



# Energetische Evolution Fenster

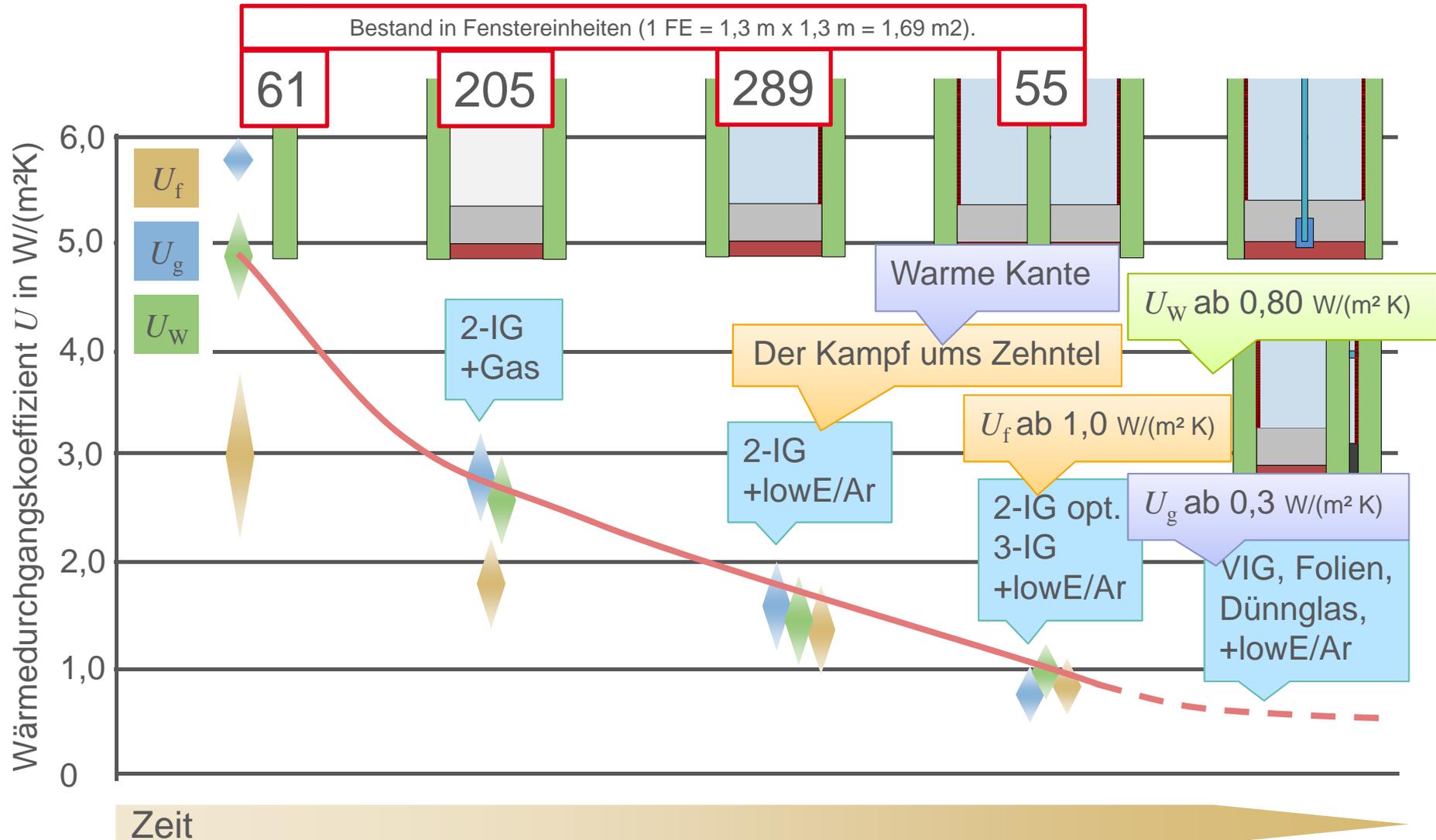
Grenzen und Alternativen

Manuel Demel, M.BP. Dipl.-Ing.(FH)  
ift Rosenheim

Fachforum im Rahmen des Fachtags Schimmel & Feuchtigkeit

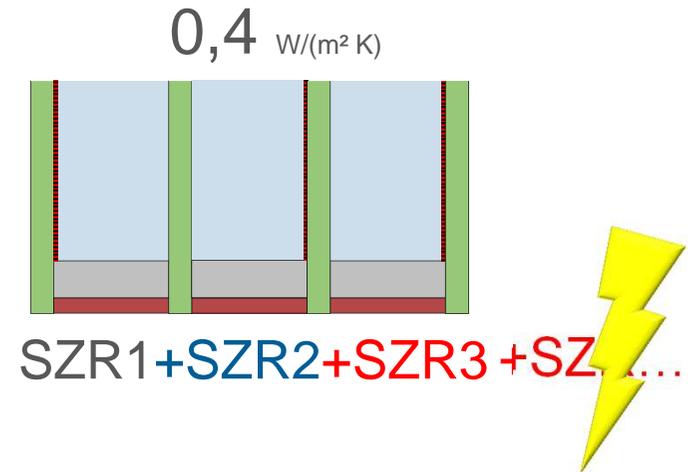
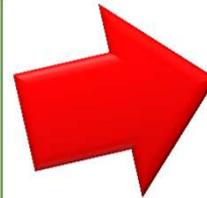
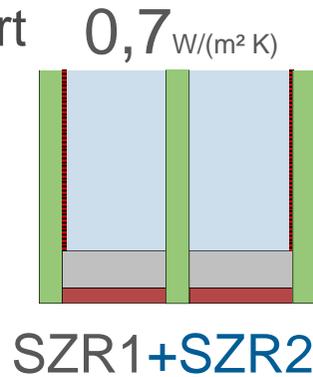
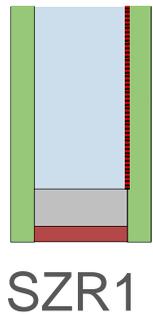


# Entwicklung der $U$ -Werte



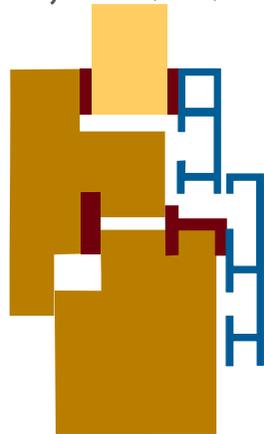
## Irrweg oder Innovation ?

→ Optimierung  $U_g$ -Wert

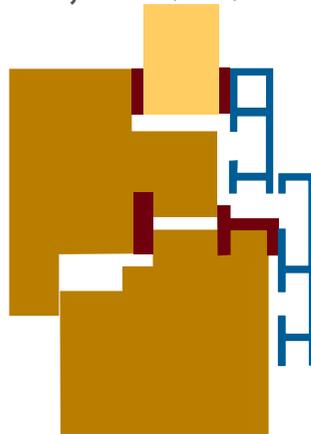


→ Optimierung  $U_f$ -Wert

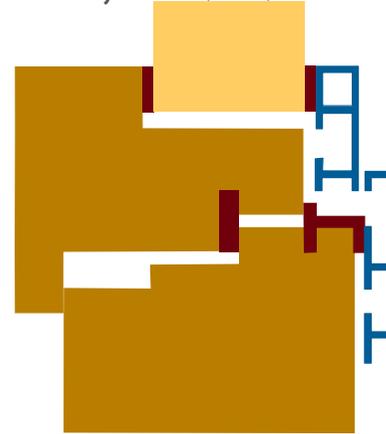
≈ 1,7  $W/(m^2 K)$



≈ 1,3  $W/(m^2 K)$



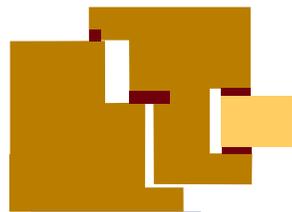
< 1,0  $W/(m^2 K)$



# Inhalte / Stand der Technik

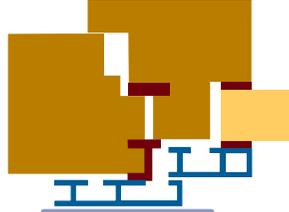
- Grenzen und Alternativen von ...

$U_f \approx 1,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

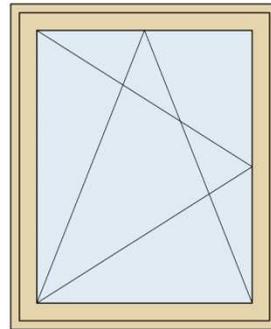


74%

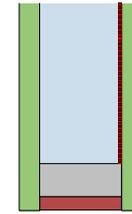
$U_f \approx 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$



66%

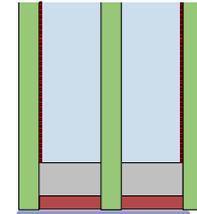


$U_g \approx 1,1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$



41%

$U_g \approx 0,8 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$



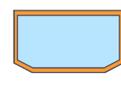
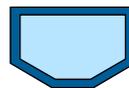
59%

$U_f < 1,0 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

6%

10%

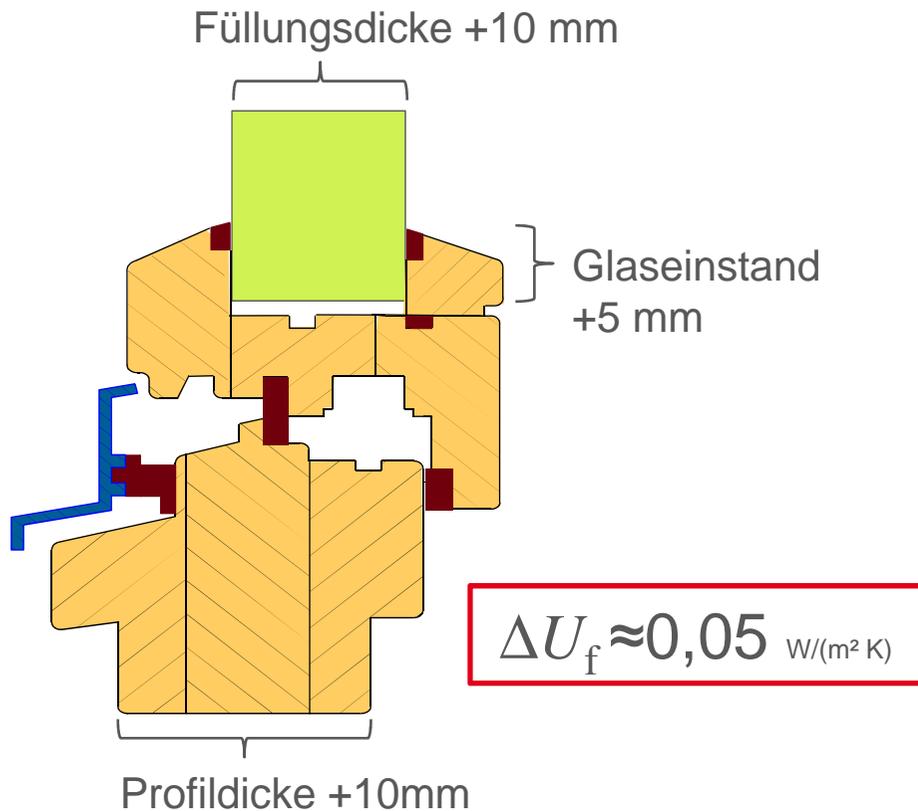
Warme Kante



63%

$\Psi_g \approx 0,06 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

## Rahmen: Grenzen und Alternativen



Der  $U_f$ -Wert variiert durch ...

