

keine Sanierung ohne Lüftungskonzept

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 ?



Übersicht

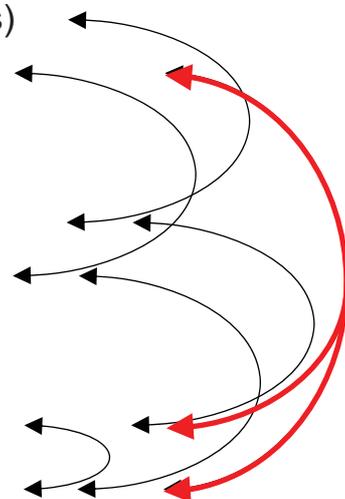
- Anforderung Behaglichkeit
- Anforderung Wärmeschutz
- Anforderung Luftwechsel
- Anforderung Luftfeuchte
- Wärmebrücken (3D)
 - Dämmung außen - allmächtig
 - Dämmung innen - ohnmächtig
 - Bestand - Sanierung - Neubau
- Feuchtebilanz
- Lüftungskonzept
- Wohnungen ohne Schimmel ?

Anmerkung:
 nur Oberflächenkondensat
 d.h. die Temperatur der
 Oberfläche ist zu gering um
 die im Raum vorhandenen
 Luftfeuchte zu halten.

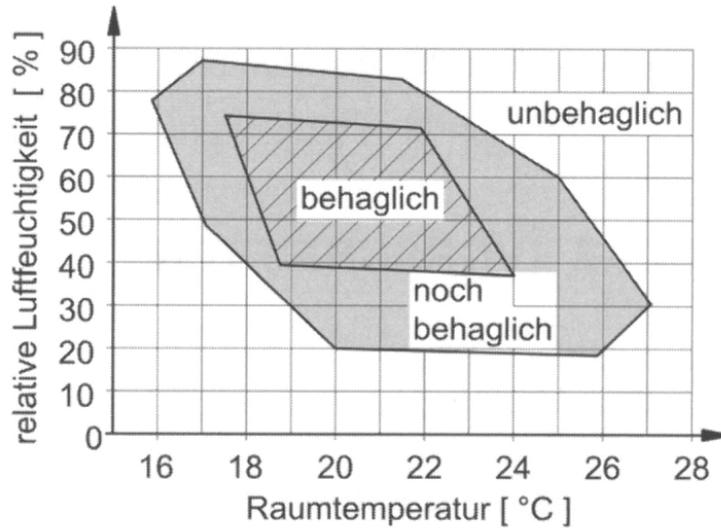
**Konstruktiv, d.h. bezüglich
 Diffusion & Luftdichtigkeit,
 werden alle Bauteile als
 fehlerlos angenommen!!!**

Thermischen Sanierung - Ziele

- Energieeffizient steigern
 - Wärmedämmung (Energieausweis)
 - Fenstertausch (Energieausweis)
- Behaglichkeit schaffen
 - Oberflächentemperatur erhöhen
 - Zugerscheinung verhindern
- hygienische Anforderung
 - Tauwasser / Schimmel verhindern
 - Luftqualität - Luftwechsel

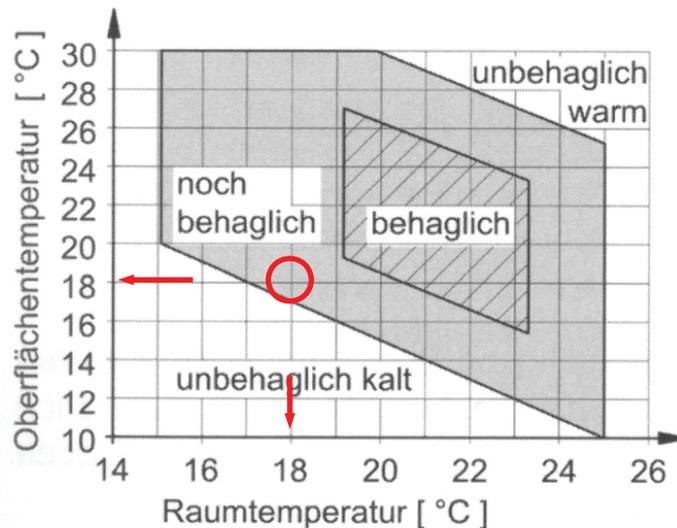


Anforderung Behaglichkeit - Luftfeuchte



Anmerkung: Feuchtepufferung wird noch ein großes Thema!

Anforderung Behaglichkeit - O-Temperatur



behaglich!?

18°C Luft
18°C Fläche

[Franke 1975]

Behaglichkeit: Oberfläche $\leq \pm 3$ K Lufttemperatur [Pech 2004]

Anforderung Wärmeschutz

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

U-Werte [W/m ² K] (Dämmung [cm])	[OIB 6 2011]	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)

Anforderung Luftwechsel

Hygienischer Mindestluftwechsel: 30 m³/h pro Person

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

bei Wohngebäuden (2,5 m LRH)

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

bei Nicht-Wohngebäude (3,0 m LRH)

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

Energetisch wirksamer Luftwechsel (ÖN B 8110-5)

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

$n_L = 1,00 / \text{h} \dots 3,00 / \text{h}$ 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: $n_L = 0,40 \dots 1,10 \text{ /h}$ (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: $n_L = 0,04 \dots 0,11 \text{ /h}$ (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)

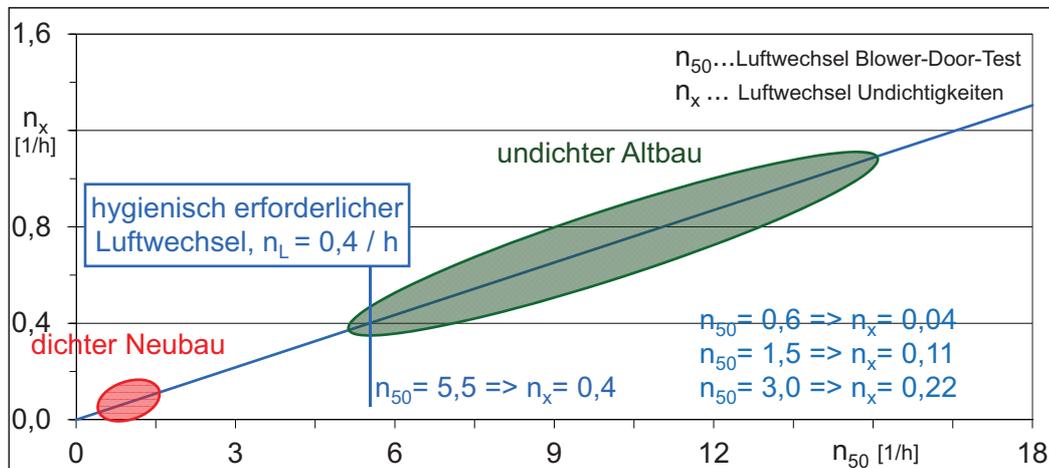
Anforderung Luftwechsel - Falschluftrate

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

$f_{\text{Lüftung}} \dots 0,5$ (0,25 bei 1ner Fassade)

$f_{\text{Lage}} \dots 1,0$ (0,5...1,7 Abschirmung)

$f_{\text{Lage}} \dots 1,0$ (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 $+20^\circ\text{C}$:
 $\theta_{si} \geq 12,0^\circ\text{C}$ bei Kondensat bzw. $\theta_{si} \geq 12,6^\circ\text{C}$ bei Schimmel
- unabhängig von Außentemperatur: $f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$
 $f_{Rsi} \geq 0,69$ bei Kondensat bzw. $f_{Rsi} \geq 0,71$ bei Schimmel

Anforderung Luftfeuchte - Kondensat

θ_e °C	θ_i °C	φ_i %	$\theta_{si,min}^{1)}$ °C	$f_{Rsi,min}$ -	R_{si} m ² K/W	U_{max} W/m ² K
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

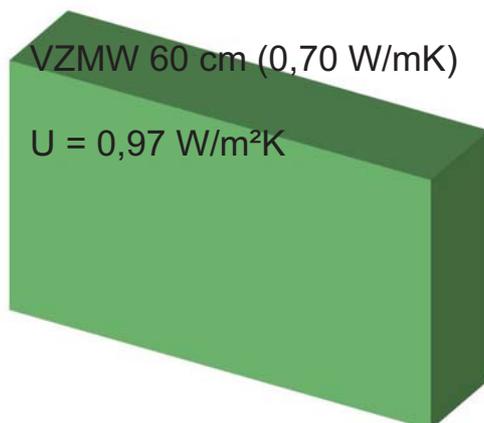
¹⁾ minimal zulässige Oberflächentemperatur bei 100% Luftfeuchte

Anforderung Luftfeuchte - Schimmel

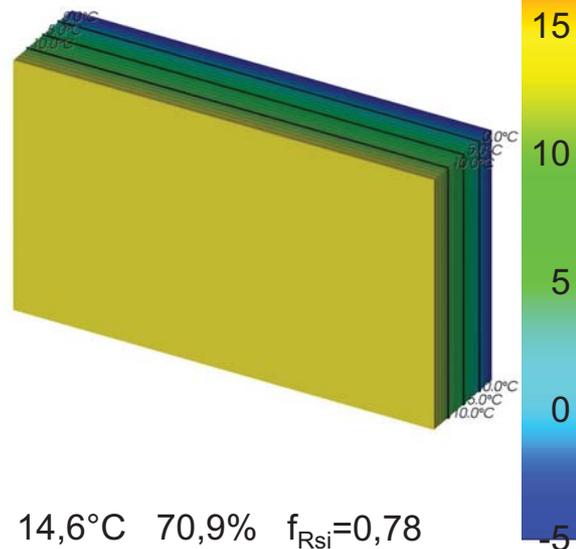
θ_e °C	θ_i °C	φ_i %	$\theta_{si,min}^{1)}$ °C	$f_{Rsi,min}$ -	R_{si} m²K/W	U_{max} W/m²K
0.0	20.0	55.0%	14.1	0.70	0.25	1.18
-1.0	20.0	54.0%	13.8	0.70	0.25	1.18
-2.0	20.0	53.0%	13.5	0.71	0.25	1.18
-3.0	20.0	52.0%	13.2	0.71	0.25	1.18
-4.0	20.0	51.0%	12.9	0.71	0.25	1.18
-5.0	20.0	50.0%	12.6	0.70	0.25	1.18
-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 über mehrere Tage nicht überschritten werden - EN 13788

