



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



BBSR-
Online-Publikation
97/2024

Weiterentwicklung von Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden

von

Prof. Dr. Anton Maas
Dr. Stephan Schlitzberger
Dr. Mario Vukadinovic
Prof. Dr. Martin H. Spitzner
Lutz Dorsch

Weiterentwicklung von Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden

Das Projekt des Forschungsprogramms Zukunft Bau wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 2 „Instrumente zur Emissionsminderung im Gebäudebereich“
Nicolai Domann
nicolai.domann@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Ingenieurbüro Prof Dr. Hauser GmbH, Kassel
Prof. Dr. Anton Maas
Dr. Stephan Schlitzberger
Dr. Mario Vukadinovic
MHS Ingenieurbüro, München
Prof. Dr. Martin H. Spitzner
Dipl.-Ing. (FH) Lutz Dorsch, M.BP.

Gestaltung

Ingenieurbüro Prof Dr. Hauser GmbH, Kassel
Dr. Mario Vukadinovic

Stand

Juni 2024

Bildnachweis

Titelbild: Alexander Grey, unsplash.com

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Weiterentwicklung von Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden. BBSR-Online-Publikation 97/2024, Bonn.

ISSN 1868-0097

Bonn 2024

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	12
1 Projektdarstellung und Zielsetzung	17
2 Status quo der Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz	20
2.1 Klimarandbedingungen	20
2.2 Anforderungssystematik und Nachweisstruktur	20
2.3 Wechselwirkungen sommerlicher Wärmeschutz und Tageslichtqualität	21
2.4 Wechselwirkungen sommerliches und winterliches Wärmeverhalten	21
2.5 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz bei gekühlten Räumen	21
2.6 Differenziertere Abbildung unterschiedlicher Nutzungen	22
2.7 Umgang mit „besonderen Raumsituationen“	22
2.8 Möglichkeiten der Nachweisbefreiung	22
2.9 Herstellen einer Kongruenz zwischen Vorwort und Anwendungsbereich der DIN 4108-2	23
3 Klimadaten	24
3.1 Übersicht der infrage kommenden Klimadaten	24
3.2 Neuerungen, Eigenschaften und Alleinstellungsmerkmale der TRY 2045	25
3.3 Einfluss des Starttages auf die Auswertung der Simulationsrechnung	29
3.4 Mögliche Aufteilung von Sommerklimaregionen anhand der Außenlufttemperatur	31
3.5 Ost-West-Problematik innerhalb der Schnittstelle TRY-Klimadaten und Simulationssoftware	33
3.6 Zusammenfassung	35
4 Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz	36
4.1 Mögliche neue Struktur der Anforderungssystematik	36
4.2 Methodisches Vorgehen zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes	40
4.3 Differenzierung Nutzungen	43
4.4 Zusammenfassung	51
5 Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 Empfehlung für künftige Anforderung	53
5.1 Wohnnutzung	53
5.2 Nichtwohnnutzung - Übertemperaturgradstunden $G_{h25/26/27}$ im Vergleich zu Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$	63
5.3 Zusammenfassung	67
6 Rechenrandbedingungen für die Nachweisführung mittels Simulationsrechnung	68
6.1 Temperaturrandbedingungen in angrenzenden Bereichen	68
6.2 Betriebsweise Sonnenschutz	70
6.3 Rahmenanteil, Herleitung eines Korrekturfaktors für den Verglasungsanteil	71
6.4 Natürliche Lüftung	76
6.5 Passive Kühlung	82
6.6 Neue Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c	91
6.7 Zusammenfassung	97

7	Verfahrensanpassungen	99
7.1	Umgang mit besonderen Raumsituationen	99
7.2	Erweiterung und Neukalibrierung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens	102
7.3	Zusammenfassung	105
8	Überprüfung des Nachweisverfahrens zur Anwendung auf bestehende Gebäude	107
8.1	Randbedingungen für exemplarische Auswertungen	108
8.2	Ausgewählte Ergebnisse	111
8.3	Zusammenfassung	113
9	Weitere Schritte/Handlungsbedarf	114
	Literaturverzeichnis	115
	Abbildungsverzeichnis	117
	Tabellenverzeichnis	121

Kurzfassung

Klimatische Veränderungen, welche zu erhöhten und zeitlich verlängerten sommerlichen Temperaturbelastungen in Gebäuden führen, erfordern eine Überarbeitung des bisherigen Nachweisverfahrens und der Anforderungssystematik des sommerlichen Wärmeschutzes von Gebäuden. Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgt eine intensive Auseinandersetzung mit dem sommerlichen Wärmeverhalten unter Berücksichtigung des weiter voranschreitenden Klimawandels. Hieraus werden Vorschläge für die Fortschreibung der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes abgeleitet. Hierzu gehört einerseits die Untersuchung, welche Möglichkeiten für den Ansatz aktualisierter Klimarandbedingungen bestehen und andererseits auch die Überprüfung der gegenwärtigen Anforderungsgröße und -höhe. Neben der Entwicklung von Vorschlägen zur Anforderungssystematik werden auch weitergehende Vorschläge zur Verbesserung der normativen Vorgaben und Randbedingungen ausgearbeitet.

Außerdem werden Untersuchungen angestellt, welche die bisherige Nachweisführung im Kontext neuer Erkenntnisse analysieren, um vorhandene Defizite zu identifizieren. Im Weiteren werden diese Defizite aufgegriffen und systematisch diskutiert. Es stellt sich heraus, dass die bisherige Anforderungssystematik sowohl im Simulationsverfahren als auch im Sonneneintragskennwerteverfahren veraltet ist und insbesondere hinsichtlich klimatischer Veränderungen überarbeitet werden sollte. Die im Jahr 2017 vom Deutschen Wetterdienst veröffentlichten Klimadaten vereinen die DWD TRY 2015 (Vergangenheit) und die DWD TRY 2045 (Zukunft). Diese TRY sind von zentraler Bedeutung, da sie aufgrund der besonders starken Wirkung auf die Anforderungssystematik einen wesentlichen Einfluss haben. Es werden Überlegungen angestellt, wie weiter differenzierte Nutzungsprofile aussehen können. Hinsichtlich der Anforderungssystematik werden Überlegungen angestellt, ob und wie etablierte Methoden der Komfortbewertung in die Anforderungssystematik übernommen werden können.

Im Bereich der Rechenrandbedingungen liegt das Augenmerk auf der Formulierung von Temperaturrandbedingungen, der Betriebsweise des Sonnenschutzes und der Differenzierung der Fensterrahmenanteile. Weitere Diskussionen behandeln die Höhe der Nachtlüftung, die Umsetzung einer möglichen passiven Kühlung und Anhaltswerte für die Abminderungsfaktoren „F_C-Werte“ von Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis. Weiterhin wird überprüft, welche Voraussetzungen für die Neukalibrierung des Sonneneintragskennwerteverfahrens gegeben sein müssen, um auch für eine neue Anforderungssystematik ein vereinfachtes Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz anbieten zu können. Auch eine Bewertung zur Übertragung der Nachweissystematik auf bestehende Gebäude ist Gegenstand der Bearbeitung.

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Bearbeitung zusammenfassend dargestellt.

Klimadaten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Für eine künftige Fassung der DIN 4108-2 wird empfohlen, für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes die Verwendung von Zukunftsklimadaten vorzuschreiben. Gegenwärtig wären die TRY 2035 relevant, die zusammen mit den im Jahr 2011 veröffentlichten Klimadaten TRY 2010 herausgegeben wurden. Alternativ kommen die neueren TRY 2045 infrage. Da jedoch für die kurzfristig anstehende Novellierung der DIN 4108-2 eine grundsätzliche Umstellung der Anforderungssystematik nicht vorgesehen ist, wird empfohlen, die Anforderung im dann folgenden Novellierungsschritt der DIN 4108-2 auf die nächste Version der ortsgenauen TRY abzustellen, die zurzeit vom Deutschen Wetterdienst erarbeitet wird. Aus der aktuellen Perspektive erscheint eine Anwendung der TRY 2035 zunächst vorteilhaft, weil sie zum einen den Klimawandel in einem dreißigjährigen Nutzungszyklus ab Beginn der 2020er-Jahre im Mittel abbilden und zum anderen sind die TRY 2035 konform zur Regionalisierung der gegenwärtig verwendeten TRY 2010 gültig. Hinsichtlich der Abstufung, die sich zwischen den Sommerklima-Referenzstandort-TRY ergibt, ist eine normative Verwendung der TRY 2035 im direkten Austausch zu den TRY 2010 allerdings nicht empfehlenswert. Ebenso wird seitens DWD auf die Verwendung der jeweils aktuellen Klimadaten verwiesen.

Im Kontext der DIN 4108-2:2013-02 erlauben die TRY 2015 und die TRY 2045 Klimadatensätze leider keine hochaufgelöste Verwendung aller TRY hinsichtlich einer Anwendung in der gegenwärtig verwendeten Nachweissystematik. Alternativ dazu bietet sich die Verwendung der Standorte der bisherigen Repräsentanzstationen an. Diese beinhalten die sogenannten TRY-Basisdaten, welche als „Stützpunkte“ des flächendeckenden Rasters fungieren und somit besondere Standorte darstellen, da die beschriebenen Klimatelemente keiner Interpolation unterworfen sind. Dabei wird auf den TRY 2045 Datensatz verwiesen, da dieser (wie auch die TRY 2035) den Klimawandel in einem dreißigjährigen Nutzungszyklus zu Beginn der 2020er-Jahre im Mittel abbildet und diese Datensätze ebenfalls konform zur Regionalisierung der gegenwärtig verwendeten TRY 2010 verwendet werden können. Zusammenfassend handelt es sich um die drei TRY 2045 Jahre der Stationsstandorte Rostock (wird im Zuge weiterer Auswertungen durch Standort Hof ersetzt), Potsdam und Mannheim. Diese TRY 2045 sind hinsichtlich der Abstufung, die sich zwischen den Sommerklima-Referenzstandort-TRY ergibt, sauberer getrennt und erscheinen im Vergleich zu den TRY 2035 somit geeigneter und werden auch durch den DWD empfohlen.

Stadtklimaeffekte können erst in einer angepassten Anforderungssystematik berücksichtigt werden, wenn zeitlich und örtlich konsistente Klimadaten zur Verfügung stehen. Die Erstellung solcher Klimadaten erfolgt zurzeit durch den Deutschen Wetterdienst, wobei die Fertigstellung für das Jahr 2024 anvisiert wird. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, in einer neuen Anforderungssystematik einen ortsbezogenen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes unter Verwendung der novellierten TRY-Daten zu etablieren. Diese Empfehlung steht in Verbindung mit der weiteren Empfehlung, als Anforderungsgröße künftig die Überschreitungshäufigkeit der Kategorie II aus der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 zu verwenden. Hierdurch würde einerseits eine flächendeckend einheitliche und ortsbezogene Nachweisführung erreicht und andererseits würde durch die Verwendung von Zukunftsklimadaten eine auf den weiter voranschreitenden Klimawandel ausgerichtete Planung und Ausführung von Gebäuden gefördert bzw. sichergestellt.

Anforderungssystematik

In Bezug auf die Fortschreibung der Anforderungssystematik lassen sich die durchgeführten Untersuchungen wie folgt zusammenfassen:

- **Rechtliche Verankerung:** Die rechtliche Verankerung des Nachweises zum sommerlichen Wärmeschutz wird in § 14 des Gebäudeenergiegesetzes 2020 geregelt: „Ein Gebäude ist so zu errichten, dass der Sonneneintrag durch einen ausreichenden baulichen sommerlichen Wärmeschutz nach den anerkannten Regeln der Technik begrenzt wird.“ Die normativen Definitionen werden in den Absätzen 2 und 3 jeweils verfahrensweise definiert. Darüber hinaus wird in Absatz 4 eine Ausnahme dargestellt, welche hinsichtlich des Wirtschaftlichkeitsgebotes auch Kühlungen zulässt.
- **Struktur der Anforderungssystematik:** In der gegenwärtigen Fassung der DIN 4108-2 werden Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz für Aufenthaltsräume bzw. beheizte Räume formuliert. Ob und in welchem Umfang hierbei in Räumen, für die planmäßig eine anlagentechnische Kühlung vorgesehen ist, bauliche Maßnahmen zur Verringerung des Energieeinsatzes für Kühlung umzusetzen ist, wird in der aktuellen Fassung der DIN 4108-2 nicht klar benannt. Weiterhin werden keine Anforderungen an Räume gestellt, die zwar keine Aufenthaltsräume sind, aber an Aufenthaltsräume angrenzen (z. B. Treppenhäuser oder Atorien). Auch für gekühlte Nichtaufenthaltsräume, wie z. B. Serverräume, werden keine Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz formuliert. Ergebnis der Projektbearbeitung ist ein Vorschlag für eine qualitative Erweiterung der Anforderungssystematik, wobei die bislang nicht hinreichend adressierten Situationen erfasst werden. Diese Erweiterung wird anhand von Fallbeispielen erläutert.
- **Anforderungsgröße und -höhe:** Sollen im Rahmen der Anforderungssystematik künftig Zukunftsklimadaten verwendet werden, ergibt sich die Notwendigkeit, die Weiterverwendung der bisherigen Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden auf den Prüfstand zu stellen. Die Ergebnisse der hierzu durchgeführten Untersuchungen führen zu der Empfehlung, bei der Fortschreibung der Anforderungssystematik methodisch auf die Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 umzustellen. Es wird empfohlen, als Anforderungsgröße künftig die Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Komfortstufe II ($n_{\text{Kat.II}}$) zu etablieren.

Hinsichtlich der Anforderungshöhe wird empfohlen, bezogen auf die tatsächliche Nutzungszeit eine höchstens zulässige prozentuale Überschreitung der Obergrenzen der Komfortstufe II zu formulieren. Auswertungen im Vergleich zur gegenwärtigen Anforderungsgröße und Anforderungshöhe zeigen, dass die zulässige Überschreitungshäufigkeit zwischen 3 und 5 % der Nutzungszeit betragen sollte.

- **Differenzierung Nutzungen:** Die exemplarischen Auswertungen unter Zugrundelegung unterschiedlicher Nichtwohnnutzungsprofile zeigen, dass abhängig von den fallweise angesetzten Randbedingungen (interne Wärmequellen, Mindest-Außenluftvolumenstrom, Nutzungszeiten) sehr unterschiedliche thermische Beanspruchungen der Räume resultieren und diese Heterogenität der Nutzungen durch die Vorgabe einer "Standard-Nichtwohnnutzung" gemäß DIN 4108-2 nicht hinreichend beschrieben wird. Im Sinne einer zielführenden und den tatsächlichen Nutzungsrandbedingungen gerecht werdenden Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz sollte die Anforderungssystematik künftig eine differenziertere Behandlung der Nichtwohnnutzung ermöglichen. Bevor die Anforderungssystematik aber hinsichtlich einer weitergehenden Differenzierung der Nichtwohnnutzung fortgeschrieben werden kann, muss zunächst eine grundsätzliche Überarbeitung der Anforderungssystematik hinsichtlich Anforderungsgröße und Anforderungshöhe erfolgen. Erst, wenn dahingehend von Seiten des zuständigen Normenausschusses eine Festlegung getroffen wurde, können ausgehend von der bisherigen Standard-Nichtwohnnutzung Vorschläge für eine weitergehende Differenzierung ausgearbeitet werden.

Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1

Die durchgeführten Untersuchungen führen zu der Empfehlung, bei der Fortschreibung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz eine Umstellung der Anforderungsgröße auf Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ nach DIN EN 16798-1 im Zusammenhang mit der Vorgabe von Zukunftsklimadaten vorzunehmen. Diese Empfehlung ist im Wesentlichen darin begründet, dass es sich bei der DIN EN 16798-1 um ein etabliertes und anerkanntes Verfahren zur Bewertung des thermischen Komforts handelt. Es ermöglicht einerseits die Fortschreibung der Anforderungen unter Einbeziehung des Klimawandels und insofern das „Abstellen“ der Anforderung auf ggf. in aktualisierter Fassung herausgegebene Klimadaten, ohne dass eine Anpassung der Anforderungssystematik selbst erforderlich ist. Für die gegenwärtige Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden und Anforderungshöhe (1.200 Kh/a bei Wohnnutzung und 500 Kh/a bei Nichtwohnnutzung) wäre dies nicht gegeben. Darüber hinaus ermöglicht die Umstellung der Anforderungssystematik auf DIN EN 16798-1 prinzipiell die Möglichkeit einer standortbezogenen Nachweisführung, was insbesondere für die Erfassung der städtischen Wärmeinseln als besonders thermisch beanspruchte Regionen eine sinnvolle Verbesserung der Nachweisführung darstellen würde.

Hinsichtlich der Formulierung einer geeigneten Anforderungshöhe sind allerdings weitergehende Untersuchungen erforderlich, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

- Durchführung von weitergehenden Auswertungen zur Korrelation der Größen $G_{h_{25/26/27}}$ und $n_{\text{Kat.II}}$ unter Ansatz der TRY 2010 für den Anwendungsfall Wohnnutzung und Identifizierung der konkreten Abhängigkeiten und Ausarbeitung einer Begründung für die relativ großen Bandbreiten in der Entsprechung der $n_{\text{Kat.II}}$ -Ergebnisse für Fälle, mit denen die gegenwärtige Übertemperaturgradstundenanforderung eingehalten wird.
- Durchführung von Auswertungen zur Korrelation der Größen $G_{h_{25/26/27}}$ und $n_{\text{Kat.II}}$ unter Ansatz der TRY 2010 für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung
- Quantifizierung der Auswirkung einer Umstellung der Klimadaten von den TRY 2010 auf die TRY 2045 sowohl für Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung. Hierbei sollte in einem ersten Schritt eine Auswertung für alle 15 Repräsentanzstationen der TRY 2010 im Vergleich zu den TRY 2045 derselben Standorte erfolgen. Diese Auswertungen sollten auf die Anforderungsgröße $n_{\text{Kat.II}}$ beschränkt werden, die Veränderungen der $n_{\text{Kat.II}}$ -Werte infolge der Umstellung der Klimadaten beschreiben. Auf Grundlage dieser Auswertungen kann eine fundierte Empfehlung in Bezug auf eine geeignete Anforderungshöhe formuliert werden.

- In weiteren Bearbeitungsschritten können die Auswertungen auf die Zukunftsklimadaten beschränkt werden. Hierbei sollte der Fokus dann auf eine möglichst umfassende Auswertung der ggf. schon in überarbeiteter Form vorliegenden ortsgenauen neuen Testreferenzjahre liegen. Insbesondere Simulationsrechnungen für städtisches Klima im Vergleich zu Simulationen für ländliches Klima sollten aufzeigen, dass der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz künftig unter Ansatz von ortsgenauen Klimadaten und auf Grundlage der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 erfolgen sollte.

Rechenrandbedingungen für die Nachweisführung mittels Simulationsrechnungen

Die Auseinandersetzung mit den für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zugrunde zu legenden Rechenrandbedingungen führt zu den im Folgenden zusammengefassten Empfehlungen bei der Fortschreibung der DIN 4108-2:

- **Temperaturrandbedingungen in angrenzenden Bereichen**
Die praktische Nachweisführung über thermische Simulationsrechnung erfolgt in der Regel für Einzelraumsimulationen. Zusätzlich zu den an Außenluft angrenzenden Räumen sind hierbei die Temperaturrandbedingungen aller raumumschließenden Bauteile bei der Simulation festzulegen. Die gegenwärtige Fassung der DIN 4108-2 formuliert hierzu keine klaren Vorgaben oder Empfehlungen, sodass im Rahmen der Projektbearbeitung für die angrenzenden Situationen „Erdreich unter Bodenplatte“, „unbeheizte Kellerräume“, „Tiefgarage“ sowie „unbeheizter Dachraum“ Vorschläge für entsprechende Ansätze erarbeitet wurden.
- **Betriebsweise Sonnenschutz**
Die Vorgabe für den rechnerischen Ansatz zur Betriebsweise eines Sonnenschutzes ist in der aktuellen Fassung der DIN 4108-2 unvollständig bzw. nicht eindeutig. Ein entsprechender Vorschlag zur textlichen Anpassung wurde erarbeitet.
- **Rahmen- und Glasanteil eines Fensters**
Zum Zeitpunkt der Nachweisführung für die Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Bauantragstellung) sind in der Regel genaue Informationen zum Rahmen- und Glasanteil eines Fensters noch nicht bekannt. Um für diesen Zeitpunkt bereits möglichst gute und mit der späteren Ausführung übereinstimmende Ansätze in den Berechnungen zugrunde zu legen, liefern die im Zuge der Bearbeitung entwickelten Vorschläge eine wertvolle Hilfestellung, die direkt in eine Neufassung der DIN 4108-2 übernommen werden kann.
- **Lüftung/Nachtlüftung**
Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgt eine intensive Auseinandersetzung mit den Potenzialen der Lüftung hinsichtlich der Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens. Während die aktuellen Vorgaben der DIN 4108-2 in Bezug auf die rechnerisch anzusetzenden Luftwechsel stark vereinfachte Ansätze und Rechenregeln formuliert und dabei nicht auf tatsächlich vorhandene Lüftungsquerschnitte eingeht bzw. keine geometrischen Vorgaben macht, um die rechnerisch anzusetzenden Luftwechsel im realen Betrieb auch zu erreichen, zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass eine genauere Betrachtung der Lüftungsquerschnitte durchaus sinnvoll sein kann. Als Ergebnis der Untersuchung kann festgehalten werden, dass die bestehenden Ansätze grundsätzlich beibehalten werden können, wobei ggf. zusätzlich Mindestöffnungsmaße für Fenster vorgegeben werden sollten. Grundsätzlich sollte aber eine Öffnung in Bezug auf genauere Rechenverfahren eingeführt werden. Hierdurch würde einerseits erreicht, dass eine fallweise durchgeführte Optimierung auch im Ergebnis der Simulationsrechnung „sichtbar“ wird. Andererseits würde das Ergebnis der Simulationsrechnung besser mit den realen geometrischen Verhältnissen in Einklang gebracht.
- **Passive Kühlung**
Nach aktueller Fassung der DIN 4108-2 besteht grundsätzlich die Möglichkeit, den positiven Einfluss einer passiven Kühlung auf das sommerliche Wärmeverhalten zu berücksichtigen. Es wird lediglich formuliert, dass der Ansatz zulässig ist und entsprechend dokumentiert werden muss. Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgt zunächst die Definition eines Anforderungswertes ($EER_{\text{passiv}} > 50$), den ein System erreichen

muss, um als passive Kühlung im Sinne der Norm zu gelten. Für die Systeme „Kühlung mit Grundwasser“, „Kühlung über Erdsonden“ und „Kühlung über Luft-Erdreich-Wärmeübertrager“ werden entsprechende Hilfestellung bereitgestellt, die bereits in frühen Planungsphasen als systemische Voraussetzungen die Eingangsinformationen für eine weitergehende Auslegung der passiven Kühlung bereitstellen.

- Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c

Es werden Vorschläge für neue Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c informativ dargestellt. Diese Anhaltswerte sind das Ergebnis eines durch das Ingenieurbüro Hauser gemeinsam mit dem ift Rosenheim im Auftrag des Verband Fenster und Fassade (VFF) durchgeführten Projekt. Das Projektergebnis ist ein Vorschlag zur Revision der gegenwärtig in DIN 4108-2 bereitgestellten „Tabelle 7 - Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis“. Der Vorschlag wurde dem zuständigen Normenausschuss im Rahmen der aktuellen Projektbearbeitung vorgestellt und wird diesseits grundsätzlich befürwortet, sodass von einer Aufnahme in eine künftige Fassung der DIN 4108-2 ausgegangen werden kann. Die Verwendung der Anhaltswerte ist nicht beschränkt auf die thermische Simulationsrechnung, sondern ebenfalls anwendbar für das Sonneneintragskennwertverfahren.

Verfahrensanpassungen und Erweiterung und Neukalibrierung Sonneneintragskennwertverfahren

Sowohl für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes über Simulationsrechnungen als auch für die Anwendung des Sonneneintragskennwert-Verfahrens wurden im Rahmen der Projektbearbeitung Vorschläge für Verfahrensanpassungen erarbeitet. Die folgenden Ausführungen fassen die Ergebnisse der Bearbeitung zusammen:

- **Umgang mit besonderen Raumsituationen**
Für zahlreiche praxisrelevante Anwendungsfälle enthält die aktuelle Fassung der DIN 4108-2 keine konkreten Vorgaben bezüglich der rechnerischen Modellierung. Deshalb werden für besondere Raumsituationen, wie z. B. „besonders tiefe und/oder besonders breite Räume“, „Hallenbauten“, „geschossübergreifende Raumsituationen“ und „Räume mit beheizten oder unbeheizten Glasvorbauten“ Vorschläge für künftige Vorgaben, Hilfestellungen und Hinweise zur Modellierung erarbeitet und bereitgestellt.
- **Erweiterung und Neukalibrierung des Sonneneintragskennwert-Verfahrens**
Die Neukalibrierung der Sonneneintragskennwerte im Kennwertverfahren kann grundsätzlich erst erfolgen, wenn die Anforderungssystematik selbst in Bezug auf Klimadaten, Anforderungsgröße und Anforderungshöhe überarbeitet wurde. Die bestehende Struktur des Kennwertverfahrens soll dabei möglichst erhalten und ggf. um sinnvolle Elemente (z. B. weitergehende Differenzierung in Bezug auf passive Kühlung) ergänzt werden.
Neben der Überarbeitung der Anforderungssystematik ist auch die Fortschreibung der Simulationsrandbedingungen für die Neukalibrierung des Kennwertverfahrens von hoher Bedeutung, da die Ergebnisse von Kennwertverfahren und Simulationsrechnung auf denselben Randbedingungen basieren müssen. Da sowohl die Systematik der Anforderungen als auch die Bedingungen für die Simulation noch nicht endgültig festgelegt und im zuständigen Normenausschuss bestätigt wurden, war es im Rahmen dieses Projekts nicht möglich, das Sonneneintragskennwertverfahren weiter zu bearbeiten bzw. neu zu kalibrieren. Unabhängig von der nicht erfolgten Neukalibrierung wurde ein Vorschlag zur Verfahrensumstellung von der Fensterfläche auf die Glasfläche erarbeitet und zur direkten Übernahme in die Norm bereitgestellt.

Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes im Bestand

Die Auswertungen für das Wohnzimmer und das Schlafzimmer zeigen, dass mit einem reinen Fenstertausch unter Beibehaltung der Ausgangsfenstergrößen keine nennenswerte Verschlechterung des sommerlichen Wärmeverhaltens einhergeht. Erfolgt allerdings eine Sanierung des Gesamtgebäudes bis hin zum Effizienzhaus, wobei gegebenenfalls sogar Fenstervergrößerungen vorgenommen werden, so können die Anforderungen teilweise nur dann eingehalten werden, wenn ein wirksamer Sonnenschutz vorgesehen wird und zugleich eine erhöhte Nachtlüftung unterstellt ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn für die Simulationsrechnungen ein Klimadatensatz verwendet wird, durch den der weiter voranschreitende Klimawandel beschrieben ist. Vor diesem Hintergrund sollten in die öffentlich-rechtliche Anforderungssystematik auch Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz bei umfassenden Sanierungen aufgenommen werden. Konkrete Ausgestaltungen der Anforderungen sollten dann formuliert werden, wenn die Anforderungssystematik selbst auf eine neue Anforderungsgröße und -höhe umgestellt ist.

Abstract

Climatic changes, which lead to increased and prolonged summer temperature loads, require a revision of the assessment procedure and the requirements for summer heat protection of buildings as they are currently regulated in German standards. Within the scope of this project, an intensive examination of the summer thermal behavior was carried out, taking into account the ongoing climate change. Proposals for updating the system of requirements under public law for the verification of summer heat protection are derived from this. This includes, on the one hand, the investigation of the possibilities for the application of updated climate boundary conditions and, on the other hand, the review of the current size and level of requirements. In addition to the development of proposals for the system of requirements, further proposals for the improvement of normative specifications and boundary conditions are elaborated.

In addition, investigations are carried out which analyze the previous evidence in the context of new findings in order to identify existing deficits. These deficits are then taken up and systematically discussed. It turns out that the previous requirements system is outdated, both in the simulation procedure and in the solar input characteristic value procedure, and should be revised, especially regarding climatic changes. The climate data published by the German Weather Service (DWD) in 2017 combine the DWD TRY 2015 (past) and the DWD TRY 2045 (future). These TRYs are of key importance because of their particularly strong impact on the set of requirements. Considerations are made as to how further differentiated usage profiles could look like. With respect to the requirements system, considerations are being given to whether and how established methods of comfort assessment can be incorporated into the requirements system.

For the boundary conditions, the focus is on the formulation of temperature boundary conditions, the mode of operation of solar shading, and the variation of window frame proportions. Further discussions deal with night ventilation, the implementation of a possible passive cooling, and reference values for the reduction factors "F values" of solar shading devices depending on the glass product. Furthermore, it is examined which prerequisites must be met for the recalibration of the current simplified proofing method (solar input characteristic value procedure) in order to be able to offer a revised simplified verification procedure for summer heat protection in a new system of requirements. Evaluation of a possible transfer of the verification system to existing buildings in case of major renovation is also part of the project.

Climate data for the requirements system for summer heat protection

For a future version of DIN 4108-2, it is recommended to prescribe the use of future climate data for the verification of summer thermal insulation. Currently, TRY 2035 would be relevant, which were issued together with the climate data TRY 2010 published in 2011. Alternatively, the more recent TRY 2045 could be considered. However, since a fundamental change in the requirements system will not be possible for the upcoming amendment of DIN 4108-2 in the short term, it is recommended that the requirement in the then following amendment of DIN 4108-2 be based on the next version of locally accurate TRYs, which are currently being developed by the German Weather Service. From the current perspective, an application of TRY 2035 seems advantageous for the time being because, on the one hand, they represent climate change in a thirty-year utilization cycle from the beginning of the 2020s on average and, on the other hand, the TRY 2035 are valid in conformity with the regionalization of the currently used TRY 2010. Regarding the gradation, which results between the summer climate reference site TRY, a normative use of TRY 2035 in direct exchange to TRY 2010 is not recommendable. Likewise, DWD refers to the use of the respective current climate data.

In the context of DIN 4108-2:2013-02, the TRY 2015 and TRY 2045 climate datasets unfortunately do not allow a high-resolution use of all TRYs with respect to an application in the currently used verification system. An alternative is to use the locations of the previous representative stations. These contain the so-called TRY base data, which act as "support points" of the area-wide grid and thus represent special locations, since the described climate elements are not subject to interpolation. Reference is made to the TRY 2045 dataset because (like TRY 2035) it averages climate change over a thirty-year use cycle at the beginning of the 2020s, and these datasets can also be used conforming to the regionalization of the currently used TRY 2010. In summary, these

are the three TRY 2045 years of the station sites Rostock (replaced by site Hof during further evaluations), Potsdam and Mannheim. These TRY 2045 are more cleanly separated in terms of the gradation that occurs between the summer climate reference site TRYs and thus appear more appropriate when compared to TRY 2035. They are recommended by DWD in direct comparison to TRY 2035.

Urban climate effects can only be taken into account in an adapted requirements system when climate data that are consistent in terms of time and location are available. Such climate data are currently being compiled by the German Meteorological Service, with completion targeted for 2024. Against this background, it is recommended to establish a location-specific requirement systematic of summer heat protection using the amended TRY data in a new requirements system. This recommendation is connected with the further recommendation to use the exceedance frequency of category II from the comfort evaluation according to DIN EN 16798-1 as a requirement variable in the future. On the one hand, this would achieve uniform and location-specific verification across the board, and on the other hand, the use of future climate data would promote and ensure the planning and execution of buildings that are fit for the ongoing climate change.

Requirements system

Regarding the updating of the requirements system, the studies carried out can be summarized as follows:

- **Legal anchoring:** The legal anchoring of the proof of summer heat protection is regulated in § 14 of the Building Energy Act 2020: "A building shall be constructed in such a way that the solar input is limited by sufficient structural summer thermal protection according to the recognized rules of technology." The normative definitions are defined procedurally in each of paragraphs 2 and 3. In addition, an exception is presented in paragraph 4, which also allows cooling within the economic efficiency requirement.
- **Structure of the requirements system:** In the current version of DIN 4108-2, requirements are formulated for summer heat protection for living spaces and heated rooms. The current version of DIN 4108-2 does not clearly state whether and to what extent structural measures to reduce energy consumption for cooling are to be implemented in rooms for which mechanical cooling is planned. Furthermore, no requirements are formulated for rooms that are not recreational rooms but are adjacent to recreational rooms (e. g. stairwells or atriums), nor are any requirements formulated for summer heat protection for cooled non-occupancy rooms, such as server rooms. The result of the project is a proposal for a qualitative extension of the requirements system, whereby the situations that have not yet been adequately addressed are included. This extension is explained by means of case studies.
- **Requirement size and level:** With reference to the proposal to base the requirements system on future climate data regarding the climatic boundary conditions to be used for the verification of summer heat protection, it is necessary to review the continued use of the previous requirement variable of overtemperature degree hours. The results of the investigations carried out in this regard lead to the recommendation to switch methodically to a comfort evaluation according to DIN EN 16798-1 in the further development of the requirements system. It is recommended to establish the exceeding frequencies of the upper limits of comfort level II ($n_{Kat,II}$) as a requirement variable in the future. Regarding the level of the requirement, it is recommended to formulate a maximum permissible percentage exceedance of the upper limits of comfort level II in relation to the actual time of use. Evaluations in comparison with the current requirement size and level show that the permissible time of exceedance should be between 3 and 5 percent of the time of use.
- **Differentiation of usage profiles:** The exemplary evaluations based on different non-residential use profiles show that, depending on the boundary conditions applied in each case (internal heat sources, minimum outside air volume flow, times of use), very different thermal loads apply to the rooms. This heterogeneity of uses is not adequately reflected in the specification of a single "standard non-residential use" profile as currently described by DIN 4108-2. In order to ensure that proof of summer heat protection is effective and does justice to the actual usage conditions, the system of requirements should enable a more differentiated treatment of non-residential use in the future. However, before the system of requirements can be updated with a further differentiation of non-residential uses, the system of requirements must first be fundamentally revised with respect to size and level of the requirements. Only when a determination has been

made by the standardization committee responsible, proposals for further differentiation may be drawn up based on the previous standard non-residential use.

Comfort rating according to DIN EN 16798-1

The investigations lead to the recommendation that, when updating the requirements for summer heat protection, the requirement variable should be changed to exceedance frequencies $n_{\text{Kat.II}}$ according to DIN EN 16798-1, in connection with the specification of future climate data. The main reason for this recommendation is that DIN EN 16798-1 is an established and recognized procedure for evaluating thermal comfort. On the one hand, it allows the requirements to be easily updated to take account of climate change and thus to "adjust" the requirement to any updated version of the climate data that may be published, without the requirement system itself having to be adapted. This would not be the case for the current requirement variable of over-temperature degree hours and requirement level (1,200 Kh/a for residential use and 500 Kh/a for non-residential use). On the other hand, a changeover of the requirements system to DIN EN 16798-1 would additionally allow for the possibility of site-specific verification, which would represent a useful improvement in verification, especially for urban heat islands as particularly thermally stressed regions.

However, regarding the formulation of a suitable requirement level, further investigations are necessary, which are briefly described below:

- Conduct more extensive evaluations of the correlation of the Gh25/26/27 and $n_{\text{Kat.II}}$ variables using the 2010 TRY for the residential use case and identify the specific dependencies and develop a rationale for the relatively wide ranges in the correspondence of the $n_{\text{Kat.II}}$ results for cases meeting the current excess temperature degree hour requirement.
- Carry out evaluations on the correlation of the variables Gh25/26/27 and $n_{\text{Kat.II}}$ using TRY 2010 for the application case of non-residential use.
- Quantify the impact of switching climate data from TRY 2010 to TRY 2045 for both residential and non-residential uses. Here, the first step should be an evaluation for all 15 representative stations of the TRY 2010 compared to the TRY 2045 of the same locations. These evaluations should be limited to the requirement variable $n_{\text{Kat.II}}$ and describe the change of the $n_{\text{Kat.II}}$ values due to the conversion of the climate data. Based on these evaluations, a sound recommendation can be formulated regarding an appropriate requirement level.
- In further processing steps, the evaluations may be limited to future climate data. The focus should then be on a comprehensive evaluation of the new test reference years, which may already be available in a revised form. In particular, simulations for urban climates compared to simulations for rural climates should prove that the verification of summer heat protection in the future should be carried out using locally accurate climate data and based on the comfort rating according to DIN EN 16798-1.

Calculation of boundary conditions for verification by means of simulations

The discussion of calculation boundary condition for the verification of summer heat protection leads to the recommendations summarized below for an update of DIN 4108-2:

- Temperature boundary conditions in adjacent areas
Usually the verification via thermal simulation is carried out for single independent rooms only. In addition to the rooms adjacent to the outside air, the temperature boundary conditions of all room-enclosing building components must be specified during the simulation. The current version of DIN 4108-2 does not formulate any clear specifications or recommendations in this respect, so that proposals for appropriate approaches were developed during the project for the adjacent situations "ground under floor slab", "unheated basement rooms", "underground car park" and "unheated roof space".
- Operating mode of sunshade
The specification for the mathematical approach to the operating mode of a sun shading system is incomplete or ambiguous in the current version of DIN 4108-2. A suitable proposal for textual adaptation has been developed.

- Frame and glass proportion of a window

At the time of the verification of compliance with the requirements for summer heat protection (i. e. together with the building application), precise information on the frame type and glass proportion of a window is usually not yet known. In order to base the calculations on approaches that are as good as possible at that point in time, and that correspond to the later design, the suggestions developed during this project provide valuable assistance that can be directly incorporated into a new version of DIN 4108-2.

- Ventilation/night ventilation

In the course of the project, the potential of ventilation with respect to the improvement of thermal performance in summer is intensively discussed. While the current specifications of DIN 4108-2 formulate very simplified approaches and calculation rules regarding the air changes to be calculated, do not take into account the ventilation cross-sections actually present, and do not consider any geometric specifications in order to also achieve the calculated air changes in real operation, the investigation shows that a more precise consideration of the ventilation cross-sections can certainly be useful. As a result of the study, it can be stated that the existing approaches can basically be retained, but additional minimum opening dimensions for windows should be specified. In principle, however, an option should be introduced which allows more precise calculation methods. On the one hand, this would ensure that optimization carried out on a case-by-case basis would also be "visible" in the result of the simulation calculation. On the other hand, the result of the simulation would be better harmonized with the real geometric conditions.

- Passive cooling

According to the current version of DIN 4108-2, it is possible to consider the positive influence of passive cooling on the thermal behavior in summer. It is merely formulated that the approach is permissible and must be documented accordingly. As part of the project work, a requirement value ($EER_{\text{passiv}} > 50$) is first defined, which passive cooling must achieve in order to be considered passive cooling in the sense of the standard. For the systems "cooling with groundwater", "cooling via geothermal probes" and "cooling via air-earth heat exchangers", corresponding assistance is provided which, as systemic prerequisites, already provides the input information for a more extensive design of passive cooling in early planning phases.

- Reference values for reduction factors F_C

Proposals for new reference values for reduction factors F_C are presented for information purposes. These reference values are the result of a separate project carried out by Ingenieurbüro Hauser together with ift Rosenheim on behalf of the Verband Fenster und Fassade (VFF). The result of the project is a proposal for revision of current "Table 7 - Reference values for reduction factors F_C of permanently installed solar shading devices depending on the glass product" of DIN 4108-2. The proposal was already presented to the standardisation committee responsible for DIN 4108-2 and is in principle supported by this committee, so that the results are expected to be included in the next revision of DIN 4108-2. Use of the reference values is not limited to thermal simulation but is also applicable for the simplified proofing method.

Adjustments of the procedure and extension and recalibration of the simplified proofing method

Within this project, proposals for procedural adaptations were developed both for the verification of summer heat protection via simulation calculations and for the application of the simplified proofing method. The following comments summarize the results of the work:

- **Dealing with special room situations**

The current version of DIN 4108-2 does not contain any detailed specifications for the computational modeling of numerous practical applications. Therefore, for special room situations such as "particularly deep and/or particularly wide rooms", "halls", "room situations spanning several floors" and "rooms with heated or unheated glass porches", suggestions for future specifications, assistance and notes on modeling are developed and provided.

- **Extension and recalibration of the solar input characteristic value method**

The recalibration of the solar input parameters in the characteristic value procedure can only take place once the requirement system itself has been revised with respect to climate data, requirement size and requirement level. The existing structure of the characteristic value procedure should be retained as far as possible and, if necessary, supplemented by useful elements (e. g. further differentiation regarding passive cooling).

In addition to the revision of the requirements system, the updating of the simulation boundary conditions for the recalibration of the characteristic value procedure is also of great importance, since the results of both the characteristic value procedure and the simulation must be based on the same boundary conditions. Since both the systematics of the requirements and the conditions for the simulation have not yet been finally defined and confirmed in the responsible standardisation committee, it was not possible within the framework of this project to further process or recalibrate the simplified proofing method. Irrespective of the failure to recalibrate, a proposal for changing the procedure from the window area to the glass area was drawn up and made available for direct adoption in the standard.

Verification of summer heat protection in existing buildings

Evaluations for a living room and a bedroom show that there is no significant deterioration of summer thermal performance with a simple window replacement whilst retaining the original window size. However, if the entire building is renovated to the level of an "efficiency house", and windows are even enlarged if necessary, the requirements can only be met in some cases if effective sun protection is provided, and if increased night ventilation is assumed at the same time. In particular this is the case when the climate data used for the simulation incorporates the advancing climate change. Against this background, requirements for summer heat protection in the case of comprehensive renovations should also be included in the system of requirements under public law. The requirements may only be formulated in detail once the requirements system itself has been adopted to a new set of requirements and a new level of requirements.

