

Oberflächenkondensat - Behaglichkeit

DI(FH) Clemens Häusler, MSc

DI(FH) Bauphysik (Fachhochschule für Technik Stuttgart, D)
MSc of Sound & Vibrations (University of Southampton, UK)

Übersicht

- Anforderung Behaglichkeit
- Anforderung Wärmeschutz
- Anforderung Luftwechsel
- Anforderung Luftfeuchte
- Wärmebrücken (3D)
 - Dämmung außen - allmächtig
 - Dämmung innen - ohnmächtig
 - Bestand - Sanierung - Neubau
- Feuchtebilanz
- Lüftungskonzept
- Wohnungen ohne Schimmel ?

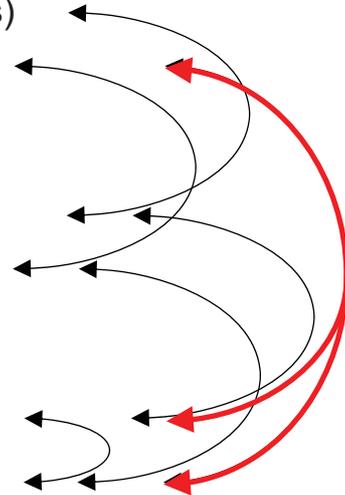


Thermischen Sanierung - Ziele

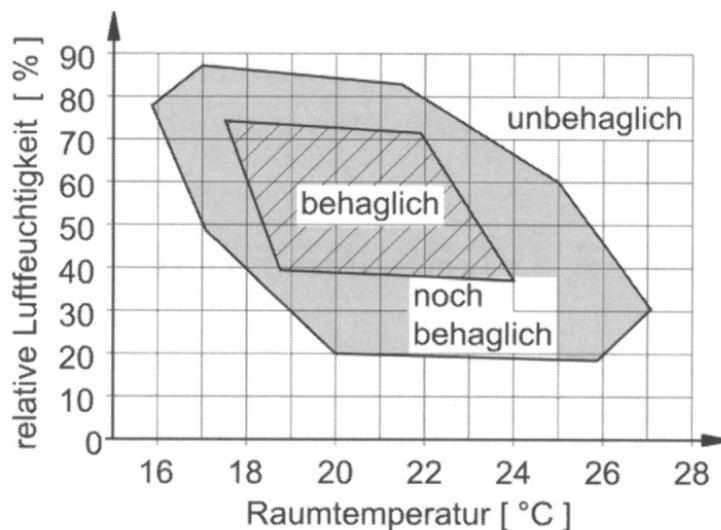
- Energieeffizient steigern
 - ➔ Wärmedämmung (Energieausweis)
 - ➔ Fenstertausch (Energieausweis)

- Behaglichkeit schaffen
 - ➔ Oberflächentemperatur erhöhen
 - ➔ Zugerscheinung verhindern

- hygienische Anforderung
 - ➔ Tauwasser / Schimmel verhindern
 - ➔ Luftqualität - Luftwechsel

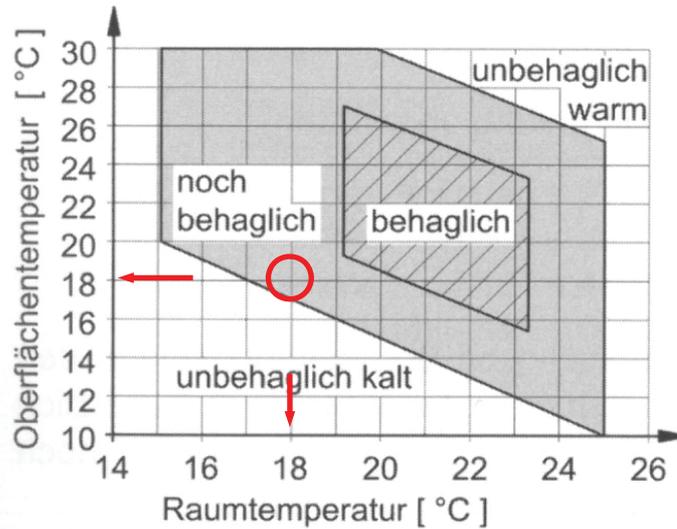


Anforderung Behaglichkeit - Luftfeuchte



Anmerkung: Feuchtepufferung wird noch ein großes Thema!

Anforderung Behaglichkeit - O-Temperatur



Behaglichkeit: Oberfläche ± 3 K Lufttemperatur [Pech 2004]

Anforderung Wärmeschutz

U-Werte sind baurechtlich (normativ) vorgegeben, z.B.

U-Werte [W/m^2K] (Dämmung [cm])	OIB 6 2015	Praxis 2014	Passivhaus
Wand Außenluft	0,35 (08...10)	0,20 (15...20)	0,12 (25...30)
Decke Außenluft	0,20 (15...20)	0,10 (30...40)	0,08 (40...50)
Wand unbeheizt	0,60 (05...07)	0,40 (05...10)	0,40 (05...10)
Decke unbeheizt	0,40 (07...10)	0,30 (07...15)	0,30 (07...15)
Wand Erdreich	0,40 (07...10)	0,20 (15...20)	0,20 (15...20)
Decke Erdreich	0,40 (07...10)	0,20 (15...20)	0,20 (15...20)

(Annahme Wärmedämmung: $\lambda = \text{ca. } 0,03 \dots 0,04 \text{ W/mK}$)

Außendämmung 15...30 cm (Neubau & Sanierung) => CO₂ Reduktion

Innendämmung 5...10 cm => Behaglichkeit (Oberflächentemperatur)

Wand / Decke 0,73 (04...05) DIN 4108-2

Anforderung Luftwechsel

Hygienischer Mindestluftwechsel: 30 m³/h pro Person

(EN ISO 13789: während der Nutzung in Nicht-Wohngebäuden)

bei Wohngebäuden (2,5 m LRH)

$n_L = 0,30 \dots 0,40 \dots 0,60 / h \approx 40 \dots 30 \dots 20 \text{ m}^2 / \text{Person}$

bei Nicht-Wohngebäude (3,0 m LRH)

$n_L = 1,00 \dots 2,00 \dots 3,33 / h \approx 10 \dots 5 \dots 3 \text{ m}^2 / \text{Person}$

Energetisch wirksamer Luftwechsel (ÖN B 8110-5)

$n_L = 0,40 / h \dots 0,60 / h$ bei Wohngebäuden bzw. Pensionen

$n_L = 1,00 / h \dots 3,00 / h$ bei Nichtwohngebäuden

Anforderung Luftwechsel - Fenstertausch

Glas 'alt' (unbeschichtet):

Einfachglas: $U = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Zweifachglas: $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dreifachglas: $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Luftwechsel: $n_L = 0,40 \dots 1,10 / h$ (Falschluftrate n_x)

Fenster zu: 10 ... 26-facher Luftwechsel / Tag

Glas 'neu' (beschichtet):

Zweifachglas: $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dreifachglas: $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Luftwechsel: $n_L = 0,04 \dots 0,11 / h$ (Falschluftrate n_x) ¹⁾

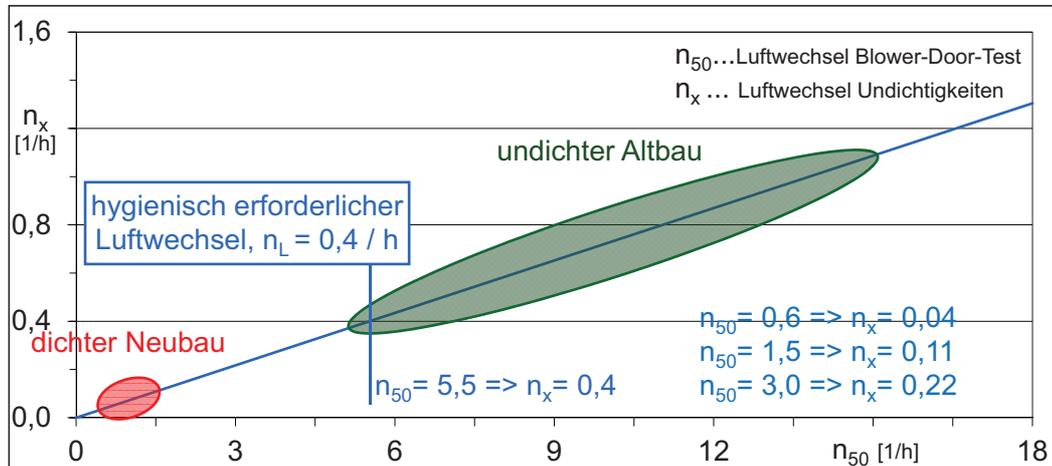
Fenster zu: 1 ... 2,6-facher Luftwechsel / Tag

¹⁾ ÖN B 8110-6: $n_x = 0,04 \dots 0,11$ wenn $n_{50} = 0,50 \dots 1,50$ (Blower-Door-Test)

Anforderung Luftwechsel - Falschluftrate

DIN 1946-6: $n_x = f_{\text{Lüftung}} * n_{50} * (f_{\text{Lage}} * \Delta p / 50)^{0,67}$
 (EN ISO 13465)

$f_{\text{Lüftung}}$... 0,5 (0,25 bei 1ner Fassade)
 f_{Lage} ... 1,0 (0,5...1,7 Abschirmung)
 f_{Lage} ... 1,0 (1,0...2,8 je nach Höhe)



2,8Pa (2,2m/s = 1,9B) ... Annahme Energieausweis (ÖN B 8110-6)

Anforderung Luftfeuchte

Oberflächenkondensat und Schimmelpilzrisiko

- Kombination aus Oberflächentemperatur und Luftfeuchte
- Oberflächentemperatur: baulichen Gegebenheit
- Luftfeuchte: Nutzerverhalten (Lüftung & Feuchteabgabe)

Grenzwerte Raumlufffeuchte

- $\theta_e \geq 0^\circ\text{C}$: $\varphi_i = 65\%$; $\theta_e < 0^\circ\text{C}$: $\varphi_i = 65\% - 1\%$ je $1\text{K} < 0^\circ\text{C}$ Kondensat
- $\theta_e \geq 0^\circ\text{C}$: $\varphi_i = 55\%$; $\theta_e < 0^\circ\text{C}$: $\varphi_i = 55\% - 1\%$ je $1\text{K} < 0^\circ\text{C}$ Schimmel

Grenzwert Oberflächentemperatur

- Außenluft -5°C (DIN 4108-2: 2003-07-01) und Raumluff $+20^\circ\text{C}$:
 $\theta_{\text{si}} \geq 12,0^\circ\text{C}$ bei Kondensat bzw. $\theta_{\text{si}} \geq 12,6^\circ\text{C}$ bei Schimmel
- unabhängig von Außentemperatur: $f_{\text{Rsi}} = (\theta_{\text{Si}} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$
 $f_{\text{Rsi}} \geq 0,69$ bei Kondensat bzw. $f_{\text{Rsi}} \geq 0,71$ bei Schimmel

Anforderung Luftfeuchte - Kondensat

θ_e °C	θ_i °C	ϕ_i %	$\theta_{si,min}^{1)}$ °C	$f_{Rsi,min}$ -	R_{si} m²K/W	U_{max} W/m²K
0.0	20.0	65.0%	13.2	0.66	0.25	1.36
-1.0	20.0	64.0%	13.0	0.67	0.25	1.34
-2.0	20.0	63.0%	12.7	0.67	0.25	1.32
-3.0	20.0	62.0%	12.5	0.67	0.25	1.30
-4.0	20.0	61.0%	12.3	0.68	0.25	1.29
-5.0	20.0	60.0%	12.0	0.68	0.25	1.28
-6.0	20.0	59.0%	11.7	0.68	0.25	1.27
-7.0	20.0	58.0%	11.5	0.68	0.25	1.26
-8.0	20.0	57.0%	11.2	0.69	0.25	1.25
-9.0	20.0	56.0%	11.0	0.69	0.25	1.25
-10.0	20.0	55.0%	10.7	0.69	0.25	1.24
-11.0	20.0	54.0%	10.4	0.69	0.25	1.24
-12.0	20.0	53.0%	10.1	0.69	0.25	1.23
-13.0	20.0	52.0%	9.9	0.69	0.25	1.21
-14.0	20.0	51.0%	9.6	0.69	0.25	1.22
-15.0	20.0	50.0%	9.3	0.69	0.25	1.23

¹⁾ minimal zulässige Oberflächentemperatur bei 100% Luftfeuchte - maximal 8 Stunden

Außentemperatur: $f_{Rsi} = (\theta_{Si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) \geq 0,69$

Anforderung Luftfeuchte - Schimmel

θ_e °C	θ_i °C	ϕ_i %	$\theta_{si,min}^{1)}$ °C	$f_{Rsi,min}$ -	R_{si} m²K/W	U_{max} W/m²K
0.0	20.0	55.0%	14.1	0.70	0.25	1.18
-1.0	20.0	54.0%	13.8	0.70	0.25	1.18
-2.0	20.0	53.0%	13.5	0.71	0.25	1.18
-3.0	20.0	52.0%	13.2	0.71	0.25	1.18
-4.0	20.0	51.0%	12.9	0.71	0.25	1.18
-5.0	20.0	50.0%	12.6	0.70	0.25	1.18
-6.0	20.0	49.0%	12.3	0.70	0.25	1.18
-7.0	20.0	48.0%	12.0	0.70	0.25	1.18
-8.0	20.0	47.0%	11.7	0.70	0.25	1.19
-9.0	20.0	46.0%	11.4	0.70	0.25	1.19
-10.0	20.0	45.0%	11.0	0.70	0.25	1.20
-11.0	20.0	44.0%	10.7	0.70	0.25	1.20
-12.0	20.0	43.0%	10.3	0.70	0.25	1.21
-13.0	20.0	42.0%	10.0	0.70	0.25	1.21
-14.0	20.0	41.0%	9.6	0.70	0.25	1.22
-15.0	20.0	40.0%	9.3	0.69	0.25	1.23

¹⁾ $\theta_{si,min}$ bei 80% Luftfeuchte, darf (im Winter) nicht überschritten werden - EN 13788

Außentemperatur: $f_{Rsi} = (\theta_{Si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) \geq 0,71$

Anforderung Luftfeuchte

Kondensat

maximale relative Luftfeuchte φ_i innen über einen Zeitraum von maximal 8 Stunden nicht überschritten wird

θ_e °C	θ_i °C	φ_i %	$\theta_{si,min}^{1)}$ °C	$f_{Rsi,min}$ -	R_{si} m²K/W	U_{max} W/m²K
10	20	65	13.2	0.32	0.25	2.71
5	20	65	13.2	0.55	0.25	1.81
0	20	65	13.2	0.66	0.25	1.36
-5	20	60	12.0	0.68	0.25	1.28
-10	20	55	10.7	0.69	0.25	1.24
-15	20	50	9.3	0.69	0.25	1.23

¹⁾ minimal zulässige Oberflächentemperatur bei 100% Luftfeuchte

Schimmel

maximale relative Luftfeuchte φ_i die in einem großen Teil im Winter nicht überschritten wird (ÖN B 8110-2)

θ_e °C	θ_i °C	φ_i %	$\theta_{si,min}^{1)}$ °C	$f_{Rsi,min}$ -	R_{si} m²K/W	U_{max} W/m²K
10	20	60	15.4	0.54	0,25	2.71
5	20	55	14.1	0.61	0,25	1.81
0	20	55	14.1	0.70	0.25	1.36
-5	20	50	12.6	0.70	0.25	1.28
-10	20	45	11.0	0.70	0.25	1.24
-15	20	40	9.3	0.69	0.25	1.23

¹⁾ minimal zulässige Oberflächentemperatur bei 80% Luftfeuchte (EN 13788)

Anforderung Luftfeuchte - DIN 4108-2

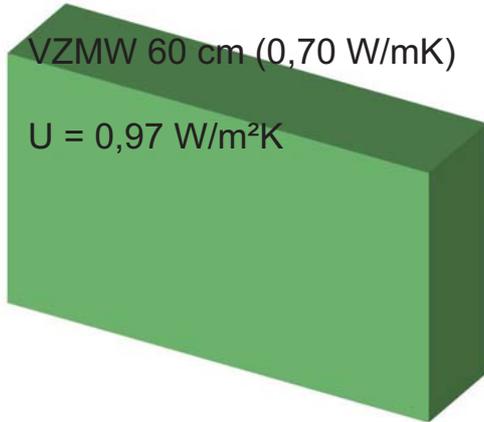
Außentemperatur: $f_{Rsi} = (\theta_{Si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) \geq 0,70$

6.2.1 Anforderung für **Kanten** bzw. linienförmige Wärmebrücken
Kanten, die aus Bauteilen gebildet werden, die der Tabelle 3 entsprechen (Anmerkung: $U \leq 0,73 \text{ W/m}^2$) und **bei denen die Dämmebene durchgängig geführt wird**, bedürfen keines Nachweises.