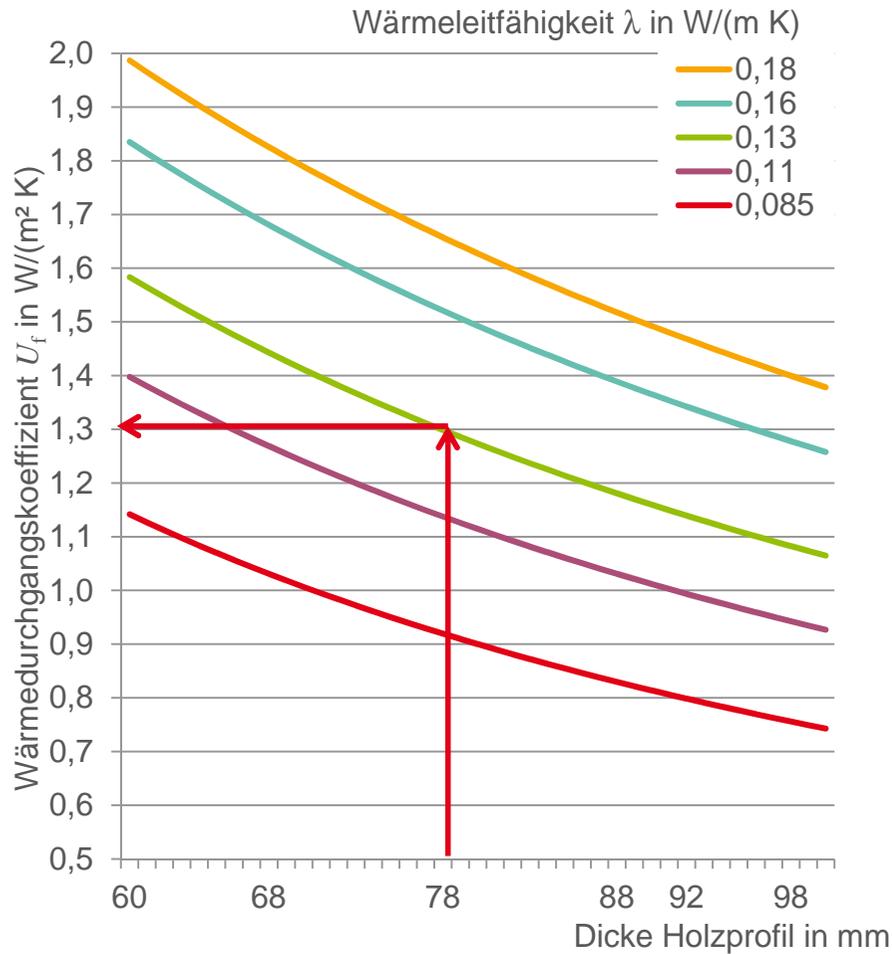
- Toleranzen bei Eingangswerten ( $\lambda$ -Werte)
- Rundungsregeln
- Mess- und Rechentoleranzen

Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/(m K)	$U_f$ in W/(m <sup>2</sup> K)
0,11	1,1
0,13	1,3
0,16	1,6
0,18	1,7

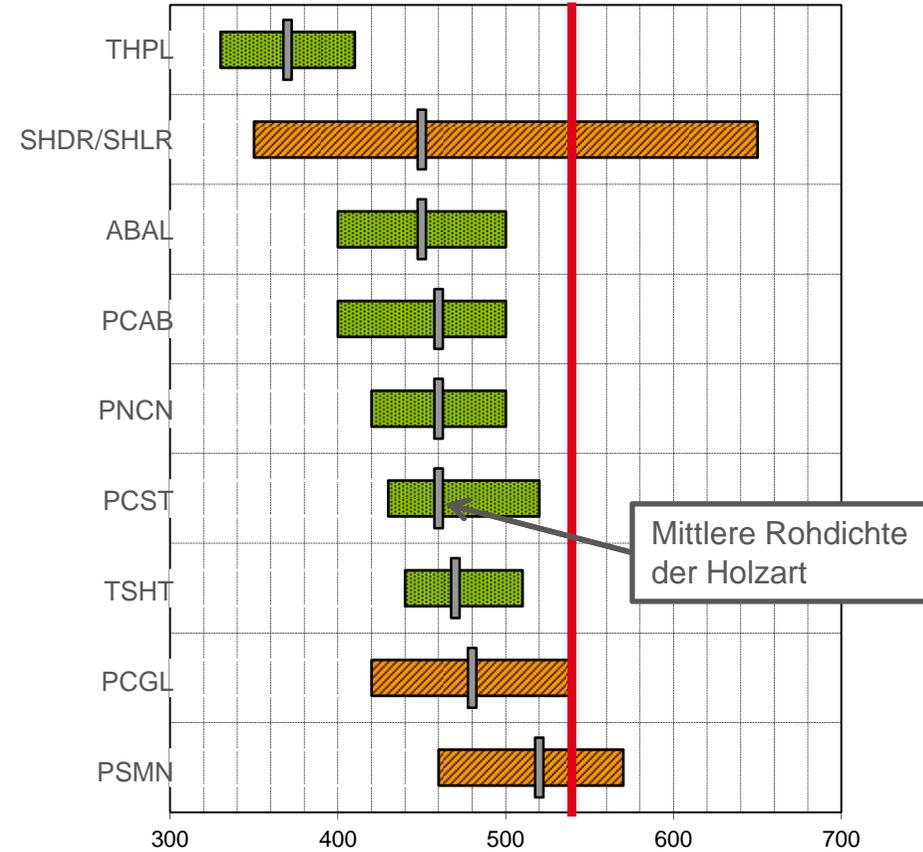
Bautiefe: 78 mm

Lösungsansatz:  
Integralfenster

# Anwendungsbereiche $\lambda$ -Werte

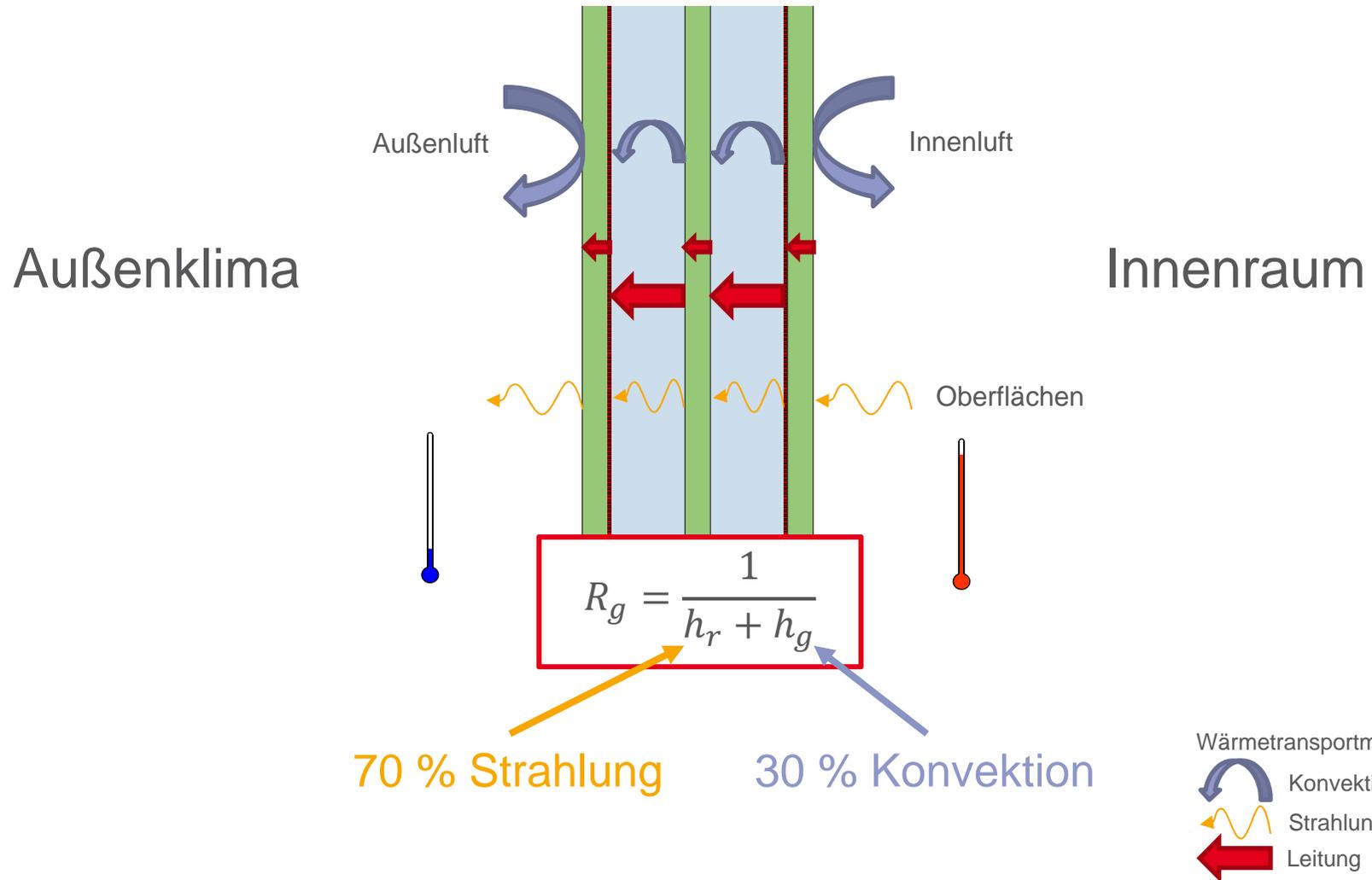


Berechnung/Messung  
 $U_f = 1,3 / 1,2 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$



Grenzwert nach Messung: 540 kg/m<sup>3</sup>

# Wärmetransport – Wärmesenken



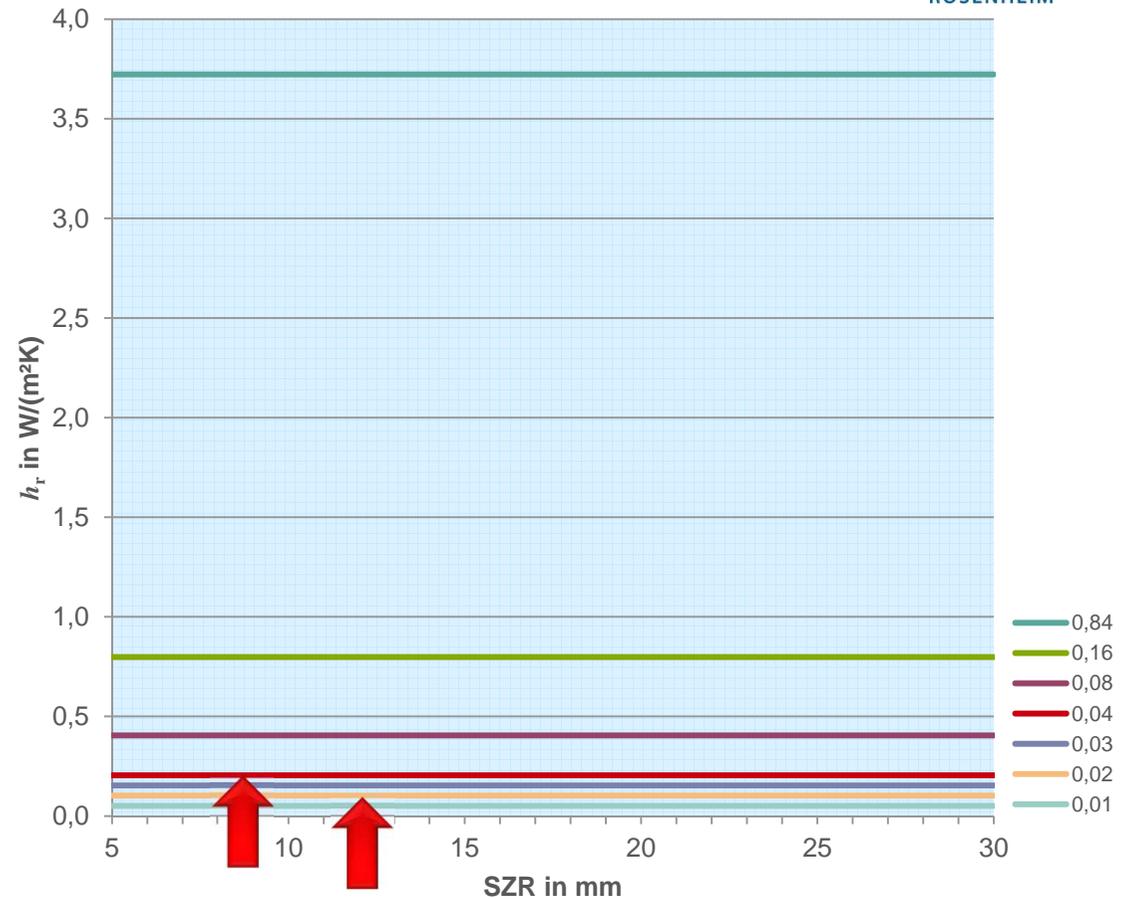
## Strahlung

### Oberflächen im SZR

- Beschichtung

$$h_r = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \times 4\sigma T_m^3$$