1 Projektdarstellung und Zielsetzung

Die Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz gemäß § 14 Gebäudeenergiegesetz (GEG) (Bundesregierung 2020) basiert auf DIN 4108-2:2013-02 und den in dieser Norm enthaltenen Festlegungen von Mindestanforderungen und Nachweisverfahren. Alternativ zur Anwendung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens kann der Nachweis der Einhaltung der Mindestanforderungen durch eine thermische Gebäudesimulation erfolgen. Gegenüberstellungen zwischen dem Sonneneintragskennwerte-Verfahren und der thermischen Gebäudesimulation zeigen, dass vor allem bei Nichtwohngebäuden Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwerte-Verfahren oft nicht erbracht werden können. Durch die alternative Berechnung mittels der dynamischen Simulation ist der Nachweis der Einhaltung der Anforderungswerte an den sommerlichen Wärmeschutz meist jedoch möglich. Dies führt seit Inkrafttreten der EnEV 2014 (Bundesregierung 2013) und mit Beibehaltung der Bezugnahme der DIN 4108-2:2013-02 im GEG dazu, dass die Nachweisführung über die Gebäudesimulation immer mehr an Bedeutung gewinnt und auch die Anzahl der explizit zum Zweck der Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes entwickelten Simulationsprogramme deutlich zugenommen hat. Allerdings ergeben sich aus der Vielzahl der „Freiheitsgrade“ bei thermischen Simulationsrechnungen gewisse Schwierigkeiten, was insbesondere im Zusammenhang mit der öffentlich-rechtlichen Nachweisführung von Bedeutung ist. Die gegenwärtig für die Durchführung von Simulationsrechnungen vorgegebenen Rechenrandbedingungen könnten an einigen Stellen präziser beschrieben werden, sodass bei Simulationsrechnungen für identische Situationen, z. B. abhängig von der eingesetzten Software, teilweise deutlich unterschiedliche Ergebnisse vermieden werden. In diesem Zusammenhang besteht ein wesentliches Ziel der Projektbearbeitung darin, die Vorgaben von Randbedingungen für Simulationsrechnungen bei der Nachweisführung zu untersuchen und im Nachgang insoweit zu konkretisieren, dass hierdurch die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen besser als bislang gewährleistet ist.

Des Weiteren wird im Rahmen des Projekts geprüft, ob bei der Nachweisführung eine weitergehende Differenzierung hinsichtlich der Nutzungsrandbedingungen erfolgen sollte. Die in DIN 4108-2 festgelegten Mindestanforderungen basieren auf rechnerischen Untersuchungen auf Basis aktueller mittlerer Klimarandbedingungen und hieraus abgeleiteten Anforderungen an einen ausreichenden sommerlichen Wärmeschutz für Wohn- und Nichtwohngebäude. Mit Blick auf den weiter voranschreitenden Klimawandel und die damit einhergehende höhere thermische Beanspruchung von Gebäuden werden auch diesbezügliche Erfordernisse und Empfehlungen für die Fortschreibung der normativen Regelungen zum sommerlichen Wärmeschutz betrachtet bzw. erarbeitet.

Darüber hinaus wird geprüft, inwieweit das Sonneneintragskennwerte-Verfahren als vereinfachtes Nachweisverfahren an die Ergebnisse der Projektbearbeitung angepasst werden muss und ggf. eine modifizierte Fassung dieses vereinfachten Nachweisverfahrens erarbeitet.

Die Bearbeitung des Projekts erfolgt in enger Abstimmung mit der von dem zuständigen Normenausschuss eingesetzten „Ad-hoc-Gruppe sommerlicher Wärmeschutz“.

Die nachstehend kurz erläuterten Arbeitsschritte (AS) geben einen Überblick über die im Forschungsprojekt behandelten Inhalte. Diese Beschreibungen der Arbeitsschritte sind weitgehend der Leistungsbeschreibung zum Forschungsprojekt entnommen.

Analyse zum Status quo der Nachweisführung und der Methoden zum sommerlichen Wärmeschutz

In einem vorgelagerten Bearbeitungsschritt erfolgt nach Durchführung einer systematischen Quellenrecherche mit anschließender Sichtung und Auswertung bereits vorliegender Studien und Publikationen die Erstellung einer Übersicht zum aktuellen Status quo der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der aktuellen Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz und der Anwendung in der Praxis. Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes stellen die Grundlage für die Auftaktbesprechung zum Projekt dar.

Überarbeitung/Konkretisierung allgemeiner verfahrenstechnischer Hinweise und Randbedingungen sowie Auseinandersetzung mit der Eignung der aktuellen Nachweisverfahren für „besondere Raumsituationen“

Die aktuelle Fassung der DIN 4108-2:2013-02 führt in der Anwendungspraxis in einigen Fällen zu Schwierigkeiten, da einerseits begriffliche Unschärfen im Text der Norm enthalten sind und andererseits konkrete Vorgaben zum Umgang mit „besonderen Raumsituationen“ fehlen. Zu dem Umgang mit solchen Raumsituationen werden Vorschläge erarbeitet.

Konkretisierung der Anforderungen und Rechenrandbedingungen für die Nachweisführung mittels Simulationsrechnung

Gemäß GEG ist der Nachweis der Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz für jedes neu zu errichtende Wohn- und Nichtwohngebäude zu erbringen. Die Nachweisführung erfolgt dabei zunehmend über thermische Simulationsrechnungen, wobei unter Berücksichtigung bestimmter in DIN 4108-2:2013-02 formulierter Regelungen nachgewiesen werden muss, dass eine bestimmte Anzahl von Übertemperaturgradstunden nicht überschritten wird. Um zu vermeiden, dass z. B. abhängig von der eingesetzten Software bei Simulationsrechnungen für identische Situationen teilweise unterschiedliche Ergebnisse entstehen, werden Vorschläge für die Präzisierung der Randbedingungen für Simulationsrechnungen ausgearbeitet.

Auseinandersetzung der aktuellen Differenzierungen hinsichtlich der Gebäudenutzungen und Erarbeitung von Vorschlägen für eine differenziertere Nachweissystematik

Gegenwärtig wird durch DIN 4108-2:2013-02 lediglich zwischen Wohn- und Nichtwohnnutzung unterschieden. Eine differenziertere Betrachtung der Nutzungen wird hier als sinnvoll erachtet. Dies betrifft auch den Bereich Wohnnutzung, für den untersucht wird, ob eine Differenzierung zwischen den Nutzungen EFH und MFH sinnvoll ist, im Wesentlichen aber den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung, für den die Sinnhaftigkeit bzw. Notwendigkeit einer deutlich differenzierteren Systematik als bislang überprüft wird.

DIN 4108-2:2013-02 verweist hinsichtlich der für die Simulationsrechnungen zu verwendenden Testreferenzjahre (TRY) auf die vom DWD im Auftrag des BBSR erarbeiteten TRY aus dem Jahr 2011. Für die Fortschreibung der DIN 4108-2 und die hierin formulierten Randbedingungen werden Berechnungen durchgeführt und dokumentiert, wobei die Auswirkungen veränderter TRY-Datensätze im Vergleich zu den TRY-Datensätzen aus dem Jahr 2011 aufgezeigt werden. Dabei wird insbesondere auch der Ansatz von Zukunftsklimadaten im Vergleich zu aktuellen Klimadaten untersucht, da neu zu errichtende Gebäude nicht nur dem aktuellen mittleren Klima „standhalten“ müssen, sondern auch unter Einfluss eines Zukunftsklimas einen sommerlichen Mindestwärmeschutz bereitstellen sollen.

Ferner erfolgen standortbezogene Bewertungen im Vergleich zu der momentanen Fixierung auf die drei Datensätze der Klimaregionen A, B und C. Hierbei werden insbesondere Stadtklima-Effekte (deutlich geringere Wirksamkeit erhöhter bzw. hoher Nachtlüftung im Vergleich zum ländlichen, ungestörten Klima) untersucht und bewertet.

Die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen zur Verfügung stehenden Klimadaten stellt die Grundlage für die Ausarbeitung von Vorschlägen für eine künftige Modifizierung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz dar. In diesem Zusammenhang werden auch weitergehende Empfehlungen zur Novellierung der Anforderungssystematik an den sommerlichen Wärmeschutz selbst (Anforderungsgröße, Anforderungshöhe, Mindestwärmeschutz, Komfortbewertung, Bezugswert der Innentemperatur etc.) erarbeitet.

Konkretisierung von Rechenansätzen und Randbedingungen für die Berücksichtigung in der Nachweisführung

Beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mithilfe thermisch-dynamischer Gebäudesimulationen sowie beim Nachweis mittels Sonneneintragskennwerten ist die Berücksichtigung passiver Kühlsysteme nach DIN 4108-2 möglich. Es wird untersucht, wo die Möglichkeiten und Grenzen der passiven Kühlung liegen und welche Konfigurationen im Rahmen des Nachweisverfahrens ggf. ausgeschlossen werden sollten. Der im Verfahren implementierte Sonneneintragskennwert beruht auf einer qualifizierten Einschätzung basierend auf

vorangegangenen Untersuchungen. Die Wirksamkeit des Verfahrens wird mittels weiterer Berechnungen ergänzend untersucht, um die Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz bei vereinfachtem und detailliertem Nachweis (Simulation) je nach eingesetztem passiven Kühlsystem und dessen Konfiguration differenziert zu überprüfen.

Erweiterung und Neukalibrierung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens unter Einbeziehung der Ergebnisse der vorherigen Arbeitsschritte

Nach Abschluss der vorherigen Arbeitsschritte wird ein Vorschlag zur Anpassung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens entwickelt. Entsprechend der für die Fortschreibung der Anforderungen getroffenen Festlegungen wird das Kennwertverfahren angepasst, erweitert und neu zu kalibriert. Die Kalibrierung erfolgt dabei unter der Maßgabe, dass die Bewertung jeweils identischer Situationen durch das Kennwertverfahren gegenüber der Nachweisführung über Simulationsrechnungen „auf der sicheren Seite“ liegt.

Überprüfung des Nachweisverfahrens zur Anwendung auf bestehende Gebäude

In diesem Arbeitsschritt wird überprüft, inwiefern Anpassungsbedarf am Nachweisverfahren zum sommerlichen Wärmeschutz der DIN 4108-2 besteht, falls dieses auf bestehende Gebäude angewendet werden sollte.

Anpassungen können insbesondere hinsichtlich des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens notwendig werden, da diesem das Wärmeschutzniveau von Neubauten zugrunde liegt. Die raumumschließenden Bauteile, insbesondere von unsanierten Bestandsgebäuden, weisen teilweise wesentlich höhere Wärmedurchgangskoeffizienten auf. Dies kann mitunter starke Einflüsse auf das nächtliche Auskühlverhalten von Räumen beziehungsweise Gebäuden haben. Ebenso ist davon auszugehen, dass bei bestehenden Gebäuden bestimmte bauliche Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes konstruktionsbedingt gar nicht umsetzbar sind.

Es wird rechnerisch überprüft, ob und inwieweit bauphysikalisch abweichende Eigenschaften von Bestandsgebäuden zu abweichenden Ergebnissen bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes führen können. Bei größeren Abweichungen werden Vorschläge zur Anpassung des Verfahrens unterbreitet, insbesondere damit das Kennwertverfahren analog zur Anwendung bei Neubauten im Vergleich mit Simulationsrechnungen „auf der sicheren Seite“ liegt.

2 Status quo der Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz

Durch die langjährige Erfahrung in der normativen Anwendung sowie Fortschreibung der Regelungen zum sommerlichen Wärmeschutz und durch die direkte Einbindung der Mitglieder des bearbeitenden Konsortiums in den für die Fortschreibung der Norm zuständigen Normenausschuss liegen bereits umfangreiche Dokumentationen zum Status quo der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Anforderungssystematik und zu den erforderlichen normativen Anpassungen vor.

Seitens des DIN-Arbeitsausschusses „NA 005-56-91 Wärmetransport“ wird in diesem Kontext die Ad-hoc-Gruppe „Sommerlicher Wärmeschutz“ eingesetzt, welche durch Prof. Dr.-Ing. Anton Maas und Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger organisiert wird. Ein in den letzten Jahren kontinuierlich fortgeschriebenes Arbeitspapier erfasst alle zur Überarbeitung bzw. Bearbeitung anstehenden Inhalte der DIN 4108-2. Die wesentlichen Elemente aus diesem Arbeitspapier, die im Rahmen dieses Projekts bearbeitet werden, sind in den folgenden Abschnitten 2.1 bis 2.7 beschrieben.

2.1 Klimarandbedingungen

Der Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz sind nach DIN 4108-2:2013-02 die Testreferenzjahr Klimadaten (TRY 2010) der Standorte Rostock, Potsdam und Mannheim für die Klimaregionen A (sommerkühl), B (gemäßigt) und C (sommerheiß) zugrunde gelegt (vgl. Deutscher Wetterdienst 2011a). Mittlerweile wurden die Klimadatensätze im Auftrag des BBSR durch den Deutschen Wetterdienst überarbeitet (vgl. Deutscher Wetterdienst 2017) und stehen nunmehr als ortsgenaue Klimadatensätze (TRY 2015 und 2045) im 1-km-Raster für Deutschland zur Verfügung.

Klimatische Veränderungen erfordern insbesondere zu Beginn der 2020er-Jahre eine Anpassung der zu verwendenden Klimadaten. Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgt eine intensive Auseinandersetzung mit den neuen Klimadaten und eine Bewertung hinsichtlich der Anwendbarkeit bzw. Verwertbarkeit in einer aktualisierten Nachweissystematik. Weitere Ausführungen hierzu erfolgen in Kapitel 3.

2.2 Anforderungssystematik und Nachweisstruktur

Im Kontext der normativen Anforderungssystematik und Nachweisstruktur führen neue Erkenntnisse zu einem Überarbeitungsbedarf. Diese Erkenntnisse zur Vermeidung der sommerlichen Überhitzung werden in der Ad-hoc-Gruppe „Sommerlicher Wärmeschutz“ identifiziert. Der alleinige Bezug auf einen kritischen Raum, bei dem es sich um einen Aufenthaltsraum (Aufenthaltsraum ist nicht näher definiert) handeln muss, wird nicht mehr als ausreichend angesehen.

In der Folge erfordert eine Ausweitung des Nachweisumfangs eine stärkere Differenzierung der Nachweisstruktur als bisher. Insbesondere im Nichtwohnungsbau kann es Szenarien geben, für die der bisherige Anwendungsbereich unzutreffend ist. Um die Mindestanforderungen an Gesundheit und Behaglichkeit zu gewährleisten und erforderliche aktive Maßnahmen zur Gebäudekühlung weitestgehend zu vermeiden, erscheint eine Begrenzung der Raumtemperatur notwendig.

Die beiden nachfolgend beschriebenen Szenarien stehen beispielhaft für Anwendungsfälle, die künftig in die Nachweis- und Anforderungssystematik aufgenommen werden sollen:

- Der Treppenraum mit hohem Fensterflächenanteil, der unmittelbar in einen Aufenthaltsraum führt, kann einen zusätzlichen Wärmeeintrag in den Aufenthaltsraum bewirken, der bisher nicht berücksichtigt wird bzw. werden kann. Sowohl im Rahmen des Sonneneintragskennwerteverfahrens als auch bei Anwendung einer thermischen Gebäudesimulation wird der nachzuweisende Raum unabhängig von den angrenzenden Räumen bewertet.

- Für einen Serverraum mit gekühlten Serverschränken sollten gleichfalls Anforderungen an die Begrenzung solarer Wärmeeinträge gestellt werden, um deren Kühlenergiebedarf zu minimieren.

Weiterhin soll es für Räume, die in den Anwendungsbereich fallen und die mit anlagentechnischen Maßnahmen zur Gebäudekühlung ausgestattet werden, erweiterte Anforderungen geben. Damit soll ein Priorisieren der Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überhitzung – **passiv vor aktiv** – gewährleistet werden. Unter dieses erweiterte Anforderungsbild können beispielsweise regelungstechnische oder betriebsorganisatorische Maßnahmen fallen, die im Betrieb eine Gebäudekühlung nur erlauben, wenn vorhandene passive Maßnahmen (z. B. Sonnenschutzvorrichtung) bereits aktiviert sind.

2.3 Wechselwirkungen sommerlicher Wärmeschutz und Tageslichtqualität

Der sommerliche Wärmeschutz bzw. hierfür zu identifizierende Lösungen, mit denen die diesbezüglichen Mindestanforderungen eingehalten werden, können signifikante Auswirkungen auf die Tageslichtqualität in Innenräumen haben. Wird z. B. für die Einhaltung der Anforderungen ein Glas mit besonders niedrigem g-Wert vorgesehen, kann selbst bei großen Fensterflächenanteilen keine hinreichende Tageslichtqualität sichergestellt werden. Bislang wird dieser Zusammenhang in DIN 4108-2:2013-02 nicht bzw. nur unzureichend adressiert.

Die Bearbeitung der Wechselwirkungen zwischen dem sommerlichen Wärmeschutz und einer ausreichenden Versorgung mit Tageslicht sowie die Erarbeitung von Vorschlägen zur besseren Adressierung der Zusammenhänge kann im Rahmen dieser Projektbearbeitung nicht erfolgen und wird deshalb hier nur der Vollständigkeit halber mit aufgeführt. Aus Sicht des Projektteams ist auf normativer Ebene eine intensive Auseinandersetzung zu diesem Thema erforderlich.

2.4 Wechselwirkungen sommerliches und winterliches Wärmeverhalten

Analog zum vorherigen Abschnitt werden auch die Wechselwirkungen des sommerlichen und winterlichen Wärmeverhaltens in DIN 4108-2:2013-02 nicht hinreichend adressiert. Die Erfahrungen der Bearbeiter mit der Praxis der Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz zeigen vielfach, dass niedrige g-Werte zur Einhaltung der Anforderungen nicht in der energetischen Bilanzierung nachgeführt werden. So bleibt es mehr oder weniger dem Zufall überlassen, ob die Nachteile besonders niedriger g-Werte in Bezug auf die dann fehlenden solaren Wärmeeinträge in der Heizperiode hinsichtlich der erhöhten Heizenergiebedarfe auffallen. Die energetische Optimierung eines Gebäudeentwurfs sowie Identifizierung von nachhaltigen Lösungen, die z. B. auf dynamische Lösungen (beweglicher Sonnenschutz und/oder erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit) setzen, bleibt dann vielfach aus.

Die Bearbeitung der Wechselwirkungen sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz wird im Rahmen der Projektbearbeitung nicht behandelt. Die Zusammenhänge sind allerdings in zahlreichen Vorgängerprojekten behandelt worden. Siehe hierzu auch folgende Literaturstellen: Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH und ift Rosenheim 2022; Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH 2020. Auf dieser Grundlage können geeignete Formulierungen für die DIN 4108-2 erarbeitet werden, um den Einsatz bzw. die Umsetzung von nachhaltigen und energetisch optimierten Lösungen zu fördern.

2.5 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz bei gekühlten Räumen

DIN 4108-2:2013-02 formuliert in Abschnitt 4.3.1 unter Allgemeines, dass „[i]m Zusammenhang mit allgemeinen Energieeinsparungsmaßnahmen im Hochbau [darauf geachtet werden muss], dass **durch bauliche Maßnahmen, verbunden mit der Nutzung eines Gebäudes, nicht unzumutbare Temperaturbedingungen in Gebäuden entstehen, die maschinelle und energie-intensive Kühlmaßnahmen zur Folge haben**. Daher muss bereits in der Planungsphase eines Gebäudes der sommerliche Wärmeschutz mit einbezogen werden, damit bereits durch bauliche Maßnahmen weitgehend verhindert wird, dass unzumutbare hohe Innentemperaturen entstehen.“

Weitergehende Ausführungen bzw. Anforderungen, welche baulichen Maßnahmen ergriffen werden sollten, um Kühlmaßnahmen zu verhindern, enthält DIN 4108-2:2013-02 nicht.

Lediglich im Gebäudeenergiegesetz wird unter § 14 Sommerlicher Wärmeschutz unter Absatz (4) in Bezug auf gekühlte Räume konkretisiert, dass bauliche Maßnahmen insoweit vorzusehen sind, dass sich diese wirtschaftlich darstellen. Formuliert wird hier wie folgt:

„(4) 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 **erwirtschaften lassen.**“

Ausführungen bzw. Empfehlungen zu einer angepassten/erweiterten Anforderungssystematik, in der auch auf gekühlte Räume eingegangen wird, sind in Abschnitt 4.1 enthalten.

2.6 Differenziertere Abbildung unterschiedlicher Nutzungen

Gegenwärtig wird in der Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz nur zwischen Wohn- und Nichtwohnnutzung unterschieden. Den Anforderungen liegt für Wohngebäude das Nutzungsprofil Mehrfamilienhaus und im für Nichtwohngebäude eine Büronutzung zugrunde. Insbesondere für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung kommt es aufgrund der Heterogenität möglicher Nichtwohnnutzungen zwangsläufig zu mehr oder weniger großen Abweichungen von der Büronutzung. Sowohl für Wohnnutzung als auch für Nichtwohnnutzung wird daher geprüft, ob eine Anforderungssystematik in Bezug auf eine differenziertere Abbildung unterschiedlicher Nutzungen erarbeitet werden kann.

2.7 Umgang mit „besonderen Raumsituationen“

In der Anwendung der DIN 4108-2 kommt es häufig zu Unsicherheiten bei der Bewertung besonderer Raumsituationen, wie z. B.:

- Treppenhäuser
- Hallenbauten
- geschossübergreifenden Raumsituationen
- Räume mit Schaufenstern
- Räume mit beheizten oder unbeheizten Glasvorbauten

Die Auseinandersetzung mit den vorbenannten „besonderen Raumsituationen“ und die Erarbeitung von Vorschlägen zur Behandlung dieser in der Nachweisführung erfolgt in Abschnitt 7.

