

Thermische Behaglichkeit – neue Ergebnisse einer Probandenstudie zur Deckenheizung und -kühlung

Lars Schinke

Maximilian Beyer, Joachim Seifert

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

**Technische Universität Dresden
Institut für Energietechnik**



Berlin, 28./29. Januar 2021

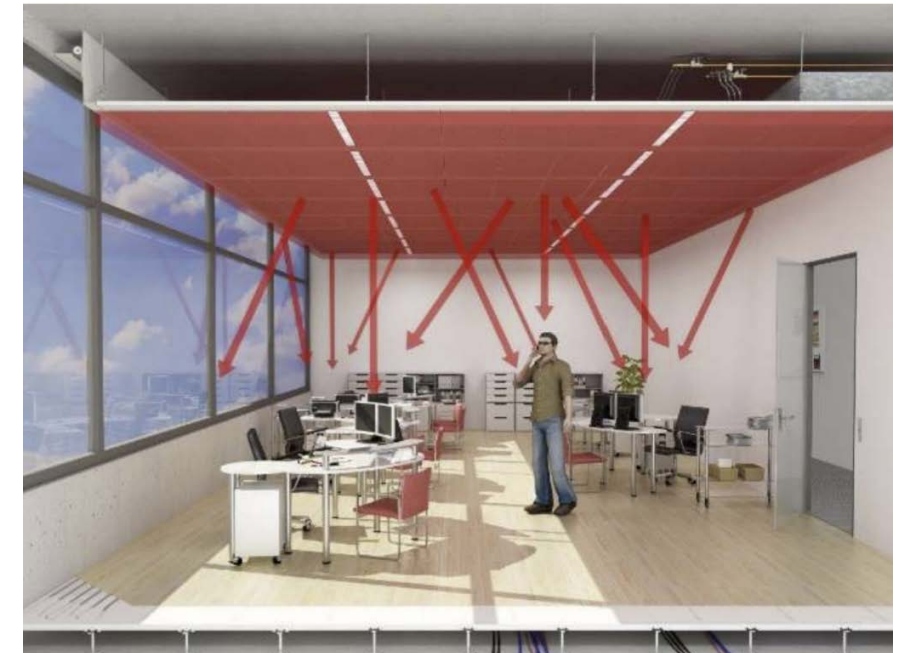
Motivation und Problemstellung

Motivation:

- steigende Anzahl an Anwendungsfällen für Flächenheiz- und -kühlsysteme (Sanierung, Wohn- und Bürogebäude)
- Nutzung geringer Vorlauftemperaturen ermöglicht Einsatz regenerativer Energiequellen (z.B. Wärmepumpe)
- ganzjährige Nutzung des Systems (Heizen und Kühlen)

Problemstellung:

- Deckung der Raumlasten beim Heizen und Kühlen
- Einhaltung der Behaglichkeitskriterien
 - global (PMV- und PPD-Index)
 - lokal (Strahlungsasymmetrie, Zuglufterscheinung, vertikaler Temperaturgradient)



Beispielhafter Einsatz einer Deckenheizung

Quelle: BVF Richtlinie 15.1 – Kühlen und Heizen
mit Deckensystemen: Grundlagen und Möglichkeiten

Versuchsdesign

Vorgehen:

- Messtechnische Untersuchungen im Klimaraum der TU Dresden
- Messung von physikalischen Größen und Zusammenhängen zum Probandenvotum

Randbedingungen:

- Lasttemperatur (Lastflächen und Zuluft) liegt 0,5 K außerhalb des Toleranzbereichs der ISO 7730
 - Kühlfall: Kategorie C (27,5 °C)
 - Heizfall: Kategorie B (19,5 °C)
- Kompensation der Last mit drei verschiedenen Deckentemperaturen
 - Bewertung durch Probanden für je 20 min
 - 5 min Pause außerhalb Klimaraum bei Wechsel der Deckentemperaturen
- Reihenfolge der Deckentemperaturen (auf-/absteigend) wird zufällig gewählt
- Bekleidung der Probanden
 - Kühlfall: Variation ($\text{clo}_{\text{high}} = 0,7 \text{ clo}$; $\text{clo}_{\text{mid}} = 0,5 \text{ clo}$; $\text{clo}_{\text{low}} = 0,3 \text{ clo}$)
 - Heizfall: konstant (ca. 0,95 clo)

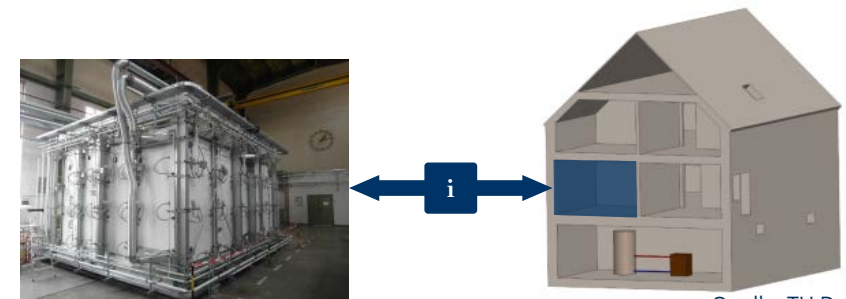
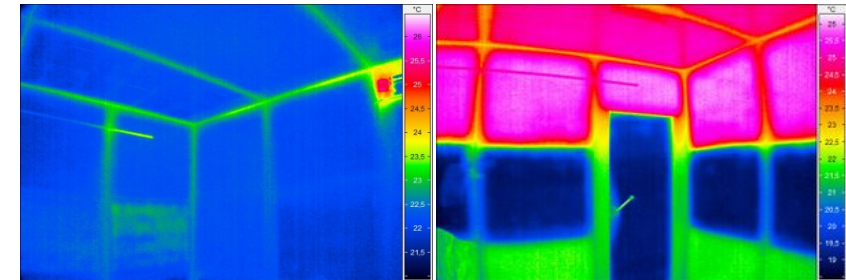


Untersuchungssituation im Klimaraum der TU Dresden

Quelle: TU Dresden

Klimaraum der TU Dresden, Institut für Energietechnik

- modularer Aufbau aus Flächenelementen
- Innenraummaße L x B x H: 5m x 4m x 2,5m
- Innenseite: metallisch, magnetisch, weiß
- wasserdurchströmte Elemente
- 73 temperierbare Innenflächen
- Oberflächentemperaturen $\vartheta_{OF} = 10 \dots 50^\circ\text{C}$
- Lüftungs- / Klimaanlage zur Raumluftkonditionierung
 $\varphi = 20 \dots 90\%$, $\vartheta_{ZU} = 10 \dots 35^\circ\text{C}$
- Luftvolumenstrom max. 600 m³/h
- Kopplung zwischen Klimaraum und Gebäude- und Anlagensimulation
- Teil des Combined Energy Lab 2.0



Quelle: TU Dresden

Versuchsdesign

- Deckenheizung:

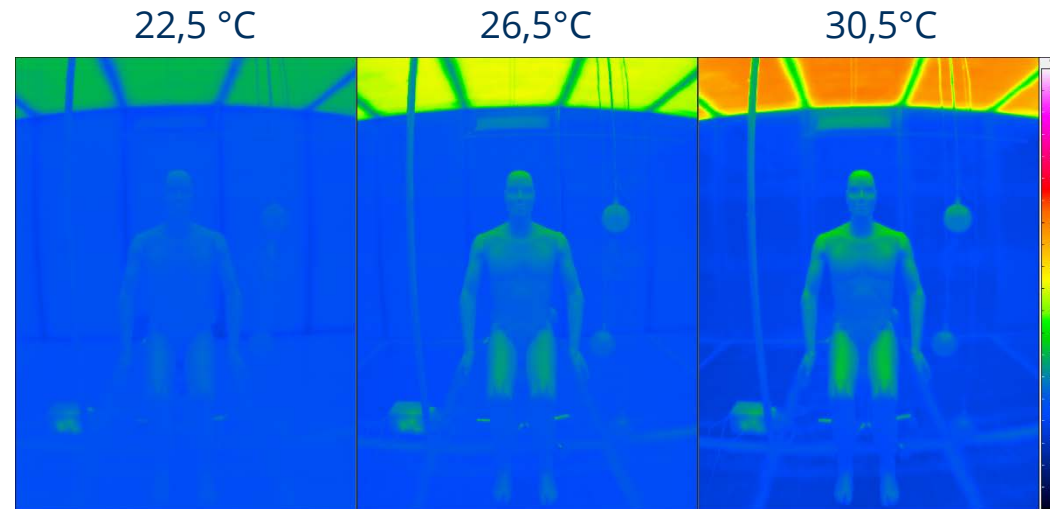
Phase	Deckentemp.	Lasttemp.	Heizlast (Fläche)	Heizlast (Lüftung)	Str.-asym.
1	22,5 °C	19,5 °C	22 W/m ²	1,9 W/m ²	1,9 K
2	26,5 °C	19,5 °C	45 W/m ²	3,8 W/m ²	4,3 K
3	30,5 °C	19,5 °C	70 W/m ²	5,7 W/m ²	6,8 K
4	34,5 °C	19,5 °C	81 W/m ²	5,9 W/m ²	9,7 K

- Deckenkühlung:

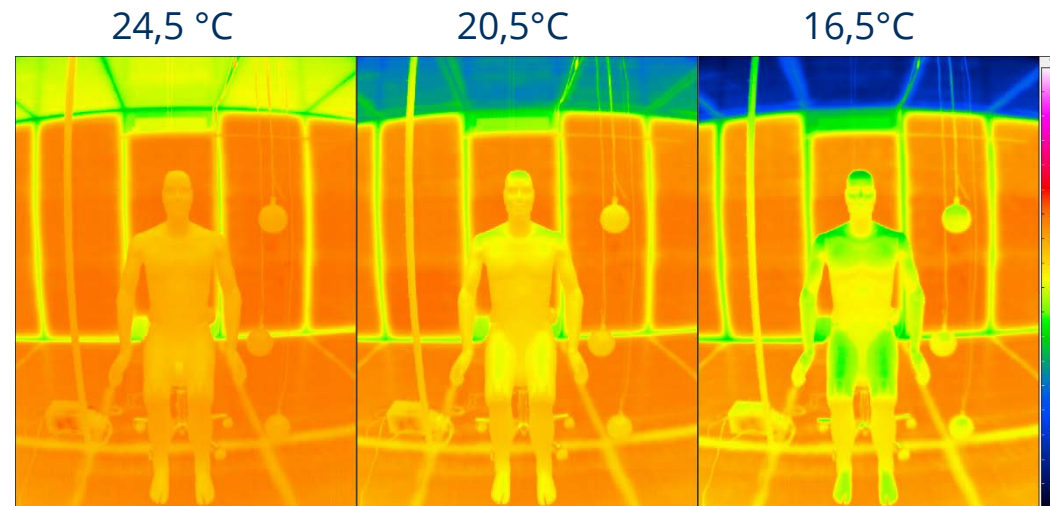
Phase	Deckentemp.	Lasttemp.	Kühllast (Fläche)	Kühllast (Lüftung)	Str.-asym.
1	24,5 °C	27,5 °C	17 W/m ²	1,7 W/m ²	1,9 K
2	20,5 °C	27,5 °C	47 W/m ²	4,2 W/m ²	4,3 K
3	16,5 °C	27,5 °C	76 W/m ²	6,6 W/m ²	6,8 K

Messergebnisse

- Deckenheizung:



- Deckenkühlung:

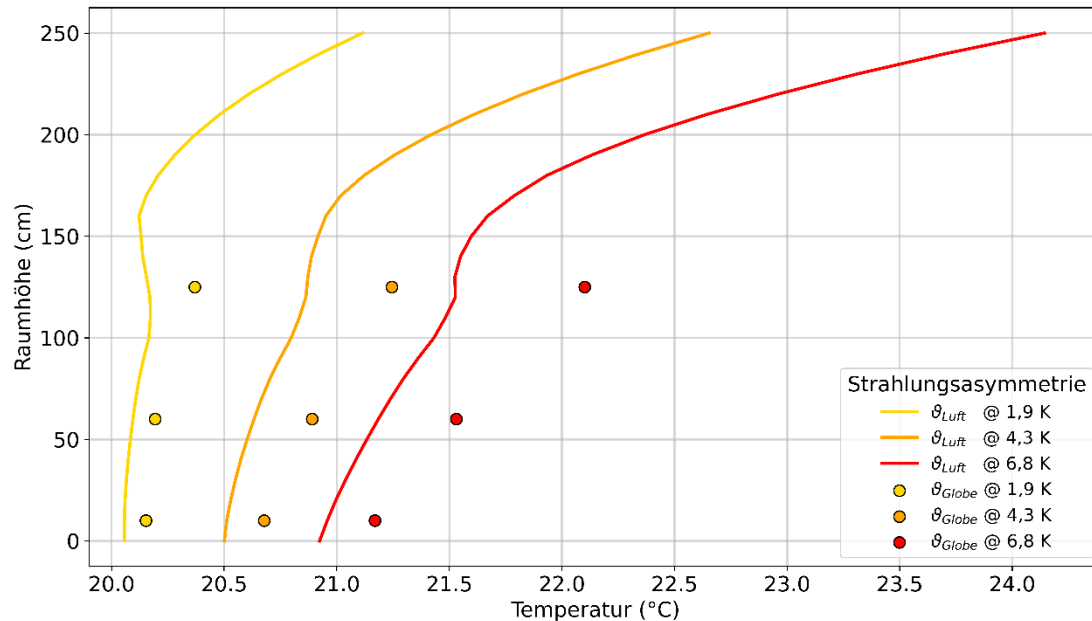


Quelle: TU Dresden

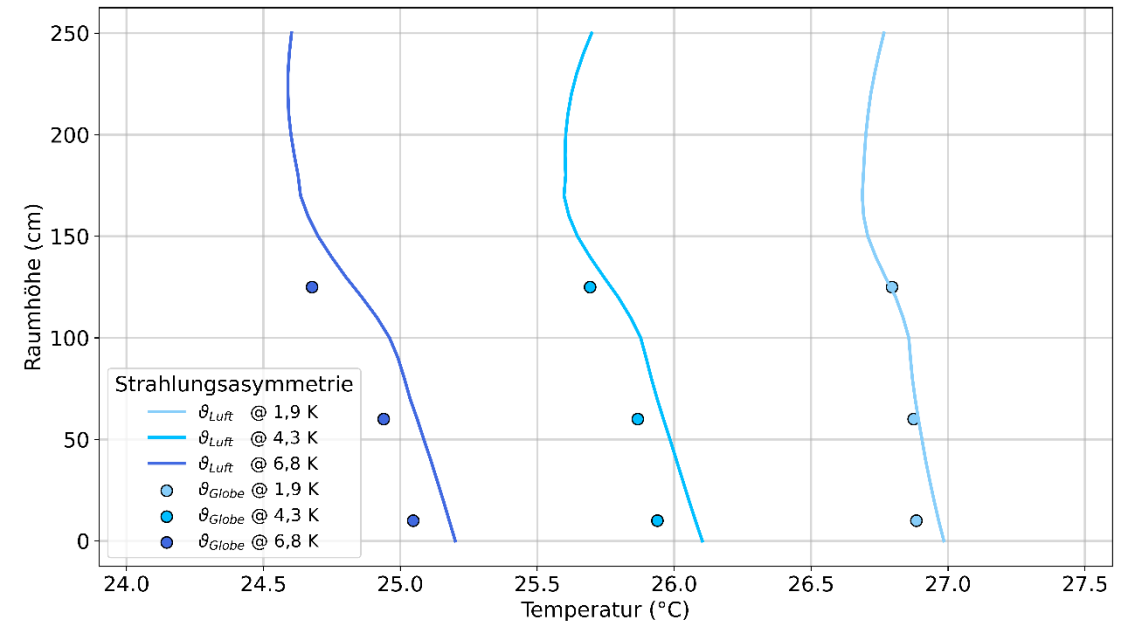
Messergebnisse

Physikalische Messergebnisse – Lufttemperaturprofil und operative Raumtemperatur

Deckenheizung



Deckenkühlung



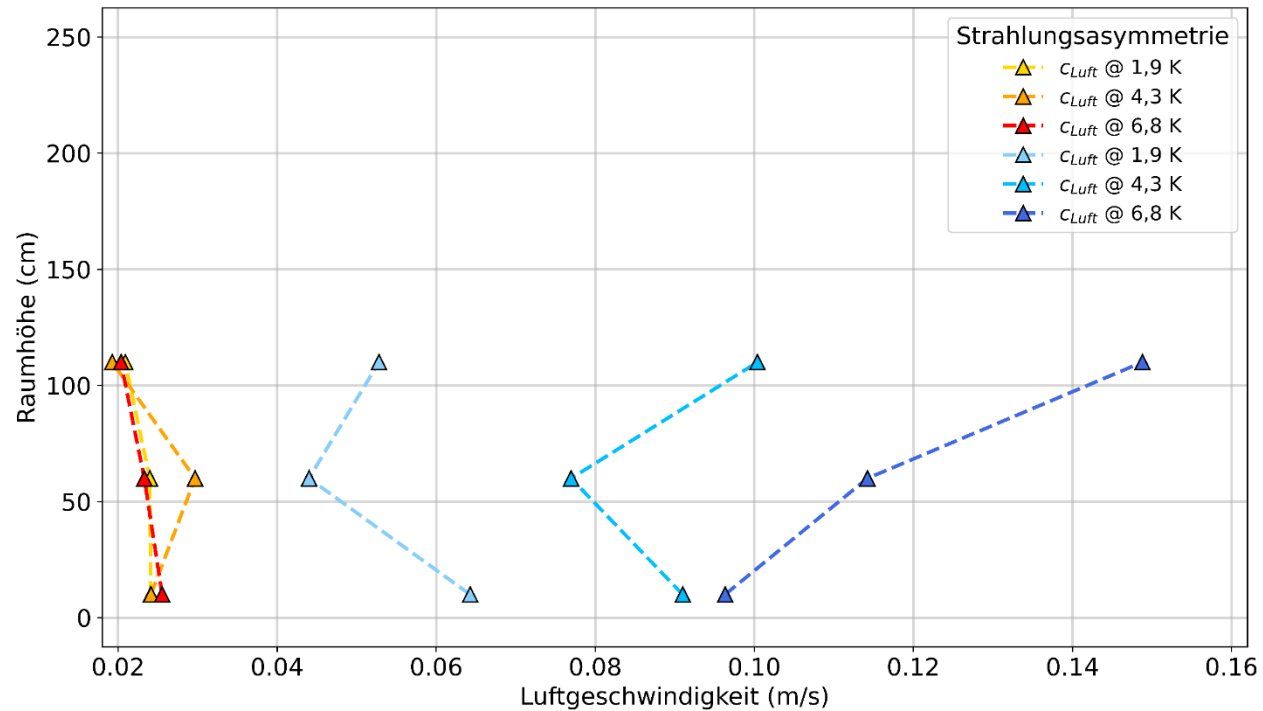
→ Strahlungswirkung im Aufenthaltsbereich erkennbar