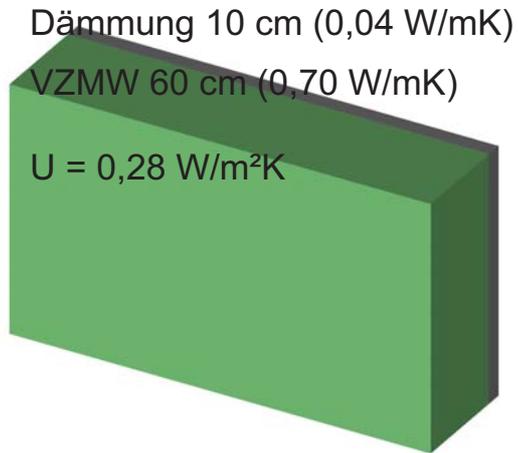
WB: Ebenes Bauteil - ohne Dämmung



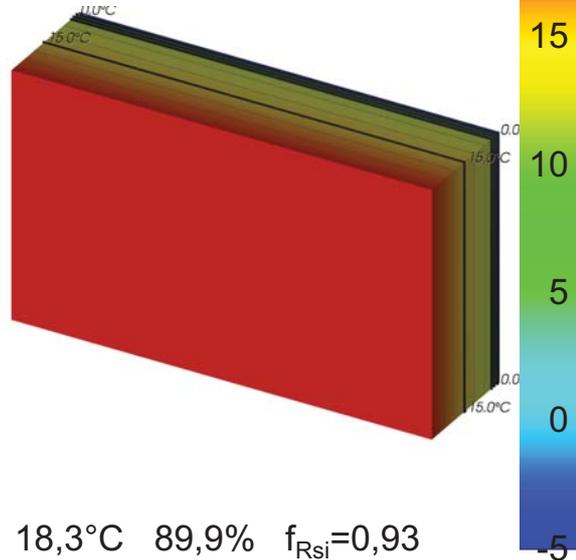
ohne Dämmung



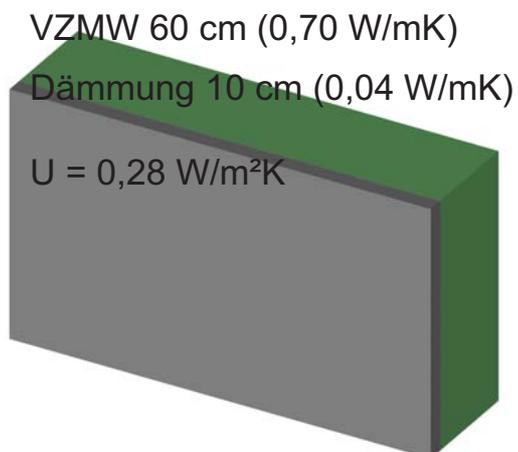
WB: Ebenes Bauteil - Außendämmung



ohne Schwächung

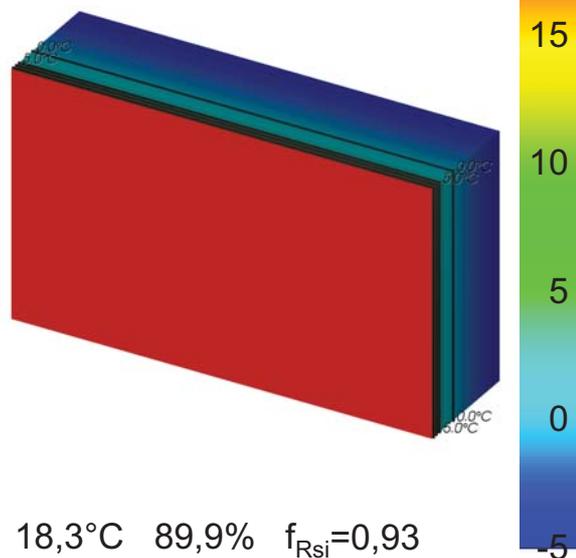


WB: Ebenes Bauteil - Innendämmung

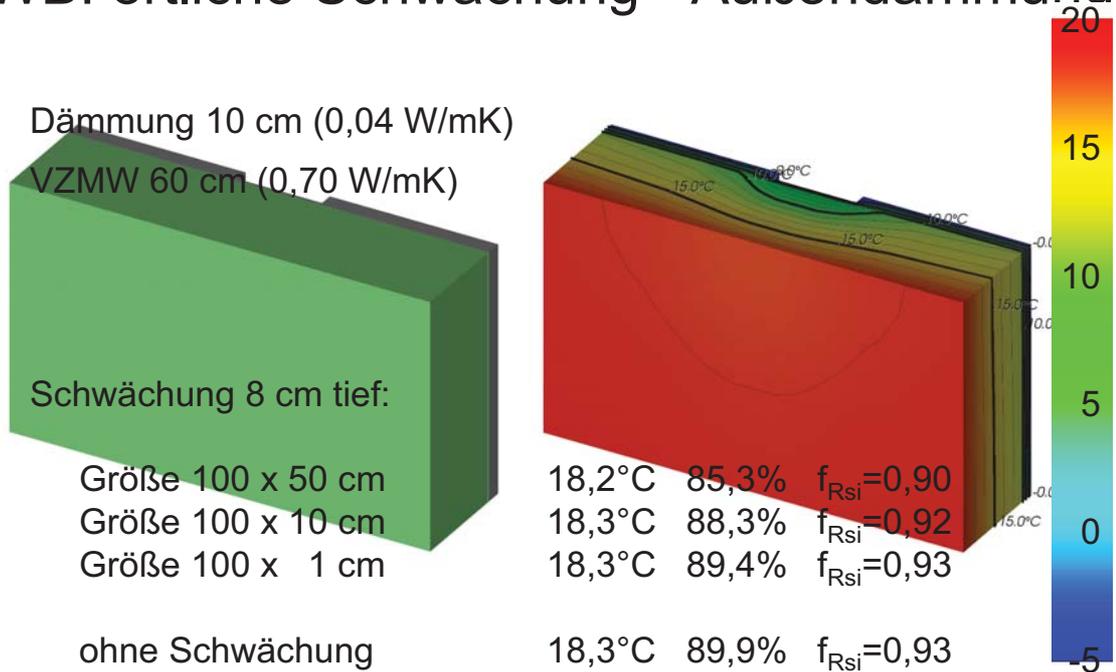


U-Wert gleich => EKZ gleich

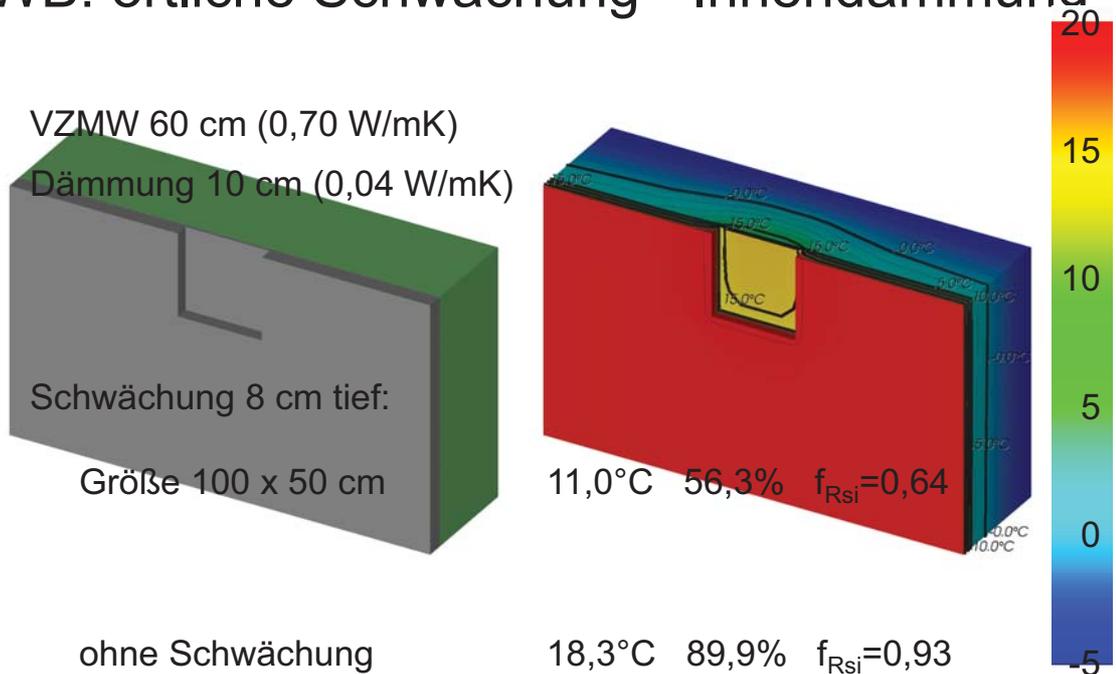
ohne Schwächung



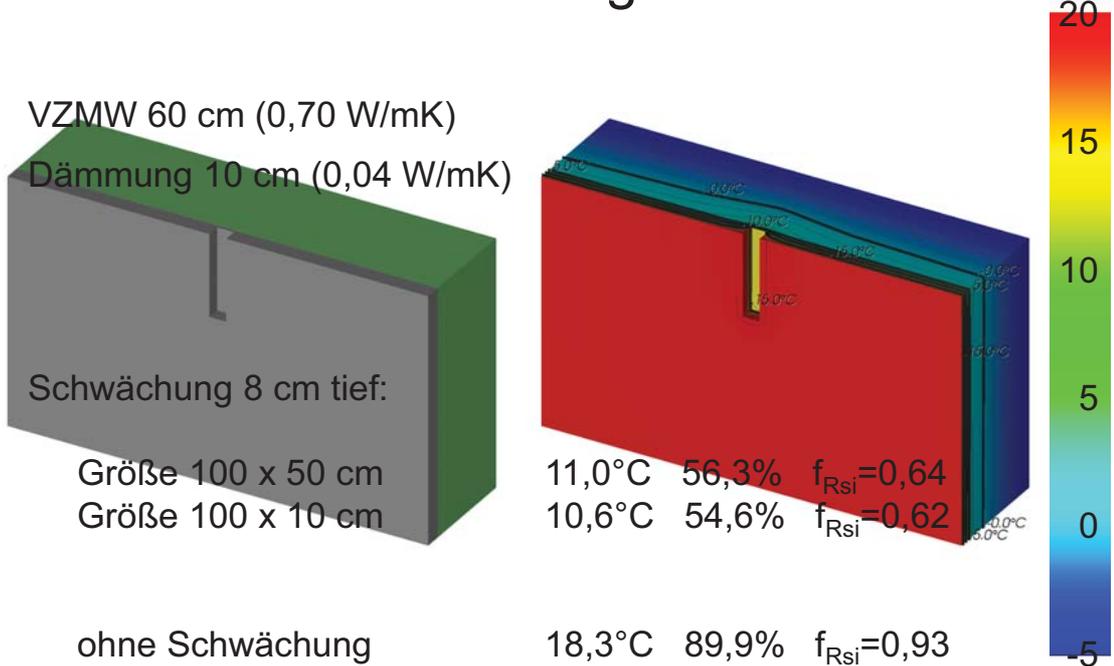
WB: örtliche Schwächung - Außendämmung



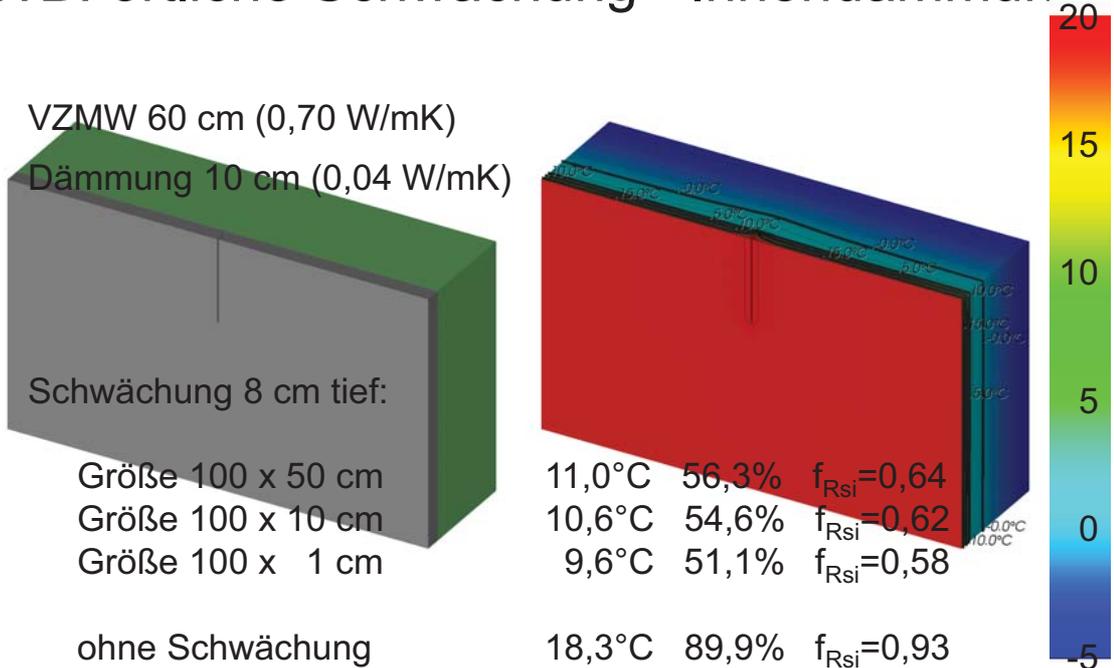
WB: örtliche Schwächung - Innendämmung



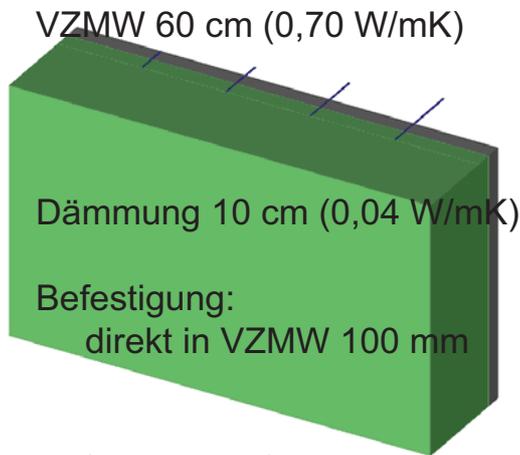
WB: örtliche Schwächung - Innendämmung



WB: örtliche Schwächung - Innendämmung

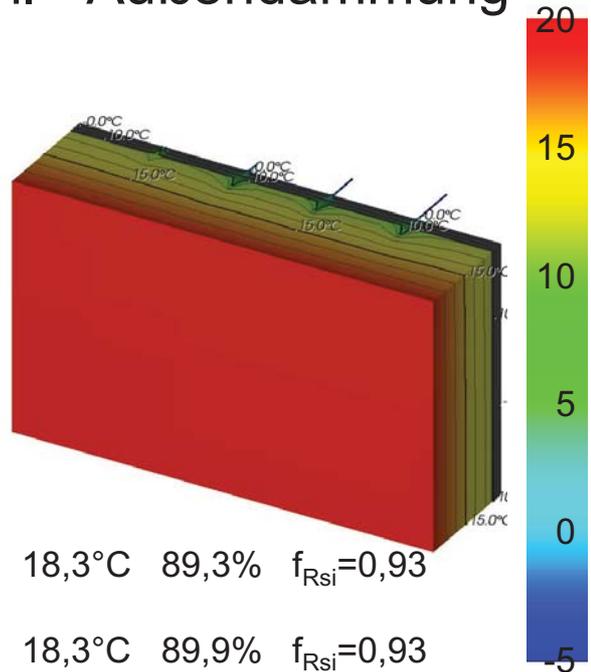


WB: Befestigung Stahl - Außendämmung

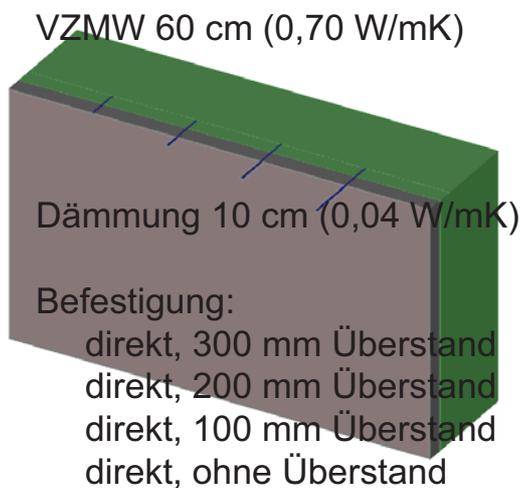


'worst case'

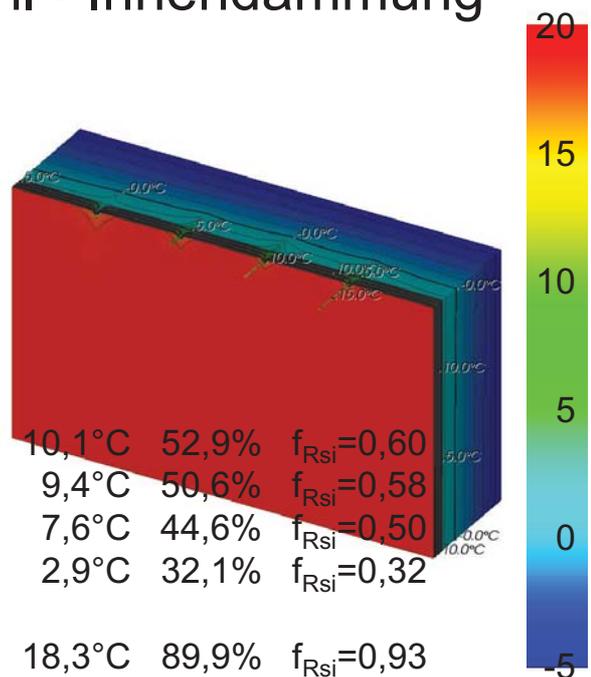
ohne Schwächung



WB: Befestigung Stahl - Innendämmung

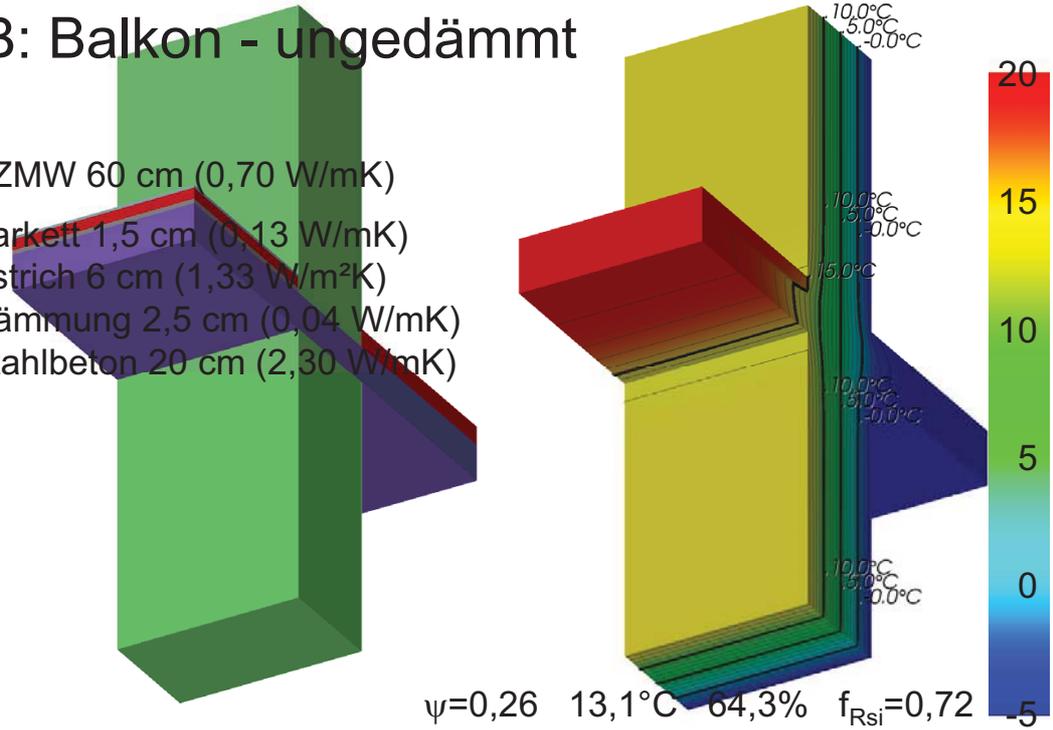


ohne Schwächung



WB: Balkon - ungedämmt

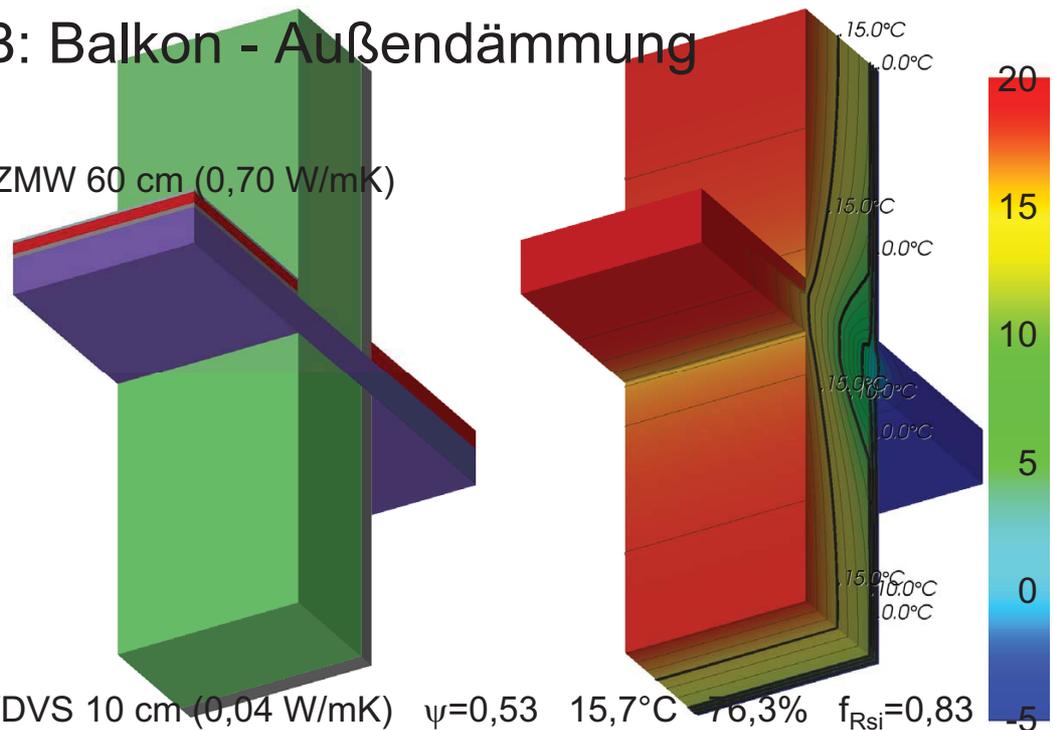
- VZMW 60 cm (0,70 W/mK)
- Parkett 1,5 cm (0,13 W/mK)
- Estrich 6 cm (1,33 W/m²K)
- Dämmung 2,5 cm (0,04 W/mK)
- Stahlbeton 20 cm (2,30 W/mK)



