



## SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ DER ZUKUNFT

Marco Hartner<sup>1</sup>, Christoph Beecken<sup>2</sup>, Svenja Carrigan<sup>1</sup>, Oliver Kornadt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Deutschland,

E-Mail: marco.hartner@rptu.de

<sup>2</sup> bow ingenieure gmbh, Deutschland, E-Mail: mail@bow-ingenieure.de

### Kurzfassung

Der sommerliche Wärmeschutz wird nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) [1] unter Zuhilfenahme der DIN 4108-2 [2] nachgewiesen. Das aktuelle Nachweisverfahren stützt sich hierbei auf Testreferenzjahre von 2010. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der langen Standzeit von Gebäuden erscheint der alleinige Bezug auf das Testreferenzjahr 2010 nicht sinnvoll. Auch existieren bereits mittlere Testreferenzjahre von 2015 und 2045 sowie sommerfokussierte Testreferenzjahre für 2015 und 2045. Für den sommerlichen Wärmeschutz ist bei gegebenen Randbedingungen wie Raumabmessungen, Fenstergröße usw. eine Betrachtung des Energiedurchlassgrades sowie der Verschattungsmöglichkeit von Fenstern essentiell. An einem Beispielraum wird aufgezeigt, wie sich die Einflussgrößen unter Ansatz der unterschiedlichen Testreferenzjahre auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken. Hieraus folgt, dass Kombinationsmöglichkeiten aus Energiedurchlassgrad und Verschattung, welche den aktuellen Nachweis mit dem Testreferenzjahr 2010 erfüllen, bei Zugrundelegung der Testreferenzjahre 2015 und 2045 teilweise nicht mehr ausreichend sind.

### Abstract

The summer thermal protection is verified in accordance with the Gebäudeenergiegesetz (GEG - German Building Energy Law) with the use of DIN 4108-2. The current verification method is based on test reference years from 2010, but there exist already average test reference years from 2015 and 2045 as well as summer-focused test reference years for 2015 and 2045. For summer thermal protection, it is essential to analyse the energy transmittance and the shading possibilities of windows for existing boundary conditions such as room dimensions, window size, etc. The impact of changing influencing parameters due to different test reference years is shown using an example room how the influencing variables behave when using the different test reference years. This shows that possible combinations of energy transmittance and shading, which fulfil the current verification with the test reference year 2010, are no longer sufficient in part when the test reference years 2015 and 2045 are used as a basis.

### Einführung

Das aktuelle Nachweisverfahren nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) sieht eine Begrenzung der operativen Raumtemperaturen im Sommer vor. Dies soll möglichst ohne zusätzlichen Energieeinsatz erreicht werden. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf den transparenten Bauteilen der Gebäudehülle, da durch diese ein Energieeintrag stattfindet, welcher zu erhöhten Innenraumtemperaturen führen kann. Weiter haben insbesondere das Lüftungskonzept [3], die Verschattungsmöglichkeiten sowie die baulichen Gegebenheiten [4] wesentlichen Einfluss auf das sommerliche Innenraumklima.

Hinsichtlich des Außenklimas stützt sich das aktuelle Nachweisverfahren des sommerlichen Wärmeschutzes auf Wetterdaten der Testreferenzjahre (TRY) von 2010. Eine zukünftige Klimaveränderung bleibt hierbei außer Acht. Im Hinblick auf den fortschreitenden Klimawandel besteht daher beim sommerlichen Wärmeschutz Handlungsbedarf.

In diesem Beitrag wird durch thermische Gebäudesimulationen an einem Beispiel aufgezeigt, wie sich Änderungen des Klimas auf den Innenraum auswirken. In Abhängigkeit unterschiedlicher Klimadatensätze kann ermessensweise, welche Maßnahmen für die Erbringung des derzeit geltenden Nachweises ergriffen werden müssen und welche möglichen baulichen und planerischen Maßnahmen weiter für den fortschreitenden Klimawandel zu berücksichtigen sind, um auch zukünftig den sommerlichen Wärmeschutz gewährleisten zu können.

