpen und Solaranlagen dargestellt. Die Abschnitte für die Aufstellung der Feuerstätten und der Brennstofflagerung wurden entsprechend dem Gebäudeenergiegesetz angepasst.

Niederlungwitz, Februar 2025

Ingolf Tiator

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
---------------	---

1 Grundlagen der Heizungstechnik

1.1 Historische Entwicklung.....	13
1.2 Weitere Entwicklung der Zentralheizungstechnik.....	15
1.3 Grundlagen aus der Bauphysik	22
1.4 Thermische Behaglichkeit	28
1.5 Wärmetechnische Grundlagen	35
1.6 Wärmespeicherung in Bauteilen	37

2 Einführung in die wichtigsten Verordnungen

2.1 Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden – Gebäudeenergiegesetz GEG	41
2.1.1 Grundlagen.....	41
2.1.2 Grundbegriffe aus dem GEG	53
2.1.3 Anforderungen an zu errichtende Gebäude.....	55
2.1.4 Anforderungen an bestehende Gebäude.....	59
2.1.5 Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie Warmwasserversorgung	62
2.1.6 Anforderungen an Heizungsanlagen	65
2.1.7 Energieausweise und Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz.....	69
2.2 Bundes-Immissionsschutz-Verordnung	72
2.2 Ausgewählte Verordnungen und technische Vorschriften der Heizungstechnik.....	78

3 Grundlagen zur Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfes und des Primärenergiebedarfes

3.1 Grundlagen zur Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfes	81
3.1.1 Anwendung und Bezugsgrößen im Rahmen der GEG- Berechnungen.....	81
3.1.2 Berechnungsgrundlagen.....	84
3.1.3 Grundzüge der Berechnung nach DIN V 4108-6	85
3.1.4 Grundzüge der Berechnung nach DIN V 18599	90
3.2 Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfes für Wohngebäude	92
3.2.1 Berechnungsgrundlagen.....	92

3.2.2	Grundzüge der Berechnung nach DIN V 4701-10	93
3.2.3	Grundzüge der Berechnung nach DIN V 18599	95

4 Berechnung der Heizlast in Gebäuden nach DIN EN 12831

4.1	Grundlagen und Begriffe	101
4.2	Notwendige Ausgangsdaten für die Berechnung.....	104
4.3	Norm-Heizlast	108
4.3.1	Gebäude und Gebäudeeinheit	108
4.3.2	Beheizter Raum «i»	109
4.3.3	Norm(Standard)-Transmissionswärmeverluste des beheizten Raums «i»	109
4.3.3.1	Norm-Transmissionswärmeverluste eines beheizten Raumes «i» direkt nach außen an die äußere Umgebung «e»	110
4.3.3.2	Transmissionswärmeverlustkoeffizient eines beheizten Raumes «i» an einen angrenzenden Raum «a»	112
4.3.3.3	Transmissionswärmeverlustkoeffizient eines beheizten Raumes «i» an das Erdreich «g»	113
4.3.4	Norm(Standard)-Lüftungswärmeverlust	116
4.3.5	Zusätzliche Aufheizleistung in Räumen mit unterbrochenem Heizbetrieb	119
4.4	Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast eines beheizten Raumes	121
4.5	Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast eines Gebäudes	123
4.6	Formblätter	125
4.7	Berechnungsbeispiel für die Norm-Heizlast für einen Raum nach DIN EN 12831-1 bzw. DIN/TS 12831-1	132
4.7.1	Aufgabenstellung.....	132
4.7.2	Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten.....	132
4.7.3	Berechnung der Norm-Heizlast.....	137
4.8	Berechnungsbeispiel für die Norm-Heizlast eines Gebäudes.....	139
4.8.1	Aufgabenstellung.....	139
4.8.2	Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten.....	142
4.8.2.1	Decke Obergeschoss als zusammengesetztes Bauteil	143
4.8.2.2	Erdanliegende Flächen	144
4.8.2.3	Restliche Bauteile	145
4.8.3	Vereinbarungen und Gebäudedaten	148
4.8.4	Norm-Heizlast der einzelnen Räume	152
4.8.5	Norm-Heizlast des Gebäudes.....	168

5 Raumheizflächen

5.1	Einteilung und Anforderungen	173
5.2	Überblick über die Kompaktheizflächen	175
5.2.1	Gliederheizkörper, Radiatoren	175
5.2.2	Sonderbauformen der Radiatoren.....	176
5.2.3	Plattenheizkörper	176
5.2.4	Konvektoren	177
5.3	Überblick über die Flächen- und Strahlungsheizungen.....	180
5.4	Auslegung der Heizkörper.....	185
5.4.1	Wärmeleistung und Auswahl der Heizkörper	185
5.4.2	Leistungsminderungen bei Heizkörpern	189
5.4.3	Besonderheiten der Auslegung von Heizkörpern nach VDI 6030	192

6 Grundlagen der Heizkesseltechnik

6.1	Überblick über die Brennstoffarten	195
6.1.1	Kennwerte	195
6.1.2	Brennstoffarten	196
6.1.2.1	Festbrennstoffe	196
6.1.2.2	Heizöl	198
6.1.2.3	Brenngas.....	198
6.2	Heizkesselarten.....	200
6.2.1	Begriffsbestimmung	200
6.2.2	Anforderungen an die Heizkessel	202
6.3	Niedertemperatur-Heizkessel	206
6.4	Brennwert-Heizkessel.....	210

7 Grundlagen zu den Aufstellungsbedingungen von Feuerstätten

7.1	Allgemeine Aufstellungsbedingungen	217
7.2	Verbrennungsluftversorgung	220
7.2.1	Verbrennungsvoraussetzungen.....	220
7.2.2	Verbrennungsluftbedarf	221
7.2.3	Verbrennungsluftversorgung für raumluftabhängigen Feuerstätten	223
7.3	Besondere Festlegungen für raumluftabhängige Gasfeuerstätten nach TRGI 2018	224

8 Grundlagen der Brennstofflagerung

229

9 Rohre, Armaturen, Umwälzpumpen und Regelung

9.1	Anforderungen an das Heizungswasser	237
9.2	Rohrwerkstoffe und Rohrverbindungen	238
9.3	Rohrverlegung	239
9.4	Armaturen	242
9.5	Auswahl von Heizungsumwälzpumpen	244
9.6	Grundlegende Regelungsmöglichkeiten von Heizungsanlagen	250
9.6.1	Grundaufgaben der Regeltechnik	250
9.6.2	Raumtemperaturregelung	251
9.6.3	Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung	254
9.6.4	Brauchwasser-Temperaturregelung	255
9.6.5	Heizbetriebsarten	258
9.6.6	Grundlegende hydraulische Schaltungen	259
9.6.7	Hydraulischer Abgleich	268