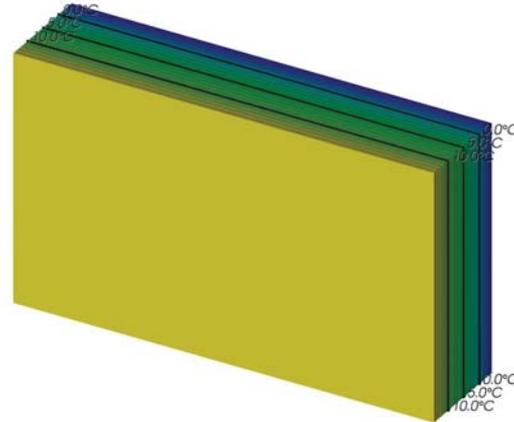
6.2.2 Anforderung für **Ecken** bzw. punktförmige Wärmebrücken
Ecken, die aus Kanten nach 6.2.1 gebildet werden, und **bei denen keine** darüber hinausgehende **Störung der Dämmebene vorhanden ist**, können als unbedenklich hinsichtlich Schimmelbildung angesehen werden und bedürfen keines Nachweises.

=> Ecken bedürfen keines Nachweises - **wenn Dämmebene durchgängig**

WB: Ebenes Bauteil - ohne Dämmung

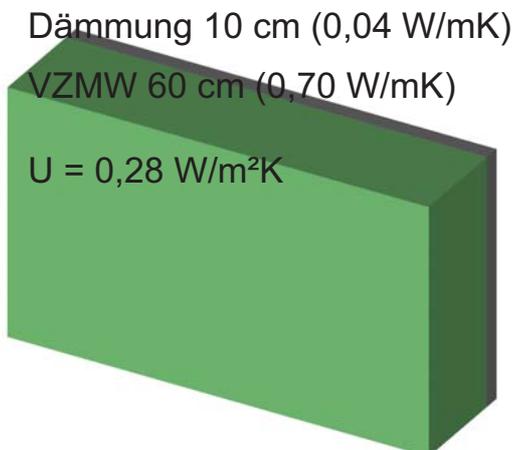


ohne Dämmung

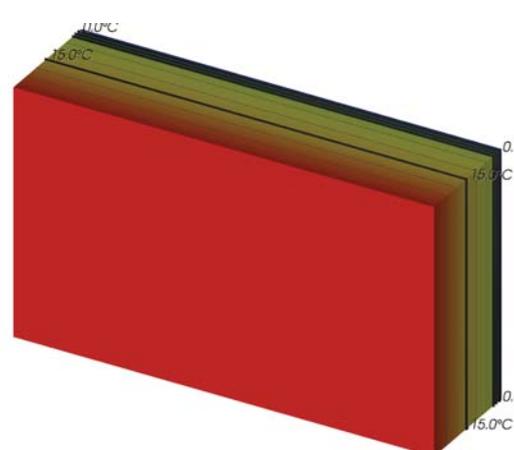


14,6°C 70,9% $f_{Rsi}=0,78$

WB: Ebenes Bauteil - Außendämmung

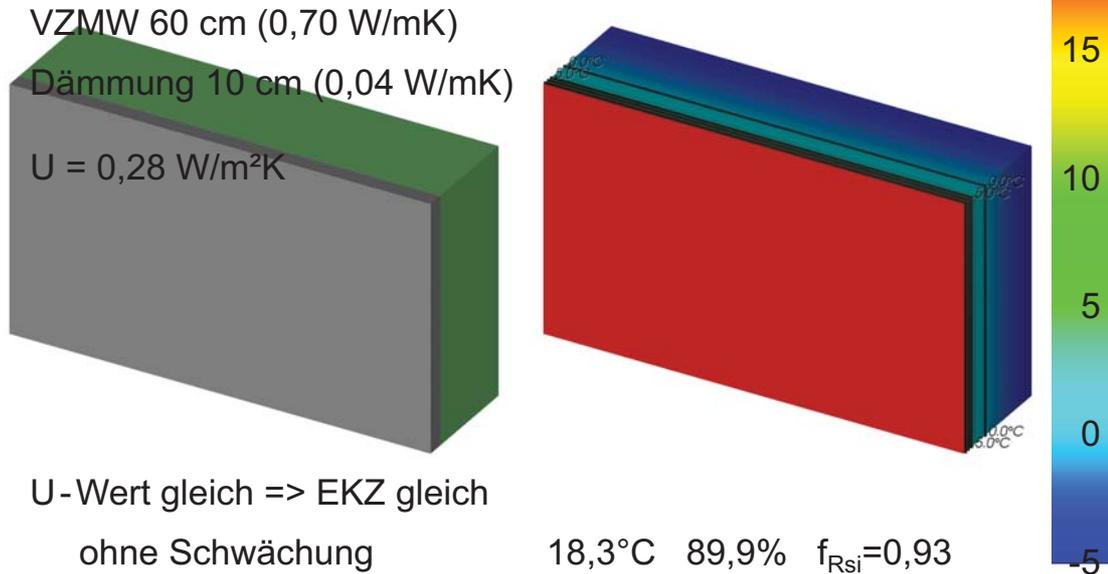


ohne Schwächung

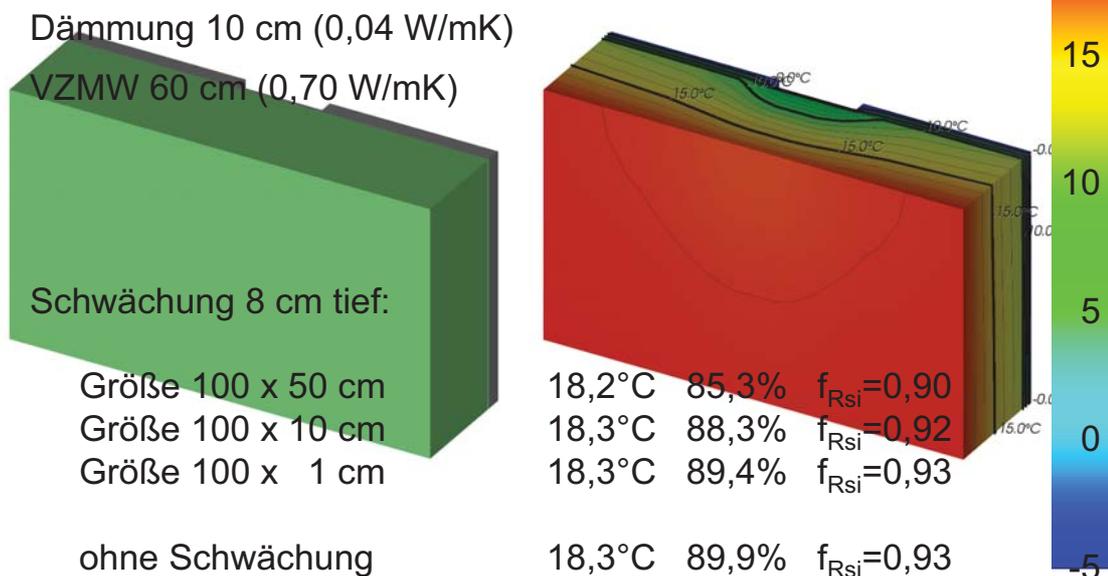


18,3°C 89,9% $f_{Rsi}=0,93$

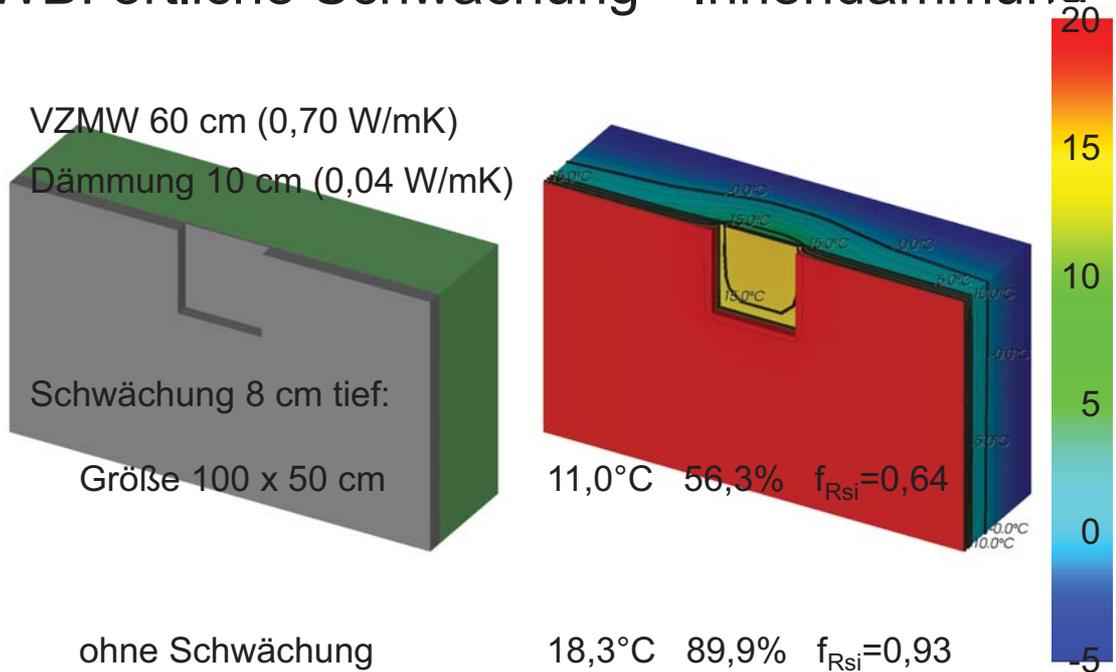
WB: Ebenes Bauteil - Innendämmung



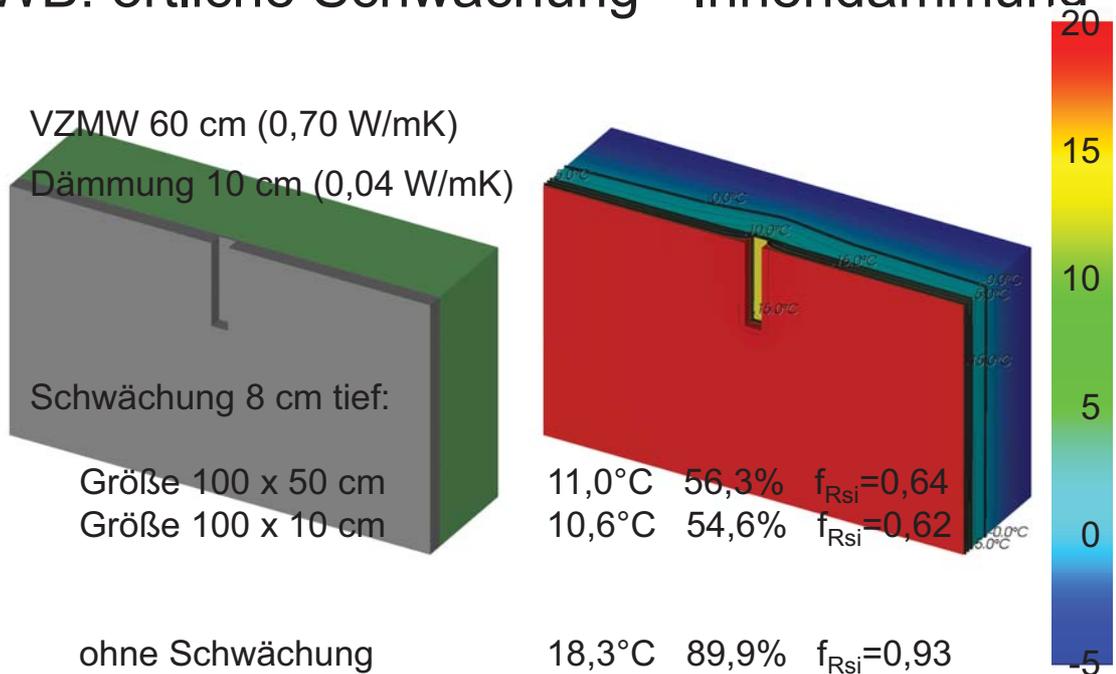
WB: örtliche Schwächung - Außendämmung



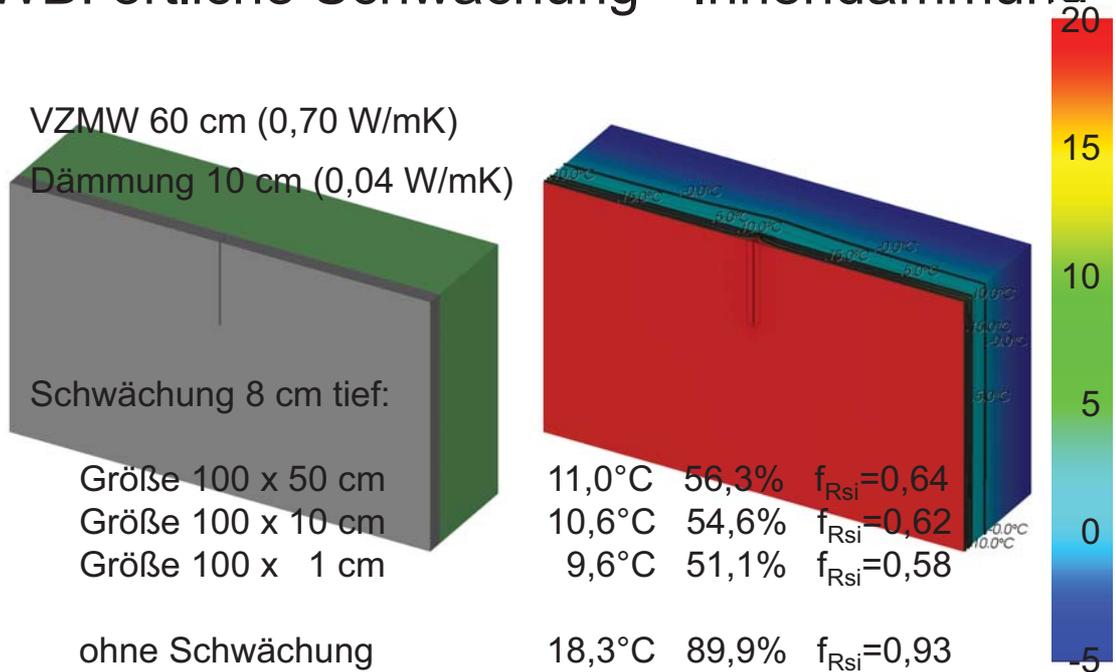
WB: örtliche Schwächung - Innendämmung



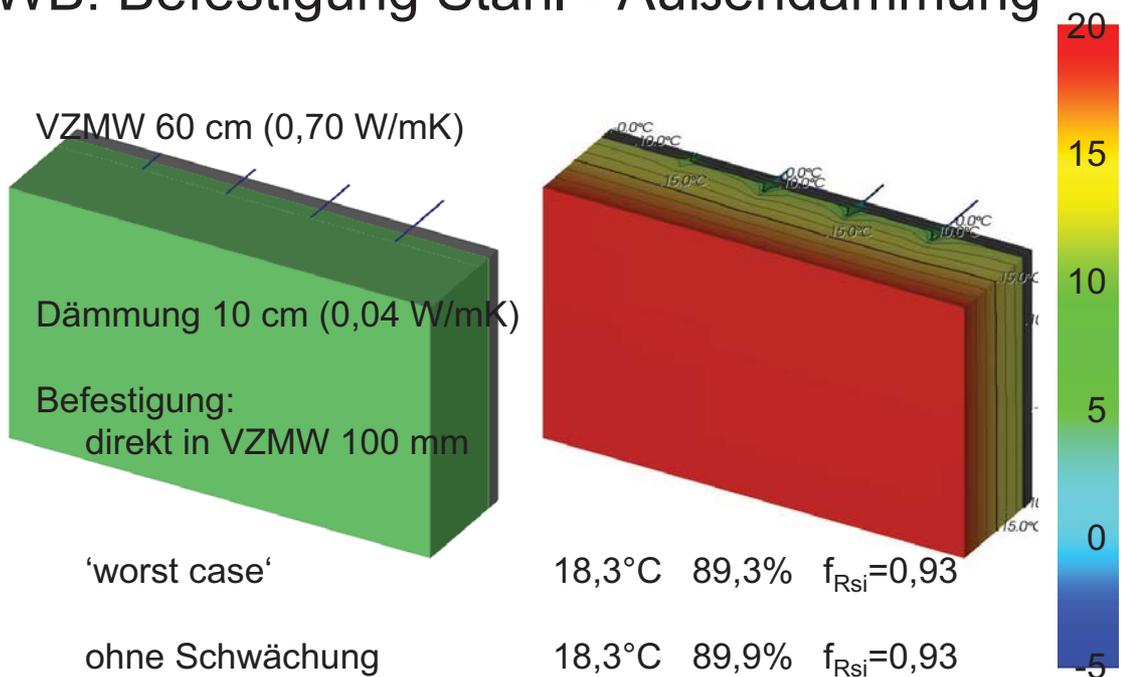
WB: örtliche Schwächung - Innendämmung



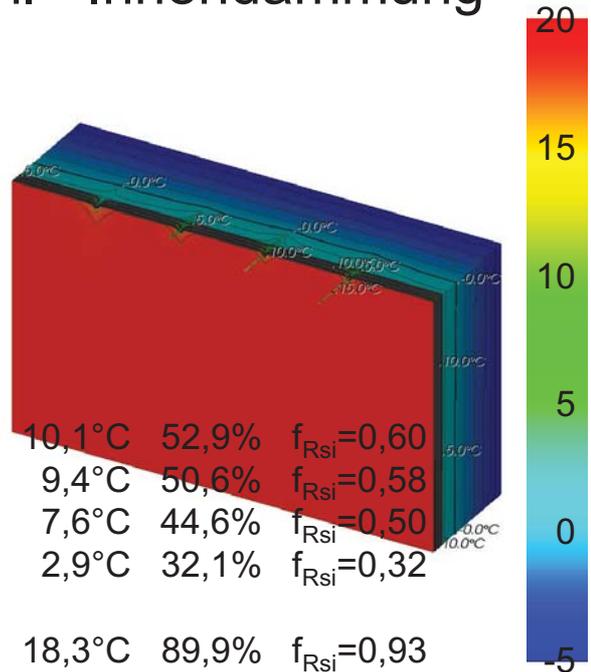
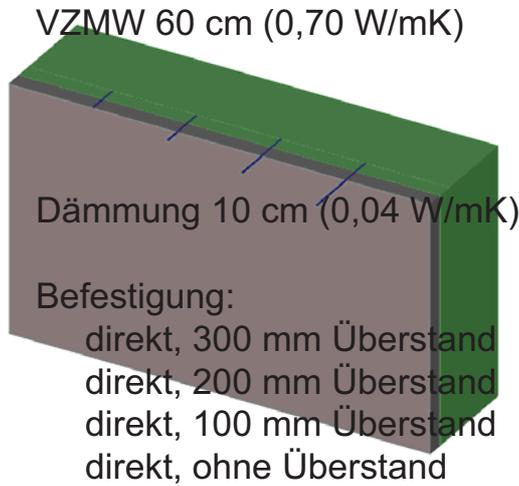
WB: örtliche Schwächung - Innendämmung



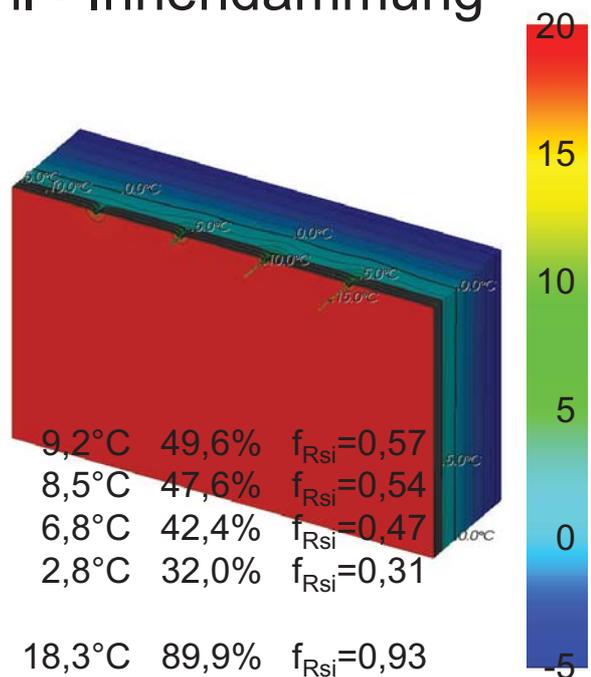
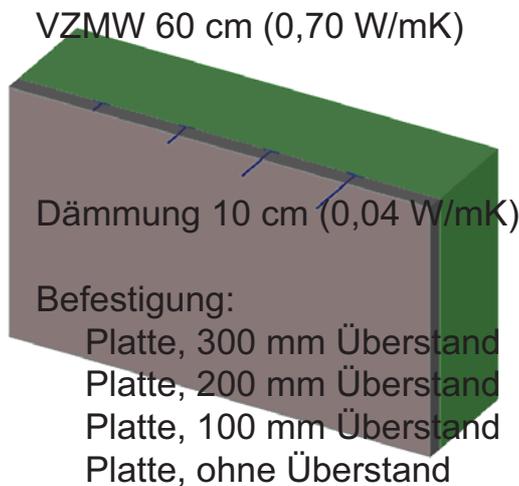
WB: Befestigung Stahl - Außendämmung



