

13. Juli 2022

FORUM FENSTERBAU FRONTALE

Nicht der niedrigste U-Wert ist beim Fenster der beste –
Wer "U" sagt, muss auch "g" sagen!

Dr. Stephan Schlitzberger
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH

Einführung - Ein Rückblick auf die Wärmeschutzverordnung 1995 im Vergleich zur heutigen Anforderungssystematik des Gebäudeenergiegesetzes

Nutzbare solare Wärmeeinträge in der Energiebilanz

- **Aktuelle und (mögliche) künftige Anforderungen**
 - im Neubau und bei umfänglicher Sanierung
 - im Bestand bei Fenstertausch

Zusammenfassung der wesentlichen Aussagen

Berücksichtigung nutzbarer solarer Wärmeeinträge in der **WSchV 1995**

entweder über

$Q_S = \sum_{i,j} 0,46 * I_j * g_i * A_{F,j,i}$ mit **orientierungsabhängigen Werten für das Strahlungsangebot I_j** (Süd: 400; Ost/West: 275; Nord: 160 kWh/(m²a))

oder über

$k_{eq} = k_F - g * S_F$ mit **orientierungsabhängigen Werten für den Koeffizienten für solare Wärmegewinne S_F** (Süd: 2,40; Ost/West: 1,65; Nord: 0,95 W/(m²K))

In der Anforderungssystematik der **WSchV 1995** waren hiermit höchstens zulässige **Heizwärmebedarfe** bzw. höchstens zulässige **k- bzw. k_{eq} -Werte** ($k_{eq} \leq 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) nachzuweisen.

Berücksichtigung nutzbarer solarer Wärmeeinträge im GEG

nur in der

Gesamtbilanz (Q_p) als Hauptanforderung mit orientierungsabhängigen (monatlichen) Werten für das Strahlungsangebot, im Prinzip vergleichbar mit der WSchV 1995

Die heutige „**Nebenanforderung**“ formuliert zulässige Höchstwerte für den **spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T'** , wobei **keine solare Wärmegewinne berücksichtigt** werden.

Einzelanforderungen werden im Bauteilnachweis auch nur über höchstens zulässige U-Werte **ohne Berücksichtigung solarer Wärmeeinträge** formuliert.

FENSTER IN DER ENERGIEBILANZ

Variation von U- und g-Wert und Auswirkungen auf die Anforderungsgrößen Q_p und H_T'