10 Warmwasserheizungsanlagen

10.1	Grundlagen und Einteilung zentraler Heizungsanlagen	273
10.2	Sicherheitstechnische Anforderungen für Warmwasserheizungsanlagen nach DIN EN 12828	279
10.2.1	Einrichtungen für offene Warmwasserheizungen	279
10.2.2	Einrichtungen für geschlossene Warmwasserheizungen	282
10.2.2.1	Einrichtungen gegen Überschreiten der maximalen Betriebstemperatur	282
10.2.2.2	Einrichtungen gegen Überschreiten des maximalen Betriebsdruckes	284
10.2.2.3	Wassermangelsicherung	285
10.2.2.4	Einrichtungen zum Ausgleich der Wasservolumenänderung	285
10.2.2.5	Auslegung eines Membran-Ausdehnungsgefäßes ..	286
10.2.3	Betriebliche Anforderungen	292
10.3	Dimensionierung von Pumpen-Warmwasserheizungsanlagen	292
10.4	Beispielaufgabe für eine Pumpenwarmwasserheizung	300
10.4.1	Aufgabenstellung	300
10.4.2	Dimensionierung	302
10.4.3	Hydraulischer Abgleich	312
10.5	Pumpenwarmwasserheizung mit Rohrsystem nach TICHELMANN	312
10.6	Dimensionierung von Einrohrheizungsanlagen	313
10.6.1	Verteilungssysteme	313
10.6.2	Auslegung und Dimensionierung	314
10.7	Flächenheizungssysteme	317
10.7.1	Grundlagen und Begriffe	317
10.7.2	Anforderungen an Fußbodenheizungssysteme	321

10.7.3	Inbetriebnahme von Fußbodenheizungen.....	325
10.7.4	Auslegung von Fußbodenheizungssystemen.....	326
10.7.4.1	Wärmestromdichte	326
10.7.4.2	Ermittlung der Auslegungs-Vorlauftemperatur und der Temperatur-spreizung	328
10.7.4.3	Bestimmung des Auslegungs-Heizmittelstromes	332
10.7.4.4	Bestimmung des Druckverlustes	335
10.8	Selbstregeleffekt der Fußbodenheizung	337
10.9	Berechnungsbeispiel für eine Fußbodenheizung.....	338
10.9.1	Aufgabenstellung.....	338
10.9.2	Auslegung	340
10.9.2.1	Auslegungsraum Arbeitszimmer.....	340
10.9.2.2	Badezimmer.....	344

11 Anwendung erneuerbarer Energie in der Heizungstechnik

11.1	Hintergründe und gesetzliche Vorgaben.....	349
11.2	Anwendung thermischer Solaranlagen in der Heizungstechnik	355
11.3	Anwendung von Wärmepumpenanlagen in der Heizungstechnik	362
11.3.1	Grundlagen.....	362
11.3.2	Wahl der Wärmepumpe	367

12 Überblick über die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung in der Heizungstechnik

12.1	Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung	371
12.2	Grundlagen der Nah- und Fernwärmeversorgungs-systeme	373
12.2.1	Versorgungssysteme.....	374
12.2.2	Betriebsweisen von Fernwärmesystemen nach DIN 4747	374
12.2.3	Fernwärmeanlage	376
12.3	Grundlagen des Einsatzes von Blockheizkraftwerken.....	378
12.3.1	Grundlagen und Funktionsweise	378
12.3.2	Betriebsweisen	381
12.3.3	Grundlagen der Auslegung	382
12.3.4	Kennwerte	386
12.3.5	Grundlagen der Wirtschaftlichkeit	387
12.3.6	Einbindung des BHKW-Moduls in das Heizungssystem	389
12.3.7	Spezielle Anforderungen an den Schallschutz	390

Formelverzeichnis	393
--------------------------------	------------

Quellenverzeichnis.....	415
--------------------------------	------------

Stichwortverzeichnis	417
-----------------------------------	------------

Grundlagen der Heizungstechnik

1

- 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**.

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.

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.

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.

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.

Die erste **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 Rohr-schlange, 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.

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

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.

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**.

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.

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 nimmt die Bedeutung des Einsatzes von erneuerbaren Energie, wie z.B. Wärmepumpen und Solaranlagen, immer mehr zu. Diese Techniken werden auch deswegen immer wichtiger, da sich die EU und die Bundesregierung das langfristige Ziel gesetzt haben, bis 2050 einen «klimaneutralen» Gebäudebestand zu erreichen.

1.2 Weitere Entwicklung der Zentralheizungstechnik

Die Zukunft der Heizungstechnik zu prognostizieren, erscheint aufgrund der vielen möglichen Tendenzen sehr schwer. Die Entwicklungen werden von vielen Faktoren beeinflusst, die in Bild 1.1 zusammengefasst dargestellt werden.