Oberfläche	$\varepsilon_n$
Glas	0,89
hard coating	0,15 ... 0,18
soft coating	0,01 ... 0,08



niedrig  
emittierende  
Oberflächen

# Konvektion

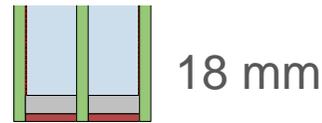
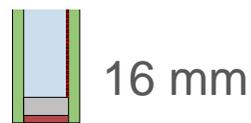
## Gas im SZR

- Art und Füllgrad

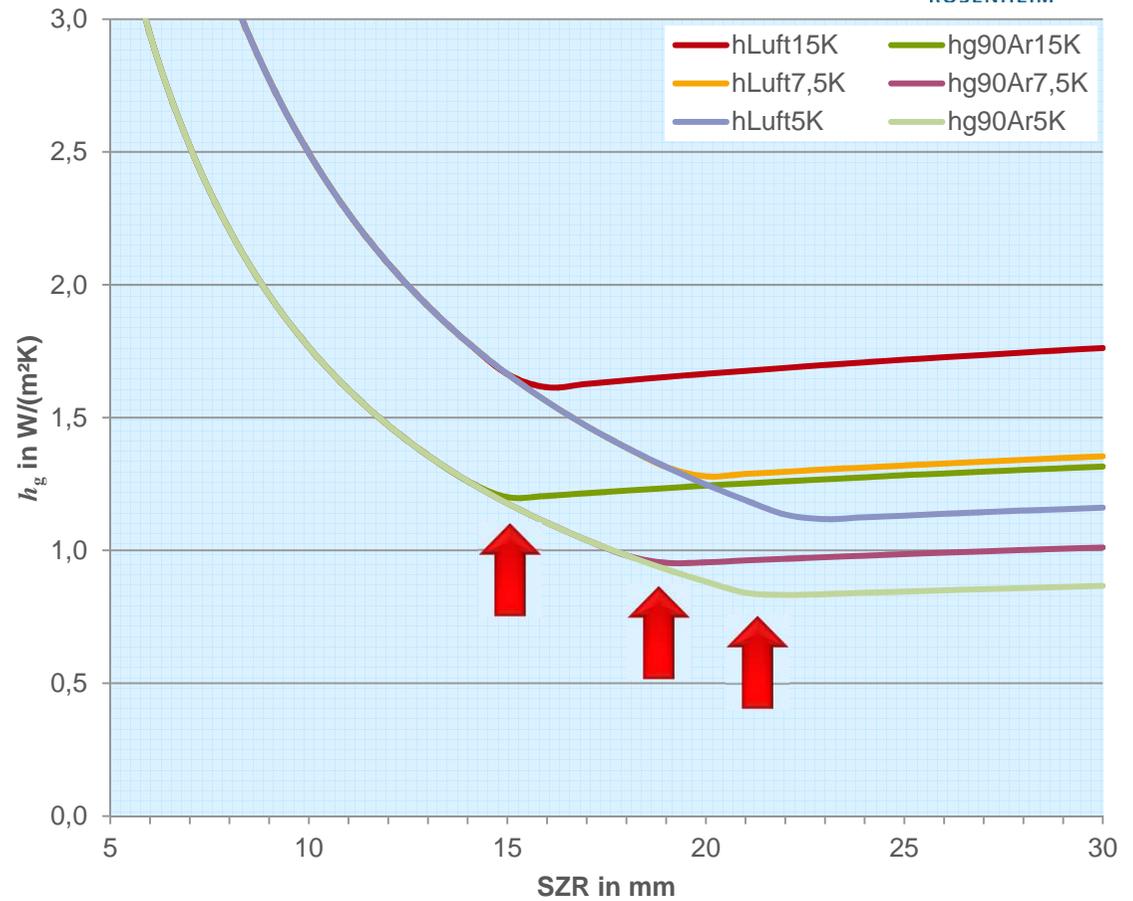
$$h_g = \frac{\lambda}{SZR} \times Nu$$

Gas	$\lambda$
Luft	0,024
Argon	0,016
Krypton	0,009

idealer SZR



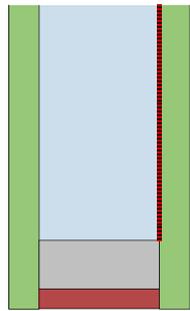
Dauerhaftigkeit



# Ideale Wärmedämmung

Dauerhaftigkeit

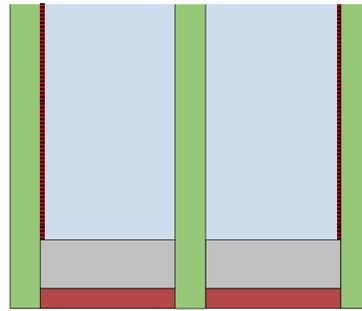
$U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$



4/16/4  
24 mm



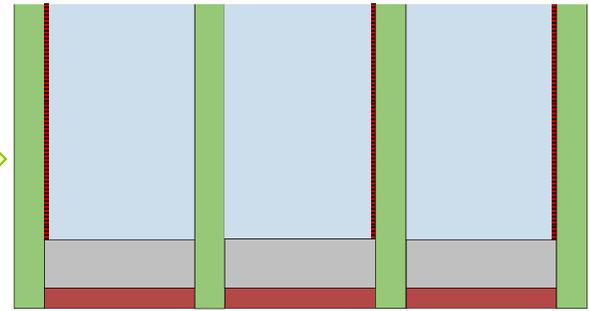
$U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$



4:/18/4/18/4  
48 mm



$U_g = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

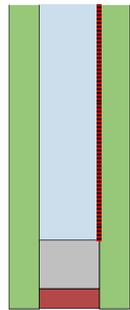


4:/20/4/20/4/20/4  
76 mm

# Ideale Wärmedämmung – Sanierung

Dauerhaftigkeit

$U_g = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

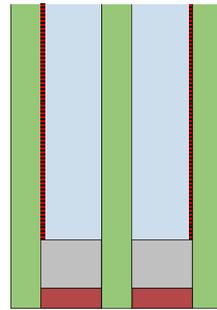


4/8/:4  
16 mm



$\Delta 0,7$

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

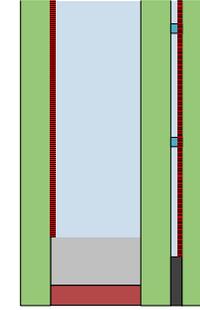


4:/8/4/8/:4  
28 mm



$\Delta 0,7$

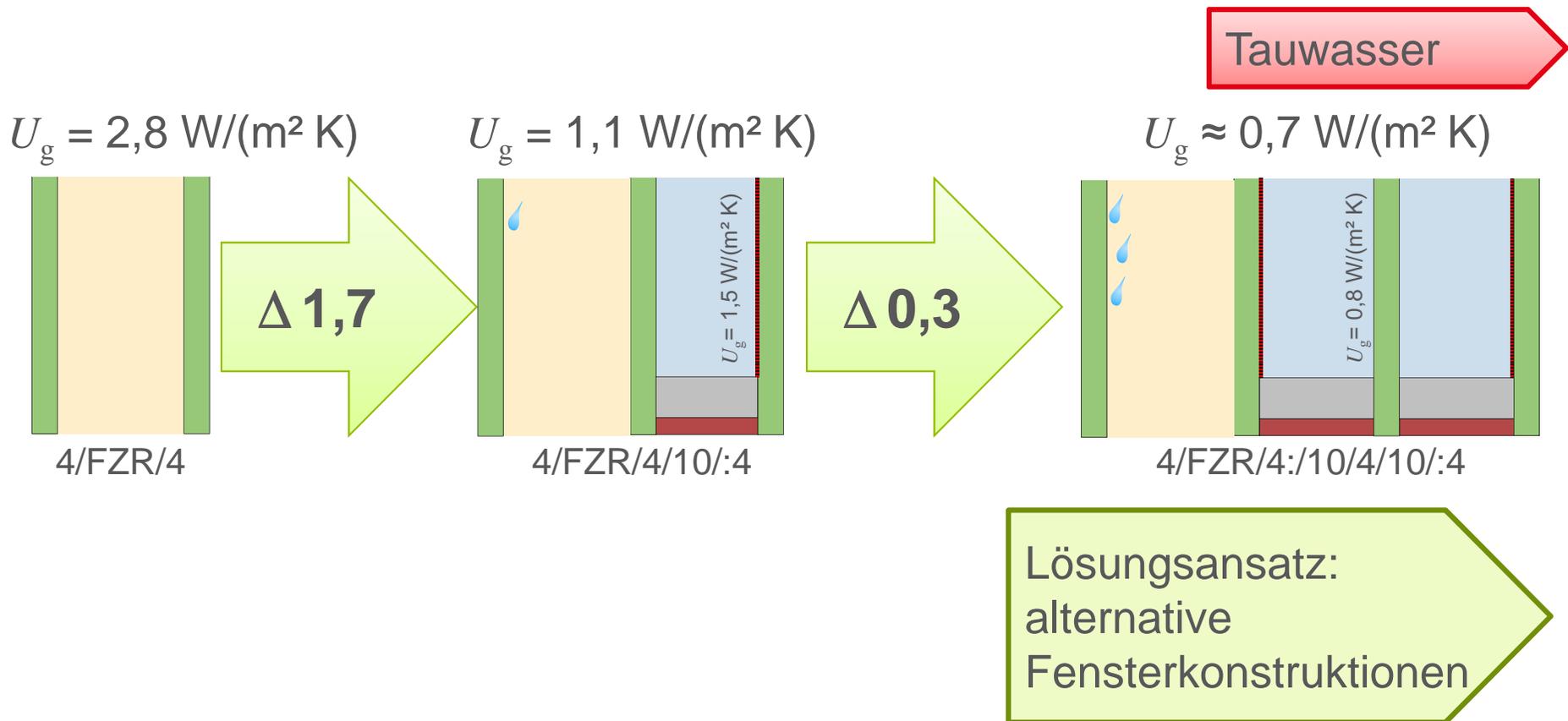
$U_g \approx 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$