→ Nachteil Deckenheizung: „Stau“ warmer Luft unter der Decke

Messergebnisse

Physikalische Messergebnisse – Luftgeschwindigkeit

Deckenheizung und Deckenkühlung



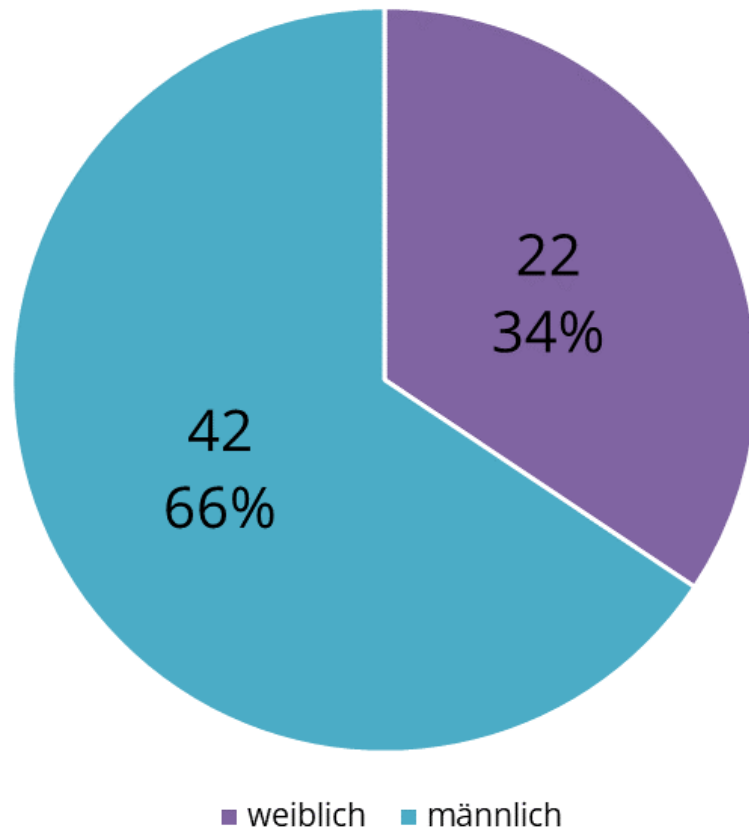
→ Deckenheizung: nahezu keine Luftbewegung