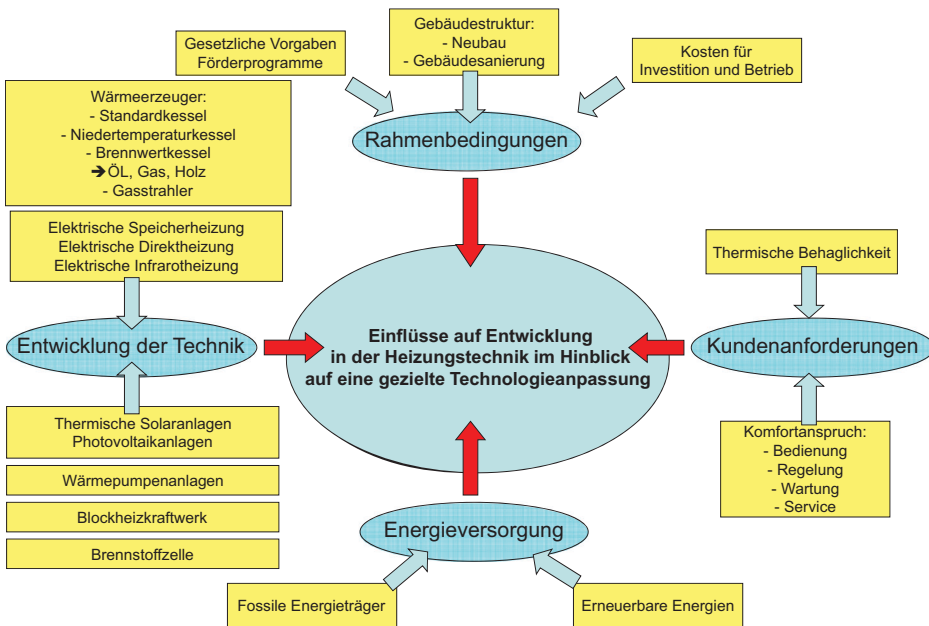
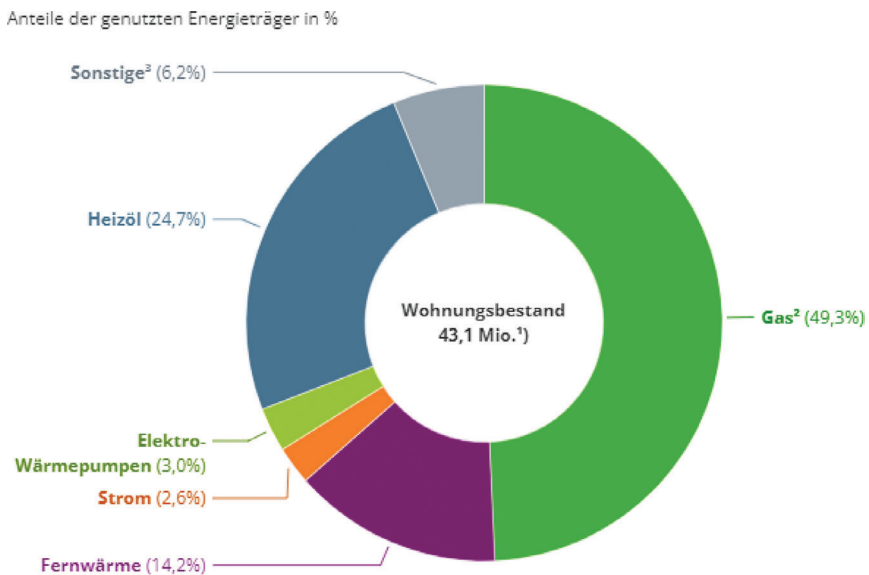


Bild 1.1 Einflüsse auf die Entwicklung in der Heizungstechnik

Die Rahmenbedingungen werden vor allem durch die zu erwartende Änderung des Gebäudebestandes bestimmt, und zwar sowohl im Neu- als auch im Bestandsbau. Die zu versorgenden Einrichtungen werden zunehmen, außerdem wird in den nächsten Jahren neue und schärfere gesetzliche Bestimmungen geben. Damit wird der Anteil der Heizungen am Brennstoffverbrauch und somit am Schadstoffausstoß nicht im gleichen Maße steigen wie der Wohnungsbestand im Neubau. Der Leistungsbedarf wird durch die Verbesserung des Wärmeschutzes immer geringer. Für neu zu errichtende Gebäude gelten die Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie in der Entwurfsfassung von 2023 (Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – EPBD 2023). Darin schlägt die EU-Kommission vor, dass ab 2030 alle neuen Gebäude emissionsfrei – also Null-Emissions-Häuser – sein sollen. Laut der Europäischen Kommission bezeichnet ein **Null-Emissions-Gebäude** (Zero-Emission Building) ein Gebäude mit sehr hoher Energieeffizienz, bei dem der verbleibende Energiebedarf komplett aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt wird.

Diese Anforderungen führen zu neuen Energieerzeugungssystemen mit kleineren, gut regelbaren Leistungen und zur Veränderung in der Beheizungsstruktur, wie dies in den Bildern 1.2 und 1.3 dargestellt wird.



¹⁾ Anzahl der Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum; Heizung vorhanden

²⁾ einschließlich Biomethan und Flüssiggas

³⁾ Sonstige (u.a. Holzpellets, Solarthermie, Koks/Kohle)

⁴⁾ vorläufig, teilweise geschätzt

Stand: 05/2023

Bild 1.2 Beheizungsstruktur im Wohnungsbestand in Deutschland [1.1]

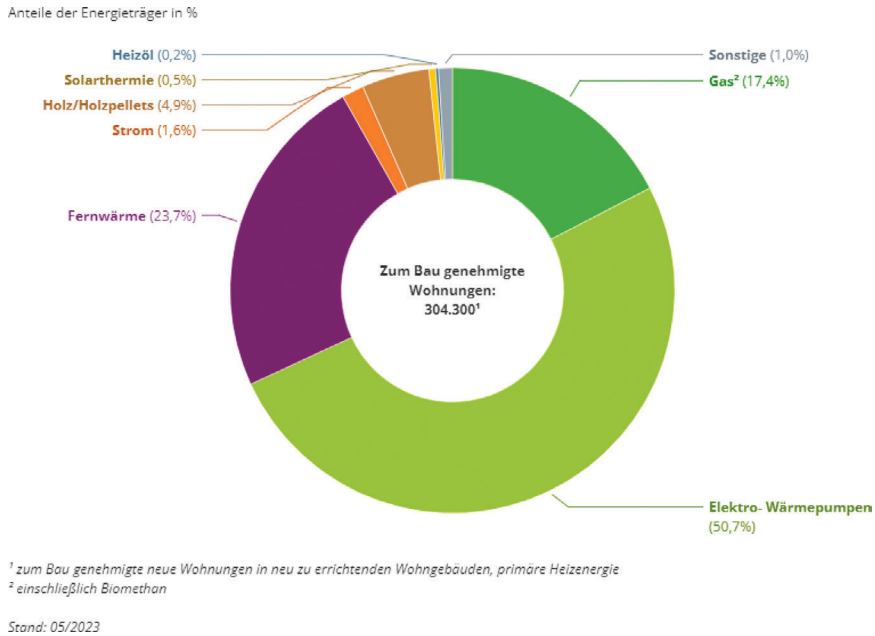
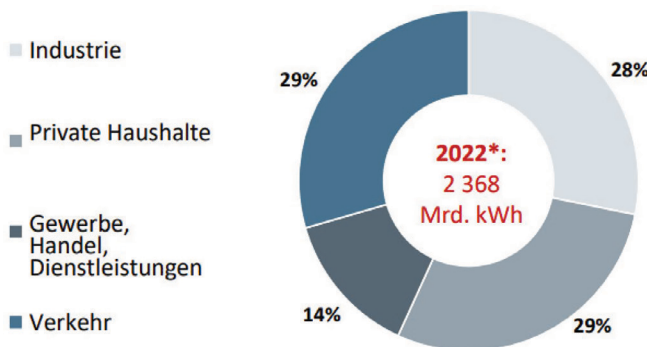


Bild 1.3 Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland [1.1]

Der Vergleich der Heizungen im Neu- und Bestandsbau zeigt also einen eindeutigen Trend weg von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien, vor allem Wärmepumpen.

