

Bauphysik und Raumklima

Prof. Dipl.-Ing. Axel C. Rahn
 Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH Die Bauphysiker.
 Von der IHK Berlin ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Gebäuden und Bauphysik

Raumklima

Lufttemperatur

Relative Luftfeuchte

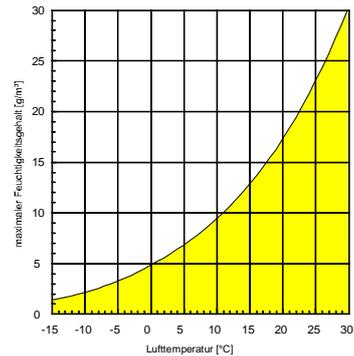
2

Zusammensetzung der Luft

Sauerstoff	20,95 %	O ₂
Stickstoff	78,08 %	N
Versch. Edelgase	0,932 %	z. B. Argon, Krypton, Xenon, Helium etc.
Kohlendioxid	0,038 %	CO ₂
Wasserdampf	? %	

3

Wasserdampfgehalt der Luft



4

Wasserdampfgehalt der Luft

Θ [°C]	c _s [g/m³]	Θ [°C]	c _s [g/m³]	Θ [°C]	c _s [g/m³]
-15	1,39	±0	4,85	+15	12,8
-14	1,52	+1	5,20	+16	13,7
-13	1,65	+2	5,57	+17	14,5
-12	1,80	+3	5,95	+18	15,4
-11	1,96	+4	6,36	+19	16,3
-10	2,14	+5	6,79	+20	17,3
-9	2,33	+6	7,25	+21	18,3
-8	2,53	+7	7,74	+22	19,4
-7	2,75	+8	8,26	+23	20,6
-6	2,98	+9	8,81	+24	21,8
-5	3,23	+10	9,39	+25	23,0
-4	3,50	+11	10,0	+26	24,4
-3	3,81	+12	10,7	+27	25,8
-2	4,14	+13	11,3	+28	27,2
-1	4,49	+14	12,1	+29	28,8

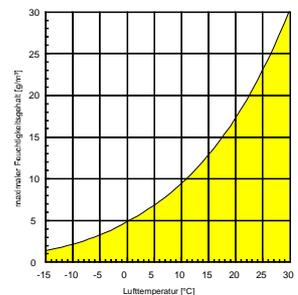
5

Luftfeuchte

Sättigungsfeuchte

Absolute Luftfeuchte

Relative Luftfeuchte



6

Luftfeuchte

Sättigungsfeuchte

Absolute Luftfeuchte

Relative Luftfeuchte

7

Luftfeuchte

Sättigungsfeuchte

Der bei einer bestimmten Temperatur von der Luft maximal aufnehmbare Wassergehalt in g/m^3

Absolute Luftfeuchte

Relative Luftfeuchte

8

Luftfeuchte

Sättigungsfeuchte

Der bei einer bestimmten Temperatur von der Luft maximal aufnehmbare Wassergehalt in g/m^3

Absolute Luftfeuchte

Die absolute Luftfeuchte gibt an, wie viel Wasser in g/m^3 in der Luft enthalten ist.

Relative Luftfeuchte

9

Luftfeuchte

Sättigungsfeuchte

Der bei einer bestimmten Temperatur von der Luft maximal aufnehmbare Wassergehalt in g/m^3

Absolute Luftfeuchte

Die absolute Luftfeuchte gibt an, wie viel Wasser in g/m^3 in der Luft enthalten ist.

Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte gibt an, wie viel % der Sättigungsfeuchte erreicht sind.

10

Wovon hängt das Klima in Räumen ab?

