

Kapitel II: Thermische Behaglichkeit

II.1 Der Mensch und sein Wohlbefinden

Als statistische Größe können wir den Menschen mit folgenden mittleren biophysikalischen Daten (1) beschreiben:

Masse	60 – 80 kg
davon Wasseranteil	etwa 70%
Rauminhalt	60 – 100 l
Oberfläche	1,7 – 1,9 m²
Grundumsatz (ruhend)	ca. 115 W bei 37°C Körpertemperatur
Atemluftmenge	0,5 bis max. 8-9 m³/h
CO₂ – Ausatmung	10 – 20 l/h

Prozentuale Verteilung der Wärmeabgabe des Menschen:

Feuchte (latente) Wärme	ca. 15% als warme feuchte Atemluft
Trockene (sensible) Wärme	ca. 45% als Wärmeabstrahlung von der Körperoberfläche an die umgebenden Flächen (Wände, Möbel usw.)
Wasserverdunstung	ca. 10% über die Haut
Leitung, Konvektion	ca. 30% von der Körperoberfläche an die umgebende Luft

In vereinfachender Art und Weise können wir den Menschen als Wärme-Kraft-Maschine betrachten, die je nach Arbeit im Tag 8 000 – 24 000 kJ verbraucht. Im gleichen Ausmaß muss dem menschlichen Organismus Energie in Form von Nahrung zugeführt werden.

Der Körper muss nicht nur sich selbst erhalten und sich durch Wachstum vergrößern, er braucht auch Energie, um die Körpertemperatur gleichmäßig zu halten, sowie chemische und mechanische Arbeit zu leisten. In der **Tabelle 1** sind Richtwerte für den menschlichen Wärmehaushalt bei verschiedenen Arten von Tätigkeiten wiedergegeben.

Das Körperliche und geistige Leistungsvermögen des Menschen ist in der Regel am größten, wenn er sich thermisch wohl fühlt. Dieses Wohlempfinden ergibt sich, wenn der Wärmehaushalt des Körpers im Gleichgewicht bei einer konstanten Körpertemperatur von etwa 37°C liegt. Ein grundlegendes Bedürfnis des Menschen ist es also eine thermische Behaglichkeit in einem gegebenen Raumklima zu erreichen.

Die thermische Behaglichkeit ist jedoch keine Größe die sich exakt messen lässt, sondern eher ein sich nach dem menschlichen Bedürfnissen orientierter Erfahrungswert, der durch nebenstehende Faktoren beeinflusst wird:

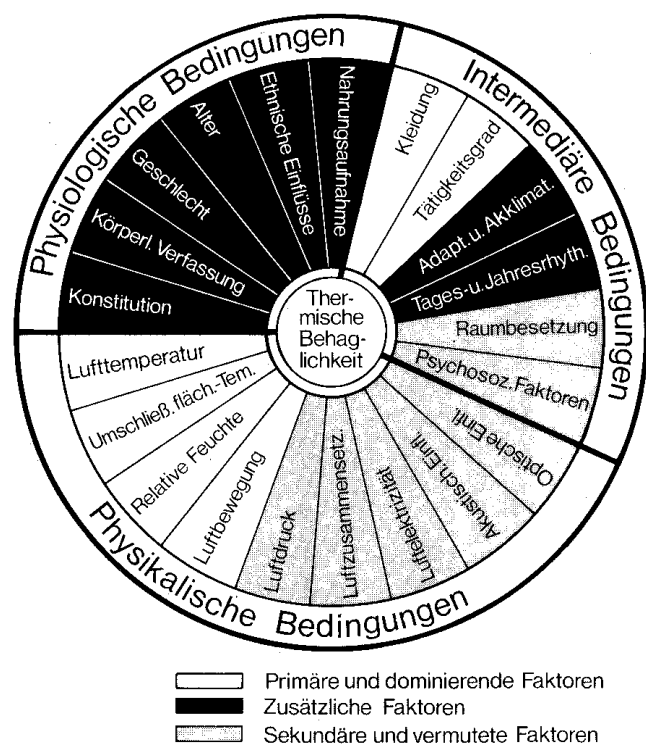


Bild 1: Thermische Behaglichkeit unter physiologischen intermediären und physikalischen Bedingungen (3)

Tabelle 1: Wärmehaushalt des Menschen (Richtwerte) (5)

