

# Parquet Technology s.r.l.



## Behaglichkeit - Der Mensch als Maßstab

*Andreas Gottschling*

Inhalt

### **1. Definition**

1.1 Was ist Behaglichkeit?

### **2. Der Mensch als Maßstab**

2.1 Der Mensch in Daten

2.1 Wie funktioniert der Mensch?

2.2.1 Die Haut als Supersensor

2.2.2 Wärmeregulierung

2.2.3 Optimale Leistungsbereitschaft

### **3. Das Raumklima**

### **4. Thermische Behaglichkeit**

4.1 Raumlufttemperatur

4.2 mittlere Wandflächentemperaturen

4.3 Raumluftfeuchte

4.4 Raumluftgeschwindigkeit

4.5 Empfundene Temperatur

4.6 Temperaturschichtung

4.7 Zusammenfassung Behaglichkeitsdaten

## **5. Hygienische Behaglichkeit**

5.1 Belastung in Wohn- und Arbeitsräumen

5.2 Tabakrauch

5.3 Kohlendioxidmaßstab

## **6. Akustische Behaglichkeit**

6.1 Schalldruckpegel

### **1. Definition**

1.1 Was ist Behaglichkeit?

Unter Behaglichkeit versteht man den Zustand des Wohlbefindens eines Menschen, bedingt durch äußere Einflüsse seiner Umgebung. Behaglichkeit ist subjektiv: Physiologische, psychologische Einflüsse spielen eine Rolle. Behagliche Räume führen in der Regel zu einer optimalen Leistungsbereitschaft der sich darin aufhaltenden Personen. Es gibt keine präzise beschreibbare Umgebung, die mehrheitlich als behaglich empfunden wird. Es kommt immer auf das Individuum an.

Fazit: Es gibt keinen einheitlichen Maßstab in Bezug auf Behaglichkeit.

### **2. Der Mensch als Maßstab**

2.1 Der Mensch in Daten

Den Menschen kann man mit folgenden mittleren biophysikalischen Daten

beschreiben: Masse 60-80 kg

davon Wasseranteil ca. 70 %

Rauminhalt 60-100 l

Oberfläche 1,7-1,9 m<sup>2</sup>

Atemluftmenge 0,5 bis max. 8-9 m<sup>3</sup>/h

CO<sub>2</sub>-Ausatmung 10-20 l/h

Grundumsatz (ruhend) ca. 100 W bei 37°C Körpertemperatur

2.2 Wie funktioniert der Mensch?

Hier gehe ich in erster Linie auf das thermische Empfinden des Menschen ein, da die thermische Behaglichkeit des Menschen der Hauptaspekt der Behaglichkeitskriterien ist.

### 2.2.1 Die Haut als Supersensor

Die unserem Körper umhüllende Haut 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 m<sup>2</sup> und macht als Decke ungefähr 12% des Körpergewichts aus.

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.

Das thermische Behaglichkeitsempfinden ist eine natürliche Schutzmaßnahme des menschlichen Körpers zur Erhaltung des lebensnotwendigen Wärmehaushaltes. Als Thermofühler fungieren die so genannten Krause-Körperchen. Der Körper weist etwa 250 000 Kältepunkte und nur etwa 30 000 Wärmepunkte auf. Diese Nervenendapparate nehmen nicht so sehr Temperaturen als vielmehr Temperaturunterschiede wahr. Je nach Reizstärke wirkt die Empfindung angenehm oder unangenehm. Die Kälterezeptoren befinden sich auf der gesamten Haut und Wärmerezeptoren im vorderen Stammhirn, welche die körpereigene Temperaturregelung steuern. Als Nährungswerte gelten: Sinkt die Hauttemperatur unter 33°C, friert man, übersteigt die Stammhirntemperatur 37°C, setzt Schwitzen zur Regelung der Wärmeabgabe ein. Thermische Behaglichkeit liegt dann vor, wenn diese Schwellenwerte weder über- noch unter schritten werden.

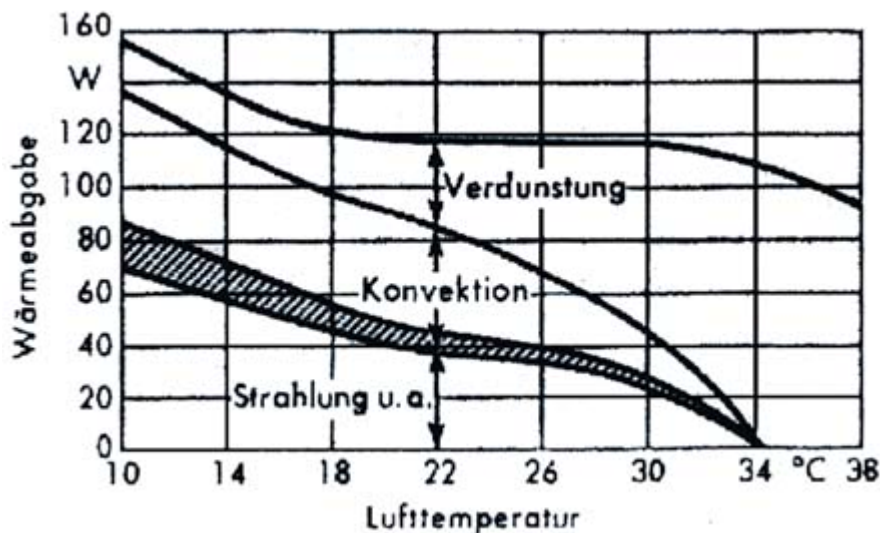
### 2.2.2 Wärmeregulierung

Während manche Lebewesen die Fähigkeit besitzen, sich mit ihrer Körpertemperatur der Umgebung anzupassen, muss der menschliche Körper eine annähernd konstante Temperatur von 37°C +/- 0,8 °C aufrechterhalten. Zusätzlich muss die Abfuhr von Wärme aus der Energieumsetzung (Nahrung a Lebensenergie + Verlustwärme) gewährleistet werden. Der Mensch ist sozusagen eine Wärme-Kraft-Maschine. Selbst bei völliger Ruhe gibt der Mensch ca. 80 Watt Wärme ab. Bei steigender Aktivität muss die Wärmeabgabe an die Umgebung zunehmen, um eine konstante Körpertemperatur aufrecht zu erhalten und um Wärmestaus zu vermeiden.