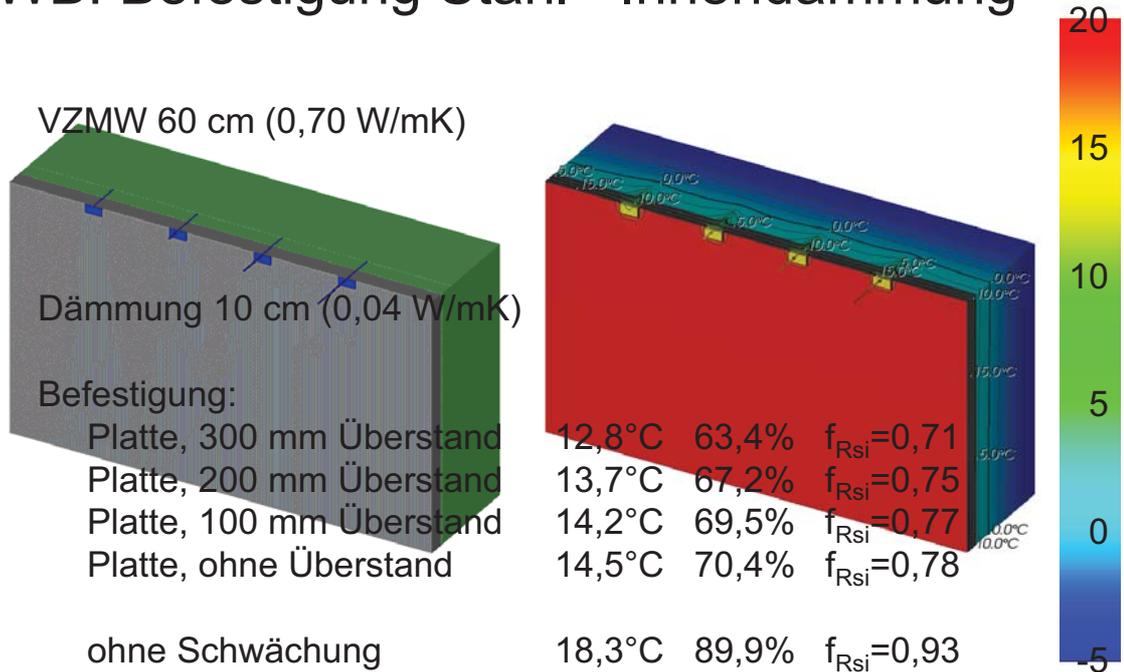
WB: Befestigung Stahl - Innendämmung



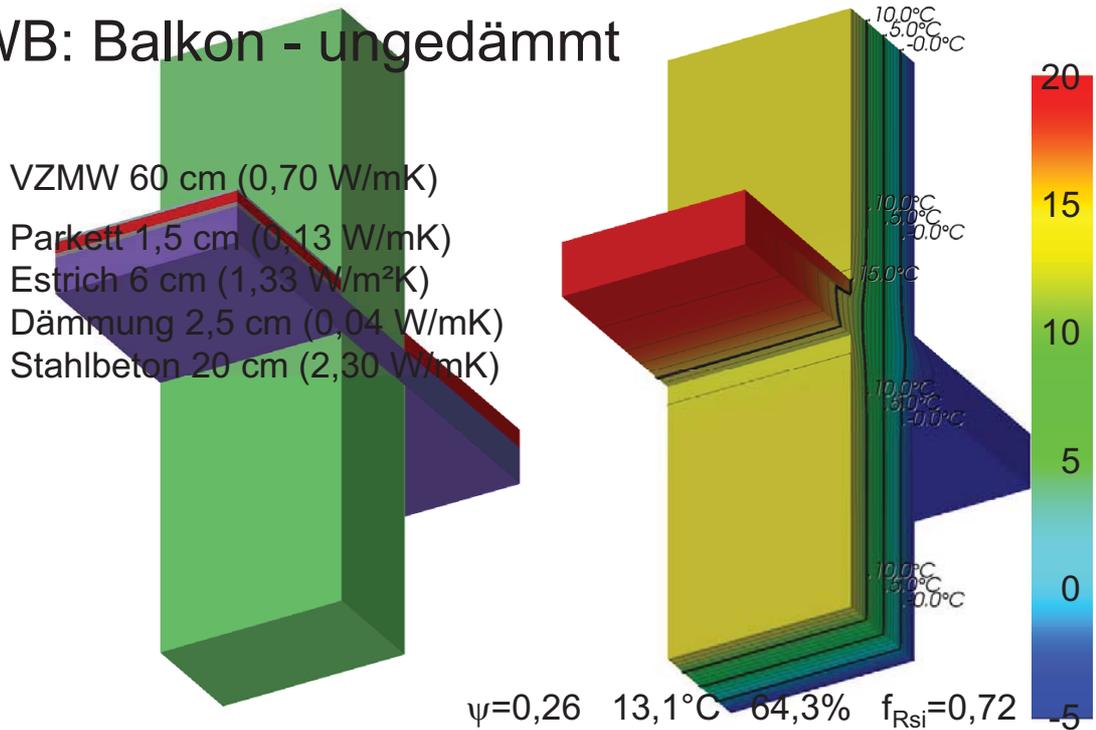
WB: Befestigung Stahl - Innendämmung



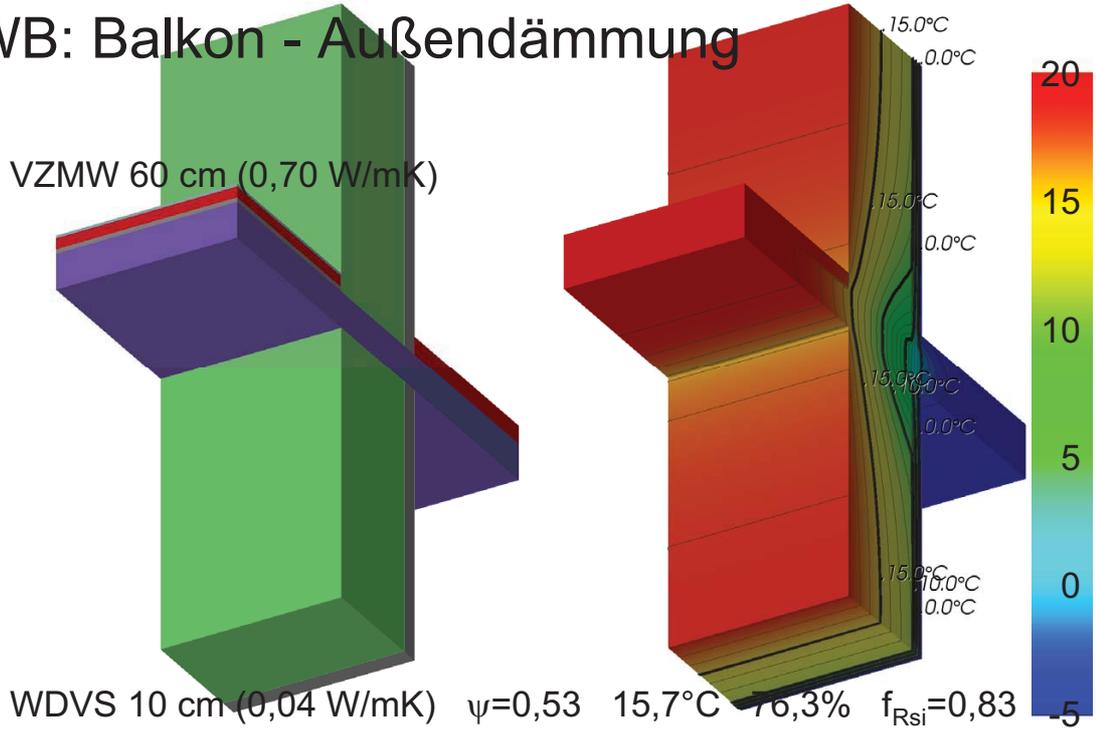
WB: Befestigung Stahl - Innendämmung



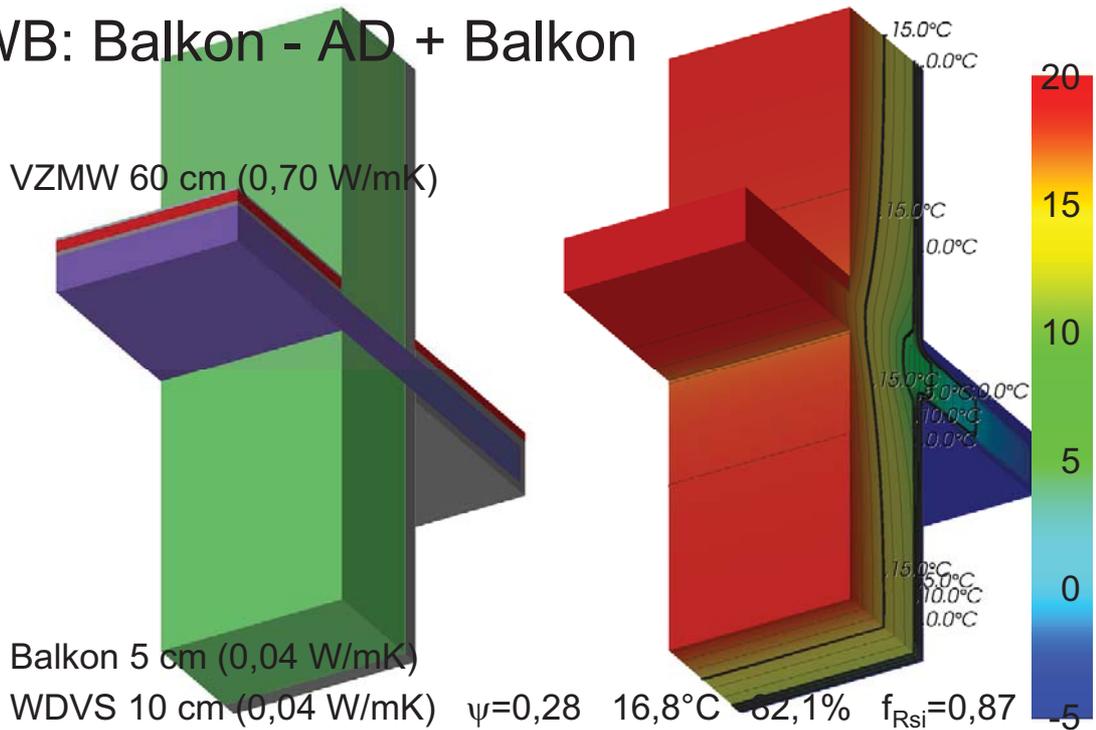
WB: Balkon - ungedämmt



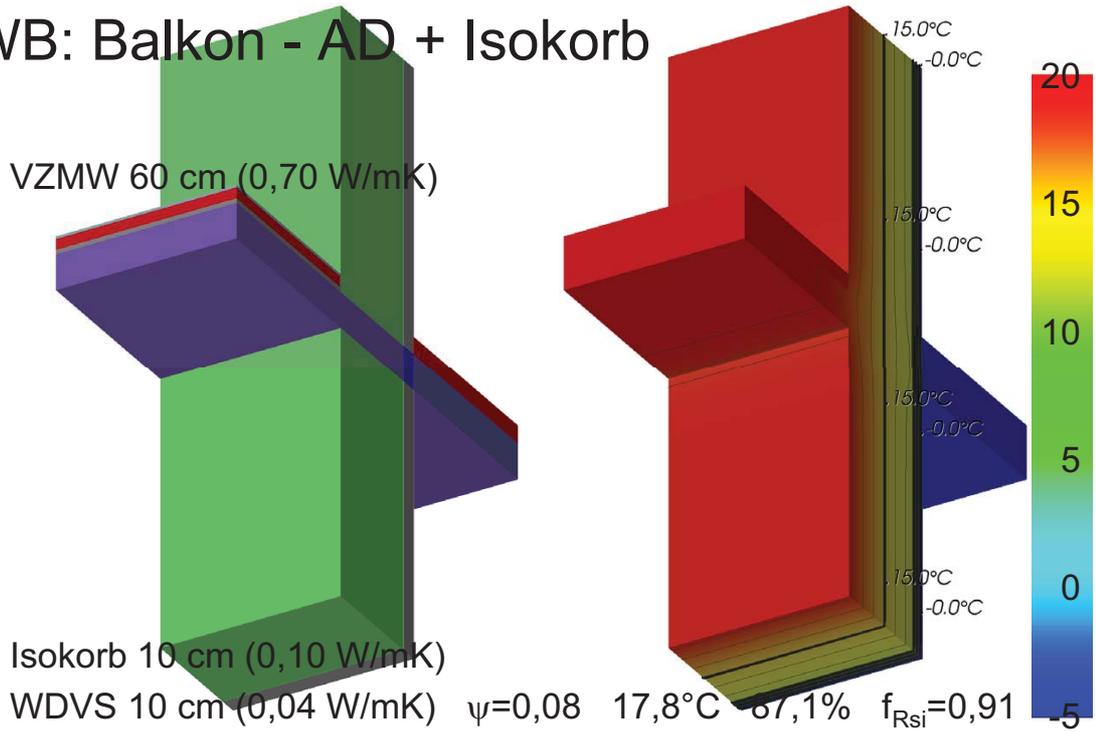
WB: Balkon - Außendämmung



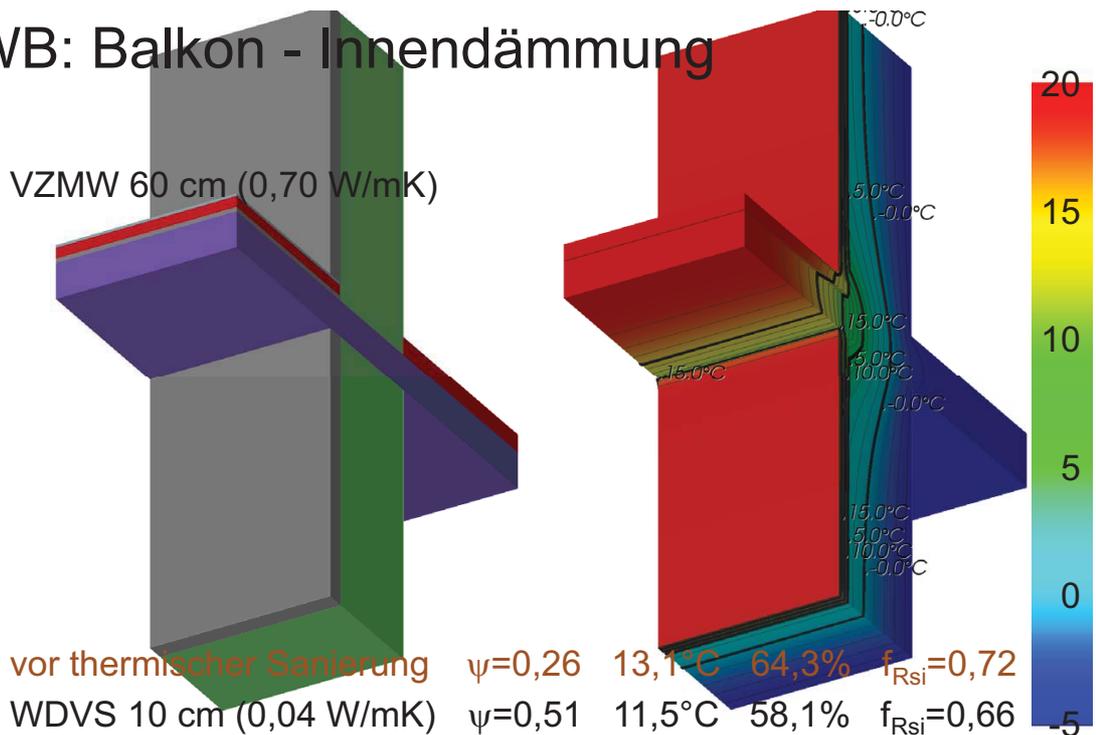
WB: Balkon - AD + Balkon



WB: Balkon - AD + Isokorb



WB: Balkon - Innendämmung

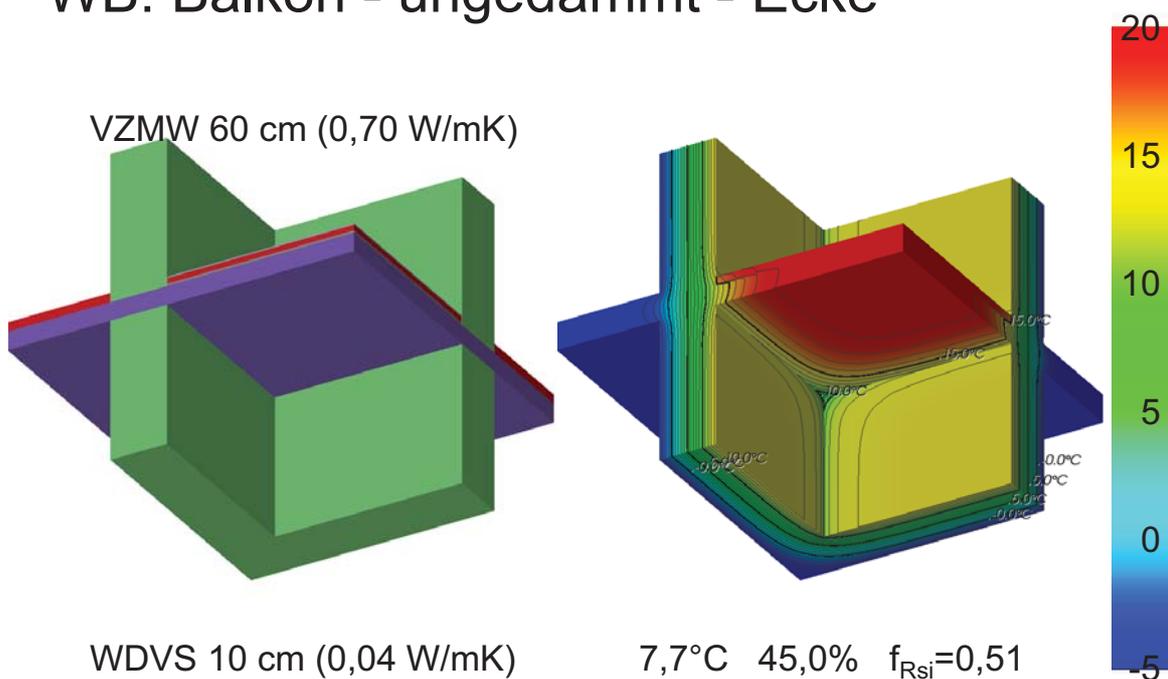


WB: Balkon - Verluste energetisch

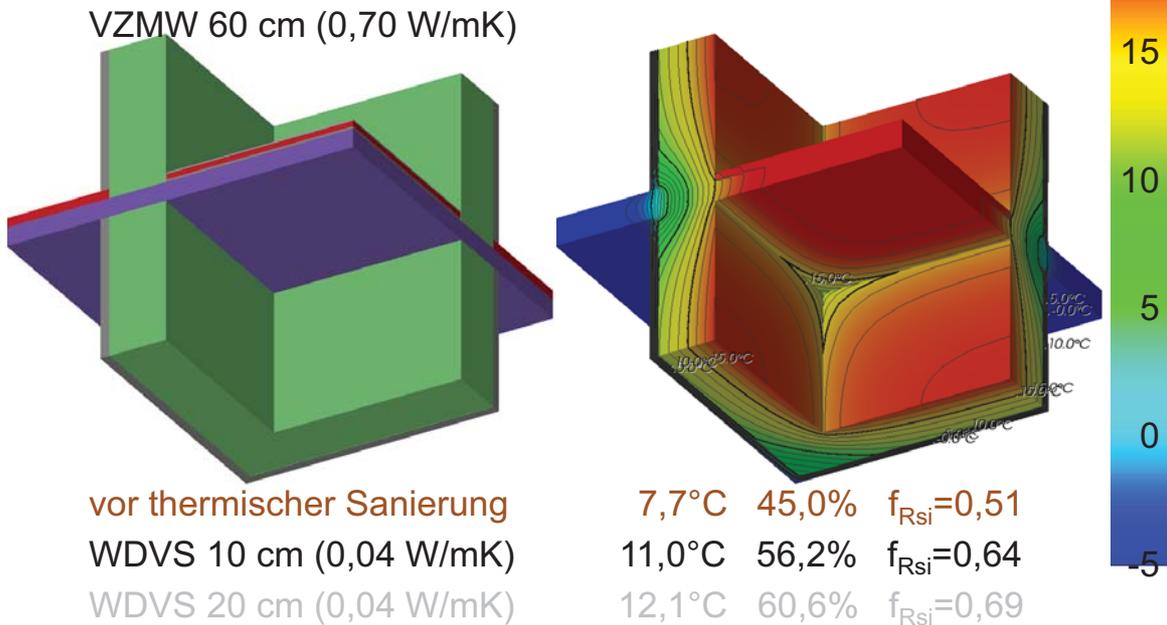
Übersicht	U	L _T	U*I	ψ	θ _{si}	φ	f _{Rsi}	Ψ _{GH}	Ψ _{1m}
	W/m ² K	W/m	W/m	W/m	°C	%	-	%	%
Bestand	0,97	3,47	3,21	0,26	13,1	64,3	0,72	7	27
10 cm AD	0,28	1,46	0,94	0,53	15,7	76,3	0,83	36	186
+5 cm Balkon	0,28	1,22	0,94	0,28	16,8	82,1	0,87	23	99
+Isokorb	0,28	1,02	0,94	0,08	17,8	87,1	0,91	8	28
20 cm AD	0,17	1,07	0,55	0,53	16,5	80,1	0,86	50	319
+5 cm Balkon	0,17	0,86	0,55	0,31	17,5	82,2	0,90	36	187
+Isokorb	0,17	0,66	0,55	0,11	18,4	90,5	0,94	17	66
10 cm ID	0,28	1,44	0,94	0,51	11,5	58,1	0,66	35	180

AD...Außendämmung, ID...Innendämmung, Isokorb...10 cm WLG 010, l... 3,3 m entspricht Geschosshöhe(GH)
 Ψ_{GH} Verluste pro m bezogen auf Geschosshöhe, Ψ_{1m} Verluste pro m bezogen auf 1m hohen Fassadenstreifen