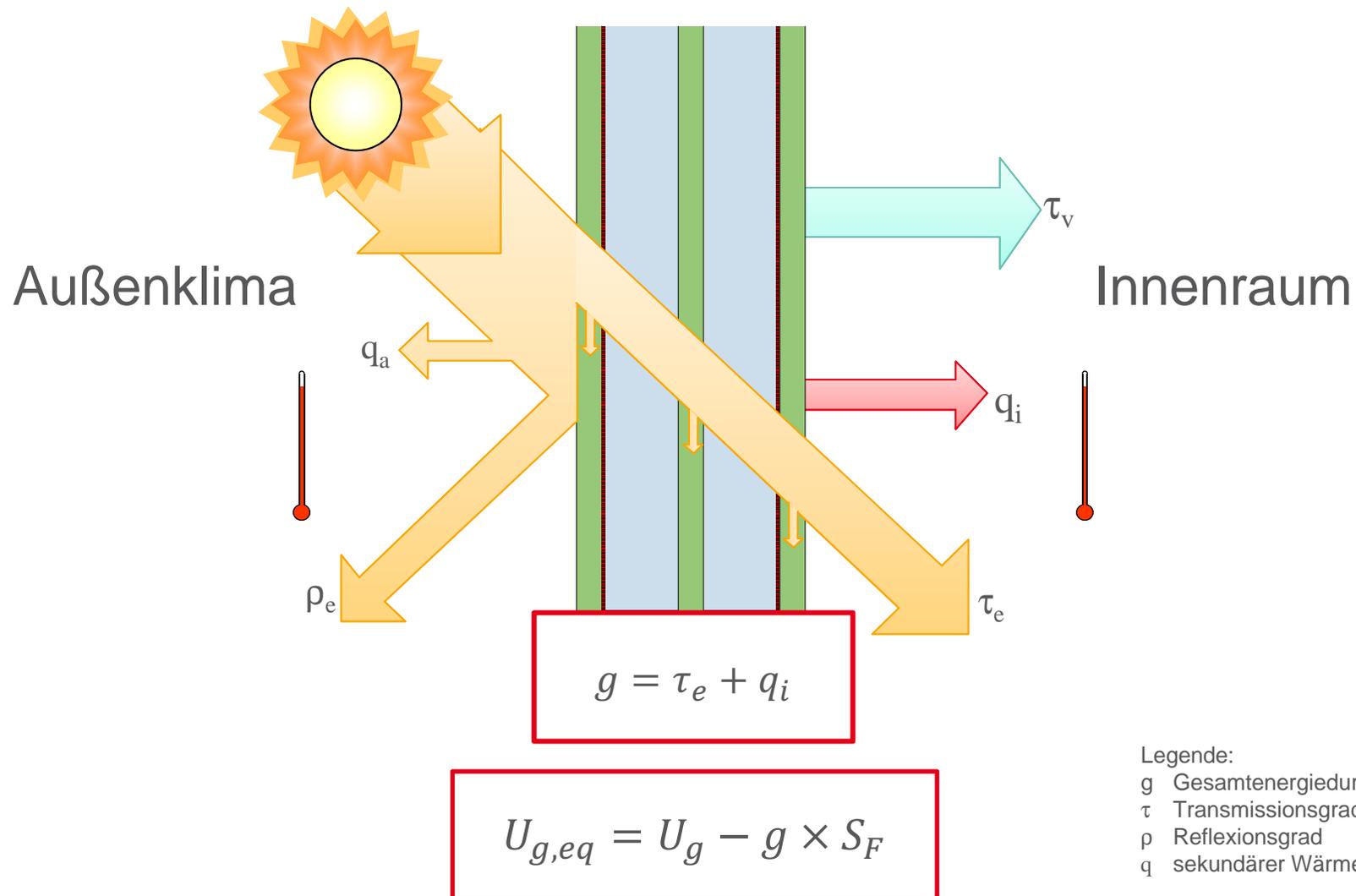
4:/16/4/1/:4  
29 mm

90% Argon,  $\epsilon_n=0,03$

# Ideale Wärmedämmung – Alternative



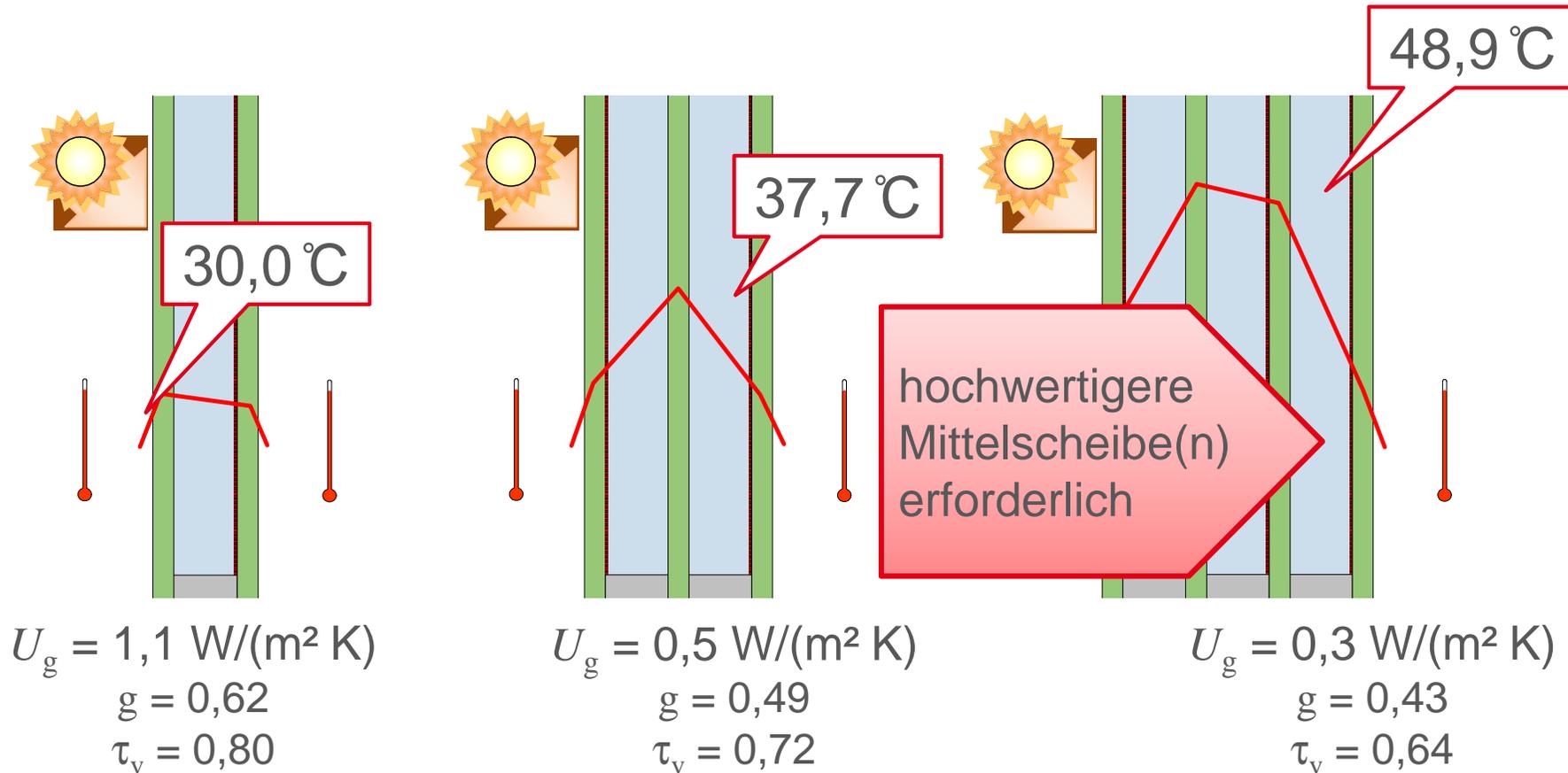
## Wärmetransport – Wärmequellen



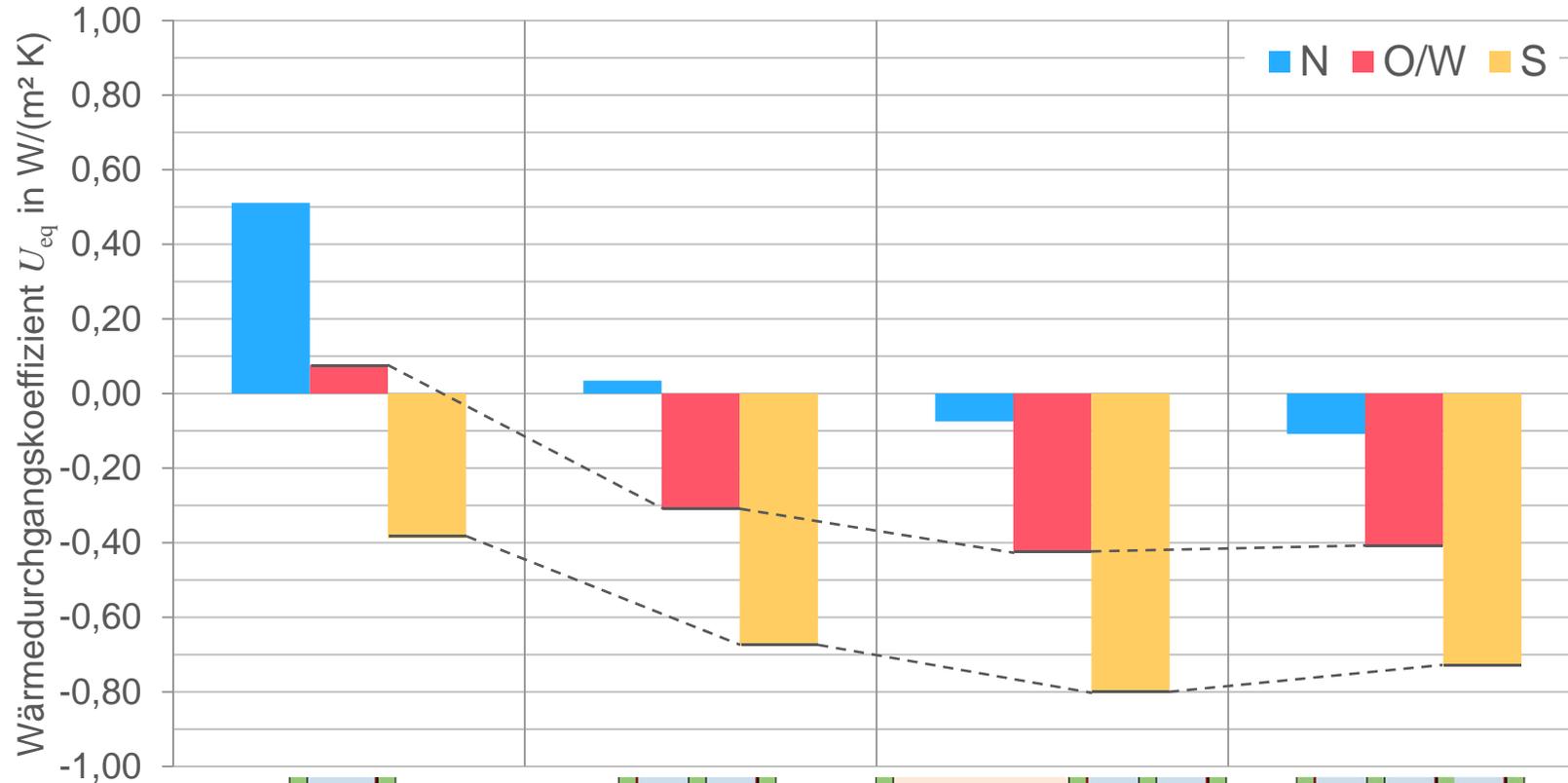
Legende:

- g Gesamtenergiedurchlassgrad
- $\tau$  Transmissionsgrad
- $\rho$  Reflexionsgrad
- q sekundärer Wärmestrom

