

*29. Februar 2024 | Melle-Osnabrück*

*Fensterfachtagung 2024*

# Fensters im Kontext des Klimawandels und der architektonischen Anforderungen

**Dr. Stephan Schlitzberger**  
**Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH**

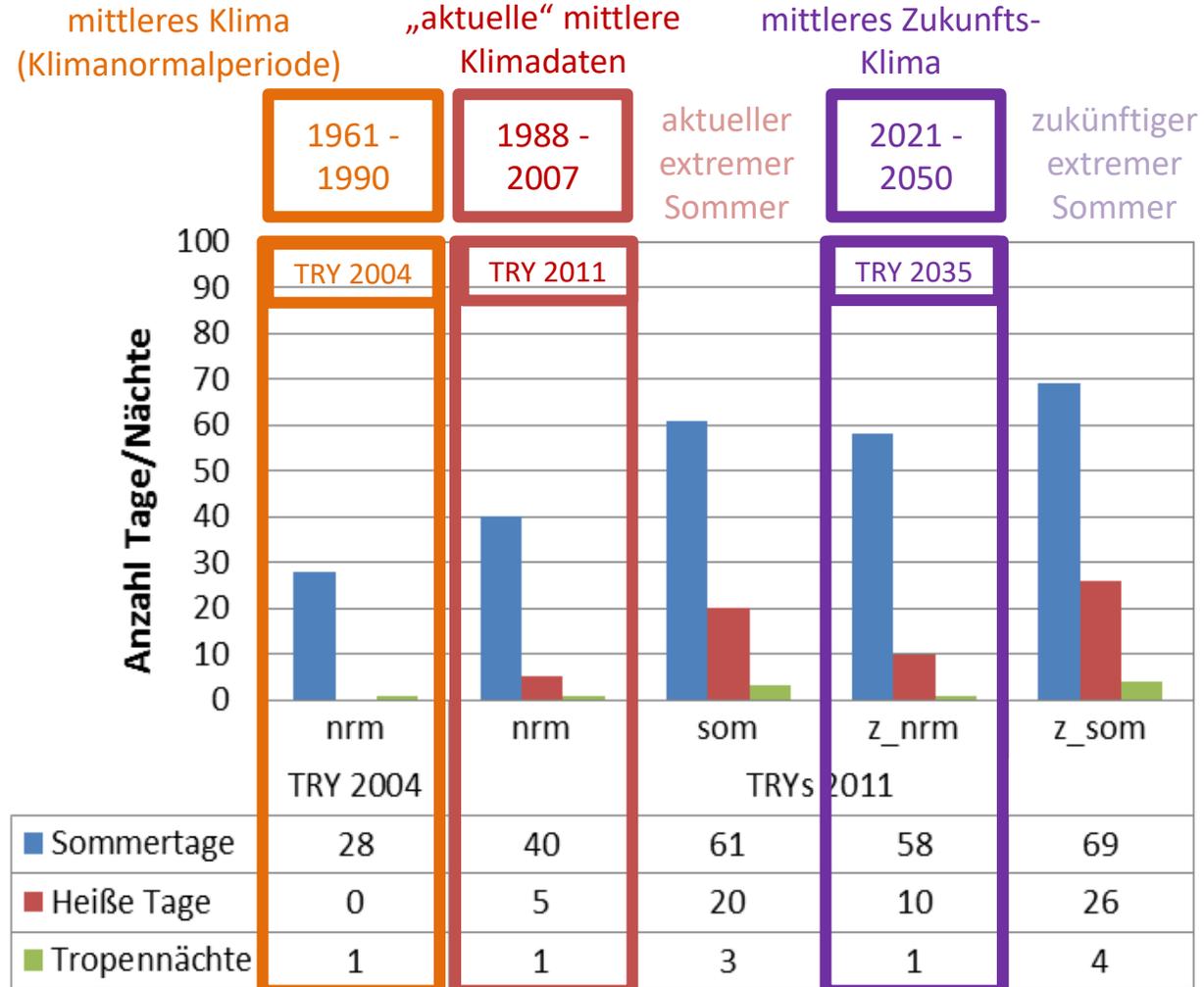
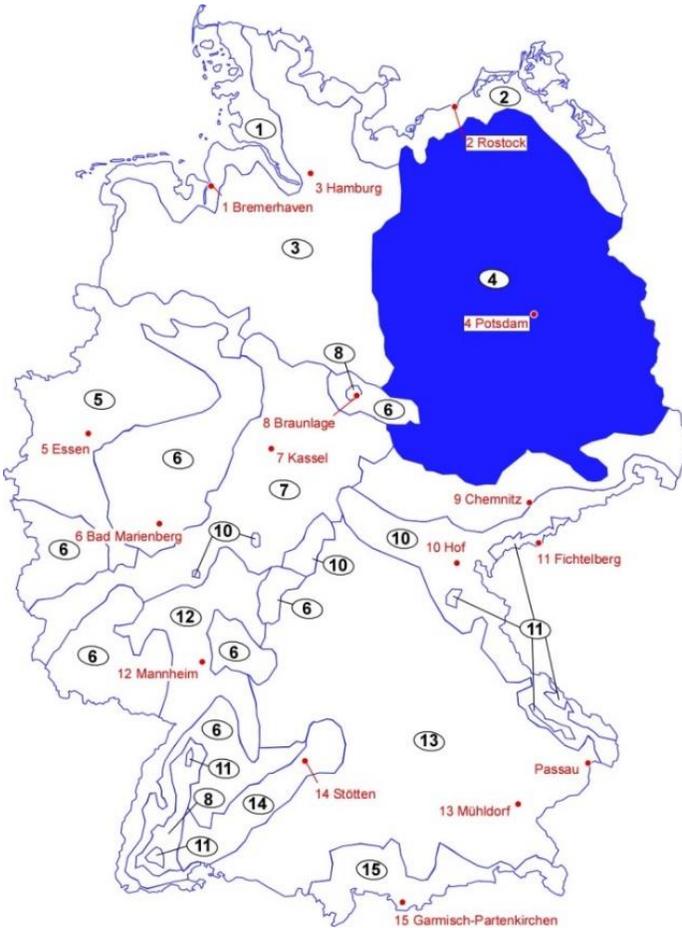
- Wie wird sich der **Klimawandel** auf das **thermische und energetische Verhalten** von Gebäuden auswirken?
- Wie sehen **nachhaltige Lösungen** zur Sicherstellung eines hinreichenden thermischen **Komforts bzw. zur Einsparung von Energieaufwand** für Kühlung unter künftigen Klimarandbedingungen aus?
- Berücksichtigung der **Wechselwirkungen von sommerlichem und winterlichem Wärmeverhalten** als Voraussetzung für optimierte Gebäudekonzepte





**Es wird Zeit, dem Klimawandel und seinen Auswirkungen auf Gebäude mehr Beachtung zukommen zu lassen!**

# ***KLIMAWANDEL IN ZAHLEN***



- **Sommertage:** Tage mit Außenlufttemperatur > 25 °C
- **Heiße Tage:** Tage mit Außenlufttemperatur > 30 °C
- **Tropennächte:** Nächte mit Außenlufttemperatur nicht unter 20 °C

### DIN 4108-2 : Klimadaten DWD 2011

15 TRY-Regionen -> 15 Datensätze

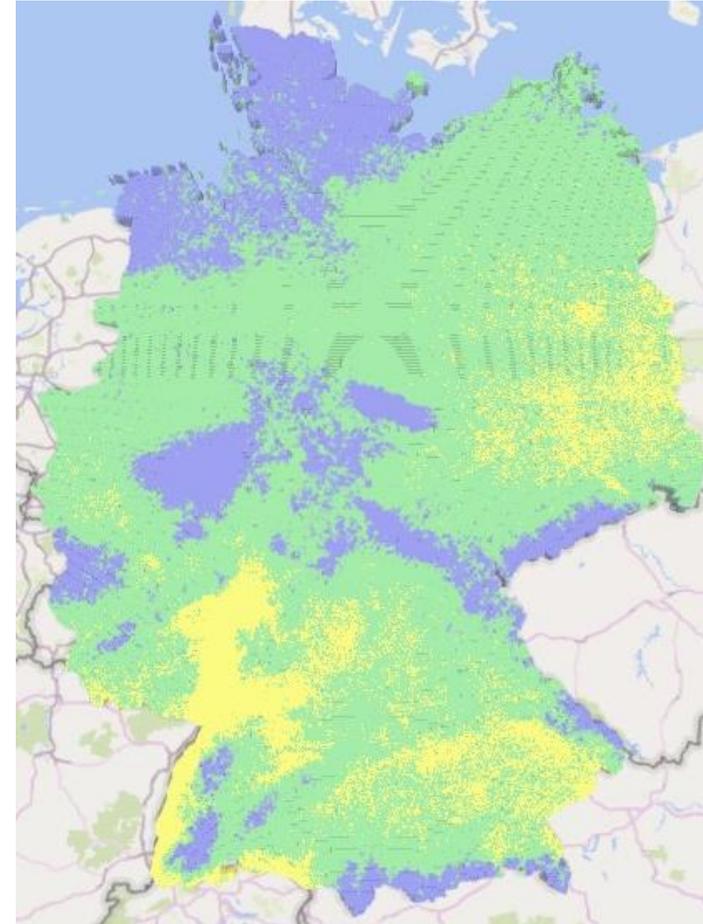


Quelle: DIN 4108-2:2013-02



### neue Klimadaten DWD „2015“

ca. 360.000 km<sup>2</sup> => 333.321 Datensätze



### DIN 4108-2 : Klimadaten DWD 2011

15 TRY-Regionen -> 15 Datensätze

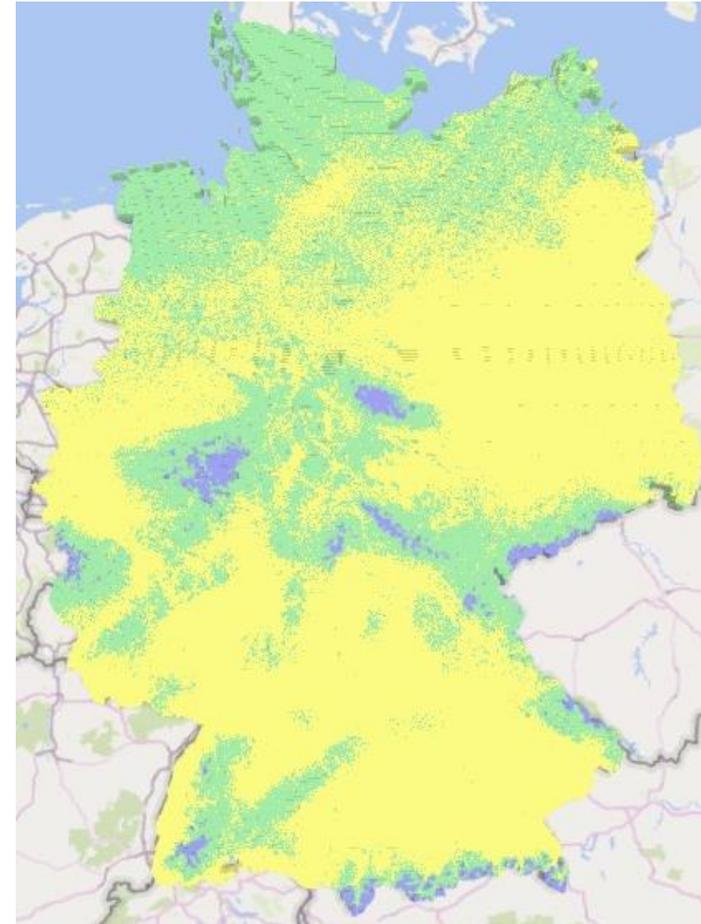


Quelle: DIN 4108-2:2013-02



### neue Klimadaten DWD „2045“

ca. 360.000 km<sup>2</sup> => 333.321 Datensätze



# ***ANFORDERUNGEN AN DEN SOMMERLICHEN WÄRMESCHUTZ***

### Anforderungen

... gelten nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) nur für Neubauten (und für Erweiterungen von Bestandsgebäuden, wenn die hinzukommende Fläche größer 50 m<sup>2</sup> ist)

- gemäß §3 für **Wohngebäude** und
- gemäß §4 für **Nichtwohngebäude**.

