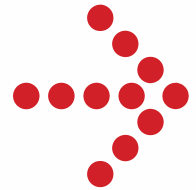
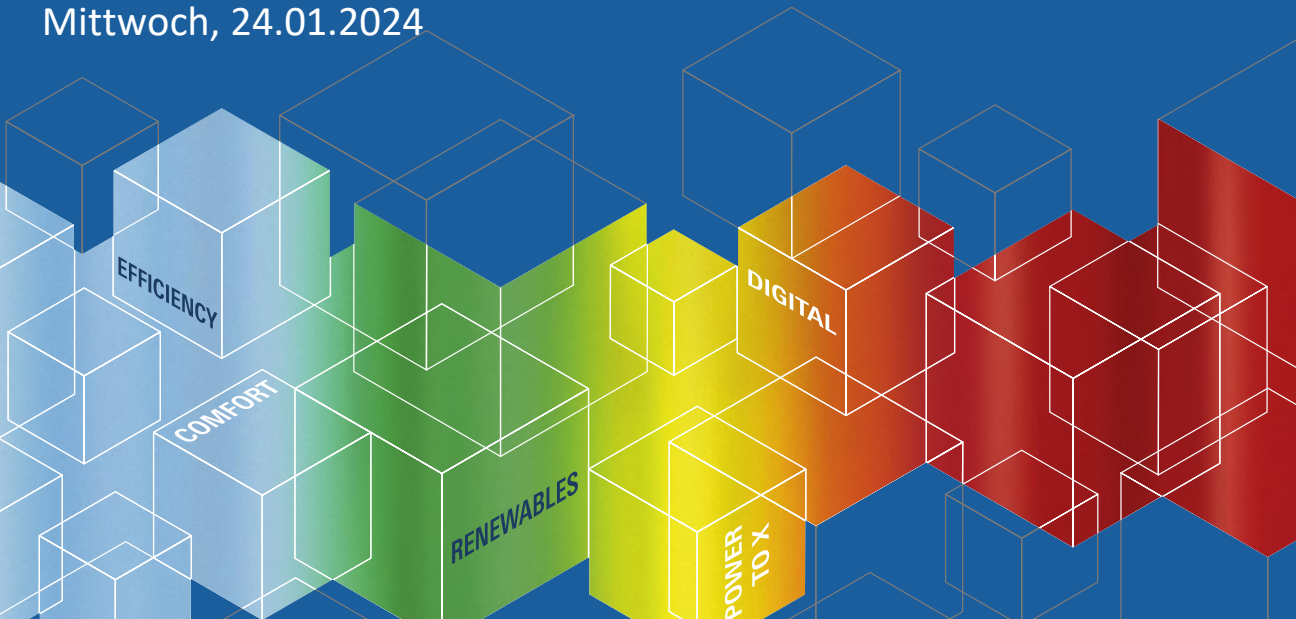


Thermische / Hygienische Behaglichkeit als Grundlage für die Auslegung von modernen gebäudetechnischen Systemen

Frank Hartmann (BDH) im Dialog mit Prof. Dr.-Ing. habil. J. Seifert (TU Dresden)

Mittwoch, 24.01.2024



BDH
Bundesverband der
Deutschen Heizungsindustrie

Der Fachbereich Flächenheizung/-kühlung im BDH

The image displays three screenshots of the BDH website's 'Flächenheizung und Flächenkühlung' section. The first screenshot shows the main navigation menu with options like 'Neubau', 'Altbau', 'Systemkomponenten', 'Veranstaltungen', 'Publikationen', and 'Service'. Below the navigation is a large banner with the title 'FLÄCHENHEIZUNG UND FLÄCHENKÜHLUNG' and the subtitle 'Informationen zu Neubau/Altbau'. The banner includes icons for 'Energieeffizienz', 'Pragmatisch und sicher', and 'Vielzijdig und duurzaam'. Below the banner are three main content blocks: 'Altbau/Modernisierung' (Energie sparen und Komfort steigern in bestehenden Gebäuden), 'Neubau' (Vorteile bei Betriebskosten und Umwelt), and 'Heizen / Kühlen' (Doppelnutzen mit einem System). The second screenshot shows a 'Projektierungsleitfaden zur Modernisierung der Wärmeübergabe' (Projecting guide for modernization of heat transfer). It contains an introductory paragraph, a section titled 'Wärmewende in drei Schritten' (Heat transition in three steps), and a small image of a house. The third screenshot shows a search page with the text 'SUCHE' and 'Etwas nicht gefunden?' (Nothing found?). It includes a search input field and a 'Suchen' button.

Die Mitgliedsunternehmen des Fachbereichs finden Sie auf unserer Website <https://www.flaechenheizung-bdh.de/system/hersteller-flaechenheizung-und-flaechenkuehlung-deutschland> und am Ende dieser Präsentation.

<https://www.flaechenheizung-bdh.de/>

Thermische / Hygienische Behaglichkeit

Einleitung

Themenblock 1 – Grundlagen zur Wärmebilanz des Menschen

Themenblock 2 – Kriterien zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit

Themenblock 3 – Hygienische Behaglichkeit

Wärmeübergabe für Thermische Behaglichkeit und Komfort

1. Einleitung

Die Thermische Behaglichkeit stellt sich nicht von selbst ein. Sie lässt sich erreichen, wenn geeignete bau- und anlagentechnische Lösungen unter Beachtung der Nutzungs- und Randbedingungen (z.B. zusätzliche innere Lasten durch Geräte oder Kunstlicht sowie Bekleidung im Büro) mit dem Ziel eines hohen thermischen Komforts realisiert werden. Dabei sollten lufthygienisch oder bauphysikalisch bedenklichen Verhältnissen vermieden sowie der Energieverbrauch minimiert werden. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise zur Einhaltung der Thermischen Behaglichkeit ist eine wichtige Voraussetzung für kostengünstiges Bauen bzw. Modernisieren, optimierte Energieeinsparung und den uneingeschränkten Komfort für die Nutzer in Aufenthaltsräumen von Wohnungen, Büros usw.

Die Thermische Behaglichkeit hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Unter anderem spielen die Kleidung, die Tätigkeit und die körperliche Verfassung sowie die Luftfeuchtigkeit der Räume eine entscheidende Rolle. Unterschiedliche Temperaturen, die den Körper stark belasten, werden als unangenehm empfunden. Thermische Behaglichkeit und ein Wohlfühlklima im Raum werden erreicht, wenn der menschliche Körper im Sommer weder ins Schwitzen noch im Winter ins Frieren gerät. Man spricht in der Fachwelt von „geringsten thermoregulatorischen Aufwendungen“ des menschlichen Körpers.

Die meisten Menschen fühlen sich im Winter bei einer operativen Raumtemperatur von 21 bis 22 °C wohl und im Sommer bei einer operativen Raumtemperatur von 23 bis 27 °C (siehe Abbildung 1). Ein Raum wird vom Menschen als behaglich empfunden, wenn die Differenz zwischen Wandoberflächentemperatur und Raumluft weniger als 4 K, die Differenz zwischen Fuß- und Kopfhöhe weniger als 3 K und die Temperaturen verschiedener Raumflächen (in Anlehnung an die Grenzwerte zur zulässigen Strahlungssymmetrie) weniger als 5 K beträgt.

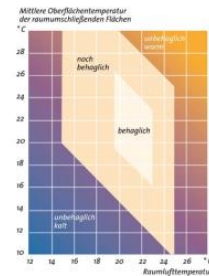


Abb. 1: „Raumklima und thermische Behaglichkeit“, Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, Berlin 1975

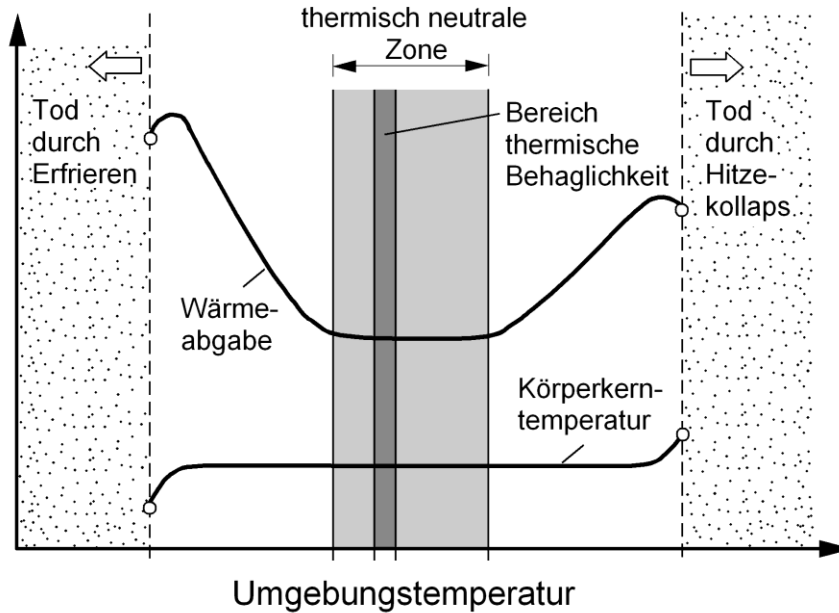
1 Unter der operativen Raumtemperatur wird vereinfacht der Mittelwert zwischen Strahlungstemperatur der raumumschließenden Flächen und Lufttemperatur im Raum verstanden. Die operative Raumtemperatur ist eine Indikatorengröße für die Thermische Behaglichkeit.

Im Dialog (1)

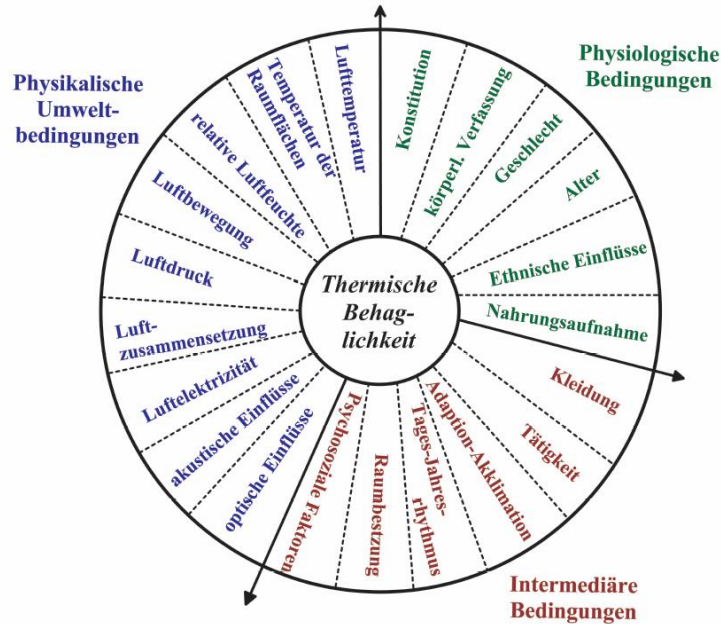


Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Warum heizt bzw. kühlt man Gebäude?