### Methodik

Für die Durchführung der Simulationen wird das thermische Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS [5] herangezogen. Als grafische Grundlage für die Simulation dient ein Sketchup-Modell des Beispielraums nach Abbildung 1.

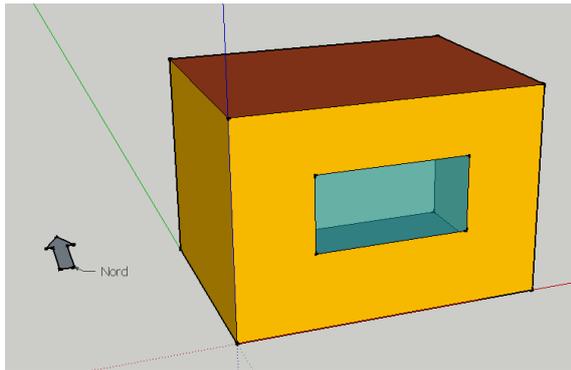


Abbildung 1: Sketchup-Modell des Beispielraums

Der Raum besitzt eine Grundfläche von  $12 \text{ m}^2$  ( $4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ). Die lichte Raumhöhe wurde mit  $2,8 \text{ m}$  angenommen. Das  $2 \text{ m}^2$  große Fenster ( $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ) ist hierbei nach Süden ausgerichtet. Die südliche Fassade grenzt an das Außenklima. Für alle weiteren Raumumschließungsflächen werden adiabate Bedingungen angesetzt. Alle raumseitigen Wand-, Boden- und Deckenkonstruktionen werden als Massivbauteile berücksichtigt, so dass von einer schweren Bauweise ausgegangen werden darf. Für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand (Südwand) wird in Anlehnung an das Referenzgebäude nach GEG ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von  $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  gewählt.

Für die Konditionierung des Raumes werden die Randbedingungen der DIN 4108-2 für Wohngebäude übernommen. Somit wird eine Nutzungszeit von 0:00 Uhr bis 24:00 Uhr berücksichtigt. Der anzusetzende mittlere interne Wärmeeintrag von  $100 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \text{ d})$  wird auf den stündlichen Wert von  $15 \text{ kJ}/(\text{h m}^2)$  umgerechnet. Die Raumsolltemperatur in der Heizperiode wird mit  $20 \text{ °C}$  vorgegeben. Zunächst wird ein über den Tag konstanter Luftwechsel von  $0,5$  pro Stunde angesetzt. Konform zu DIN 4108-2, die bei Möglichkeit der nächtlichen Fensterlüftung den Ansatz erhöhter Luftwechsel zulässt, wird in der Zeit von 23:00 Uhr bis 6:00 Uhr eine erhöhte Nachtlüftung mit einem Luftwechsel von  $2,0$  pro Stunde angesetzt.

Die Simulation berücksichtigt eine strahlungsabhängige Ansteuerung der Sonnenschutzanlage. Dabei ergibt sich die Grenzbestrahlungsstärke für die Aktivierung des Sonnenschutzes für eine südliche Fensterausrichtung zu  $300 \text{ W}/\text{m}^2$ . Die Art der Verschattung und die damit einhergehende Abminderung des Energieeintrags ( $F_c$ -Werte) wurde nach Tabelle 7 der DIN 4108-2 festgelegt. Die verwendeten Werte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1:  $F_c$ -Werte als Grundlage der Abminderung

$F_c$ -WERT	BESCHREIBUNG
0,10	ROLLLADEN GESCHLOSSEN
0,25	JALOUSIE LAMELLENSTELLUNG 45°
0,30	ROLLLADEN $\frac{3}{4}$ GESCHLOSSEN
0,50	VORDÄCHER, MARKISEN

Bezüglich der Fenster sieht das GEG für das Referenzgebäude einen U-Wert von  $1,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  vor. Von besonderer Wichtigkeit für die Betrachtung der sommerlichen Überhitzung ist jedoch auch der Energiedurchlassgrad (g-Wert) des Fensters. Die gewählten Werte können Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: U- und g-Werte der gewählten Fenster

U-WERT	g-WERT
1,37	0,70
1,34	0,63
1,36	0,41
1,36	0,33

Für die Außenklimabedingungen werden unterschiedliche Testreferenzjahre (TRY) desselben Standortes herangezogen. Als Standort wird in diesem Beispiel Potsdam gewählt, der die Sommerklimaregion B nach dem aktuellen Nachweisverfahren repräsentiert.