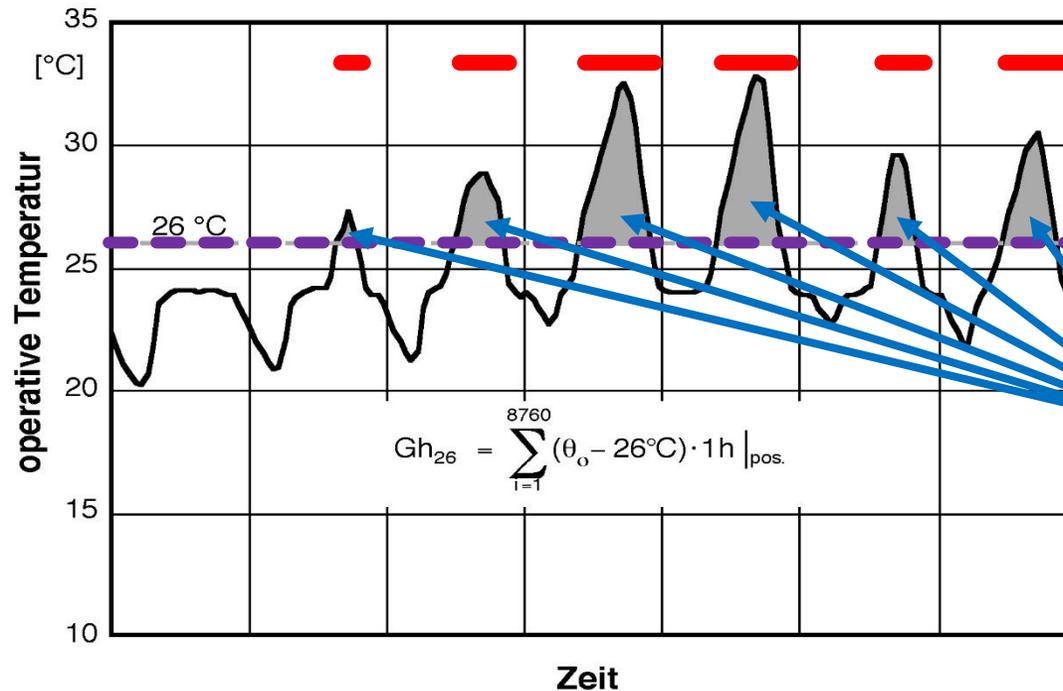
**Für den Nachweis von Effizienzhäusern/Effizienzgebäuden ist (seit dem 1.7.2021, Inkrafttreten der BEG-Förderrichtlinien) auch bei Sanierungen im Bestand der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 zu erbringen!**

Das GEG verweist hinsichtlich der Nachweisführung auf die DIN 4108-2:2013-2 und nennt explizit die dort beschriebenen Nachweismöglichkeiten:

- 1. Sonneneintragskennwert-Verfahren**  
(für Standardsituationen und frühe Planungsphasen)
- 2. Simulationsrechnung**  
(genauere Berechnung für „besondere“ Situationen, nicht standardisierte Produkte, Lösungsfindung für thermisch hoch beanspruchte Räume)

## Simulation: Nachweis über maximal zulässige Übertemperaturgradstunden

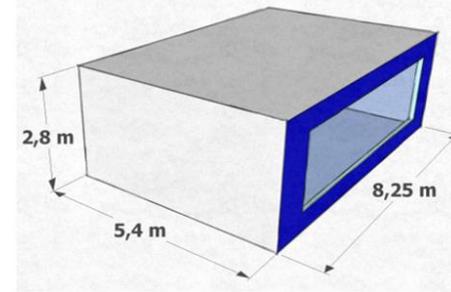
Sommerklimaregion	Bezugswert $\theta_{b,op}$ der Innentemperatur °C	Anforderungswert Übertemperaturgradstunden Kh/a	
		Wohngebäude	Nichtwohngebäude
A	25	1 200	500
B	26		
C	27		



**Überschreitungshäufigkeit** (berücksichtigt die Überschreitungsdauer der Bezugstemperatur).  
Entspricht hier also der Gesamtlänge der roten Linien.

**Übertemperaturgradstunden** (berücksichtigt die Überschreitungsdauer und die Überschreitungshöhe der Bezugstemperatur).  
Entspricht hier also der Summe der grauen Einzelflächen.

### Aktuelles Klima und Zukunftsklima im Vergleich



<b>Raum</b> zen1.5b1.5t_breit	<b>Fensterflächenanteil</b> mittel	<b>Orientierung</b> Ost	<b>Klimadaten</b> TRY2010_04 TRY2045_04	<b>Nutzung</b> WG_oK
<b>U<sub>w</sub>-Wert</b> UW095	<b>g-Wert</b> g060-g006	<b>F<sub>c</sub>-Wert</b> FC100	<b>Steuerung Sonnenschutz</b> a300	<b>Lüftung</b> NL2

Gh<sub>26</sub> = 1.182 Kh/a

aktuelle Klimadaten

Gh<sub>26</sub> = 2.549 Kh/a

Zukunftsklima

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh <sub>25</sub> - Gh <sub>35</sub> [Kh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Gh <sub>25</sub>	2.240	1.618	1.092	691	393	193	83	26	2	0
<b>Gh<sub>26</sub></b>	<b>1.182</b>	773	463	247	113	43	8	0	0	0
Gh <sub>27</sub>	550	317	161	73	22	2	0	0	0	0
Gh <sub>28</sub>	220	114	47	14	1	0	0	0	0	0
Gh <sub>29</sub>	80	32	10	0	0	0	0	0	0	0
Gh <sub>30</sub>	24	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh <sub>31</sub>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh <sub>32</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh <sub>33</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen T <sub>op,max</sub> [°C] für Normalklima (TRY2010)										
T <sub>op,max</sub>	31,6	30,8	29,9	29,0	28,1	27,3	26,6	25,9	25,2	24,3
Heizwärmebedarf Q <sub>h,b</sub> [kWh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Q <sub>h,b</sub>	1.080	1.121	1.166	1.216	1.274	1.346	1.422	1.503	1.595	1.718

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh <sub>25</sub> - Gh <sub>35</sub> [Kh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Gh <sub>25</sub>	4.137	3.143	2.284	1.588	1.049	625	328	132	26	3
<b>Gh<sub>26</sub></b>	<b>2.549</b>	1.825	1.260	808	472	237	85	17	1	0
Gh <sub>27</sub>	1.481	1.000	622	355	170	56	13	1	0	0
Gh <sub>28</sub>	787	480	267	119	38	12	1	0	0	0
Gh <sub>29</sub>	372	196	82	28	10	0	0	0	0	0
Gh <sub>30</sub>	138	56	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh <sub>31</sub>	39	15	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh <sub>32</sub>	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh <sub>33</sub>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen T <sub>op,max</sub> [°C] für Zukunftsklima (TRY2045)										
T <sub>op,max</sub>	33,3	32,6	31,7	30,9	30,0	29,1	28,2	27,2	26,2	25,4
Heizwärmebedarf Q <sub>h,b</sub> [kWh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Q <sub>h,b</sub>	908	950	996	1.046	1.104	1.168	1.238	1.313	1.400	1.498

