

Studie zur integralen Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens

- Thermischer Komfort und energetische Performance -

IBH-Projektnummer: 1854-21

Endbericht vom 03.08.2023

erstellt durch:

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH

Leipziger Straße 184

34123 Kassel

im Auftrag von:

Repräsentanz Transparente Gebäudehülle GbR

Unter den Linden 10

10117 Berlin

Der Bericht umfasst 105 Seiten (inklusive Anhang). Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder in sinnentstellendem Zusammenhang erfolgen.

Bearbeitung:

Ingenieurbüro Prof.-Dr. Hauser GmbH

Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger

Leipziger Straße 184

34123 Kassel

Mail: schlitzberger@ibh-hauser.de

Tel: +49 (0) 561/949904-32

Kassel, 3. August 2023



Dr. Stephan Schlitzberger

Hinweis:

Soweit im Text nicht anders gekennzeichnet, sind alle Grafiken und Bilder durch das Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser erstellt worden.

Inhalt

Vorbemerkungen	5
Glossar	6
1 Einführung	8
1.1 Hintergrund	8
1.2 Zielsetzung	8
2 Randbedingungen der Bearbeitung	10
2.1 Methodische Hinweise	10
2.1.1 Einzelraumsimulationen zur Quantifizierung von Einzeleinflüssen	10
2.1.2 Mehrzonige Simulationsrechnungen für ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus	10
2.2 Erläuterungen zur öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz	11
2.3 Erläuterungen zur Komfortbewertung nach DIN EN 16798 - Teil 1	12
2.4 Parametrisierung Einzelraumsimulationen	13
2.4.1 Raummodelle	13
2.4.2 Fensterflächenanteile	14
2.4.3 Orientierung	14
2.4.4 Klimadaten	14
2.4.5 Nutzung	15
2.4.6 U-Wert Fenster	16
2.4.7 g-Wert Fenster	16
2.4.8 F _c -Werte	16
2.4.9 Steuerung Sonnenschutz	16
2.4.10 Nachtlüftung (Lüftung außerhalb der Nutzungs- bzw. Anwesenheitszeit)	17
2.5 Parametrisierung mehrzonige Simulationsrechnungen	17
2.5.1 Gebäudemodelle	17
2.5.2 Fensterflächenanteile	18
2.5.3 Klimadaten	19
2.5.4 Nutzungen	19
2.5.5 Fenster (U-Werte und g-Werte)	19
2.5.6 F _c -Werte	20
2.5.7 Steuerung Sonnenschutz	20
2.5.8 Nachtlüftung	21
2.6 Auswertungen und Ergebnisablage	21
3 Ergebnisse Einzelraumsimulationen	22
3.1 Klimawandel	22
3.2 Künftige Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz	28
3.2.1 Anwendungsfall Wohnnutzung	28
3.2.2 Anwendungsfall Nichtwohnnutzung	31
3.2.3 Zusammenfassung und Empfehlung zur Fortentwicklung der Anforderungssystematik	35
3.3 Auswertungen zum thermischen Komfort (Wohnnutzung)	39
3.3.1 Einfluss des U _w -Wertes	39
3.3.2 Einfluss des g-Wertes	41
3.3.3 Einfluss Automation bei Sonnenschutz und Lüftung	43
3.4 Auswertungen zum thermischen Komfort (Nichtwohnnutzung)	46
3.4.1 Einfluss des U _w -Wertes	47
3.4.2 Einfluss des g-Wertes	50

3.4.3	Einfluss Automation bei Sonnenschutz und Lüftung.....	53
3.5	Energiebedarf für Heizen und Kühlen.....	56
3.5.1	Auswertungen für Wohnnutzung.....	57
3.5.2	Auswertungen für Nichtwohnnutzung.....	61
3.5.3	Zusammenfassung	64
3.6	Detailbetrachtungen	66
3.6.1	Tempertaturverläufe.....	66
3.6.2	Isoplethendarstellung zur Auswertung der operativen Temperaturen im Jahresverlauf	67
3.6.3	Visualisierung der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1	69
4	Ergebnisse Gebäudesimulationen	71
4.1	Einfamilienhaus (EFH).....	72
4.2	Mehrfamilienhaus (MFH).....	74
5	Kernaussagen.....	77
	Quellenverzeichnis.....	80
	Abbildungsverzeichnis	82
	Tabellenverzeichnis	85
Anhang A	Isoplethen-Darstellungen für weitere Parametersets	87
Anhang B	Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c.....	102

Vorbemerkungen

Der vorliegende Bericht zur „Studie zur integralen Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens - Thermischer Komfort und energetischen Performance -“ dokumentiert eine umfassende Auseinandersetzung mit dem thermischen und energetischen Verhalten von Gebäuden und Räumen in Gebäuden mit besonderem Blick auf die Veränderungen, die mit dem Klimawandel einhergehen. Wesentliche Begriffe, die im Kontext der Studie von Bedeutung sind, werden in einem vorangestellten Glossar erläutert. Mit Abschnitt 2 werden die Randbedingungen der Parametrisierung der Berechnungen beschrieben und methodische Hinweise zur Vorgehensweise und zum Aufbau der Studie gegeben. Der Bericht selbst dokumentiert anhand von ausgewählten Berechnungsfällen in Abschnitt 3 für Einzelraumsimulationen und in Abschnitt 4 für Gebäudesimulationen nur einen kleinen Teil der sehr viel umfangreicheren Gesamtparametrisierung. Anhand dieser ausgewählten Berechnungsfälle können die in Abschnitt 5 zusammengestellten Kernaussagen sehr gut nachvollzogen werden.

Wichtige **Hinweise** und **Erkenntnisse** werden im Bericht durch eine eigene Absatzformatierung kenntlich gemacht.

Glossar

Begriff	Beschreibung/Erläuterung
erhöhte Nachtlüftung	Durch erhöhte Nachtlüftung kann Wärme, die in Räumen tagsüber eingespeichert wurde, insbesondere während der zweiten Nachthälfte wieder nach außen abgegeben werden. Voraussetzung für erhöhte Nachtlüftung sind offenbare Fenster. Bei Wohngebäuden kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung besteht. Bei Nichtwohnnutzung ist wichtig, dass Maßnahmen zur Sicherstellung des Objekt- und Witterungsschutzes ergriffen werden, wenn die Potenziale der Nachtlüftung ausgenutzt werden sollen.
g_{tot}-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases inklusive Sonnenschutz; zusätzlich zum g-Wert des Glases wird hier zusätzlich die Wirkung eines Sonnenschutzes hinsichtlich der Reduktion des Wärmeeintrags berücksichtigt.
g-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases; dieser wird in der Regel als Dezimalzahl mit zwei Nachkommastellen angegeben. Er beschreibt den Anteil der solaren Einstrahlung, der den Raum wärmewirksam erreicht. Er setzt sich zusammen aus einem direkt durch das Glas transmittierten Anteil und einem weiteren Anteil an Wärmestrahlung infolge der Erwärmung der inneren Scheibe infolge Absorption.
F_c-Wert	Abminderungsfaktor von Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis. Der F_c -Wert wird definiert über das Verhältnis von g_{tot} -Wert zum g-Wert. Er beschreibt demnach die Wirkung eines Sonnenschutzes in Verbindung mit einem bestimmten Glas (g-Wert). Er wird in der Regel als Dezimalwert mit 2 Nachkommastellen angegeben. Anhaltswerte für F_c -Werte sind dem vorliegenden Bericht als Anhang B beigefügt.
Grenzbestrahlungsstärke	Die Grenzbestrahlungsstärke bezeichnet den Schwellenwert für die Aktivierung eines Sonnenschutzes. Die Grenzbestrahlungsstärke bezieht sich auf den Wert der Globalstrahlung senkrecht zum Fenster bzw. transparenten Bauteil, der sich aus einem direkten (Direktstrahlung) und diffusen (Diffusstrahlung) Anteil zusammensetzt. Ein üblicher Wert für die Aktivierung eines Sonnenschutzes liegt bei 300 Watt pro Quadratmeter. Je niedriger der Wert, umso früher bzw. häufiger wird der Sonnenschutz betätigt.
operative Temperatur	Die operative Temperatur wird oft auch als „gefühlte Temperatur“ bezeichnet. Zusätzlich zur Lufttemperatur wird bei der operativen Temperatur auch die Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile berücksichtigt. Rechnerisch ergibt sich die operative Temperatur aus dem Mittelwert der Raumlufttemperatur und der flächengewichteten mittleren Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile.

Testreferenzjahr (TRY)	Als Testreferenzjahre, kurz: TRYs (engl.: <u>T</u> est- <u>R</u> eference- <u>Y</u> ears), werden Klimadatenätze bezeichnet, die für die Durchführung von Simulationsrechnungen benötigt werden. Testreferenzjahre beschreiben für unterschiedliche Klimatelemente (z. B. Außenlufttemperatur, solare Einstrahlung, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte, ...) den Verlauf über das Jahr. Für jede Stunde des Jahres wird für jedes Klimatelement der Wert in der entsprechenden Größe/Einheit in dem Klimadatenatz vorgegeben.
Übertemperaturgradstunden	Die Größe Übertemperaturgradstunden wird verwendet, um bezogen auf eine bestimmte Temperatur, z. B. 26 °C, die Dauer und die Höhe der Überschreitung dieser Bezugstemperatur in einem Wert zu beschreiben. Sie dient nach DIN 4108-2:2013-02 als Anforderungsgröße für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes. So darf der mittels einer Simulationsrechnung bestimmte Wert der Übertemperaturgradstunden bei Wohnnutzung 1.200 Kelvinstunden und bei Nichtwohnnutzung 500 Kelvinstunden pro Jahr nicht überschreiten (siehe hierzu auch Erläuterungen in Abschnitt 2.2).
U-Wert	Der U-Wert ist die Kurzbezeichnung für den Wärmedurchgangskoeffizienten eines Bauteils. Die Einheit des U-Wertes ist Watt pro Quadratmeter und Kelvin ($W/(m^2K)$). Mit diesem Kennwert wird demnach beschrieben, wieviel Watt pro Quadratmeter des Bauteils und pro Kelvin Temperaturunterschied zwischen innen und außen durch das Bauteil fließt. Je kleiner der U-Wert, umso weniger Wärme fließt also durch das Bauteil von der warmen zur kalten Seite. Der U-Wert ist ein Kennwert zur Beschreibung der Wärmeverluste über opake (nicht durchsichtige) und transparente Bauteile. Solare Wärmeeinträge, die einen Raum bzw. ein Gebäude durch transparente Bauteile erreichen, werden im U-Wert nicht berücksichtigt.

1 Einführung

1.1 Hintergrund

Verbunden mit dem Ziel, dem Verordnungsgeber valide, bauphysikalisch stichhaltige Informationen zur Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit einer Überarbeitung der Anforderungssystematik hin zu einer angemessenen Berücksichtigung nutzbarer solarer Wärmeeinträge über transparente Bauteile zur Verfügung zu stellen, erfolgte im Rahmen der Studie „Erarbeitung einer Systematik zur Neubewertung der solaren Einträge für Wohn- und Nichtwohngebäude in der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik“ [1] eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem Anwendungsfall Wohn- und Nichtwohngebäude. Als Ergebnis dieser Untersuchung liegt nunmehr ein Vorschlag für die Anforderungssystematik an die Gebäudehülle $H_{T,S'}$ bzw. $Q_{h,b,0}$ vor, der geeignet ist, in zukünftigen GEG- und Effizienzhausanforderungen die Anforderungsgröße H_T' zu ersetzen. Je energieeffizienter Gebäude werden, umso korrekter bilden die vorgeschlagenen Anforderungen die energetische Qualität der Gebäudehülle ab, während der bisherige Wert H_T' zunehmend stärker verzerrt.

In den zwischenzeitlich stattfindenden Diskussionen mit dem zuständigen Ministerium scheint sich abzuzeichnen, dass $Q_{h,b,0}$ voraussichtlich in einem künftigen GEG („große GEG-Novelle“, geplantes Inkrafttreten im Jahr 2025) als neue Anforderungsgröße formuliert und hinsichtlich der Berechnung dieser Größe dann in Teil 2 der Normenreihe DIN TS 18599 in Bezug genommen wird.

Die vorbeschriebene Umstellung der Anforderungssystematik betrifft in erster Linie die Effizienzanforderung in Bezug auf den winterlichen Wärmeschutz und eine bilanziell korrekte Abbildung nutzbarer solarer Wärmeeinträge der Gebäudehülle. Zur Erarbeitung einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Gesamt-Anforderungssystematik ist es allerdings unerlässlich, auch die aktuellen den sommerlichen Wärmeschutz betreffenden Anforderungen auf den Prüfstand zu stellen. Auf den bisherigen Studien aufbauend sollen entsprechende Vorschläge zur Fortschreibung der Anforderungssystematik ausgearbeitet werden, nach denen mit Blick auf den weiter voranschreitenden Klimawandel ein definierter thermischer Komfort gewährleistet bzw. die Minimierung des Einsatzes von Energie zur anlagentechnischen Kühlung sichergestellt werden kann.

Im Rahmen der vorliegenden Studie sollen vor diesem Hintergrund alle relevanten, das sommerliche Wärmeverhalten beeinflussenden Parameter rechnerisch untersucht und unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit dem winterlichen Wärmeschutz bewertet werden. Hiermit sollen einerseits die Auswirkungen von Einzeleinflüssen auf das sommerliche Wärmeverhalten bzw. den Energiebedarf für Kühlung quantifiziert und andererseits Wege zur Identifizierung integraler Lösungen für nachhaltige Gesamtkonzepte aufgezeigt werden. Konkrete Zielsetzungen und anvisierte Projektergebnisse werden im Folgenden näher beschrieben.

1.2 Zielsetzung

Als übergeordnete Zielsetzungen der Studie werden folgende Punkte formuliert:

1. Die Bewertung der transparenten Bauteile (Fenster und Fassade) in der Außenhülle soll detailliert im Hinblick auf unterschiedliche Erfüllungsoptionen des sommerlichen Wärmeschutzes erweitert werden (Ausgangspunkt hierfür sind raumbezogene Bewertungen aus der Vorgängerstudie „Erarbeitung einer Systematik zur Neubewertung der solaren Einträge für Wohn- und Nichtwohngebäude in der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik“ [1]). Hierzu erfolgen umfangreiche Simulationsrechnungen unter Berücksichtigung aller wesentlichen das sommerliche Wärmeverhalten beeinflussenden Parameter anhand von definierten Modellräumen.

2. Wesentlicher Bestandteil der Parametrisierung ist das Herausarbeiten der Konsequenzen eines weiter voranschreitenden Klimawandels. Hierzu erfolgt für ausgewählte Klimastandorte die Gegenüberstellung der Ergebnisse unter Ansatz aktueller Klimarandbedingungen zu Ergebnissen unter Ansatz entsprechender Zukunftsklimadatensätze.
3. Zusätzlich zu einer Auswertung der Simulationsrechnungen für die gegenwärtige Anforderungssystematik zum sommerlichen Mindestwärmeschutz aus DIN 4108-2:2013-02 [2] sollen Komfortbewertungen nach DIN EN 16798-1:2022-03 [3] erfolgen. Hierdurch soll ein Vergleich der gegenwärtigen Anforderungssystematik (Übertemperaturgradstunden) zu den Komfortstufen nach DIN EN 16798-1 ermöglicht werden.
4. Das Potenzial eingesparter Kühlenergie durch Einsatz verschiedener Sonnenschutzmaßnahmen soll in die Bewertung aufgenommen werden. Grundlage hierfür sind die in der Studie „Anforderungssystematik nach GEG und für Effizienzhäuser - Optimierungen für eine zielgerichtete Anforderung und Förderung“ [4] untersuchten Modellgebäude Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus aus der Modellgebäudetypologie [5]. Für diese Berechnungen werden mehrzonige Gebäudemodelle des Ein- und Mehrfamilienhauses erstellt und es erfolgt analog zu Punkt 1. die Simulation in einer breit angelegten Parameterstudie.
5. Als Projektergebnis sollen die Ergebnisse der Parameterstudie in Datenbanken abgelegt und zur Auswertung über Excel-Tools bereitgestellt werden. Diese „Werkzeuge“ zur Auswertung sollen dazu führen, dass insbesondere in frühen Planungsphasen für die Kombination von transparenten Bauteilen und Sonnenschutzvorrichtungen schneller und einfacher Lösungen identifiziert werden können, mit denen das sommerliche und winterliche Wärmeverhalten integral bewertet werden kann.

2 Randbedingungen der Bearbeitung

Die folgenden Abschnitte dienen einerseits der Erläuterung der Ausgangslage und andererseits der Dokumentation der den durchgeführten Simulationsrechnungen zugrunde gelegten Randbedingungen sowie der Parametrisierung.

2.1 Methodische Hinweise

2.1.1 Einzelraumsimulationen zur Quantifizierung von Einzeleinflüssen

Der sommerliche Wärmeschutz wurde in eingeschränktem Umfang bereits in der Studie „Erarbeitung einer Systematik zur Neubewertung der solaren Einträge für Wohn- und Nichtwohngebäude in der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik“ [1] untersucht. Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgt für die in [1] zugrunde gelegten Raumgeometrien eine umfangreiche Parametrisierung aller relevanten das sommerliche Wärmeverhalten beeinflussenden Parameter. Gleichmaßen erfolgt die Auswertung der Simulationsrechnungen auch in Bezug auf das winterliche Wärmeverhalten, sodass eine integrale Bewertung der untersuchten Einzeleinflüsse und auch deren Wechselwirkungen untereinander bewertet werden können. Folgende Zielgrößen werden in einer Datenbank abgelegt bzw. für vergleichende Auswertungen bereitgestellt:

- maximale operative Temperatur ($\theta_{op,max}$) im Jahr
- Übertemperaturgradstunden (Gh_x für Bezugstemperaturen X von 25 bis 35 °C in Schritten von 1°C)
- Überschreitungshäufigkeiten (n_x für Bezugstemperaturen X von 25 bis 35 °C in Schritten von 1°C)
- Komfortauswertungen nach DIN EN 16798-1 (für Nutzungen ohne [ideale] Kühlung)
 - Übertemperaturgradstunden bezogen auf die Überschreitung der Obergrenzen der Komfort-Kategorien I, II und III ($Gh_{Kat.I}$, $Gh_{Kat.II}$, $Gh_{Kat.III}$)
 - Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf die Überschreitung der Obergrenzen der Komfort-Kategorien I, II und III ($n_{Kat.I}$, $n_{Kat.II}$, $n_{Kat.III}$)
- Nutzkältebedarfe (für Nutzungen mit idealer Kühlung) für die Bezugstemperaturen 22 und 26 °C

Die Parametrisierung für die Einzelraumsimulationen wird in Abschnitt 2.4 beschrieben.

2.1.2 Mehrzonige Simulationsrechnungen für ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus

Für die in der Studie „Anforderungssystematik nach GEG und für Effizienzhäuser - Optimierungen für eine zielgerichtete Anforderung und Förderung“ [4] untersuchten Modellgebäude Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) erfolgt für unterschiedliche Klimadatensätze (unterschiedliche Klimaregionen und insbesondere Gegenüberstellung aktuelles mittleres Klima zu entsprechendem Zukunftsklima) die erforderliche Kühlenergie für Situationen ohne Sonnenschutz ($F_c = 1,0$) und mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (Variation F_c -Wert). Die Potenziale zur Einsparung von Kühlenergie bei verschiedenen F_c -Werten werden bestimmt. Für das EFH und das MFH erfolgt für die Simulationsrechnungen eine mehrzonige Modellierung der Gebäude. Der Kühlenergiebedarf wird dabei zunächst raumweise ermittelt und für die Auswertung als Gesamt-Kühlenergiebedarf für das Gebäude aufsummiert. Die Auswertungen erfolgen gleichermaßen und ergänzend für den Heizwärmebedarf. Sowohl für Kühl- als auch Heizenergiebedarf erfolgt die Auswertung auf Ebene der Nutzenergien. Folgende Zielgrößen werden in einer Datenbank abgelegt bzw. für vergleichende Auswertungen bereitgestellt:

- **Nutzkältebedarf** für ideale Kühlung für die Bezugstemperaturen 24 und 26 °C
- **Nutzwärmebedarf** für Heizen (Soll-Temperatur Heizen 20 °C)

Neben den vorgenannten Größen werden raumbezogene Ergebnisse (maximale Raumtemperaturen, Übertemperaturgradstunden, Überschreitungshäufigkeiten, Komfortbewertungen

nach DIN EN 16798-1) ermittelt und für weitergehende Auswertungen in einem möglichen Folgeprojekt archiviert. Für die vorliegende Studie erfolgt ausschließlich eine gebäudebezogene Auswertung der Größe Nutzkälte- und Nutzwärmebedarf. Die Parametrisierung für die mehrzonigen Simulationen wird in Abschnitt 2.5 beschrieben.

2.2 Erläuterungen zur öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz

Gemäß Gebäudeenergiegesetz [6], zuletzt geändert durch [7] zur am 1.1.2023 in Kraft getretenen Fassung GEG 2023 werden in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz an neu zu errichtende Wohn- und Nichtwohngebäude die seit der Energieeinsparverordnung 2014 [8] unverändert geltenden Anforderungen gerichtet. Zur Einhaltung der Anforderungen ist der Nachweis des sommerlichen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2:2013-02 [2] zu führen. Für diesen Nachweis kann entweder ein vereinfachtes Nachweisverfahren (Sonneneintragskennwertverfahren) zur Anwendung kommen, oder es werden thermische Simulationsrechnungen durchgeführt. Die Anwendung und Auswertung des vereinfachten Verfahrens ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie und es wird an dieser Stelle auf eine weitergehende Erläuterung verzichtet. Bei dem Nachweis über thermische Simulationsrechnungen ist je nach Klimaregion (Klimaregionen A, B und C, vgl. Abbildung links in Bild 3-1) und vorliegender Nutzung die Einhaltung eines individuellen Anforderungswertes für die Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden nachzuweisen (siehe Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Übertemperaturgradstunden-Anforderungswerte nach [2]

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

Neben der Dauer der Überschreitung der jeweils relevanten Bezugstemperatur (Überschreitungshäufigkeiten als Summe der Länge der roten Striche in Bild 2-1) wird über die Größe Übertemperaturgradstunden (Summe der grauen Flächen in Bild 2-1) auch die Höhe der Überschreitung der Bezugstemperatur in einem definierten Bezugszeitraum mit abgebildet.

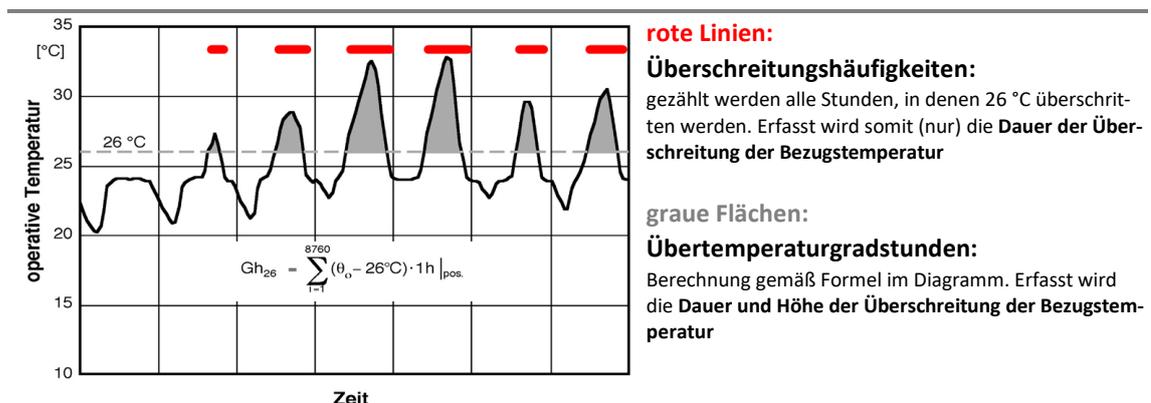


Bild 2-1: Schematische Darstellung zur Ermittlung von Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden

Als Bezugszeitraum gelten für Wohnnutzung alle Stunden des Jahres (also 8.760 Stunden) und für Nichtwohnnutzung die wochentäglichen Zeiten von 7 Uhr bis 18 Uhr (beginnend bei einem Montag im also 52 Wochen á 5 Arbeitstage á 11 Stunden pro Tag plus ein weiterer Montag á 11 Stunden, also 2.871 Stunden pro Jahr).

Im Zuge der Fortschreibung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wird nach gegenwärtigem Stand der Überarbeitung der DIN 4108-2 für eine künftige Anforderungssystematik angestrebt, von der Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden auf die Anforderungsgröße Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Komfortstufe II nach DIN EN 16798-1 umzustellen. Diese Umstellung der Anforderungssystematik geht dann voraussichtlich und sinnvollerweise einher mit der Vorgabe zur Verwendung von geeigneten Zukunftsklimadaten (siehe hierzu Abschnitt 3.2). Zum besseren Verständnis erfolgt im nächsten Abschnitt die Erläuterung der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1.

2.3 Erläuterungen zur Komfortbewertung nach DIN EN 16798 - Teil 1

Anders als DIN 4108-2:2013-02, wonach die Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens unter Zugrundelegung statischer Bezugswerttemperaturen (25 °C für Klimaregion A, 26 °C für Klimaregion B und 27 °C für Klimaregion C) erfolgt, bietet DIN EN 16798-1:2022-03 [3] ein Verfahren an, welches momentane Temperaturen abhängig vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur der vergangenen 7 bis etwa 14 Tage (je nach Formel) bewertet. Als Komfortgrenzen werden in diesem Verfahren für unterschiedliche Komfortniveaus jeweils Obergrenzen abhängig von dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur definiert. Diese Obergrenzen können im Kontext der Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes als Grenzen für die Festlegung einer „Mindestanforderung“ herangezogen werden (siehe hierzu Erläuterungen in Abschnitt 3.2).

Die Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1:2022-03 erlaubt also abhängig vom zugrundeliegenden Klimadatensatz die Nutzung stundenweise variabler Bezugstemperaturen. Diese variablen Bezugstemperaturen berücksichtigen das Klima der vorausgehenden Tage exponentiell gewichtet und ermöglichen somit die Bewertung einer Klimaadaptation. Hinsichtlich der Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz ergeben sich dadurch zwei Vorteile: Zum einen lassen sich so beliebige Klimadaten individuell und bezogen auf ein definiertes Komfortniveau auch im direkten Vergleich untereinander bewerten (dieser Vorteil zeigt sich allerdings erst bei der Anwendung von flächendeckenden Testreferenzjahren - TRY) und zum anderen wird eine Klimaadaptation dann berücksichtigt, wenn diese auch tatsächlich wirksam ist.

DIN EN 16798-1:2022-03 empfiehlt für Neubauten die Anwendung von Kategorie II. Diese wird im Weiteren betrachtet. Die obere Begrenzung von Kategorie II $\theta_{op,Kat.II,og}$ ergibt sich durch folgenden Formelbezug:

$$\theta_{op,Kat.II,og} = 0,33 \times \theta_{rm} + 18,8 + 3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

θ_{rm} entspricht dem exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der vorausgehenden Tage. Zur Berechnung von θ_{rm} ist für die Anwendung bzw. Auswertung eine Festlegung erforderlich, die definiert, für welche rückblickende Periodenlänge der gleitende Mittelwert der Außentemperatur berechnet werden soll und welche Gewichtung die einzelnen Tage hierbei haben sollen. Für einen beispielhaft gewählten Rückblick auf die jeweils letzten 14 Tage und eine durch DIN EN 16798-1 empfohlene Gewichtung ergibt sich für θ_{rm} folgende Formel:

$$\theta_{rm,14d} = \frac{\sum_{i=1}^{14} 0,8^{i-1} \times \theta_{ed-i}}{4,78}$$

Es ergibt sich die in Bild 2-2 dargestellte Obergrenze der operativen Temperaturen für die Kategorie II. Für den Sommerfall sind außerhalb der dargestellten θ_{rm} -Werte im hiesigen Klima keine Werte zu erwarten und es erfolgt außerhalb der dargestellten Grenzen keine Auswertung.

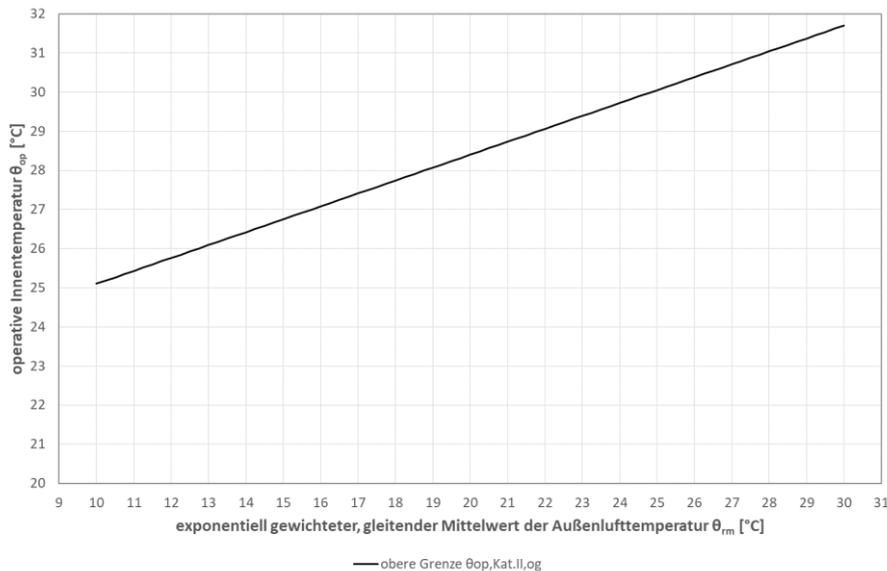


Bild 2-2: Zulässige operative Innentemperatur für Kategorie II (obere Begrenzung) $\theta_{op,Kat.II,og}$ gemäß DIN EN 16798-1:2022-03

Die dargestellte variable Obergrenze erlaubt sowohl die Auswertung von Übertemperaturgradstunden als auch von Überschreitungshäufigkeiten. Da innerhalb der Bewertungssystematik bereits eine Klimaadaptation enthalten ist, wird die Anwendung der Anforderungsgröße Überschreitungshäufigkeiten für die Fortschreibung der Anforderungssystematik empfohlen. Diese Größe erscheint außerdem vorteilhaft, da sich Anforderungswerte somit anhand der Aufenthalts- bzw. Nutzungszeiten definieren lassen (in Form von zulässigen Überschreitungshäufigkeiten je nach Nutzung in der relevanten Nutzungszeit). In den folgenden Abschnitten wird die Anwendung von Anforderungswerten für verschiedene Nutzungsrandbedingungen diskutiert.

2.4 Parametrisierung Einzelraumsimulationen

Über die folgenden Elemente 2.4.1 bis 2.4.10 erfolgt die Beschreibung der für die Einzelraumsimulationen durchgeführten Parametrisierung. Dabei erfolgt die Nennung der für die eindeutige Fallbezeichnung (diese ergibt sich aus der Aneinanderreihung der Parameterbezeichnungen) gewählten Elemente in **blauer fetter Schrift**.

2.4.1 Raummodelle

Die Simulationsrechnungen werden für insgesamt 4 geometrische Raummodelle (siehe Bild 2-3) durchgeführt. Die Konstruktionen werden so definiert, dass hierdurch eine mittelschwere Bauart beschrieben ist (auf die Grundfläche bezogene wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk}} = 90 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$). Für den Raum zen und den Raum zen1.5b1.5t_breit erfolgt zusätzlich die Modellierung für eine leichte Bauweise ($C_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$). Die Bauteile Außenwand und Dachfläche als Bestandteile der wärmeübertragenden Hüllfläche, werden im Schichtenaufbau so beschrieben, dass U-Werte von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die Außenwand und $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die Dachfläche erreicht werden.

- (1) Zentralraum **zen**
- (2) Zentralraum **zen-leicht**
- (3) Zentralraum **zen1.5b1.5t_breit**
- (4) Zentralraum **zen1.5b1.5t_breit-leicht**
- (5) Zentralraum **zen2b2t_breit**
- (6) Dachzentralraum **dachzen30**

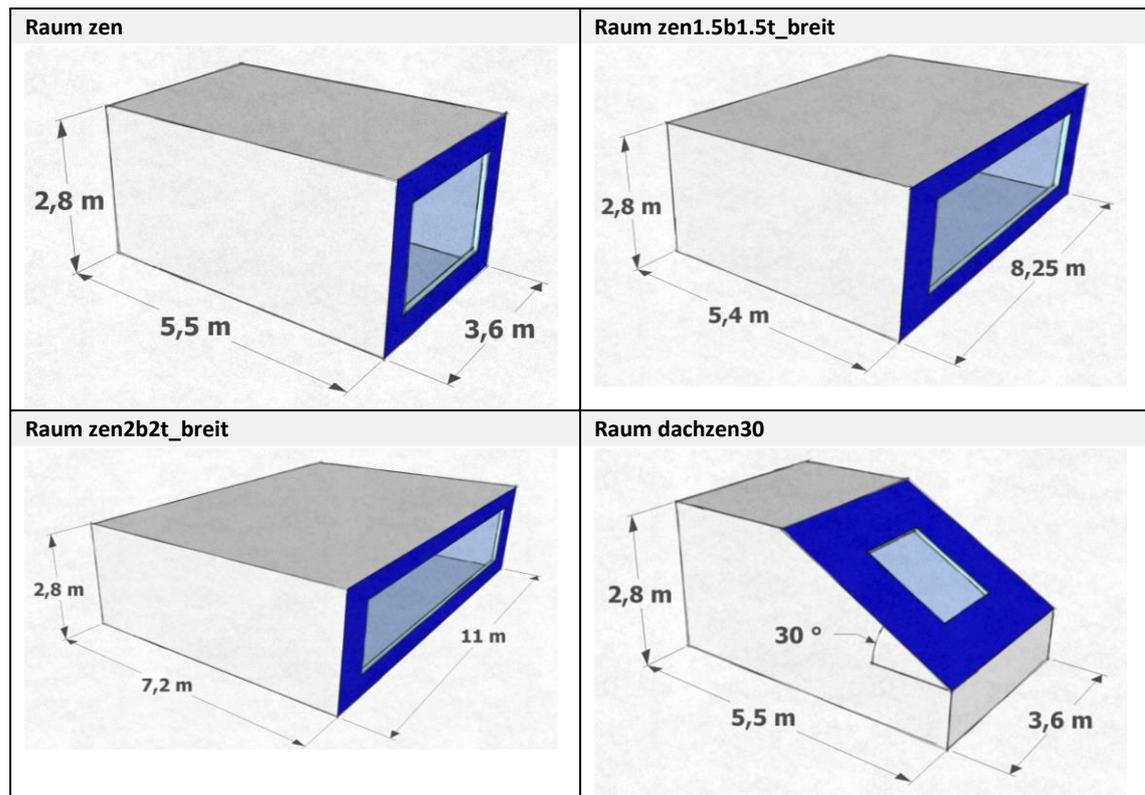


Bild 2-3: Skizzen Raummodelle für Einzelraumsimulationen

2.4.2 Fensterflächenanteile

Für die Raummodelle werden drei unterschiedliche Fensterflächenanteile wie folgt betrachtet:

- (1) Fensterflächenanteil **niedrig**:
Zentralräume: fassadenbezogener Fensterflächenanteil 30 %
Dachzentralraum: dachflächenbezogener Fensterflächenanteil: 5 %
- (2) Fensterflächenanteil **mittel**:
Zentralräume: fassadenbezogener Fensterflächenanteil 50 %
Dachzentralraum: dachflächenbezogener Fensterflächenanteil: 10 %
- (3) Fensterflächenanteil **hoch**:
Zentralräume: fassadenbezogener Fensterflächenanteil 70 %
Dachzentralraum: dachflächenbezogener Fensterflächenanteil: 20 %

2.4.3 Orientierung

Die Berechnungen erfolgen jeweils für Orientierungen der Fensterfassade bzw. der Dachfläche mit Dachflächenfenster wie folgt:

- (1) Orientierung **Ost**
- (2) Orientierung **Süd**
- (3) Orientierung **West**

2.4.4 Klimadaten

Den Simulationsrechnungen werden die im Folgenden benannten Klimadatensätze (Testreferenzjahre, TRYs) hinterlegt. Die mit „TRY2010“ (und „TRY2035“) bezeichneten Datensätze wurden vom Deutschen Wetterdienst entwickelt und durch das BBSR im Jahr 2011 veröffentlicht [9]. Die TRY2010-Datensätze für die Standorte Rostock, Potsdam und Mannheim sind die Datensätze, welche nach der aktuellen Anforderungssystematik zur Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2013-2 [2] zu verwenden sind. Das Bundesgebiet

ist nach [9] in insgesamt 15 Klimaregionen eingeteilt, für die seinerzeit auch sog. Zukunftsklimadatensätze für die Periode 2020 bis 2050 bereitgestellt wurden (Bezeichnung hier: TRYs2035). Mittlerweile liegen die Klimadaten für das Bundesgebiet in einer fortgeschriebenen Fassung [10] vor, wonach das Bundesgebiet in ein km-Raster unterteilt ist und für jedes Rasterelement ein eigener Klimadatensatz zur Verfügung steht. Auch hier werden Zukunftsklimadatensätze bereitgestellt (für die Periode 2031 - 2060, Bezeichnung hier: TRYs2045). Zur Beschreibung des Zukunftsklimas erfolgen für die vorliegende Studie zunächst Berechnungen unter Verwendung der TRYs2035, nach intensiven Diskussionen mit dem Deutschen Wetterdienst wurde diesseits allerdings die Empfehlung ausgesprochen, für die Fortschreibung der Anforderungssystematik auf die mittlerweile fortgeschriebenen Datensätze [10] zurückzugreifen. Deshalb erfolgte für die vorliegende Studie eine Neuberechnung der Fälle mit Zukunftsklimadaten aus den TRYs2045, wobei genau die Klimadatensätze der Rasterelemente ausgewählt sind, in denen sich auch die Repräsentanzstationen der ursprünglichen TRYs2010 befinden. Aus der intensiven Auseinandersetzung mit den TRYs2045 im Rahmen des vom Ingenieurbüro Hauser bearbeiteten Zukunft-Bau-Projektes zur Fortschreibung der DIN 4108-2 und der Erarbeitung eines Vorschlags für eine neue Klimakarte für Deutschland geht hervor, dass der bisherige Repräsentant Rostock für die Klimaregion A nicht beibehalten werden kann und stattdessen der Klimadatensatz für den Standort Hof verwendet werden sollte. Somit ergeben sich für die Parametrisierung die im Folgenden aufgeführten Klimadatensätze:

(1) TRYs 2010

- a) **TRY2010_02** (Rostock) - TRY für Klimaregion A nach DIN 4108-2:2013-02
- b) **TRY2010_04** (Potsdam) - TRY für Klimaregion B nach DIN 4108-2:2013-02
- c) **TRY2010_12** (Mannheim) - TRY für Klimaregion C nach DIN 4108-2:2013-02

(2) TRYs 2045:

- a) **TRY2045_02** (Rostock) -> alter Repräsentant für Klimaregion A
- b) **TRY2045_10** (Hof) -> neue Empfehlung TRY für künftige Klimaregion A
- c) **TRY2045_04** (Potsdam) -> Empfehlung TRY für künftige Klimaregion B
- d) **TRY2045_12** (Mannheim) -> Empfehlung TRY für künftige Klimaregion C

2.4.5 Nutzung

Als Nutzungsrandbedingungen werden für Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung die entsprechenden Nutzungsprofile nach DIN 4108-2:2013-02 zugrunde gelegt. Darüber hinaus erfolgen Berechnungen, wobei für Wohn- und Nichtwohnnutzung ideale Kühlungen auf 26 °C und 22 °C unterstellt werden. Hieraus ergeben sich die im Folgenden benannten 6 Nutzungsrandbedingungen. Ergebnisse zusätzlicher Simulationsrechnungen für insgesamt 5 aus den Nutzungsprofilen der DIN V 18599-10 [11] abgeleiteten Nichtwohnnutzungsprofilen werden ebenfalls in der Datenbank der Auswertungen abgelegt, bleiben aber im Weiteren unkommentiert, da die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Nichtwohnnutzungen nicht Gegenstand der vorliegenden Studie ist.

(1) Wohnnutzungen

- a) ohne Kühlung: **WG_oK**
- b) mit idealer Kühlung auf 26 °C: **WG_mK26**
- c) mit idealer Kühlung auf 22 °C: **WG_mK22**

(2) Nichtwohnnutzungen

- a) ohne Kühlung: **NWG_oK**
- b) mit idealer Kühlung auf 26 °C: **NWG_mK26**
- c) mit idealer Kühlung auf 22 °C: **NWG_mK22**

2.4.6 U-Wert Fenster

Der U-Wert der Fenster wird im Rahmen der Parametrisierung zwischen $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in Schritten von $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ variiert. Hieraus ergeben sich folgende Bezeichnungen:

- (1) $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$: **UW130**
- (2) $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$: **UW120**
- (3) $U_w = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$: **UW110**
- (4) $U_w = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$: **UW100**
- (5) $U_w = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$: **UW090**
- (6) $U_w = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$: **UW080**
- (7) $U_w = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$: **UW070**

2.4.7 g-Wert Fenster

Der g-Wert der Fenster wird im Rahmen der Parametrisierung zwischen $g = 0,60$ und $0,06$ in Schritten von $0,06$ variiert. Hieraus ergeben sich folgende Bezeichnungen:

- (1) $g = 0,60$: **g060**
- (2) $g = 0,54$: **g054**
- (3) $g = 0,48$: **g048**
- (4) $g = 0,42$: **g042**
- (5) $g = 0,36$: **g036**
- (6) $g = 0,30$: **g030**
- (7) $g = 0,24$: **g024**
- (8) $g = 0,18$: **g018**
- (9) $g = 0,12$: **g012**
- (10) $g = 0,06$: **g006**

2.4.8 F_c-Werte

Der F_c-Wert für das System Fenster und Sonnenschutz wird im Rahmen der Parametrisierung zwischen $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz) sowie zwischen $F_c = 0,90$ und $0,10$ in Schritten von $0,20$ variiert. Hieraus ergeben sich folgende Bezeichnungen:

- (1) F_c-Wert 1,0: **FC100**
- (2) F_c-Wert 0,90: **FC090**
- (3) F_c-Wert 0,70: **FC070**
- (4) F_c-Wert 0,50: **FC050**
- (5) F_c-Wert 0,30: **FC030**
- (6) F_c-Wert 0,10: **FC010**

Hinweis: Mit Anhang B sind dem vorliegenden Bericht Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c beigefügt, die eine Zuordnung des F_c-Wertes in Abhängigkeit von dem Sonnenschutzsystem und dem Glas ermöglichen. Diese mit Anhang B bereitgestellten Anhaltswerte wurden dem Bericht „Überarbeitung der Kennwerte zur Bewertung von Fenstern mit Sonnenschutzvorrichtungen in DIN 4108-2 und DIN V 18599-2“ [12] entnommen.

2.4.9 Steuerung Sonnenschutz

Im Rahmen der Parametrisierung erfolgt die Aktivierung des Sonnenschutzes ausschließlich für strahlungsgeführte Steuerungen. Als Steuerungsgröße wird dabei die sog. Grenzbestrahlungsstärke I_{grenz} (Globalstrahlung, Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung) verwendet. Dabei wird zwischen manueller und automatischer Steuerung unterschieden. Für manuellen Betrieb wird dabei eine Bedienung während der Anwesenheitszeit (Wohnnutzung, täglich 6 - 23 Uhr; Nichtwohnnutzung wochentäglich 7 bis 18 Uhr, keine Aktivierung am Wochenende). Folgende Situationen werden rechnerisch bewertet:

Für Wohnnutzung:

- (1) manuell, mit $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$: **m300**
- (2) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$: **a300**
- (3) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 200 \text{ W/m}^2$: **a200**
- (4) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 100 \text{ W/m}^2$: **a100**

Für Nichtwohnnutzung:

- (1) manuell, mit $I_{\text{grenz}} = 200 \text{ W/m}^2$: **m200**
- (2) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 200 \text{ W/m}^2$: **a200**
- (3) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 150 \text{ W/m}^2$: **a150**
- (4) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 100 \text{ W/m}^2$: **a100**

2.4.10 Nachtlüftung (Lüftung außerhalb der Nutzungs- bzw. Anwesenheitszeit)

In Bezug auf den Luftwechsel außerhalb der Nutzungs- bzw. Anwesenheitszeit (Wohnnutzung täglich zwischen 23 und 6 Uhr; Nichtwohnnutzung wochentäglich zwischen 18 und 7 Uhr) wird unterschieden zwischen den Situationen nur Grundluftwechsel (Wohnnutzung: $0,5 \text{ h}^{-1}$; Nichtwohnnutzung: $0,24 \text{ h}^{-1}$) und erhöhte Nachtlüftung ($n = 2 \text{ h}^{-1}$).

- (1) nur Grundluftwechsel: **NLO**
- (2) erhöhter Luftwechsel: **NL2**

Hinweis: bei den vorbeschriebenen Zeiten handelt es sich um normative Regelungen bzw. Festlegungen zur Beschreibung der Standardnutzungen „Wohnnutzung“ und „Nichtwohnnutzung“ für die Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 [2] über Simulationsrechnungen. Diese Standardnutzungsrandbedingungen erheben nicht den Anspruch, das reale Nutzungsverhalten abzubilden, sondern sind in erster Linie vereinfachend im Sinne der Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit von Simulationsrechnungen so festgelegt worden. Zur Bewertung des thermischen Raumverhaltens unter realen Nutzungsrandbedingungen wird empfohlen, ergänzend zu den Berechnungen zur Nachweisführung weitergehende Simulationsrechnungen unter Berücksichtigung der realen Nutzungsrandbedingungen durchzuführen. Dies betrifft nicht nur die Ansätze bezüglich An- und Abwesenheit des Nutzers, sondern auch Elemente wie z. B. Anzahl der anwesenden Personen, Höhe der internen Wärmeeinträge und individuelle klimatische Randbedingungen.

2.5 Parametrisierung mehrzonige Simulationsrechnungen

Die folgenden Abschnitte 2.5.1 bis 2.5.8 beschreiben den Umfang der Parametrisierung für die mehrzonigen Simulationsrechnungen. Analog zur Beschreibung der Parametrisierung der raumbezogenen Simulationen werden die Bezeichnungen zur Fallunterscheidung jeweils in **blauer fetter Schrift** benannt. Aus der Aneinanderreihung der Fallbezeichnungen ergibt sich für die spätere Gegenüberstellung einzelner Ergebnisse eine eindeutige Fallbezeichnung bzw. -identifizierung.

2.5.1 Gebäudemodelle

2.5.1.1 Einfamilienhaus

Für exemplarische Berechnungen wird für die Projektbearbeitung ein kleines Einfamilienhaus (**EFH**) aus der ZUB-Modellgebäudetypologie [5] herangezogen. Ansichten dieses Gebäudes sind in Bild 2-4 dargestellt.

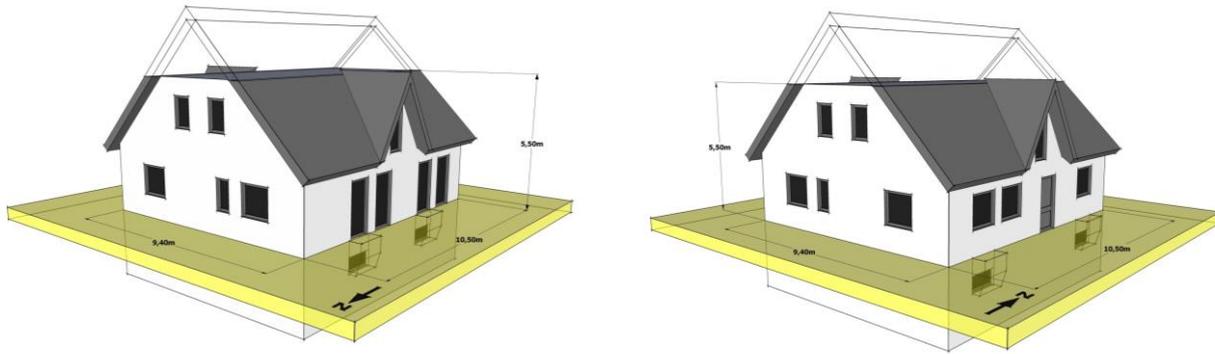


Bild 2-4: Modellgebäude EFH aus ZUB-Modellgebäudetypologie [5], Ansichten Nord-West (links) und Süd-Ost (rechts)

Weitergehende detaillierte Informationen zur Geometrie des Gebäudes sind dem Bericht zur Modellgebäudetypologie [5] zu entnehmen. Abweichend von den in der Typologie beschriebenen Fensterflächen wird das Einfamilienhaus für 4 unterschiedliche grundflächenbezogene Fensterflächenanteile betrachtet (siehe Abschnitt 2.5.2).

