

Flächenheizung und –kühlung

Heizen mit der Decke? Kühlen mit dem Fußboden?
Potenziale, Grenzen und Betriebserfahrungen

Peter Holzer



Institute of
**Building Research
& Innovation**



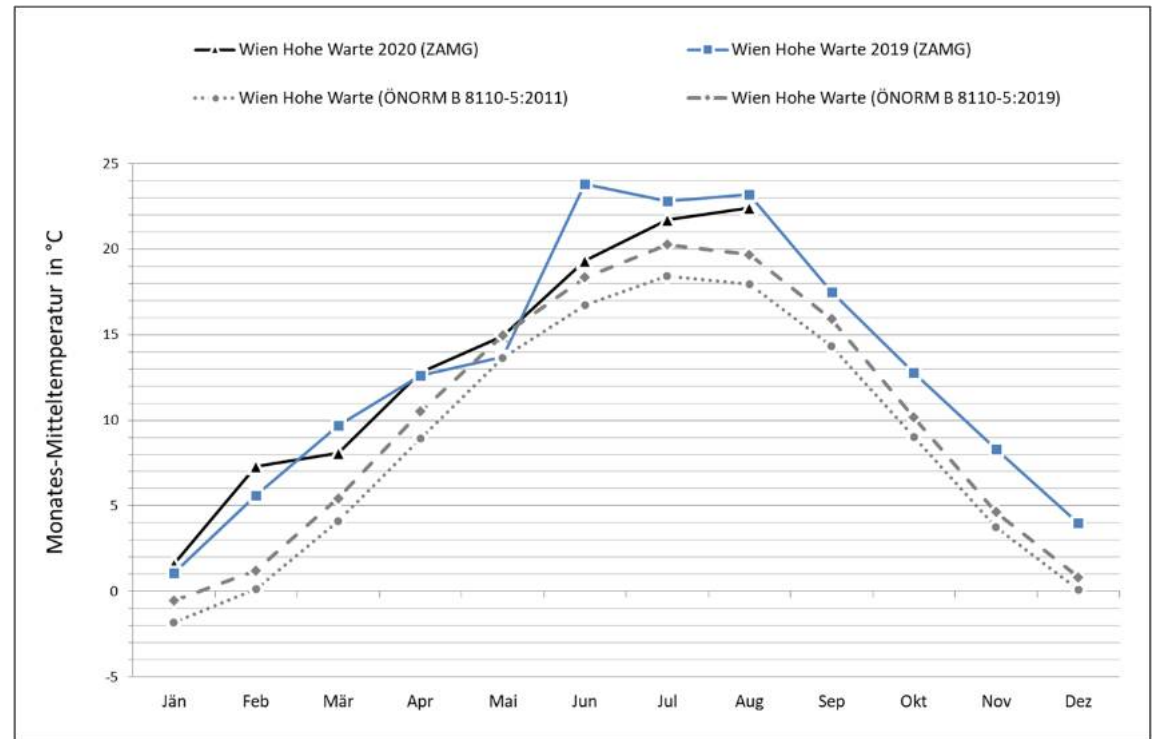
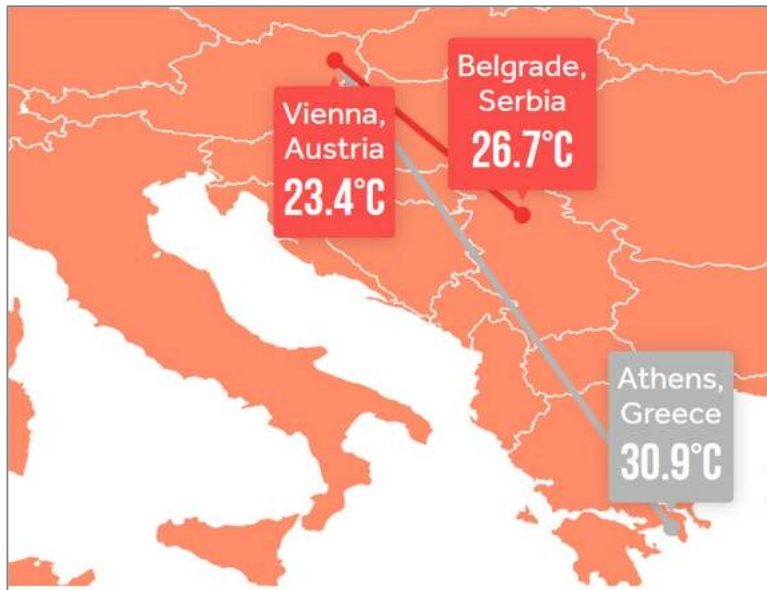
INGENIEURBÜRO P. JUNG
Konzepte für innovative Gebäude

Kühlen als Notwendigkeit

Shifting Cities

How Hot Will Summers Be By 2100?