2.8 Möglichkeiten der Nachweisbefreiung

2.8.1 Verzicht auf Nachweisführung bei Vorliegen kleiner Fensterflächen

Nach DIN 4108-2:2013-02, Abschnitt 8.2.2, Punkt a) kann auf einen Nachweis verzichtet werden, wenn bei über 60° bis 90° geneigten Fenstern der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil (f_{WG}):

- bei Nordwest- über Süd- bis Nordost-orientierten Fenstern einen Wert von $f_{WG} = 10 \%$ und
- bei allen anderen Orientierungen einen Wert von $f_{WG} = 15 \%$

oder

- bei Fensterneigungen von 0° bis 60° der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil einen Wert von $f_{WG} = 7 \%$ nicht übersteigt.

Bislang wurde im Kreis der Bearbeiter sowie in der zuständigen Ad-hoc-Gruppe die Auffassung vertreten, dass die gegenwärtig über Tabelle 6 der DIN 4108-2 beschriebenen Grenzen der grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile zur Nachweisbefreiung entfallen kann, da nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) die Nachweisführung nur für Neubauten vorgeschrieben ist und die benannten grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile im Neubau praktisch nie vorkommen. Da mittlerweile aber im Rahmen der Nachweisführung zu Sanierungen nach Bundesförderung Energieeffiziente Gebäude (BEG) die Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz auch für Sanierungen zum Effizienzhaus bzw. Effizienzgebäude verlangt wird, wird entgegen der bisherigen Auffassung eine Beibehaltung der aktuellen Regelungen empfohlen.

2.8.2 Verzicht auf Nachweisführung bei Wohngebäuden mit Sonnenschutz

Nach DIN 4108-2:2013-02, Abschnitt 8.2.2, Punkt b) kann außerdem auf einen Nachweis verzichtet werden, wenn

- bei **Wohngebäuden** sowie bei Gebäudeteilen zur Wohnnutzung, bei denen der **kritische Raum** einen **grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 35 % nicht überschreitet**, und deren Fenster in Ost-, Süd- oder Westorientierung (inkl. derer eines Glasvorbaus) mit **außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor $F_c \leq 0,30$** bei Glas mit $g > 0,40$ bzw. **$F_c \leq 0,35$** bei Glas mit $g \leq 0,40$ ausgestattet sind. Ein Glasvorbau wird dabei nicht als kritischer Raum herangezogen.

In diesem Absatz ist eine „Schärfung“ erforderlich, da die sichere Einhaltung der Anforderungen durch die benannten Kriterien nur in Verbindung mit der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung gegeben ist.

2.9 Herstellen einer Kongruenz zwischen Vorwort und Anwendungsbereich der DIN 4108-2

Eine begriffliche Schärfung in DIN 4108-2 ist in Bezug auf die im Folgenden genannten Bereiche erforderlich:

1. Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz vs. Anforderungen an die thermische Behaglichkeit
2. Aufenthaltsräume vs. beheizte Räume

Die entsprechenden textlichen Passagen der DIN 4108-2 werden im Folgenden auszugsweise wiedergegeben:

- aus Vorwort der DIN 4108-2:2013-02:

[...] Durch **Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz** nach Abschnitt 8 soll **die sommerliche thermische Behaglichkeit in Aufenthaltsräumen** sichergestellt und eine hohe Erwärmung der **Aufenthaltsräume** vermieden und der Energieeinsatz für Kühlung vermindert werden. [...]

- aus Anwendungsbereich der DIN 4108-2:2013-02:

Diese Norm legt die **Mindestanforderungen** an die Wärmedämmung von Bauteilen sowie im Bereich von Wärmebrücken in der Gebäudehülle von Hochbauten fest. Die Anforderungen gelten für:

- alle **Räume, die** ihrer Bestimmung nach **auf** übliche Innentemperaturen ($\geq 19^\circ\text{C}$) **beheizt** werden;
- alle Räume, die ihrer Bestimmung nach auf niedrige Innentemperaturen ($\geq 12^\circ\text{C}$ und $< 19^\circ\text{C}$) beheizt werden;
- sowie für solche Räume, die über Raumverbund durch die vorgenannten Räume beheizt werden.

Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Abschnitt 8) gelten für beheizte Räume und Gebäude.

Eine Anpassung der Formulierung(en) in Vorwort und Anwendungsbereich erfolgt durch die zuständige Ad-hoc-Gruppe bzw. den Normenausschuss, wobei eine eindeutige Formulierung in Bezug auf die Mindestanforderungen sowie in Bezug auf die nachweisrelevanten Räume (Aufenthaltsräume und Räume, die an Aufenthaltsräume angrenzen) geschaffen werden muss.

3 Klimadaten

In diesem Kapitel werden Klimadaten behandelt, welche zur Bewertung sommerlicher Überhitzungen potenziell infrage kommen. Zentrales Element bilden die in letzter Zeit vermehrt dokumentierten neuen DWD-Testreferenzjahre (TRY 2015 und 2045) (vgl. Deutscher Wetterdienst 2017).

Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird zur Fortschreibung der Norm grundsätzlich die Aktualisierung der zu verwendenden Klimadatenätze empfohlen. Da neu zu errichtende Gebäude hinsichtlich der Nutzungszeit nicht mehr mit den derzeit noch verwendeten TRY 2010 (vgl. Deutscher Wetterdienst 2011a) abgebildet werden können, wird die Anwendbarkeit der TRY 2035 und TRY 2045 Klimadatenätze (im Vergleich zu den TRY 2010) untersucht. Ferner werden standortbezogene Bewertungen der drei Testreferenzjahre der Klimaregionen A, B und C behandelt. Für die Fortschreibung der DIN 4108-2 bzw. der hierin formulierten Randbedingungen wurden Berechnungen durchgeführt und dokumentiert. Hierbei wurden Stadtklima-Effekte (deutlich geringere Wirksamkeit erhöhter bzw. hoher Nachtlüftung im Vergleich zum ländlichen, ungestörten Klima) herausgearbeitet. Die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen zur Verfügung stehenden Klimadaten soll eine Entscheidungshilfe für die künftige Anforderungsformulierung generieren. In diesem Zusammenhang sind weitergehende Entscheidungen zur Anforderungssystematik selbst (Anforderungsgröße, Anforderungshöhe, Mindestwärmeschutz, Komfortbewertung etc.) zu treffen, welche in den folgenden Kapiteln behandelt werden.

3.1 Übersicht der infrage kommenden Klimadaten

Die Testreferenzjahr-Klimadatenätze des Deutschen Wetterdienstes liegen jeweils in sechsfacher Form (kaltes, mittleres und warmes Klima jeweils für aktuelles und künftiges Klima) vor. Im Kontext klimatischer Veränderungen werden mittlere, normale bzw. „TRY-Jahre“ empfohlen. Kalte bzw. warme TRY umfassen in etwa die 90%-Extrema der jeweils zugrundeliegenden Mess- bzw. Prognosezeiträume (vgl. Deutscher Wetterdienst 2011a, 2017) und sind entsprechend weniger gut für Vergleiche, bezogen auf Klimaveränderungen geeignet.

Zukünftig zu errichtende und zu sanierende Gebäude fallen zu Beginn der 2020er-Jahre in einen Nutzungszyklus, welcher über 30 Jahre und somit über das Jahr 2050 hinaus reicht. In diesem Kontext werden in folgender Tabelle 1 die letzten beiden Veröffentlichungen von DWD TRY-Klimadaten mit einer Darstellung des Standes der Klimaveränderungen zusammengefasst. Die derzeit normativ verwendeten Klimadaten bilden den Stand des Klimawandels etwa um das Jahr 1998 ab und dokumentieren somit einen „längst überholten“ Stand der klimatischen Entwicklungen. Für eine Bewertung von Maßnahmen zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung unter veränderten klimatischen Randbedingungen sind künftig jedoch prognostizierte Klimadaten bzw. Zukunftsklimadaten, z. B. TRY 2035 oder TRY 2045, zu verwenden.

Tabelle 1
Übersicht der 2011 und 2017 veröffentlichten DWD-TRY-Datenätze

Daten-satz	Veröffentli-chung im Jahr	Bezugs-zeitraum	Stand Kli-mawandel	Datenätze x Stationen	Stadtklima und Höhenkorrektur
TRY 2010	2011	1988-2007	ca. 1998	3 × 15	„Nur für Referenzstandort enthalten, Berücksichtigung über separates Tool möglich“
TRY 2015	2017	1995-2012	ca. 2003	3 × 333.321	„Innerhalb des km ² -Rasters enthalten“
TRY 2035	2011	2021-2050	ca. 2035	3 × 15	„Nur für Referenzstandort enthalten, Berücksichtigung über separates Tool möglich“
TRY 2045	2017	2031-2060	ca. 2045	3 × 333.321	„Innerhalb des km ² -Rasters enthalten“

Quelle: Vukadinovic 2022

Gegenwärtig (nach DIN 4108-2:2013-02) ist das Bundesgebiet in drei Sommerklimaregionen eingeteilt. Unter der Annahme einer Beibehaltung dieser Bewertungssystematik sind jeweils drei Testreferenzjahre aus den veröffentlichten Datensätzen auszuwählen. Zur Quantifizierung der Klimadaten sind in Bild 1 jeweils die mittleren Temperaturwerte der Repräsentanzstationen der drei Referenz-TRY gemäß DIN 4108-2:2013-02 bezogen auf das Sommerhalbjahr gegenübergestellt.



Bild 1
Mittlere Außenlufttemperaturen im Sommerhalbjahr (April bis September)

Mit den TRY 2035 ist im Vergleich zu den TRY 2010 eine Temperaturzunahme von etwa 1 K zu erwarten. Bei Betrachtung der TRY 2045 ist ebenfalls eine Temperaturzunahme von etwa 1 K zu erwarten. Demnach bewegt sich das Temperaturniveau zwischen den TRY 2035 und den TRY 2045 in einem etwa vergleichbaren Bereich. Im Allgemeinen verschieben sich die Sommerklimaregionen in Richtung der darüberliegenden Kategorie. Die Abstufung der TRY 2045 ist im Vergleich zu den TRY 2035 für die hier dargestellten Referenzstationen klarer/besser als bei den TRY 2035.

3.2 Neuerungen, Eigenschaften und Alleinstellungsmerkmale der TRY 2045

Die wesentliche Neuerung innerhalb der 2017 veröffentlichten TRY 2015 und 2045 ist die Verwendung des 1 km²-Rasters, woraus sich für das Bundesgebiet insgesamt 2 x 3 x 333.321 TRY-Klimadaten (also knapp 2 Mio. TRY) ergeben. Weiterentwicklungen, welche den TRY 2015 und 2045 neben einer flächendeckenden Verfügbarkeit zugrunde liegen, beinhalten eine allgemeine Steigerung der Datenqualität und eine sauberere Definition der Zeitangaben der enthaltenen Stundenwerte.

Zunächst wird der Unterschied der TRY 2015 und 2045 Klimadaten anhand der mittleren jährlichen Außenlufttemperaturen erörtert. Die Mittelwerte betragen über jeweils alle 333.321 TRY $\theta_{m,Jahr,2015} = 9,1\text{ °C}$ und $\theta_{m,Jahr,2045} = 10,3\text{ °C}$. Mit Blick auf die letzte Dekade sind die Jahre 2010, 2012, 2013 und 2021 den TRY 2015 zuzuordnen. Hingegen sind die Jahre 2014, 2018, 2019 und 2020 bereits jetzt den TRY 2045 zuzuordnen. Die restlichen Jahre liegen dazwischen (vgl. Vukadinovic 2022).

Zur Quantifizierung der zukünftig zu erwartenden Zunahme der Dauer von Hitzeperioden werden außerdem die Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeiten von 26 °C Außenlufttemperatur miteinander verglichen. Dabei betragen $n_{26-TA,2015} = 99,3 \text{ h/a}$ und $n_{26-TA,2045} = 175,4 \text{ h/a}$. Dementsprechend wird es im sommerklimatisch kritischen Temperaturbereich im Durchschnitt etwa doppelt so lang warm (vgl. Vukadinovic 2022).

3.2.1 Mikroklimatische Auflösung bzw. Qualität

Im Weiteren wird die mikroklimatische Auflösung bzw. Qualität exemplarisch für die TRY 2015 anhand des Großraumes Berlin dargestellt. Für die Kartenausschnitte wird untersucht, welche Differenzen hinsichtlich der Höhenlage, der jährlichen mittleren Außenlufttemperatur und der jährlichen Globalstrahlungssummen vorhanden sind. Grafische Auswertung dazu sind in Bild 2 enthalten. Der Höhenunterschied beträgt im dargestellten Bereich etwa 150 m. Die stadtklimatische Bewertung ergibt in erster Näherung plausible Resultate. Die Verteilung der jährlichen Globalstrahlungssummen weisen hingegen nicht zu erklärende Inkonsistenzen auf. Das Delta zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert beträgt im dargestellten Bereich etwa $100 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ bzw. $\sim 10 \%$. Augenscheinlich ist die Auflösung der modellierten Globalstrahlung nicht uneingeschränkt mit einem Quadratkilometerraster kompatibel. Für die hier nicht dargestellten TRY 2045 ergibt sich eine vergleichbare Charakteristik.

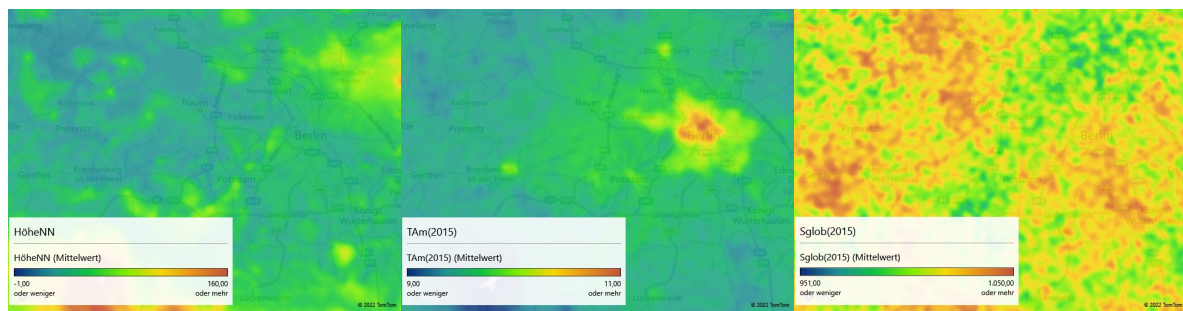


Bild 2

Höhenlage (linke Abbildung) – jährliche, mittlere Außenlufttemperaturen (mittlere Abbildung) – jährliche Globalstrahlungssummen (rechte Abbildung) der TRY 2015 der Auswertungen für Großraum Berlin

Bild 3 zeigt eine noch genauere Betrachtung von direkt benachbarten TRY. Für die dargestellten Standorte ergibt sich keine stetige Verteilung von Außenlufttemperatur und Globalstrahlung. Deshalb sind Abweichungen innerhalb der Ergebnisse von thermisch-dynamischen Simulationsrechnungen zu erwarten. Insbesondere die stark auf die Ergebnisse von Simulationsrechnungen wirkenden, auf die Außenlufttemperatur bezogenen G_{h26} Werte weisen neben standortbezogenen Inkonsistenzen Unstetigkeiten im Zeitbezug auf (vgl. Vukadinovic 2022). Hinsichtlich der Unstetigkeiten fand ein projektbezogener Austausch mit dem DWD statt. Demnach wurde bei Erstellung der TRY keine standort- und zeitbezogene Datenerfassung durchgeführt. Die nächste Ausgabe der TRY soll diesbezüglich verbessert werden.

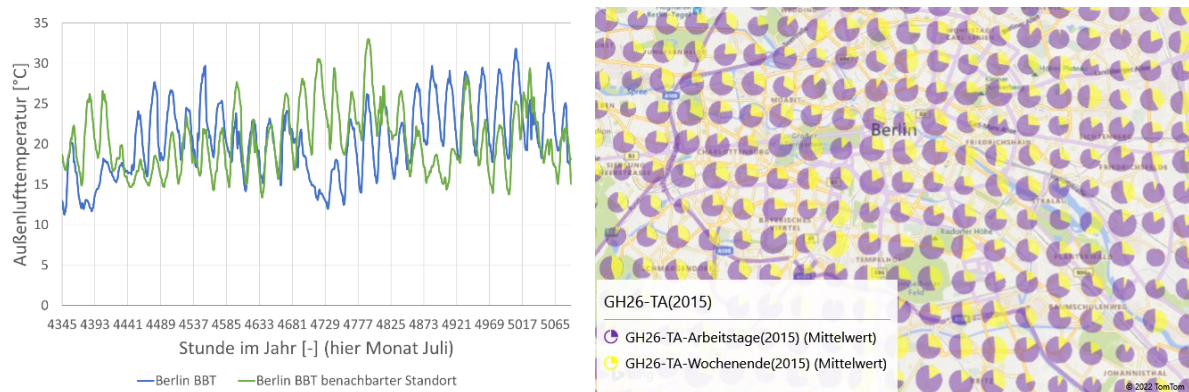


Bild 3

Tagesverläufe der Außentemperatur in zwei benachbarten TRY 2015 Standorten (linke Abbildung) und Übertemperaturgradstunden G_{H26} auf Außentemperatur bezogen (rechte Abbildung) im Großraum Berlin

Weitere Untersuchungen beschäftigen sich mit einem Vergleich zu den TRY 2010. Dazu wird zwischen den TRY 2010 und 2015 und 2045 ein Bezug hergestellt. Gemäß Vukadinovic (2022) stellt sich heraus, dass die klimatischen Veränderungen zwischen den TRY 2010 und 2015 gering sind. In Bild 4 wird die Verteilung der Sommerklimaregionen, basierend auf den TRY 2010 dargestellt. Mit den mikroklimatisch aufgelösten TRY 2015 sind lediglich geringfügige Abweichungen zu erkennen. Mit den 2045 Klimadaten sind deutliche Veränderungen zu erkennen. Wie auch zwischen den TRY 2010 und 2035 verschieben sich die Sommerklimaregionen zwischen den TRY 2015 und 2045 größtenteils in die jeweils darüberliegende Kategorie.

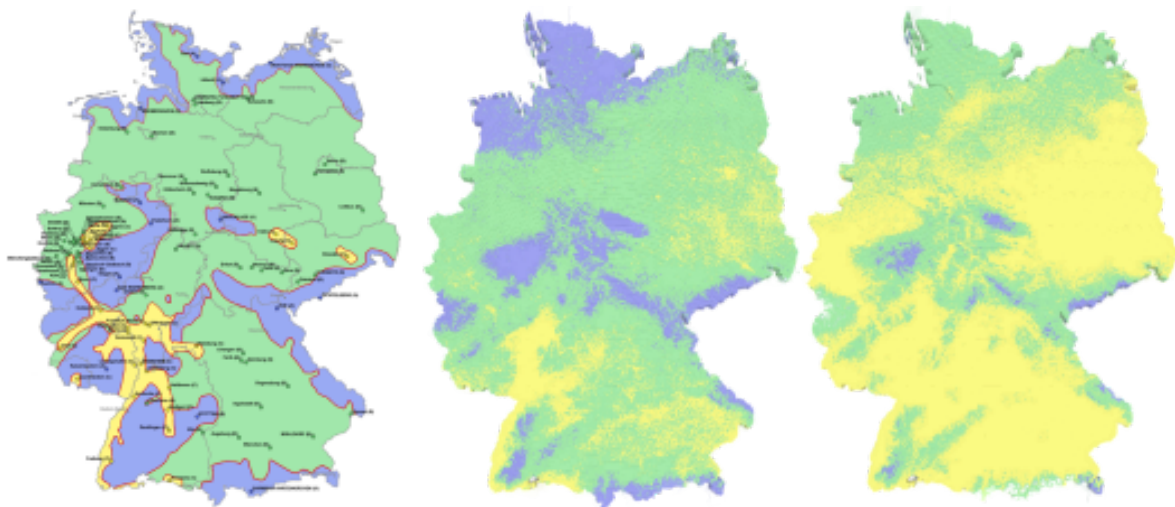


Bild 4

Verteilungen der Sommerklimaregionen in Anlehnung an DIN 4108-2:2013-02 (linke Abbildung) für die TRY 2015 (mittlere Abbildung) und 2045 (rechte Abbildung) auf Basis der TRY 2010

Quelle: linke Abbildung vgl. DIN 4108-2:2013-02; mittlere und rechte Abbildung vgl. Vukadinovic et al. 2020

Hochaufgelöste Klimadaten wie die TRY 2015 und 2045 ermöglichen prinzipiell auch die Verwendung einer Anforderungssystematik, die ohne explizite Sommerklimaregionen auskommt. Dabei kann ein Komfortniveau individuell und dynamisch, abhängig von der unmittelbar vorausgehenden Außentemperatur festgelegt werden.

