



Komfortuntersuchungen zur Flächenkühlung

4. Fachkonferenz Flächenheizung/-kühlung

Peter Niemann, Finn Richter, Gerhard Schmitz

Institut für Technische Thermodynamik
Technische Universität Hamburg

28.11.2017, Hamburg

BDH
Bundesverband der
Deutschen Heizungsindustrie

TUHH

TECHNISCHE THERMODYNAMIK

Einleitung

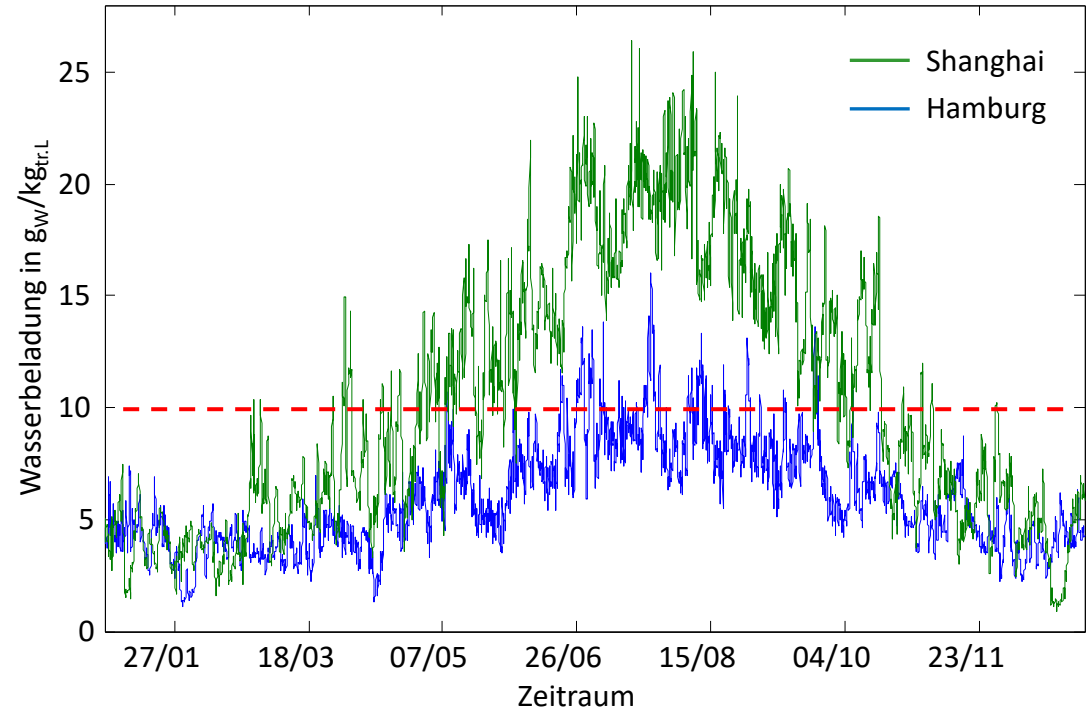
Skyline Shanghai Pudong



HafenCity Hamburg
Quelle: abendblatt.de



Wasserbeladung der Außenluft



Notwendigkeit zur Entfeuchtung der Außenluft



Belastung elektrischer Netze im Sommer

❖ Klimatisierungssysteme und Forschungshintergrund

- ❖ Konventionelle und sorptionsgestützte Klimatisierung
- ❖ Versuchsanlage
- ❖ Integration von Flächenwärmeübertragern