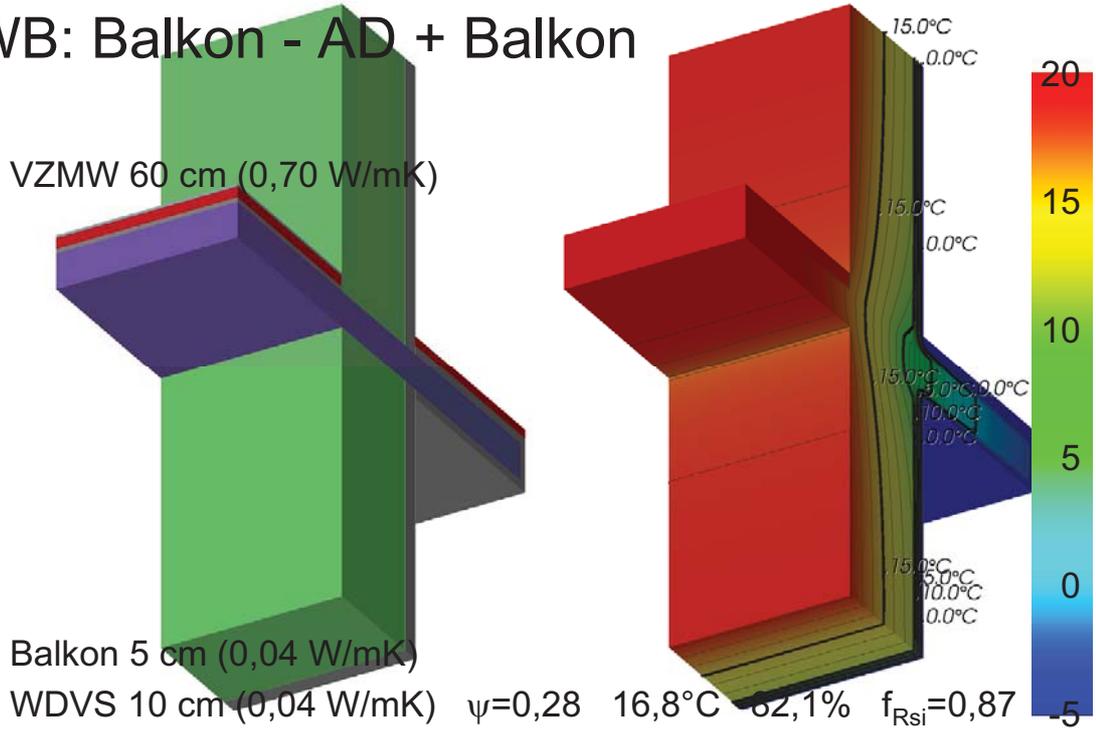
WB: Balkon - Außendämmung

- VZMW 60 cm (0,70 W/mK)

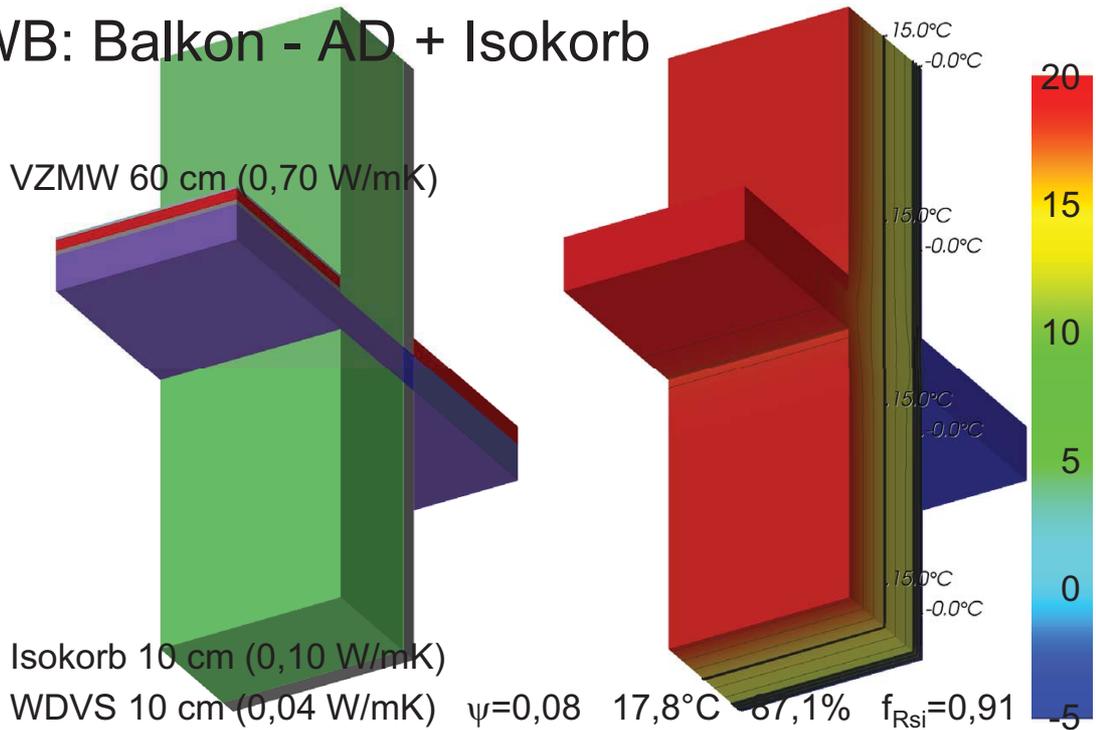
- WDVS 10 cm (0,04 W/mK)



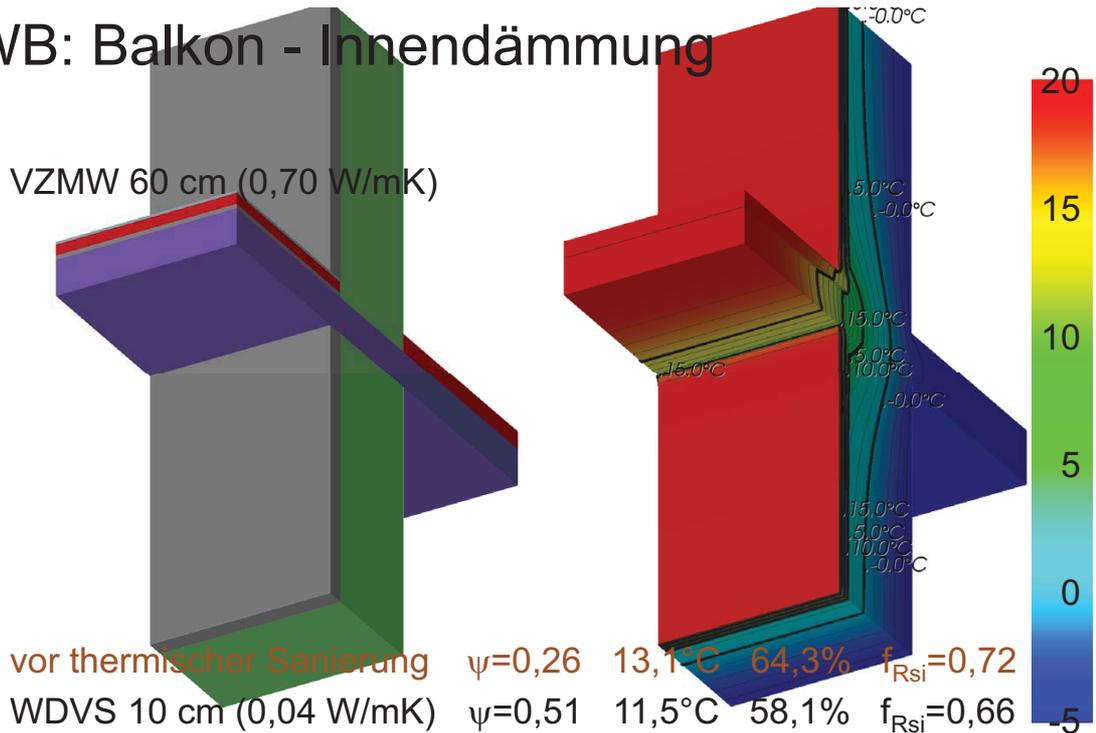
WB: Balkon - AD + Balkon



WB: Balkon - AD + Isokorb



WB: Balkon - Innendämmung

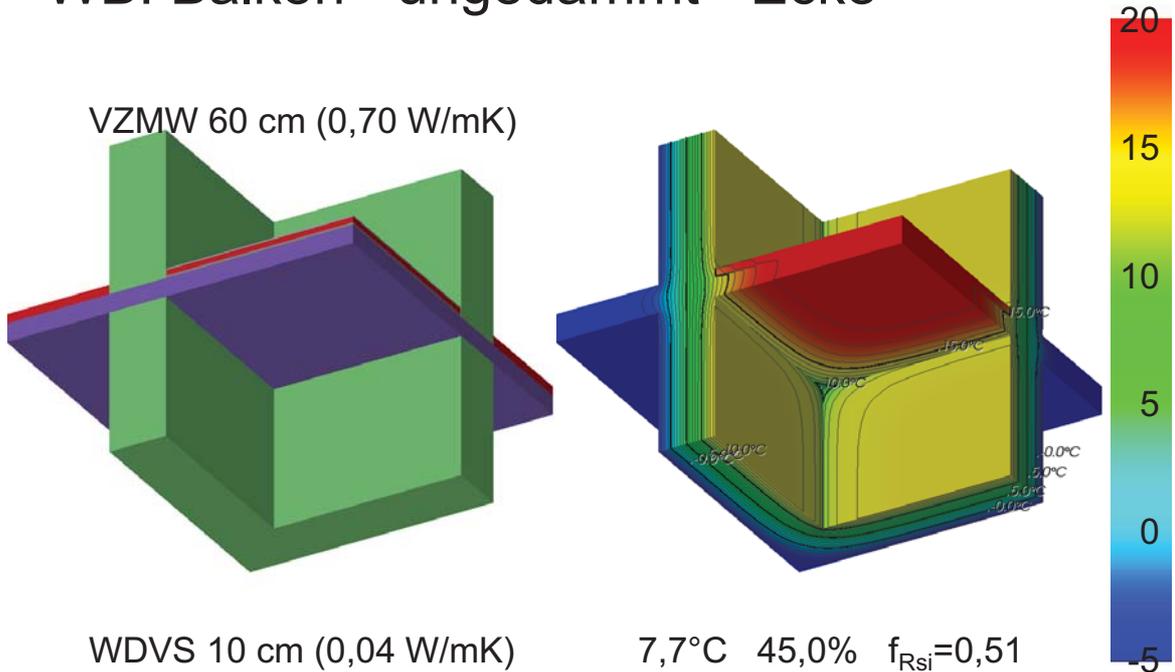


WB: Balkon - Verluste energetisch

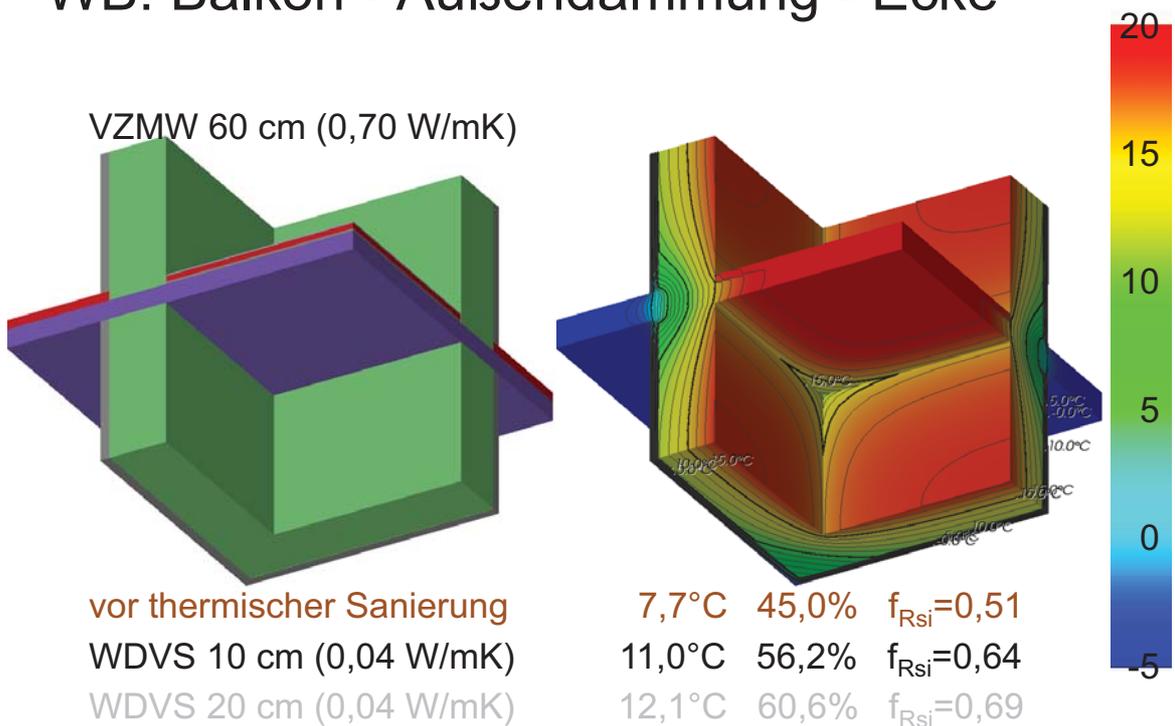
Übersicht	U	L_T	U^*I	ψ	θ_{si}	ϕ	f_{Rsi}	Ψ_{GH}	Ψ_{1m}
	W/m ² K	W/m	W/m	W/m	°C	%	-	%	%
Bestand	0,97	3,47	3,21	0,26	13,1	64,3	0,72	7	27
10 cm AD	0,28	1,46	0,94	0,53	15,7	76,3	0,83	36	186
+5 cm Balkon	0,28	1,22	0,94	0,28	16,8	82,1	0,87	23	99
+Isokorb	0,28	1,02	0,94	0,08	17,8	87,1	0,91	8	28
20 cm AD	0,17	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