→ Deckenkühlung: mit Deckenuntertemperatur zunehmende Fallströmung erkennbar

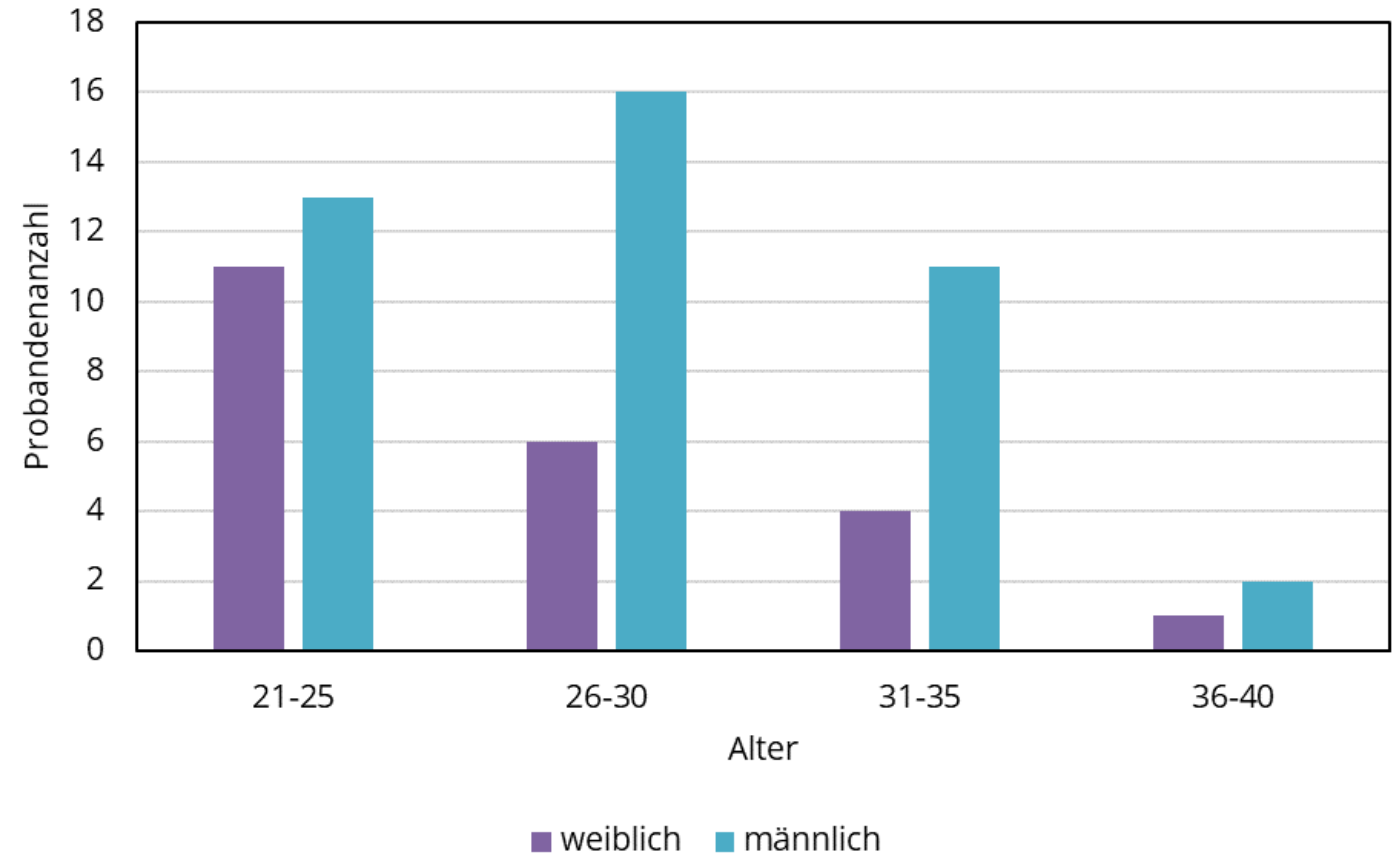
Ergebnisse

Probandenstatistik

Verteilung nach Geschlecht

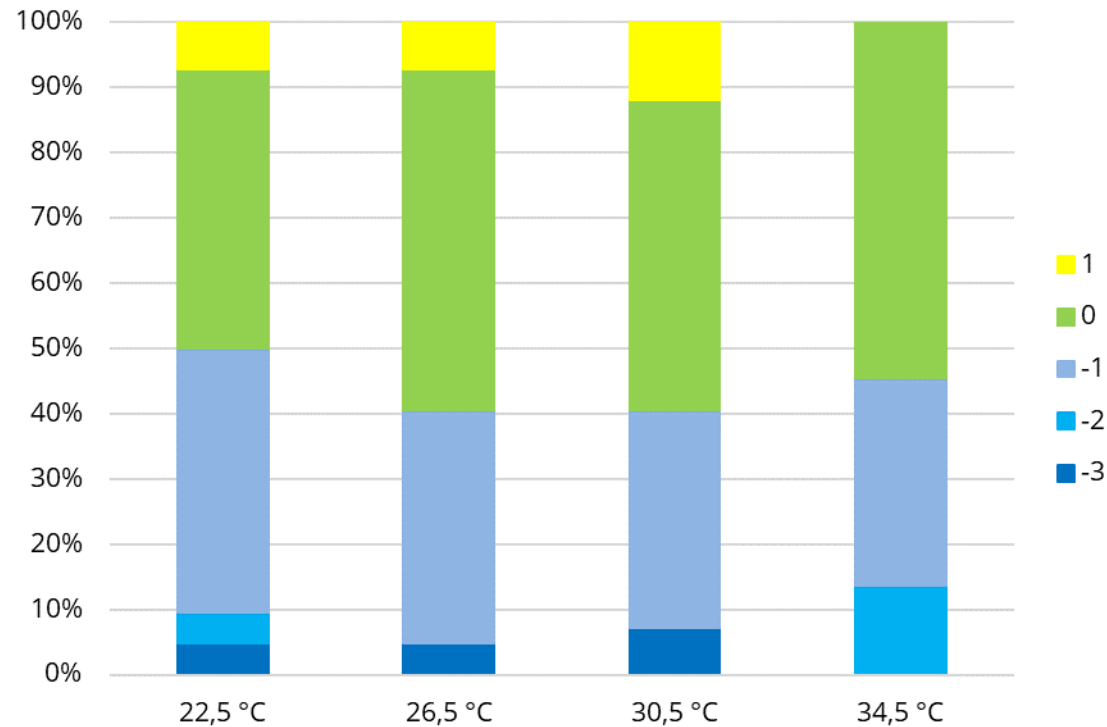


Verteilung nach Alter und Geschlecht

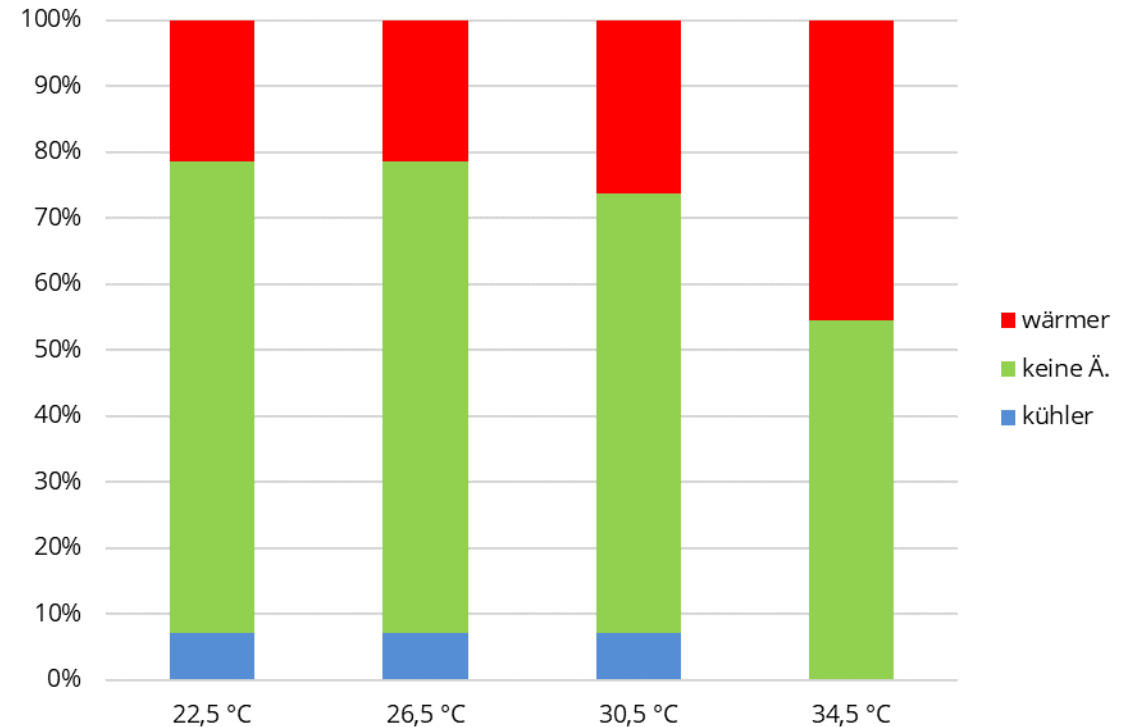


Ergebnisse - Heizfall

Thermisches Empfinden



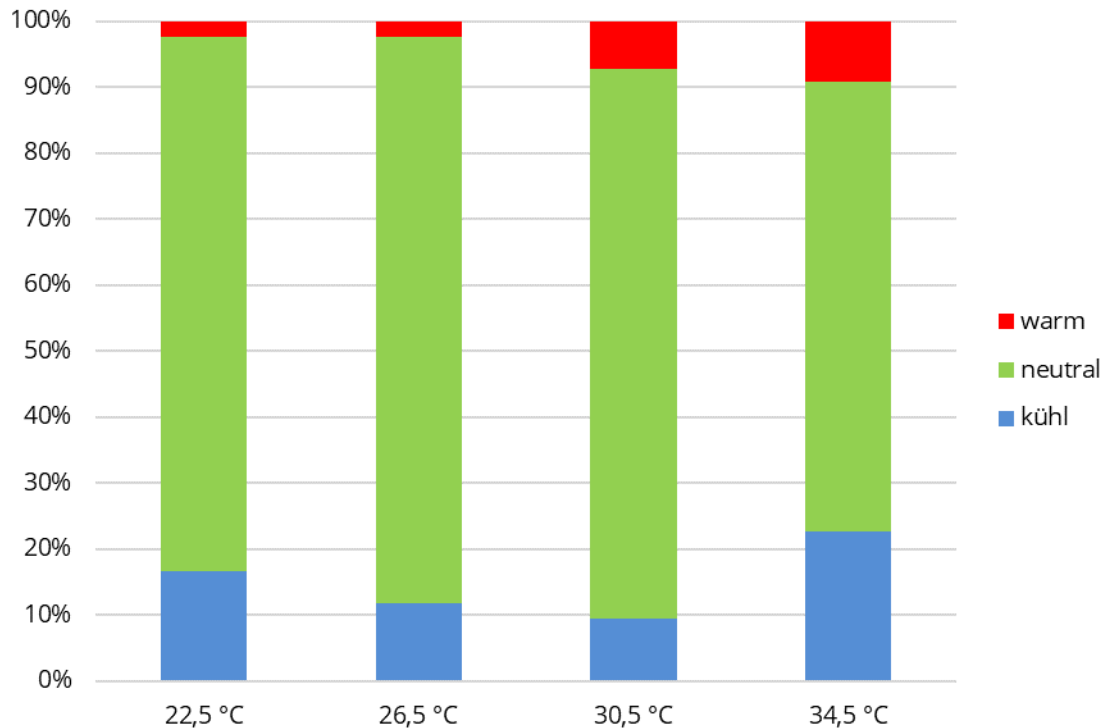
Änderungswunsch



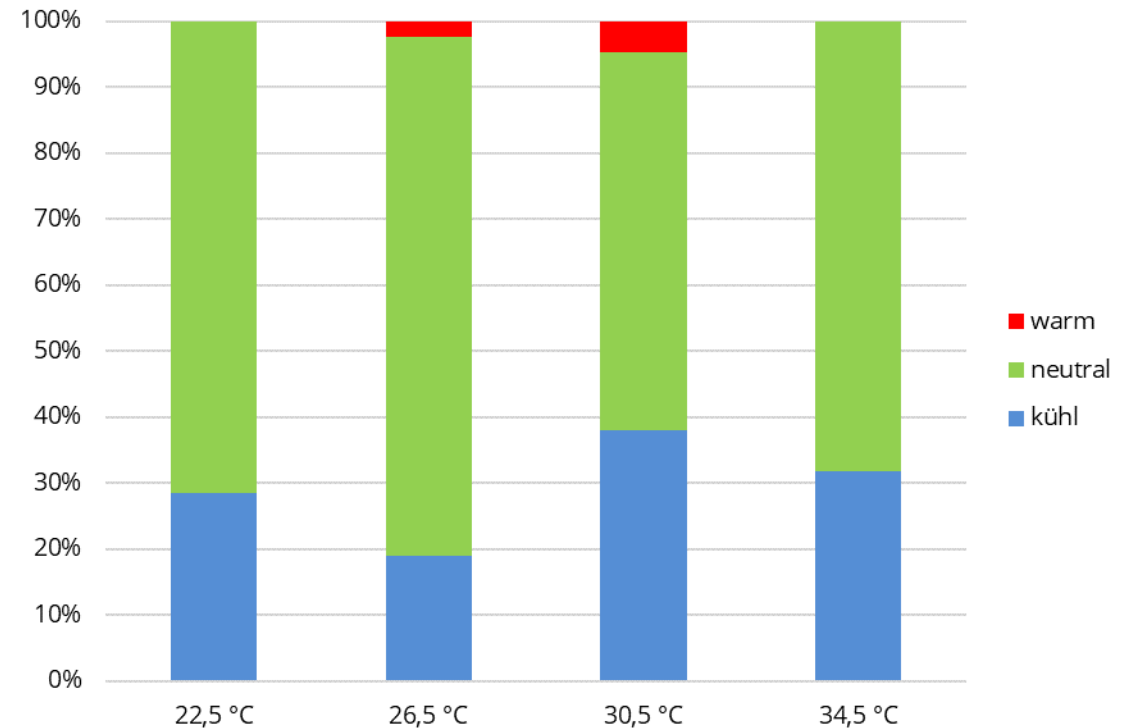