❖ Komfortuntersuchungen

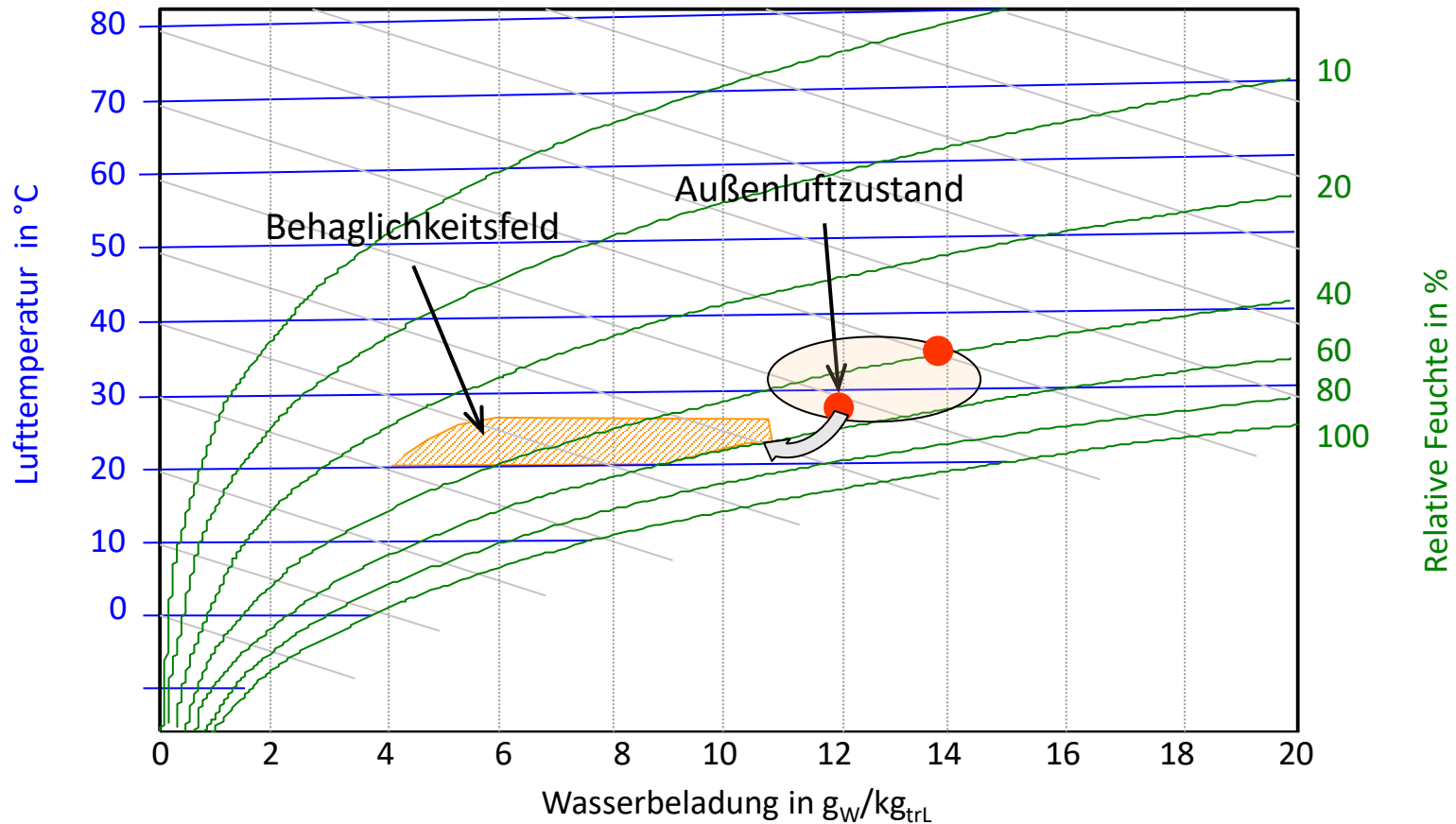
- ❖ Messtechnische Bestimmung von Komfortparametern
- ❖ Einfluss der Deckenkühlung

❖ Zusammenfassung und Ausblick

Aufgaben eines Klimatisierungssystems

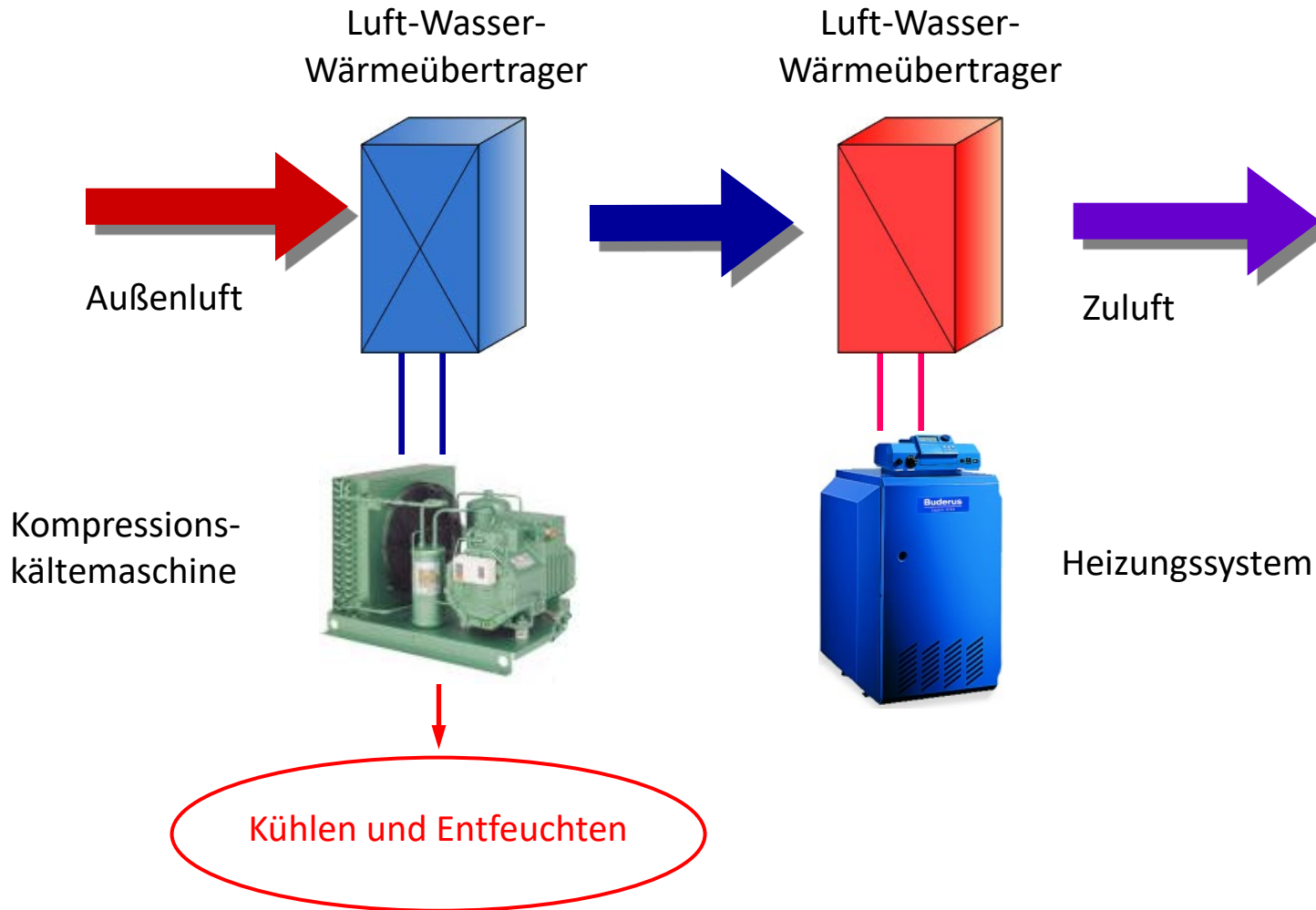
Klimatisierung bedeutet:

Be- und Entlüften, Heizen, Kühlen, Befeuchten, **Entfeuchten**



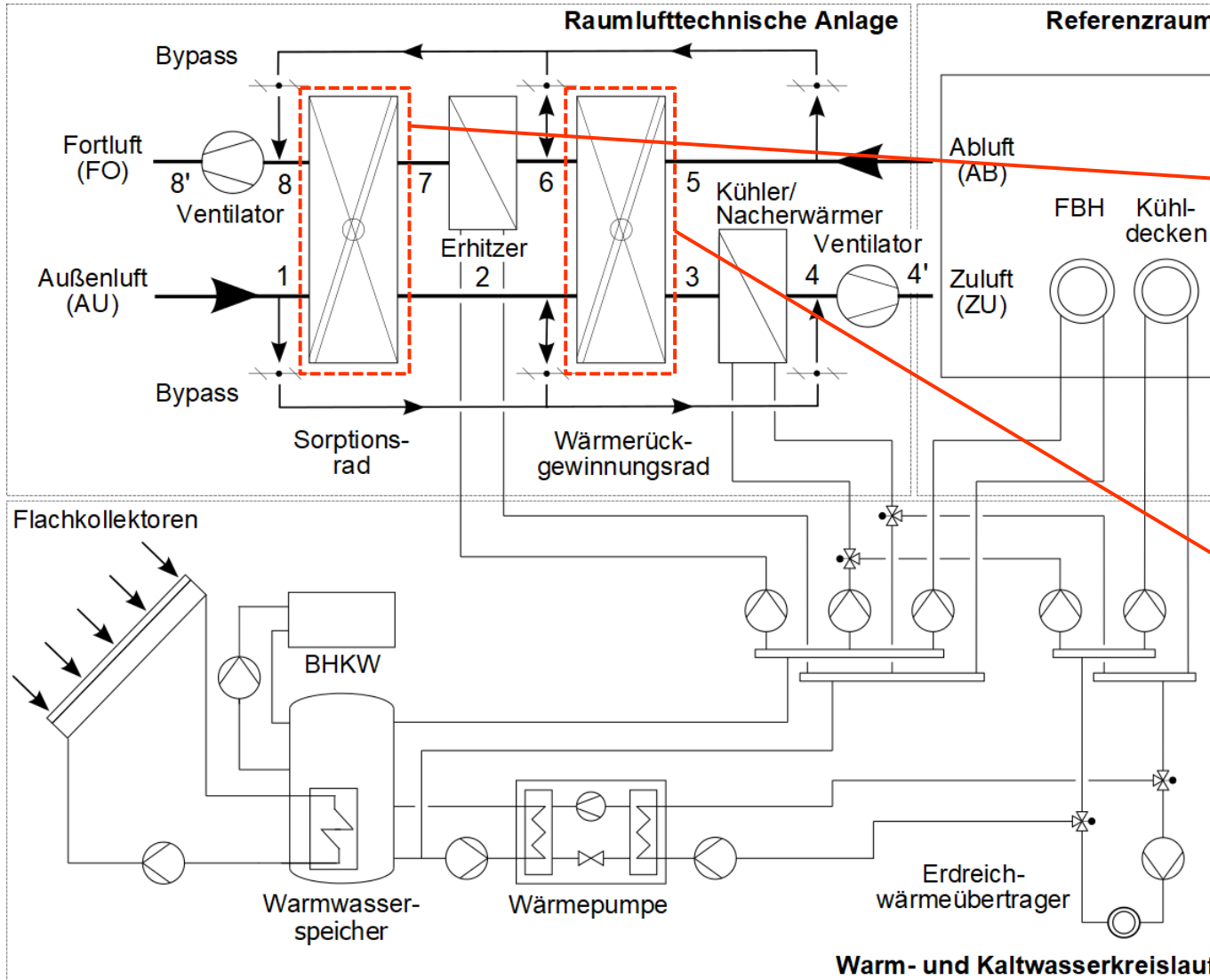
Konventionelles Klimatisierungssystem

Anlagenschema



Sorptionsgestütztes Klimatisierungssystem

Anlagenschema der Versuchsanlage



Sorptionsrad (LiCl, Silikagel)



Wärmerückgewinnungsrad (Al)