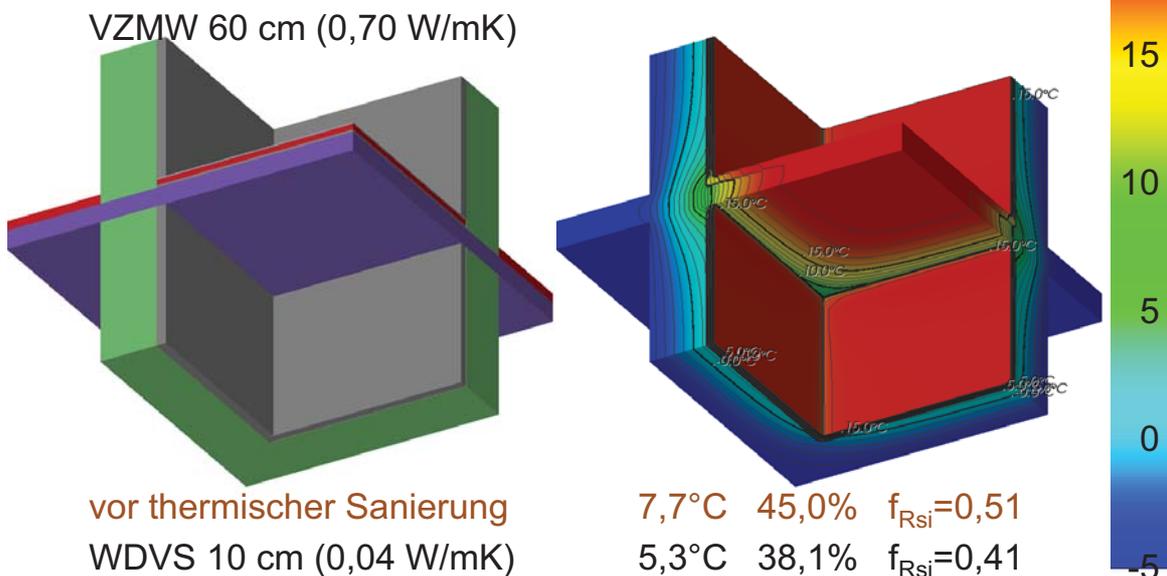
WB: Balkon - ungedämmt - Ecke



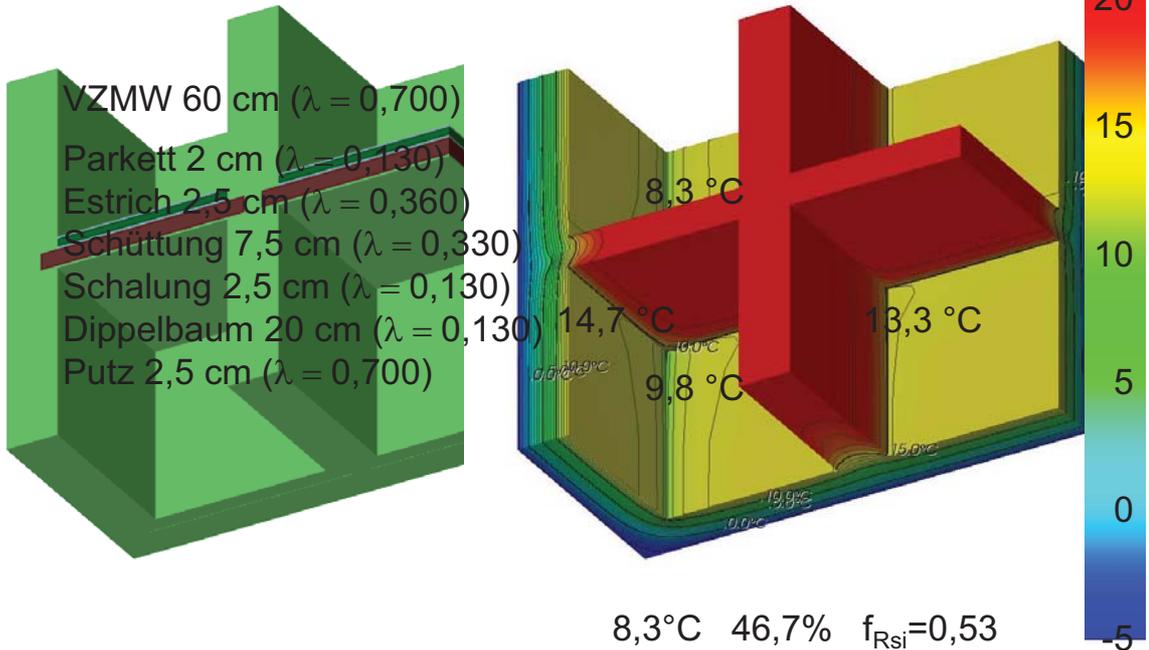
WB: Balkon - Außendämmung - Ecke



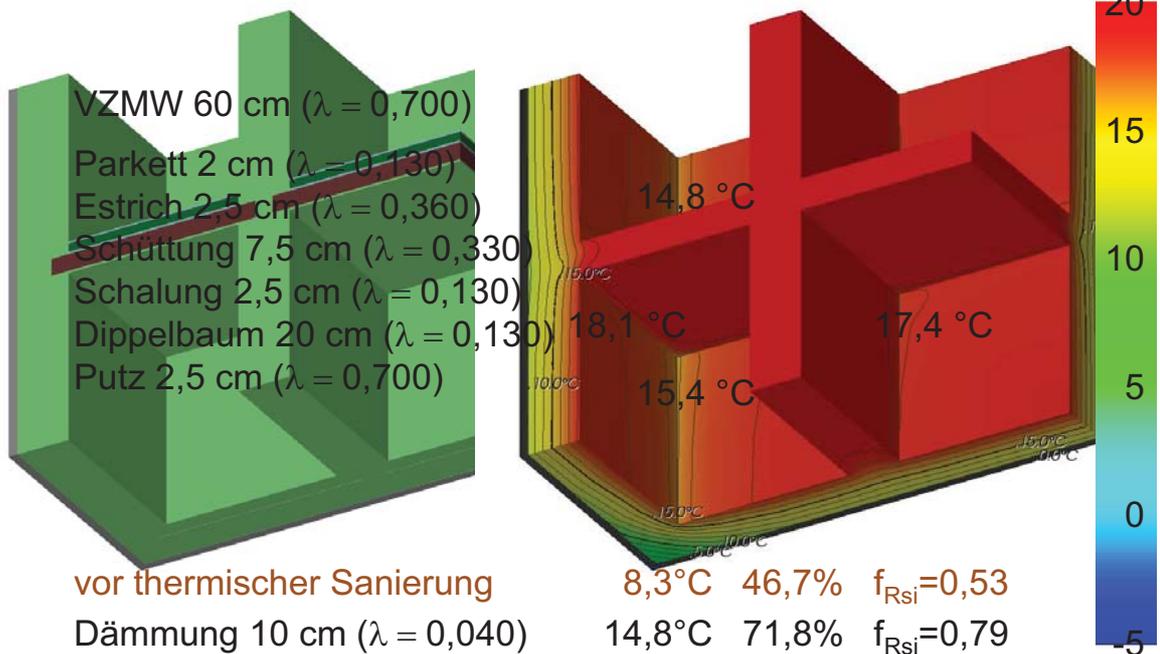
WB: Balkon - Innendämmung - Ecke



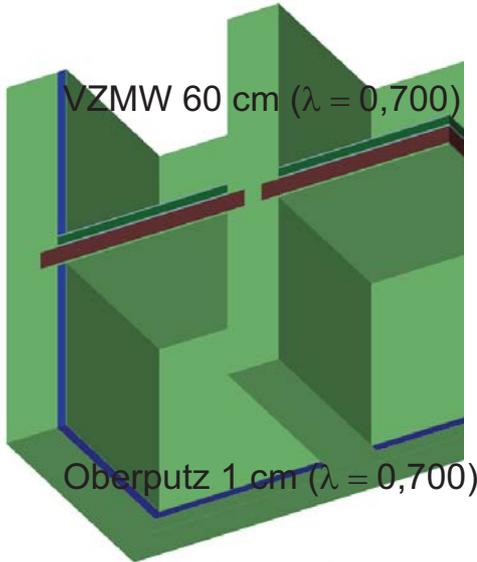
WB: VZMW - ohne Dämmung



WB: VZMW - 10cm Außendämmung



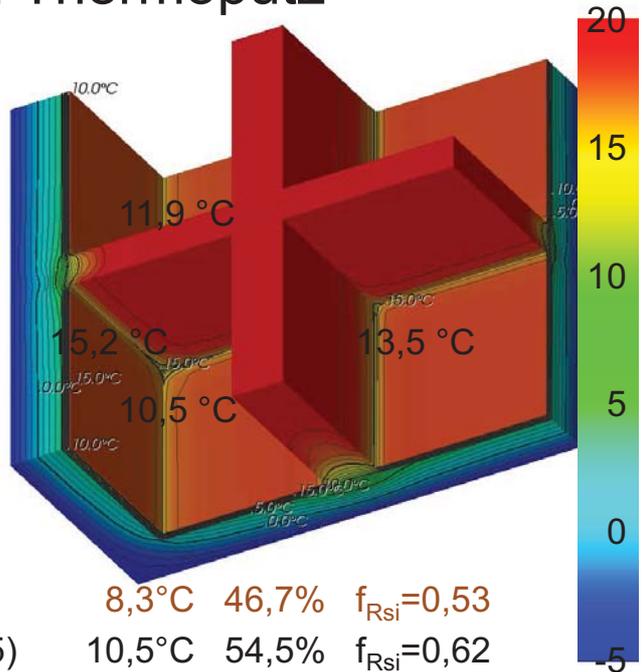
WB: VZMW - 10cm Thermoputz



vor thermischer Sanierung

Dämmputz 10 cm ($\lambda = 0,075$)

Dämmputz 5 cm ($\lambda = 0,075$)

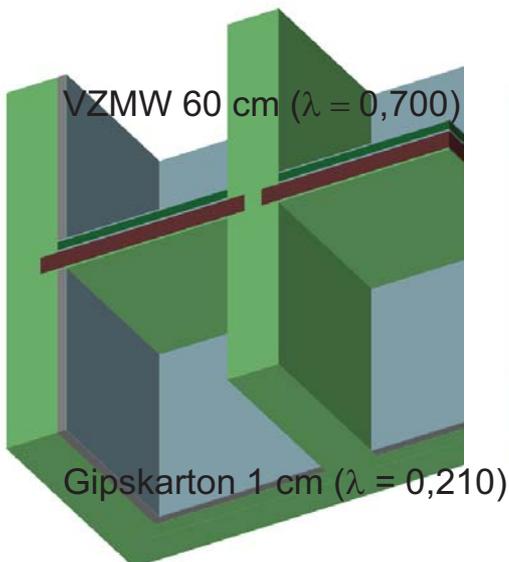


8,3°C 46,7% $f_{Rsi}=0,53$

10,5°C 54,5% $f_{Rsi}=0,62$

9,9°C 52,2% $f_{Rsi}=0,60$

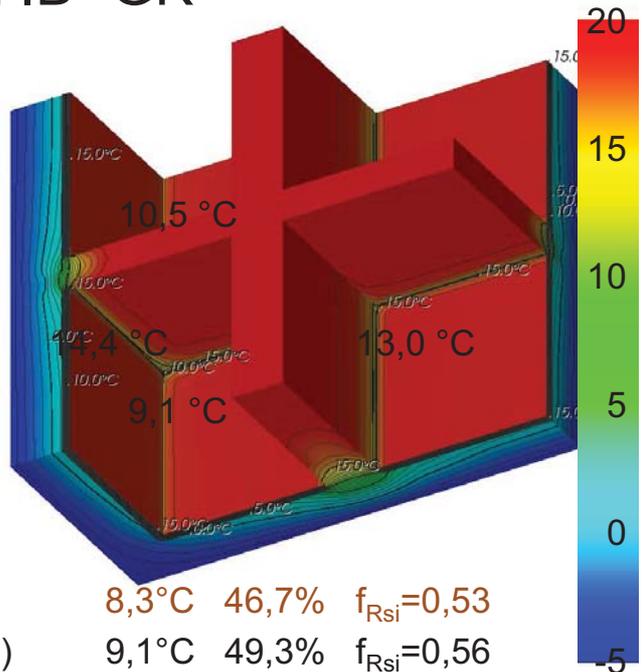
WB: VZMW - 10cm ID+GK



vor thermischer Sanierung

Dämmung 10 cm ($\lambda = 0,040$)

Dämmung 5 cm ($\lambda = 0,040$)

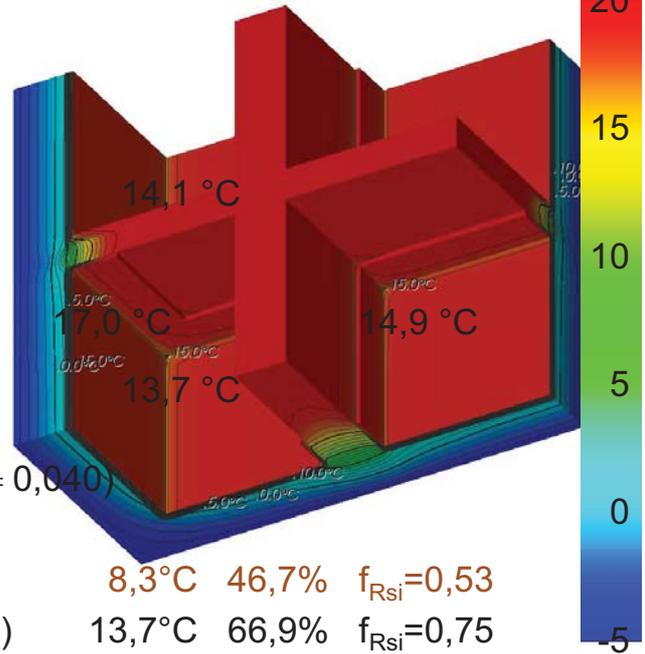
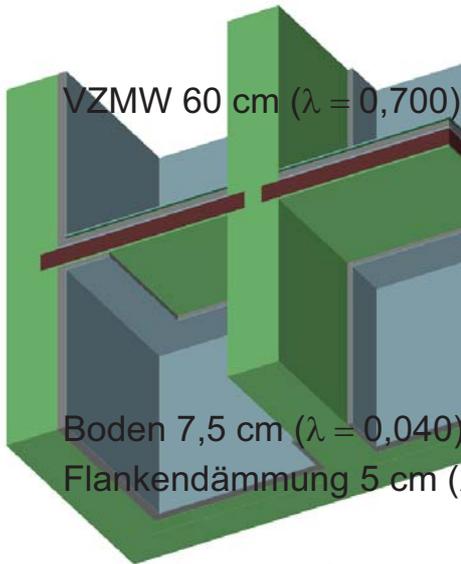