- großer Anteil von neutraler oder leicht kühler Bewertung über alle Strahlungsasymmetrien
- signifikanter Anteil mit Änderungswunsch

Ergebnisse - Heizfall - Auszug lokale Bewertung

Kopf



Füße

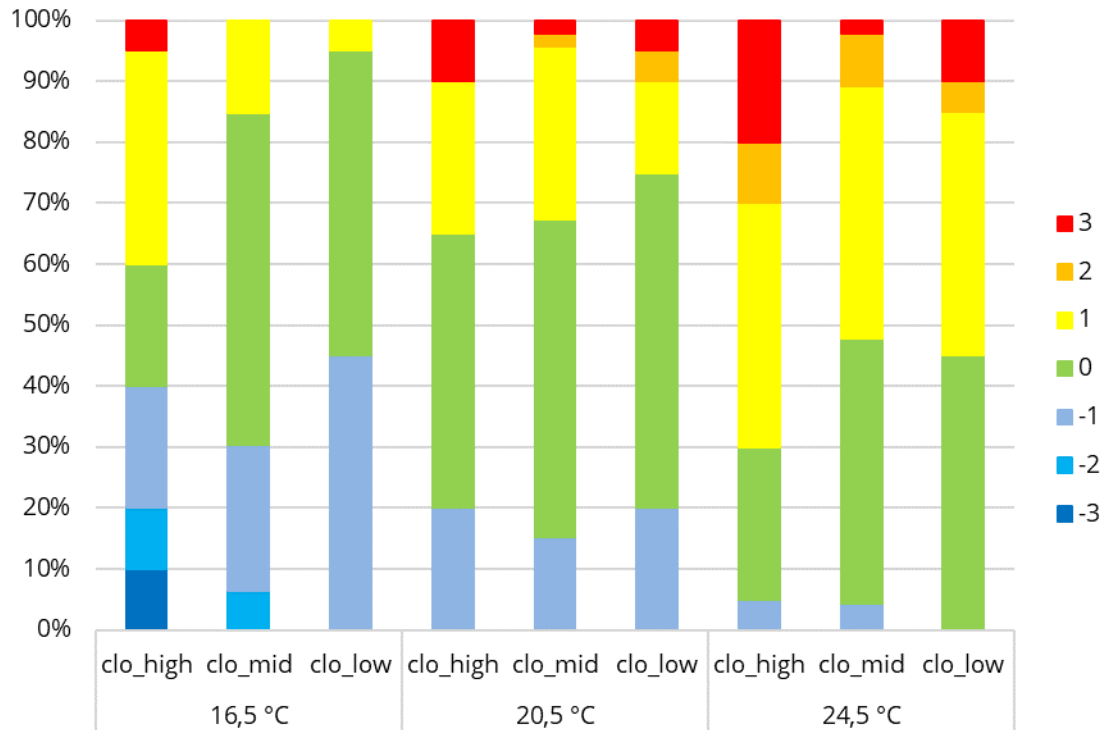


→ Oberflächentemperatur von 34,5°C wird nicht als zu warm eingeschätzt (vgl. Norm 32°C)

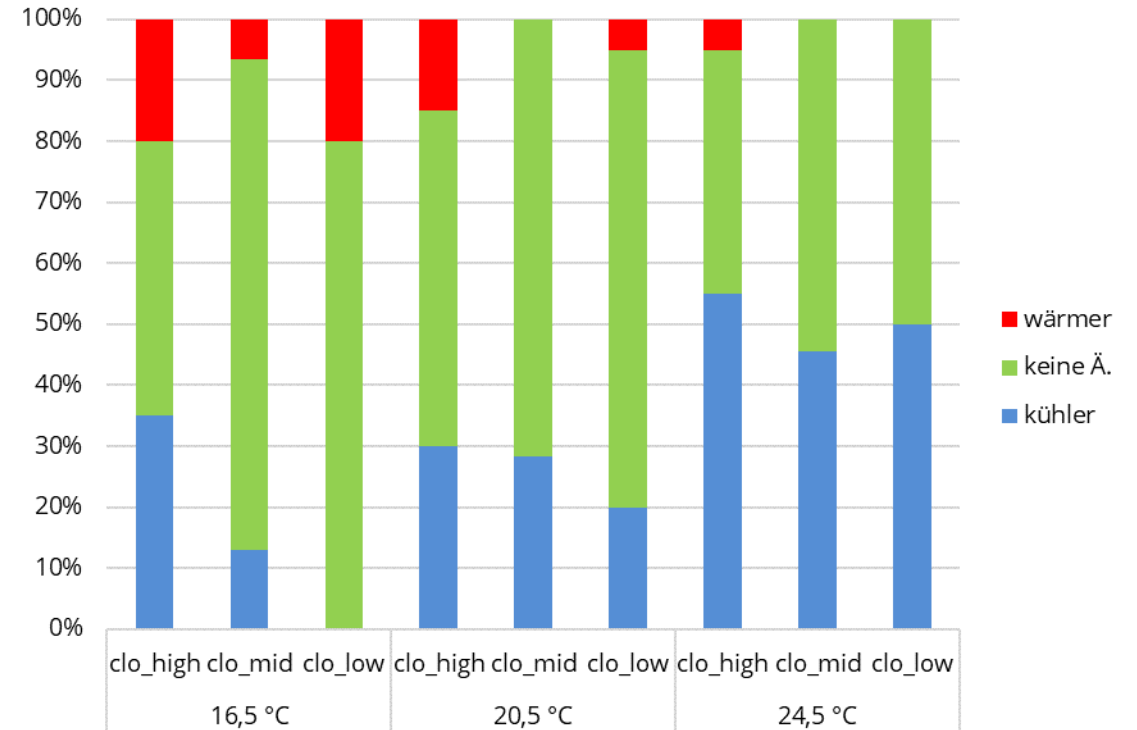
→ kühle Füße haben deutlich größeren Einfluss auf die Behaglichkeitsbewertung

