

Idee / Herleitung / Randbedingungen

Thermische Behaglichkeit

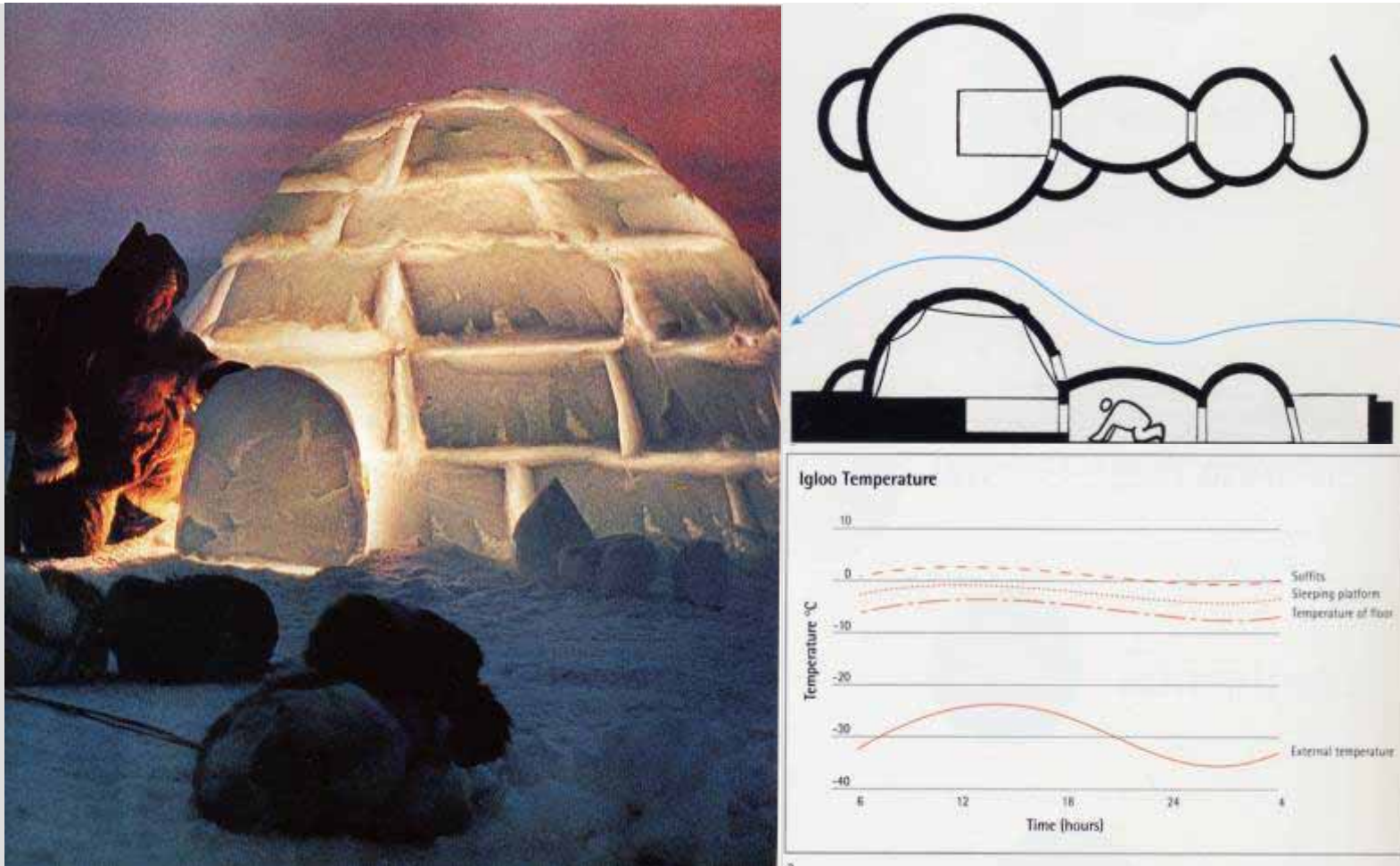
thermische Behaglichkeit

1.1.1



thermische Behaglichkeit

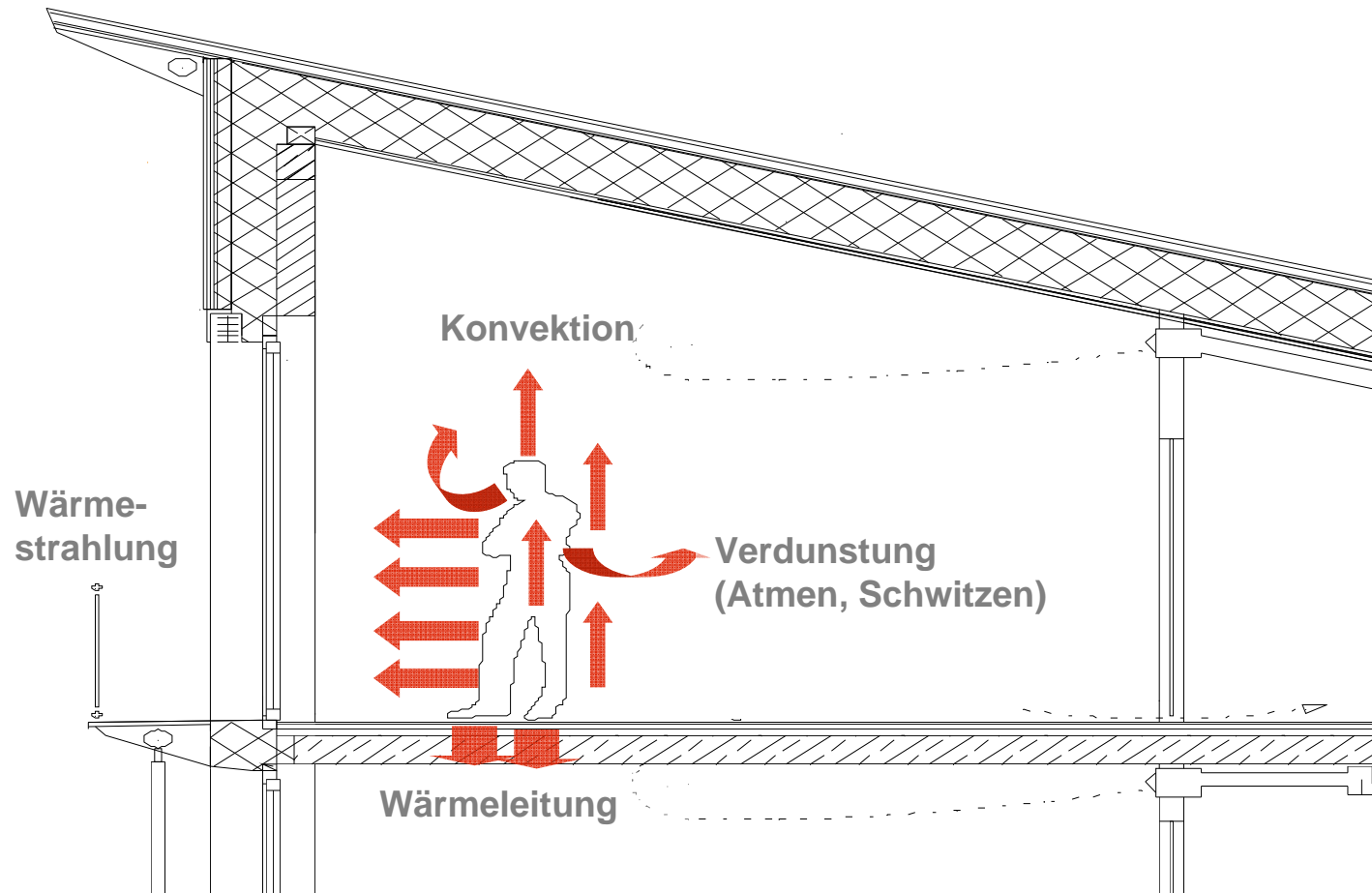
1.1.2



Quelle: Sophia und Stefan Behling: Sol Power, Prestel Verlag

Mechanismen menschlicher Wärmeabgabe

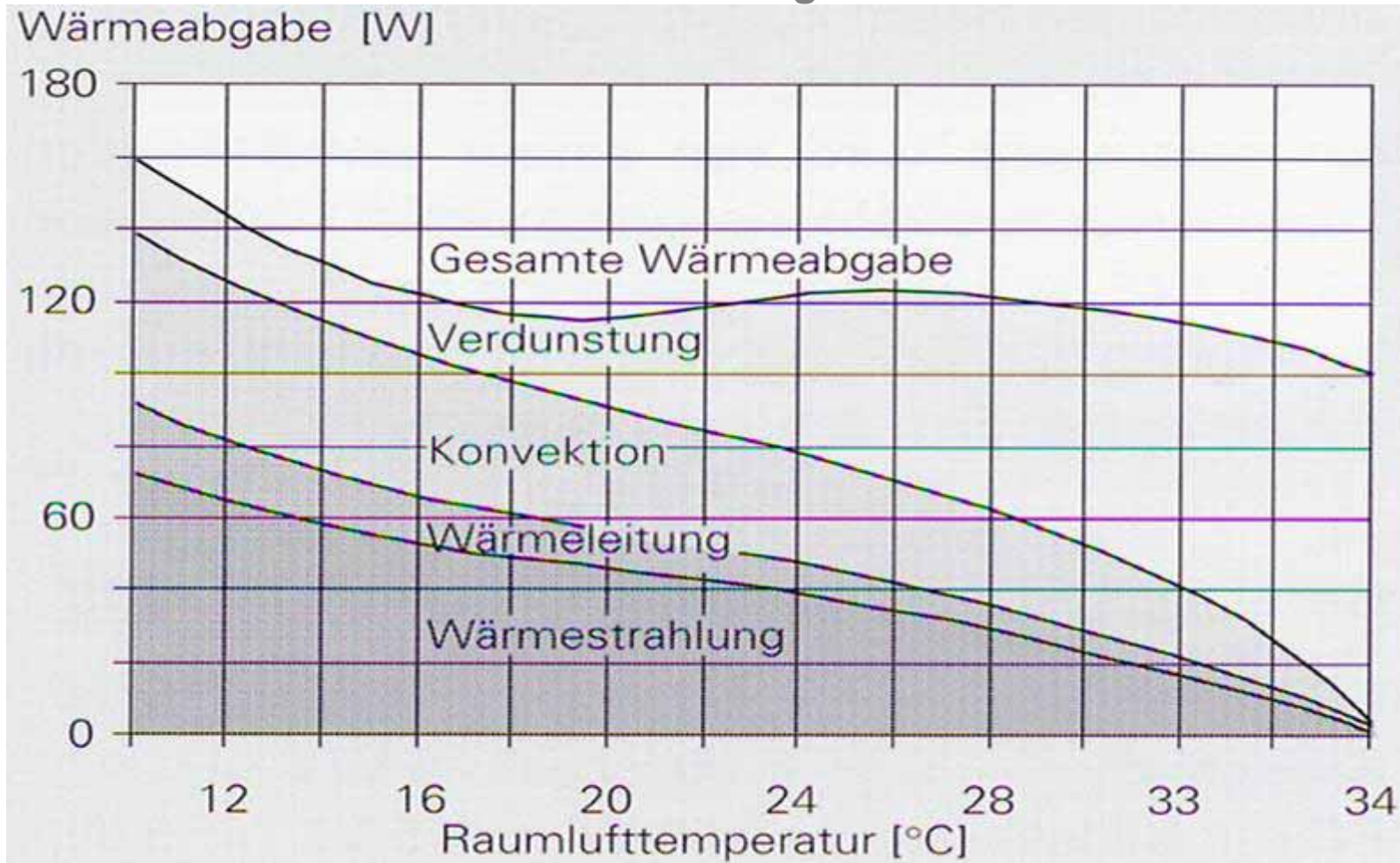
1.1.3



Quelle: B. Schulze-Darup

Mechanismen menschlicher Wärmeabgabe

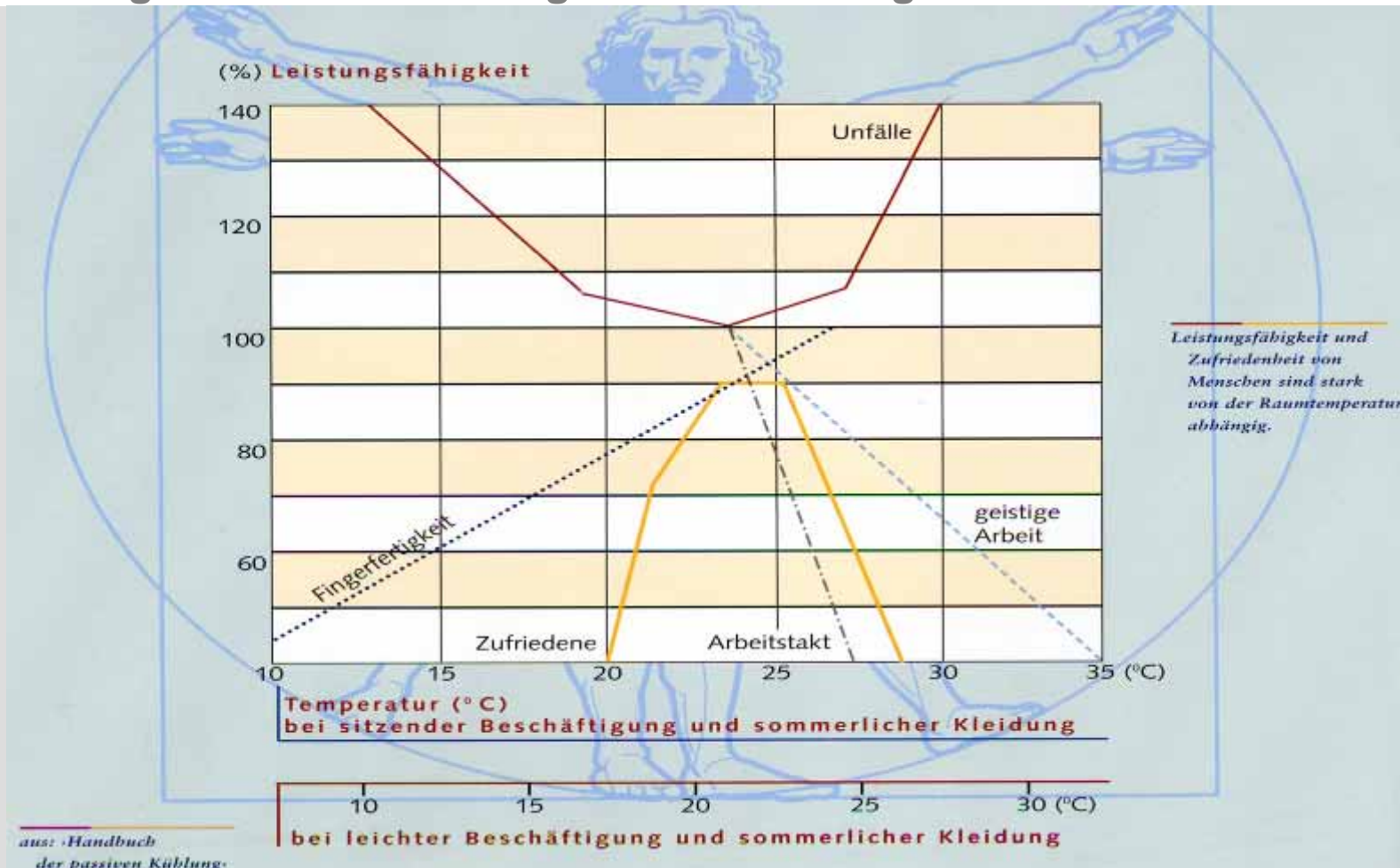
1.1.4



Quelle: M. Zimmermann: Handbuch der passiven Kühlung, EMPA, 1999

Behaglichkeit – Bedeutung und Auswirkungen

1.1.5



Quelle: M. Zimmermann: Handbuch der passiven Kühlung, EMPA, Dübendorf, 1999
grafische Aufbereitung in: Sommertauglich entwerfen und bauen, Bremer Energie Konsens (Herausgeber)

Einflussfaktoren thermischer Behaglichkeit

1.1.6

Bild 2.1-1

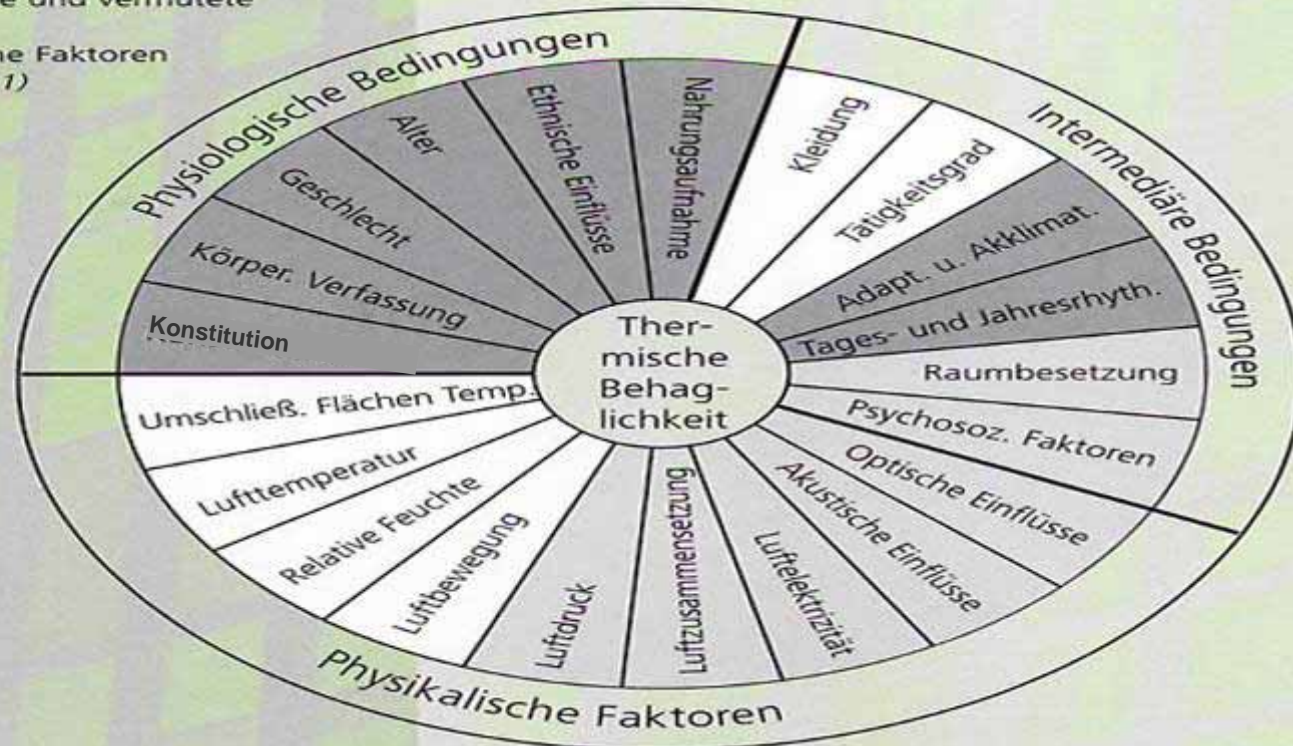
Thermische Behaglichkeit
in Abhängigkeit von physiologischen,
intermediären und
physikalischen Einflüssen