Versuchsanlage



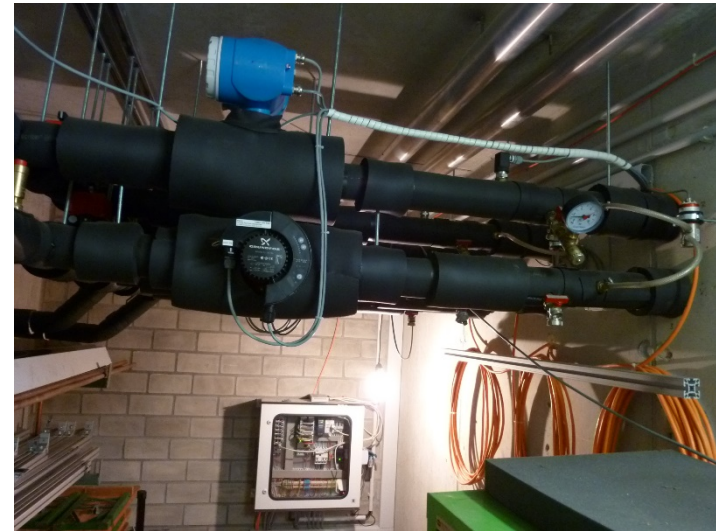
Versuchsanlage



Solarthermische Anlage

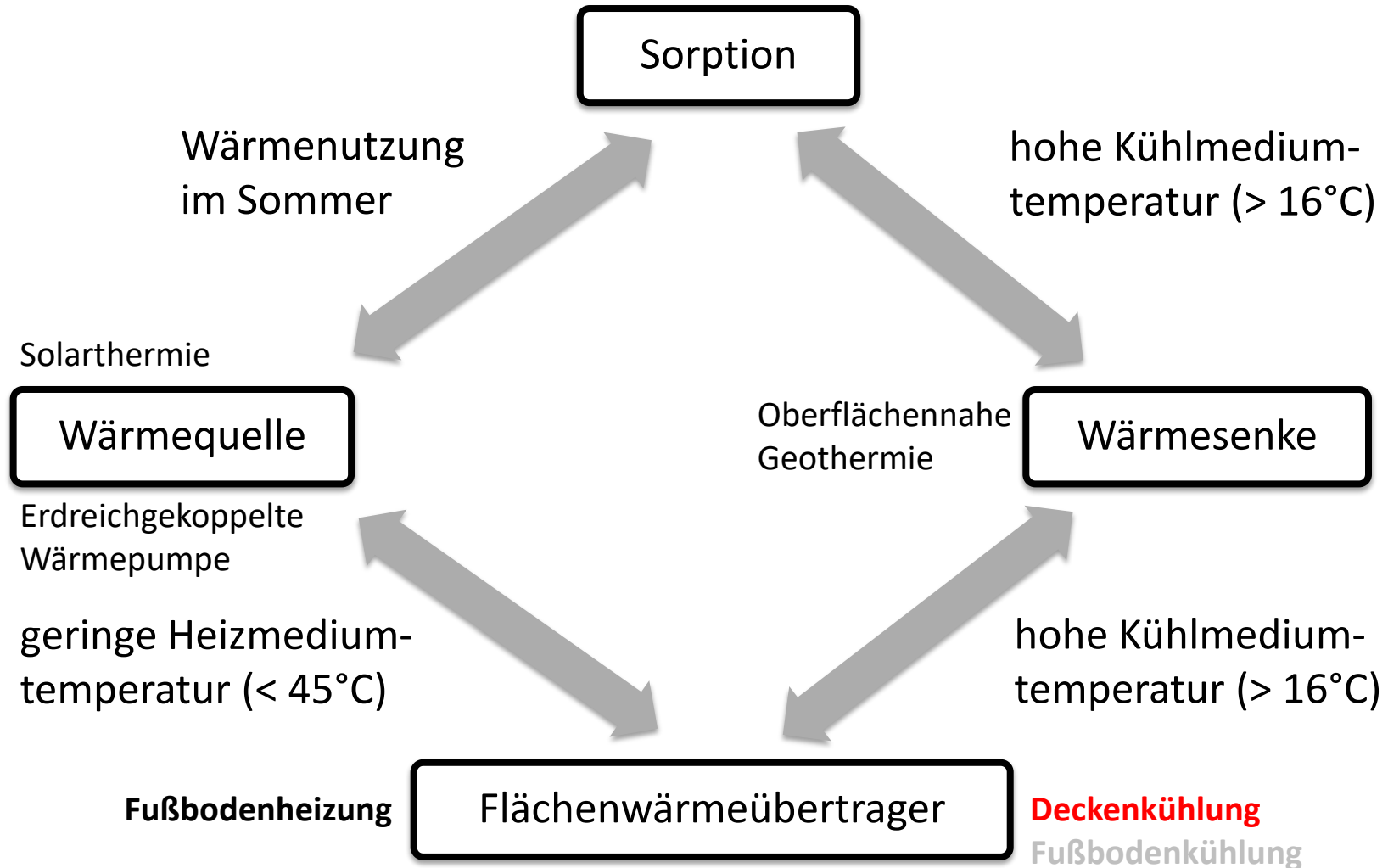


Anlagentechnik



Peripherie geothermisches System

Integration von Flächenwärmeübertragern



Komfortuntersuchungen

Grundlagen zur Bestimmung thermischer Behaglichkeit

Grundlagen - Thermische Behaglichkeit (DIN EN ISO 7730)

- PMV (Predicted Mean Vote)
- Einflussparameter
 - Lufttemperatur
 - Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen
 - Luftgeschwindigkeit
 - Luftfeuchtigkeit
 - Aktivitätsgrad
 - Bekleidungsisololation

PMV	Empfindung
+ 3	heiß
+ 2	warm
+ 1	etwas warm
0	neutral
- 1	etwas kühl
- 2	kühl
- 3	kalt

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] \\
 & - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_w) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\
 & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \}
 \end{aligned}$$

- Berechnung des PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied: PPD ≥ 5 % !)