# thermische Beanspruchung: Temperatur der Mittelscheibe



# Solarenergie



$$U_{g,eq} = U_g - g \times S_F$$

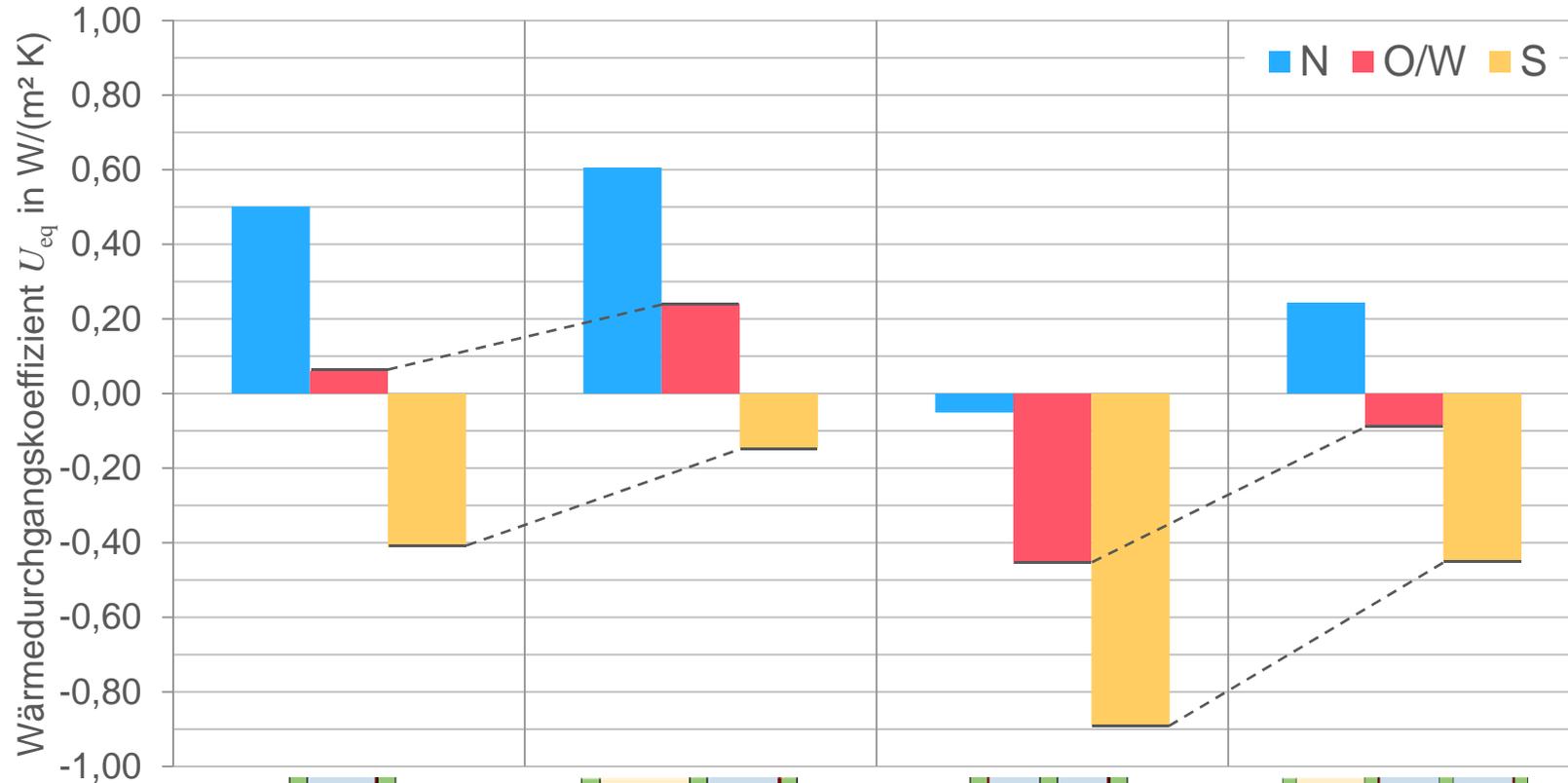
$U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$   
 $g = 0,62$

$U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$   
 $g = 0,49$

$U_g = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$   
 $g = 0,50$

$U_g = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$   
 $g = 0,43$

# Solarenergie



$$U_{g,eq} = U_g - g \times S_F$$

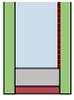
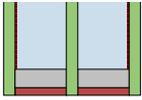
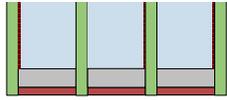
$U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$   
 $g = 0,63$

$U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$   
 $g = 0,58$

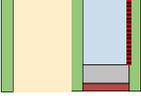
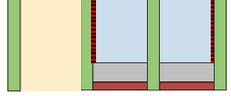
$U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$   
 $g = 0,52$

$U_g = 0,7 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$   
 $g = 0,48$

## MIG: Grenzen und Alternativen

Eigenschaft				
Aufbau in mm	4/16/:4	4:/18/4/18/:4	4:/20/4/20/:4/20/:4	 Sonderverglasungen? Rahmenprofile? Beschläge?
<b>Dicke</b> in mm	24	48	76	
SZR (ideal) in mm	16	18	20	
<b>Gewicht</b> in kg/m <sup>2</sup>	20	30	40	
Gasfüllung / Gasart	90% Argon	90% Argon	90% Argon	 Verfügbarkeit Krypton?
Beschichtung	0,03	0,03	0,03	 Optimierung vorhanden
<b>Wärmedämmung</b> Wärmedurchgangskoeffizient $U_g$ in W/(m <sup>2</sup> K)	1,1 (1,13)	0,5 (0,53)	0,3 (0,34)	 Einfluss auf das Fenster?
<b>Behaglichkeit</b> ( $T_e=-10^\circ\text{C}$ / $T_i=20^\circ\text{C}$ ) Oberflächentemperatur	16,7 °C	18,5 °C	19,1 °C	 wenig Verbesserung
<b>Tageslicht</b> Lichttransmissionsgrad $\tau_v$	0,80	0,72	0,64	 weniger Tageslicht
<b>Solarenergie</b> Gesamtenergiedurchlassgrad $g$	0,62	0,49	0,43	 weniger solare Wärmegewinne
<b>Thermische Beanspruchung</b> Temperatur der Mittelscheibe(n)	30,0 °C	37,7 °C	48,9 °C	 hochwertigere Mittelscheibe(n)
Mechanische <b>Randlast</b> auf den Randverbund durch Klimalasten, ohne Wind (BxH, 0,250 m x 1,500 m)	100%	136%	155%	 Dauerhaftigkeit eingeschränkte Glasformate hochwertigerer Randverbund
Mechanische <b>Beanspruchung Glasscheibe</b> durch Klimalasten (1 m <sup>2</sup> Floatglas, max. Ausnutzung)	45%	89%	160%	 hochwertigere Glasscheiben

# MIG: Grenzen und Alternativen

Eigenschaft					
<b>Aufbau</b> in mm	4/16/:4	4:/18/4/18/:4	4/FZR/4/10/:4	4/FZR/4:/10/4/10/:4	
<b>Gewicht</b> in kg/m <sup>2</sup>	20	30	20	30	 Sonderverglasungen? Sanierung Dickenbeschränkung? Rahmenprofile? Beschläge?
Gasfüllung / Gasart	90% Argon	90% Argon	90% Argon	90% Argon	 Verfügbarkeit Krypton?
Beschichtung	0,03	0,03	0,03	0,03	 Optimierung vorhanden
<b>Wärmedämmung</b> Wärmedurchgangskoeffizient $U_g$ in W/(m <sup>2</sup> K)	1,1 (1,13)	0,5 (0,53)	1,1 (0,34)	0,70	 Einfluss auf das Fenster?
<b>Behaglichkeit</b> ( $T_e=-10^{\circ}\text{C}$ / $T_i=20^{\circ}\text{C}$ ) Oberflächentemperatur	16 °C	19 °C	17 °C	18 °C	wenig Verbesserung
<b>Tageslicht</b> Lichttransmissionsgrad $\tau_v$	0,81	0,74	0,74	0,67	 weniger Tageslicht
<b>Solarenergie</b> Gesamtenergiedurchlassgrad $g$	0,63	0,52	0,52	0,48	 weniger solare Wärmegewinne
<b>Energiebilanz</b> Wärmedurchgangskoeffizient $U_{eq}$ in W/(m <sup>2</sup> K) mit $S_F$ Nord = 0,95; Ost/West = 1,65; Süd = 2,4	N	0,50	-0,05	0,61	 Fensterflächen, Orientierung,
	O/W	0,06	-0,46	0,24	
	S	-0,41	-0,89	-0,15	

# Anwendung: ift Richtlinie WA-08/-22 – Abstandhalter



## Anwendungsbereich

- Fensterrahmenprofile

Rahmenmaterial	$U_f$ in $W/(m^2 K)$	Glaseinstand
Holz	$\geq 1,0$	$\geq 13$ mm
	$\geq 0,80$	$\geq 18$ mm
Holz-Alu	$\geq 1,0$	$\geq 13$ mm
	$\geq 0,80$	$\geq 18$ mm

- Wärmedämmgläser

- 2-IG  $U_g > 1,0 W/(m^2 K)$
- 3-IG  $U_g > 0,5 W/(m^2 K)$

- Glasdickenanpassung pro 1 mm ...

- Außenscheibe  $+0,001 W/(m K)$
- Innenscheibe  $+0,002 W/(m K)$

# Abstandhalter: Grenzen und Alternativen

Der  $\Psi$ -Wert wird ermittelt ...



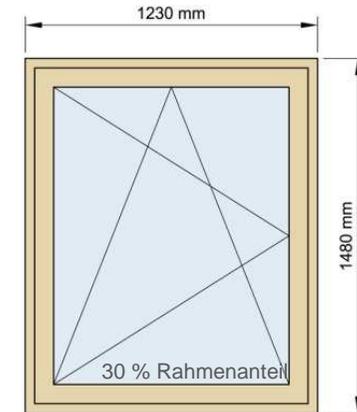
- aus Tabellen der EN ISO 10077-1
- durch Berechnung nach EN ISO 10077-2

			$\Psi_g$ in W/(m K)
E.1 typische			<b>0,08</b>
E.2 Wärmetechn. verbesserte			<b>0,06</b>
BF Datenblätter	2-IG; 4/16/4; $U_g = 1,1$ W/(m <sup>2</sup> K)	Holz	<b>0,029 bis 0,053</b>
		Holz-Alu	<b>0,031 bis 0,059</b>
	3-IG; 4/12/4/12/4; $U_g = 0,7$ W/(m <sup>2</sup> K)	Holz	<b>0,027 bis 0,054</b>
		Holz-Alu	<b>0,028 bis 0,060</b>

Quelle: <http://www.bundesverband-flachglas.de>

Beispiel:

- $U_f = 1,3$  W/(m<sup>2</sup> K)



$U_W$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Tabelle E.1 $\Psi_g = 0,08$ W/(m K)	Warme Kante $\Psi_g = 0,04$ W/(m K)
2-IG; 4/16/4; $U_g = 1,1$ W/(m <sup>2</sup> K)	<b>1,4</b> (1,36)	<b>1,3</b> (1,26)
3-IG; 4/12/4/12/4; $U_g = 0,7$ W/(m <sup>2</sup> K)	<b>1,1</b> (1,08)	<b>1,0</b> (0,98)