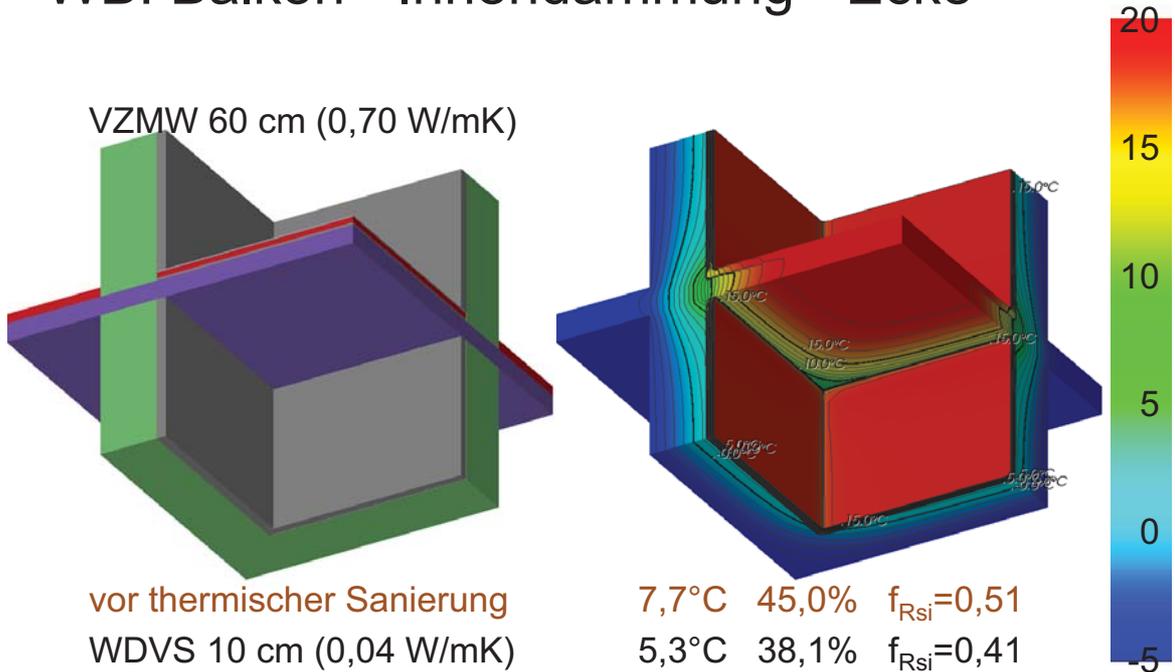
WB: Balkon - ungedämmt - Ecke



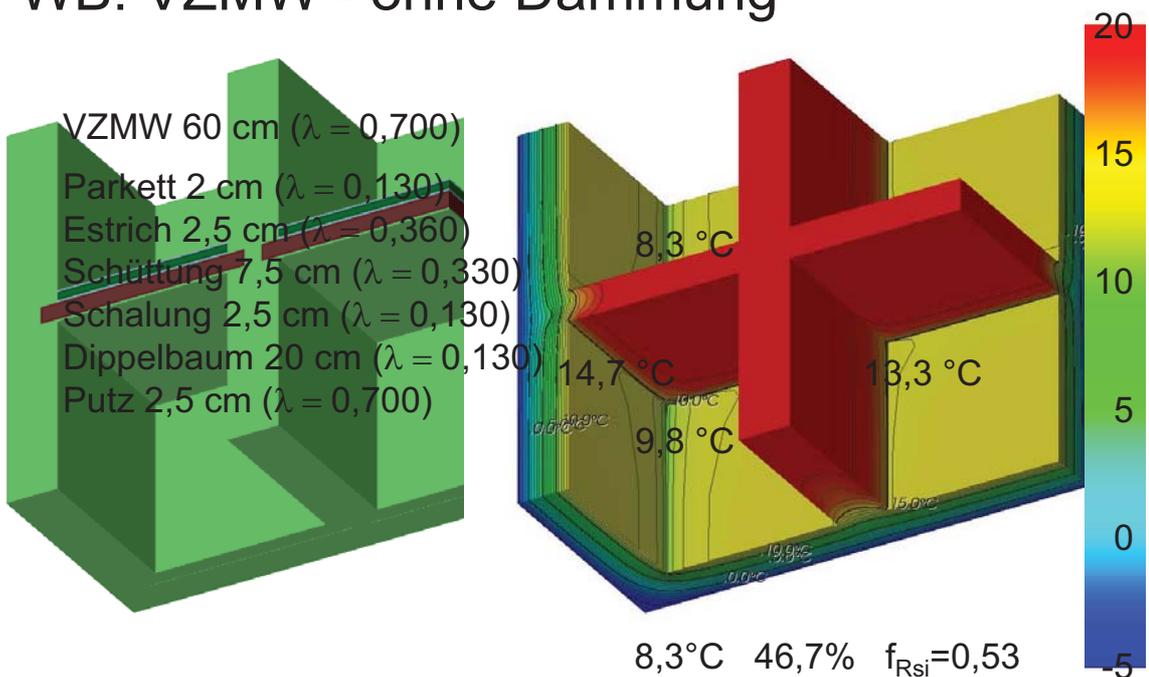
WB: Balkon - Außendämmung - Ecke



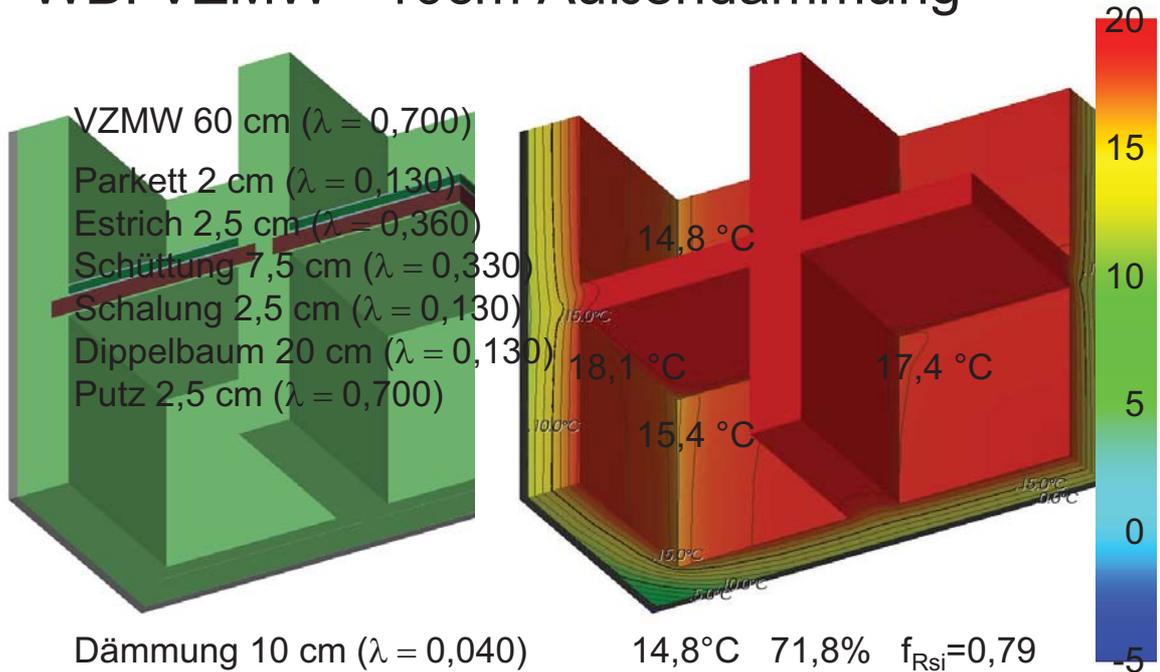
WB: Balkon - Innendämmung - Ecke



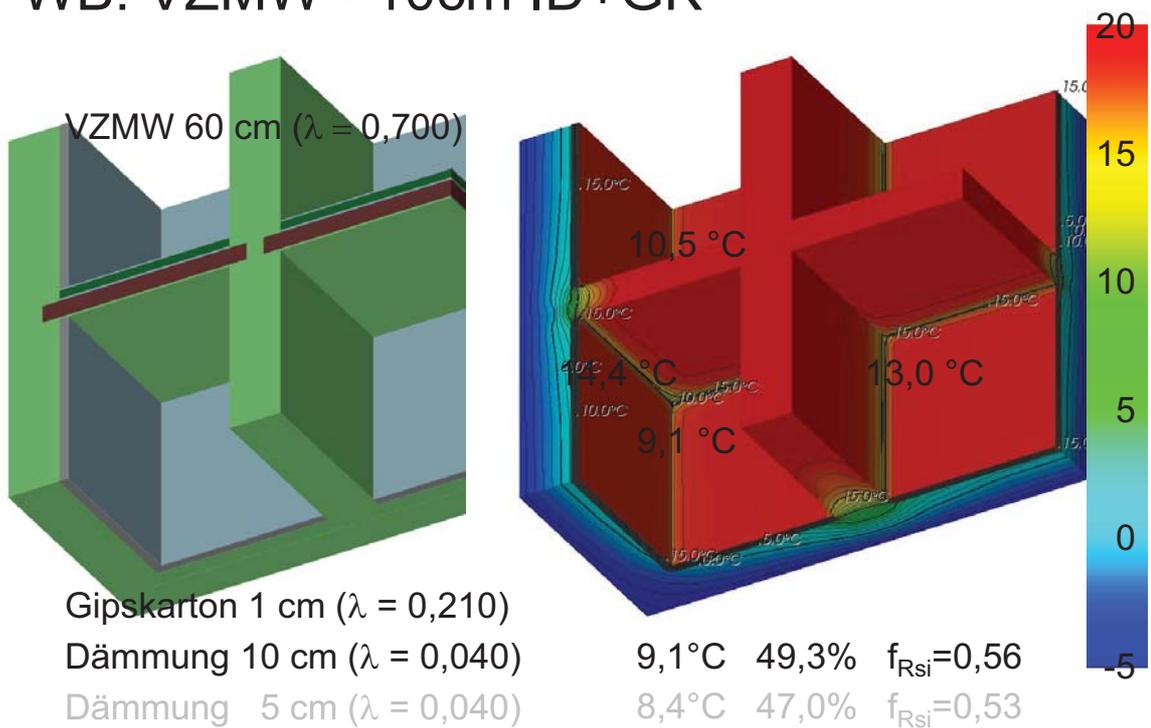
WB: VZMW - ohne Dämmung



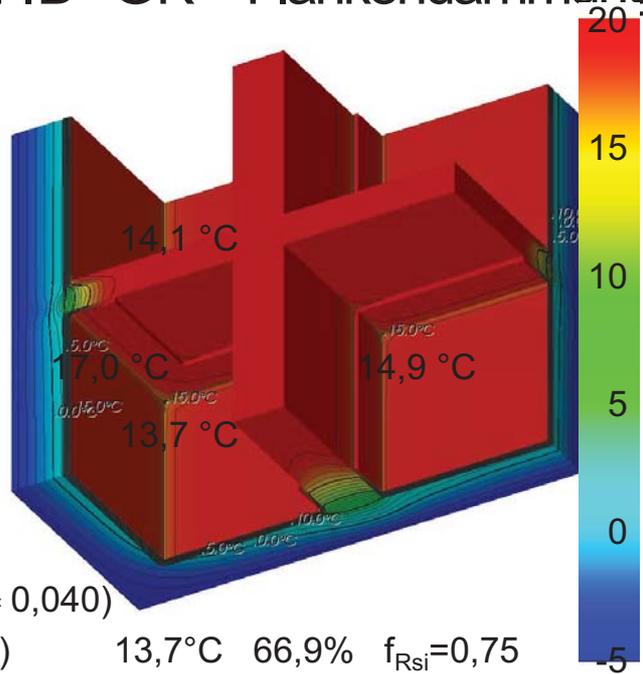
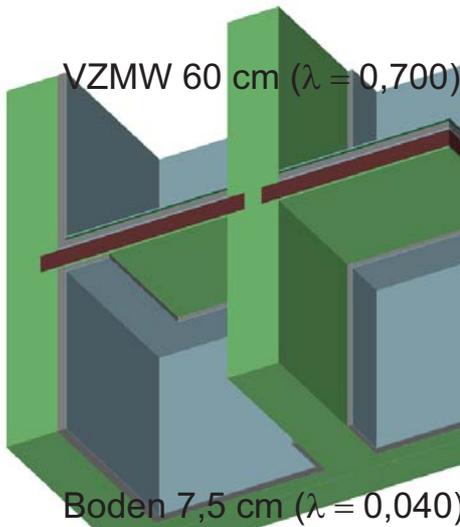
WB: VZMW - 10cm Außendämmung



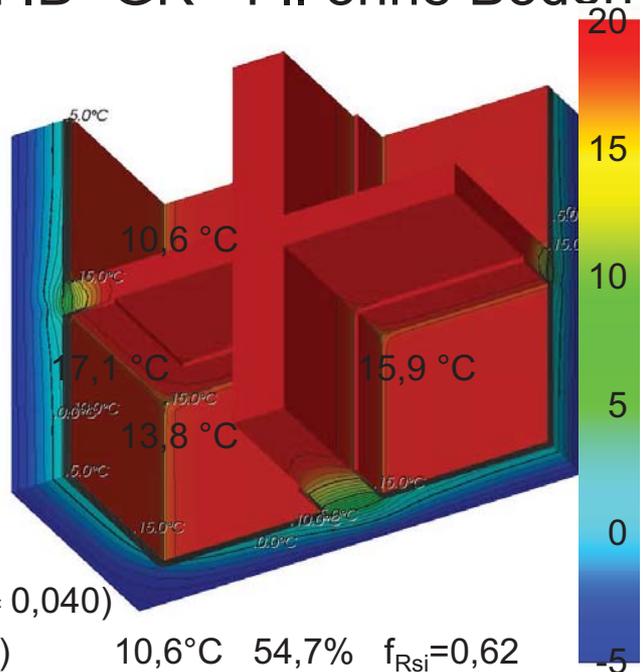
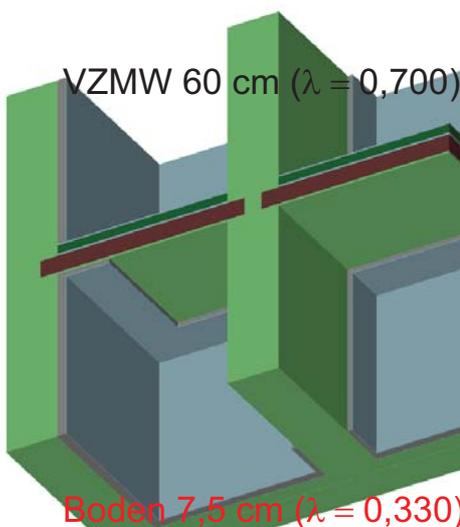
WB: VZMW - 10cm ID+GK



WB: VZMW - 10cm ID+GK - Flankendämmung



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



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% $f_{Rsi}=0,78$

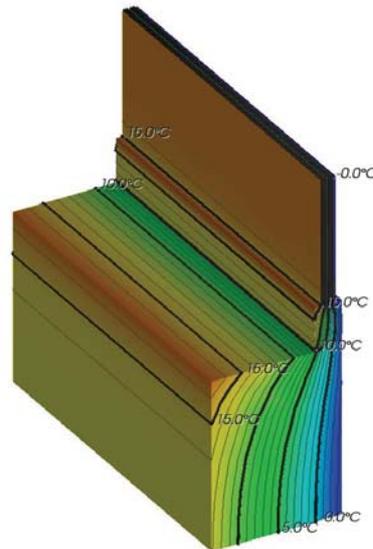
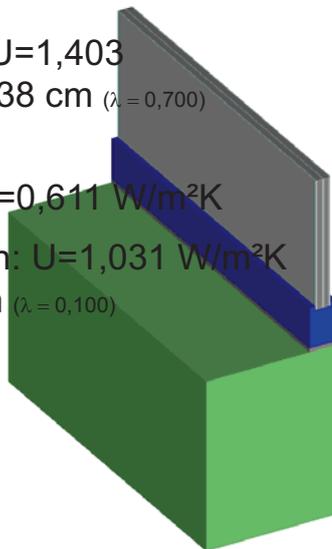


WB: Fenster - Bestand - außen

Wand: $U=1,403$
 VZMW 38 cm ($\lambda = 0,700$)

Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda = 0,100$)



z.B. für späteres WDVS $\psi=0,306$ 5,8°C 39,4% $f_{Rsi}=0,43$

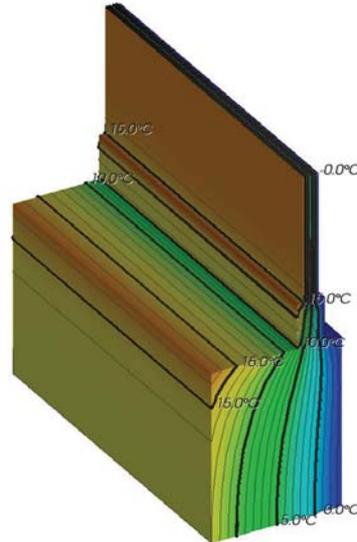
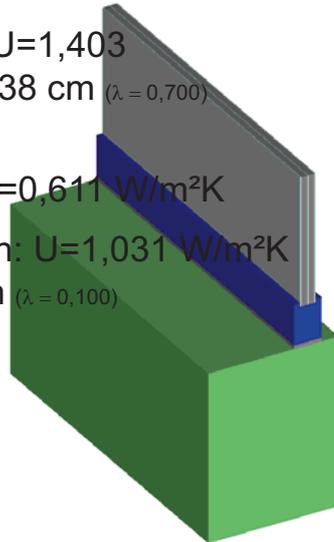


WB: Fenster - Bestand - außen-5cm

Wand: $U=1,403$
 VZMW 38 cm ($\lambda = 0,700$)

Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda = 0,100$)



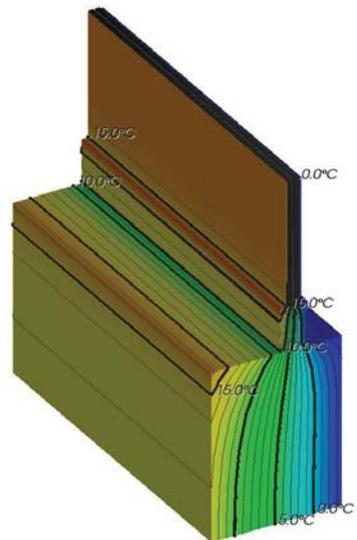
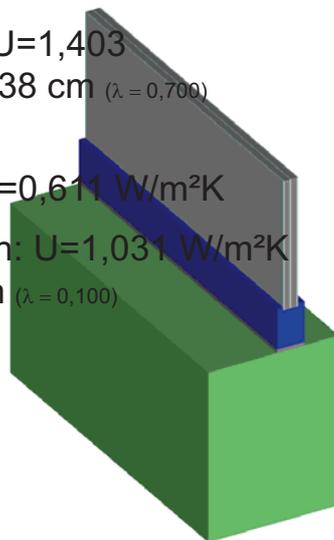
z.B. für späteres WDVS $\psi=0,240$ $7,1^\circ\text{C}$ 43,2% $f_{Rsi}=0,48$