Komfortuntersuchungen

Grundlagen zur Bestimmung thermischer Behaglichkeit



Grundlagen – Lokale thermische Unbehaglichkeit (DIN EN ISO 7730)

- Zugluft
 - Einfluss: Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad
- vertikaler Temperaturgradient
- zu warmer/kalter Fußboden
- Strahlungsasymmetrie
 - Strahlungstemperaturdifferenz von gegenüberliegenden Flächen

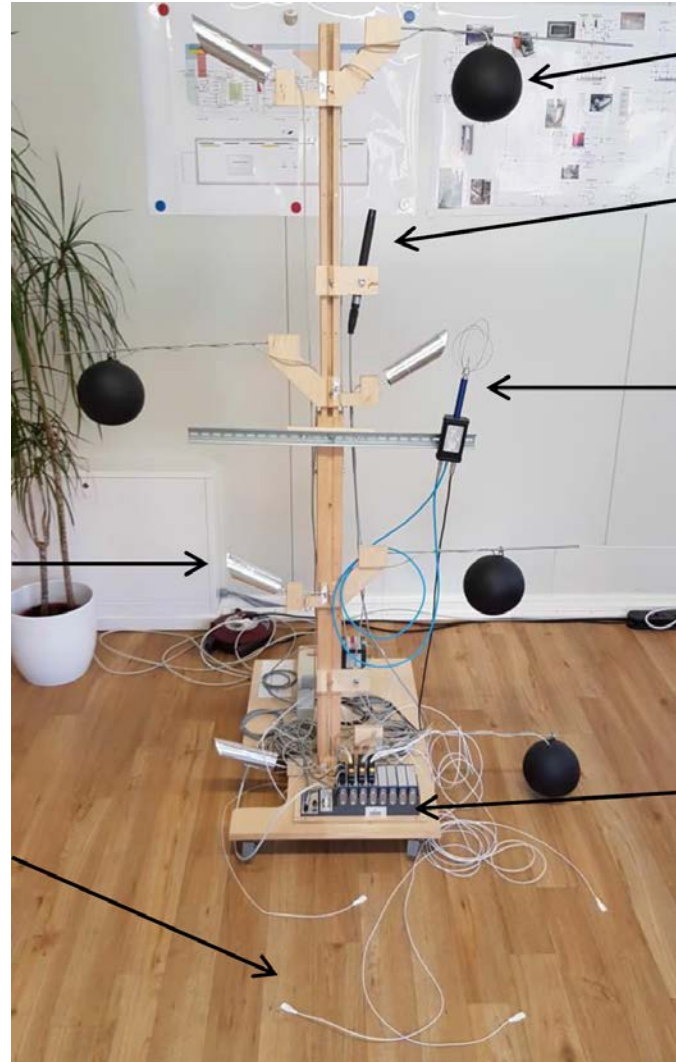
Kategorie	$\Delta\vartheta$ vertikal
A (I)	< 2 °C
B (II)	< 3 °C
C (III)	< 4 °C

Kategorie	Thermische Behaglichkeit allgemein		Lokale Unbehaglichkeit			
	<i>PPD</i> in %	<i>PMV</i>	<i>PD</i> in %			
			<i>DR</i> in %	$\Delta\vartheta$ vertikal	FB-Temp.	$\Delta\vartheta$ Strahlung
A (I)	< 6	-0,2 < <i>PMV</i> < +0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B (II)	< 10	-0,5 < <i>PMV</i> < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C (III)	< 15	-0,7 < <i>PMV</i> < +0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Durchführung und Auswertung der Messungen (DIN EN ISO 7726)

