

Wärmetechnisch-energetische Kriterien beim Fenster

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Was macht ein Gebäude energieeffizient ?

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

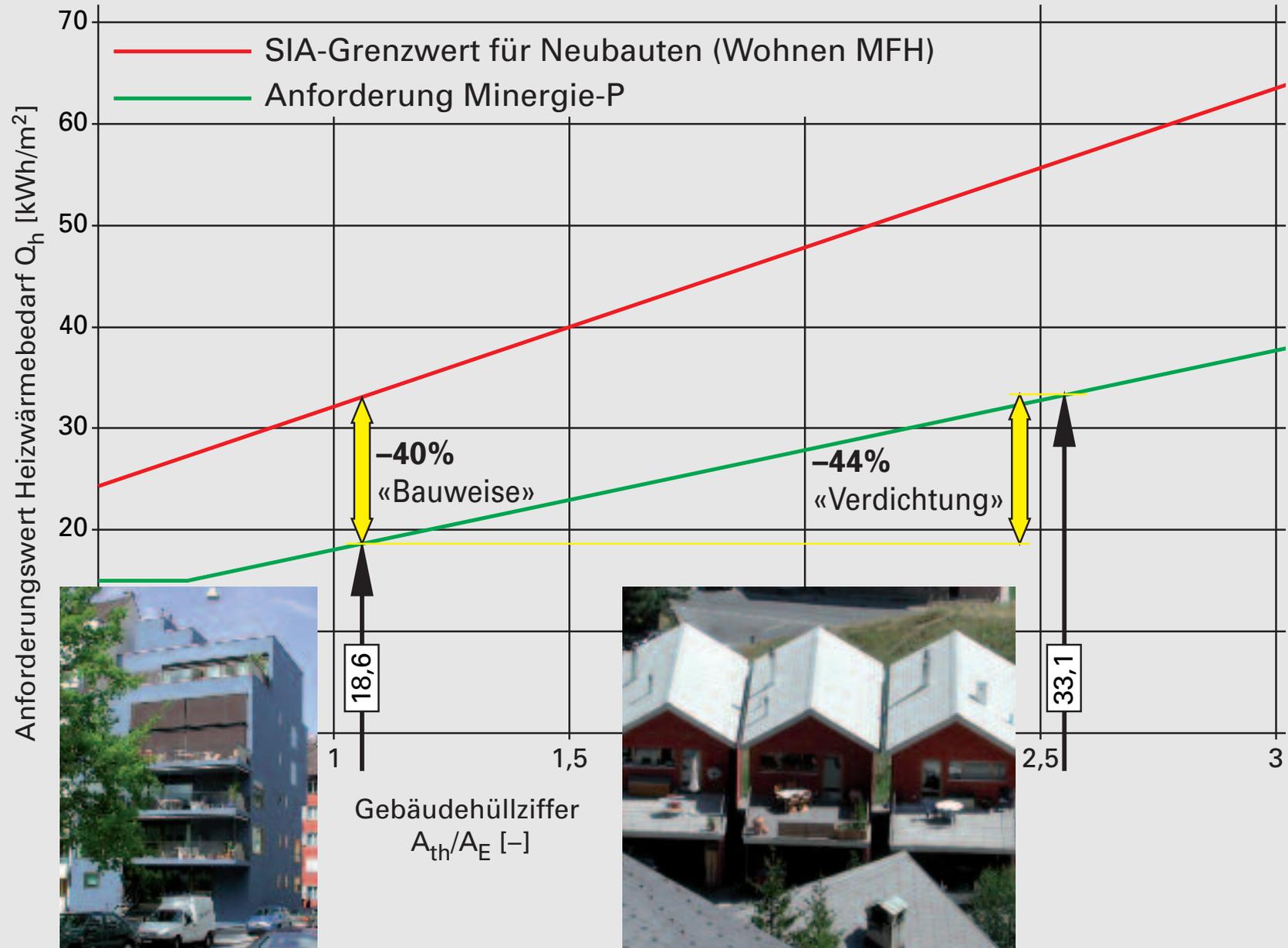
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Die thermische Gebäudehülle

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

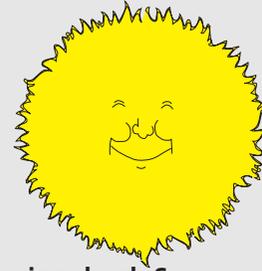
Fenster / Energiestandards:

- MuKE
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Gewinn durch Sonneneinstrahlung:

- Fensterorientierung (Globalstrahlung)
- g-Wert (Energiedurchlassgrad)
- Beschattung und Verschmutzung

U-Wert etwa 0,8 W/m²K

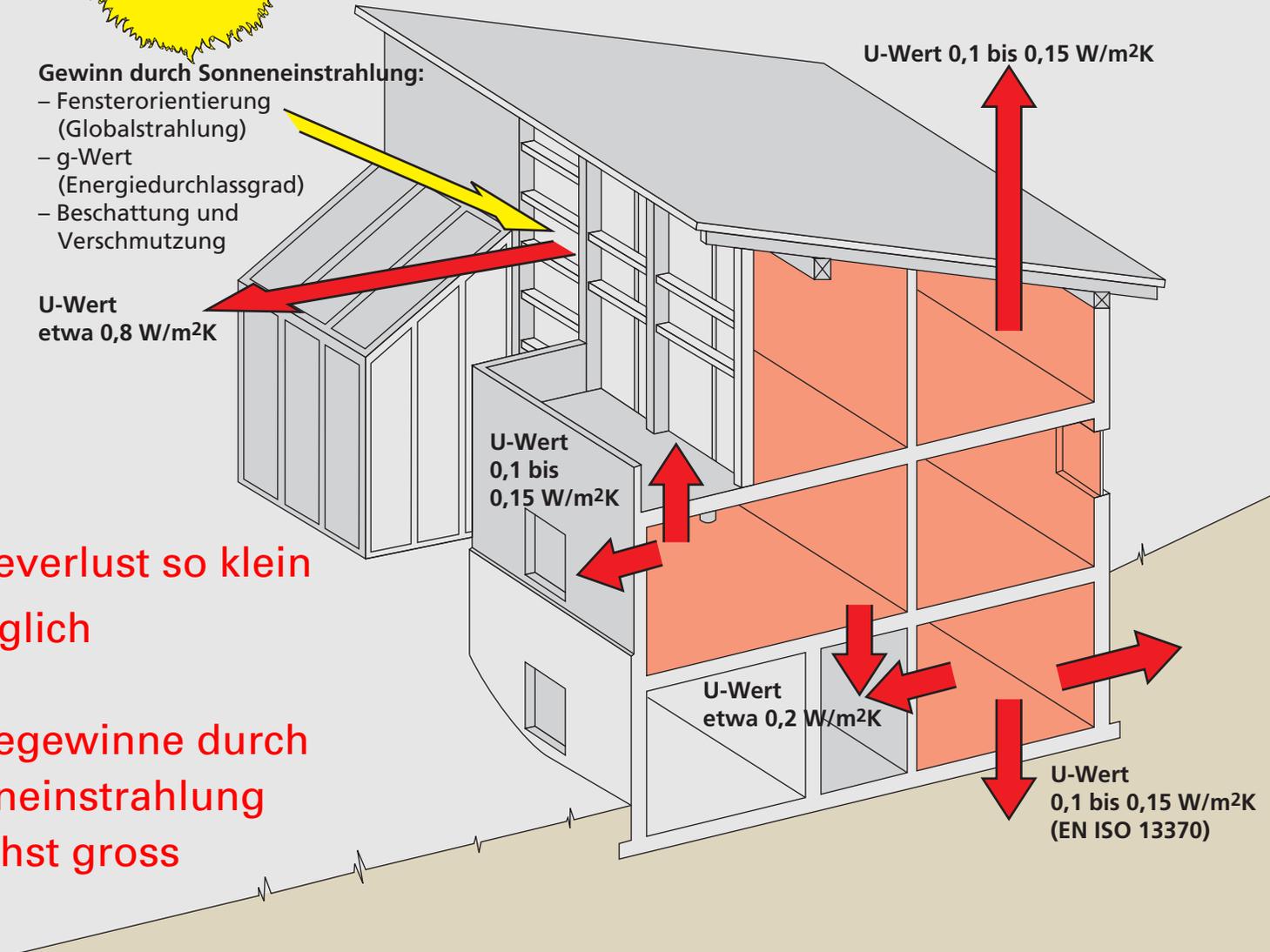
U-Wert 0,1 bis 0,15 W/m²K

U-Wert 0,1 bis 0,15 W/m²K

U-Wert etwa 0,2 W/m²K

U-Wert 0,1 bis 0,15 W/m²K (EN ISO 13370)

- Energieverlust so klein als möglich
- Energiegewinne durch Sonneneinstrahlung möglichst gross



Optimierungsstrategie

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

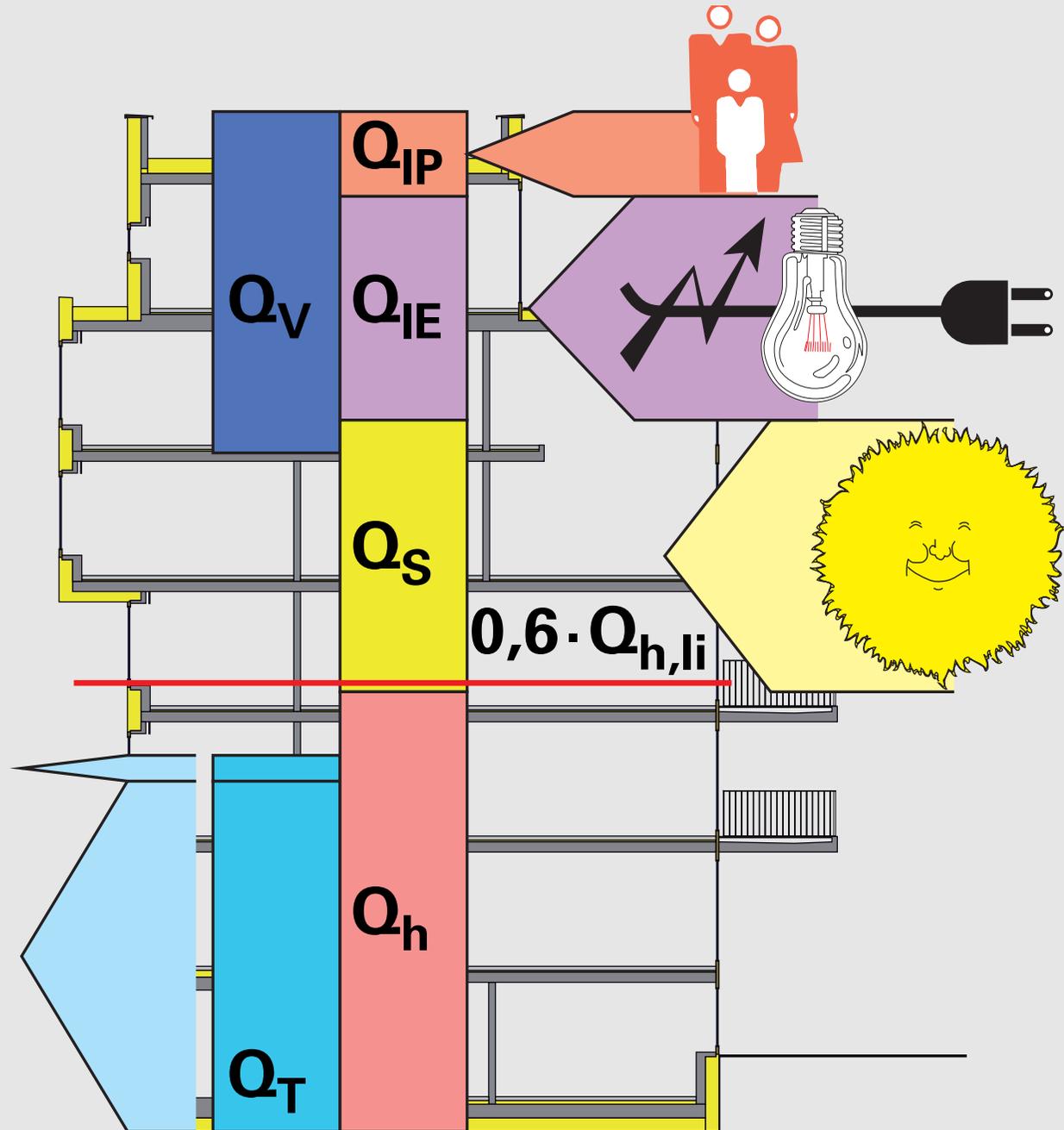
Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

Wärmebrücken Fenstereinbau

Transmission Fenster



Verschattung von Fenstern vermeiden

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Fenster aus Sicht der Energie

- Energieeffizienz beim Bauen
- thermische Gebäudehülle
 - Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

Verschattung von Fenstern vermeiden

Verschattung gemäss Norm SIA 380/1

$$F_S = F_{S1} \cdot F_{S2} \cdot F_{S3} \quad [-]$$

| | | |
|----------|--|-----|
| F_S | Faktor für Gesamtbeschattung | [-] |
| F_{S1} | Verschattung Horizont | [-] |
| F_{S2} | Verschattung Überhang (Vordach, Balkon u.ä.) | [-] |
| F_{S3} | Verschattung Seitenblende | [-] |

Verschattung von Fenstern vermeiden

Fenster aus Sicht der Energie

- Energieeffizienz beim Bauen
- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

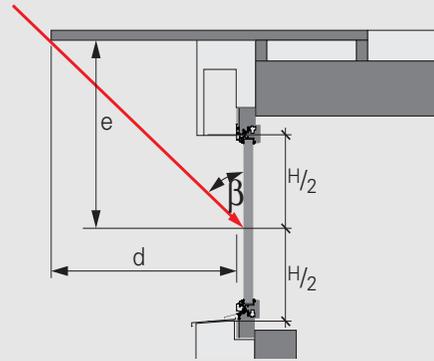
- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

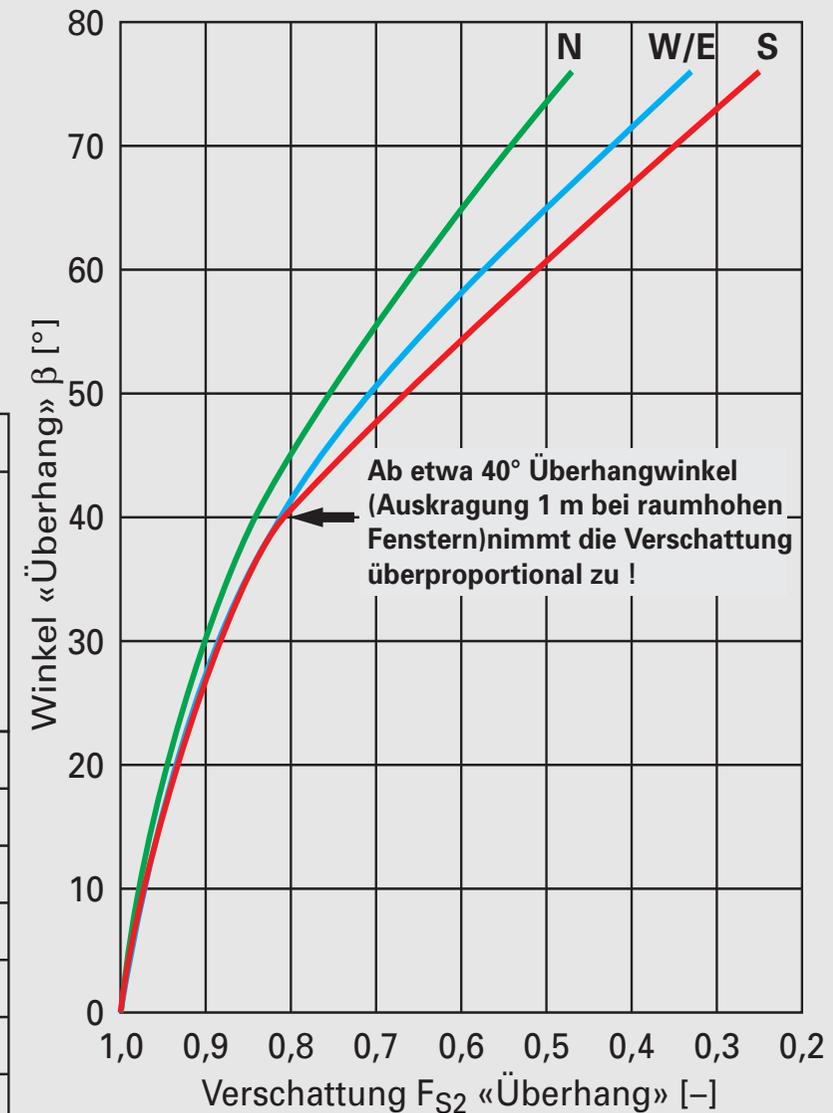
Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