8,3°C 46,7% $f_{Rsi}=0,53$

9,1°C 49,3% $f_{Rsi}=0,56$

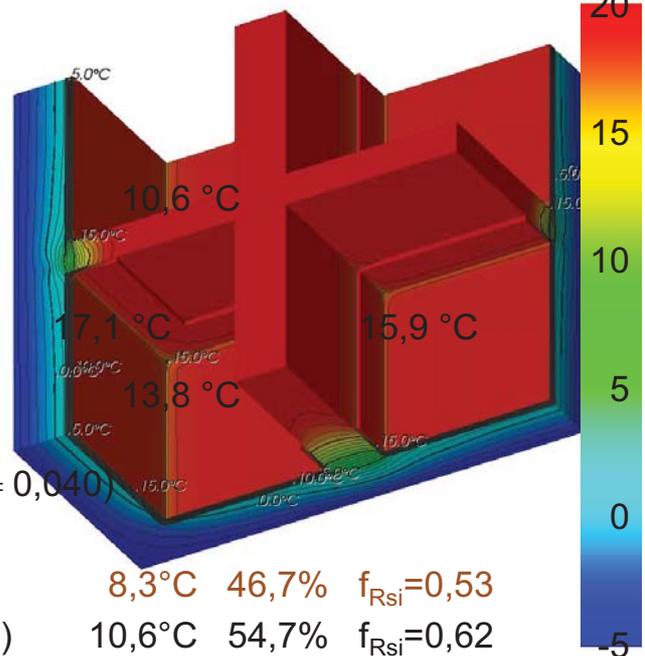
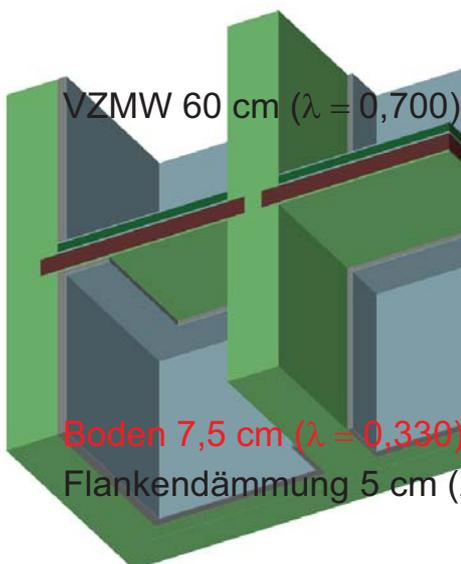
8,4°C 47,0% $f_{Rsi}=0,53$

WB: VZMW - 10cm ID+GK - Flankendämmung



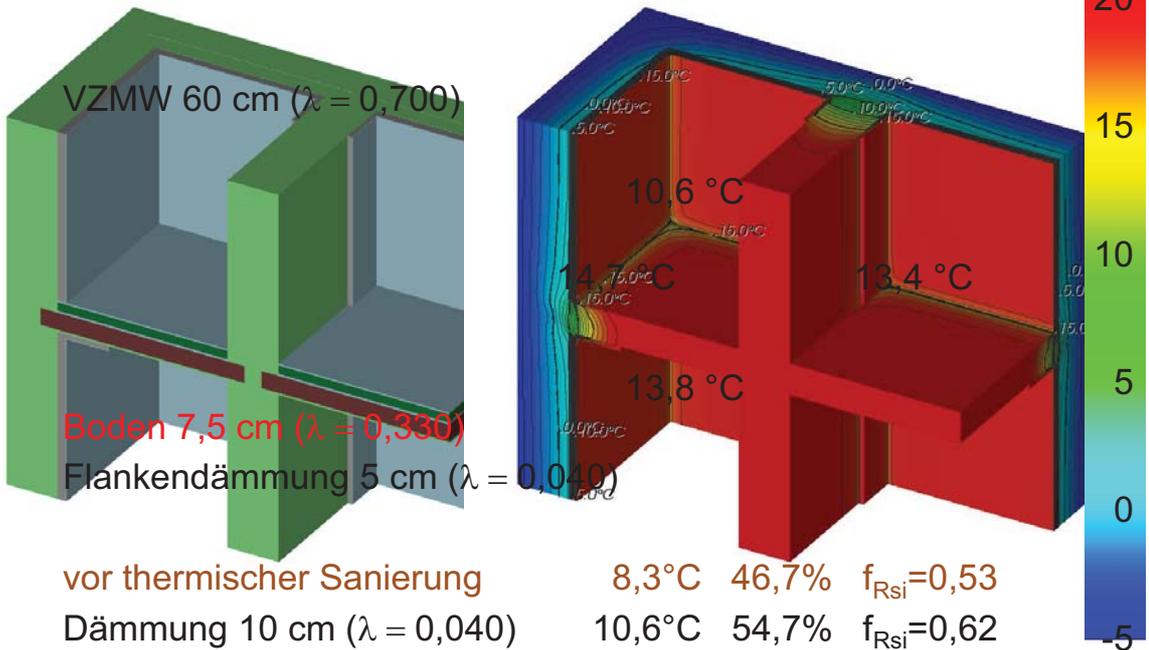
vor thermischer Sanierung	8,3°C	46,7%	$f_{Rsi}=0,53$
Dämmung 10 cm ($\lambda = 0,040$)	13,7°C	66,9%	$f_{Rsi}=0,75$

WB: VZMW - 10cm ID+GK - Fl. ohne Boden

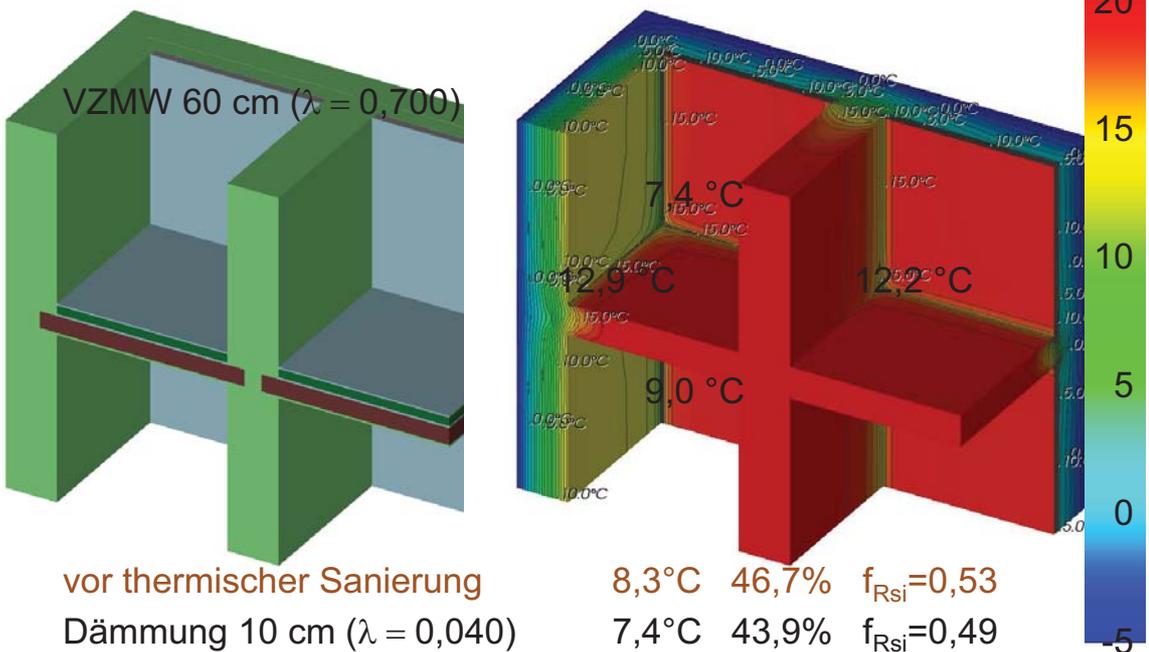


vor thermischer Sanierung	8,3°C	46,7%	$f_{Rsi}=0,53$
Dämmung 10 cm ($\lambda = 0,040$)	10,6°C	54,7%	$f_{Rsi}=0,62$

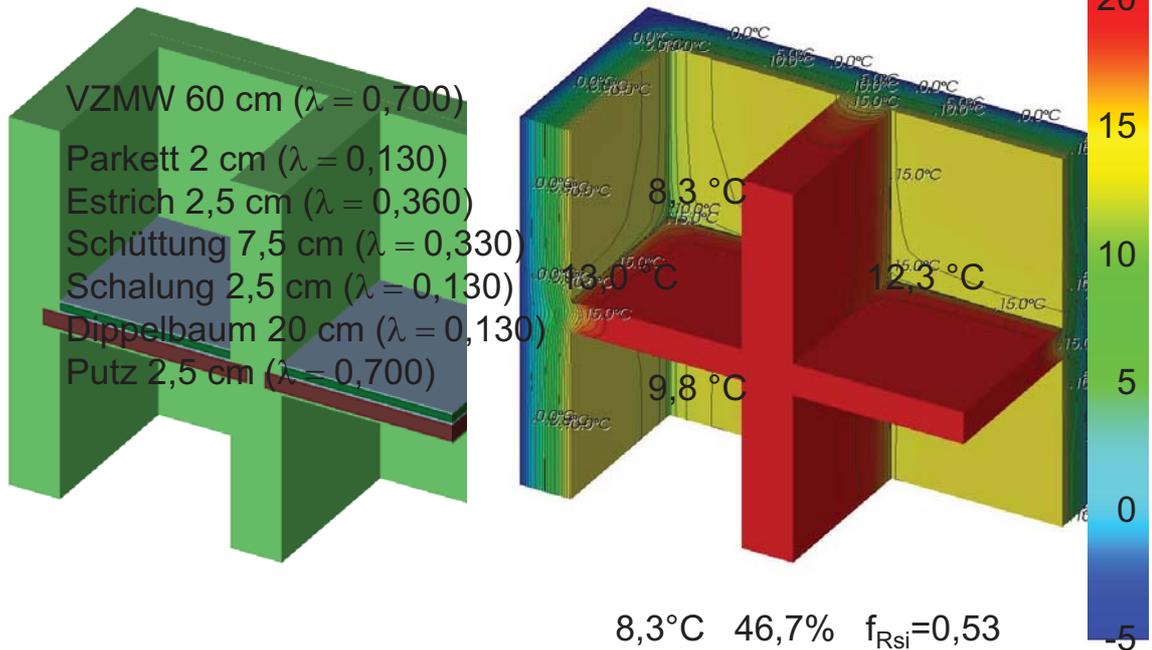
WB: VZMW - 10cm ID+GK - FI. ohne Boden



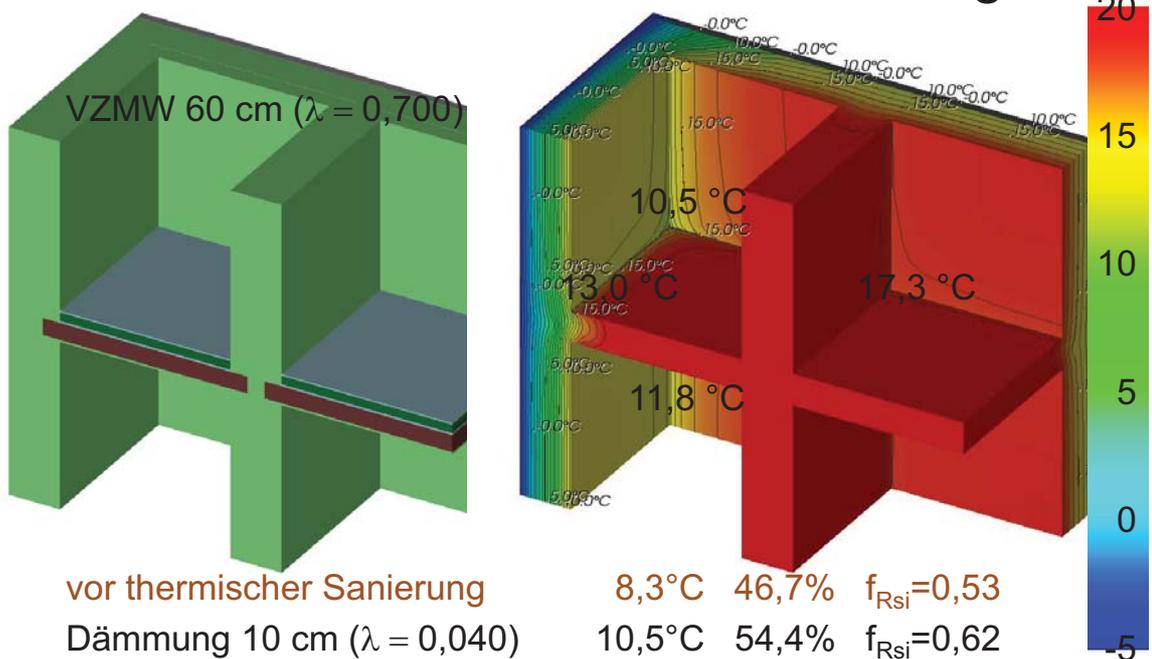
WB: VZMW - 10cm ID+GK - Teilsanierung



WB: VZMW - ohne Dämmung



WB: VZMW - 10cm AD - Teilsanierung



WB: VZMW - 10cm ID+GK - 2-dimensional

VZMW 60 cm ($\lambda = 0,700$)



Gipskarton 1 cm ($\lambda = 0,210$)

Dämmung 10 cm ($\lambda = 0,040$)