Komfortuntersuchungen

Messaufbau zur Beurteilung thermischer Behaglichkeit



Globethermometer
» Strahlungseinfluss

Hygrometer
» Luftfeuchte

Anemometer
» Luftgeschwindigkeit

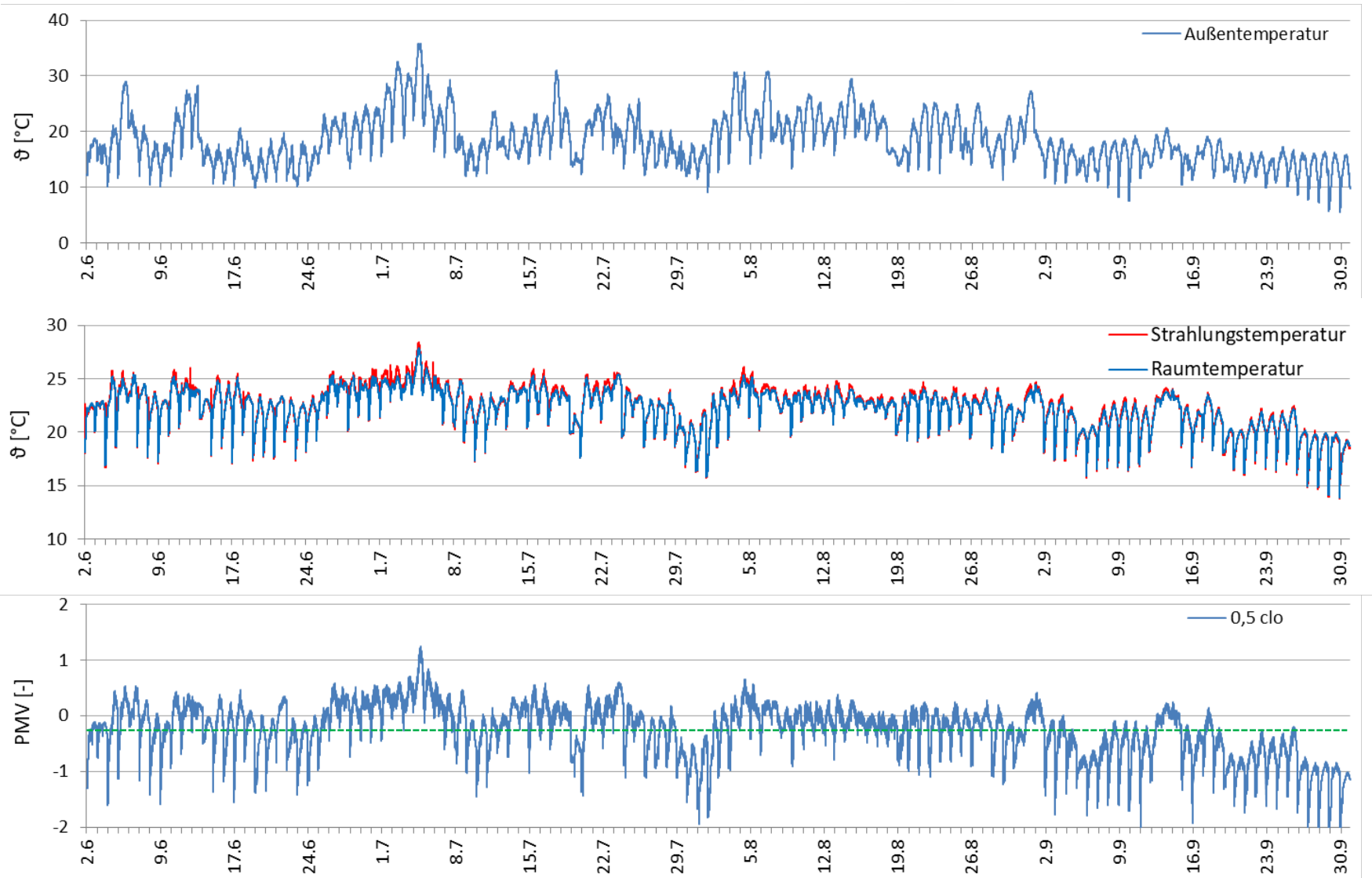
Widerstandsthermometer
» Lufttemperatur

Prozessor
» Datenverarbeitung

Kontaktthermometer
» Oberflächentemperatur

Komfortuntersuchungen

Behaglichkeit während der Sommerperiode



Komfortuntersuchungen

Einfluss der Deckenkühlung auf die Behaglichkeit

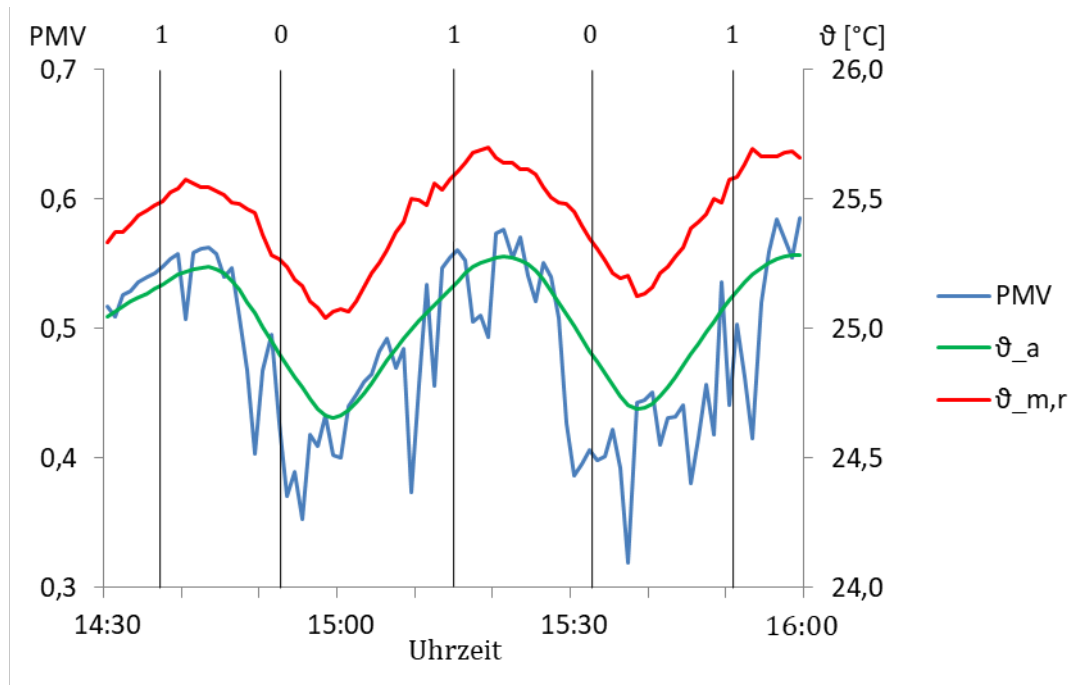
Betrieb Deckenkühlung (DK)