Wärmeproduktion im Raum

Feuchteproduktion im Raum

Luftwechsel mit dem Außenklima

11

Feuchteabgaben

Mensch	leichte Aktivität	30 - 60 g/h
	mittelschwere Arbeit	120 - 200 g/h
	schwere Arbeit	200 - 300 g/h
Bad	Wannenbad	ca. 700 g/h
	Duschen	ca. 2.600 g/h
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge	600 - 1.500 g/h
	im Tagesmittel	100 g/h
Zimmerblumen, z. B. Veilchen		5 - 10 g/h
Topfpflanzen, z. B. Farn		7 - 15 g/h
Mittelgroßer Gummibaum		10 - 20 g/h
Wasserpflanzen, z. B. Seerose		6 - 8 g/h
Freie Wasseroberfläche		ca. 40 $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
4,5 kg Wäsche	geschleudert	50 - 200 g/h
	tropfnaß	100 - 500 g/h

Feuchteabgabe in Wohnräumen

12

Beispiel

Wie verändert sich die relative Luftfeuchte bei Erwärmung einer Luft mit $\Theta_{l1} = 0\text{ °C}$ und $\varphi = 90\%$ auf $\Theta_{l2} = 20\text{ °C}$?

13

Beispiel

Wie verändert sich die relative Luftfeuchte bei Erwärmung einer Luft mit $\Theta_{l1} = 0\text{ °C}$ und $\varphi = 90\%$ auf $\Theta_{l2} = 20\text{ °C}$?

Θ [°C]	c_s [g/m ³]	Θ [°C]	c_s [g/m ³]	Θ [°C]	c_s [g/m ³]
-15	1,39	±0	4,85	+15	12,8
-14	1,52	+1	5,20	+16	13,7
-13	1,65	+2	5,57	+17	14,5
-12	1,80	+3	5,95	+18	15,4
-11	1,96	+4	6,36	+19	16,3
-10	2,14	+5	6,79	+20	17,3
-9	2,33	+6	7,25	+21	18,3
-8	2,53	+7	7,74	+22	19,4
-7	2,75	+8	8,26	+23	20,6
-6	2,98	+9	8,81	+24	21,8
-5	3,23	+10	9,39	+25	23,0
-4	3,50	+11	10,0	+26	24,4
-3	3,81	+12	10,7	+27	25,8
-2	4,14	+13	11,3	+28	27,2
-1	4,49	+14	12,1	+29	28,8

$$\Theta = 0\text{ °C}; \varphi = 90\%$$

$$c = 4,85\text{ g/m}^3 \cdot 0,9 = 4,37\text{ g/m}^3$$

$$\varphi_{\text{neu}} = 4,37 / 17,3 = 25\%$$

14

Beispiel

Wie verändert sich die relative Luftfeuchte bei der Abkühlung einer Luft mit $\Theta_{l1} = 20\text{ °C}$ und $\varphi = 50\%$ auf $\Theta_{l2} = 10\text{ °C}$?

15

Beispiel

Wie verändert sich die relative Luftfeuchte bei der Abkühlung einer Luft mit $\Theta_{l1} = 20\text{ °C}$ und $\varphi = 50\%$ auf $\Theta_{l2} = 10\text{ °C}$?

Θ [°C]	c_s [g/m ³]	Θ [°C]	c_s [g/m ³]	Θ [°C]	c_s [g/m ³]
-15	1,39	±0	4,85	+15	12,8
-14	1,52	+1	5,20	+16	13,7
-13	1,65	+2	5,57	+17	14,5
-12	1,80	+3	5,95	+18	15,4
-11	1,96	+4	6,36	+19	16,3
-10	2,14	+5	6,79	+20	17,3
-9	2,33	+6	7,25	+21	18,3
-8	2,53	+7	7,74	+22	19,4
-7	2,75	+8	8,26	+23	20,6
-6	2,98	+9	8,81	+24	21,8
-5	3,23	+10	9,39	+25	23,0
-4	3,50	+11	10,0	+26	24,4
-3	3,81	+12	10,7	+27	25,8
-2	4,14	+13	11,3	+28	27,2
-1	4,49	+14	12,1	+29	28,8

$$\Theta = 20\text{ °C}; \varphi = 50\%$$

$$c = 17,3\text{ g/m}^3 \cdot 0,5 = 8,65\text{ g/m}^3$$

$$\varphi_{\text{neu}} = 8,65 / 9,39 = 92\%$$

16

Taupunkttemperatur

Die Taupunkttemperatur ist die Temperatur, bei der bei Abkühlung eines bestimmten Raumklimas die relative Luftfeuchte 100 % beträgt.