▬ Primäre und dominierende
Faktoren

▬ Sekundäre und vermutete
Faktoren

▬ Zusätzliche Faktoren

(Quelle: Ref 2.1.-1)

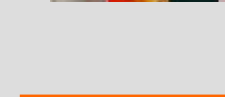


Quelle: K. Voss: Wohlfühlen – Thermische Behaglichkeit, in: Bürogebäude mit Zukunft, TÜV-Verlag, Köln 2005

Intermediäre Bedingungen - Tätigkeitsgrad

1.1.7

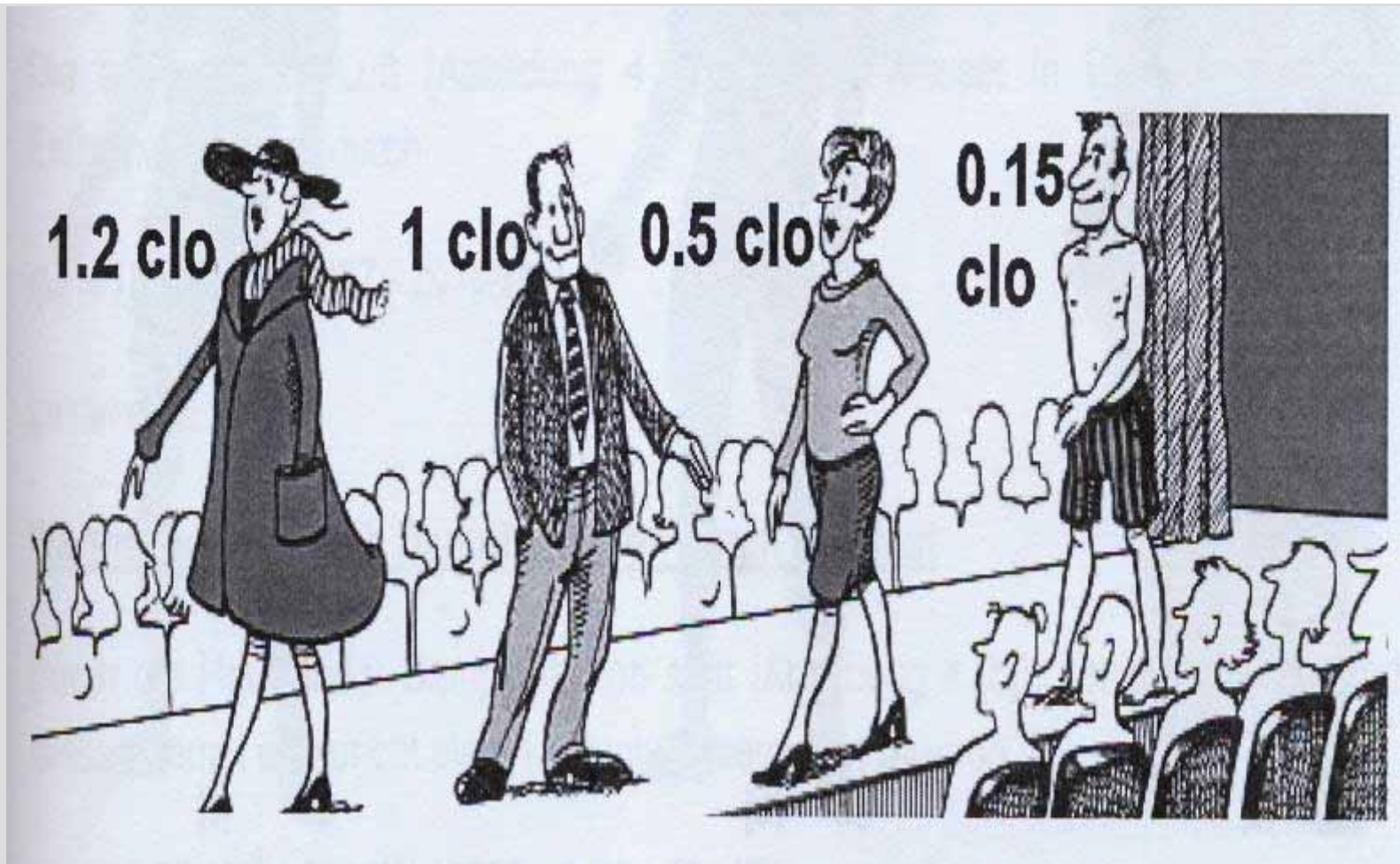
Art der körperlichen Tätigkeit	Energieumsatz	Metabolismus	Durchschnittsperson (1,69 m groß, 1,75 m ² DuBois-Fläche)
	[W/m ²]	[met]	[Watt]
schlafend	40	0,7	70
ruhend	46	0,8	81
sitzend, entspannt	58	1,0	102
sitzende Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule)	70	1,2	123
Stehende leichte Tätigkeit	93	1,6	163
Stehende mittelschwere Tätigkeit (Verkauf, Hausarbeit)	116	2,0	203
Gehen in der Ebene, 3 km/h	140	2,4	245
Gehen in der Ebene, 5 km/h	200	3,4	350



Quelle: W. Feist: Anforderungen zur thermischen Behaglichkeit in Passivhäusern, in: AkkP, Protokollband Nr. 25

Intermediäre Bedingungen - Kleidung

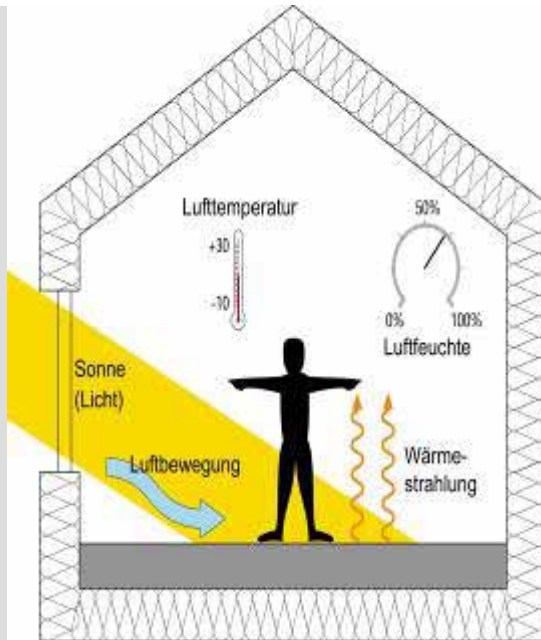
1.1.8



Quelle: Fa. InnovaTech Instruments: Thermal-Comfort-Booklet, Ballerup, 2002

Primäre und dominierende Behaglichkeitsfaktoren

1.1.9



Behaglichkeitsfaktor	Empfindlichkeits-schwelle	Beurteilung
Lufttemperatur	$\pm 0,5 \text{ K } (^{\circ}\text{C})$	Sehr empfindlich
Unterschied Lufttemperatur zu Oberflächentemperatur	$2 \text{ K } (^{\circ}\text{C})$	Sehr empfindlich
Luftbewegung in Hautnähe	$0,1 \text{ m/s}$	Sehr empfindlich
Strahlungswärme (Oberflächentemp.)	25 W/m^2	Empfindlich
Relative Luftfeuchtigkeit	$\pm 15 \%$	wenig empfindlich

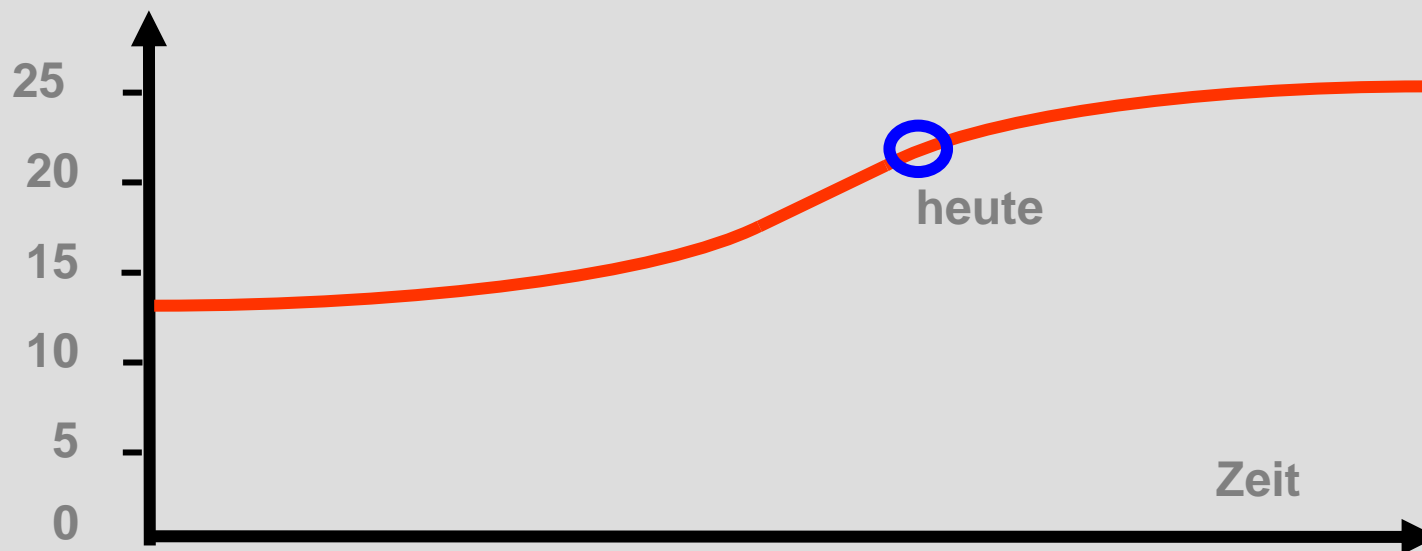
Quellen: Bundesarchitektenkammer (Herausgeber): Energiegerechtes Bauen und Modernisieren, Birkhäuser Verlag C. Zürcher, T. Frank; Bauphysik Band 2, Seite 9, Tabelle 1.7

Behaglichkeitsfaktor Raumlufttemperatur

1.1.10

Anforderungen nach ÖNORM H 7500

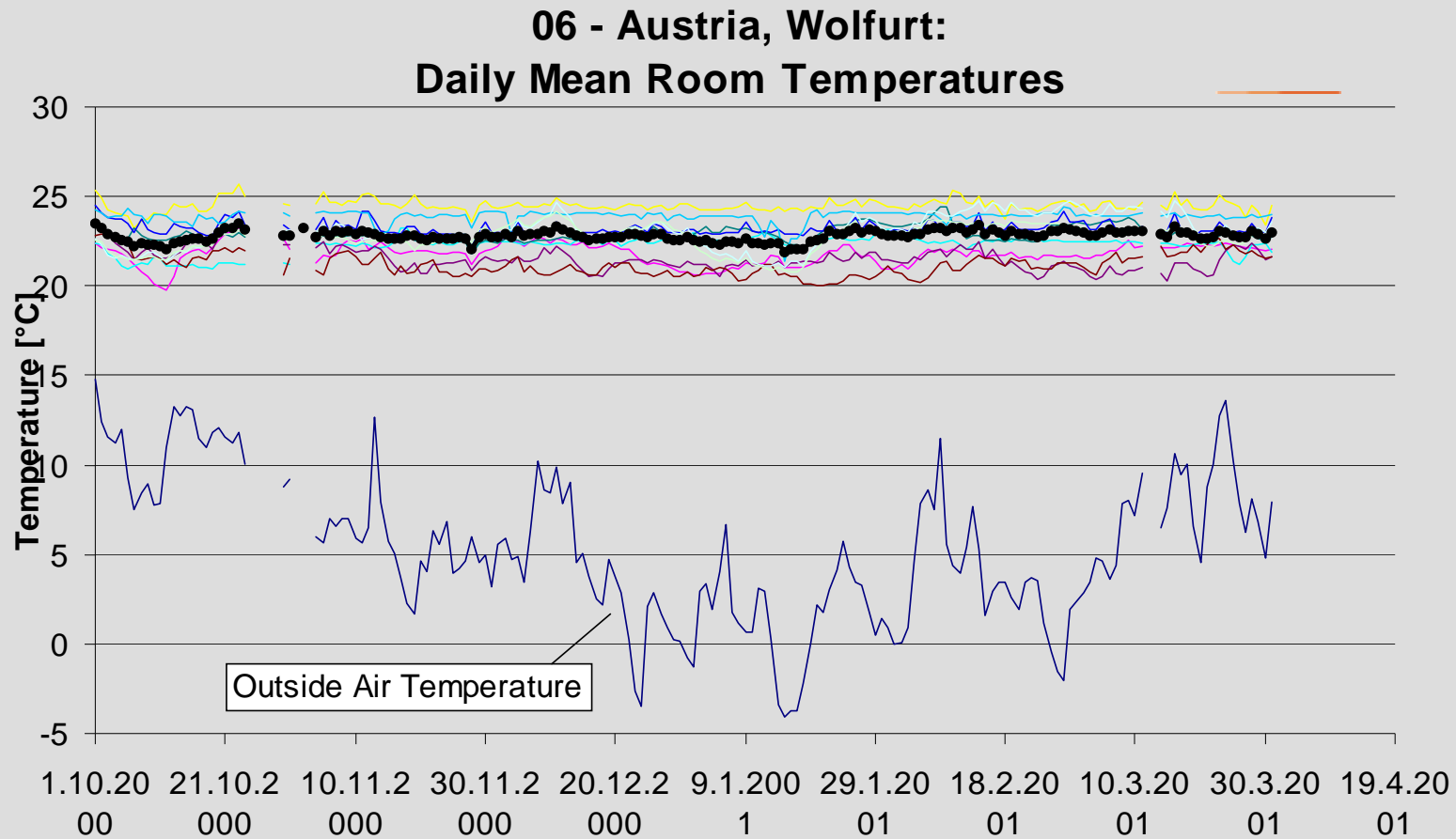
- Wohn- und Schlafräume 20°C
- Bäder 24°C
- beheizte Nebenräume 15°C
- Büroräume 20°C



Quelle: ÖNORM H 7500; H. Krapmeier, Energieinstitut Vorarlberg, basierend auf öffentlichen Statistiken