Das Gebäudeenergiegesetz 2020/2023 (GEG) gibt als Gebäudestandard das **Niedrigstenergiegebäude** vor. Dies ist ein Gebäude, das eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf soll zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden, und dabei wiederum bevorzugt Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird.

Die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden ist auch deswegen notwendig, da der Anteil privater Haushalte am Gesamtenergiebedarf in Deutschland mit ca. 28 % relativ hoch ist, wie im Bild 1.4 zu sehen.



Quelle: AG Energiebilanzen, Stand 11/2023

* vorläufig

Bild 1.4 Endenergieverbrauch nach Sektoren 2021 [1.2]

Beim Endenergieverbrauch privater Haushalte ist wiederum der Anteil für Heizung und Warmwasser mit ca. 83 % am größten, wie im Bild 1.5 dargestellt wird.

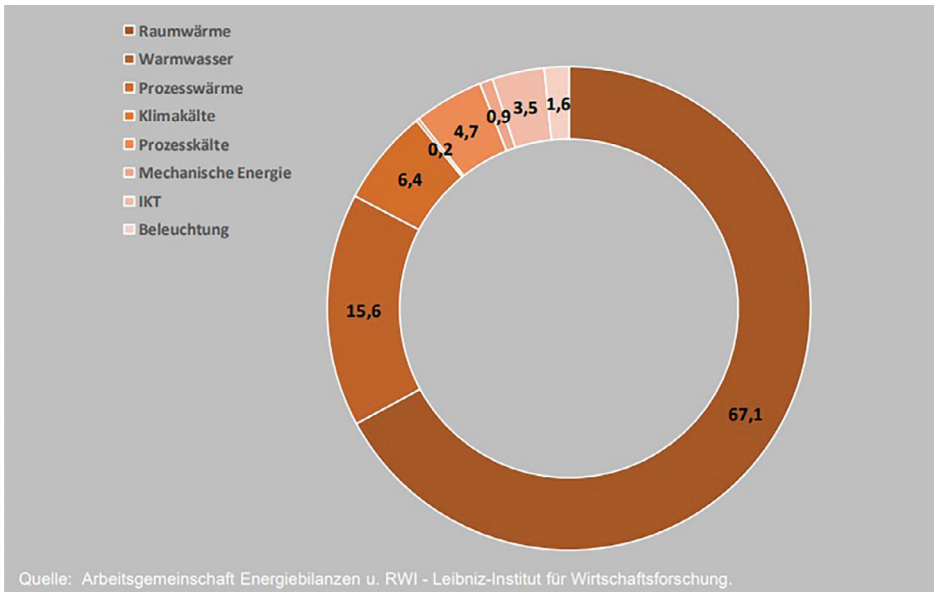
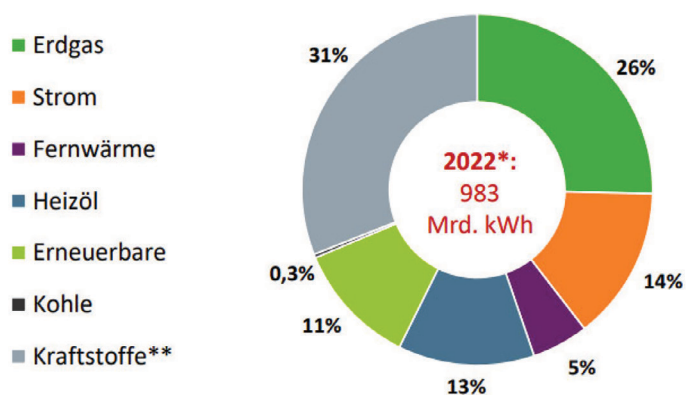


Bild 1.5 Endenergieverbrauch privater Haushalte 2022 [1.2]

Betrachtet man noch die Art der Energieerzeugung, wie im Bild 1.6 dargestellt, so erkennt man, dass der Anteil fossiler Brennstoffe an der Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser noch sehr hoch ist.



Quellen: AGEb, DIW, Berechnungen des BDEW, Stand 12/2023 * vorläufig; ** einschl. Ecomobilität

Bild 1.6 Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nach Energieträgern 2022 [1.3]

Deren Verbrennung verursacht einen Ausstoß von großen Mengen an Schadstoffen, wie CO₂ und NO_x, die in ihrer Gesamtheit zur Verstärkung des **Treibhauseffektes** und somit nachweislich zu einer Klimaveränderung führen.

Durch eine Reduzierung des Einsatzes von fossilen Brennstoffen für die Wärmeerzeugung in Gebäuden wird somit den Klimaschutzzielen im Gebäudesektor (Bild 1.7) weiter Rechnung getragen.

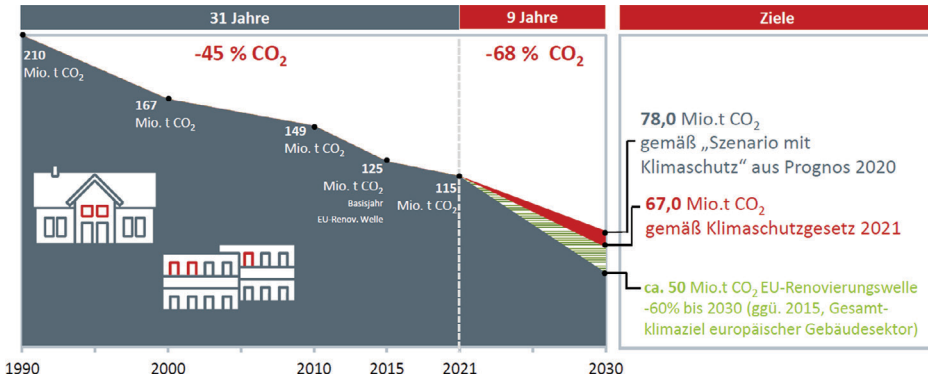


Bild 1.7 Klimaschutzziele im Gebäudesektor [1.3]

Die Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien ist also eine wichtige Zukunftstechnologie. Dies gilt neben den Neubauten auch für den Gebäudebestand. Hier liegt ein großes Einsparpotential. Zum einem ist dafür der Wärmedämmstandard des Gebäudes wichtig und zum anderen die Struktur der Wärmeerzeugung.