Für den Vergleich werden neben dem nach GEG zu verwendenden TRY 2010 vier weitere TRYs herangezogen. Zurückgegriffen wird auf ortsgenaue Testreferenzjahre für Deutschland, die das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst für gegenwärtige und zukünftige (jeweils mittlere und extreme) Witterungsverhältnisse erstellt hat [6]. Auf diese Weise liegen dem Vergleich neben dem TRY 2010 für den selben Standort mittlere Testreferenzjahre von 2015 und 2045 sowie extreme sommerfokussierte Testreferenzjahre für 2015 und 2045 zugrunde.

Die Bewertung der sommerlichen Überhitzung erfolgt anhand der operativen Übertemperaturgradstunden, welche sich für den Raum ergeben.

Die operative Temperatur beschreibt die gefühlte Temperatur. Sie ergibt sich unter Berücksichtigung der Raumlufttemperatur sowie der mittleren Strahlungstemperatur und der Luftgeschwindigkeit. Vereinfacht kann, wie auch in diesem Beispiel, die operative Temperatur bei üblichen Luftgeschwindigkeiten in Wohngebäuden als

Mittelwert der Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur angenommen werden.

Die Übertemperaturgradstunden beziehen sich jeweils auf einen Bezugswert der operativen Temperatur. Dieser Wert ist für die jeweiligen Klimaregionen durch die Adaption des Menschen [7] an äußere Bedingungen nach Tabelle 9 der DIN 4108-2 angegeben. Für den hier betrachteten Standort Potsdam (Klimaregion B) beträgt der Bezugswert 26 °C (operativ). Wenn die operative Innenraumtemperatur diesen Wert überschreitet, wird diese Überschreitung stündlich über das Jahr aufsummiert.

Die DIN 4108-2 legt in Tabelle 9 weiterhin die maximale Anzahl der Übertemperaturgradstunden fest, die nicht überschritten werden darf. Für Wohngebäude liegt diese Grenze bei 1200 Kh/a.

## Ergebnisse

Als Ausgangsvariante der hier gezeigten Untersuchung werden die Randbedingungen nach DIN 4108-2 sowie das für den aktuellen Nachweis erforderliche Testreferenzjahr von 2010 hinterlegt. Hierbei sei angemerkt, dass hinsichtlich der Lüftung durchgängig eine Luftwechselrate von 0,5 (keine erhöhte Nachtlüftung) angesetzt wird. In Tabelle 3 werden die Werte der Übertemperaturgradstunden in Abhängigkeit der Verschattung (nach Tabelle 1) und der Fenster (nach Tabelle 2) aufgezeigt. Grün hinterlegt sind die Übertemperaturgradstunden, welche unter der Maximalgrenze liegen, rot hinterlegt die darüber liegenden Werte.

Tabelle 3: Übertemperaturgradstunden für TRY 2010 ohne erhöhte Nachtlüftung in Abhängigkeit von Sonnenschutz und Fensterart

U-Wert	1,37	1,34	1,36	1,36	
g-Wert	0,70	0,63	0,41	0,33	
Fc	0,10	2890	2290	414	76
	0,25	4962	3995	1055	371
	0,30	5729	4639	1303	525
	0,50	9797	7827	2465	1256

In Tabelle 3 ist zu erkennen, dass bei Verwendung eines Fensterglases mit einem geringeren Energiedurchlassgrad (g-Wert) die Übertemperaturgradstunden deutlich sinken.