Dies geschieht durch:

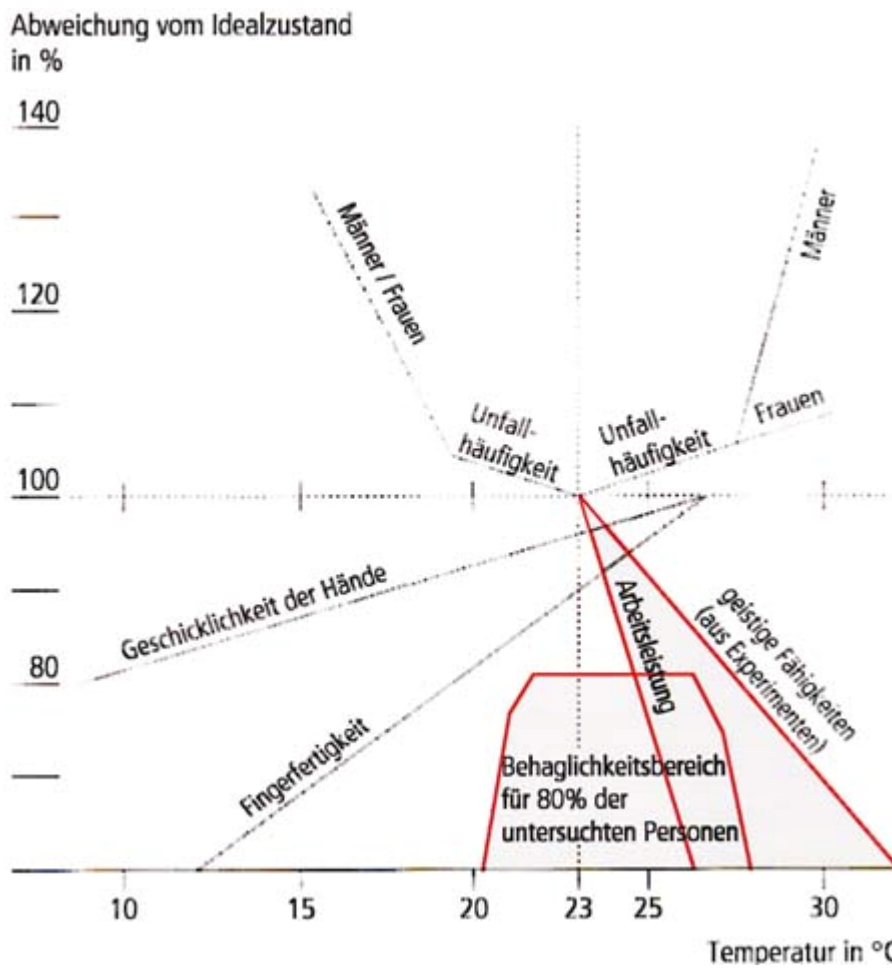
- Wärmeabstrahlung (~ 50%): Erfolgt über den materiefreien Raum hinweg und wird von Körpern, z.B. umgebenen Flächen absorbiert und in Wärmeenergie umgesetzt.
- Konvektion (~ 25%): Jeder warme Körper erwärmt die umgebende Luft, die dadurch aufsteigt und in die Wärme abtransportiert.
- Verdunstung (~ 15%): Der Schweiß an der Hautoberfläche verdunstet. Für die Phasenumwandlung flüssig > gasförmig ist die Verdunstungswärme erforderlich, die dem Körper dabei entzogen wird.
- Wärmeleitung: an berührende Fläche durch die Weitergabe von Wärmeenergie an benachbarte Teilchen in festen, gasförmigen und ruhenden flüssigen Medien.
- Atmung, Ausscheidung, Nahrung



Das Diagramm in Abb.02 zeigt die Gesamtwärmeabgabe eines normal bekleideten Menschen ohne körperliche Tätigkeit bei ruhender Luft. Wie das Diagramm zeigt, beträgt zwischen 18 und 30 °C Lufttemperatur die Gesamtwärmeabgabe von Menschen rund 118 W ohne große Abweichung. Unter 18 °C Lufttemperatur steigt die Wärmeabgabe deutlich an. Während die fühlbare Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion

mit dieser sinkenden Temperatur weiter steigt, bleibt die latente Wärmeabgabe durch die Feuchtigkeitsabgabe konstant. Mit steigender Temperatur über 30 °C sinkt die fühlbare Wärmeabgabe, und die latente Wärmeabgabe steigt. Bei einer Temperatur höher als 34 °C ist die fühlbare Wärmeabgabe null. Bei dieser Temperatur findet nur latente Wärmeabgabe statt.

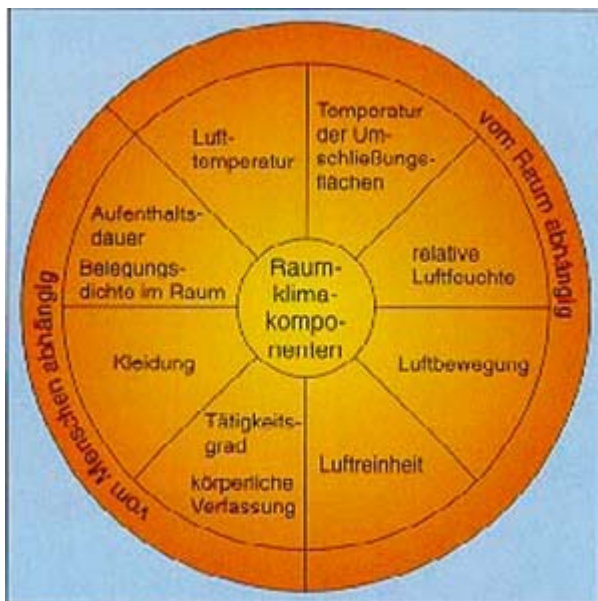
Abb.02 Diagramm Wärmeabgabe: Wärmeabgabe des normal bekleideten Menschen ohne körperliche Tätigkeit bei ruhender Luft. In Abhängigkeit von Temperatur und dem Aktivitätsgrad verschieben sich die einzelnen Beiträge.



### Leistungsbereitschaft

Behagliche Räume führen in der Regel zu einer optimalen Leistungsbereitschaft der sich darin aufhaltenden Personen. Ergonomen haben hierüber eine Vielzahl von Untersuchungen angestellt und Leistungskurven wie in Abb.06 Diagramm Leistungsverhalten in Abhängigkeit von der Raumtemperatur ermittelt. Diese Darstellung setzt eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,15 m/s und eine mittlere Feuchte von 50 % r.F. voraus.

Abb.03 Diagramm\_Experimente zeigt experimentelle Ergebnisse zu Raumtemperaturen und Leistungsverhalten.