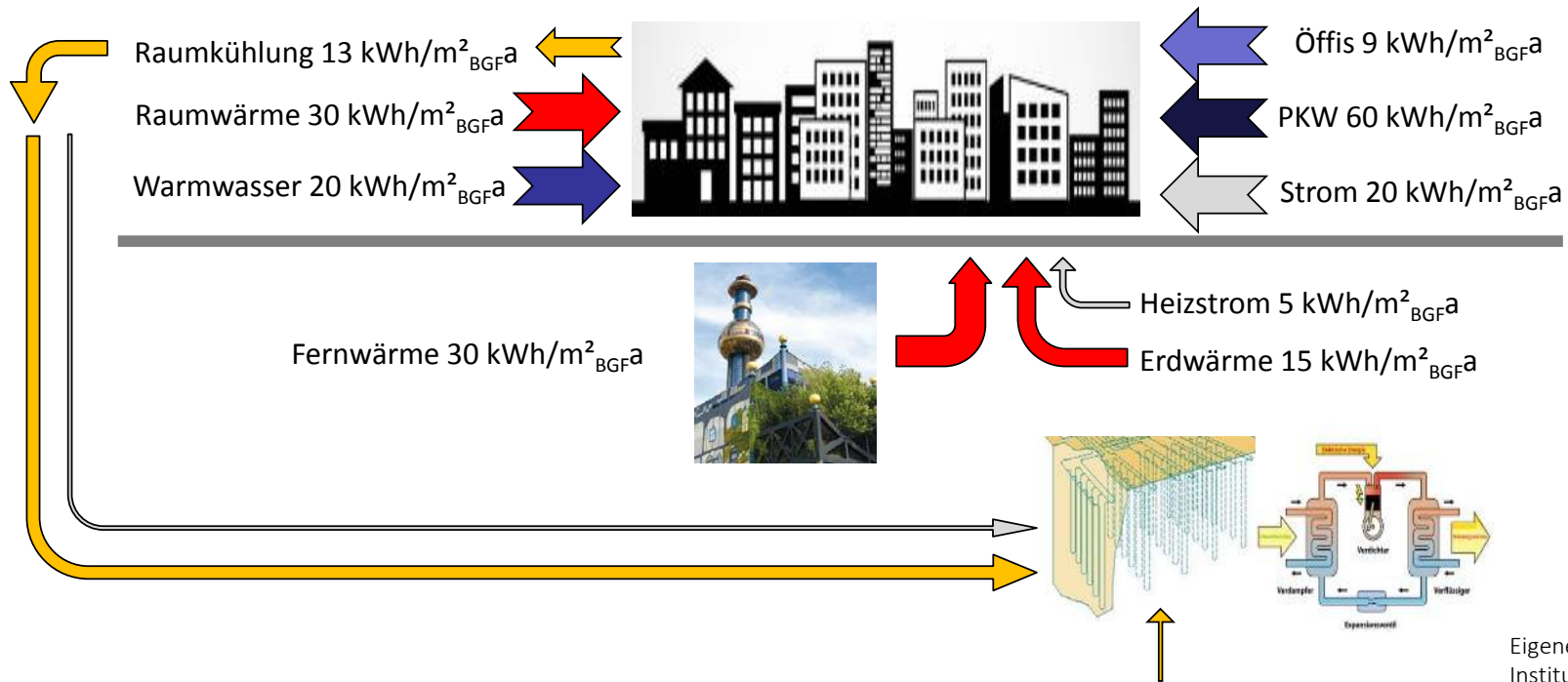
Summer highs in **Vienna, Austria** could be more like **Belgrade, Serbia** by 2100 with moderate emissions cuts.



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten aus ÖNORM B 8110-5:2011 und :2019 sowie aus ZAMG Klimamonitoring: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring> beide für den Standort Wien Hohe Warte

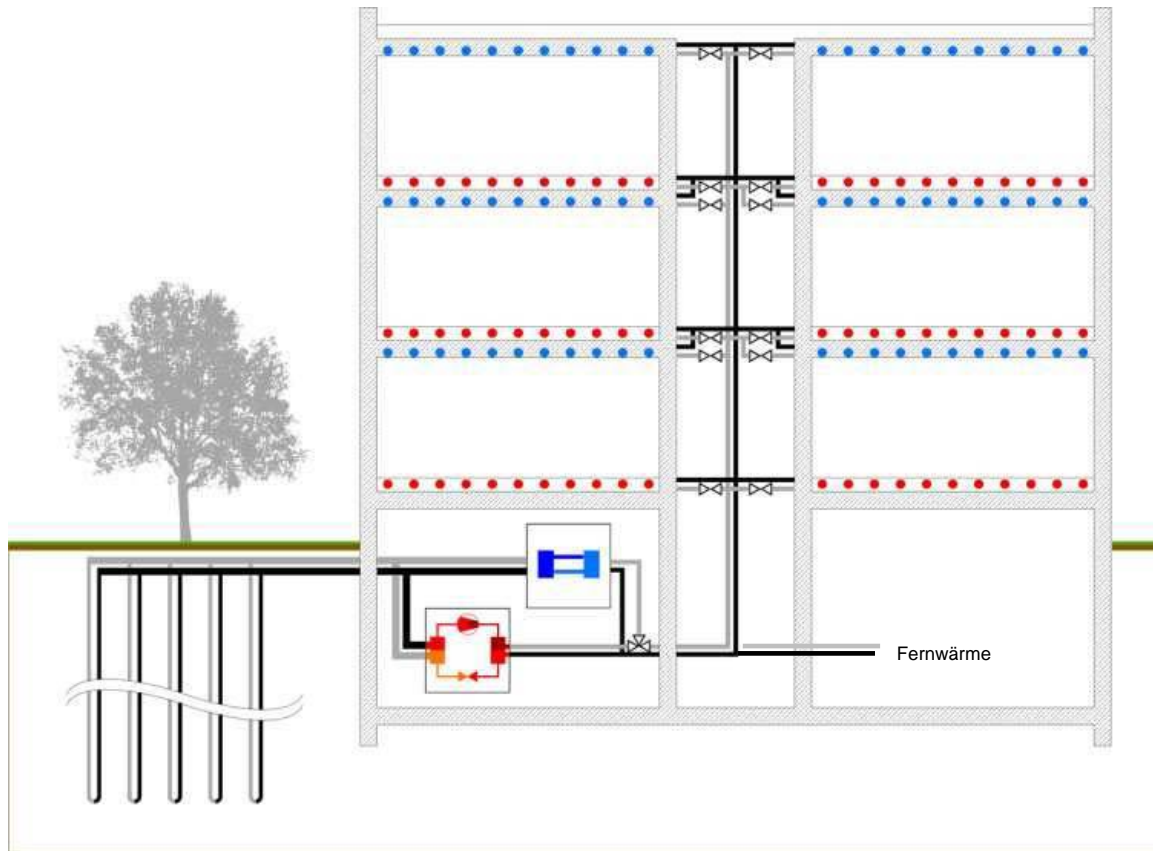
Quelle: <https://www.climatecentral.org/wgts/global-shifting-cities/index.html>