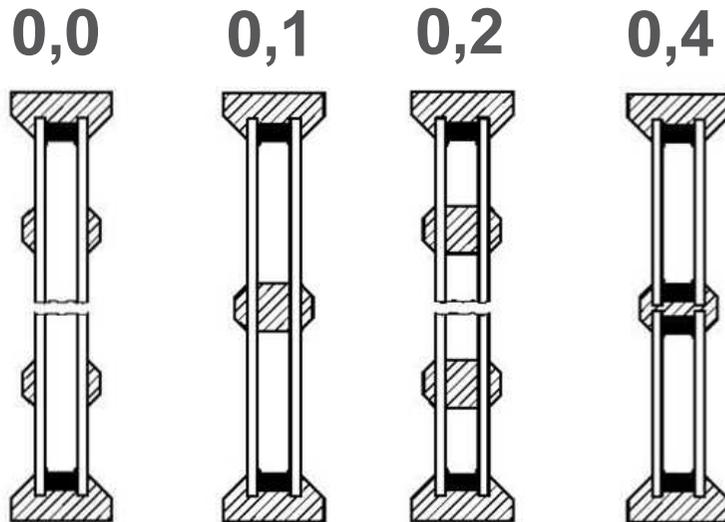
$\Delta U_W = 0,1$  W/(m<sup>2</sup> K)

## Berechnung von Sprossenfenstern

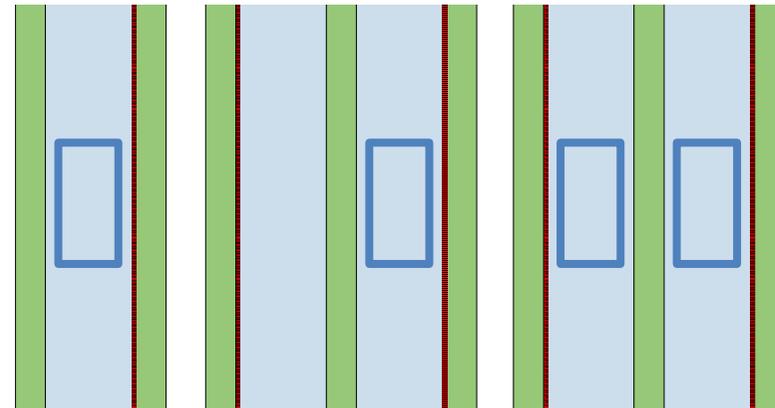
- EN ISO 10077-1 + EN 14351-1 Anhang J 

- ISO 10077-1:2017-06
  - Sprossen aus Metall
  - Sprossen aus Kunststoff

$\Delta U_w$  in W/(m<sup>2</sup>K)



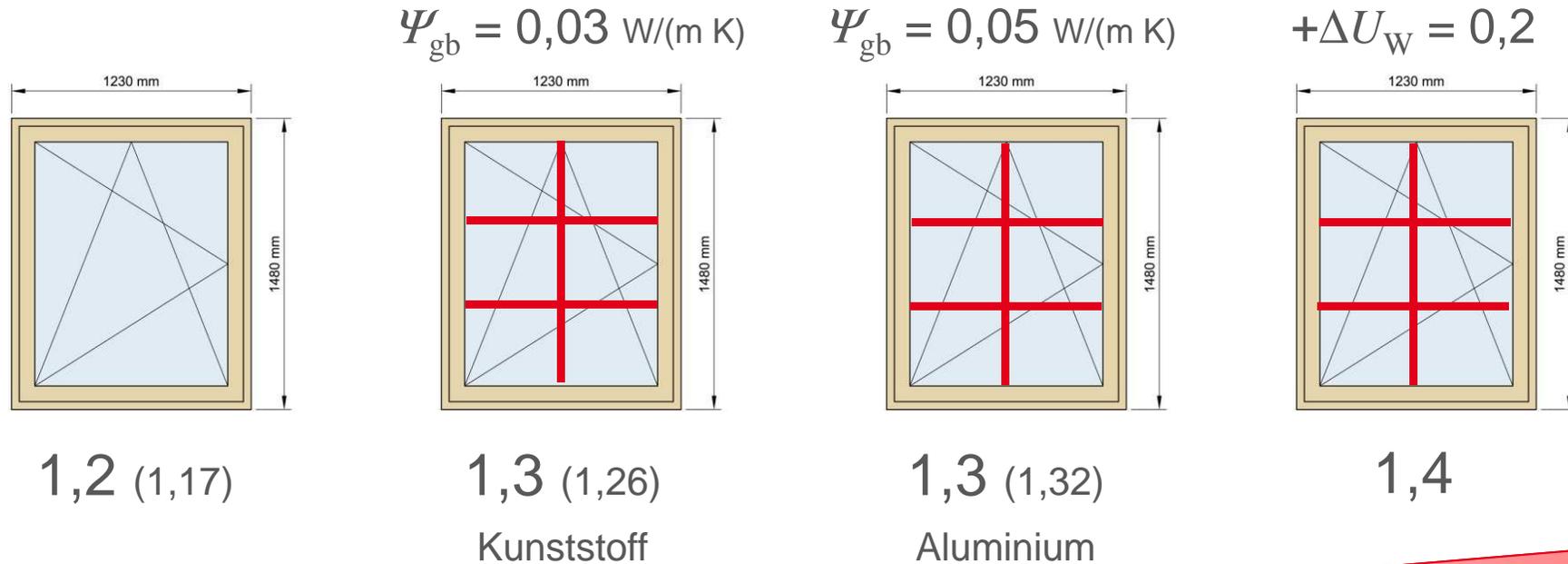
$$U_w = \frac{\sum A_f \cdot U_f + \sum A_g \cdot U_g + \sum l_g \cdot \psi_g + \sum l_{gb} \cdot \psi_{gb}}{\sum A_w}$$



# Berechnung von Sprossenfenstern - Beispiele

Berechnung nach ISO 10077-1:2017-06

Anhang J

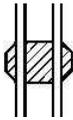
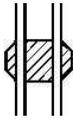


$U_W$  in W/(m<sup>2</sup>K)

Randbedingungen: 30% Rahmenanteil,  $U_f = 1,3$  W/(m<sup>2</sup> K),  $U_g = 0,9$  W/(m<sup>2</sup> K),  $\Psi_g = 0,06$  W/(m K)

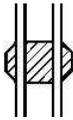
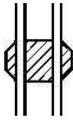
## Welche Auswirkungen hat dies auf den $U_W$ -Wert?

- Beispiel:  
 Einflügeliges Fenster mit Holzrahmen  $U_f = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 2-IG 4/16/4  $U_{ig} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  
 Abstandhalter WarmeKante  $\psi_g = 0,040 \text{ W/mK}$ , 30 % Rahmenanteil, Sprosse NH

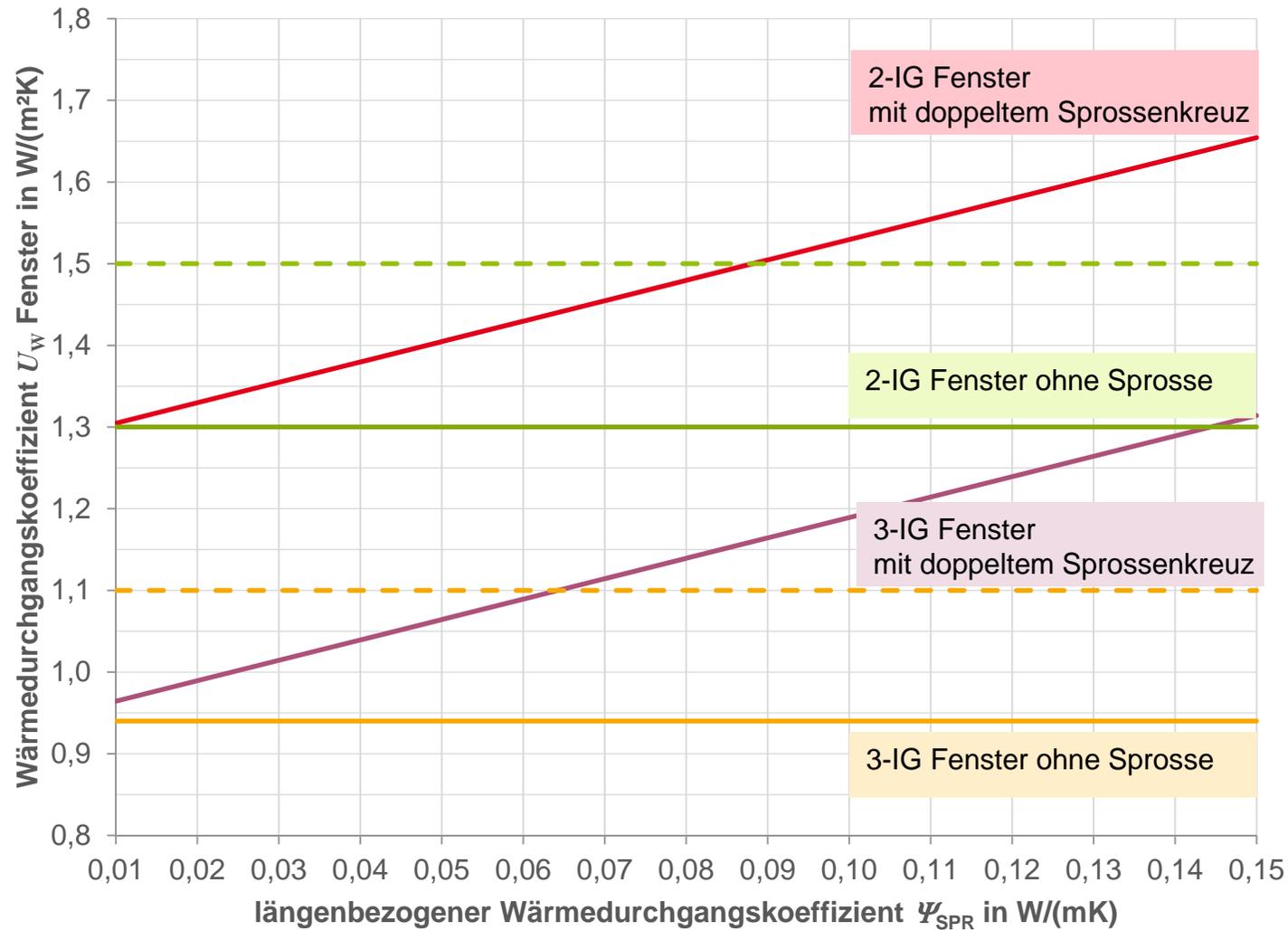
$U_W$ -Werte in $\text{W/m}^2\text{K}$	Tabellenverfahren F.3 und Anhang J	Berechnung Anhang J	Berechnung
Fenster ohne Sprossen	<b>1,4</b>	<b>1,3</b> (1,34)	<b>1,3</b> (1,34)
Aufgesetzte einfache Kreuzsprosse ( $\psi_{\text{SPR}}=0,03 \text{ W/mK}$ ) 	+0,1 = <b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b> (1,39)
Aufgesetzte mehrfache Kreuzsprosse ( $\psi_{\text{SPR}}=0,03 \text{ W/mK}$ ) 	+0,2 = <b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b> (1,44)
Glasteilende einfache Kreuzsprosse ( $\psi_{\text{SPR}}=0,12 \text{ W/mK}$ ) 	+0,4 = <b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>1,5</b> (1,50)
Glasteilende mehrfache Kreuzsprosse ( $\psi_{\text{SPR}}=0,12 \text{ W/mK}$ ) 	+0,4 = <b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b> (1,72)

## Welche Auswirkungen hat dies auf den $U_W$ -Wert?

- Beispiel:  
 Einflügeliges Fenster mit Holzrahmen  $U_f = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 3-IG  $U_{ig} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  
 Abstandhalter WarmeKante  $\psi_g = 0,040 \text{ W/mK}$ , 30 % Rahmenanteil, Sprosse NH

$U_W$ -Werte in $\text{W/m}^2\text{K}$	Tabellenverfahren F.3 und Anhang J	Berechnung Anhang J	Berechnung
Fenster ohne Sprossen	<b>1,1</b>	<b>1,1</b> (1,05)	<b>1,1</b> (1,05)
Aufgesetzte einfache Kreuzsprosse ( $\psi_{SPR}=0,03 \text{ W/mK}$ ) 	+0,1 = <b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b> (1,09)
Aufgesetzte mehrfache Kreuzsprosse ( $\psi_{SPR}=0,03 \text{ W/mK}$ ) 	+0,2 = <b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b> (1,14)
Glasteilende einfache Kreuzsprosse ( $\psi_{SPR}=0,12 \text{ W/mK}$ ) 	+0,4 = <b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b> (1,19)
Glasteilende mehrfache Kreuzsprosse ( $\psi_{SPR}=0,12 \text{ W/mK}$ ) 	+0,4 = <b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b> (1,34)

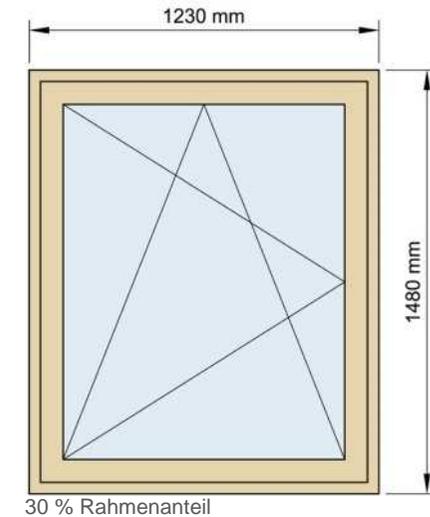
# Berechnung von Sprossenfenstern - Anwendung



## Faustformeln $U_W$ -Wert Fenster

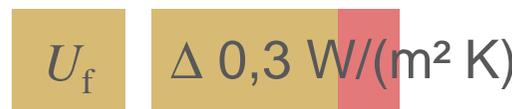
Einfluss auf den  $U_W$ -Wert durch

- Toleranzen aus den Eingangswerten ( $\lambda$ ,  $\epsilon_n$ , Gasfüllgrad)
- Rundungsregeln ( $U_g$ ,  $U_W$ )
- Differenzen zwischen Messung und Berechnung

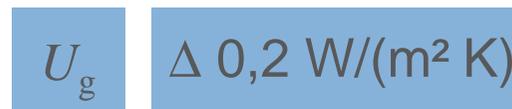


Faustformeln:

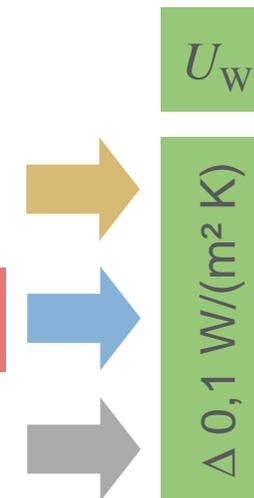
Optimierung Rahmen



2-IG  $\rightarrow$  3-IG

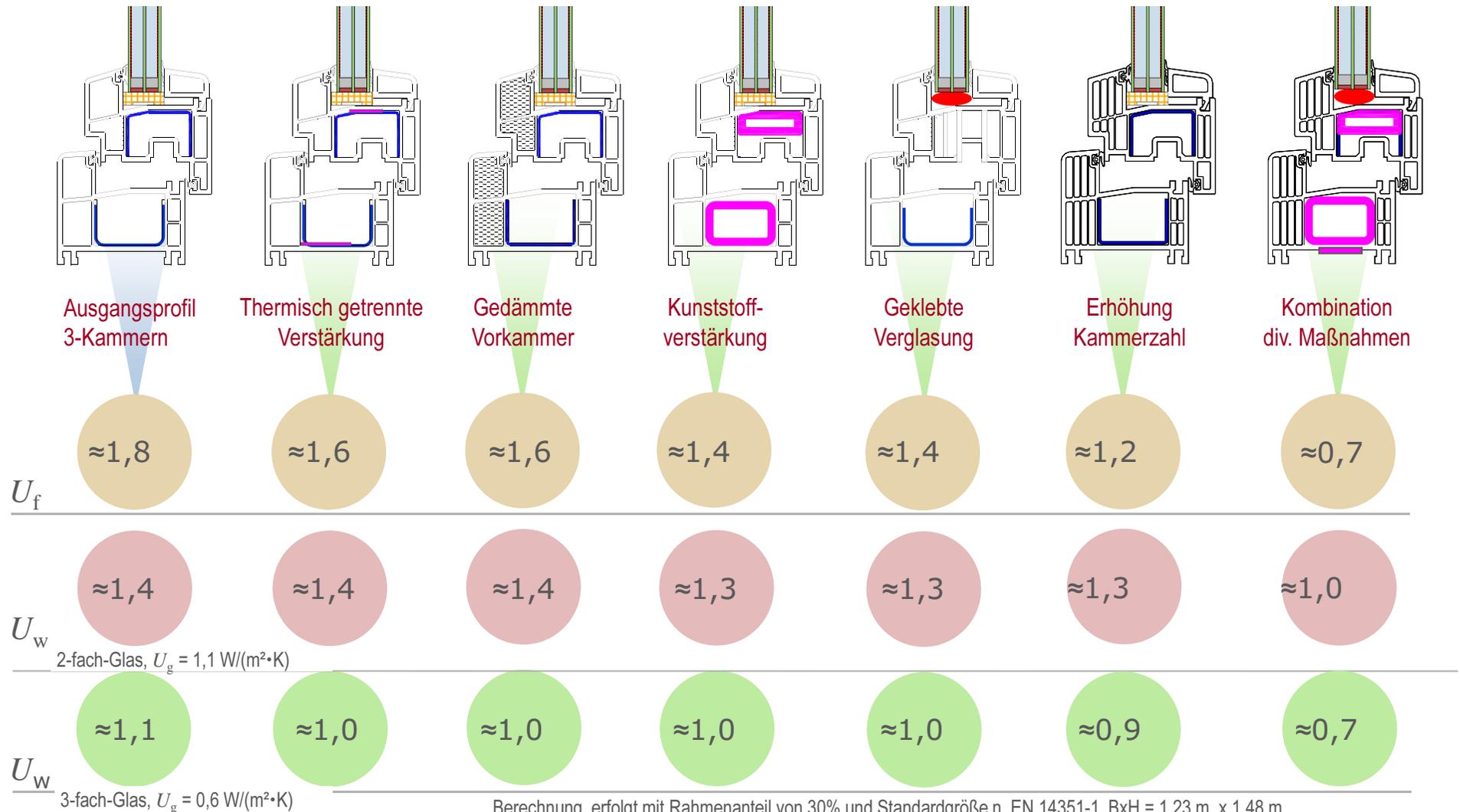


$\rightarrow$  Warme Kante



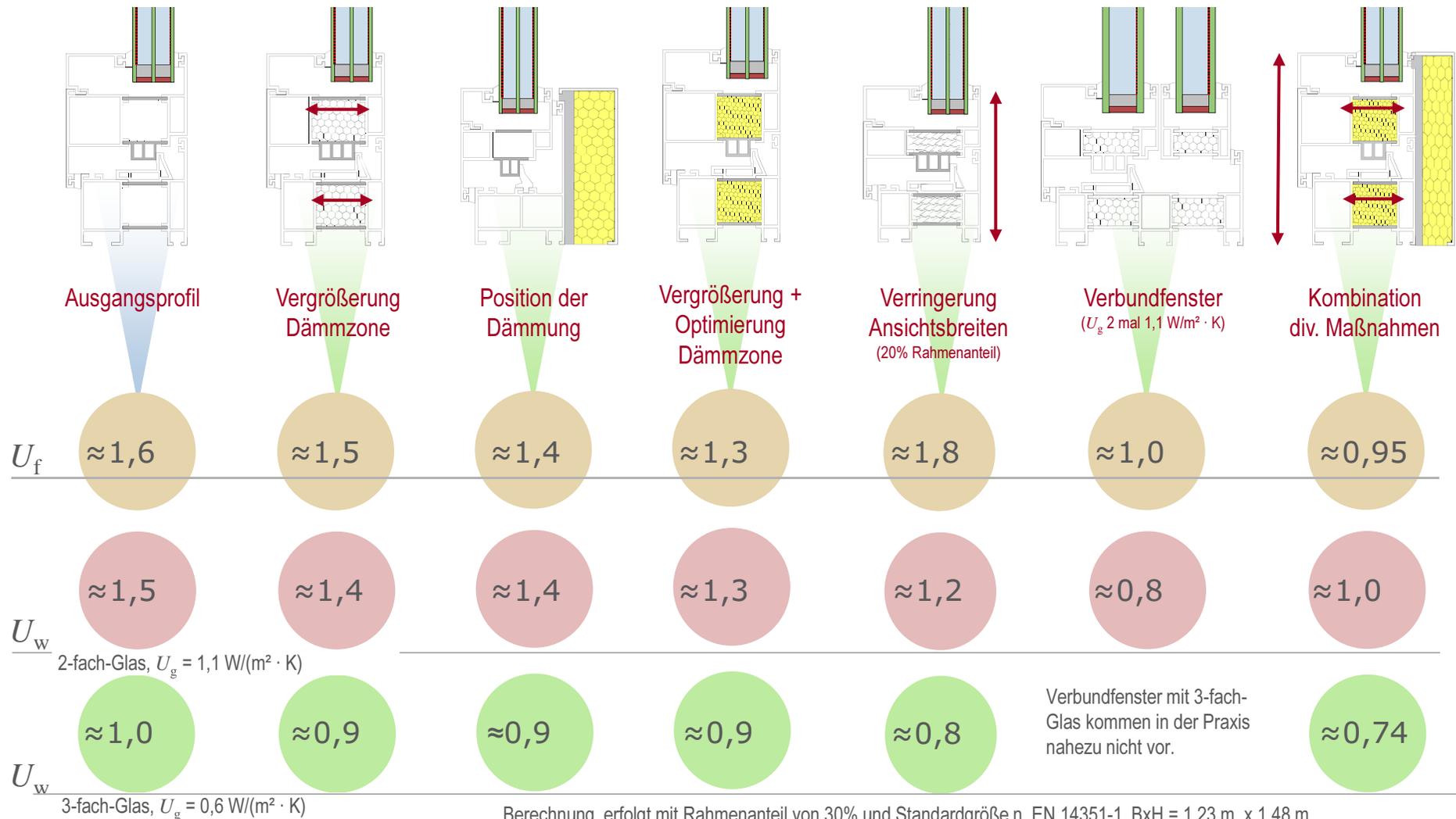
Vergleich der Wärmeströme  $H_T = U \times A$  in W/K