Richtwerte zum menschlichen Wärmehaushalt (Angaben für 1 Person)	Art der Betätigung										
	völlige Ruhe ruhiges Liegen		geringe Betätigung in Ruhe sitzend		leichte Arbeit		leichte körperliche Arbeit		schwere körperliche Arbeit		
	Grund- umsatz	Grund- umsatz	Tisch- spiele	Lesen	Schule	Büro	Gymnastik	Hausfrau	Ball- spielen	Hand- werker	
Kinder	Er- wachsene	Kinder	Er- wachsene	Kinder	Er- wachsene	Kinder	Er- wachsene	Kinder	Er- wachsene	Kinder	Er- wachsene
Erforderlicher Energie- verbrauch je Tag	kJ/d	5900	7500	8000	9700	8800	10 500	10 100	12 600	11 300	14 700
Gesamtwärmeabgabe (einschließlich Verdunstung)	W	50-65	65-85	60-80	75-100	100-130	125-170	170-225	215-295	280-380	360-490
davon trockene Wärmeabgabe (Konvektion, Leitung und Strahlung)	W	35-45	50-65	45-60	60-75	70-95	95-130	120-160	165-220	200-275	280-370
Wasserdampfproduktion je Stunde	g/h	21-28	23-32	25-34	27-38	41-57	46-62	70-95	78-108	117-160	130-180
Sauerstoffbedarf je Stunde	l/h	9-12	12-16	10-14	14-19	17-24	24-32	30-41	40-51	50-68	65-90
ausgeatmetes Kohlendioxid je Stunde (Konzentration in der Luft 0,03-0,05 Vol. %)	l/h	7-10	10-13	9-12	12-16	15-20	19-26	25-34	32-43	46-56	55-75
Frischluftraten, erforderlich, wenn CO ₂ max. 0,10 Vol. %	m³/h	12-17	17-21	15-20	20-26	25-33	32-42	42-57	55-72	70-93	90-130
Schwülegrenze bei angegebenen Raumluf-Temperaturen	°C	28	28	26	24	24	21,5	19,5	19,5	19,5	19,5
Gleichgewicht = Behaglichkeit	°C	24	24	22	22	20,5	19	19	17	17	17
Grenze des Kühlempfindens	°C	18	18	17	17	16	15,5	15,5	14,5	14,5	14,5

FH O/O/W-Standort Oldbg. FB Architektur – SS 2004	Kapitel II. Thermische Behaglichkeit	6.3 Haustechnik: HKL I Dipl.-Ing. Uwe Mayer
--	--------------------------------------	--

Aufgrund individueller Unterschiede ist es jedoch nicht möglich, ein thermisches Raumklima zu schaffen, in welchem das Wohlbefinden gleichzeitig für alle erreicht wird. Immer wieder gibt es einen Prozentsatz Unzufriedener. Deswegen wird u.a. in der Norm **DIN EN ISO 7730** ein sogenanntes „akzeptables thermisches Raumklima“ definiert als eine Umgebung, die von mindestens 80% der Personen, die sich dort aufhalten, thermisch annehmbar empfunden wird.

Zum generellem Zweck wurde diese Norm entwickelt um:

- a) ein Verfahren zur Voraussage des Wärmeempfindens und des Grades des Unbehagens von Menschen, die einem gemäßigten Umgebungsklima ausgesetzt sind, zu beschreiben;
- b) Bedingungen für das Umgebungsklima festzulegen, die ein Gefühl der Behaglichkeit hervorrufen.

Als Kriterien für die Erfüllung der vorgenannten Bedingungen werden die körperlichen Tätigkeiten und die Bekleidung der Menschen sowie die Parameter des Umgebungsklimas, nämlich Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte herangezogen. Über diese Einflüsse werden die Prozentsätze der Menschen vorausgesagt, die es in einer gegebenen Umgebung wahrscheinlich zu warm oder zu kalt finden werden.

II.2 Der Supersensor: Die Haut (4)

Die unserem Körper umhüllende Haut (Cutis) stellt die Schranke zwischen außen und innen dar. Sie ist das Kontaktorgan, welches die Beziehung von Körpergeschehen und Umwelt regelt und ist das Organ, welches die thermische Behaglichkeit wiedergibt.