Behaglichkeitsfaktor Raumlufthtemperatur – heutige Situation

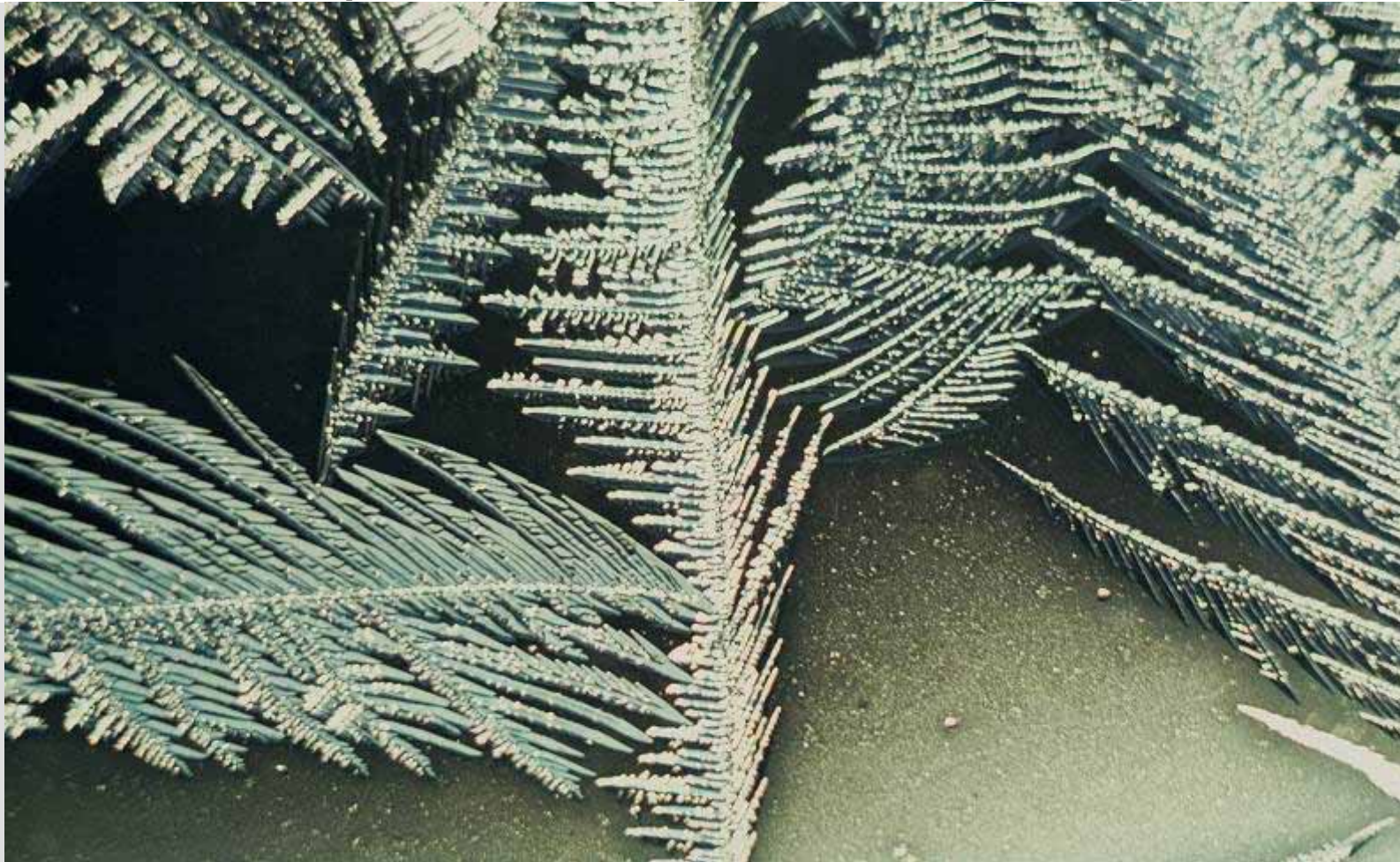
1.1.11



Quelle: Messprogramm CEPHEUS-Projekt Wolfurt

Oberflächentemperaturen – Beispiel Einfachverglasung

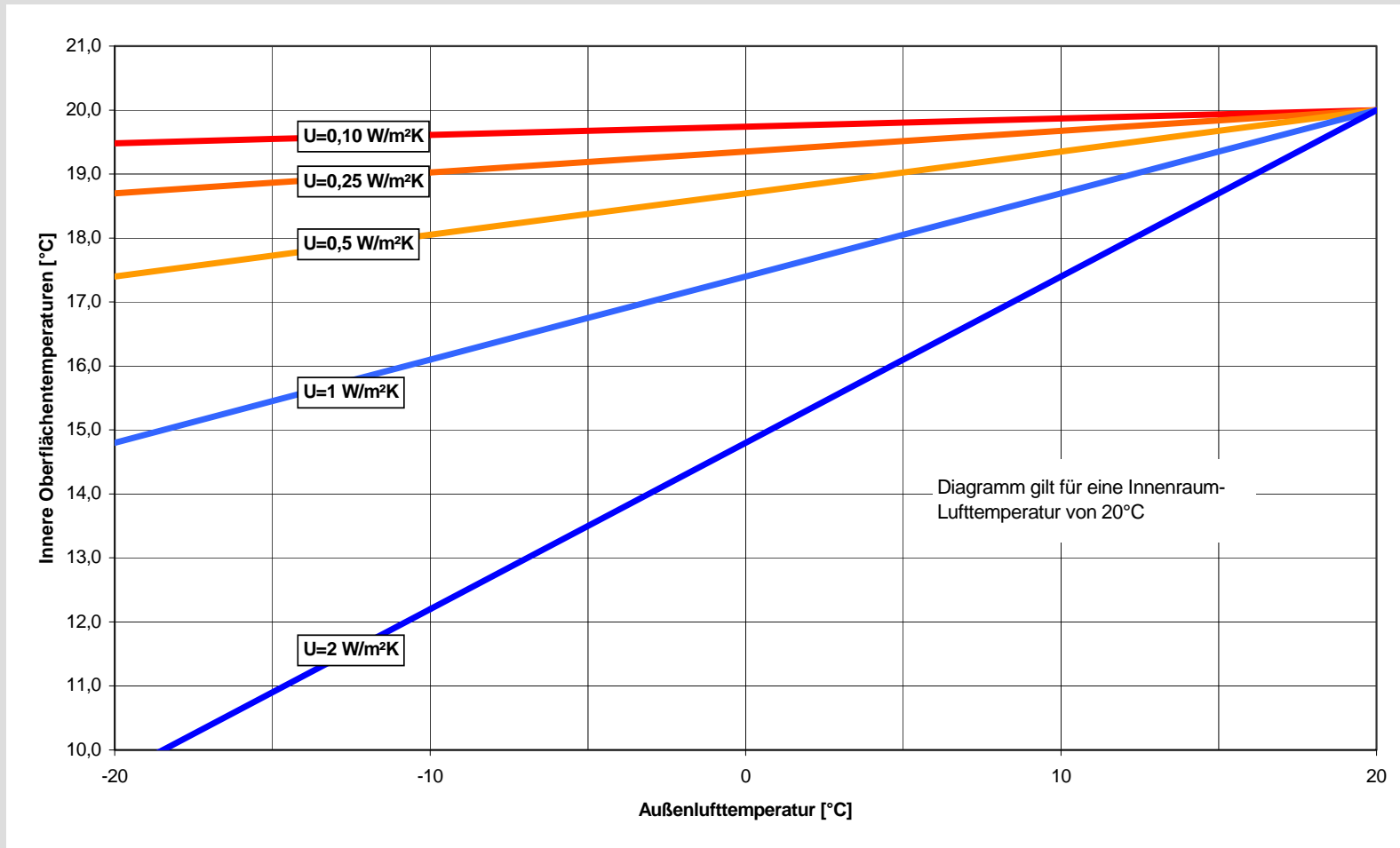
1.1.12



Quelle: M. Ploß

Einfluss des U-Wertes auf die Oberflächentemperatur

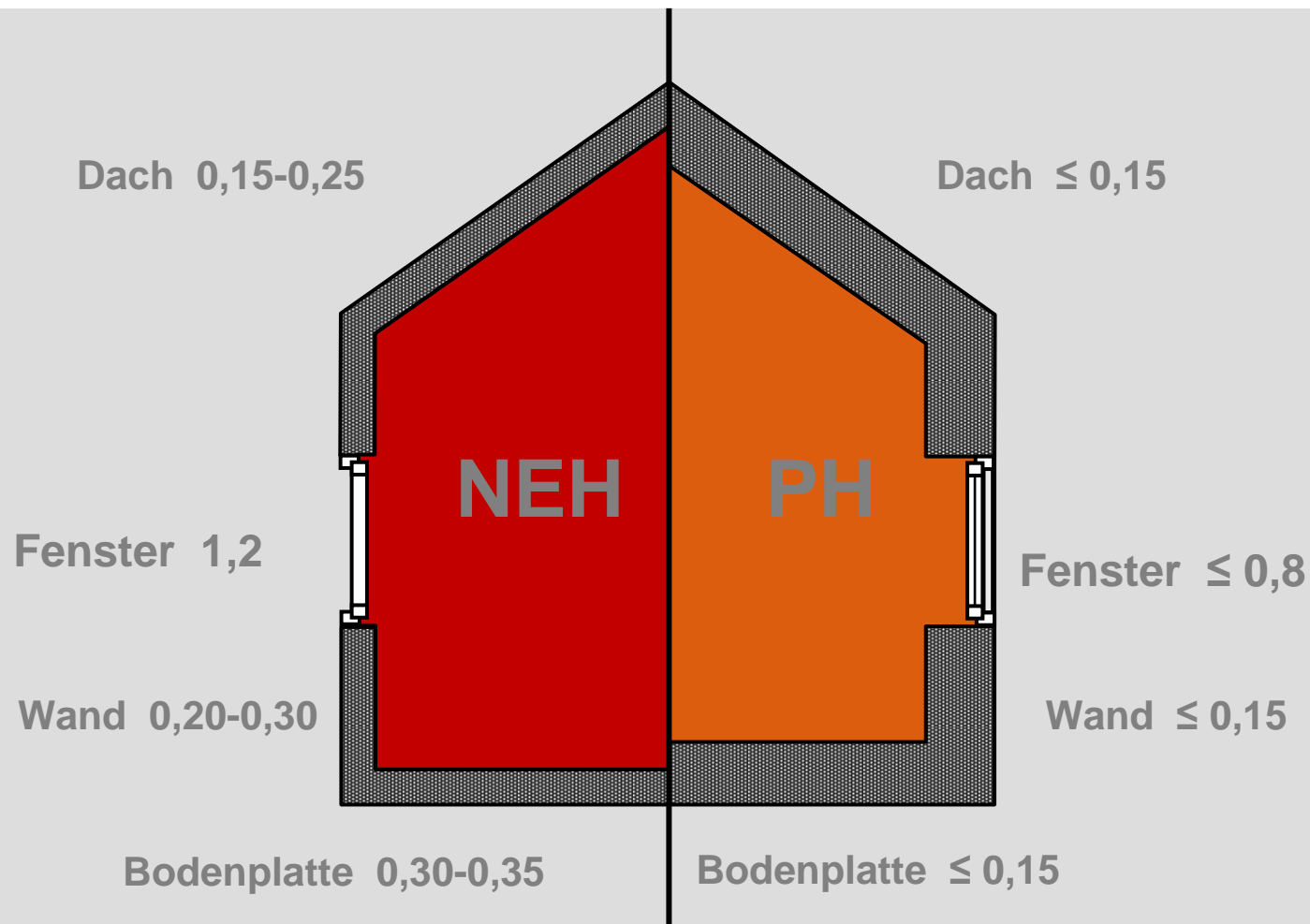
1.1.13



Quelle: P. Holzer, Donau Universität Krems

typische U-Werte von Niedrigenergie- und Passivhäusern

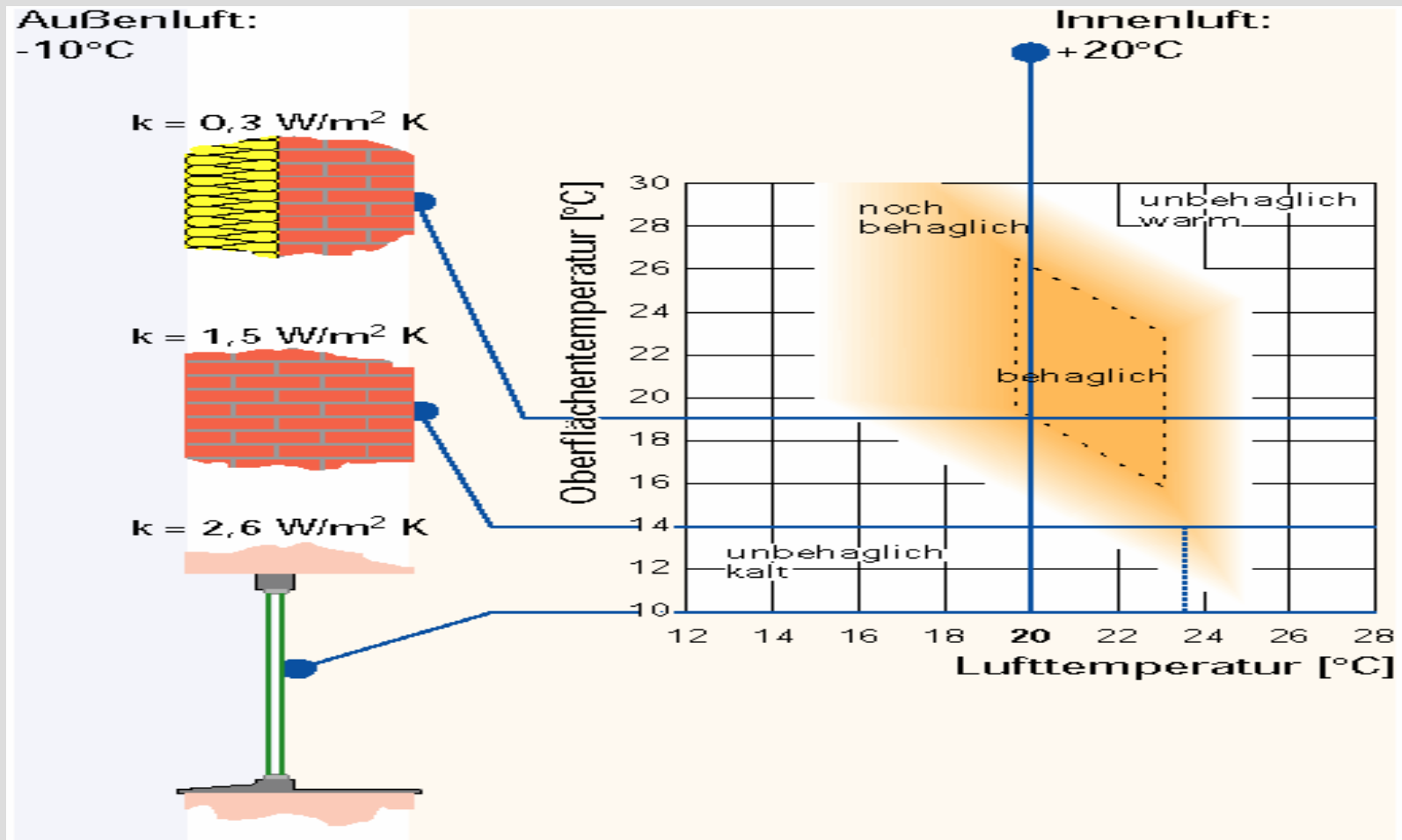
1.1.14



Quelle: R. Ploß

Behaglichkeitsfeld: Raumluft- und Oberflächentemperatur

1.1.15



Quelle: Bundesarchitektenkammer (Herausgeber):Energiegerechtes Bauen und Modernisieren, Birkhäuser Verlag

operative Temperatur (= empfundene Temperatur)

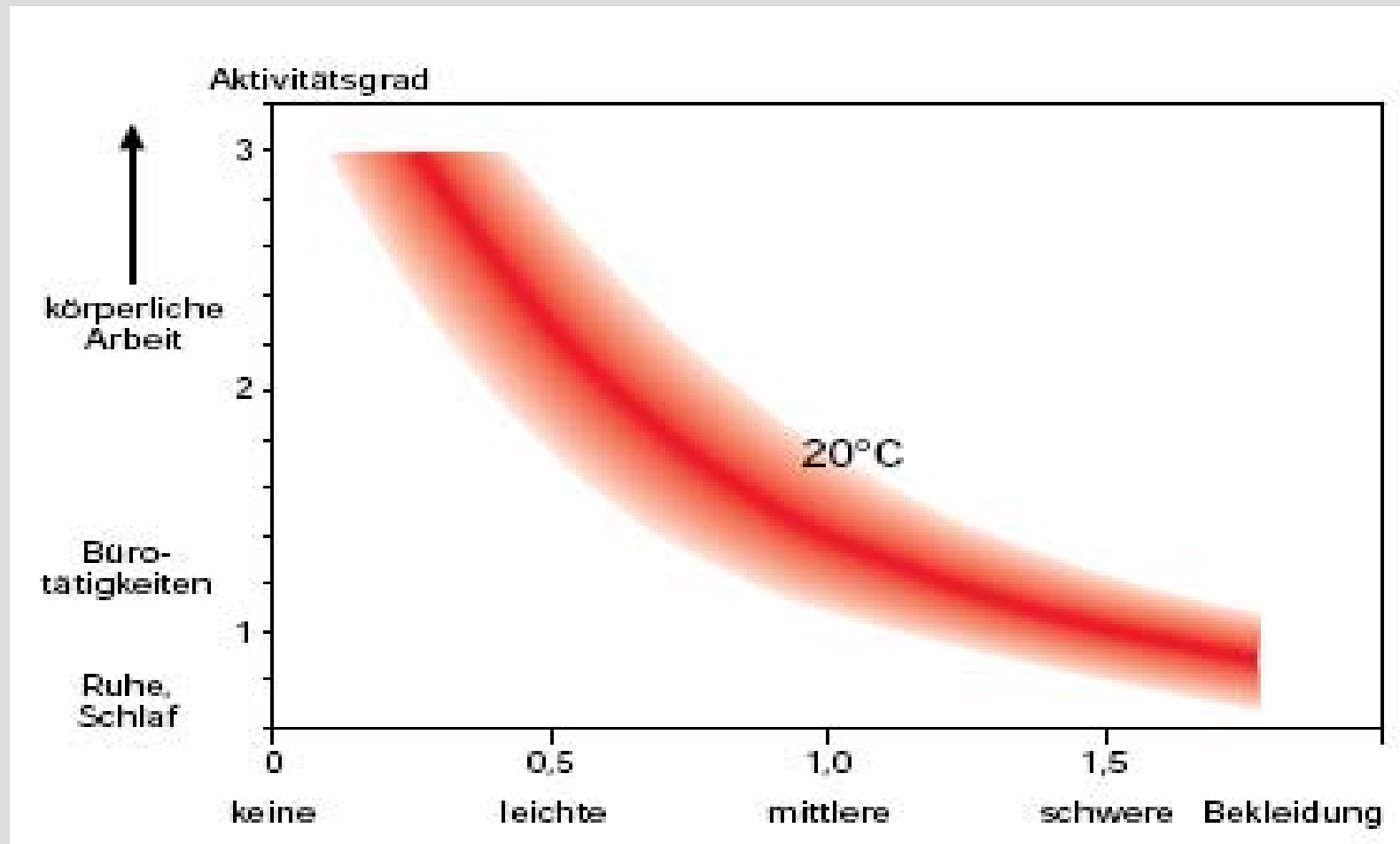
1.1.16

$$t_{\text{op}} = \frac{t_{\text{Raumluft}} + t_{\text{m,Oberfläche}}}{2}$$

Quelle: ÖNORM EN 12831:2003

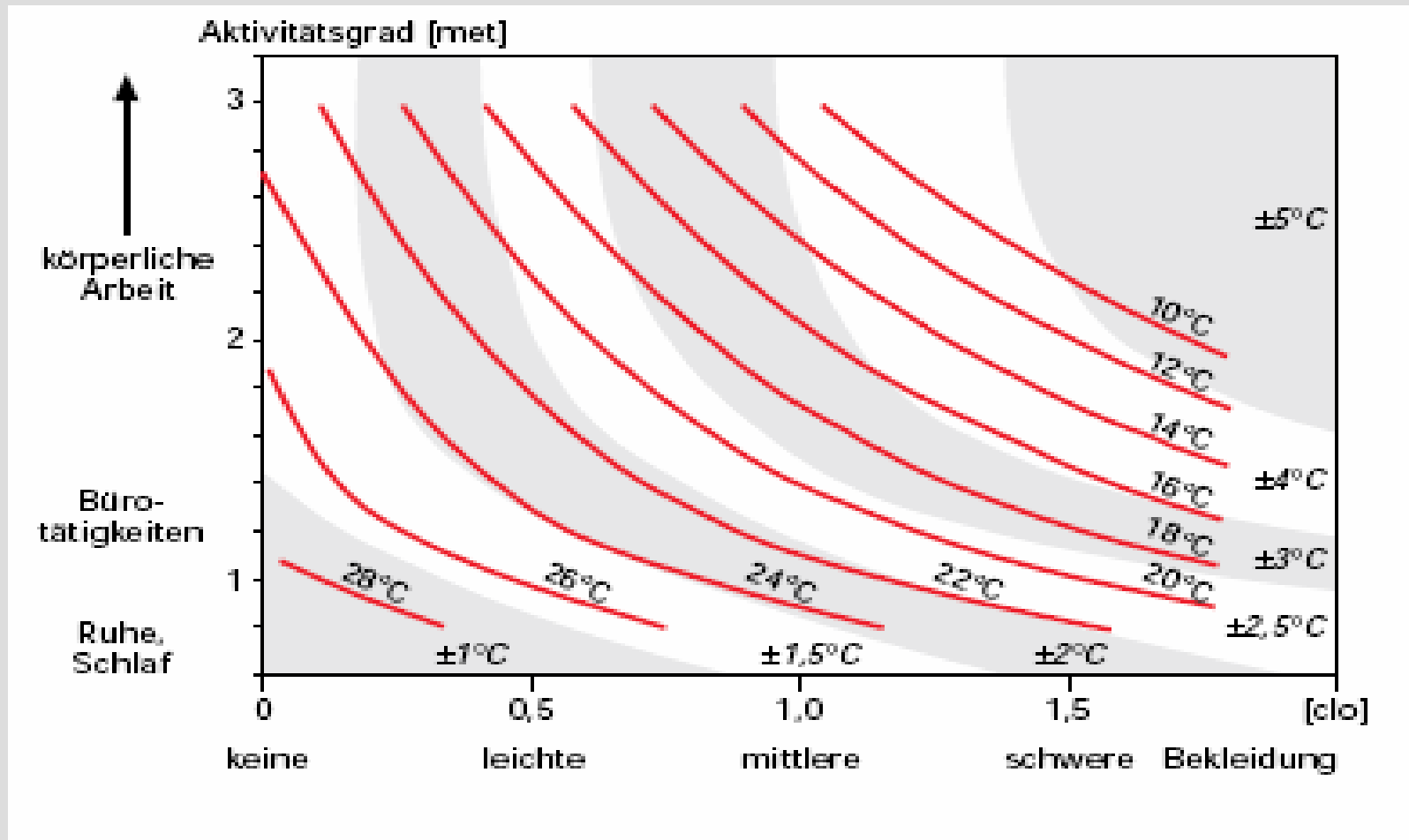
operative Temperatur - Behaglichkeitsfeld