2.5.1.2 Mehrfamilienhaus

Als weiteres Beispielgebäude wird ein kleines Mehrfamilienhaus (MFH) aus der ZUB-Modellgebäudetypologie [5] herangezogen. Ansichten dieses Gebäudes sind in Bild 2-5 dargestellt.

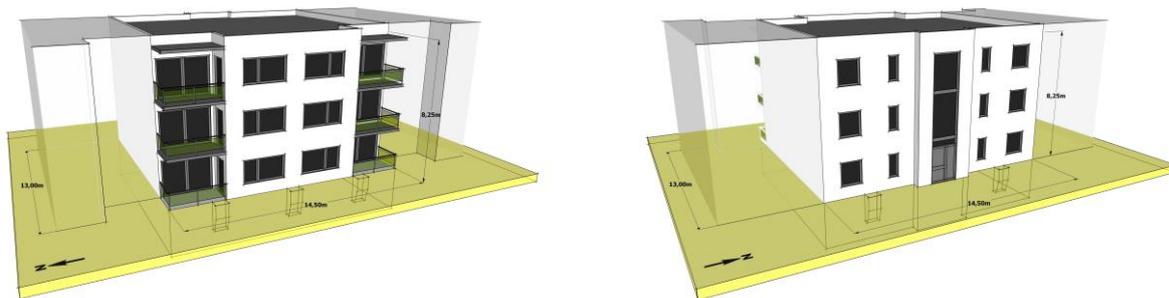


Bild 2-5: Modellgebäude MFH aus ZUB-Modellgebäudetypologie [5], Ansichten Nord-West (links) und Süd-Ost (rechts), für die Berechnungen modelliert als freistehendes Gebäude

Weitergehende Informationen zur Geometrie des Gebäudes können dem Bericht zur Modellgebäudetypologie [5] zu entnehmen. Abweichend von den in der Typologie beschriebenen Fensterflächen wird das Mehrfamilienhaus für 4 unterschiedliche grundflächenbezogene Fensterflächenanteile betrachtet (siehe Abschnitt 2.5.2).

2.5.2 Fensterflächenanteile

Für die Gebäudegeometrien EFH und MFH aus [5] wird eine Variation der Fensterfläche in der Art vorgenommen, dass das Gebäude unterschiedliche grundflächenbezogene Fensterflächenanteile betrachtet werden. Es werden je Gebäude insgesamt 4 geometrische Varianten gebildet, mit denen Fensterflächenanteile, wie unten aufgeführt, beschrieben werden. Die auf diese Weise gebäudespezifisch bestimmten Gesamt-Fensterflächen werden für das Einfamilienhaus vereinfachend mit 15 % Richtung Norden, jeweils 25 % Richtung Osten und Westen und mit 35 % Richtung Süden in den Außenwänden der Gebäude modelliert. Für das als Reihenmittelhaus modellierte Mehrfamilienhaus erfolgt die Verteilung der Fensterflächen je zur Hälfte auf Ost- und Westfassade. Für die Parametrisierung werden folgende Fallbezeichnungen gewählt:

Für das Einfamilienhaus:

- (1) **fWG10** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 10 %
- (2) **fWG20** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 20 %

- (3) **fwG30** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 30 %
- (4) **fwG40** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 40 %

Für das Mehrfamilienhaus:

- (1) **fwG07** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 7 %
- (2) **fwG14** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 14 %
- (3) **fwG21** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 21 %
- (4) **fwG28** für grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil 28 %

2.5.3 Klimadaten

Die Parametrisierung der Klimadaten erfolgt für die gebäudebezogenen Simulationen wie folgt:

(1) TRYs 2015

Zur Bewertung des aktuellen mittleren Klimas werden die drei Datensätze/Standorte aus dem räumlich hoch aufgelösten (km-Raster) Testreferenzjahren ausgewählt, die nach gegenwärtigem Stand den für die Fortschreibung der normativen Anforderungen empfohlenen Datensätzen/Standorten aus den TRYs 2045 (Zukunftsklimadaten) entsprechen.

- a) **TRY2015_10** (Hof) - aktuelles mittleres Klima für Standort Hof
- b) **TRY2015_04** (Potsdam) - aktuelles mittleres Klima für Standort Potsdam
- c) **TRY2015_12** (Mannheim) - aktuelles mittleres Klima für Standort Mannheim

(2) TRYs 2045:

Zur Beschreibung der zukünftigen Klimaverhältnisse werden die Zukunftsklimadaten für mittlere zukünftige Verhältnisse wie folgt zugrunde gelegt:

- a) **TRY2045_10** (Hof) -> neue Empfehlung TRY für künftige Klimaregion A
- b) **TRY2045_04** (Potsdam) -> Empfehlung TRY für künftige Klimaregion B
- c) **TRY2045_12** (Mannheim) -> Empfehlung TRY für künftige Klimaregion C

2.5.4 Nutzungen

Als Nutzungsrandbedingungen wird in Bezug auf die internen Wärmeeinträge zwischen EFH und MFH wie folgt unterschieden:

- EFH: 50 Wh/(m²d), gleichmäßig verteilt über 24 h/d
- MFH: 100 Wh/(m²d), gleichmäßig verteilt über 24 h/d

2.5.5 Fenster (U-Werte und g-Werte)

Es werden insgesamt 8 unterschiedliche Fensterqualitäten (aus [4]) betrachtet. Diese sind wie folgt über deren U- und g-Wert beschrieben:

- (1) $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW130**) mit $g = 0,60$ (**g060**, Fenster GEG-Referenz)
- (2) $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW120**) mit $g = 0,64$ (**g064**)
- (3) $U_w = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW110**) mit $g = 0,53$ (**g053**)
- (4) $U_w = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW100**) mit $g = 0,60$ (**g060**)
- (5) $U_w = 0,94 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW094**) mit $g = 0,53$ (**g053**)
- (6) $U_w = 0,88 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW088**) mit $g = 0,53$ (**g053**)
- (7) $U_w = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW082**) mit $g = 0,53$ (**g053**)
- (8) $U_w = 0,76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (**UW076**) mit $g = 0,53$ (**g053**)

Um in Bezug auf den g-Wert als wesentlichen Einfluss auf das sommerliche Wärmeverhalten eine größere Bandbreite für die Auswertungen abzubilden, erfolgt ausgehend von den vorbeschriebenen Fensterqualitäten eine zusätzliche Abminderung der fallweise beschriebenen g-Werte. Diese Abminderung wird mit der Bezeichnung „FCFIX“ und rechnerisch als zusätzlicher Faktor zur Abminderung der Solarstrahlung berücksichtigt. Folgende Faktoren werden verwendet:

- (1) Faktor 1,0: **FCFIX10**, damit entsprechen die g-Werte der Fenster den zuvor bereits genannten Werten des Ausgangsfalls
- (2) Faktor 0,9: **FCFIX09**, Fenster mit 90 % des g-Wertes des Ausgangsfalls
- (3) Faktor 0,8: **FCFIX08**, Fenster mit 80 % des g-Wertes des Ausgangsfalls
- (4) Faktor 0,7: **FCFIX07**, Fenster mit 70 % des g-Wertes des Ausgangsfalls

Aus vorbeschriebenem Umfang der Parametrisierung der Fenstereigenschaften ergeben sich die in folgender Tabelle zusammengefassten Fenstereigenschaften.

Tabelle 2-2: U_w - und g-Werte der betrachteten Fenster

Fenster	U-Wert [W/(m ² K)]	g-Wert [-]			
		FCFIX10 (Ausgangsfenster)	FCFIX09	FCFIX08	FCFIX07
1 UW130#g060	1,3	0,60	0,54	0,48	0,42
2 UW120#g064	1,2	0,64	0,58	0,51	0,45
3 UW110#g053	1,1	0,53	0,48	0,42	0,37
4 UW100#g060	1,0	0,60	0,54	0,48	0,42
5 UW094#g053	0,94	0,53	0,48	0,42	0,37
6 UW088#g053	0,88	0,53	0,48	0,42	0,37
7 UW082#g053	0,82	0,53	0,48	0,42	0,37
8 UW076#g053	0,76	0,53	0,48	0,42	0,37

Somit ergibt sich der tatsächlich fallweise zugrunde liegende g-Wert einer Berechnung aus dem g-Wert des Ausgangsfensters in Verbindung mit der jeweils gewählten Festlegung für FCFIX gemäß Zusammenstellung der Kennwerte in Tabelle 2-2.

2.5.6 F_c -Werte

Der F_c -Wert für das System Fenster und Sonnenschutz wird im Rahmen der Parametrisierung zwischen $F_c = 1,0$ und $0,10$ in Schritten von $0,10$ variiert. Hieraus ergeben sich folgende Bezeichnungen:

- (1) F_c -Wert 1,0: **FC100**
- (2) F_c -Wert 0,90: **FC090**
- (3) F_c -Wert 0,80: **FC080**
- (4) F_c -Wert 0,70: **FC070**
- (5) F_c -Wert 0,60: **FC060**
- (6) F_c -Wert 0,50: **FC050**
- (7) F_c -Wert 0,40: **FC040**
- (8) F_c -Wert 0,30: **FC030**
- (9) F_c -Wert 0,20: **FC020**
- (10) F_c -Wert 0,10: **FC010**

Hinweis: Mit Anhang B sind dem vorliegenden Bericht Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c beigefügt, die eine Zuordnung des F_c -Wertes in Abhängigkeit von dem Sonnenschutzsystem und dem Glas ermöglichen. Diese mit Anhang B bereitgestellten Anhaltswerte wurden dem Bericht „Überarbeitung der Kennwerte zur Bewertung von Fenstern mit Sonnenschutzvorrichtungen in DIN 4108-2 und DIN V 18599-2“ [12] entnommen.

2.5.7 Steuerung Sonnenschutz

Im Rahmen der Parametrisierung erfolgt die Aktivierung des Sonnenschutzes ausschließlich für strahlungsgeführte Steuerungen. Als Steuerungsgröße wird dabei die sog. Grenzbestrahlungsstärke I_{grenz} (Globalstrahlung, Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung) verwendet. Da sich automatische und manuelle Steuerung bei Wohnnutzung rechnerisch praktisch nicht unterscheiden (es wird bei manueller Betriebsweise von einer Aktivierung während der Anwesenheitszeit täglich von 6 Uhr bis 23 Uhr ausgegangen, sodass lediglich bei unterstellter Ost-Orientierung früh

morgens bei automatischer Betriebsweise vor 6 Uhr geringfügig höhere Aktivierungszeiten resultieren), erfolgt im Rahmen der Simulationen für EFH und MFH ausschließlich die Modellierung für einen automatischen Betrieb). Folgende Situationen werden rechnerisch bewertet:

- (1) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$: **a300**
- (2) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 250 \text{ W/m}^2$: **a250**
- (3) automatisch, mit $I_{\text{grenz}} = 200 \text{ W/m}^2$: **a200**

2.5.8 Nachtlüftung

In Bezug auf den Luftwechsel außerhalb der Nutzungs- bzw. Anwesenheitszeit (Wohnnutzung täglich zwischen 23 und 6 Uhr) wird unterschieden zwischen den Situationen nur Grundluftwechsel (Wohnnutzung: $0,5 \text{ h}^{-1}$) und erhöhte Nachtlüftung ($n = 2 \text{ h}^{-1}$). Die Bezeichnungen lauten wie folgt:

- (1) nur Grundluftwechsel: **NLO**
- (2) erhöhter Luftwechsel: **NL2**

2.6 Auswertungen und Ergebnisablage

Die Ablage der Ergebnisse aller Simulationsrechnungen erfolgt zunächst als Ausgabe der Simulationssoftware HAUSer [13] in Form von unterschiedlichen Textdateien in einer dem Umfang der Berechnungen gerecht werdenden Ordnerstruktur. Für die Darstellung und Auswertung der Ergebnisse werden einzelne Excel-Tools (Auswertungen Jahreswerte Raumsimulationen, Auswertungen Stundenwerte Raumsimulationen sowie Auswertungen Jahreswerte Gebäudesimulationen) programmiert, welche unterschiedliche Detaillierungsgrade für die Auswertungen ermöglichen.

Der vorliegende Bericht dient der Dokumentation von ausgewählten Beispielen zu den wesentlichen Ergebnissen der Bearbeitung (Abschnitte 3 und 4). Die Gesamtergebnisse aller durchgeführten Einzelberechnungen und Auswertungen werden dem Auftraggeber in Form der Excel-dateien sowie importierbarer Ergebnisdateien zur Verfügung gestellt.

3 Ergebnisse Einzelraumsimulationen

Zur Dokumentation der Simulationsergebnisse der Einzelraumsimulationen erfolgt in den Abschnitten 3.1 bis 3.5 die exemplarische Gegenüberstellung von ausgewählten Berechnungsfällen. Allen hier exemplarisch dokumentierten Fällen wird das Raummodell [zen1.5b1.5t_breit](#) zugrunde gelegt. Diese Auswahl wurde getroffen, da der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes stets mindestens für den Raum eines Gebäudes zu führen ist, der die höchste thermischen Beanspruchung aufweist. Für den Grundfall, der den folgenden Berechnungen hinterlegt ist wird ein 70-prozentiger fassadenbezogener Fensterflächenanteil gewählt, was einem etwa 35-prozentigen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil entspricht. Damit wird ein großer aber nicht unüblicher Fensterflächenanteil als Beispiel verwendet und es werden Lösungen aufgezeigt, wie auch Räume mit großen Fenstern in Zukunft im Sinne eines hohen thermischen Komforts funktionieren können.

Für die übrigen Räume und alle beliebigen Parameterkombinationen der Randbedingungen lassen sich analoge Darstellungen mit den Excel-Auswertetools generieren.

3.1 Klimawandel

Der Klimawandel, dessen Beginn in etwa auf den Anfang der 90er-Jahre datiert wird, schreitet weiter voran und die Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes in Gebäuden wird zunehmend herausfordernd.

Zur Veranschaulichung, wie sich veränderte Klimadaten mit Bezug auf die Einteilung des Bundesgebiets in die Klimaregionen A (sommerkühl), B (gemäßigt) und C (sommerheiß) gemäß DIN 4108-2:2013-02 auswirken, folgt mit Bild 3-1 eine Gegenüberstellung wie folgt (von links nach rechts):

- **1.:**
Einteilung Deutschland in die Klimaregionen A, B und C gemäß DIN 4108-2:2013-02. Diese Einteilung beruht auf vergleichenden thermischen Simulationsrechnungen [14] für einen Modellraum in den 15 Klimaregionen Deutschlands, wobei jeweils die mittleren Gegenwarts-TRYs der im Jahr 2011 veröffentlichten Testreferenzjahre TRY2010 [9] zugrunde gelegt sind.
- **2.:**
Einteilung Deutschland in die Klimaregionen A, B und C unter Anwendung derselben Kriterien, die für die Erstellung der Klimakarte aus DIN 4108-2:2013-02 zur Anwendung gekommen sind, hier jedoch für die mittleren Gegenwarts-TRYs (TRYs 2015) aus den im Jahr 2017 veröffentlichten ortsgenauen Testreferenzjahre [10].
- **3.:**
Einteilung Deutschland in die Klimaregionen A, B und C wie zuvor, jedoch unter Zugrundelegung der mittleren Zukunfts-TRYs (TRYs 2045) der ortsgenauen Testreferenzjahre [10]

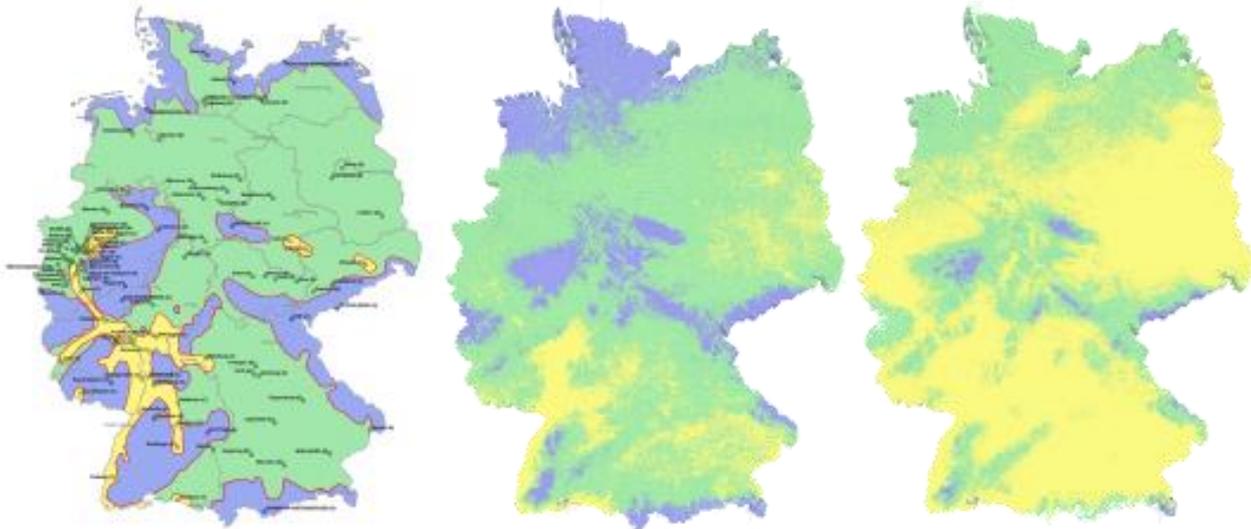


Bild 3-1: Verteilungen der Sommerklimaregionen in Anlehnung an DIN 4108-2:2013-02 auf Basis der TRY 2010 [15], von links nach rechts: 1. Klimakarte aus DIN 4108-2 [2]; 2. für die TRYs 2015 [10]; 3. für die TRYs 2045 [10]

Die Gegenüberstellung der Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C in Bild 3-1 zeigt zunächst für den Vergleich der 1. und 2. Abbildung, dass unter Zugrundelegung der hochaufgelösten Gegenwarts-TRYs aus [10] (2. Abbildung) eine recht gute Übereinstimmung mit der Regionalisierung Deutschlands gemäß Klimakarte aus DIN 4108-2:2013-02 (Abbildung 1) resultiert. Erfolgt nun unter Zugrundelegung derselben Kriterien, aber unter Zugrundelegung der mittleren Zukunfts-TRYs aus [10] die Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C, so kann der 3. Abbildung entnommen werden, dass große Teile der bislang der Klimaregion A zugewiesene Bereiche nunmehr der Klimaregion B zugeordnet und große Teile der bisherigen Klimaregion B der Klimaregion C zugeordnet wären.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die in Bild 3-1 vorgenommene Einteilung Deutschlands auf Auswertungen von Simulationsrechnungen zur gegenwärtigen Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden erfolgt ist. Hierbei bleibt außer Acht, dass im Zuge der Klimaveränderung auch eine Adaption des Nutzers an die veränderten Klimarandbedingungen einhergeht. Diese Anpassung kann nicht unter alleiniger Anwendung der statischen Bezugstemperaturen, wie gemäß DIN 4108-2:2013-02 für die drei Klimaregionen definiert, erfolgen. Daher wird für eine künftige Fassung der DIN 4108-2 eine Klimakarte auf Grundlage einer abweichenden Methodik entwickelt werden. Die Gegenüberstellung in Bild 3-1 steht demnach für eine Veränderung der Einteilung Deutschlands auf Grundlage von Auswertungen der gegenwärtigen Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden und der gegenwärtigen Anforderungshöhe. Die Entwicklung einer neuen Klimakarte ist Gegenstand der aktuellen Forschungsarbeit im Zusammenhang mit der Fortschreibung der DIN 4108-2.

Zur Quantifizierung der Auswirkungen des Klimawandels auf das sommerliche Wärmeverhalten folgen in diesem Abschnitt Gegenüberstellungen von Simulationsergebnissen unter Verwendung der TRY-Datensätze 2010 (aktuelle mittlere klimatische Verhältnisse) zu Auswertungen unter Verwendung der TRY-Datensätze 2045 (mittlere zukünftige klimatische Verhältnisse für die Periode 2031 - 2060). Für die erste Gegenüberstellung von Auswertungen (Tabelle 3-2 und Bild 3-2) wird das Parameterset gemäß Tabelle 3-1 unterstellt (Erläuterungen der Einzelparameter in den Abschnitten 2.4.1 bis 2.4.10). Hier ist zunächst ein mittlerer Fensterflächenanteil (**mittel**), eine Ausführung ohne Sonnenschutz (**FC100**) und ein für Wohnnutzung üblicher erhöhter Nachtluftwechsel (**NL2**) unterstellt.

Tabelle 3-1: Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-2 und Bild 3-2

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2010_04 TRY2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060-g006	F _c -Wert FC100	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Tabelle 3-2 und Bild 3-2 enthalten Auswertungen für die Übertemperaturgradstunden für Bezugstemperaturen von 25 °C bis 35 °C. Darüber hinaus werden in Tabelle 3-2 zusätzlich die im Raum auftretenden maximalen operativen Temperaturen $T_{op,max}$ und die Heizwärmebedarfe $Q_{h,b}$ ausgewiesen. Die Werte im linken Tabellenteil bzw. im linken Diagramm gelten für die Auswertungen unter Ansatz des aktuellen mittleren Klimas in Potsdam (TRY2010_04, Datensatz für öffentlich-rechtliche Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz in Klimaregion B) und jeweils rechts für das entsprechende Zukunftsklima (TRY2045_04). In Tabelle 3-2 ist die Zeile mit den Gh₂₆-Werten farblich hervorgehoben, da die Bezugstemperatur 26 °C für die Klimaregion B die für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes relevante Bezugstemperatur ist. Für Wohnnutzung gilt hier der Anforderungswert 1.200 Kh/a. Werte, die diesen Anforderungswert einhalten, sind in grüner Text- und Zellfarbe dargestellt, Überschreitungen des Anforderungswerts in roter Text- und Zellfarbe. Die Ergebnisse links stehen somit für die Anwendung der aktuellen öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik in Klimaregion B. Aus der Gegenüberstellung der Auswertungen rechts lässt sich im Vergleich dazu ableiten, wie sich die Übertemperaturgradstunden bezogen auf die Einhaltung der aktuellen Anforderungswerte unter Ansatz des Zukunftsklimas verändern.

Analog zur farblichen Hervorhebung der Zeilen mit den Gh₂₆-Werten sind die zugehörigen Graphen in Bild 3-2 in orangener Farbe und als durchgezogene Graphen dargestellt. Graphen zu den übrigen Bezugstemperaturen sind punktiert.

Tabelle 3-2: Übertemperaturgradstunden Gh₂₅ - Gh₃₅, maximale operative Temperaturen für das Parameterset gemäß Tabelle 3-1; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Gh ₂₅	2.240	1.618	1.092	691	393	193	83	26	2	0
Gh ₂₆	1.182	773	463	247	113	43	8	0	0	0
Gh ₂₇	550	317	161	73	22	2	0	0	0	0
Gh ₂₈	220	114	47	14	1	0	0	0	0	0
Gh ₂₉	80	32	10	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₀	24	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₁	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Normalklima (TRY2010)										
T _{op,max}	31,6	30,8	29,9	29,0	28,1	27,3	26,6	25,9	25,2	24,3
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Q _{h,b}	1.080	1.121	1.166	1.216	1.274	1.346	1.422	1.503	1.595	1.718
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Gh ₂₅	4.137	3.143	2.284	1.588	1.049	625	328	132	26	3
Gh ₂₆	2.549	1.825	1.260	808	472	237	85	17	1	0
Gh ₂₇	1.481	1.000	622	355	170	56	13	1	0	0
Gh ₂₈	787	480	267	119	38	12	1	0	0	0
Gh ₂₉	372	196	82	28	10	0	0	0	0	0
Gh ₃₀	138	56	20	8	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₁	39	15	6	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₂	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₃	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Zukunftsklima (TRY2045)										
T _{op,max}	33,3	32,6	31,7	30,9	30,0	29,1	28,2	27,2	26,2	25,4
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Q _{h,b}	908	950	996	1.046	1.104	1.168	1.238	1.313	1.400	1.498

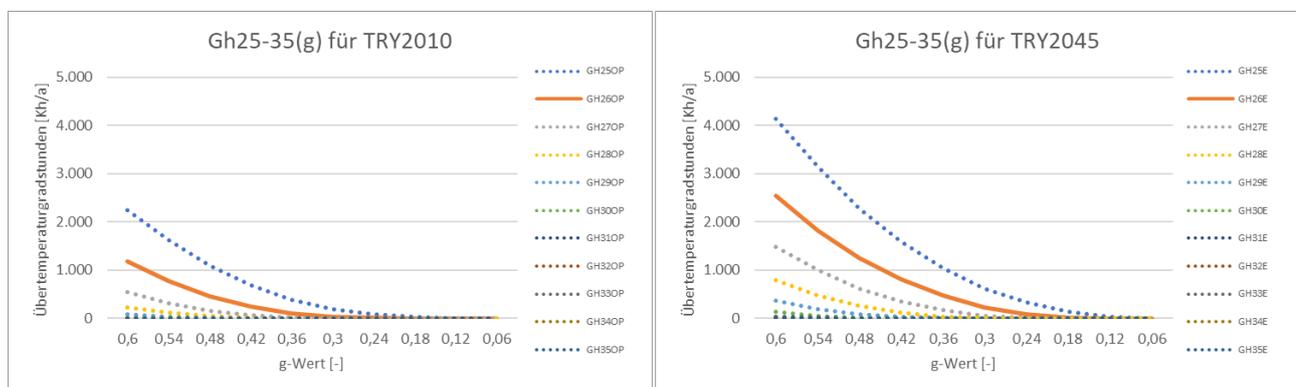


Bild 3-2: Übertemperaturgradstunden für das Parameterset gemäß Tabelle 3-1; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04

Die Auswertungen in Tabelle 3-2 im linken Teil zeigen, dass für den hier simulierten Raum bei mittlerem Fensterflächenanteil und mit Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung (und den weiteren mit Tabelle 3-1 beschriebenen Randbedingungen) unter Einsatz von Normalglas mit $g = 0,60$ die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach gegenwärtiger Anforderungssystematik auch ohne Sonnenschutz rechnerisch eingehalten wären ($G_{h26} = 1.182 \text{ Kh/a}$). Demgegenüber für der Ansatz des Zukunftsklimadatensatzes für dieselbe Situation zu einer signifikanten Erhöhung des G_{h26} -Wertes auf 2.549 Kh/a . Bei einem für 3-Scheiben-Ausführung üblichen g -Wert von $0,54$ wird der Anforderungswert von 1.200 Kh/a mit 1.825 Kh/a noch deutlich überschritten. Unter Ansatz des Zukunftsklimadatensatzes kann der gegenwärtige Anforderungswert ohne Sonnenschutz nur erreicht werden, wenn ein Glas mit einem g -Wert von ca. $0,47$ eingesetzt wird (G_{h26} bei $g = 0,48$ von 1.260 Kh/a und bei $g = 0,42$ von 808 Kh/a).

Im Vergleich zu einer Ausführung mit $g = 0,54$ erhöht sich infolge des niedrigeren g -Wertes allerdings der Nutzwärmebedarf Heizen $Q_{h,b}$ von 950 kWh/a auf 996 kWh/a bei $g = 0,48$ und auf 1.046 kWh/a bei $g = 0,42$. Diese Erhöhung des Heizwärmebedarfs kann vermieden werden, wenn ein Sonnenschutz zur Reduzierung der solaren Wärmeeinträge eingesetzt wird. Hierzu folgt mit Tabelle 3-3 die Zusammenstellung des Parametersets (wie zuvor, jedoch mit Ansatz eines F_c -Wertes von $0,70$) für die mit Tabelle 3-4 wiedergegebenen Auswertungen. Im Vergleich zur Auswertung in Tabelle 3-2 sind die in Tabelle 3-4 ausgewiesenen Auswertungen reduziert auf die Übertemperaturgradstunden G_{h26} , die maximal auftretenden operativen Temperaturen $T_{op,max}$ sowie den Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$.

Tabelle 3-3: Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-4

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2010_04 TRY2045_04	Nutzung WG_oK
U_w -Wert UW095	g -Wert g060-g006	F_c -Wert FC070	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Tabelle 3-4: Übertemperaturgradstunden G_{h26} , maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-3; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04

g -Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden $G_{h25} - G_{h35}$ [Kh/a] für Normalklima (TRY2010)										
G_{h26}	500	310	173	87	37	9	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen $T_{op,max}$ [°C] für Normalklima (TRY2010)										
$T_{op,max}$	30,0	29,3	28,6	27,9	27,2	26,6	26,1	25,5	24,9	24,1
Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$ [kWh/a] für Normalklima (TRY2010)										
$Q_{h,b}$	1.080	1.121	1.166	1.217	1.283	1.354	1.430	1.511	1.610	1.731
g -Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden $G_{h25} - G_{h35}$ [Kh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
G_{h26}	1.351	955	633	391	213	93	26	6	0	0
maximale operative Temperaturen $T_{op,max}$ [°C] für Zukunftsklima (TRY2045)										
$T_{op,max}$	31,8	31,1	30,5	29,7	29,0	28,2	27,5	26,7	25,9	25,2
Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$ [kWh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
$Q_{h,b}$	908	950	996	1.048	1.108	1.173	1.243	1.322	1.408	1.504

Im Vergleich zu den Ergebnissen einer Ausführung ohne Sonnenschutz (vgl. Tabelle 3-2) geht aus dem Ansatz der Berechnung mit einem F_c -Wert von $0,70$ hervor, dass hier bei Ansatz des Zukunftsklimas für eine Ausführung mit Normalglas ($g = 0,54$) ein G_{h26} -Wert von 955 Kh/a erreicht werden kann. Für diesen Fall ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 950 kWh/a . Die Erhöhung des Heizwärmebedarfs, die mit dem Einsatz eines Glases mit reduziertem g -Wert verbunden wäre, kann somit durch den Einsatz eines Sonnenschutzes vermieden werden.

Als weiteres Beispiel folgt, wie mit dem Parameterset in Tabelle 3-5 beschrieben, mit Tabelle 3-6 die Ausweisung der Ergebnisse für denselben Raum mit vergrößertem Fensterflächenanteil unter ansonsten gleichen Randbedingungen wie zuvor und zunächst ohne Sonnenschutz.

Tabelle 3-5: Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-6

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2010_04 TRY2045_04	Nutzung WG_oK
U_w -Wert UW095	g -Wert g060-g006	F_c -Wert FC100	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Tabelle 3-6: Übertemperaturgradstunden Gh₂₅ - Gh₃₅, maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-5; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Gh ₂₅	5.389	4.058	2.912	1.963	1.201	653	293	100	20	0
Gh ₂₆	3.608	2.543	1.680	1.014	539	232	79	15	0	0
Gh ₂₇	2.242	1.469	875	461	199	69	12	0	0	0
Gh ₂₈	1.304	767	402	179	66	13	0	0	0	0
Gh ₂₉	681	357	163	62	16	0	0	0	0	0
Gh ₃₀	320	151	58	18	1	0	0	0	0	0
Gh ₃₁	139	54	19	3	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₂	50	20	4	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₃	19	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₄	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Normalklima (TRY2010)										
T _{op,max}	34,7	33,7	32,6	31,4	30,3	29,0	27,9	26,8	25,9	24,8
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Q _{h,b}	1.148	1.199	1.253	1.312	1.382	1.464	1.565	1.675	1.796	1.968

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Gh ₂₅	8.604	6.749	5.076	3.622	2.412	1.479	814	364	104	8
Gh ₂₆	6.207	4.647	3.299	2.181	1.354	749	349	106	13	0
Gh ₂₇	4.282	3.052	2.005	1.250	693	332	110	18	0	0
Gh ₂₈	2.799	1.857	1.158	644	316	110	23	3	0	0
Gh ₂₉	1.724	1.074	599	299	107	26	5	0	0	0
Gh ₃₀	997	559	281	103	28	7	0	0	0	0
Gh ₃₁	522	263	98	28	9	0	0	0	0	0
Gh ₃₂	244	94	28	9	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₃	89	28	9	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₄	26	9	1	0	0	0	0	0	0	0
Gh ₃₅	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Zukunftsklima (TRY2045)										
T _{op,max}	36,1	35,2	34,2	33,1	32,0	30,9	29,7	28,4	27,1	25,8
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Q _{h,b}	957	1.009	1.065	1.127	1.197	1.279	1.372	1.472	1.588	1.725

Analog zu den bisherigen Auswertungen lässt sich aus den Ergebnissen in Tabelle 3-6 ableiten, dass sich die für eine Bezugstemperatur von 26 °C ermittelten Übertemperaturgradstunden Gh₂₆ bei Ansatz des Zukunftsklimas (TRY2045) im Vergleich zum mittleren gegenwärtigen Klima (TRY2010) signifikant erhöhen und fast verdoppeln. Während ohne Sonnenschutz bei dem TRY2010 ein höchstens zulässiger g-Wert zwischen 0,48 (Gh₂₆ = 1.680 Kh/a) und 0,42 (Gh₂₆ = 1.014 Kh/a) erforderlich ist, dürfte im Fall des TRY2045 ein g-Wert zwischen 0,36 (Gh₂₆ = 1.354 Kh/a) und 0,30 (Gh₂₆ = 749 Kh/a) realisiert werden, wenn ein Gh₂₆-Wert von 1.200 Kh/a nicht überschritten werden soll. Auch hier kann aus den ausgewiesenen Heizwärmebedarfswerten abgelesen werden, dass mit einem niedrigeren g-Wert deutliche Erhöhungen des Heizwärmebedarfs verbunden sind.

Zur Veranschaulichung, wie auch hier durch den Einsatz eines Sonnenschutzes in Verbindung mit dem Einsatz von Normalglas die Erhöhung des Heizwärmebedarfs vermieden werden kann, folgt zunächst die Berechnung für den Einsatz eines Sonnenschutzes, durch den ein F_C-Wert von 0,50 erreicht wird. Das zugehörige Parameterset wird mit Tabelle 3-7 beschrieben, die Auswertungen dazu folgen mit Tabelle 3-8.

Tabelle 3-7: Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-8

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2010_04 TRY2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060-g006	F _C -Wert FC050	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Tabelle 3-8: Übertemperaturgradstunden Gh₂₆, maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-7; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Gh ₂₆	980	633	382	204	96	36	6	0	0	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Normalklima (TRY2010)										
T _{op,max}	31,3	30,5	29,7	28,8	28,0	27,3	26,5	25,9	25,2	24,3
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Q _{h,b}	1.148	1.199	1.253	1.313	1.389	1.481	1.581	1.692	1.831	2.000

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Gh ₂₆	2.175	1.556	1.065	678	394	195	71	15	1	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Zukunftsklima (TRY2045)										
T _{op,max}	32,9	32,2	31,4	30,6	29,8	28,9	28,0	27,1	26,2	25,4
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Q _{h,b}	957	1.009	1.065	1.128	1.202	1.289	1.383	1.489	1.606	1.740

Erfolgt die Simulationsrechnung, wie mit den Parametern, wie in Tabelle 3-7 beschrieben, für den Ansatz eines Sonnenschutzes, mit dem ein F_C-Wert von 0,50 erreicht wird, so würde eine Ausführung, mit der ein Gh₂₆-Wert von 1.200 Kh/a unter Ansatz des Zukunftsklimas eingehalten werden kann, den Einsatz eines Glases mit einem g-Wert zwischen 0,54 (Gh₂₆ = 1.556 Kh/a) und g = 0,48 (Gh₂₆ = 1.065 Kh/a) erfordern.

Eine weitergehende Optimierung des sommerlichen Wärmeverhaltens und winterlichen Wärmeverhaltens kann erreicht werden, wenn ein noch wirksamerer Sonnenschutz berücksichtigt wird. Für den Ansatz eines Sonnenschutzes, mit dem ein F_C-Wert von 0,30 erreicht wird, folgt

mit Tabelle 3-9 die Beschreibung des Parametersets sowie mit Tabelle 3-10 die Ausweisung der zugehörigen Auswertungen.

Tabelle 3-9: Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-10

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2010_04 TRY2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060-g006	F _c -Wert FC030	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Tabelle 3-10: Übertemperaturgradstunden Gh₂₆, maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-9; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04

g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Gh ₂₆	436	270	153	76	30	7	0	0	0	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Normalklima (TRY2010)										
T _{op,max}	29,8	29,1	28,4	27,7	27,1	26,5	26,0	25,4	24,9	24,1
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Normalklima (TRY2010)										
Q _{h,b}	1.148	1.199	1.254	1.318	1.399	1.490	1.592	1.713	1.855	2.021
g-Wert	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06
Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ - Gh ₃₅ [Kh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Gh ₂₆	1.163	815	533	323	173	75	21	4	0	0
maximale operative Temperaturen T _{op,max} [°C] für Zukunftsklima (TRY2045)										
T _{op,max}	31,4	30,8	30,1	29,5	28,7	28,0	27,3	26,5	25,8	25,2
Heizwärmebedarf Q _{h,b} [kWh/a] für Zukunftsklima (TRY2045)										
Q _{h,b}	957	1.009	1.065	1.131	1.207	1.294	1.393	1.499	1.618	1.748

Dass auch für einen hohen Fensterflächenanteil (hier: Raum zen1.5b1.5t_breit mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 70 %, entspricht in etwa einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 35 %) auch für zukünftige Randbedingungen ein guter thermischer Komfort erreicht werden kann, wenn ein wirksamer Sonnenschutz zum Einsatz kommt, zeigen insbesondere die Auswertungen in Tabelle 3-10. Bereits ab einem F_c-Wert von 0,30 kann für zukünftige klimatische Randbedingungen (Klimaregion B, Potsdam) und das in Tabelle 3-9 beschriebene Parameterset ein Erfüllen des gegenwärtigen Gh₂₆-Anforderungswertes auch für den Einsatz von Glas mit einem g-Wert von 0,60 gewährleistet werden. Im Vergleich hierzu würde der Verzicht auf einen Sonnenschutz den Einsatz eines Glases mit einem g-Wert von maximal etwa 0,34 erfordern. Diese ausschließliche „Sommerlösung“ mit einem g-Wert von 0,34 führt allerdings zu einer mehr als 20-prozentigen Erhöhung des Heizwärmebedarfs im Vergleich zu dem Einsatz eines Glases mit g = 0,60 in Verbindung mit einem Sonnenschutz, mit dem ein F_c-Wert von 0,30 erreicht wird. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, dass eine integrale Planung und Lösungsfindung für den Sommerfall stets die Auswirkungen auf das winterliche Wärmeverhalten einbeziehen muss. Nur so kann für zukünftige klimatische Verhältnisse eine energetisch und in Bezug auf den thermischen Komfort im Sommer optimierte Gesamtlösung gefunden werden.

Die Auswertungen dieses Abschnittes zeigen, dass die thermische Beanspruchung unter Ansatz des zukünftigen Klimas im Vergleich zum aktuellen mittleren Klima unter ansonsten gleichen Randbedingungen deutlich zunimmt. Zur Sicherstellung eines hinreichenden thermischen Komforts muss also künftig mehr für den sommerlichen Wärmeschutz getan werden. Gebäudehüllen, die heute noch üblich sind und die aktuellen Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 einhalten, werden diese Anforderungswerte in Zukunft sehr deutlich überschreiten. **Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass Räume, die mit einem geeigneten Sonnenschutz ausgestattet werden in Verbindung mit erhöhter Nachtlüftung auch unter Ansatz künftiger Klimarandbedingungen selbst bei hohen Fensterflächenanteilen einen guten thermischen Komfort aufweisen.**

Eine Anpassung der Anforderungssystematik an den sommerlichen Wärmeschutz unter Einbeziehung der künftigen Klimarandbedingungen ist dringend erforderlich.

3.2 Künftige Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz

Die für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes durch das Gebäudeenergiegesetz 2020 [6] in Bezug genommene DIN 4108-2:2013-02 [2] befindet sich derzeit in der Überarbeitung. Hierzu wird ein Forschungsprojekt im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau federführend durch das Ingenieurbüro Hauser bearbeitet. Ziel der Fortschreibung der normativen Randbedingungen zur Nachweisführung für den sommerlichen Wärmeschutz ist unter anderem die Formulierung einer Anforderungssystematik, welche hinsichtlich der zu verwendenden Klimarandbedingungen auf Zukunftsklimadaten abstellt. Neben der Umstellung der Anforderungssystematik auf neue Klimadaten erfolgt im Zuge der Bearbeitung dieses Forschungsprojekts auch eine Auseinandersetzung in Bezug auf die Verwendung einer neuen Anforderungsgröße. Nach gegenwärtigem Bearbeitungsstand ist davon auszugehen, dass die aktuelle Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden (mit festen Bezugstemperaturen von 25, 26 und 27 °C für die Klimaregionen A, B und C) überführt wird in eine aus der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 abgeleitete Anforderungsgröße. Als am besten geeignet scheint hier die Verwendung der Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Komfortkategorie II, im Folgenden bezeichnet als $n_{\text{Kat.II}}$. Im Vergleich zur gegenwärtigen Anforderungssystematik mit festen Bezugstemperaturen zeichnet sich die Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 dadurch aus, dass hier Überschreitungen bezogen auf einen gleitenden Mittelwert der Außentemperatur berechnet werden (siehe weitergehende Erläuterungen in Abschnitt 2.3).

Die folgenden Abschnitte 3.2.1 und 3.2.2 dienen der Gegenüberstellung der gegenwärtigen zu einer perspektivisch möglichen Anforderungssystematik, die auf der Anwendung der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 basiert. Neben der quantitativen Bewertung der Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden (G_{h26}) nach DIN 4108-2 gegenüber den Überschreitungshäufigkeiten der Kat. II nach DIN EN 16798-1 auf Grundlage der aktuell für die Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz herangezogenen mittleren aktuellen Klimadaten (TRYs 2010) erfolgt dabei auch eine Bewertung unter Ansatz der Zukunftsklimadaten (TRYs 2045).

3.2.1 Anwendungsfall Wohnnutzung

Für einen Vergleich der gegenwärtigen Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz zu einer Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 erfolgt mit Bild 3-3 die Auswertung für das mit Tabelle 3-11 beschriebene Parameterset.

Tabelle 3-11: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-3

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2010_04 (Potsdam) TRY2045_04 (Potsdam)	WG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC010 - FC100	m300	NL2

Links in Bild 3-3 erfolgt die Auswertung der Simulationsrechnungen unter Ansatz des Klimadatensatzes TRY2010_04 (Potsdam), womit die Anwendung für Standorte in Klimaregion B beschrieben wird. Die Auftragung der Übertemperaturgradstundenwerte G_{h26} erfolgt in Abhängigkeit von dem F_c -Wert über die linke Ordinate (blauer Graph). Zusätzlich im Diagramm als horizontaler Wert wird die Anforderungshöhe 1.200 Kh/a als blau punktierter Graph dargestellt. Über die rechte Ordinate erfolgt die Auftragung der Überschreitungshäufigkeiten der Kat. II $n_{\text{Kat.II}}$ nach DIN EN 16798-1 als orange gestrichelter Graph. Rechts in Bild 3-3 erfolgt die analoge Auswertung für denselben Fall unter Ansatz des Klimadatensatzes TRY2045_04 (Zukunftsklima Potsdam). Der blau gestrichelte Graph stellt die Auswertung für die G_{h26} -Werte mit Bezug auf die linke Ordinate und der orangene Graph die Auswertung für die Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ mit Bezug zur rechten Ordinate dar.

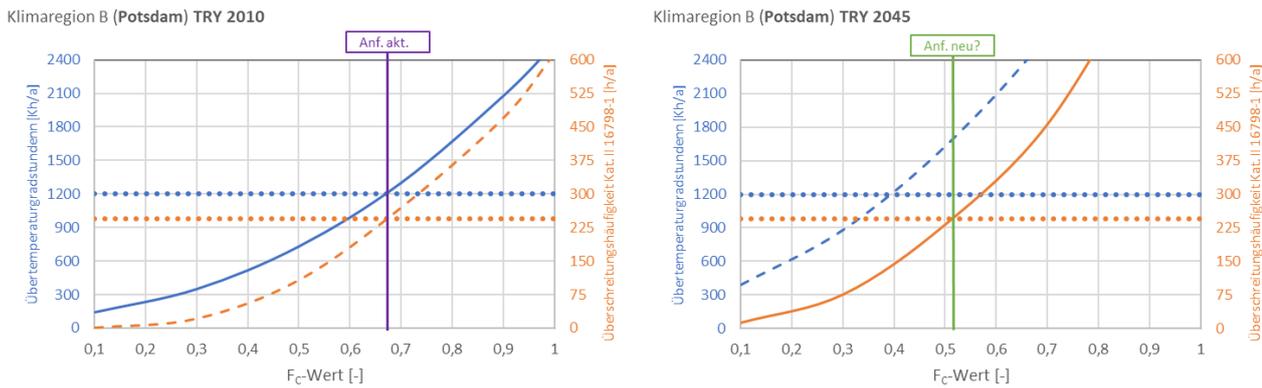


Bild 3-3: Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat. II}}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-11

Aus der Auswertung links in Bild 3-3 lässt sich ablesen, dass für das mit Tabelle 3-11 beschriebene Parameterset die Erfüllung der aktuellen Anforderung ($G_{h_{26}} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$) gegeben ist, wenn ein Sonnenschutz zum Einsatz kommt, mit dem für das hier hinterlegte Glas mit $g = 0,54$ ein F_C -Wert von ca. 0,68 nicht überschritten wird. Dieser für die Einhaltung der Anforderungen erforderliche F_C -Wert ergibt sich aus dem Schnittpunkt des blauen Graphen mit dem blau punktiert dargestellten Anforderungsniveau. Aus der in demselben Diagramm über den orange punktierten Graphen dargestellten Abhängigkeit der Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat. II}}$ von dem F_C -Wert lässt sich ableiten, dass der Einhaltung des aktuellen Anforderungswertes mit $F_C = 0,68$ eine Überschreitungshäufigkeit $n_{\text{Kat. II}}$ von 245 h/a entspricht. Diese Entsprechung ist in dem Diagramm durch das orange punktierte Niveau beschrieben (Niveau so festgelegt, dass der Schnittpunkt des orange gestrichelten $n_{\text{Kat. II}}$ -Graphen mit dem Niveau demselben F_C -Wert von 0,68 entspricht, der für die Einhaltung des $G_{h_{26}}$ -Wertes erforderlich ist). Für den hier beschriebenen Berechnungsfall lässt sich also festhalten, dass mit Einhaltung des aktuellen $G_{h_{26}}$ -Anforderungswertes eine Überschreitungshäufigkeit der für die Komfortkategorie II geltenden Temperaturobergrenze von 245 h/a entspricht. Bezogen auf 8.760 Nutzungsstunden im Jahr sind dies 2,8 Prozent der Nutzungszeit.

Wenn nun unter Ansatz des Zukunftsklimas dasselbe Komfortniveau sichergestellt werden soll (also 245 h/a für $n_{\text{Kat. II}}$), lässt sich aus dem rechten Diagramm in Bild 3-3 ableiten, welcher F_C -Wert hierfür erforderlich ist: aus dem Schnittpunkt des orangenen Graphen mit dem orange punktiert dargestellten Niveau $n_{\text{Kat. II}} = 245 \text{ h/a}$ ergibt sich ein „erforderlicher“ F_C -Wert von ca. 0,52. Ausgehend von einer möglichen künftigen Anforderungsformulierung über die Größe $n_{\text{Kat. II}}$ und unter Beibehaltung des mit der gegenwärtigen Anforderungshöhe erreichten Niveaus für $n_{\text{Kat. II}}$ (245 h/a) würde dies, ausgedrückt über den erforderlichen F_C -Wert aus dem Ansatz der Zukunftsklimadaten einer Verschärfung um $\Delta F_C = 0,16$ entsprechen. Würde hingegen an der aktuellen Anforderung $G_{h_{26}} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ festgehalten werden, wäre diese Anforderung erst mit $F_C \leq 0,40$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

Für das mit Tabelle 3-12 beschriebene Parameterset folgt mit Bild 3-4 die analoge Auswertung für die Klimaregion A (sommerkühle Regionen). Als Repräsentant für die Klimaregion A ist nach aktueller Anforderungssystematik der Klimadatenatz TRY2010_02 (Rostock) zugrunde zu legen, wobei als Bezugstemperatur in dieser Klimaregion nach DIN 4108-2:2013-02 25 °C festgelegt sind. Für diesen Datensatz erfolgt die Gegenüberstellung der $G_{h_{25}}$ -Werte zu den $n_{\text{Kat. II}}$ -Auswertungen links in Bild 3-4. Im Zuge der Bearbeitung des Zukunft Bau-Projekts zur Fortschreibung der Anforderungssystematik zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erfolgte eine intensive Auseinandersetzung mit den ortsgenauen Klimadaten (km-Raster) [10]. Hieraus geht ein Vorschlag für eine neue Klimakarte für das Bundesgebiet hervor, wonach sich die „neue“ Klimaregion A weitgehend auf die Höhenlagen Deutschlands beschränkt. Daher kann

an dem bisherigen Standort Rostock, der sich nach neu entwickelter Klimakarte nun in Klimaregion B befindet, als Repräsentant für die Klimaregion A nicht festgehalten werden. Als am besten geeignet für einen neuen Repräsentanten für die Klimaregion A wird der Klimadatenatz für den Standort Hof (Repräsentanzstation der Klimaregion 10 in der Regionalisierung der 2010er TRYs) angesehen und für eine künftige Anforderungssystematik vorgeschlagen. Somit erfolgen die rechts in Bild 3-4 dargestellten Auswertungen für das Zukunftsklima TRY2045_10.