Verschattung Überhang F_{S2}



| Geometrie | | | Verschattung der Fenster | | |
|----------------|-------------|-------------------------|--------------------------|--------------|------|
| Auskragung d | Abstand e | Überhang-Winkel β | Süd | Ost und West | Nord |
| 0,5 | 1,25 | 22° | 0,93 | 0,92 | 0,94 |
| 1,0 | 1,25 | 39° | 0,82 | 0,82 | 0,85 |
| 1,5 | 1,25 | 50° | 0,67 | 0,71 | 0,75 |
| 2,0 | 1,25 | 58° | 0,55 | 0,61 | 0,68 |
| 2,5 | 1,25 | 63° | 0,46 | 0,53 | 0,62 |
| 3,0 | 1,25 | 67° | 0,39 | 0,47 | 0,57 |
| 5,0 | 1,25 | 76° | 0,25 | 0,33 | 0,47 |



Verschattung F_{S2} durch Überhang (z.B. durch Vordächer und Balkone)

Verschattung von Fenstern vermeiden

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

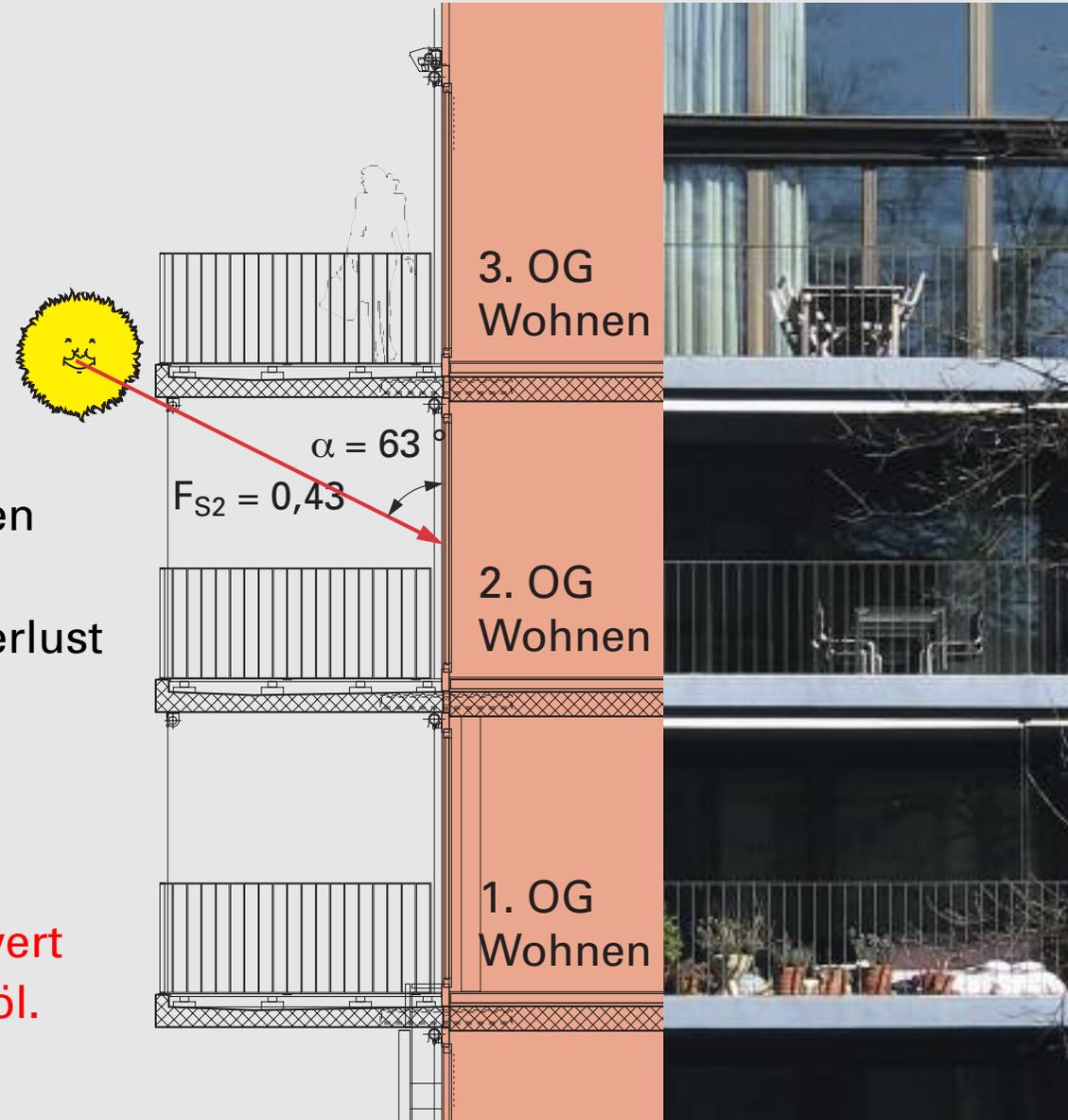
- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

- Ohne verschattende Balkone:
Energiegewinn von 19 kWh/m².
- Fensterfront hinter den Balkonen:
bilanzierter Energieverlust von 33 kWh/m².
- **Differenz:**
52 kWh/m²
entspricht dem Heizwert
von etwa 5 Liter Heizöl.



Verschattung von Fenstern vermeiden

Fenster aus Sicht der Energie

- Energieeffizienz beim Bauen
- thermische Gebäudehülle
 - Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

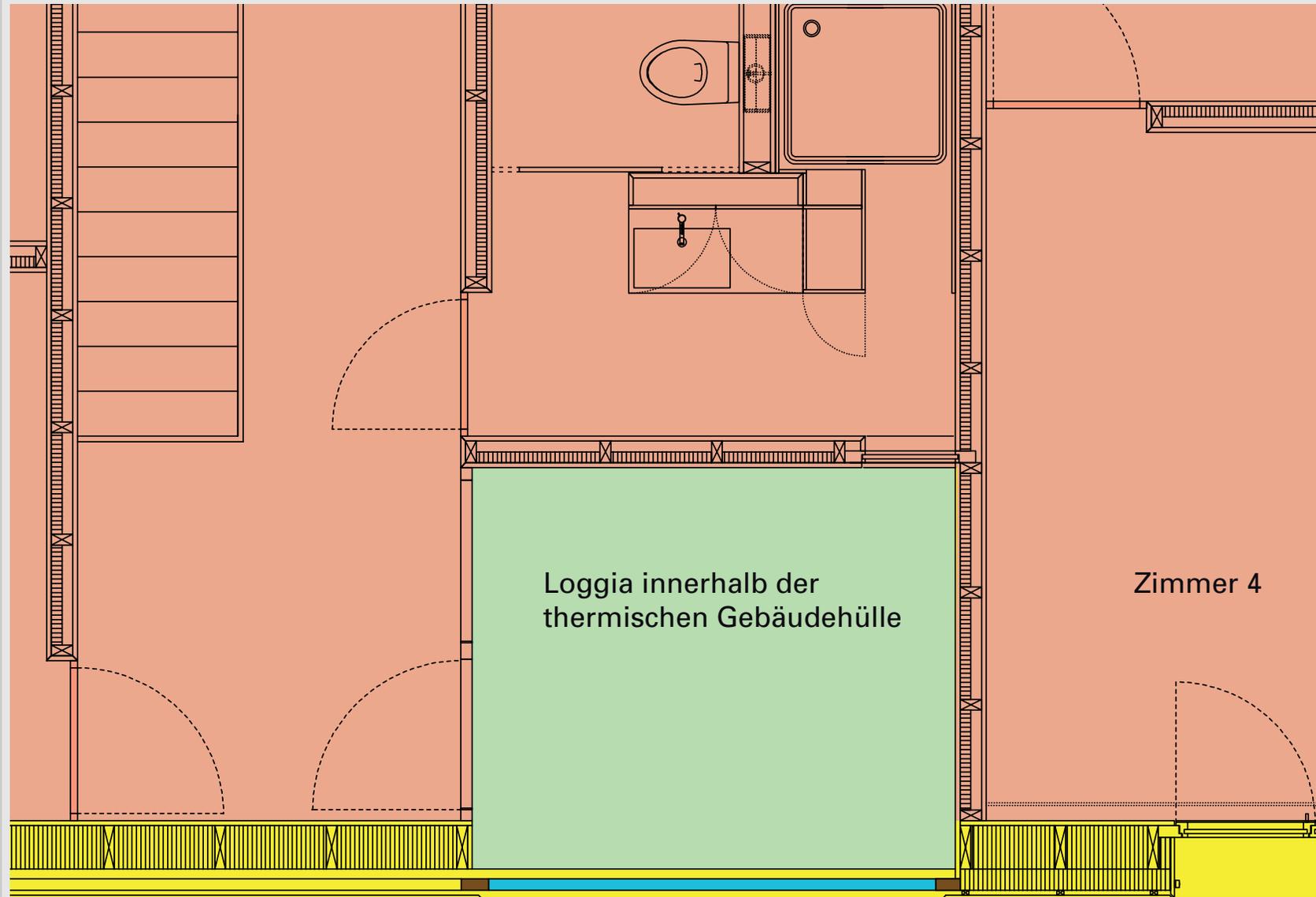
- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

Loggia innerhalb/ausserhalb der thermischen Gebäudehülle?



Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

- über die Heizperiode abzudeckende Energieverluste
- oder ein resultierender Energiegewinn

$$Q_{\text{res}} = Q_{\text{T}} - Q_{\text{S}} \quad [\text{kWh}] \text{ oder } [\text{MJ}]$$

Q_{res} Resultierender Energieverlust oder Energiegewinn

Q_{T} Transmissionswärmeverlust

Q_{S} Energiegewinn durch Sonneneinstrahlung

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

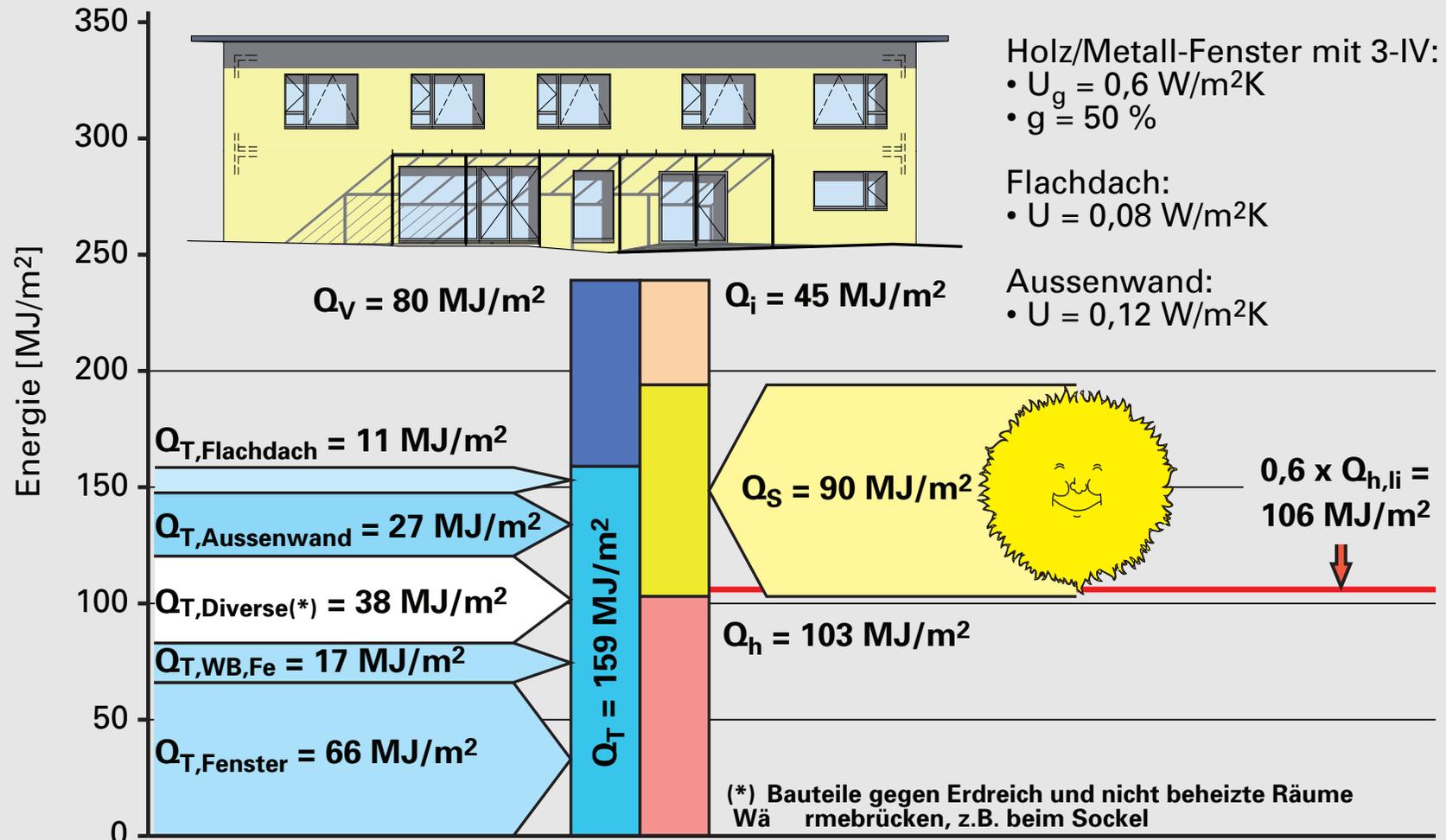
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Fenstervergleich: Energiebilanz ist entscheidend

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

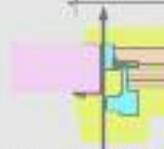
Fenster «Wenger Isolar»

U-Werte und Abmessungen der Rahmenpartien

$U_f = 0,904 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmen seitlich und oben

109,0



$U_{E,w} = 0,909 \text{ W/m}^2\text{K}$

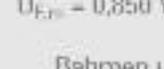
Mittelpartie

98,0



$U_{E,m} = 0,850 \text{ W/m}^2\text{K}$

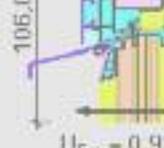
Rahmen unten



$U_{E,u} = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$



106,0



$U_{E,u} = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Materialien

Maske (Glaserersatz)

Weich-Holz (typisches Bauholz)

EPDM-Dichtungen

$\lambda \text{ [W/mK]}$

0,035

0,130

0,250

Energiebilanz bei unterschiedlichen Orientierungen, für zwei verschiedene Fenstergrößen, mit und ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken

Fenster 1,55 m x 1,15 m

U-Wert $U_w = 0,758 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert $U_{w,E} = 0,885 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fenster 4,50 m x 2,50 m

U-Wert $U_w = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert $U_{w,E} = 0,658 \text{ W/m}^2\text{K}$

Energiebilanz bei unterschiedlichen Orientierungen, für zwei verschiedene Fenstergrößen, mit und ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken

Fenster 1,55 m x 1,15 m

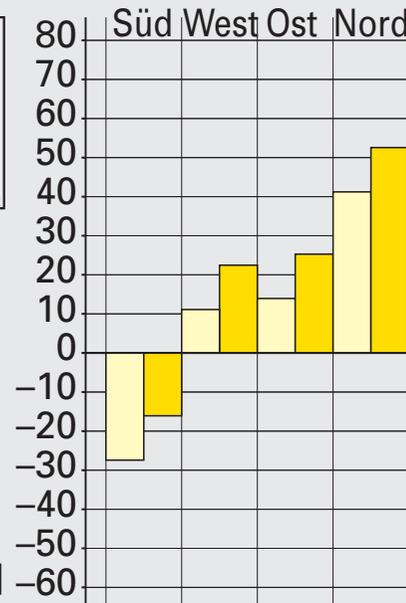
U-Wert $U_w = 0,758 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert $U_{w,E} = 0,885 \text{ W/m}^2\text{K}$

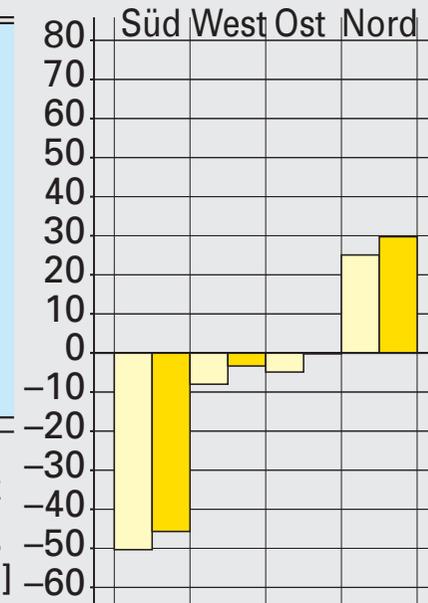
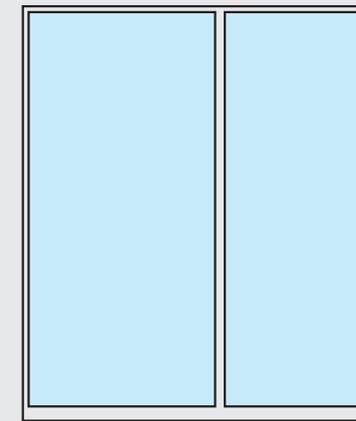
Fenster 4,50 m x 2,50 m