Die nächste Weiterentwicklung der TRY-Datensätze sollte sich mit der Erarbeitung von Lösungen zu den festgestellten Inkonsistenzen und Unstetigkeiten beschäftigen, sodass neben der zeitlichen auch eine örtliche

Konsistenz der Daten erreicht wird. Seitens der Validität der TRY-Datensätze fand ein projektbezogener Austausch mit dem Deutschen Wetterdienst statt. Hinsichtlich der nächsten Novellierung wurden wesentliche Erkenntnisse zu den TRY-Klimadaten mit dem DWD geteilt.

3.2.2 Berücksichtigung von Stadtklima-Effekt und Höhenkorrektur

Die Berücksichtigung von Stadtklima-Effekt und Höhenkorrektur beruht für die TRY 2015 und 2045 auf den gleichen Grundsätzen wie bereits für die TRY 2010 und 2035. Im Unterschied dazu wird zur Aufprägung der Korrekturen kein separates Tool mehr benötigt. Die Zuschlagswerte auf die stündliche Außenlufttemperatur sind mit einer entsprechenden Anpassung der relativen Luftfeuchte bereits innerhalb dieser flächendeckend vorliegenden TRY enthalten.

Die Zuschlagswerte errechnen sich aus verschiedenen Faktoren, welche Standorthöhe, Einwohnerzahl, Windgeschwindigkeit, Wolkenbedeckungsgrad und Tagesgang berücksichtigen, (vgl. Deutscher Wetterdienst 2017). Die Berücksichtigung des Tagesganges basiert auf einer 1993 durchgeführten Messreihe in Düsseldorf (vgl. Kuttler 1997; Wienert et al. 2013; Deutscher Wetterdienst 2017). Demnach erfolgt eine jahres- und tageszeitlich periodische Betrachtung, wobei die Maximalwerte in den frühen Morgenstunden auftreten und in der Mittagszeit faktisch kein Stadtklimaeffekt berücksichtigt wird. Entsprechend eignet sich die Nachtlüftung in Städten weniger gut zur Abkühlung von Gebäuden. Zur Verdeutlichung sind in Bild 5 sommerhalbjährliche, mittlere Außenlufttemperaturen und sommerhalbjährliche, mittlere, nächtliche Außenlufttemperaturen im Großraum Berlin für die TRY 2045 dargestellt. Im genauen Vergleich der Temperaturmaßstäbe wird die überproportionale Berücksichtigung nachts deutlich.

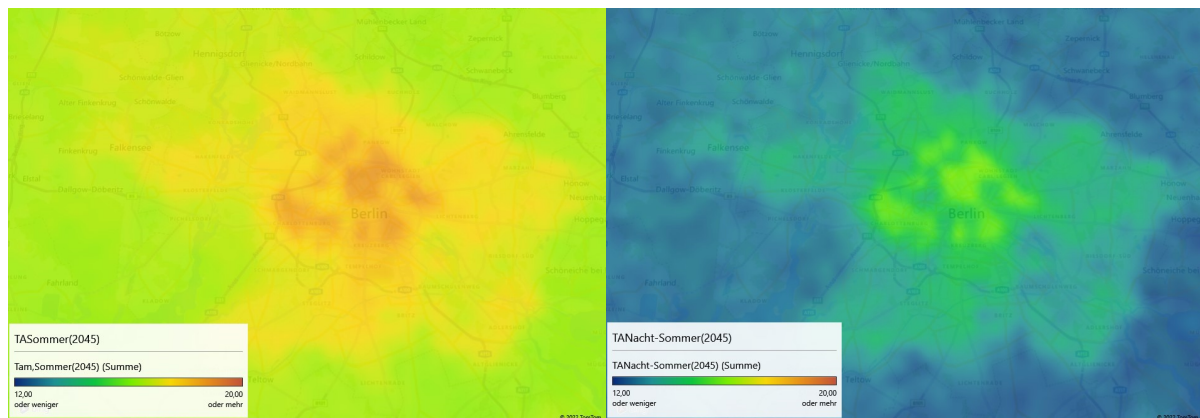


Bild 5

Sommerhalbjährliche, mittlere Außenlufttemperaturen (linke Abbildung) und sommerhalbjährliche, mittlere, nächtliche Außenlufttemperaturen (rechte Abbildung) in °C im Großraum Berlin für die TRY 2045 Jahre

Der Unterschied „Stadtklima zum ländlichen Klima“ erscheint in der dargestellten Größenordnung plausibel und ist mit bisherigen Auswertungen vergleichbar. An dieser Stelle kann allerdings hinterfragt werden, ob eine ausschließlich nächtliche Betrachtung des Stadtklima-Effektes grundsätzlich sinnvoll ist.

Um im Weiteren über das Bundegebiet hinweg besonders vom Stadtklima-Effekt betroffene Gebiete darstellen zu können, ist in Bild 6 eine Karte gezeigt, worin das flächenanteilig heißeste Prozent der sommerhalbjährlichen, mittleren Außenlufttemperaturen der TRY 2045 Jahre sichtbar ist.

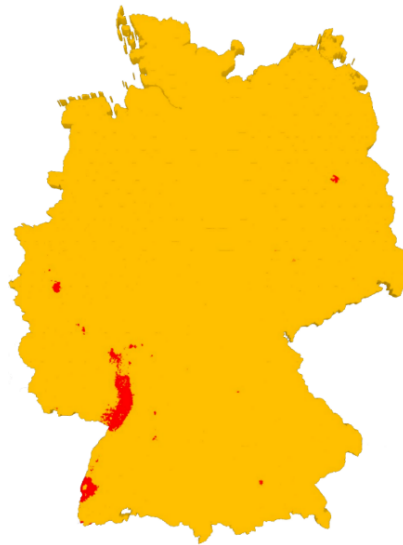


Bild 6

Flächenanteilig heißestes Prozent der sommerhalbjährlichen, mittleren Außenlufttemperaturen der TRY 2045 Jahre in Deutschland

Die in dieser Darstellung in Zukunft besonders vom Stadtklima-Effekt betroffenen Städte über 100.000 Einwohner sind von Nord nach Süd und von links nach rechts: Berlin, Köln, Koblenz, Frankfurt, Wiesbaden, Mainz, Darmstadt, Mannheim, Nürnberg, Heidelberg, Heilbronn, Karlsruhe, Stuttgart, München und Freiburg sowie in geringen Teilen Halle, Leipzig, Düsseldorf und Würzburg.

3.3 Einfluss des Starttages auf die Auswertung der Simulationsrechnung

Innerhalb der TRY-Klimadatenansätze sind die vorhandenen Parameter der Klimadaten den 8.760 Stunden eines Jahres ohne Schalttag und ohne Berücksichtigung der Sommerzeit zugeordnet. Demgemäß hat der Wochentag, an dem eine Berechnung beginnt, Einfluss darauf, welche Parameter einem Wochenende zugeordnet werden und umgekehrt. Die Festlegung des Wochentages, an dem eine Simulationsrechnung beginnt, ist ausschließlich für Nichtwohngebäude von Bedeutung. Während für die Wohnnutzung von einer ganztägigen und stets gleichen Nutzung an 365 Tagen im Jahr ausgegangen wird, ist die Nutzung für Nichtwohngebäude in der aktuellen Fassung der DIN 4108-2 von Montag bis Freitag auf die Zeit zwischen 7 und 18 Uhr festgelegt. Unabhängig von der Festlegung des Beginns der Berechnung werden für die Auswertung im Fall der Wohnnutzung alle Überschreitungen der Bezugstemperaturen in die Ermittlung der Übertemperaturgradstundenwerte mit einbezogen. Für die Nichtwohnnutzung hingegen ausschließlich die Überschreitungen während der vorbeschriebenen Nutzungszeit.

Auswirkungen des Starttages auf die Ergebnisse von Simulationsrechnungen werden im Folgenden anhand der TRY 2010, 2035 und 2045 Klimadaten für die Standorte Rostock, Potsdam und Mannheim gegenübergestellt. Die Auswertungen dazu teilen sich in drei Auswertegrößen auf. Die ersten beiden Auswertungen erfolgen für Übertemperaturgradstunden und Überschreitungshäufigkeiten nach bzw. in Anlehnung an DIN 4108-2:2013-02. Die dritte Auswertung erfolgt für Übertemperaturgradstunden über Kategorie II, in Anlehnung an DIN EN 16798-1:2022-03.

Für die Berechnungen wurde exemplarisch ein Nichtwohngebäude mittlerer Bauart herangezogen. Die wesentlichen Parameter dazu lauten: $f_{WF} = 0,7$ (fassadenbezogener Fensterflächenanteil); $f_{WG} = 0,36$ (grundflächenbezogener Fensterflächenanteil); $g = 0,50$; $F_c = 0,10$. Dabei liegt eine nach Süden orientierte Raumkonfiguration in Anlehnung an DIN EN ISO 13792:2012-08 zugrunde. Der außenliegende Sonnenschutz wird gem. DIN 4108-2:2013-02 automatisch mit 200 W/m^2 Grenzbestrahlungsstärke gesteuert. Diese Raumkonfiguration kann im Kontext der Untersuchung für viele Neubau- und Sanierungsvorhaben als hinreichend repräsentativ angesehen werden (vgl. Vukadinovic et al. 2020).

3.3.1 Auswertungen mit Übertemperaturgradstunden nach DIN 4108-02:2013-02 sowie mit Überschreitungshäufigkeiten

In Bild 7 ist die Auswertung mit Übertemperaturgradstunden nach DIN 4108-2:2013-02 (links) für die dazugehörigen TRY 2010 Klimadaten für alle Sommerklimaregionen getrennt dargestellt. Zusätzlich erfolgt die Auswertung für Überschreitungshäufigkeiten (rechts)

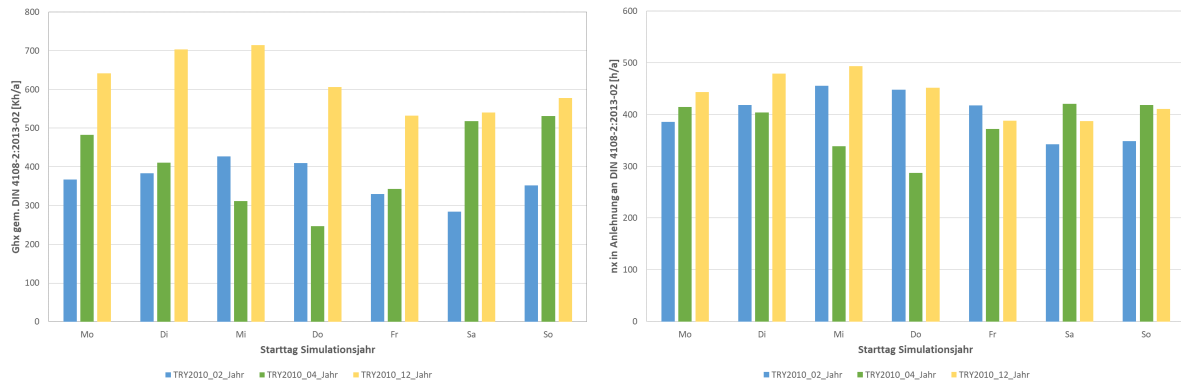


Bild 7

Übertemperaturgradstunden in Abhängigkeit von der Festlegung des Berechnungsbeginns auf einen bestimmten Wochentag nach DIN 4108-2:2013-02 mit den TRY 2010 (links) sowie analoge Auswertungen für Überschreitungshäufigkeiten (rechts)

Die ermittelten Übertemperaturgradstunden-Werte variieren in Abhängigkeit vom Starttag der Berechnungen. Die Mittelwerte betragen für die dargestellten Regionen A: 365 Kh/a, B: 406 Kh/a und C: 617 Kh/a. Zum jeweiligen Mittelwert ergibt sich eine maximale Abweichung von 22 % (A), 39 % (B) und 16 % (C). Die normativ definierte Vorgabe einen Montag als Starttag zu verwenden, passt für die TRY 2010 zu der sich ergebenden Abstufung der Ergebnisse hinsichtlich der drei Sommerklimaregionen. Die sensible Größe Übertemperaturgradstunden ist im Kontext der normativen Nachweisführung entsprechend abhängig von einem Starttag, welcher wiederum ausschließlich für definierte Klimadaten gültig ist. Dementsprechend ist die Festlegung auf den Starttag Montag so lange vertretbar, wie sich die in der Nachweisführung zugrunde gelegten Klimadaten nicht ändern. Auswertungen für die TRY 2035 und 2045 sind hier nicht dargestellt, da diese zu vergleichbaren Aussagen führen.

Da im Weiteren auch die Anwendung der Anforderungsgröße Überschreitungshäufigkeiten bzw. Übertemperaturstunden diskutiert wird, ist rechts in Bild 7 für diese Größe ein Vergleich hinsichtlich verschiedener Starttage enthalten. Bei Anwendung der Größe Überschreitungshäufigkeiten fällt auf, dass die sich ergebende Schwankungsbreite der Ergebnisse im Vergleich zur Größe Übertemperaturgradstunden geringer ist. Die Mittelwerte betragen für die dargestellten Regionen A: 402 h/a, B: 379 h/a und C: 436 h/a. Zum jeweiligen Mittelwert ergibt sich eine maximale Abweichung zu 16 % (A), 23 % (B) und 9 % (C). Eine saubere Abstufung über die Starttage hinweg ist hinsichtlich der Sommerklimaregionen, wie bereits bei der Größe Übertemperaturgradstunden nicht vorhanden. Auswertungen mit den TRY 2035 und 2045 (hier nicht dargestellt) führen zu vergleichbaren Aussagen.

3.3.2 Auswertungen mit Überschreitungshäufigkeiten in Anlehnung an DIN EN 16798-1:2022-03

Es folgt in Bild 8 ein analog geführter Vergleich mit Übertemperaturgradstunden in Anlehnung an DIN EN 16798-1:2022-03. Dazu wurden Übertemperaturgradstunden oberhalb der oberen Begrenzung von Kategorie II ausgewertet. Die Ergebnisse sind diesmal jeweils für die TRY 2035 und 2045 dargestellt.

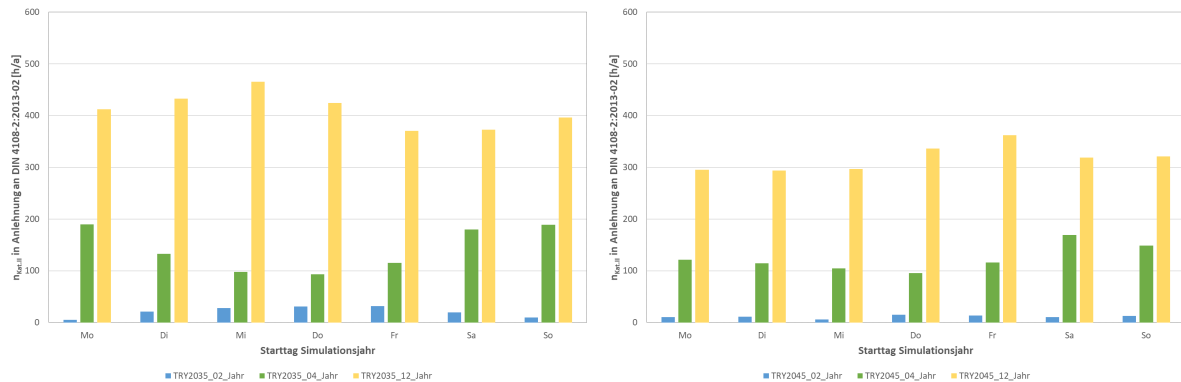


Bild 8

Überschreitungshäufigkeiten von Kategorie II in Abhängigkeit von der Festlegung des Berechnungsbeginns auf einen bestimmten Wochentag in Anlehnung an DIN EN 16798-1:2022-03 mit den TRY 2035 (links) und TRY 2045 (rechts)

Gegenüber den Darstellungen gemäß DIN 4108-02:2013-02 ergibt sich in Teilen eine andere Charakteristik. Es fällt auf, dass in Anlehnung an DIN EN 16798-1:2022-03 für alle Referenzstationen eine Abstufung hinsichtlich der Sommerklimaregionen erkennbar wird. Die TRY 2045 weisen im Vergleich zu den TRY 2035 eine geringere Schwankungsbreite auf. Die Mittelwerte betragen für die dargestellten Regionen A: 1 h/a, B: 26 h/a und C: 154 h/a. Zum jeweiligen Mittelwert ergibt sich eine maximale Abweichung zu 1 % (A), 6 % (B) und 8 % (C).

3.4 Mögliche Aufteilung von Sommerklimaregionen anhand der Außenlufttemperatur

Auch wenn die mikroklimatische Qualität der hochaufgelösten TRY 2015 und 2045 Klimadaten unzureichend ist, um diese Daten flächendeckend im Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zu verwenden, lässt die makroklimatische Qualität regionale Klimaphänomene deutlich erkennen. Dementsprechend sind die hochaufgelösten Klimadaten dazu geeignet, um auf deren Basis in Anlehnung an die Klimakarte der DIN 4108-2:2013-02 eine aktualisierte Einteilung der Sommerklimaregionen durchzuführen. Im Folgenden wird eine Möglichkeit vorgestellt, wie anhand der mittleren sommerhalbjährlichen Außenlufttemperaturen eine Neueinteilung, ausschließlich auf den Klimadaten beruhend, gestaltet werden kann.

Dazu werden die mittleren sommerhalbjährlichen Außenlufttemperaturen aller 333.321 TRY 2045 Jahre berechnet und statistisch ausgewertet. Die Auswertung erfolgt mithilfe der Standardabweichung und der sogenannten Sigmaumgebung. Vereinfacht gesagt umfasst die Standardabweichung die durchschnittliche Entfernung aller Werte vom Gesamtdurchschnitt. Die Sigmaumgebung beschreibt ausgehend vom Mittelwert aller TRY mit Hilfe der Standardabweichung die sich ergebende Sommerklimaregion B. Die beiden sich ergebenden Grenzpunkte definieren die Grenzen zu Region A und C. Für Region A entspricht der Grenzpunkt dem Temperaturwert, der sich ergibt, wenn vom Mittelwert die Standardabweichung abgezogen wird. Für Region C entsprechend, wenn der Mittelwert mit der Standardabweichung addiert wird. Somit lassen sich wie nachfolgend in Bild 9 dargestellt drei Sommerklimaregionen definieren.

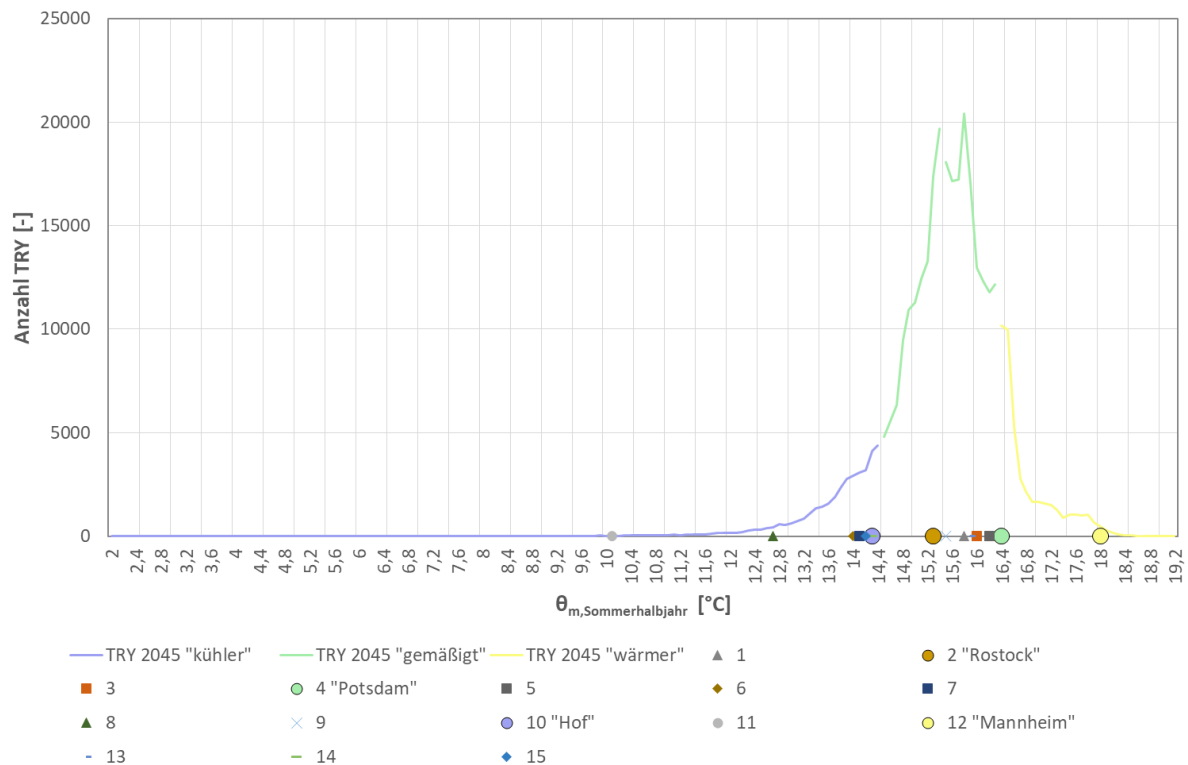


Bild 9

Häufigkeitsverteilung von $\theta_{m,Sommerhalbjahr}$ aller 333.321 TRY 2045 über die 6-Umgebung

Neben der möglichen Einteilung der Sommerklimaregionen sind diejenigen TRY 2045 dargestellt, welche den Standorten der DWD-Repräsentanzstationen der TRY 2010 entsprechen. Entsprechend ideale Repräsentanzstationen liegen bei jahresmittleren Außenlufttemperaturwerten von 14,5 °C für Region A und von 16,4 °C für Region B. Für Region C ist zunächst die obere Begrenzung eines jahresmittleren Außenlufttemperaturwertes zu definieren. Dazu kommen die 2-Sigma-Umgebung mit 17,3 °C oder die die 3-Sigma-Umgebung mit 18,3 °C infrage. Diese weiteren Umgebungen sind statistisch gesehen Begrenzungen, welche eine zunehmend niedrigere Eintrittswahrscheinlichkeit kennzeichnen. Der Maximalwert (19,2 °C) der Häufigkeitsverteilung tritt am unwahrscheinlichsten auf, da er nur einmal vorkommt. Die am nächsten liegenden DWD-Repräsentanzstationen sind für Region A Hof mit $\theta_{m,Jahr,2045,Hof} = 14,3$ °C und für Region B Potsdam mit $\theta_{m,Jahr,2045,Potsdam} = 16,4$ °C. In der dementsprechend definierten Region C ist lediglich die DWD-Repräsentanzstationen Mannheim mit $\theta_{m,Jahr,2045,Mannheim} = 18,0$ °C verortet, welche zwischen einer oberen Begrenzung mit der 2-Sigma-Umgebung und der 3-Sigma-Umgebung liegt. Es ist zu erkennen, dass die Standorte der Klimastationen Potsdam (4) und Mannheim (12) weiterhin repräsentativ für die Sommerklimaregionen B und C sind. Hingegen ist der Standort der Klimastation Rostock (2) als nicht mehr repräsentativ für Region A anzusehen. Anstelle dessen kann für Region A der Standort der Klimastation Hof (10) als repräsentativ erachtet werden. Mit der dargestellten Dreiteilung der Häufigkeitsverteilung ergibt sich mit Bezug auf die Standorte der TRY die im folgenden dargestellte Klimakarte.