1.1.17



Quelle: OENORM EN ISO 7730

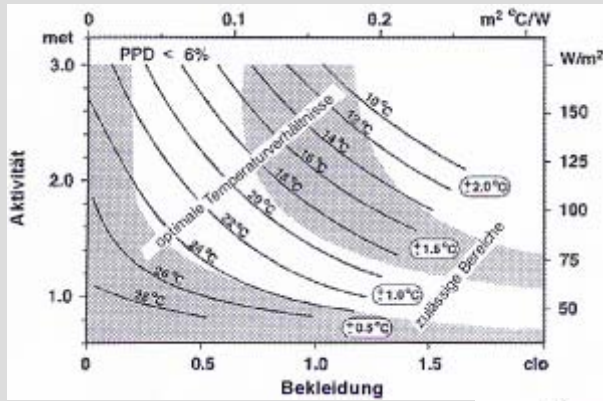
optimale operative Temperatur - Einfluss von Bekleidung u. Aktivität 1.1.18



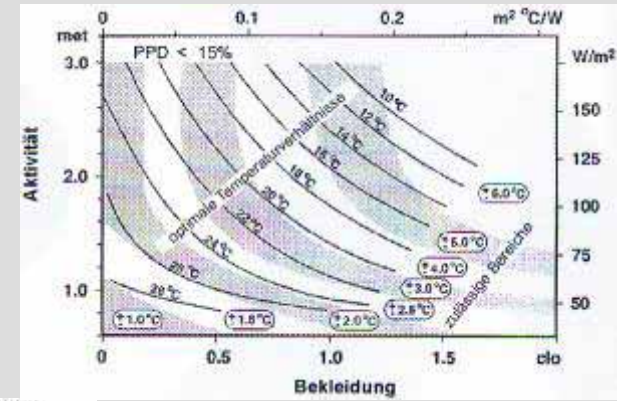
Quelle: OENORM EN ISO 7730

ISO 7730:2005 – Behaglichkeitsklassen A, B und C

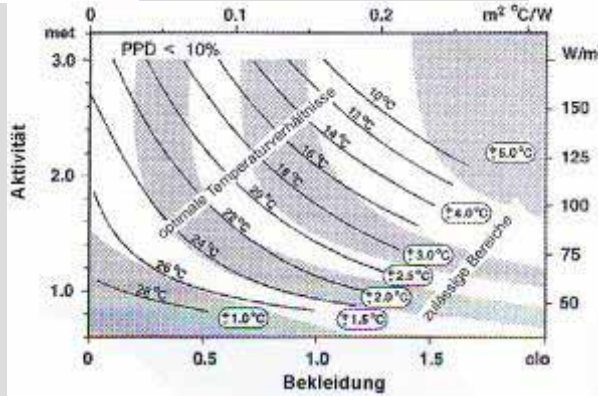
1.1.19



Klasse A



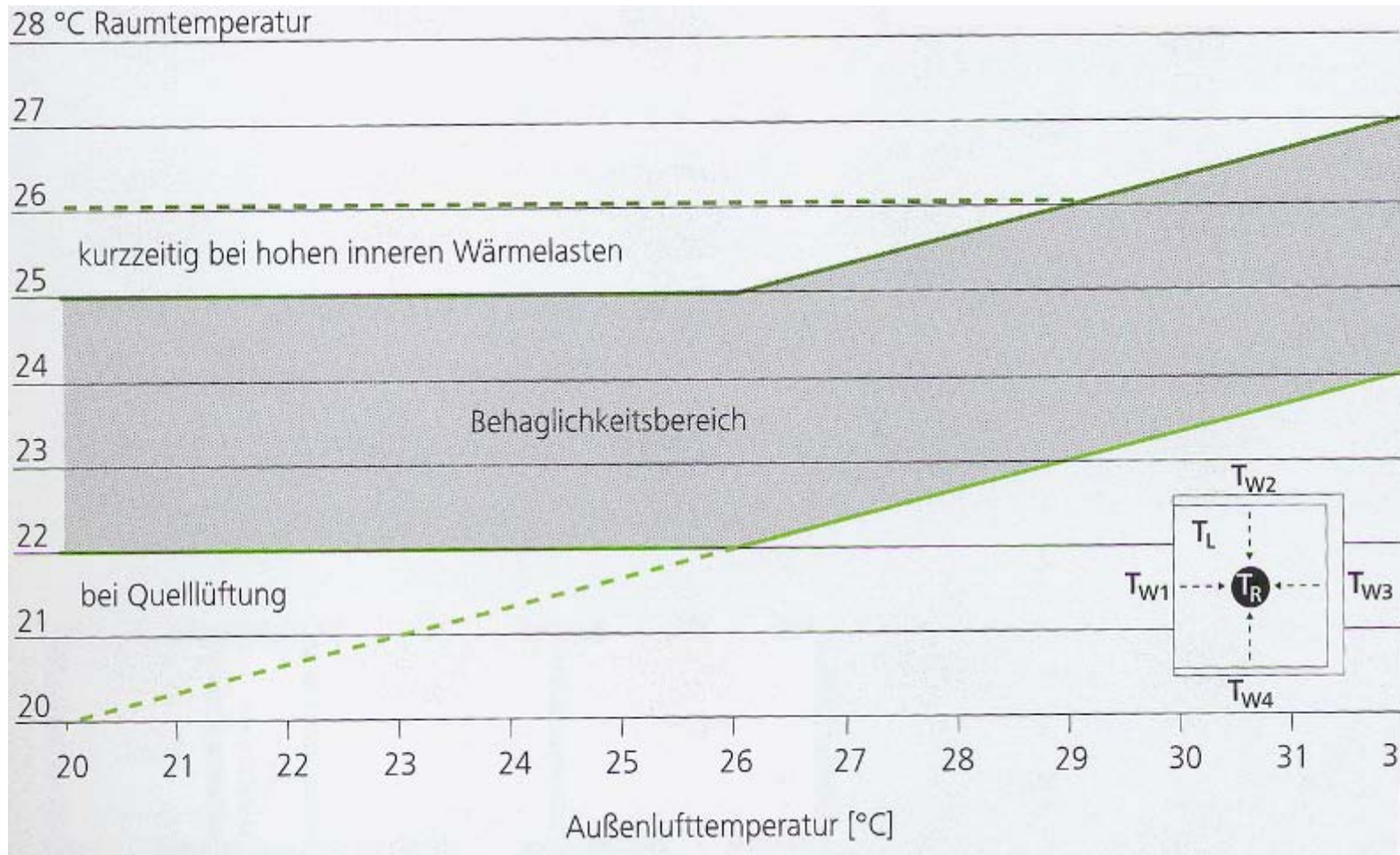
Klasse C



Klasse B

Quelle: OENORM EN ISO 7730:2005

operative Temperaturen – Sommeranforderungen nach DIN 1946, T.2 1.1.20



Quelle: DIN 1946: 1994, Teil 2, grafische Darstellung nach:

K. Voss: Wohlfühlen – Thermische Behaglichkeit, in: Bürogebäude mit Zukunft, TÜV-Verlag, Köln 2005

gute Sommerbehaglichkeit - Essentials

1.1.21

1. Besserer Wärmeschutz kann die Sommerbehaglichkeit verbessern
2. bewusste oder mechanisierte Fensterlüftungssysteme (Nachtlüftung, Querlüftung) sind sehr wirksam
3. Fenstergröße, -orientierung und Qualität ist von hoher Bedeutung
4. außenliegende Verschattungsmaßnahmen – starr oder (besser) beweglich
5. Nutzerverhalten – Reduktion interner Wärmequellen (PC, Elektrogeräte...)
6. Gebäude mit höherer inneren Massen sind i.d.R. etwas leichter kühl zu halten
7. mechan. Lüftung im Sommer ohne WRG, aber evtl. mit Erdreichtauscher
8. effiziente aktive Kühlsysteme, wenn rein passive Konzepte nicht ausreichen



Quellen: Passivhaus Institut, Energieinstitut Vorarlberg

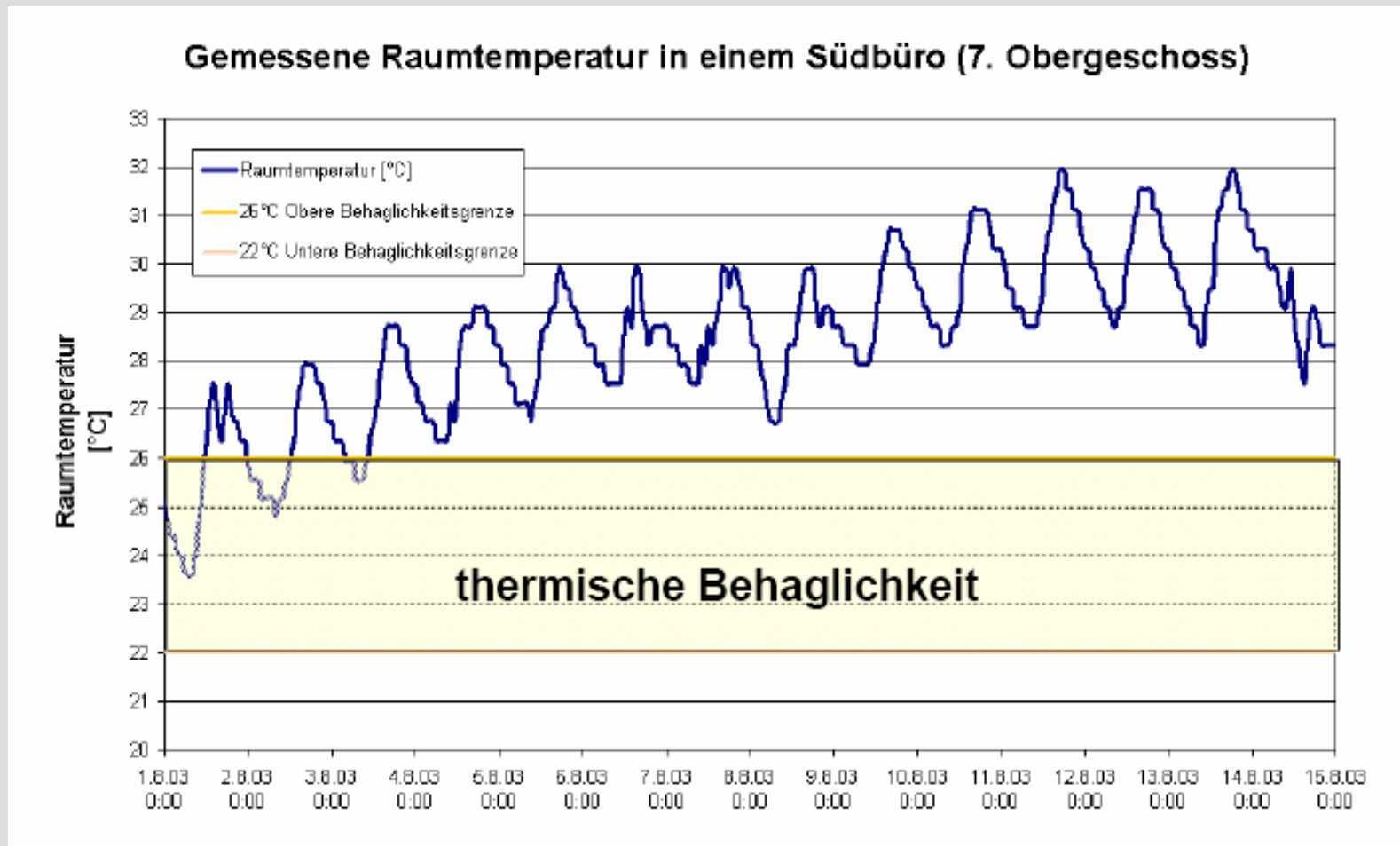
Optimierung der Sommerbehaglichkeit

1.1.22

- Berechnung nach ÖNORM B 8110, Teil 3
- PHPP Überhitzungsblatt
- dynamische Gebäudesimulation