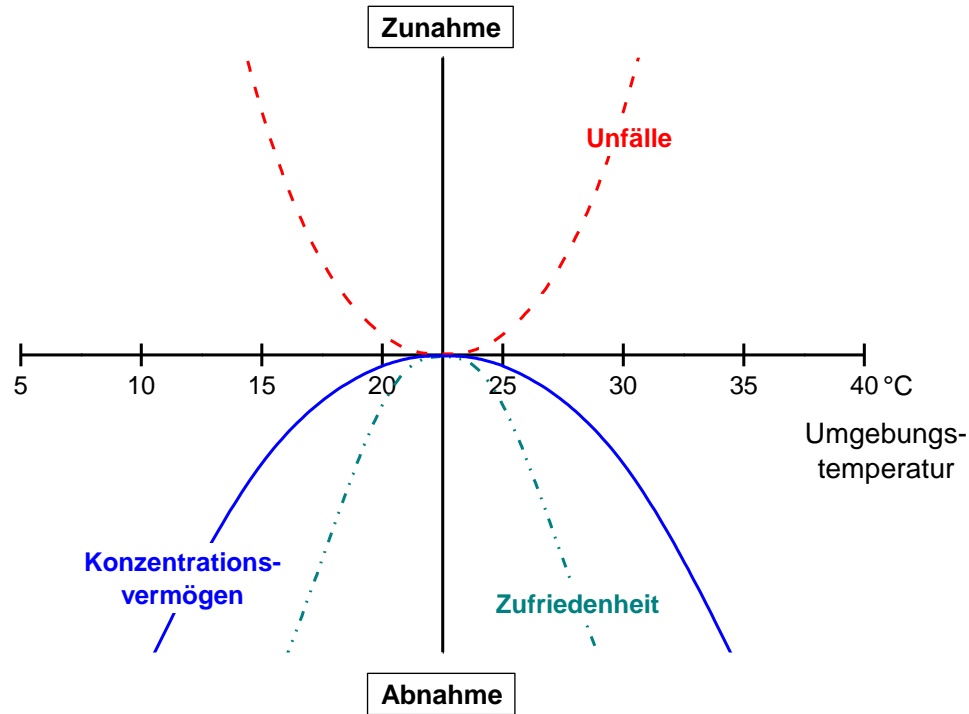


Thermische/Hygienische Behaglichkeit



Thermische Behaglichkeit in Abhängigkeit von physiologischen, intermediären und physikalischen Einflüssen

Thermische/Hygienische Behaglichkeit



(Umstrittener) Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur des Menschen und seiner Leistungsfähigkeit – schematische Darstellung

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit:

Definition:

Ist als der Zustand definiert, bei dem der Körper die geringsten thermoregulatorischen Aufwendungen vornehmen muss, um eine konstante Körperkerntemperatur aufrecht zu erhalten.

lebensnotwendige Wärmeabgabe muss unspürbar und anstrengungslos erfolgen

Randbedingungen:

1. physikalische Umweltbedingungen (Lufttemperatur, Temperaturen der Umschließungsflächen, relative Feuchte, Luftdruck sowie Luftbewegung)
2. physiologische Bedingungen (Alter, Geschlecht, körperliche Verfassung, Tätigkeit)
3. intermediäre Bedingungen (Kleidung, psychosoziale Faktoren)

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Thermoregulation des Menschen

- Menschen sind homöotherme Lebewesen mit konstanter Körperkerntemperatur
- $\vartheta_K = 36,7 \dots 37,2 \text{ } ^\circ \text{C}$

Thermoregulatorische Funktionen des Menschen

Physikalische Wärmeregulation	Chemische Wärmeregulation
Aktive Körperbewegung (Handreiben / Laufen)	Stoffwechselbeeinflussung
Körperhaltung (Muskelzittern / Gänsehaut)	
Veränderungen des Atemvolumenstromes	

- sehr komplexe regelungstechnische Zusammenhänge

$$\dot{Q}_B = P_{M,eff} + \dot{Q}_M$$

\dot{Q}_B – Bruttoenergieumsatz in W

$P_{M,eff}$ – Arbeitsleistung in W

\dot{Q}_M – Gesamtwärmeabgabe in W (Konvektion und Strahlung)

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Wirkungsgrad der menschlichen Arbeitsleistung

$$\dot{Q}_B = \underbrace{\eta_M \cdot \dot{Q}_B}_{P_{M,eff}} + \underbrace{(1-\eta_M) \cdot \dot{Q}_B}_{\text{Verlustglied}} \quad \dot{Q}_M$$



Mit Bezug auf die Oberfläche des nackten Menschen

$$\frac{\dot{Q}_M}{A_{M,n}} = \dot{q}_M = (1-\eta_M) \cdot \dot{q}_B$$

Wärmeabgabe eines erwachsenen Menschen bei unterschiedlichen Tätigkeiten

Belastung	Tätigkeit	Wärmeabgabe des Menschen W/m ²
Ruhe	Schlafen	40
	Sitzen (entspannt)	58
Gehen	In der Ebene (4,8 km/h)	150

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Wärmeabgabe des Menschen

Wärmetransport durch die Kleidung

$$\dot{q}_{KL} = \left(\frac{\lambda}{\delta} \right)_{KL} \cdot (\vartheta_H - \vartheta_M) = \dot{q}_{tr}$$

↓
Hauttemperatur

↓
Oberflächentemperatur
der Kleidung

$$R_{KL,Anzug} = \left(\frac{\lambda}{\delta} \right)_{KL,Anzug} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

normaler Büroanzug

$$R'_{KL} = \frac{R_{KL}}{0,155}$$

Kleidungs-widerstand für unterschiedliche Bekleidungsarten

Bekleidungsart	R'_{KL} in clo	R_{KL} in (m²K/W)
nackt	0	0
Shorts, T-Shirt	0,30	0,047
leichte Arbeitskleidung	0,55	0,085
normaler Büroanzug	1,0	0,155
leichte Reisekleidung	1,5	0,233
Polarkleidung	3,5	0,543

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Berechnung der Wärmeabgabe des Menschen (Fanger Gleichung)

$$\dot{q}_M = \underbrace{\dot{q}_D + \dot{q}_V + \dot{q}_A}_{\dot{q}_{M,f}} + \underbrace{\dot{q}_K + \dot{q}_S}_{\dot{q}_{M,tr}}$$

\dot{q}_M - spezifische Gesamtwärmeentwicklung des Menschen

\dot{q}_A - spezifischer Wärmestrom durch Atmung

\dot{q}_D - spezifischer Wärmestrom durch unspürbare Verdunstung

\dot{q}_V - spezifischer Wärmestrom durch spürbare Verdunstung

\dot{q}_K - spezifischer Wärmestrom infolge Konvektion

\dot{q}_S - spezifischer Wärmestrom infolge Strahlung

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

1. Diffusion

$$\dot{q}_D = \frac{\dot{Q}_D}{A_{M,n}} = r \cdot D_H \cdot (p_{S,H} - p_{D,L}) \quad \dot{q}_D = \frac{\dot{Q}_D}{A_{M,n}} = 3,07 \cdot 10^{-3} \cdot (256 \cdot \vartheta_H - 3373 - p_{D,L})$$

\downarrow Diffusionskonstante der Haut
 \downarrow spezifische Verdampfungsenthalpie
 \downarrow Wasserdampfteildruck der Luft
 \downarrow Wasserdampf-sättigungsdruck bei Hauttemperatur

2. Verdunstung

$$\dot{q}_V = \frac{\dot{Q}_V}{A_{M,n}} = 0,42 \cdot (\underbrace{\dot{q}_B \cdot (1 - \eta_M)}_{\dot{q}_M} - 58)$$

bei $\eta_M=0$

$$\dot{q}_V = 0,42 \cdot (\dot{q}_B - 24,36)$$

Die genannte Gleichung zur Bestimmung des Verdunstungswärmestromes gilt nur für den Zustand der thermischen Behaglichkeit.

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

3. Atmung

$$\dot{q}_A = \frac{\dot{m}_A}{A_{M,n}} = \left[\underset{\substack{\downarrow \\ \text{Atemluft}}}{h_A} - \underset{\substack{\downarrow \\ \text{Umgebung}}}{h_{L,M}} \right] \quad \dot{q}_A = \dot{q}_B \cdot (0,1486 - 1,1029 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta_{L,M} - 1,7744 \cdot 10^{-5} \cdot p_{D,L})$$

mit dem spezifischen Atemluftmassstrom folgt

$$\frac{\dot{m}_A}{A_{M,n}} = 1,433 \cdot 10^{-6} \cdot \dot{q}_B$$

4. Konvektion

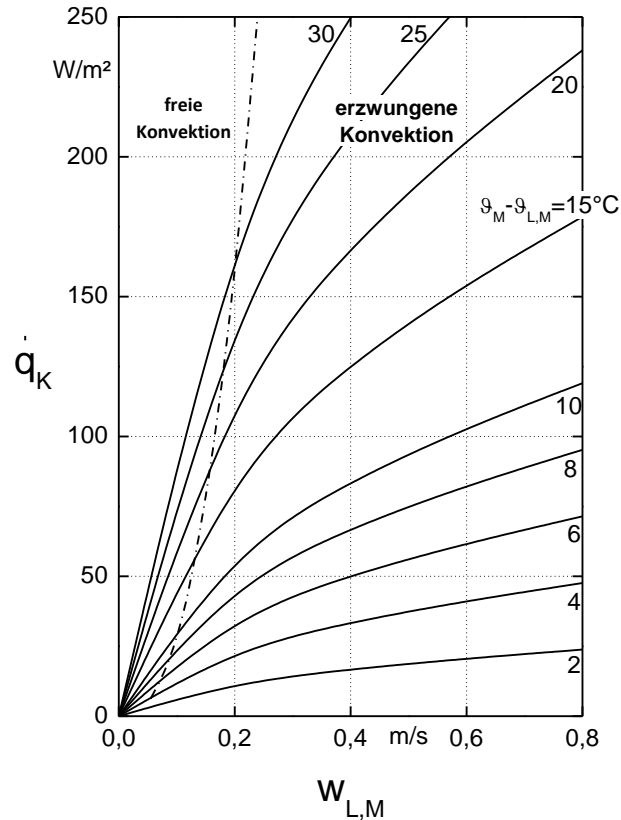
$$\dot{Q}_K = \alpha_K \cdot A_M \cdot (\vartheta_M - \vartheta_{L,M})$$

mit $f_{KL} = \frac{A_M}{A_{M,n}}$ als Bekleidungsfaktor folgt

$$\dot{q}_K = \frac{\dot{Q}_K}{A_{M,n}} = \alpha_K \cdot f_{KL} \cdot (\vartheta_M - \vartheta_{L,M})$$

$$\dot{Q}_K = \alpha_K \cdot f_{KL} \cdot A_{M,n} \cdot (\vartheta_M - \vartheta_{L,M})$$

Thermische/Hygienische Behaglichkeit



Spezifische konvektive Wärmeabgabe des bekleideten Menschen ($f_{KL}=1,1$)

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

5. Strahlung

$$\dot{q}_S = \frac{\dot{Q}_S}{A_{M,n}} = 3,97 \cdot 10^{-8} \cdot f_{KL} \cdot \left[T_{KL}^4 - \bar{T}_{U,n}^4 \right]$$

↓ ↓
absolute Temperatur der Bekleidung absolute Temperatur der Umgebung

Anteil der (behaglichen) Wärmeabgabe bei unterschiedlichen Aktivitäten

Aktivität	Atmung in %	Diffusion in %	Verdunstung in %	Konvektion in %	Strahlung in %
Sitzend	10	20	0	32	38
Leichte Arbeit	11	13	18	29	29