Da ca. 62 % des Gebäudebestandes nicht den wärmeschutztechnischen Anforderungen genügen, wird der Trend bei den Veränderungen in der Gebäudetechnik auch und immer mehr vom Umfang der **Sanierung von Altbauten** bestimmt. Im Bild 1.8 wird die Altersstruktur der Wohnungen in Deutschland dargestellt.

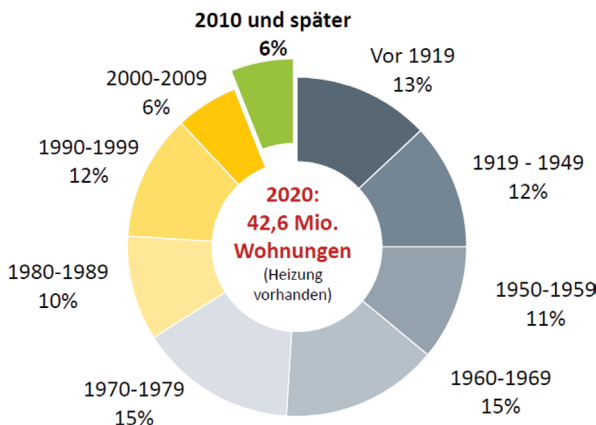


Bild 1.8 Wohnungen in Deutschland nach Baujahr [1.3]

Im Entwurf der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – EPBD 2023 – wird auch eine stufenweise Einführung von Mindeststandards für energetisch schlechte Wohn- und Nichtwohngebäude angestrebt. Ziel ist also eine **Gesamtenergieeffizienz**.

Beispielsweise sollen Wohngebäude nach dem 01.01.2030 mindestens die Energieeffizienzklasse E (< 150 kWh/m²a) und ab 01.01.2033 die Energieeffizienzklasse D (< 130 kWh/m²a) erfüllen.

j

Hinweis

Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ist die berechnete oder gemessene Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u. a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) zu decken.

Mit einer wärmetechnischen Sanierung der Gebäudehülle wird natürlich auch eine Erneuerung bzw. ein Austausch der Wärmeerzeugungsanlage notwendig. Das Alter der Heizungsanlagen im Gebäudebestand in Deutschland wird in Bild 1.9 dargestellt.

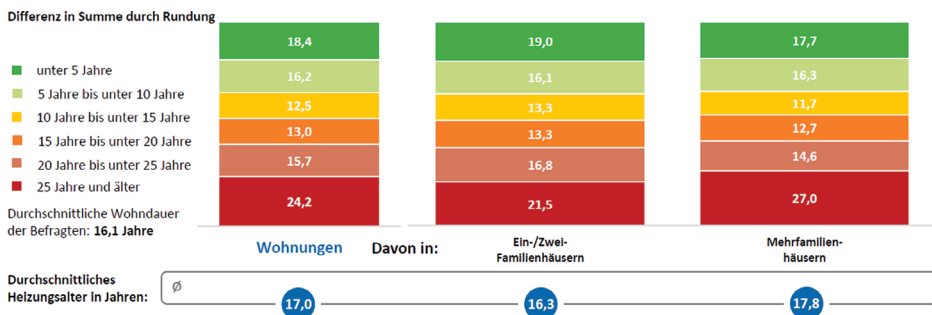


Bild 1.9 Alter der Heizungsanlagen [1.3]

Aus einer Erhebung des Bundesverbandes des Schornsteinfegerhandwerks von 2022 geht hervor, dass ca. 17 % der Heizkessel und ca. 10 % der Gaskessel älter als 30 Jahre sind. Bei den Feuerstätten für feste Brennstoffe (außer Einzelraumfeuerstätten) sind ca. 47 % vor 03/2010 errichtet worden. Zu diesem Zeitpunkt trat die noch immer gültige 1. Bundesimmissionsschutzverordnung in Kraft, die entsprechende Übergangsfristen zur Einhaltung der Grenzwerte für CO und Staub eingeführt hat.

Die notwendigen Investitionsmaßnahmen zur Senkung der Wärmekosten bei Neu- und Altbauten werden durch die Art der Maßnahmen bestimmt. Dabei finden die Erkenntnisse aus den Wärmekosten und der Kosten-Nutzen-Rechnung in zunehmendem Maße ihren Niederschlag in der Praxis.

Beispielsweise führt eine Erhöhung der Wärmedämmung zur Verringerung des Wärmebedarfs, aber auch zur Erhöhung der Investitionskosten. Hier sei angemerkt, dass Dämmungen nur Einfluss auf den Transmissionswärmeverlust haben und der Lüftungswärmeverlust davon weitestgehend unberührt bleibt. Daraus ergibt sich, dass nur die Verbindung mehrerer Maßnahmen miteinander zu ausreichenden Einsparungen

führt. Die weitere Erhöhung der Dämmstärke z.B. erbringt ab einem bestimmten Punkt nur noch geringe Einsparungseffekte, wie im Bild 1.10 dargestellt wird.