U-Wert $U_w = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert $U_{w,E} = 0,658 \text{ W/m}^2\text{K}$



Energiebilanz $Q_T - Q_S$ [kWh/m² a]



Energiebilanz $Q_T - Q_S$ [kWh/m² a]

mit U_w (ohne Wärmebrücke Fenstereinbau)

mit $U_{w,E}$ (Wärmebrücke Ψ_E Fenstereinbau berücksichtigt)

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

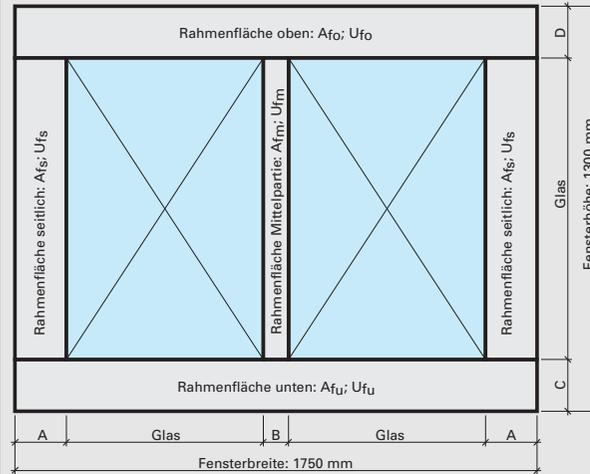
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Mittlerer U-Wert über die Rahmenfläche

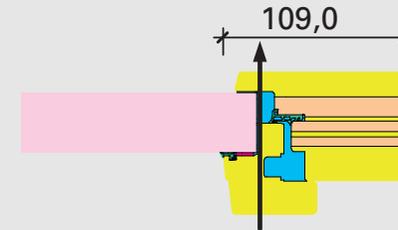
[W/m²K]

$$U_f = \frac{A_{fu} \cdot U_{fu} + A_{fo} \cdot U_{fo} + A_{fm} \cdot U_{fm} + A_{fs} \cdot U_{fs}}{A_f}$$

- Maske (Glaserersatz)
- Holzrahmen
- EPDM-Dichtungen
- Aluminium
- Hart-Polyvinylchlorid (PVC)
- Kleber
- Korkplatte
- Unbelüftete Hohlräume
- Leicht belüftete Hohlräume

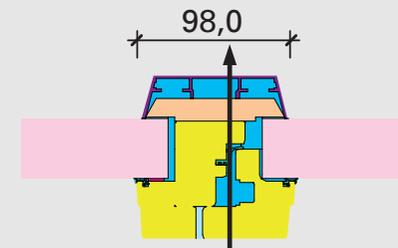
- λ [W/mK]
- 0,035
- 0,130
- 0,250
- 160,000
- 0,170
- 0,300
- 0,040

Rahmen seitlich und oben



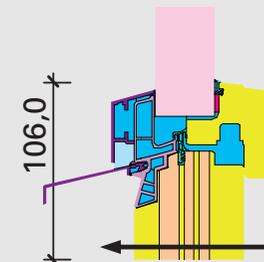
$$U_{F,s} = 0,909 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Mittelpartie



$$U_{F,m} = 0,850 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Rahmen unten



$$U_{F,u} = 0,922 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$U_f = 0,904 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Fenster: U-Wert

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

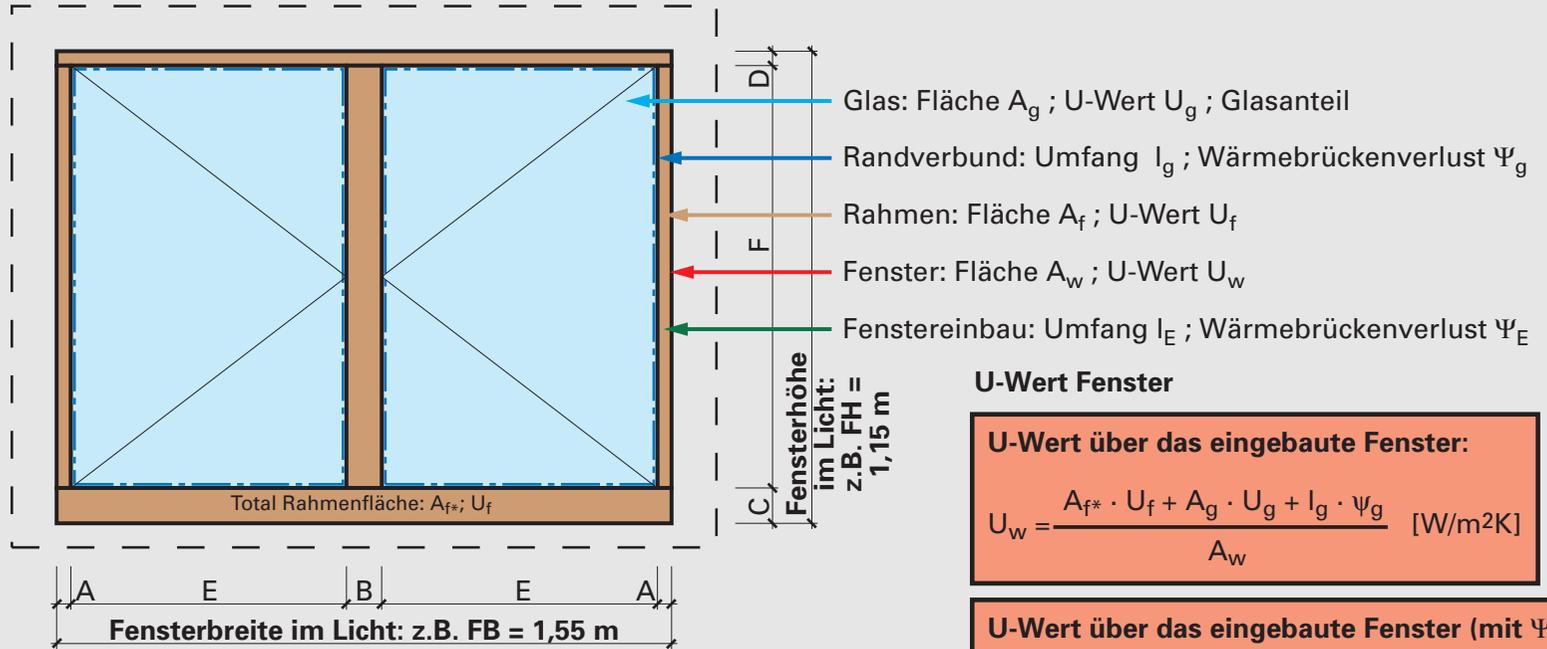
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



U-Wert Fenster

U-Wert über das eingebaute Fenster:

$$U_w = \frac{A_{f*} \cdot U_f + A_g \cdot U_g + I_g \cdot \Psi_g}{A_w} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

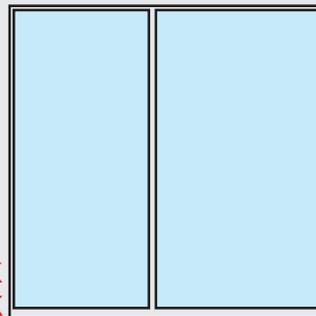
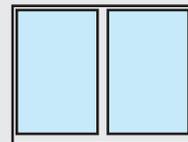
U-Wert über das eingebaute Fenster (mit Ψ_E):

$$U_{w,E} = \frac{A_{f*} \cdot U_f + A_g \cdot U_g + I_g \cdot \Psi_g + I_E \cdot \Psi_E}{A_w} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Fenster 1,55 m x 1,15 m

U-Wert $U_w = 0,758 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert $U_{w,E} = 0,885 \text{ W/m}^2\text{K}$

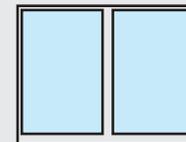


Fenster 4,50 m x 2,50 m

U-Wert $U_w = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert $U_{w,E} = 0,658 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert Referenzfenster 1,55 m x 1,15 m mit unterschiedlichen Verglasungen



Verglasung ($\Psi_g = 0,05 \text{ W/mK}$)

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| U-Wert Verglasung U_g [W/m ² K] | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| U-Wert Fenster U_w [W/m ² K] | 0,929 | 0,843 | 0,758 |

Anforderungen nach Norm SIA 380/1 (2009) für Einzelbauteilnachweis:

| | Grenzwert | Zielwert |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | U_w [W/m ² K] | U_w [W/m ² K] |
| Fenster und Fenstertüren | 1,3 | 0,9 |
| Fenster mit vorgelagerten Heizkörpern | 1,0 | 0,8 |

Fenstereinbau: Wärmebrückenverlust

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- **Wärmebrückenverlust**
- **Oberflächentemperaturen**

Sensitivitätsüberlegungen

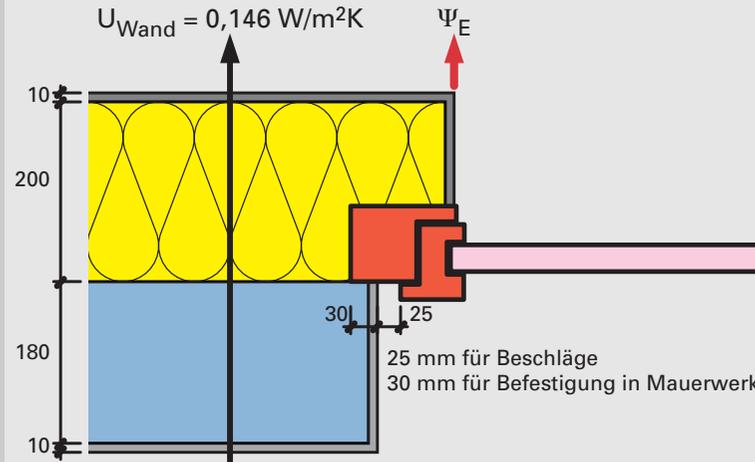
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

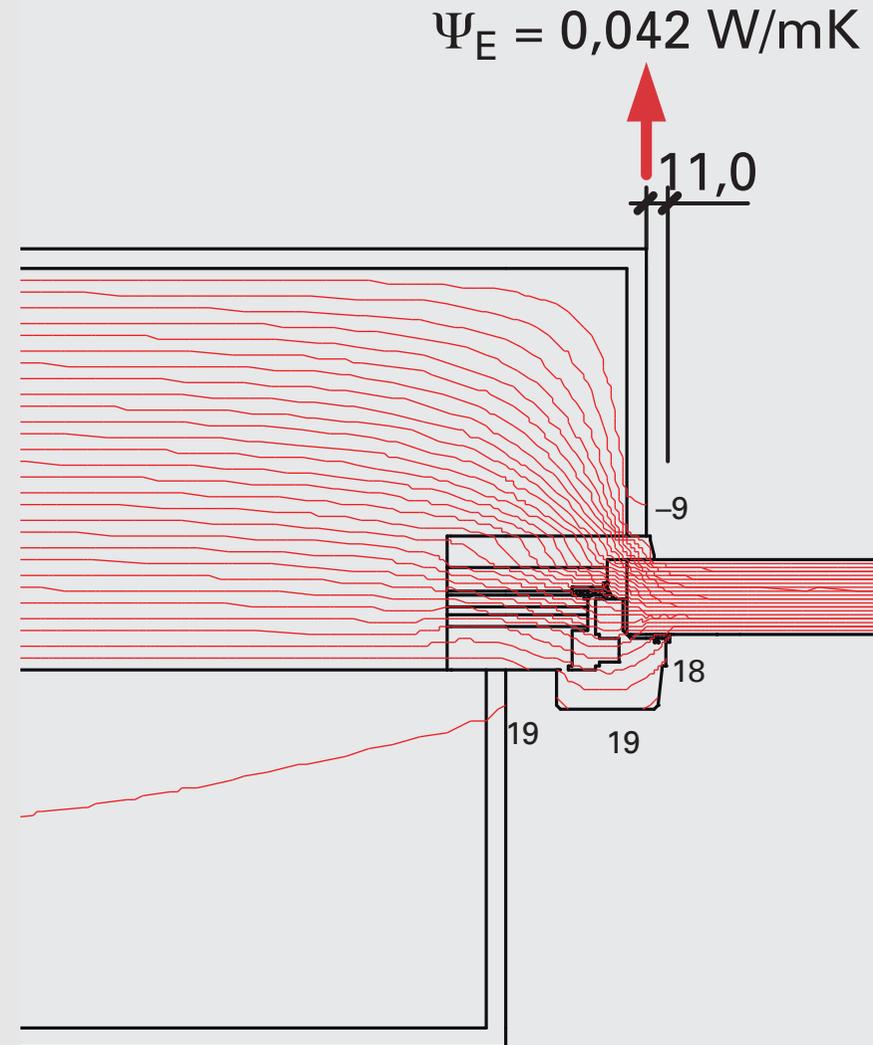
Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



| Materialien | λ [W/mK] |
|------------------------------|------------------|
| Maske (Glaserersatz) | 0,035 |
| Fensterkonstruktion variabel | - |
| Innenputz | 0,700 |
| Kalksandsteinmauerwerk | 1,000 |
| Aussenwärmedämmung | 0,031 |
| Aussenputz | 0,900 |

| Randbedingungen | θ [°C] | h [m²K/W] |
|-------------------------------|---------------|-------------|
| Aussen Standard | -10,0 | 25,0 |
| Innen Standard | 20,0 | 7,7 |
| Innen Fensterrahmen Standard | 20,0 | 5,0 |
| Innen Fensterrahmen Reduziert | 20,0 | 7,7 |



Fensteranschlag: «Mittenbereich» ideal

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

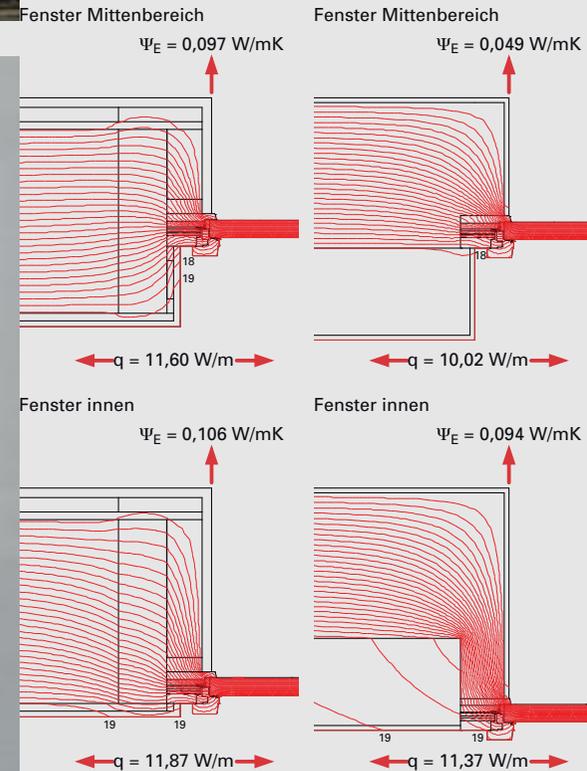
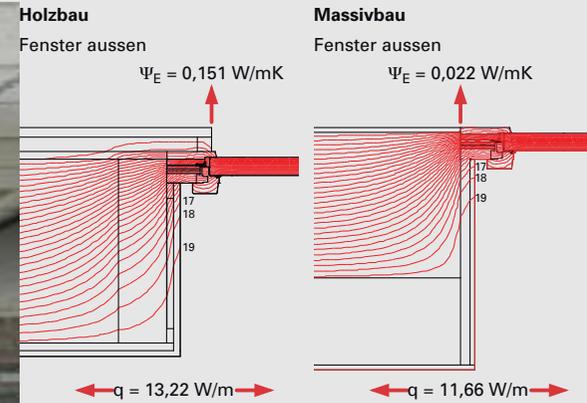
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Fensteranschlag: «Mittenbereich» ideal

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

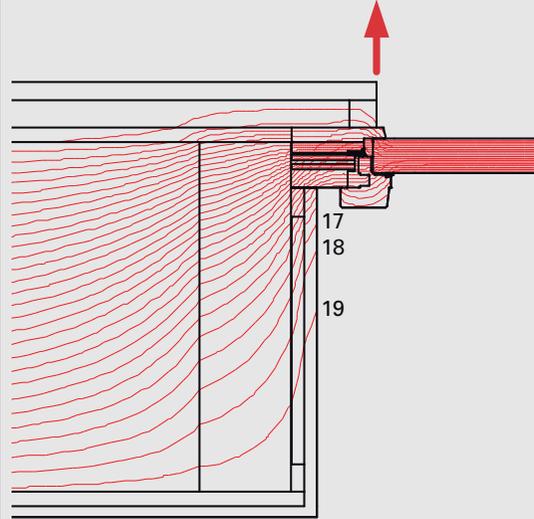
Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