Kühlen als Chance



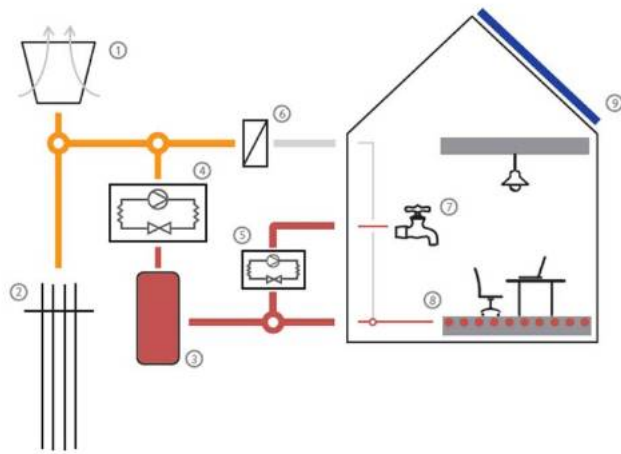
Eigene Darstellung,
Institute of Building Research & Innovation

Kühlen als Chance

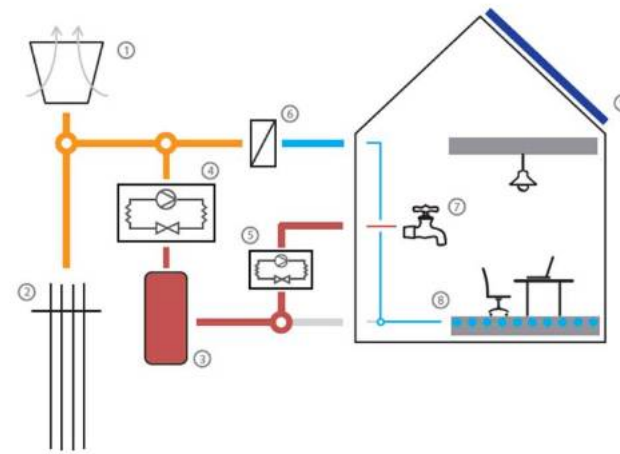


Eigene Darstellung, IPJ GmbH
System Kallco Klima Loop ®

Kühlen als Chance



- ① Luftwärmetauscher
- ② Erdsonden
- ③ Pufferspeicher
- ④ Wärmepumpe
- ⑤ Wärmepumpe Warmwasser
- ⑥ Wärmetauscher für Freecooling
- ⑦ Warmwasser
- ⑧ Fußbodenheizung
- ⑨ Photovoltaik

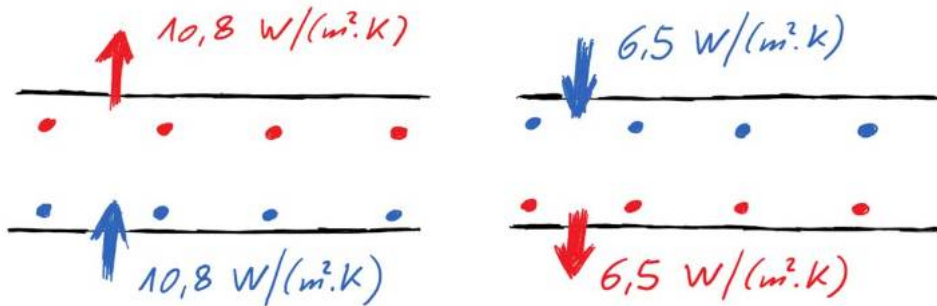


- ① Luftwärmetauscher
- ② Erdsonden
- ③ Pufferspeicher
- ④ Wärmepumpe
- ⑤ Wärmepumpe Warmwasser
- ⑥ Wärmetauscher für Freecooling
- ⑦ Warmwasser
- ⑧ Fußbodenheizung
- ⑨ Photovoltaik

Eigene Darstellung, IPJ GmbH

Heizen mit der Decke? Kühlen mit dem Fußboden?