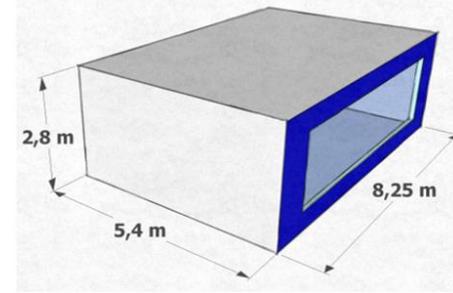
Q<sub>h,b</sub> = 1.080 kWh/a

Q<sub>h,b</sub> = 908 kWh/a

T<sub>op,max</sub> = 31,6 °C

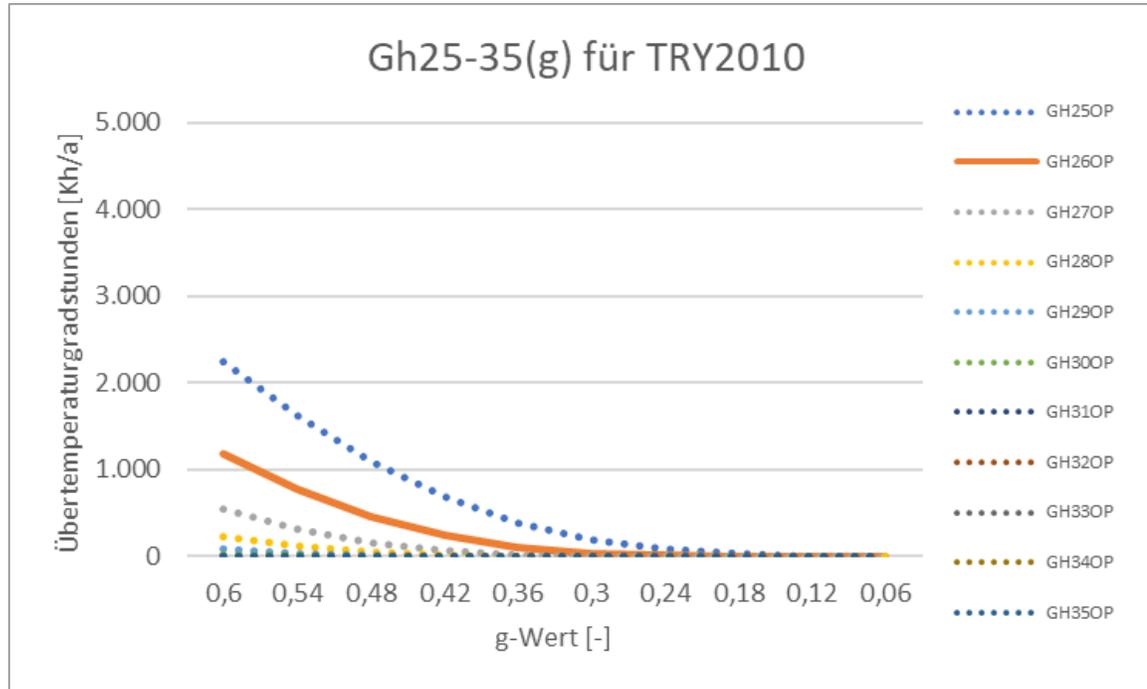
T<sub>op,max</sub> = 33,3 °C

### Aktuelles Klima und Zukunftsklima im Vergleich

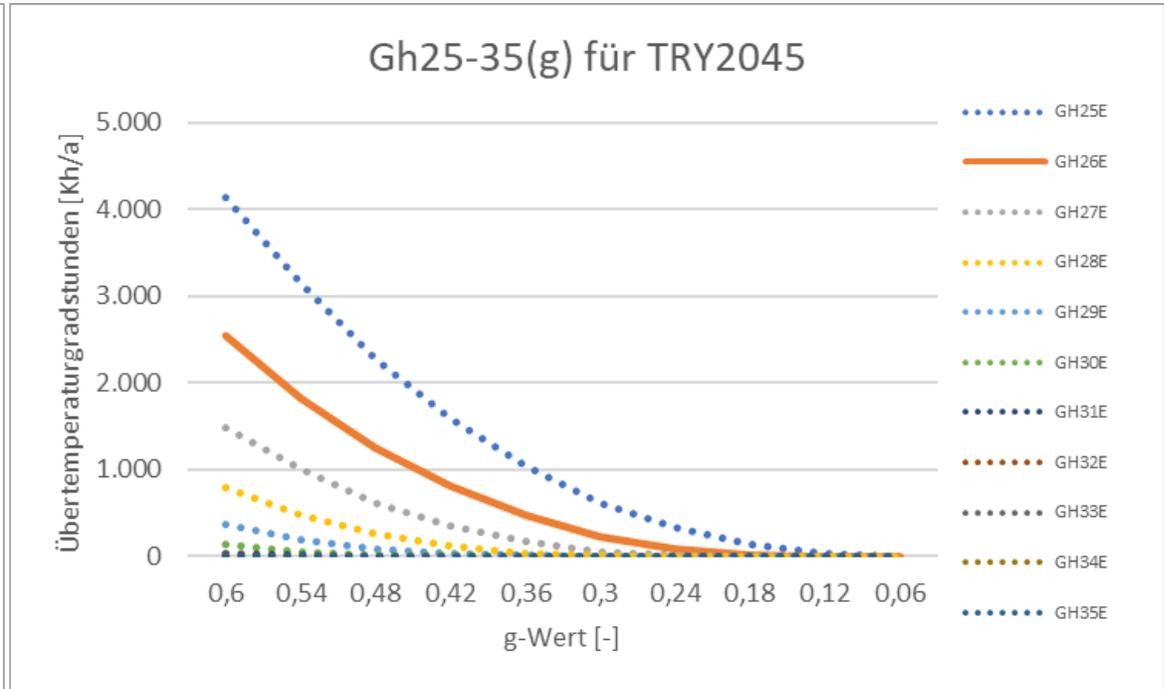


Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	mittel	Ost	TRY2010_04 TRY2045_04	WG_oK
U <sub>w</sub> -Wert	g-Wert	F <sub>c</sub> -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g060-g006	FC100	a300	NL2

#### aktuelle Klimadaten



#### Zukunftsklima



## Aktuelles Klima und Zukunftsklima im Vergleich

### Wesentliche Aussagen

- Übertemperaturgradstunden (Bezug 26 °C) mehr als verdoppelt bei Zukunftsklima im Vergleich zum aktuellen mittleren Klima (bezogen auf Anforderungsniveau 1.200 Kh/a bei aktuellem Klima)
  - wesentliche Folge des Klimawandels ist eine deutlich häufigere Überschreitung der Bezugstemperatur (**Hitzeperioden dauern länger an und treten häufiger auf**)
  - dabei **Maximaltemperaturen im Raum um 1,5 bis 2 °C erhöht**
- **Handlungsbedarf:**
  - **die aktuell geltenden Anforderungen in DIN 4108-2:2013-02 basieren auf veralteten Klimarandbedingungen und müssen angepasst werden, damit heute realisierte Gebäude den künftigen klimatischen Verhältnissen "standhalten"**

# ***ZUR BEDEUTUNG VON SONNENSCHUTZ UND NACHTLÜFTUNG***

Bespielauswertungen im Detail

### Exemplarische Auswertungen für einen Beispielraum

- Zentralraum, Fassade ostorientiert,  
70 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil (~ 35 % grundflächenbezogen)
- Wohnnutzung
- Fenster:  $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und  $g = 0,54$ ; Wand:  $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

#### Beispiel 1: mit Sonnenschutz ( $F_c = 0,70$ ) und ohne Nachtlüftung

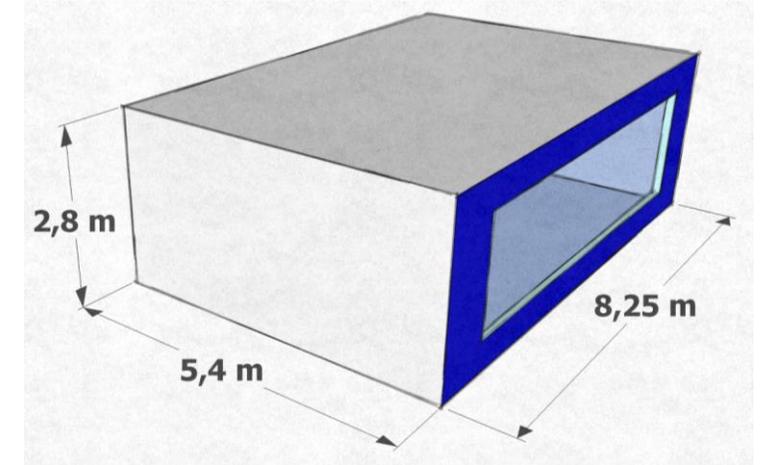
- Fall 1: TRY 2010\_04
- Fall 2: TRY 2045\_04

#### Beispiel 2: mit Sonnenschutz ( $F_c = 0,70$ ) und mit Nachtlüftung

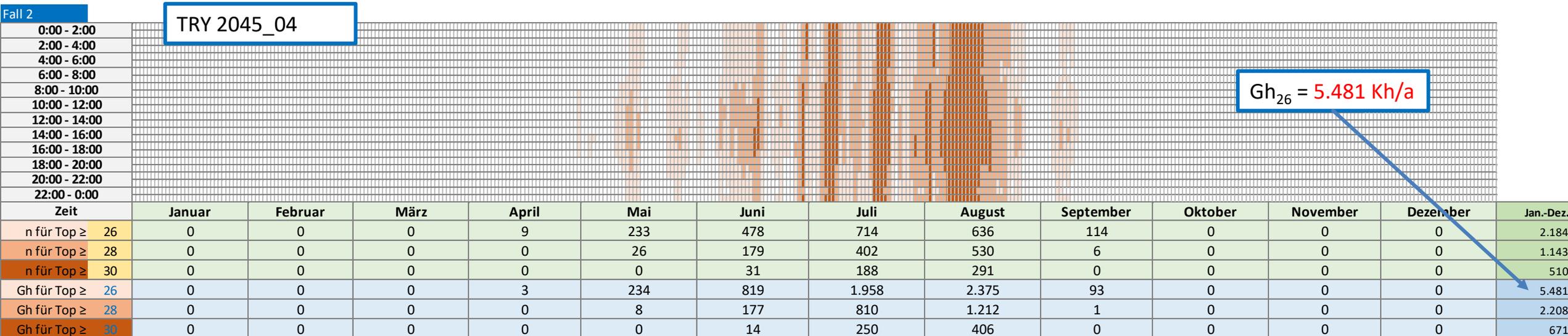
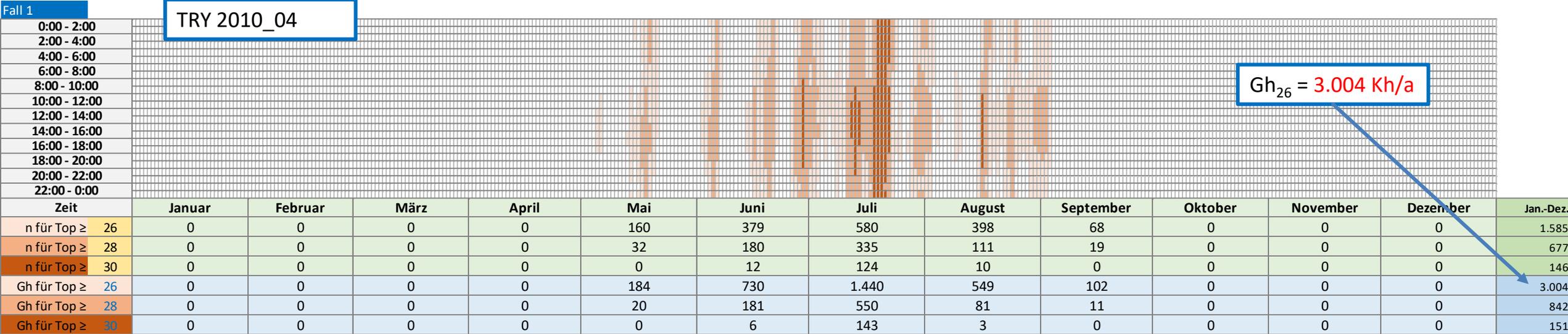
- Fall 1: TRY 2010\_04
- Fall 2: TRY 2045\_04