Besonders wichtige Kenngrößen für die thermische Behaglichkeit

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Stationäre Behaglichkeitskriterien (Fanger Gleichung)

- PMV – Predicted Mean Vote
(predictable average climate assessment)
 - PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied
- } **globale Kriterien**

PMV-Index (Predicted Mean Vote)

$$PMV = (e^{-0,036\dot{q}_M} + 0,0275) \cdot (\dot{q}_M - \sum \dot{q}_{ab,b})$$

Maßstab für die Einteilung des PMV –Wertes

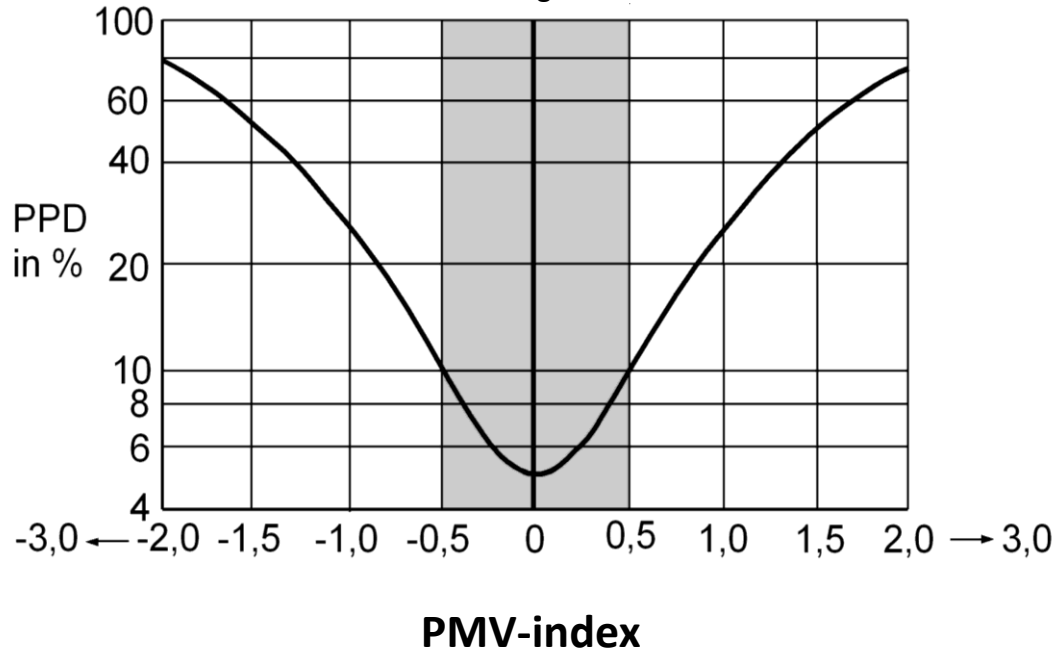
PMV-index	-3	-2	-1	0	1	2	3
sensation	cold	cool	moderately cool	neutral	moderately warm	warm	hot

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

PPD-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied)

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353PMV^4 - 0,2179PMV^2)}$$

permissible
range



Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Lokale thermische Behaglichkeitskriterien

- Raumlufttemperaturgradient $\Delta\vartheta_{L,1,1 \dots 0,1}$
- Strahlungsasymmetrie $\Delta\vartheta_s$
- Zugluftrisiko DR
- maximale Oberflächentemperatur $\Delta\vartheta_{OF}$ (\rightarrow FBH)

**lokale
Kriterien**



Um thermischen Komfort zu gewährleisten, müssen lokale und globale Behaglichkeitskriterien gleichermaßen erfüllt sein

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Lokale thermische Behaglichkeitskriterien

1. Zugluftrisiko

Ziel: Begrenzung von Wärmestromdichten

$$DR = (\mathcal{G}_M^* - \mathcal{G}_L) \cdot (w_L - 0,05)^{0,6223} (3,14 + 0,37 \cdot w_L \cdot Tu)$$

↓

↓

mittlere Luftgeschwindigkeit

mittlere Lufttemperatur für die Umgebung

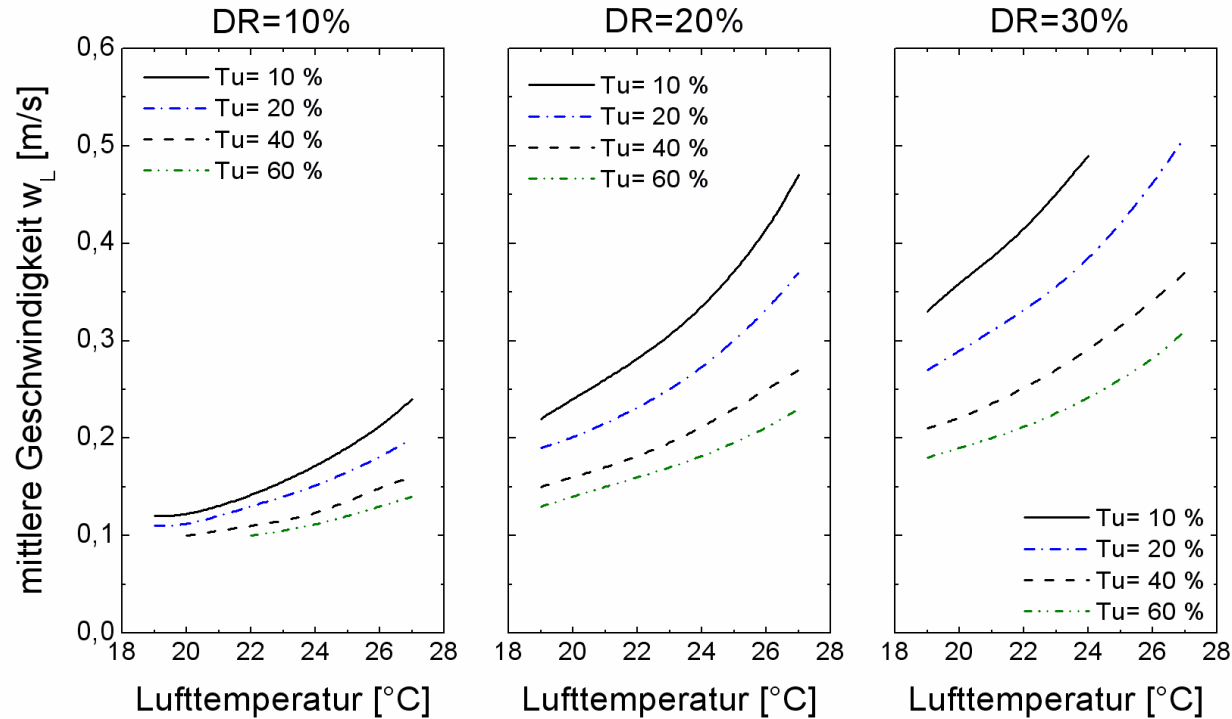
Oberflächentemperatur für empfindliche Körperteile

$$Tu = \frac{1}{U_\infty} \cdot \sqrt{\frac{1}{3} - (u^2 + v^2 + w^2)} \quad \longrightarrow \quad \text{Turbulenzgrad}$$

In der Praxis ist der Turbulenzgrad nur sehr schwer zu messen, daher Übergang zu vereinfachten Kenngrößen der thermischen Behaglichkeit

z.B. operative Raumtemperatur

Thermische/Hygienische Behaglichkeit



Zugluftisiko in Abhängigkeit der Lufttemperatur und der mittleren Luftgeschwindigkeit

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

2. Strahlungsasymmetrie Ziel: Begrenzung von Wärmestromdichten

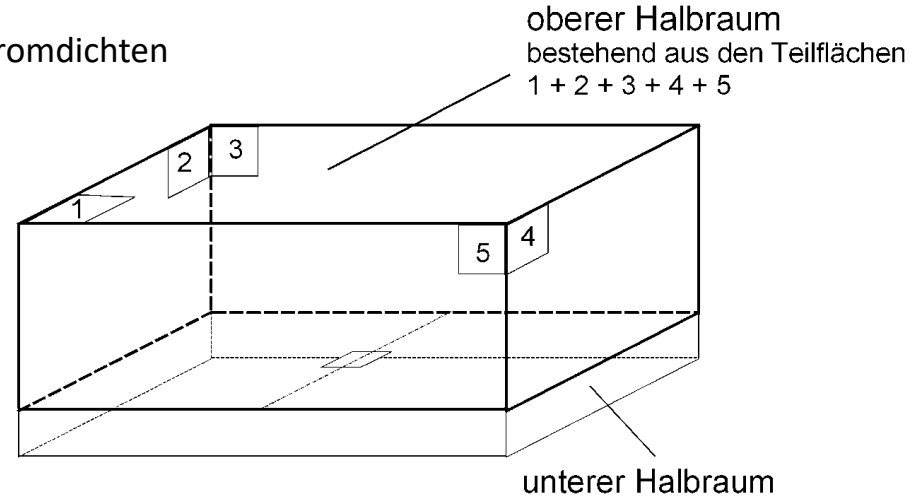
$$\vartheta_{S,i} = \left[\sum_j \varphi_{i,j} (\vartheta_j + 273,15)^4 \right]^{0,25} - 273,15$$

$$\Delta\vartheta_S = [\vartheta_{S,i}]_{\max} - [\vartheta_{S,i}]_{\min}$$

$$PD = \frac{100}{1 + e^{x-y \cdot \Delta\vartheta_S}} - z$$

Parameter zur Ermittlung des Prozentsatzes von **Unzufriedenen** infolge von Strahlungsasymmetrie

	x	y	z	$\Delta\vartheta_S$ in K
warme Decke	2,84	0,174	5,5	23
kalte Wand	6,61	0,345	0	15
kalte Decke	9,93	0,50	0	15
warme Wand	3,72	0,052	3,5	35



Thermische/Hygienische Behaglichkeit

3. Vertikaler Lufttemperaturgradient

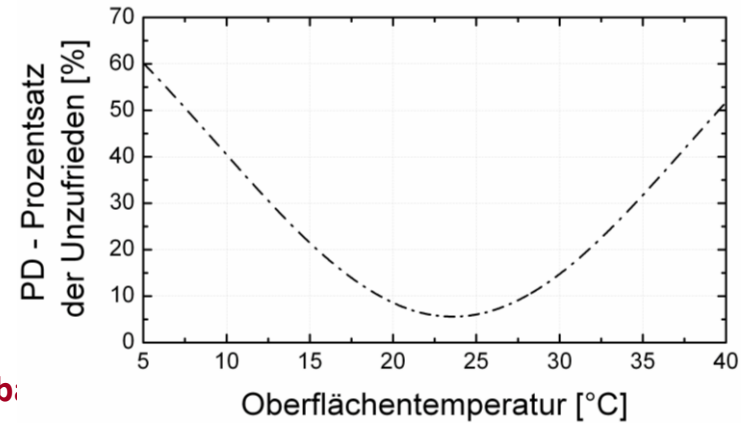
Ziel: Vermeidung von zu großen Wärmestromdichten zwischen Kopf/Fußgelenken (1,1m und 0,1m über Fußboden)

$$PD = \frac{100}{1 + e^{5,76 - 0,856 \Delta \vartheta_{L1,1-0,1m}}}$$

4. Fußbodenoberflächentemperaturen

Ziel: Vermeidung von zu großen Wärmestromdichten am Fuß
(Wärmeabgabe der Füße anstrengungslos und unspürbar)

$$PD = 100 - 94 \cdot e^{(-1,387 + 0,118 \vartheta_{OF} - 0,0025 \vartheta_{OF}^2)}$$



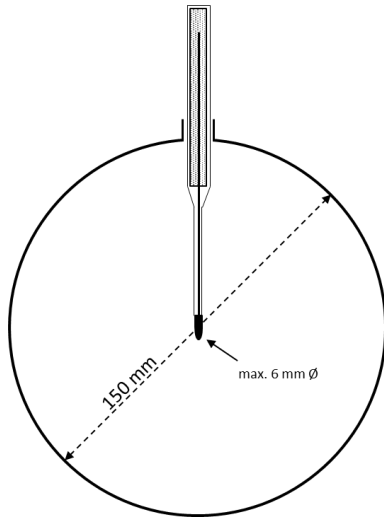
Prozentsatz der Unzufriedenen als Funktion der Oberflächentemperatur des Fußbodens

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Anwendung der theoretischen Beziehungen in der Praxis?