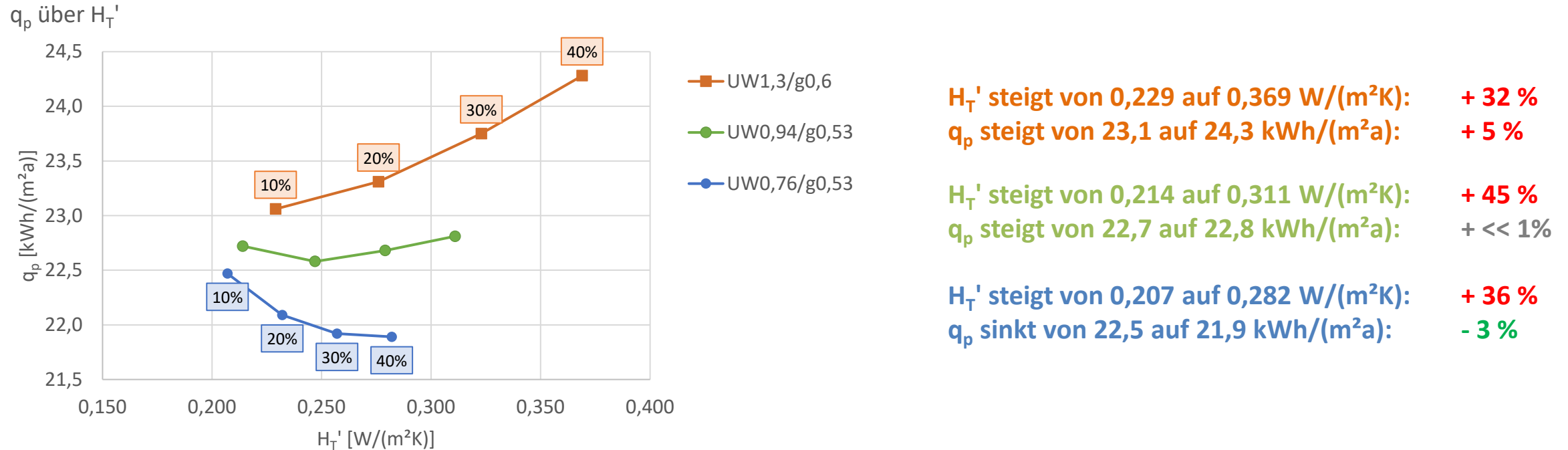
Einfamilienhaus

- modelliert für 4 verschiedene Fensterflächenanteile ($f_{w,g}$) 10, 20, 30 und 40 %
- Verteilung der Fensterflächen: Nord 15 %; Ost/West jeweils 25 %; Süd 35 %
- Bandbreite der Fensterqualitäten von „Standard“ bis „High Performance“



Skizze EFH aus Modellgebäudetypologie

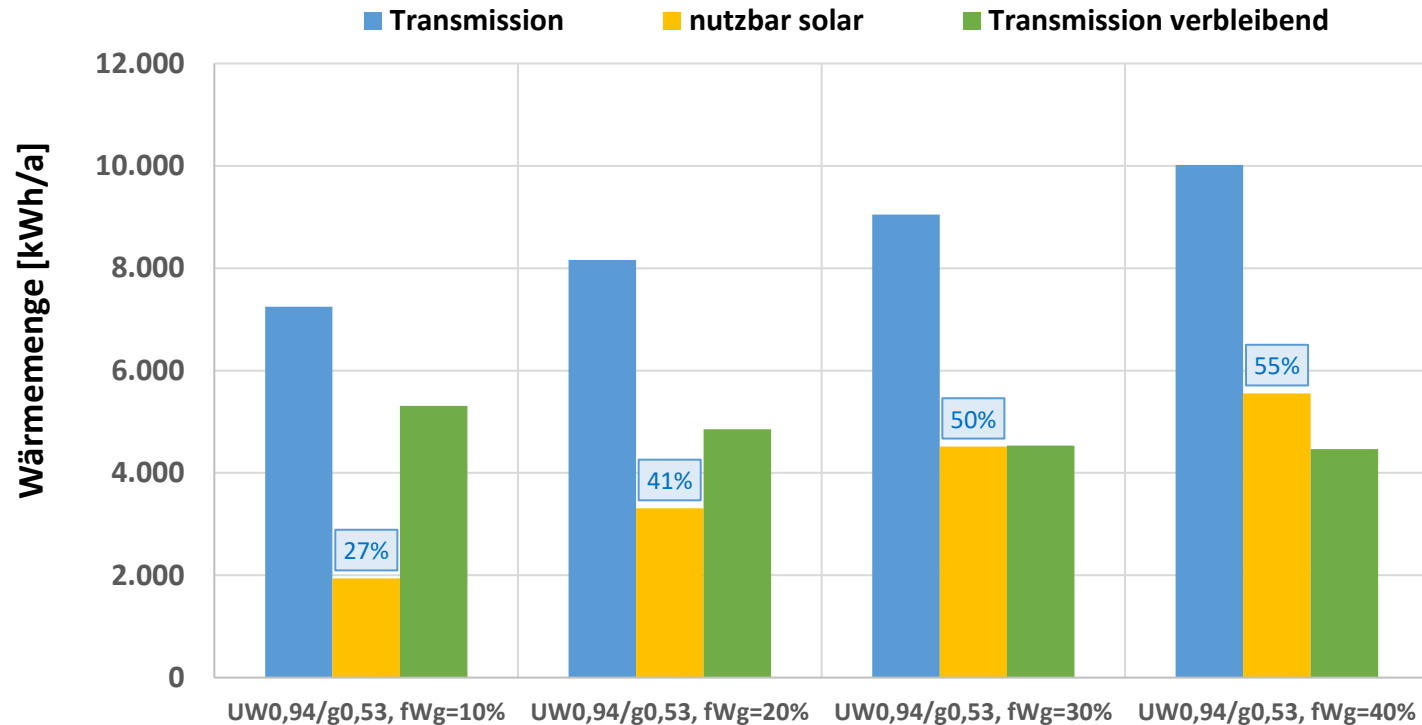
EFH als Effizienzhaus 55 mit regenerativer Wärmeerzeugung, Variation Fenster