WB: Fenster - Bestand - mittig+5cm

Wand: $U=1,403$
 VZMW 38 cm ($\lambda = 0,700$)

Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda = 0,100$)



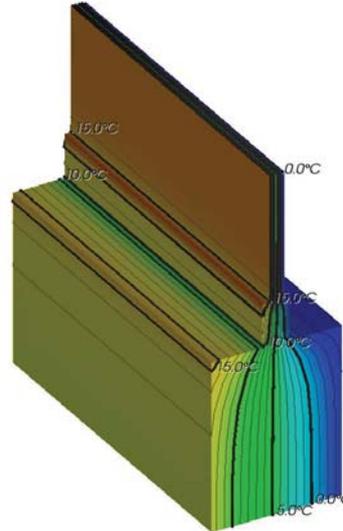
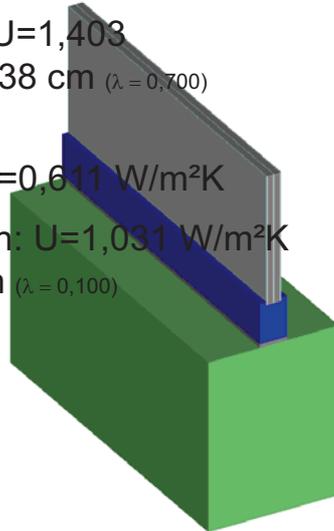
z.B. für späteres WDVS $\psi=0,204$ $8,0^\circ\text{C}$ 45,9% $f_{Rsi}=0,52$

WB: Fenster - Bestand - mittig

Wand: $U=1,403$
 VZMW 38 cm ($\lambda = 0,700$)

Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda = 0,100$)



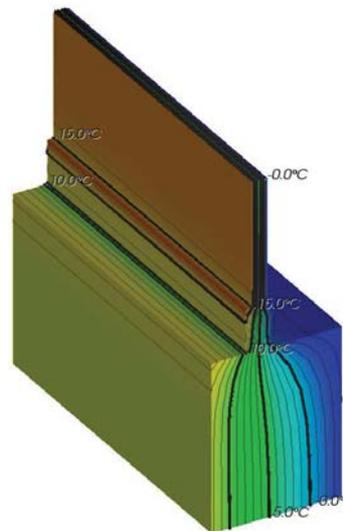
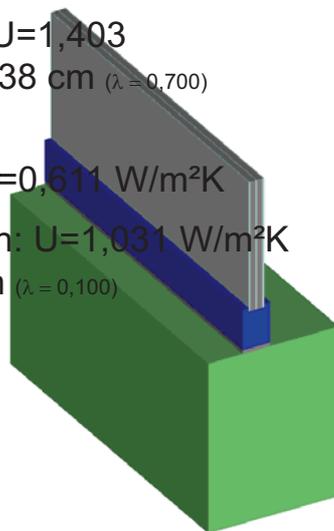
z.B. für späteres WDVS $\psi=0,192$ $8,7^\circ\text{C}$ 48,1% $f_{Rsi}=0,55$

WB: Fenster - Bestand - mittig-5cm

Wand: $U=1,403$
 VZMW 38 cm ($\lambda = 0,700$)

Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda = 0,100$)



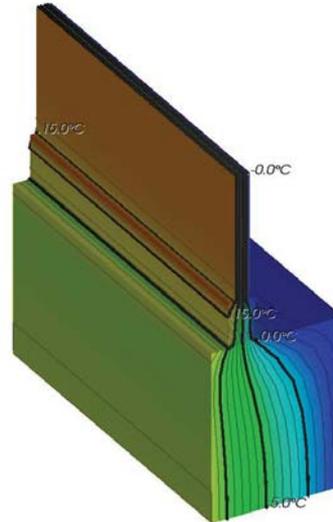
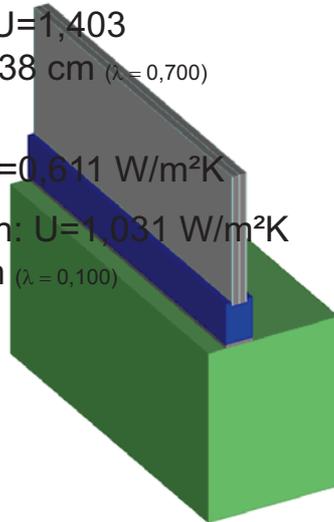
z.B. für späteres WDVS $\psi=0,199$ $9,3^\circ\text{C}$ 50,0% $f_{Rsi}=0,57$

WB: Fenster - Bestand - innen+5cm

Wand: $U=1,403$
 VZMW 38 cm ($\lambda=0,700$)

Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda=0,100$)



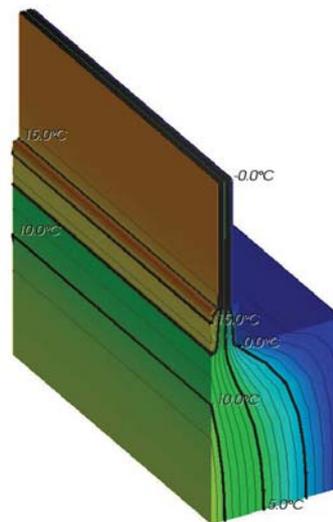
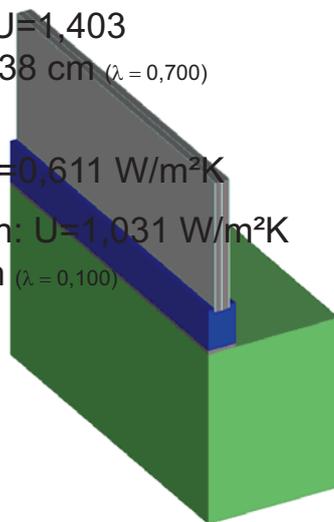
z.B. für späteres WDVS $\psi=0,227$ $9,7^\circ\text{C}$ 51,4% $f_{Rsi}=0,59$

WB: Fenster - Bestand - innen

Wand: $U=1,403$
 VZMW 38 cm ($\lambda=0,700$)

Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$

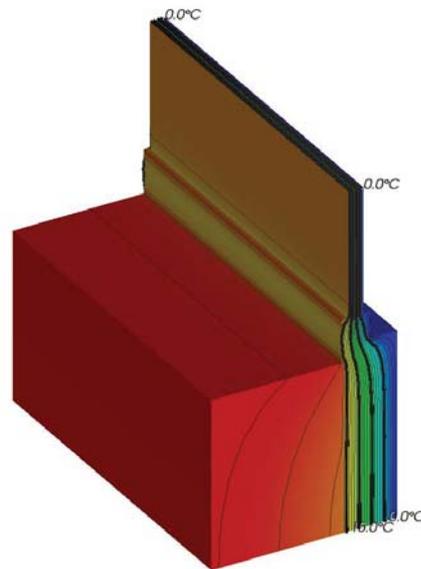
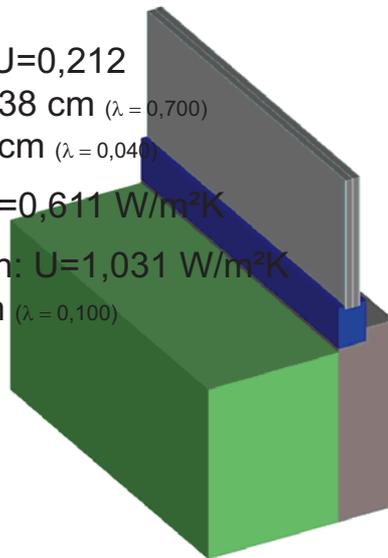
Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda=0,100$)



z.B. für späteres WDVS $\psi=0,272$ $8,6^\circ\text{C}$ 47,9% $f_{Rsi}=0,55$

WB: Fenster - in WDVS ("Wunsch")

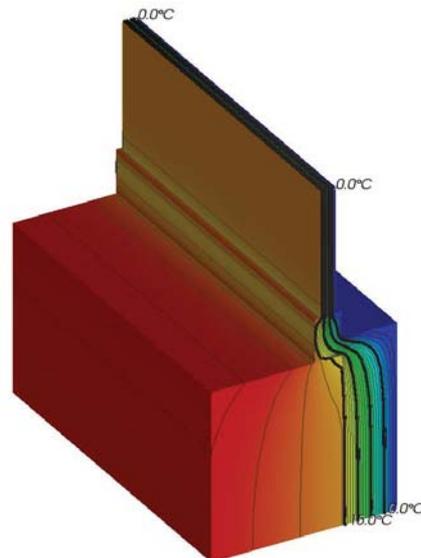
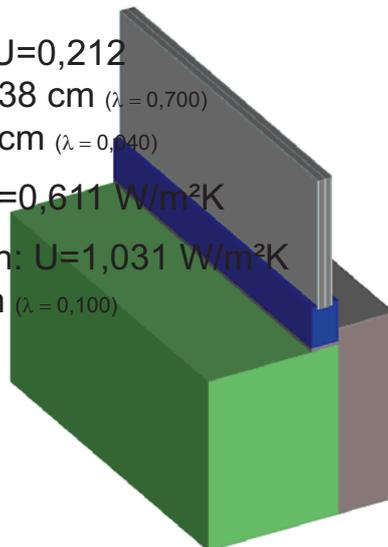
Wand: $U=0,212$
 VZMW 38 cm ($\lambda = 0,700$)
 WD 16 cm ($\lambda = 0,040$)
 Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda = 0,100$)



5 cm Überdämmung $\psi=0,047$ 15,1°C 73,4% $f_{Rsi}=0,80$

WB: Fenster - hinter WDVS (praktisch)

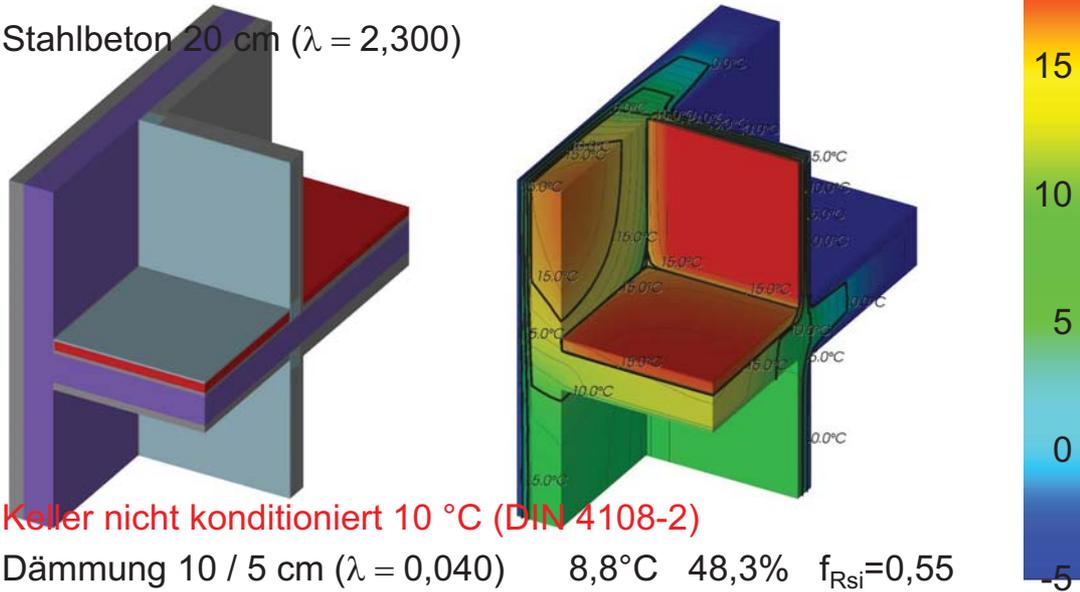
Wand: $U=0,212$
 VZMW 38 cm ($\lambda = 0,700$)
 WD 16 cm ($\lambda = 0,040$)
 Glas: $U=0,611 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Rahmen: $U=1,031 \text{ W/m}^2\text{K}$
 13/8 cm ($\lambda = 0,100$)



5 cm Überdämmung $\psi=0,069$ 15,4°C 75,1% $f_{Rsi}=0,82$

WB: Loggia (Loggia AW leicht) - 10cm Dämmung

Stahlbeton 20 cm ($\lambda = 2,300$)

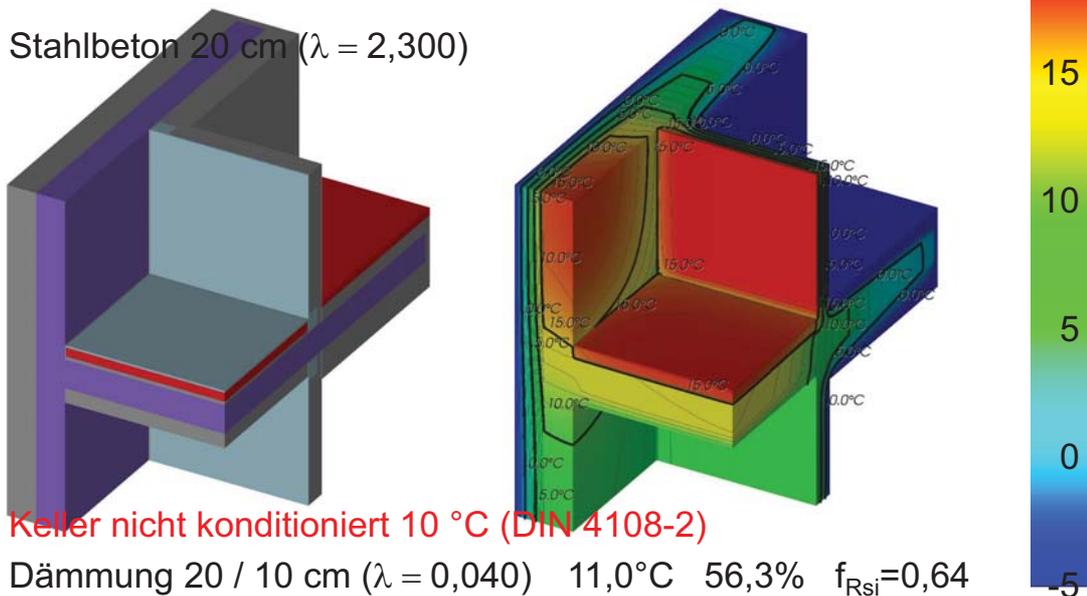


Keller nicht konditioniert 10 °C (DIN 4108-2)

Dämmung 10 / 5 cm ($\lambda = 0,040$) 8,8°C 48,3% $f_{Rsi}=0,55$

WB: Loggia (Loggia AW leicht) - 20cm Dämmung

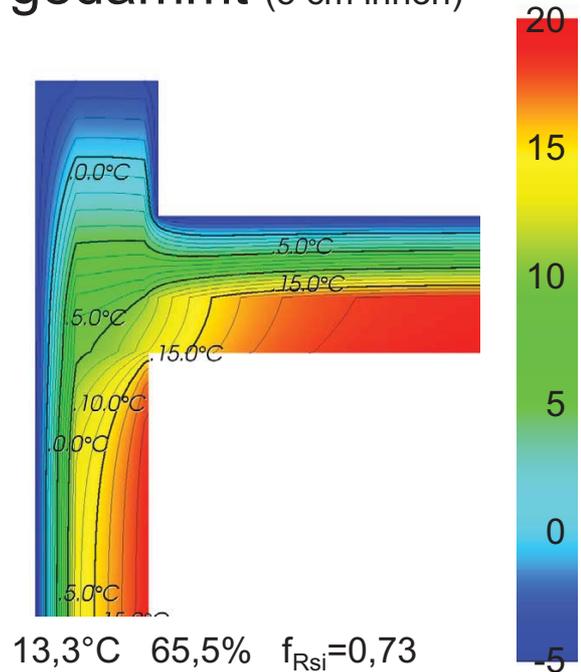
Stahlbeton 20 cm ($\lambda = 2,300$)