Wärmestromdichten



	Wärmeübergangskoeffizient in W/(m².K)		
	ISO 6946:2018	EN 1264-5:2009	(EN 15377-1:2008)
Decke mit Wärmestrom nach unten	5,9	6,5	6,0
Fußboden mit Wärmestrom nach unten	5,9	6,5	7,0
Decke mit Wärmestrom nach oben	10,0	10,8	$q = 8,92 (\theta_{S,m} - \theta_i)^{1,1} \text{ (W/m}^2\text{)}$
Fußboden mit Wärmestrom nach oben	10,0	10,8	$q = 8,92 (\theta_{S,m} - \theta_i)^{1,1} \text{ (W/m}^2\text{)}$
Wand mit horizontalem Wärmestrom	7,7	8,0	8,0

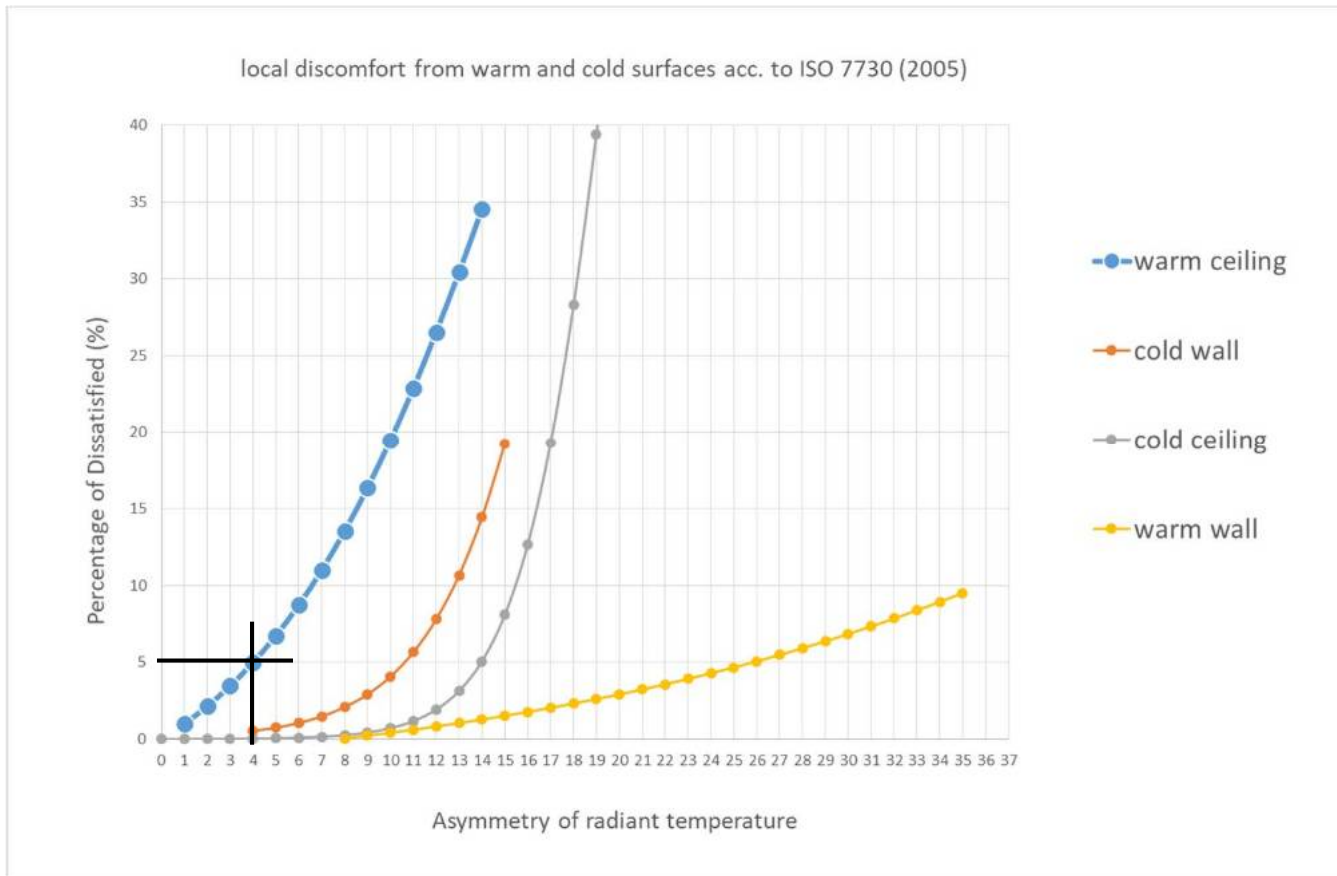
Heizen mit der Decke? Kühlen mit dem Fußboden?

Behaglichkeitsgrenzen

- Lokale thermische Unbehaglichkeit bei Deckenheizungen abhängig von der Asymmetrie der Strahlungstemperatur
lt. ÖNORM EN ISO 7730:2006
- Lokale thermische Unbehaglichkeit bei Fußbodenkühlungen abhängig von der Fußbodentemperatur lt. ÖNORM EN ISO 7730:2006
abhängig von Fußbodentemperatur und –material lt. ISO/TS 13732-2:2001

Behaglichkeitsgrenze der Deckenheizung

$$PD_{\text{Temperaturasymmetrie}} \leq 5\% \rightarrow \Delta T_{\text{rad}} \leq 4 \text{ K}$$