Tabelle 3-12: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-4

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2010_02 (Rostock) TRY2045_10 (Hof)	WG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC010 - FC100	m300	NL2

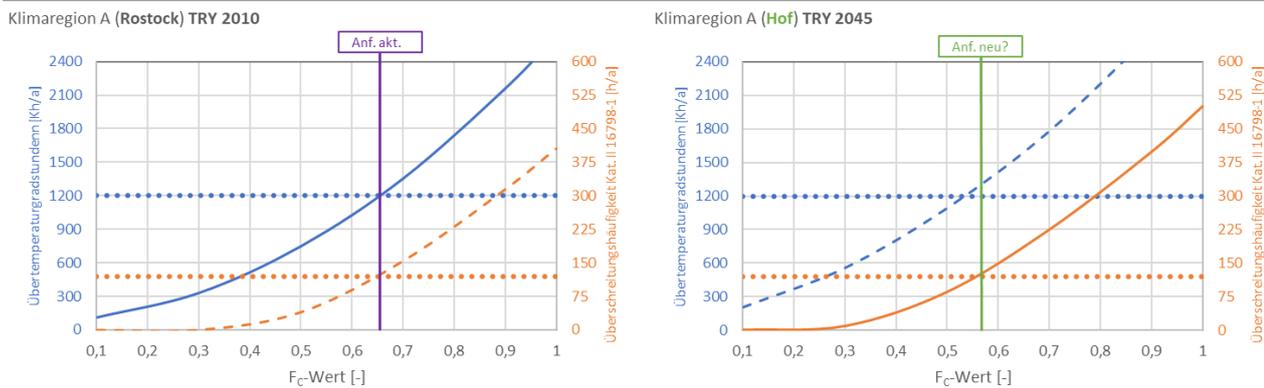


Bild 3-4: Übertemperaturgradstunden G_{h25} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-3

Aus dem linken Diagramm in Bild 3-4 geht hervor, dass für das Parameterset gemäß Tabelle 3-12 (außer Klimadatenatz unverändert im Vergleich zu den Auswertungen zuvor) die Einhaltung der aktuellen Anforderung für Standorte in Klimaregion A gegeben ist, wenn in Verbindung mit einem Glas mit $g = 0,54$ ein F_c -Wert von 0,65 nicht überschritten wird (Schnittpunkt blauer Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau). Aus dem orange gestrichelten Graphen, mit dem die Abhängigkeit der Überschreitungshäufigkeit $n_{Kat.II}$ von dem F_c -Wert beschrieben wird, ergibt sich für einen F_c -Wert von 0,65 ein $n_{Kat.II}$ -Wert von 120 h/a. Bezogen auf die Nutzungszeit von 8.760 h/a entspricht dies einer Überschreitungshäufigkeit der Kat. II Obergrenze zu 1,4 % der Nutzungszeit (zum Vergleich: für Klimaregion B liegt die Überschreitungshäufigkeit bei 2,8 % der Nutzungszeit). Dieses Niveau ist in dem Diagramm orange punktiert eingezeichnet und in das rechte Diagramm in Bild 3-4 für die Auswertungen unter Ansatz des Zukunftsklimas TRY2045_10 für den Standort Hof übertragen. Hieraus lässt sich ablesen, dass das von dem linken Diagramm übertragene Niveau für das hier unterstellte Glas mit einem g -Wert von 0,54 bei einem F_c -Wert von 0,57 erreicht wird. Ausgehend von einer möglichen künftigen Anforderungsformulierung über die Größe $n_{Kat.II}$ und unter Beibehaltung des mit der gegenwärtigen Anforderungshöhe erreichten Niveaus für $n_{Kat.II}$ (120 h/a) würde dies, ausgedrückt über den erforderlichen F_c -Wert aus dem Ansatz der Zukunftsklimadaten einer Verschärfung um $\Delta F_c = 0,08$ entsprechen. Würde hingegen an der aktuellen Anforderung $G_{h25} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ festgehalten werden, wäre diese Anforderung mit $F_c \leq 0,53$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

Für die Klimaregion C, für die nach aktueller Anforderungssystematik der Klimadatenatz TRY2010_12 (Mannheim) anzuwenden ist, folgt mit Tabelle 3-13 das Parameterset für die mit Bild 3-5 folgende Auswertungen.

Tabelle 3-13: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-5

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2010_12 (Mannheim) TRY2045_12 (Mannheim)	WG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _C -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC010 - FC100	m300	NL2

Das in Tabelle 3-13 beschriebene Parameterset für die Auswertungen in Bild 3-5 zur Klimaregion C unterscheidet sich von den zuvor in diesem Abschnitt dokumentierten Auswertungen allein durch die zugrunde gelegten Klimarandbedingungen.

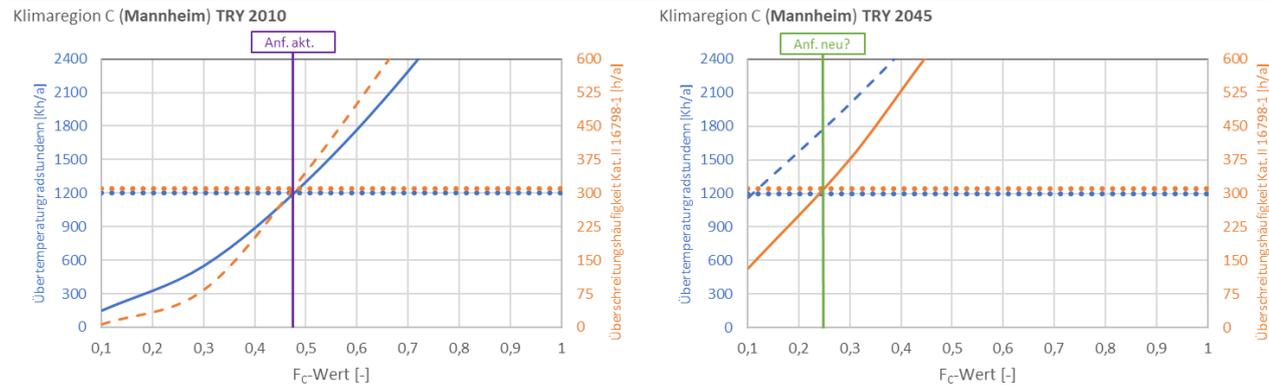


Bild 3-5: Übertemperaturgradstunden G_{h27} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-13

Die Darstellung links in Bild 3-5 zeigt, dass die Einhaltung der für die Klimaregion geltenden Anforderung $G_{h27} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ gegeben ist, wenn ein Sonnenschutz vorgesehen wird, der für das Glas mit $g = 0,54$ einen F_C -Wert von $0,48$ erreicht. Bezogen auf die Komfortauswertung zur Kat. II wird mit diesem F_C -Wert ein $n_{Kat.II}$ -Niveau von 310 h/a erreicht, was einer Überschreitungshäufigkeit zu $3,5 \%$ der Nutzungszeit entspricht (zum Vergleich: in Klimaregion A wird mit dem Niveau $G_{h25} = 1.200 \text{ Kh/a}$ eine Überschreitungshäufigkeit $n_{Kat.II}$ zu $1,4 \%$ und in Klimaregion B mit $G_{h26} = 1.200 \text{ Kh/a}$ eine Überschreitungshäufigkeit $n_{Kat.II}$ zu $2,8 \%$ erreicht). Soll dasselbe Niveau $n_{Kat.II}$ unter Ansatz des Zukunftsklimas TRY2045_12 erreicht werden (rechts in Bild 3-5), so muss ein F_C -Wert von $0,25$ erreicht werden.

Ausgehend von einer möglichen künftigen Anforderungsformulierung über die Größe $n_{Kat.II}$ und unter Beibehaltung des mit der gegenwärtigen Anforderungshöhe erreichten Niveaus für $n_{Kat.II}$ (310 h/a) würde dies, ausgedrückt über den erforderlichen F_C -Wert aus dem Ansatz der Zukunftsklimadaten einer Verschärfung um $\Delta F_C = 0,23$ entsprechen. Würde hingegen an der aktuellen Anforderung $G_{h25} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ festgehalten werden, wäre diese Anforderung (rein rechnerisch für das hier dargestellte Parameterset) mit $F_C \leq 0,11$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

3.2.2 Anwendungsfall Nichtwohnnutzung

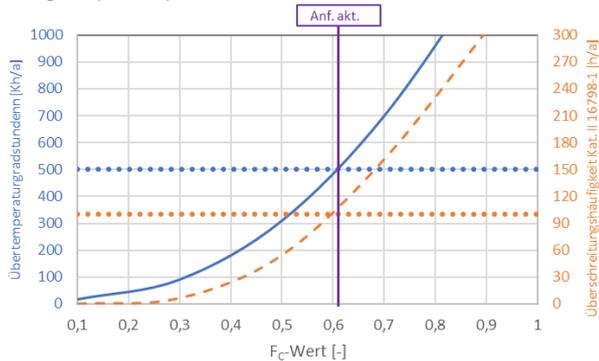
Die mit diesem Abschnitt folgenden Auswertungen sollen analog zu den Beispielen des vorausgehenden Abschnitts für Wohnnutzung auch für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung eine Einordnung der komfortbezogenen Auswertungen nach DIN EN 16798-1 im Vergleich zu der Anwendung der aktuellen Anforderungssystematik ermöglichen. Sowohl für die Ermittlung der Übertemperaturgradstunden (G_{h25} , G_{h26} und G_{h27}) als auch für die Bestimmung der Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Kategorie-II-Grenzwerte ($n_{Kat.II}$) erfolgt dabei die Auswertung der Überschreitungen der jeweils relevanten Temperaturgrenzen nur während der Nutzungszeit. Die Nutzungszeit bei Nichtwohngebäuden ist per DIN 4108-2:2013-02 für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes definiert mit wochentäglich von 7 Uhr bis 18 Uhr. Hieraus resultieren über das Jahr 2.871 Nutzungsstunden.

Beginnend mit den Auswertungen für Klimaregion B folgt mit Tabelle 3-14 die Zusammenstellung des Parametersets für den exemplarischen Anwendungsfall Nichtwohnnutzung und die Auswertungen in Bild 3-6.

Tabelle 3-14: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-6

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Sued	TRY2010_04 (Potsdam) TRY2045_04 (Potsdam)	NWG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC10 - FC100	a200	NL2

Klimaregion B (Potsdam) TRY 2010



Klimaregion B (Potsdam) TRY 2045

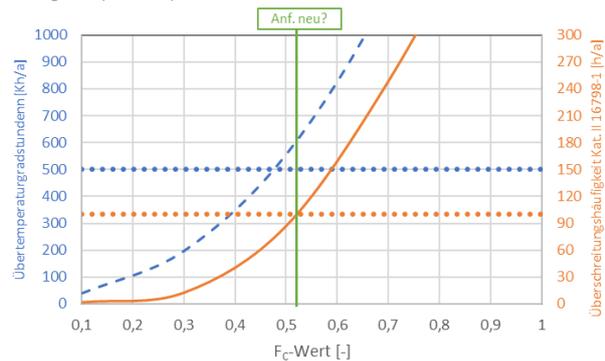


Bild 3-6: Übertemperaturgradstunden G_{h26} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-14

Aus den Auswertungen links in Bild 3-6 geht hervor, dass die für Nichtwohnnutzung nach aktueller Anforderungssystematik in Klimaregion B geltende Anforderung $G_{h26} \leq 500$ Kh/a für das in Tabelle 3-14 beschriebene Parameterset eingehalten wird, wenn für ein Glas mit $g = 0,54$ ein Sonnenschutz vorgesehen wird, mit dem ein F_c -Wert von 0,61 erreicht wird (Schnittpunkt des blauen Graphen mit dem blau gepunktierten Anforderungsniveau). Dem Diagramm kann weiterhin entnommen werden, dass mit diesem F_c -Wert aus der Komfortbewertung ein eine Überschreitungshäufigkeit der Kat.-II-Obergrenze $n_{Kat,II} = 100$ h/a erreicht wird. Dieses Niveau wird in dem Diagramm orange gepunktiert dargestellt. Bezogen auf die Nutzungszeit von 2.871 Stunden pro Jahr entspricht dies einer Überschreitung zu 3,5 Prozent der Nutzungsstunden. Dieses $n_{Kat,II}$ -Niveau ist in das rechte Diagramm in Bild 3-6 für die Auswertungen mit dem Klimadaten-satz TRY2045_04 übertragen. Hieraus geht hervor, dass bei einer Beibehaltung des $n_{Kat,II}$ -Niveaus ein F_c -Wert von 0,52 erforderlich ist, um $n_{Kat,II} = 100$ h/a zu erreichen (Schnittpunkt orange gepunktertes $n_{Kat,II}$ -Niveau mit orangefarbenem Graphen). Ausgehend von einer möglichen künftigen Anforderungsformulierung über die Größe $n_{Kat,II}$ und unter Beibehaltung des mit der gegenwärtigen Anforderungshöhe erreichten Niveaus für $n_{Kat,II}$ (100 h/a) würde dies, ausgedrückt über den erforderlichen F_c -Wert aus dem Ansatz der Zukunftsklimadaten einer Verschärfung um $\Delta F_c = 0,09$ entsprechen. Würde hingegen an der aktuellen Anforderung $G_{h26} \leq 500$ Kh/a festgehalten werden, wäre diese Anforderung mit $F_c \leq 0,47$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau gepunktetem Anforderungsniveau) erfüllt.

Für die Gegenüberstellung der aktuellen Anforderung in Klimaregion A (sommerkühle Regionen, $G_{h25} \leq 500$ Kh/a) zur Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 folgt mit Bild 3-7 die entsprechende Auswertung. Das zugehörige Parameterset ist mit Tabelle 3-15 beschrieben.

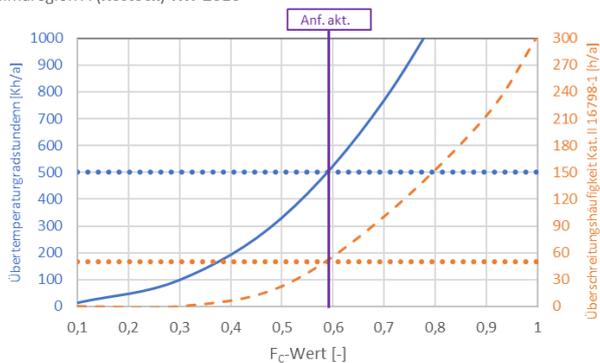
Wie für den Anwendungsfall Wohnnutzung bereits erläutert, ist als Repräsentant für die Klimaregion A nach aktueller Anforderungssystematik der Klimadaten-satz TRY2010_02 (Rostock) zu Grunde zu legen, wobei als Bezugstemperatur in dieser Klimaregion nach DIN 4108-2:2013-02 25 °C festgelegt sind. Für diesen Datensatz erfolgt die Gegenüberstellung der G_{h25} -Werte zu den $n_{Kat,II}$ -Auswertungen links in Bild 3-7. Im Zuge der Bearbeitung des Zukunft Bau-Projekts zur Fortschreibung der Anforderungssystematik zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes Ergebnisse Einzelraumsimulationen

erfolgte eine intensive Auseinandersetzung mit den ortsgenauen Klimadaten (km-Raster) [10]. Hieraus geht ein Vorschlag für einen neue Klimakarte für das Bundesgebiet hervor, wonach sich die „neue“ Klimaregion A weitgehend auf die Höhenlagen Deutschlands beschränkt. Daher kann an dem bisherigen Standort Rostock, der sich nach neu entwickelter Klimakarte nun in Klimaregion B befindet, als Repräsentant für die Klimaregion A nicht festgehalten werden. Als am besten geeignet für einen neuen Repräsentanten für die Klimaregion A wird der Klimadatenatz für den Standort Hof (Repräsentanzstation der Klimaregion 10 in der Regionalisierung der 2010er TRYs) angesehen und für eine künftige Anforderungssystematik vorgeschlagen. Somit erfolgen die rechts in Bild 3-7 dargestellten Auswertungen für das Zukunftsklima TRY2045_10.

Tabelle 3-15: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-7

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Sued	TRY2010_02 (Rostock) TRY2045_10 (Hof)	NWG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC10 - FC100	a200	NL2

Klimaregion A (Rostock) TRY 2010



Klimaregion A (Hof) TRY 2045

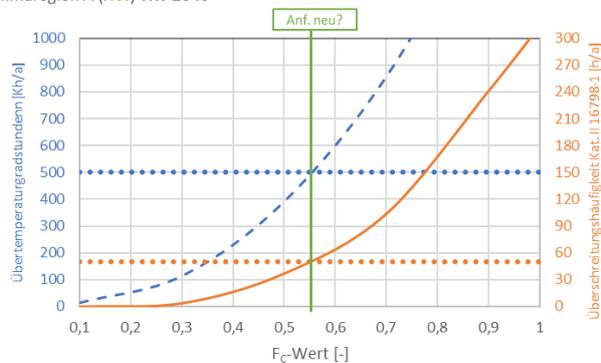


Bild 3-7: Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-15

Aus den Auswertungen links in Bild 3-7 geht hervor, dass die für Nichtwohnnutzung nach aktueller Anforderungssystematik in Klimaregion B geltende Anforderung $G_{h_{25}} \leq 500$ Kh/a für das in Tabelle 3-15 beschriebene Parameterset eingehalten wird, wenn für ein Glas mit $g = 0,54$ ein Sonnenschutz vorgesehen wird, mit dem ein F_c -Wert von 0,59 erreicht wird (Schnittpunkt des blauen Graphen mit dem blau punktierten Anforderungsniveau). Dem Diagramm kann weiterhin entnommen werden, dass mit diesem F_c -Wert aus der Komfortbewertung ein eine Überschreitungshäufigkeit der Kat.-II-Obergrenze $n_{Kat.II} = 50$ h/a erreicht wird. Dieses Niveau wird in dem Diagramm orange punktiert dargestellt. Bezogen auf die Nutzungszeit von 2.871 Stunden pro Jahr entspricht dies einer Überschreitung zu 1,7 Prozent der Nutzungsstunden (zum Vergleich: für Klimaregion B entspricht das aktuelle Anforderungsniveau $G_{h_{26}} = 500$ Kh/a einer Überschreitungshäufigkeit zu 3,5 Prozent der Nutzungsstunden). Dieses $n_{Kat.II}$ -Niveau ist in das rechte Diagramm in Bild 3-7 für die Auswertungen mit dem Klimadatenatz TRY2045_04 übertragen. Hieraus geht hervor, dass bei einer Beibehaltung des $n_{Kat.II}$ -Niveaus ein F_c -Wert von 0,55 erforderlich ist, um $n_{Kat.II} = 50$ h/a zu erreichen (Schnittpunkt orange punktiertes $n_{Kat.II}$ -Niveau mit orangenem Graphen). Ausgehend von einer möglichen künftigen Anforderungsformulierung über die Größe $n_{Kat.II}$ und unter Beibehaltung des mit der gegenwärtigen Anforderungshöhe erreichten Niveaus für $n_{Kat.II}$ (50 h/a) würde dies, ausgedrückt über den erforderlichen F_c -Wert aus dem Ansatz der Zukunftsklimadaten einer Verschärfung um $\Delta F_c = 0,04$ entsprechen. Würde hingegen an der aktuellen Anforderung $G_{h_{25}} \leq 500$ Kh/a festgehalten werden, wäre diese Anforderung ebenfalls mit $F_c \leq 0,55$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

Mit Bild 3-8 folgen die Auswertungen zur Gegenüberstellung der aktuellen Anforderung in Klimaregion C (Standort Mannheim, Bezugstemperatur 27 °C, $G_{h27} \leq 500$ Kh/a) zur Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1.

Tabelle 3-16: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-8

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Sued	TRY2010_12 (Mannheim) TRY2045_12 (Mannheim)	NWG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _C -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC10 - FC100	a200	NL2

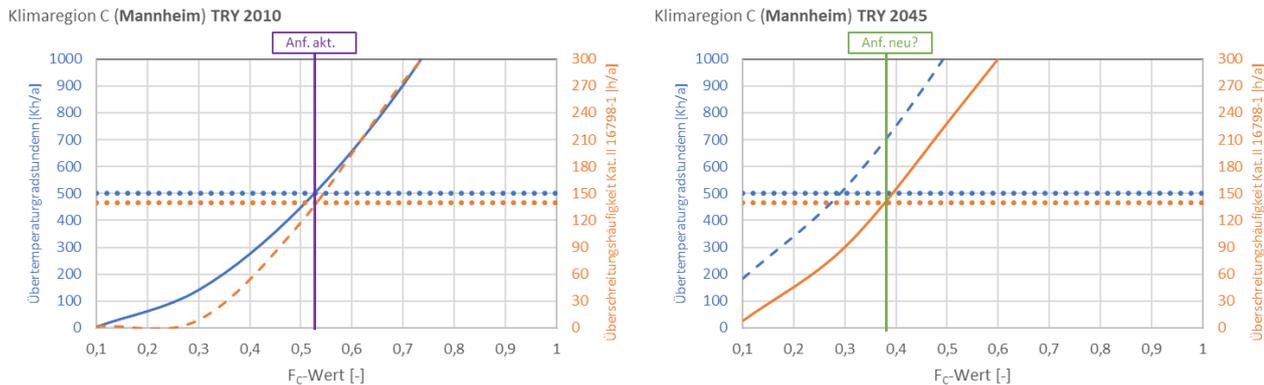


Bild 3-8: Übertemperaturgradstunden G_{h27} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat. II}}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-16

Aus den Auswertungen links in Bild 3-8 geht hervor, dass die für Nichtwohnnutzung nach aktueller Anforderungssystematik in Klimaregion B geltende Anforderung $G_{h27} \leq 500$ Kh/a für das in Tabelle 3-11 beschriebene Parameterset eingehalten wird, wenn für ein Glas mit $g = 0,54$ ein Sonnenschutz vorgesehen wird, mit dem ein F_C -Wert von 0,53 erreicht wird (Schnittpunkt des blauen Graphen mit dem blau punktierten Anforderungsniveau). Dem Diagramm kann weiterhin entnommen werden, dass mit diesem F_C -Wert aus der Komfortbewertung ein eine Überschreitungshäufigkeit der Kat.-II-Obergrenze $n_{\text{Kat. II}} = 140$ h/a erreicht wird. Dieses Niveau wird in dem Diagramm orange punktiert dargestellt. Bezogen auf die Nutzungszeit von 2.871 Stunden pro Jahr entspricht dies einer Überschreitung zu 4,9 Prozent der Nutzungsstunden (zum Vergleich: für Klimaregion B entspricht das aktuelle Anforderungsniveau $G_{h26} = 500$ Kh/a einer Überschreitungshäufigkeit zu 3,5 Prozent der Nutzungsstunden und für Klimaregion A entspricht das aktuelle Anforderungsniveau $G_{h25} = 500$ Kh/a einer Überschreitungshäufigkeit zu 1,7 Prozent der Nutzungsstunden). Dieses $n_{\text{Kat. II}}$ -Niveau ist in das rechte Diagramm in Bild 3-8 für die Auswertungen mit dem Klimadatensatz TRY2045_04 übertragen. Hieraus geht hervor, dass bei einer Beibehaltung des $n_{\text{Kat. II}}$ -Niveaus ein F_C -Wert von 0,38 erforderlich ist, um $n_{\text{Kat. II}} = 140$ h/a zu erreichen (Schnittpunkt orange punktiertes $n_{\text{Kat. II}}$ -Niveau mit orangenem Graphen). Ausgehend von einer möglichen künftigen Anforderungsformulierung über die Größe $n_{\text{Kat. II}}$ und unter Beibehaltung des mit der gegenwärtigen Anforderungshöhe erreichten Niveaus für $n_{\text{Kat. II}}$ (50 h/a) würde dies, ausgedrückt über den erforderlichen F_C -Wert aus dem Ansatz der Zukunftsklimadaten einer Verschärfung um $\Delta F_C = 0,15$ entsprechen. Würde hingegen an der aktuellen Anforderung $G_{h25} \leq 500$ Kh/a festgehalten werden, wäre diese Anforderung ebenfalls mit $F_C \leq 0,29$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

3.2.3 Zusammenfassung und Empfehlung zur Fortentwicklung der Anforderungssystematik

Aus den in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 erläuterten Beispielen geht hervor, dass mit den gegenwärtigen Anforderungshöhen G_{h25} , G_{h26} und G_{h27} in den Klimaregionen A, B und C jeweils unterschiedliche Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Komfortkategorie II erreicht werden. Diese sind wie folgt:

Für den Anwendungsfall Wohnnutzung bezogen auf die Nutzungszeit von 8.760 Stunden pro Jahr:

- für Klimaregion A: $G_{h25} \leq 1.200 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} = 120 \text{ h/a} \triangleq 1,4 \% \text{ von } 8.760 \text{ h/a}$
- für Klimaregion B: $G_{h26} \leq 1.200 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} = 245 \text{ h/a} \triangleq 2,8 \% \text{ von } 8.760 \text{ h/a}$
- für Klimaregion C: $G_{h27} \leq 1.200 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} = 310 \text{ h/a} \triangleq 3,5 \% \text{ von } 8.760 \text{ h/a}$

Für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung bezogen auf die Nutzungszeit von 2.871 Stunden pro Jahr:

- für Klimaregion A: $G_{h25} \leq 500 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} = 50 \text{ h/a} \triangleq 1,7 \% \text{ von } 2.871 \text{ h/a}$
- für Klimaregion B: $G_{h26} \leq 500 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} = 100 \text{ h/a} \triangleq 3,5 \% \text{ von } 2.871 \text{ h/a}$
- für Klimaregion C: $G_{h27} \leq 500 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} = 140 \text{ h/a} \triangleq 4,9 \% \text{ von } 2.871 \text{ h/a}$

Ausgehend von der aktuellen Anforderungswerten und den daraus je Klimaregion abgeleiteten bzw. damit erreichten Komfortniveaus könnte ein Vorschlag abgeleitet werden, nachdem eine künftige Anforderungssystematik für die Klimaregionen A, B und C jeweils unterschiedliche zulässige Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Kategorie II je Klimaregion als Anforderungshöhe festlegt. Dies würde jedoch bedeuten, dass die in den Klimaregionen jeweils unterschiedlichen Komfortniveaus als Mindestanforderung formuliert werden. Dies scheint im Sinne einer öffentlich-rechtlichen Anforderung und eines für alle Standorte vergleichbaren Komfortniveaus nicht „gerecht“, weshalb die Empfehlung lautet, über alle Klimaregionen als Mindestanforderung eine einheitliche zulässige Überschreitungshäufigkeit der Obergrenzen der Kategorie II als Mindestanforderung zu etablieren. Der Vorschlag ist auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen wie folgt:

- für **Wohnnutzung**: $n_{\text{Kat.II}} \leq 300 \text{ h/a}$ ($\triangleq 3,4 \% \text{ von } 8.760 \text{ h/a}$)
- für **Nichtwohnnutzung**: $n_{\text{Kat.II}} \leq 150 \text{ h/a}$ ($\triangleq 5,2 \% \text{ von } 2.871 \text{ h/a}$)

Hinweis: Abweichend von dem vorbeschriebenen Vorschlag zur Festlegung der Anforderungen auf $n_{\text{Kat.II}} \leq 300 \text{ h/a}$ für Wohnnutzung und $n_{\text{Kat.II}} \leq 150 \text{ h/a}$ für Nichtwohnnutzung wird in der von dem für die Fortschreibung der DIN 4108-2 zuständigen Normenausschuss eingesetzten adhoc-Gruppe favorisiert, die Anforderungen einheitlich auf 3 % zulässige Überschreitungshäufigkeit der $n_{\text{Kat.II}}$ -Werte festzulegen. Im Vergleich zum vorgenannten Vorschlag würde dies für Wohnnutzung im Vergleich zur aktuellen Anforderungshöhe nach DIN 4108-2 für Wohnnutzung eine geringfügige Verschärfung in Klimaregion C bedeuten. Für Nichtwohnnutzung würde dies für Klimaregion B eine geringfügige und für Klimaregion C eine deutliche Verschärfung bedeuten. Eine endgültige Festlegung sowohl auf die Anforderungsgröße $n_{\text{Kat.II}}$ als auch in Bezug auf die Anforderungshöhe wird der zuständige Normenausschuss treffen.

3.2.3.1 Auswertungen für den Anwendungsfall Wohnnutzung für $n_{\text{Kat.II}} \leq 300 \text{ h/a}$

Für den oben beschriebenen Vorschlag der Anforderungsfestlegung ($n_{\text{Kat.II}} \leq 300 \text{ h/a}$ für Wohnnutzung und $n_{\text{Kat.II}} \leq 150 \text{ h/a}$) folgen mit Bild 3-9 bis Bild 3-11 Auswertungen zum Vergleich der nach gegenwärtiger Anforderungssystematik und nach vorgeschlagenem neuem Anforderungsniveau für Wohnnutzung fallweise erforderlichen F_C -Werte.

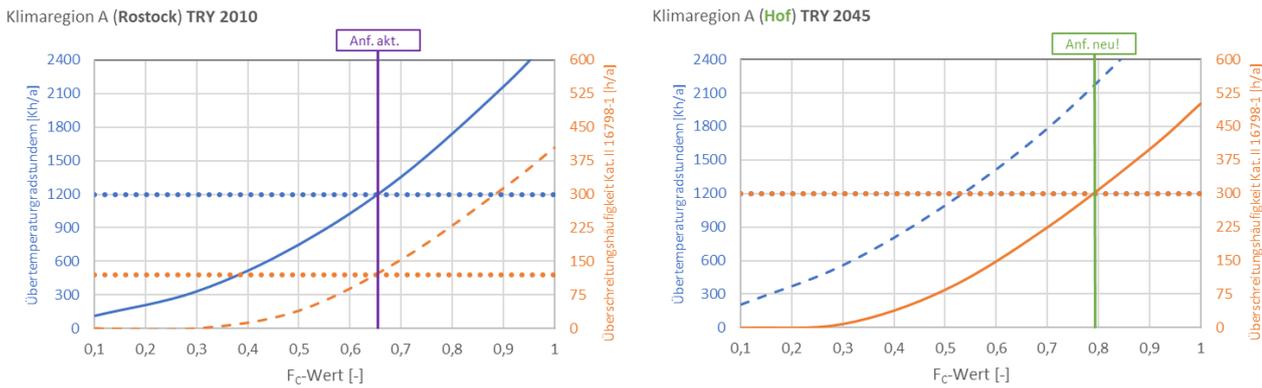


Bild 3-9: Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25}}$ und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion A: Tabelle 3-12); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 300$ h/a für Wohnnutzung.

Gemäß Auswertung links in Bild 3-9 ist in Klimaregion A (TRY2010_02: Rostock) nach gegenwärtiger Anforderungssystematik für die Einhaltung der Anforderung $G_{h_{25}} \leq 1.200$ Kh/a ein F_C -Wert von 0,65 erforderlich. Für den Vorschlag einer Anforderungsfestlegung auf $n_{Kat.II}$ 300 h/a geht aus dem rechten Diagramm in Bild 3-9 hervor, dass für die Auswertung mit dem Klimadatensatz TRY2045_10 (Hof) „nur noch“ ein F_C -Wert von 0,79 erforderlich ist. Gegenüber dem nach gegenwärtiger Anforderung erforderlichen F_C -Wert entspricht dies einer „Abschwächung“ des F_C -Wertes von $\Delta F_C = 0,14$. Diese Erleichterung ist letztlich auf die Niveaufestlegung zurückzuführen. Allerdings muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass der neue Standort Hof als Repräsentant für die neue Klimaregion A nunmehr als Repräsentant für die Höhenlagen Deutschlands anzuwenden ist und große Teile der bislang noch in Klimaregion A fallende Bereiche nunmehr in den Anwendungsbereich der Klimaregion B fallen.

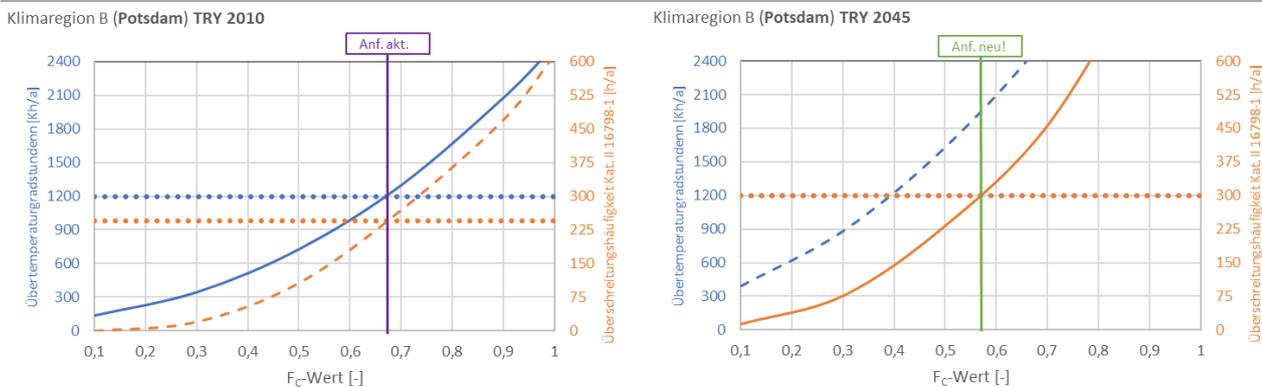


Bild 3-10: Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion B: Tabelle 3-11); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 300$ h/a für Wohnnutzung.

Gemäß Auswertung links in Bild 3-10 ist in Klimaregion B (TRY2010_04: Potsdam) nach gegenwärtiger Anforderungssystematik für die Einhaltung der Anforderung $G_{h_{25}} \leq 1.200$ Kh/a ein F_C -Wert von 0,68 erforderlich. Für den Vorschlag einer Anforderungsfestlegung auf $n_{Kat.II}$ 300 h/a geht aus dem rechten Diagramm in Bild 3-10 hervor, dass für die Auswertung mit dem Klimadatensatz TRY2045_04 (Potsdam) ein F_C -Wert von 0,58 erforderlich ist. Gegenüber dem nach gegenwärtiger Anforderung erforderlichen F_C -Wert entspricht dies einer „Verschärfung“ des F_C -Wertes um $\Delta F_C = 0,10$.

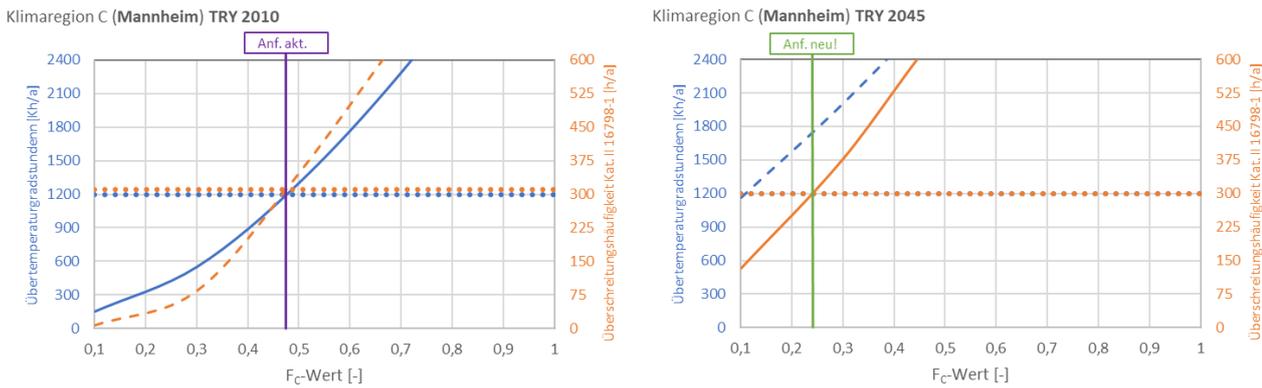


Bild 3-11: Übertemperaturgradstunden $G_{h_{27}}$ und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion C: Tabelle 3-13); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 300$ h/a für Wohnnutzung.

Gemäß Auswertung links in Bild 3-11 ist in Klimaregion C (TRY2010_12: Mannheim) nach gegenwärtiger Anforderungssystematik für die Einhaltung der Anforderung $G_{h_{25}} \leq 1.200$ Kh/a ein F_C -Wert von 0,48 erforderlich. Für den Vorschlag einer Anforderungsfestlegung auf $n_{Kat.II}$ 300 h/a geht aus dem rechten Diagramm in Bild 3-11 hervor, dass für die Auswertung mit dem Klimadatensatz TRY2045_12 (Mannheim) ein F_C -Wert von 0,24 erforderlich ist. Gegenüber dem nach gegenwärtiger Anforderung erforderlichen F_C -Wert entspricht dies einer „Verschärfung“ des F_C -wertes um $\Delta F_C = 0,24$.

3.2.3.2 Auswertungen für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung für $n_{Kat.II} \leq 150$ h/a

Analog zu den vorausgehenden Gegenüberstellungen für den Anwendungsfall Wohnnutzung folgen mit Bild 3-12 bis Bild 3-14 die entsprechenden Gegenüberstellungen für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung.

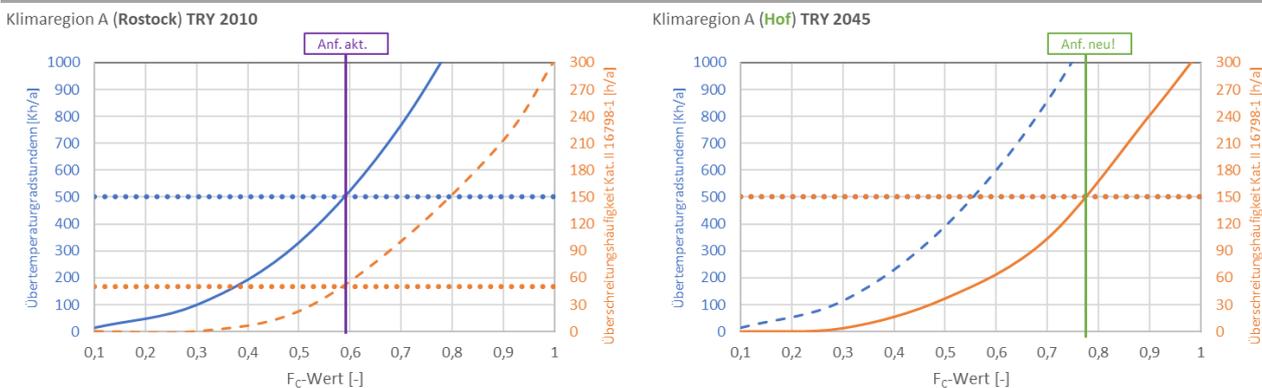


Bild 3-12: Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25}}$ und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion A: Tabelle 3-15); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 150$ h/a für Nichtwohnnutzung.

Gemäß Auswertung links in Bild 3-12 ist in Klimaregion A (TRY2010_02: Rostock) nach gegenwärtiger Anforderungssystematik für die Einhaltung der Anforderung $G_{h_{25}} \leq 500$ Kh/a ein F_C -Wert von 0,59 erforderlich. Für den Vorschlag einer Anforderungsfestlegung auf $n_{Kat.II}$ 150 h/a geht aus dem rechten Diagramm in Bild 3-12 hervor, dass für die Auswertung mit dem Klimadatensatz TRY2045_10 (Hof) „nur noch“ ein F_C -Wert von 0,78 erforderlich ist. Gegenüber dem nach gegenwärtiger Anforderung erforderlichen F_C -Wert entspricht dies einer „Abschwächung“ des F_C -wertes um $\Delta F_C = 0,19$. Diese Erleichterung ist letztlich auf die Niveaufestlegung zurückzuführen. Allerdings muss an dieser Stelle -wie bereits für den Anwendungsfall Wohnnutzung- darauf hingewiesen werden, dass der neue Standort Hof als Repräsentant

für die neue Klimaregion A nunmehr als Repräsentant für die Höhenlagen Deutschlands anzuwenden ist und große Teile der bislang noch in Klimaregion A fallende Bereiche nunmehr in den Anwendungsbereich der Klimaregion B fallen.

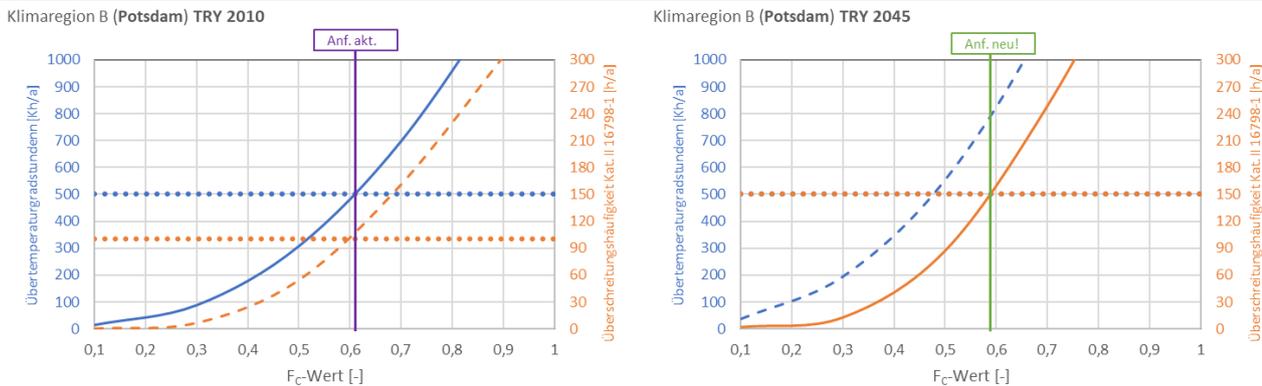


Bild 3-13: Übertemperaturgradstunden G_{h26} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion B: Tabelle 3-14); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 150$ h/a für Nichtwohnnutzung.

Gemäß Auswertung links in Bild 3-13 ist in Klimaregion B (TRY2010_04: Potsdam) nach gegenwärtiger Anforderungssystematik für die Einhaltung der Anforderung $G_{h25} \leq 500$ Kh/a ein F_C -Wert von 0,61 erforderlich. Für den Vorschlag einer Anforderungsfestlegung auf $n_{Kat.II} 150$ h/a geht aus dem rechten Diagramm in Bild 3-13 hervor, dass für die Auswertung mit dem Klimadatensatz TRY2045_04 (Potsdam) ein F_C -Wert von 0,59 erforderlich ist. Gegenüber dem nach gegenwärtiger Anforderung erforderlichen F_C -Wert entspricht dies einer geringfügigen „Verschärfung“ des F_C -wertes um $\Delta F_C = 0,02$.

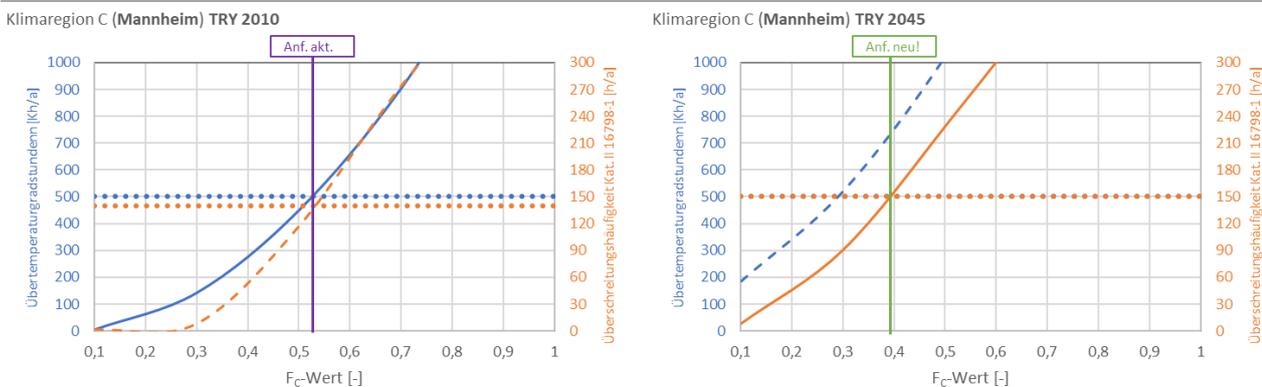


Bild 3-14: Übertemperaturgradstunden G_{h27} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion C: Tabelle 3-16); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 150$ h/a für Nichtwohnnutzung.

Gemäß Auswertung links in Bild 3-14 ist in Klimaregion C (TRY2010_12: Mannheim) nach gegenwärtiger Anforderungssystematik für die Einhaltung der Anforderung $G_{h25} \leq 500$ Kh/a ein F_C -Wert von 0,53 erforderlich. Für den Vorschlag einer Anforderungsfestlegung auf $n_{Kat.II} 150$ h/a geht aus dem rechten Diagramm in Bild 3-14 hervor, dass für die Auswertung mit dem Klimadatensatz TRY2045_12 (Mannheim) ein F_C -Wert von 0,39 erforderlich ist. Gegenüber dem nach gegenwärtiger Anforderung erforderlichen F_C -Wert entspricht dies einer „Verschärfung“ des F_C -wertes um $\Delta F_C = 0,14$.

3.3 Auswertungen zum thermischen Komfort (Wohnnutzung)

Für die mit diesem Abschnitt dokumentierten Ergebnisse wird das gemäß Abschnitt 3.2.3 vorgeschlagenen Anforderungsniveau wie folgt als Orientierungswert in die Auswertungen aufgenommen:

- für **Wohnnutzung**: $n_{\text{Kat.II}} \leq 300 \text{ h/a}$

Für diese Komfortbewertungen werden die Zukunftsklimadatenätze (TRYs 2045) zugrunde gelegt). Um eine Einordnung im Vergleich zu der gegenwärtigen Anforderungssystematik (Wohnnutzung $G_{h_x} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$) zu ermöglichen, werden parallel Auswertungen für die aktuellen mittleren Klimadaten (TRYs 2010) durchgeführt und gegenübergestellt. Die Auswertungen zu den G_{h_x} -Werten für die TRYs 2010 werden analog zu den bisherigen Darstellungen in den grafischen Auswertungen jeweils links und die Auswertungen zu den $n_{\text{Kat.II}}$ -Werten für die TRYs2045 jeweils rechts dargestellt.

Die Auswertungen erfolgen für einzelne exemplarische Parametersets, um die Einflüsse der betrachteten Einzelparameter aufzuzeigen. Die im Rahmen der Projektbearbeitung erstellten Auswertetools auf Basis von MS Excel ermöglichen analoge Auswertungen für beliebige Kombinationen der Parametrisierung.

3.3.1 Einfluss des U_w -Wertes

Der Einfluss des Transmissionswärmestroms durch das Bauteil Fenster ist bei heute üblichen U_w -Werten im Vergleich zu dem Einfluss der solaren Einstrahlung von untergeordneter Bedeutung, aber durchaus vorhanden. Wie groß der Einfluss ist, zeigen die Auswertungen in Bild 3-15 für das Parameterset in Tabelle 3-17. Um ausschließlich den Einfluss des U_w -Wertes abzubilden, wird in allen Fällen ein einheitlicher g -Wert von 0,54 unterstellt.