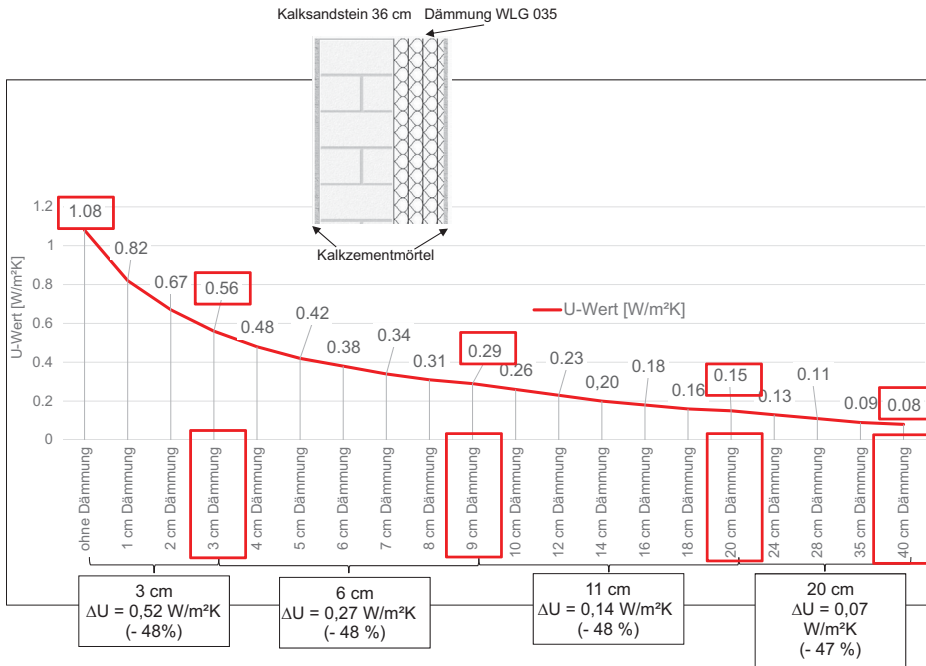


Bild 1.10 Wärmedurchgangskoeffizient und Dämmstärke

Bild 1.10 zeigt, dass mit zunehmender Dämmstärke die Reduzierung des **Wärmedurchgangskoeffizienten** (U-Wert) immer geringer wird. Eine Reduzierung des U-Wertes z. B. von $0,38 W/m^2K$ auf $0,20 W/m^2K$ (fast 50 %) wäre nur bei einer annähernden Verdopplung der zusätzlichen Dämmstärke möglich. Dabei steigen die Investitionskosten viel stärker als infolge des geringeren Wärmeverlustes Betriebskosten gespart werden können. Es muss somit eine optimale Dämmstärke ermittelt werden, in der Praxis liegt sie bei ca. 10 bis 12 cm.

Für eine effektive energetische Gebäudesanierung sollten also mehrere Maßnahmen kombiniert werden, angefangen von der wärmetechnischen Verbesserung der Gebäudehülle bis zur Erneuerung der Heizungstechnik, natürlich unter Einbeziehung der Nutzung erneuerbarer Energien.

Dabei spielen die Vorgaben des Gebäudeenergiegesetzes eine entscheidende Rolle, da bei neu installierten Wärmeerzeugern – unabhängig von Alt- oder Neubau – der Einsatz erneuerbarer Energien gefordert wird.

Vor allem bei einem Austausch des Wärmeerzeugers, z.B. beim Einbau einer Wärmepumpe, ist es wichtig, die Parameter des vorhandenen Heizungssystems (z.B. die Heizkörper) anzupassen.

Eine Wärmepumpe hat beispielsweise nur dann eine optimale Jahresarbeitszahl, wenn die Systemtemperaturen niedrig gehalten werden, wenn also die Vorlauftemperatur ungefähr $35\text{ }^{\circ}C$ beträgt. Damit verringert sich aber gleichzeitig die Wärmeleistung der

installierten Heizkörper. Dies kann wiederum dazu führen, dass die notwendige Wärmeleistung infolge der Heizlast nicht mehr bereitgestellt werden kann. Im Kapitel 5 wird darauf vertieft eingegangen.

Ziel muss es sein, das Gesamtsystem aus Gebäude und Wärmeerzeugungsanlage so zu planen und zu realisieren, dass die Gesamtenergieeffizienz gesteigert und somit der Ausstoß klimaschädlicher Stoffe wie CO₂ verringert wird. Gleichzeitig sollen die Energiekosten ebenfalls gesenkt werden.

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.

Die Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Menschen hängt im Wesentlichen von der Qualität des Raumklimas ab, da er einen 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 Raum umschließenden 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.

Real vorhanden sind allerdings **Diffusionsvorgänge** des in der Luft befindlichen Wasserdampfes, also der Ausgleich von Konzentrationsunterschieden. 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, beispielsweise sollten besondere Maßnahmen für **poröse dampfdurchlässige Baustoffe** (Dämmstoffe) bei mehrschichtiger Konstruktionen getroffen werden, 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 – [1.4] ist die **Wasserdampfdiffusion** wie folgt definiert:

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

Merksatz

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.

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.

Die Zusammenhänge zwischen Raumlufttemperatur, relativer Feuchte und Taupunkt lässt sich am anschaulichsten im **h-x-Diagramm** (Bild 1.11) darstellen.

Um Feuchtigkeitsschäden zu vermindern, empfiehlt sich nach [1.5], entsprechende Lufttemperaturen einzuhalten (Tabelle 1.1).

Tabelle 1.1 Inhaltswerte für Wohnraumtemperatur und Wohnraumfeuchte [1.5]