Vereinfachtes Verfahren: operative Raumtemperatur (Empfindungstemperatur)

$$\vartheta_{op} = a \cdot \vartheta_L + (1 - a) \cdot \vartheta_S$$



Globe-Thermometer für die Bestimmung der operativen Raumtemperatur

Beispiel:

→ HK: $a=0,5$; $\vartheta_L=23^\circ \text{ C}$; $\vartheta_S=19^\circ \text{ C}$ --- $\vartheta_{op}=21^\circ \text{ C}$

→ FBH: $a=0,5$; $\vartheta_L=20^\circ \text{ C}$; $\vartheta_S=24^\circ \text{ C}$ --- $\vartheta_{op}=22^\circ \text{ C}$

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

- unzureichende Aussage in der EN 16798-1 / DIN ISO 7730 zur gleichzeitigen Wirkung aller Behaglichkeitskriterien
- daher Definition einer „Summativen Thermischen Behaglichkeit“ bei Annahme des jeweils ungünstigsten (konservativen) Wertes

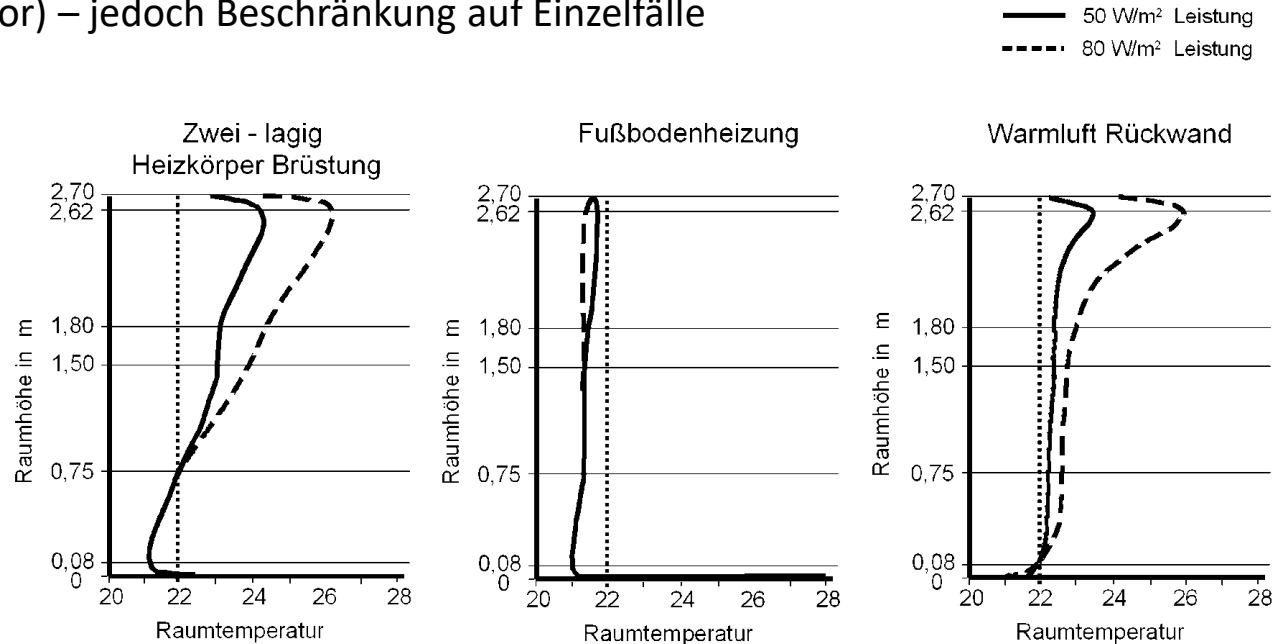
„Summative thermische Behaglichkeit“ als Kombination verschiedener Größen

Kriterium	Kategorie		Kombination	Kategorie
PMV / PPD	A		Summative thermische Behaglichkeit	C
max. Strahlungsasymmetrie	B			
max. Lufttemperaturgradient	A			
Zugluftrisiko	C			

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Messtechnische Untersuchungen

(Labor) – jedoch Beschränkung auf Einzelfälle



Vertikale Lufttemperaturunterschiede bei verschiedenen Heizsystemen

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

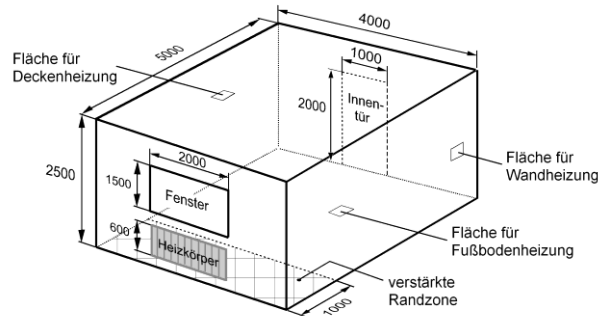
Numerische Untersuchungen:

- Problem der fehlenden Software
- jedoch Chance
 - Betrachtung des gesamten Raumes / Systembetrachtung
 - Vielzahl von Parametern

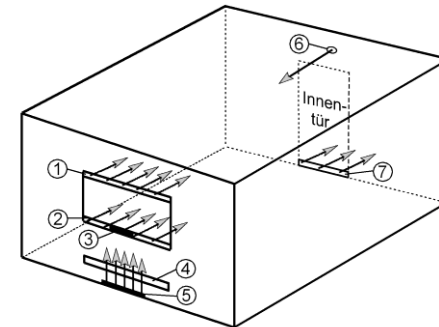


Einzigste Möglichkeit zur Schaffung praxisgerechter Unterlagen

Raummodell (Heizbetrieb)



Komponenten zur Raumheizung

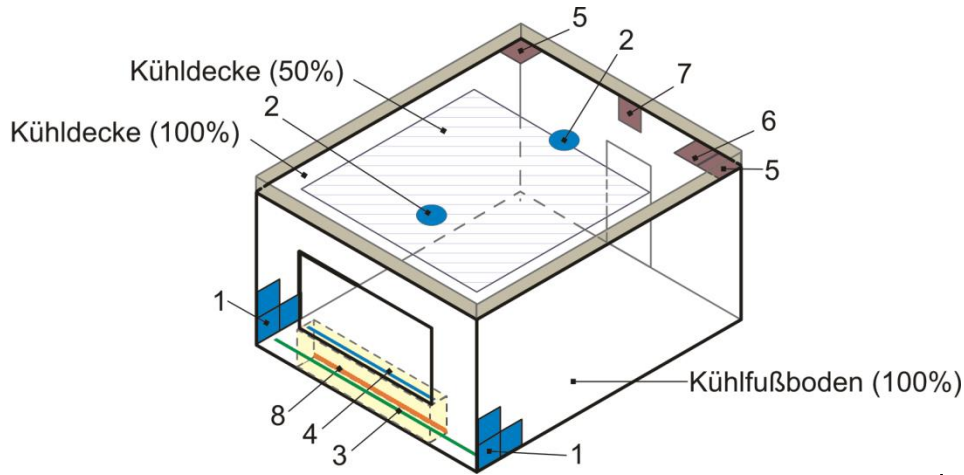


Quelle: Richter2007

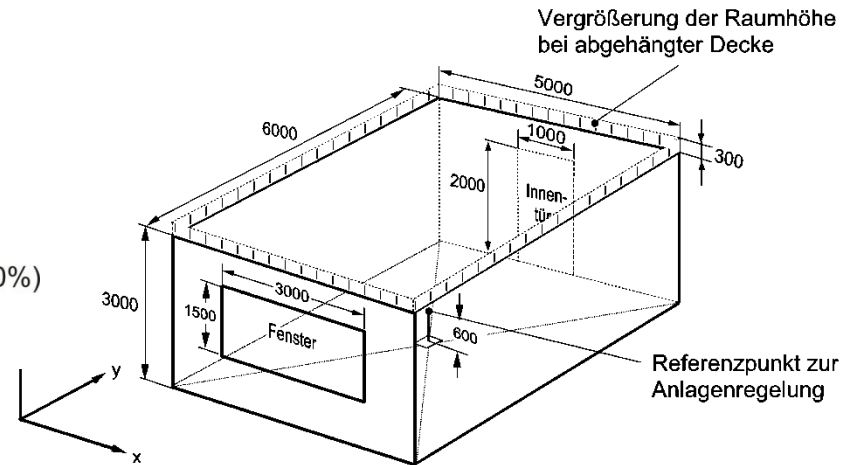
Komponenten zur Raumlüftung

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Raummodell (Kühlbetrieb)