17

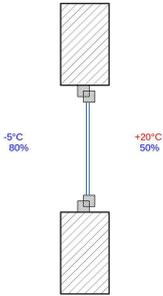
Bauphysik

Die Bauphysik beschäftigt sich mit den Einflüssen von Wärme, Feuchte und Schall auf Gebäude.

18

Gebäudehülle

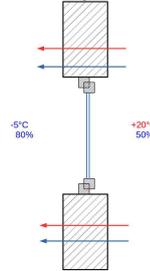
Die Gebäudehülle trennt Raum- und Außenklima.



19

Wärme- und Feuchtetransport

Dort, wo Temperatur- oder/und Feuchtedifferenzen bestehen, tritt ein Transportmechanismus auf.



20

Diffusionsstrom

Abhängigkeit:

Diffusionswiderstand der Bauteilschichten

Feuchtegradient

Folge:

Erhöhung der Baustofffeuchten

21

Wärmestrom

Abhängigkeit:

Wärmedämmeigenschaft des Bauteils

Temperaturgradient

Folge:

Absenkung der Oberflächentemperatur

→ Schimmelpilzbildung

→ Tauwasseranfall

22

Tauwasseranfall

Tauwasser auf Bauteilen tritt auf, wenn die Oberflächentemperatur gleich oder niedriger ist als die Taupunkttemperatur der Raumluft.

23

Tauwasseranfall

Tauwasser auf Bauteilen tritt auf, wenn die Oberflächentemperatur gleich oder niedriger ist als die Taupunkttemperatur der Raumluft.



24

Schimmelpilzbildung

Schimmelpilzbildung tritt in Wechselwirkung mit dem Raumklima auf, wenn infolge von Sorption oder Kapillarkondensation die sog. Wasseraktivität der Oberfläche $A_w \geq 0,8$ beträgt.

25

Schimmelpilzbildung



26

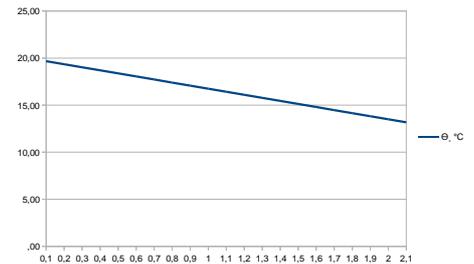
Hinweis - 1

Die für Außenbauteile, für eine schadensfreie Nutzung zulässigen Raumklimaverhältnisse hängen von dem wärmeschutztechnischen Standard der Bauteile ab.

27

Hinweis - 1

U	θ
W/(m²K)	°C
0.1	19.68
0.2	19.35
0.3	19.03
0.4	18.70
0.5	18.38
0.6	18.05
0.7	17.73
0.8	17.40
0.9	17.08
1	16.75
1.1	16.43
1.2	16.10
1.3	15.78
1.4	15.45
1.5	15.13
1.6	14.80
1.7	14.48
1.8	14.15
1.9	13.83
2	13.50
2.1	13.18



28

Hinweis - 2

Der wärmeschutztechnische Standard moderner Bauwerke ist im Regelfall derart gut, dass es auch bei einer Klimatisierung zum Schutz des Sammlungsguts nicht zu Schäden kommt.

29

Hinweis - 3

Bei Bestandsgebäuden mit geringem wärmeschutztechnischen Standard kann eine falsche Klimatisierung zu nachhaltigen Schäden bei der vorhandenen Bausubstanz führen.

Daher ist eine wärmeschutztechnische und klimaschutztechnische Bewertung zur Ermittlung der zulässigen Raumklimaverhältnisse notwendig.