- Die Anforderungsgröße H_T' kann zu Fehloptimierungen führen!
- Diese "Gefahr" besteht bei regenerativer Wärmeerzeugung. Hier wird z. B. bei Einsatz einer Wärmepumpe die q_p -Anforderung weit übererfüllt und die H_T' -Anforderung wird zur Führungsgröße für die Ausbildung der Gebäudehülle

Weiteres Bilanzierungsbeispiel: Transmissionswärmesenken und nutzbare solare Wärmeeinträge bei Variation des Fensterflächenanteils für ein Fenster mit $U_w = 0,94 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $g = 0,53$

Transmissionswärmeverluste und nutzbare solarer Wärmeeinträge



- mit steigendem Fensterflächenanteil **steigen die Transmissionswärmesenken**
- gleichzeitig **steigen die nutzbaren solaren Wärmeeinträge** und decken zwischen 27 und 55 % der Verluste
- bilanziell **sinkt der Wärmebedarf** mit steigendem Fensterflächenanteil

Zwischenbilanz

- der **Einfluss von U-Wert und der g-Wert** wird in der aktuellen Anforderungssystematik des **GEG nur im Primärenergiebedarf** abgebildet
- in der **H_T' -Anforderung sind die nutzbaren solaren Wärmeeinträge nicht berücksichtigt**
 - -> bei regenerativer Wärmeerzeugung ist die **H_T' -Anforderung allerdings die "Führungsgröße"** für die Ausführung der Gebäudehülle
 - die **Identifizierung einer energetisch optimalen Lösung ist damit nicht möglich**. Im Gegenteil: **schlimmstenfalls werden Fensterflächen verkleinert** (H_T' -Wert "verbessert" sich) **und der Energiebedarf somit erhöht**
- **mögliche Lösungen zur Berücksichtigung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge in der Anforderungssystematik**
 - ❖ Verwendung eines **Transferkoeffizienten $H_{T,S}'$** (anstelle von H_T') als Effizienzanforderung (Rechenbeispiel folgt) (im Rahmen der Begleitforschung zur Fortschreibung des GEG aktuell verworfen)
 - ❖ Verwendung des **Heizwärmebedarfs ($q_{h,b,0}$)** als Effizienzanforderung
 - anvisierte Anforderungsgröße für ein künftiges GEG (noch nicht ab Jan. 2023)
 - **zusätzlich zur Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge** wird mit dem **Heizwärmebedarf auch die Effizienz der Lüftung** erfasst. Hieraus ergibt sich eine **Flexibilisierung** für die Ausführung (**bei Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG kann z.B. bei den U-Werten der Bauteile "nachgelassen" werden**)

$H_{T,S}'$ als mögliche Anforderungsgröße anstelle von H_T' in einem künftigen GEG, Beispiel

- Transmissionswärmesenken:
- **nutzbare solare Wärmeeinträge:**
- äquivalente Transmissionswärmesenken:
- Gradstunden
- **(verbleibende)** Transmissionswärmeverluste:
- bezogen auf die wärmeübertragende Hüllfläche
- **(verbleibender)** spezifischer Transmissionswärmeverlust

| | für $H_{T,S}'$ | für H_T' |
|--|---------------------------------|------------------------------|
| | 10.347 kWh/a | 10.347 kWh/a |
| | - 2.483 kWh/a | |
| | 7.865 kWh/a | |
| | <u>/ 85,7 kWh/a</u> | <u>/ 85,7 kWh/a</u> |
| | 91,8 W/K | 120,7 W/K |
| | <u>/ 368,7 m²</u> | <u>/ 368,7 m²</u> |
| | 0,249 W/(m²K) | 0,327 W/(m ² K) |

Differenz entspricht dem Einfluss der nutzbaren solaren Wärmeeinträge!