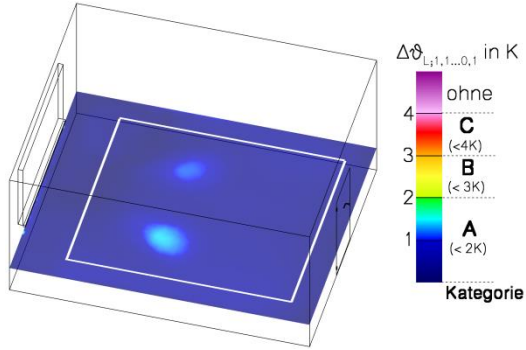
Komponenten zur Raumkühlung



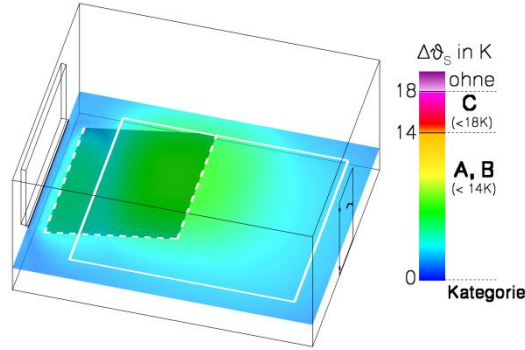
Referenzpunkt zur Anlagenregelung

Quelle: Richter2007

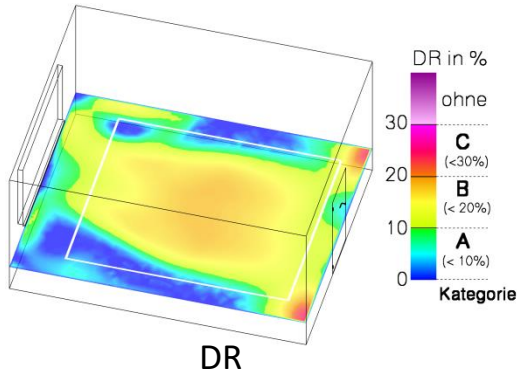
Thermische/Hygienische Behaglichkeit



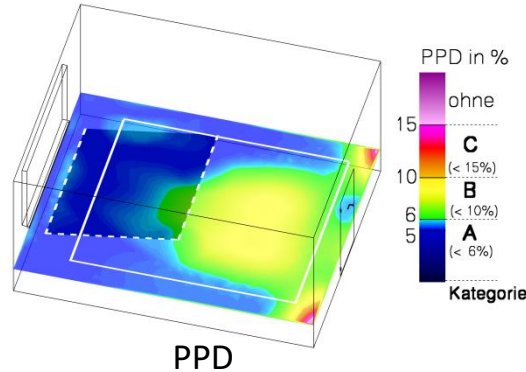
Lufttemperaturgradient



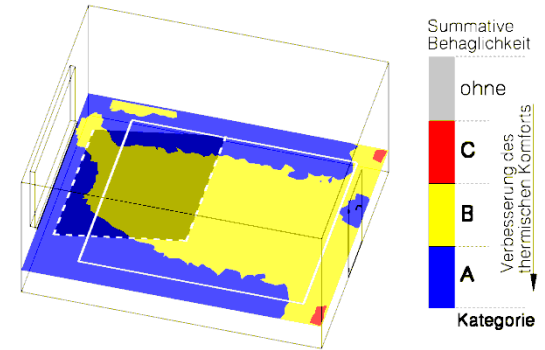
Strahlungsasymetrie



DR



PPD



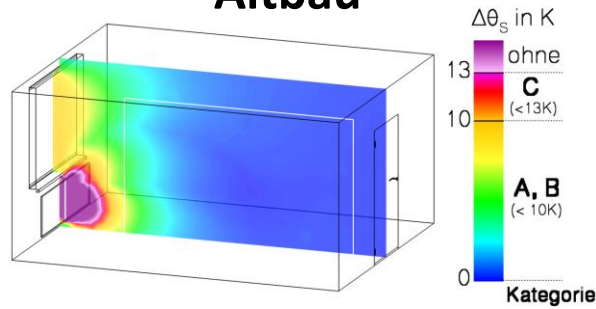
Summative thermische Behaglichkeit

Quelle: Richter2003

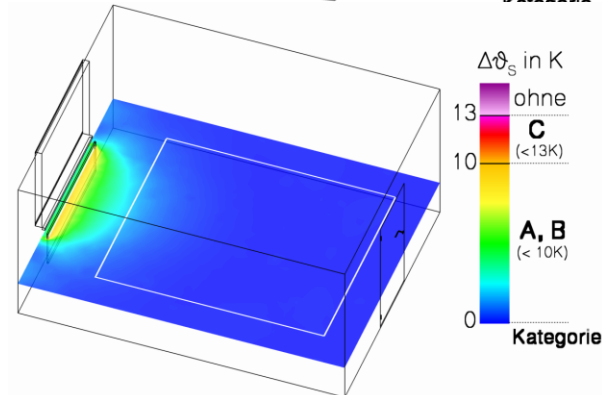
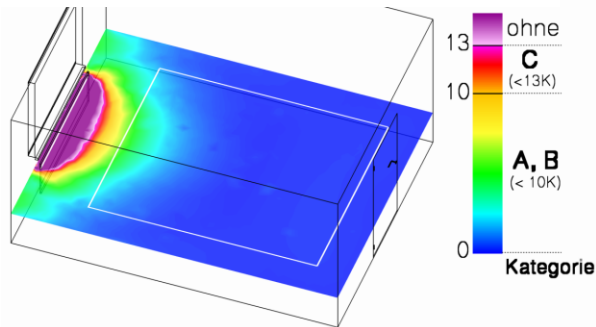
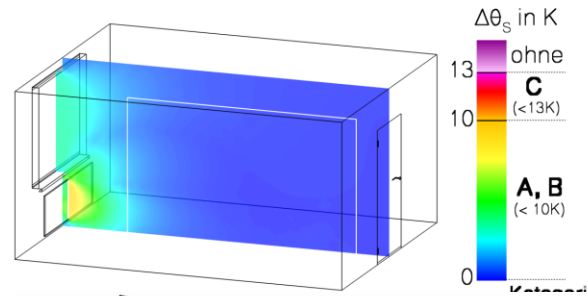
Thermische/Hygienische Behaglichkeit

- Einfluss des Wärmeschutzniveaus -

Altbau



Niedrigenergiehaus

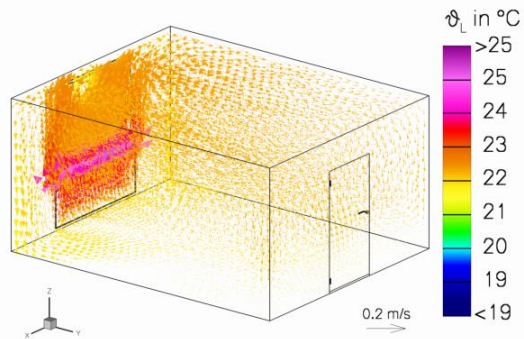


Maximale Strahlungsasymmetrie (Heizkörper; Luftwechsel $n = 0 \text{ h}^{-1}$)

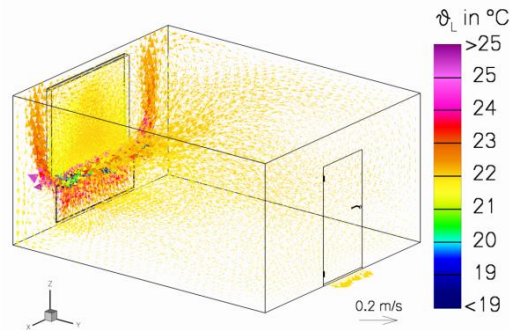
Quelle: Richter2003

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

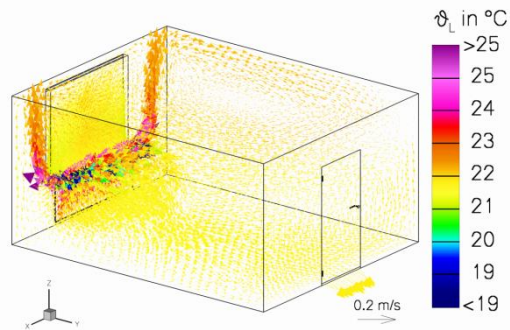
- Einfluss des Luftwechsels -



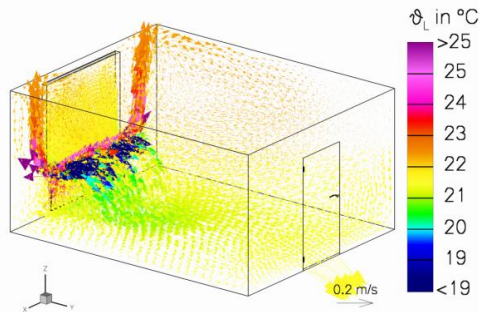
$n = 0 \text{ h}^{-1}$



$n = 0.10 \text{ h}^{-1}$



$n = 0.25 \text{ h}^{-1}$



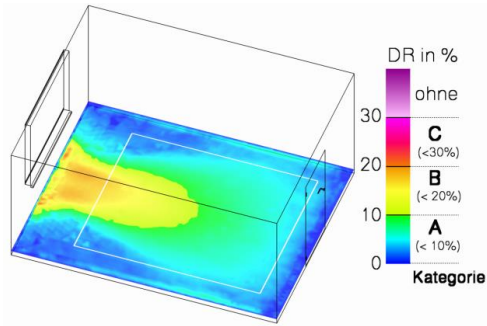
$n = 0.50 \text{ h}^{-1}$

Strömungsverlauf
(Niedrigenergiehaus;
Heizkörper; Lüftung mittels
breitem, schlitzförmigem ALD
unterhalb des Fensters)

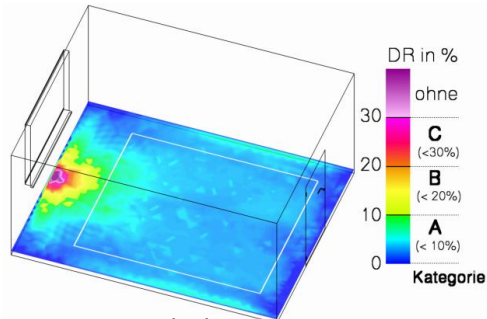
Quelle: Richter2003

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

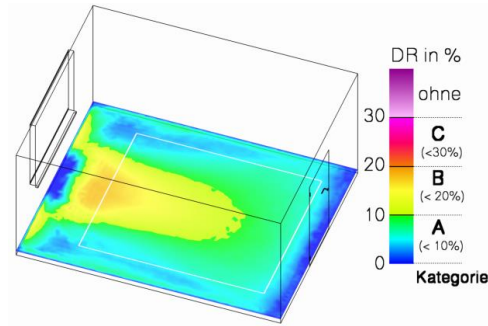
- Einfluss des Außenluftdurchlasses (ALD) -



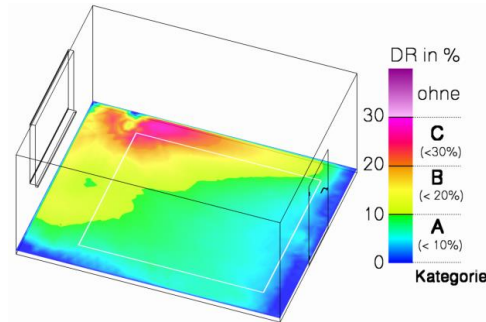
(breiter) Schlitz - ALD
unterhalb des Fensters



optimierter ALD
unterhalb des Fensters



(breiter) Schlitz - ALD
oberhalb des Fensters



optimierter ALD
oberhalb, neben dem Fenster

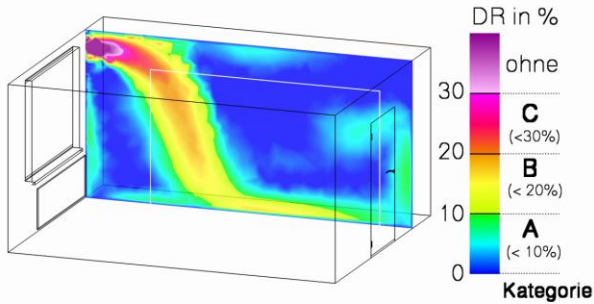
Zugluftrisiko
(Niedrigenergiehaus;
Fußbodenheizung;
Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$)