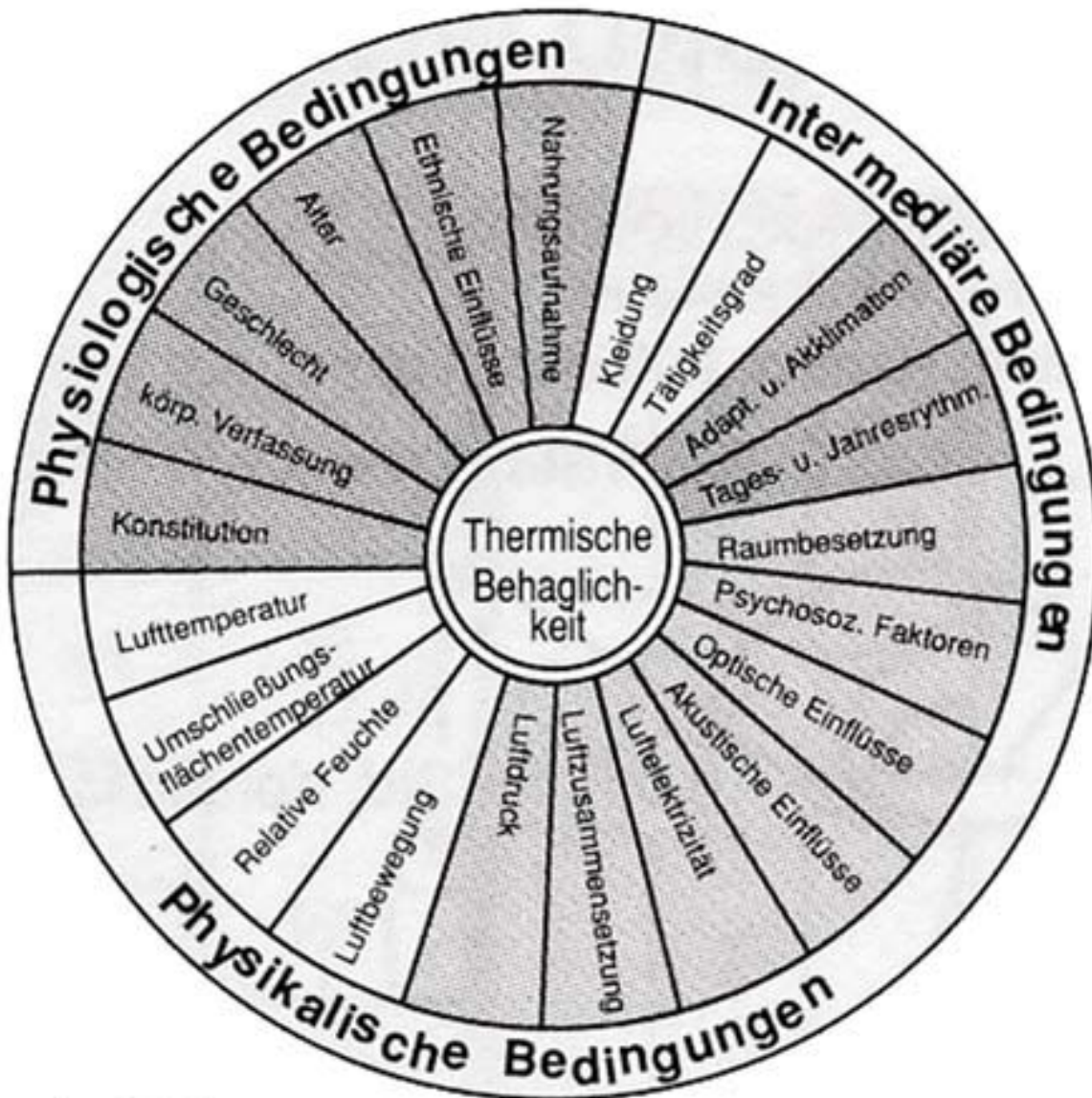
3. Das Raumklima




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 so genannte Raumklimakomponenten definiert, die die Behaglichkeit beeinflussen. Sie lassen sich danach einteilen, ob sie von Menschen oder vom Raum abhängig sind.

#### 4. Thermische Behaglichkeit

Der Bereich der thermischen Behaglichkeit hängt mit dem thermischen Gleichgewicht des Körpers zusammen, auf den zahlreiche Umfeldeinflüsse einwirken. Im Abb.09 Diagramm thermische Behaglichkeit sind alle Einflüsse aufgeführt, die wichtigsten Faktoren sind hier aufgelistet.



-  Primäre und dominierende Einflüsse
-  Zusätzliche Faktoren
-  Sekundäre und vermutete Faktoren

Physikalische Einflüsse:

- Raumlufttemperatur
- mittlere Wandflächentemperatur
- Raumluftfeuchte
- Raumluftbewegung
- Luftzusammensetzung
- Akustische Einflüsse
- Optische Einflüsse

Intermediäre Einflüsse:

- Kleidung
- Tätigkeitsgrad

Physiologische Einflüsse:

- Allg. körperliche Verfassung
- Alter
- Geschlecht
- Nahrungsaufnahme

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 so genanntes "akzeptables thermisches Raumklima" definiert als eine Umgebung, die von mindestens 80% der Personen, die sich dort aufhalten, thermisch annehmbar empfunden wird.

Zum generellen 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.

Tätigkeitsgrad / Aktivität	met
liegend	0,8
ruhig sitzend	1,0
sitzende Beschäftigung (Büro, Haus, Labor, Schule)	1,2
stehend, entspannt	1,2
stehend, leichte Aktivität (Labor, Leichtindustrie)	1,6
mittlere Aktivität (Hausarbeit, Arbeit an Maschinen)	2,0
hohe Aktivität (schwere Arbeit)	3,0

Bekleidung	clo
nackend	0,00
leichte Kleidung, Shorts	0,50
Kleidung mit Hemd, Hose und Socken	0,70
normale Arbeitskleidung	0,80 – 1,00
leichte Sportkleidung mit Jacke	1,00
schwere Arbeitskleidung mit Unterwäsche, Socken, Schuhen und Weste	1,25
Kleidung für kaltes Wetter mit Mantel	1,50 – 2,00
Kleidung für kältestes Wetter	3,00 – 4,00