Ergebnisse - Kühlfall

Thermisches Empfinden



Änderungswunsch



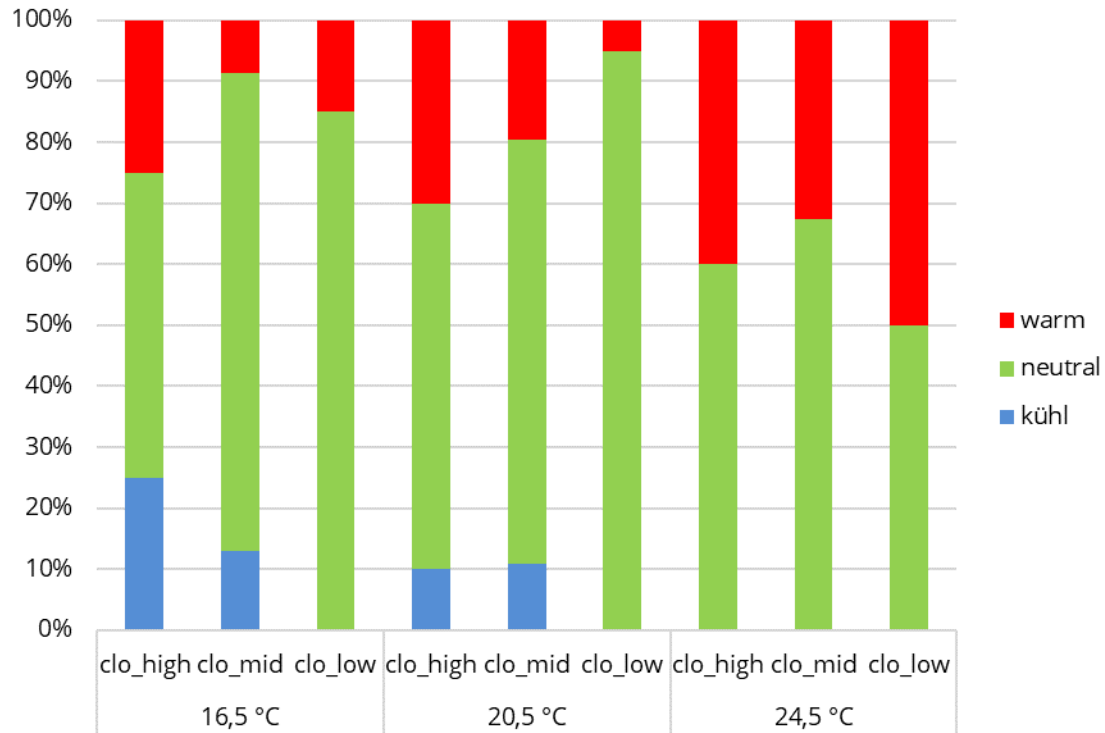
→ großer Anteil von neutraler Bewertung über alle Strahlungsasymmetrien

→ signifikanter Anteil, die das Klima als warm empfinden, insbesondere bei langärmliger Bekleidung (clo_high)

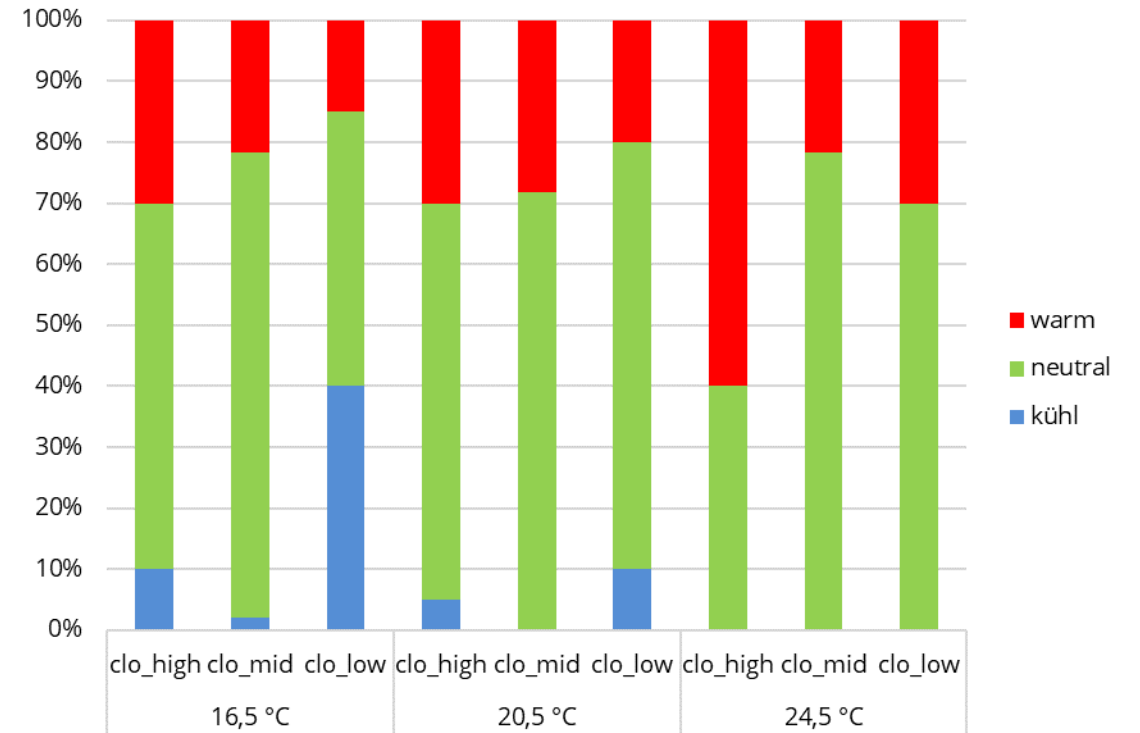
→ bei sommerlicher Kleidung geringerer Anteil mit Änderungswunsch