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

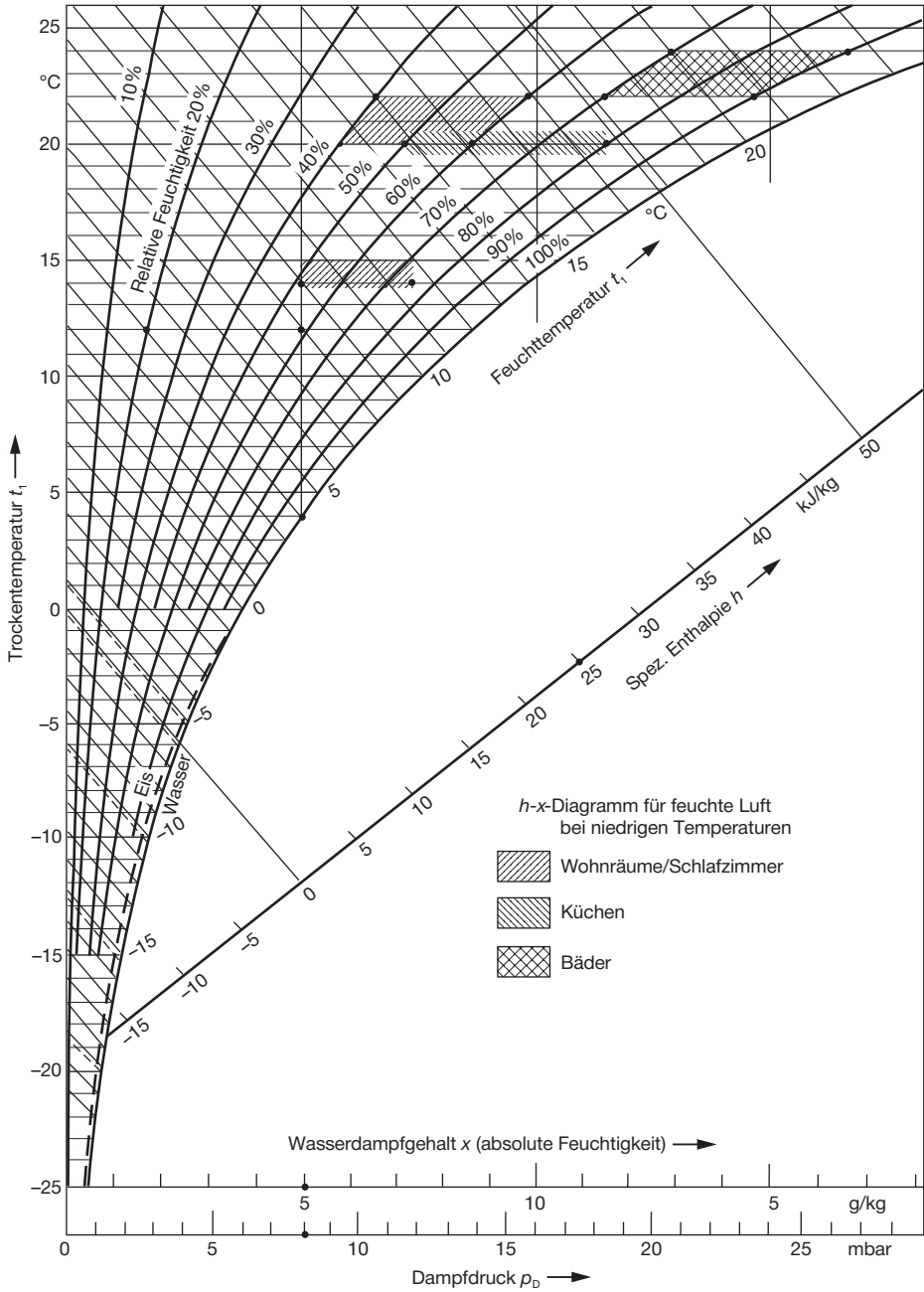


Bild 1.11 h - x -Diagramm [1.5]

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.

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:

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

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

$$\vartheta_s = \varphi^{\frac{1}{8,02}} (109,8 + \vartheta_l) - 109,8 \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{Gl. 1.2})$$

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.

Bekanntlich gehören alle gängigen Wandbaustoffe zu den **hygroskopischen Stoffen**, also den wasserbindenden Stoffen. Sie 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.

Ausgangspunkt ist hierbei die **wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke** s_d , die sich aus dem Produkt der Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl μ und der Bauteildicke s ergibt:

$$s_d = \mu \cdot s \quad (\text{Gl. 1.3})$$

Aus einer Schicht mit kleinem s_d kann viel leichter **Feuchte** an die Oberfläche **diffundieren** als bei einer Schicht mit großem s_d .

Nach dem s_d -Wert teilt die DIN 4108/3 Schichten in fünf Kategorien ein:

- **diffusionsoffene Schicht:** Bauteilschicht mit $s_d \leq 0,5 \text{ m}$,
- **diffusionsbremsende Schicht:** Bauteilschicht mit $0,5 \text{ m} < s_d \leq 10 \text{ m}$,

- **diffusionshemmende Schicht:** Bauteilschicht mit $10 \text{ m} < s_d \leq 100 \text{ m}$,
- **diffusionsperrende Schicht:** Bauteilschicht mit $100 \text{ m} < s_d < 1500 \text{ m}$,
- **diffusionsdichte Schicht:** Bauteilschicht mit $s_d \geq 1500 \text{ m}$.

Daraus lässt sich auch ableiten, dass Bauteile mit großem Wasserdampfdiffusionswiderstand und großer Dicke unter Umständen auch langsamer trocknen.

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**.

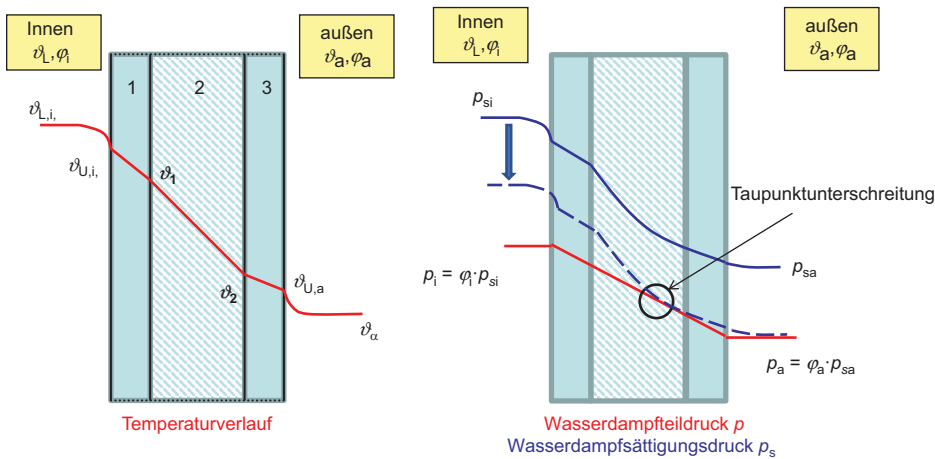


Bild 1.12 Temperatur und Wasserdampfdruck

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.

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.

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 Raumlufttechnik) 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 Raumluft wünscht.

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

Merksatz

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**

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

eine große Rolle (Bild 1.13 und Bild 1.14).

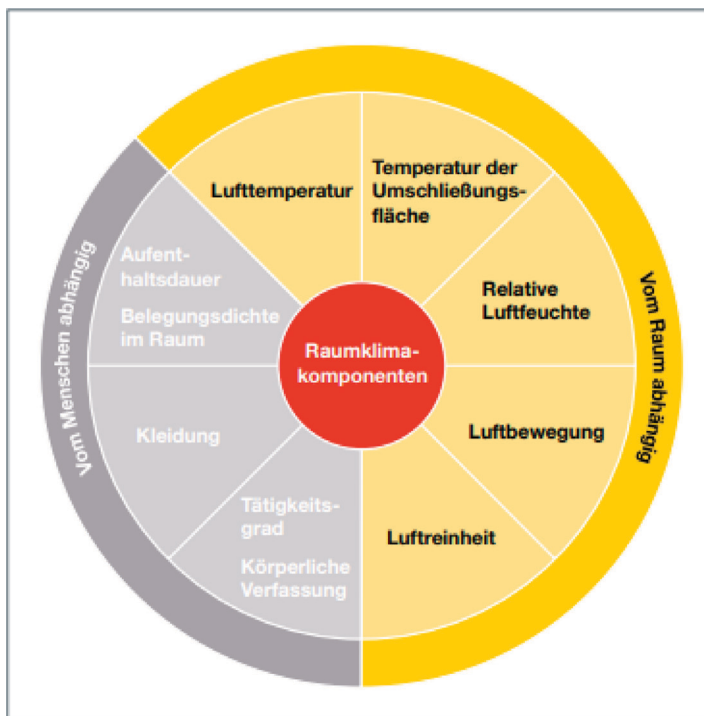


Bild 1.13 Raumklimaeinflussfaktoren [1.5]