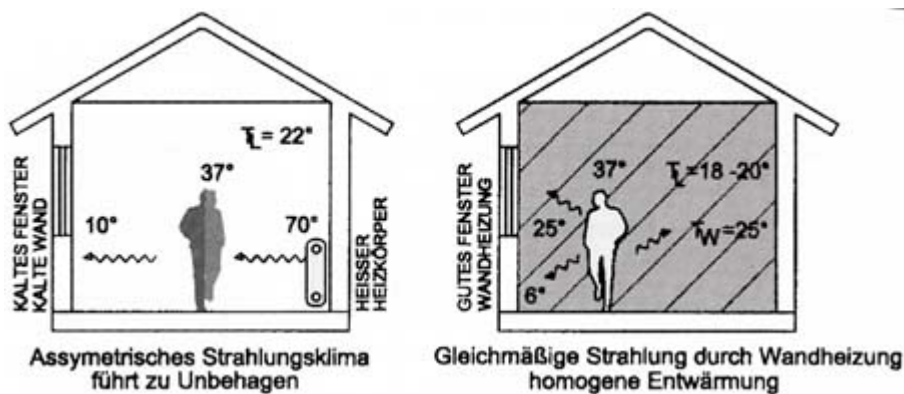
Als Kriterien für die Erfüllung der vorgenannten Bedingungen werden die körperlichen Tätigkeiten (met) und die Bekleidung (clo) der Menschen sowie die Parameter des Umgebungsklimas, nämlich Raumlufttemperatur, mittlere Wandflächentemperaturen, Raumluftfeuchte und Raumluftbewegung herangezogen. (siehe Abb.6 Tabelle Raumlufttemperatur)



#### 4.1 Raumlufttemperatur

Die Raumlufttemperatur ist verantwortlich für die konvektive Wärmeabgabe des Menschen. Wesentlich um sich wohl zu fühlen, ist die Gleichmäßigkeit der Temperatur im Raum. In allen geheizten Räumen bestehen je nach Art der Heizung, Lage, Größe und Temperatur der Heizkörper sowie Außentemperatur Temperaturschichtungen. Temperaturunterschiede sinken mit verbesserter Wärmedämmung und Dichtheit der Fenster und Türen.

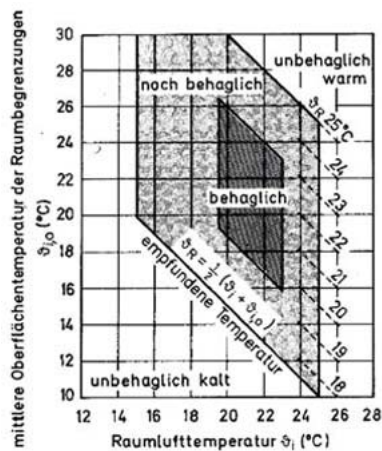
Für den unbedeckten Menschen werden  $28^{\circ}\text{C}$ , für sitzende Menschen ohne körperliche Arbeit im Winter  $22^{\circ}\text{C}$ , im Sommer  $22\text{-}24^{\circ}\text{C}$  als optimal angesehen, für Räume in den sich Frauen und alte Menschen aufhalten  $23\text{-}24^{\circ}\text{C}$ .



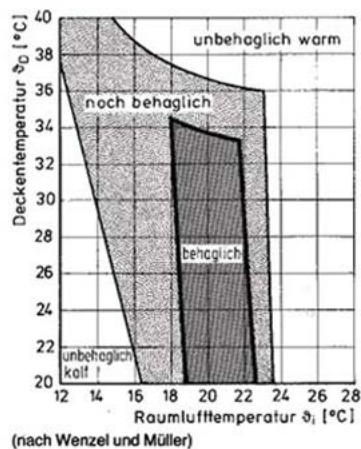
4.2 mittlere

Wandflächentemperaturen (mittlere Strahlungstemperatur)

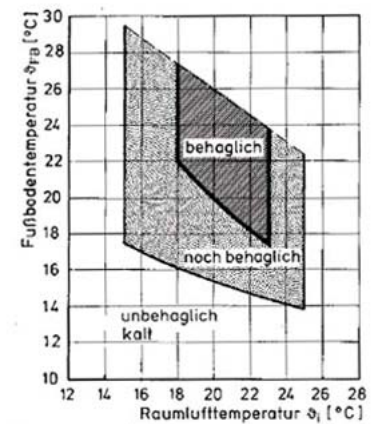
Die mittlere Temperatur aller umgebenden Flächen (Wände, Heizkörper, Fenster, Einrichtungsgegenstände) in einem Raum ist für den Wärmehaushalt des menschlichen Körpers sehr wesentlich. Die Temperaturunterschiede der einzelnen Umgebungsflächen sollten sehr gering sein, damit der menschliche Körper allseitig gleichmäßig Wärme abstrahlen kann. Kühle Decken und warme Wände wirken behaglicher als heiße Decken oder kalte Wände. Auch die Fußsohlen stellen einen wichtigen Wärmerezeptor dar, daher können z.B. Fußbodenheizungen die körpereigene Temperaturregelung irritieren. Bei Raumtemperaturen von  $20^{\circ}\text{C}$  darf die Fußbodentemperatur nicht über  $26^{\circ}\text{C}$  liegen, um noch als behaglich empfunden zu werden. Oberhalb dieser Temperatur können Fuß- und Unterschenkelbeschwerden mit Kreislaufstörungen auftreten.



Geltungsbereich  
 rel. Luftfeuchte  $\varphi$ , von 30 bis 70%  
 Luftbewegung  $v$  von 0 bis 20 cm/s  
 weitgehende Temperaturgleichheit  
 aller raumbegrenzenden Flächen  
 (nach H. Reiher u. W. Frank)



(nach Wenzel und Müller)

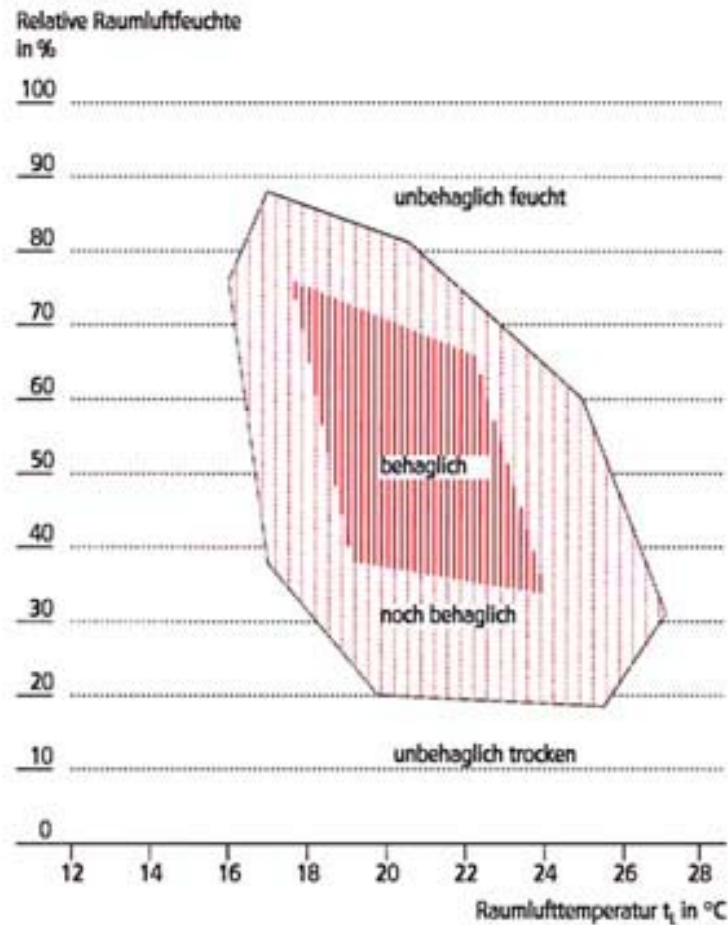


(nach W. Frank)