Tabelle 3-17: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-15

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	WG_oK
U_w -Wert	g -Wert	F_c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
Fall 1: UW120 Fall 2: UW095 Fall 3: UW070	g_{054}	FC010 - FC100	m300	NL2

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): $U_w = 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): $U_w = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): $U_w = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

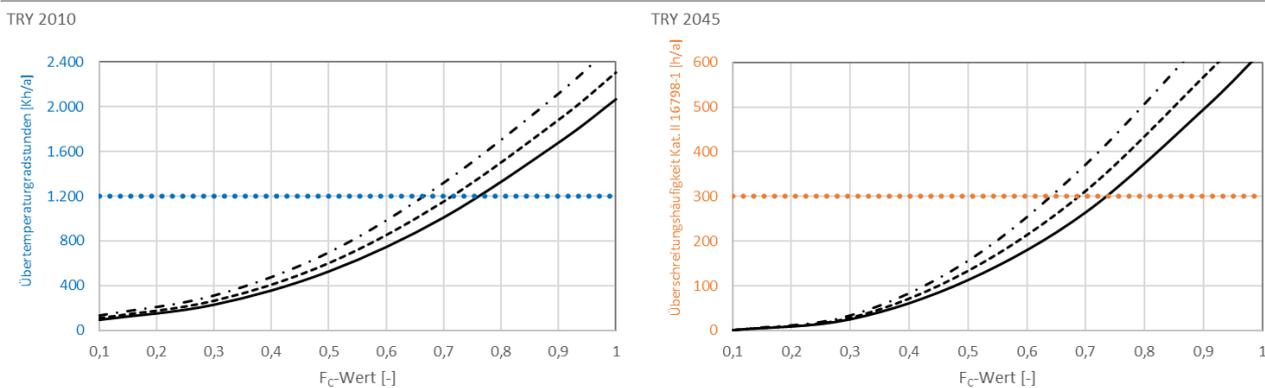


Bild 3-15: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-17

Der Vergleich der $n_{\text{Kat.II}}$ -Auswertungen zu den G_{h26} -Auswertungen in Bild 3-15 zeigt, dass jeweils vergleichbare F_C -Werte zur Einhaltung des Niveaus $n_{\text{Kat.II}} = 300 \text{ h/a}$ und $G_{h26} = 1.200 \text{ Kh/a}$ erforderlich sind.

Um in Bezug auf das winterliche Wärmeverhalten eine direkte Gegenüberstellung zu ermöglichen, folgt mit Bild 3-16 die zugehörige Auswertung für den spezifischen Heizwärmebedarf.

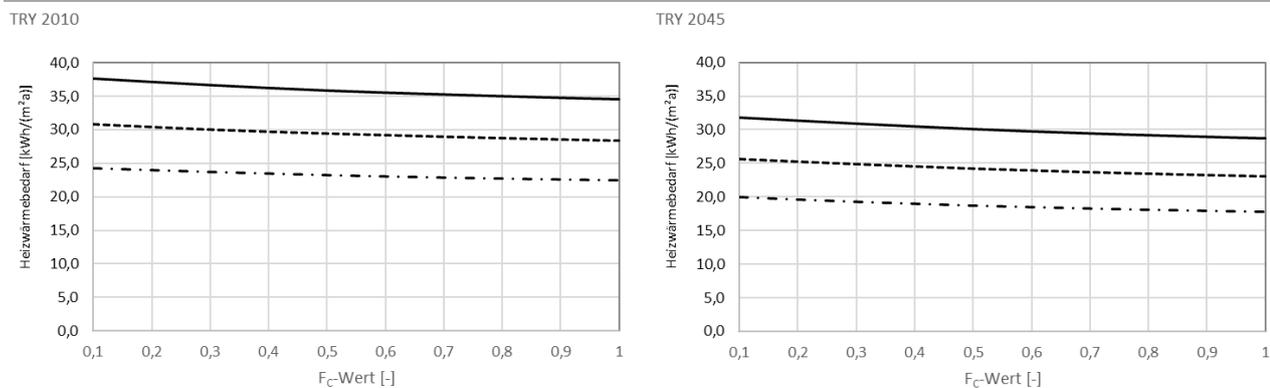


Bild 3-16: Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-15 (Parameterset in Tabelle 3-17)

Die Auswertungen in Bild 3-16 zeigen, dass für ein Fenster mit $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Fall 1, durchgehender Graph) unter Ansatz des Klimadatensatzes TRY2045_04 (Zukunftsklima Potsdam) ohne den Einfluss der hier zugrunde gelegten Sonnenschutzsteuerung zu berücksichtigen (also bei $F_C = 1,0$) ein Heizwärmebedarf in Höhe von $28,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ aus den Berechnungen hervorgeht. Bei einem Fenster mit U_w -Wert = $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kann der Heizwärmebedarf des Raumes um 20 Prozent auf $23,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und für ein Fenster mit $U_w = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ um 38 Prozent auf $17,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ reduziert werden. Dies unterstreicht, dass in der Regel kein Fenster mit höherem U_w -Wert eingesetzt werden sollte, um das sommerliche Wärmeverhalten positiv zu beeinflussen. Aus den Graphen in Bild 3-16 kann entnommen werden, dass mit Verringerung des F_C -Wertes ein geringfügig zunehmender Heizwärmebedarf einhergeht. Dies ist dadurch begründet, dass im Fall der zugrundeliegenden Modellierung der manuellen Sonnenschutzsteuerung eine ganzjährige von der Grenzbestrahlungsstärke abhängig Aktivierung unterstellt ist. Dieser negative Einfluss kann unterbunden werden, wenn die Aktivierung des Sonnenschutzes auf die Monate April bis September beschränkt wird. Für diese Fälle ergibt sich dann keine Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der Qualität des Sonnenschutzes.

Unabhängig von dem hier diskutierten Einfluss des U_w -Wertes auf das sommerliche Wärmeverhalten zeigt der Vergleich der Heizwärmebedarfe für die aktuellen mittleren Klimadaten zu den zukünftigen Klimadaten, dass einhergehend mit dem Klimawandel auch eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs einhergeht. So ergibt sich z. B. für das Fenster mit $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs von $28,3$ auf $23,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, was einer Bedarfsminde- rung infolge des Klimawandels für dieses Beispiel um fast 20 Prozent bedeutet.

Für das zuvor beschriebene Parameterset ist, wie für den Anwendungsfall Wohnnutzung üblich, die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung unterstellt. Informativ folgt mit Bild 3-17 (Parameterset in Tabelle 3-18) zusätzlich eine Auswertung ohne den Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung unter ansonsten gleichen Randbedingungen.

Tabelle 3-18: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-17

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	WG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
Fall 1: UW120 Fall 2: UW095 Fall 3: UW070	g054	FC010 - FC100	m300	NLO

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): $U_w = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

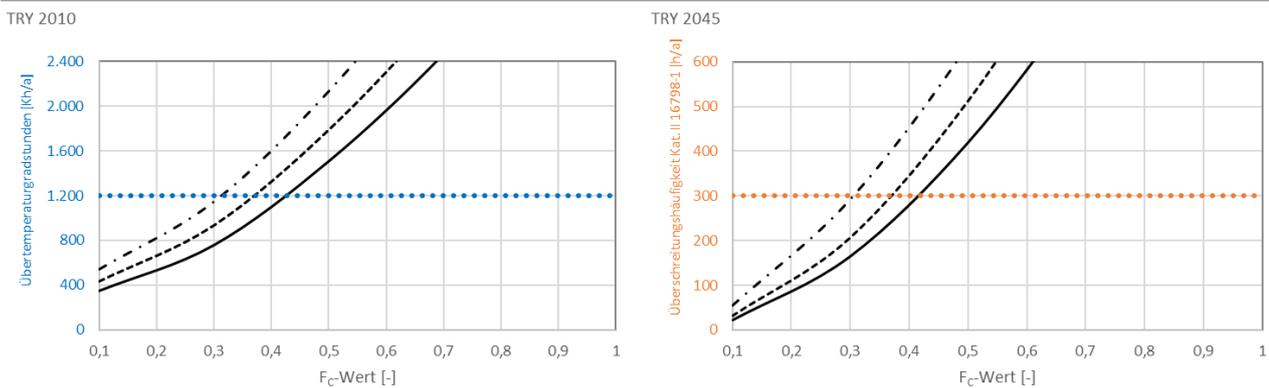


Bild 3-17: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-18

Wird, wie in Bild 3-17 unterstellt, davon ausgegangen, dass für den Raum nicht die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung besteht, so ergeben sich im Vergleich zu den Auswertungen mit Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung in Bild 3-15 deutlich höhere thermische Beanspruchungen. Während in Verbindung mit erhöhter Nachtlüftung $n_{\text{Kat.II}}$ -Werte $\leq 300 \text{ h/a}$ für die beschriebenen U_w -Werte mit F_c -Werten zwischen 0,65 und 0,75 erreicht werden, führt der Verzicht auf den Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung auf erforderliche F_c -Werte zwischen 0,30 und 0,43. Für dieses Beispiel würde dies einem Wechsel des Sonnenschutzsystems von einem innenliegenden z. B. zu einem außenliegenden oder zwischen den Scheiben liegenden Sonnenschutz entsprechen (siehe auch F_c -Werte in Anhang B).

Die Auswertungen zum Einfluss des U_w -Wertes zeigen, dass mit Verringerung des U_w -Wertes eine geringfügig höhere thermische Beanspruchung des Raumes einhergeht. Ein Fenster mit besseren wärmeschutztechnischen Eigenschaften in Bezug auf das winterliche Wärmeverhalten führt im Sommer demnach zu einer geringfügig schlechteren thermischen Performance. Das bessere winterliche Wärmeverhalten bei niedrigerem U -Wert sollte für die Realisierung von Gebäuden unbedingt beachtet und zusammen mit der Bewertung des sommerlichen Wärmeverhalten in einem integralen Planungsprozess zu einer optimierten Gebäudehülle geführt werden.

3.3.2 Einfluss des g-Wertes

Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) beeinflusst einerseits das sommerliche Wärmeverhalten, hat aber auch einen signifikanten Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Ein niedriger g-Wert verbessert zwar das sommerliche Wärmeverhalten, die im Vergleich zu höheren g-Werten ausbleibenden solaren Wärmeeinträge erhöhen aber den winterlichen Wärmebedarf. Die Auswertungen in Bild 3-18 zeigen den Einfluss des g-Wertes für das mit Tabelle 3-19 beschriebene Parameterset. Hierbei wird der g-Wert in einem Bereich zwischen $g = 0,60$ und $g = 0,42$

variiert. Somit fallen die beschriebenen g-Werte noch nicht in die Klasse Sonnenschutzglas (von Sonnenschutzglas wird im Allgemeinen ausgegangen, wenn der g-Wert 0,40 unterschreitet). Für die hier mit $U_w = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ unterstellte 3-Scheiben-Ausführung liegt der g-Wert bei Einsatz von Normalglas üblicherweise im Bereich zwischen 0,52 und 0,54, kann aber durch entsprechende Beschichtungen auch Werte von 0,60 erreichen.

Tabelle 3-19: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-18

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	WG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	Fall 1: g060 Fall 2: g054 Fall 3: g048 Fall 4: g042	Fc10 - Fc100	m300	NL2

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **g = 0,60**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **g = 0,54**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **g = 0,48**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **g = 0,42**

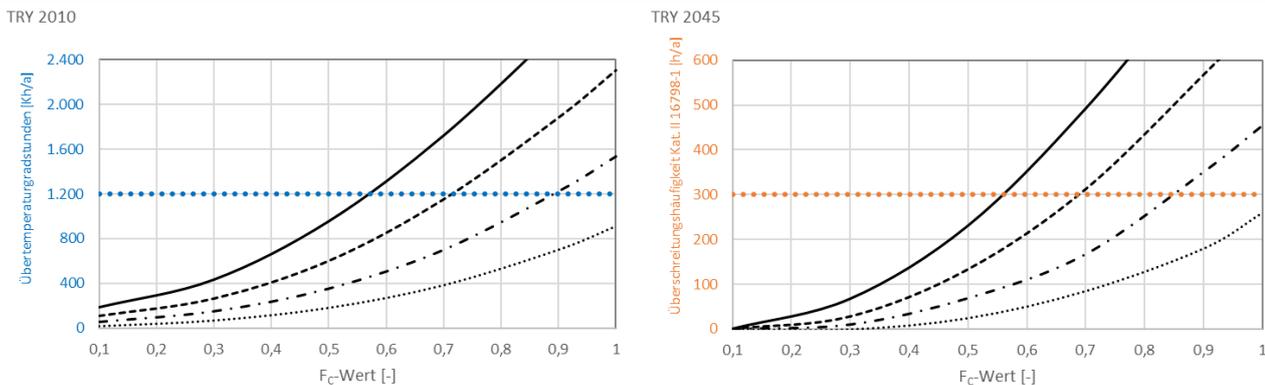


Bild 3-18: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit vom dem F_c-Wert für das Parameterset in Tabelle 3-19

Die Auswertungen in Bild 3-18 zeigen, dass der g-Wert das sommerliche Wärmeverhalten stark beeinflusst. Während der Einsatz von einem Glas mit $g = 0,60$ (Fall 1, durchgehender Graph) den Einsatz eines Sonnenschutzes mit $F_c = 0,50$ erfordert, um das Niveau $n_{\text{Kat.II}} = 300 \text{ h/a}$ zu erreichen, kommt ein Glas mit $g = 0,42$ (Fall 4, punktierter Graph) ohne Sonnenschutz aus. Die mit Bild 3-19 folgenden Auswertungen zeigen hierzu den Einfluss des g-Wertes auf den Heizwärmebedarf auf.

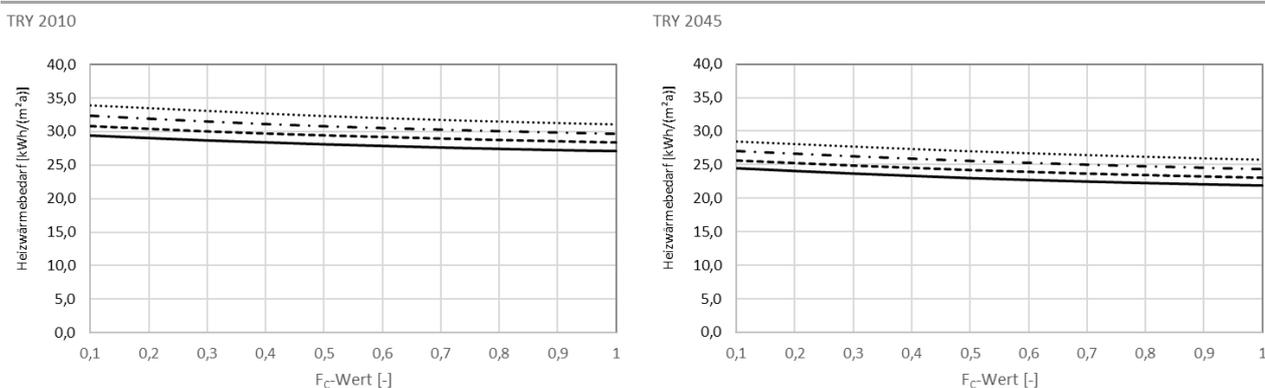


Bild 3-19: Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-18 (Parameterset in Tabelle 3-19)

Für einen g Wert von 0,60 (Fall 1) ergibt sich aus Bild 3-19 für die zukünftigen Klimarandbedingungen (TRY2045_04) ein spezifischer Heizwärmebedarf in Höhe von 23,0 kWh/(m²a) (bei F_c = 1,0). Die Reduzierung des g-Wertes auf 0,42 (Fall 4) führt für dieses Beispiel zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs um rund 12 Prozent auf 25,7 kWh/(m²a).

Der g-Wert hat einen signifikanten Einfluss auf das sommerlichen Wärmeverhalten. Je niedriger der g-Wert umso besser das thermische Verhalten im Sommer. Besonders zu beachten ist, dass einhergehend mit einem niedrigen g-Wert auch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge in der Heizperiode reduziert werden. Dies ist im Rahmen einer integralen Planung zu berücksichtigen! Eine nachhaltige und integrale Planung des sommerlichen Wärmeschutzes bedeutet, dass die für den Sommerfall „gefundene Lösung“ stets auch in Bezug auf den winterlichen Wärmebedarf bewertet werden sollte. Eine optimale Lösung kann nur erreicht werden, wenn das Konzept gleichzeitig auf eine Minimierung der solaren Wärmeeinträge im Sommer und eine Maximierung der solaren Wärmeeinträge in der Heizperiode ausgelegt ist. Diese Optimierung kann nur durch ein dynamisches System in Form eines beweglichen Sonnenschutzes erreicht werden.

3.3.3 Einfluss Automation bei Sonnenschutz und Lüftung

Das sommerliche Wärmeverhalten kann unter gleichzeitiger Berücksichtigung des winterlichen Wärmeverhaltens wesentlich durch einen beweglichen Sonnenschutz verbessert werden. Die Wirksamkeit hängt allerdings sehr stark von der tatsächlichen Aktivierung des Sonnenschutzes ab. Zur rechnerischen Berücksichtigung der Wirksamkeit eines Sonnenschutzes muss für eine Simulationsrechnung ein Algorithmus zur Aktivierung des Sonnenschutzes vorgegeben werden. Üblicherweise erfolgt die Steuerung eines Sonnenschutzes in einer Simulationsrechnung abhängig von der solaren Einstrahlung. Für den Anwendungsfall Wohnnutzung wird zur Beschreibung einer manuellen Sonnenschutzbedienung eine von der sog. Grenzbestrahlungsstärke (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung senkrecht zum Fenster) abhängige Steuerung mit einem Schwellenwert von 300 W/m² unterstellt. Eine manuelle Bedienung sieht vor, dass die Aktivierung während der Anwesenheitszeit erfolgt. Die Anwesenheitszeit ist für den Anwendungsfall Wohnnutzung als „Wachzeit“ definiert und auf das Zeitfenster täglich von 6 bis 23 Uhr beschränkt. Eine automatische Steuerung hingegen bedeutet eine Aktivierung des Sonnenschutzes unabhängig von der Anwesenheitszeit. Für den Anwendungsfall Wohnnutzung hat die Unterscheidung zwischen manueller und automatischer Betriebsweise bei gleicher Grenzbestrahlungsstärke insofern praktisch keinen Einfluss, da sich bei automatischer Betriebsweise lediglich im Sommer bei Ostorientierung von 6 Uhr zusätzliche Aktivierungszeiten im Vergleich zur manuellen Betriebsweise ergeben.

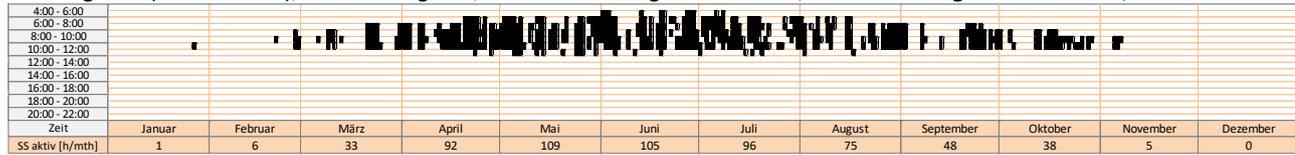
Hinweis: Dass rein rechnerisch kein Unterschied zwischen manueller und automatischer Betriebsweise festzustellen ist, gilt genau genommen nur für die bei dem Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zugrunde gelegten Rechenrandbedingungen. Hierbei wird nämlich nicht berücksichtigt, dass im realen Betrieb, z. B. wegen Berufstätigkeit, die Anwesenheit des Nutzers und somit die Möglichkeit zur Betätigung des Sonnenschutzes gar nicht gegeben ist. Insofern hat die Automation des Sonnenschutzes auch für den Anwendungsfall Wohnnutzung eine besondere Bedeutung, da nur automatisiert betriebene Systeme eine Optimierung des sommerlichen Wärmeverhaltens garantieren können!

Das sommerliche Wärmeverhalten kann deutlich verbessert werden, wenn der Schwellenwert für die Aktivierung eines Sonnenschutzes auf einen niedrigeren Schwellenwert festgelegt wird.

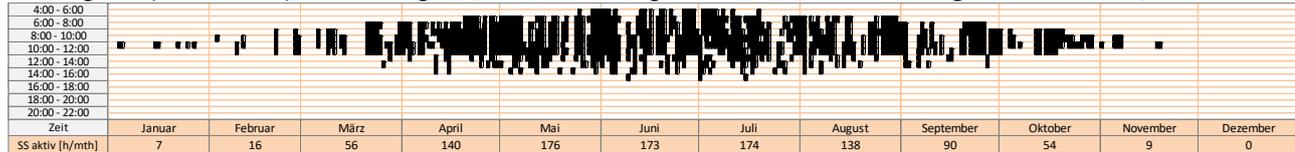
Bezüglich der Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die damit einhergehende Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens auf die höheren Aktivierungszeiten zurückzuführen ist und damit einhergehend, je nach Art des Sonnenschutzes, bei Anwesenheit des Nutzers gegebenenfalls Kunstlichteinschaltzeiten erhöht werden. Hierzu folgt informativ (und abweichend von der in Tabelle 3-20 für die Auswertungen

in Bild 3-21 unterstellen West-Orientierung) mit Bild 3-20 die Darstellung der Aktivierungszeiten für 300, 200 und 100 W/m² Grenzbestrahlungsstärke für eine unterstellte Ost-Orientierung und eine Auswertung für das TRY2010_04.

Klimaregion B (TRY Potsdam), Orientierung: Ost, Grenzbestrahlungsstärke 300 W/m². Aktivierungsstunden: 608 h/a



Klimaregion B (TRY Potsdam), Orientierung: Ost, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m². Aktivierungsstunden: 1.033 h/a



Klimaregion B (TRY Potsdam), Orientierung: Ost, Grenzbestrahlungsstärke 100 W/m². Aktivierungsstunden: 2.012 h/a

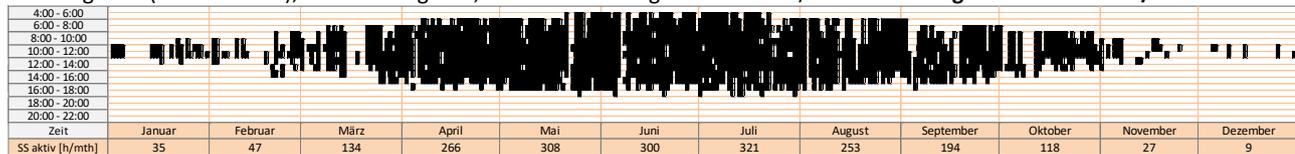


Bild 3-20: Aktivierungszeiten des Sonnenschutzes bei automatischer Steuerung in Abhängigkeit von der Grenzbestrahlungsstärke für das TRY2010_04

Aus der Darstellung der von der Grenzbestrahlungsstärke abhängigen Aktivierungszeiten in Bild 3-20 lässt sich entnehmen, dass bei der hier unterstellten Ost-Orientierung bei 300 W/m² Grenzbestrahlung ausschließlich vormittags eine Aktivierung erfolgt (über Jahr insgesamt an 608 Stunden), da dieser Schwellenwert nur mit direkter Sonneneinstrahlung erreicht wird. Erst mit Reduzierung der Grenzbestrahlung erfolgt auch eine Aktivierung zu Zeiten, in denen keine direkte Besonnung des ostorientierten Fensters auftritt. Bei einer Grenzbestrahlungsstärke von 100 W/m² erhöhen sich demnach die Aktivierungszeiten auf 2.012 Stunden Jahr. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die hier über das ganze Jahr rechnerisch ermittelten Aktivierungszeiten im realen Betrieb auf die Monate April bis September beschränkt werden sollten, um einen negativen Einfluss auf den Heizwärmebedarf zu unterbinden.

Die mit Bild 3-21 folgenden Auswertungen stellen den Einfluss unterschiedlicher Grenzbestrahlungsstärken zwischen 300 und 100 W/m² dar. Fall 1 (manuell mit 300 W/m² Grenzbestrahlungsstärke) und Fall 2 (automatisch mit 300 W/m² Grenzbestrahlungsstärke) verlaufen dabei deckungsgleich (siehe Erläuterungen oben).

Hinweis zu den Auswertungen in Bild 3-21 und Bild 3-22: Manueller und automatischer Betrieb bei 300 W/m² Grenzbestrahlungsstärke unterscheiden sich für Wohnnutzung hier nicht, da bei der hier unterstellten Westorientierung dieselben Aktivierungszeiten resultieren (bei manuellem Betrieb Aktivierung des Sonnenschutzes während der Nutzungszeit zwischen 6 und 23 Uhr). Deshalb verlaufen die Graphen für Fall 1 und Fall 2 deckungsgleich.

Hier gilt allerdings, wie zuvor bereits angemerkt, dass es sich bei der Unterscheidung zwischen manuell und automatisch um standardisierte Rechenrandbedingungen für den Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes handelt und hierbei grundsätzlich bei Wohnnutzung die Anwesenheit zwischen 6 und 23 Uhr und somit die Möglichkeit zur Aktivierung des Sonnenschutzes unterstellt wird. Ist ein Nutzer, z. B. aufgrund von Berufstätigkeit nicht anwesend, so kann nur ein automatisch gesteuerter Sonnenschutz die hier rechnerisch ermittelten Verhältnisse garantieren.

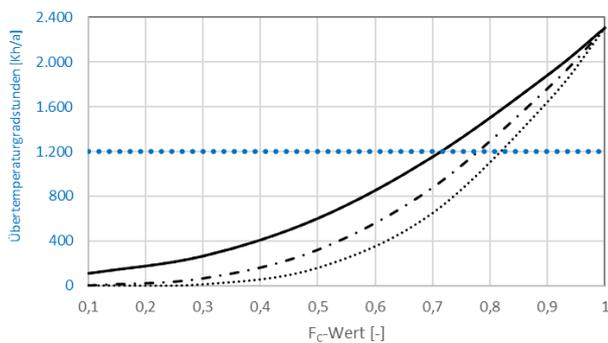
Tabelle 3-20: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-21

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung West	Klimadaten TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g054	F _c -Wert FC010 - FC100	Steuerung Sonnenschutz Fall 1: m300 Fall 2: a300 Fall 3: a200 Fall 4: a100	Lüftung NL2

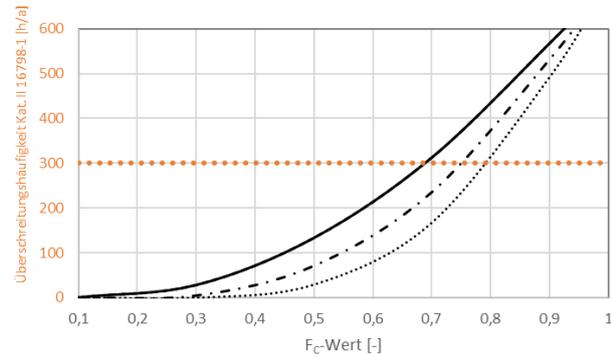
Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **manuell, Grenzbestrahlungsstärke 300 W/m²**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 300 W/m²**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 100 W/m²**

TRY 2010



TRY 2045

Bild 3-21: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat. II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in

Aus der Darstellung in Bild 3-21 kann entnommen werden, dass der sommerliche Komfort stark von der jeweils zugrunde liegenden Grenzbestrahlungsstärke abhängig ist. Zwar unterscheiden sich die fallweise für die Einhaltung eines $n_{\text{Kat. II}}$ -Wertes von 300 h/a nur zwischen 0,70 bei $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$ (Fälle 1 u. 2) und 0,80 bei $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$ (Fall 4). Bei gleichem F_c -Wert von 0,70 ergibt sich bei einer Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke von 300 auf 100 W/m² allerdings eine Reduzierung des $n_{\text{Kat. II}}$ -Wertes von 300 auf 150 h/a.

Für die obigen Auswertungen wird, wie für den Anwendungsfall Wohnnutzung üblich, die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung unterstellt. Besteht diese Möglichkeit jedoch nicht, so ergibt sich hieraus unter ansonsten gleichen Randbedingungen eine deutliche Verschlechterung des sommerlichen Wärmeverhaltens. Hierzu folgen mit Bild 3-22 die entsprechenden Auswertungen für das Parameterset in Tabelle 3-21.

Tabelle 3-21: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-22

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung West	Klimadaten TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g054	F _c -Wert FC010 - FC100	Steuerung Sonnenschutz Fall 1: m300 Fall 2: a300 Fall 3: a200 Fall 4: a100	Lüftung NL0

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **manuell, Grenzbestrahlungsstärke 300 W/m²**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 300 W/m²**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 100 W/m²**

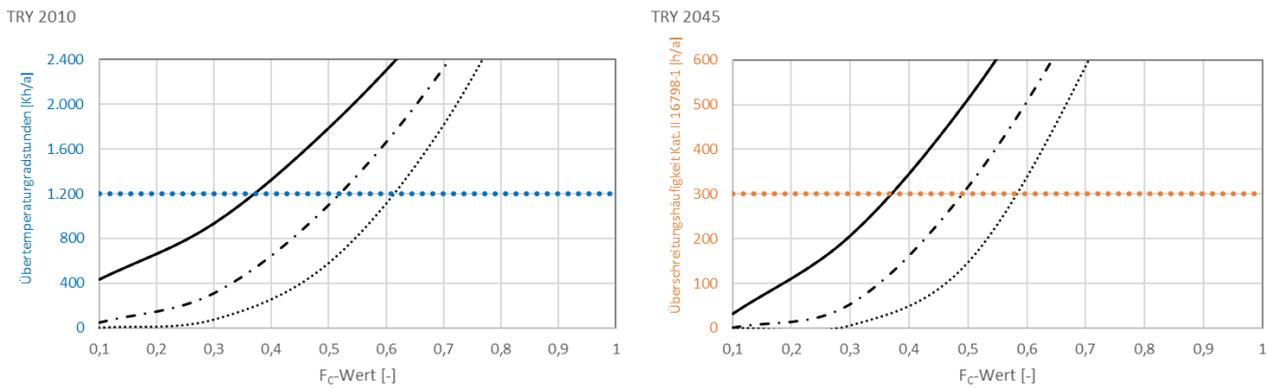


Bild 3-22: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat. II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-21

Durch die mit Bild 3-22 dokumentierten Auswertungen für den Fall ohne Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung ergibt sich im Vergleich zu Bild 3-21 eine deutliche Erhöhung der thermischen Beanspruchung des Raumes. Während mit Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung bei einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m^2 ein F_c -Wert von 0,70 ausreicht, um einen $n_{\text{Kat. II}}$ -Wert von 300 h/a zu erreichen, wird dieses Niveau ohne Ansatz der erhöhten Nachtlüftung nur noch mit einem F_c -Wert von 0,37 erreicht. Im Vergleich zu den Auswertungen in Bild 3-21 zeigen die Ergebnisse in Bild 3-22 eine deutlich stärkere Abhängigkeit des thermischen Komforts von dem F_c -Wert (Graphen in Bild 3-22 verlaufen deutlich steiler als in Bild 3-21). Aber auch der Einfluss der Grenzbestrahlungsstärke ist deutlich höher (größerer Abstand zwischen den Graphen in Bild 3-22).

Zusammenfassend lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass nur im Fall einer automatischen Betriebsweise ein definierter thermischer Komfort garantiert werden kann. Die in zuvor erläuterten Beispielen ausgewiesenen Ergebnisse für einen manuellen Betrieb setzen voraus, dass der Nutzer einen Sonnenschutz (in allen Räumen einer Wohnung oder eines Hauses) stets auch so bedient, wie rechnerisch unterstellt. Somit wird praktisch ein ideales Nutzerverhalten unterstellt, wobei das reale Nutzerverhalten signifikant hiervon abweichen kann. Ebenso wichtig ist der Hinweis auf das Potenzial der erhöhten Nachtlüftung. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Abfuhr der tagsüber anfallenden und im Raum gespeicherten Wärmemengen während der kühleren Nachtstunden den thermischen Komfort erheblich verbessert. Für den Anwendungsfall Wohnnutzung, wobei eine Anwesenheit des Nutzers in der Regel unterstellt werden kann, liegt somit die Verantwortung für einen hohen thermischen Komfort in der Hand des Nutzers selbst. Kann z. B. aus Gründen des Schallschutzes keine erhöhte Nachtlüftung praktiziert werden, hat die Qualität des Sonnenschutzes und dessen wirksame und eventuell frühere Aktivierung eine umso höhere Bedeutung.

3.4 Auswertungen zum thermischen Komfort (Nichtwohnnutzung)

Für die mit diesem Abschnitt dokumentierten Ergebnisse wird das gemäß Abschnitt 3.2.3 vorgeschlagenen Anforderungsniveau wie folgt als Orientierungswert in die Auswertungen aufgenommen:

- für **Nichtwohnnutzung:** $n_{\text{Kat. II}} \leq 150 \text{ h/a}$

Für diese Komfortbewertungen werden die Zukunftsklimadatenätze (TRYs 2045) zugrunde gelegt). Um eine Einordnung im Vergleich zu der gegenwärtigen Anforderungssystematik (Nichtwohnnutzung $G_{h_x} \leq 500 \text{ Kh/a}$) zu ermöglichen, werden parallel Auswertungen für die aktuellen mittleren Klimadaten (TRYs 2010) durchgeführt und gegenübergestellt. Die Auswertungen zu den G_{h_x} -Werten für die TRYs 2010 werden in den grafischen Auswertungen jeweils links und für $n_{\text{Kat. II}}$ für die TRYs2045 jeweils rechts dargestellt.

Die Auswertungen erfolgen für einzelne exemplarische Parametersets, um die Einflüsse der betrachteten Einzelparameter aufzuzeigen. Die im Rahmen der Projektbearbeitung erstellten Auswertetools auf Basis von MS Excel ermöglichen analoge Auswertungen für beliebige Kombinationen der Parametrisierung.

3.4.1 Einfluss des U_w -Wertes

Der Einfluss des U_w -Wertes auf den thermischen Komfort wird bereits in Abschnitt 3.3.1 für den Anwendungsfall Wohnnutzung diskutiert. Analog folgt mit Bild 3-23 die Darstellung der Ergebnisse für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung (Parameterset in Tabelle 3-22). Für diese erste Auswertung wird zunächst die Möglichkeit für einen erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit unterstellt. Anders als bei Wohngebäuden kann bei Nichtwohnnutzung diese Möglichkeit für einen erhöhten Luftwechsel allerdings nicht grundsätzlich unterstellt werden, da aus Gründen des Witterungs- und Einbruchsschutzes in der Regel aufwändigere bauliche und technische Lösungen vorgehalten werden müssen, um auch bei Nichtanwesenheit des Nutzers erhöhte natürliche Luftwechselraten zu ermöglichen. Da dieser Mehraufwand in der Regel auch einen erhöhten Kostenaufwand bedeutet, wird häufig auf diesen Mehraufwand verzichtet.

Zur Erläuterung: in der praktischen Konsequenz bedeutet der Verzicht auf die Umsetzung von Maßnahmen zur Sicherstellung eines erhöhten Luftwechsels auch außerhalb der Nutzungszeit (also wochentäglich von 18 Uhr abends bis 7 Uhr morgens sowie über das Wochenende von Freitagabend 18 Uhr bis Montagmorgen 7 Uhr), dass hier lediglich der Grundluftwechsel rechnerisch in Ansatz gebracht wird. Im Vergleich zur Wohnnutzung, wo nur in der Zeit zwischen 23 Uhr abends und 6 Uhr morgens davon ausgegangen wird, dass hier kein aktives Lüften erfolgen kann, hat der Luftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung einen deutlich größeren Einfluss auf den thermischen Komfort.

Tabelle 3-22: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-23

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	NWG_oK
U_w -Wert	g-Wert	F_c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
Fall 1: UW120 Fall 2: UW095 Fall 3: UW070	g054	FC010 - FC100	a200	NL2

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): $U_w = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

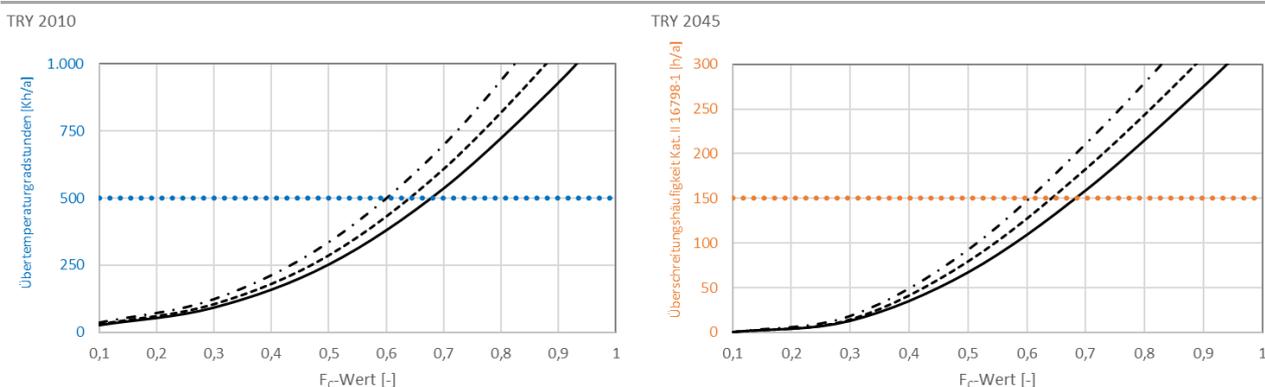


Bild 3-23: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat. II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-22

Die Auswertungen in Bild 3-23 für das Parameterset in Tabelle 3-22 zeigen, dass ein $n_{\text{Kat.II}}$ -Wert von 150 h/a unter Zugrundelegung der Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für die hier unterstellten U_{W} -Werte bei $g = 0,53$ mit Sonnenschutzvorrichtungen erreicht werden kann, wenn der F_{C} -Wert zwischen 0,60 und 0,69 liegt (automatische Steuerung des Sonnenschutzes mit $I_{\text{grenz}} = 200 \text{ W/m}^2$ unterstellt). In etwa dieselben F_{C} -Werte sind auch in Anwendung der aktuellen Anforderungssystematik zur Sicherstellung eines $G_{\text{h}_{26}}$ -Wertes von 500 Kh/a erforderlich (rechtes Diagramm in Bild 3-23).

Somit zeigt sich auch hier, dass ein aus der winterlichen Perspektive besserer U_{W} -Wert das sommerliche Wärmeverhalten in geringem Maße negativ beeinflusst. Aber auch hier sollte aus Gründen des sommerlichen Wärmeschutzes i.d.R. nicht auf den Einsatz von Fenstern mit besseren U -Werten verzichtet werden, wie die Auswertungen zum Heizwärmebedarf dieser Fälle in Bild 3-24 zeigen.

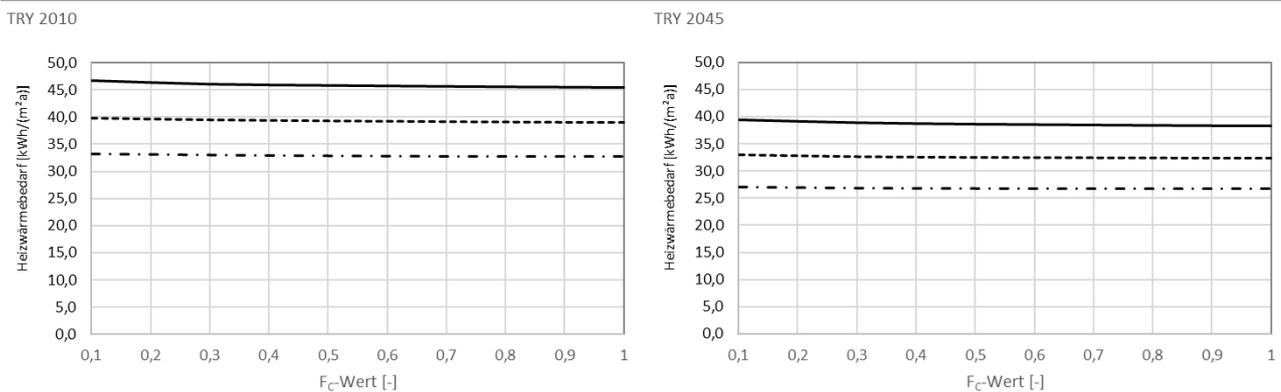


Bild 3-24: Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-23 (Parameterset in Tabelle 3-22)

Bei Einsatz eines Fensters mit $U_{\text{W}} = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ergibt sich nach Bild 3-24 ein Heizwärmebedarf in Höhe von $38,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Eine Verbesserung des U_{W} -Wertes auf $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ reduziert den Heizwärmebedarf in diesem Beispiel bereits um mehr als 15 Prozent auf $32,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Wird nun unter ansonsten gleichen Randbedingungen auf die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung verzichtet (siehe Parameterset in Tabelle 3-23), ergibt sich hieraus eine Bewertung des Komforts, wie in Bild 3-25 dargestellt.

Tabelle 3-23: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-25

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	NWG_oK
U_{W} -Wert	g-Wert	F_{C} -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
Fall 1: UW120 Fall 2: UW095 Fall 3: UW070	g054	FC010 - FC100	a200	NLO

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): $U_{\text{W}} = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): $U_{\text{W}} = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): $U_{\text{W}} = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

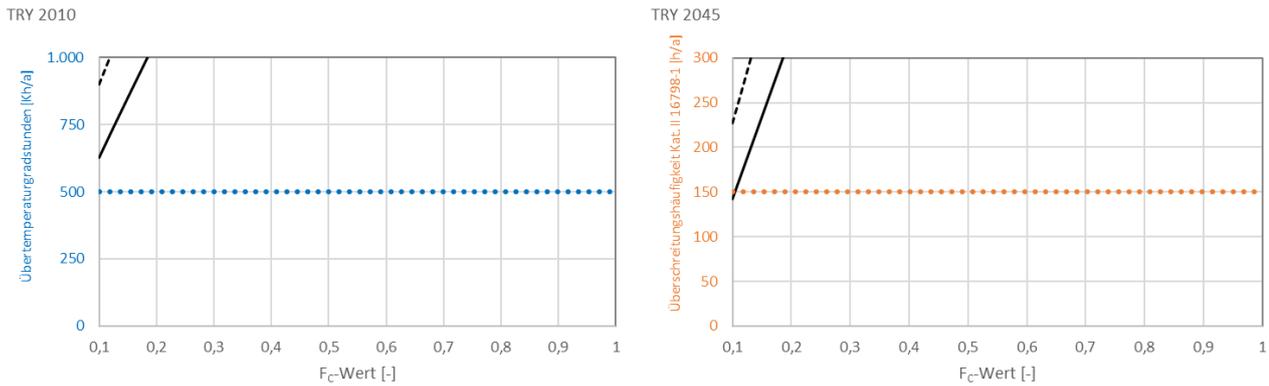


Bild 3-25: Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden Gh_{26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-23

Der Verzicht auf die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für gemäß Auswertung in Bild 3-25 dazu, dass nur noch für den Fall $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ mit $g = 0,54$ unter den mit Tabelle 3-23 beschriebenen Randbedingungen mit $F_C = 0,10$ eine „Erfüllungsoption“ für das Erreichen eines $n_{Kat.II}$ -Wertes von 150 h/a gefunden werden kann. Dies verdeutlicht den außerordentlich hohen Einfluss des Luftwechsels außerhalb der Nutzungszeit. Die mit Bild 3-26 folgenden Auswertungen zeigen hierzu, mit welchen Veränderungen im Parameterset (Tabelle 3-24) eine Verbesserung des thermischen Komforts und für alle betrachteten Fälle die Einhaltung von $n_{Kat.II} = 150 \text{ h/a}$ erreicht werden kann.

Tabelle 3-24: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-26

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	mittel	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	NWG_oK
U_w -Wert	g -Wert	F_C -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
Fall 1: UW120 Fall 2: UW095 Fall 3: UW070	g048	FC010 - FC100	a200	NLO

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): $U_w = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

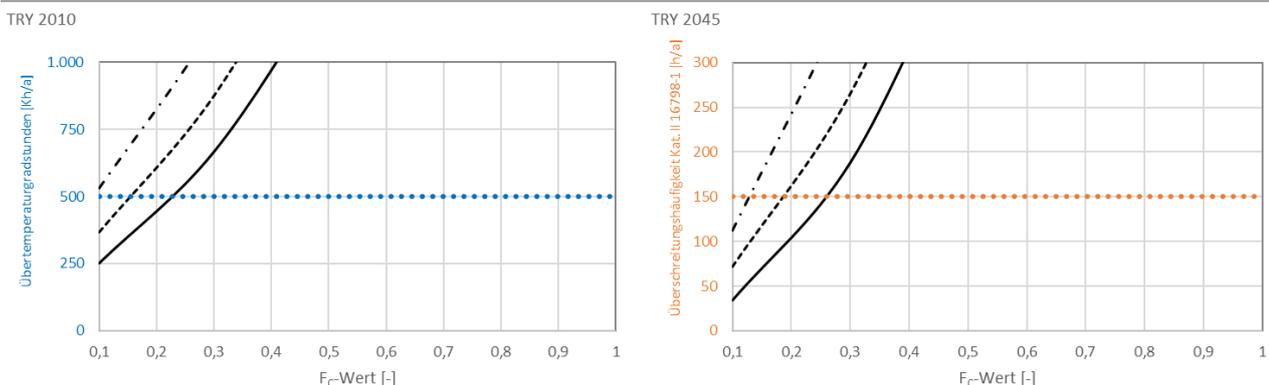


Bild 3-26: Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden Gh_{26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-24

Im Vergleich zu den Auswertungen in Bild 3-25 sind für die Auswertungen in Bild 3-26 folgende Anpassungen im Parameterset angesetzt:

- Reduzierung des **Fensterflächenanteils von hoch auf mittel** (fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 70 auf 50 Prozent reduziert, was einer Reduzierung des grundflächenbezogenen Fensterflächenanteils für diesen Raum von 36 auf 26 Prozent entspricht)
- Reduzierung des g-Wertes von 0,54 auf 0,48

Die Auswertungen dieses Abschnittes zeigen, dass insbesondere für größere Fensterflächenanteile gilt, dass ein guter thermischer Komfort insbesondere dann leicht erreicht werden kann, wenn für den Betrieb des Gebäudes die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit vorgesehen wird. Dies erfordert bereits in frühen Planungsphasen eine entsprechende Auseinandersetzung mit den Auswirkungen des architektonischen Konzepts auf das sommerliche und winterliche Wärmeverhalten.

Die Auswertungen zum Einfluss des U_w -Wertes zeigen, wie bereist für die Auswertungen zum Anwendungsfall Wohnnutzung, dass mit Verringerung des U_w -Wertes eine geringfügig höhere thermische Beanspruchung des Raumes einhergeht. Ein Fenster mit besseren wärmeschutztechnischen Eigenschaften in Bezug auf das winterliche Wärmeverhalten führt im Sommer demnach zu einer teilweise relevanten schlechteren thermischen Performance. Das bessere winterliche Wärmeverhalten bei niedrigerem U-Wert sollte für die Realisierung von Gebäuden unbedingt beachtet und zusammen mit der Bewertung des sommerlichen Wärmeverhalten in einem integralen Planungsprozess zu einer optimierten Gebäudehülle geführt werden.

3.4.2 Einfluss des g-Wertes

Während der Einsatz von Sonnenschutzgläsern im Anwendungsfall Wohnnutzung nicht üblich ist, werden Gläser mit g-Werten kleiner als 0,40 bei Nichtwohngebäuden regelmäßig eingesetzt. Dies wird zumeist damit begründet, dass mit dem Einsatz von Sonnenschutzgläsern zur Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes deutlich niedrigerer Investitionskosten im Vergleich zu einem wirksamen beweglichen Sonnenschutz anfallen. Zusätzlich ist mit dem Einsatz von z. B. außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen bei höheren Gebäuden der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand mit hohem technischen (und finanziellen) Aufwand verbunden. Die mit diesem Abschnitt dokumentierten Auswertungen sollen den Einfluss des g-Wertes auf das sommerliche und winterliche Wärmeverhalten aufzeigen. Hierzu folgen mit Bild 3-27 die Auswertungen für das Parameterset in Tabelle 3-25. Während für den Anwendungsfall Wohnnutzung der g-Wert nur zwischen 0,60 und 0,42 variiert wurde, erfolgt hier Auswertung für g-Werte zwischen 0,60 und 0,24.