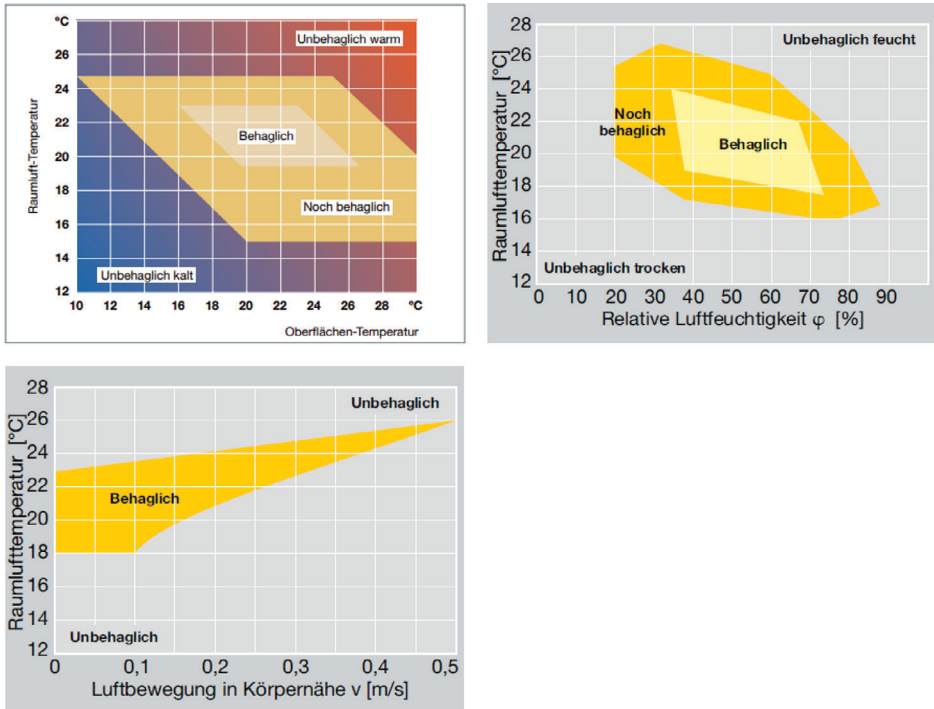


Bild 1.14 Behaglichkeitswerte Temperatur - Luftfeuchtigkeit - Luftgeschwindigkeit [1.5]

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

$$\vartheta_{\text{empf}} = \frac{\vartheta_{\text{u}} + \vartheta_{\text{l}}}{2} \quad (\text{Gl. 1.4})$$

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

Allgemein wird der Behaglichkeitsbereich im Winter zwischen $\vartheta_{\text{empf}} = 19$ 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.

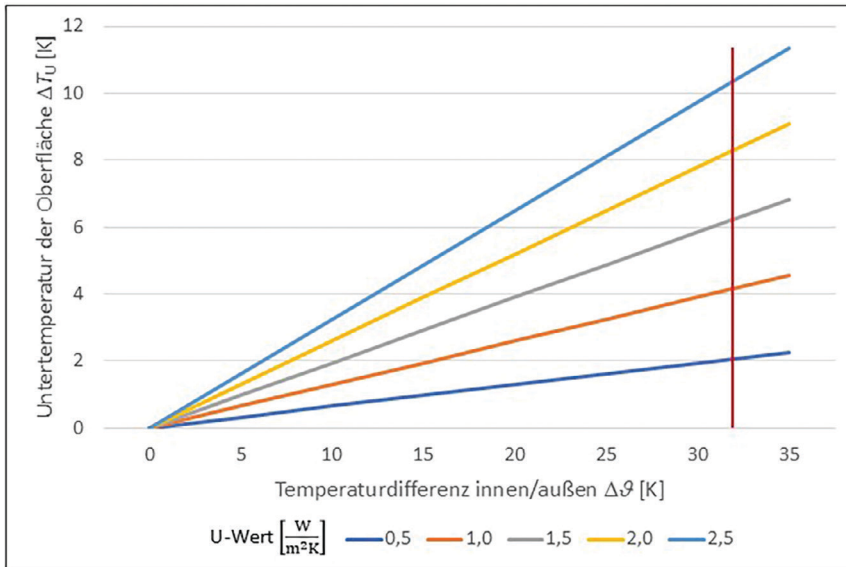


Bild 1.15 Untertemperatur einer Umfassungsfläche in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz innen/außen (in Anlehnung an VDI 6030)

Die Oberflächentemperatur ergibt sich aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten k und kann nach den Anhaltswerten entsprechend Bild 1.15 ermittelt werden.

Beispiel nach Bild 1.15

Eine Person sitzt bei einer Innentemperatur von 20 °C vor einer Außenwand mit einem U-Wert von 0,5 W/m^2K bei einer Außentemperatur von –12 °C. Nach Bild 1.15 ergibt sich eine Oberflächentemperatur an der Innenseite der Wand von 18 °C. Nach Gleichung 1.4 ergibt sich eine empfundene Temperatur von 19 °C. Soll diese nach DIN EN 12 831 20 °C betragen, müsste man in Umwandlung der Gleichung Gl. 1.4 die Raumlufttemperatur auf 21 °C erhöhen.

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

Die DIN EN ISO 7730 geht von einer operativen Temperaturdifferenz von maximal 4 Kelvin aus. Nach VDI 6030 werden alle Umschließungsflächen, deren Oberflächentemperatur > 4 Kelvin unter der Raum-Innentemperatur liegen, als **«kalte Umschließungsflächen»** bezeichnet. Diese Abweichungen werden allgemein als thermisch unbehaglich empfunden. Eine Ausnahme bilden dabei Strahlungsheizungen.

Höhere Temperaturdifferenzen an einer «kalten» Fläche, z. B. Fensterflächen, führen zu einer Luftabkühlung in Bauteilnähe. Die abkühlende Luft führt zu einer Fallluftströmung bis 0,5m/s am Fuß der Fläche. Die Folge sind Zugerscheinungen.

Diese wird als ein unbehaglicher Wärmeentzug empfunden, dem vorgenannten **Strahlungsentzug**, d. h., die Flächen «strahlen kalt».

Am Beispiel einer Fensterfläche ($U = 2,0 W/m^2K$) ergibt sich nach Bild 1.15 z. B. bei einer Außentemperatur von –12 °C an der Fensterinnenseite eine Oberflächentemperatur von