In nicht begangenen Randzonen können ohne weiteres Temperaturen von 35°C angestrebt werden, um die Aufenthaltszonen zu entlasten. Andererseits sollen Fußbodentemperaturen nicht unter 17-18°C absinken, da wiederum der Mensch infolge der Anhäufung von Temperaturrezeptoren im Knöchelbereich empfindlich reagiert.

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:

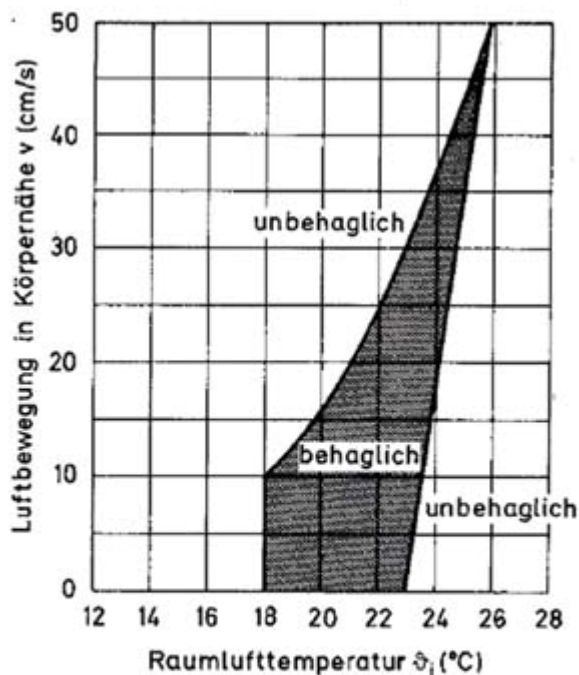
- für Aufenthaltszonen max = 29°C
- für Bäder o.ä. max = 33°C
- für Randzonen max = 35°C



#### 4.3 Raumluftfeuchte

Die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers erfolgt zu ca. 15% durch Verdunstung an der Hautoberfläche. Somit hat die Luftfeuchtigkeit einen gewissen Einfluss auf das Behaglichkeitsempfinden. Bei einer normalen Raumtemperatur von 20-22°C und insbesondere im Winter beim Heizen, spielt die Entwärmung durch Verdunstung aber nur eine untergeordnete Rolle. Einen optimalen Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit liegt zwischen 35-65%.

In der Heizperiode im Winter kann zu geringe Luftfeuchtigkeit zu Staubbildung, elektrischer Aufladung der Luft und Austrocknung der Schleimhäute führen. Das Kratzen im Hals steht meist nicht in direktem Zusammenhang mit trockener Luft, sondern ist durch Mikrostaub verursacht, der vom Heizsystem aufgewirbelt wird. Abhilfe schaffen hier großflächige Niedertemperaturheizungen, z.B. Wand- und Deckenheizungen.



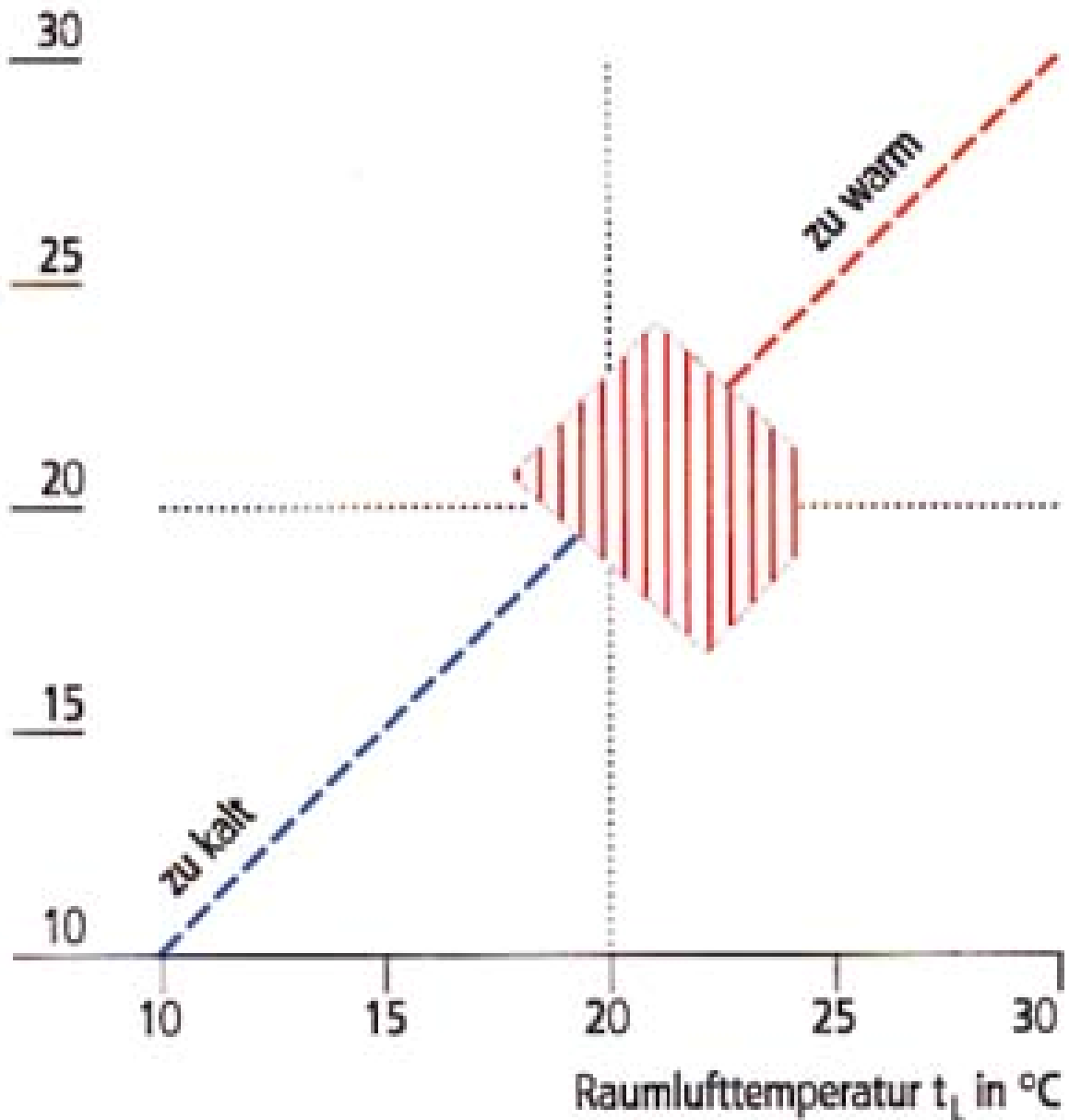
Geltungsbereich  
 mittlere Oberflächentemperatur  
 der Raumbegrenzungen  $\theta_{im}$  von 19,5 bis 23 °C  
 relative Luftfeuchte  $\varphi_1$  von 30 bis 70%  
 (nach Rietschel-Raiß)