Ergebnisse - Kühlfall - Auszug lokale Bewertung

Kopf



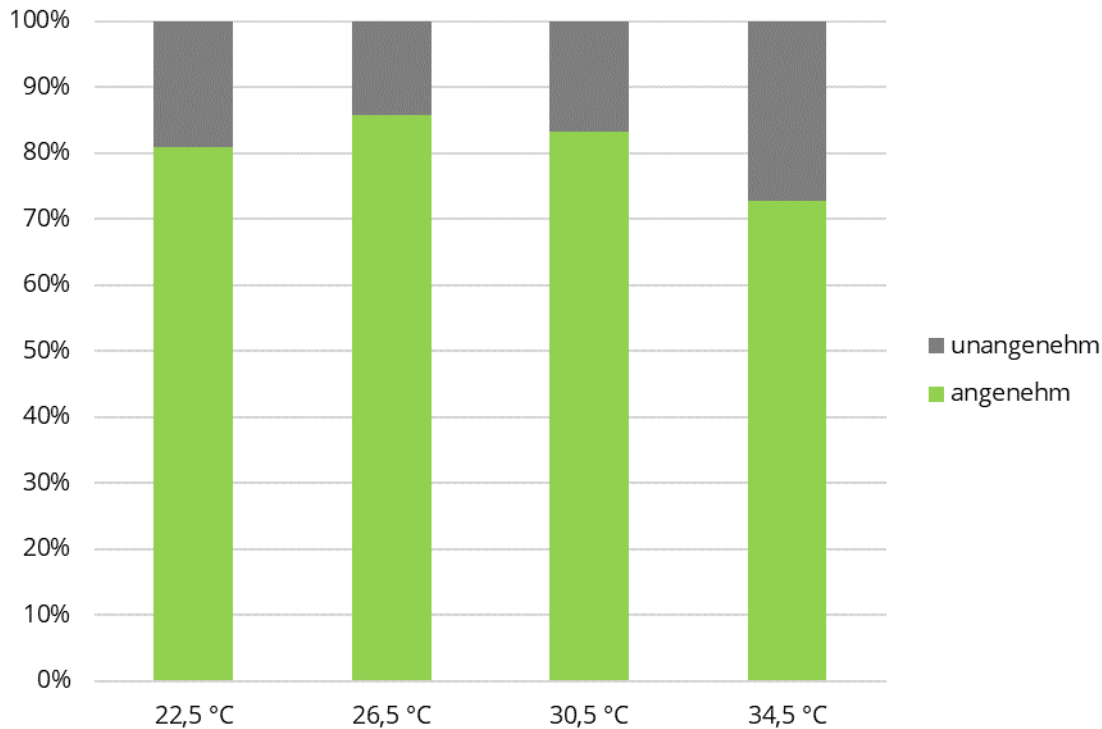
Füße



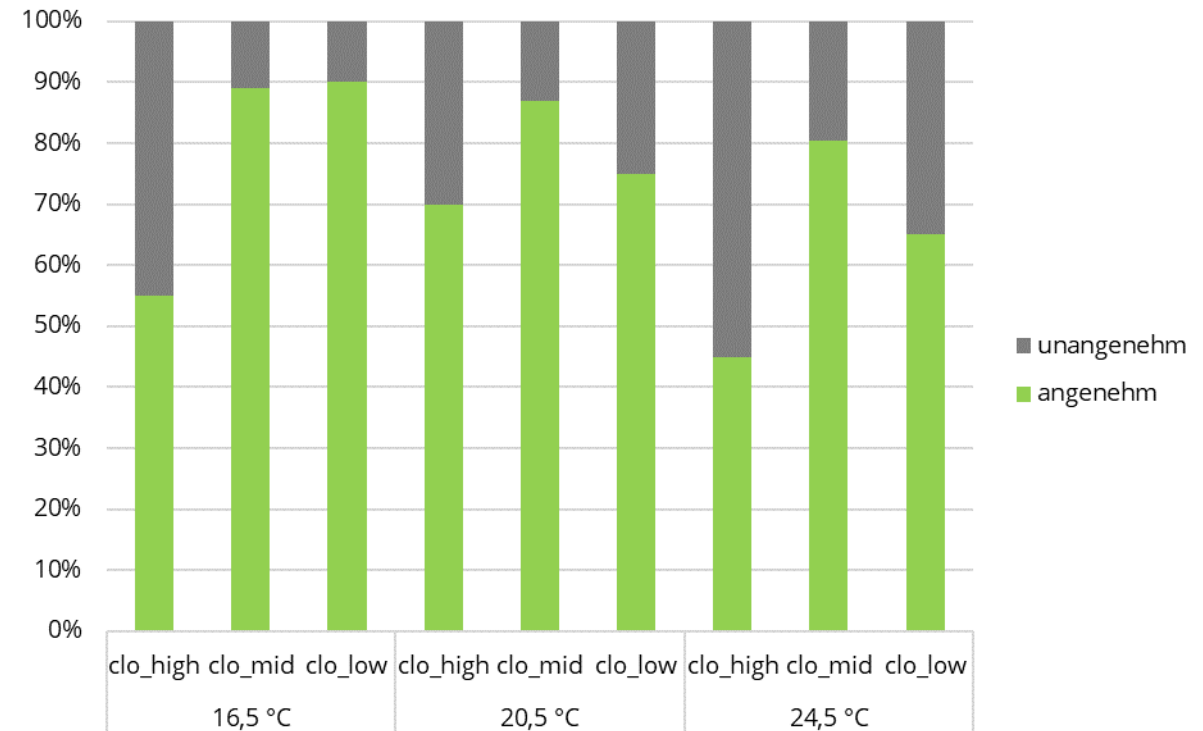
→ sowohl Kopf als auch Füße werden zum Teil als warm empfunden

Vergleich - Akzeptanz des Klimas

Heizfall



Kühlfall



→ Heizfall: weitestgehend als angenehm empfunden

→ Kühlfall: insbesondere bei geringer Deckentemperatur und leichter/mittlerer Kleidung größere Akzeptanz

Zusammenfassung und Ausblick

Ergebnisse

- Detektion akzeptabler Oberflächentemperatur beim Heizen und Kühlen über die Decke
- Physikalische Auswirkung der Strahlungsasymmetrie auch auf vertikale Lufttemperaturschichtung und Zugluftrisiko

Vergleich zur ISO 7730

- separate Betrachtung der globalen/lokalen Behaglichkeitskriterien in der Norm tendiert zu positiver Klimabewertung
- Ermittlung einer ganzheitlichen Bewertungsgröße unter Einbezug der lokalen Kriterien wünschenswert

Ausblick

- Ergänzung des Deckenheiz-/kühlsystems um eine (aktive) Lüftungskomponente
- Ziel: Reduzierung der notwendigen Deckenober-/untertemperatur bei gleicher Behaglichkeitsbewertung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03ET1512A