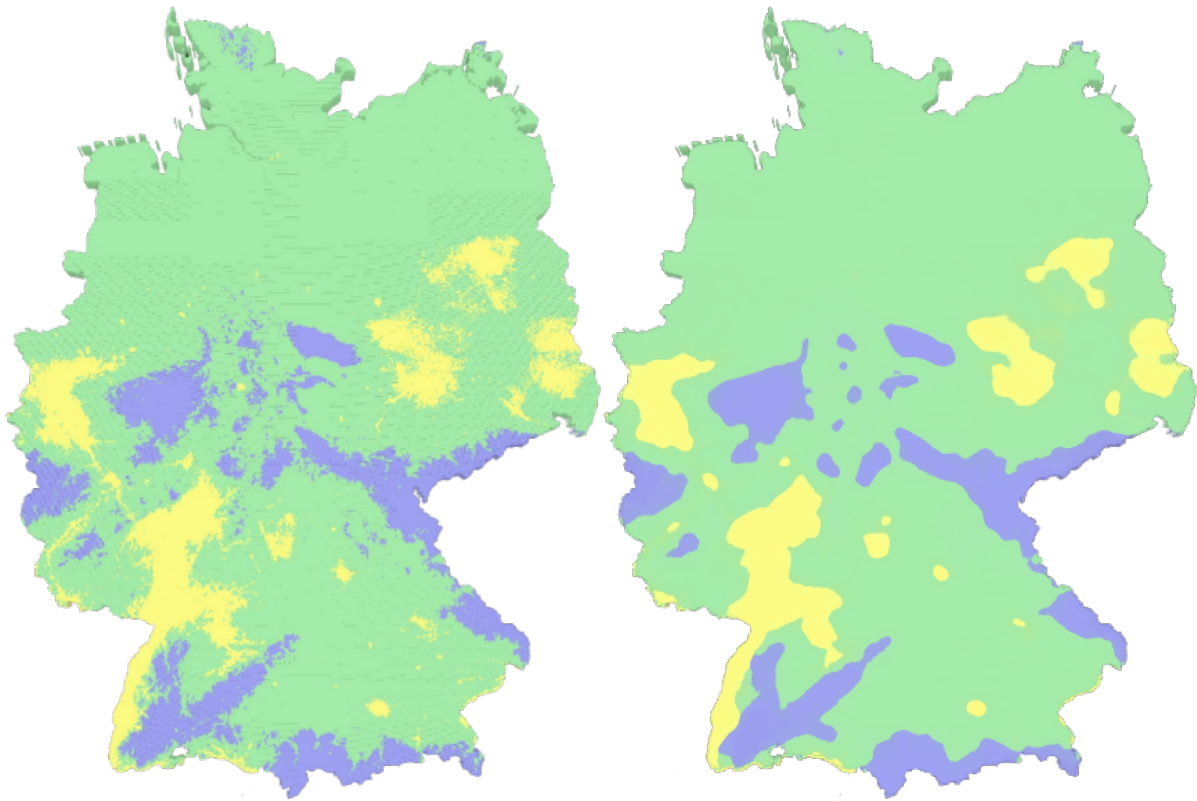


Bild 10

Mögliche neue Klimakarte anhand $\theta_{m, \text{Sommerhalbjahr}}$ aller 333.321 TRY 2045 über die 6-Umgebung (links – unbearbeitet; rechts – nachbearbeitet)

Quelle: linke Abbildung Vukadinovic 2022

Die dargestellte Karte wurde dem zuständigen Normenausschuss als Vorschlag für eine neue Klimakarte vorgelegt.

3.5 Ost-West-Problematik innerhalb der Schnittstelle TRY-Klimadaten und Simulationssoftware

Die im Folgenden genannten Schwierigkeiten lassen sich unter dem Begriff „Ost-West Problematik“ zusammenfassen. Dieses wird für die TRY 2010 bereits in (Lam und Hiller 2014) beschrieben. Die unter ansonsten gleichen Randbedingungen auftretenden Unterschiede der Strahlungssummen im Osten und Westen lassen sich auf falsch angenommene Zeitbezüge der Strahlungsdaten innerhalb der TRY-Daten in Verbindung mit der Umrechnung über den jeweils verwendeten Solarprozessor zurückführen. Innerhalb der TRY 2015 und 2045 werden diese Daten für die vergangene Stunde mitteleuropäische Zeit (MEZ) angegeben (vgl. Deutscher Wetterdienst 2017) und im Solarprozessor über die dort jeweils softwareabhängig definierte Mittelwertbildung im jeweiligen Stundenintervall bzw. Berechnungszeitschritt oder auch Stundenzeitschritt ggf. nicht korrekt umgerechnet. Passen die Strahlungsdaten insbesondere zum Sonnenaufgang, Mittag und Sonnenuntergang nicht exakt zu den für die Umrechnung angenommenen Zeitangaben, ergeben sich Fehler. Diese Fehler werden insbesondere beim Vergleich der Himmelsrichtungen Ost und West erkennbar. Nämlich dann, wenn die Strahlungssummen zwischen den Himmelsrichtungen nicht korrekt verteilt werden können. In Bild 11 sind diesbezüglich jährliche Einstrahlungen auf ost- und westorientierte Fassaden für die TRY 2010 und 2045 „Potsdam“ mit verschiedenen Berechnungsgrundlagen dargestellt. Innerhalb der DIN V 18599 Strahlungssummen sind derartige Fehler mit TRY 2010 Daten für die beiden Himmelsrichtungen deutlich zu erkennen (linkes Balkenpaar). Eine mit der Simulationssoftware IDA ICE durchgeführte Berechnung mit den gleichen Klimadaten korrigiert diese Fehler (mittleres linkes Balkenpaar). Eine IDA ICE Berechnung mit TRY 2045 Klimadaten des

gleichen Standortes der Klimastation Potsdam führt hingegen wieder zu einer deutlichen Abweichung zwischen den beiden genannten Himmelsrichtungen (mittleres rechtes Balkenpaar). Erst eine Verschiebung der Bezugszeit um eine halbe Stunde zurück (rechtes Balkenpaar) sorgt für einen Ausgleich zwischen den beiden jährlichen Strahlungssummen. Augenscheinlich werden die Stundenmittelwerte der Strahlungsdaten für das dargestellte TRY 2045 nicht korrekt aufgegriffen. Möglicherweise liegt das daran, dass in diesem Fall von einer für die TRY 2010 gültigen Umrechnung (Mittelwerte für die Stunde WOZ) ausgegangen wird (vgl. Deutscher Wetterdienst 2011b), welche (hier mit IDA ICE) auch auf die TRY 2045 angewendet wird.

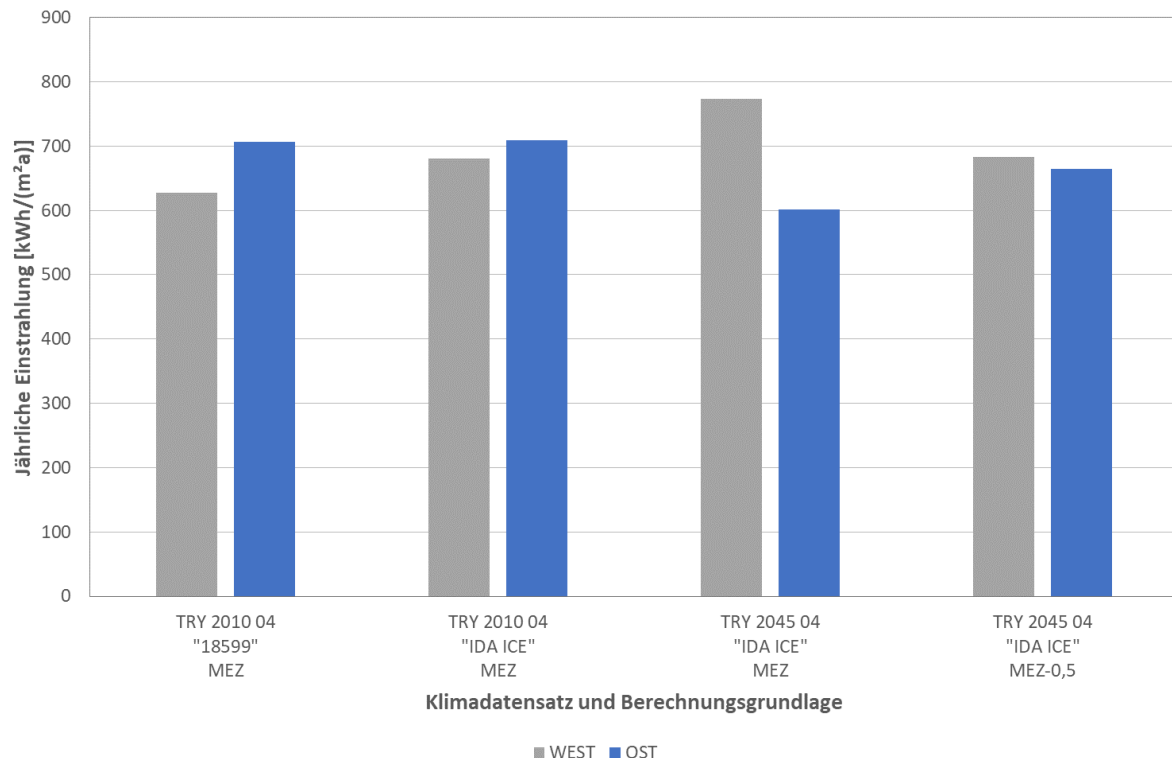


Bild 11

Jährliche Einstrahlungssummen auf ost- und westorientierte Fassaden für TRY 2010 und 2045 „Potsdam“ mit verschiedenen Berechnungsgrundlagen in kWh/(m²a)

Damit die Solarstrahlung vollumfänglich korrekt erfasst werden kann, berücksichtigt eine Lösung für das Ost-West Problem neben einer zeitlich korrekten Umrechnung der Strahlungsdaten ebenso den exakten Zeitpunkt von Sonnenaufgang und -untergang. Nur so lassen sich die Strahlungswerte der ersten und letzten mit Solarstrahlung behafteten Stunden eines Tages richtig erfassen und zwischen Vormittag (Osten) und Nachmittag (Westen) korrekt aufteilen. Dabei sind TRY-Klimadaten nicht für die mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) angegeben, sondern für die MEZ. Für die praktische simulative Anwendung empfiehlt es sich diesbezüglich außerdem, die Zeitdefinitionen zwischen verschiedenen TRY-Datenreihen immer gleich zu gestalten, da ansonsten mit dem jeweiligen Solarprozessor pro TRY individuell umgerechnet werden muss. Überdies muss der Standort des Gebäudes mit dem Standort des Klimadatensatzes übereinstimmen, da sonst über den abweichenden Längengrad eine Verzerrung der Bezugszeit erfolgt und über den abweichenden Breitengrad der Höhenwinkel und somit die Strahlungsumrechnung unklar und standortbezogen ggf. falsch erfasst werden. Das Ost-West Problem ist dabei weder beim Klimadatengeber noch beim Softwareherausgeber allein begründet. Nur ein akkurater Datentransfer zwischen den beiden genannten Instanzen ermöglicht eine diesbezüglich fehlerfreie Berechnung. Nur eine eindeutige und hinreichend beschriebene Deklaration der im Klimadatensatz beschriebenen Klimadaten kann eine fehlerfreie Berechnung bei der Verwendung der Klimadaten über den Solarprozessor einer Simulationssoftware gewährleisten.

3.6 Zusammenfassung

Für eine künftige Fassung der DIN 4108-2 wird empfohlen, für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes auf die Verwendung von Zukunftsklimadaten vorzuschreiben. Gegenwärtig kämen hierfür die TRY 2035 (veröffentlicht als Zukunftsklimadaten für die 15 Klimaregionen Deutschlands mit den TRY 2010 (vgl. Deutscher Wetterdienst 2011a)) oder die TRY 2045 (veröffentlicht mit den ortsgenauen Klimadaten der TRY 2015 (vgl. Deutscher Wetterdienst 2017)) infrage. Da jedoch für die kurzfristig anstehende Novellierung der DIN 4108-2 eine grundsätzliche Umstellung der Anforderungssystematik nicht erfolgen wird, wird empfohlen, die Anforderung im dann folgenden Novellierungsschritt der DIN 4108-2 auf die nächste Version der ortsgenauen TRY abzustellen, die zurzeit vom Deutschen Wetterdienst erarbeitet werden.

Aus der aktuellen Perspektive erscheint eine Anwendung der TRY 2035 zunächst vorteilhaft, weil sie zum einen den Klimawandel in einem dreißigjährigen Nutzungszyklus ab Beginn der 2020er-Jahre im Mittel abbilden. Außerdem sind die TRY 2035 konform zur Regionalisierung der gegenwärtig verwendeten TRY 2010 gültig. Hinsichtlich der Abstufung, die sich zwischen den Sommerklima-Referenzstandort-TRY ergibt, ist eine normative Verwendung der TRY 2035 im direkten Austausch zu den TRY 2010s allerdings nicht empfehlenswert. Ebenso wird seitens DWD auf die Verwendung der jeweils aktuellen Klimadaten verwiesen.

Im Kontext der DIN 4108-2:2013-02 erlauben die TRY 2015 und 2045 Klimadatensätze leider keine hochaufgelöste Verwendung aller TRY hinsichtlich einer Anwendung in der gegenwärtig verwendeten Nachweissystematik. Alternativ dazu bietet sich die Verwendung der Standorte der bisherigen Repräsentanzstationen an. Diese beinhalten die sogenannten TRY-Basisdaten, welche als „Stützpunkte“ des flächendeckenden Rasters fungieren und somit besondere Standorte darstellen, da die beschriebenen Klimaelemente keiner Interpolation unterworfen sind. Dabei wird auf den TRY 2045 Datensatz verwiesen, da dieser (wie auch die TRY 2035) den Klimawandel in einem dreißigjährigen Nutzungszyklus zu Beginn der 2020er-Jahre im Mittel abbildet und diese Datensätze ebenfalls konform zur Regionalisierung der gegenwärtig verwendeten TRY 2010 verwendet werden können. Zusammenfassend handelt es sich um die drei TRY 2045 Jahre der Stationsstandorte Rostock (wird im Zuge weiterer Auswertungen durch Standort Hof ersetzt), Potsdam und Mannheim. Diese TRY 2045 sind hinsichtlich der Abstufung, die sich zwischen den Sommerklima-Referenzstandort-TRY ergibt, sauberer getrennt und erscheinen im Vergleich zu den TRY 2035 somit geeigneter. Diese werden im direkten Vergleich zu den TRY 2035 durch den DWD empfohlen.

Stadtklimaeffekte können erst in einer angepassten Anforderungssystematik berücksichtigt werden, wenn zeitlich und örtlich konsistente Klimadaten zur Verfügung stehen. Die Erstellung solcher Klimadaten erfolgt zurzeit durch den Deutschen Wetterdienst, wobei die Fertigstellung für das Jahr 2024 anvisiert wird. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, in einer neuen Anforderungssystematik einen ortsbezogenen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes unter Verwendung der novellierten TRY-Daten zu etablieren. Diese Empfehlung steht in Verbindung mit der weiteren Empfehlung, als Anforderungsgröße künftig die Überschreitungshäufigkeit der Kategorie II aus der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 zu Verwenden. Hierdurch würde einerseits eine flächendeckend einheitliche und ortsbezogenen Nachweisführung erreicht und andererseits würde durch die Verwendung von Zukunftsklimadaten eine auf den weiter voranschreitenden Klimawandel ausgerichtete Planung und Ausführung von Gebäuden gefördert bzw. sichergestellt.

4 Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz

In diesem Kapitel wird zunächst ein Vorschlag zur Erweiterung der bisherigen Anforderungssystematik erläutert. Dabei werden bisher nicht regulierte Fälle (gekühlte Räume oder an Aufenthaltsräume angrenzende Bereiche mit hohen thermischen Beanspruchungen) in eine neugestaltete Systematik aufgenommen. Ebenso werden Empfehlungen zur Überarbeitung des methodischen Vorgehens zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes gemacht und weitere Differenzierungen der bisherigen Nutzungen diskutiert.

4.1 Mögliche neue Struktur der Anforderungssystematik

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Entwicklung einer neuen Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz. Dazu wird in Bild 12 anhand eines Flussdiagramms ein Vorschlag für eine mögliche neue Struktur dargestellt. Die bisherige Anforderung entspricht in der Darstellung Anforderungsniveau 3. Darüber hinaus können der Darstellung entsprechend weitere Anforderungsniveaus definiert werden.

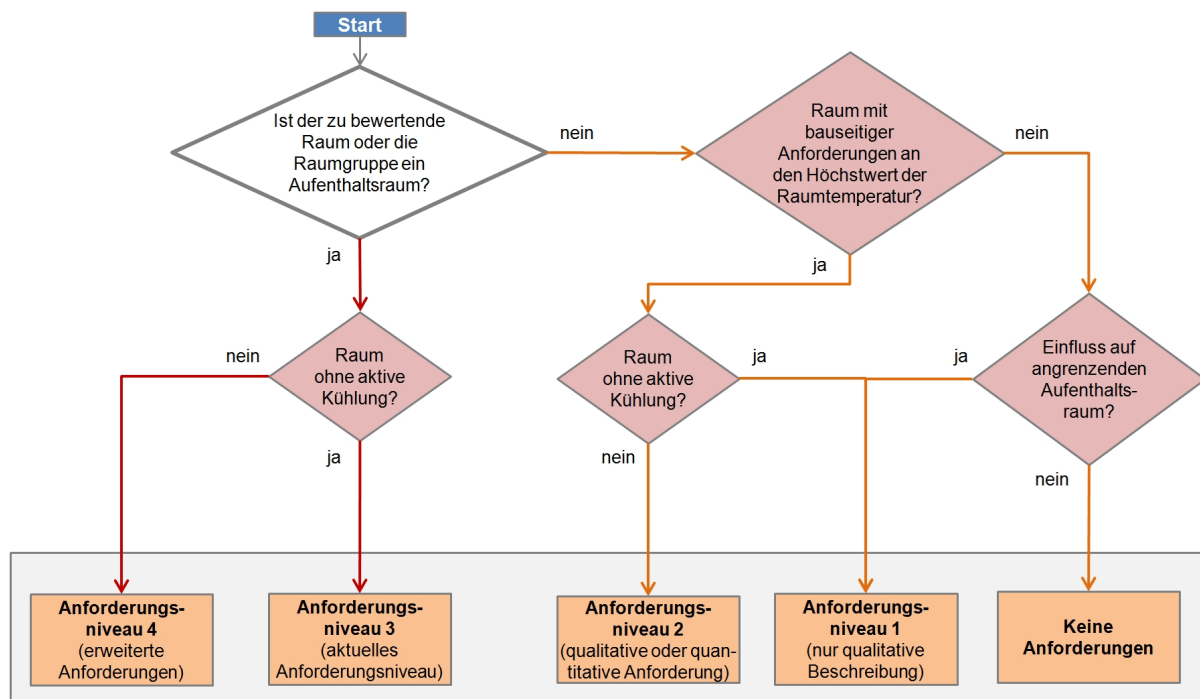


Bild 12

Vorschlag für eine neue Nachweis- und Anforderungsmethodik zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung

Zum jeweiligen Anforderungsniveau kann an dieser Stelle noch keine Aussage getroffen werden. Es wird jedoch ausgehend von den bisherigen Anforderungen die jeweilige Ausweitung bzw. Begrenzung beschrieben. Dies erfolgt zusammen mit der Erläuterung der Methodik anhand von Fallbeispielen in den folgenden Abschnitten.