#### 4.4 Raumluftbewegung

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. Zugluft, verursacht z.B. von undichten Fenstern oder Kaltluftabfall von Fenstern, gilt als häufigste Ursache für Wohlbefindensstörungen. Aus diesem Grund sind stärkere Luftbewegungen in bewohnten Räumen nach Möglichkeit zu vermeiden. Dichte Fenster mit gutem U-Wert in Verbindung mit kontrollierter Wohnraumlüftung schaffen hier die beste Behaglichkeit.

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 unbewegtem 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.

Mittlere Strahlungstemperatur  $t_U$   
in °C



#### 4.5 Empfundene Temperatur

Die Raumlufttemperatur ( $T_{Luft}$ ) und die mittlere Wandflächentemperatur ( $T_{Wand}$ ) haben annähernd den gleichen Einfluss auf die Entwärmung des menschlichen Körpers. Aus deren Mittelwert ergibt sich daher eine für das menschliche Behaglichkeitsempfinden maßgebliche Größe, die empfundene Temperatur  $T_E$ .

$$T_E = (T_{Luft} + T_{Wand})/2$$

Je weniger die beiden Temperaturen  $T_{\text{Luft}}$  und  $T_{\text{Wand}}$  von einander abweichen ( $\max < 3^\circ\text{C}$ ) und je mehr sie sich dem Wert von  $21\text{-}22^\circ\text{C}$  nähern, desto gleichmäßiger und damit behaglicher erfolgt die Entwärmung des menschlichen Körpers.

Asymmetrische thermische Belastung des Körpers, z.B. in der Nähe eines heißen Heizkörpers oder eines kalten Fensters bewirken Unbehagen.

Im Sommer steigern kühlere Wandtemperaturen als Lufttemperaturen das Wohlbefinden; im Winter wärmere Lufttemperaturen als Wandtemperaturen.

Was als Kälteabstrahlung (besonders bei Fenstern) als unangenehm empfunden wird, ist in Wirklichkeit die verstärkte Wärmeabgabe des Körpers.

*Abb.11 Diagramm empfundene Temperatur: Behaglichkeitsfeld nach Grandjean  
Grundlage: Luftgeschwindigkeit 0 bis 0,2 m/s, relative Luftfeuchte 30 bis 70 %*

#### 4.6 Temperaturschichtung

Unterschiedlich große und unterschiedlich warme und unterschiedlich situierte Heizflächen ergeben im Raum unterschiedliche Temperaturprofile. Die Wärmeabgabe an den Raum sollte, um den idealen Temperaturprofil möglichst nahe zu kommen, in vertikaler wie horizontaler Richtung gleichmäßig sowie zeitlich konstant sein.

Das Raumtemperaturprofil hängt natürlich noch weiter ab von der Bauphysik, also den U-Werten der Wände und Fenster sowie von der Luftbewegung im Raum. Abb.20 Diagramm Temperaturschichtung:

Temperaturschichtung im Aufenthaltsbereich des Menschen

AW: Außenwandaufstellung der Radiatoren

IW : Innenwandaufstellung der Radiatoren

#### 4.7 Zusammenfassung Behaglichkeitsdaten

Die folgenden Idealwerte beziehen sich auf leichte sitzende Tätigkeit, also Wohnung und Büro.

Raumtemperatur  $T_E = 22\text{-}24^\circ\text{C}$ ,  $\pm 2\text{K}$

Fußbodentemperatur  $T_F = 23\text{-}24^\circ\text{C}$ ,  $< 29^\circ\text{C}$

Wand-/Deckentemperatur  $T_W = T_D = T_{\text{Luft}}$ ,  $\pm 3\text{K}$

Mittlere Luftgeschwindigkeit  $v_L < 0,2\text{ m/s}$

Relative Luftfeuchtigkeit  $r_F = 35\text{-}65\%$

## 5. Hygienische Behaglichkeit

Der Begriff der hygienischen Behaglichkeit beschreibt die Luftqualität bzw. den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Behaglichkeit des Raumes.

### 5.1 Belastung in Wohn- und Arbeitsräume

In der Regel sind in gut gereinigten Wohn- und Arbeitsräumen die Einflüsse durch Staub auf das Wohlbefinden relativ gering, wobei sich lediglich bei sehr trockener Luft im Winter der Staubgehalt insofern bemerkbar macht, dass es zu Gerüchen infolge von Verschmelzung des Staubes an Heizkörpern mit hohen Temperaturen kommen kann. Diese Verschmelzung des Staubes wird als unangenehm empfunden und steigt, je staubiger oder schlecht gereinigt entsprechende Räume sind.

Deutliche Beeinträchtigungen können in Produktionsstätten auftreten, in denen Feinstaub in hohen Konzentrationen anfällt (z.B. Schleifereien, Putzereien, Zementfabriken, usw.), so dass spezielle Absauganlagen dafür sorgen müssen, den Staubgehalt so gering als möglich zu halten.

In Aufenthaltsräumen entstehen neben den Ausdünstungen der Menschen auch solche durch Möbel, Teppiche, Tapeten, Farbanstriche und Baustoffe sowie durch Verbrennungs- und Heizvorgänge, Reinigungsarbeiten, Eindringen von ungereinigter Außenluft insbesondere in Industriegebieten und verkehrsreichen Straßen.

In der Abb.22 Tabelle MAK, maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Liste), sind für eine Vielzahl luftverunreinigender Stoffe die Obergrenzen aufgezeigt, die es zu beachten gilt, um Gesundheitsgefährdungen zu

vermeiden.