Fenster aussen

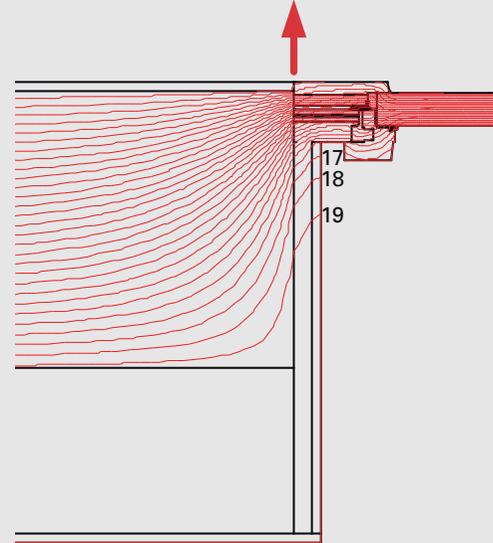
$$\Psi_E = 0,151 \text{ W/mK}$$



$$q = 13,22 \text{ W/m}$$

Fenster aussen

$$\Psi_E = 0,022 \text{ W/mK}$$

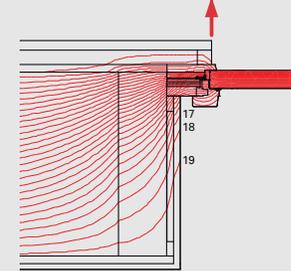


$$q = 11,66 \text{ W/m}$$

Holzbau

Fenster aussen

$$\Psi_E = 0,151 \text{ W/mK}$$

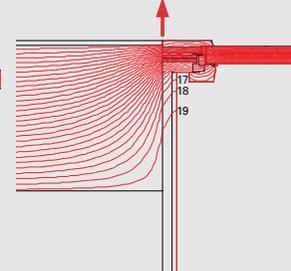


$$q = 13,22 \text{ W/m}$$

Massivbau

Fenster aussen

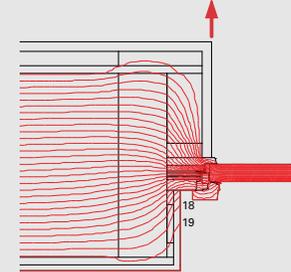
$$\Psi_E = 0,022 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,66 \text{ W/m}$$

Fenster Mittenbereich

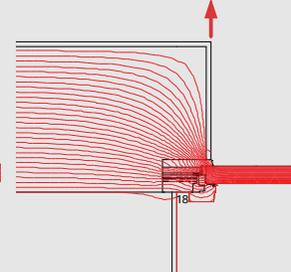
$$\Psi_E = 0,097 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,60 \text{ W/m}$$

Fenster Mittenbereich

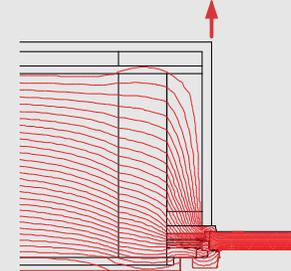
$$\Psi_E = 0,049 \text{ W/mK}$$



$$q = 10,02 \text{ W/m}$$

Fenster innen

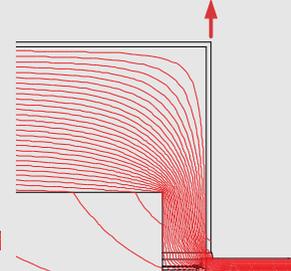
$$\Psi_E = 0,106 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,87 \text{ W/m}$$

Fenster innen

$$\Psi_E = 0,094 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,37 \text{ W/m}$$

Fensteranschlag: «Mittenbereich» ideal

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

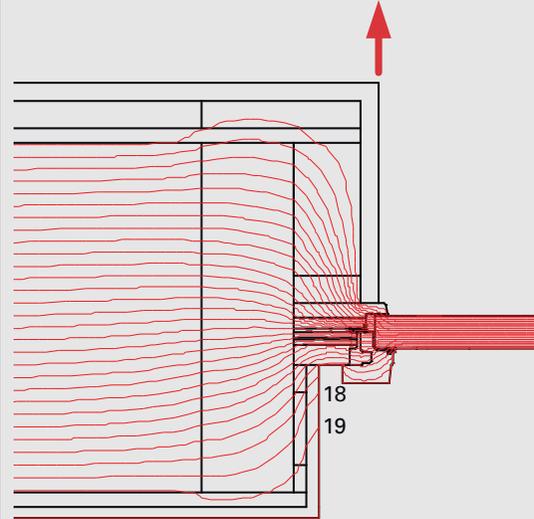
Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

Fenster Mittenbereich

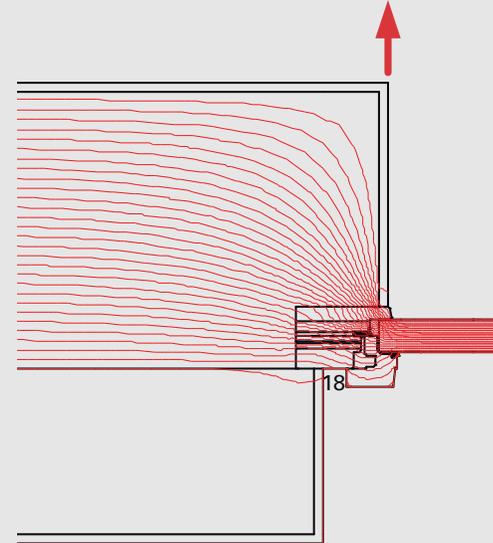
$$\Psi_E = 0,097 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,60 \text{ W/m}$$

Fenster Mittenbereich

$$\Psi_E = 0,049 \text{ W/mK}$$

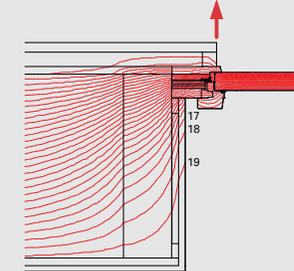


$$q = 10,02 \text{ W/m}$$

Holzbau

Fenster aussen

$$\Psi_E = 0,151 \text{ W/mK}$$

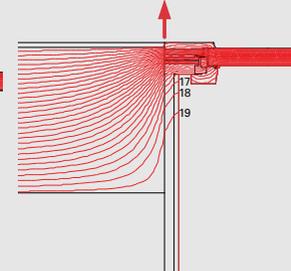


$$q = 13,22 \text{ W/m}$$

Massivbau

Fenster aussen

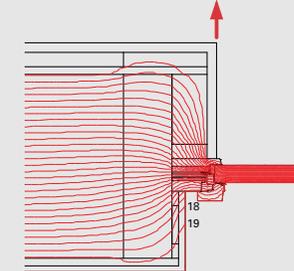
$$\Psi_E = 0,022 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,66 \text{ W/m}$$

Fenster Mittenbereich

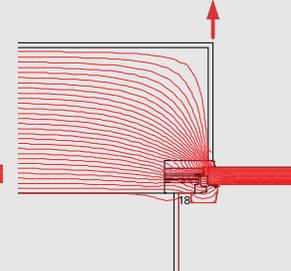
$$\Psi_E = 0,097 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,60 \text{ W/m}$$

Fenster Mittenbereich

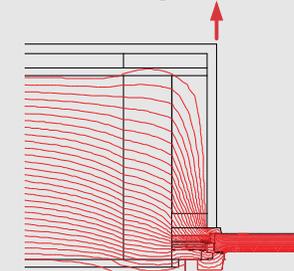
$$\Psi_E = 0,049 \text{ W/mK}$$



$$q = 10,02 \text{ W/m}$$

Fenster innen

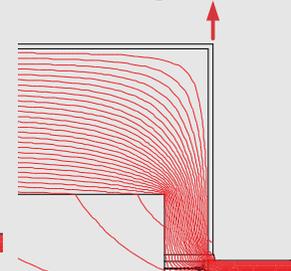
$$\Psi_E = 0,106 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,87 \text{ W/m}$$

Fenster innen

$$\Psi_E = 0,094 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,37 \text{ W/m}$$

Fensteranschlag: «Mittenbereich» ideal

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

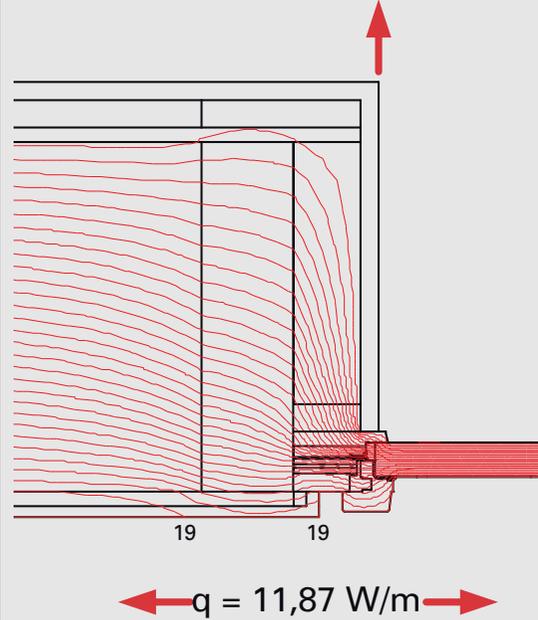
Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

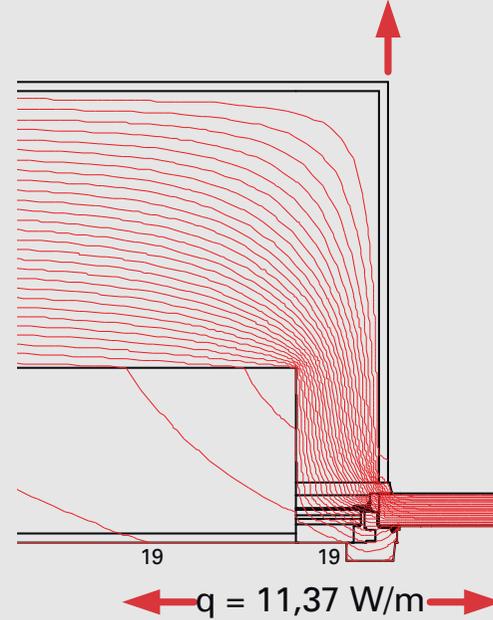
Fenster innen

$$\Psi_E = 0,106 \text{ W/mK}$$



Fenster innen

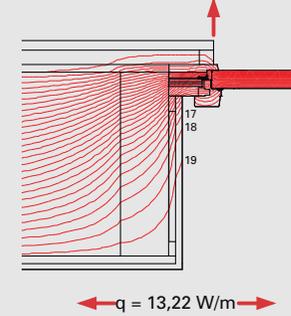
$$\Psi_E = 0,094 \text{ W/mK}$$



Holzbau

Fenster aussen

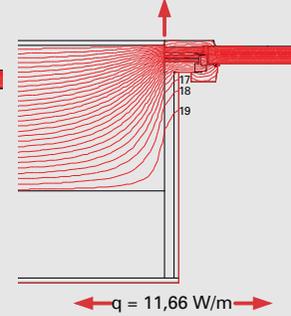
$$\Psi_E = 0,151 \text{ W/mK}$$



Massivbau

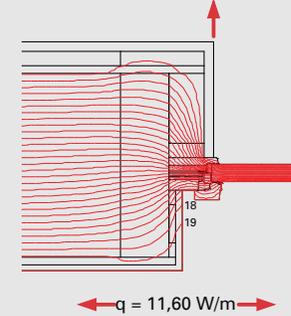
Fenster aussen

$$\Psi_E = 0,022 \text{ W/mK}$$



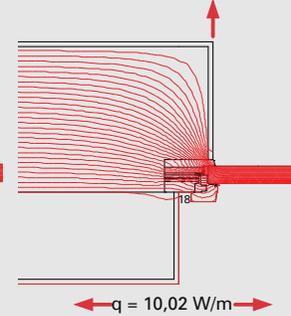
Fenster Mittenbereich

$$\Psi_E = 0,097 \text{ W/mK}$$



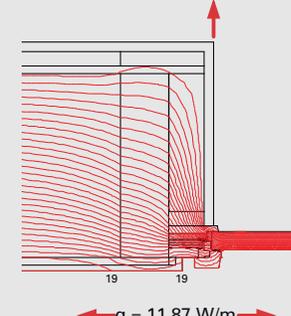
Fenster Mittenbereich

$$\Psi_E = 0,049 \text{ W/mK}$$



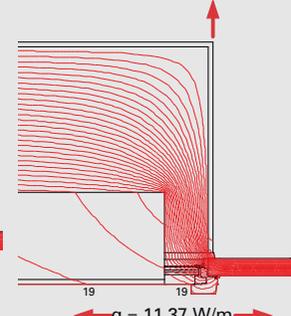
Fenster innen

$$\Psi_E = 0,106 \text{ W/mK}$$



Fenster innen

$$\Psi_E = 0,094 \text{ W/mK}$$



Oberflächenkondensat bei Metallfenster: Aus Schadenfall lernen

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

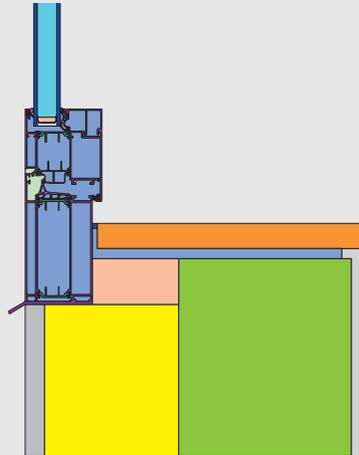
- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

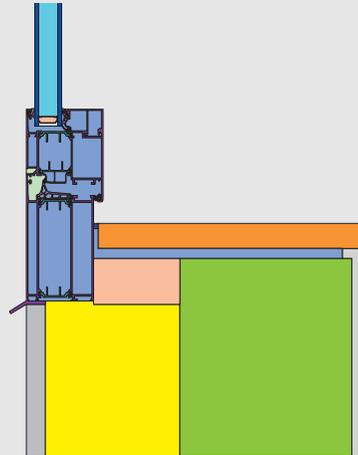
Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

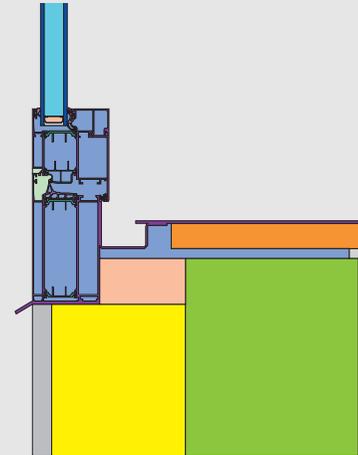
Ist-Zustand:
– Wärmebrücke Alublech 3 mm



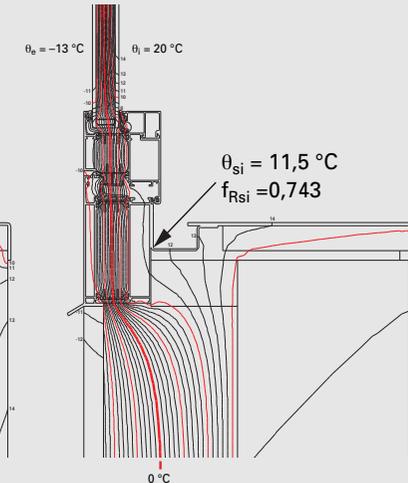
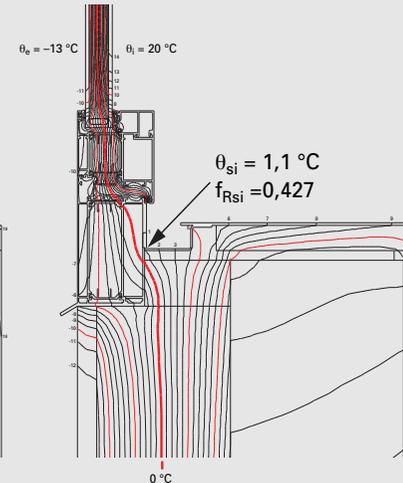
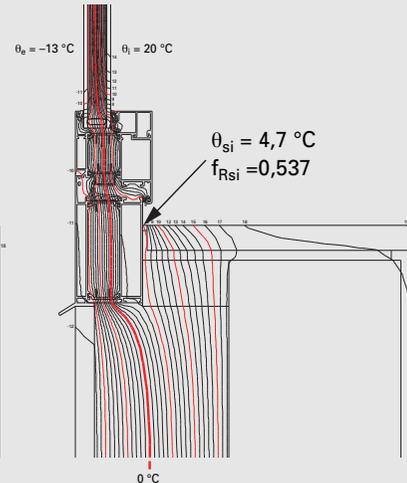
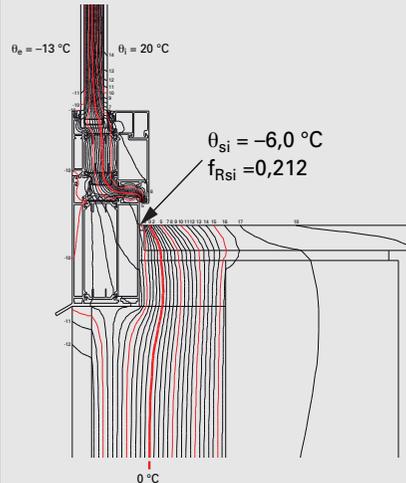
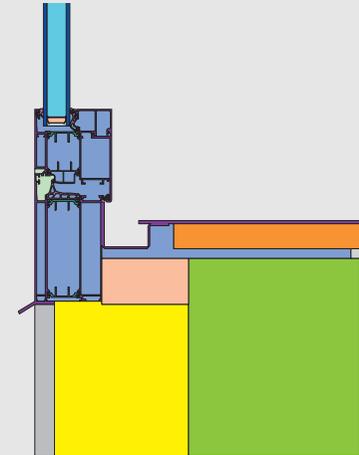
Sanierung Variante 1:
– Alublech 3 mm getrennt