Die Haut bedeckt eine Fläche von etwa 1,6 m² und macht als Decke ungefähr 12% des Körpergewichts aus. Ihre Dicke, 1 bis 4 mm, variiert in den verschiedenen Körperregionen. Am kräftigsten ist sie als Leistenhaut an der Handinnenfläche und Fußsohle, am dünnsten als Felderhaut in der Achselhöhle und auf Augenlidern.

In der tiefsten Schicht der Oberhaut entstehen durch rhythmische Teilungsprozesse laufend neue Zellen. Da die Neubildung von der verfügbaren Körperenergie abhängt, finden die Zellteilungen hauptsächlich in den 4 Stunden nach Mitternacht statt, in denen der Körper ansonsten weniger Energie benötigt. In einem Zyklus von 27 Tagen durchwandern die neuen Zellen die Oberhaut und bilden an ihrer Oberfläche die Hornhaut als Schutzbarriere für die darunter liegenden Zellen. Als Hornschuppen werden sie schließlich abgestoßen.

Aufgaben der Haut:

- Passives und aktives Schutzorgan gegen schädliche Einflüsse von außen und gegen Wasserverlust des Körperinnern
- Hauptsächliches Organ zur Regelung des **Wärmehaushaltes**
- Beteiligung an der Kreislaufregulierung
- Absonderung (Sekretion) von Talg
- Abgabe von Schlackenstoffen (Exkretion) durch die Schweißdrüsen
- Wichtiges Sinnesorgan der Berührungs-, Tast-, **Temperatur-** und **Schmerzempfindung**
- Atmungsorgan
- Ausdrucksorgan

Unterpunkte:

Wärmehaushalt:

Die Haut sorgt für den Wärmehaushalt (Thermoregulation), um die engen Grenzen der Kerntemperatur, innerhalb derer die meisten Organe optimal funktionieren, einzuhalten. Durch die mehr oder weniger starke Durchblutung der Gefäßnetze der Haut kann die Wärmeabgabe gesteigert oder vermindert werden. Der Sollwert der Kerntemperatur liegt in der Höhe von 37°C und ist so fein geregelt, dass sich bei Veränderungen um 1,5 K der Körperstoffwechsel um etwa 20% verändert. Ungefähr drei Viertel der Wärmeabgabe erfolgt durch Wärmestrahlung oder Wärmeleitung. Die restliche Wärmeabgabe geschieht durch Wasserverdunstung, teils unmerklich durch Haut und Lunge, teils durch Schwitzen. Auch die Ausscheidung von Urin und Kot bedeutet Wärmeverlust.

Die Verdunstung des Schweißes entzieht dem Körper Energie, die notwendig ist, um eine Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln. Die nicht sichtbare Wasserverdunstung macht etwa 1/3 der Wasserabgabe durch die Haut aus. Die übrigen 2/3 sind Schweiß, mit dem pro Tag ungefähr 1l Wasser ausgeschieden wird.

Temperaturempfindg.: Die Temperaturempfindung wird durch die *Krause-Körperchen* wahrgenommen. Die Körperoberfläche weist etwa 250 000 Kältepunkte und nur etwa 30 000 Wärmepunkte auf. Diese Nervenendapparate nehmen nicht so sehr Temperaturen als vielmehr Temperaturunterschiede wahr. Die Anpassungsfähigkeit ist erheblich. Je nach Reizstärke wirkt die Empfindung angenehm oder unangenehm

II.3 Das Raumklima

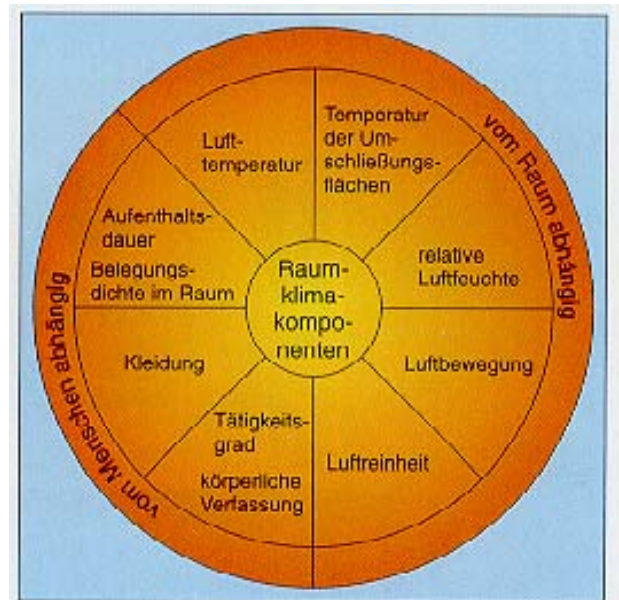
Baubiologen sehen das Haus als dritte Haut des Menschen, denn mehr als 90% unseres Lebens verbringen wir in geschlossenen Räumen. Gesundes Raumklima ist deshalb für unser Wohlempfinden wichtig.