Sommerbehaglichkeit

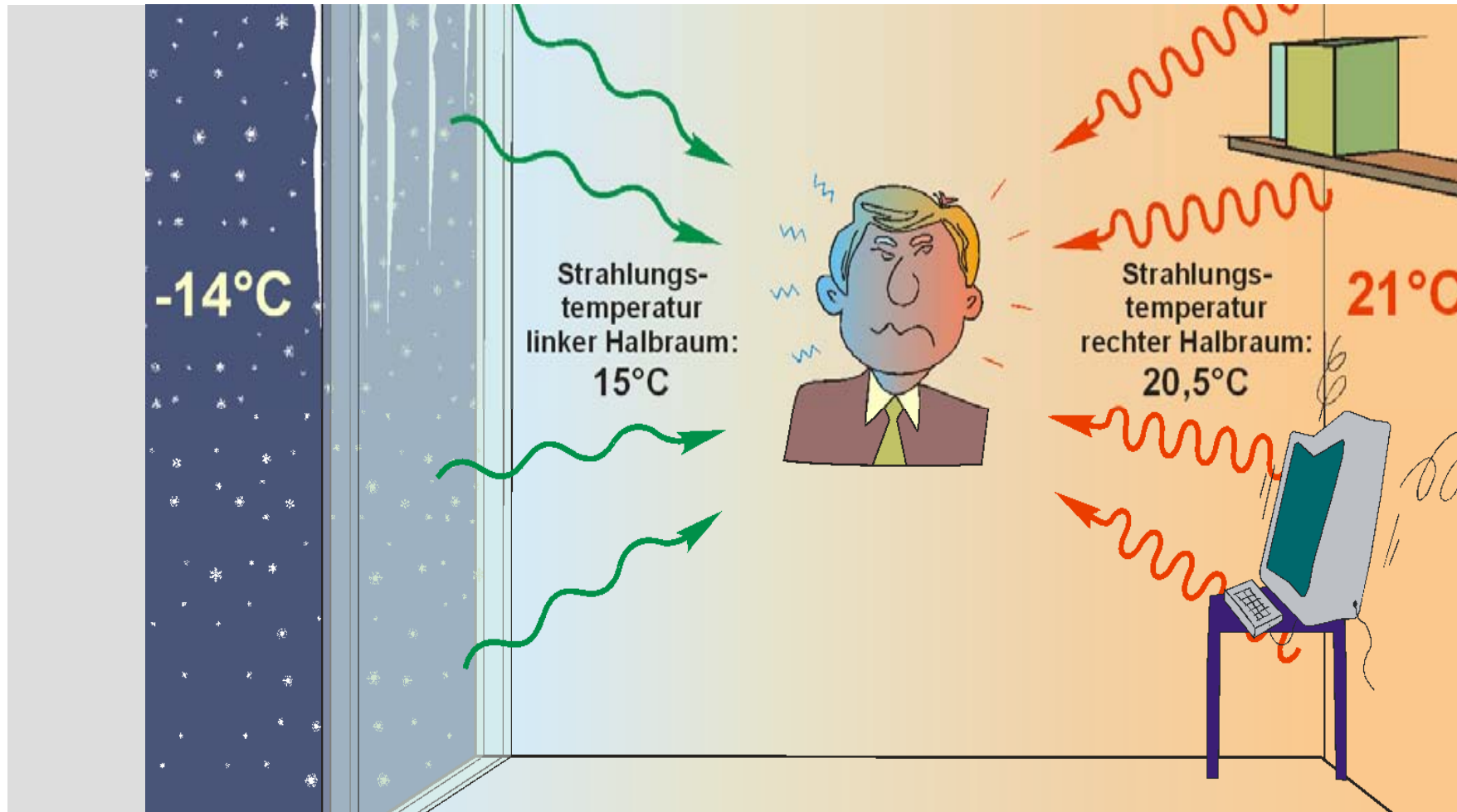
1.1.23



Quelle: E. Blümel, AEE Intec: Coolsan, Gleisdorf, 2005

Strahlungstemperatur - Asymmetrie

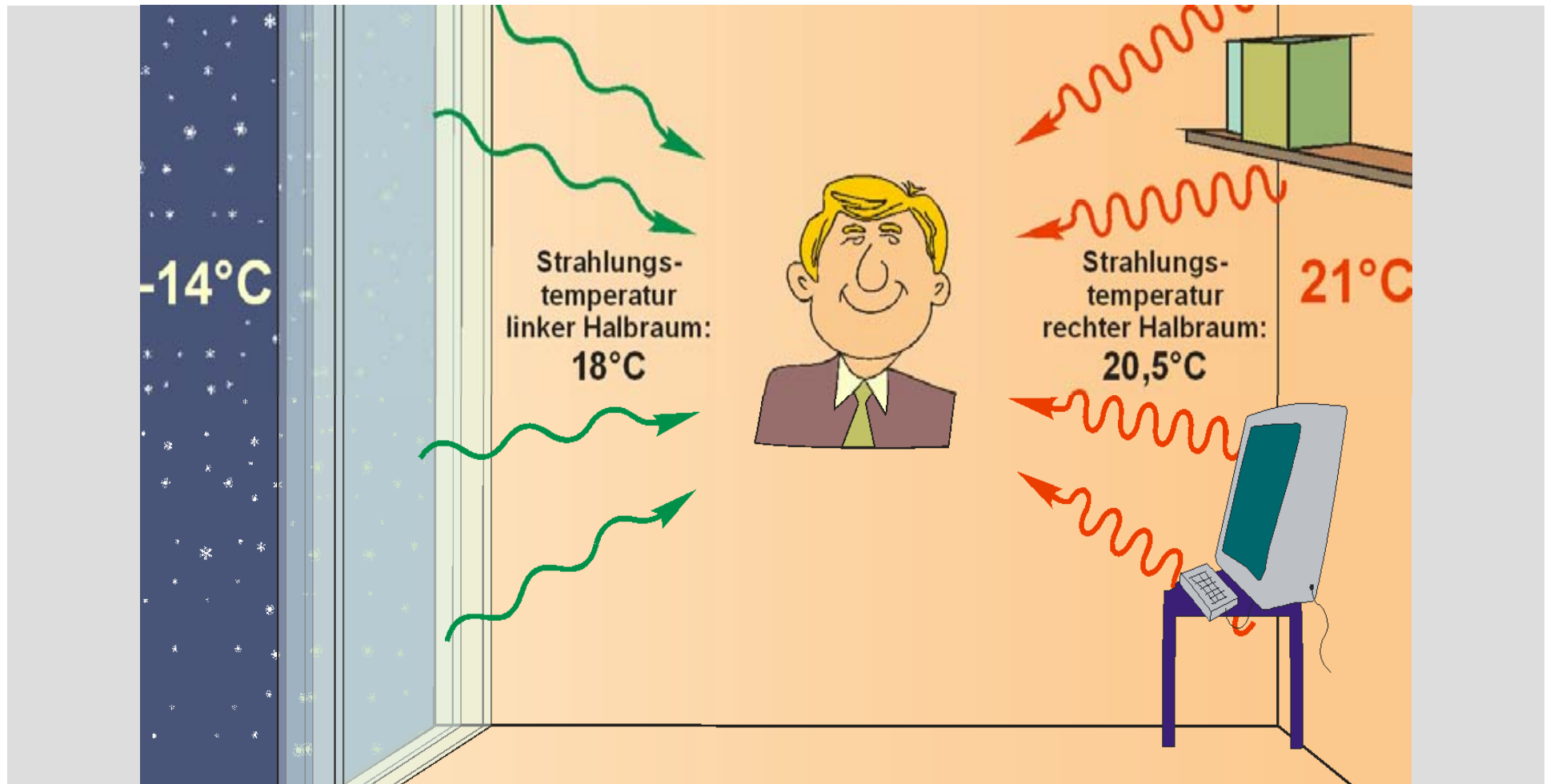
1.1.24



Quelle: Passivhaus Institut

Strahlungstemperatur - Asymmetrie

1.1.25

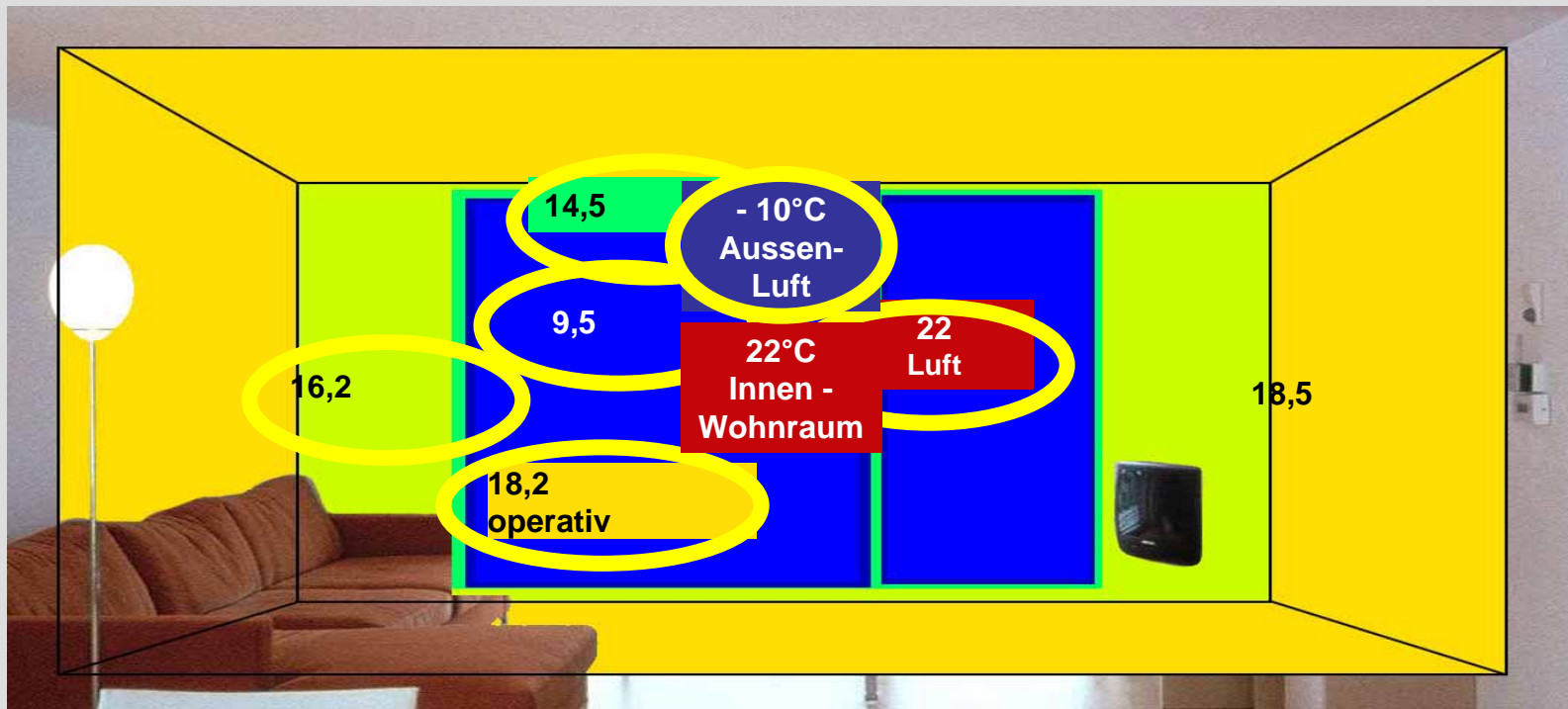


Quelle: Passivhaus Institut

Strahlungstemperatur - Asymmetrie

1.1.26

Altbau



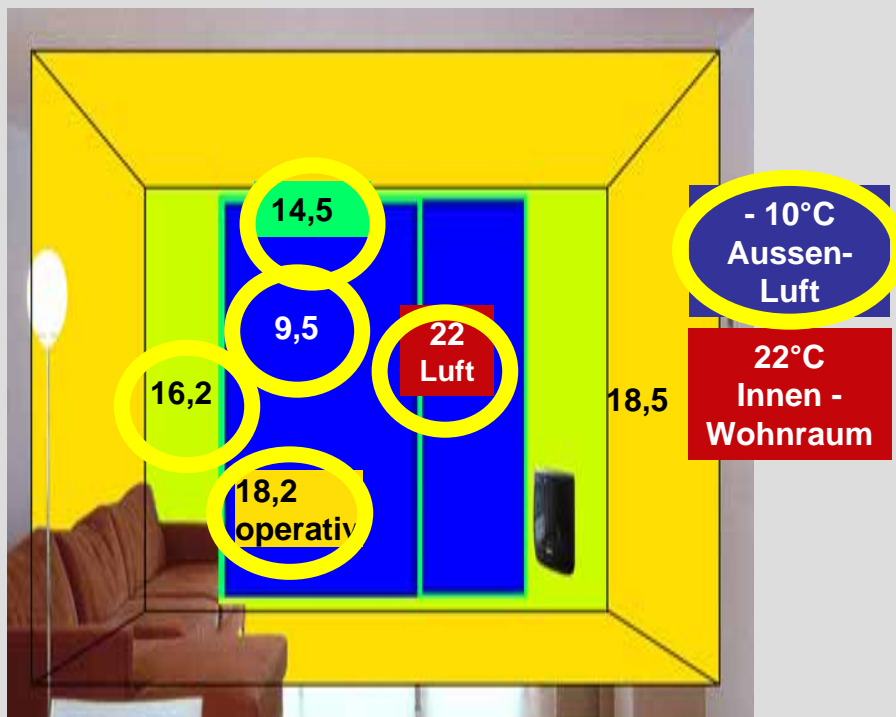
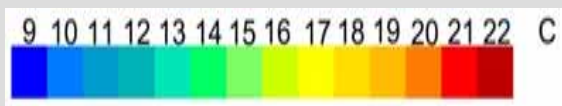
Quelle: H. Krapmeier, Energieinstitut Vorarlberg

Strahlungstemperatur - Asymmetrie

1.1.27

Altbau

Passivhaus

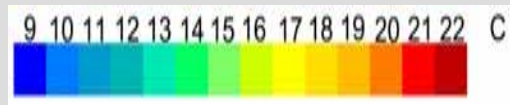


Quelle: H. Krapmeier, Energieinstitut Vorarlberg

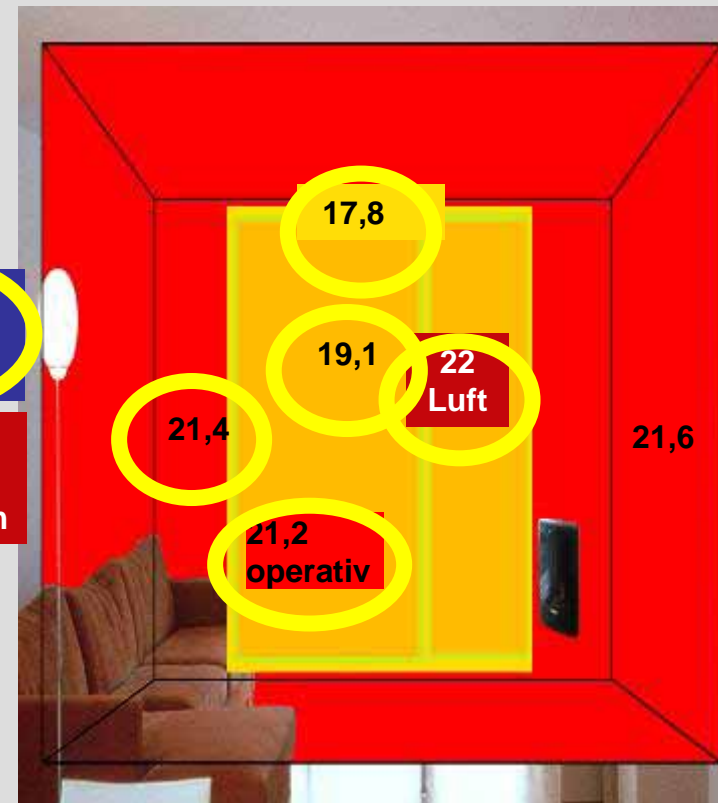
Strahlungstemperatur - Asymmetrie

1.1.28

Altbau



Passivhaus



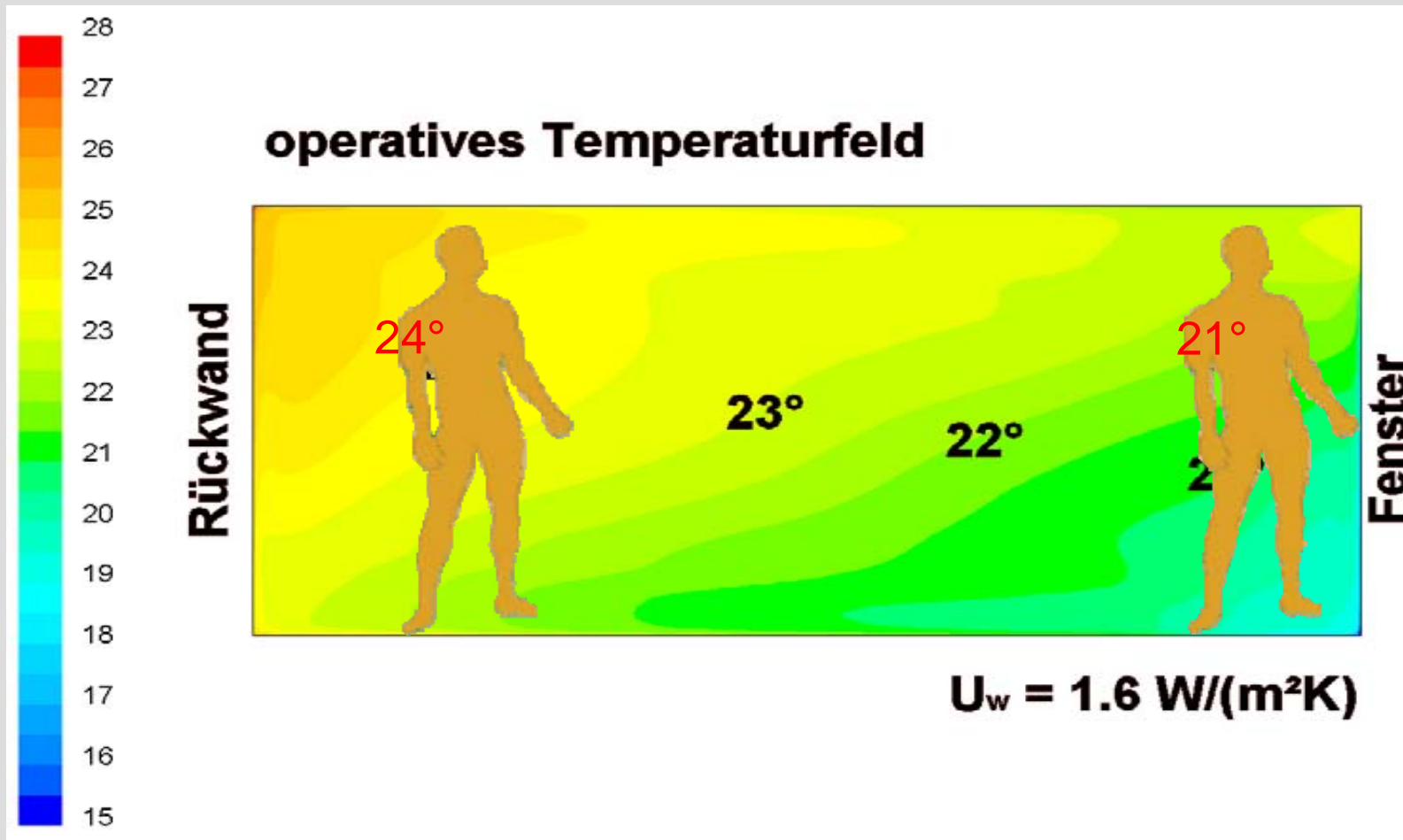
- 10°C
Aussen-
Luft

22°C
Innen -
Wohnraum

Quelle: H. Krapmeier, Energieinstitut Vorarlberg

Operatives Temperaturfeld

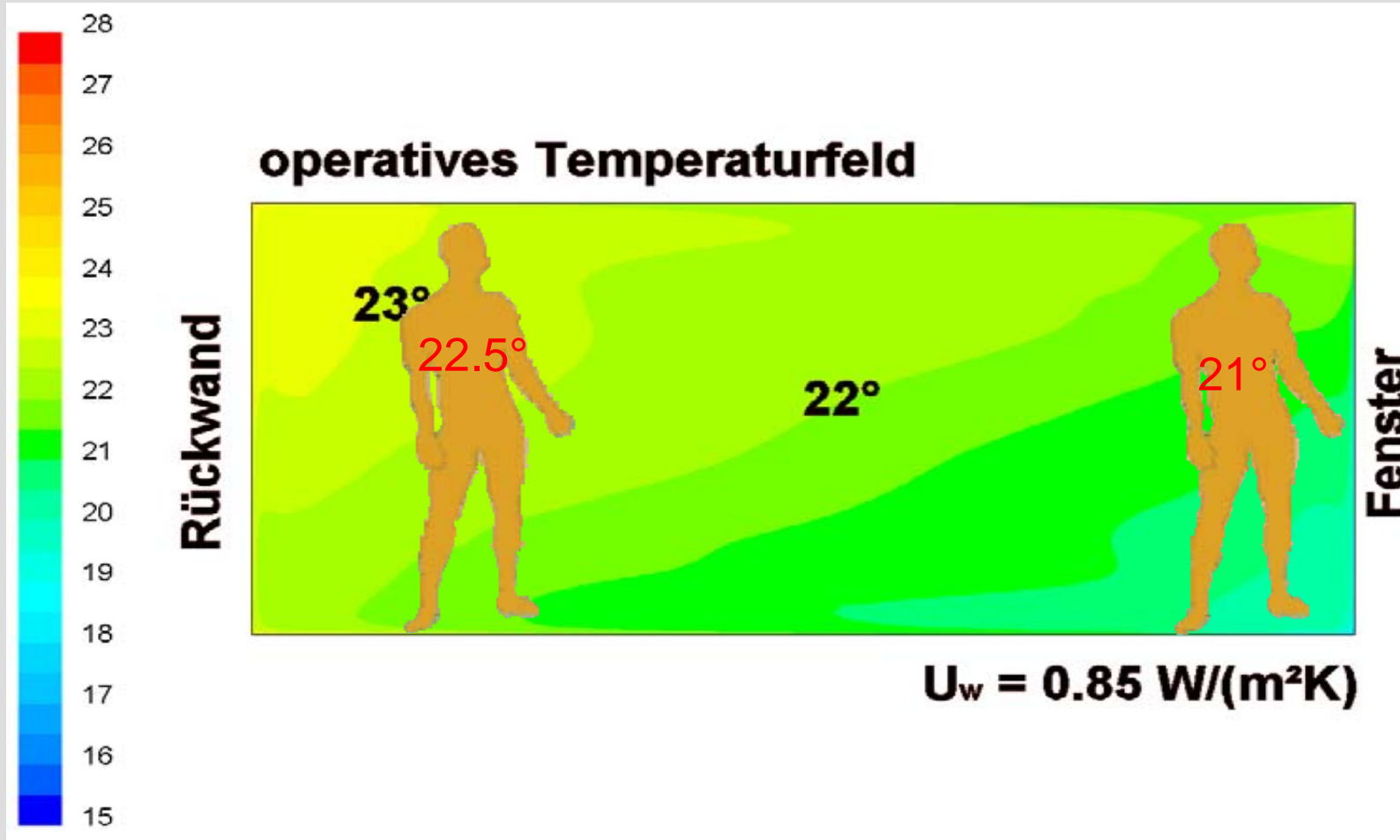
1.1.29



Quelle: W. Feist: Anforderungen zur thermischen Behaglichkeit in Passivhäusern, in: AKkPH; Band Nr. 25

Operatives Temperaturfeld

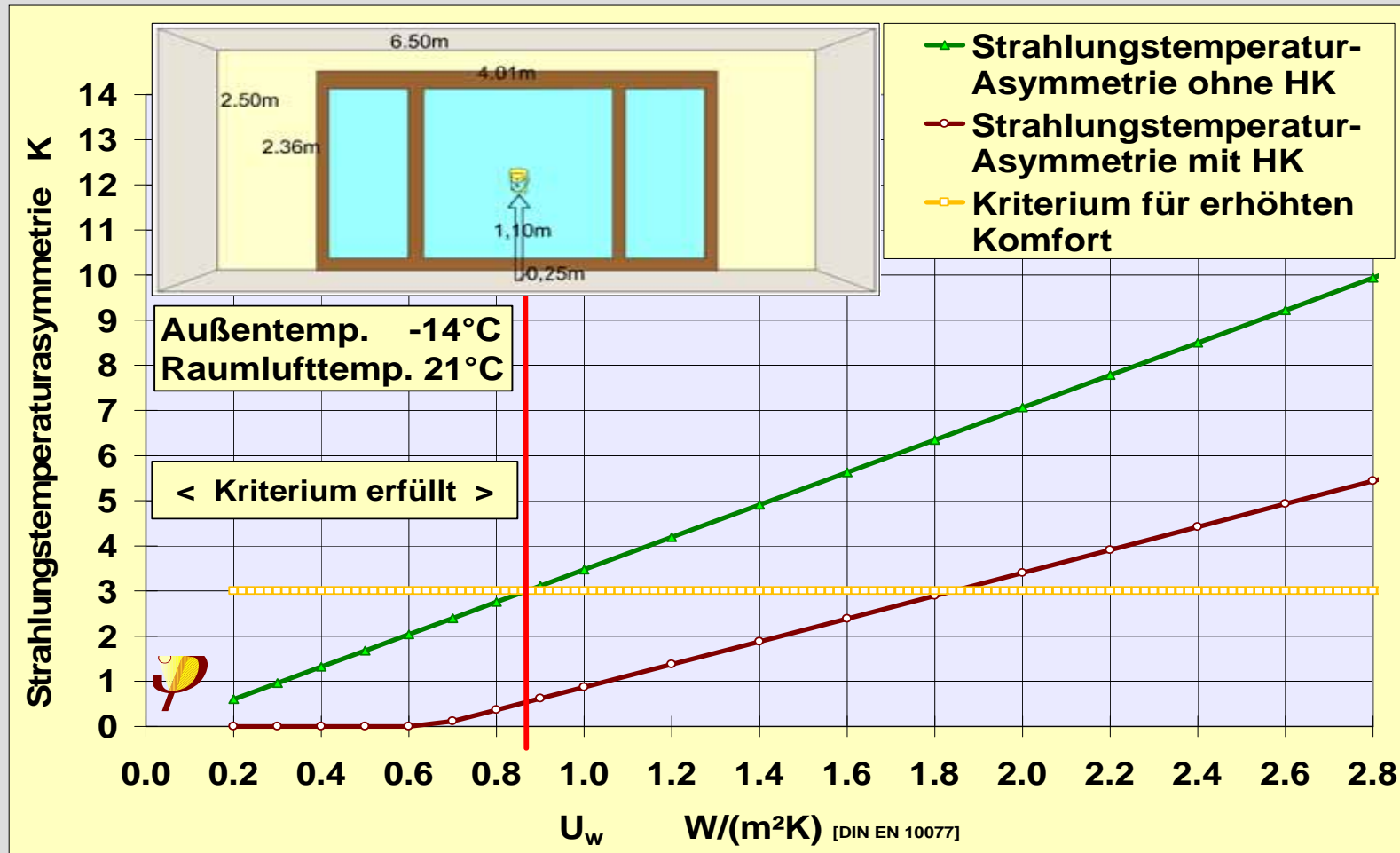
1.1.30



Quelle: W. Feist: Anforderungen zur thermischen Behaglichkeit in Passivhäusern, in: AKKPH; Band Nr. 25