Sanierung Variante 2:
– Wärmeleitprofil



Sanierung Variante 3:
– Alublech 3 mm getrennt
– Wärmeleitprofil



Oberflächenkondensat bei Metallfenster: Aus Schadenfall lernen

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung
über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

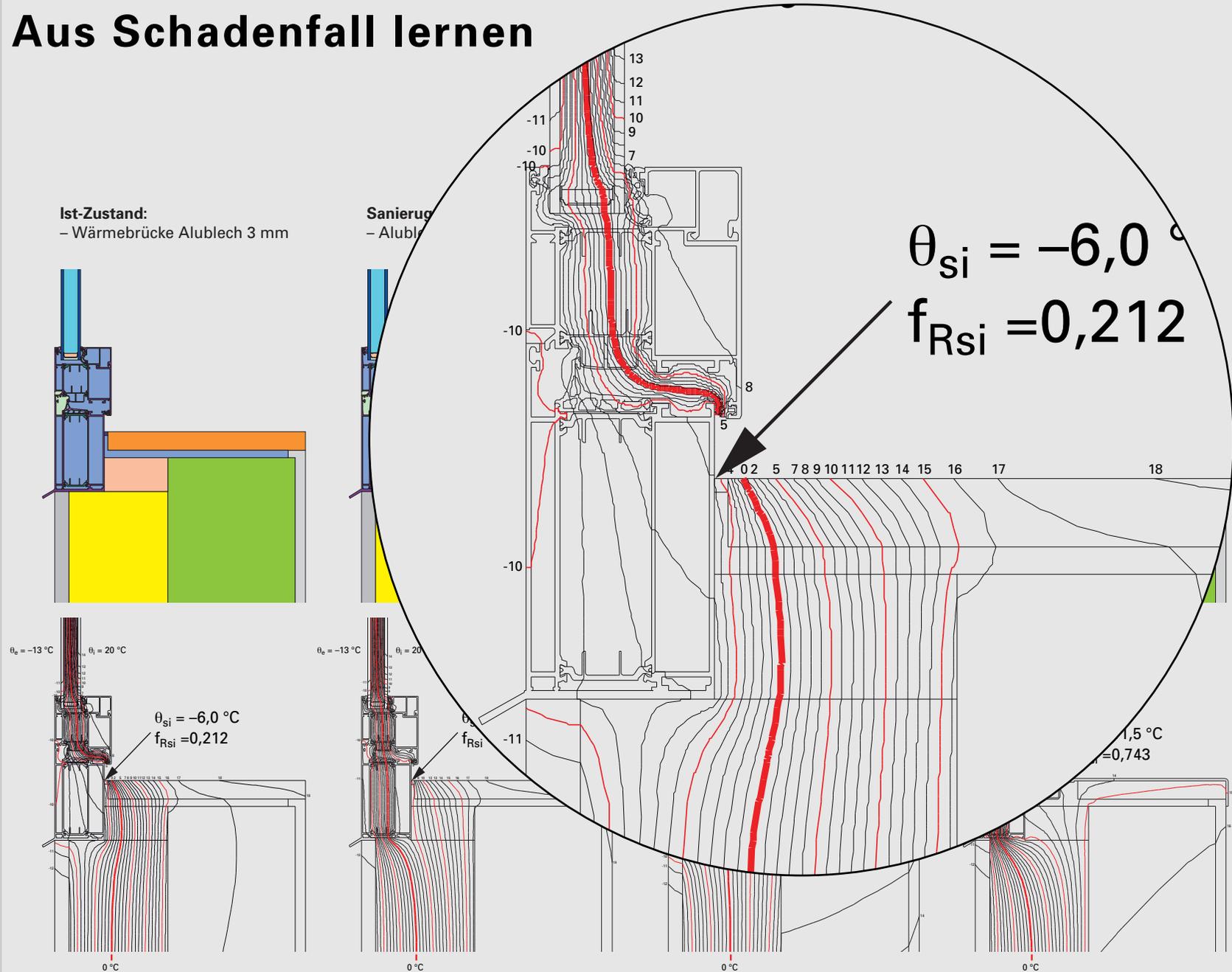
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Oberflächenkondensat bei Metallfenster: Aus Schadenfall lernen

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung
über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

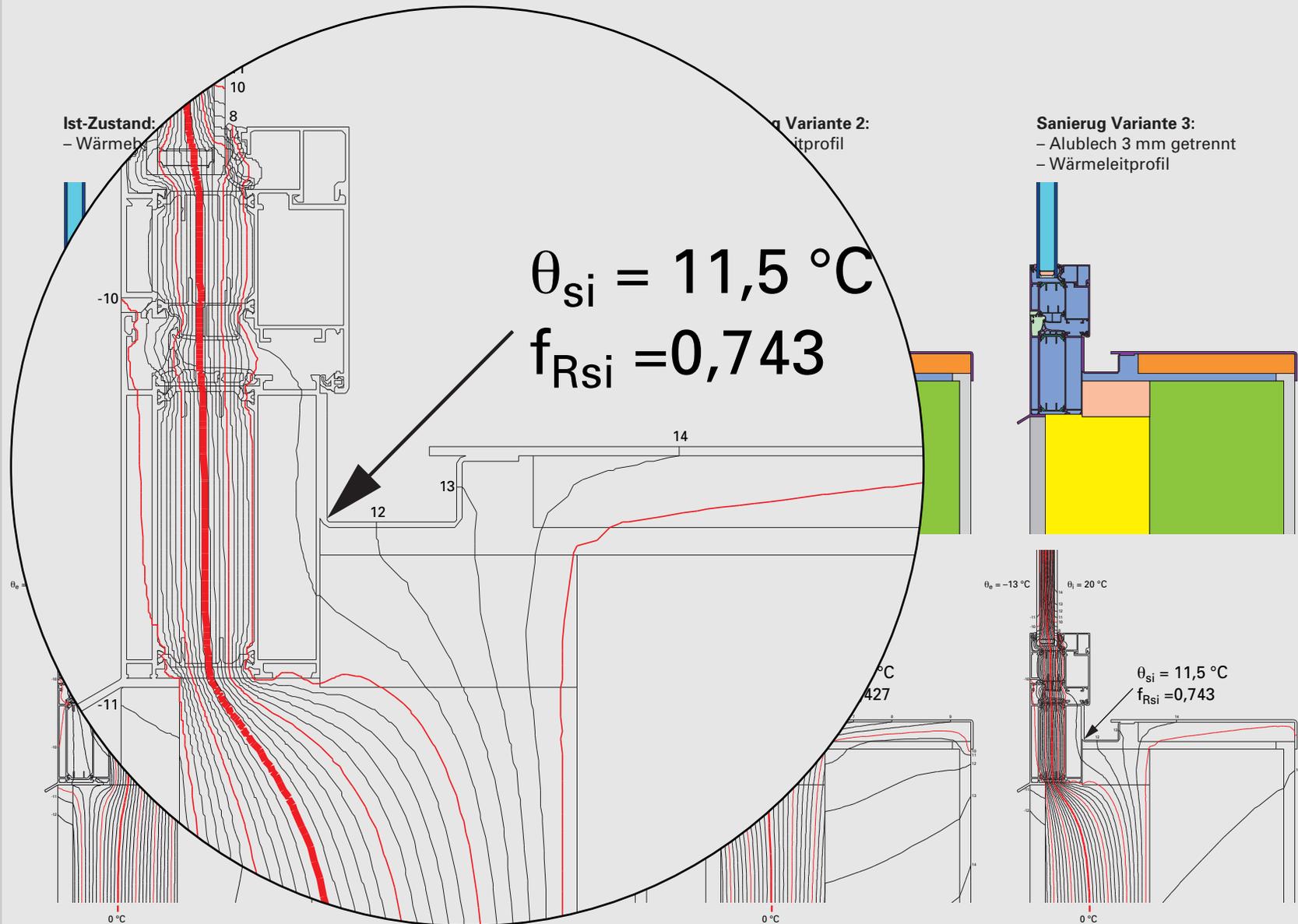
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Sensitivitätsüberlegungen beim Fenster: Standard-Definitionen

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

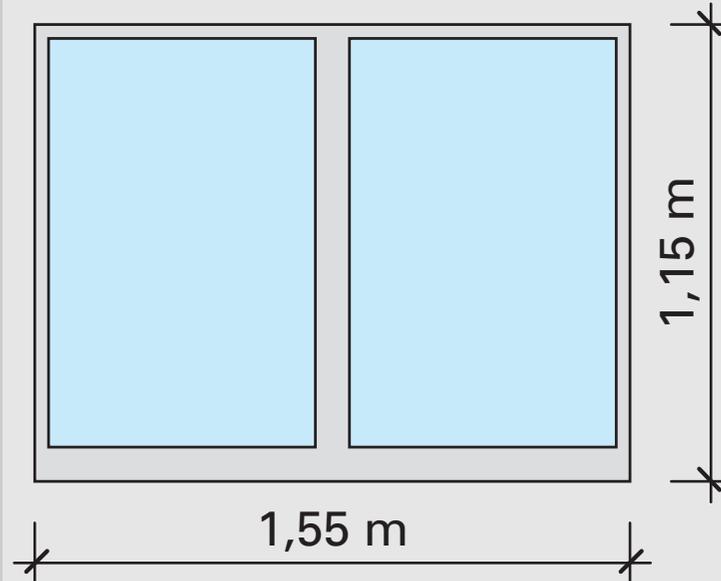
Fenster / Energiestandards:

- MuKE
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



| | | |
|--------------------------------------|-------|---------------------|
| U-Wert Glas U_g | 0,50 | W/m ² K |
| Glasrand Edelstahl Ψ_g | 0,05 | W/mK |
| Energiedurchlassgrad (g-Wert) | 0,54 | – |
| U-Wert Rahmen U_f | 1,20 | W/m ² K |
| Rahmenbreite seitlich bzw. oben | 0,015 | m |
| Rahmenbreite unten | 0,110 | m |
| Rahmenbreite Mittelpartie | 0,080 | m |
| Wärmebrückenverlust Ψ_E | 0,07 | W/mK |
| Heizgradtage HGT | 3717 | Kd/a |
| Globalstrahlung Süd | 1710 | MJ/m ² a |
| Verschattungsfaktor F_s | 0,8 | – |
| Ausnutzungsgrad freie Wärme η_g | 0,6 | – |

Sensitivitätsüberlegungen: Einfluss U-Wert & g-Wert Glas

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

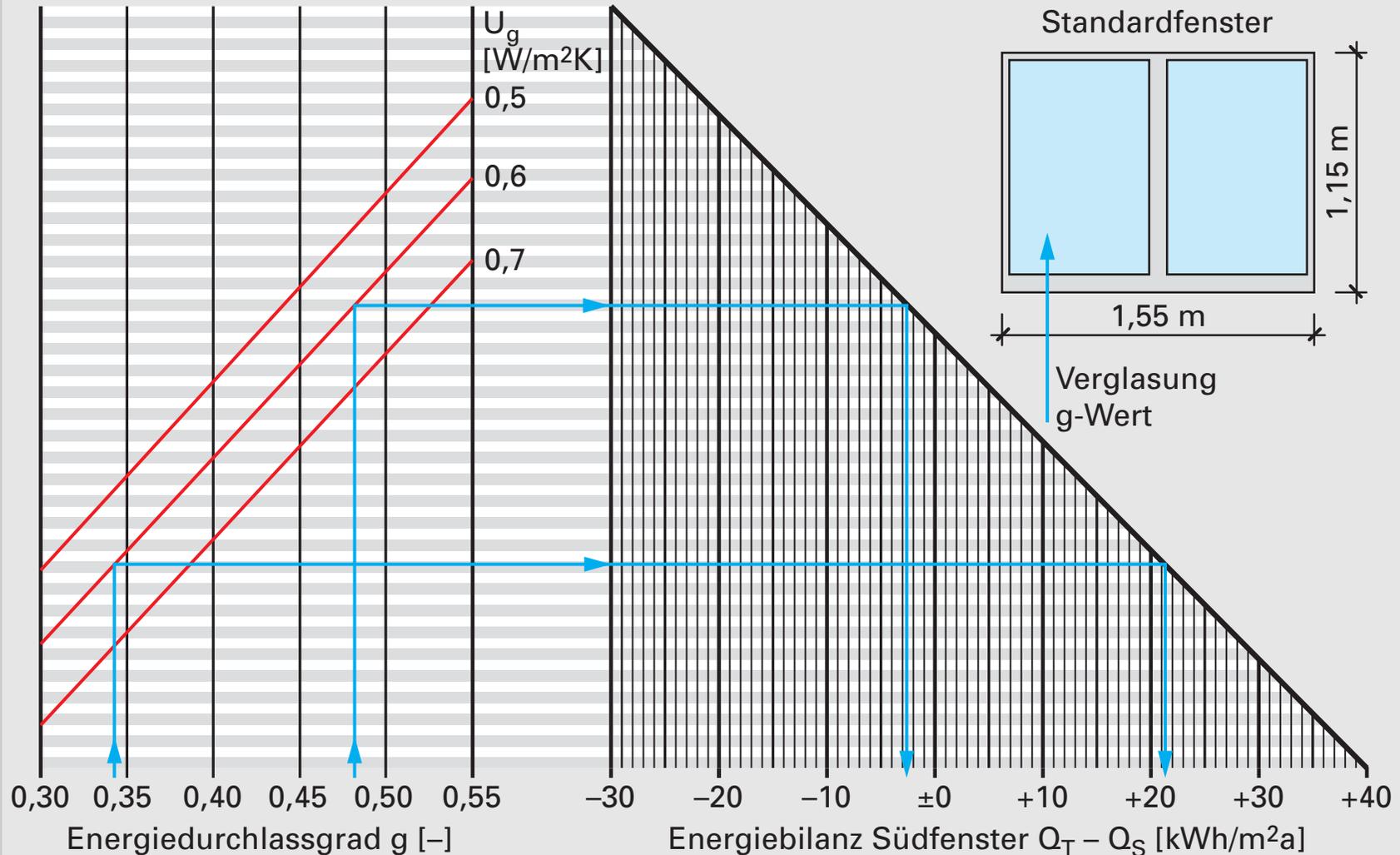
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Einfluss U-Wert Glas & Glasrandverbund