Stoff	Formel	MAK	
		ppm	mg/m <sup>3</sup>
Aceton	CH <sub>3</sub> · CO · CH <sub>3</sub>	500	1.200
Arseinsäure	HCOOH	5	9
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	50	35
Arsenwasserstoff	AsH <sub>3</sub>	0,05	0,2
Asbestfeinstaub *) **)			15.000 Fasern/m <sup>3</sup>
Benzol *)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1 – 2,5	3,2 – 8
Blei	Pb		0,1
Brom	Br <sub>2</sub>	0,1	0,7
Bromwasserstoff	HBr	5	17
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1.000	2.350
Cadmiumoxid (krebserregend)	CdO		0,015 – 0,03
Calciumoxid	CaO		5
Chlor	Cl <sub>2</sub>	0,5	1,5
Chlorbenzol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> · Cl	10	46
Chlordioxid	ClO <sub>2</sub>	0,1	0,3
Chlormethan	CH <sub>3</sub> · Cl	50	105
Chloroform *) (Trichlormethan)	CHCl <sub>3</sub>	10	50
Chlorwasserstoff	HCl	5	7
Cyanwasserstoff	HCN	10	11
DDT	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> CH · CCl <sub>3</sub>		1
Dichlordifluormethan (R-12)	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1.000	5.000
Dichlormethan (krebserregend)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	100	360
Dichlorfluormethan (R-21)	CHFCl <sub>2</sub>	10	43
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluor- äthan (R-114)	CF <sub>2</sub> Cl · CF <sub>2</sub> Cl	1.000	7.000
Diethylether	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> · O · C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	400	1200
Eisenoxid (Feinstaub)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO		6
Essigsäure	CH <sub>3</sub> · COOH	10	25
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> · OH	1.000	1.900
Fluor	F <sub>2</sub>	0,1	0,2
Fluorwasserstoff	HF	3	2
Formaldehyd (krebserregend)	HCHO	0,5	0,6
Hexan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	50	180
Hydrazin *)	NH <sub>2</sub> · NH <sub>2</sub>	0,1	0,13
Jod	J <sub>2</sub>	0,1	1
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	5.000	9.000
Kohlenmonoxid	CO	30	33
Kupfer (Rauch)	Cu		0,1
Kupfer (Staub)	Cu		1
Magnesiumoxid (Rauch)	MgO		6
Methanol	CH <sub>3</sub> · OH	200	260
Naphthalin	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	10	50
Nikotin		0,07	0,5
Nitrobenzol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (NO <sub>2</sub> )	1	5
Nitroglycerin	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (ONO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	0,05	0,5
Ozon	O <sub>3</sub>	0,1	0,2
Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> · OH	5	19
Phosgen	COCl <sub>2</sub>	0,1	0,4
Phosphor (gelb)			0,1
Phosphorpentachlorid	PCl <sub>5</sub>		1
Phosphorwasserstoff	PH <sub>3</sub>	0,1	0,15
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.000	1.800
Quarz			0,15
Quecksilber	Hg	0,01	0,1
Salpetersäure	HNO <sub>3</sub>	2	5
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	2	5
Schwefelkohlenstoff	CS <sub>2</sub>	10	30
Schwefelsäure	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		1
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	10	15
Selenwasserstoff	H <sub>2</sub> Se	0,05	0,2
Stickstoffdioxid	NO <sub>2</sub>	5	9
Styrol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> · CH = CH <sub>2</sub>	20	85
Terpentinöl		100	560
Tetrachlorkohlenstoff	CCl <sub>4</sub>	10	65
Toluol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> · CH <sub>3</sub>	50	190
Trichlorfluormethan (R-11)	CFCl <sub>3</sub>	1.000	5.600
Vanadium (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Staub)			0,05
Wasserstoffperoxid	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	1,4
Zinkoxid (Rauch)	ZnO		5

MAK-Werte 1997  
(Maximale Arbeitsplatz-  
Konzentration gesundheits-  
schädlicher Stoffe, Auswahl)  
(nach TRG S900 1997)

\*) krebserregend, besondere  
Maßnahmen notwendig, damit  
Exposition so gering wie möglich  
wird.

\*\*) nach TRG S519

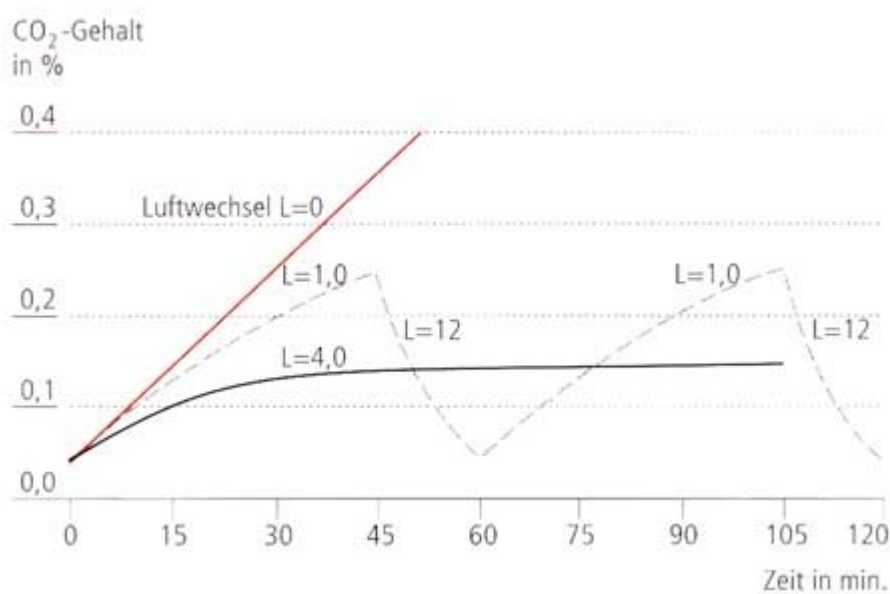
Umrechnung für 1 ppm  
(parts per million):

$$1 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \triangleq \frac{\text{Molare Masse}}{\text{Molvolumen}} \text{ mg}/\text{m}^3$$



## 5.2 Tabakrauch

Der Tabakrauch in einem Bürobereich ist auch kein zu unterschätzender Faktor, wobei seine tatsächliche Belastung sehr stark von der Konzentration des Tabakrauches abhängt. Nach statistischen Erhebungen werden im Bürobereich durchschnittlich 1,5 Zigaretten pro Stunde geraucht, wobei die durchschnittliche Raucherzahl 40% beträgt. Hieraus lässt sich ableiten, dass zur Vermeidung von Reizwirkungen 100 m<sup>3</sup> Außenluft pro gerauchter Zigarette notwendig wird, um eine Beeinträchtigung zu vermeiden. Aus diesem Grunde wird empfohlen, bei gemischt genutzten Räumen min. 55-60 m<sup>3</sup>/h und in großräumigen Flächen min. 75 m<sup>3</sup>/h pro Person Außenluft zuzuführen.