Analog verhält es sich bei Verwendung eines Sonnenschutzes mit einem geringen F<sub>c</sub>-Wert. Ein kleinerer F<sub>c</sub>-Wert steht hierbei für eine effektivere Verschattung des Fensters. Hierbei gilt es zu beachten, dass ein F<sub>c</sub>-Wert von 0,1 einem geschlossenen Rollladen entspricht. In einem solchen Fall müsste unter Umständen fehlendes Tageslicht durch künstliche Beleuchtung unter Energieeinsatz ausgeglichen werden. Wegen dieser Prämisse soll dieser Wert nach DIN 4108-2 nicht für den Nachweis

des sommerlichen Wärmeschutzes herangezogen werden.

Unter diesen Voraussetzungen ist ein Fenster mit einem niedrigen g-Wert (kleiner 0,63) und mit einer ausreichenden Verschattung nötig, um den sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 zu gewährleisten.

Zur Reduzierung der Übertemperaturgradstunden wird im nächsten Schritt eine Variante mit erhöhter Nachtlüftung von 2,0 pro Stunde hinterlegt.

Tabelle 4: Übertemperaturgradstunden für TRY 2010 mit erhöhter Nachtlüftung in Abhängigkeit des Sonnenschutzes sowie der Fenster

U-Wert	1,37	1,34	1,36	1,36	
g-Wert	0,70	0,63	0,41	0,33	
Fc	0,10	4	0	0	0
	0,25	84	30	0	0
	0,30	157	66	0	0
	0,50	917	514	0	0

Beim Vergleich der Tabellen 3 und 4 ist deutlich zu erkennen, dass die erhöhte Nachtlüftung eine deutliche Reduzierung der Übertemperaturgradstunden zur Folge hat. Dadurch erfüllen sämtliche hier gewählten Kombinationen die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2.

Auf dieser Grundlage werden für weitere Untersuchungen die Außenklimadaten des Testreferenzjahres 2010 auf die mittleren und sommerfokussierten Testreferenzjahre 2015 und 2045 geändert.

Tabelle 5: Übertemperaturgradstunden für TRY 2015 mit erhöhter Nachtlüftung in Abhängigkeit des Sonnenschutzes sowie der Fenster

U-Wert	1,37	1,34	1,36	1,36	
g-Wert	0,70	0,63	0,41	0,33	
Fc	0,10	1	0	0	0
	0,25	164	84	0	0
	0,30	298	162	0	0
	0,50	1400	823	23	0

Tabelle 6: Übertemperaturgradstunden für TRY 2045 mit erhöhter Nachtlüftung in Abhängigkeit des Sonnenschutzes sowie der Fenster

U-Wert	1,37	1,34	1,36	1,36	
g-Wert	0,70	0,63	0,41	0,33	
Fc	0,10	77	43	0	0
	0,25	603	371	10	1
	0,30	892	565	22	2
	0,50	2596	1762	183	37

In den Tabellen 5 und 6 ist im Vergleich zur Tabelle 4 zu erkennen, dass sich die Übertemperaturgradstunden beim mittleren Testreferenzjahr 2015 und 2045 erhöhen. Einige der Kombinationen erfüllen die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 nicht.

*Tabelle 7: Übertemperaturgradstunden für TRY 2015 sommerfokussiert mit erhöhter Nachtlüftung in Abhängigkeit des Sonnenschutzes sowie der Fenster*

U-Wert	1,37	1,34	1,36	1,36	
g-Wert	0,70	0,63	0,41	0,33	
F <sub>c</sub>	0,10	1482	1243	553	393
	0,25	2425	2010	904	619
	0,30	2786	2304	1036	709
	0,50	4820	3844	1619	1117

*Tabelle 8: Übertemperaturgradstunden für TRY 2045 sommerfokussiert mit erhöhter Nachtlüftung in Abhängigkeit des Sonnenschutzes sowie der Fenster*

U-Wert	1,37	1,34	1,36	1,36	
g-Wert	0,70	0,63	0,41	0,33	
F <sub>c</sub>	0,10	1088	846	244	136
	0,25	2350	1832	551	322
	0,30	2860	2232	685	400
	0,50	5329	4196	1399	805