ANFORDERUNGEN IM BESTAND

Der Bilanzkennwert als Ersatz für U-Wert-Anforderungen für den Fenstertausch

Anforderungen an transparente Bauteile bei Fenstertausch nach § 48 GEG i. V. m. Anlage 7

- **§ 48 Anforderungen an ein bestehendes Gebäude bei Änderung**
"Soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen eines Gebäudes Außenbauteile im Sinne der Anlage 7 erneuert, ersetzt oder erstmalig eingebaut werden, sind diese Maßnahmen so auszuführen, dass die betroffenen Flächen des Außenbauteils die **Wärmedurchgangskoeffizienten der Anlage 7** nicht überschreiten. "
- nach Anlage 7 lautet die Anforderung an Fenster (für Wohngebäude und normal beheizte Nichtwohngebäude)
 $U_w \leq 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- was zuvor als **Nachteil** am H_T' -Wert beschrieben wurde, gilt sinngemäß auch für den **U-Wert von Bauteilen, mit dem nur die Wärmeverluste, nicht jedoch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge erfasst werden**

KenngroÙe zur Bewertung der energetischen Qualität transparenter Bauteile

- Für Fenster bzw. Verglasungen kann ein sog. Bilanzkennwert angegeben werden (kurz: BK). Bilanzkennwerte für Fenster und Verglasungen beschreiben im Heizfall nicht allein die Transmissionswärmeverluste als KenngroÙe, sondern berücksichtigen auch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge.
- Mithilfe des Strahlungsgewinnkoeffizienten (S_F -Wert) kann der Einfluss unterschiedlich nutzbarer solarer Wärmeeinträge beschrieben werden. Mit diesem wird der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases g gewichtet und vom Warmedurchlasskoeffizienten des Bauteils abgezogen.

$$BK = U - g \cdot S_F$$

zur Erinnerung (WSV 1995):

$$k_{eq} = k_F - g * S_F$$

Dabei ist

| | |
|-------|--|
| BK | Bilanzkennwert des Bauteils in $W/(m^2 \cdot K)$; |
| U | der Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils |
| g | der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases |
| S_F | der Strahlungsgewinnkoeffizient |

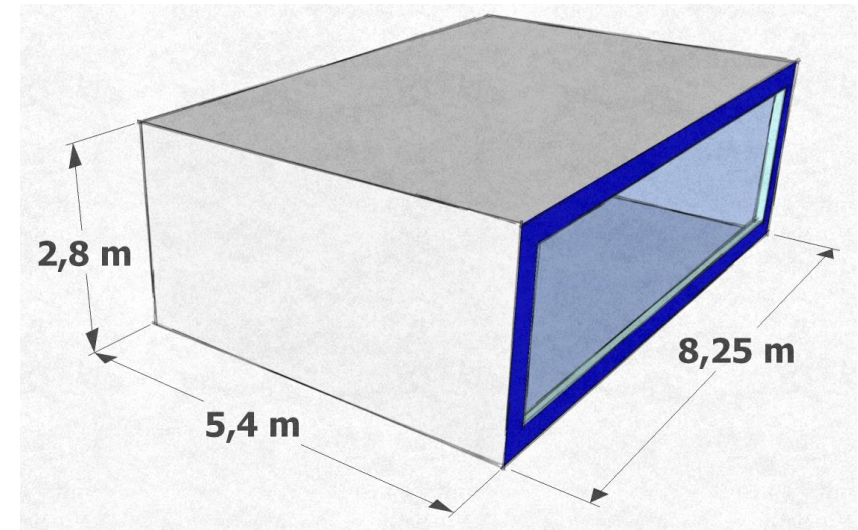
Methode zur Bestimmung von Bilanzkennwerten und S_F -Werten

1. energetische Bilanzierung eines Raumes und Ermittlung des Heizwärmebedarfs, z. B. für ein Fenster mit $U_W = 1,3$ und $g = 0,60$
-> **tatsächlicher Heizwärmebedarf** des Raumes unter Berücksichtigung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge
2. Bilanzierung derselben Situation mit einem Fenster mit $U_W = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $g = 0$
-> (erhöhter) **Heizwärmebedarf ohne solare Einträge** bei demselben U_W -Wert
3. Reduzierung des U_W -wertes (bei $g = 0$), bis der tatsächliche Heizwärmebedarf aus Schritt 1 erreicht wird
-> der auf diese Weise "gefundene" U-Wert entspricht dem **Bilanzkennwert BK**

Beispiel Besprechungsraum

- Fassade nach Osten orientiert
- fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 70 %

$$\text{BK} = 0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



Methode zur Bestimmung von Bilanzkennwerten und S_F -Werten

für dieses Beispiel ergibt sich der S_F wie folgt:

mit $U_W = 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, und $g = 0,60$

und (abgelesen) **BK = 0,42 W/(m²K)**

$$BK = U_W - g * S_F \quad \rightarrow \quad S_F = \frac{U_W - BK}{g} = \frac{1,3 - 0,42}{0,60} = 1,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Nach dieser Methodik wurden die wesentlichen Einflüsse auf die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge in einer umfassenden Studie* untersucht:

Orientierung, Neigung, Fensterflächenanteil, Nutzung, Wärmeschutzniveau, Bauart

* im Auftrag des VFF, BF, IVRSA und Velux Deutschland

Methode zur Bestimmung und Verwendung des BK-Wertes soll in DIN V 18599-2 in Anhang F aufgenommen werden

- es wird ein vereinfachtes und ein detailliertes Verfahren zur Bestimmung von S_F -Werten beschrieben sein
- S_F -Werte im vereinfachten Verfahren:

S_F -Werte* in Abhängigkeit von der Nutzung und Orientierung

| Nutzung | EFH und Nichtwohngebäude mit kleinen Fensterflächen*** | MFH und Nichtwohngebäude mit großen Fensterflächen*** |
|----------------|--|---|
| Orientierung** | | |
| Nord | 0,9 | 0,7 |
| Ost/West | 1,1 | 1,0 |
| Süd | 1,7 | 1,5 |

* bei Vorhandensein oder geplantem Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sind die S_F -Werte mit 0,75 (Wohnnutzung) bzw. 0,60 (Nichtwohnnutzung) zu multiplizieren

** Die Werte gelten für die angegebene Orientierung +/- 45°. In Grenzfällen ist der ungünstigere (niedrigere) S_F -Wert zu verwenden.

*** kleine Fensterflächen: bei grundflächenbezogenem Fensterflächenanteil $f_{w,g} \leq 40$ %; große Fensterflächen bei $f_{w,g} > 40$ %.

Anforderungen würden dann für EFH z. B. so lauten:

Nord:

$$BK \leq 0,95 - 0,9 * 0,50 = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Ost/West:

$$BK \leq 0,95 - 1,1 * 0,50 = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Süd:

$$U_{eq} \leq 0,95 - 1,7 * 0,50 = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

- das vereinfachte Verfahren würde sich eignen, um direkt von einem künftigen GEG in Bezug genommen zu werden. Hier würden die Eigenschaften eines Referenzfensters z. B. mit $U_w = 0,95$ und $g = 0,50$ benannt. Anforderungswert wäre dann nicht mehr der U-Wert, sondern ein orientierungsabhängiger Bilanzkennwert BK.

Konsequenzen/Anwendungsbeispiel

Frage:

Ist ein Fenstertausch durch Fenster mit $U_w = 1,1$ und $g = 0,64$ zulässig?

Berechnung der Bilanzkennwerte:

Nord:

$$BK \leq 1,1 - 0,9 * 0,64 = 0,52 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Ost/West:

$$BK \leq 1,1 - 1,1 * 0,64 = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Süd:

$$U_{eq} \leq 1,1 - 1,7 * 0,64 = 0,01 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Anforderungen würden dann für EFH z. B. so lauten:

Nord:

$$BK \leq 0,95 - 0,9 * 0,50 = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Ost/West:

$$BK \leq 0,95 - 1,1 * 0,50 = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Süd:

$$U_{eq} \leq 0,95 - 1,7 * 0,50 = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

- Insbesondere bei einer Ausführung der Gebäudehülle auf hohem Wärmeschutzniveau decken die nutzbaren **solaren Wärmeeinträge einen signifikanten Anteil der Wärmeverluste**
- Die **gegenwärtige Anforderungssystematik des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)** berücksichtigt dies für **Neubau und Sanierung nur unzureichend** und muss unbedingt angepasst werden, um Effizienz zu fördern und Einsparungen zu maximieren
- Die für ein künftiges Gebäudeenergiegesetz anvisierte **Umstellung der Effizienzanforderung von H_T' auf $q_{h,b,0}$** ist ein wichtiger und richtiger Schritt
- aber auch die **Abkehr vom U-Wert als Einzelanforderung** an transparente Bauteil im Sanierungsfall **hin zum Bilanzkennwert** ist ein ebenso wichtiger Schritt, um die Bedeutung der solaren Wärmeeinträge zu unterstreichen, denn
- **"Die Sonne schickt uns keine Rechnung"** (Franz Alt)