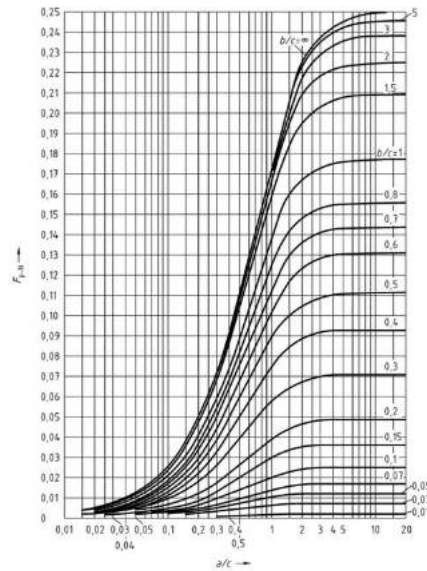
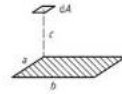
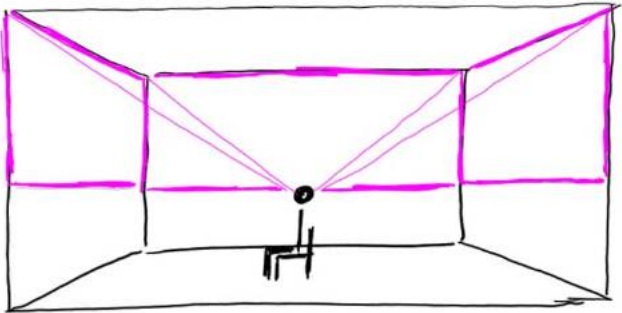
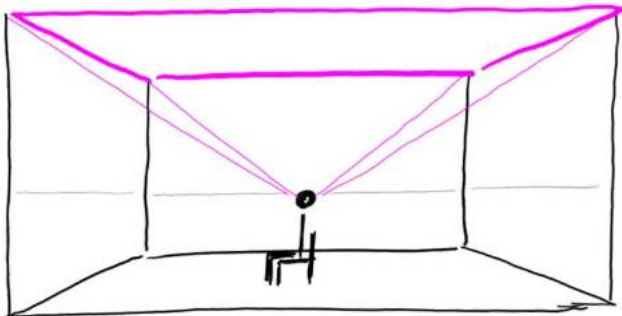


- ISO 7730 nimmt eine dreistufige Kategorisierung des Komfortniveaus nach A, B, C vor.
- Kategorie B wird darin einem Niveau allgemeiner Unbehaglichkeit von $PMV \leq \pm 0,5$ und $PPD \leq 10\%$ und einem Niveau lokaler Unbehaglichkeit durch asymmetrische Strahlung von $PD \leq 5\%$ gleichgesetzt.
- In EN 15251 und EN 16798-1 und EN 16798-2 wird ein $PMV \leq \pm 0,5$ als normales Erwartungsniveau an neue und renovierte Gebäude genannt.
- Demnach kann im Analogieschluss eine Unbehaglichkeit aus asymmetrischer Strahlung von $PD \leq 5\%$ ebenfalls als normales Erwartungsniveau angesetzt werden.

Behaglichkeitsgrenze der Deckenheizung

Berechnung der Asymmetrie der Strahlungstemperatur ΔT_{rad}

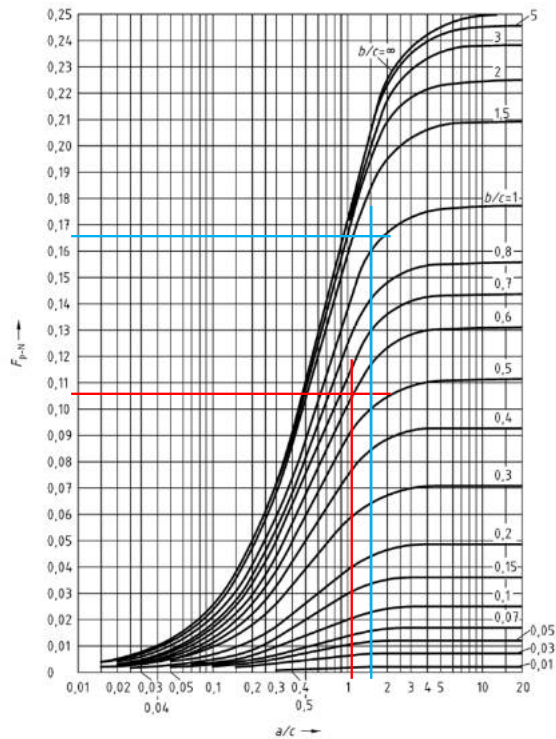
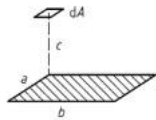
$$\bar{T}_r = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_N F_{p-N}$$



- Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur des oberen Halbraums ($> 0,6\text{m}$) auf ein nach oben gerichtetes Flächenelement in Raummitte
- Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur des unteren Halbraums ($< 0,6\text{m}$) auf ein nach unten gerichtetes Flächenelement in Raummitte
- Verwendung der Winkelfaktoren F_{p-N} laut ÖNORM EN ISO 7726:1998