Strahlungstemperatur - Asymmetrie

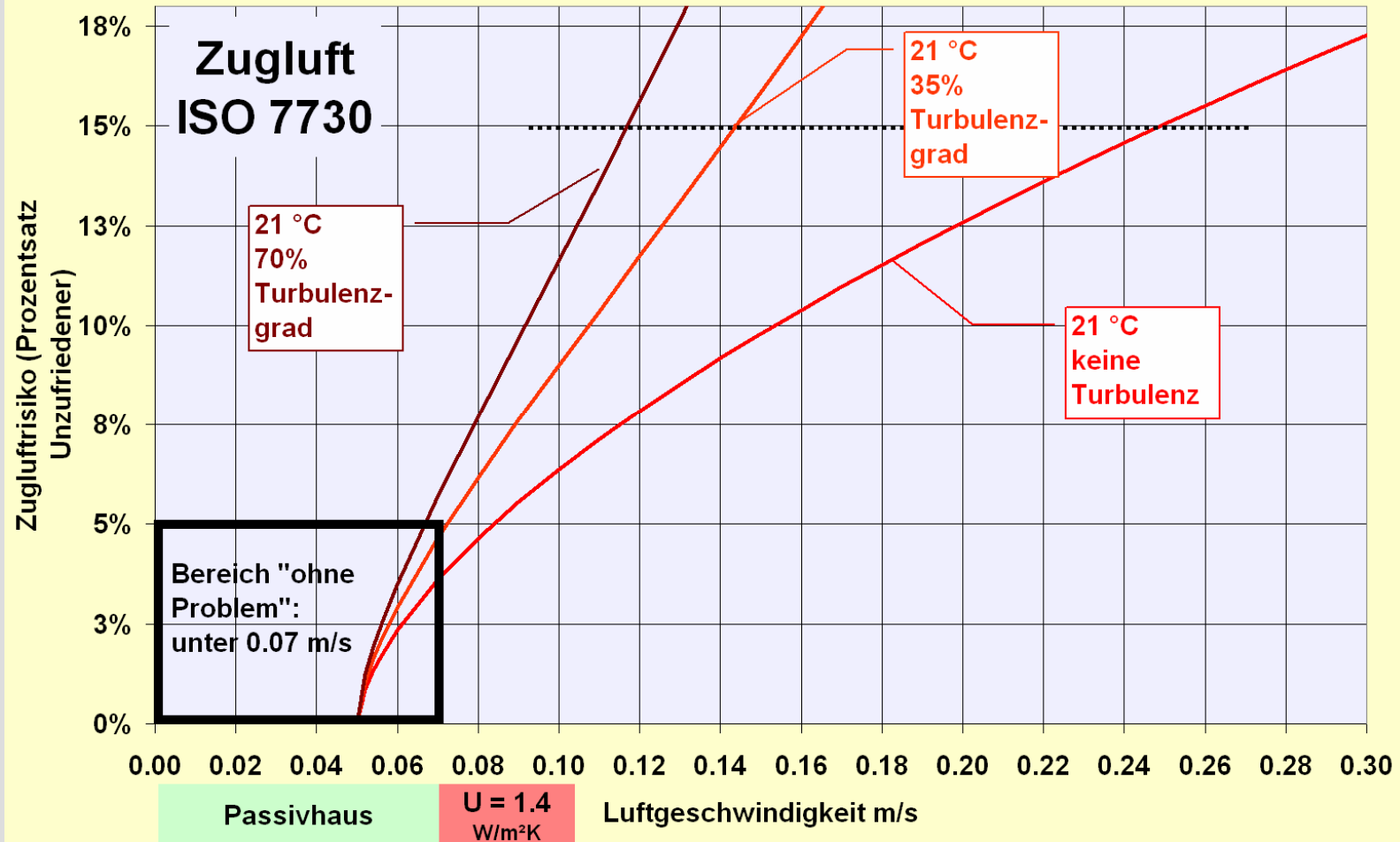
1.1.31



Quelle: Passivhaus Institut

Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Behaglichkeit

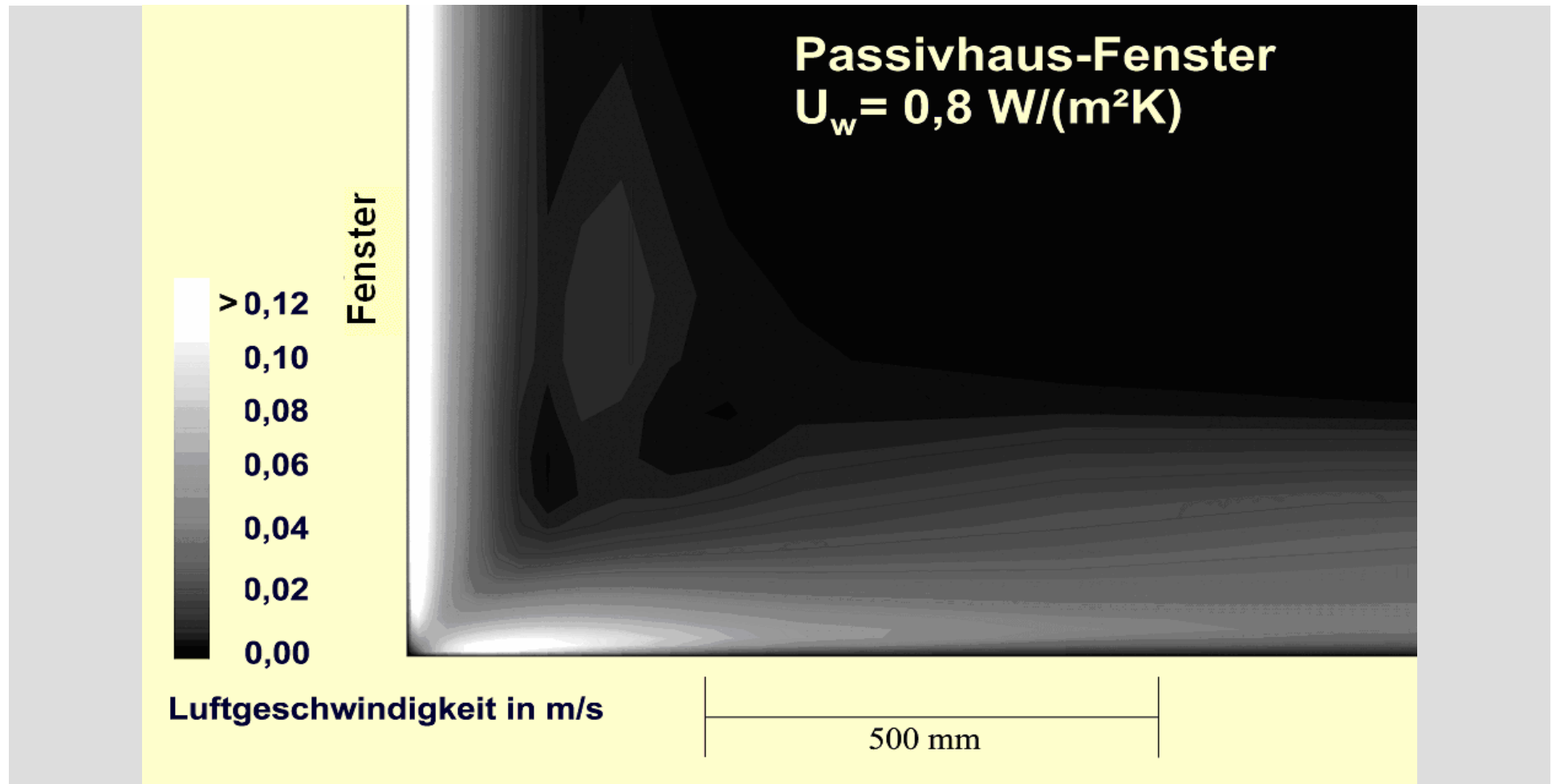
1.1.32



Quelle: W. Feist: Anforderungen zur thermischen Behaglichkeit in Passivhäusern, in: AKKPH; Band Nr. 25

Luftgeschwindigkeiten an Passivhaus Fenstern

1.1.33

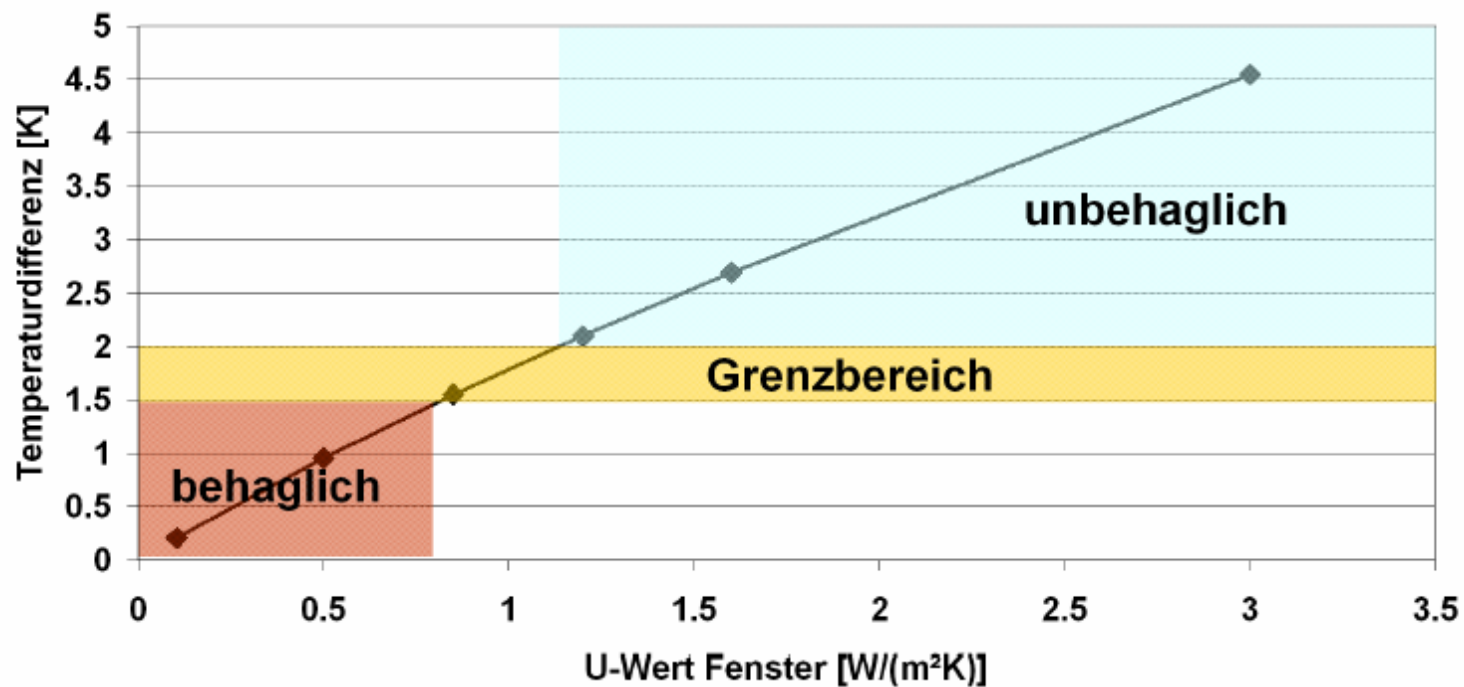


Quelle: W. Feist: Anforderungen zur thermischen Behaglichkeit in Passivhäusern, in: AKkPH; Band Nr. 25

Vertikale Temperaturunterschiede am Fenster

1.1.34

2,10 m hohes Fenster mit verschiedenen U-Werten

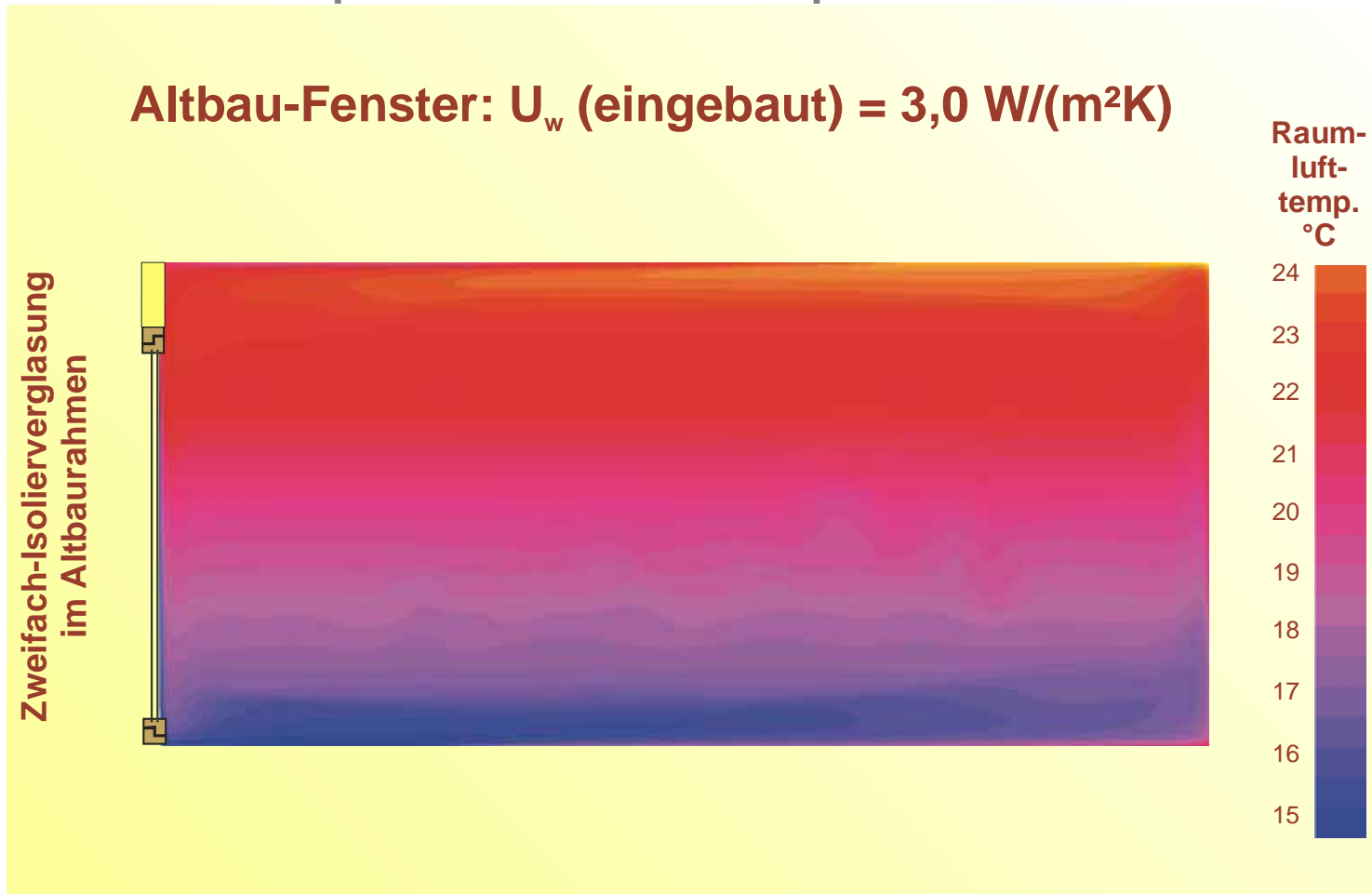


◆ Temperaturdifferenz zwischen 0,1 und 1,1 m Höhe 0,5 m vor dem Fenster

Quelle: R. Pfluger et al: HIWIN- Hochwärmedämmende Fenstersysteme, Teilbericht Passivhausinstitut, PHI, 2003