Achtung !!!
 2D ==> energetisch
 3D ==> Kondensat



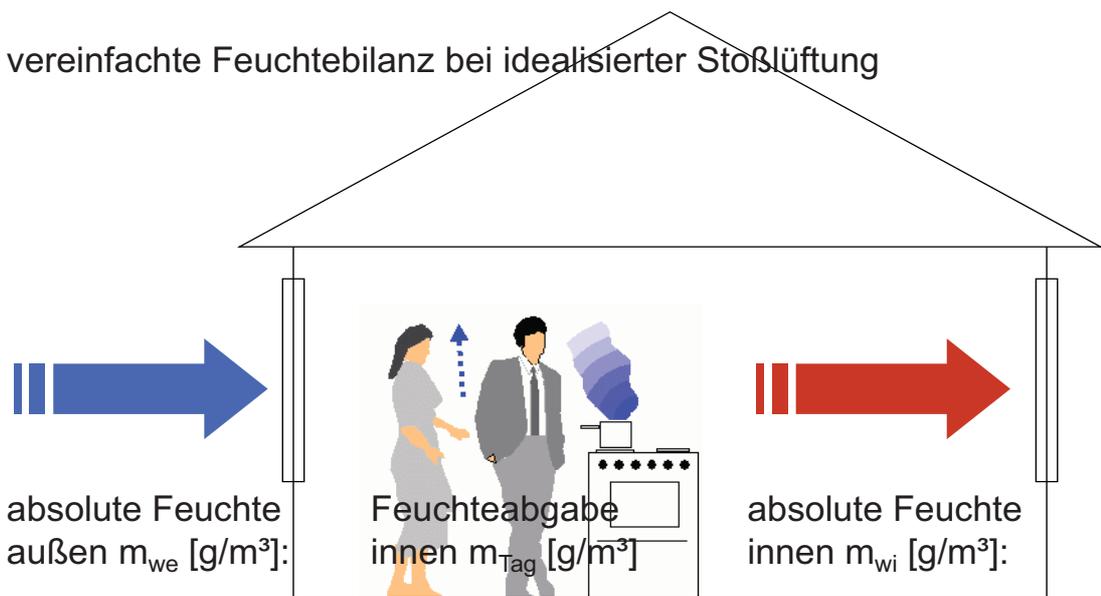
14,5 °C Kante 2D
 14,4 °C Kante 3D

14,5°C 70,6% $f_{Rsi}=0,78$

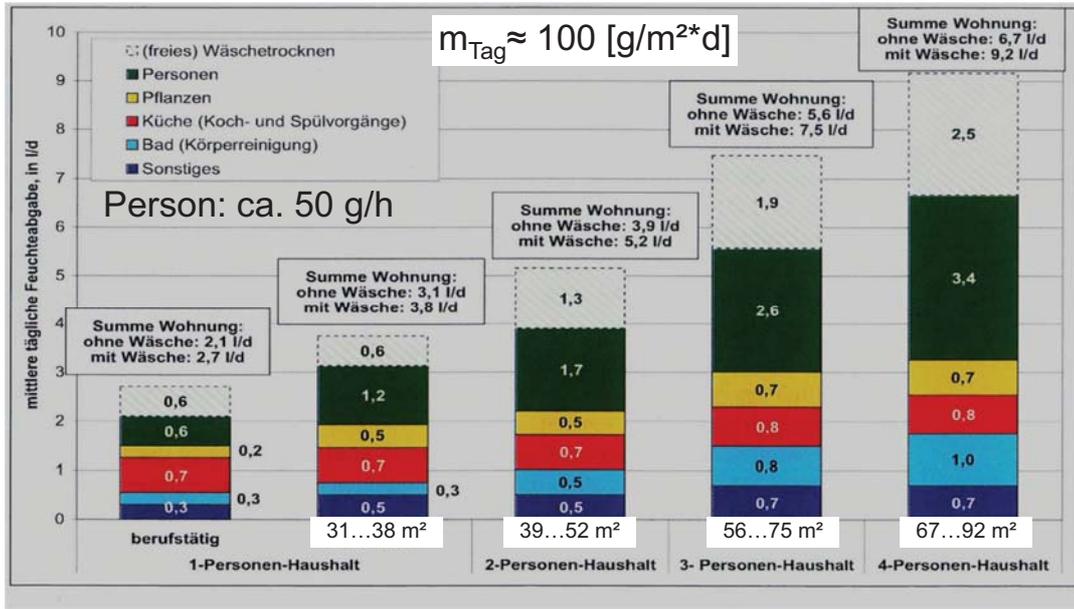


Feuchte - Bilanz

vereinfachte Feuchtebilanz bei idealisierter Stoßlüftung



Feuchte - Abgabe



Mittlere tägliche Feuchteabgabe: Wohnungen mit typischen Feuchtelasten (Künzel)

Feuchte - außen

Absolute Feuchte außen m_{we} [g/m³]:

r.F. %	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
-1 °C	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,8	4,0	4,3	4,5
-2 °C	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
-3 °C	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,4	3,6	3,8
-4 °C	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,3	3,5
-5 °C	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2
-6 °C	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0
-7 °C	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7
-8 °C	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5
-9 °C	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
-10 °C	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1

außen: 0 ...-10°C 60 ... 90% → 2 ... 4 g/m³ ≈ 3 g/m³

Feuchte - innen

Absolute Feuchte innen m_{wi} [g/m³]:

r.F. %	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
25 °C	4,6	5,8	6,9	8,1	9,2	10,4	11,5	12,7	13,8	15,0	16,1	17,3	18,4	19,6	20,7	21,9	23,0
24 °C	4,3	5,4	6,5	7,6	8,7	9,8	10,9	12,0	13,0	14,1	15,2	16,3	17,4	18,5	19,6	20,7	21,7
23 °C	4,1	5,1	6,2	7,2	8,2	9,2	10,3	11,3	12,3	13,4	14,4	15,4	16,4	17,5	18,5	19,5	20,5
22 °C	3,9	4,8	5,8	6,8	7,8	8,7	9,7	10,7	11,6	12,6	13,6	14,5	15,5	16,5	17,5	18,4	19,4
21 °C	3,7	4,6	5,5	6,4	7,3	8,2	9,2	10,1	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,6	16,5	17,4	18,3
20 °C	3,5	4,3	5,2	6,0	6,9	7,8	8,6	9,5	10,4	11,2	12,1	13,0	13,8	14,7	15,5	16,4	17,3
19 °C	3,3	4,1	4,9	5,7	6,5	7,3	8,1	9,0	9,8	10,6	11,4	12,2	13,0	13,8	14,7	15,5	16,3
18 °C	3,1	3,8	4,6	5,4	6,1	6,9	7,7	8,4	9,2	10,0	10,7	11,5	12,3	13,0	13,8	14,6	15,4
17 °C	2,9	3,6	4,3	5,1	5,8	6,5	7,2	8,0	8,7	9,4	10,1	10,8	11,6	12,3	13,0	13,7	14,5
16 °C	2,7	3,4	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8	7,5	8,2	8,9	9,5	10,2	10,9	11,6	12,3	12,9	13,6

innen: 18 ... 22°C 40 ... 70% → 6,1 ... 9,5 ... 13,6 g/m³

Feuchte - Bilanz

Feuchtedifferenz ($m_{wi}-m_{we}$) beim Lüften [g/m³]:

außen: 0 ... -10°C 60 ... 90% → 2 ... 4 g/m³ ≈ 3 g/m³

innen: 22°C 70% → 13,6 g/m³ - 3 g/m³ = 10,6 g/m³

20°C 55% → 9,5 g/m³ - 3 g/m³ = 6,5 g/m³

18°C 40% → 6,1 g/m³ - 3 g/m³ = 3,1 g/m³

Erforderlicher Luftwechsel: $n_{\text{erf.}} = m_{\text{Tag}} / \text{LRH} * 1 / (m_{wi} - m_{we})$

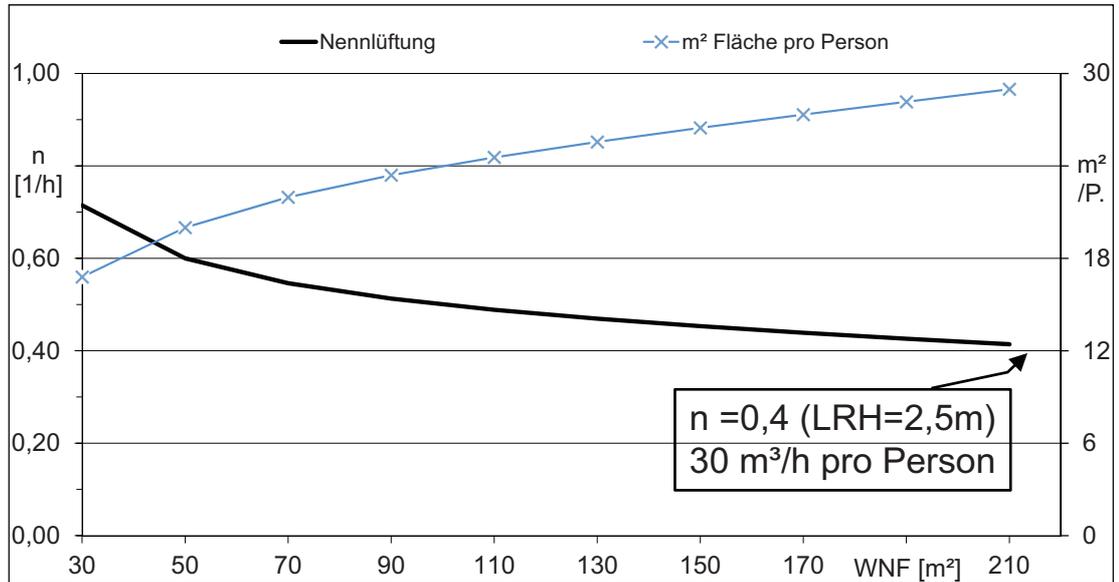
22°C 70% → 4 /Tag bzw. 0,17 /h

20°C 55% → 6 /Tag bzw. 0,26 /h

18°C 40% → 13 /Tag bzw. 0,54 /h

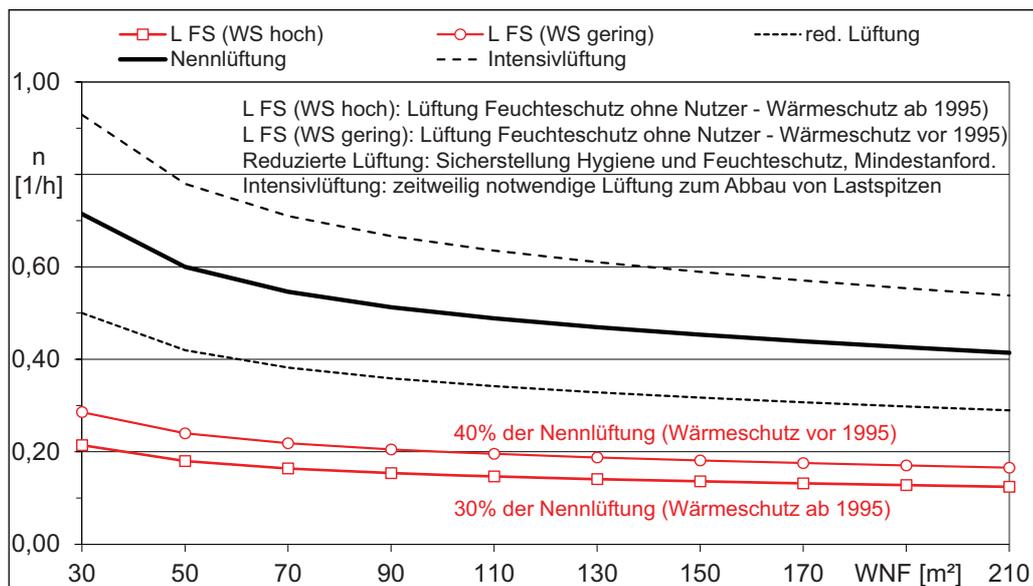
Feuchte/Tag $m_{\text{Tag}} \approx 100$ [g/m²*d], Lichte Raumhöhe LRH = 2,5 m

Lüftungskonzept (DIN 1946-6: 2009-05)



Nennlüftung - zur Sicherstellung von Hygiene & Feuchteschutz

Lüftungskonzept (DIN 1946-6: 2009-05)



L FS - Lüftung Feuchteschutz, muss **nutzerunabhängig** erfolgen

Warum auch Wohnungen ohne Schimmel

Gebäude mit rundum perfekter Dämmung
möglich, aber vermutlich selten

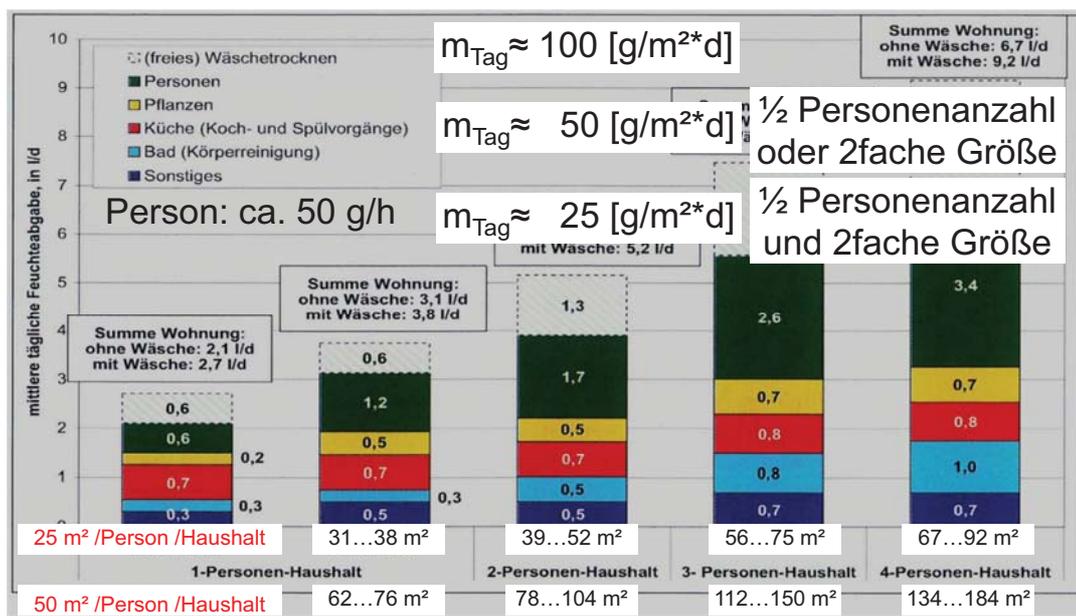
Familien mit vorbildlichem Lüftungsverhalten
möglich, aber vermutlich selten

Feuchteabgabe

Personen mit deutlich mehr Wohnfläche

Personen mit deutlich geringere Aufenthaltsdauer

Feuchteabgabe



Mittlere tägliche Feuchteabgabe: Wohnungen mit typischen Feuchtelasten (Künzel)

Warum auch Wohnungen ohne Schimmel

Gebäude mit rundum perfekter Dämmung
möglich, aber vermutlich selten

Familien mit vorbildlichem Lüftungsverhalten
möglich, aber vermutlich selten

Feuchteproduktion
Personen mit deutlich mehr Wohnfläche
Personen mit deutlich geringere Aufenthaltsdauer

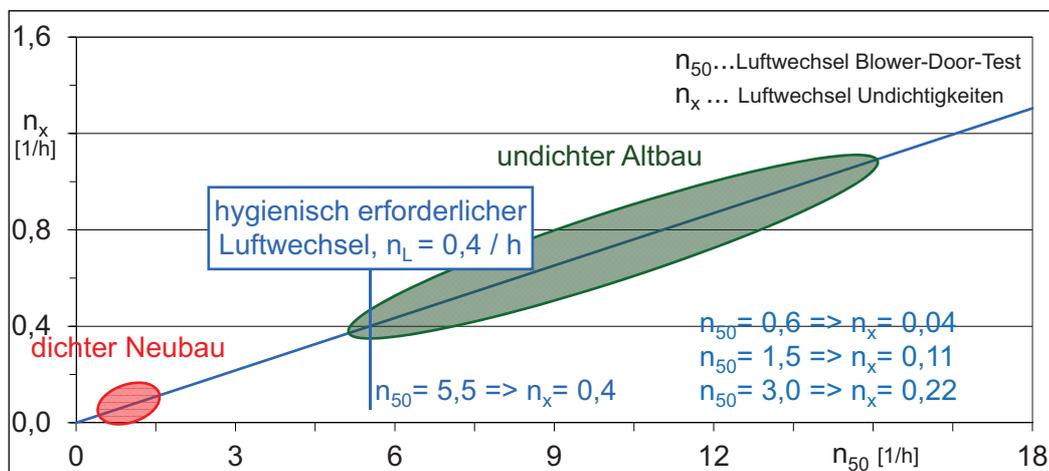
Luftwechsel

Wohnungen mit deutlich höherer Windbelastung
→ Wohnungen mit deutlich höherer Falschluftrate

Luftwechsel - Falschluftrate

DIN 1946-6: $n_x = f_{\text{Lüftung}} * n_{50} * (f_{\text{Lage}} * \Delta p / 50)^{0,67}$
(EN ISO 13465)

$f_{\text{Lüftung}}$... 0,5 (0,25 bei 1ner Fassade)
 f_{Lage} ... 1,0 (0,5...1,7 Abschirmung)
 f_{Lage} ... 1,0 (1,0...2,8 je nach Höhe)

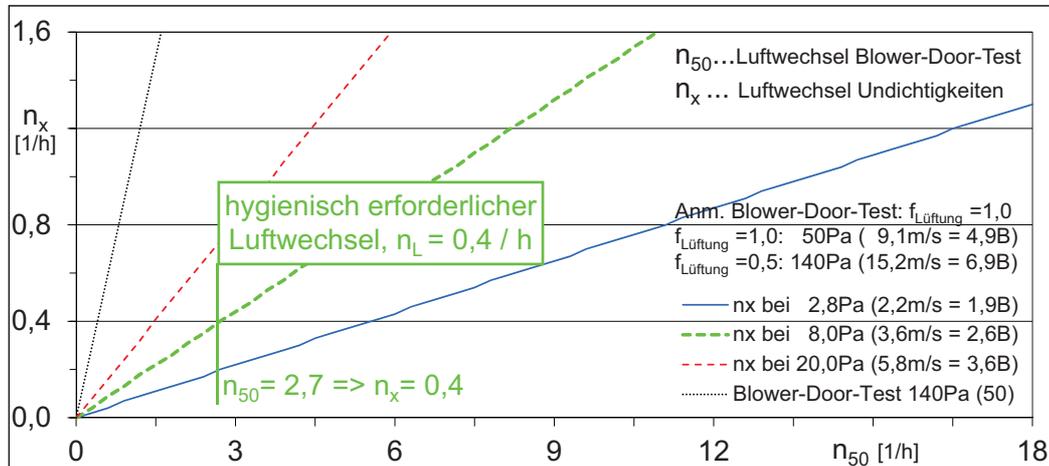


2,8Pa (2,2m/s = 1,9B) ... Annahme Energieausweis (ÖN B 8110-6)

Luftwechsel - Falschluftrate

DIN 1946-6: $n_x = f_{Lüftung} * n_{50} * (f_{Lage} * \Delta p / 50)^{0,67}$
 (EN ISO 13465)

$f_{Lüftung}$... 0,5 (0,25 bei 1ner Fassade)
 f_{Lage} ... 1,0 (0,5...1,7 Abschirmung)
 f_{Lage} ... 1,0 (1,0...2,8 je nach Höhe)

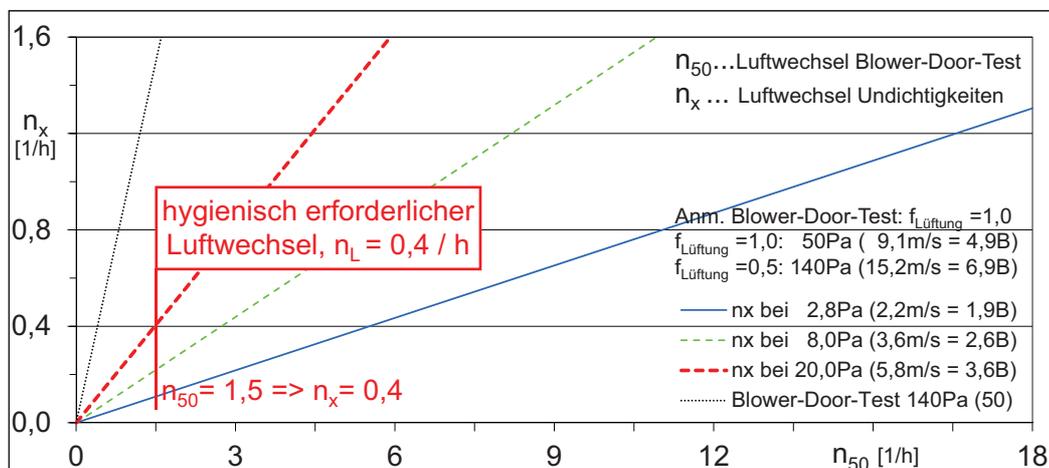


3,6 m/s ... Monatsmittelwert Wien von 1971 bis 2000 (ZAMG)

Luftwechsel - Falschluftrate

DIN 1946-6: $n_x = f_{Lüftung} * n_{50} * (f_{Lage} * \Delta p / 50)^{0,67}$
 (EN ISO 13465)

$f_{Lüftung}$... 0,5 (0,25 bei 1ner Fassade)
 f_{Lage} ... 1,0 (0,5...1,7 Abschirmung)
 f_{Lage} ... 1,0 (1,0...2,8 je nach Höhe)

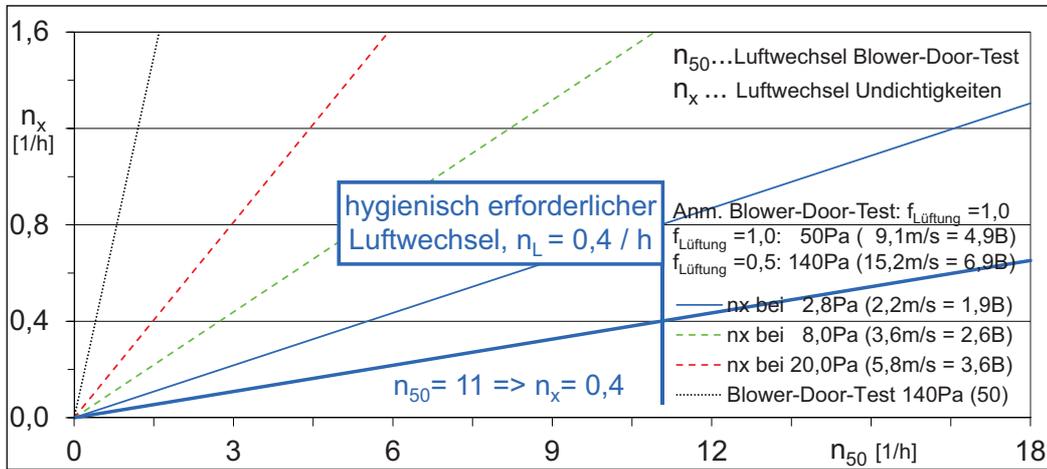


5,8 m/s bzw. 3,6 m/s in exponierte Lage (z.B. oberstes Stockwerk)

Luftwechsel - Falschluftrate

DIN 1946-6: $n_x = f_{Lüftung} * n_{50} * (f_{Lage} * \Delta p / 50)^{0,67}$
 (EN ISO 13465)

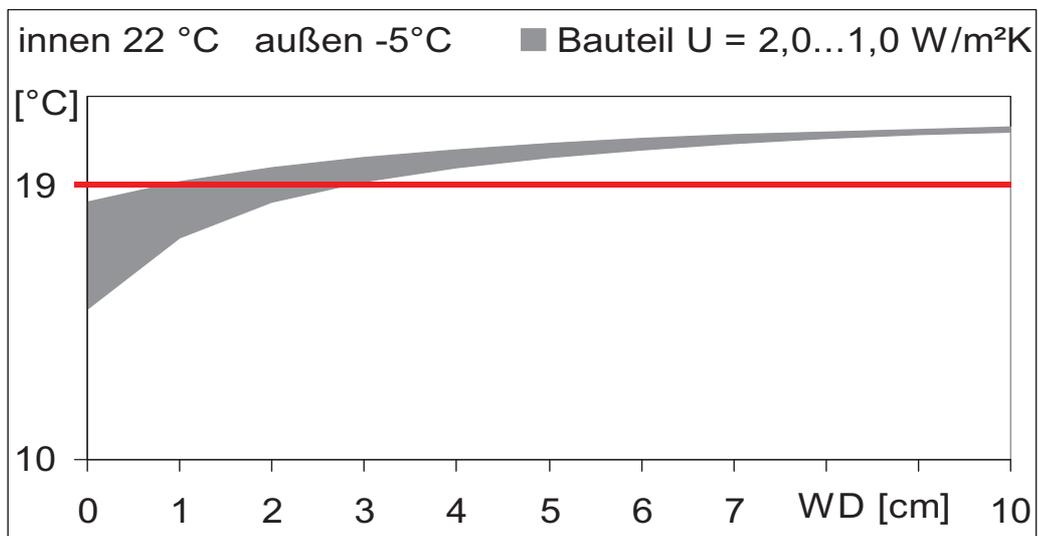
$f_{Lüftung}$... 0,5 (0,25 bei 1ner Fassade)
 f_{Lage} ... 1,0 (0,5...1,7 Abschirmung)
 f_{Lage} ... 1,0 (1,0...2,8 je nach Höhe)



2,2 m/s bei nur einer Fassade - Wohnung mit deutlich kleinerem n_x

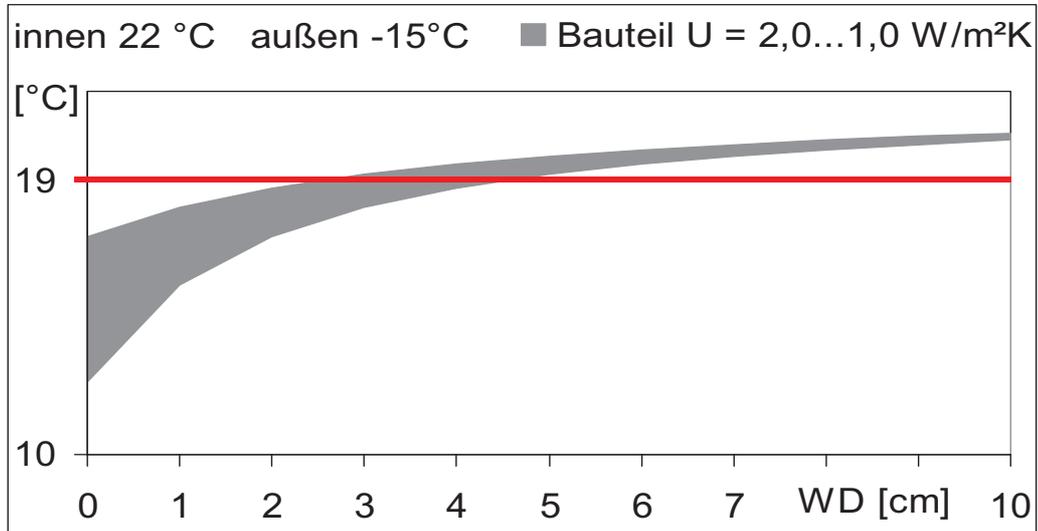
Behaglichkeit

Oberflächentemperatur in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke



Behaglichkeit

Oberflächentemperatur in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke



Fazit

- San Innendämmung: mindert Wärmeverluste (Energiekennzahl)
erhöht Oberflächentemp. (=Behaglichkeit)
löst kein Feuchte- bzw. Schimmelproblem
- Fenster NEU (dichte Fenster, dichte Fugen) beenden Dauerlüftung
Lüftungskonzept erforderlich (DIN 1946-6)
nutzerunabhängiger Mindestluftwechsel !!!
- zul. Feuchte festlegen: B 8110-3 "-10%" z.B. typische Sanierung
B 8110-3 "-20/15%" z.B. Gründerzeithaus

Außen	B 8110-3	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	f_{Rsi}
φ_i max	-10%	55%	55%	55%	50%	45%	40%	0,60
φ_i mittel	-10%	45%	45%	45%	40%	35%	30%	
φ_i max	-20%	45%	45%	45%	40%	35%	30%	0,50
φ_i mittel	-15%	40%	40%	40%	35%	30%	25%	

Richtlinien & Normen & Literatur

- Knauf 2008 »Wärmeschutz und Modernisierung mit Knauf - 04/2008«
Knauf Gips KG, Am Bahnhof 7, 97346 Iphofen
- Oswald 2011 »Und sie funktionieren doch - Innendämmungen Detaillösungen«
Prof. Dr.-Ing. Rainer Oswald, Bauen im Bestand März 2011.
- Künzel 2012 »Probleme mit Innendämmungen bei der Altbausanierung - Lösungsmöglichkeiten«
Hartwig M. Künzel, 10. Wiener Sanierungstagen, 2002-04-11/12
- OIB 2011 »Energieeinsparung und Wärmeschutz« - Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB)
OIB-Richtlinie 6: 2011-10
- ÖNORM B 8110-1: Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration
des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf (2011-11-01)
- ÖNORM B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiff. & Kondensationsschutz (2003-07-01)
- ÖNORM B 8110-6: Wärmeschutz im Hochbau - Grundlagen und Nachweisverfahren
Heizwärmebedarf und Kühlbedarf (2010-01-01)
- ÖNORM B 5320: Bauanschlussfuge für Fenster, Fenstertüren und Türen in Außenbauteilen
Grundlagen für Planung und Ausführung (2006-09-01)
- ÖNORM EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer
Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (2008-04-01)
- ÖNORM EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen
Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und
Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren (2002-01-01)

Richtlinien & Normen & Literatur

- ÖNORM EN 13465: Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen
in Wohnungen (2004 05 01)
- DIN 1946-6: Raumluftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen; Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur
Bemessung, Ausführung & Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) & Instandhaltung (2009-05)
- DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (2013-02)
- ÖNORM EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen
Allgemeine Berechnungsverfahren (1996-03-01)
- ÖNORM EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen
Detaillierte Berechnungen (2008-04-01)
- Geburtig 2009 »Innendämmung im Bestand«
Gerd Geburtig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2010 (ISBN 987-3-8167-8236-0)
- Künzel 2009 »Wohnungslüftung und Raumklima«
Helmut Künzel, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009 (ISBN 987-3-8167-7659-8)
- Künzel 2009 »Richtiges Heizen und Lüften in Wohnungen«
Dr.-Ing. Helmut Künzl, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009 (ISBN 978-3-8167-7637-6)
- AnTherm: Programm zur Analyse von Wärmebrücken (T. Kornicki Dienstleistungen in EDV & IT, V6.99)
- Franke 1975 »Raumklima und thermische Behaglichkeit«
W. Franke, Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, Berlin 1975
- Pech 2004: »Baukonstruktionen - Bauphysik«
Anton Pech & Christian Pöhn, Springer Verlag, Wien 2004

Oberflächenkondensat - Behaglichkeit

Referent

DI(FH) Clemens Häusler, MSc

Geboren 1966 in Wien, absolvierte seine Schulausbildung in Österreich (HTL Mödling, Ing. für Hochbau) und studierte danach in Deutschland (FHT Stuttgart, Dipl. Ing. (FH) für Bauphysik) und England (University of Southampton, M.Sc. of Sound and Vibrations).

Nach einem halbjährigen Forschungsauftrag am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Stuttgart (mikroperforierte Absorber), arbeitete er von 1995 bis 2000 in der Deutschen Industrie .

Ab 2000 betätigt er sich als selbstständiger Berater in Deutschland und Österreich für Hersteller von Akustikdecken. Seit 2003 ist er freiberuflicher Bauphysiker und als Experte im Österreichischen Normungsinstitut (ON-K 208 »Schall« und ON-K 175 »Wärme«) tätig. Ab 2009-01-01 ist er Inhaber des Einzelunternehmens »bauphysik.at«