Behaglichkeitsgrenze der Deckenheizung

Berechnung der Asymmetrie der Strahlungstemperatur ΔT_{rad}



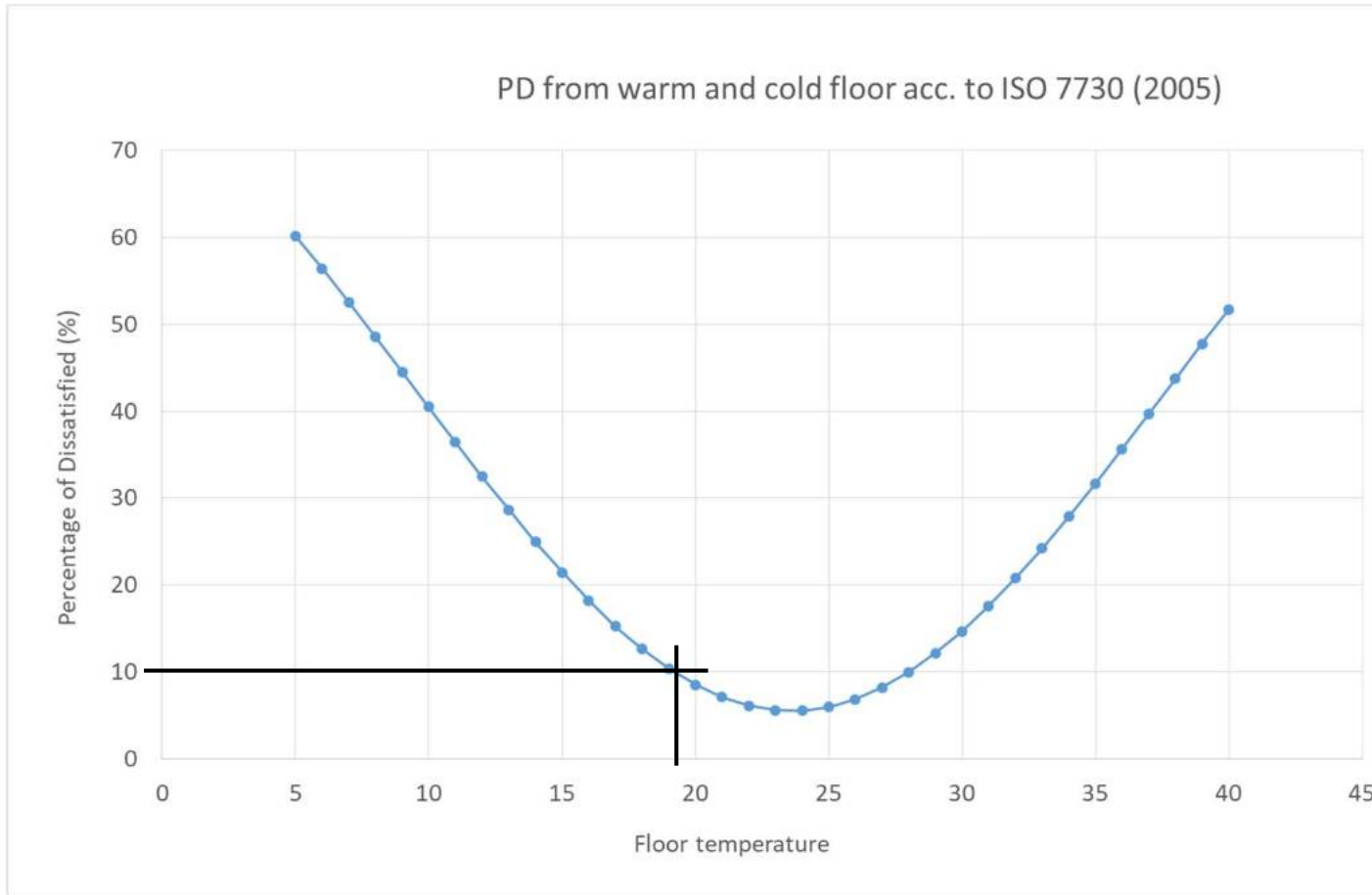
Raumbreite	2,4	4 m
Raumlänge	4,8	6 m
Raumhöhe	2,7	2,5 m
Raumfläche	12	24 m ²
halbe Raumbreite (a)	1,2	2 m
halbe Raumlänge (b)	2,4	3 m
Raumhöhe oberer Halbraum (c)	2,1	1,9 m
a/c	0,6	1,1
b/c	1,1	1,6
F_p-De	0,105	0,165
4 x F_p-De	0,42	0,66
T_Decke	29	26 ° C
T_Wände und Boden	20	20 ° C
T_rad_oben	23,8	24,0 ° C
T_rad_unten	20	20 ° C
delta T_rad	3,8	4,0 K

Behaglichkeits- und Leistungsgrenze der Deckenheizung

- Die normativ als behaglich einzustufende Deckentemperatur ist abhängig von der Raumgröße und von der Raumhöhe.
- Bei einem kleinen Raum (2,4 x 4,8m) und 2,7 m Raumhöhe ergibt sich ein oberer Grenzwert der normativ behaglichen Deckentemperatur von 29 °C.
- Bei einem großen Raum (4,0 x 6,0m) und nur 2,5 m Raumhöhe ergibt sich ein oberer Grenzwert der normativ behaglichen Deckentemperatur von 26 °C.
- Aus diesen beiden Grenztemperaturen ergibt sich die Obergrenze der normativ noch behaglichen flächenbezogenen Wärmeabgabe im ungünstigeren Fall eines niedrigen und großen Raumes zu 39 W/m².

Behaglichkeitsgrenze der Fußbodenkühlung laut ISO 7730

$PD_{\text{kalter Fußboden}} \leq 10\% \rightarrow T_{\text{FB}} \geq 19 \text{ °C}$ (mit leichtem Schuhwerk!)



ÖNORM EN ISO 7730:2005.
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.

In Kategorie B wird ein Niveau lokaler Unbehaglichkeit durch kalten oder warmen Fußboden von $PD \leq 10\%$ festgeschrieben.

Die Zusammenhänge gelten für für Personen mit leichtem Schuhwerk !!

Behaglichkeitsgrenze der Fußbodenkühlung laut ISO/TS 13732-2:2001

$T_{FB} \geq 22 \text{ °C}$ bei Holzfußboden. Warnung vor Kühlen bei Fliesen.