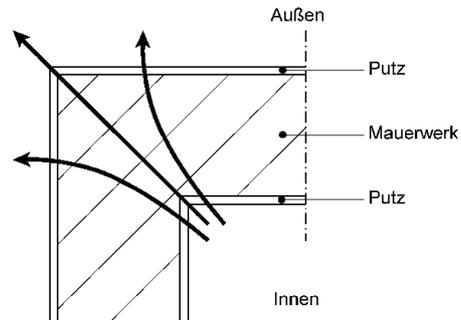
30

Hinweis - 4

Bei der Bewertung vorhandener Außenbauteile kommt den Wärmebrücken besondere Bedeutung zu.

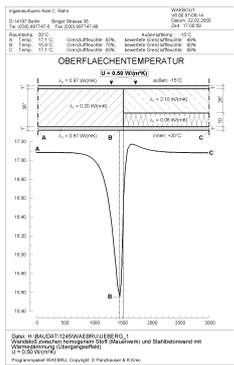
31

Wärmebrücken - 1



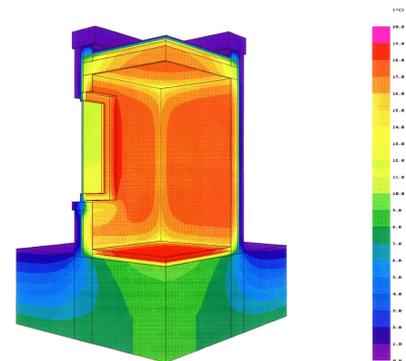
32

Wärmebrücken - 2



33

Wärmebrücken - 3



34

Wärmebrücken - 4

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Stellen von Bauteilen, bei denen es von der warmen zur weniger warmen Seite zu einem erhöhten Wärmestromabfluss mit der Folge einer Absenkung der raumseitigen Oberflächentemperatur kommt.

35

Wärmebrücken - 4

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Stellen von Bauteilen, bei denen es von der warmen zur weniger warmen Seite zu einem erhöhten Wärmestromabfluss mit der Folge einer Absenkung der raumseitigen Oberflächentemperatur kommt.

Wärmebrücken sind nicht vermeidbar, sondern nur vermindbar!

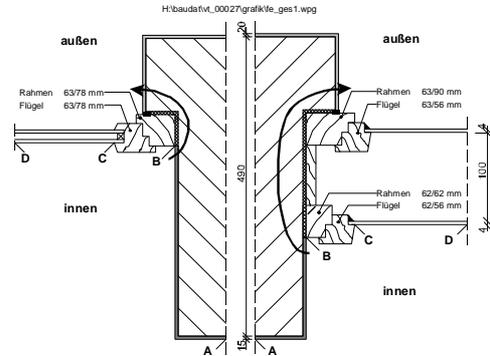
36

Wärmeschutztechnische Ertüchtigungen von Altbauten

Bei der wärmeschutztechnischen Ertüchtigung von Altbauten muss ein Gebäude immer in seiner Gesamtheit betrachtet werden.

37

Wärmeschutztechnische Ertüchtigungen von Altbauten



38

Die Verglasung als natürlicher Indikator



39

Die Verglasung als natürlicher Indikator

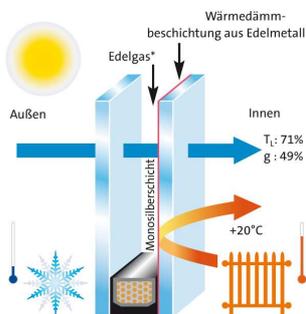
Art der Verglasung	U_g [W/(m ² K)]	$\Theta_{s,ist}$ [°C]	$\Phi_{0,ist}$ [%]	$\Theta_{s,ist}$ [°C]
Zweisciben-Isolierverglasung (LZR = 12 mm)	3,0	6,35	41	9,8
Wärmeschutzverglasung	1,8	11,81	59	15,2
Wärmeschutzverglasung	1,4	13,63	66	17,0