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

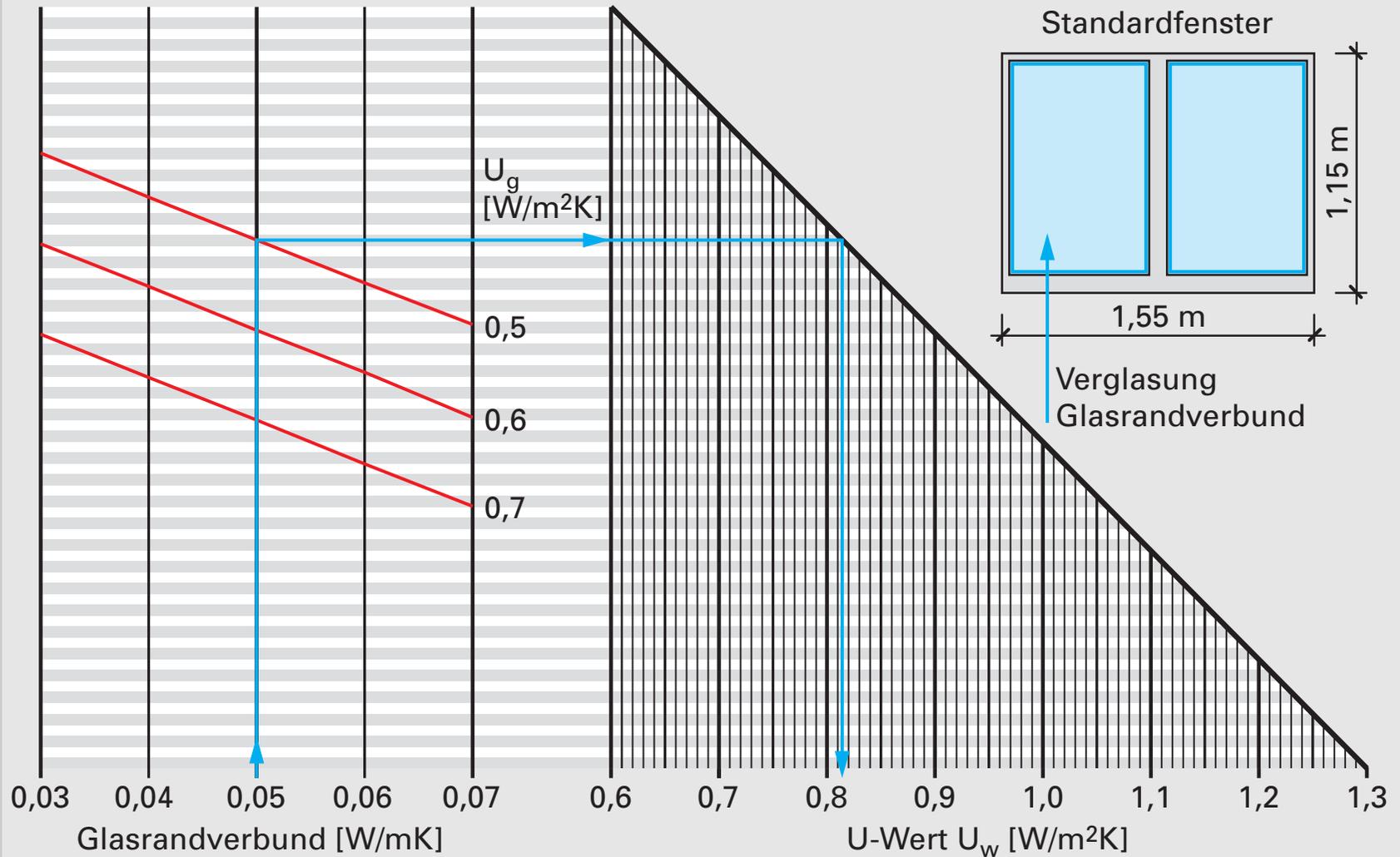
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Einfluss U-Wert Glas & Glasanteil

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

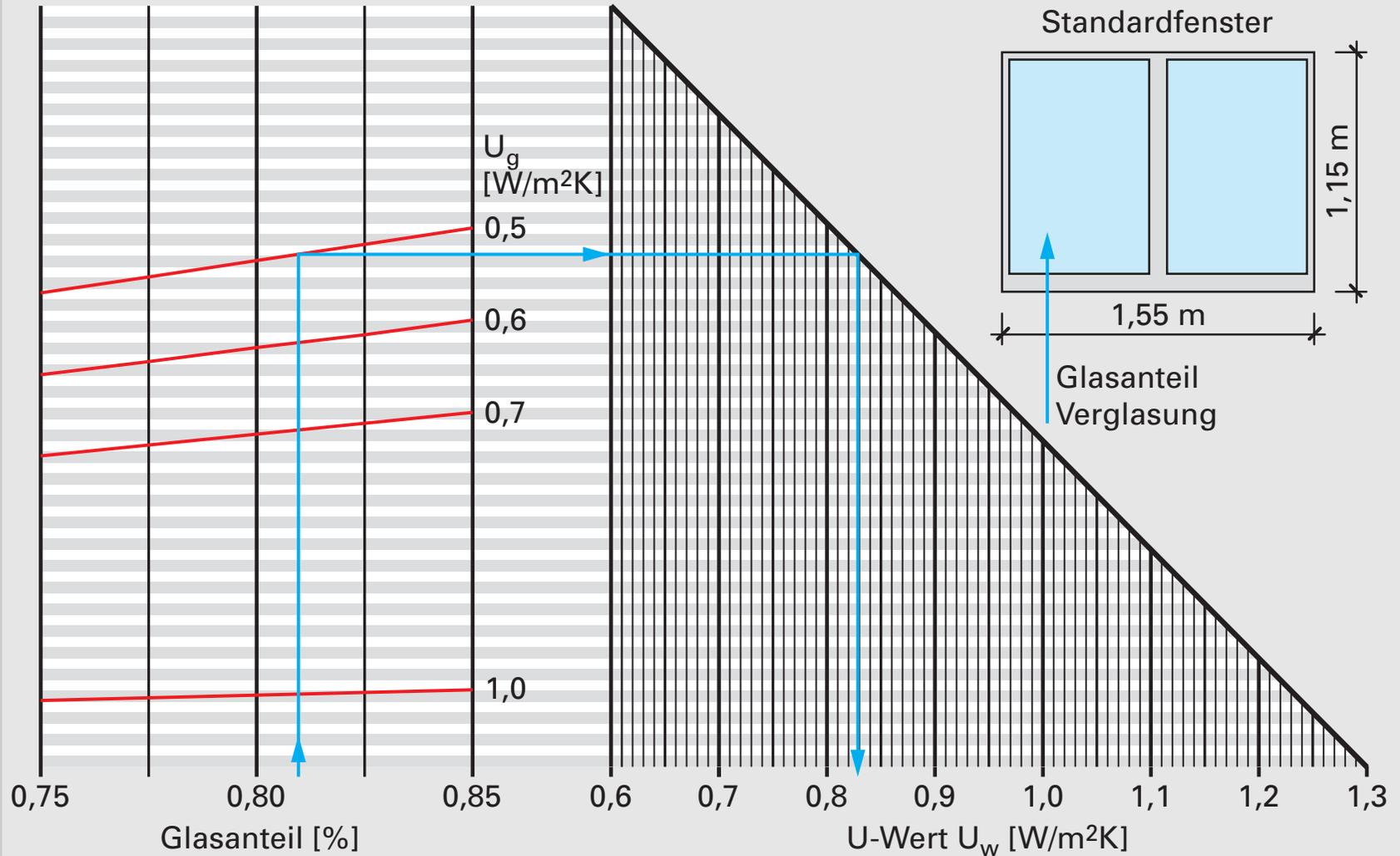
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Einfluss U-Wert Rahmen & Glasanteil

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

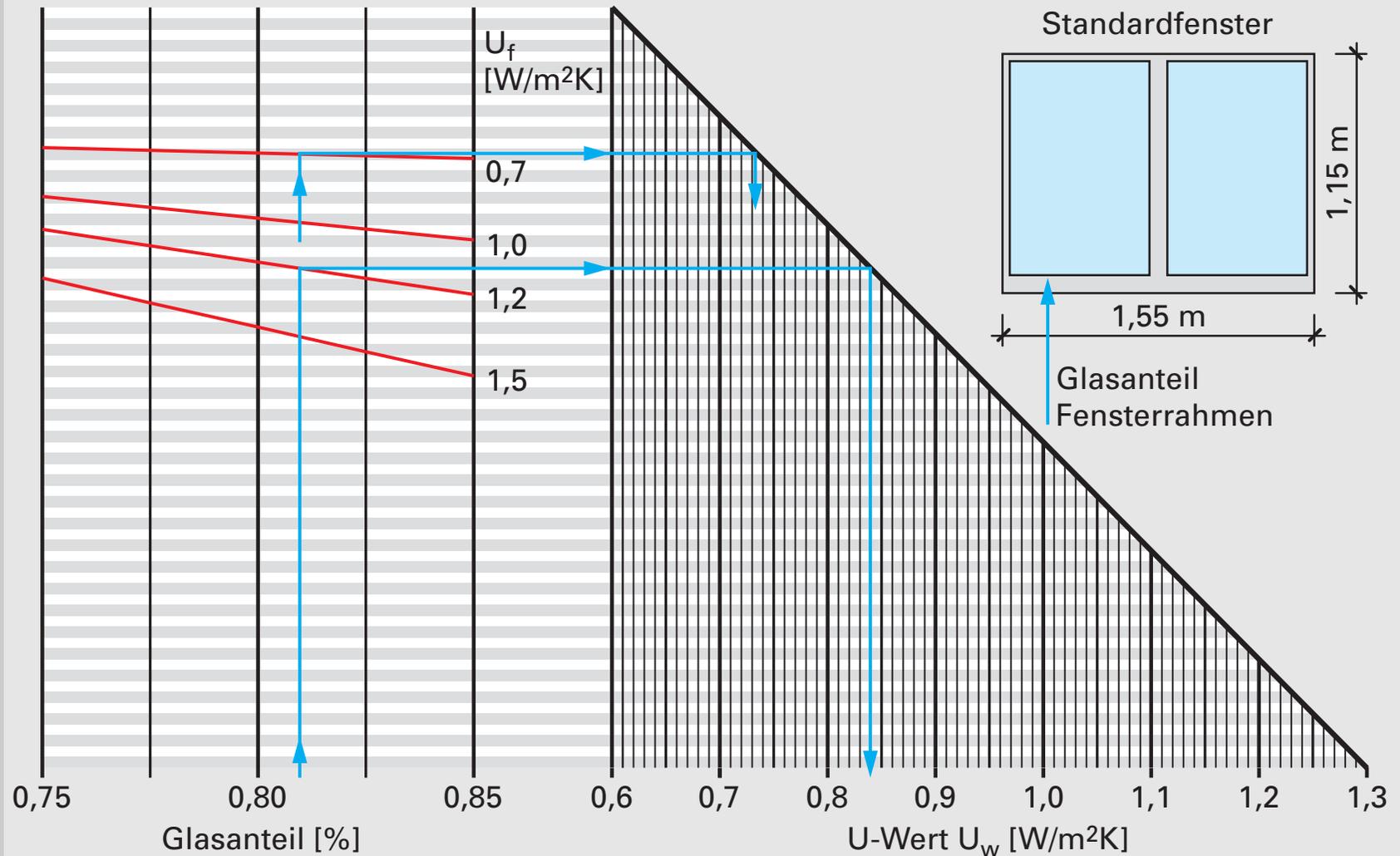
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Fenster für Anforderung «MuKE» bzw. Einzelbauteil-NW

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

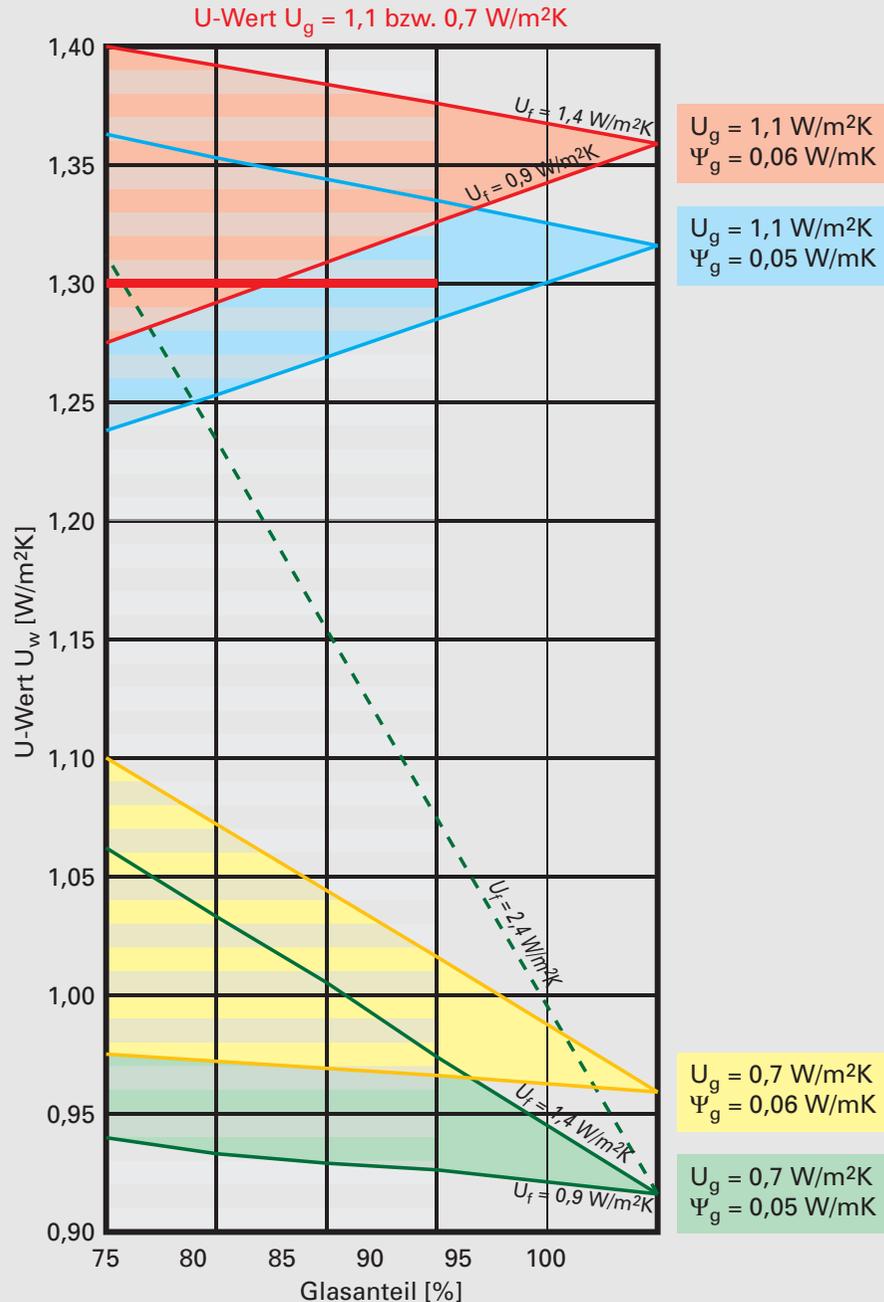
Fenster / Energiestandards:

- **MuKE**
- **MINERGIE / MINERGIE-P**

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Fenster für «MINERGIE Modul»

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

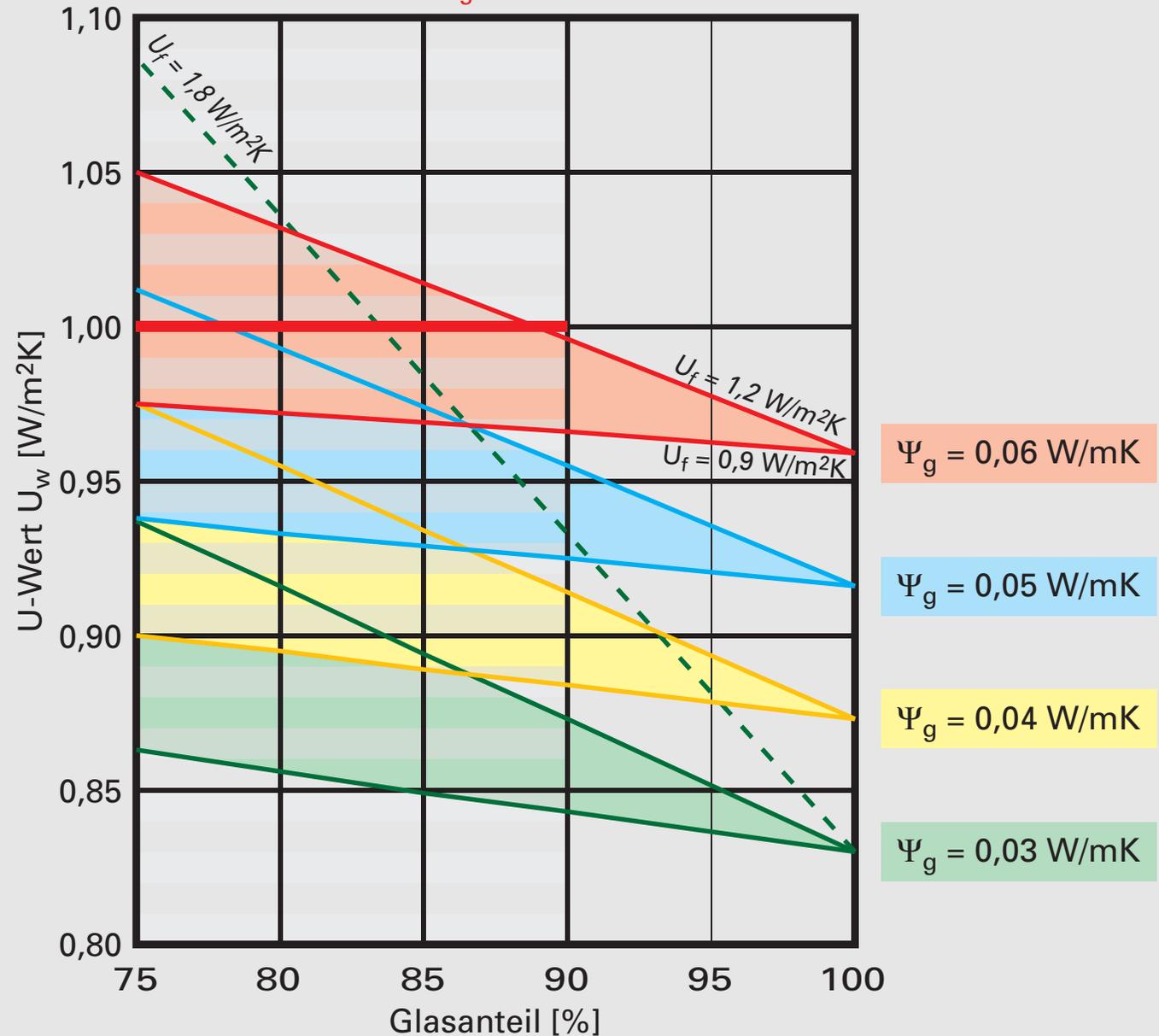
- MuKE
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