Quelle: Richter2003

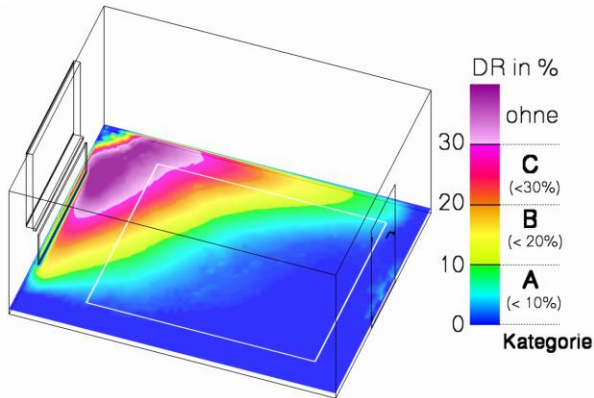
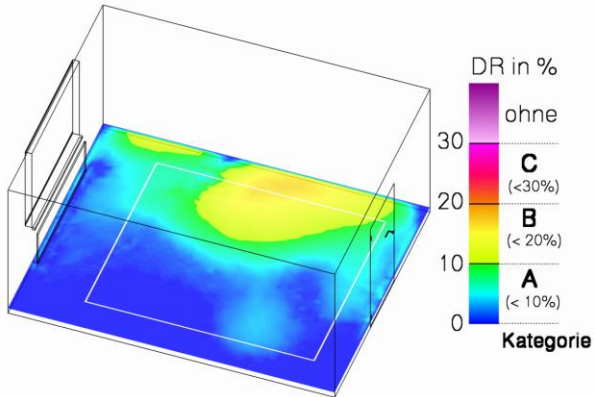
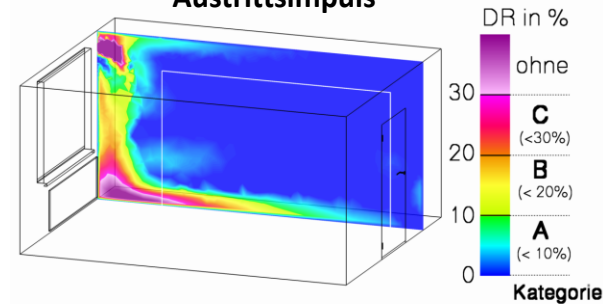
Thermische/Hygienische Behaglichkeit

- Einfluss des Außenluftdurchlasses (ALD) -

ALD mit hohem Austrittsimpuls



ALD mit geringem Austrittsimpuls

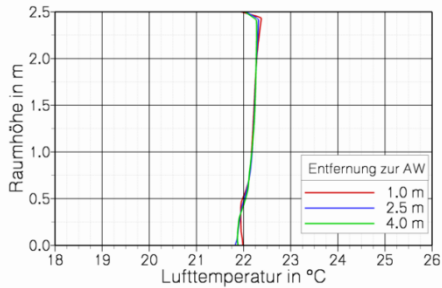


Zugluftrisiko
(Niedrigenergiehaus;
Heizkörper; Luftwechsel $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$)

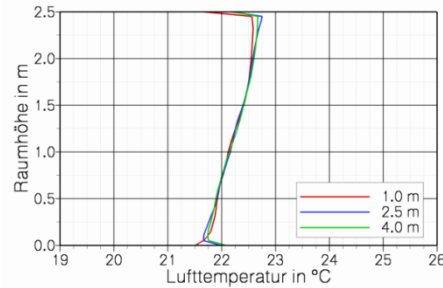
Quelle: Richter2003

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

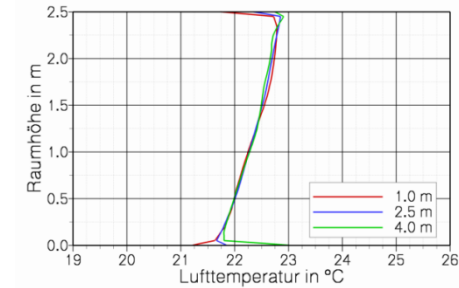
Heizkörper an Außenwand



Heizkörper an Seitenwand

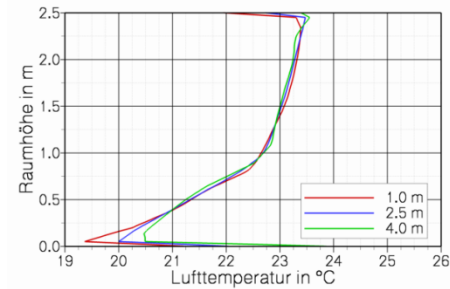
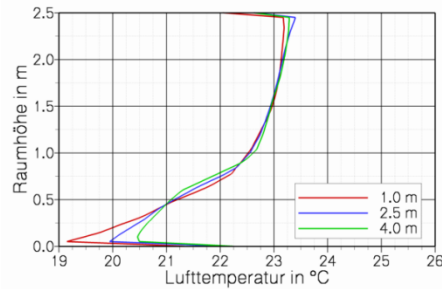
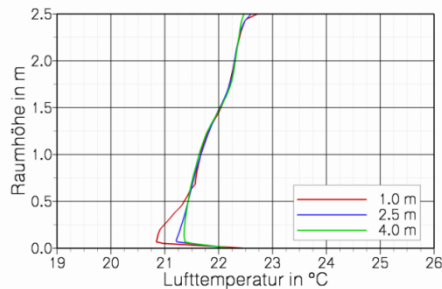


Heizkörper an Innenwand



Luftwechsel $n = 0 \text{ h}^{-1}$

Höhenabhängiger
Lufttemperaturver-
lauf bei
verschiedenen
Heizkörper -
Anordnungen im
Raum

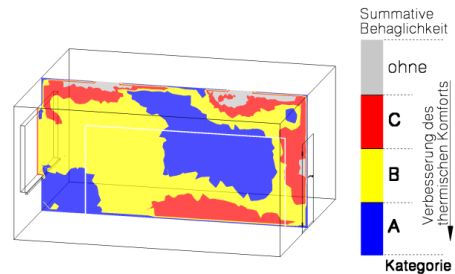


Luftwechsel $n = 0,50 \text{ h}^{-1}$

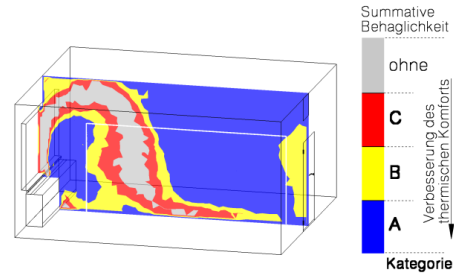
Quelle: Richter2007

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

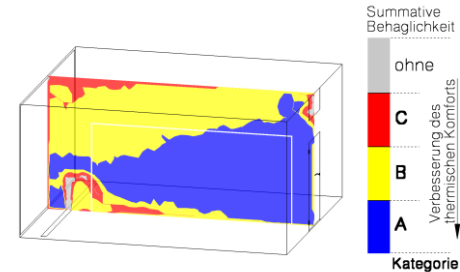
- Vergleich von Flächenkühlung und Luftkühlung -



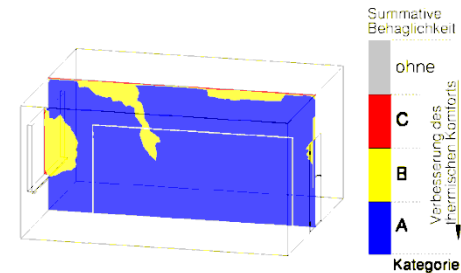
2 Drallauslässe
(Deckenbereich)



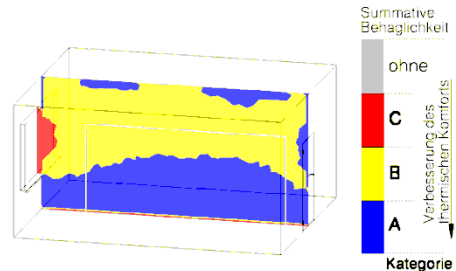
Induktionsgerät
(Außenwand)



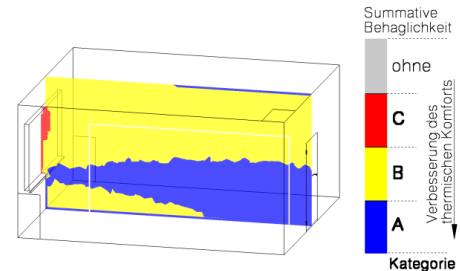
Fassadengerät
(Unterflur)



Strahlungs - Kühldecke



Kühlfußboden



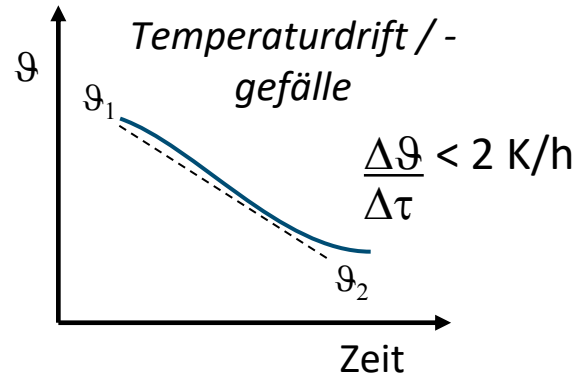
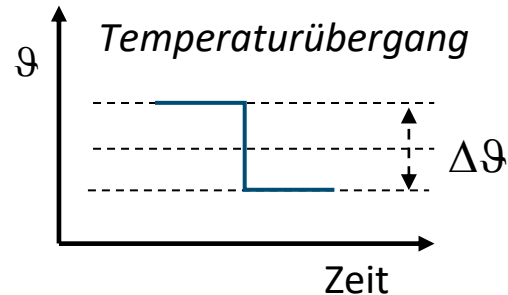
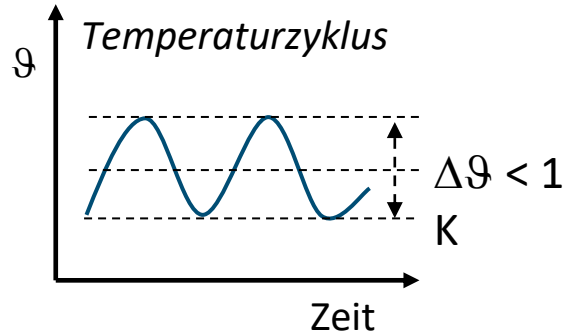
Quelllüftung

Summative thermische Behaglichkeit
(Feste Außenverschattung; mittelschwere Bauweise; 30 % Fensterflächenanteil)

Quelle: Richter2007

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Dynamische Bewertungsverfahren



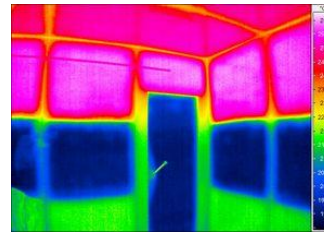
- große Änderungen von $\Delta\theta$ werden unmittelbar wahrgenommen
- PMV und PPD können angewendet werden
- ca. 30 min Zeitkonstante des Körpers