Vertikaler Temperaturunterschied Kopf / Fußknöchel

1.1.35



Quelle: Passivhaus Institut

Vertikaler Temperaturunterschied Kopf / Fußknöchel

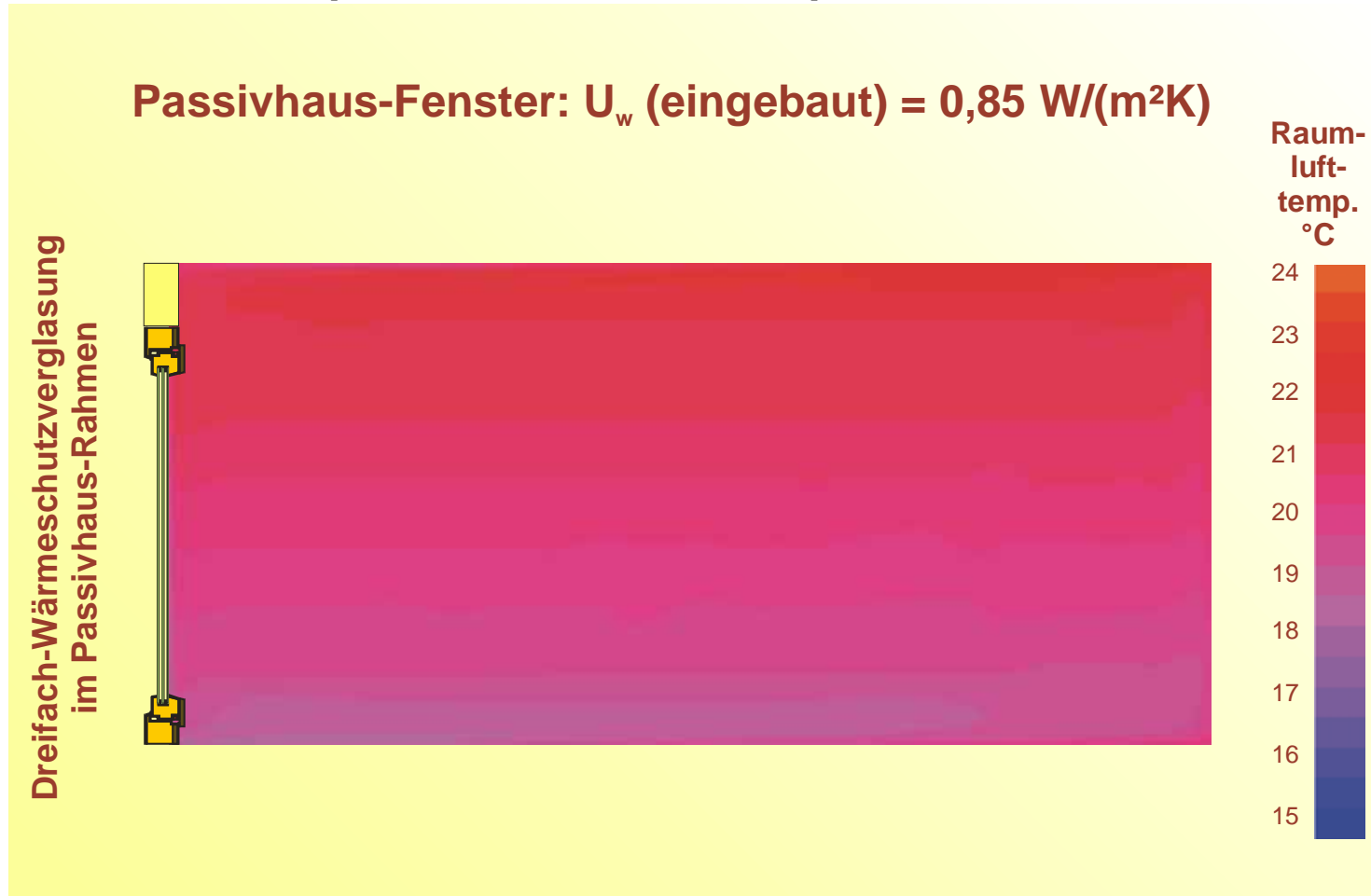
1.1.36



Quelle: Passivhaus Institut

Vertikaler Temperaturunterschied Kopf / Fußknöchel

1.1.37



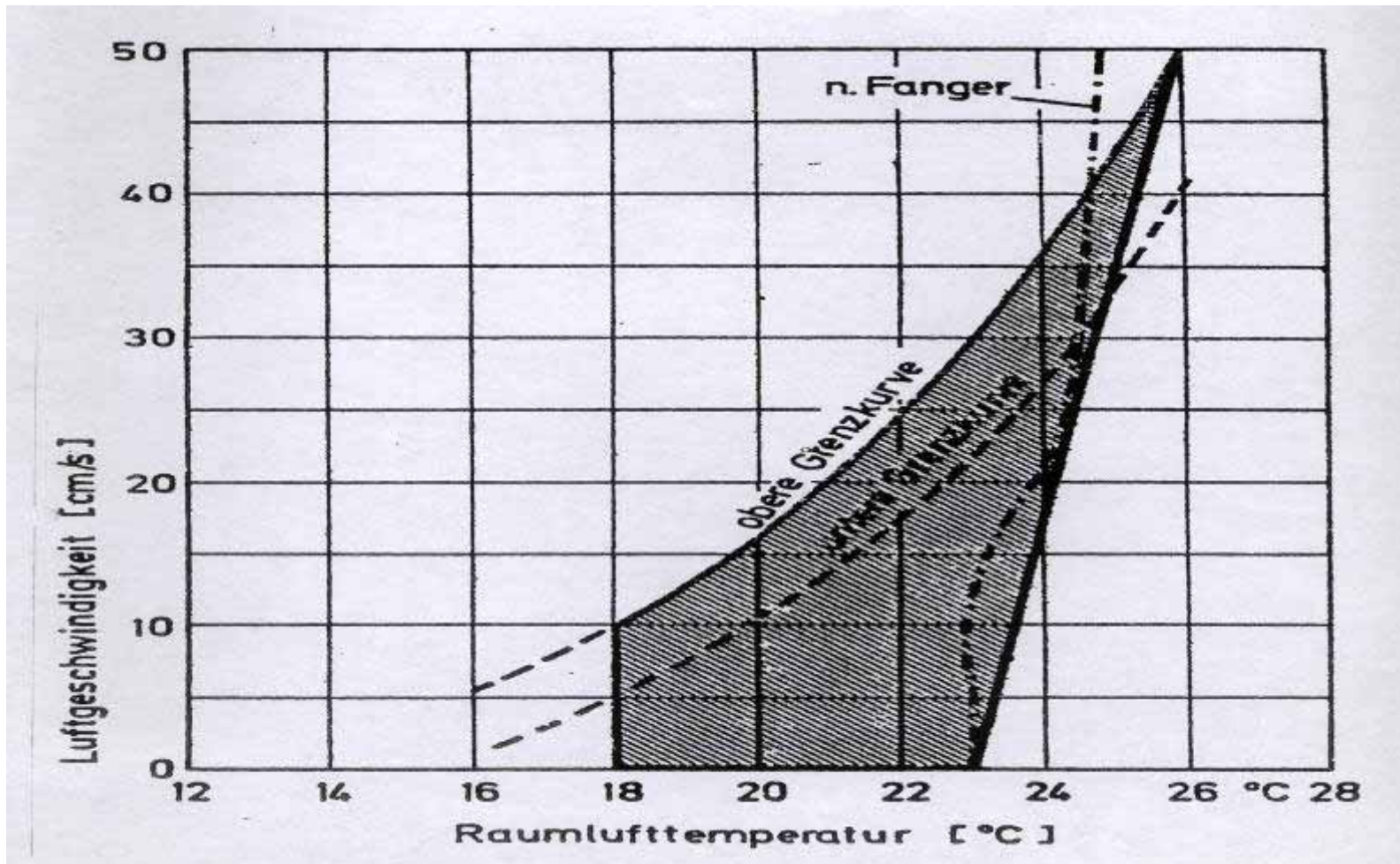
Quelle: Passivhaus Institut



Quelle: PH-Wohnanlage, Arch. W. Unterrainer

Behaglichkeitsfeld: Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit

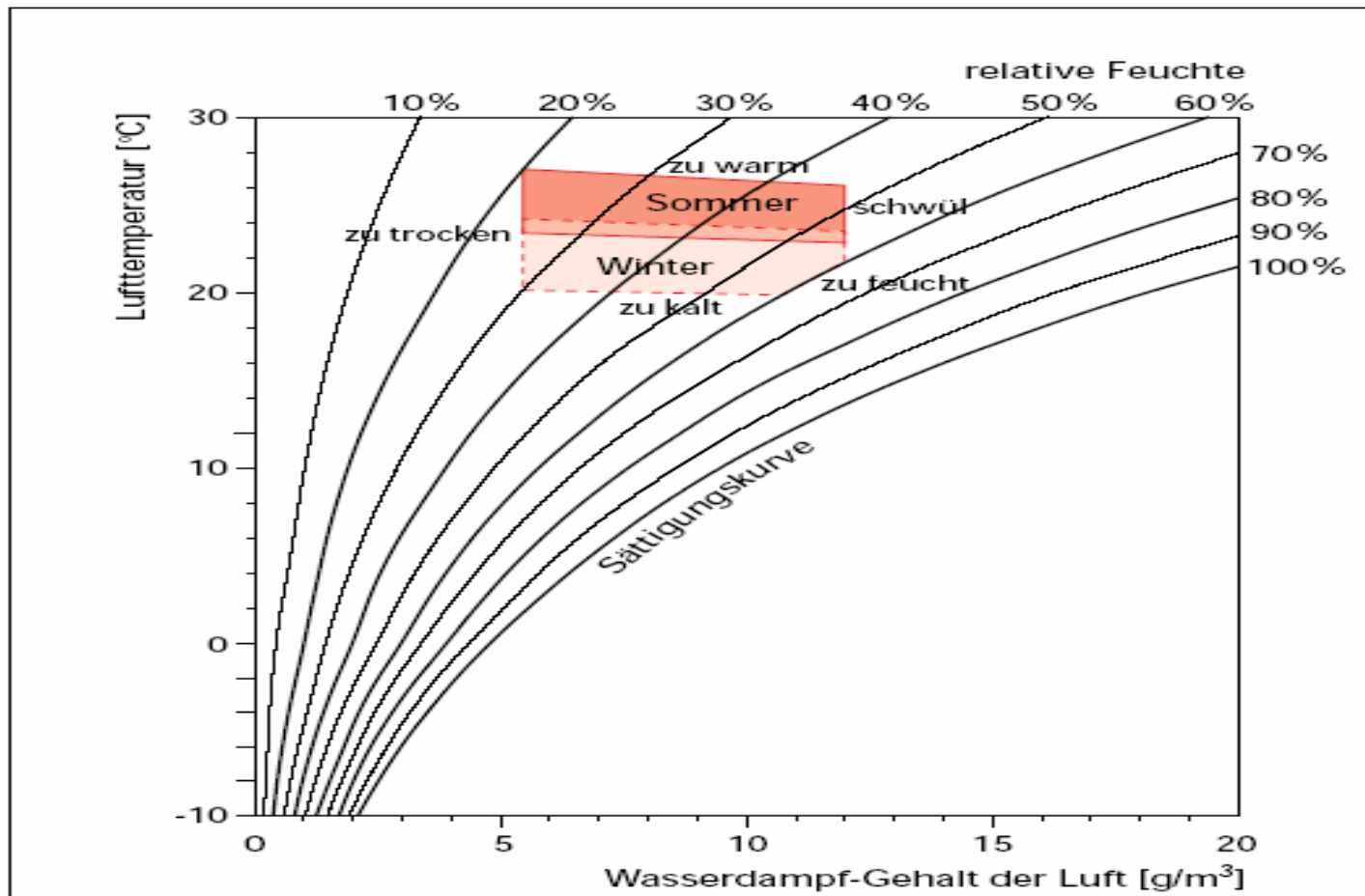
1.1.39



Quelle: W. Frank: Raumklima und thermische Behaglichkeit, W. Ernst Verlag, Berlin, München, Düsseldorf, 1975

Behaglichkeitsfeld: Lufttemperatur und relative Feuchte

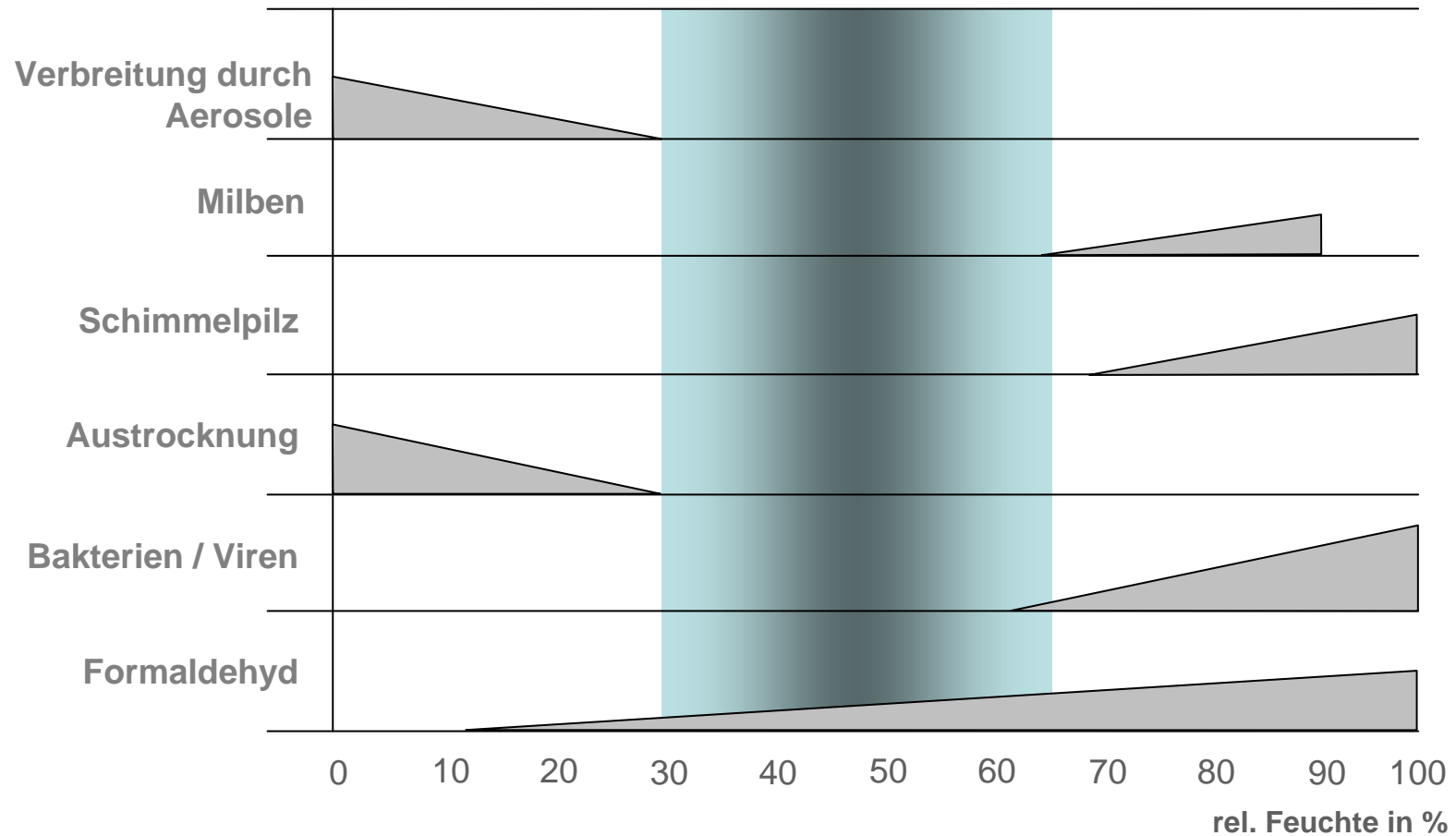
1.1.40



Quellen: OENORM EN ISO 7730; Fanger

Behaglichkeitsfeld der relativen Feuchte

1.1.41

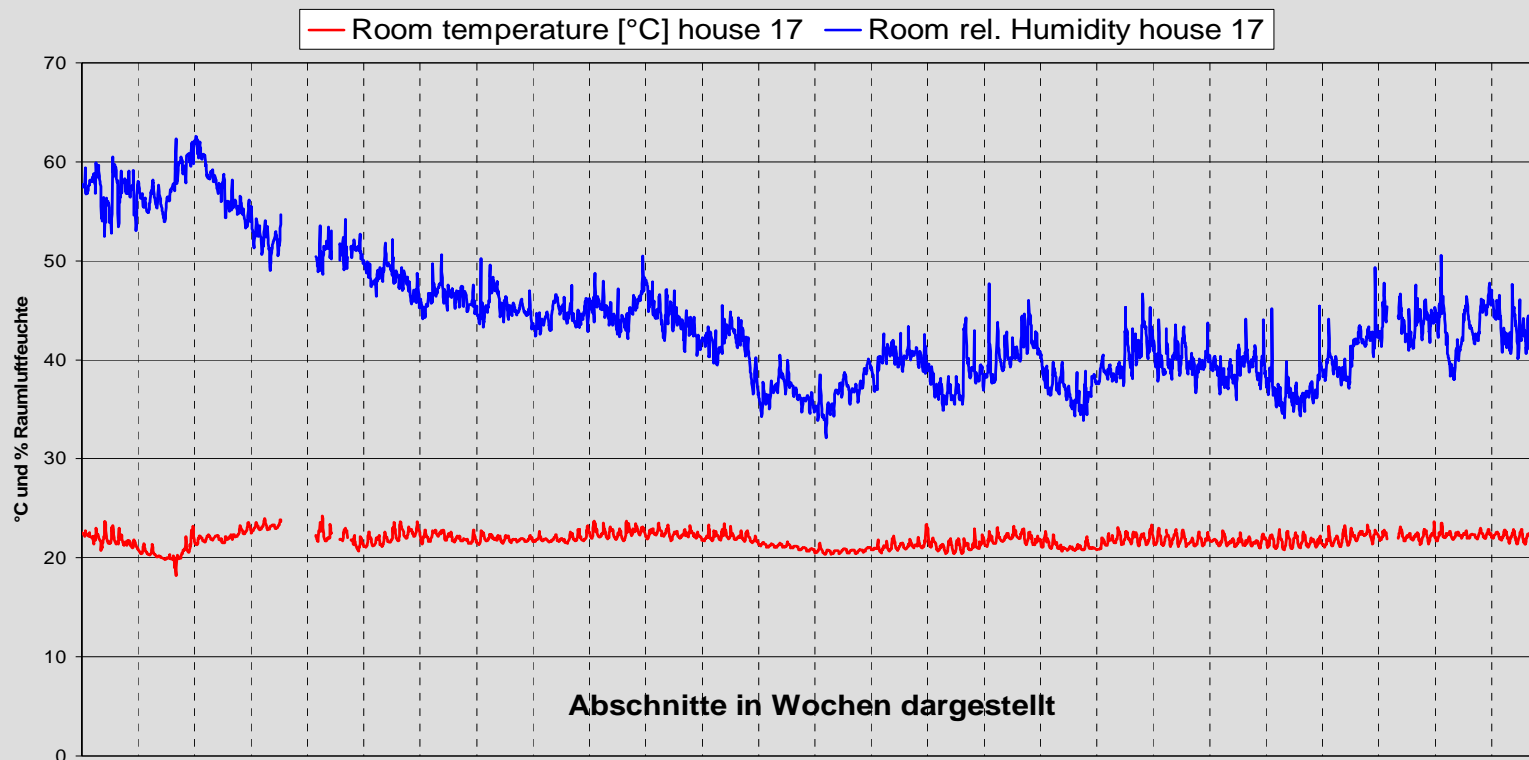


Quelle: R. Lazzarin: Just a drop of water, Carel S.p.A., Ausschnitte in Refrigeration world, June 04 and Sep 04

Messwerte Raumlufttemperatur und rel. Feuchte PH Wolfurt

1.1.42

PH Wolfurt Heizperiode 2000/2001 Raumtemperaturen und rel.
Raumlufffeuchte 1.10.2000 bis 31.03.2001
Zeitschritt: 60 Minuten Mittelwerte