Tabelle 3-25: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-27

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	NWG_oK
U_w -Wert UW095	g-Wert Fall 1: g060 Fall 2: g048 Fall 3: g036 Fall 4: g024	F_c -Wert FC010 - FC100	Steuerung Sonnenschutz m200	Lüftung NL2

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **g = 0,60**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **g = 0,48**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **g = 0,36**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **g = 0,24**

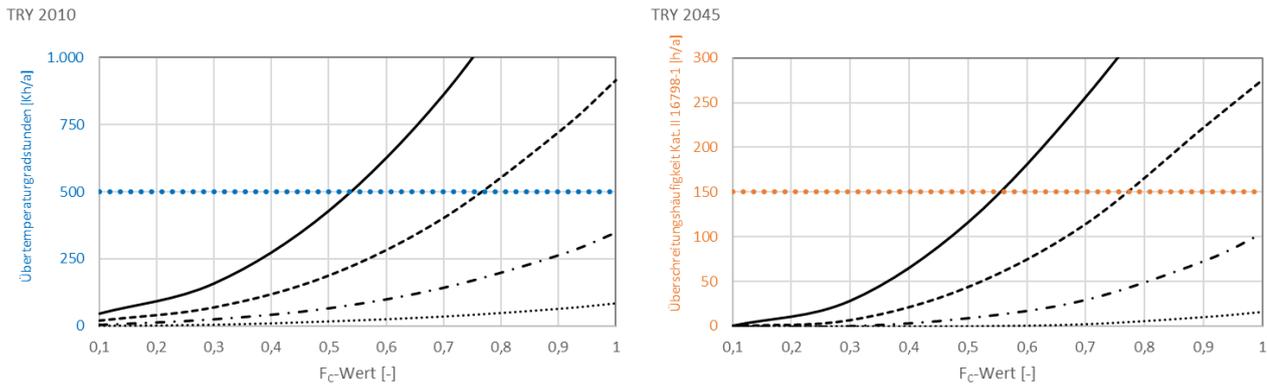


Bild 3-27: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-25

Wie bereits aus den Auswertungen für den Anwendungsfall Wohnnutzung hervorgeht, hat der g -Wert einen signifikanten Einfluss auf das sommerliche Wärmeverhalten. Während für die in Bild 3-27 mit Fall 1 unterstellte Ausführung ($g = 0,60$) ein $n_{\text{Kat.II}}$ -Wert von 150 h/a nur in Verbindung mit einem F_c -Wert von 0,50 zu erreichen ist, ergibt sich für Fall 3 mit $g = 0,36$ ohne Sonnenschutz ($F_c = 1,0$) bereits ein $n_{\text{Kat.II}}$ -Wert von nur etwa 100 h/a und somit ein sehr guter sommerlicher Komfort. Hierbei außer Acht bleibt jedoch, dass mit einem reduzierten g -Wert auch ein reduzierter visueller Komfort verbunden sein kann. Bei der Ausführung der Gläser als Sonnenschutzglas muss also ein besonderes Augenmerk auf eine möglichst hohe Selektivität gelegt werden, sodass bei reduziertem energetischen Durchlassgrad (g -Wert) noch eine möglichst hohe Lichttransmission erreicht wird. Ferner geht mit Reduzierung des g -Wertes auch die Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge in der Heizzeit einher, womit wiederum der Heizwärmebedarf erhöht wird. Hierzu folgen mit Bild 3-28 die Auswertungen zum Heizwärmebedarf für die betrachteten Fälle.

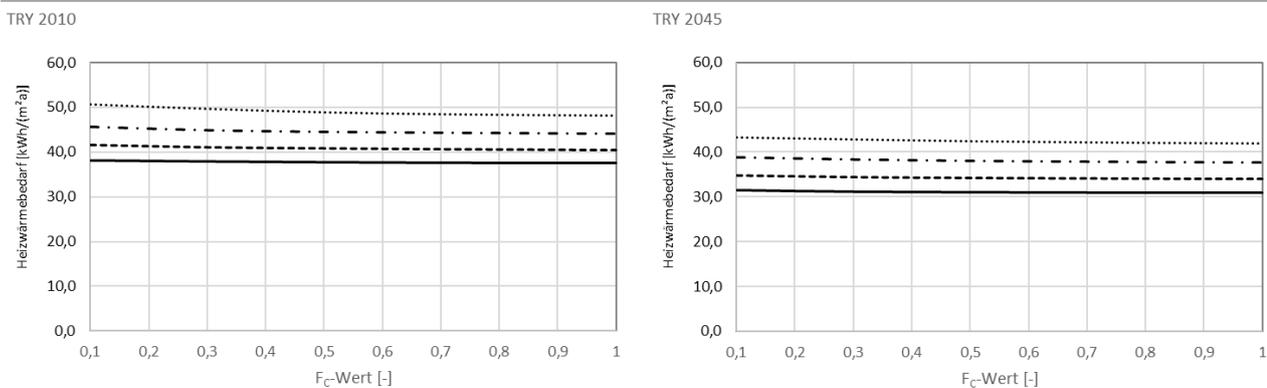


Bild 3-28: Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-27 (Parameterset in Tabelle 3-25)

Gemäß Bild 3-28 ergibt sich unter Zugrundelegung des Zukunftsklimas 2045_04 für den Fall 1 mit $g = 0,60$ ein Heizwärmebedarf in Höhe von 31 kWh/(m²a). Für den mit Fall 3 beschriebenen g -Wert von 0,36, was für den Einsatz in Nichtwohngebäuden ein durchaus üblicher Fall ist, ergibt sich mit 37,7 kWh/(m²a) ein um mehr als 20 Prozent erhöhter Heizwärmebedarf. Dies verdeutlicht, dass die Lösungsfindung für den Sommerfall zwingend auch die Wechselwirkungen mit dem winterlichen Wärmeverhalten umfassen muss. Allein der Blick auf die Investitionskosten ist hierbei zu kurz gedacht und eine Entscheidungsfindung für eine Umsetzung muss aus dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit auch die Kosten während der Nutzungsphase einbeziehen. Dieser Blick auf die Nutzungsphase muss neben den Kosten für Wartung und Instandhaltung zwingend auch die Kosten für den Energiebedarf für Heizen und Kühlen und nicht zuletzt die Verfügbarkeit der eingesetzten Energieträger umfassen.

Der g-Wert hat auch im Fall der Nichtwohnnutzung einen signifikanten Einfluss auf das sommerliche Wärmeverhalten. Je niedriger der g-Wert umso besser das thermische Verhalten im Sommer. Besonders zu beachten ist, dass einhergehend mit einem niedrigen g-Wert auch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge in der Heizperiode reduziert werden. Dies ist im Rahmen einer integralen Planung zu berücksichtigen! Eine nachhaltige und integrale Planung des sommerlichen Wärmeschutzes bedeutet, dass die für den Sommerfall „gefundene Lösung“ stets auch in Bezug auf den winterlichen Wärmebedarf bewertet werden sollte. Eine optimale Lösung kann nur erreicht werden, wenn das Konzept gleichzeitig auf eine Minimierung der solaren Wärmeeinträge im Sommer und eine Maximierung der solaren Wärmeeinträge in der Heizperiode ausgelegt ist. Dieses Optimum kann nur durch ein dynamisches System in Form eines beweglichen Sonnenschutzes erreicht werden. Andernfalls ist es Aufgabe der Planung, balancierte Lösungen zu finden, die Winter wie auch Sommer angemessen berücksichtigen.

3.4.3 Einfluss Automation bei Sonnenschutz und Lüftung

Der automatische Betrieb von Sonnenschutzvorrichtungen hat sich insbesondere im letzten Jahrzehnt in einigen Bereichen des Nichtwohnungsbaus bereits zum mehr oder weniger selbstverständlichen Stand der Technik entwickelt. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Komponenten der Steuer- und Regelungstechnik mittlerweile deutlich kostengünstiger verfügbar sind und gleichzeitig einhergehend mit vereinheitlichten Schnittstellen einen zuverlässigen Betrieb gewährleisten können.

Die mit Bild 3-29 zu unterschiedlichen Betriebsweisen der Sonnenschutzvorrichtung (Parameterset in Tabelle 3-26) folgenden Auswertungen zeigen zunächst für eine unterstellte Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung deren Einfluss auf den thermischen Komfort. Hierbei unterstellt wird eine Fensterqualität mit $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $g = 0,54$.

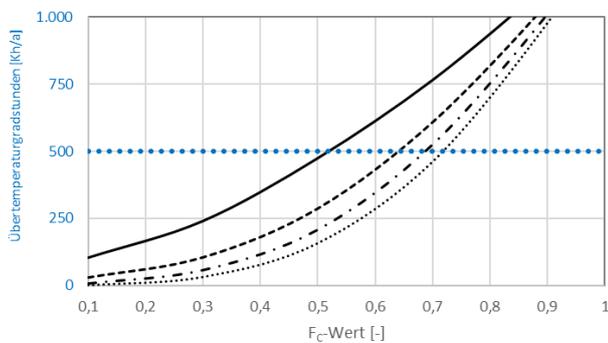
Tabelle 3-26: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-29

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	NWG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC010 - FC100	Fall 1: m200 Fall 2: a200 Fall 3: a150 Fall 4: a100	NL2

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **manuell, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 150 W/m²**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 100 W/m²**

TRY 2010



TRY 2045

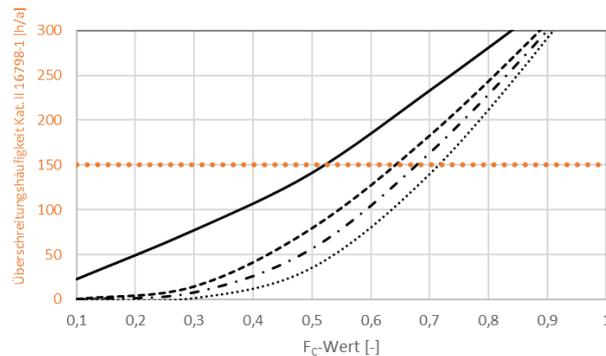


Bild 3-29: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [KWh/a] in Abhängigkeit von dem F_c-Wert für das Parameterset in Tabelle 3-26

Die Auswertungen in Bild 3-29 zeigen, dass im Fall 1 bei unterstellter manueller Betriebsweise (Aktivierung des Sonnenschutzes nur während der Nutzungszeit, also wochentäglich zwischen 7 und 18 Uhr ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m²) ein $n_{\text{Kat.II}}$ -Wert von 150 h/a erreicht werden kann, wenn ein Sonnenschutz unterstellt wird, mit dem bei einem g-Wert von 0,54 ein F_c-Wert von etwa 0,52 erreicht wird. Bei Fall 2 mit derselben Grenzbestrahlungsstärke, aber automatischer Betriebsweise (also Aktivierung des Sonnenschutzes auch wochentäglich nach 18 Uhr sowie am Wochenende) wird das Niveau $n_{\text{Kat.II}} = 150 \text{ h/a}$ bereits mit einem F_c-Wert von 0,65 erreicht. Oder anders interpretiert: mit einem F_c-Wert von 0,52, der bei manueller Betriebsweise gerade $n_{\text{Kat.II}} = 150 \text{ h/a}$ erreicht wird, ergibt sich bei automatischer Betriebsweise ein in etwa halbiertes $n_{\text{Kat.II}}$ -Wert.

Wird, wie mit Parameterset gemäß Tabelle 3-27 beschrieben, im Vergleich zu obigen Auswertungen auf die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit verzichtet, ergibt

sich hieraus unter ansonsten unveränderten Randbedingungen eine Komfortbewertung gemäß Bild 3-30.

Tabelle 3-27: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-30

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	West	TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	NWG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g054	FC010 - FC100	Fall 1: m200 Fall 2: a200 Fall 3: a150 Fall 4: a100	NLO

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **manuell, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 150 W/m²**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 100 W/m²**

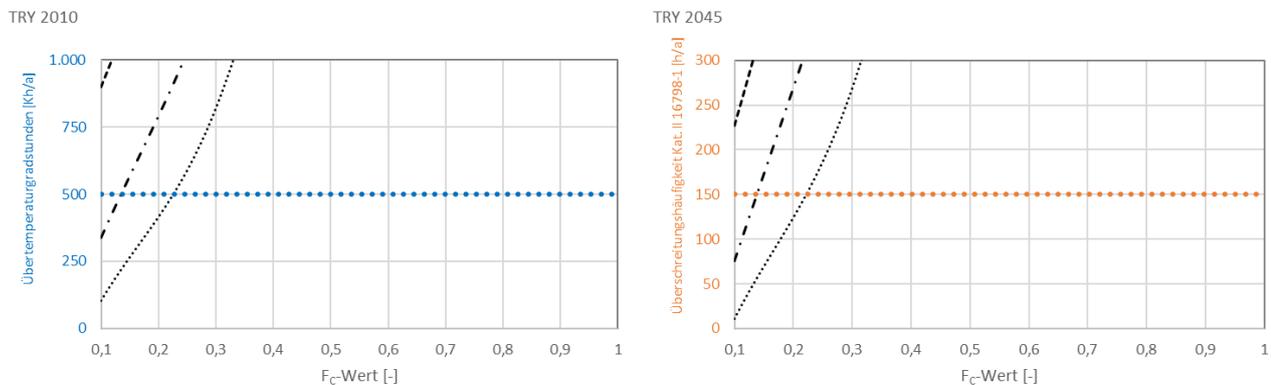


Bild 3-30: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c-Wert für das Parameterset in Tabelle 3-27

Der Wegfall der Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit zeigt analog zu zuvor bereits dokumentierten Auswertungen, dass hierdurch der thermische Komfort deutlich verschlechtert wird. Die Einhaltung eines $n_{\text{Kat.II}}$ -Wertes von 150 h/a kann für die betrachteten Fälle nur noch bei automatischer Betriebsweise und auf 150 bzw. 100 W/m² reduzierter Grenzbestrahlungsstärke erreicht werden, wenn Sonnenschutzvorrichtungen vorgesehen werden, mit denen $F_c = 0,14$ (bei $I_{\text{grenz}} = 150 \text{ W/m}^2$) bzw. $0,23$ (bei $I_{\text{grenz}} = 100 \text{ W/m}^2$) erreicht wird. Hierbei ist für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung besonders zu beachten, dass mit reduzierten Grenzbestrahlungsstärken und bei den hier erforderlichen F_c -Werten erhöhte Kunstlichteinschaltzeiten resultieren. Dies hat einerseits Einfluss auf den Energiebedarf für Beleuchtung und reduziert andererseits in der Regel die visuelle Behaglichkeit aufgrund der ausbleibenden Versorgung mit Tageslicht.

Dass der Verzicht auf die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung für den Einsatz von Normalglas mit $g = 0,54$ auch bei reduziertem Fensterflächenanteil noch einen automatisierten Betrieb des Sonnenschutzes erfordert, zeigen die mit Bild 3-31 folgenden Auswertungen zu dem Parameterset in Tabelle 3-28, wonach der Fensterflächenanteil von hoch (fassadenbezogen 70 Prozent, grundflächenbezogen 36 Prozent) auf mittel (fassadenbezogen 50 Prozent, grundflächenbezogen 26 Prozent) reduziert ist.

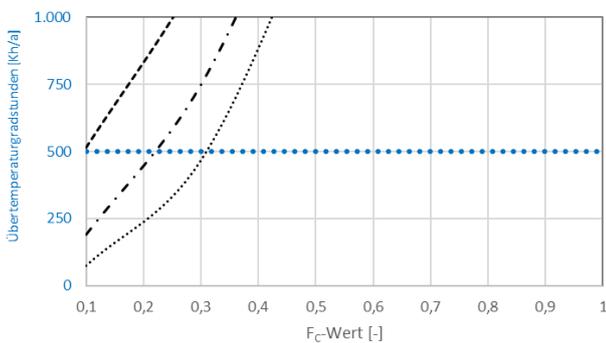
Tabelle 3-28: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-31

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung West	Klimadaten TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	Nutzung NWG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g054	F _c -Wert FC010 - FC100	Steuerung Sonnenschutz Fall 1: m200 Fall 2: a200 Fall 3: a150 Fall 4: a100	Lüftung NLO

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **manuell, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 150 W/m²**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 100 W/m²**

TRY 2010



TRY 2045

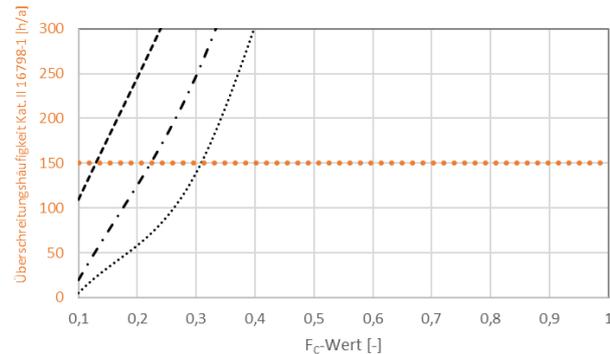


Bild 3-31: Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden Gh_{26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-28

Die Reduzierung des Fensterflächenanteils von hoch auf mittel führt gemäß Auswertung in Bild 3-31 zwar dazu, dass eine automatische Betriebsweise des Sonnenschutzes bei Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m² in Verbindung mit einem Sonnenschutz mit $F_c = 0,14$ einen nKat.II-Wert von 150 h/a sicherstellen kann. Eine manuelle Betriebsweise des Sonnenschutzes (also ohne Aktivierung nach 18 Uhr und am Wochenende) ist für die hier zugrundeliegenden Randbedingungen nicht möglich. Für eine „Erfüllungsoption“ mit manuell bedientem Sonnenschutz müsste unter gleichen Randbedingungen auf den Einsatz eine Sonnenschutzglases in Kombination mit einem wirksamen außenliegenden Sonnenschutz gesetzt werden. Hierzu folgen die entsprechenden Auswertungen in Bild 3-32 für das Parameterset in Tabelle 3-29.

Tabelle 3-29: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-32

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung West	Klimadaten TRY2045_04 (Potsdam) TRY2010_04 (Potsdam)	Nutzung NWG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g030	F _c -Wert FC010 - FC100	Steuerung Sonnenschutz Fall 1: m200 Fall 2: a200 Fall 3: a150 Fall 4: a100	Lüftung NLO

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (durchgehender Graph): **manuell, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 2** (gestrichelter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 200 W/m²**
- **Fall 3** (strich-punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 150 W/m²**
- **Fall 4** (punktierter Graph): **automatisch, Grenzbestrahlungsstärke 100 W/m²**

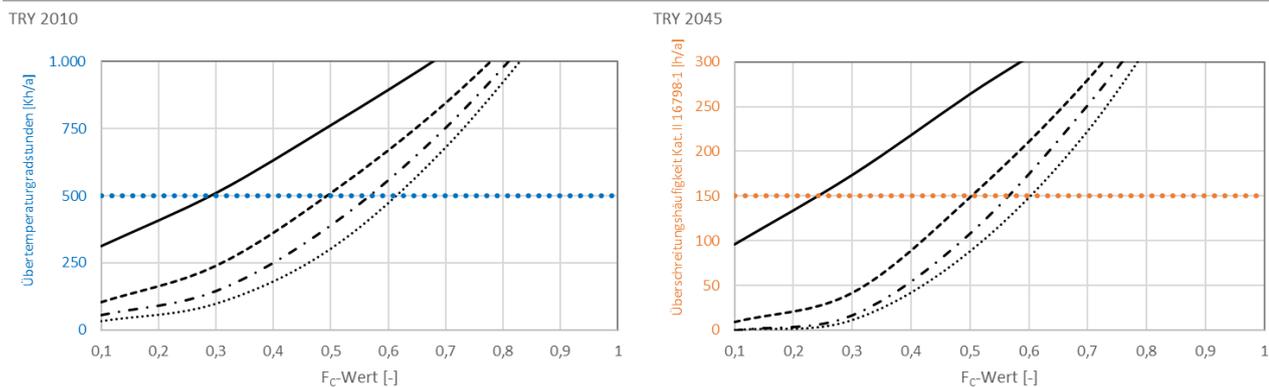


Bild 3-32: Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden Gh_{26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-29

Die Auswertungen in Bild 3-32 zeigen, dass der Verzicht auf die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit sowie der Verzicht auf eine automatische Betriebsweise des Sonnenschutzes den Einsatz von Sonnenschutzglas mit $g = 0,30$ in Verbindung mit einem Sonnenschutz erfordert, mit dem ein F_C -Wert von etwa 0,25 erreicht wird.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung insbesondere bei hohen Fensterflächenanteilen zunächst das Vorhandensein eines wirksamen Sonnenschutzes eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass eine gleichzeitige Sicherstellung des sommerlichen Komforts ohne nachteilige Auswirkungen auf den winterlichen Energiebedarf für Heizen resultiert. Neben dem Vorhandensein eines Sonnenschutzes ist aber auch eine automatische Betriebsweise von entscheidender Bedeutung für das sommerliche Wärmeverhalten und die Sicherstellung eines hinreichenden thermischen Komforts. Erfolgt keine automatische Aktivierung des Sonnenschutzes außerhalb der Nutzungszeit, also im Wesentlichen am Wochenende, so sorgen die solaren Wärmeeinträge am Wochenende dafür, dass sich die Räume bzw. Gebäude stark aufheizen und die Nutzung zu Wochenbeginn auf einem guten thermischen Komfortniveau nur schwer sichergestellt werden kann.

Die Automation hat auch in Bezug auf die Möglichkeit für einen erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit eine besonders hohe Bedeutung. Kann außerhalb der Nutzungszeit, also wochentäglich nachts sowie am Wochenende nicht das Potenzial der natürlichen Lüftung zur Abfuhr der tagsüber eingespeicherten solaren Wärmeeinträge genutzt werden, so resultiert hieraus eine besonders hohe thermische Beanspruchung der betroffenen Räume. Deshalb sollte bereits in frühen Planungsphasen von Gebäuden darauf geachtet werden, dass Möglichkeiten zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit unter Berücksichtigung des Witterungs- und Einbruchschutzes vorgesehen werden sollten.

3.5 Energiebedarf für Heizen und Kühlen

Teilweise wurde in den zuvor bereits erläuterten Ergebnissen auf die Wechselwirkungen des sommerlichen und winterlichen Wärmeverhaltens hingewiesen. Diese Erläuterungen haben im Wesentlichen auf den erhöhten Heizwärmebedarf hingewiesen, der aus dem Einsatz von Gläsern mit niedrigen g -Werten zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens resultiert. Hierbei unterstellt ist in allen bisherigen Auswertungen eine Konditionierung der Räume ohne anlagentechnische Kühlung. Für die in diesem Abschnitt dokumentierten Ergebnisse wird hingegen eine idealisierte Kühlung der Räume unterstellt. Es werden dabei Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26 °C und 22 °C unterstellt, wobei die Kühlung als „ideale Kühlung“ (siehe folgende Erläuterung) modelliert ist.

Hinweis: ideale Kühlung bedeutet, dass dem Raum rechnerisch genau die Kühlleistung zugeführt wird, um die gewünschte Soll-Temperatur im Rechenzeitschritt nicht zu überschreiten.

Die Ergebnisse sollen einen Vergleich des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen ermöglichen und aufzeigen. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich die Auswertungen für die vorliegende Studie auf Auswertungen der thermischen Nutzenergien beschränkt. Das bedeutet, dass für den Heizfall die Heizwärmebedarfe (Nutzenergiebedarf Heizen) und für den Kühlfall der Kühlkältebedarfe (Nutzenergiebedarf Kühlen) ausgewiesen wird. Aus diesen Nutzenergiebedarfen kann allerdings unter Ansatz zusätzlicher energetischer Bedarfsanteile aus Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe auf End- und Primärenergiebedarfe oder auch auf resultierende CO₂-Emissionen geschlossen werden. Die Erläuterungen erfolgen getrennt für Wohnnutzung (Abschnitt 3.5.1) und Nichtwohnnutzung (Abschnitt 3.5.2).

3.5.1 Auswertungen für Wohnnutzung

Für die ersten exemplarischen Auswertungen in Bild 3-33 zur Gegenüberstellung von Energiebedarfen für Heizen und Kühlen folgt mit Tabelle 3-30 die Zusammenstellung des zugrundeliegenden Parametersets. Die Systematik der Darstellung in Bild 3-33 und allen folgenden Auswertungen dieses Abschnitts wird im Folgenden kurz erläutert:

- jeweils über die linke Ordinate wird in den Diagrammen die Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von dem g-Wert dargestellt (orangefarbener Graph)
- jeweils über die rechte Ordinate wird die Abhängigkeit des Kühlkältebedarfs von dem g-Wert abgebildet. Hierzu gehören die 7 Graphen in den Diagrammen, wobei der lilafarbene Graph für eine Ausführung ohne Sonnenschutz ($F_c = 1,0$) steht und die Graphen von Dunkelblau bis Hellblau jeweils für eine Ausführung mit $F_c = 0,90$ bis $0,10$.
- jede Einzelauswertung bzw. jedes Bild enthält in der linken Abbildung die Auswertungen für eine ideale Kühlung auf 26 °C und in der rechten Abbildung für eine ideale Kühlung auf 22 °C. Die in beiden Diagrammen enthaltenen Auswertungen zur Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von dem g-Wert sind jeweils identisch.

Tabelle 3-30: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-33

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2045_04 (Potsdam)	Nutzung links: WG_mK26 rechts: WG_mK22
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC090 Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Zur Fallunterscheidung (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

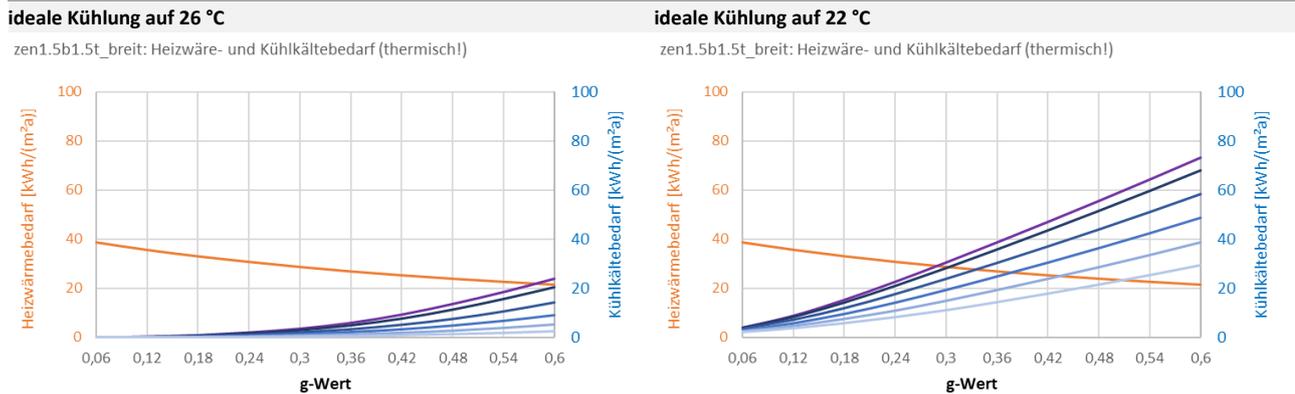


Bild 3-33: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-30

Für die Auswertungen in Bild 3-33 ist das Parameterset gemäß Tabelle 3-30 mit einer für Wohnnutzung üblicherweise vorhandenen Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung unterstellt. Die Auswertungen zeigen bei einer Betrachtung des Heizwärmebedarfs, dass bei einem üblichen g-Wert bei 3-Scheiben-Ausführung von etwa 0,54 Werte von etwas mehr als 20 kWh/a resultieren. Eine Reduzierung des g-Wertes führt analog zu den bereits erläuterten Ergebnissen zu einer deutlichen Erhöhung des Heizwärmebedarfs. Eine ideale Kühlung auf 26 °C unterstellt (linke Abbildung, rechte Ordinate) zeigt, dass der Energiebedarf für Kühlung erwartungsgemäß eine sehr starke Abhängigkeit von dem fallweise zugrunde liegenden g-Wert sowie von dem fallweise unterstellten F_c -Wert aufweist. Ebenso kann aus der Gegenüberstellung der idealen Kühlung auf 26 °C (links) und auf 22 °C (rechts) entnommen werden, dass eine Reduzierung der Soll-Temperatur für den Kühlfall zu einer signifikanten Erhöhung des Kühlenergiebedarfs führt. Für einen g-Wert von 0,60 und ohne Sonnenschutz erhöht sich der Energiebedarf für Kühlung hierbei von 24,1 auf 73,1 kWh/(m²a), was in etwa einer Verdreifachung entspricht. Der Energiebedarf für Kühlung kann bei diesem g-Wert und für die Soll-Temperatur 22 °C auf bis zu 25,5 kWh/(m²a) reduziert werden, wenn ein hoch wirksamer Sonnenschutz ($F_c = 0,10$) vorgesehen wird.

Als nächstes Beispiel folgt mit Bild 3-34 die Auswertung für denselben Fall wie zuvor, jedoch ohne den Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung. Das zugehörige Parameterset wird mit Tabelle 3-31 beschrieben.

Tabelle 3-31: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-34

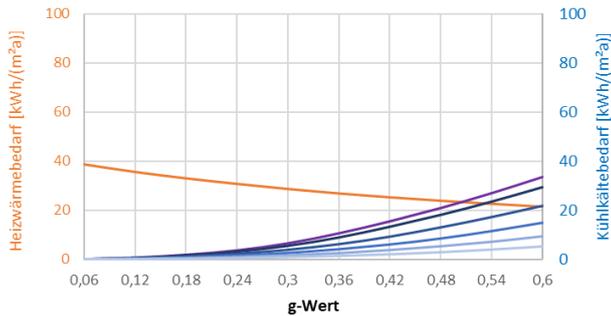
Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2045_04 (Potsdam)	links: WG_mK26 rechts: WG_mK22
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g060 - g006	Fall 1: FC100 Fall 2: FC090 Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	a300	NLO

Zur Fallunterscheidung (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

ideale Kühlung auf 26 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)



ideale Kühlung auf 22 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

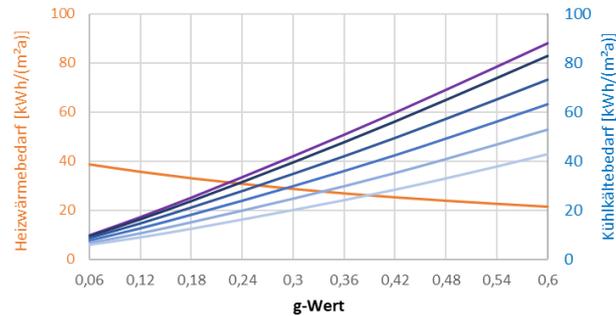


Bild 3-34: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-31

Für den Fall ohne Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung erhöht sich der Energiebedarf für Kühlung bei einer idealen Kühlung auf 26 °C und ohne Sonnenschutz bei einem g-Wert von 0,60 von 24,1 auf 33,5 kWh/(m²a) und im Fall einer Kühlung auf 22 °C von 73,1 auf 88,0 kWh/(m²a). Dies verdeutlicht, dass ein erhöhter Nachtluftwechsel zur Abfuhr der tagsüber anfallenden und im Raum eingespeicherten solaren Wärmeinträge eine deutliche Entlastung der Raumkühlung darstellt.

Inwieweit durch einen beweglichen Sonnenschutz weitere Einsparpotenziale für die Kühlenergie erzielt werden können, kann den Auswertungen in Bild 3-34 für unterschiedliche Qualitäten des Sonnenschutzes bei unterschiedlichen g-Werten der Gläser entnommen werden. Im Vergleich zum Fall ohne Sonnenschutz kann z. B. bei einem g-Wert von 0,60 der Kühlkältebedarf von 88,0 auf bis zu 42,9 kWh/(m²a) reduziert werden, was mehr als einer Halbierung entspricht und die Sinnhaftigkeit eines beweglichen Sonnenschutzes bei Vorhandensein einer anlagentechnischen Kühlung unterstreicht. Von elementarer Bedeutung dabei ist allerdings, dass die Aktivierung/Steuerung des Sonnenschutzes bei Vorhandensein einer anlagentechnischen Kühlung automatisch erfolgt. Nur auf diese Weise kann das hier ausgewiesene Einsparpotenzial auch im realen Betrieb gewährleistet werden.

Inwieweit aus einer abweichenden Steuerung des Sonnenschutzes weiteres Einsparpotenzial für die Raumkühlung hervorgeht, kann Bild 3-35 entnommen werden. Hierbei erfolgt die Aktivierung des Sonnenschutzes anstelle der zuvor unterstellten Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m² bereits ab Erreichen von 200 W/m². Das zugehörige Parameterset für diese Auswertungen ist vollständig mit Tabelle 3-32 beschrieben.

Tabelle 3-32: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-35

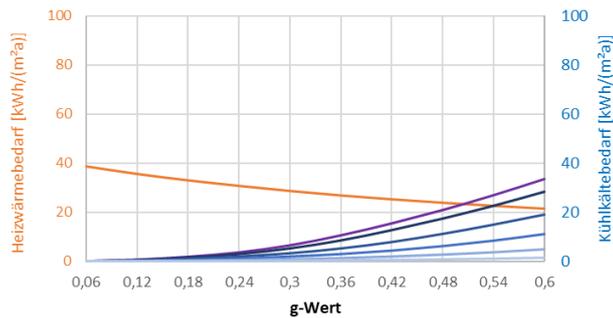
Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2045_04 (Potsdam)	links: WG_mK26 rechts: WG_mK22
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g060 - g006	Fall 1: FC100 Fall 2: FC090 Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	a200	NLO

Zur Fallunterscheidung (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

ideale Kühlung auf 26 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

**ideale Kühlung auf 22 °C**

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

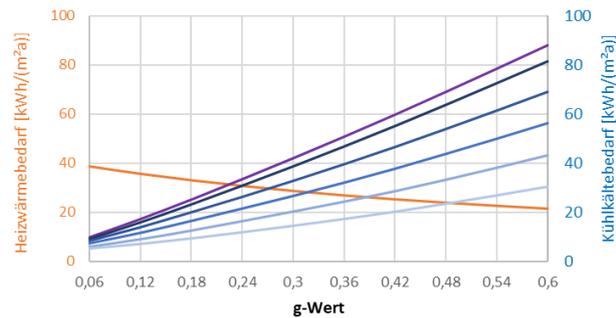


Bild 3-35: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-32

Aus der im Vergleich zu den Auswertungen in Bild 3-34 im Fall von Bild 3-35 von 300 auf 200 W/m² reduzierten Grenzbestrahlungsstärke geht bei einem g-Wert von 0,60 und einem F_C-Wert von 0,10 eine Reduzierung des Kühlergiebedarfs von 42,9 auf 30,5 kWh/(m²a) einher. Inwieweit aus einer Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke im Einzelfall und für abweichende Randbedingungen (g-Wert, F_C-Wert) Einsparpotenziale hervorgehen und in welchem Verhältnis für die fallweise unterstellten Randbedingungen der Heizwärmebedarf steht, kann den einzelnen Diagrammen sehr gut abgelesen werden.

Werden Räume auf 22 °C gekühlt, kann der Energieaufwand für Kühlen den Energieaufwand für Heizen deutlich übersteigen. Dies gilt gleichermaßen für die Anwendungsfälle Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung. Wenngleich der Einsatz anlagentechnischer Kühlung bei Wohnnutzung (noch) eher die Ausnahmen ist, kann festgestellt werden, dass die nachträgliche Installation von Klimageräten stark zunimmt. Um den Energieeinsatz für Kühlung zu minimieren, müssen die baulichen Möglichkeiten ausgenutzt werden. Dies bedeutet einerseits, dass die Potenziale zur Kühlung des Gebäudes durch Lüftung insbesondere während der zweiten Nachthälfte ausgenutzt werden müssen, um tagsüber eingespeicherte Wärme wieder abzuführen. Andererseits sollten wirksame Sonnenschutzvorrichtungen die solare Einstrahlung während der Nutzungszeit unterbinden, sodass ggf. nur noch ein „Rest-Kühlbedarf“ für die anlagentechnische Kühlung verbleibt.

3.5.2 Auswertungen für Nichtwohnnutzung

Analog zu den zuvor erläuterten Ergebnissen für den Anwendungsfall Wohnnutzung folgt mit diesem Abschnitt die Erläuterung von exemplarischen Berechnungen für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung.

Als erstes Berechnungsbeispiel folgen mit Bild 3-36 Auswertungen für das mit Tabelle 3-33 beschriebene Parameterset. Hierbei unterstellt ist, wie auch bei dem ersten Beispiel für den Anwendungsfall Wohnnutzung, die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit. Die Nutzungszeit ist bei Nichtwohngebäuden beschränkt auf eine wochentägliche Nutzung von 7 bis 18 Uhr. Die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit betrifft hiernach die Zeitfenster 18 Uhr bis 7 Uhr unter der Woche sowie die gesamte Dauer des Wochenendes. Für die Steuerung des Sonnenschutzes ist in diesem Beispiel zunächst „nur“ eine manuelle Bedienung unterstellt. Dies bedeutet, dass die Aktivierung des Sonnenschutzes nur während der Nutzungszeit erfolgt und somit der Sonnenschutz am Wochenende nicht aktiviert wird.

Tabelle 3-33: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-36

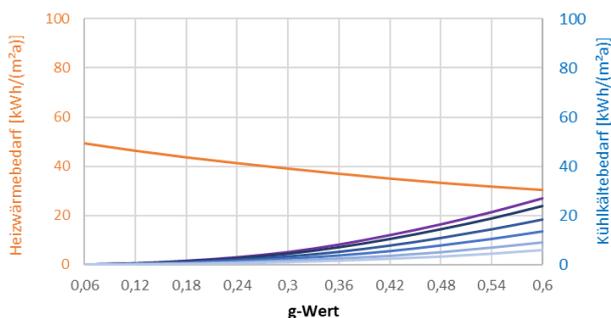
Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2045_04 (Potsdam)	links: NWG_mK26 rechts: NWG_mK22
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC090 Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	Steuerung Sonnenschutz m200	Lüftung NL2

Zur Fallunterscheidung (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

ideale Kühlung auf 26 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)



ideale Kühlung auf 22 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

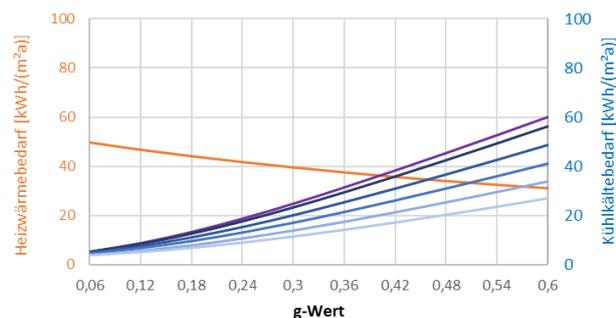


Bild 3-36: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-33

Die Auswertungen in Bild 3-36 zeigen analog zum Anwendungsfall Wohnnutzung eine deutliche Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von dem g-Wert. Ebenso deutlich ist der Kühlkältebedarf von dem g-Wert und bei Vorhandensein eines Sonnenschutzes auch von dem F_c -Wert abhängig. Erfolgt eine ideale Kühlung auf 26 °C, so resultieren hieraus in allen Fällen niedrigere Kühlkältebedarfe als Heizwärmebedarfe. Wird hingegen auf 22 °C gekühlt, ergeben sich je nach zugrunde gelegtem g- und F_c -Wert auch Kühlkältebedarfe, die über den Heizwärmebedarfen liegen.

Dass für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit besteht, erfordert aus Gründen des Witterungs- und Einbruchsschutzes

in der Regel aufwändigere Maßnahmen als im Anwendungsfall Wohnnutzung. Als nächstes Beispiel folgen mit Bild 3-37 Auswertungen ohne den Ansatz einer erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit. Das zugehörige Parameterset wird mit Tabelle 3-34 beschrieben.

Tabelle 3-34: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-37

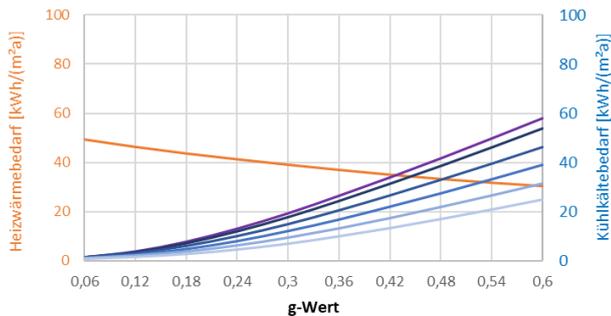
Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2045_04 (Potsdam)	links: NWG_mK26 rechts: NWG_mK22
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC090 Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	Steuerung Sonnenschutz m200	Lüftung NLO

Zur Fallunterscheidung (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

ideale Kühlung auf 26 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)



ideale Kühlung auf 22 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

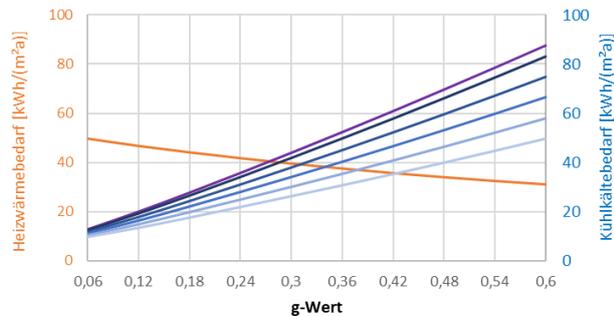


Bild 3-37: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-34

Durch den Wegfall der Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit erhöht sich der Kühlenergiebedarf bei einem g-Wert von 0,60 und ohne Sonnenschutz bei einer idealen Kühlung auf 26 °C von 26,8 auf 57,8 kWh/(m²a) und bei einer Kühlung auf 22 °C von 60,1 auf 87,4 kWh/(m²a). Dies verdeutlicht die hohe Bedeutung der Wärmeabfuhr außerhalb der Nutzungszeit und insofern die Entlastung von Klimaanlagen zur Energieeinsparung.

Darüber hinaus zeigen die Auswertungen, dass der Betrieb eines beweglichen Sonnenschutzes ein weiteres signifikantes Einsparpotenzial für Kühlung bietet. Im Vergleich zu einer Ausführung ohne Sonnenschutz kann der Kühlkältebedarf bei einem g-Wert von 0,60 und Kühlung auf 22 °C durch einen Sonnenschutz mit dem ein F_c -Wert von 0,10 erreicht wird, von 87,4 auf 49,7 kWh/(m²a) reduziert werden, was in etwa einer Halbierung des Energiebedarfs für Kühlung entspricht. Hierbei unterstellt ist eine manuelle Betriebsweise mit 200 W/m² Grenzbestrahlungsstärke, was rechnerisch einer Aktivierung des Sonnenschutzes ab Überschreiten dieser Grenzbestrahlungsstärke während der Nutzungszeit entspricht. Dies bedeutet allerdings auch, dass mit den Auswertungen ein ideales Nutzerverhalten unterstellt wird. Damit die ausgewiesenen Energiebedarfe im realen Betrieb auch in dieser Größenordnung anfallen, ist also ein „Mitwirken“ des Nutzers erforderlich.

Inwieweit sich durch eine automatische Betriebsweise des Sonnenschutzes (Aktivierung also auch am Wochenende) weitere Einsparpotenziale ergeben, zeigt das folgende Beispiel in Bild 3-38. Bei derselben Grenzbestrahlungsstärke wie zuvor (200 W/m²) ist hier eine automatische Betriebsweise unter ansonsten unveränderten Randbedingungen unterstellt. Das vollständige Parameterset ist in Tabelle 3-35 beschrieben.

Tabelle 3-35: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-38

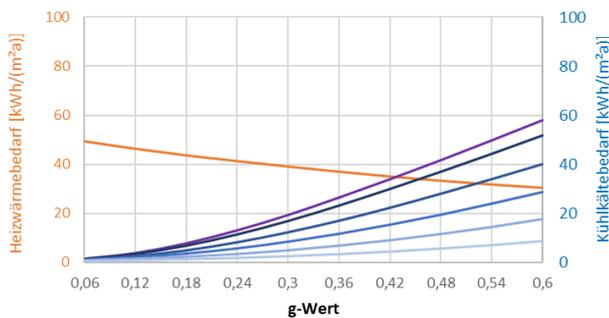
Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2045_04 (Potsdam)	Nutzung links: NWG_mK26 rechts: NWG_mK22
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC090 Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	Steuerung Sonnenschutz a200	Lüftung NLO

Zur Fallunterscheidung (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

ideale Kühlung auf 26 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühllältebedarf (thermisch!)



ideale Kühlung auf 22 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühllältebedarf (thermisch!)

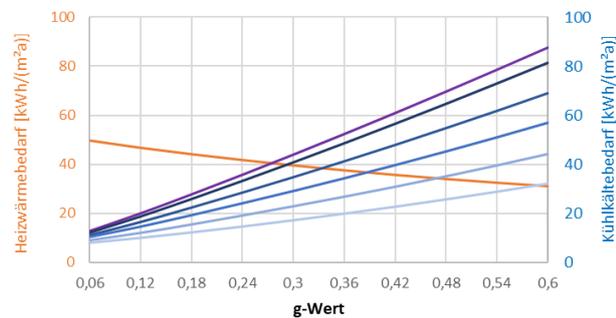


Bild 3-38: Heizwärebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-35

Durch die mit den Auswertungen in Bild 3-38 beschriebene automatische Betriebsweise des Sonnenschutzes kann der Kühlenergiebedarf bei Kühlung auf 22 °C im Vergleich zum manuellen Betrieb bei $g = 0,60$ und $F_c = 0,10$ von 49,7 auf 32,2 kWh/(m²a) reduziert werden. Bei diesem g-Wert ergibt sich demgegenüber ohne Sonnenschutz ein Kühllältebedarf in Höhe von 87,4 kWh/(m²a). Dies verdeutlicht einerseits, dass das Vorhandensein eines beweglichen Sonnenschutzes als Grundvoraussetzung für einen energiesparenden Betrieb einer Gebäudekühlung angesehen werden muss. Ferner zeigen die Auswertungen, dass nur durch eine automatische Betriebsweise die rechnerischen Einsparpotenziale eines Sonnenschutzes auch im realen Betrieb sichergestellt werden können, da ein Mitwirken des Nutzers bei Vorhandensein einer anlagentechnischen Kühlung nicht unterstellt werden kann.

Als letztes Beispiel für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung folgt mit Bild 3-39 die Ausweitung der Simulationsergebnisse für eine optimale Konfiguration der Randbedingungen. Im Vergleich zur vorherigen Auswertung ist dabei eine automatische Betriebsweise des Sonnenschutzes mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 150 W/m² sowie die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit unterstellt. Das zugehörige Parameterset ist in Tabelle 3-36 beschrieben.

Tabelle 3-36: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-39

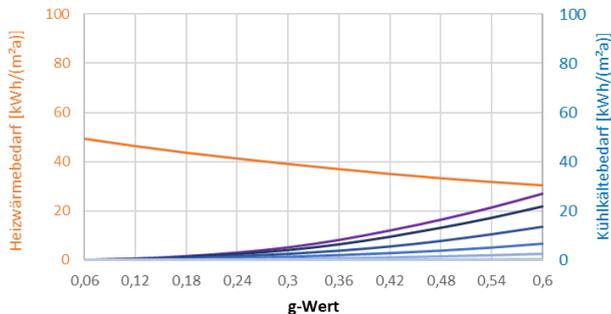
Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY2045_04 (Potsdam)	Nutzung links: NWG_mK26 rechts: NWG_mK22
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC090 Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	Steuerung Sonnenschutz a150	Lüftung NL2

Zur Fallunterscheidung (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

ideale Kühlung auf 26 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)



ideale Kühlung auf 22 °C

zen1.5b1.5t_breit: Heizwäre- und Kühlkältebedarf (thermisch!)

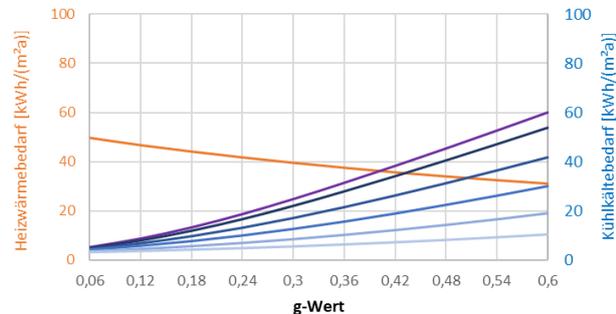


Bild 3-39: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-36

Die Auswertungen in Bild 3-39 bilden die Potenziale der Automation sowohl in Bezug auf den Sonnenschutz als auch in Bezug auf einen erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit ab. Sie verdeutlichen, dass eine Kühlung von Räumen unter künftigen klimatischen Randbedingungen nur dann nachhaltig erfolgen kann, wenn

- eine automatische Betriebsweise des Sonnenschutzes (bei entsprechender Wirksamkeit des Sonnenschutzes) in Verbindung mit
- einer erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit

unterstellt wird. Hierfür müssen alle an der Planung und Durchführung Bauvorhaben (Neubau und Sanierung) Beteiligten sensibilisiert werden, damit bereits in frühen Planungsphasen entsprechende Optionen gegenübergestellt und eine energetisch optimierte Gesamtlösung für die Ausführung verfolgt werden kann.