Um das Raumklima „qualitativ“ beurteilen zu können ist man auf die subjektiven Aussagen von Bewohnern und Nutzern angewiesen. Allein aus der Tatsache, dass jeder ein anderes Raumklima als optimal empfindet, wird deutlich, dass eine objektive, quantitative Beurteilung nur schwer zu erreichen sein wird.

Aus diesem Grund wurden sogenannte Raumklimakomponenten definiert, die die Behaglichkeit beeinflussen. Sie lassen sich danach einteilen, ob sie von Menschen oder vom Raum abhängig sind.

Bild 2:

Einflussgrößen auf die Behaglichkeit (6)



Für das Temperaturempfinden des Menschen sind die klassischen Klimakomponenten, die unmittelbar den Wärmehaushalt des Menschen regeln, von vorrangiger Bedeutung.

Die wesentlichen Komponenten stehen in folgender Beziehung:

- 1 - Lufttemperatur – Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen**
- 2 - Lufttemperatur – Relativen Luftfeuchte**
- 3 - Lufttemperatur – Luftbewegung**

Aus der Paarweisen Darstellung der Einzelkomponenten ergeben sich sogenannte Behaglichkeitsfelder, wobei sich zeigt, dass im Verlauf der Jahre eine Verschiebung der als behaglich geltenden Temperaturen nach oben stattgefunden hat. Verschiedene Wissenschaftler haben sich diesem Thema angenommen und gemäß der Aufgabenstellung die Behaglichkeitsfelder entwickelt.

II.3.1 Lufttemperatur – Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen

II.3.1.1 Raumtemperatur – Oberflächentemperatur gesamt

Behaglichkeit entsteht aus der tatsächlich vorhandenen Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur aller den Raum umhüllenden Flächen und weiterer gegebenenfalls vorhandener Strahlungsquellen im Raum.

Die physiologisch empfundene Temperatur entspricht etwa dem arithmetischen Mittel aus beiden Temperaturen.

Näherungsweise gilt:

$$\vartheta_e = (\vartheta_L + \vartheta_O) / 2$$

Mit ϑ_e als empfundene Temperatur, ϑ_L als Raumlufthtemperatur und ϑ_O als mittlere Raumumschließungs-temperatur.

Dabei sollte beachtet werden:

Der Unterschied der Flächentemperaturen zwischen der kalten Wand (AW, Fenster, AT) und der warmen Wand (IW, Decke, FB) sollte nicht größer als 5 K betragen. Auch sollte der Unterschied zwischen der Raumlufthtemperatur und der mittleren Flächentemperatur nicht größer als max. 3 K betragen.

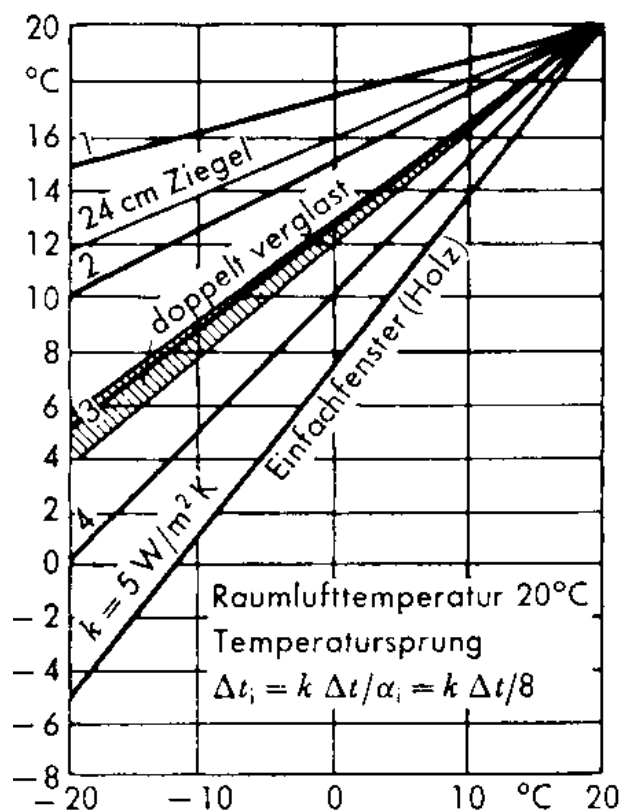


Bild 3:

Aus dem obenstehenden Bild können die inneren Oberflächentemperaturen entnommen werden, die sich bei einer Raumtemperatur von 20°C bei gegebenen Außentemperaturen und verschiedenen k-Werten in etwa ergeben werden.

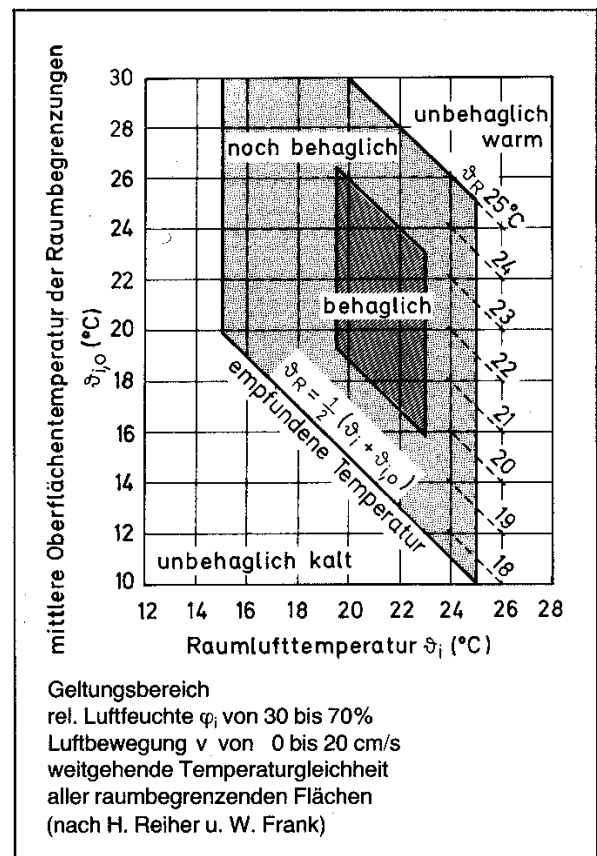


Bild 4:

Aus den mittleren Oberflächentemperaturen und der Raumlufthtemperatur ergibt sich ein Behaglichkeitsfeld nach folgendem Muster.

Aus den Bildern ist erkennbar, dass die sich einstellenden Temperaturen stark von den Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte bzw. nach neuer Schreibweise U-Werte) der Außenflächen beeinflusst werden. Je kleiner der k-Wert (U-Wert) ist, um so schneller wird die Behaglichkeitstemperatur erreicht.

Doch selbst bei gut gedämmten Wänden können unbehagliche Temperaturen entstehen, wenn die Beheizung häufig unterbrochen wird und die Raumflächen – einschl. des Inventars – aufgrund ihrer thermischen Trägheiten einfach nicht auf Temperatur kommen. Mehr als eine längere Absenkephase je 24 h (z.B. Nachts) ist deshalb in ständig bewohnten Räumen meist nicht sinnvoll.

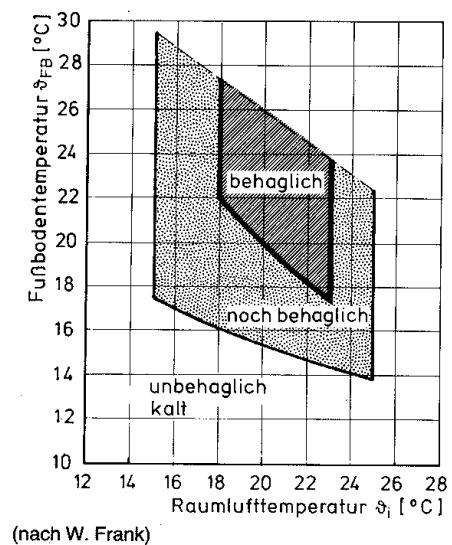
II.3.1.2 Raumtemperatur – Fußbodentemperatur