Quelle: Cepheus

absolute und relative Luftfeuchte

1.1.43



Quelle: Helmut Krapmeier, Quelle: Energieinstitut Vorarlberg

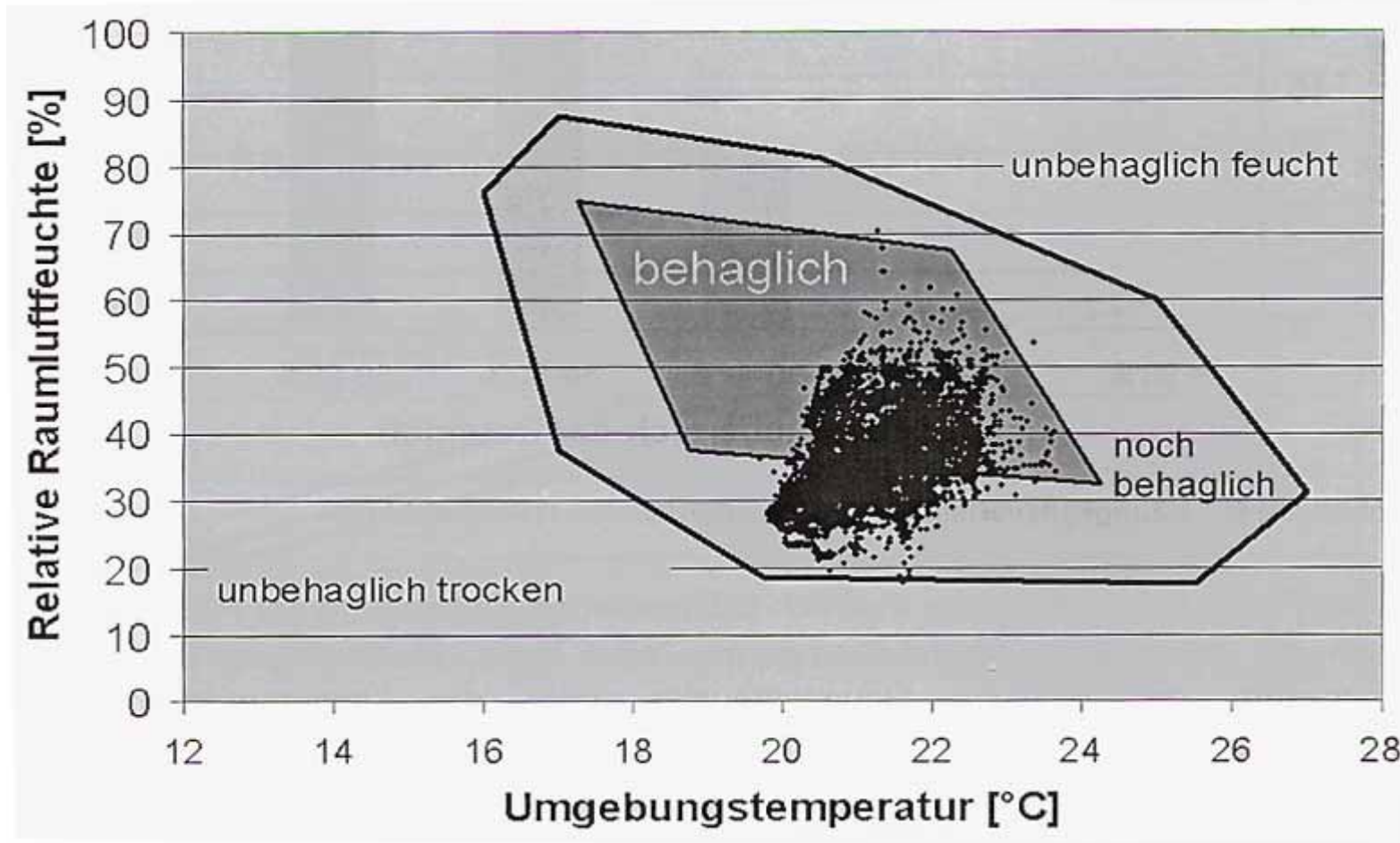
absolute und relative Luftfeuchte

1.1.44



Quelle: Helmut Krapmeier, Quelle: Energieinstitut Vorarlberg

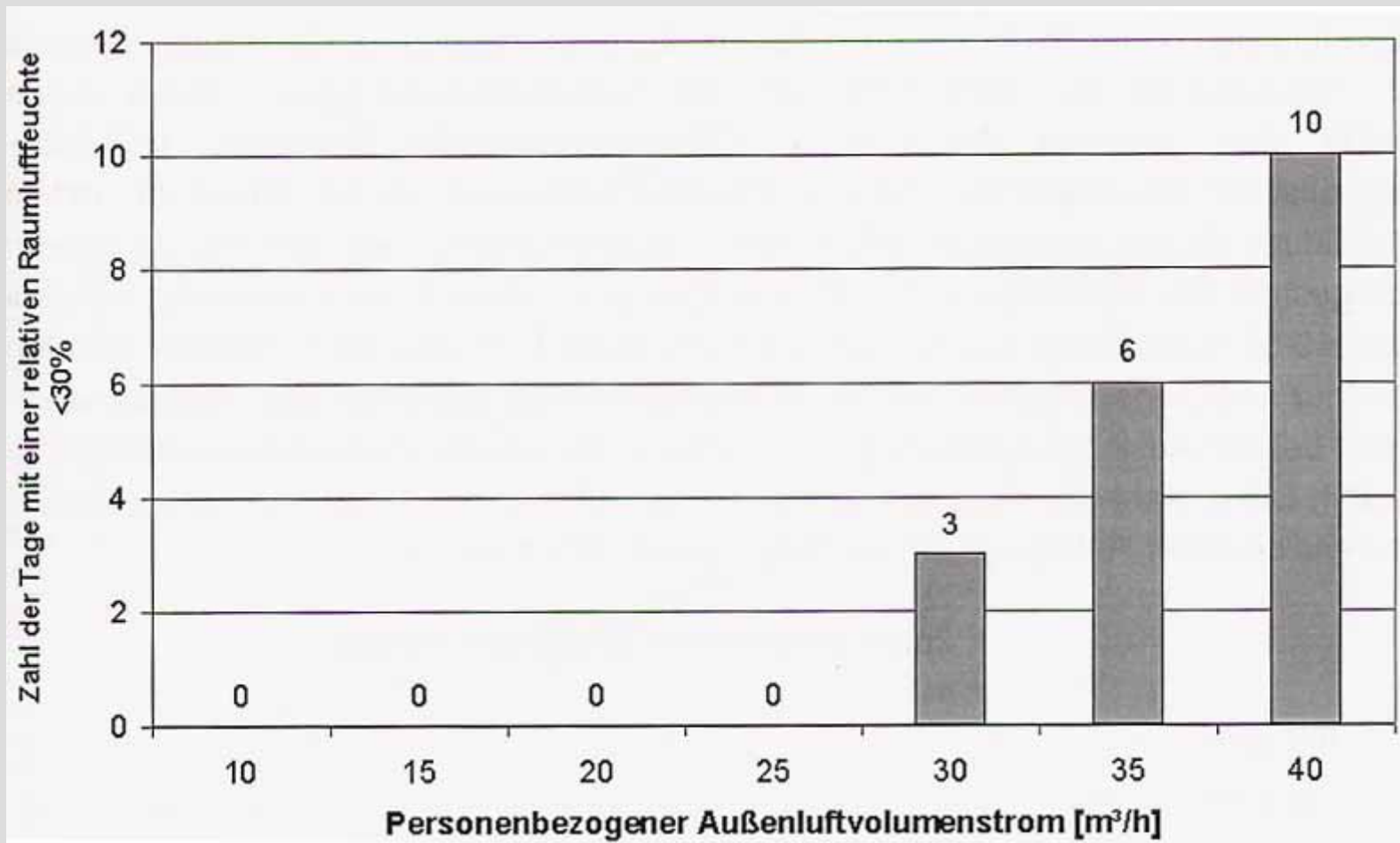
Messwerte der relativen Raumlufffeuchte – PH Kassel Marbachshöhe 1.1.45



Quelle: R. Pfluger: Lufthygiene im Passivhaus, in: AKKPH; Protokollband Nr. 23, Passivhaus Institut, Darmstadt 2003

Einfluss des Außenvolumenstroms auf die relative Feuchte

1.1.46



Quelle: R. Pfluger: Lufthygiene im Passivhaus, in: AkkP, Protokollband Nr. 23, Passivhaus Institut, 2003

Behaglichkeitsanforderungen für Passivhäuser

1.1.47

operative Temperatur

- Schwankungsbreite max. $\pm 0,8\text{K}$ um die gewünschte operative Temperatur dies entspricht ASHRAE Class A und prEN ISO 7730:2003

Zugluftrisiko

- max. $0,08\text{ m/s}$ im Winter, max. $0,10\text{ m/s}$ im Sommer

Strahlungstemperatur-Asymmetrie Decke / Boden:

- maximal 5 K

Vertikaler Temperaturunterschied Kopf / Fußknöchel für sitzende Person:

- maximal 2 K

absolute Luftfeuchtigkeit (relevant für den Sommerfall)

- maximal $11,5\text{g/kg}$

Zahl der Überhitzungsstunden (Stunden mit Raumlufttemperaturen über 25 bzw 26°C)

- maximal 10%

Temperatur der Zulufttemperatur

- minimal $16,5^\circ\text{C}$ bei Außenlufttemperatur von -10°C

Quelle: W. Feist: Anforderungen zur thermischen Behaglichkeit in Passivhäusern, in: AkkP, Protokollband Nr. 25

Bewertungsskala für die thermische Behaglichkeit

1.1.48

Bezeichnung	PMV-Wert	PPD-Wert
kalt	-3	99,1
kühl	-2	76,8
Etwas kühl	-1	26,1
neutral	0	5,0
Etwas warm	1	26,1
warm	2	76,8
heiß	3	99,1

Thermische Behaglichkeit ist „der Zustand, unter dem Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausgedrückt wird“.

Dieser Zustand wird in der Skala mit 0 oder neutral bewertet.

Voraussetzung ist ein Gleichgewicht zwischen der Wärmeproduktion des Körpers und seiner Wärmeabgabe an die Umgebung, ohne dass er dafür besondere Anpassungsleistungen „Thermo-Stress“ erbringen müsste.

PMV (=Predicted Mean Vote)

- Der PMV-Index gibt die zu erwartende durchschnittliche Bewertung der thermischen Behaglichkeit auf einer 7 stufigen Skala wieder

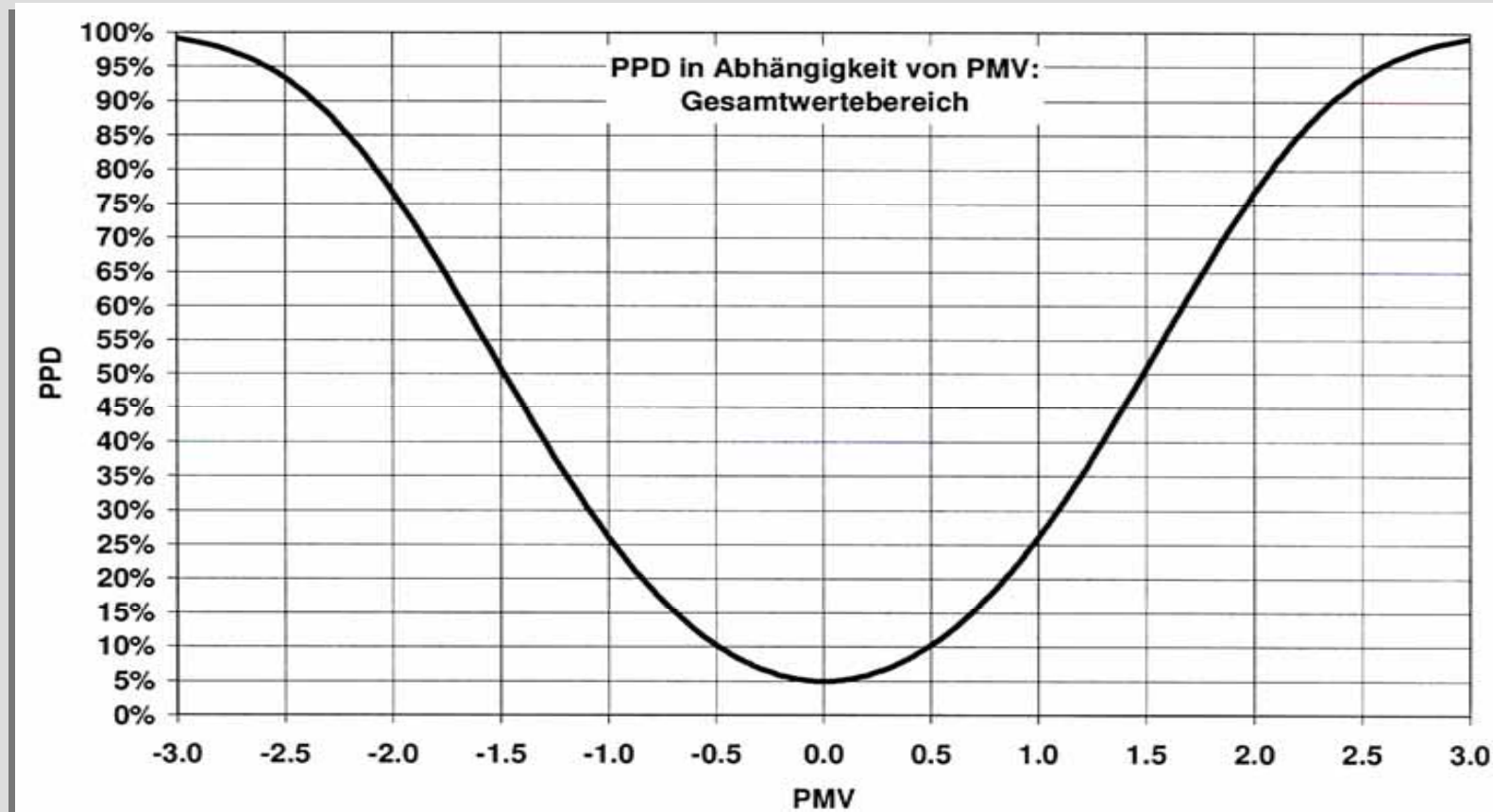
PPD (= Percentage of Persons Dissatisfied)

- Der PPD-Index bezeichnet den Prozentsatz der Personen, die mit der thermischen Behaglichkeit unzufrieden sind

Quelle: OENORM EN ISO 7730

PPD als Funktion des PMV

1.1.49



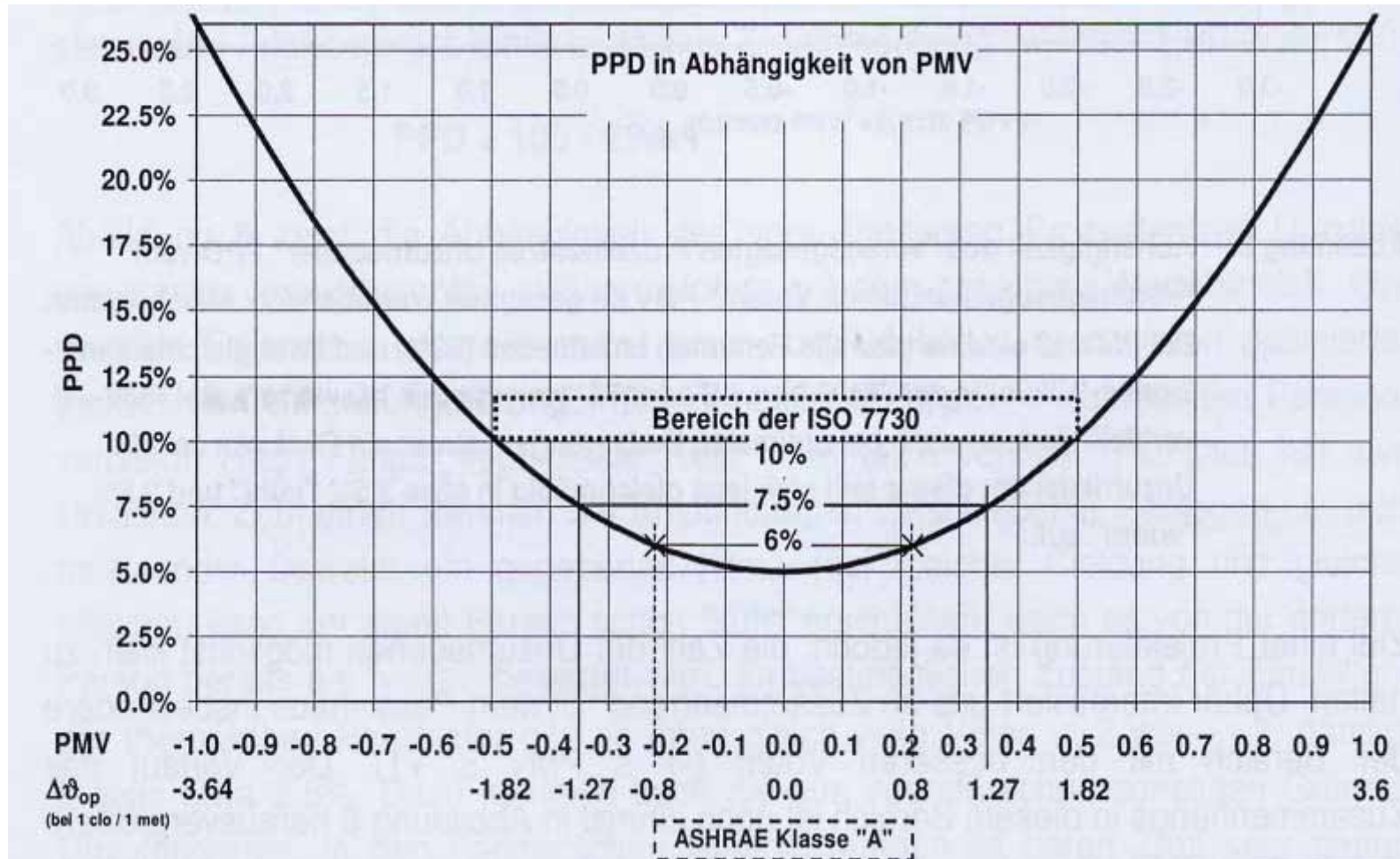
ppd: percentage of persons dissatisfied

pmv: predicted mean vote

Quelle: OENORM EN ISO 7730

Behaglichkeitsklassen nach ISO 7730 und ASHRAE Klasse A

1.1.50



Quellen: OENORM EN ISO 7730; ASHRAE 55-2003: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

Anforderungen nach EN ISO 7730: 2005

1.1.51

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale Unbehaglichkeit			
	Vorausgesetzter Prozentsatz an Unzufriedenen PPD %	Vorausgesetztes mittleres Votum PMV	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund von Zugluft DR %	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund vertikaler Lufttemperatur-unterschiede %	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund warmer oder kalter Fußböden %	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund von asymmetrischer Strahlung %
A	< 6	$-0,2 < PMV < 0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

Normen, Richtlinien, Quellen, weiterführende Literatur

1.1.52

Fanger, P.O.:

Thermal comfort; Robert E. Krieger Publishing Company; Malabar, Florida, 1992

Feist, Wolfgang

Anforderungen zur thermischen Behaglichkeit in Passivhäusern, in:
Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser; Protokollband Nr. 25; Passivhaus Institut
Darmstadt, 2004

OENORM EN ISO 7730 Ausgabe 2005

Ergonomie der thermischen Umgebung; Analytische Bestimmung und Interpretation
der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und
Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit; Beuth Verlag, Berlin, 2006

ASHRAE 55-2003

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE);
Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy; Third Public Review, May
2003

Arbeitnehmerschutzgesetz (ASchG)