3.5.3 Zusammenfassung

Die Auswertungen zum Heizen und Kühlen zeigen, dass für nachhaltige Gebäude künftige eine integrale Planung erfolgen muss, die gleichzeitig das winterliche und sommerliche Wärmeverhalten adressiert und sowohl den Energieaufwand für Heizen als auch für Kühlen berücksichtigt. Der alleinige Fokus auf den Energiebedarf für Heizen ist insbesondere mit Blick auf den weiter voranschreitenden Klimawandel und die Forderung nach nachhaltigen Gebäudekonzepten nicht mehr zielführend. So müssen im Zuge der Planung diejenigen baulichen und anlagentechnischen Parameter, die sowohl Einfluss auf das winterliche als auch auf das sommerliche Temperaturverhalten haben, in der Weise optimiert werden, dass ein ressourcenschonender Umgang mit den zur Verfügung stehenden Energieträgern gewährleistet ist und dabei ein größtmöglicher Komfort bei minimalem Energieeinsatz erreicht wird. Die wesentlichen Einflussparameter in diesem Zusammenhang sind:

- der **g-Wert der Gläser**, da hierdurch bei niedrigen g-Werte einerseits der solare Wärmeeintrag im Sommer reduziert werden kann, gleichzeitig aber auch die nutzbaren und heizwärmebedarfsreduzierenden Wärmeeinträge in der Heizzeit reduziert werden
- die **Art und Qualität eines beweglichen Sonnenschutzes**, da hierdurch solare Wärmeeinträge im Sommer reduziert werden können, gleichzeitig aber in der Heizzeit bei nicht aktiviertem Sonnenschutz die Wärmeeinträge das Innere des Gebäudes erreichen können

- die **Betriebsweise des Sonnenschutzes**, da insbesondere automatisch gesteuerte Sonnenschutzvorrichtungen einerseits einen sehr hohen Komfort bei nicht gekühlten Gebäuden und andererseits große Einsparpotenziale bei gekühlten Gebäuden garantieren können
- die **Möglichkeit zur erhöhten (natürlichen) Lüftung**, da insbesondere die Abfuhr von tagsüber eingespeicherten Wärmemengen während der kühleren Nachtstunden sowohl den thermischen Komfort während der Nutzung deutlich verbessern als auch den Energieeinsatz für Kühlung erheblich reduzieren kann

3.6 Detailbetrachtungen

Alle zuvor erläuterten Berechnungsergebnisse betreffen die Analyse und Bewertung von integralen Auswertungen für das gesamte Jahr. Jeweils für unterschiedliche Parametrisierungen werden dabei Auswertungen thermischer Größen wie Überschreitungshäufigkeiten, Übertemperaturgradstunden oder auch Überschreitungshäufigkeiten von Obergrenzen bestimmter Komfortstufen betrachtet. Die im Rahmen der Studie durchgeführten Simulationsrechnungen und die hierbei generierten Ergebnisse lassen allerdings auch einen detaillierteren Blick auf die Einzelergebnisse zu, da die Ergebnisse aller durchgeführten Simulationsrechnungen neben der integralen Ablage der jeweiligen Jahreswerte für jede Einzelsimulation auch als Stundenwerte in entsprechenden Ergebnisdateien abgelegt sind. Für die Auswertung dieser Stundenwertdateien wurde ein separates Auswertetool entwickelt, über welches sich die einzelnen Ergebnisdateien importieren und grafisch beliebig detailliert auswerten lassen. Dieser Abschnitt dient der exemplarischen Darstellung und Dokumentation von möglichen Detailauswertungen auf Stundenbasis.

3.6.1 Temperaturverläufe

Eine Möglichkeit der Detailbetrachtung besteht in der Visualisierung des Temperaturverlaufs über definierte Zeiträume. Als Beispiel für eine derartige Auswertung folgt mit Bild 3-40 die Darstellung des Verlaufs der operativen Temperatur über die Dauer einer heißen Woche (8. August bis 22. August). Dargestellt werden hierin die Verläufe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-37 und die dort beschriebenen vier Fälle. Über die vier Fälle wird unter ansonsten gleichen Randbedingungen die Qualität des Sonnenschutzes variiert.

Tabelle 3-37: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-40

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC030 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1** (Blau): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2** (Rot): $F_c = 0,70$
- **Fall 3** (Schwarz): $F_c = 0,30$
- **Fall 4** (Grün): $F_c = 0,10$

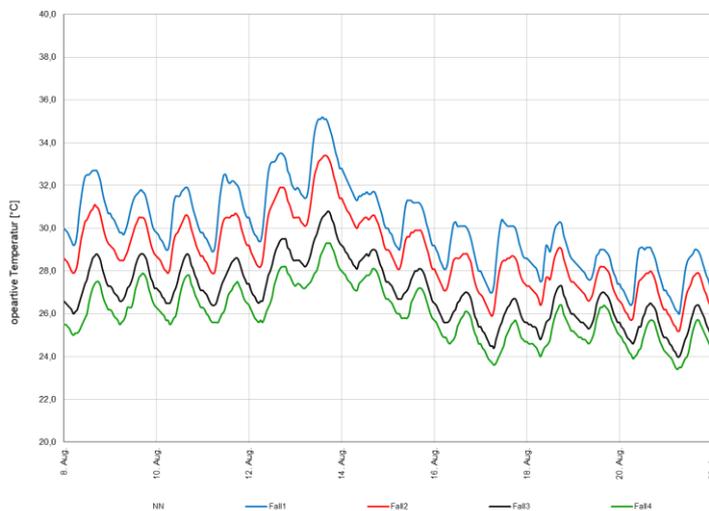


Bild 3-40: Verlauf der operativen Temperatur für die 4 Fälle gemäß Parameterset in Tabelle 3-37 für eine Augustwoche

Anhand der Graphen in Bild 3-40 kann der Einfluss der Qualität des Sonnenschutzes auf die sich einstellenden operativen Temperaturen abgelesen werden. Ohne Sonnenschutz wird in der dargestellten Periode eine maximale operative Temperatur von über 35 °C erreicht. Durch einen Sonnenschutz mit dem bei diesem Glas $F_c = 0,10$ erreicht wird, kann die maximale Temperatur auf 29,3 °C reduziert werden.

Die Möglichkeit zum Import von Stundenwerten erlaubt den direkten Vergleich beliebiger Fälle aus dem Umfang der durchgeführten Simulationsrechnungen. Neben der Auswertung der operativen Temperaturen können auch weitere Größe wie z. B. Lufttemperatur, Luftwechsel oder solare Einstrahlung im zeitlichen Verlauf dargestellt werden.

3.6.2 Isoplethendarstellung zur Auswertung der operativen Temperaturen im Jahresverlauf

Eine weitere Möglichkeit der Auswertung und Darstellung von Stundenwerten, die über das entwickelte Auswertetool bereitgestellt wird, sind sogenannte Isoplethendarstellungen. Es folgen mit Bild 3-41 bis Bild 3-44 exemplarische Auswertungen für das Parameterset gemäß Tabelle 3-38.

Tabelle 3-38: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-41 bis Bild 3-44

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten Fälle 1 u. 3: TRY2010_04 Fälle 2 u. 4: TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fälle 1 u. 2: FC100 Fälle 3 u. 4: FC030	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

Zur Fallunterscheidung:

- **Fall 1:** TRY 2010_04 mit $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2:** TRY 2045_04 mit $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 3:** TRY 2010_04 mit $F_c = 0,30$
- **Fall 4:** TRY 2045_04 mit $F_c = 0,30$

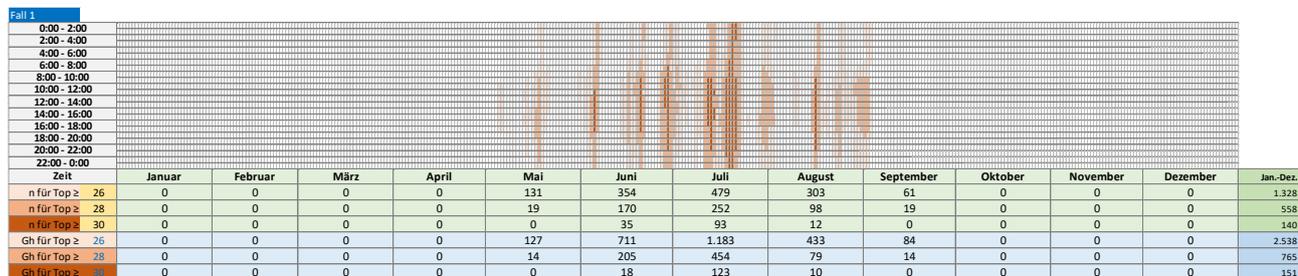


Bild 3-41: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38

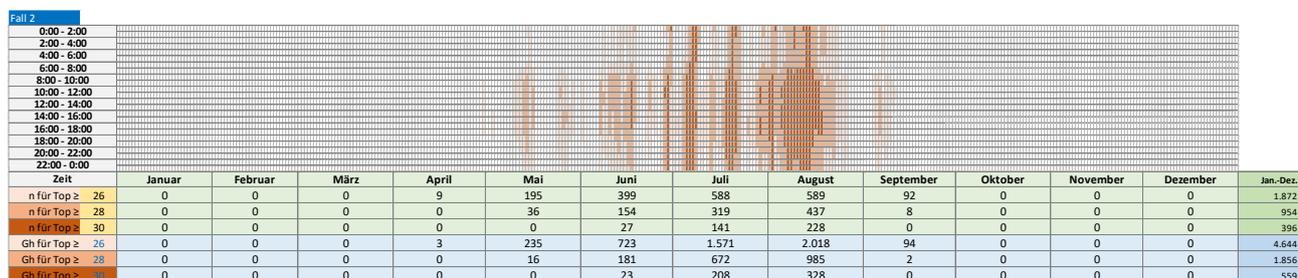


Bild 3-42: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38

Bild 3-41 und Bild 3-42 zeigt den Vergleich der thermischen Bewertung unter Ansatz des TRY 2010 für Potsdam im Vergleich zu dem TRY 2045 für Potsdam für das Parameterset gemäß Tabelle 3-38 und eine Ausführung ohne Sonnenschutz. Deutlich zu erkennen ist die Häufung der Überschreitung der Bezugstemperatur von 26 °C (Bezugstemperatur in Klimaregion B für den

Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2:2013-02) sowie der ebenfalls markierten Überschreitungen von 28 und 30 °C.

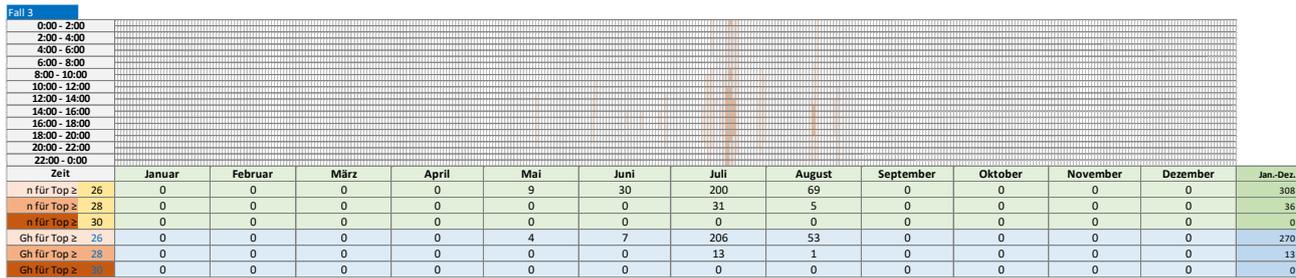


Bild 3-43: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38

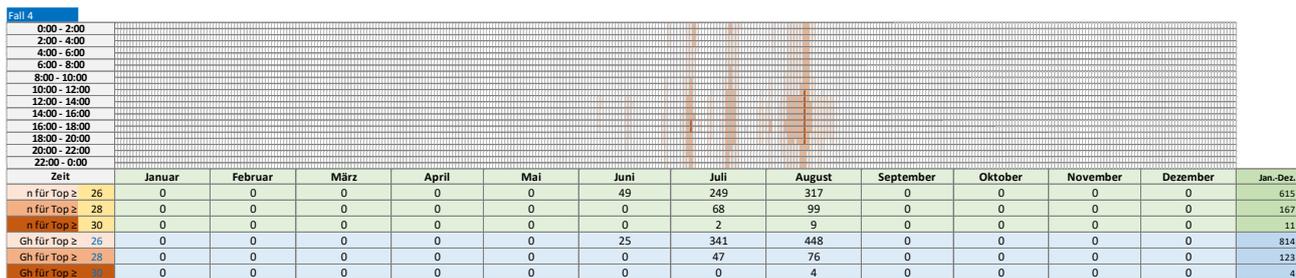


Bild 3-44: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38

Auch der Vergleich von Bild 3-43 und Bild 3-44 zeigt, dass sich unter Ansatz des Zukunftsklimas im Vergleich zum gegenwärtigen Klima eine Häufung der Überschreitung der jeweiligen Bezugstemperaturen einstellt.

Hinweis: weitere Auswertungen für abweichende Parametersets sind diesem Bericht mit Anhang A beigefügt.

3.6.3 Visualisierung der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1

Eine weitere Möglichkeit zur Auswertung und Analyse der Stundenwerte besteht in der Visualisierung der Komfortbewertung gemäß DIN EN 16798-1. Für dieselben Fälle, die bereits für die exemplarischen Isolethendarstellungen im vorigen Abschnitt herangezogen sind folgt mit Bild 3-45 und Bild 3-46 die Darstellung dieser Komfortbewertung. Jeweils links erfolgt die Auswertung für das Gegenwarts-TRY 2010_04 und rechts für das Zukunfts-TRY 2045_04. Das zugehörige Parameterset wird mit Tabelle 3-39 erneut dargestellt.

Tabelle 3-39: Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-45 und Bild 3-46

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	Fälle 1 u. 3: TRY2010_04 Fälle 2 u. 4: TRY 2045_04	WG_oK
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g060 - g006	Fälle 1 u. 2: FC100 Fälle 3 u. 4: FC030	a300	NL2

Zur Fallunterscheidung:

- Fall 1: TRY 2010_04 mit $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- Fall 2: TRY 2045_04 mit $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- Fall 3: TRY 2010_04 mit $F_c = 0,30$
- Fall 4: TRY 2045_04 mit $F_c = 0,30$

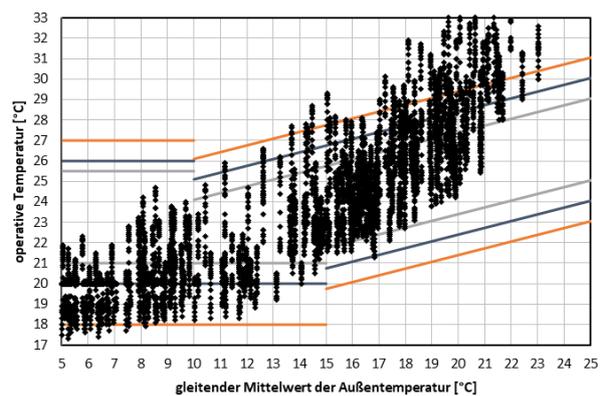
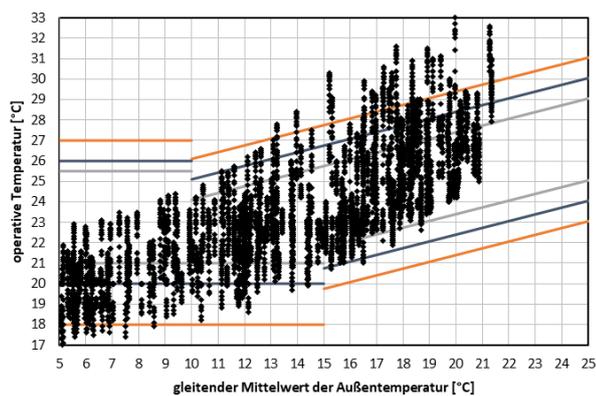


Bild 3-45: Auswertung nach DIN EN 16798-1 für Fall 1 (links) und Fall 2 (rechts) gemäß Parameterset in Tabelle 3-39

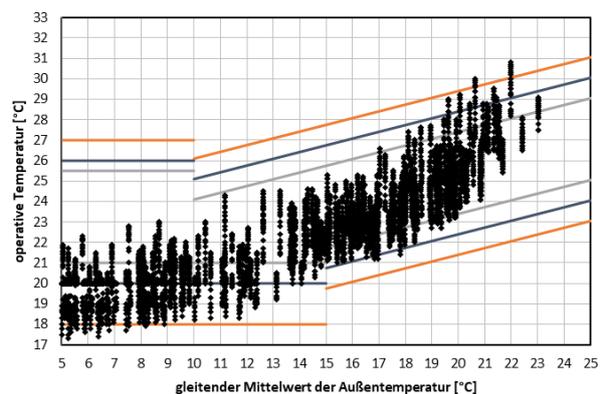
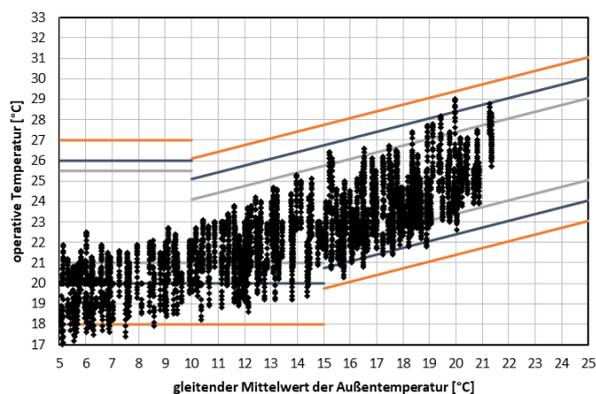


Bild 3-46: Auswertung nach DIN EN 16798-1 für Fall 3 (links) und Fall 4 (rechts) gemäß Parameterset in Tabelle 3-39

In Bild 3-45 und Bild 3-46 sind die Ober- und Untergrenzen der drei Komfortstufen I (orange), II (blau) und III (hellgrau) eingetragen. Für die Auswertungen des Sommerfalls sind nur die Überschreitungen der Obergrenzen relevant. Als schwarze Punkte sind die aus der Simulationsrechnung hervorgehenden operativen Temperaturen jeweils über den exponentiell gewichteten

Tagesmittelwerten der Außentemperatur eingetragen. Aus der Auftragung über diesen Tagesmittelwerten resultiert die für die Auswertung nach DIN EN 16798-1 charakteristische Darstellung von jeweils 24 Werten über einem zugehörigen Tagesmittelwert.

Wie bereits aus der Isoplethendarstellung kann auch aus der Visualisierung der Komfortbewertung der Unterschied zwischen der Bewertung auf Grundlage der Gegenwarts-TRYs im Vergleich zu den Zukunfts-TRYs abgelesen werden.

Ja nach Fragestellung lassen sich beliebige weitere Parameterkonstellationen für vergleichende Darstellungen dieser Art mit dem bereitgestellten Auswertetool für die Stundenwerte generieren.

4 Ergebnisse Gebäudesimulationen

Zusätzlich zu den mit Abschnitt 3 für Einzelraumsituationen dokumentierten und erläuterten Berechnungen sind für die vorliegende Studie auch mehrzonige Gebäudesimulationen durchgeführt worden. Die zugehörigen Randbedingungen und Parametrisierungen sind in Abschnitt 2.5 beschrieben.

In den beiden folgenden Abschnitten erfolgt für die Dokumentation der Auswertungen des Kühllkältebedarfs und des Heizwärmebedarfs für ausgewählte Fälle jeweils für das EFH und das MFH wie folgt:

1. Für das **Fenster (1)** (siehe Abschnitt 2.5.5) mit einem **U-Wert von 1,3 W/(m²K)** mit
 - a) $g = 0,60$
 - b) $g = 0,54$
 - c) $g = 0,48$
 - d) $g = 0,42$
2. Für das **Fenster (5)** (siehe Abschnitt 2.5.5) mit einem **U-Wert von 0,94 W/(m²K)** mit
 - a) $g = 0,53$
 - b) $g = 0,48$
 - c) $g = 0,42$
 - d) $g = 0,37$

Die Erläuterung der Ergebnisse dient der Dokumentation der durchgeführten Simulationsrechnungen. Analog zu den Ergebnissen der Einzelraumberechnungen werden die vollständigen Ergebnisse der Simulationsrechnungen über ein Excel-Tool bereitgestellt. Hiermit ist die Darstellung der Ergebnisse für beliebige Kombinationen von Parametern aus dem Umfang der Parametrisierung (siehe Abschnitt 2.5) möglich.

Da eines der wesentlichen Ziele der Projektbearbeitung darin besteht, den Einfluss des Klimawandels auf den Energiebedarf zur thermischen Konditionierung und hierbei in erster Linie für den Energiebedarf für Kühlung zu quantifizieren, erfolgt die Auswertung der Ergebnisse jeweils in Form einer direkten Gegenüberstellung von Auswertungen unter Ansatz von aktuellen mittleren Klimadaten zu den entsprechenden Zukunftsklimadaten. Hierbei werden die Testreferenzjahre aus [10] verwendet. Die exemplarischen Auswertungen in den beiden folgenden Abschnitten sind beschränkt auf den Standort Potsdam.

Für die exemplarischen Auswertungen erfolgt die Erläuterung der Ergebnisse für

- das EFH für den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 40 %
(Die modellierte beheizte Grundfläche des EFH beträgt 198 m²)
- das MFH für den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 28 %
(Die modellierte Grundfläche des MFH beträgt 527 m²)

4.1 Einfamilienhaus (EFH)

Für das mit Tabelle 4-1 beschriebene Parameterset folgt mit Bild 4-1 und Bild 4-2 die Ausweisung der berechneten Kühlkälte- und Heizwärmebedarfe. Die Kühlkältebedarfe werden dabei über dem F_C -Wert aufgetragen. Für die Heizwärmebedarfe wird unterstellt, dass diese unabhängig von dem F_C -Wert sind. Dies bedeutet, dass für die Heizzeit unterstellt wird, dass hier keine Betätigung des Sonnenschutzes erfolgt. Für die Kühlung wird eine ideale Kühlung mit einer Soll-Temperatur von 26 °C unterstellt.

Tabelle 4-1: Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-1 und Bild 4-2

Gebäude	Fensterflächenanteil	Niveau	Klimadaten	Nutzung
EFH	fWG40	EH55	links: TRY2015_04 rechts: TRY 2045_04	WG_mk26
U _w -Wert	FCFIX / g-Wert	F _C -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW130 (Fenster 1)	Fall 1: FCFIX10 -> g = 0,60 Fall 2: FCFIX09 -> g = 0,54 Fall 3: FCFIX08 -> g = 0,48 Fall 4: FCFIX07 -> g = 0,42	FC100 - FC010	a300	NL2

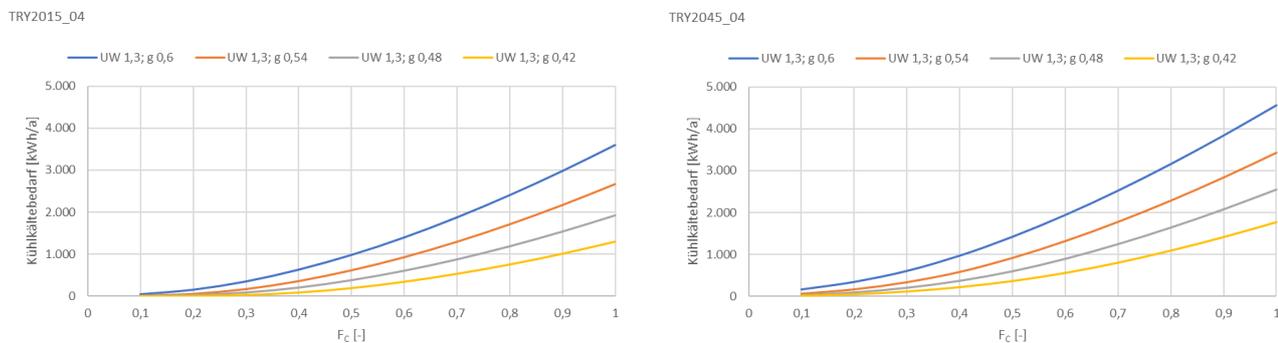


Bild 4-1: Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-1. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

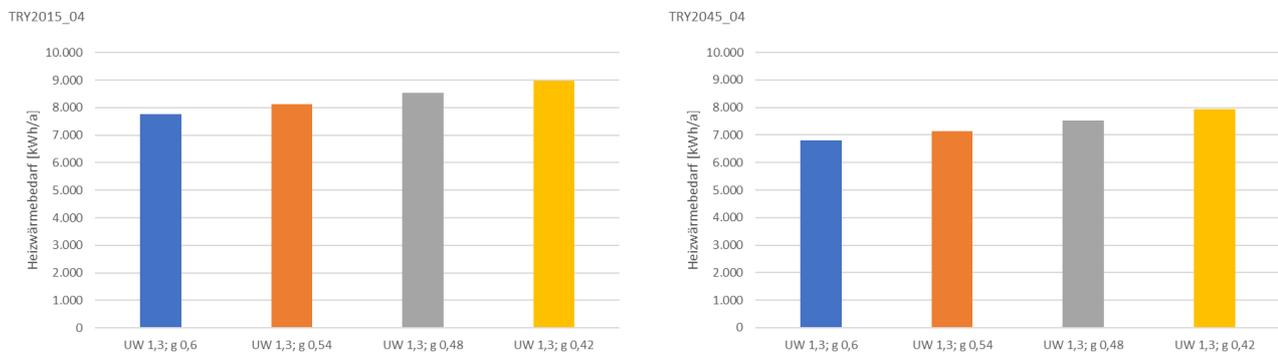


Bild 4-2: Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-1. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

Die mit Bild 4-1 dargestellten Kühlkältebedarfe zeigen deutlich und analog zu den raumbezogenen Auswertungen in Abschnitt 3-, welche Einsparpotenziale aus dem Einsatz von Sonnenschutzvorrichtungen in Verbindung mit den über die vier Fälle beschriebenen g-Werten hervorgehen. Ohne Sonnenschutz ergibt sich für das Gegenwarts-TRY (Auswertung links) bei einem g-Wert von 0,60 (Fall 1) ein Kühlkältebedarf in Höhe von rund 3.600 kWh/a. Mit einem g-Wert von 0,42 (Fall 4) ergibt sich nur noch ein Kühlenergiebedarf in Höhe von rund 1.300 kWh/a. Mit der Reduzierung des g-Wertes von 0,60 auf 0,42 geht allerdings gemäß Bild 4-2 auch eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs um rund 1.200 kWh/a einher. Diese Erhöhung des Heizwärmebedarfs kann unterbunden werden, wenn ein Sonnenschutz zum Einsatz kommt, mit dem ein F_C -Wert von etwa 0,55 erreicht wird (hiermit ergibt sich für Fall 1 derselbe Kühlkältebedarf wie für Fall 4 ohne Sonnenschutz).

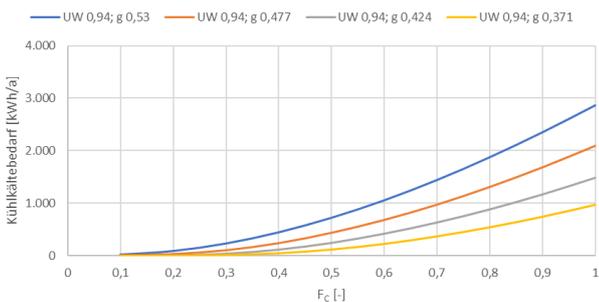
Aus der Gegenüberstellung der Auswertungen von Gegenwarts-TRY und Zukunfts-TRY lässt sich ablesen, dass für Fall 1 (also bei $g = 0,60$) ohne Sonnenschutz eine Erhöhung des Kühlkältebedarfs von rund 3.600 auf rund 4.570 kWh/a resultiert. Für die hier unterstellte ideale Kühlung auf 26 °C bedeutet dies eine Erhöhung um mehr als 25 Prozent. Demgegenüber ergibt sich für den Heizwärmebedarf eine Reduzierung von rund 7.760 auf rund 6.800 kWh/a, was einer Reduzierung um etwa 12 Prozent entspricht.

Mit Bild 4-3 und Bild 4-4 folgen analoge Auswertungen für eine 3-Scheiben-Ausführung mit einem U_w -Wert von 0,94 W/(m²K). Wie aus dem zugehörigen Parameterset in Tabelle 4-2 hervorgeht, werden in diesen Auswertungen g-Werte von 0,53 (Fall 1) bis 0,37 (Fall 4) beschrieben. Im Vergleich zu den zuvor bereits erläuterten Auswertungen bleiben die sonstigen Randbedingungen unverändert.

Tabelle 4-2: Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-3 und Bild 4-4

Gebäude EFH	Fensterflächenanteil fWG40	Niveau EH55	Klimadaten links: TRY2015_04 rechts: TRY 2045_04	Nutzung WG_mK26
U_w-Wert UW094 (Fenster 5)	FCFIX / g-Wert Fall 1: FCFIX10 -> g = 0,53 Fall 2: FCFIX09 -> g = 0,48 Fall 3: FCFIX08 -> g = 0,42 Fall 4: FCFIX07 -> g = 0,37	F_c-Wert FC100 - FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

TRY2015_04



TRY2045_04

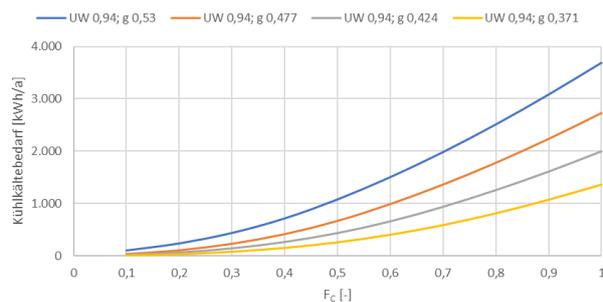
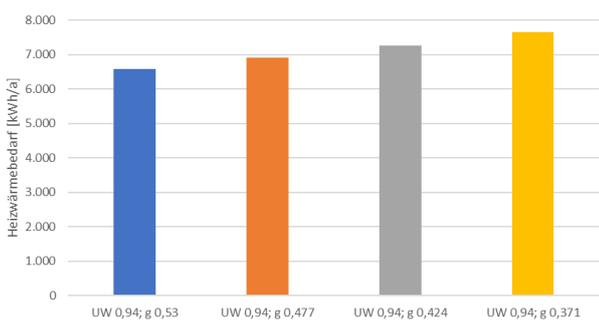


Bild 4-3: Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-2. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

TRY2015_04



TRY2045_04

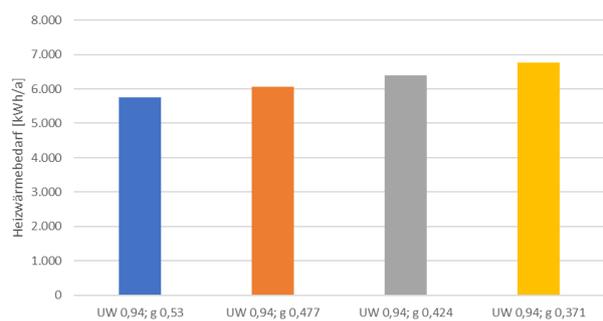


Bild 4-4: Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-2. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

Im Vergleich zu den Auswertungen für die 2-Scheiben-Ausführung ergibt sich für den Ausgangsfall (Fall 1) aufgrund des hier niedrigeren g-Wertes (0,53 statt 0,60) ein Kühlkältebedarf ohne Sonnenschutz für das Gegenwarts-TRY von rund 2.870 kWh/a (für das Fenster mit $U_w = 1,3$ W/(m²K) und $g = 0,60$ sind es rund 3.600 kWh/a). Alle weiteren Kühlkältebedarfe liegen aufgrund des niedrigeren g-Wert Niveaus ebenfalls unter den Bedarfen der 2-Scheiben-Ausführung. Ansonsten lassen sich aus den Ergebnissen in Bild 4-3 vergleichbare qualitative und quantitative Aussagen ableiten. Was den Heizwärmebedarf betrifft, so ergibt sich gemäß Bild 4-4 für die hier unterstellte 3-Scheiben-Ausführung mit $U_w = 0,94$ W/(m²K) im Ausgangsfall mit einem g-Wert von 0,53 und das Gegenwarts-TRY im Vergleich zur 2-Scheiben-Ausführung eine

Reduzierung von rund 7.760 auf rund 6.590 kWh/a. Für das Zukunfts-TRY reduziert sich der Heizwärmebedarf von rund 6.800 kWh/a bei der 2-Scheiben-Ausführung (Fall 1 mit $g = 0,60$) auf rund 5.750 kWh/a bei der 3-Scheiben-Ausführung (Fall 1 mit $g = 0,53$).

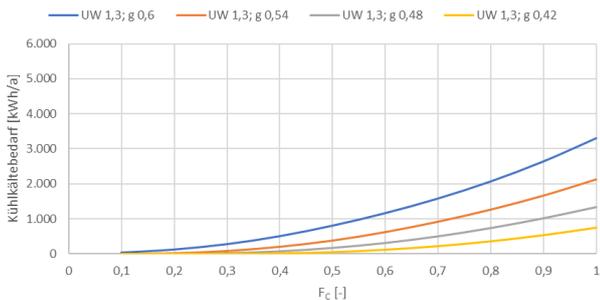
4.2 Mehrfamilienhaus (MFH)

Die im Folgenden für das Mehrfamilienhaus wiedergegebenen Ergebnisse werden für die gleichen Randbedingungen wie auch für das Einfamilienhaus dokumentiert. Während für das Einfamilienhaus ein Gebäudemodell mit einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 40 Prozent (Verteilung auf die Orientierungen Nord/Ost/West/Süd: 15/25/25/35 %) unterstellt ist, beträgt der grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil für die im Folgenden betrachteten Fälle 28 Prozent (Verteilung auf die Orientierungen Ost/West: 50/50 %).

Tabelle 4-3: Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-5 und Bild 4-6

Gebäude	Fensterflächenanteil	Niveau	Klimadaten	Nutzung
MFH	fWG28	EH55	links: TRY2015_04 rechts: TRY 2045_04	WG_mk26
U _w -Wert	FCFIX / g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW130 (Fenster 1)	Fall 1: FCFIX10 -> $g = 0,60$ Fall 2: FCFIX09 -> $g = 0,54$ Fall 3: FCFIX08 -> $g = 0,48$ Fall 4: FCFIX07 -> $g = 0,42$	FC100 - FC010	a300	NL2

TRY2015_04



TRY2045_04

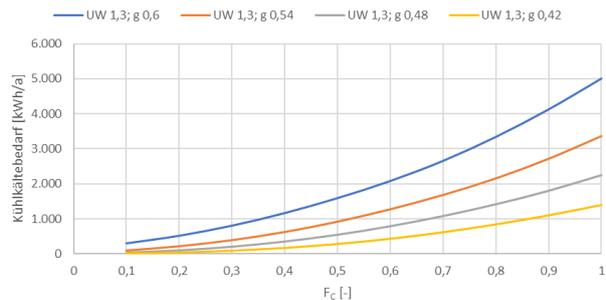
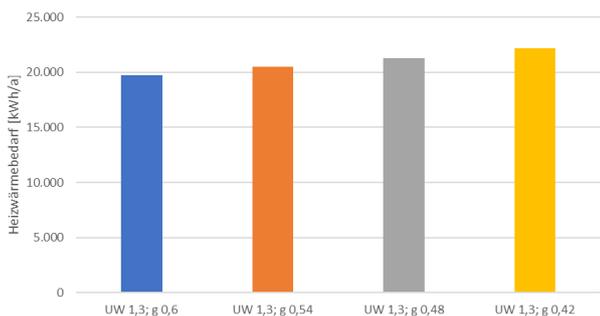


Bild 4-5: Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-3. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

TRY2015_04



TRY2045_04

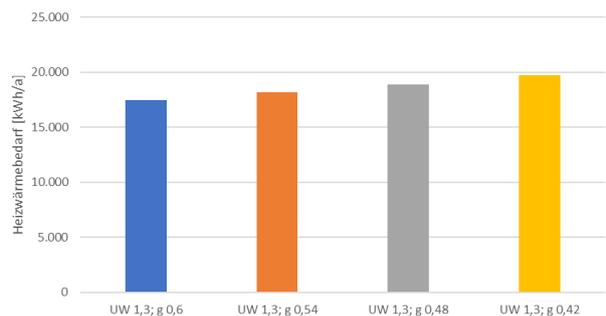


Bild 4-6: Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-3. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

Der Darstellung der Kühlkältebedarfe in Bild 4-5 kann entnommen werden, dass für das Gegenwarts-TRY (linke Abbildung) bei einem g -Wert von 0,60 und ohne Sonnenschutz (Fall 1, blauer Graph) ein Bedarf rund 3.300 kWh/a und für das Zukunfts-TRY ein Bedarf von rund 5.000 kWh/a resultiert. Inwieweit sich durch g -Wert und jeweils unterstelltem F_c -Wert der Energiebedarf für Kühlen beeinflussen lässt, kann sehr gut aus den Diagrammen abgelesen werden.

Der Heizwärmebedarf für die betrachteten Fälle kann Bild 4-6 entnommen werden. Hiernach ergibt sich bei einem Vergleich der Auswertungen des Zukunfts-TRYs im Vergleich zum Gegenwarts-TRY für eine g -Wert von 0,60 eine Reduzierung von rund 19.700 kWh/a auf rund 17.500

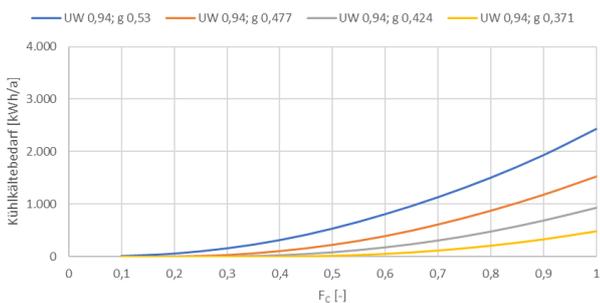
kWh/a, was einer Abnahme um rund 11 Prozent entspricht. Die Auswertungen des Heizwärmebedarfs zeigen analog zu den Auswertungen für das Einfamilienhaus, dass mit dem Einsatz von Sonnenschutzglas zur Reduzierung des Energiebedarfs für Kühlen eine deutliche Zunahme des Energiebedarfs für Heizen einhergeht. Für das Gegenwarts-TRY ergibt sich für einen g-Wert von 0,42 ein Heizwärmebedarf in Höhe von rund 22.160 kWh/a. Ausgehend von einem Heizwärmebedarf bei $g = 0,60$ in Höhe von 19.700 kWh/a entspricht dies einer Erhöhung um rund 12,5 Prozent. Diese Erhöhung des Energiebedarfs kann vermieden werden, wenn ein beweglicher Sonnenschutz vorgesehen wird, mit dem ein F_c -Wert von etwa 0,45 bei $g = 0,60$ erreicht wird.

Ergänzend zu obigen Auswertungen folgen mit Bild 4-7 und Bild 4-8 Auswertungen zum Einsatz eines Fensters mit 3-Scheiben-Ausführung mit einem U_w -Wert von $0,94 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ unter ansonsten unveränderten Randbedingungen (Parameterset in Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-7 und Bild 4-8

Gebäude	Fensterflächenanteil	Niveau	Klimadaten	Nutzung
MFH	fWG28	EH55	links: TRY2015_04 rechts: TRY 2045_04	WG_mK26
U_w -Wert UW094 (Fenster 5)	FCFIX / g-Wert Fall 1: FCFIX10 -> $g = 0,53$ Fall 2: FCFIX09 -> $g = 0,48$ Fall 3: FCFIX08 -> $g = 0,42$ Fall 4: FCFIX07 -> $g = 0,37$	F_c -Wert FC100 - FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

TRY2015_04



TRY2045_04

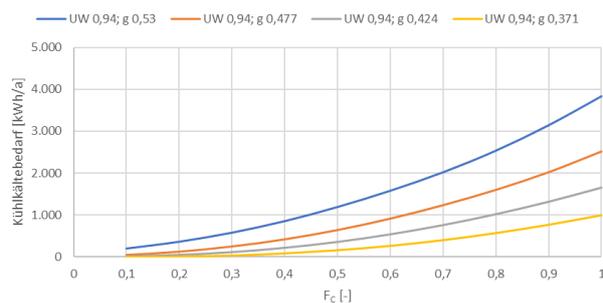
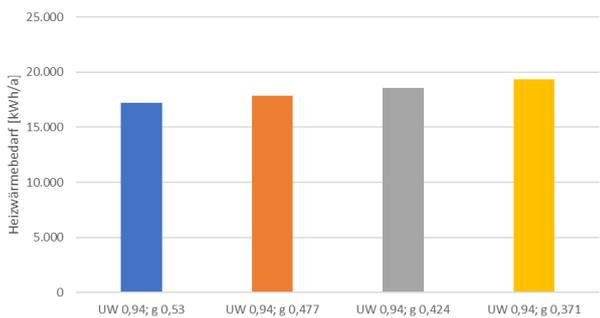


Bild 4-7: Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-4. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

TRY2015_04



TRY2045_04

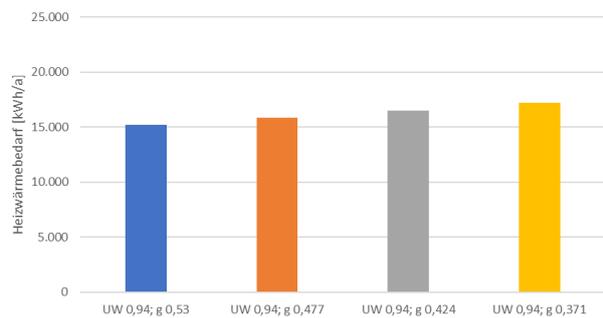


Bild 4-8: Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-4. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04

Im Vergleich zu den Auswertungen für die 2-Scheiben-Ausführung ergeben sich für die 3-Scheiben-Ausführung gemäß Bild 4-7 reduzierte Kühlkältebedarfe, was im Wesentlichen auf den im Ausgangsfall niedrigeren g-Wert (Fall 1 mit $g = 0,53$ anstelle von $0,60$ bei der 2-Scheiben-Ausführung) zurückzuführen ist. Der Heizwärmebedarf kann gemäß Bild 4-8 für das Gegenwarts-TRY bei $U_w = 0,94 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ mit $g = 0,53$ im Vergleich zur 2-Scheiben-Ausführung mit $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ mit $g = 0,60$ um rund 2.500 kWh/a. Dies entspricht einer Einsparung von rund 13 Prozent.

Die erläuterten Beispiele stehen nur exemplarisch für die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen. Je nach Fragestellung können beliebige Kombinationen von Parametern aus dem Umfang der Parametrisierung ausgewertet werden. Die vollständigen Simulationsergebnisse werden über ein Excel-Tool zur Verfügung gestellt.

5 Kernaussagen

Wesentliches Ziel der mit vorliegendem Bericht dokumentierte Studie ist das Herausarbeiten der Konsequenzen des Klimawandels auf das sommerlichen Wärmeverhalten unter Einbeziehung der Wechselwirkungen mit dem winterlichen Wärmeschutz. Hierzu werden umfangreiche Simulationsrechnungen unter Zugrundelegung von Klimadaten durchgeführt und ausgewertet, mit denen einerseits aktuelle mittlere Klimaverhältnisse und andererseits künftige Klimarandbedingungen jeweils für unterschiedliche Standorte beschrieben werden. Der Umfang der Parametrisierung ist hierbei so festgelegt, dass alle wesentlichen, das sommerliche Wärmeverhalten beeinflussenden Parameter in einer Bandbreite variiert werden, dass praktisch alle typischen realen Situationen beschrieben werden können.

Die aus der Bearbeitung der Studie hervorgehenden wesentlichen Ergebnisse werden in den folgenden Kernaussagen zusammengefasst:

- **Der Klimawandel wird zu einer signifikant höheren thermischen Beanspruchung der Gebäude führen**

Im Vergleich zu aktuellen mittleren Klimarandbedingungen zeichnen sich künftige klimatische Verhältnisse dadurch aus, dass Hitzeperioden einerseits häufiger auftreten und überdies auch länger andauern. Dies führt in der Folge auch zu einer erhöhten thermischen Beanspruchung der Innenräume, wobei unter ansonsten gleichen Randbedingungen um 1 bis 2 Kelvin erhöhte maximale Innentemperaturen auftreten und Phasen mit unkomfortablen Temperaturen in Innenräumen häufiger auftreten und länger andauern.

Wenn auch unter künftigen Klimarandbedingungen ein hoher thermischer Komfort in Gebäuden sichergestellt werden soll, muss der sommerliche Wärmeschutz eine höhere Bedeutung bekommen und es müssen Maßnahmen ergriffen werden, die deutlich über die gegenwärtigen Mindestanforderungen hinausgehen.

- **Sommerlicher Wärmeschutz erfordert in erster Linie einen wirksamen baulichen Wärmeschutz**

Zur Vermeidung von sommerlichen Überhitzungen existieren zahlreiche bauliche Möglichkeiten. Hierzu gehört in erster Linie ein wirksamer Sonnenschutz, mit dem die solaren Wärmeeinträge minimiert werden. Dies kann grundsätzlich entweder durch einen beweglichen Sonnenschutz oder durch Sonnenschutzglas erreicht werden. Bei dem Einsatz von Sonnenschutzglas ist allerdings zu bedenken, dass hierdurch auch heizwärmebedarfsreduzierende solare Wärmeeinträge in der kalten Jahreszeit ausbleiben. Insofern müssen zwingend bereits in der Planungsphase die Wechselwirkungen des sommerlichen und winterlichen Wärmeverhaltens beachtet werden. Wo möglich, sollte die Reduzierung der solaren Wärmeeinträge im Sommer durch dynamische Systeme, also durch bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen umgesetzt werden, um die solaren Wärmeeinträge in der Heizzeit verfügbar zu haben.

Zu einem wirksamen baulichen Wärmeschutz im Sommer gehört auch die Abfuhr tagsüber eingespeicherter Wärmeeinträge während der kühleren Nachtstunden, vorzugsweise durch natürliche Lüftung. Der thermische Komfort kann hierdurch wesentlich verbessert werden. Insbesondere im Nichtwohnungsbau sind hierbei der Einbruch- und Witterungsschutz zu berücksichtigen bzw. baulichen Lösungen vorzusehen, mit denen dieser Schutz sichergestellt werden kann.

Wirksame Sonnenschutzvorrichtungen in Verbindung mit der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung bzw. zur Wärmeabfuhr durch Lüften außerhalb der Nutzungszeit sind wesentliche Voraussetzungen für nachhaltige Gebäudekonzepte. Hierdurch kann die Notwendigkeit zum Einsatz einer anlagentechnischen Kühlung in vielen Fällen vermieden werden. Aber auch bei Gebäuden, die gekühlt werden müssen oder sollen, ist die

vorrangige Umsetzung baulicher Maßnahmen die Voraussetzung für die Einsparung von Energieaufwand für Kühlung. Dies gilt insbesondere für den mit Blick auf den Klimawandel grundsätzlich steigenden Energiebedarf für Gebäudekühlung, der unter bestimmten Voraussetzungen sogar perspektivisch den Energieaufwand für Heizen übersteigen kann.

- **Automation garantiert sommerlichen Komfort und ist Voraussetzung für Einsparung von Kühlenergie**

Allein das Vorhandensein eines Sonnenschutzes reicht nicht aus, um einen hohen thermischen Komfort in Gebäuden zu garantieren oder die in vorliegender Studie quantifizierten Einsparpotenziale für Kühlenergie zu schöpfen. Entscheidend ist die Motivation zur konsequenten Aktivierung. Ein manuell bedienter Sonnenschutz erfordert also immer ein Mitwirken des Nutzers, um eine Überhitzung zu vermeiden. Wird ein Sonnenschutz aber automatisch, z. B. über eine strahlungsabhängige Steuerung, betrieben, kann dies hingegen unterstellt werden und auch bei Abwesenheit des Nutzers erfolgt die Aktivierung des Sonnenschutzes. Insbesondere für anlagentechnisch gekühlte Gebäude, bei denen ein thermischer Komfort unter Einsatz von Energie erreicht wird, ist ein automatisch betriebener Sonnenschutz zur Einsparung von Kühlenergie von hoher Bedeutung, da hier nutzerseitig oftmals keine Motivation zur Betätigung des Sonnenschutzes vorhanden ist.

Automation ist ebenfalls für eine erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit von Bedeutung. So kann beispielsweise durch automatisch öffnbare Fenster einerseits ein erhöhter Luftwechsel erreicht werden, wenn die inneren und äußeren Temperaturrandbedingungen dies als sinnvoll erscheinen lassen. Andererseits kann ein automatisches Schließen der Fenster ein zu starkes Auskühlen verhindern und auch den Witterungsschutz sicherstellen.