Bei Raumtemperaturen von $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$ darf die Fußbodentemperatur nicht über 26°C liegen, um noch als behaglich empfunden zu werden. Oberhalb dieser Temperatur können Fuß- und Unterschenkelbeschwerden mit Kreislaufstörungen auftreten. Diese Tatsache ist insbesondere für die Planung und Bemessung von Fußbodenheizungen von Bedeutung. Daher werden in der europäischen Norm DIN EN 1264-2 (Nov. 1997) folgende obere Grenzwerte festgelegt, die noch von nationalen Normen eingeschränkt werden können:

- für Aufenthaltszonen $\vartheta_{\text{max}} = 29^\circ\text{C}$
- für Bäder o.ä. $\vartheta_{\text{max}} = 33^\circ\text{C}$
- für Randzonen $\vartheta_{\text{max}} = 35^\circ\text{C}$

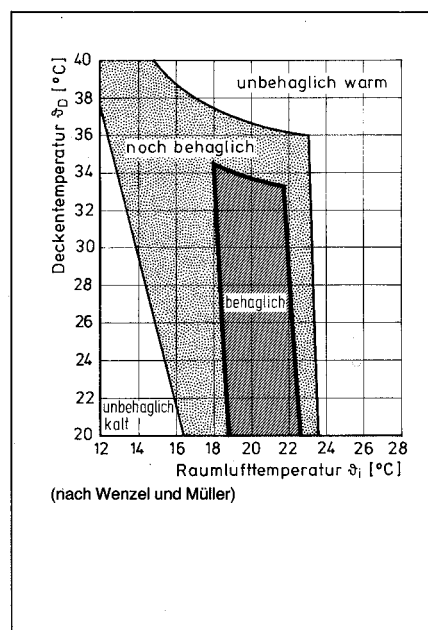
Bild 5:

Das Behaglichkeitsfeld ergibt sich nach W. Frank zu folgendem Profil:



II.3.1.3 Raumtemperatur – Deckentemperatur

Bei Raumtemperaturen ϑ_i zwischen 19 und 22°C wird eine Deckentemperatur bis 34°C als behaglich toleriert. (Bild 6)



II.3.2 Raumtemperatur – Luftfeuchte

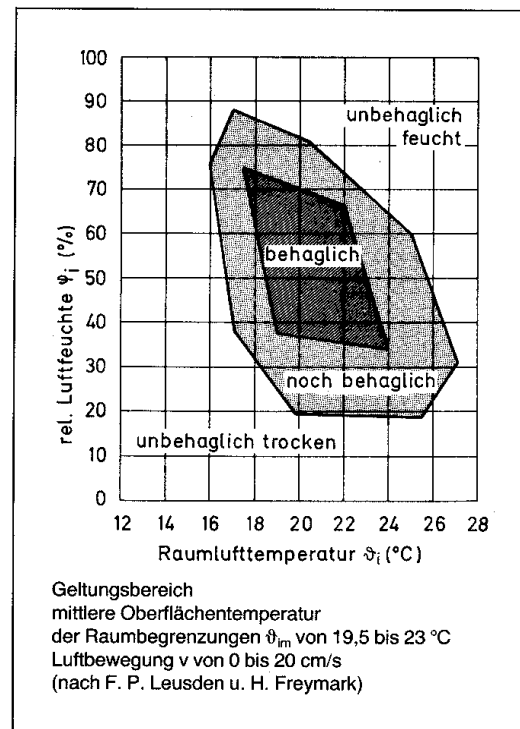
Bei Raumtemperatur $\vartheta_i = 22^\circ\text{C}$ ist erkennbar, dass die relative Raumluftfeuchte zwischen 20 und 75% schwanken kann, um noch als behaglich empfunden zu werden. Aus anderen hygienischen Gründen, wie Austrocknung der Schleimhäute auf der einen und Schimmelpilzbildung auf der anderen Seite, sind Zielgrößen von 40 bis 60% r.F. zu empfehlen.

Unter 35% r.F. gelten medizinisch als unerwünscht, da Schleimhäute der Atemwege und Augen austrocknen und sich so die Anfälligkeit gegenüber Erkältungskrankheiten erhöht.