U-Wert $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$



Fenster für «MINERGIE-P Modul»

U-Wert $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

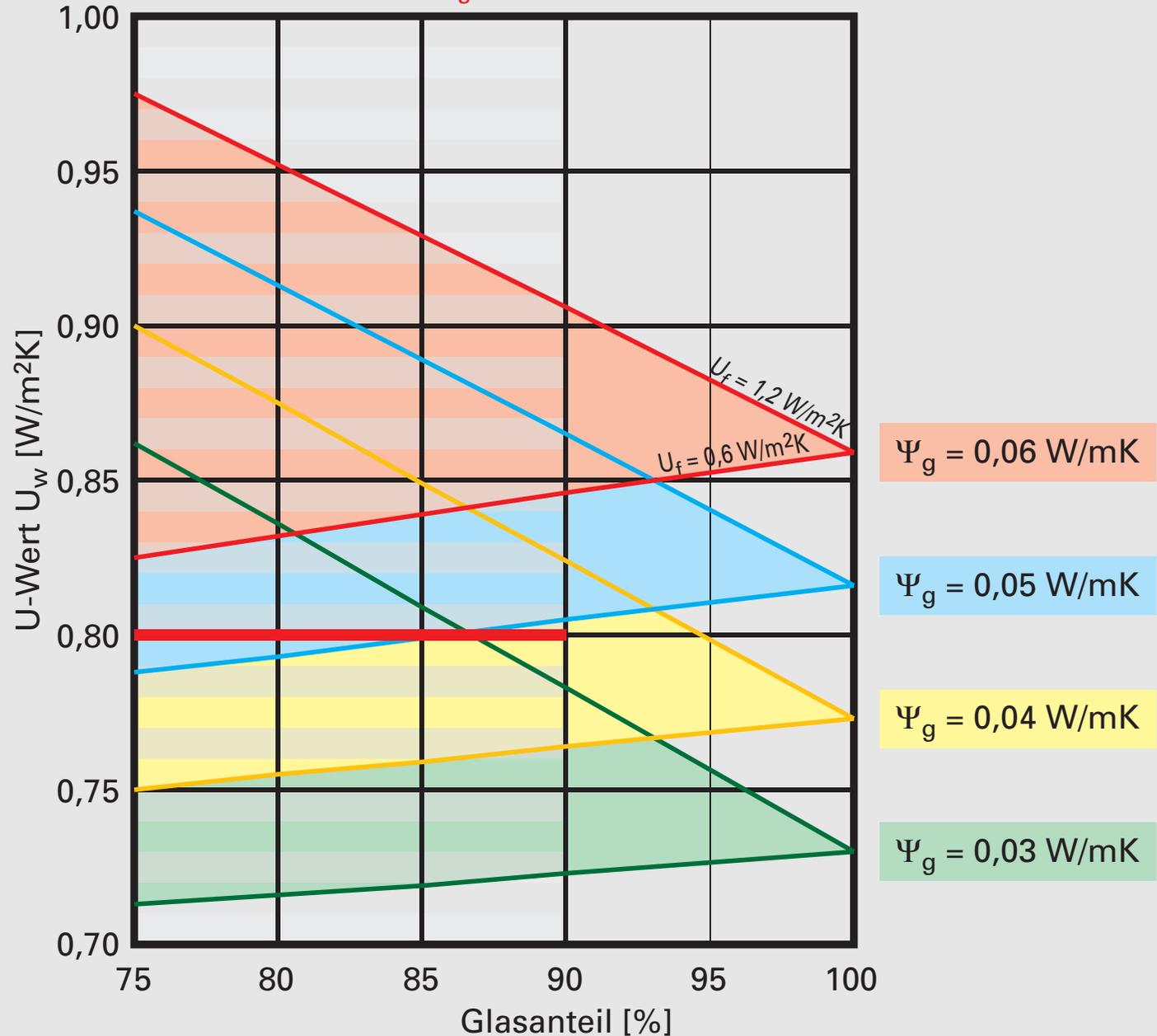
Fenster / Energiestandards:

- MuKE
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Optimierung Fensterflächen und Fensterorientierung

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

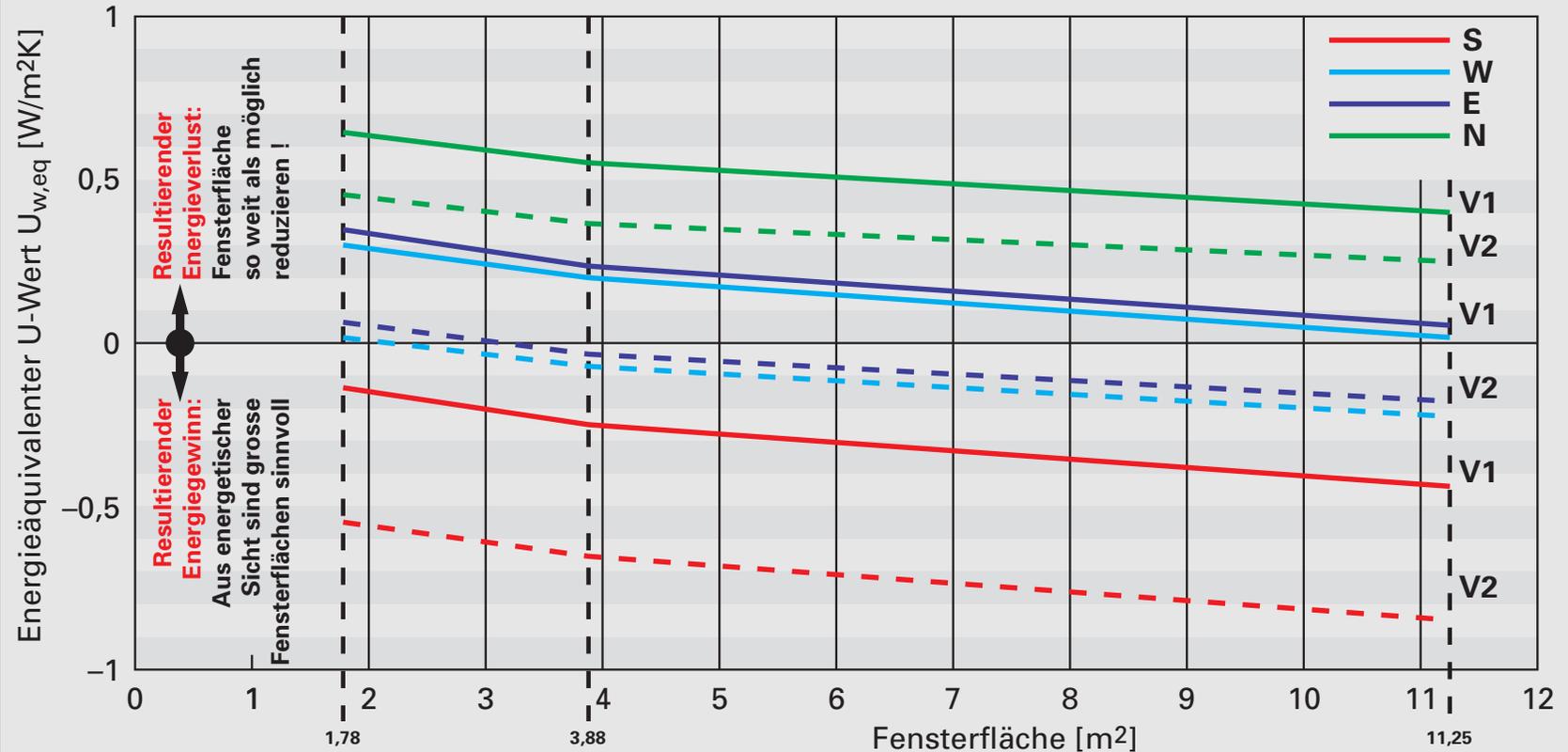
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Randbedingungen:

Fensterkennwerte:

Rahmen mit $U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Glas V1 mit:

- $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

- $\Psi_g = 0,06 \text{ W/mK}$ (Edelstahl)

- $g = 0,47$

Glas V2 mit:

- $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

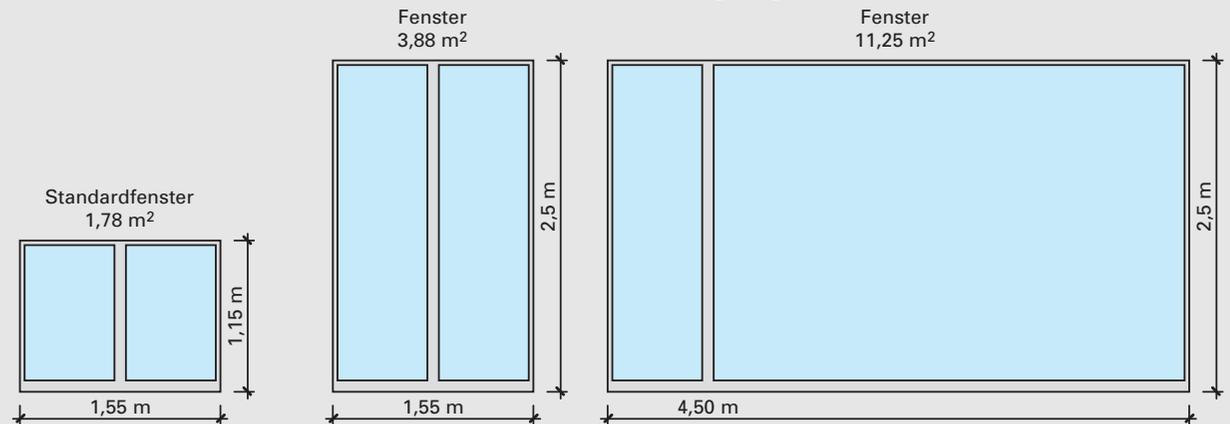
- $\Psi_g = 0,03 \text{ W/mK}$ (Kunststoff)

- $g = 0,60$

Klimakennwerte Zürich SMA

Verschattung $F_s = 0,9$

Ausnutzungsgrad freie Wärme = 0,65



Energieäquivalenter U-Wert $U_{w,eq}$ (Abhängig von Fenstergrösse, Fenster-/Glasqualität und Globalstrahlung)

Optimierung Fensterflächen und Verglasung

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

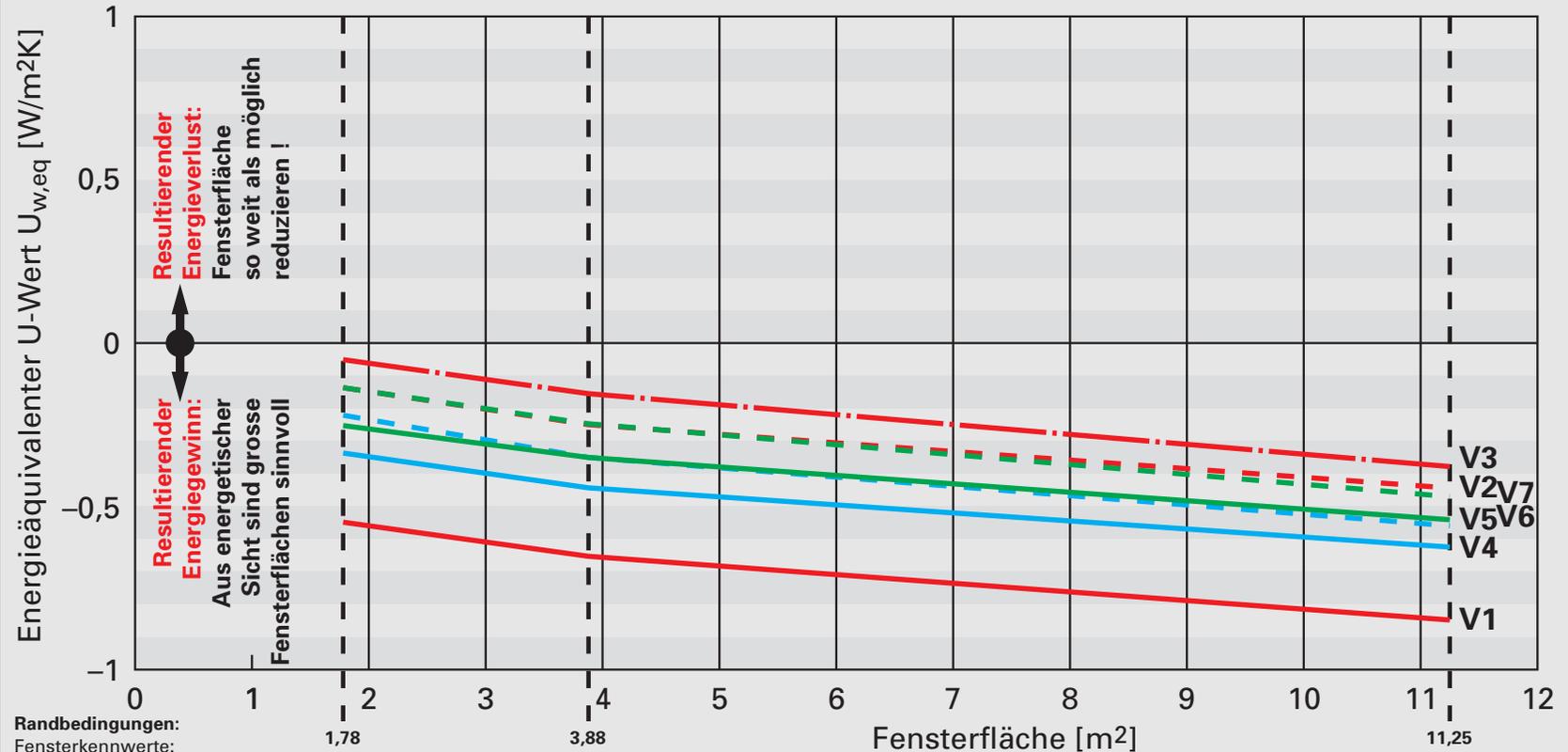
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



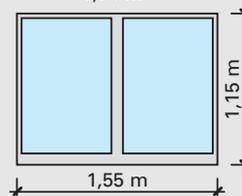
Randbedingungen:

Fensterkennwerte:

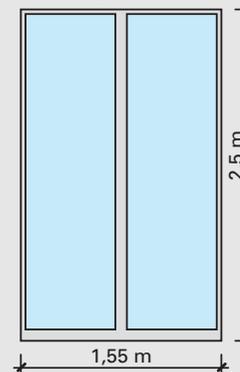
Rahmen mit $U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

| Glasvarianten | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $-U_g$ [W/m²K] | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| $-\Psi_g$ [W/mK] | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,06 |
| $-g$ [-] | 0,60 | 0,47 | 0,47 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 |

Standardfenster
1,78 m²



Fenster
3,88 m²



Fenster
11,25 m²



Energieäquivalenter U-Wert $U_{w,eq}$ (Abhängig von Fenstergrösse, Fenster-/Glasqualität bei Südorientierung)

Optimierung Fensterflächen und Verglasung

Fenster aus Sicht der Energie

- Energieeffizienz beim Bauen
- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