4.1.1 Fallbeispiel: Kinderzimmer

Bei einem Kinderzimmer handelt es sich um einen Aufenthaltsraum, der nicht gekühlt werden soll. Dieser Raum entspricht dem heutigen Anwendungsbereich. Entsprechend Bild 13 ergibt sich daraus das Anforderungsniveau 3, dass qualitativ dem heutigen Anforderungswert entsprechen würde. Allerdings ist davon auszugehen, dass dieser aufgrund der Klimaveränderungen fortgeschrieben wird.

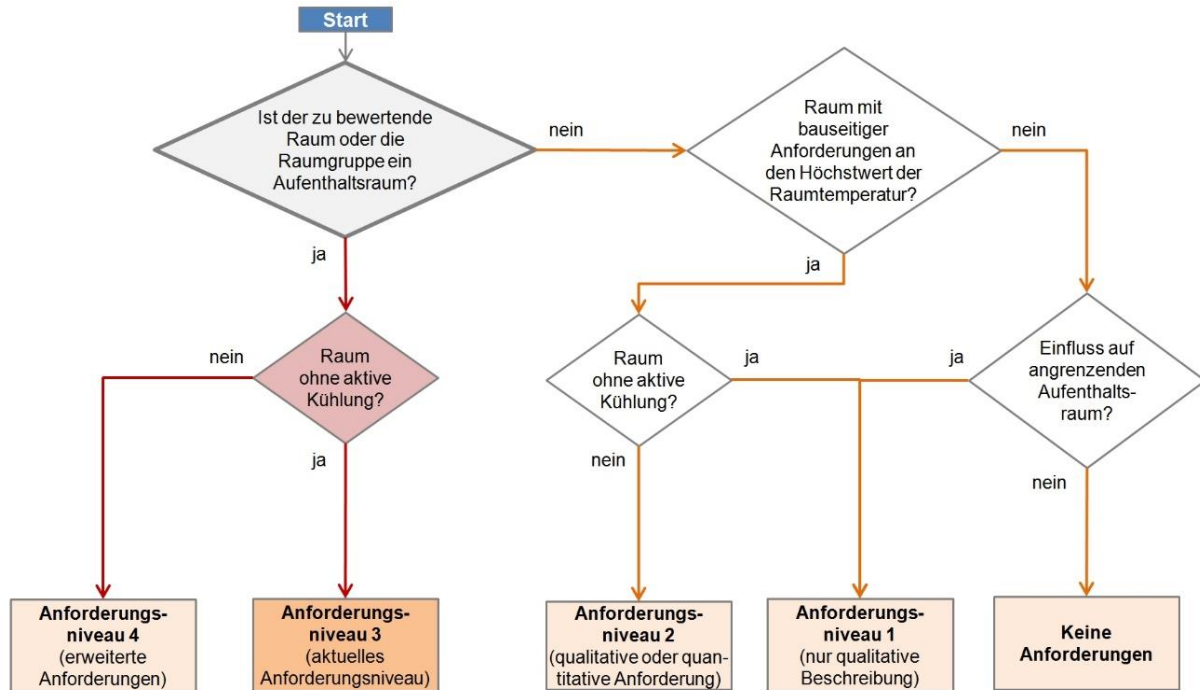


Bild 13

Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf ein ungekühltes Kinderzimmer

4.1.2 Fallbeispiel: Büroraum mit aktiver Kühlung

In Bild 14 wird der Ablauf für einen Büroraum mit aktiver Kühlung dargestellt. Bei einem Büroraum handelt es sich um einen Aufenthaltsraum, sodass die Zuordnung des Anforderungsniveaus in Abhängigkeit der Raumkühlung erfolgt. Ist eine solche vorgesehen, kommt Anforderungsniveau 4 zur Anwendung, andernfalls wäre Anforderungsniveau 3 maßgebend. Der Unterschied der beiden Niveaus soll grundsätzlich darin bestehen, dass bei Planung einer aktiven Kühlung, unabhängig von den Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen, die die Aktivierung passiver Maßnahmen vor dem Einsatz aktiver Gebäudekühlung gewährleisten.

Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem Anforderungsniveau 3. Die Anforderungsniveaus 1, 2 und 4 fallen diesbezüglich in den Aufgabenbereich weiterer normativer Auseinandersetzungen.

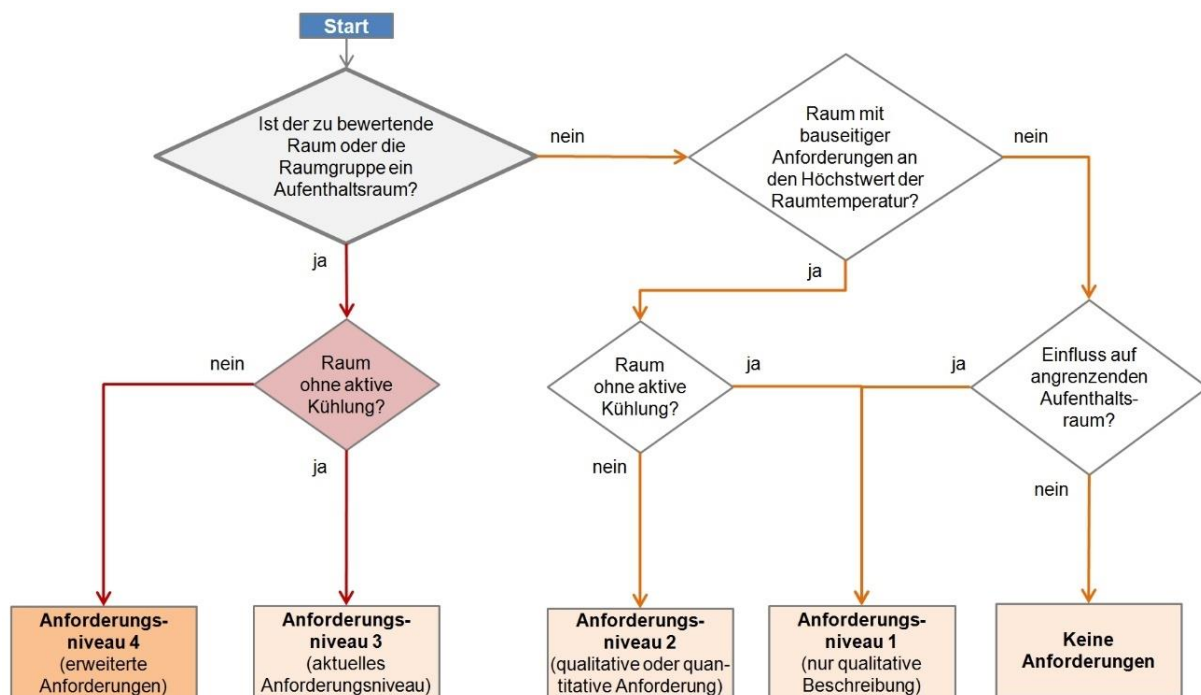


Bild 14

Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf einen Büroraum mit aktiver Kühlung

4.1.3 Fallbeispiel: Ungekühlter Treppenraum mit hohem Fensterflächenanteil, der unmittelbar in einen Aufenthaltsraum führt

Bei einem Treppenraum handelt es sich im Allgemeinen nicht um einen Aufenthaltsraum. Daher fällt dieser bislang nicht in den Anwendungsbereich der DIN 4108-2:2013. Der potentiell negative Einfluss auf einen unmittelbar angrenzenden Aufenthaltsraum im Sommerfall wird dadurch nicht erfasst, zumal die nachzuweisenden Räume entsprechend den bestehenden Berechnungsregeln autonom betrachtet werden, das heißt sie stehen in keiner Wechselwirkung mit dem restlichen Gebäude. Entsprechend dem Ablaufschema in Bild 15 wird zusätzlich berücksichtigt, ob es gegebenenfalls zusätzliche Anforderungen an den Höchstwert der Raumtemperatur durch den Bauherrn gibt. Ist dies nicht der Fall und nimmt der ungekühlte Treppenraum in Form eines zusätzlichen Wärmeeintrags Einfluss auf einen angrenzenden Aufenthaltsraum, wäre Anforderungsniveau 1 zu berücksichtigen.

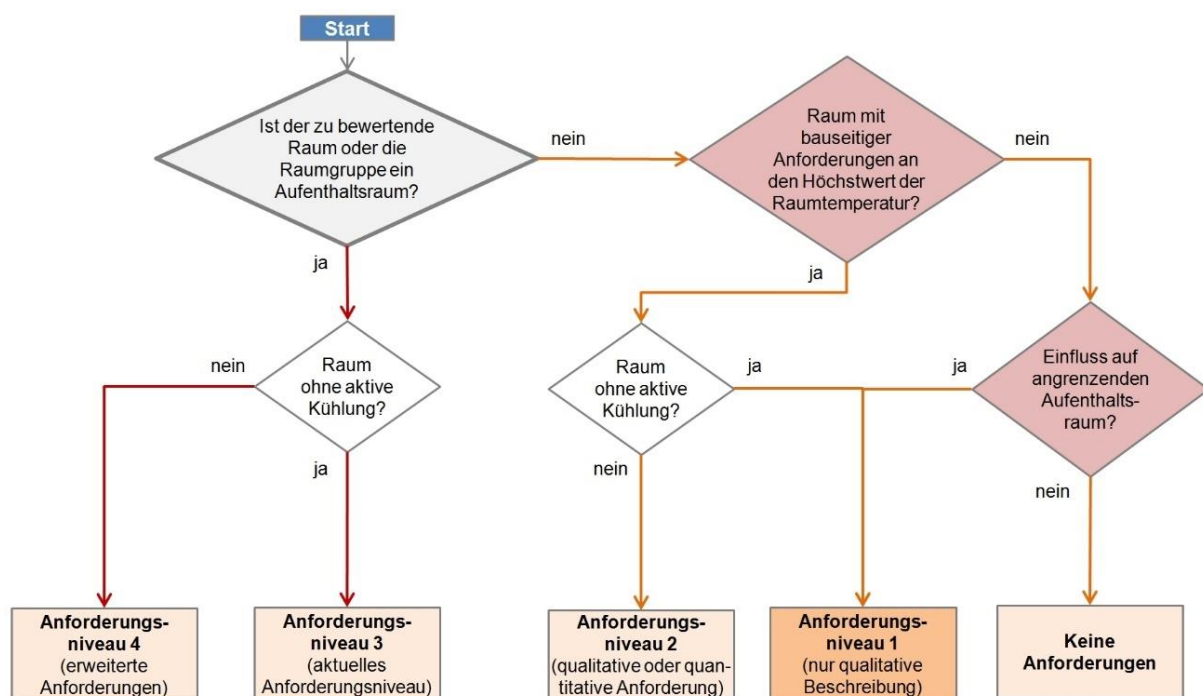


Bild 15

Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf einen ungekühlten Treppenraum mit hohem Fensterflächenanteil, der unmittelbar in einen Aufenthaltsraum führt

Das hier als Anforderungsniveau 1 bezeichnete Niveau soll eine qualitative Beschreibung von Maßnahmen umfassen, die in der Planung und Ausführung zu berücksichtigen wären. Diese könnten beispielsweise aus Vorgaben zu Belüftungsmöglichkeiten des Treppenraums oder Höchstwerten für einen Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{tot} bestehen.

Sofern der Treppenraum nicht unmittelbar in einen Aufenthaltsraum führt, werden unabhängig vom Fensterflächenanteil an diesen auch keine Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gestellt.

4.1.4 Fallbeispiel: Serverraum mit gekühlten Serverschränken

Serverräume oder auch andere Räume in denen beispielsweise Geräte oder Einrichtungsgegenstände mit anlagentechnischer Kühlung aufgestellt bzw. die Räume als solches gekühlt werden (Prozesskälte) und die nicht als Aufenthaltsräume einzustufen sind, fallen in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz bislang ebenfalls nicht in den Anwendungsbereich der DIN 4108-2:2013. Sofern diese Räume allerdings an Außenwänden mit Fenstern grenzen und es zusätzlich seitens des Bauherrn eine Vorgabe zur Begrenzung der Raumtemperatur gibt, sollten zur Reduzierung des Kühlenergiebedarfs Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz berücksichtigt werden, siehe Bild 16.

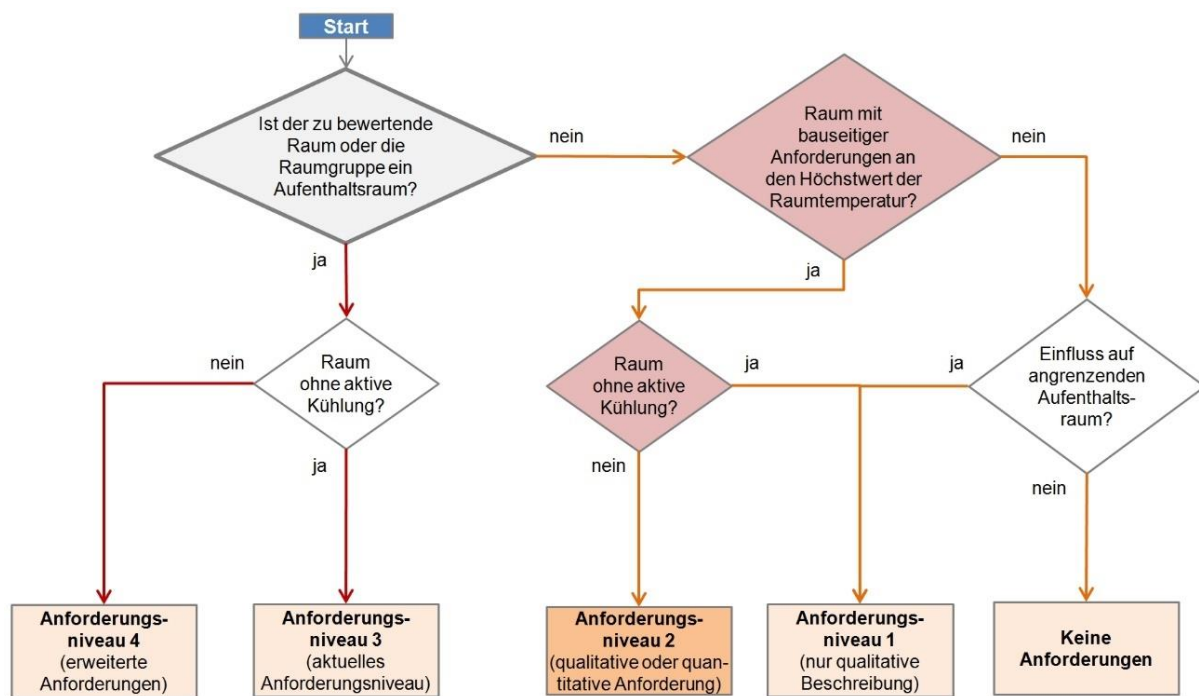


Bild 16

Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf einen Serverraum mit gekühlten Serverschränken

Das zunächst als Anforderungsniveau 2 bezeichnete Niveau soll grundsätzlich auch nur durch eine qualitative Beschreibung von Maßnahmen zur Reduzierung von solaren Wärmeinträgen umrissen werden. Alternativ könnte auch eine Begrenzung des Nutzkältebedarfs in Form von Höchstwerten eingeführt werden.

4.2 Methodisches Vorgehen zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes

Die Bewertung zum sommerlichen Wärmeschutz basiert hinsichtlich der beiden Nachweisverfahren Sonneneintragskennwertverfahren und thermische Simulationsrechnung jeweils auf simulativ ermittelten Grundsätzen. Das Simulationsverfahren definiert dabei die wesentlichen Berechnungsgrundlagen welche sich im Allgemeinen aus einer Anforderungsgröße, einer regional differierten Bezugstemperatur und einem Anforderungswert bzw. einer Anforderungshöhe zusammensetzt. Die regional differierte Bezugstemperatur ist abhängig von der jeweiligen Sommerklimaregion, der Anforderungswert von der Art der Nutzung, für welche außerdem nutzungsabhängige Simulationsrandbedingungen gelten.

Da der grundsätzliche Aufbau der Anforderungssystematik dazu geeignet ist, alternative bzw. innovative Größen zu verwenden und somit beibehalten werden kann, werden im Folgenden alternative Anforderungsgrößen, Bezugstemperaturen, Anforderungswerte und Nutzungen diskutiert.

In der vorausgehenden Normfassung DIN 4108-2:2003-07 werden als Anforderungsgröße für damals noch „ingenieurmäßige Berechnungsverfahren“ Überschreitungshäufigkeiten bzw. Übertemperaturstunden verwendet. Die gegenwärtig verwendete Normfassung DIN 4108-2:2013-02 definiert als Anforderungsgröße für thermische Simulationsrechnungen Übertemperaturgradstunden. Der normativen Bewertung mittels Übertemperaturgradstunden (normative Bezeichnung: Gh, an anderen Stellen teilweise auch als ÜTGS bezeichnet) liegen wie in Tabelle 2 zusammengefasst drei Bezugstemperaturen 25, 26 und 27 °C, abhängig von der jeweiligen Sommerklimaregionen zugrunde. Die Anforderungswerte (500 Kh/a für Nichtwohngebäude und 1.200 Kh/a für Wohngebäude) passen dabei in das Nachweiskonzept bzw. genauer gesagt zu den drei dazugehörigen TRY 2010 Klimadaten. Die Verwendung neuer, ggf. auch mikroklimatisch hochaufgelöster Klimadaten erfordert es, diese Anforderungswerte mit den dazugehörigen Bezugstemperaturen zu überarbeiten bzw. die Anforderungssystematik (Anforderungsgröße und -höhe) vollständig neu zu definieren.

Tabelle 2

Übersicht Parameter der Anforderungssystematik in der Normfassung DIN 4108-2:2013-02

Sommerklimaregion	Testreferenzjahr	Stand des Klimawandels	$\theta_{b,op}$	Anforderungsgröße und -höhe
A	Rostock	etwa 1998	25 °C	Übertemperaturgradstunden
	TRY 2010 Nr. 2			
B	Potsdam		26 °C	Wohngebäude: 1200 Kh/a
	TRY 2010 Nr. 4			
C	Mannheim		27 °C	Nichtwohngebäude: 500 Kh/a
	TRY 2010 Nr. 12			

Die genannten Anforderungswerte sind nur in Verbindung mit den damit verbundenen Bezugstemperaturen und Testreferenzjahren sinnvoll zu verwenden. Eine Verwendung davon abweichender Testreferenzjahre erfordert die Überarbeitung der genannten Bezugstemperaturen und Anforderungswerte. Im Folgenden wird die Anwendung von alternativen Anforderungsgrößen diskutiert.

4.2.1 Übertemperaturgradstunden vs. Überschreitungshäufigkeiten

Übertemperaturgradstunden haben die Eigenschaft, dass damit neben der Dauer auch die Höhe eines Überhitzungsereignisses bewertbar wird. Entsprechend wirken sich Überschreitungen der Bezugstemperatur von weniger als 1 Kelvin geringer aus als Überschreitungen von mehr als 1 Kelvin. Im Vergleich dazu wirken sich Überschreitungen bei einer Bewertung mit Überschreitungshäufigkeiten bzw. Übertemperaturstunden in allen Fällen gleich aus. Dem Wechsel von Überschreitungshäufigkeiten zu Übertemperaturgradstunden liegen einige Überlegungen zugrunde, welche nachfolgend im normativen Kontext diskutiert werden. Allgemein gesagt, passt sich der Mensch an das ihn umgebende Klima an. Übertemperaturgradstunden berücksichtigen Hitzeereignisse der Methodik entsprechend mit deren Intensität, was die Anforderungsgröße vorteilhaft erscheinen lässt. Hingegen ist die Größe Übertemperaturgradstunden schwerer „vorstellbar“ als auf eine bestimmte Temperatur bezogene Überschreitungshäufigkeiten und die Definition von passenden Grenzwerten gestaltet sich bei Fortschreibung der Anforderungssystematik mit veränderten Klimadaten als schwierig. In der Anwendung zeigt sich eine Sprunghaftigkeit von Übertemperaturgradstunden über verschiedene Betrachtungsszenarien und Softwareanwendungen hinweg in unterschiedlicher Intensität.

Bewertungen mit Überschreitungshäufigkeiten sind leicht verständlich, in Bezug auf Ergebnisse stetig und die Definition von Grenzwerten ist lediglich mit einem Zeitbezug (zulässige Überschreitungshäufigkeit an X Stunden oder zu X % der Stunden) möglich. Überschreitungshäufigkeiten stellen aufgrund der genannten Vorteile eine gute Alternative zu Übertemperaturgradstunden dar. Vorteilhaft ist, dass damit die Definition von Anforderungswerten für verschiedene Nutzungsprofile aufgrund des Zeitbezuges auf eine einfache und nachvollziehbare Art und Weise möglich ist. Nachteilig ist, dass die Größe an sich keine Klimaadaptation beinhaltet. In diesem Zusammenhang stehen jedoch weiterführende Überlegungen im Raum, die Bezugstemperaturen an-

statt bisher statisch, zukünftig stundenweise variabel, abhängig vom unmittelbar vorausgehenden Klima innerhalb des TRY-Datensatzes zu generieren. Dies kann nach bzw. in Anlehnung an eine Komfortbewertung der DIN EN 16798-1:2022-03 erfolgen. Erläuterungen hierzu folgen im nächsten Abschnitt.