Table 1 — Comfortable floor temperatures for people standing on typical floor constructions; sedentary people prefer temperatures 1 °C to 2 °C higher

Floor construction on concrete (thickness in brackets)	Heat loss to foot measured according to DIN 52614		Optimum floor temperature		Recommended floor temperature range °C	
	1 min kJ/m ²	10 min kJ/m ²	1 min °C	10 min °C	1 min 10 % dissatisfied	10 min 15 % dissatisfied
Textile layer	17	75	19	24	8 to 30	20 to 28
Wilton-carpet (velvet)	20	91	21	24,5	12 to 30,5	21 to 28
Sisal-carpet	14	123	23	25	15,5 to 31	22,5 to 28
Needled felt sheet	21	111	22	25	13 to 30,5	22 to 28
Cork (5 mm)	26	145	24	26	17 to 31	23 to 28
Pinewood floor	29	124	25	25	18,5 to 31	22,5 to 28
Oakwood floor	36	182	26	26	21,5 to 31,5	24,5 to 28
Wooden floor	38	134	26,5	25,5	22 to 31,5	23 to 28
Vinyl-asbestos tile	80	485	30	28,5	28 to 32,3	27,5 to 29
PVC-sheet with felt underlay	49	242	28	27	24,5 to 32	25,5 to 28
PVC-sheet (2 mm)	60	365	29	27,5	26 to 32	26,5 to 28,5
Tessellated floor (5 mm) on gas concrete	60	301	29	27	26 to 32	26 to 28,5

- ISO/TS 13732-2:2001, Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces — Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature
- Die Angaben gelten für 1-minütiges Stehen, barfuß oder in Socken.

Kondensatgefahr an Fußbodenkühlungen

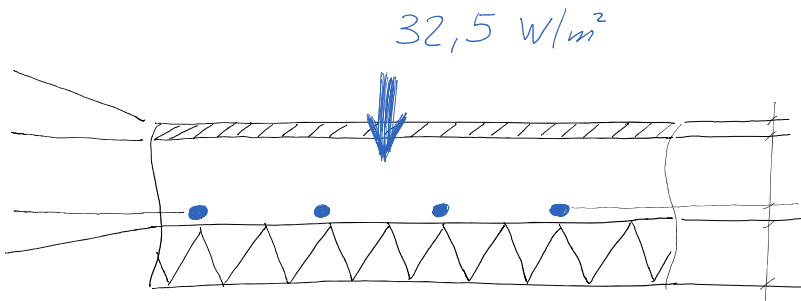
$$T_{\text{Luft}} = 27^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{FB}} = 22^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Grenz}} = 19,8^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Wasser}} = 18^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Grenz}} = 18^\circ\text{C}$$



$$R_{s_i} = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$1 \text{ cm } R_f = 0,08 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$5 \text{ cm } R_f = 0,05 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$1 \text{ cm } R_f = 0,01 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$3 \text{ cm}$$

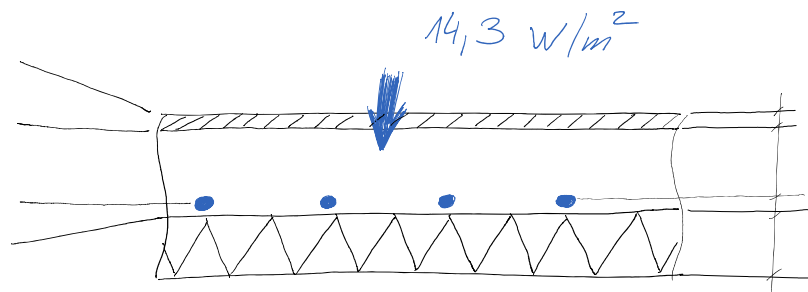
$$T_{\text{Luft}} = 22^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{FB}} = 19,8^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Grenz}} = 18,8^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Wasser}} = 18^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Grenz}} = 18^\circ\text{C}$$



$$R_{s_i} = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$1 \text{ cm } R_f = 0,08 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

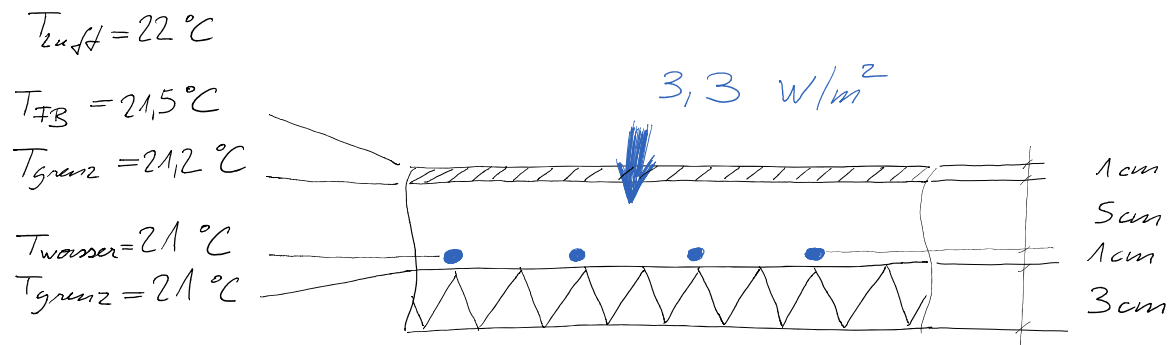
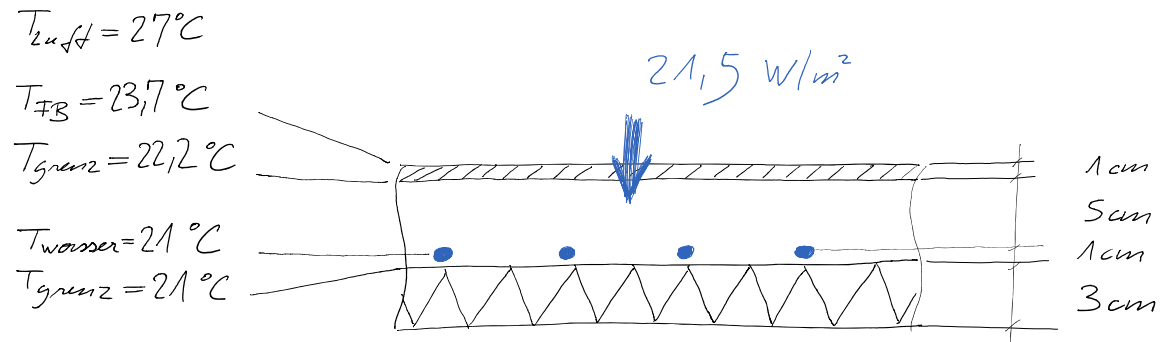
$$5 \text{ cm } R_f = 0,05 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$1 \text{ cm } R_f = 0,01 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$3 \text{ cm}$$