0 DK aus

1 DK ein

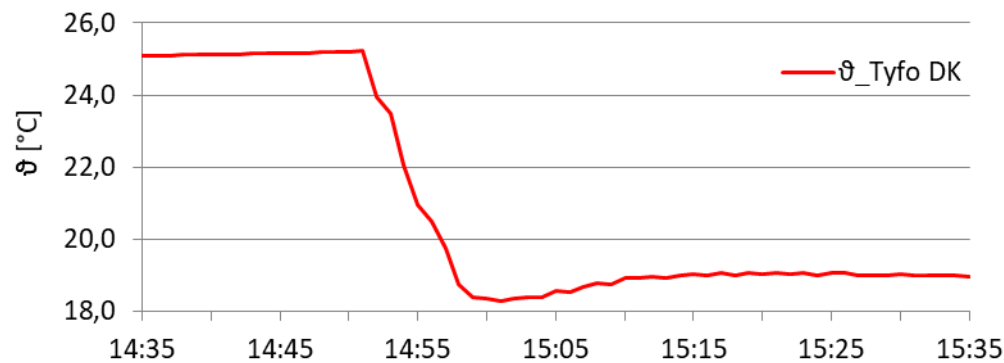
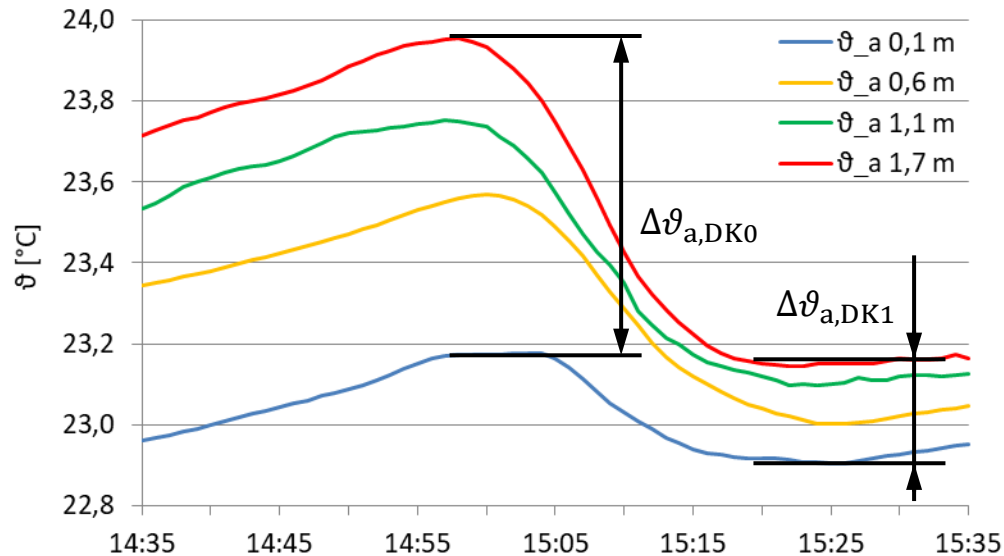
Getakteter Betrieb

Begrenzung der Raumlufttemperatur auf 25,5 °C



Komfortuntersuchungen

Einfluss der Deckenkühlung auf vertikale Temperaturdifferenzen



Einfluss der Deckenkühlung

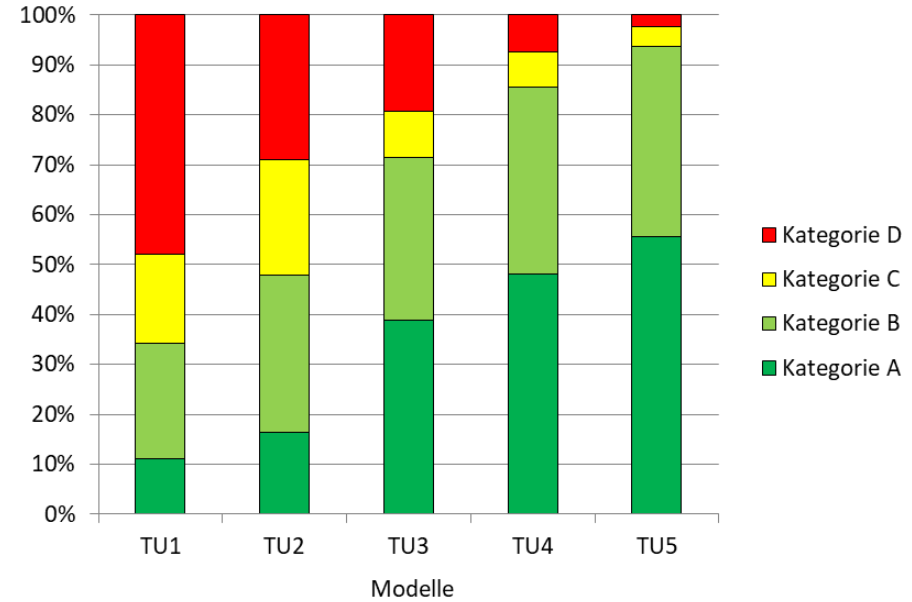
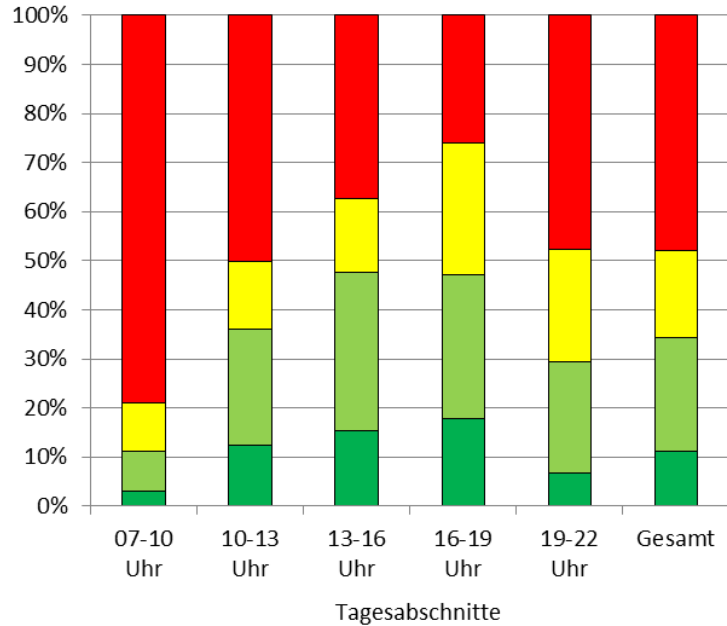
- Geringe vertikale Temperaturdifferenzen