#### Beispiel 3: mit Sonnenschutz ( $F_c = 0,30$ ) und mit Nachtlüftung

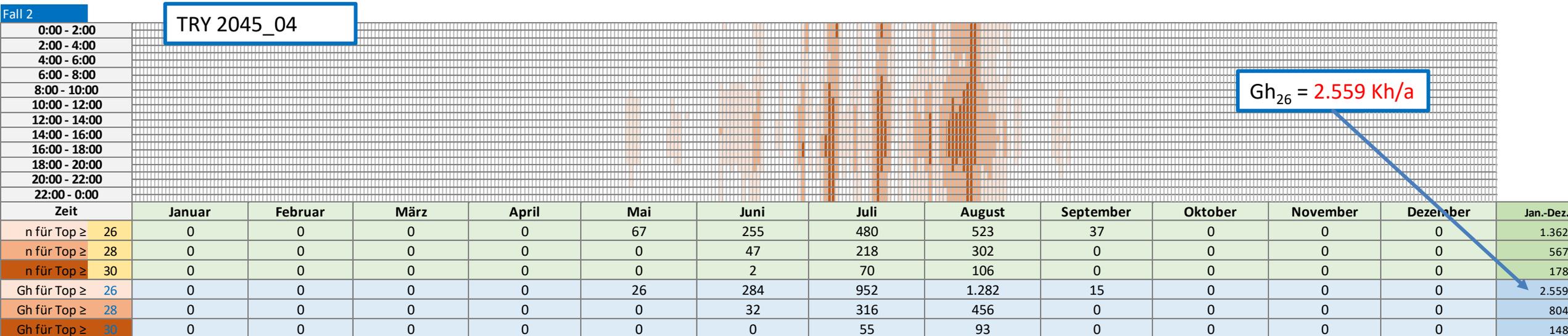
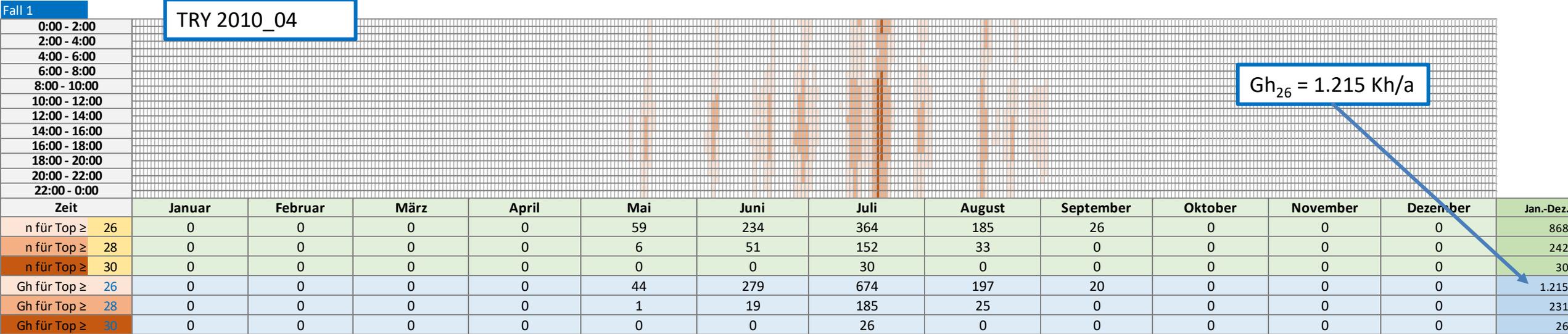
- Fall 1: TRY 2010\_04
- Fall 2: TRY 2045\_04



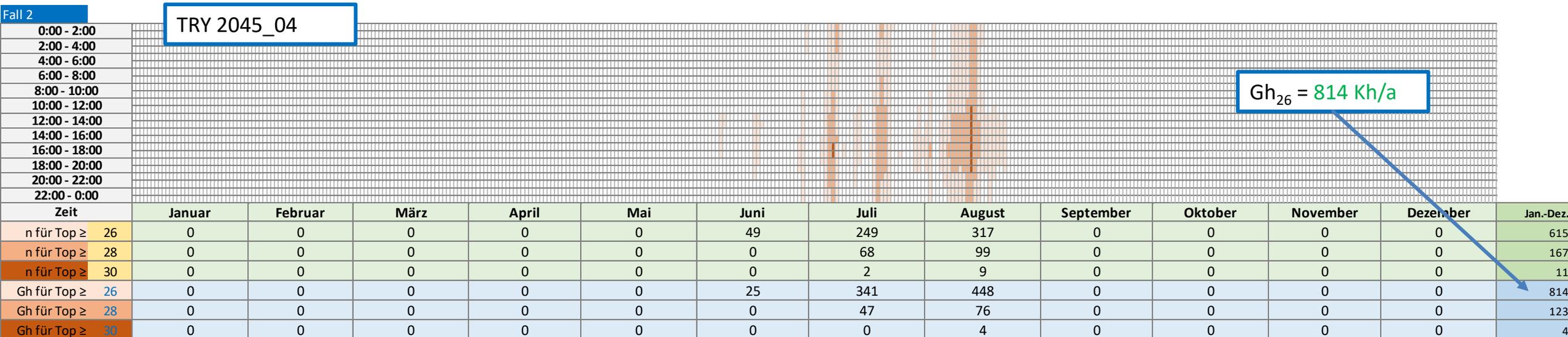
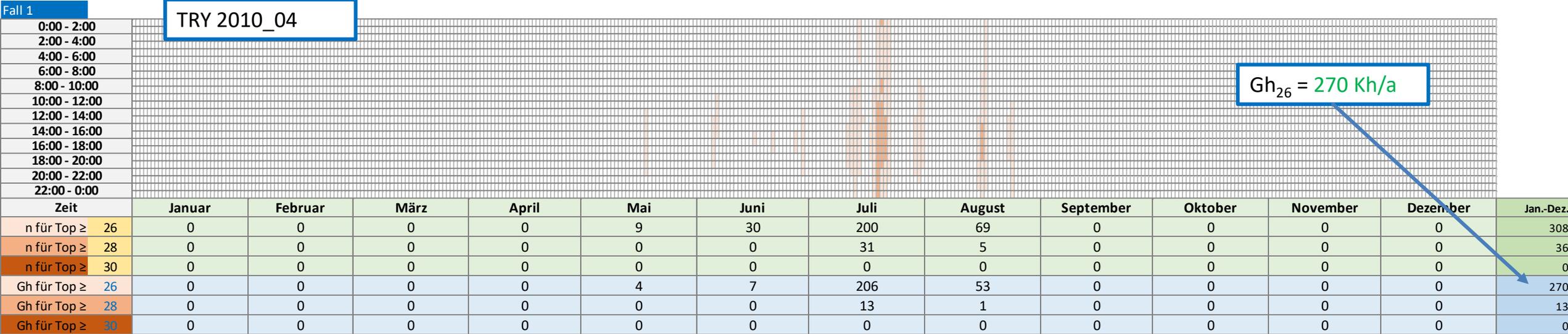
Beispiel 1: mit Sonnenschutz ( $F_c = 0,70$ ) und ohne Nachtlüftung



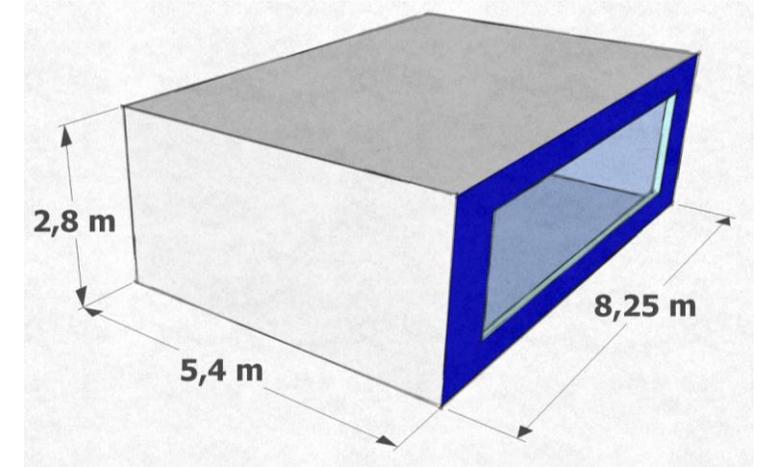
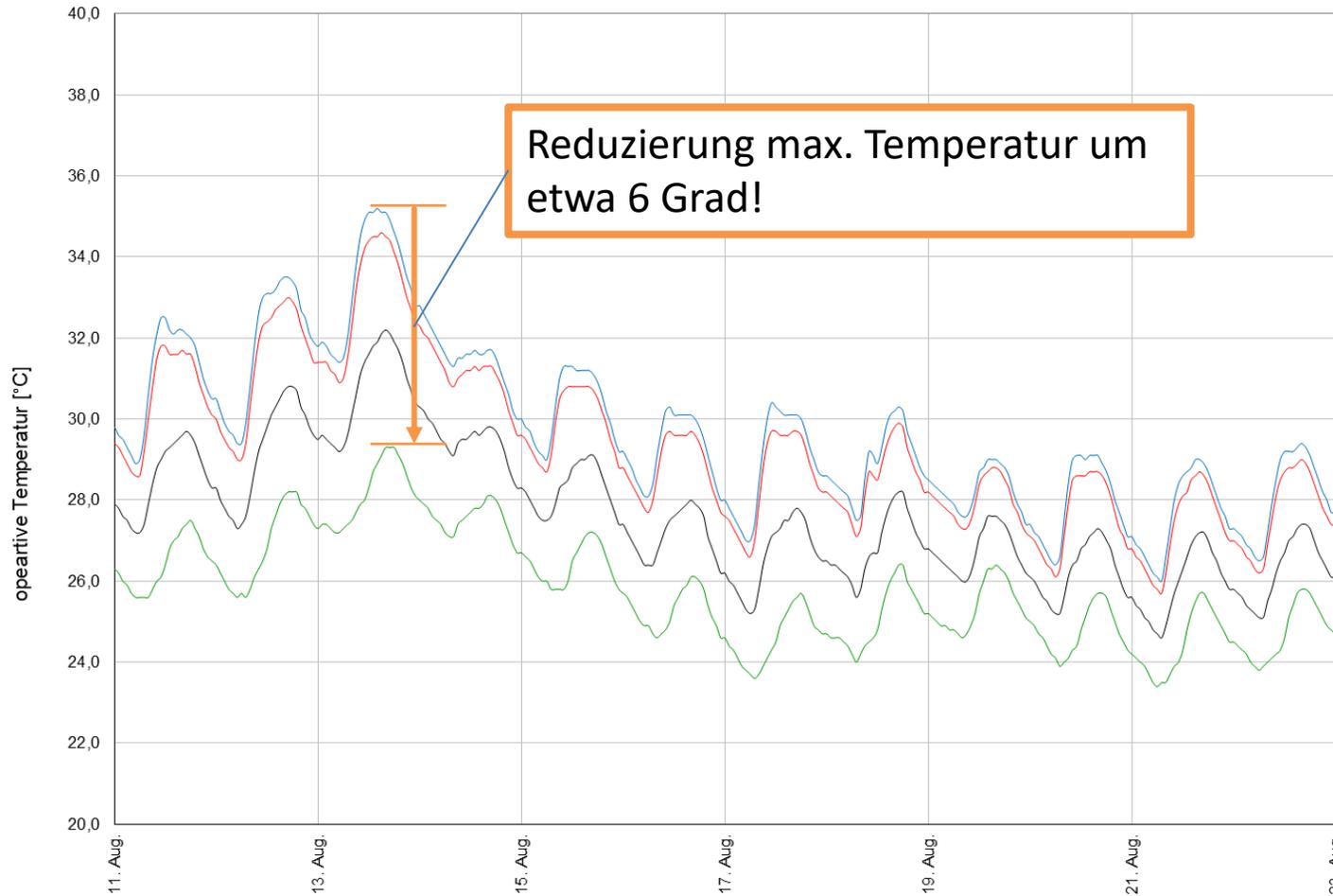
### Beispiel 2: mit Sonnenschutz ( $F_c = 0,70$ ) und mit Nachtlüftung



Beispiel 3: mit Sonnenschutz ( $F_c = 0,30$ ) und mit Nachtlüftung



## maximale operative Temperaturen bei unterschiedlichem Sonnenschutz



Fälle (wie zuvor mit Nachtlüftung;  
 Zukunftsklima TRY 2045\_04):

- 1 (blau):  $F_C = 1,0$  (ohne Sonnenschutz)
- 2 (rot):  $F_C = 0,90$
- 3 (schwarz):  $F_C = 0,50$
- 4 (grün):  $F_C = 0,10$