Bei der Fortschreibung der öffentlich-rechtlichen Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sollten folgende Punkte Beachtung finden:

- Die aktuelle Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz basiert auf veralteten Klimadaten und sollte in einer künftigen Fassung der zuständigen Norm DIN 4108-2 auf die Verwendung von Zukunftsklimadaten abgestellt werden.
- In diesem Zusammenhang sollte die Anforderungssystematik grundsätzlich überarbeitet werden. Hierbei sollte hinsichtlich des Anforderungsniveaus Beachtung finden, dass unter künftigen Klimarandbedingungen „mehr getan werden muss“, um einen definierten und hinreichenden thermischen Komfort sicherzustellen.
- Mittelfristig darf Sonnenschutz nicht länger als reines Komfortthema betrachtet werden. Vielmehr stellt er die zukünftige Nutzbarkeit sicher. Wünschenswert ist die Entwicklung einer energetischen Anforderungsgröße, die durch Sonnenschutz eingesparte Kühlungsenergie betrachtet. Perspektivisch können eine solche Anforderungsgröße im Gebäudeenergiegesetz die bestehenden Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz ergänzen und um den Anwendungsfall gekühlte Gebäude erweitern.
- Die öffentlich-rechtlichen Anforderungen sollten klar einen wirksamen baulichen sommerlichen Wärmeschutz zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Energieaufwand für Kühlung fordern. Die gegenwärtige Regelung nach GEG § 14 (4) hebt diese Priorität jedoch für Gebäude, die mit anlagentechnisch Kühlung geplant werden, aus: „Wird bei Gebäuden mit Anlagen zur Kühlung die Berechnung nach Absatz 3 durchgeführt, sind bauliche Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2: 2013-02 Abschnitt 4.3 insoweit vorzusehen, wie sich die Investitionen für diese baulichen Maßnahmen innerhalb deren üblicher Nutzungsdauer durch die Einsparung von Energie zur Kühlung unter Zugrundelegung der im Gebäude installierten Anlagen zur Kühlung er-

wirtschaften lassen“. Dieser Absatz sollte gestrichen werden bzw. sollte die Formulierung insoweit geändert werden, dass die Umsetzung baulicher Maßnahmen wirtschaftlicher als der Einsatz einer anlagentechnischen Kühlung ist.

- Die Notwendigkeit zur Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes sollte im GEG, wie bereits nach BEG eingeführt- auch für umfängliche Bestandssanierungen vorgesehen werden.

Quellenverzeichnis

- [1] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, "Erarbeitung einer Systematik zur Neubewertung der solaren Einträge für Wohn- und Nichtwohngebäude in der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik" Verband Fenster + Fassade (VFF), Bundesverband Flachglas e.V. (BF), IVRSA - Industrievereinigung Rollläden-Sonnenschutz-Automation und Velux Deutschland GmbH, Hg., Jan. 2021.
- [2] *DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.*
- [3] *DIN EN 16798-1:2022-03 Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Modul M1-6.*
- [4] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, "Anforderungssystematik nach GEG und für Effizienzhäuser - Optimierungen für eine zielgerichtete Anforderung und Förderung" Repräsentanz Transparente Gebäudehülle GbR, Hg., Jan. 2020.
- [5] S. Klauß und W. Kirchhof, "Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit" Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Hg., Kassel, 2010.
- [6] "Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden: (Gebäudeenergiegesetz - GEG)" in *Bundesgesetzblatt*, 2020, S. 1728–1794.
- [7] "Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor" in *Bundesgesetzblatt*, 2022, S. 1237–1324.
- [8] *EnEV 2014. Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung*, 2013.
- [9] Deutscher Wetterdienst, "Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse" Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Hg., Bonn, 2011.
- [10] _____, "Ortsgenaue Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse" Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Hg., Bonn, 2017.
- [11] *DIN V 18599-10:2018-09 Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.*
- [12] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH und ift Rosenheim, "Überarbeitung der Kennwerte zur Bewertung von Fenstern mit Sonnenschutzvorrichtungen in DIN 4108-2 und DIN V 18599-2" Verband Fenster + Fassade (VFF), Hg., Nov. 2022.
- [13] G. Hauser, "Rechnerische Vorherbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten: Dissertation" Universität Stuttgart, Hg., 1977.
- [14] Stephan Schlitzberger, "Anpassung und Entwicklung von Planungswerkzeugen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und zur Komfortbewertung des Sommerfalls" Dissertation, Fachgebiet Bauphysik, Universität Kassel, Kassel, 2014.
- [15] M. Vukadinovic, C. Kempkes und A. Maas, "Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Überhitzung von Gebäuden: BauSIM 2020 8th Conference of IBPSA Germany and Austria: 22-23 September 2020, Graz University of Technology, Austria", International

Building Performance Simulation Association, Technische Universität Graz M. Monsberger, C.-J. Hopfe, M. Krüger und A. Passer, Hg., Graz, 2020.

Abbildungsverzeichnis

Bild 2-1:	Schematische Darstellung zur Ermittlung von Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden	11
Bild 2-2:	Zulässige operative Innentemperatur für Kategorie II (obere Begrenzung) $\theta_{op,Kat.II,og}$ gemäß DIN EN 16798-1:2022-03	13
Bild 2-3:	Skizzen Raummodelle für Einzelraumsimulationen.....	14
Bild 2-4:	Modellgebäude EFH aus ZUB-Modellgebäudetypologie [5], Ansichten Nord-West (links) und Süd-Ost (rechts)	18
Bild 2-5:	Modellgebäude MFH aus ZUB-Modellgebäudetypologie [5], Ansichten Nord-West (links) und Süd-Ost (rechts), für die Berechnungen modelliert als freistehendes Gebäude	18
Bild 3-1:	Verteilungen der Sommerklimaregionen in Anlehnung an DIN 4108-2:2013-02 auf Basis der TRY 2010 [15], von links nach rechts: 1. Klimakarte aus DIN 4108-2 [2]; 2. für die TRYs 2015 [10]; 3. für die TRYs 2045 [10]	23
Bild 3-2:	Übertemperaturgradstunden für das Parameterset gemäß Tabelle 3-1; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04	24
Bild 3-3:	Übertemperaturgradstunden G_{h26} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-11	29
Bild 3-4:	Übertemperaturgradstunden G_{h25} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-3	30
Bild 3-5:	Übertemperaturgradstunden G_{h27} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-13	31
Bild 3-6:	Übertemperaturgradstunden G_{h26} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-14	32
Bild 3-7:	Übertemperaturgradstunden G_{h25} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-15	33
Bild 3-8:	Übertemperaturgradstunden G_{h27} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-16	34
Bild 3-9:	Übertemperaturgradstunden G_{h25} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion A: Tabelle 3-12); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 300$ h/a für Wohnnutzung.	36
Bild 3-10:	Übertemperaturgradstunden G_{h26} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion B: Tabelle 3-11); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 300$ h/a für Wohnnutzung.	36
Bild 3-11:	Übertemperaturgradstunden G_{h27} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion C: Tabelle 3-13); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 300$ h/a für Wohnnutzung.	37
Bild 3-12:	Übertemperaturgradstunden G_{h25} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion A: Tabelle 3-15); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 150$ h/a für Nichtwohnnutzung.	37
Bild 3-13:	Übertemperaturgradstunden G_{h26} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion B: Tabelle 3-14); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 150$ h/a für Nichtwohnnutzung.	38
Bild 3-14:	Übertemperaturgradstunden G_{h27} und korrespondierende Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert (Parameterset Klimaregion C: Tabelle 3-16); Darstellung für das empfohlene neue Anforderungsniveau $n_{Kat.II} \leq 150$ h/a für Nichtwohnnutzung.	38

Bild 3-15:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-17 39
Bild 3-16:	Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-15 (Parameterset in Tabelle 3-17)40
Bild 3-17:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-18 41
Bild 3-18:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-19 42
Bild 3-19:	Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-18 (Parameterset in Tabelle 3-19)42
Bild 3-20:	Aktivierungszeiten des Sonnenschutzes bei automatischer Steuerung in Abhängigkeit von der Grenzbestrahlungsstärke für das TRY2010_04..... 44
Bild 3-21:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in 45
Bild 3-22:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-21 46
Bild 3-23:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-22 47
Bild 3-24:	Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-23 (Parameterset in Tabelle 3-22)48
Bild 3-25:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-23 49
Bild 3-26:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-24 49
Bild 3-27:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-25 51
Bild 3-28:	Heizwärmebedarf zu den Auswertungen in Bild 3-27 (Parameterset in Tabelle 3-25)51
Bild 3-29:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-26 53
Bild 3-30:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-27 54
Bild 3-31:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-28 55
Bild 3-32:	Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ [h/a] und Übertemperaturgradstunden G_{h26} [Kh/a] in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 3-29 56
Bild 3-33:	Heizwärmebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-30 58
Bild 3-34:	Heizwärmebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-31 59
Bild 3-35:	Heizwärmebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-32 60
Bild 3-36:	Heizwärmebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-33 61
Bild 3-37:	Heizwärmebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-34 62
Bild 3-38:	Heizwärmebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-35 63
Bild 3-39:	Heizwärmebedarfe und Kühllältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 3-36 64
Bild 3-40:	Verlauf der operativen Temperatur für die 4 Fälle gemäß Parameterset in Tabelle 3-37 für eine Augustwoche..... 66
Bild 3-41:	Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38 67

Bild 3-42:	Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38	67
Bild 3-43:	Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38	68
Bild 3-44:	Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle 3-38	68
Bild 3-45:	Auswertung nach DIN EN 16798-1 für Fall 1 (links) und Fall 2 (rechts) gemäß Parameterset in Tabelle 3-39	69
Bild 3-46:	Auswertung nach DIN EN 16798-1 für Fall 3 (links) und Fall 4 (rechts) gemäß Parameterset in Tabelle 3-39	69
Bild 4-1:	Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-1. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	72
Bild 4-2:	Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-1. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	72
Bild 4-3:	Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-2. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	73
Bild 4-4:	Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-2. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	73
Bild 4-5:	Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-3. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	74
Bild 4-6:	Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-3. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	74
Bild 4-7:	Kühlkältebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-4. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	75
Bild 4-8:	Heizwärmebedarf für das Parameterset gemäß Tabelle 4-4. Links für TRY2015_04; rechts für TRY2045_04	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Übertemperaturgradstunden-Anforderungswerte nach [2]	11
Tabelle 2-2:	U_w - und g -Werte der betrachteten Fenster	20
Tabelle 3-1:	Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-2 und Bild 3-2	24
Tabelle 3-2:	Übertemperaturgradstunden G_{h25} - G_{h35} , maximale operative Temperaturen für das Parameterset gemäß Tabelle 3-1; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04	24
Tabelle 3-3:	Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-4	25
Tabelle 3-4:	Übertemperaturgradstunden G_{h26} , maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-3; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04	25
Tabelle 3-5:	Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-6	25
Tabelle 3-6:	Übertemperaturgradstunden G_{h25} - G_{h35} , maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-5; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04	26
Tabelle 3-7:	Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-8	26
Tabelle 3-8:	Übertemperaturgradstunden G_{h26} , maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-7; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04	26
Tabelle 3-9:	Parameterset zu Auswertungen in Tabelle 3-10	27
Tabelle 3-10:	Übertemperaturgradstunden G_{h26} , maximale operative Temperaturen und Heizwärmebedarfe für das Parameterset gemäß Tabelle 3-9; links: Ergebnisse für TRY2010-04, rechts: Ergebnisse für TRY2045-04	27
Tabelle 3-11:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-3	28
Tabelle 3-12:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-4	30
Tabelle 3-13:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-5	31
Tabelle 3-14:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-6	32
Tabelle 3-15:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-7	33
Tabelle 3-16:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-8	34
Tabelle 3-17:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-15	39
Tabelle 3-18:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-17	41
Tabelle 3-19:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-18	42
Tabelle 3-20:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-21	45
Tabelle 3-21:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-22	45
Tabelle 3-22:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-23	47
Tabelle 3-23:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-25	48
Tabelle 3-24:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-26	49
Tabelle 3-25:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-27	50
Tabelle 3-26:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-29	53
Tabelle 3-27:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-30	54
Tabelle 3-28:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-31	55
Tabelle 3-29:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-32	55
Tabelle 3-30:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-33	57
Tabelle 3-31:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-34	58
Tabelle 3-32:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-35	59
Tabelle 3-33:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-36	61
Tabelle 3-34:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-37	62
Tabelle 3-35:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-38	63

Tabelle 3-36:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-39	63
Tabelle 3-37:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-40	66
Tabelle 3-38:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-41 bis Bild 3-44.....	67
Tabelle 3-39:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 3-45 und Bild 3-46.....	69
Tabelle 4-1:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-1 und Bild 4-2.....	72
Tabelle 4-2:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-3 und Bild 4-4.....	73
Tabelle 4-3:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-5 und Bild 4-6.....	74
Tabelle 4-4:	Parameterset zu Auswertungen in Bild 4-7 und Bild 4-8.....	75

Anhang A Isolethen-Darstellungen für weitere Parametersets

A 1 TRY 2045_04, hoher Fensterflächenanteil, ohne Nachtlüftung, Orientierung Ost, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-1: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-1 bis Bild A-4

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NLO

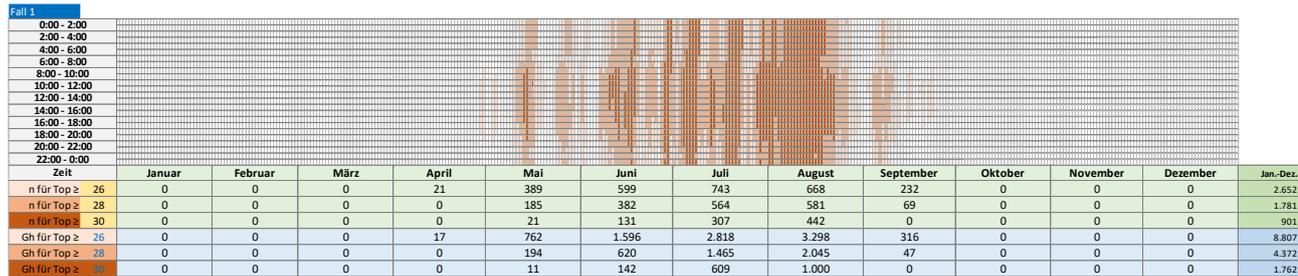


Bild A-1: Isolethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-1

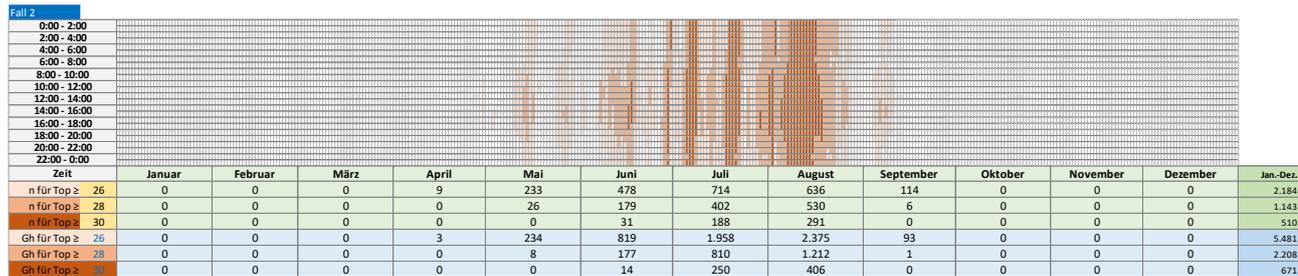


Bild A-2: Isolethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-1

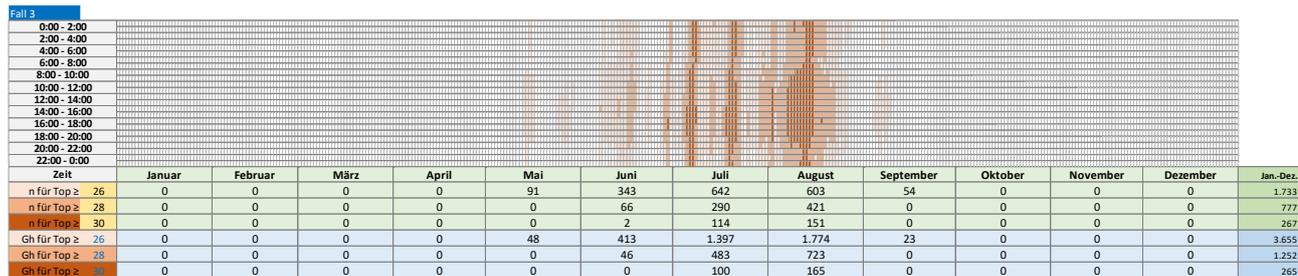


Bild A-3: Isolethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-1

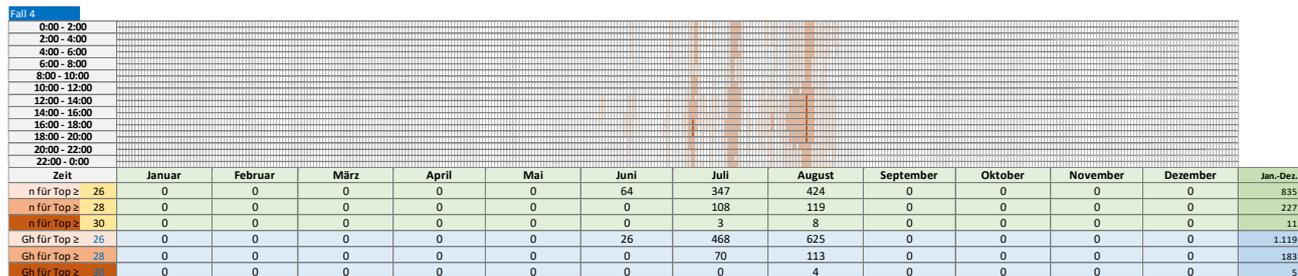


Bild A-4: Isolethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-1

A 2 TRY 2045_04, hoher Fensterflächenanteil, erhöhte Nachtlüftung, Orientierung Ost, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-2: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-5 bis Bild A-8

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_ok
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

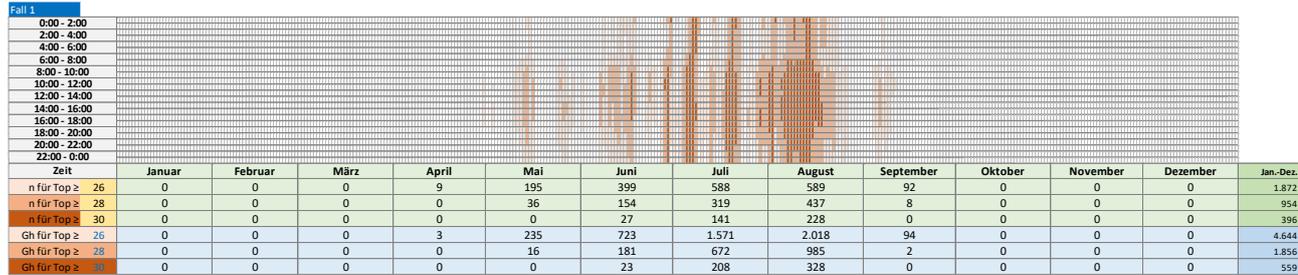


Bild A-5: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-2

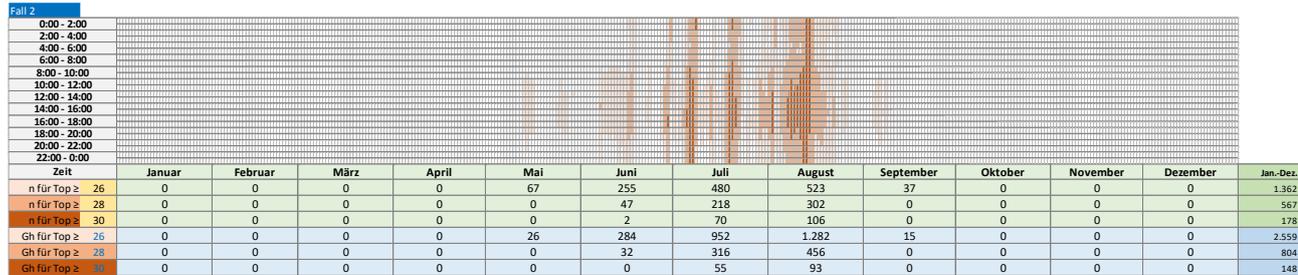


Bild A-6: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-2

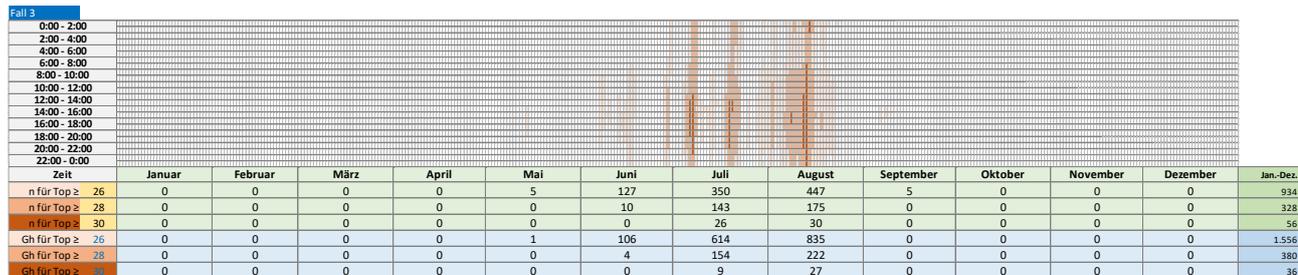


Bild A-7: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-2

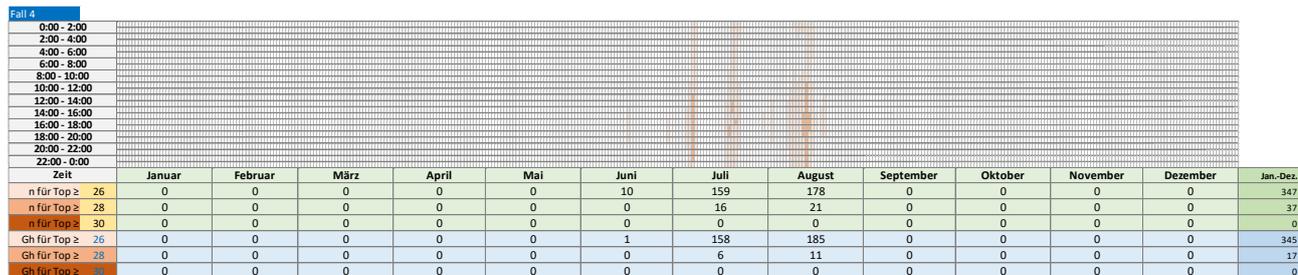


Bild A-8: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-2

A 3 TRY 2045_04, hoher Fensterflächenanteil, ohne Nachtlüftung, Orientierung Süd, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-3: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-9 bis Bild A-12

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Süd	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NLO

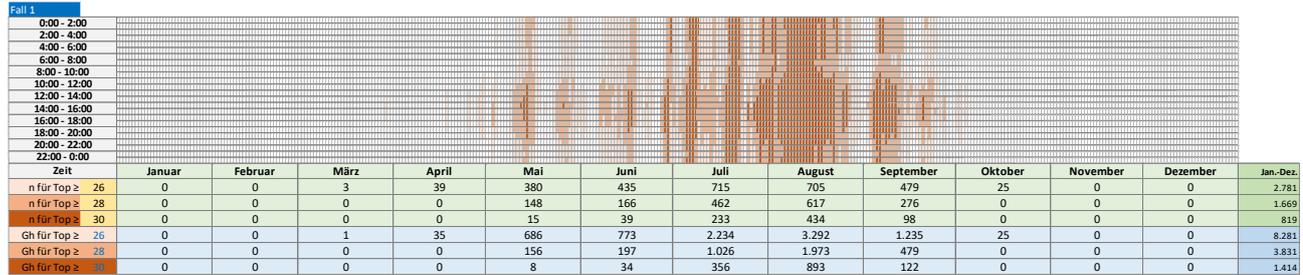


Bild A-9: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-3

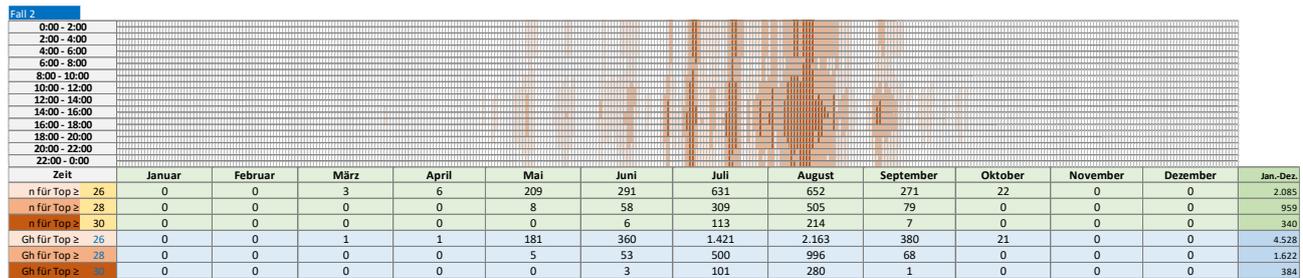


Bild A-10: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-3

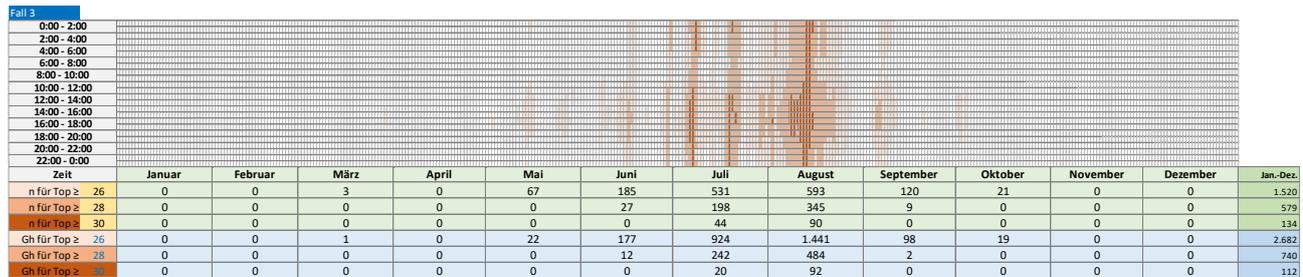


Bild A-11: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-3

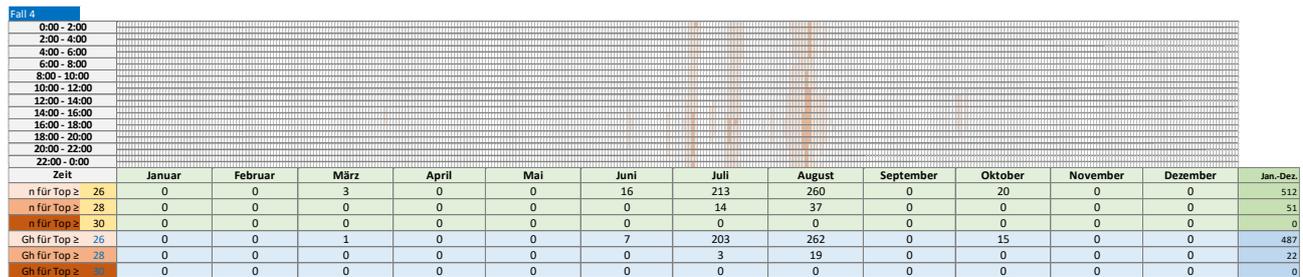


Bild A-12: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-3

A 4 TRY 2045_04, hoher Fensterflächenanteil, erhöhte Nachtlüftung, Orientierung Süd, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-4: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-13 bis Bild A-16

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Süd	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_ok
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

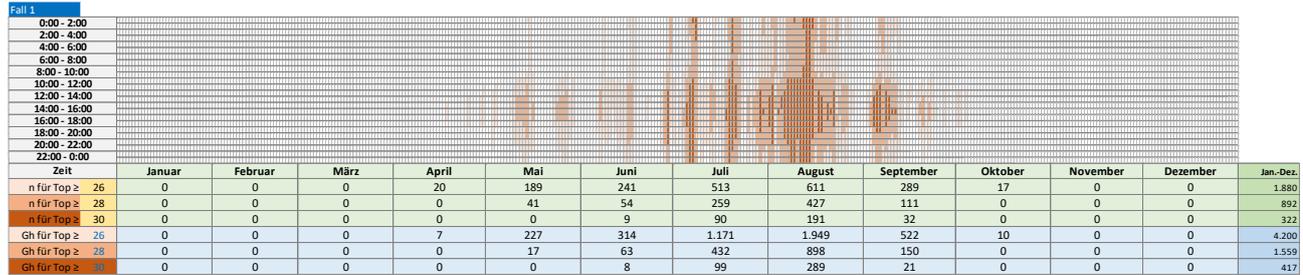


Bild A-13: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-4

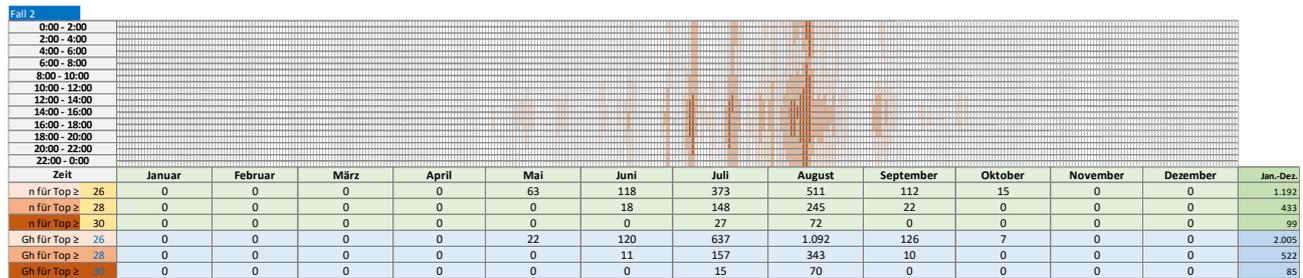


Bild A-14: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-4

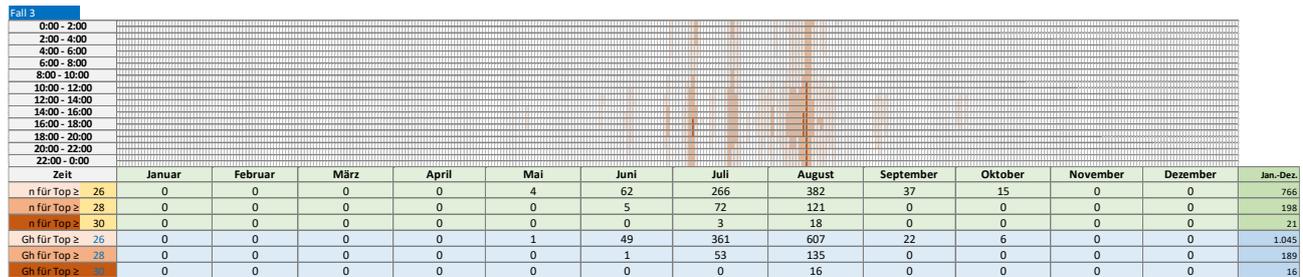


Bild A-15: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-4

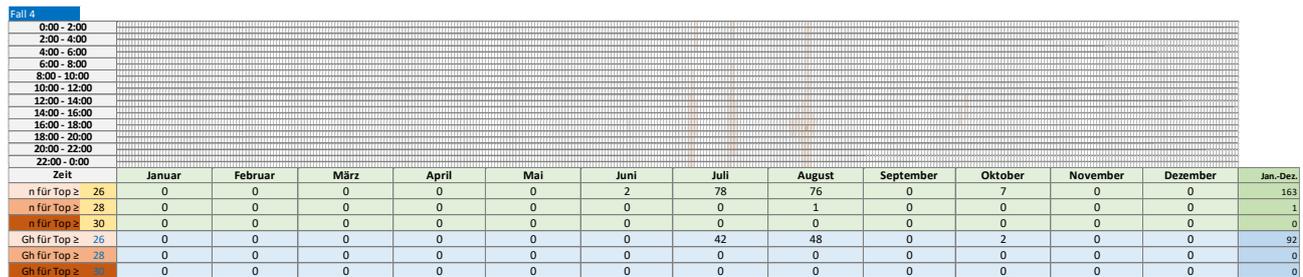


Bild A-16: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-4

A 5 TRY 2045_04, hoher Fensterflächenanteil, $F_c = 0,30$; Variation Orientierung und Nachtlüftung

Tabelle A-5: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-17 bis Bild A-20

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Fälle 1 und 2: Ost Fälle 3 und 4: Süd	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U_w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F_c -Wert FC030	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung Fälle 1 und 3: NL0 Fälle 2 und 4: NL2

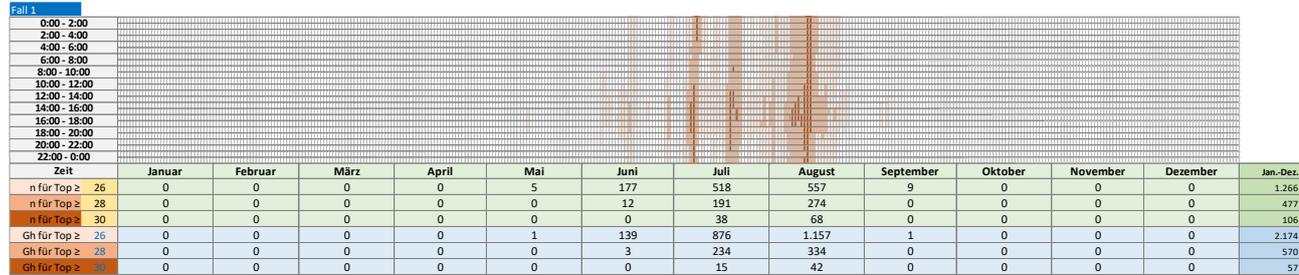


Bild A-17: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-5

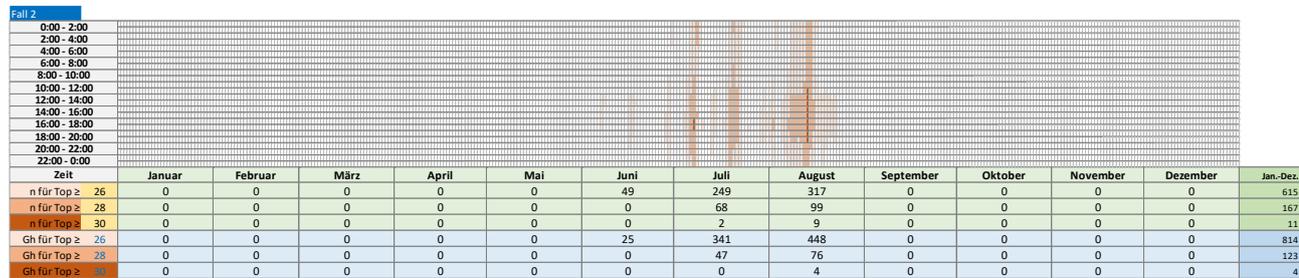


Bild A-18: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-5

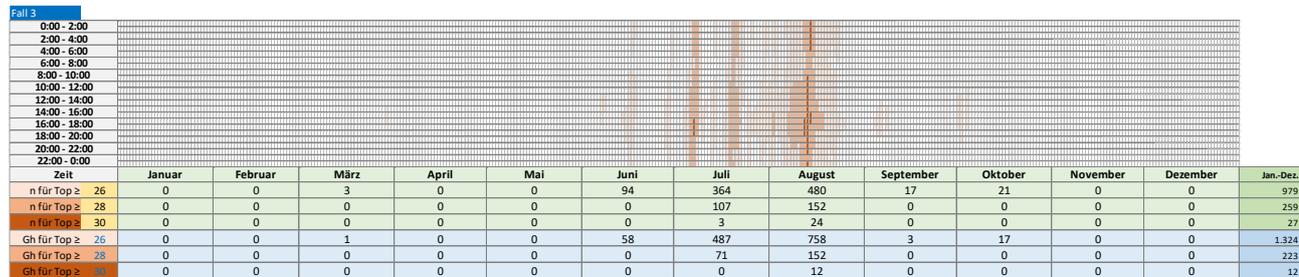


Bild A-19: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-5

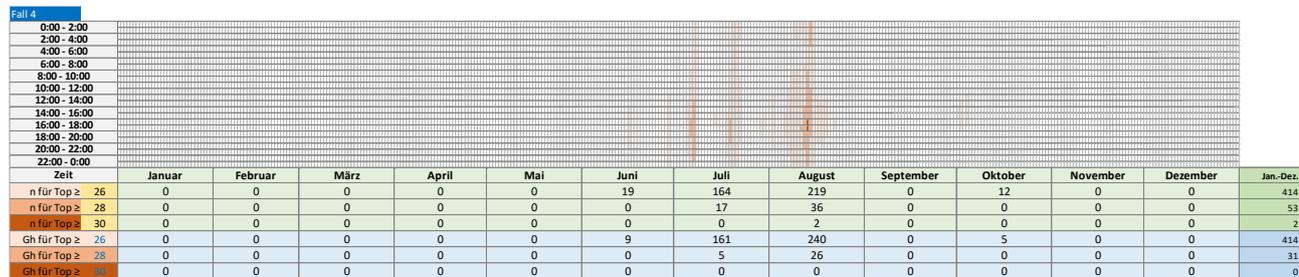


Bild A-20: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-5

A 6 TRY 2045_04, hoher Fensterflächenanteil, Orientierung Ost, Steuerung SoSchu: a200, Variation Sonnenschutz und Nachtlüftung

Tabelle A-6: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-21 bis Bild A-24

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fälle 1 und 2: FC030 Fälle 3 und 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a200	Lüftung Fälle 1 und 3: NL0 Fälle 2 und 4: NL2

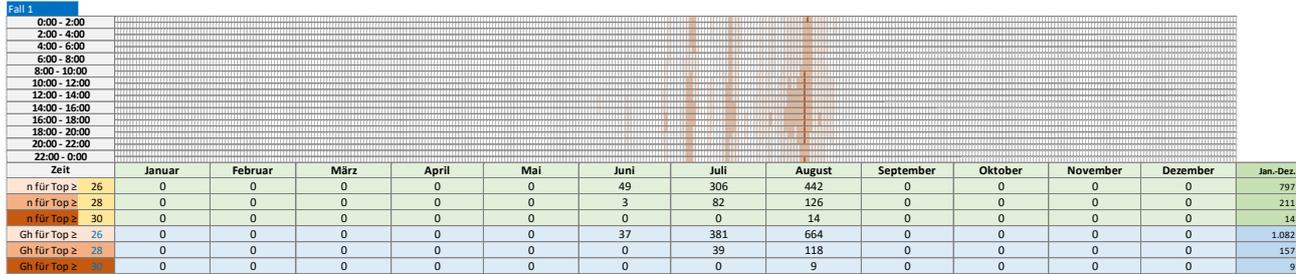


Bild A-21: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-6

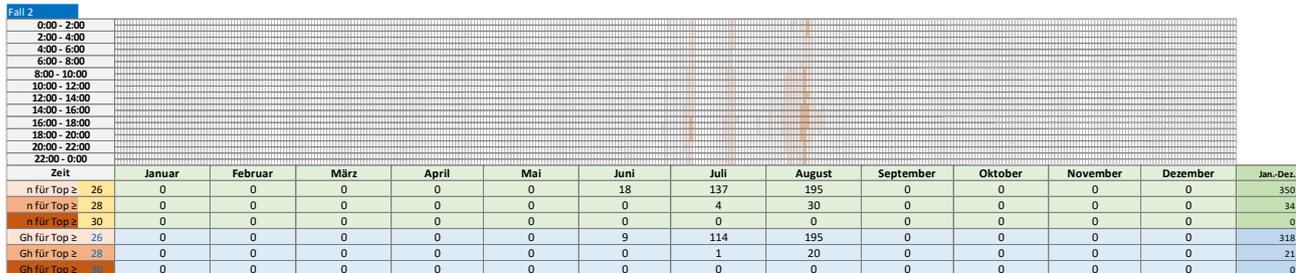


Bild A-22: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-6

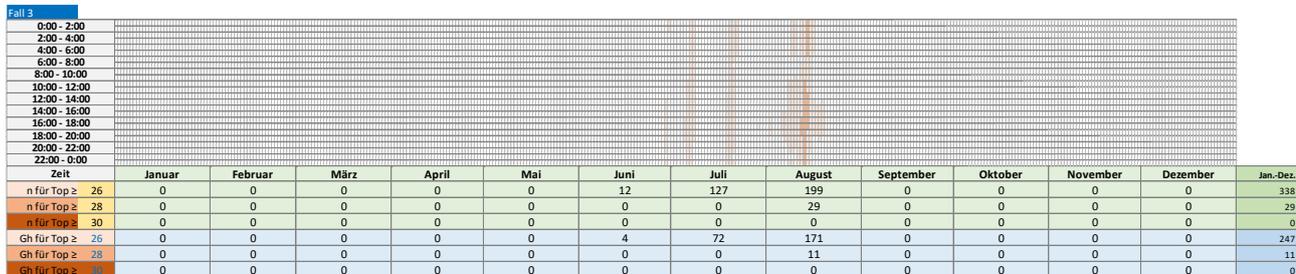


Bild A-23: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-6

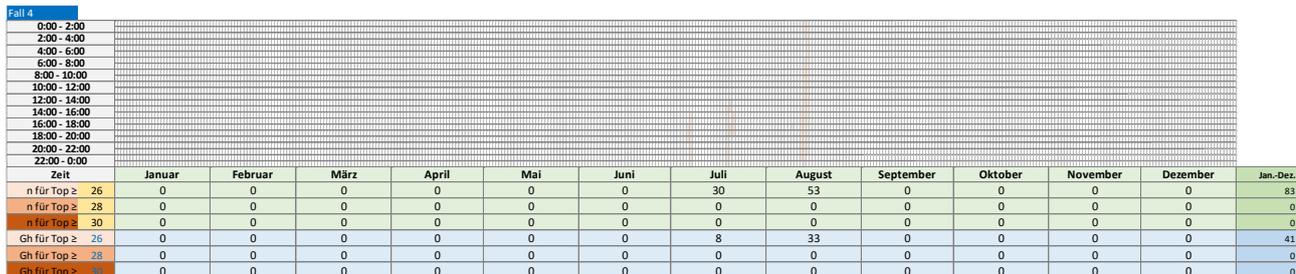


Bild A-24: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-6

A 7 TRY 2045_04, hoher Fensterflächenanteil, Orientierung Süd, Steuerung SoSchu: a200, Variation Sonnenschutz und Nachtlüftung

Tabelle A-7: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-25 bis Bild A-28

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil hoch	Orientierung Süd	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_ok
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fälle 1 und 2: FC030 Fälle 3 und 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a200	Lüftung Fälle 1 und 3: NL0 Fälle 2 und 4: NL2

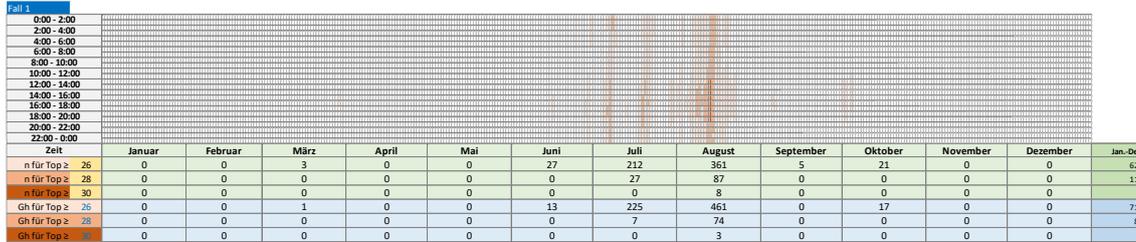


Bild A-25: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-7

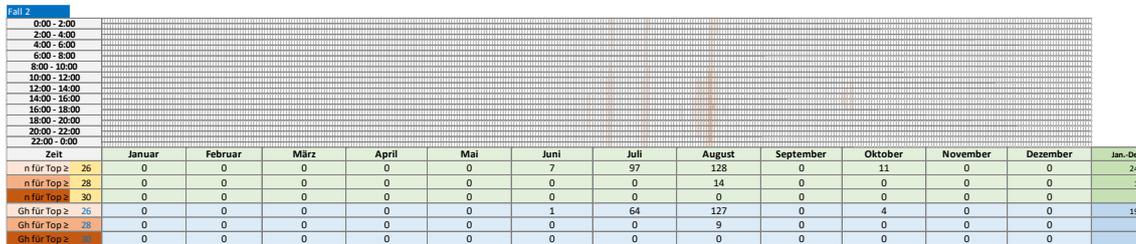


Bild A-26: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-7

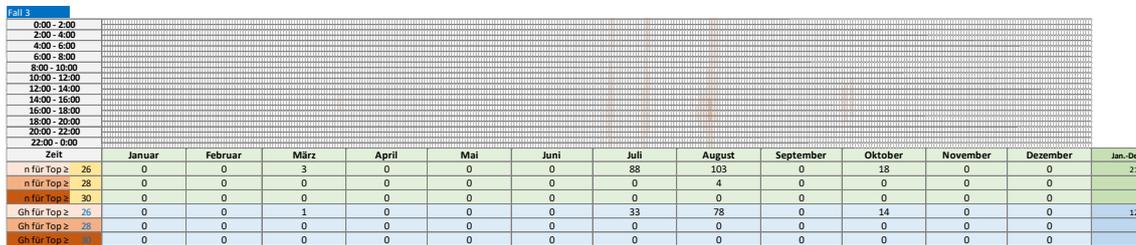


Bild A-27: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-7

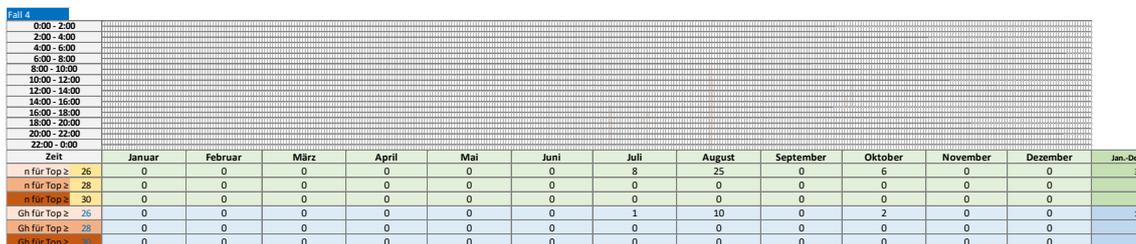


Bild A-28: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-7

A 8 TRY 2045_04, mittlerer Fensterflächenanteil, ohne Nachtlüftung, Orientierung Ost, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-8: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-29 bis Bild A-32

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_ok
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NLO