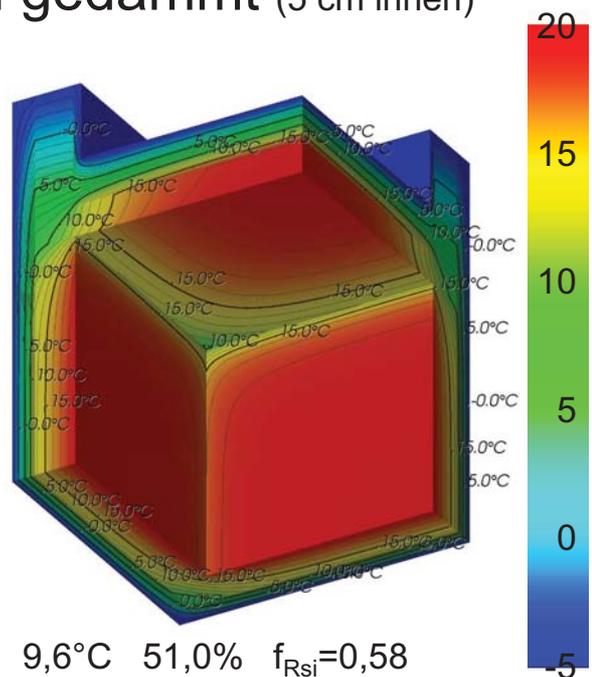
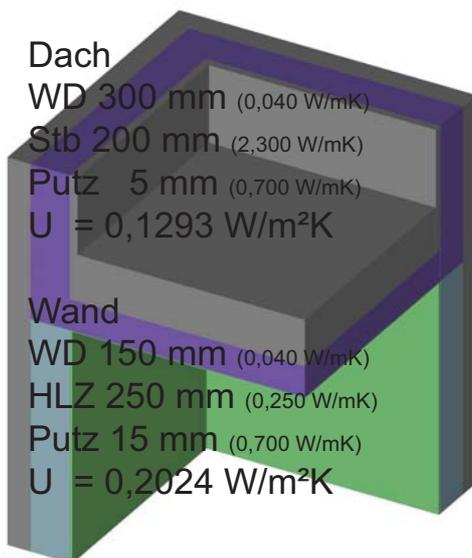
Keller nicht konditioniert 10 °C (DIN 4108-2)

Dämmung 20 / 10 cm ($\lambda = 0,040$) 11,0°C 56,3% $f_{Rsi}=0,64$

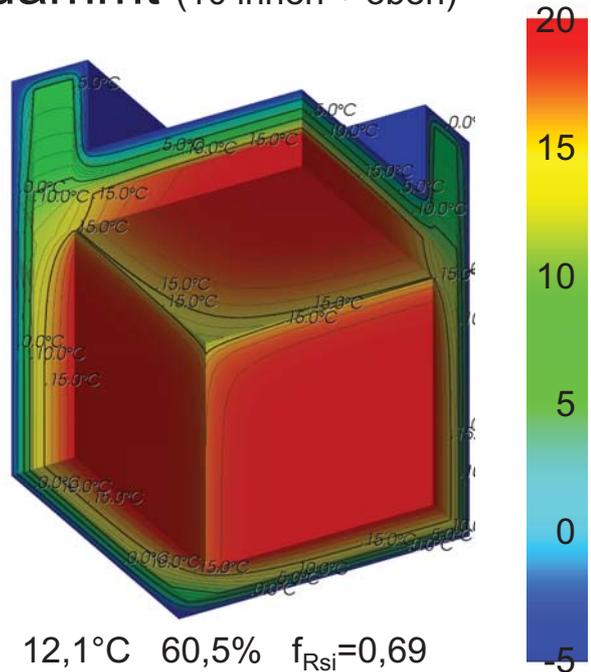
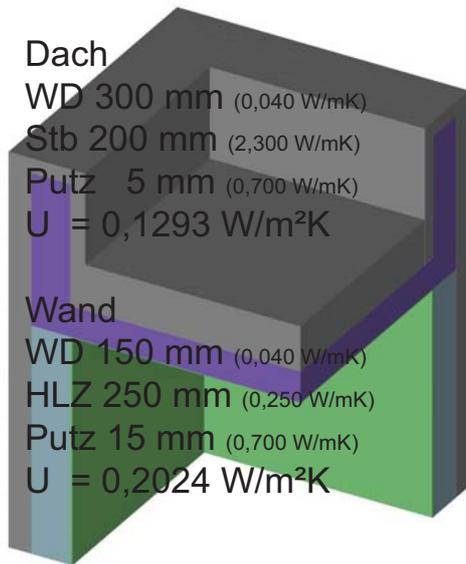
WB: Attika - schwach gedämmt (5 cm innen)



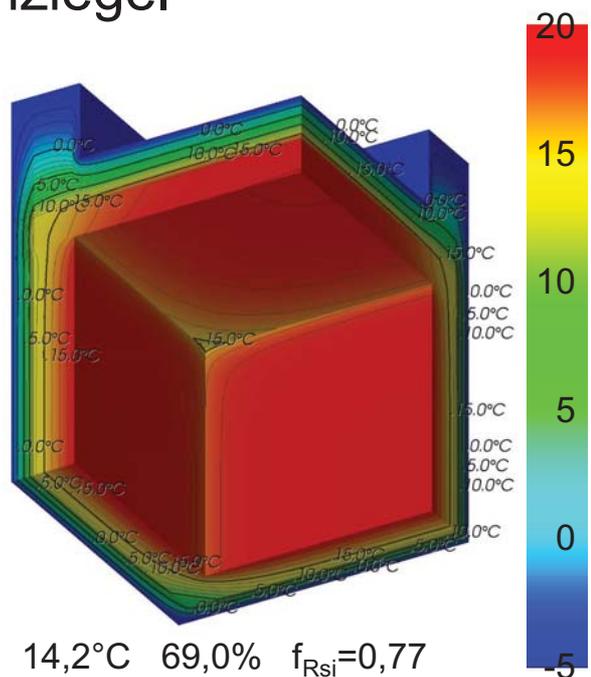
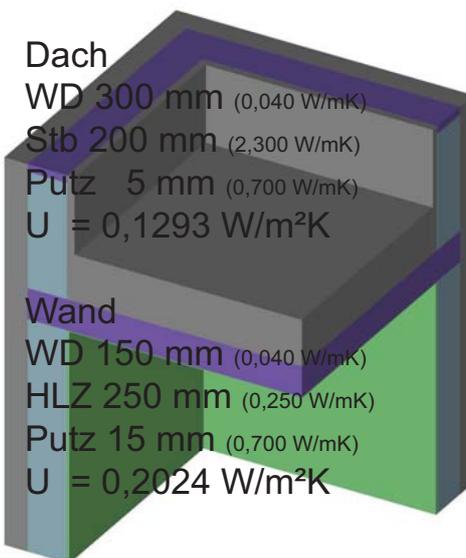
WB: Attika - schwach gedämmt (5 cm innen)



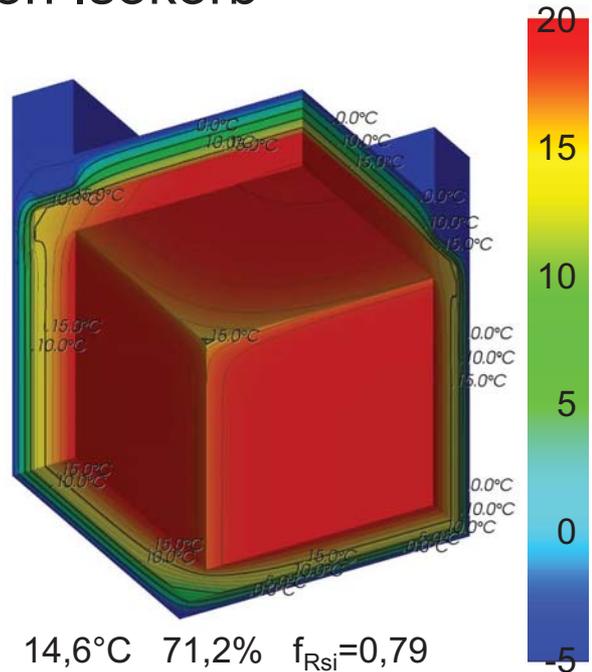
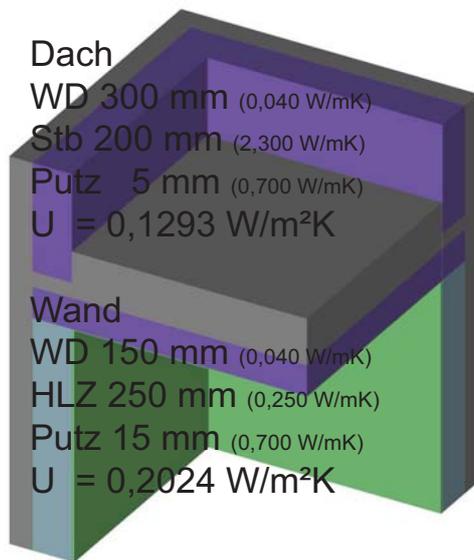
WB: Attika - stark gedämmt (10 innen + oben)



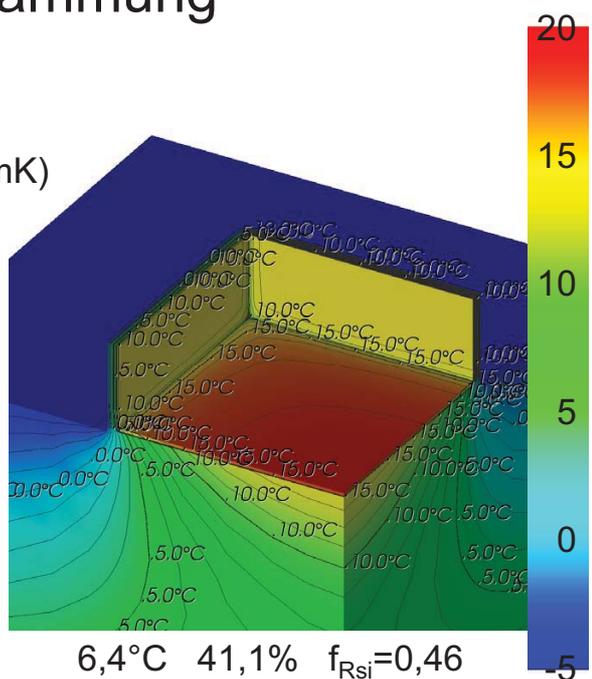
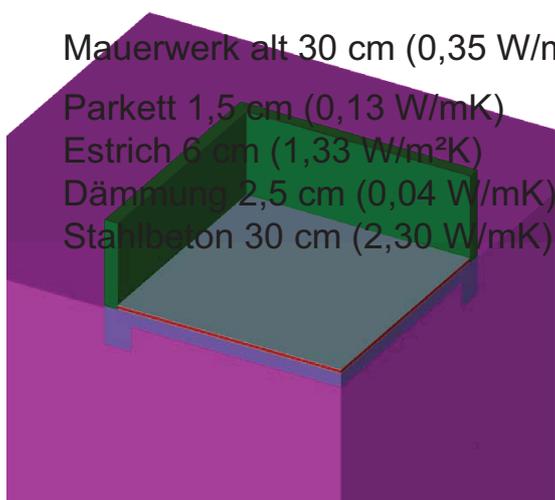
WB: Attika - Hochlochziegel



WB: Attika - Stahlbeton Isokorb

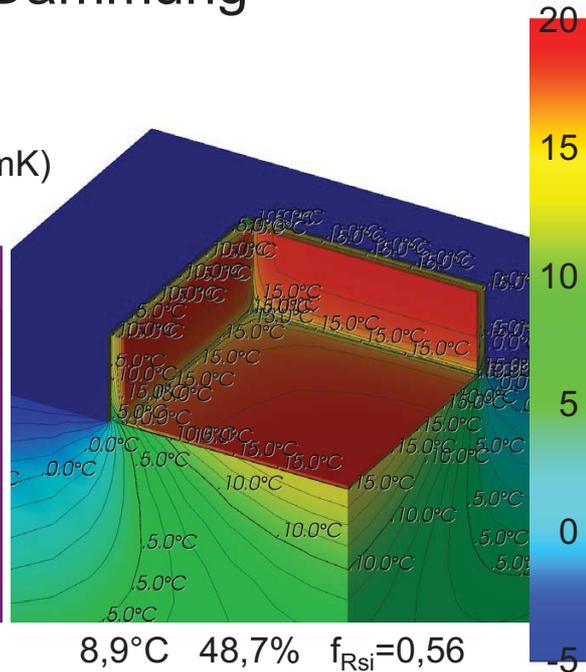
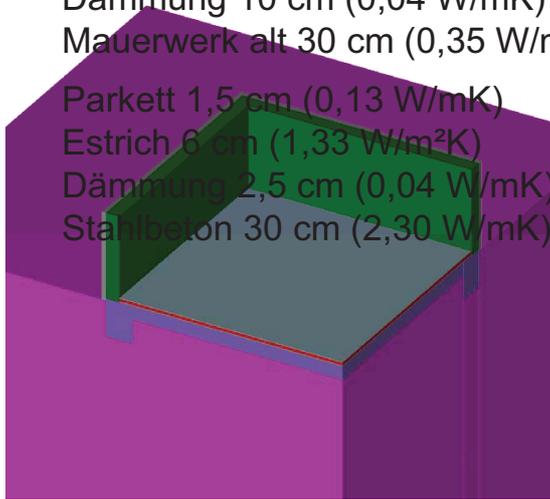


WB: Sockel - ohne Dämmung



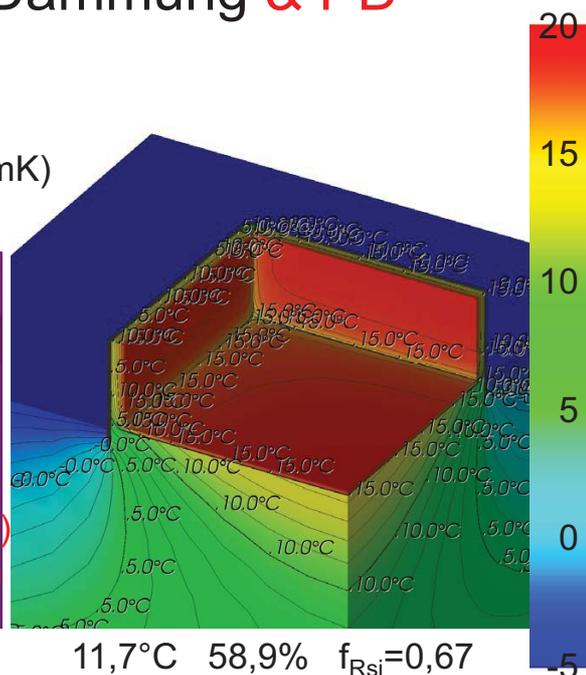
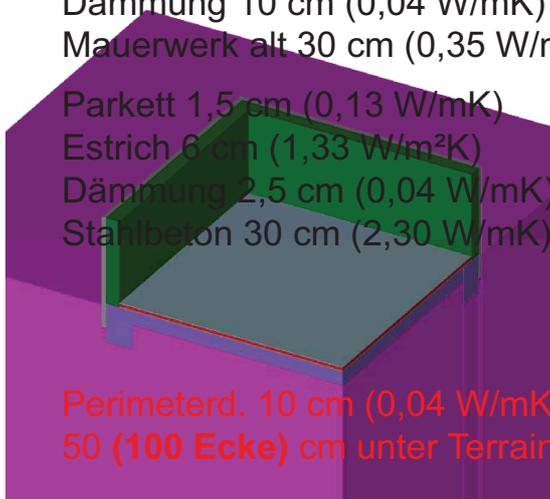
WB: Sockel - 10 cm Dämmung

Dämmung 10 cm (0,04 W/mK)
 Mauerwerk alt 30 cm (0,35 W/mK)
 Parkett 1,5 cm (0,13 W/mK)
 Estrich 6 cm (1,33 W/m²K)
 Dämmung 2,5 cm (0,04 W/mK)
 Stahlbeton 30 cm (2,30 W/mK)