In den Tabellen 7 und 8 wird im Vergleich zu den vorangegangenen Tabellen ersichtlich, dass die sommerfokussierten Testreferenzjahre eine weitere Steigerung der Übertemperaturgradstunden zur Folge haben. Auffällig ist jedoch, dass das sommerfokussierte TRY 2015 teilweise höhere Übertemperaturgradstunden als das sommerfokussierte TRY 2045 hervorruft. Grund hierfür sind die unterschiedlichen Wetterdaten der TRYs in Kombination mit den Simulationsrandbedingungen für die strahlungsabhängige Ansteuerung des Sonnenschutzes. So kann es vorkommen, dass die Simulation bei einer geringen Unterschreitung der oben genannten Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m<sup>2</sup> ohne Ansatz eines Sonnenschutzes erfolgt und ein erheblicher Energieeintrag durch das Fenster berücksichtigt wird. Dies ist besonders bei geschlossenem Rollladen (F<sub>c</sub> = 0,10) zu beobachten.

## Zusammenfassung und Fazit

Anhand der Simulation für einen Beispielraum konnte der Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die sommerliche Überhitzung aufgezeigt werden. Zur Bewertung der sommerlichen Überhitzung wurden die Übertemperaturgradstunden herangezogen. Die variierten Parameter Energiedurchlassgrad (g-Wert) der Fenster und Grad der Verschattung (F<sub>c</sub>-Wert)

beeinflussen den Energieeintrag in das Rauminnere durch Sonnenstrahlung maßgeblich. Für die Praxis bestätigt sich die Erkenntnis, dass die Übertemperaturgradstunden - bei ansonsten unveränderten Randbedingungen wie Fenstergröße, Raumgeometrie usw. - durch die Optimierung der Eigenschaften der Fenster deutlich reduziert werden können (Austausch der Fenster und/oder Installation eines verbesserten Sonnenschutzes). Zudem senkt eine erhöhte Nachtlüftung die beobachteten Übertemperaturgradstunden erheblich.

Allerdings wurde deutlich, dass die üblichen Maßnahmenpakete aus verringertem Energiedurchlassgrad und verbesserter Verschattung, welche die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 unter Zugrundelegung des Testreferenzjahrs 2010 erfüllen, dies für aktuelle bzw. zukünftige extreme Testreferenzjahre 2015 und 2045 nicht vollumfänglich gewährleisten können. Dies könnte zur Folge haben, dass Gebäude, die auf Grundlage der aktuellen Normung ausgelegt wurden, in Zukunft vermehrt mechanisch und somit unter hohem Energieaufwand gekühlt werden müssen. Um dies zu vermeiden, sollten bei jedem Bauvorhaben, auch bei Sanierungsmaßnahmen, die möglichen Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels berücksichtigt werden. Eine Überarbeitung des aktuellen Nachweisverfahrens erscheint somit unerlässlich.

## Danksagung

Wir bedanken uns an dieser Stelle für die Förderung durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM).

## Literatur

- [1] Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16.
- [2] DIN 4108-2:2013-02; Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [3] Hartner, M.; Carrigan, S.; Kornadt, O.; Lachmann, M. (2021): Normatives vs. realistisches Lüftungsverhalten – Auswirkung von unterschiedlichen Lüftungsstrategien auf den Energiebedarf. Bauphysik 43, H. 3, S. 148–153.
- [4] Spiegel, J.; Hofmann, M.; Schoch, T.; Kornadt, O. (2021): Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit der Baustoffe auf das thermische Verhalten von Gebäuden. Bauphysik. 43 (4) 2021, S. 231-242.
- [5] TRNSYS18, URL:[https://trnsys.de/docs/trnsys/trnsys18\\_Neuheiten\\_de.htm](https://trnsys.de/docs/trnsys/trnsys18_Neuheiten_de.htm) [abgerufen am 21.12.2023]

- [6] Handbuch Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse; 07.2017; Ein Gemeinsames Projekt im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD)
- [7] Blum, T. (2023): Ganzheitliche Bewertung eines auf Peltier-Elementen basierenden Flächenheiz- und -kühlsystems. Dissertation. In: Schriftenreihe des Fachgebiets Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung, Band 6. Herausgeber: Kornadt, O. Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Kaiserslautern. Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung