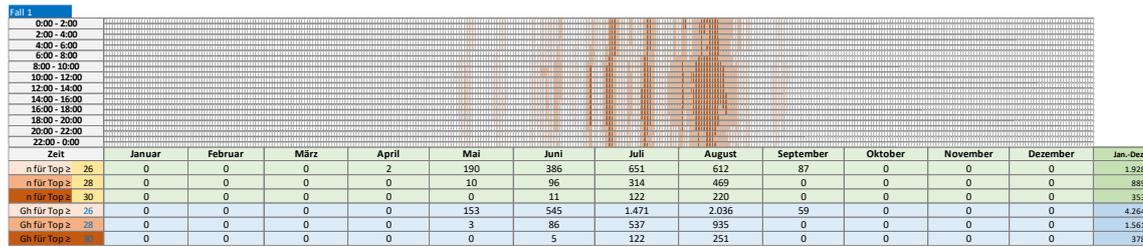


Bild A-29: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-8

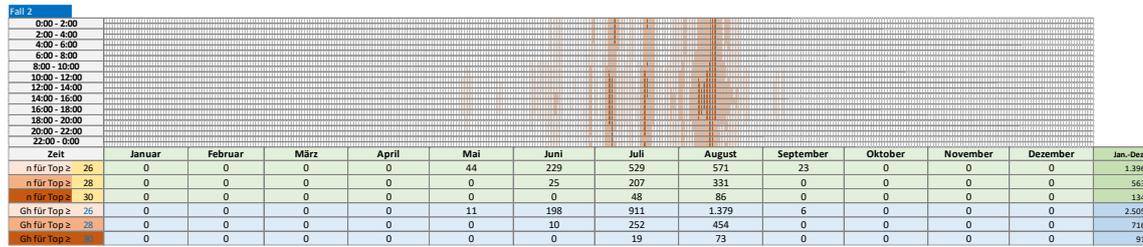


Bild A-30: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-8

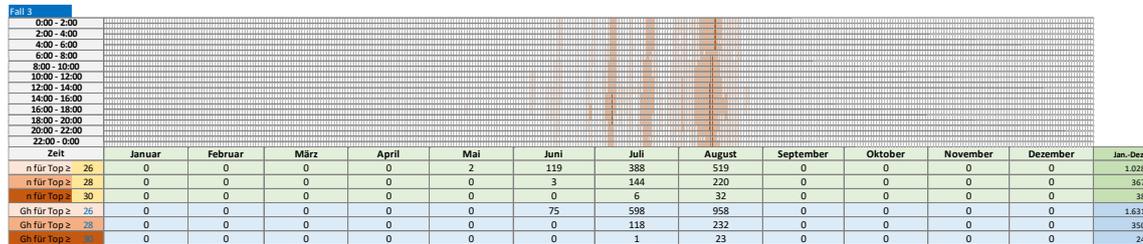


Bild A-31: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-8

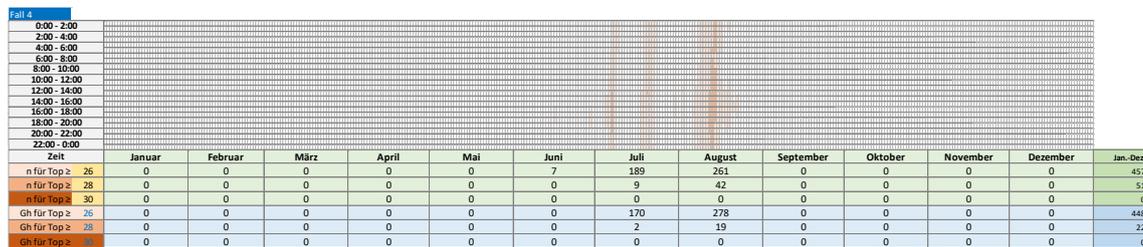


Bild A-32: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-8

A 9 TRY 2045_04, mittlerer Fensterflächenanteil, erhöhte Nachtlüftung, Orientierung Ost, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-9: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-33 bis Bild A-36

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_ok
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

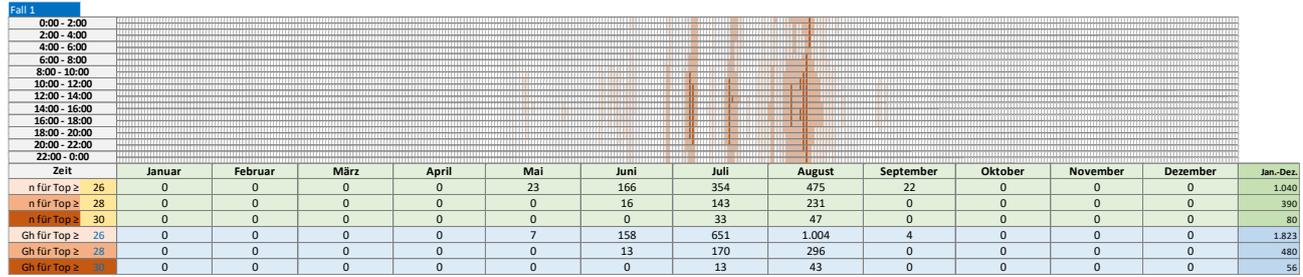


Bild A-33: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-9

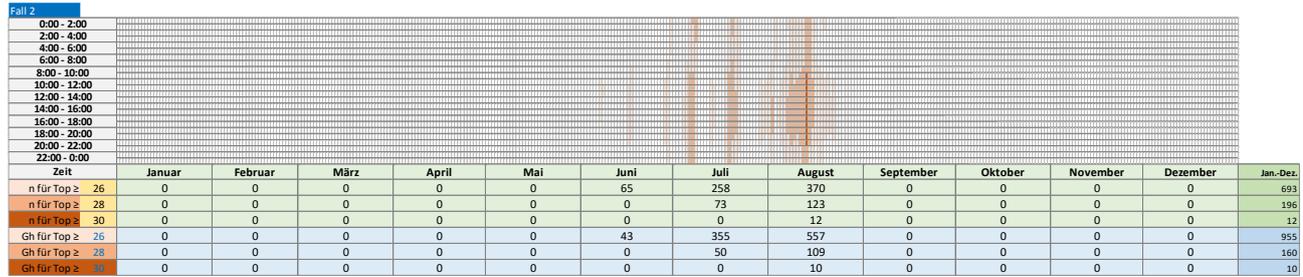


Bild A-34: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-9

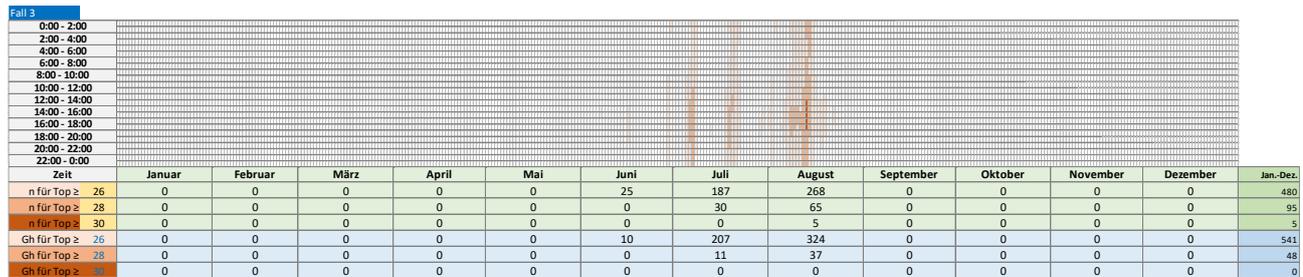


Bild A-35: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-9

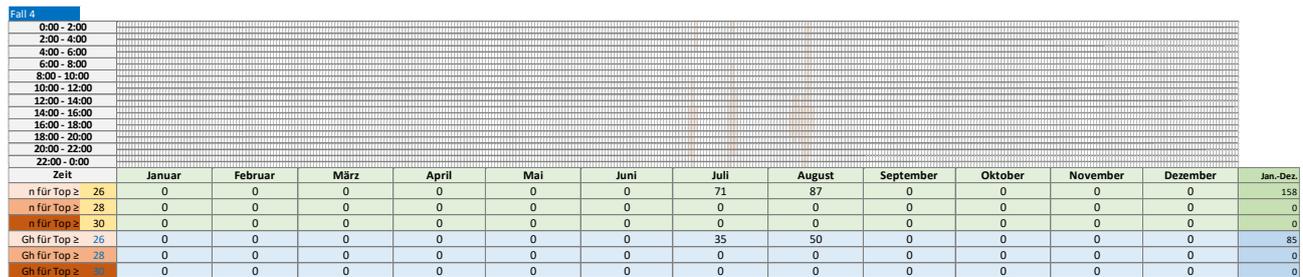


Bild A-36: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-9

A 10 TRY 2045_04, mittlerer Fensterflächenanteil, ohne Nachtlüftung, Orientierung Süd, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-10: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-37 bis Bild A-40

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Süd	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL0

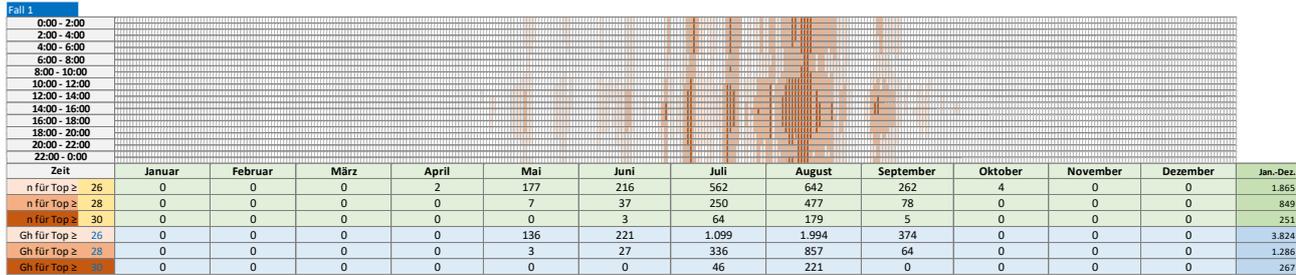


Bild A-37: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-10

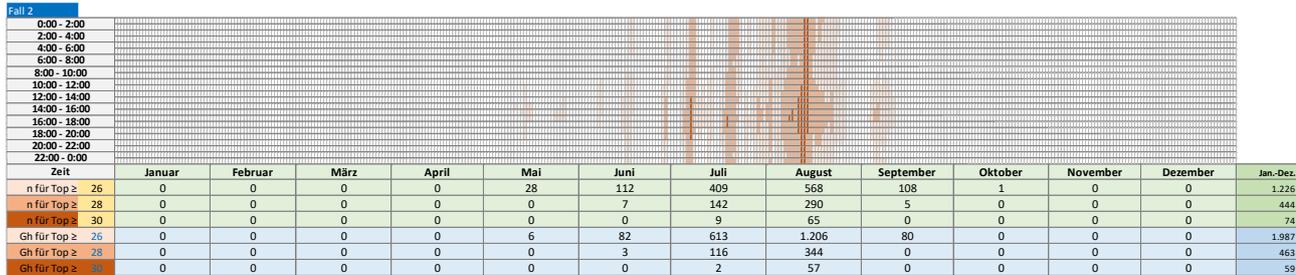


Bild A-38: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-10

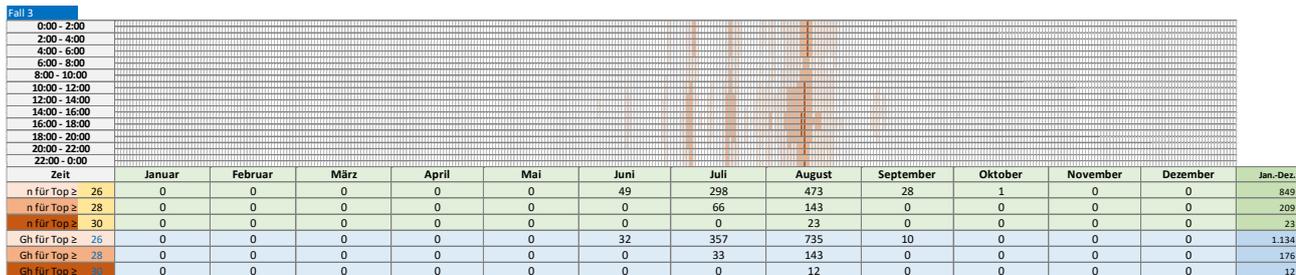


Bild A-39: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-10

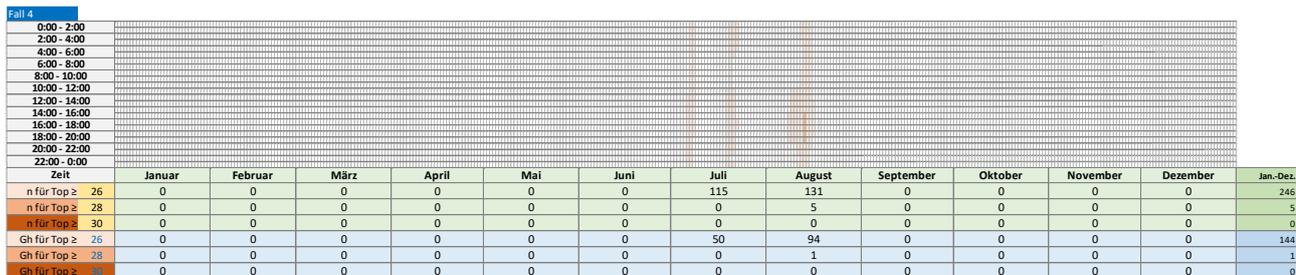


Bild A-40: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-10

A 11 TRY 2045_04, mittlerer Fensterflächenanteil, erhöhte Nachtlüftung, Orientierung Süd, Variation Sonnenschutz

Tabelle A-11: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-41 bis Bild A-44

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Süd	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC100 Fall 2: FC070 Fall 3: FC050 Fall 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung NL2

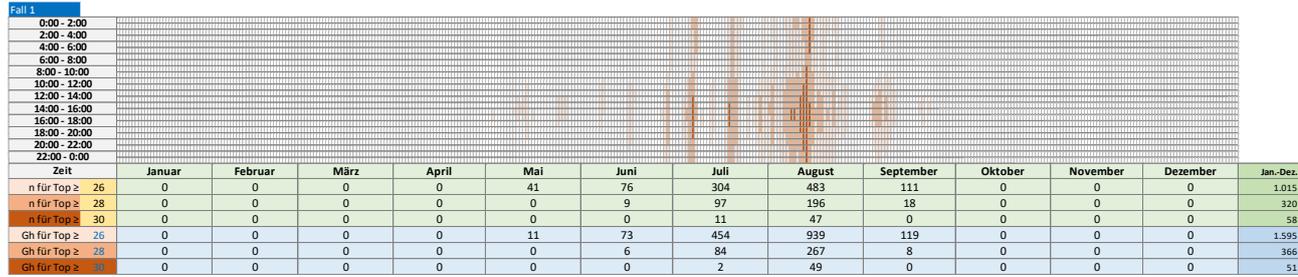


Bild A-41: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-11

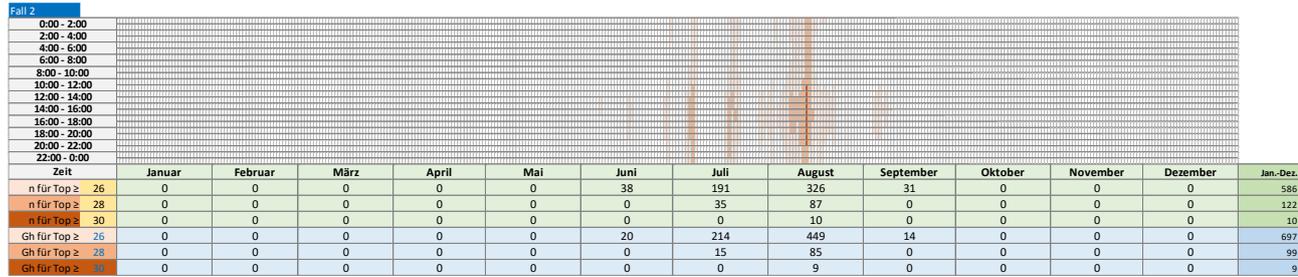


Bild A-42: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-11

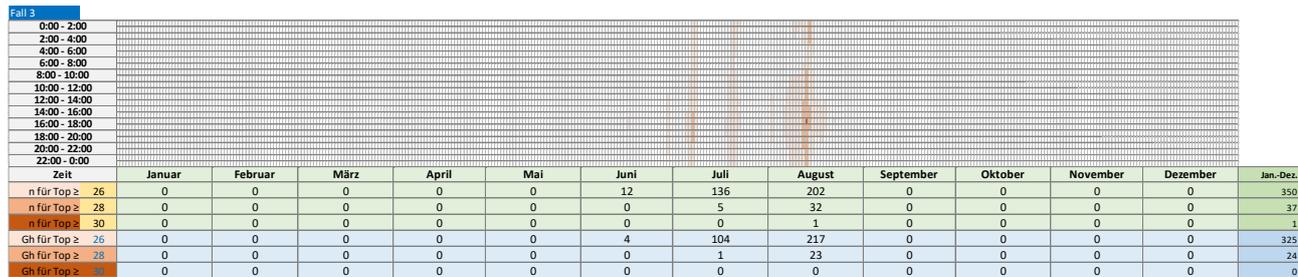


Bild A-43: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-11

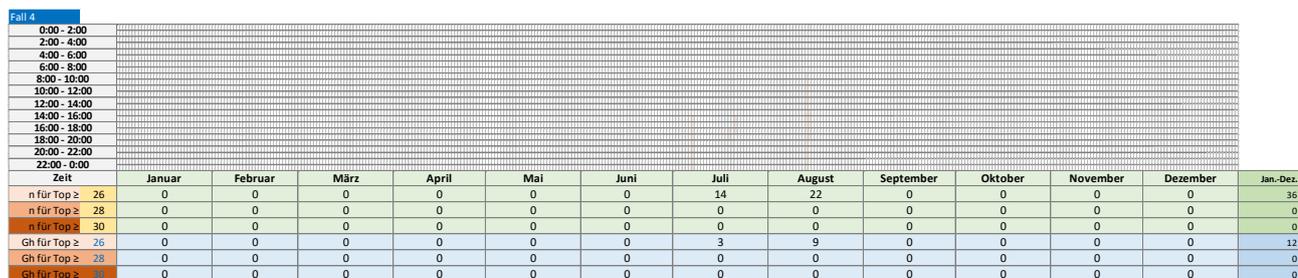


Bild A-44: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-11

A 12 TRY 2045_04, mittlerer Fensterflächenanteil, $F_c = 0,30$; Variation Orientierung und Nachtlüftung

Tabelle A-12: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-45 bis Bild A-48

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Fälle 1 und 2: Ost Fälle 3 und 4: Süd	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert FC030	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung Fälle 1 und 3: NL0 Fälle 2 und 4: NL2

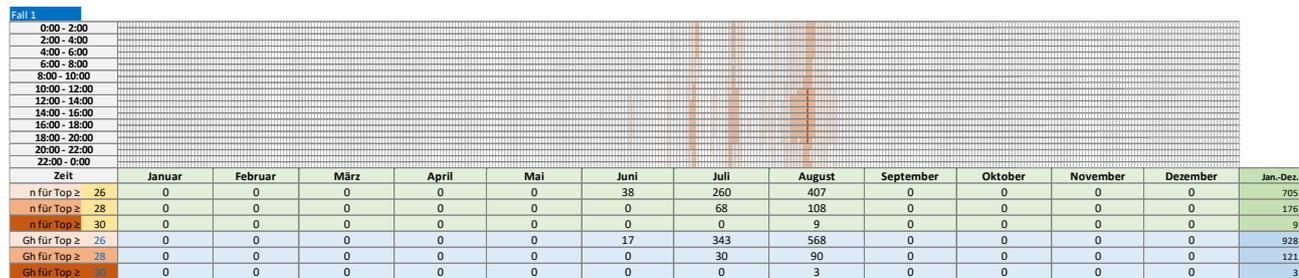


Bild A-45: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-12

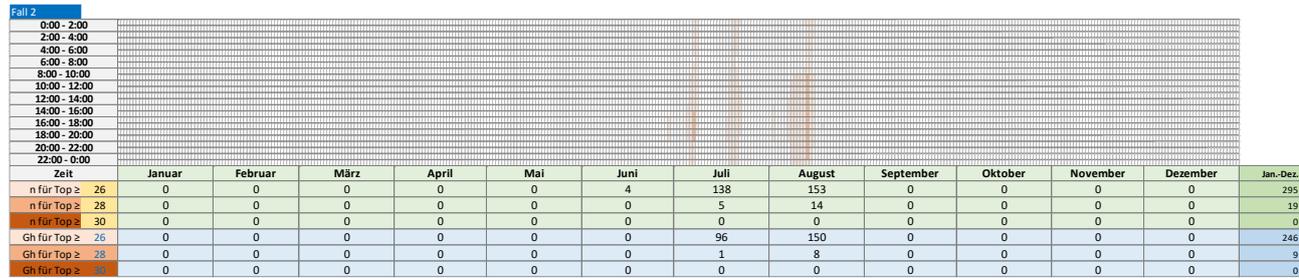


Bild A-46: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-12

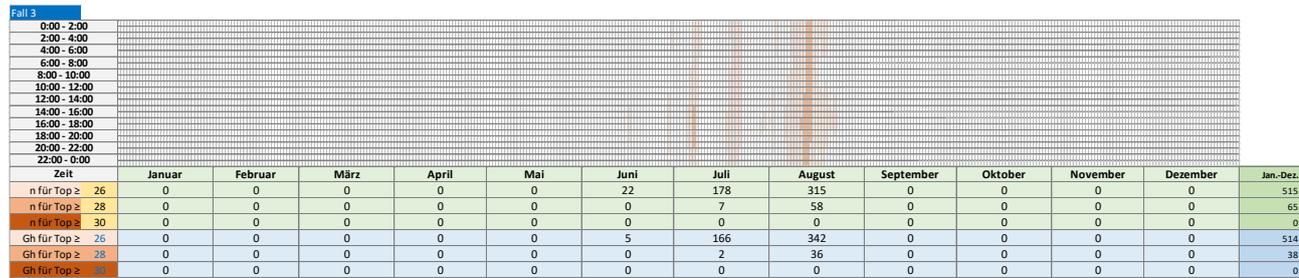


Bild A-47: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-12

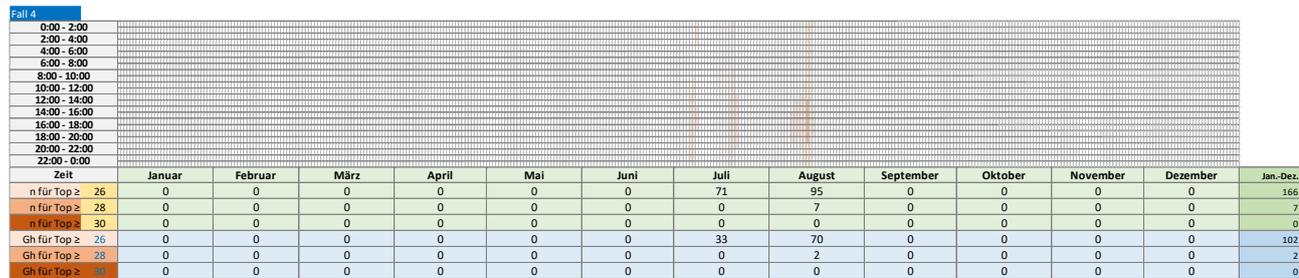


Bild A-48: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-12

A 13 TRY 2045_04, mittlerer Fensterflächenanteil, Orientierung Ost, Steuerung SoSchu: a200, Variation Sonnenschutz und Nachtlüftung

Tabelle A-13: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-49 bis Bild A-52

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil mittel	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2045_04	Nutzung WG_0K
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fälle 1 und 2: FC030 Fälle 3 und 4: FC010	Steuerung Sonnenschutz a200	Lüftung Fälle 1 und 3: NL0 Fälle 2 und 4: NL2

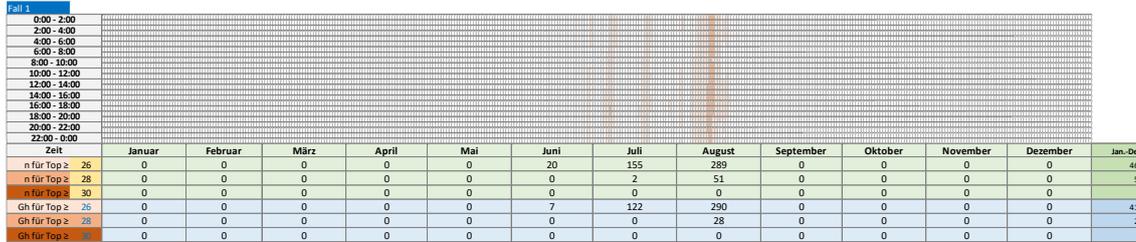


Bild A-49: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-13

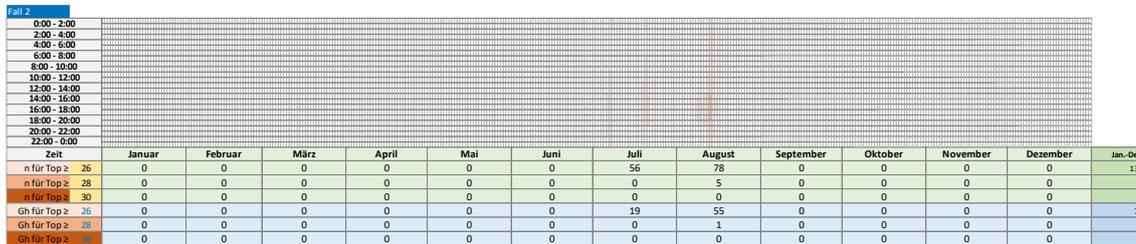


Bild A-50: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-13

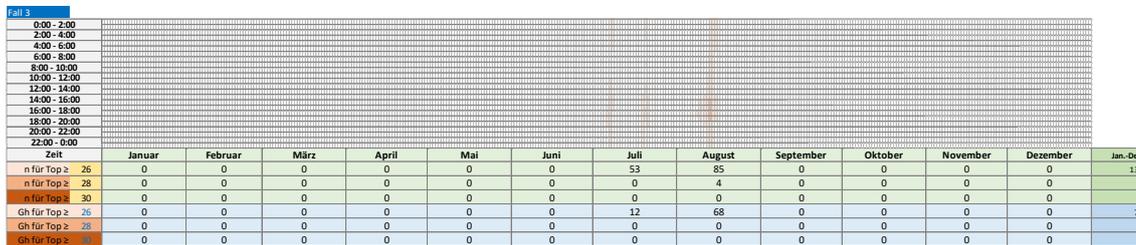


Bild A-51: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-13

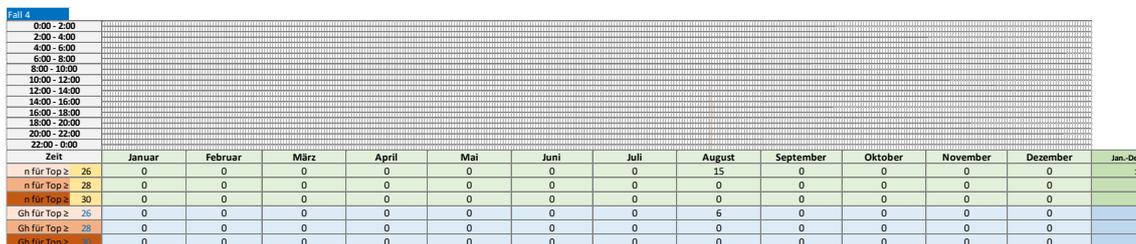


Bild A-52: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-13

A 14 TRY 2010_04, Orientierung Ost, Variation Fensterflächenanteil und Sonnenschutz und Nachtlüftung

Tabelle A-14: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-53 bis Bild A-56

Raum zen1.5b1.St_breit	Fensterflächenanteil Fälle 1 und 2: hoch Fälle 3 und 4: mittel	Orientierung Ost	Klimadaten TRY 2010_04	Nutzung WG_oK
U _w -Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F _c -Wert Fall 1: FC030 Fälle 2 und 3: FC070 Fall 3: FC100	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung Fälle 1 und 3: NL0 Fälle 2 und 4: NL2

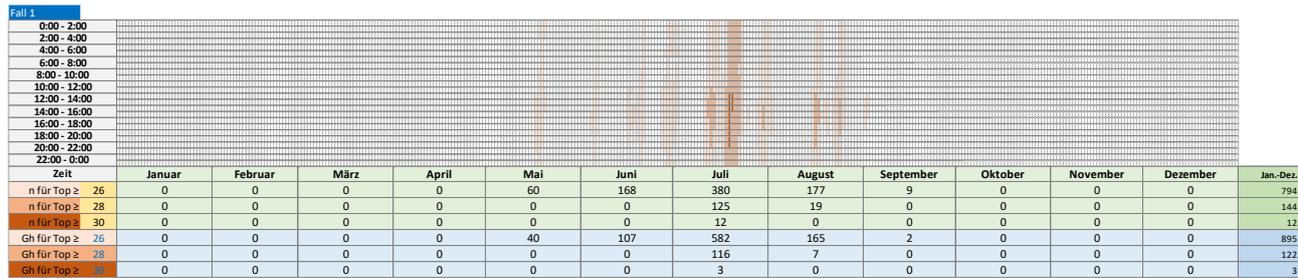


Bild A-53: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-14

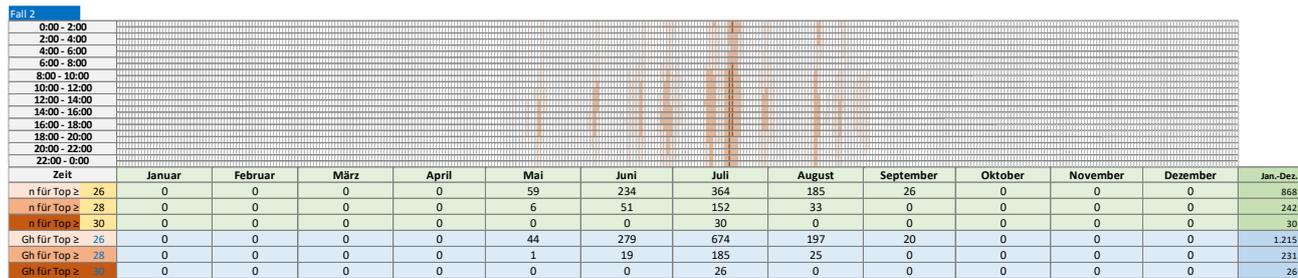


Bild A-54: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-14

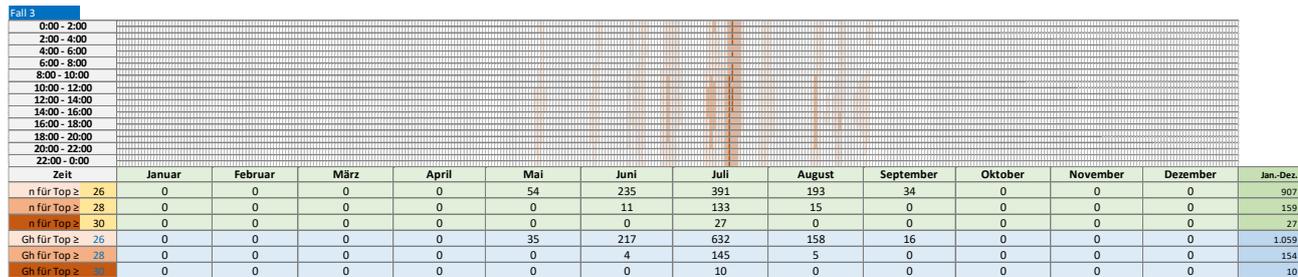


Bild A-55: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-14

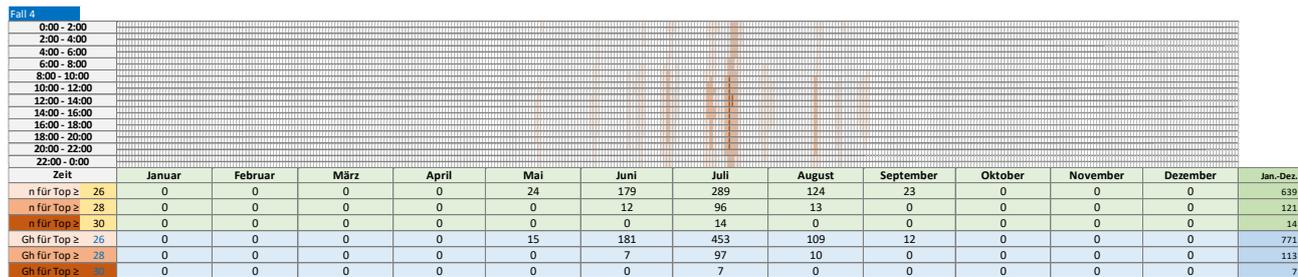


Bild A-56: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-14

A 15 TRY 2010_04, Orientierung Ost, Variation Fensterflächenanteil und Sonnenschutz und Nachtlüftung

Tabelle A-15: Parameterset zu Auswertungen in Bild A-57 bis Bild A-60

Raum zen1.5b1.5t_breit	Fensterflächenanteil Fälle 1 und 2: hoch Fälle 3 und 4: mittel	Orientierung Süd	Klimadaten TRY 2010_04	Nutzung WG_oK
U_w-Wert UW095	g-Wert g060 - g006	F_c-Wert Fall 1: FC050 Fälle 2 und 3: FC070 Fall 3: FC100	Steuerung Sonnenschutz a300	Lüftung Fälle 1 und 3: NL0 Fälle 2 und 4: NL2

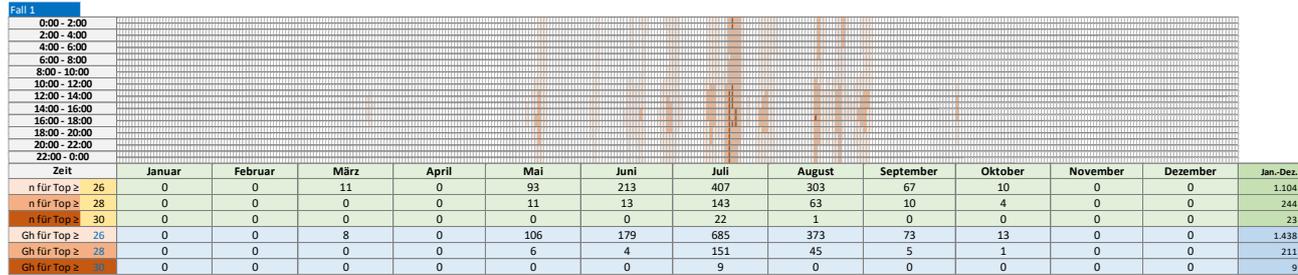


Bild A-57: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 1 gemäß Parameterset in Tabelle A-15

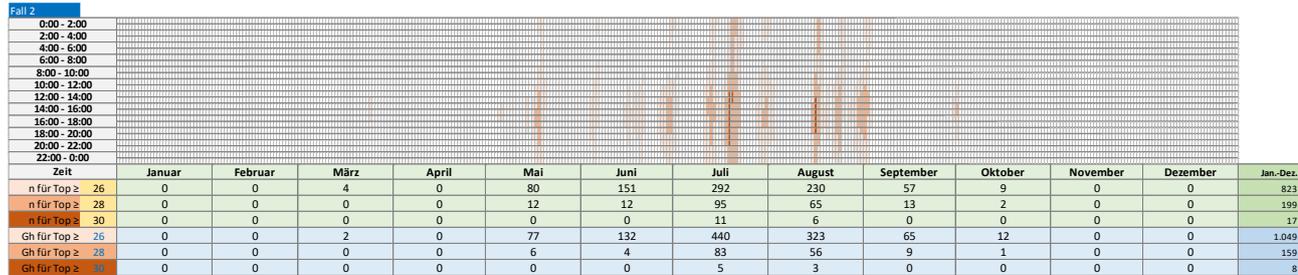


Bild A-58: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 2 gemäß Parameterset in Tabelle A-15

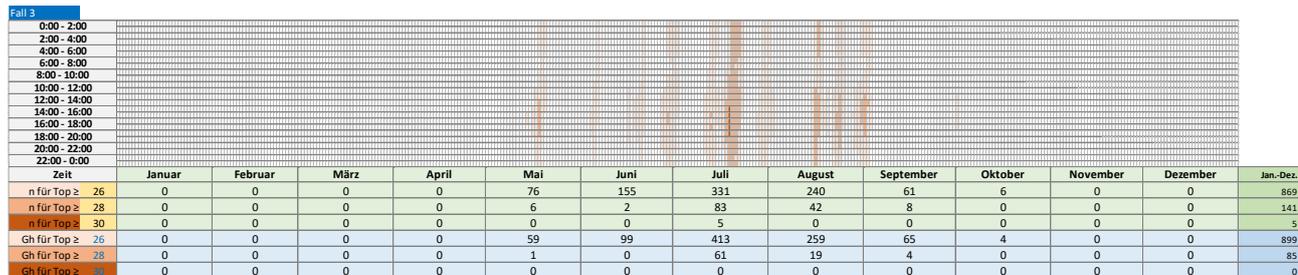


Bild A-59: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 3 gemäß Parameterset in Tabelle A-15

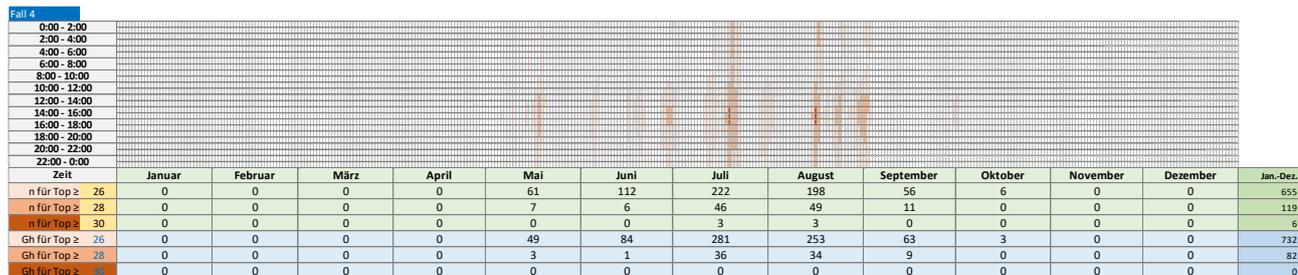


Bild A-60: Isoplethendarstellung zur operativen Temperatur. Auswertungen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden bezogen auf 26, 28 und 30 °C für Fall 4 gemäß Parameterset in Tabelle A-15

Anhang B Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C

Tabelle B-1: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung	F_C			
		$g \leq 0,40$		$g > 0,40$	
		dreifach	zweifach	dreifach	zweifach
1	außenliegend				
1.1	Fensterläden, Rollläden, Markisen (parallel zur Verglasung) (hell bzw. hoch reflektierend ^a)				
1.1.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,12	0,15	0,09	0,09
1.1.2	mittlere Tageslichttransmission ^b	0,16	0,19	0,14	0,14
1.1.3	hohe Tageslichttransmission ^b	0,26	0,28	0,24	0,24
1.2	Fensterläden, Rollläden, Markisen (parallel zur Verglasung) (dunkel bzw. niedrig reflektierend ^a)				
1.2.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,15	0,19	0,09	0,11
1.2.2	mittlere Tageslichttransmission ^b	0,20	0,23	0,14	0,15
1.2.3	hohe Tageslichttransmission ^b	0,29	0,32	0,24	0,25
1.3	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen (hell bzw. hoch reflektierend ^c)				
1.3.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,12	0,15	0,08	0,08
1.3.2	mittlere Tageslichttransmission ^b	0,16	0,19	0,12	0,12
1.3.3	hohe Tageslichttransmission ^b	0,26	0,28	0,22	0,23
1.4	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen (dunkel bzw. niedrig reflektierend ^c)				
1.4.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,15	0,19	0,09	0,11
1.4.2	mittlere Tageslichttransmission ^b	0,20	0,23	0,14	0,15
1.4.3	hohe Tageslichttransmission ^b	0,29	0,32	0,24	0,25
1.5	Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen ^d	0,55	0,55	0,50	0,50

^a Die F_C -Werte für die Kategorie „hell bzw. hoch reflektierend“ gelten für Reflexionsgrade des Sonnenschutzes ($\rho_{e,B}$) von mindestens 0,60. Für geringere Reflexionsgrade bzw. wenn der Reflexionsgrad nicht bekannt ist, sind die Werte der Kategorie „dunkel bzw. niedrig reflektierend“ zu verwenden.

^b Die F_C -Werte für die Kategorie „niedrige Tageslichttransmission“ gelten für Tageslichttransmissionsgrade ($\tau_{v,B}$) des Sonnenschutzes von höchstens 0,05 und für die Kategorie „mittlere Tageslichttransmission“ von höchstens 0,10. Für höhere Tageslichttransmissionsgrade bzw. wenn der Tageslichttransmissionsgrad nicht bekannt ist, ist der Wert für die Kategorie „hohe Tageslichttransmission“ zu verwenden.

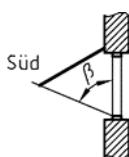
^c Die F_C -Werte der Kategorie „hell bzw. hoch reflektierend“ gelten für Systeme mit Strahlungsreflexionsgraden (ρ_e) der Einzellamelle von mindestens 0,60. Für geringere Strahlungsreflexionsgrade oder wenn der Strahlungsreflexionsgrad nicht bekannt ist, sind die Werte der Kategorie „dunkel bzw. niedrig reflektierend“ zu verwenden.

^d Dabei muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn

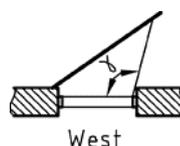
- bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50^\circ$ ist;
- bei Ost- und Westorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 85^\circ$ ist $\gamma \geq 115^\circ$ ist.

Der F_C -Wert darf auch für beschattete Teilflächen des Fensters angesetzt werden. Dabei darf F_C nach DIN V 18599-2:2018-09, A.2, nicht angesetzt werden.

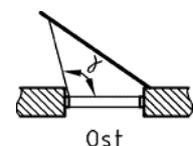
Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von $22,5^\circ$. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $\beta \geq 80^\circ$ erforderlich.



Vertikalschnitt durch Fassade



Horizontalschnitt durch Fassade



Ost

Tabelle B-2: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von Sonnenschutzvorrichtungen im Scheibenzwischenraum des Mehrscheibenisoliertes Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung	F_C	
		$g > 0,40^a$	
		dreifach	zweifach
2	im Scheibenzwischenraum des Mehrscheibenisoliertes		
2.1	Folienrollo		
2.1.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,12	0,14
2.1.2	mittlere Tageslichttransmission ^b	0,16	0,18
2.1.3	hohe Tageslichttransmission ^b	0,25	0,27
2.2	Jalousie, drehbare Lamellen (hell bzw. hoch reflektierend ^c)		
2.2.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,14	0,19
2.2.2	mittlere Tageslichttransmission ^b	0,18	0,22
2.2.3	hohe Tageslichttransmission ^b	0,27	0,31
2.3	Jalousie, drehbare Lamellen (dunkel bzw. niedrig reflektierend ^c)		
2.3.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,18	0,22
2.3.2	mittlere Tageslichttransmission ^b	0,22	0,26
2.3.3	hohe Tageslichttransmission ^b	0,31	0,35
a	Kennwerte für Sonnenschutzvorrichtungen in einer mehrschaligen Konstruktion werden hier nur für Systeme in Verbindung mit Gläsern mit $g > 0,40$ bereitgestellt. Systeme in Verbindung mit Gläsern mit $g \leq 0,40$ erfordern eine detaillierte Ermittlung des F_C -Wertes.		
b	Die F_C -Werte für die Kategorie „niedrige Tageslichttransmission“ gelten für Tageslichttransmissionsgrade ($\tau_{v,B}$) des Sonnenschutzes von höchstens 0,05 und für die Kategorie „mittlere Tageslichttransmission“ von höchstens 0,10. Für höhere Tageslichttransmissionsgrade bzw. wenn der Tageslichttransmissionsgrad nicht bekannt ist, ist der Wert für die Kategorie „hohe Tageslichttransmission“ zu verwenden.		
c	Die F_C -Werte der Kategorie „hell bzw. hoch reflektierend“ gelten für Systeme mit Strahlungsreflexionsgrade ($\rho_{e,B}$) der Einzellamelle von mindestens 0,70. Für geringere Strahlungsreflexionsgrade oder wenn der Strahlungsreflexionsgrad nicht bekannt ist, sind die Werte der Kategorie „dunkel bzw. niedrig reflektierend“ zu verwenden.		

Tabelle B-3: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von Sonnenschutzvorrichtungen im Scheibenzwischenraum einer mehrschaligen Konstruktion (z. B. Verbundfenster, Kastenfenster) Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung	F_C	
		einfach außen + dreifach innen	einfach außen + zweifach innen
3	zwischen den Scheiben liegend in einer mehrschaligen Konstruktion, z. B. Verbundfenster, Kastenfenster		
3.1	Lamellenbehang/Markise/Rollladen (hell bzw. hoch reflektierend ^b)		
3.1.1	niedrige Tageslichttransmission ^c	0,12	0,14
3.1.2	mittlere Tageslichttransmission ^c	0,17	0,18
3.1.3	hohe Tageslichttransmission ^c	0,26	0,28
3.2	Lamellenbehang/Markise/Rollladen (mittlere Reflexion ^b)		
3.2.1	niedrige Tageslichttransmission ^c	0,16	0,19
3.2.2	mittlere Tageslichttransmission ^c	0,21	0,23
3.2.3	hohe Tageslichttransmission ^c	0,30	0,32
3.3	Lamellenbehang/Markise/Rollladen (dunkel bzw. niedrig reflektierend ^b)		
3.3.1	niedrige Tageslichttransmission ^c	0,18	0,24
3.3.2	mittlere Tageslichttransmission ^c	0,22	0,28
3.3.3	hohe Tageslichttransmission ^c	0,31	0,36
a	Kennwerte für Sonnenschutzvorrichtungen in einer mehrschaligen Konstruktion werden hier nur für Systeme in Verbindung mit Gläsern mit $g > 0,40$ bereitgestellt. Systeme in Verbindung mit Gläsern mit $g \leq 0,40$ erfordern eine detaillierte Ermittlung des F_C -Wertes.		
b	Die F_C -Werte für die Kategorie „hell bzw. hoch reflektierend“ gelten für Strahlungsreflexionsgrade ($\rho_{e,B}$) des Sonnenschutzes von mindestens 0,75 (Einzellamelle) bzw. mindestens 0,70 (Markise/Rollladen) und für die Kategorie „mittlere Reflexion“ für Strahlungsreflexionsgrade des Sonnenschutzes von mindestens 0,60 (Einzellamelle) bzw. mindestens 0,60 (Markise/Rollladen). Für geringere Strahlungsreflexionsgrade bzw. wenn der Strahlungsreflexionsgrad nicht bekannt ist, sind die Werte der Kategorie „dunkel bzw. niedrig reflektierend“ zu verwenden.		
c	Die F_C -Werte für die Kategorie „niedrige Tageslichttransmission“ gelten für Tageslichttransmissionsgrade ($\tau_{v,B}$) des Sonnenschutzes von höchstens 0,05 und für die Kategorie „mittlere Tageslichttransmission“ von höchstens 0,10. Für höhere Tageslichttransmissionsgrade bzw. wenn der Tageslichttransmissionsgrad nicht bekannt ist, ist der Wert für die Kategorie „hohe Tageslichttransmission“ zu verwenden.		

Tabelle B-4: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von innenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung	F_C			
		$g \leq 0,40$		$g > 0,40$	
		dreifach	zweifach	dreifach	zweifach
4	innenliegend^a				
4.1	Rollo, Plissee oder Lamellenbehang (weiß oder hoch reflektierend ^b)				
4.1.1	niedrige Tageslichttransmission ^c	0,53	0,51	0,55	0,52
4.1.2	mittlere Tageslichttransmission ^c	0,54	0,52	0,57	0,55
4.1.3	hohe Tageslichttransmission ^c	0,59	0,57	0,61	0,60
4.2	Rollo, Plissee oder Lamellenbehang (hell ^b)				
4.2.1	niedrige Tageslichttransmission ^c	0,61	0,59	0,61	0,59
4.2.2	mittlere Tageslichttransmission ^c	0,62	0,59	0,62	0,61
4.2.3	hohe Tageslichttransmission ^c	0,66	0,64	0,66	0,65
4.3	Rollo, Plissee oder Lamellenbehang (dunkel ^b)				
4.3.1	niedrige Tageslichttransmission ^c	0,73	0,70	0,72	0,69
4.3.2	mittlere Tageslichttransmission ^c	0,73	0,70	0,72	0,70
4.3.3	hohe Tageslichttransmission ^c	0,76	0,74	0,75	0,74
4.4	Rollo, Plissee oder Lamellenbehang (sehr dunkel ^b)				
4.4.1	niedrige Tageslichttransmission ^c	0,85	0,85	0,85	0,80
4.4.2	mittlere Tageslichttransmission ^c	0,85	0,85	0,85	0,80
4.4.3	hohe Tageslichttransmission ^c	0,95	0,95	0,95	0,90
a	Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.				
b	Die F_C -Werte für die Kategorie „hell bzw. hoch reflektierend“ gelten für Strahlungsreflexionsgrade ($\rho_{e,B}$) des Sonnenschutzes von mindestens 0,70, für die Kategorie „hell“ für Strahlungsreflexionsgrade des Sonnenschutzes von mindestens 0,60 und für die Kategorie „dunkel“ für Strahlungsreflexionsgrade des Sonnenschutzes von mindestens 0,45. Für geringere Strahlungsreflexionsgrade bzw. wenn der Strahlungsreflexionsgrad nicht bekannt ist, sind die Werte der Kategorie „sehr dunkel“ zu verwenden.				
c	Die F_C -Werte für die Kategorie „niedrige Tageslichttransmission“ gelten für Tageslichttransmissionsgrade ($\tau_{v,B}$) des Sonnenschutzes von höchstens 0,05 und für die Kategorie „mittlere Tageslichttransmission“ von höchstens 0,10. Für höhere Tageslichttransmissionsgrade bzw. wenn der Tageslichttransmissionsgrad nicht bekannt ist, ist der Wert für die Kategorie „hohe Tageslichttransmission“ zu verwenden.				