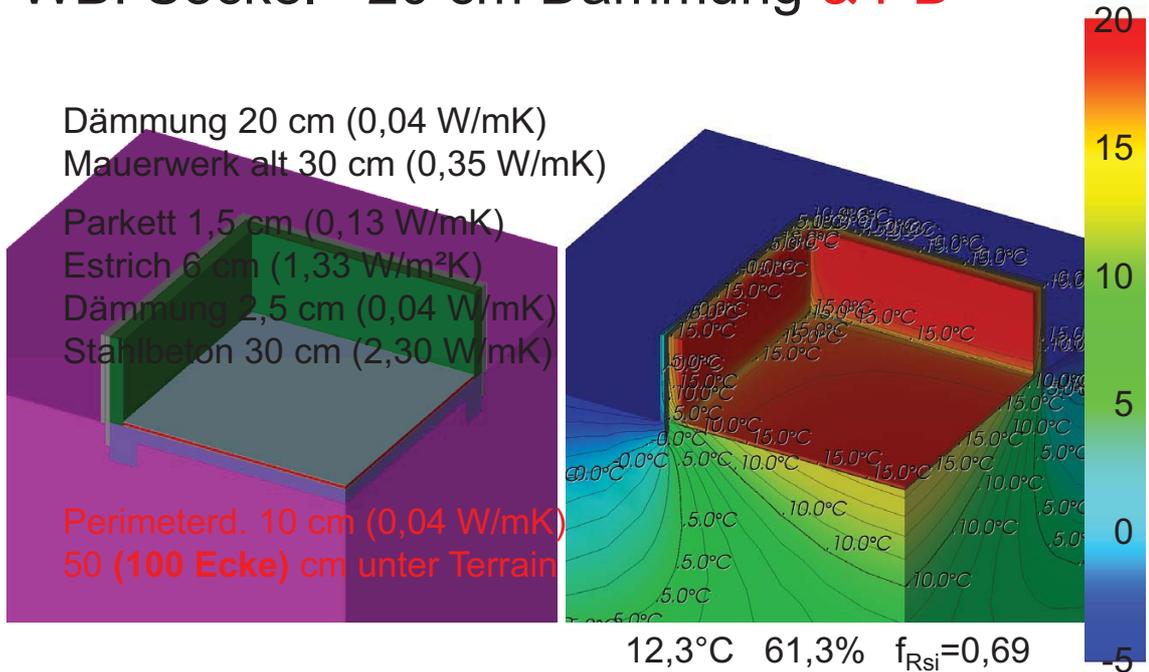


WB: Sockel - 10 cm Dämmung & PD

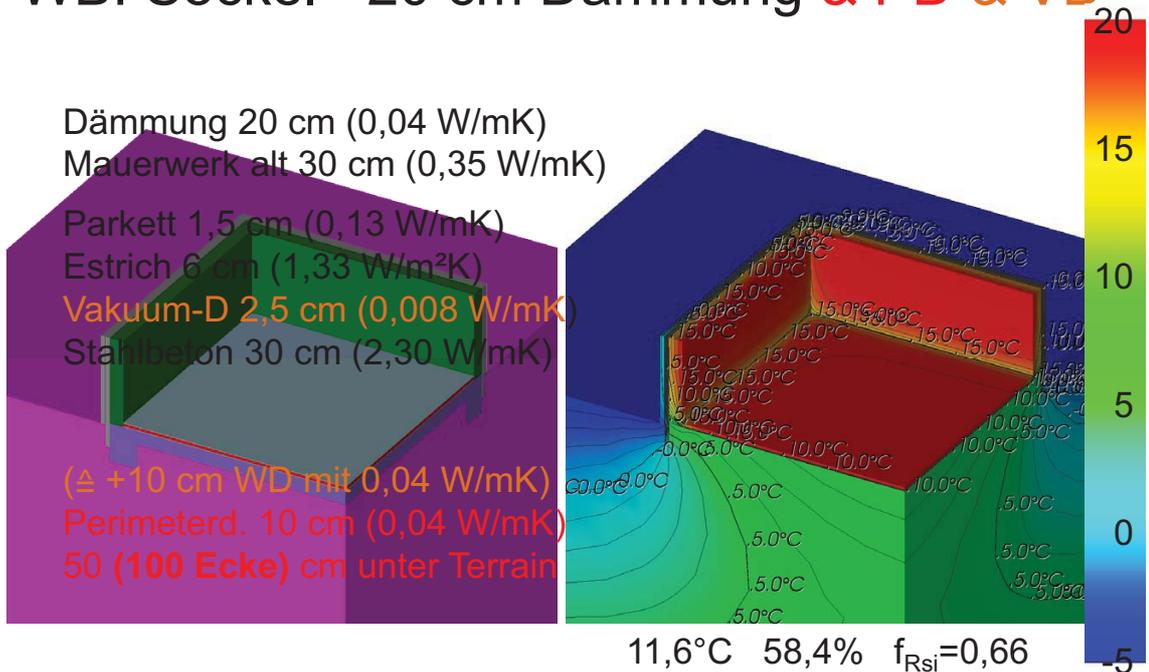
Dämmung 10 cm (0,04 W/mK)
 Mauerwerk alt 30 cm (0,35 W/mK)
 Parkett 1,5 cm (0,13 W/mK)
 Estrich 6 cm (1,33 W/m²K)
 Dämmung 2,5 cm (0,04 W/mK)
 Stahlbeton 30 cm (2,30 W/mK)



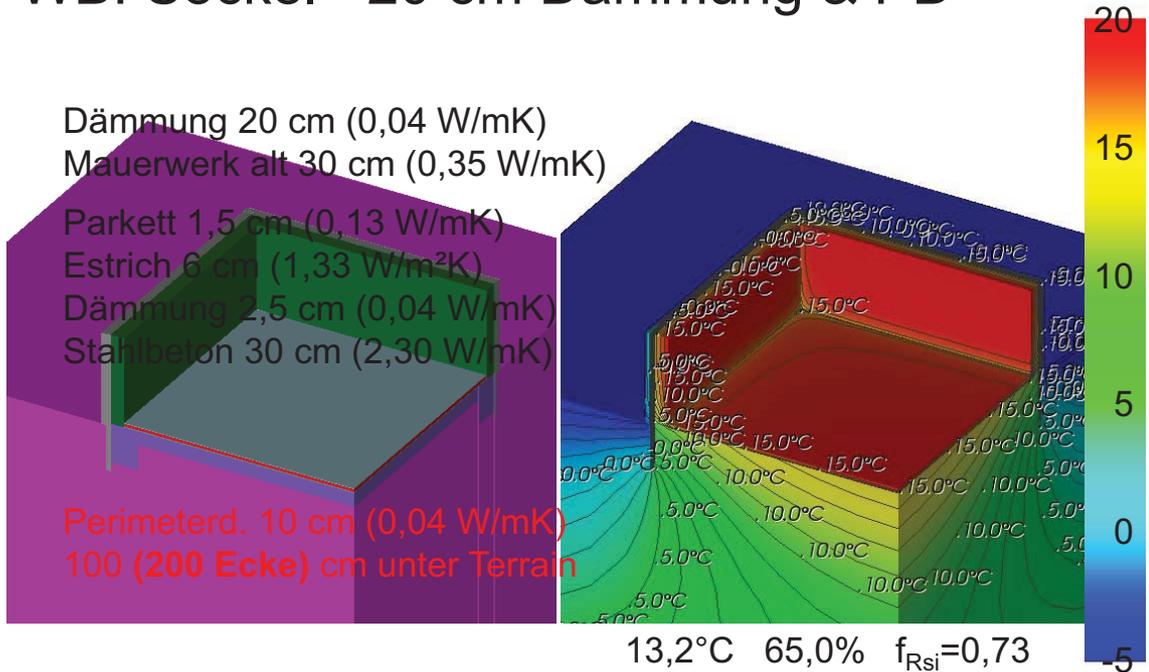
WB: Sockel - 20 cm Dämmung & PD



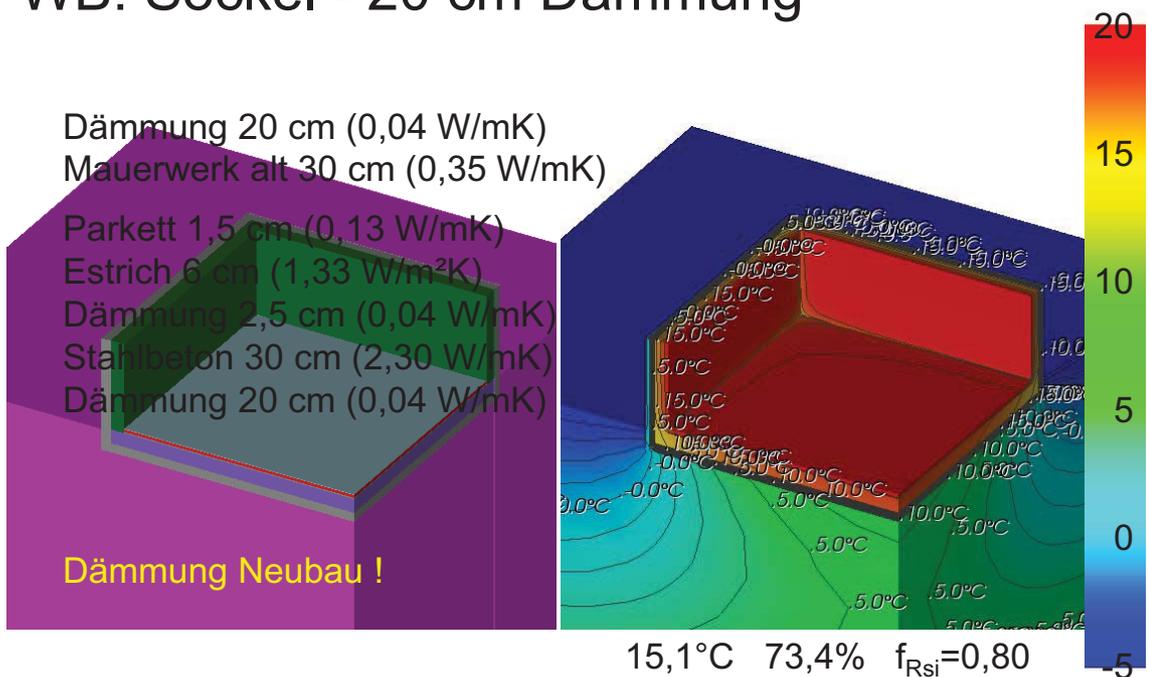
WB: Sockel - 20 cm Dämmung & PD & VD



WB: Sockel - 20 cm Dämmung & PD

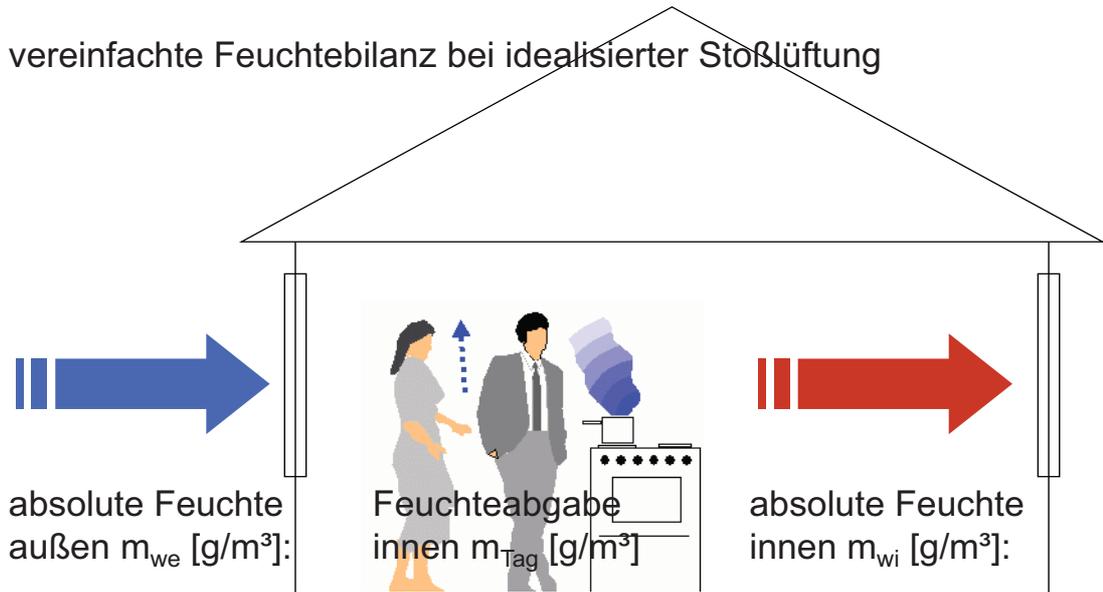


WB: Sockel - 20 cm Dämmung

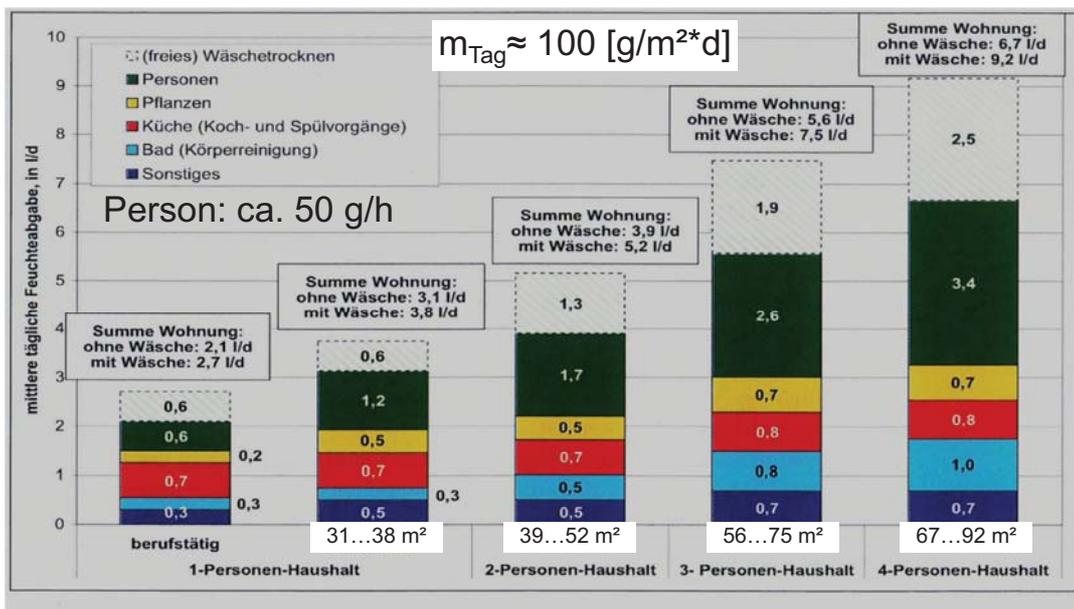


Feuchte - Bilanz

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/m^3]:

außen: 0 ... -10°C 60 ... 90% → 2 ... 4 $g/m^3 \approx 3 g/m^3$

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

20°C 55% → 9,5 $g/m^3 - 3 g/m^3 = 6,5 g/m^3$

18°C 40% → 6,1 $g/m^3 - 3 g/m^3 = 3,1 g/m^3$

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

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

Lüftung - manuell

Feuchte messen und bedarfsabhängig Lüften



Temperaturstation & Außensender
ca. € 30



www.velux.de



www.winkhaus.com

Spaltlüftungsstellung 6 mm
⇒ 24 m³/h pro m bei 8 Pa



Temperaturstation & Außensender
ca. € 500



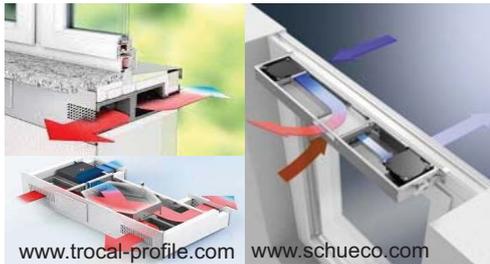
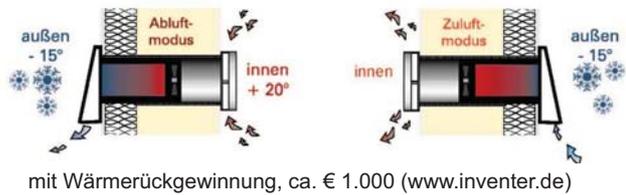
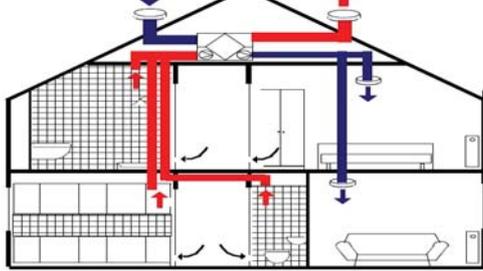
www.aluplast.net