U_g : U-Wert der Verglasung
 $\Theta_{s,ist}$: Raumseitige Oberflächentemperatur in Scheibenmitte bei einer Außenlufttemperatur von $\Theta_{a,e} = -15^\circ\text{C}$ und einer Raumlufttemperatur von $\Theta_{i,e} = +20^\circ\text{C}$
 $\Phi_{0,ist}$: Relative Grenzluftfeuchte bei o. g. Randbedingungen, ab der mit Tauwasseranfall raumseitig auf der Scheibenmitte zu rechnen ist
 $\Theta_{s,ist}$: Bewertete Grenztemperatur, die im Bereich der nichttransparenten Bauteile zur Vermeidung von Schimmelbildung bei Berücksichtigung einer Wasseraktivität von $A_w = 0,80$ überschritten werden muß

Oberflächentemperaturen, relative Grenzluftfeuchten und bewertete Grenztemperaturen unterschiedlicher Isolierverglasungen in Scheibenmitte

40

Die Verglasung als natürlicher Indikator



* U_g -Wert: 1,0 W/m²K bei Argonfüllung
 Quelle: www.baunetzwissen.de

41

Die Verglasung als natürlicher Indikator

Art der Verglasung	U_g [W/(m ² K)]	$\Theta_{s,ist}$ [°C]	$\Phi_{0,ist}$ [%]	$\Theta_{s,ist}$ [°C]
Isolierverglasung (LZR = 12 mm)	3,0	3,89	34	6,9
Wärmeschutzverglasung	1,8	5,93	40	9,3
Wärmeschutzverglasung	1,4	6,54	41	9,6

U_g : U-Wert der Verglasung
 $\Theta_{s,ist}$: Raumseitige Oberflächentemperatur im Bereich des Scheibenrandverbundes bei einer Außenlufttemperatur von $\Theta_{a,e} = -15^\circ\text{C}$ und einer Raumlufttemperatur von $\Theta_{i,e} = +20^\circ\text{C}$
 $\Phi_{0,ist}$: Relative Grenzluftfeuchte bei o. g. Randbedingungen, ab der mit Tauwasseranfall raumseitig auf der Scheibenmitte zu rechnen ist
 $\Theta_{s,ist}$: Bewertete Grenztemperatur, die im Bereich der nichttransparenten Bauteile zur Vermeidung von Schimmelbildung bei Berücksichtigung einer Wasseraktivität von $A_w = 0,80$ überschritten werden muß

Oberflächentemperaturen, relative Grenzluftfeuchten und bewertete Grenztemperaturen für den Scheibenrandverbund unterschiedlicher Isolier-Verglasungen

42

Empfehlungen bei der Klimatisierung von Altbauten

Sollen Altbauten zum Schutz von Sammlungsgut klimatisiert oder befeuchtet werden, muss zur Vermeidung von Bauschäden das Raumklima auf die vorhandene Bausubstanz abgestimmt werden.

Dies betrifft insbesondere Gebäude, die auf eine relative Luftfeuchte von $\varphi > 40\%$ bei einer Raumlufttemperatur von $\geq 20\text{ °C}$ befeuchtet werden sollen.

43

Empfehlungen bei der Klimatisierung von Altbauten

Insbesondere bei historischen Gebäuden sollte die Indikatorfunktion der Verglasung für unzulässige Raumklimaverhältnisse genutzt werden.

44

Empfehlungen zum Schutz von Sammlungsgut

Sammlungsgut sollte, sofern es an Außenwänden ausgestellt oder gelagert werden sollte, insbesondere bei historischen Gebäuden hinterlüftet angeordnet werden.