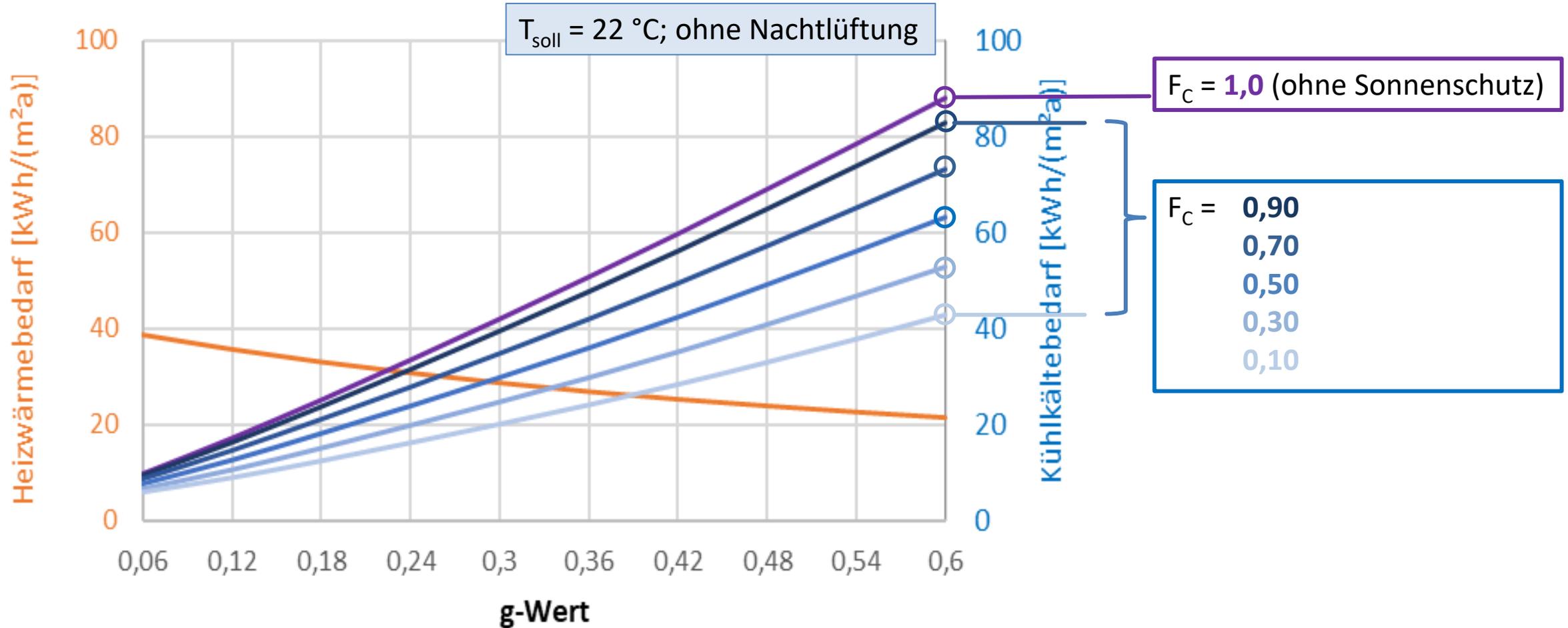
### Erkenntnisse

- Das Vorhandensein eines **wirksamen Sonnenschutzes** ist Voraussetzung für die Reduzierung der solaren Last
- Zusammen mit einem **erhöhten Nachtluftwechsel** können auch in Zukunft "großzügige" Fensterflächen realisiert und dabei ein guter thermischer Komfort sichergestellt werden
- **dennoch: aktive Kühlung von Räumen/Gebäuden wird in der Baupraxis auch im Wohnungsbau zunehmend an Bedeutung gewinnen**
  - zum Einfluss von Sonnenschutz und Nachtlüftung auf den Energiebedarf für Kühlen die weiteren Folien...

Heizwärme und Kühlkälte: Einfluss Nachtlüftung und Sonnenschutz

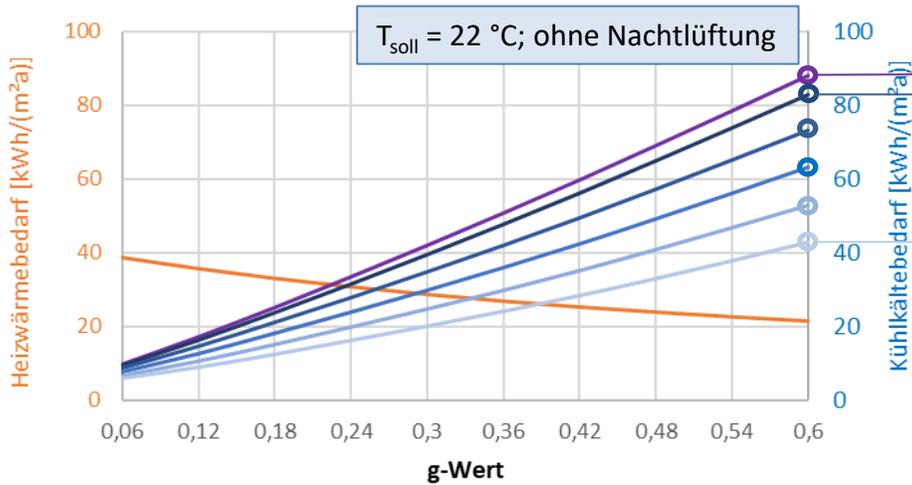
zen1.5b1.5t\_breit: Heizwärme- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

TRY 2045\_04



Heizwärme und Kühlkälte: Einfluss Nachtlüftung und Sonnenschutz

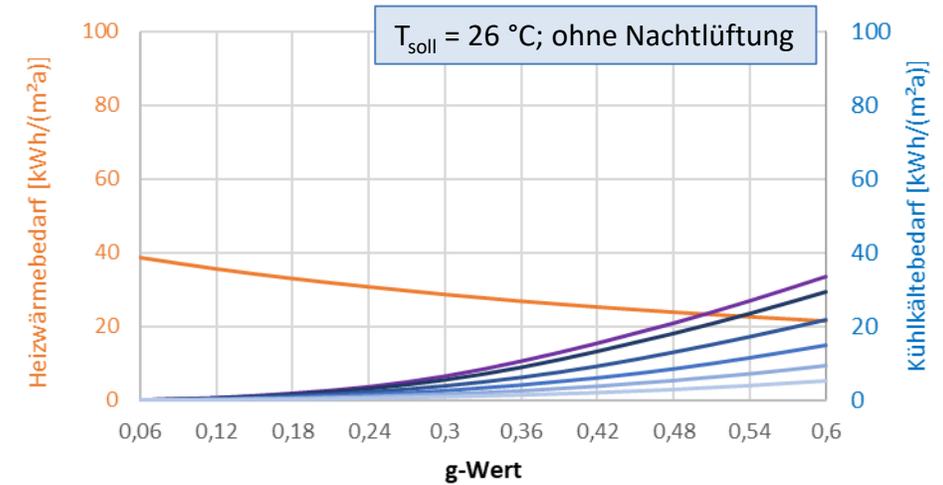
zen1.5b1.5t\_breit: Heizwärme- und Kühlkältebedarf (thermisch!)



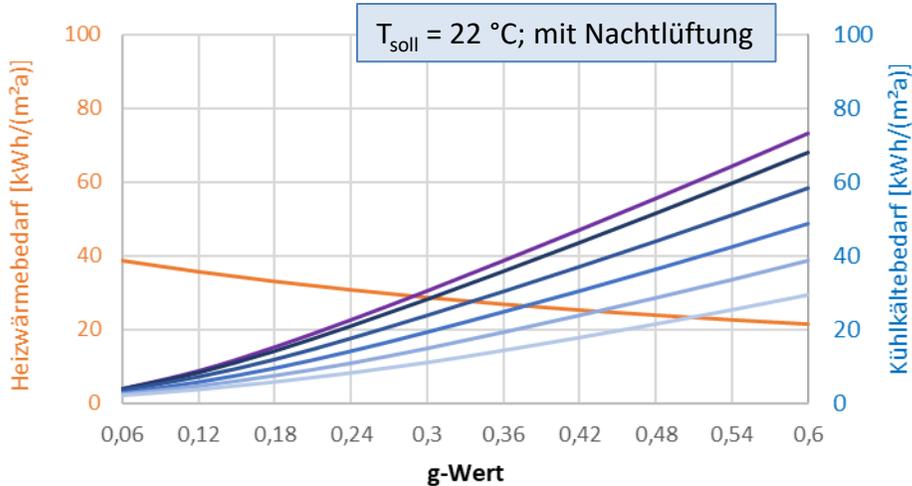
TRY 2045\_04

- $F_C = 1,0$  (ohne Sonnenschutz)
- $F_C = 0,90$
- $F_C = 0,70$
- $F_C = 0,50$
- $F_C = 0,30$
- $F_C = 0,10$

zen1.5b1.5t\_breit: Heizwärme- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

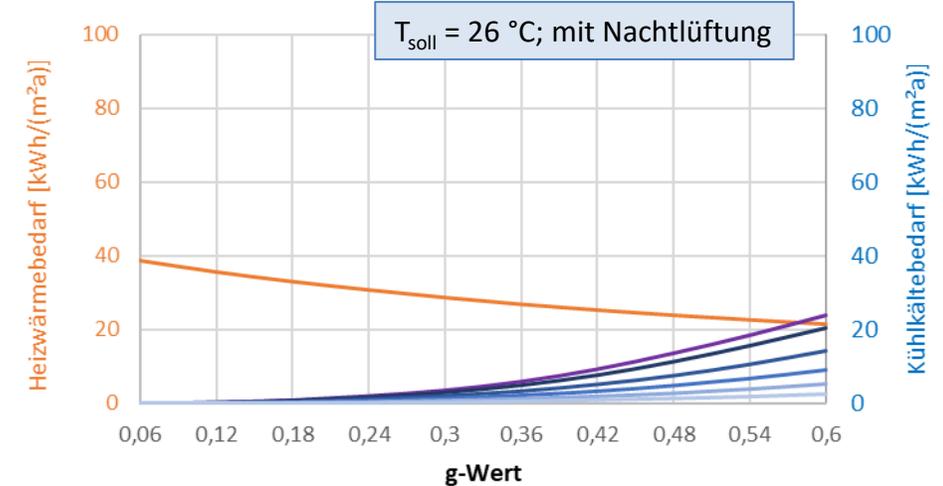


zen1.5b1.5t\_breit: Heizwärme- und Kühlkältebedarf (thermisch!)



Automation des Sonnenschutzes für "garantierte" Energieeinsparung besonders wichtig!

zen1.5b1.5t\_breit: Heizwärme- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

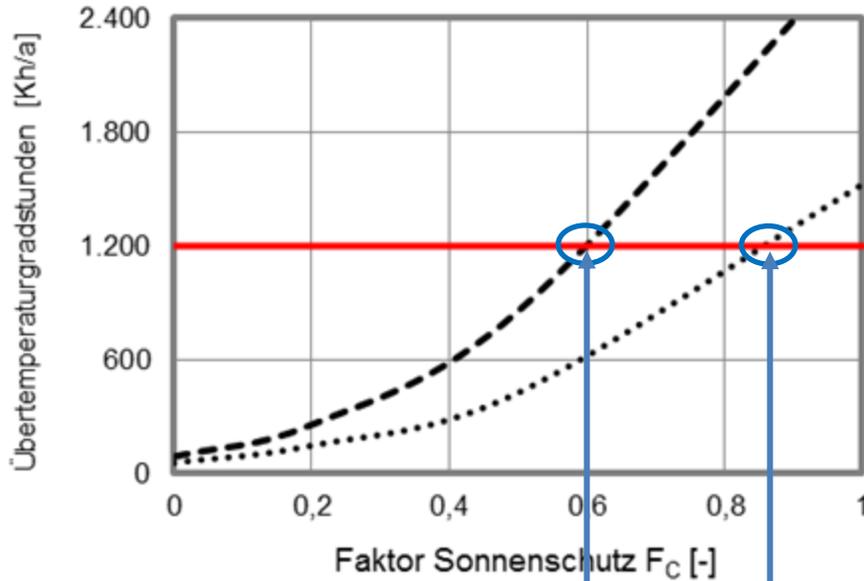


# ***SONNENSCHUTZ VON HEUTE FÜR KLIMA VON MORGEN?***

Erforderliche  $F_C$ -Werte im Vergleich in Klimaregion B (Potsdam als Referenzklima Deutschland)

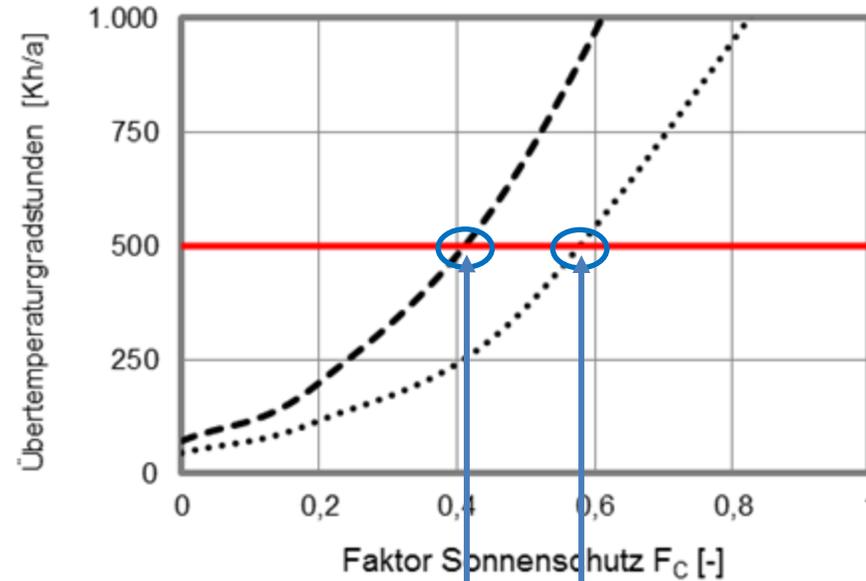
..... Normal-TRY      - - - - - Zukunfts-Normal-TRY

DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden  
Wohnnutzung



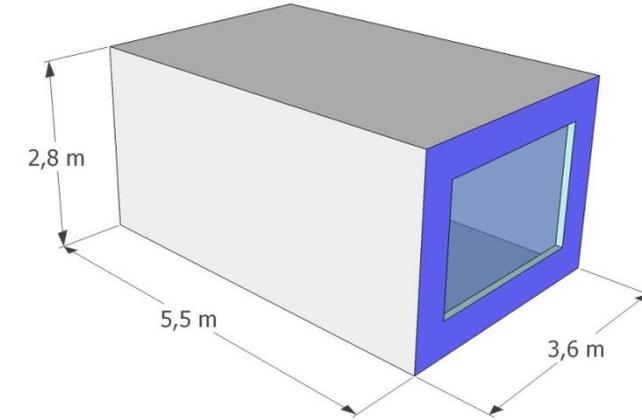
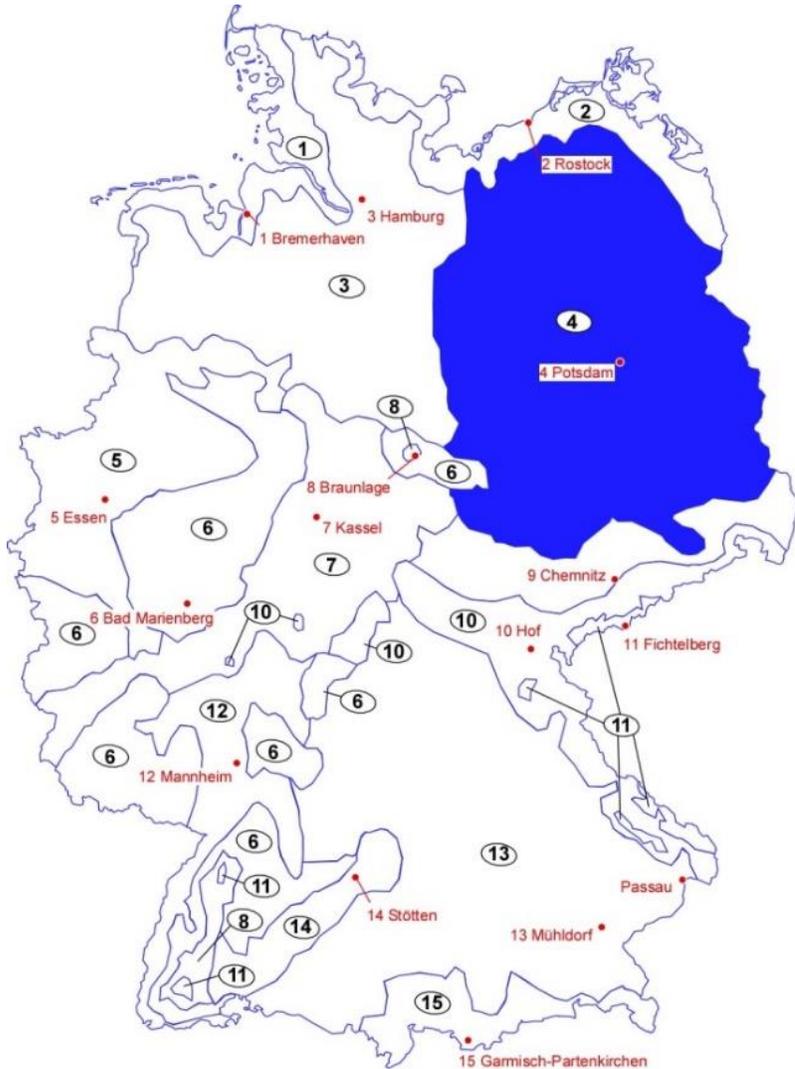
$F_C = 0,60$        $F_C = 0,86$

DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden  
Nichtwohnnutzung

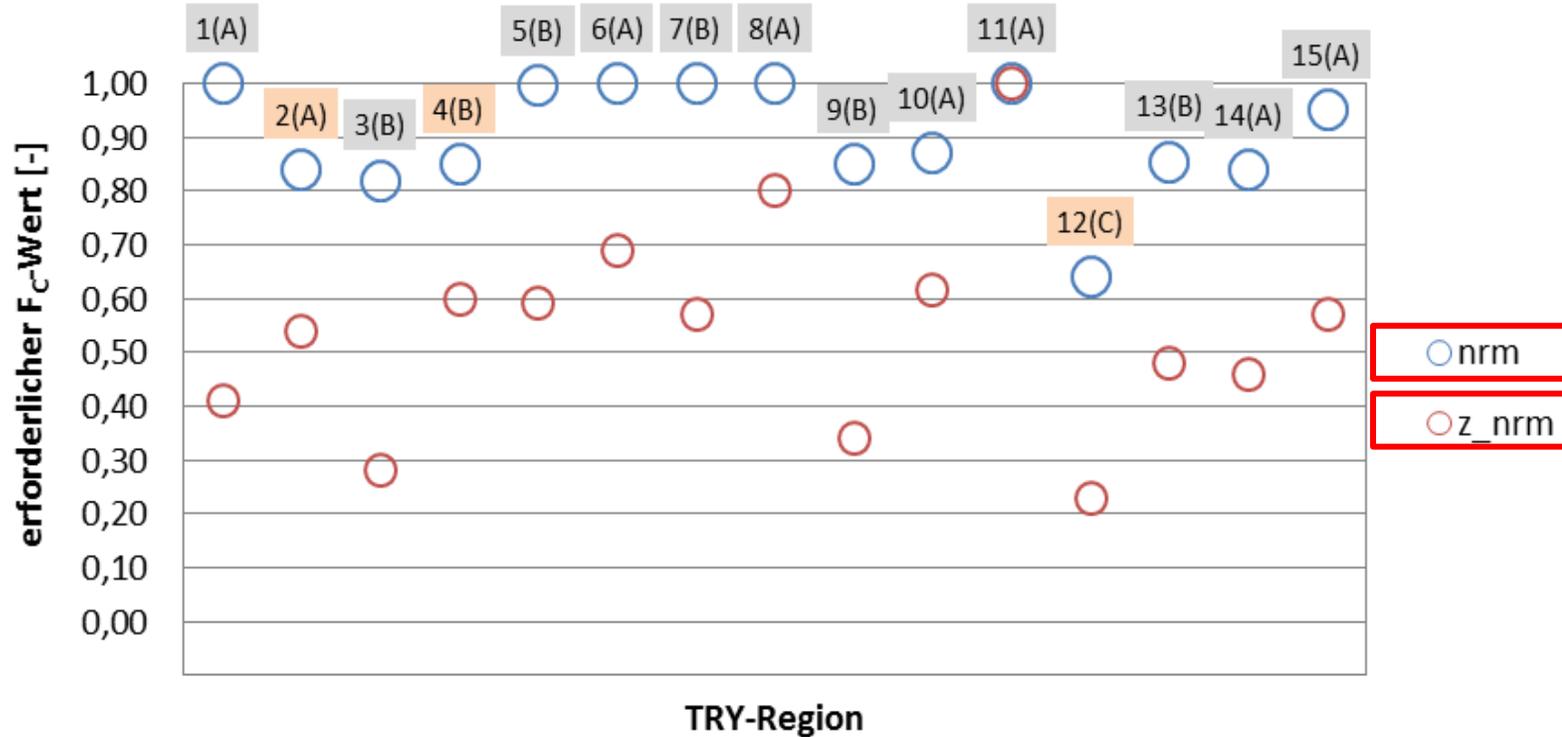


$F_C = 0,41$        $F_C = 0,58$

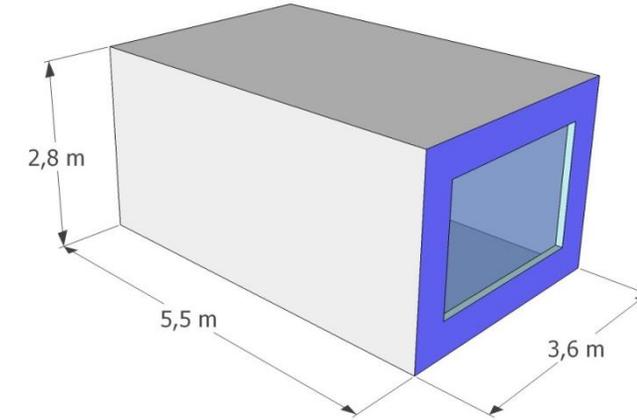
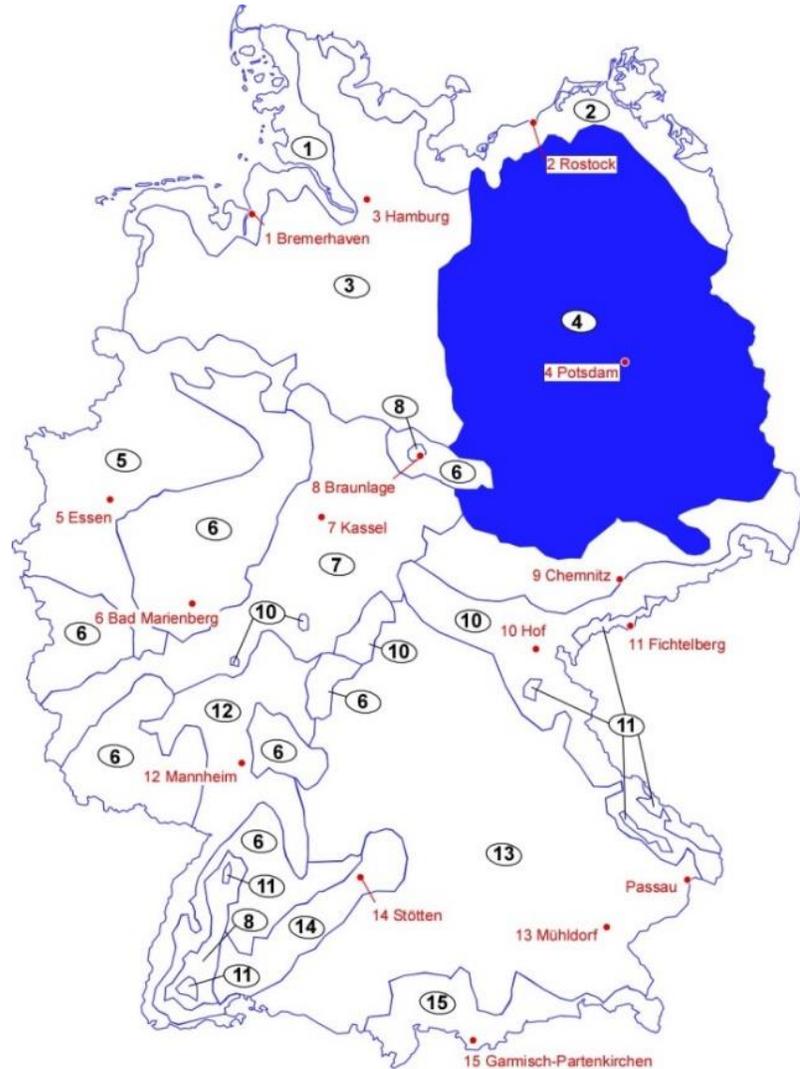
Erforderliche  $F_c$ -Werte im Vergleich - Auswertungen für alle 15 TRY-Regionen Deutschlands  
Wohnnutzung



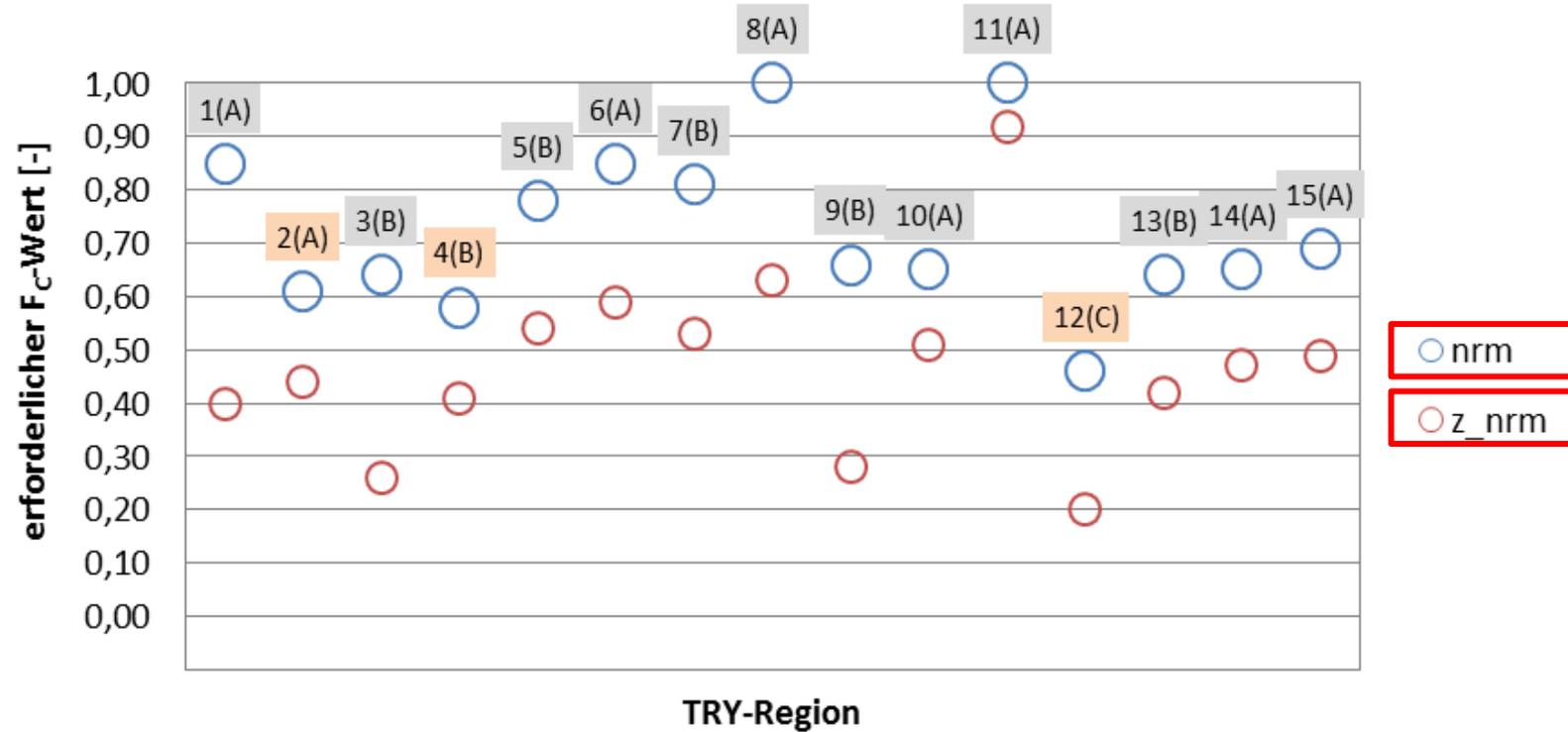
Wo100, NL2, fW50



Erforderliche  $F_c$ -Werte im Vergleich - Auswertungen für alle 15 TRY-Regionen Deutschlands  
Nichtwohnnutzung



NW144, NL2, fW50



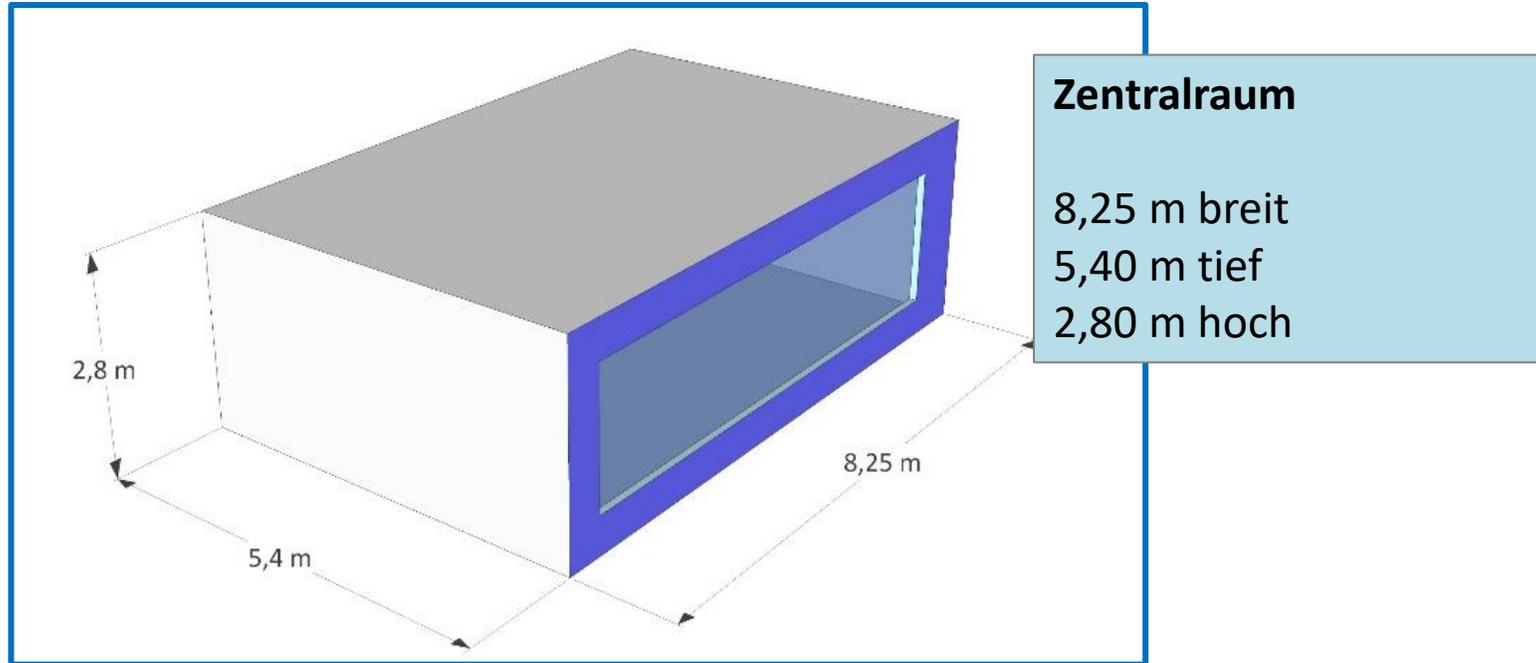
# ***INTEGRALE PLANUNG***

Lösungen für den Sommerfall und Auswirkungen auf den Winterfall

### Ein Zielkonflikt...

- Für die energetische „Performance“ eines Raumes und für den thermischen Komfort gelten, bezogen auf das System Fenster (bzw. das System Fenster + Sonnenschutz), folgende Prinzipien:
  - **im Sommer: Minimierung der solaren Wärmeeinträge** zur Vermeidung von Überhitzung bzw. Reduzierung/Energieeinsatz für Raumkühlung
  - **im Winter: Maximierung der solaren Wärmeeinträge** zur Reduzierung des Energiebedarfs für Raumheizung
- Für die transparenten Bauteile bedeutet das Verfolgen dieser Prinzipien -bezogen auf den g-Wert- (und auch auf den U-Wert) einen **Zielkonflikt!**
- **Dieser Zielkonflikt kann nur durch dynamische Lösungen**, z.B. durch einen beweglichen Sonnenschutz (oder auch dimmbare Gläser) **überwunden werden.**

Beispielhafte Auswertungen für die folgende Raumgeometrie

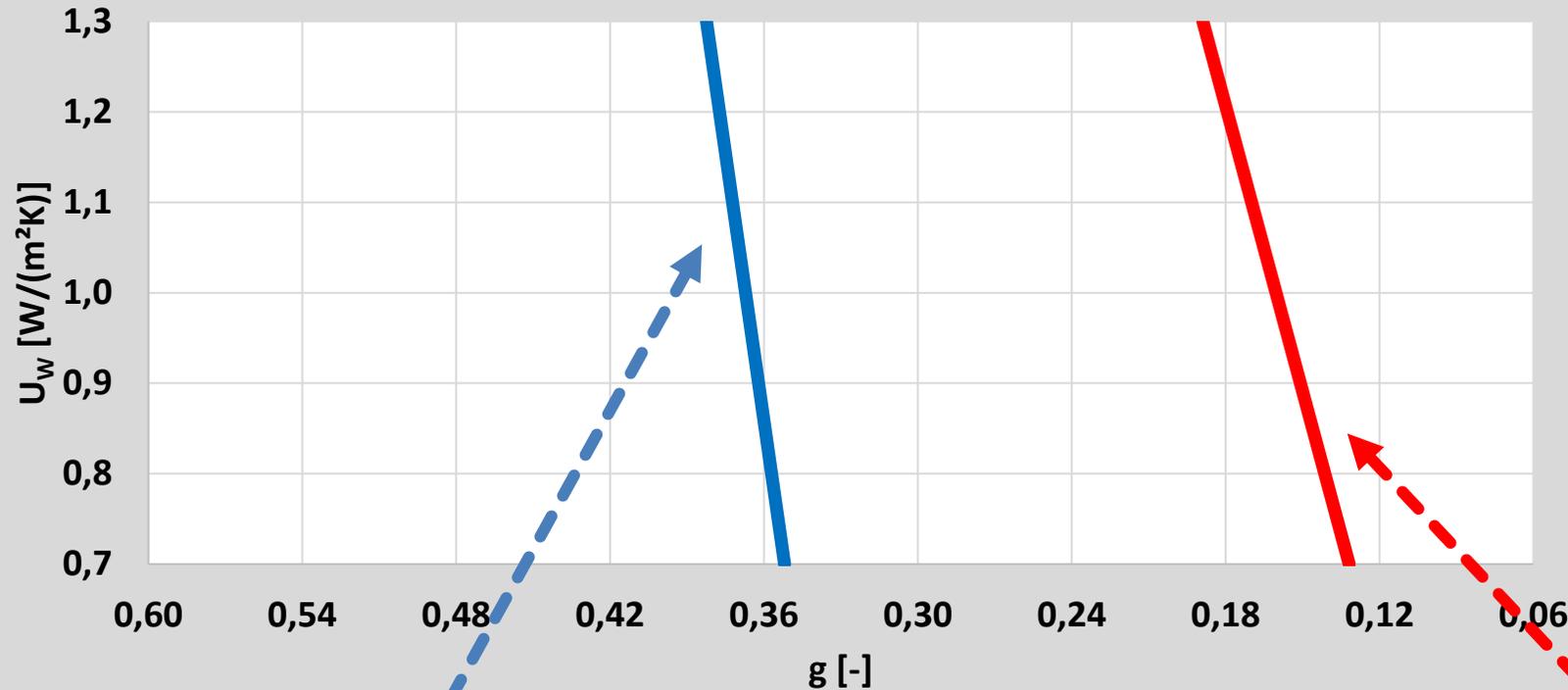


die Anforderungswerte zur Erinnerung:

Sommerklimaregion	Bezugswert $\theta_{b,op}$ der Innentemperatur °C	Anforderungswert Übertemperaturgradstunden Kh/a	
		Wohngebäude	Nichtwohngebäude
A	25	1 200	500
B	26		
C	27		

Beispiel Besprechungsraum (fassadenbezogene Fensterfläche = 70 %, Ost, Grundfläche 45 m<sup>2</sup>)

01d\_zen1.5b1.5t\_breit#2014\_EnEV#Ost#fWF 70 %



Zulässige Kombinationen  
**U<sub>W</sub>- und g-Werte**  
wenn kein beweglicher  
Sonnenschutz vorhanden ist.

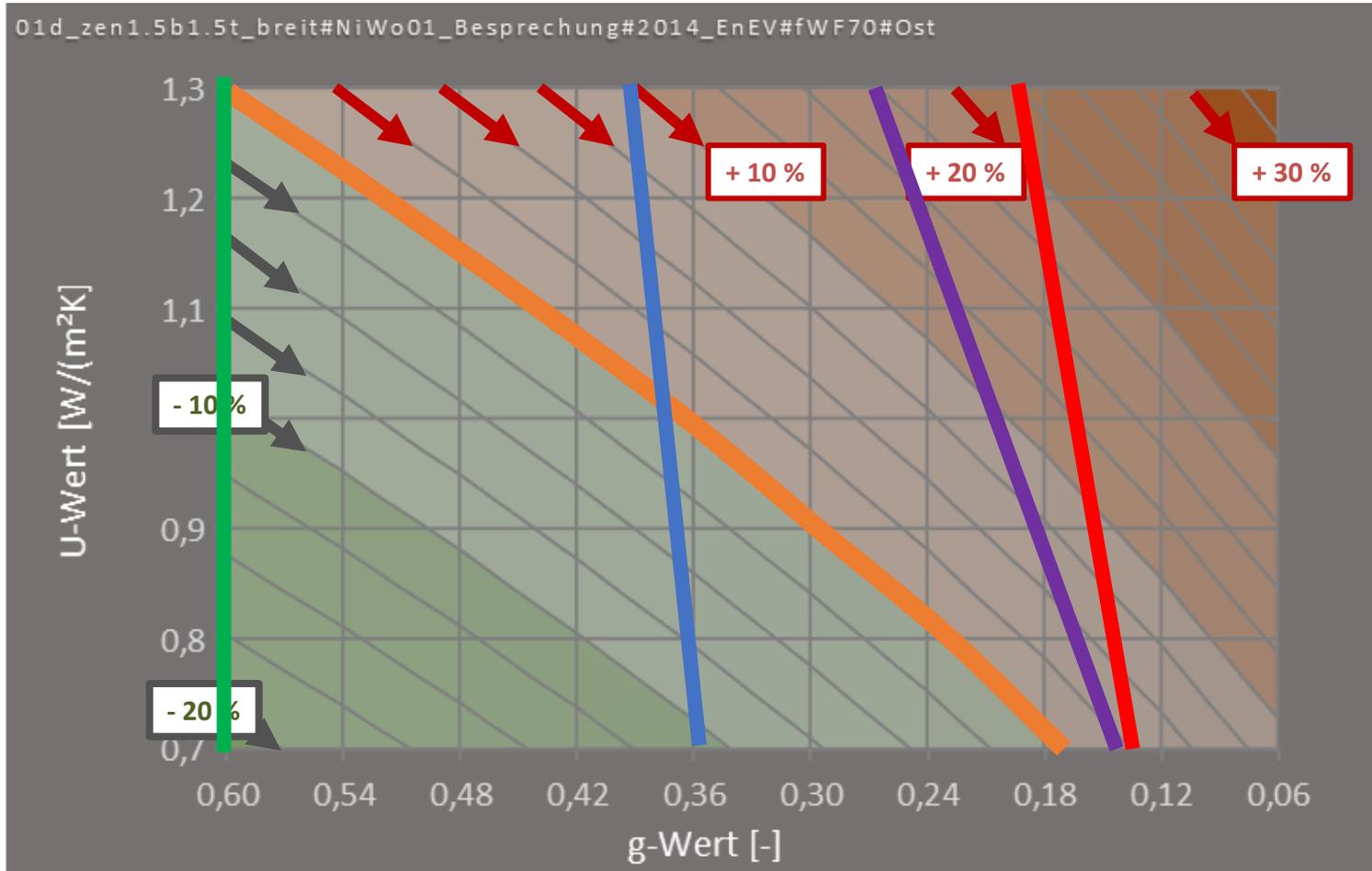
mit Nachtlüftung  
ohne Nachtlüftung

Kombinationen U<sub>W</sub>/g jeweils links  
der Graphen sind nicht zulässig, da  
hier Gh<sub>26</sub> > 500 Kh/a

abhängig vom U<sub>W</sub>-Wert höchstens zulässiger g-Wert  
(Fall mit Nachtlüftung), damit Gh<sub>26</sub> ≤ 500 Kh/a

abhängig vom U<sub>W</sub>-Wert höchstens zulässiger g-Wert  
(Fall ohne Nachtlüftung), damit Gh<sub>26</sub> ≤ 500 Kh/a

Beispiel Besprechungsraum (fassadenbezogene Fensterfläche = 70 %, Ost, Grundfläche 45 m<sup>2</sup>)



Alle  $U_w/g$ -Wert-Kombinationen sind energetisch gleichwertig zu  $U_w=1,3/g=0,6!$

Jede parallele Linie rechts bedeutet + 2,5 % Heizenergiebedarf

Jede parallele Linie links bedeutet - 2,5 % Heizenergiebedarf

$U_w/g$ -Grenzen ohne Sonnenschutz mit erhöhter Nachtlüftung

$U_w/g$ -Grenzen ohne Sonnenschutz ohne Nachtlüftung

$U_w/g$ -Grenzen mit  $F_c = 0,2$  mit erhöhter Nachtlüftung

$U_w/g$ -Grenzen mit  $F_c = 0,2$  ohne Nachtlüftung

- Der **Klimawandel** wird die Gebäude und das System Fenster+Sonnenschutz vor **neue Herausforderungen** stellen
- Die Zukunft ist **dynamisch!**
  - Nachhaltige Planung erfordert Konzepte,
    - bei denen **die solaren Wärmeeinträge im Winter wesentliche Anteile des Heizwärmebedarfs übernehmen** und dabei
    - eine **Überhitzung im Sommer vermeiden**
- Wesentliche Elemente dabei sind **bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen** und **erhöhte Luftwechselraten (nachts bzw. außerhalb der Anwesenheitszeit)**
- Perspektivisch wird **Automation** eine bedeutende(re) Rolle einnehmen, um die Nutzung von Gebäuden auf **hohem Komfortniveau** und einen **energetisch/wirtschaftlich optimierten** Betrieb von Gebäuden zu realisieren



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Kontakt: [schlitzberger@ibh-hauser.de](mailto:schlitzberger@ibh-hauser.de)