www.g-u.com

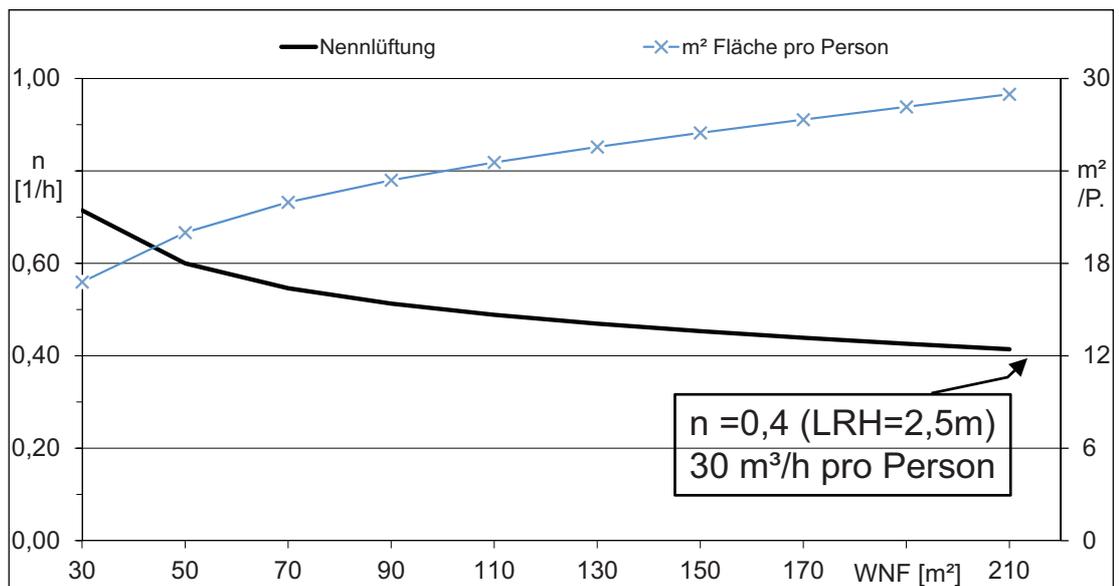
Lüftung - mechanisch

zentrale mechan. Be- & Entlüftung oder auch Einzellüfter



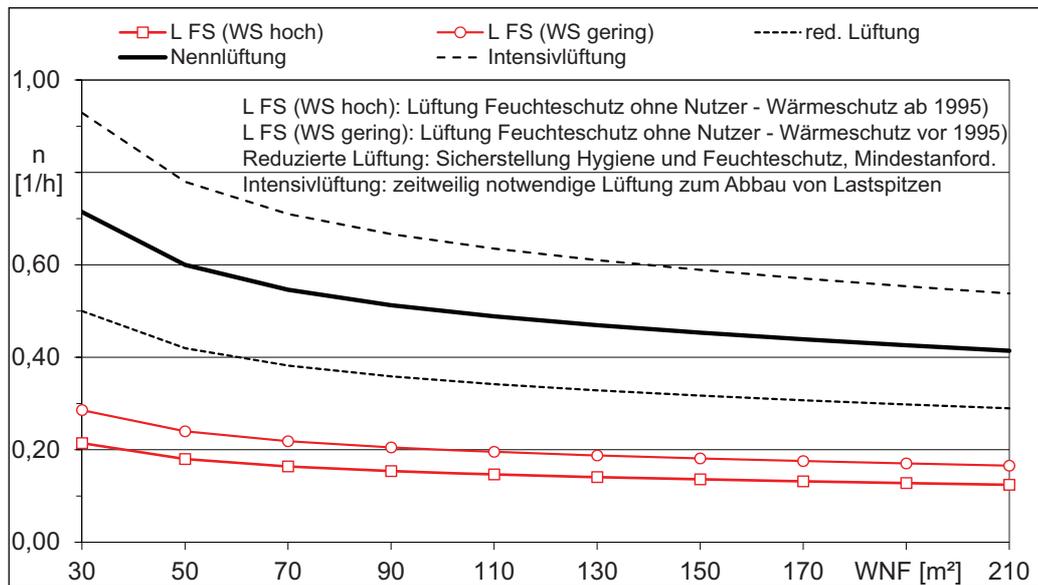
Schalldämmlüfter ohne und mit Wärmerückgewinnung
ca. € 500 bzw. ca. € 700 bis € 900 (www.siegenia-aubi.de)

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

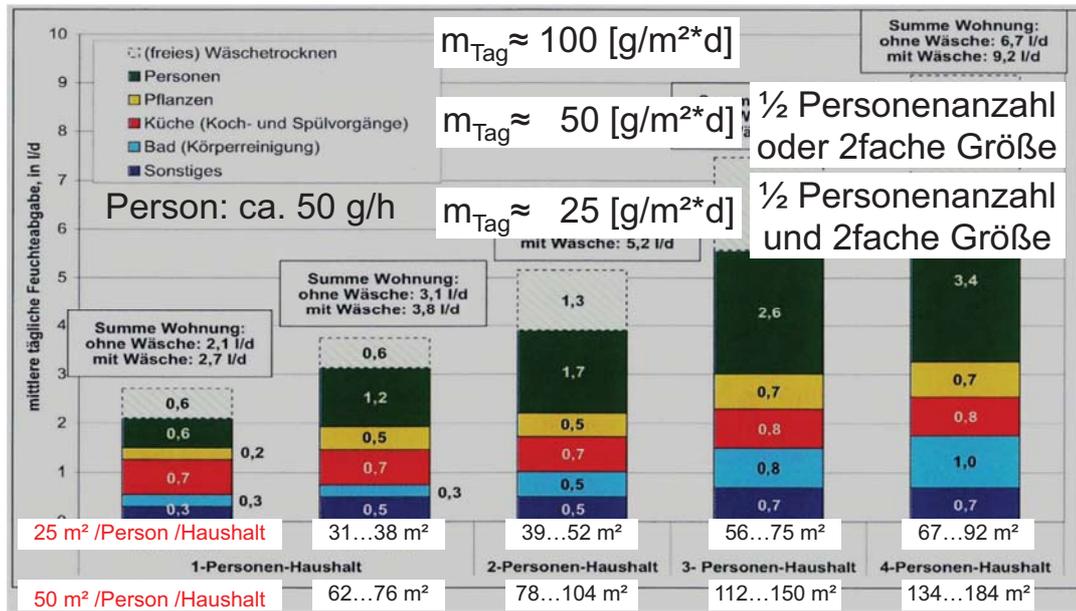
Familien mit vorbildlichem Lüftungsverhalten
möglich, aber vermutlich selten

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

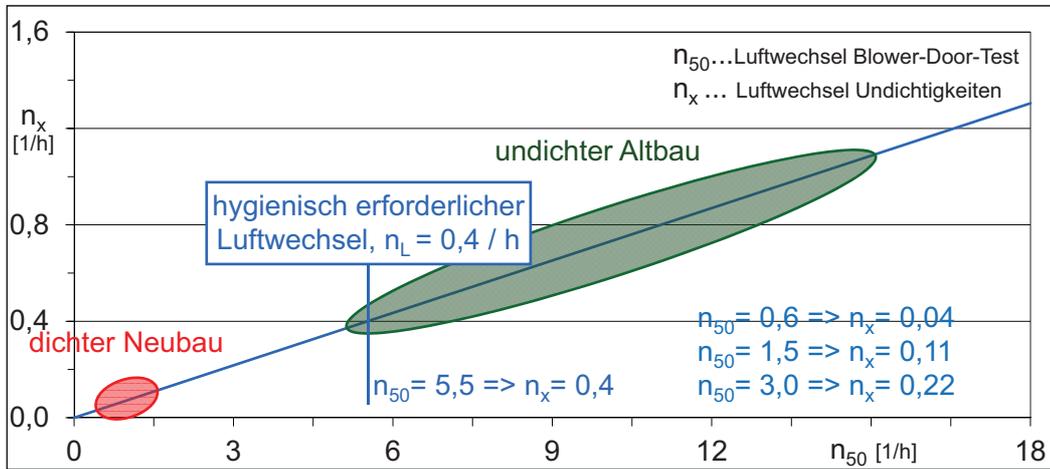
Wohnungen mit deutlich höherer Windbelastung

→ Wohnungen mit deutlich höherer Falschluft rate

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)

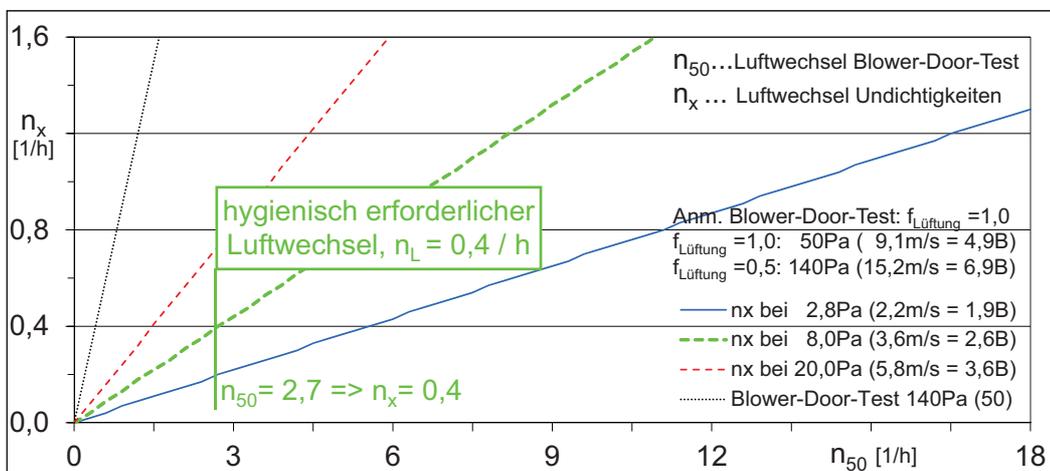


2,8Pa (2,2m/s = 1,9B) ... Annahme Energieausweis (ÖN B 8110-6)

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)

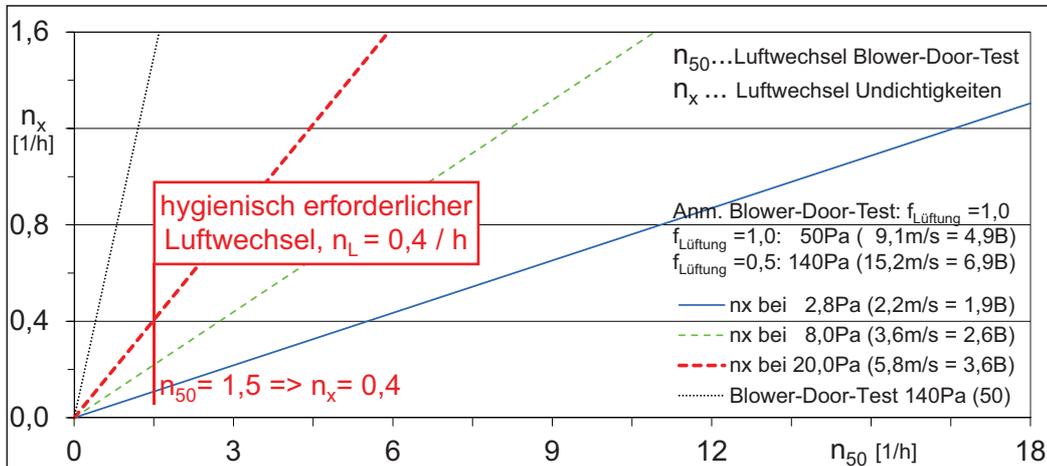


3,6 m/s ... Monatsmittelwert Wien von 1971 bis 2000 (ZAMG)

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)

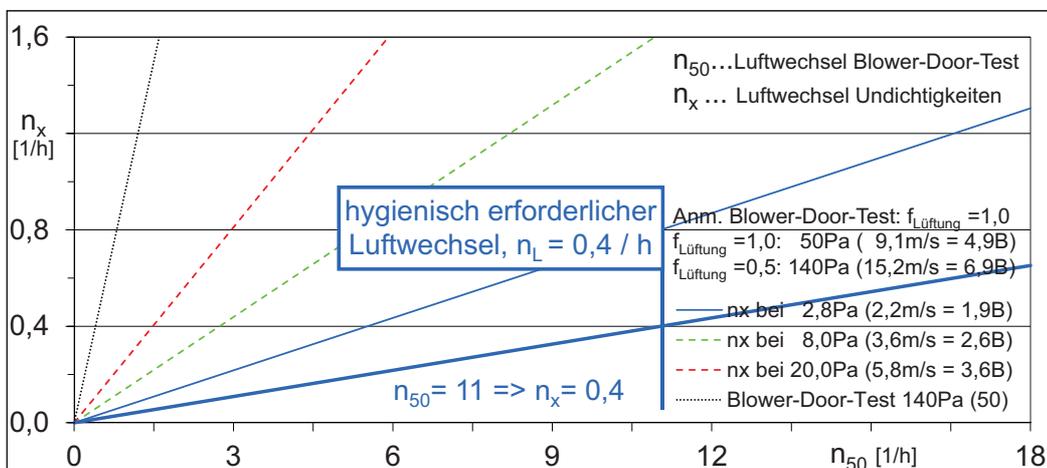


5,8 m/s bzw. 3,6 m/s in exponierte Lage (z.B. oberstes Stockwerk)

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 nx

Fazit

- San Innendämmung: mindert Wärmeverluste (Energiekennzahl)
erhöht Oberflächentemp. (=Behaglichkeit)
löst kein Feuchte- bzw. Schimmelproblem
- San Außendämmung: mindert Wärmeverluste (Energiekennzahl)
erhöht Oberflächentemp. (=Behaglichkeit)
reduziert 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

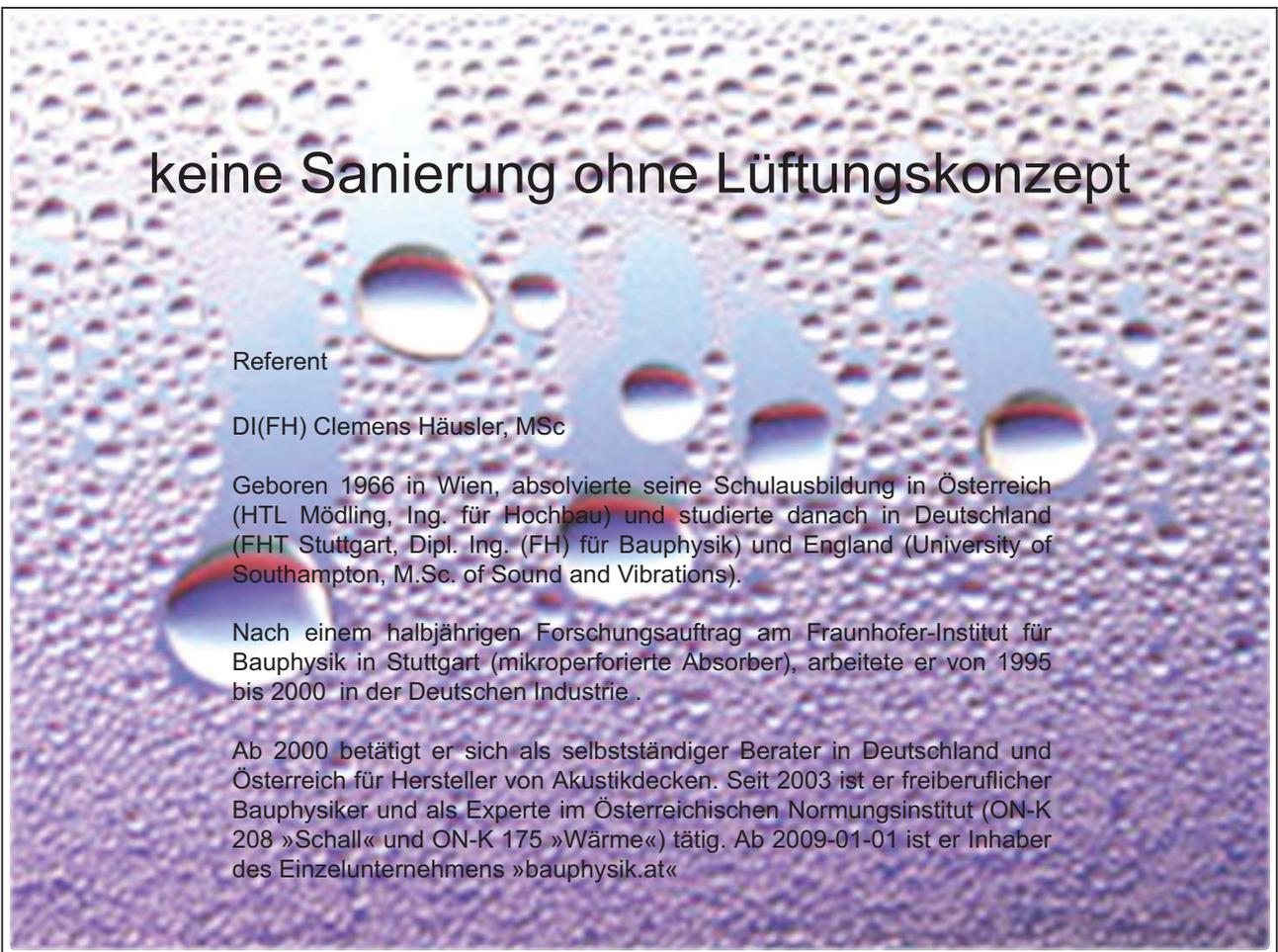
Außen	B 8110-3	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	f_{Rsi}
φ_i max	-10%	55%	55%	55%	50%	45%	40%	0,60
φ_i mittel	-10%	45%	45%	45%	40%	35%	30%	
φ_i max	-20%	45%	45%	45%	40%	35%	30%	0,50
φ_i mittel	-15%	40%	40%	40%	35%	30%	25%	

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 (2003-07-01)
- 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



keine Sanierung ohne Lüftungskonzept

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«