**nur wenige Aussagen zur instationären
thermischen Behaglichkeit**

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

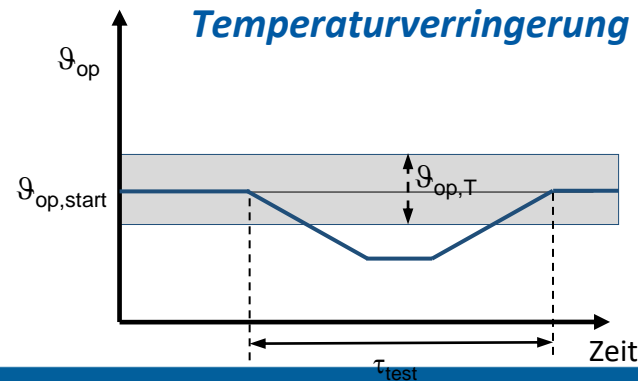
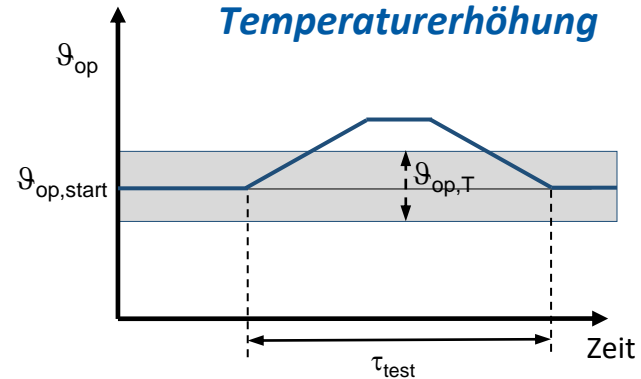
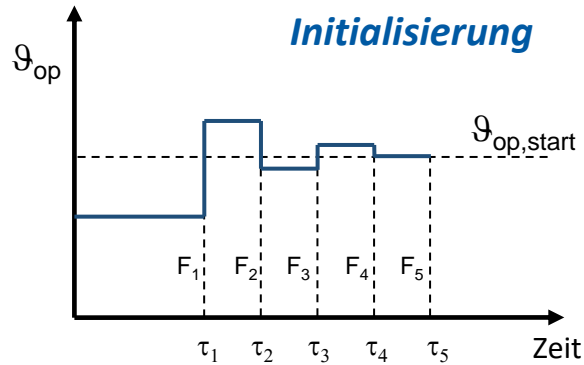
Ergebnisse von Untersuchungen in einem Klimaraum



Klimaraum der Technischen Universität Dresden

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Untersuchungsmethodik



Thermische/Hygienische Behaglichkeit

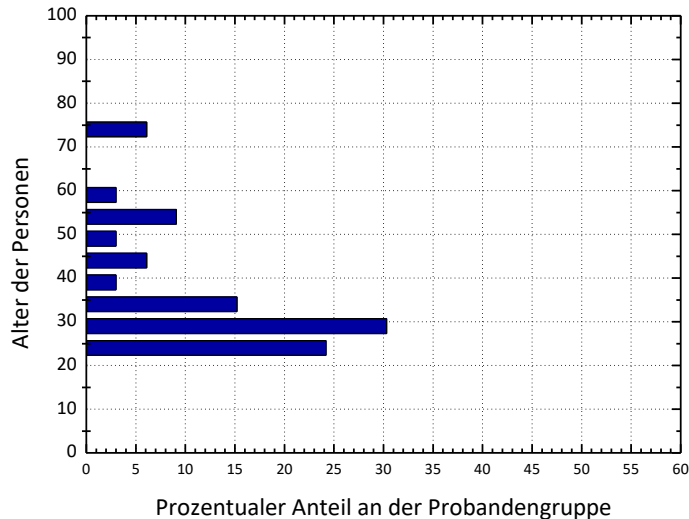
Probandenverteilung

- etwa 84 Personen (aktueller Stand)
- Frauen und Männer unterschiedlichen Alters

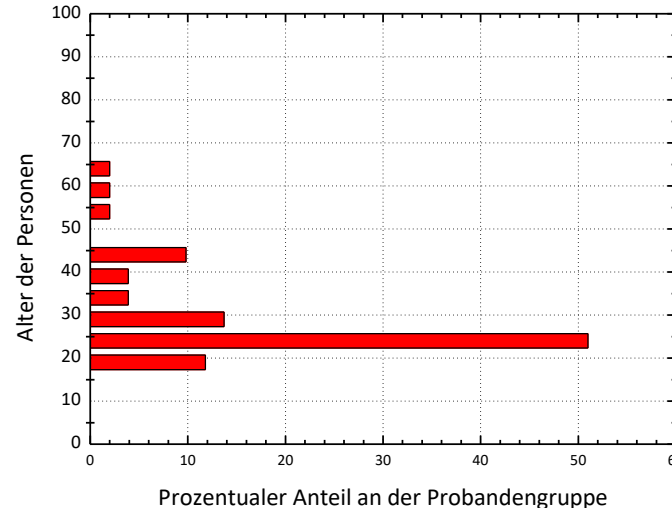
universitäres Umfeld

Prozentuale Verteilung der Personen
innerhalb der Probandengruppe
(männlich / weiblich)

männlich



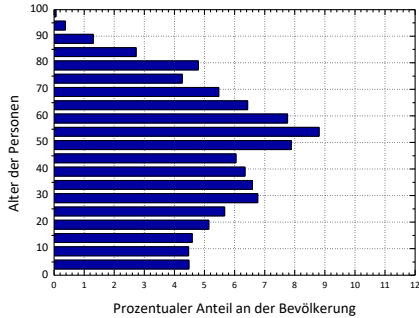
weiblich



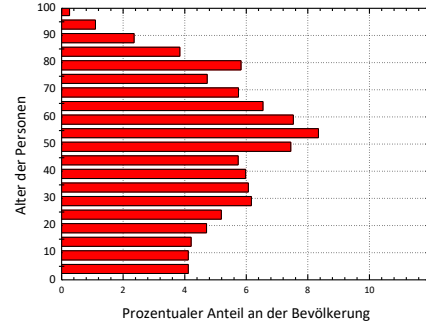
Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Altersverteilung – Deutschland (Jahr 2016)

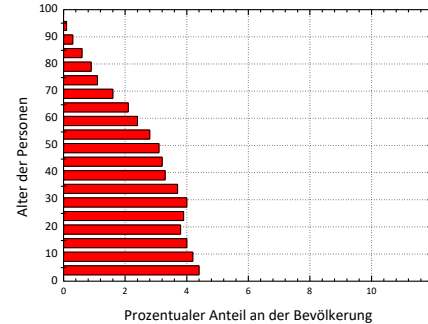
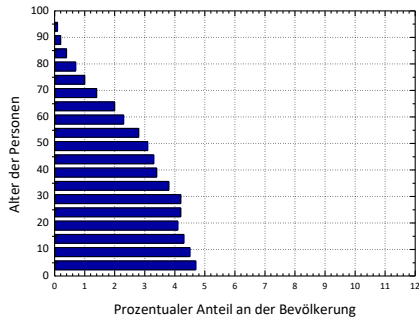
männlich



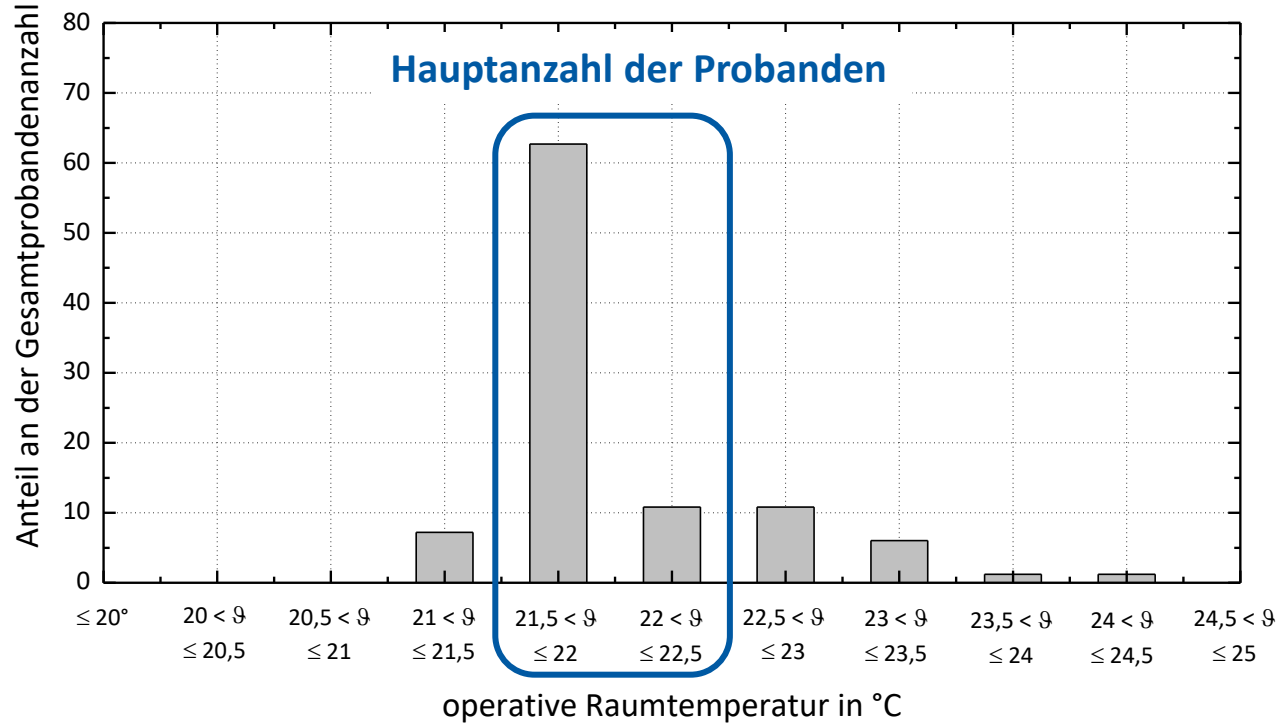
weiblich



Altersverteilung – Weltweit (Jahr 2016)