## Potenziale der wärmetechnischen Optimierung von Kunststoff-Fenstern



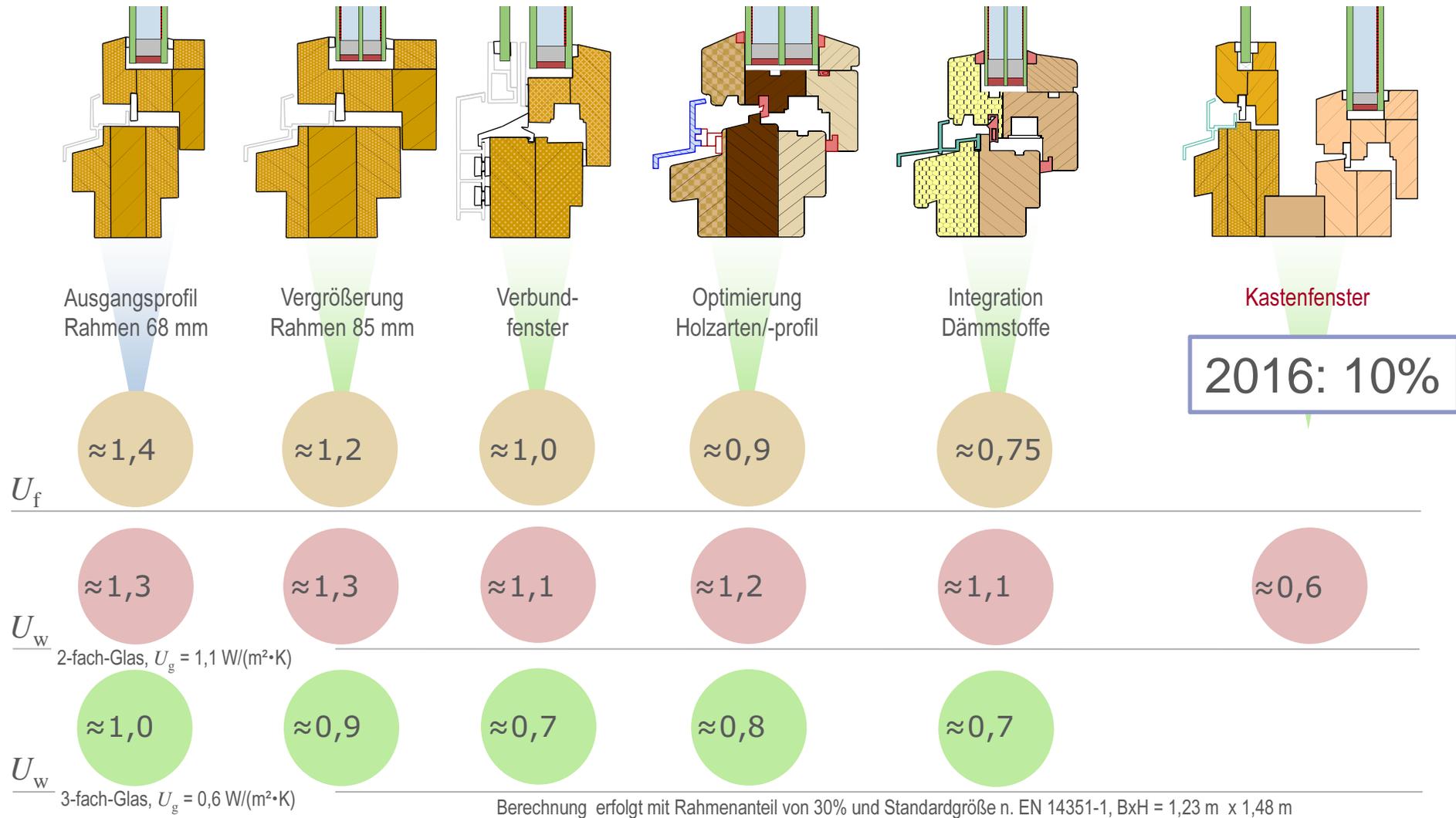
Berechnung erfolgt mit Rahmenanteil von 30% und Standardgröße n. EN 14351-1, BxH = 1,23 m x 1,48 m  
 M.B.P. Dipl.-Ing. (FH) Manuel Demel, 18. November 2017

## Potenziale der wärmetechnischen Optimierung von Metallfenstern



Berechnung erfolgt mit Rahmenanteil von 30% und Standardgröße n. EN 14351-1, BxH = 1,23 m x 1,48 m

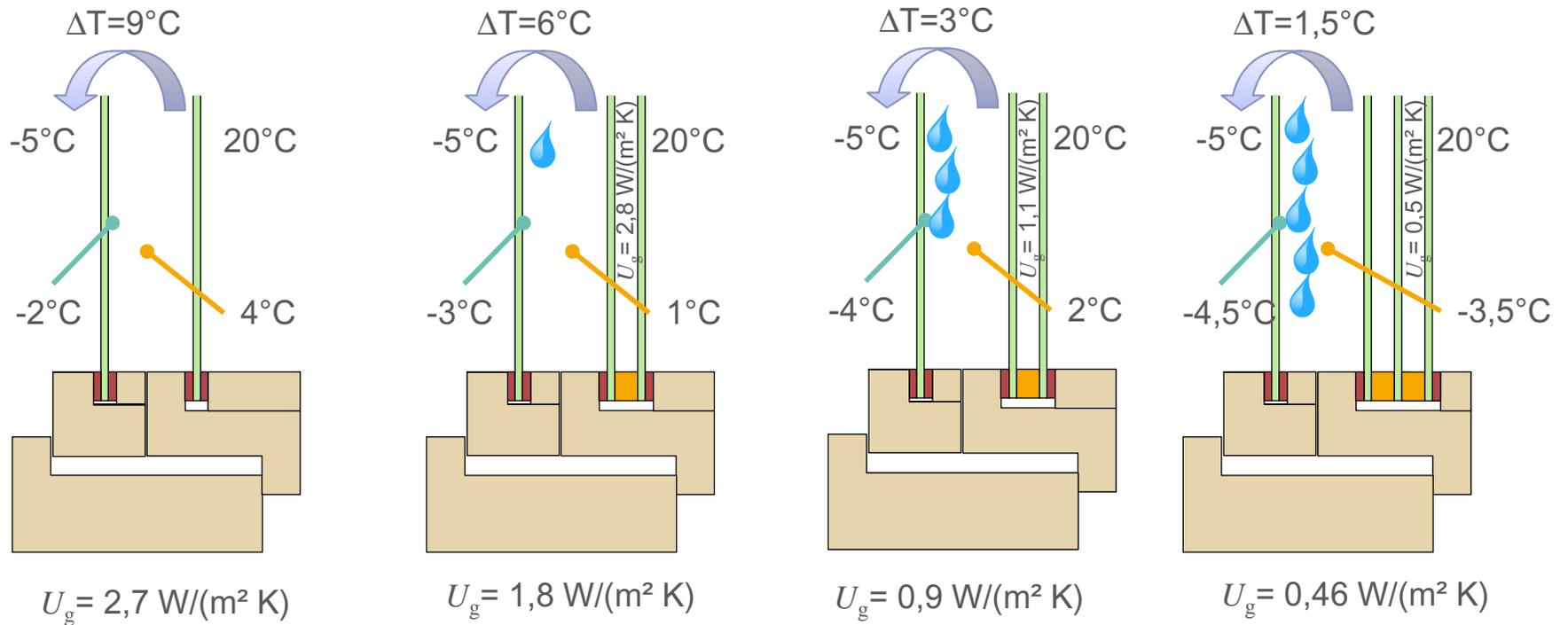
## Potenziale der wärmetechnischen Optimierung von Holzfenstern



Berechnung erfolgt mit Rahmenanteil von 30% und Standardgröße n. EN 14351-1, BxH = 1,23 m x 1,48 m

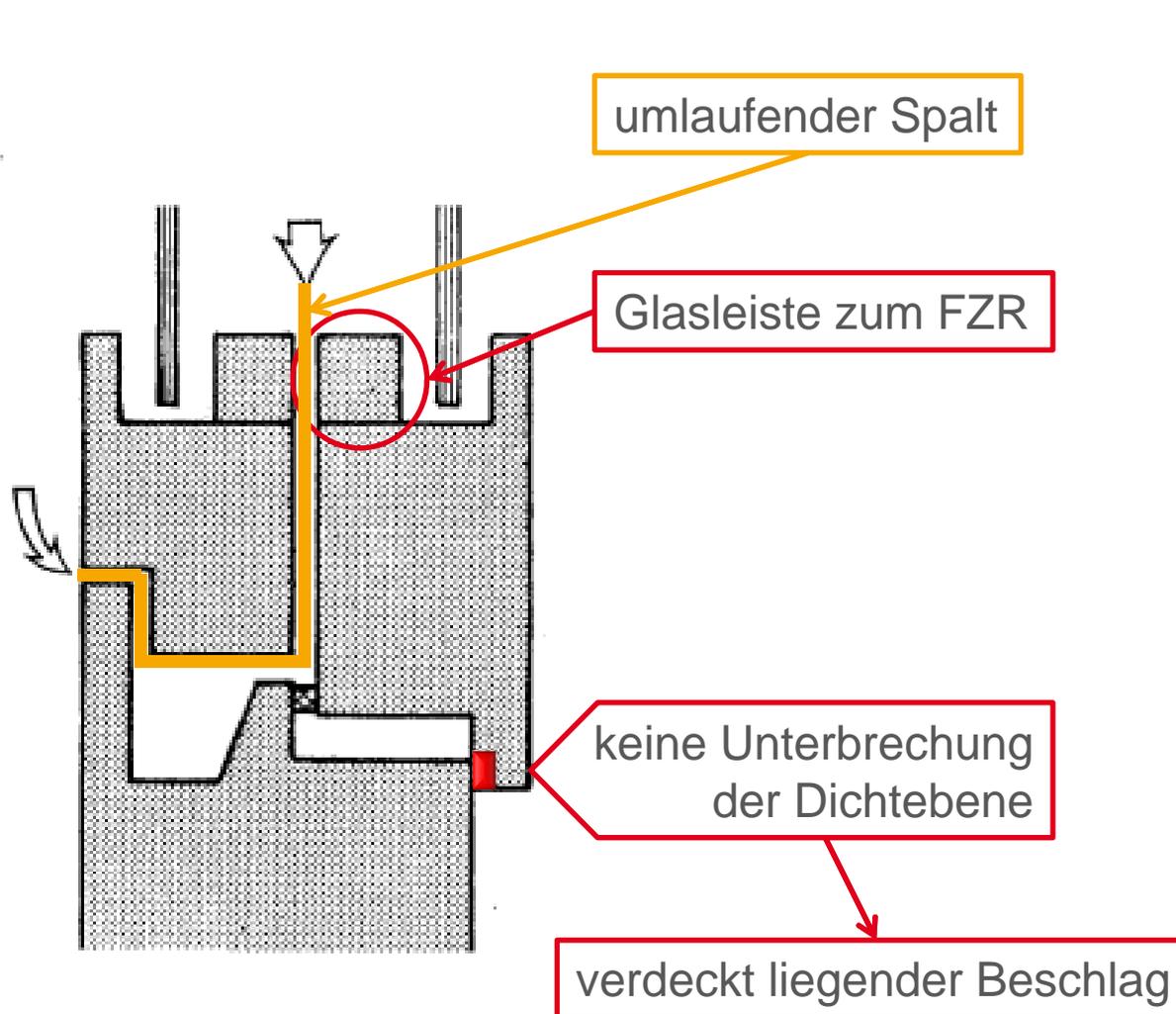
# Anwendung heute?

Temperaturdifferenz



Wärmedämmung

## Fazit - Auswirkungen auf die Konstruktionen



EN ISO 6946  
→ Spaltbreite **1,5 mm**

EN ISO 10077-1  
→ Spaltbreite  $\leq 3$  mm  
... um übermäßigen  
Luftaustausch zu  
verhindern ...

Empfehlung FV 1981:  
→ Spaltbreite: 1,5-2 mm  
umlaufend

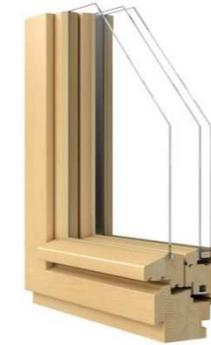


## Fazit und Ausblick

### Optimierungspotenzial

- Rahmenprofil 
- Isolierglas 
- Abstandhalter 
- Fenstertyp 

- Vorteile Verbund- und Kastenfenster
  - gute Wärmedämmung
  - verbesserter Schallschutz
  - integrierte Sonnenschutzeinrichtung
  - integrierte Lüftungsgeräte



Alte bewährte Konstruktionen mit neuem KnowHow verbinden unter Beachtung der bauphysikalischen Grundsätze!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



[www.ift-akademie.de](http://www.ift-akademie.de) | [akademie@ift-rosenheim.de](mailto:akademie@ift-rosenheim.de)  
[www.ift-rosenheim.de](http://www.ift-rosenheim.de) | [info@ift-rosenheim.de](mailto:info@ift-rosenheim.de)