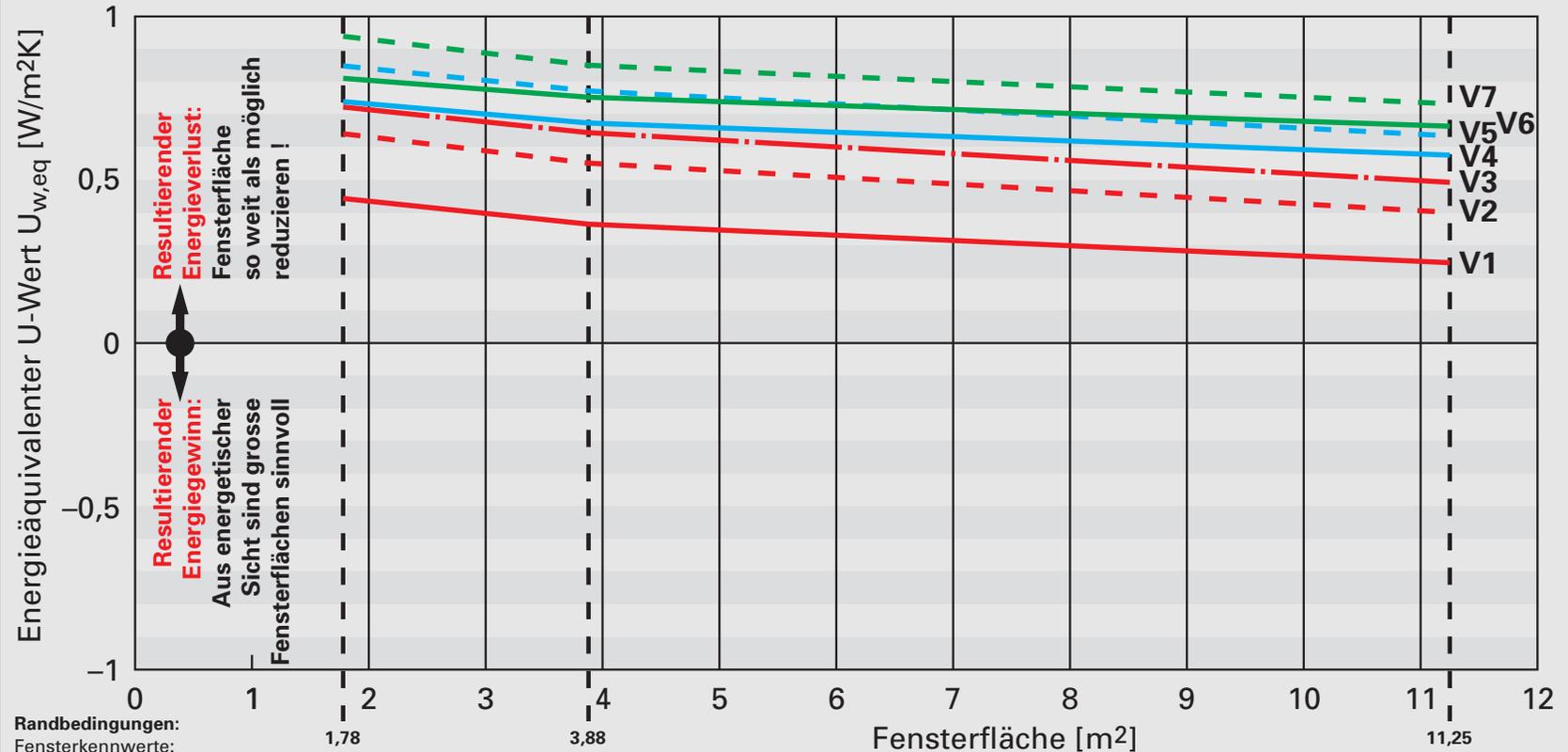
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



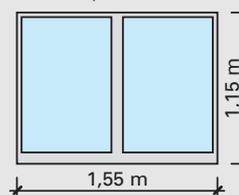
Randbedingungen:

Fensterkennwerte:

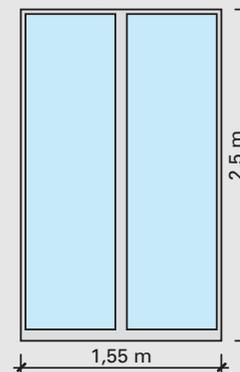
Rahmen mit $U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

| Glasvarianten | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $-U_g$ [W/m²K] | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| $-\Psi_g$ [W/mK] | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,06 |
| $-g$ [-] | 0,60 | 0,47 | 0,47 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 |

Standardfenster
1,78 m²



Fenster
3,88 m²



Fenster
11,25 m²



Energieäquivalenter U-Wert $U_{w,eq}$ (Abhängig von Fenstergrösse, Fenster-/Glasqualität bei Nordorientierung)

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Behaglichkeit im Sommer: g-Wert-Anforderung

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

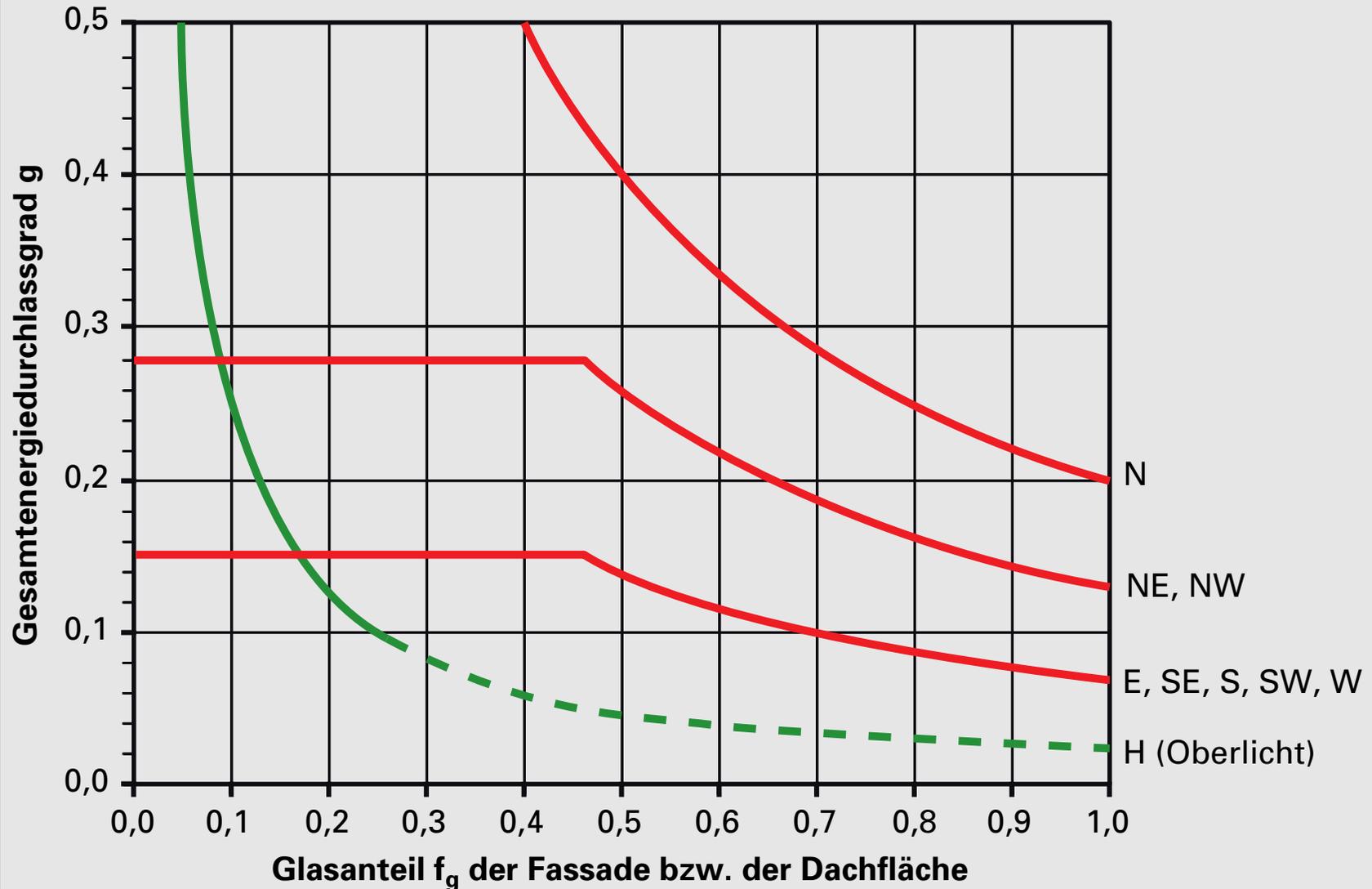
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Behaglichkeit im Sommer: g-Wert-Anforderung

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

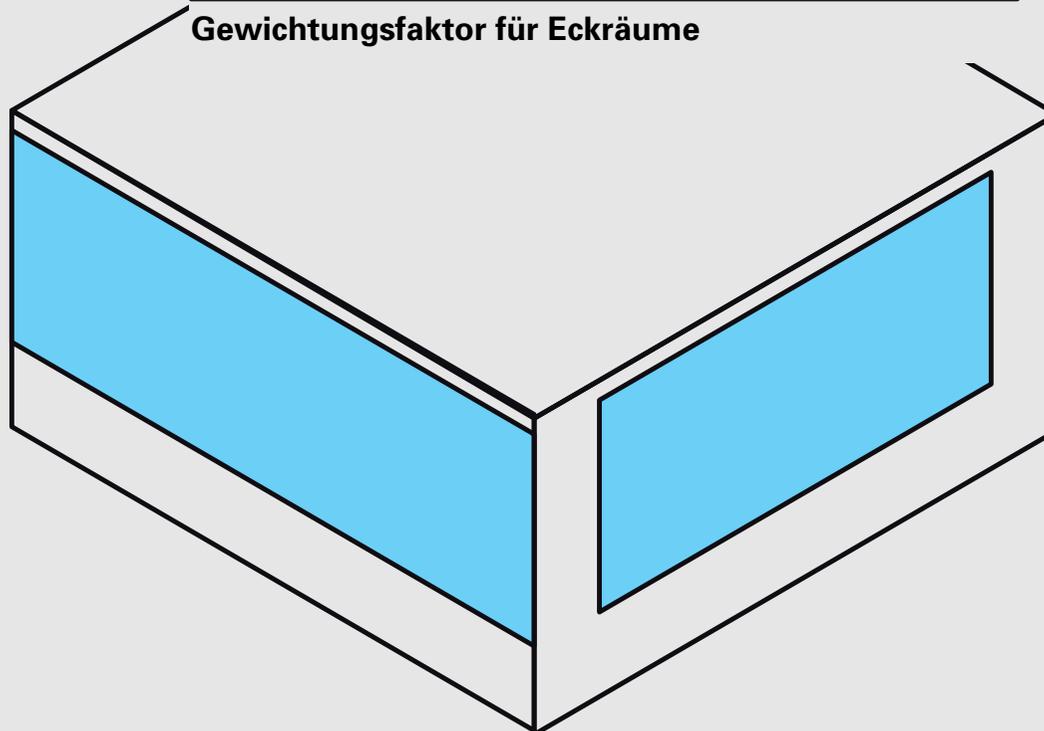
Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter

| Orientierung Hauptfassade | Orientierung zusätzliche Fassade | | |
|---------------------------|----------------------------------|-----------|-----------------|
| | N | N, NE, NW | E, SE, S, SW, W |
| N | – | 1,54 | 2,86 |
| NE, NW | 0,65 | 1,00 | 1,86 |
| E, SE, S, SW, W | 0,35 | 0,54 | 1,00 |

Gewichtungsfaktor für Eckräume



Beispiel für Eckraum:

- Gewichtungsfaktor = 1,0
- Massgebende totale Glasfläche = $20,0 \text{ m}^2 + 7,5 \text{ m}^2 \times 1,0 = 27,5 \text{ m}^2$
- Massgebender Glasanteil der Hauptfassade = $27,5 \text{ m}^2 : 30 \text{ m}^2 = 0,92$
- Anforderung an g-Wert: $\leq 0,076$

Diese Anforderung ist strenger als die Anforderung aus der fassadenweisen Betrachtung.

Der g-Wert von 0,076 gilt somit für beide Fassaden.

Südfassade (Hauptfassade):

- Länge 10 m
- Glasfläche 20 m^2
- Fassadenfläche 30 m^2
- Glasanteil 67 %
- g-Wert «nur Südfassade» $\leq 0,105$

Ostfassade (massgebende Länge = 5 m):

- Länge effektiv 10 m, massgebend 5 m
- Glasfläche effektiv 15 m^2 , massgebend $7,5 \text{ m}^2$
- Fassadenfläche 30 m^2
- Glasanteil 50 %
- g-Wert «nur Ostfassade» $\leq 0,140$

Behaglichkeit im Winter: Kaltluftabfall/ U_g -Wert

Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

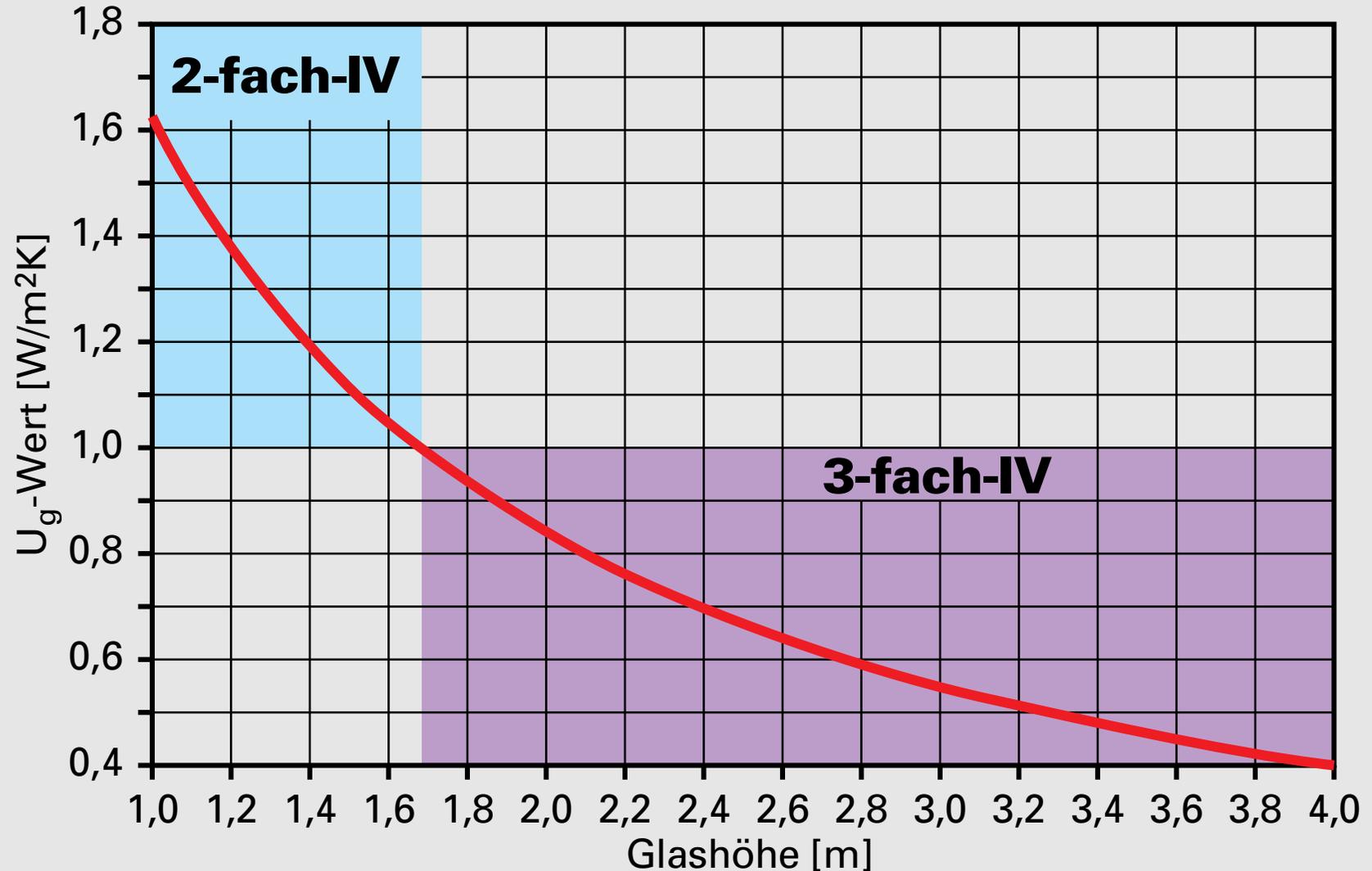
Fenster / Energiestandards:

- MuKE n
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Fenster aus Sicht der Energie

Energieeffizienz beim Bauen

- thermische Gebäudehülle
- Optimierungsstrategie

Verschattung von Fenstern

Optimale Fenster: Beurteilung über die Energiebilanz

Fensterrahmen: U-Wert

Fenster: U-Wert

Fenstereinbau:

- Wärmebrückenverlust
- Oberflächentemperaturen

Sensitivitätsüberlegungen

Fenster / Energiestandards:

- MuKE
- MINERGIE / MINERGIE-P

Optimierung Fenster/Glas

Fenster und Behaglichkeit:

- Sommer
- Winter



Danke für ihr
Interesse !