$$\Delta\vartheta_{a,DK0} < \Delta\vartheta_{a,max}$$
- Homogenisierung der Raumtemperatur durch Betrieb der Deckenkühlung

$$\Delta\vartheta_{a,DK1} < \Delta\vartheta_{a,DK0}$$

Komfortuntersuchungen

Beurteilung der Behaglichkeit unter verschiedenen Randbedingungen



Modell	Bekleidungsisolation	Zeitraum	Betriebszeit
TU1	0,5 clo	Juni bis September	7-22 Uhr
TU2	0,5 clo	Juni bis August	9-22 Uhr
TU3	0,75 clo	Juni bis September	7-22 Uhr
TU4	0,5...1,0 clo	Juni bis September	7-22 Uhr
TU5	0,5...1,0 clo	Juni bis August	9-22 Uhr

Sorptionsgestützte Klimatisierung

- Trennung von Kühlung und Entfeuchtung
- Nutzung höher temperierter Wärmesenken ($\vartheta > 16 \text{ °C}$) möglich
- Effizienter Betrieb von Flächenwärmeübertragern zur Kühlung
- Unterstützende Abfuhr sensibler Kühllasten durch Deckenkühlung
- Reduzierung auf die aus hygienischen Gründen minimal erforderliche Luftwechselrate

Behaglichkeitsuntersuchungen

- Behaglichkeitsempfindens durch Betrieb der Deckenkühlung beeinflusst
- Homogenisierung der vertikalen Temperaturverteilung
- Mittlerer Anteil Unzufriedener aufgrund vertikaler Temperaturunterschiede $PD_{VT} = 0,42 \%$
- In über 90 % der Betriebszeit Anforderungen an Kategorie A/B erfüllt

Fußboden zur kombinierten Heizung und Kühlung

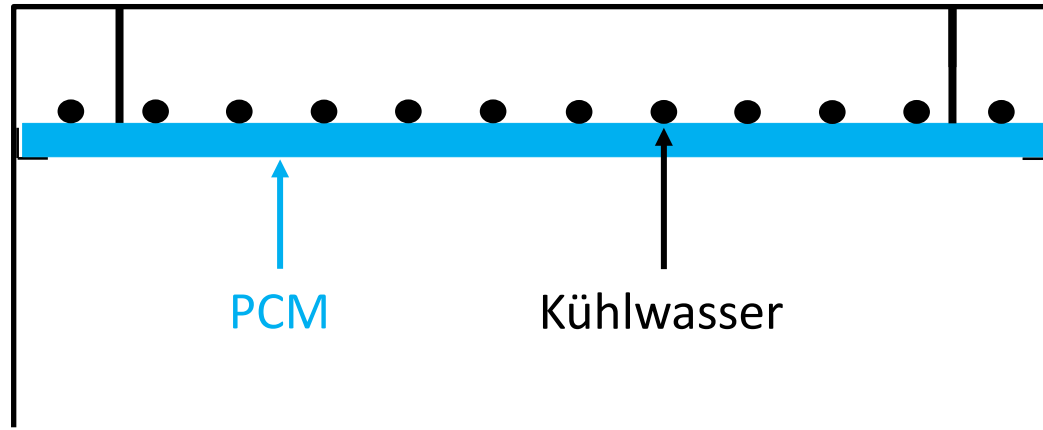
Vorhaben

- Nutzung des vorhandenen Fußboden-Flächenwärmeübertragers zur kombinierten Heizung und Kühlung des Raumes
→ Im Hinblick auf erforderliche Investitionen Vermeidung redundanter Systeme

Erste Erkenntnisse

- Fußbodenkühlung bei gleichen Betriebstemperaturen weniger effektiv als Deckenkühlung
- Weitere Untersuchungen zur ganzjährigen Nutzung des Fußbodens zur sensiblen Wärmeübertragung erforderlich
- Optional Beheizung über die Decke möglich

Aktives PCM-Kühlsystem



- Tagsüber: Passive Kühlung durch PCM
- Über Nacht: Regeneration der PCM über Kühlwasser
- + Zeitpunkt der Regeneration
- + Einfache Integration von PCM-haltigen Elementen
- + Vergleichmäßigung der Kühllast
- Auslegung komplexer
- Unvorhergesehene Lastspitzen schwierig zu kompensieren

Komfortuntersuchungen zur Flächenkühlung