Erhöhte Feuchtigkeit in Räumen (ab etwa 70% r.F.) fördert die **Schimmelpilzbildung**. Diese Erscheinung tritt nicht nur in Altbauten sondern auch vermehrt in modernen Neubauten auf. Bedingt durch die dichtschießenden Fenster ist eine natürliche Belüftung nicht mehr gewährleistet. Durch die Bewohner und deren Lebensgewohnheiten wird der Raumluft ständig Feuchtigkeit zugegeben. Diese Feuchtigkeit muss über ausreichende Lüftung der Räume wieder abgeführt werden. Hierüber sind die Bewohner aufzuklären. Eine Möglichkeit der Aufklärung bietet das in der Anlage beiliegende Merkblatt „So verhindern Sie Feuchteschäden in Ihrer Wohnung“.

Bild 7:

Das nebenstehende Bild gibt die Behaglichkeitsbereiche wieder:



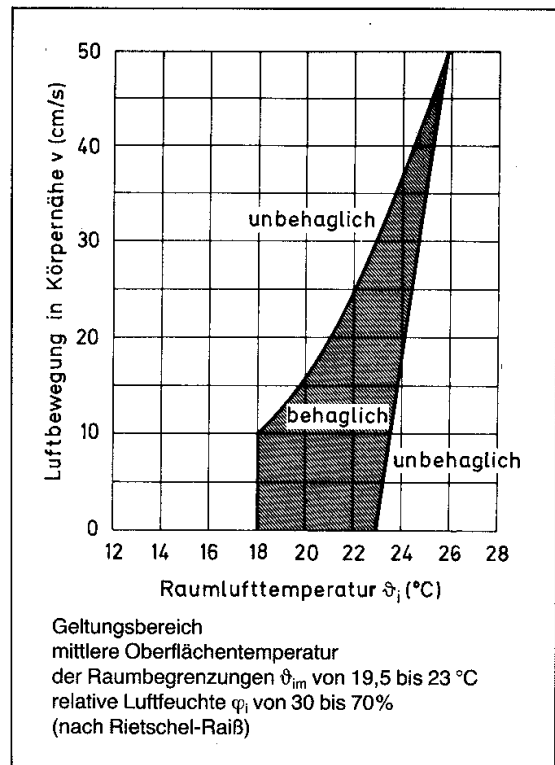
II.3.3 Raumtemperatur – Luftgeschwindigkeit

Der Wärmehaushalt des Menschen wird durch die Luftgeschwindigkeit in seiner unmittelbaren Umgebung beeinflusst. Höhere Luftgeschwindigkeiten, die man als Luftzug spürt, können zu einem größeren Wärmeverlust führen, was als unbehaglich empfunden wird. Aus diesem Grund sind stärkere Luftbewegungen in bewohnten Räumen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Schon Luftgeschwindigkeiten von mehr als 10 bis 20 cm/s werden von sitzenden Personen als unangenehm empfunden. Daher sollte dieser Wert einen Grenzwert in Bezug auf die Bewegung der Luft in geschlossenen Räumen darstellen. Bei Arbeiten mit vollständig unbewegten Körper kann dieser Grenzwert auch weiter absinken, so dass Luftgeschwindigkeiten bis 10 cm/s einzuhalten sind. Aus dem folgenden Behaglichkeitsfeld ist ersichtlich, dass mit steigender Raumtemperatur die Luftgeschwindigkeit erhöht werden kann, um in den Behaglichkeitsbereich zu bleiben (bessere Abfuhr von Körperwärme). Ohne Luftgeschwindigkeit geht der Behaglichkeitsbereich jedoch nur bis zu einer Raumtemperatur von 23°C.

Bild 8:

Raumlufttemperatur und Luftgeschwindigkeit in
Körperrnähe.



II.4 Literatur zum Kapitel II

- (1) Leitfaden zur Beratung, Planung und Ausführung von Anlagen zur Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung
(Zentralverband Sanitär Heizung Klima)
- (2) DIN EN ISO 7730 (Sept. 1995)
Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit
- (3) Aufsatz: Behaglich Wohnen in Betonbauten
(das bauzentrum 5/96)
- (4) Adolf Faller: Der Körper des Menschen
- (5) Bauphysik nach Maß
(1995, Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Beton Verlag GmbH)
- (6) Wärmeschutz von auskragenden Bauteilen
(1996, verlag moderne industrie)