## Kohlensäuremaßstab

Der Kohlensäuremaßstab (nach Pettenkofer) gibt die Zunahme an ausgeatmetem CO<sub>2</sub> an und wäre an sich ohne wesentliche Bedeutung, wenn nicht der Kohlensäuregehalt ein Maß für die Verschlechterung der Raumluft durch Geruchsstoffe und Ausdünstungen bildete, wovon hier insbesondere kleine und stark besetzte Räume betroffen sind.

Steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt über 0,1 % an, so spricht man bereits von schlechter Luft (0,1 % = 1.000 ppm). Schädliche Auswirkungen des CO<sub>2</sub> bei Gehalten von mehr als 0,25 % auf. Bei stark besetzten und schlecht gelüfteten Räumen kann, wie Abb.23 Diagramm CO<sub>2</sub> zeigt, dieser CO<sub>2</sub>-Gehalt bereits nach relativ kurzer Zeit eintreten und es ist eine Durchlüftung mit möglichst hohem Luftwechsel durchzuführen. Bei vierfachen Dauerluftwechsel pendelt sich der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei 0,14 % ein, was subjektiv zwar als Luftverschlechterung empfunden wird, objektiv noch zu keiner echten Beeinträchtigung führt.

## 6. Akustische Behaglichkeit

Akustische Behaglichkeit lässt sich nur schwer erfassen, wo hin gegen sich die akustische Unbehaglichkeit in einigen Fällen ziemlich genau definieren lässt. Als akustisch unbehaglich empfinden wir jede Art von Lärm, wie beispielsweise tief fliegende Flugzeuge. Aber jeder Mensch hat eine andere Wahrnehmung von Lärm, die besten Beispiele sind Popveranstaltungen, für den einen ist es Lärm und für den Konzertbesucher ist es unter Umständen akustisch behaglich. Aber auch schalltote bzw. total reflektierende Räume empfinden wir meist als akustisch unbehaglich. In der Regel finden wir uns in Räumen, die weder das eine noch das andere Extrem darstellen.

Raumart	Schalldruckpegel dB (A)	Nachhallzeit s
Wohn-/Schlafräume	35/30	0,5
Krankenhaus: Bettenzimmer, tags/nachts	35/30	1
Untersuchungsräume, Hallen, Korridore	40	2
OP-Räume	40	3
Auditorien: Rundfunkstudio/Fernsehstudio	15/25	1/1,5
Theater/Opernhaus	30/25	1/1,5
Konzertsaal	25	2
Kino, Hörsaal, Lesesaal	35	1
Kirche	35	3
Büros: Besprechungsraum	35	1
Kleiner Büroraum	40	0,5
Großraumbüro	45	0,5
Gaststätten	40 – 55	1
Museen	40	1,5
Lesesaal/Klassenraum	35/40	1
Turnhallen/Schwimmbäder	45/50	1,5/2

### 6.1 Schalldruckpegel

Tritt Schall in einem Frequenzbereich von 16 Hz bis 16 kHz auf, so sprechen wir von Hörschall, den Bereich des menschlichen Hörens. Für einzelne Räume, je nach Nutzung, werden üblicherweise Schalldruckpegel von 25 dB(A) bis etwa 65 dB(A) angegeben. Konzertsäle, Studios usw. erfordern einen sehr niedrigen Schalldruckpegel von 25 dB(A). Räume für sitzende Tätigkeiten z.B. Büros, sollten einen Schalldruckpegel von 35 dB(A) besitzen. Industriehallen können den Wert von 65 dB(A) weit überschreiten, hierfür können bei Dauerbelastungen zusätzliche Schutzmaßnahmen, wie Kopfhörer, notwendig sein. Auch geringere aber dauerhafte Geräusche werden zumeist als akustisch unbehaglich empfunden. Akustikexperten warnen, gerade im Bereich des Straßenverkehrs hat sich die Lärmbelastung alle zehn Jahre verdoppelt. Diese dauerhaften Lärmbelastungen können auf Dauer zu Krankheitsbildern, wie erhöhter Stress, Schlafstörungen usw. führen.

*Die Abb. 15 Tabelle Schall zeigt Richtwerte für den Schalldruckpegel und die Nachhallzeit in Räumen.*

## Quellenverzeichnis

### Literatur

- [1] "Gebäudetechnik"; Klaus Daniels; 3.Aufl.; VDF-Verlag
- [2] "Gebäudetechnik"; Klaus Daniels; VDF-Verlag
- [3] "Ökologische Gebäudeausrüstung"; Peter Schütz; Springer Verlag
- [4] "Handbuch der Gebäudekunde"; Pistoht; 2. Aufl.; Werner Verlag; 1998

### Abbildungen

- [Abb.01] [4], H 10
- [Abb.02] [4], H 11
- [Abb.03] [4], H 11
- [Abb.04] "Bauentwurfslehre"; Neufert; 37. Aufl.; S. 34
- [Abb.05] [3], S. 11
- [Abb.06] [1], S. 25
- [Abb.07] [1], S. 25
- [Abb.08] [c]
- [Abb.09] "Bauentwurfslehre"; Neufert; 37. Aufl.; S. 34
- [Abb.10] [d]
- [Abb.11] [e]
- [Abb.12] [3], S. 12
- [Abb.13] [c]
- [Abb.14] [c]
- [Abb.15] [c]
- [Abb.16] [1], S. 28
- [Abb.17] [c]
- [Abb.18] [a]
- [Abb.20] [3], S. 13
- [Abb.21] [a]
- [Abb.23] [1], S. 31
- [Abb.24] [1], S. 32

### Internet

- [a] [www.bund-bauen-energie.de/behagl.htm](http://www.bund-bauen-energie.de/behagl.htm)
- [b] [www.biomeess.de/biomeess-Site/behaglichkeit.htm](http://www.biomeess.de/biomeess-Site/behaglichkeit.htm)
- [c] [www.fh-oow.de/fba/manuskripte/u\\_mayer/hkl/kapitel2.pdf](http://www.fh-oow.de/fba/manuskripte/u_mayer/hkl/kapitel2.pdf)
- [d] [www.zeugin.ch/vortrag%202001%20Folien.pdf](http://www.zeugin.ch/vortrag%202001%20Folien.pdf)
- [e] [www.ifib.uni-karlsruhe.de/download/nachhalt/06\\_behaglichkeit\\_ws0304.pdf](http://www.ifib.uni-karlsruhe.de/download/nachhalt/06_behaglichkeit_ws0304.pdf)