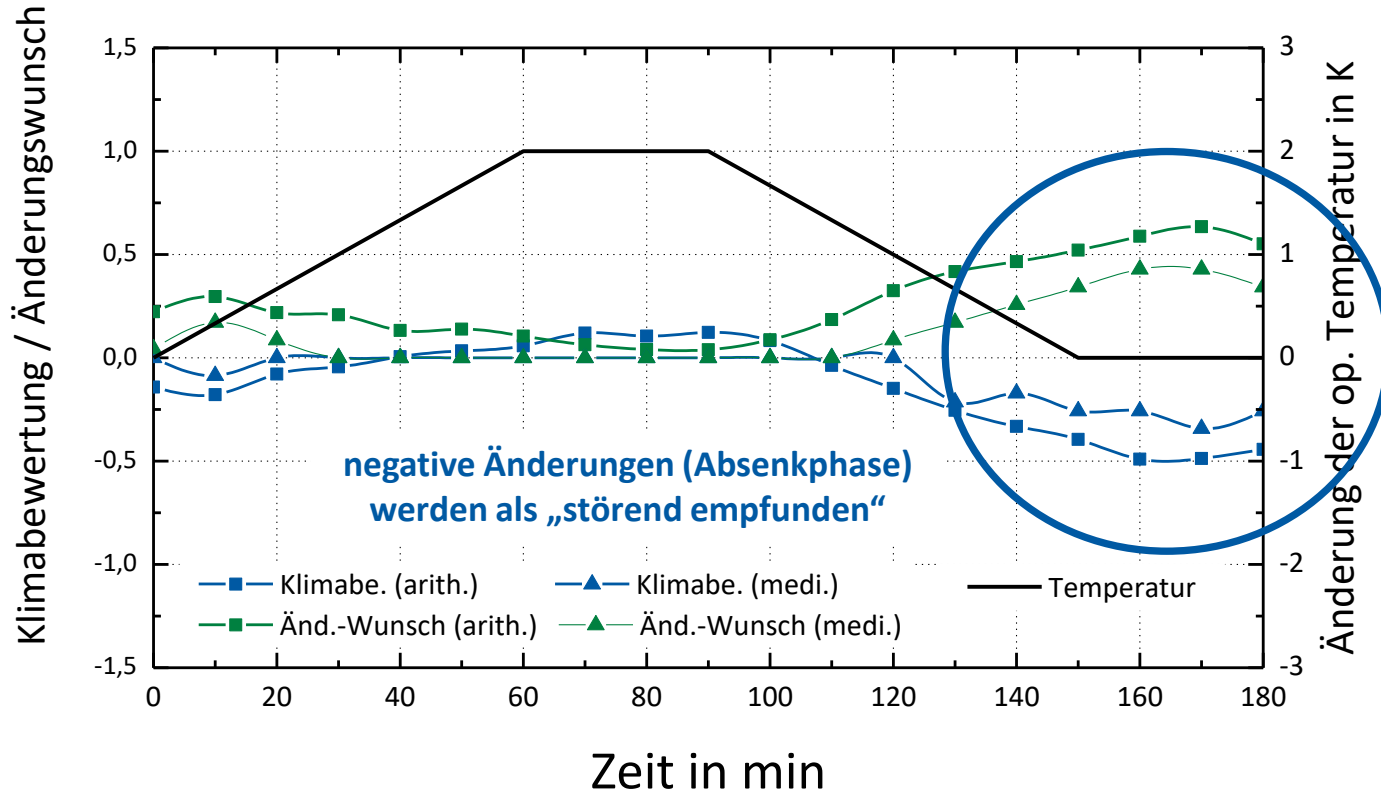


Thermische/Hygienische Behaglichkeit



Wahl der operativen Raumtemperatur durch die Probanden

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

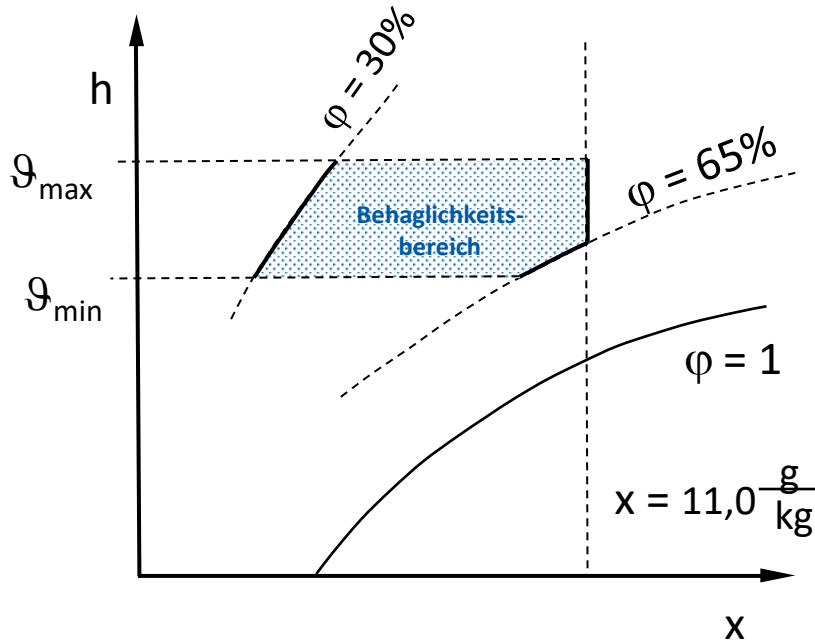


Klimabewertung / Änderungswunsch der momentanen Raumtemperatur als Funktion der

Versuchsdauer

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Relative Luftfeuchte:



Begrenzung der relativen Feuchte:

- Austrocknung der Schleimhäute
- Wärmeabgabe des Menschen
- Schwülegrenze

Behaglichkeitsbereich innerhalb des Mollier h,x-Diagrammes

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Struktur der europäischen und internationalen Normen

EN 16798 – 1: Berechnungsvorschrift

1. normativer Teil
2. Anhang A (Struktur ohne Werte)
3. Anhang B (Default Werte)

ISO Norm – identischer Aufbau
(Nationale Normungsinstitute
können eigene
Kennwerte festlegen)

Kategorie	Entsprechende CO ₂ -Konzentration oberhalb der Konzentration der Außenluft, in ppm, für unangepasste Personen
I	< 350
II	< 500
III	< 800
IV	> 800

Anforderungen (Anhang B) können national überschrieben werden

EN 16798 – 2: Technischer Report (umgesetzt in einer deutschen Norm **DIN SPEC 32739**)

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

EN 16798-1: Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden –Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6 (Wohn- und Nichtwohngebäude)

EN 16798-2: Technischer Bericht (informativ) in Ergänzung zum Teil 1 EN 16798

Inhalt der EN 16798 - 1

1. Thermisches Raumklima
2. Lüftung
3. Beleuchtung
4. Schall
5. Anhang A
6. Anhang B

Inhalt des Vortrages ist Teil 1

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

EN 16798-1 – Allgemeines / Kategorien

Beschreibung der Anwendbarkeit der verwendeten Kategorien

Kategorie	Beschreibung
I	Hohes Maß an Erwartungen; auch empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen, zur Erhöhung der Zugänglichkeit
II	Normales Maß an Erwartungen
III	Annehmbares, moderates Maß an Erwartungen
IV	Geringes Maß an Erwartungen. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden



Baupraxis ist Kategorie II

(Festlegungen sind unbedingt zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer schriftlich zu vereinbaren)

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

a. Thermisches Raumklima / Behaglichkeit

Kriterien 1:

Empfohlene Kategorien für die Auslegung von maschinell geheizten und gekühlten Gebäuden (Anhang B1)

Beispiele empfohlener Kategorien für die Auslegung maschinell geheizter und gekühlter Gebäude

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt	
	PPD in %	vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)
I	< 6%	$-0,2 < PMV < +0,2$
II	< 10%	$-0,5 < PMV < +0,5$
III	< 15%	$-0,7 < PMV < +0,7$
IV	< 25%	$-1,0 < PMV < +1,0$ $-0,7 < PMV < +0,7$ ←

**Kennwert aus der
DIN EN 15251**



Kategorie IV wurde neu definiert

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Gebäude- / Raumtyp	Kategorie	operative Raumtemperatur in °C	
		Mindestwert für Heizung (Winter), 1,0 clo	Höchstwert für die Kühlung (Sommer), 0,5 clo
Wohngebäude, Wohnräume (Schlafzimmer, Wohnzimmer, Küchen) Sitzende Tätigkeit ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	
Wohngebäude, andere Räume (Hauswirtschafts-räume, Lagerräume) Stehende Tätigkeit ~ 1,5 met	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	
	IV	-	-
Büros und ähnlich genutzte Räume (Einzel-Großraumbüros, Konferenzräume, Hör- bzw. Zuschauersäle, Cafeterien) Sitzende Tätigkeit ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
	IV	18,0	28,0

Problem (vgl. EN 12831)

Kriterien 2:

Empfohlene **Auslegungswerte**
der op. Innentemperatur für
Winter / Sommer für Gebäude
mit maschinellen Kühlanlagen
(Angang B1)

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Temperaturbereiche für die stündliche Berechnung der Kühl- und Heizenergie für drei Kategorien des Innenraumklimas

Gebäude- / Raumtyp	Kategorie	operative Raumtemperatur in °C		
		Mindestwert für Heizung (Winter), 1,0 clo	Höchstwert für die Kühlung (Sommer), 0,5 clo	
Wohngebäude, Wohnräume (Schlafzimmer, Wohnzimmer, Küchen) Sitzende Tätigkeit ~ 1,2 met	I	21,0 – 25,0	23,5 - 25,5	Empfohlene operative Innentemperatur für die Energieberechnung (Anhang B 1)
	II	20,0 – 25,0	23,0 - 26,0	
	III	18,0 – 25,0	22,0 - 27,0	
	IV	17,0 – 25,0	21,0 - 28,0	
Wohngebäude, andere Räume (Hauswirtschafts-räume, Lagerräume) Stehende Tätigkeit ~ 1,5 met	I	18,0 - 25,0		
	II	16,0 - 25,0		
	III	14,0 – 25,0		
	IV	-	-	
Büros und ähnlich genutzte Räume (Einzel- Großraumbüros, Konferenzräume, Hör- bzw. Zuschauersäle, Cafeterien) Sitzende Tätigkeit ~ 1,2 met	I	21,0 – 24,0	23,5 - 25,5	
	II	19,0 - 25,0	23,0 - 26,0	
	III	19,0 - 25,0	22,0 - 27,0	
	IV	17,0 – 25,0	21,0 - 28,0	

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Auslegungskriterien für lokale thermische Unbehaglichkeit

	Zugluft		Vertikaler Lufttemp.-Gradient		Oberflächen-temperatur		Asymmetrie der Strahlungstemperatur					
	PD in %	max. Luftgeschw. in m/s	PD in %	$\Delta\vartheta$ in °C	PD in %	ϑ in °C	PD in %	warme Decke in °C	kühle Wand in °C	kühle Decke in °C	warme Wand in °C	
		Winter	Sommer									
I	10	0,1	0,12	3	2	10	19-29	5	< 5	< 10	< 14	< 23
II	20	0,16	0,19	5	3	10	19-29	5	< 5	< 10	< 14	< 23
III	30	0,21	0,24	10	4	15	17-31	10	< 7	< 13	< 18	< 35

 keine Aussagen zu einer summativen thermischen Behaglichkeit in der Norm

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Zusammenfassung

- Thermische Behaglichkeit ist die Grundlage für die Auslegung von technischen Systemen zur Klimatisierung in Gebäuden
- eine operative Temperatur von 22° C ist das „Maß“ zu Sicherstellung einer hohen Zufriedenheit
- normative Verfahren bilden dies nur unzureichend ab (EN 12831)
- dynamische Aspekte bisher nicht ausreichend berücksichtigt in normativen Verfahren

Thermische/Hygienische Behaglichkeit

Literatur

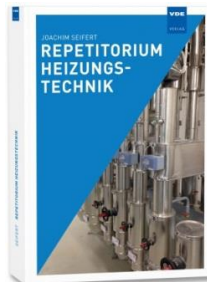
Thermische Behaglichkeit:



h,x-Diagramm:



Anlagenregelung:



Zusammenfassung / Dialog

„Die Sicherstellung der Thermische und Hygienischen Behaglichkeit ist die Grundlage für die Auslegung von technischen Systemen in der Gebäudeenergiechnik“



Weitere Informationen



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



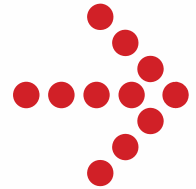
Informationen und Termine zu unseren nächsten Online-Seminare im Jahr 2024 erhalten Sie in unserem Newsletter im Januar 2024.

Mitgliedsunternehmen des BDH-Fachbereichs Flächenheizung/-kühlung



→ Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

→ Weiteres unter www.flaechenheizung-bdh.de



BDH
Bundesverband der
Deutschen Heizungsindustrie