- 1 cm Holzfußboden auf 6 cm Heizestrich auf Trittschalldämmung.
- Effektiver Leitwert des Estrich berechnet nach K. Kreč, Energiespeicher Beton, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 2/2016, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), 2015
- Bei einer mittleren Wassertemp. von 18°C tritt unter dem Holzboden eine Grenzschichttemperatur von weniger als 19°C und unter dem Estrich von eine von 18°C auf.

Kondensatgefahr an Fußbodenkühlungen



- Bei einer mittleren Wassertemperatur von 21°C tritt unter dem Holzboden eine unproblematische Grenzschichttemperatur von mindestens 21°C auf. Ebenso unter dem Estrich.
- Es tritt außerdem ein starker Selbstregelleffekt auf.

Schlussfolgerungen und Betriebserfahrungen *

* überliefert, beobachtet und gemessen

Deckenheizung

- Es wurden in keinem Fall Beschwerden über Unbehaglichkeit aufgrund zu hoch empfundener Deckentemperatur berichtet.
- Die normativ verankerten Ergebnisse der Behaglichkeitsforschung spiegeln sich offensichtlich in der Praxis wieder.
- Oberflächentemperaturen von bis zu 6 K über der Raumlufthtemperatur und damit Wärmeabgabeleistungen von bis zu 40 W/m² scheinen gut vertretbar zu sein.
- In zwei Fällen wurde eine mangelhafte Wärmeleistung der Deckenheizung in hochverglasten EG-Wohnungen über kalten Nebenräumen beobachtet. Auf derartige Situationen ist gesondert zu reagieren.

Schlussfolgerungen und Betriebserfahrungen *

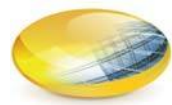
* überliefert, beobachtet und gemessen

Fußbodenkühlung

- Nutzer*innen von Fußbodenkühlungen beschreiben mehrfach Grenzen des Systems hinsichtlich lokaler Unbehaglichkeit. Insbesondere gekühlter Fliesen- oder Steingutboden in Wohnnutzung wird wiederholt als unbehaglich berichtet. Speziell dann, wenn eine direkte Verbindung zu einem Außenraum besteht, die zum bloßfüßig Gehen einlädt.
- Aus büro-ähnlichen Nutzungen werden derartige Beobachtungen naturgemäß nicht berichtet, nachdem dort Schuhe getragen werden.
- Berichte von Unbehaglichkeitsursachen jenseits der Kontakttemperatur, etwa wegen der Entstehung von „Kaltluftseen“, sind uns keine bekannt.
- Empfehlenswert scheint eine Begrenzung der Vorlauftemperatur auf ≥ 20 °C, was ohne weitere Regelung sowohl hinsichtlich Kondensatgefahr als auch Behaglichkeit einen problemlosen Betrieb verspricht. Die flächenbezogene Kühlleistung stellt sich bei 27 °C Raumlufttemperatur mit ca. 20 W/m² ein. Bei direkter Sonnenbestrahlung deutlich darüber.

Danke

Peter Allé, Rainer Anzböck, Ernst Bach, Nadja Bartlmae, Thomas Bednar, Barbara Beigelböck, Josef Bichler, Manfred Bruck, Michael Cervený, Claudia Dankl, Richard de Dear, Christof Drexel, Irmgard Eder, Katharina Eder, Stefan Eisinger, Andi Greml, Renate Hammer, Robert Hammerling, Simon Handler, Robert Hastings, Herbert Hetzel, Christian Hofer, Clemens Häusler, Michael Humphreys, Ali Kainer, Winfried Kallinger, Matthias Kendlbacher, Wolfgang Kessling, Klaus Kreč, Thomas Kreitmayer, Harald Kuster, Walter Laschober, Fergus Nicol, Bjarne Olesen, Christian Pöhn, Franz Pranckl, Reinhard Schild, Helmut Schöberl, Petra Schöffmann, Sebastian Spaun, Christian Steininger, Andreas Riedmann, Sue Roaf, Stefan Spitzer, David Stuckey, Franz Vogel, Margit Wagerer, Alexander Wallisch, Michael Weiss, Felix Wimmer u.v.a.m.



Institute of
**Building Research
& Innovation**



INGENIEURBÜRO P. JUNG
Konzepte für innovative Gebäude