45

Maßnahmen zum Schutz des Bauwerks

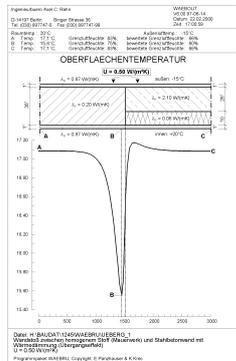
Anordnung von Innendämmmaßnahmen

Beheizung von Wärmebrücken

Klimamonitoring

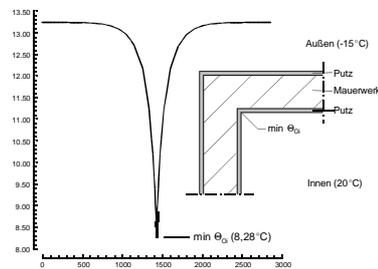
46

Maßnahmen zum Schutz des Bauwerks



47

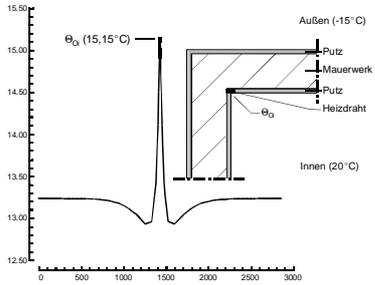
Maßnahmen zum Schutz des Bauwerks



Verlauf der raumseitigen Oberflächentemperatur bei einer $d = 36,5\text{ cm}$ dicken Mauerwerksaußenwand mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von $U = 1,19\text{ W/(m}^2\text{K)}$

48

Maßnahmen zum Schutz des Bauwerks



Oberflächentemperaturverlauf bei Temperierung mit Hilfe eines Heizdrahtes bei einer Heizleistung von $P = 10 \text{ W/m}$

49

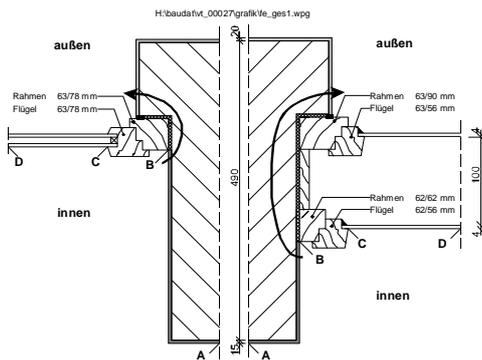
Grundsätzliche energetische Ertüchtigungsmaßnahmen

Fensterkonstruktion

- Ertüchtigung
- Austausch

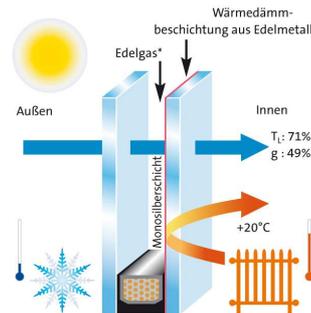
50

Austausch/Ertüchtigung von Fensterkonstruktionen



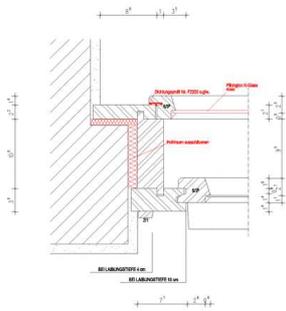
51

Funktion einer Isolierverglasung



52

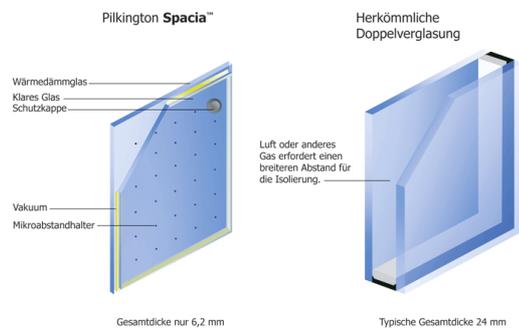
Funktion einer Isolierverglasung



Quelle: Landesdenkmalamt Berlin

53

Funktion einer Isolierverglasung



54

Grundsätzliche energetische Ertüchtigungsmaßnahmen

Fensterkonstruktion

Außenwandkonstruktion

- Außendämmung
- Innendämmung

55

Grundsätzliche energetische Ertüchtigungsmaßnahmen

Fensterkonstruktion

Außenwandkonstruktion

Anlagentechnik

56

Ende

Danke!

57