4.2.2 Bezugstemperaturen aus der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1:2022-03

Im Zuge der Verwendung neuer Klimadaten muss die weitere Anwendbarkeit der Bezugswerte geprüft werden. In diesem Kontext stehen Überlegungen im Raum, die bisher statisch definierten Bezugswerte stundenweise variabel, abhängig vom zugrundeliegenden TRY zu generieren. DIN EN 16798-1:2022-03 bietet ein Verfahren an, welches abhängig vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur der vergangenen 7 bis etwa 14 Tage (je nach Formel) Komforttemperaturen definiert. Diesen Komforttemperaturen wird je nach Kategorie eine Obergrenze zugeordnet, welche im Kontext des sommerlichen Wärmeschutzes als „Mindestanforderung“ verstanden werden kann. So enthielt z. B. die DIN EN 15251:2012-12 entsprechende Empfehlungen, dass bei einer Überschreitungshäufigkeit von 3 % (oder 5 %) der entsprechenden Kategorie-Obergrenzen die jeweilige Kategorie noch zugewiesen werden kann.

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 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 $\theta_{\text{op,Kat.II,og}}$ ergibt sich durch folgenden Formelbezug:

$$\theta_{\text{op,Kat.II,og}} = 0,33 \times \theta_{\text{rm}} + 18,8 + 3 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3-1)$$

θ_{rm} entspricht dem exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der vorausgehenden Tage. Zur Berechnung von θ_{rm} wird ein Gewichtungsfaktor von $\alpha = 0,8$ empfohlen. Abweichend von den normativ nicht eindeutig definierten Formeln zur Ermittlung von θ_{rm} lautet die Formel für eine Einbeziehung der vorausgehenden 14 Tage:

$$\theta_{\text{rm,14d}} = \frac{\sum_{i=1}^{14} 0,8^{i-1} \times \theta_{\text{ed-i}}}{4,78} \quad (3-2)$$

$\theta_{\text{ed-i}}$ entspricht dem Tagesmittelwert der Außentemperatur des i-ten Tages vor dem aktuellen Tag. Die Festlegung auf einen 14-tägigen Mittelwert ermöglicht insbesondere für längere Hitzeperioden treffendere Bewertungen. Es ergibt sich die in Bild 17 dargestellte Obergrenze der operativen Temperatur 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.

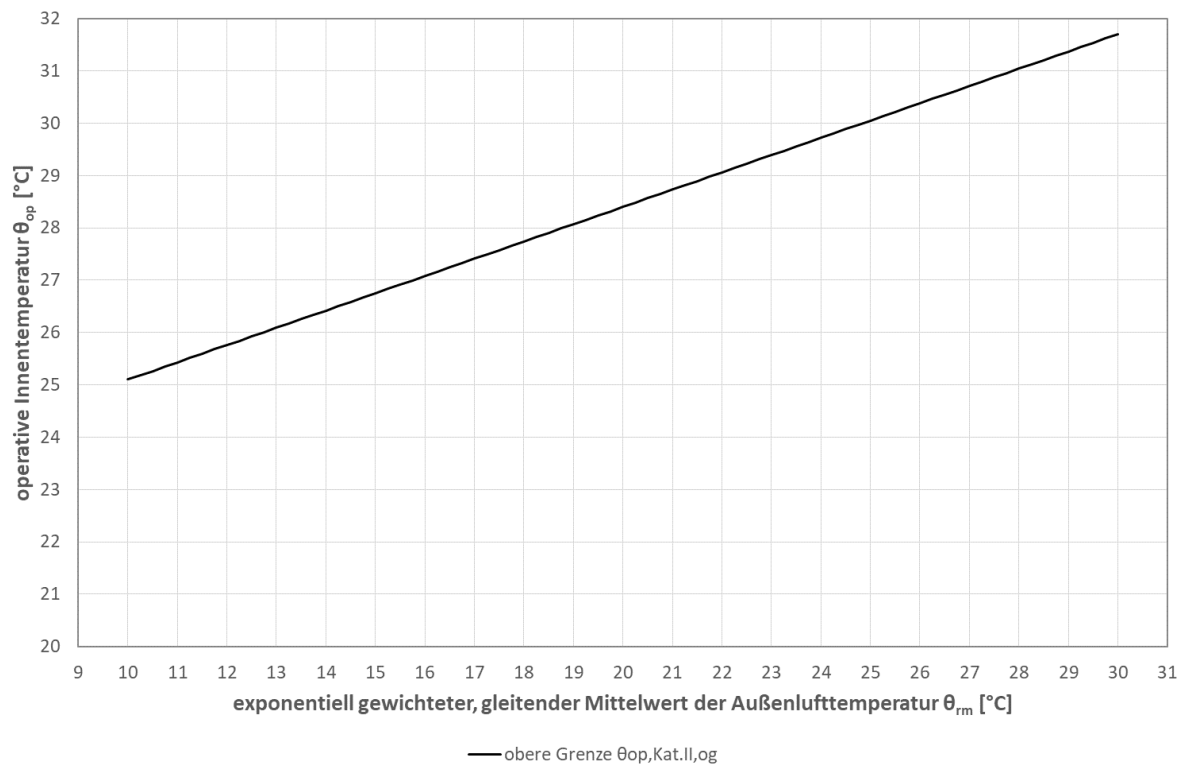


Bild 17

Zulässige operative Innentemperatur für Kategorie II (obere Begrenzung) $\theta_{op,Kat.II,og}$

Quelle: Daten 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.

4.3 Differenzierung Nutzungen

4.3.1 Allgemeine Hinweise

Gegenwärtig unterscheidet DIN 4108-2 für die Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz zwischen „Wohnnutzung“ und „Nichtwohnnutzung“. Dies gilt gleichermaßen für die beiden infrage kommenden Nachweismethoden Sonneneintragskennwertverfahren und thermische Simulationsrechnung.

Dieser Abschnitt dokumentiert eine Untersuchung zur Fragestellung, ob und inwieweit eine differenziertere Berücksichtigung unterschiedlicher Nichtwohnnutzungen in der Anforderungssystematik Berücksichtigung finden könnte. Für den Anwendungsfall Wohnnutzung wird eine weitergehende Differenzierung der Nutzungsrandbedingungen, z. B. unterscheidend zwischen EFH und MFH als nicht sinnvoll bzw. notwendig erachtet.

Die Nichtwohnnutzung in DIN 4108-2:2013-02 wird mit einer typischen Büronutzung in Anlehnung an das entsprechende Nutzungsprofil der DIN V 18599-10 bei hohen Wärmeeinträgen beschrieben. Hierbei wird von einem mittleren täglichen Wärmeeintrag von 144 Wh/(m²d) ausgegangen (132 Wh/(m²d) zuzüglich

12 Wh/(m²d) als Lichtanteil), welcher im rechnerischen Nachweis über eine tägliche Nutzungszeit von 11 Stunden (von 7 bis 18 Uhr) als konstanter Wärmeeintrag unterstellt wird. Das Sonneneintragskennwertverfahren wurde für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung auf Simulationsrechnungen basierend kalibriert, wobei die vorbeschriebenen Nutzungsrandbedingungen zugrunde gelegt wurden.

Unabhängig von der Methode der Nachweisführung ist für die Vielzahl real auftretender Nichtwohnnutzungen diese vereinfachende Betrachtung einer „Standardnutzung“ zumindest für realitätsnahe Aussagen zu dem tatsächlich zu erwartenden thermischen Komfort unzureichend, um die Heterogenität in Bezug auf unterschiedliche Nutzungen abbilden zu können. In DIN V 18599-10:2018-09, Tabelle 5 sind beispielsweise über 40 Nutzungsprofile beschrieben, deren relevante Nutzungscharakteristika für das sommerliche Wärmeverhalten im Wesentlichen in den folgenden Kategorien zusammengefasst werden können:

- Nutzungs- und Betriebszeiten,
- Beleuchtung,
- Raumklima und
- Wärmequellen

Ein Vergleich der Nutzungsprofile verdeutlicht die Unterschiede, die in den einzelnen Charakteristika bestehen. Diese können sowohl zu unterschiedlichen Bewertungen hinsichtlich der Notwendigkeit als auch Effektivität von Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überhitzung führen. In Tabelle 3 (siehe Abschnitt 4.3.3.1) sind beispielhaft Charakteristika für verschiedene Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 angegeben. Insbesondere die Unterschiede bei den Werten für

- die jährlichen Nutzungsstunden zur Tagzeit,
- die Mindestaußenluftvolumenströme und
- die Wärmequellen

bilden die Grundlage für die rechnerischen Untersuchungen zu einer möglichen weitergehenden Differenzierung.

Für die Entwicklung von Nutzungsrandbedingungen, die für Nichtwohngebäude im Rahmen einer thermischen Gebäudesimulation angesetzt werden könnten, wurden zunächst die Nutzungsrandbedingungen in DIN V 18599-10 Tabelle 5 mit dem Ziel analysiert, eine Gruppierung vornehmen zu können, um somit eine zu detaillierte Differenzierung zu vermeiden: So viele Nutzungsprofile wie nötig und so wenige wie möglich!

Zur Entwicklung von unterschiedlichen Nichtwohnnutzungsprofilen auf Stundenbasis und die anschließende rechnerische Bewertung dieser Nichtwohnnutzungen werden die beiden im Folgenden Verfahren/Methoden angewendet:

1. aus vier unterschiedlichen Kategorien (tägliche Nutzungszeit, wöchentliche Nutzungstage, Wärmequellen und Mindestaußenluftvolumenstrom), für die jeweils drei unterschiedliche Klassen gebildet werden, werden individuelle Nutzungsprofile generiert und anschließend der Simulationsrechnung zugrunde gelegt und in Bezug auf das thermische Verhalten während der Nutzungszeit ausgewertet -> „**Kategorieverfahren**“ (siehe Abschnitt 4.3.2)
2. aus ausgewählte Nutzungsprofilen der DIN V 18599-10, aus der für die Durchführung einer Monatsbilanz Nutzungsprofile auf Monatsbasis zur Verfügung stehen (vgl. Auszug in Tabelle 3), werden Nutzungsprofile auf Stundenbasis für die thermische Simulationsrechnung gebildet und anschließend der Berechnung zugrunde gelegt -> „**Verfahren Stundenwerte auf Grundlage DIN V 18599-10**“ (siehe Abschnitt 4.3.3)

Sowohl für das „Kategorieverfahren“ als auch für das Verfahren „Stundenwerte auf Grundlage der DIN V 18599-10) werden für individuelle Nutzungsprofile auf Stundenbasis unter besonderer Berücksichtigung der Elemente nach den Abschnitten 4.3.2.1 bis 4.3.2.3 generiert.

4.3.1.1 Nutzungszeiten

Für die Bewertung des Einflusses der Nutzungszeiten auf die sommerliche Überhitzung sind die Jahresnutzungsstunden, die sich aus den täglichen Nutzungsstunden und den jährlichen Nutzungstagen ergeben, kein hinreichendes Kriterium. Es bedarf zusätzlich der Unterscheidung, ob die Nutzung überwiegend zur Tagzeit (z. B. Büro oder Klassenzimmer), überwiegend zur Nachtzeit (z. B. Hotelzimmer) oder ganztätig (z. B. Bettenzimmer) stattfindet. Im Zusammenhang mit der Festlegung von Höchstwerten, die sich beispielsweise auf eine Überschreitungshäufigkeit beziehen, ist zusätzlich das Wochenprofil (z. B. 5-Tage-Woche oder 7-Tage-Woche) von Bedeutung.

4.3.1.2 Wärmequellen

Die Wärmequellen infolge von Personen und Arbeitshilfen, die nutzungsbedingt in den zu betrachtenden Raum eingebracht werden, stellen die Grundlast dar. Je geringer diese sind, desto mehr solare Wärmeeinträge können zugelassen werden, bevor eine Überhitzung entsteht. Insbesondere Nutzungen mit einer hohen Belegungsdichte (z. B. Klassenzimmer) haben daher eine größere Neigung zur (sommerlichen) Überhitzung als Nutzungen mit einer geringeren (z. B. Büro) Belegungsdichte.

4.3.1.3 Mindestaußenluftvolumenstrom

Der nutzungsbedingte Mindestaußenluftvolumenstrom ist erforderlich, um eine hygienisch akzeptable Raumluftqualität sicherzustellen. Diese ist während der Nutzungszeit zu gewährleisten, auch wenn hohe Außenlufttemperaturen zu einer zusätzlichen Aufheizung des betrachteten Raumes führen. Ein hoher Mindestaußenluftstrom führt also dazu, dass die zusätzlichen solaren Wärmeeinträge stärker begrenzt werden müssen.

4.3.2 Modell zur Konfiguration der Nutzungsprofile (Kategorieverfahren)

Eine Differenzierung der als maßgeblich identifizierten Randbedingungen in Bezug auf deren Nutzungsintensität und eine Kombination untereinander würde zu einer Vielzahl von zu beschreibenden Nutzungsprofilen führen. Dies wurde als nicht zielführend erachtet. Daher wurde im Weiteren der Weg verfolgt, dass ein Anwender mittels vier Kategorien zwar ein projektspezifisches Nutzungsprofil zusammenstellen kann, die damit verbundenen quantitativen Festlegungen aber vorgegeben werden. Mit diesem Modell kann einerseits berücksichtigt werden, dass grundlegende Ziele eines Nachweisverfahrens nicht unterlaufen werden, andererseits jedoch ein individueller Bezug zur geplanten Nutzung hergestellt werden kann. Das Modell zur Konfiguration der Nutzungsprofile von Nichtwohngebäude, die im Rahmen einer thermischen Gebäudesimulation angewendet werden können, basiert auf vier Kategorien (Abschnitte 4.3.2.1 bis 4.3.2.4):

- Tägliche Nutzungszeit
- Wöchentliche Nutzungstage
- Wärmequellen
- Mindestaußenluftvolumenstrom

In jeder Kategorie stehen verschiedene Nutzungsintensitäten zur Auswahl, die in Kombination das durch den Anwender definierte Nutzungsprofil ergeben.

4.3.2.1 Kategorie „Tägliche Nutzungszeiten“

Für die Kategorie „Tägliche Nutzungszeiten“ erfolgt eine grundsätzliche Differenzierung der Nutzung in

- überwiegend zur Tagzeit (7:00–8:00 Uhr, wie in DIN 4108-2 für Nichtwohnnutzung)
- überwiegend zur Nachtzeit und (18:00–7:00 Uhr)
- ganztags (0–24 Uhr).

Die Festlegung dient zusammen mit der Kategorie „Wöchentliche Nutzungstage“ einerseits der Ermittlung der jährlichen Nutzungsstunden, eine für eine Bewertung von Überschreitungshäufigkeiten erforderliche Größe,

und andererseits wird damit eine vorhandene bzw. nicht vorhandene Gleichzeitigkeit des Auftretens von internen Wärmequellen und solarer Wärmeeinträge berücksichtigt. Sofern keine eindeutige Zuordnung möglich ist, wird die Verwendung von „überwiegend zur Tagzeit“ als Standardfall empfohlen.

4.3.2.2 Kategorie „Wöchentliche Nutzungstage“

Für die Kategorie „Wöchentliche Nutzungstage“ werden hinsichtlich der Wochentage drei Nutzungsintensitäten unterschieden:

- 5-Tage-Woche (Mo.–Fr., wie in DIN 4108-2 für Nichtwohnnutzung),
- 6-Tage-Woche (Mo.–Sa.) und
- 7-Tage-Woche.

Die 5-Tage-Woche steht repräsentativ für eine übliche Arbeitswoche von Montag bis Freitag und stellt den Standardfall dar. Die 6-Tage-Woche findet meist für Nutzungen im Handel Anwendung und schließt zusätzlich den Samstag mit ein. Sofern eine durchgängige Nutzung vorgesehen ist, z. B. Hotel, wäre die 7-Tage-Woche zu wählen. In den Randbedingungen der DIN 4108-2:2013 ist eine 5-Tage-Woche beschrieben.

Die Koppelung der Nutzungsintensität mit Wochentagen ist in Verbindung mit den Simulationsberechnungen erforderlich, um eine Eindeutigkeit der Rechenrandbedingungen zu gewährleisten.

Eine Berücksichtigung von Urlaubs- und Feiertagen sowie Ferienzeiten ist nicht vorgesehen.

4.3.2.3 Kategorie „Wärmequellen“

Für die Kategorie „Wärmequellen“ werden die internen Wärmeeinträge durch Personen und Arbeitshilfen abweichend zur DIN V 18599-10 zusammengefasst. Der Wärmeeintrag wird, ebenfalls abweichend zur DIN V 18599-10, als Leistung bezogen auf die Nettogrundfläche des betrachteten Raums angegeben und nur während der Nutzungszeit in Ansatz gebracht.

Die Unterscheidung der Nutzungsintensität erfolgt innerhalb der Nutzungszeit zwischen

- gering (5 W/m^2),
- mittel (10 W/m^2) und
- hoch (15 W/m^2)
- zum Vergleich: aus der Vorgabe $144 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ in DIN 4108-2 ergibt sich während der 11-stündigen Nutzungszeit ein Wärmeeintrag von $13,1 \text{ W/m}^2$

Repräsentativ für einen Wärmeeintrag von 5 W/m^2 , der für die Nutzungsintensität „gering“ steht, kann die Nutzung Schalterhalle (Nutzungsprofil 5 nach DIN V 18599-10:2018-09) angesehen werden.

Für die Nutzungsintensität „mittel“ wird ein Wert von 15 W/m^2 angenommen. Repräsentativ für diesen Wärmeeintrag kann die Nutzung Klassenzimmer (Nutzungsprofil 8 nach DIN V 18599-10:2018-09) gesehen werden.

Die Nutzungsintensität „hoch“ steht für 30 W/m^2 . Repräsentativ für diesen Wärmeeintrag kann die Nutzung Kantine (Nutzungsprofil 12 nach DIN V 18599-10:2018-09) gesehen werden.

Sofern eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist, wird als Standardfall die Nutzungsintensität „mittel“ empfohlen.

Die Wärmeeinträge werden während der Nutzungszeit als konstant angesetzt.

4.3.2.4 Kategorie „Mindestaußenluftvolumenstrom“

Die Kategorie Mindestaußenluftvolumenstrom wird gleichfalls in drei Nutzungsintensitäten unterschieden:

- gering ($5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$),

- mittel ($10 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$) und
- hoch ($20 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$)
- zum Vergleich: für Nichtwohnnutzung ergibt sich aus der Vorgabe $n = 4 \text{ AG/V}$ gemäß DIN 4108-2 bei einer Raumhöhe von 2,8 m ein Mindestaußenluftvolumenstrom von $11,2 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$

Der Mindestaußenluftvolumenstrom wird als Volumenstrom bezogen auf die Nettogrundfläche des betrachteten Raums angegeben und wird nur während der Nutzungszeit in Ansatz gebracht.

Die Herleitung der Nutzungsintensität „gering“ erfolgte auf Basis von $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Repräsentativ für diesen Mindestaußenluftvolumenstrom kann die Nutzung Büro (z.B. Nutzungsprofil 1 nach DIN V 18599-10:2018-09) gesehen werden.

Die Nutzungsintensität „mittel“ geht von $10 \text{ m}^3/\text{h}$ aus. Repräsentativ für diesen Mindestaußenluftvolumenstrom kann die Nutzung- Klassenzimmer (Nutzungsprofil 8 nach DIN V 18599-10:2018-09) gesehen werden.

Die Nutzungsintensität „hoch“ steht für $20 \text{ m}^3/\text{h}$. Repräsentativ für diesen Mindestaußenluftvolumenstrom kann die Nutzung Kantine (Nutzungsprofil 12 nach DIN V 18599-10:2018-09) gesehen werden.

Sofern eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist, wird als Standardfall die Nutzungsintensität „mittel“ empfohlen.

Der Mindestaußenluftvolumenstrom berücksichtigt bereits den Luftaustausch durch Infiltration infolge Undichtheiten in der Gebäudehülle. Ein Luftaustausch infolge von Infiltration außerhalb der Nutzungszeit wird nicht im Rahmen der Nutzungsrandbedingungen festgelegt.

Ebenso werden die Möglichkeiten einer erhöhten Taglüftung oder Lüftungskonzepte außerhalb der Nutzungszeiten nicht im Rahmen der Nutzungsrandbedingungen beschrieben.

4.3.2.5 Exemplarische Auswertungen zu Nutzungen gemäß Kategorieverfahren

Um einen Vergleich der nach dem Kategorieverfahren resultierenden Nutzungsprofile zu der aktuell nach DIN 4108-2 beschriebenen Nichtwohnnutzung zu ermöglichen, folgen im Weiteren Auswertungen für den in Beispielraum „zen“.

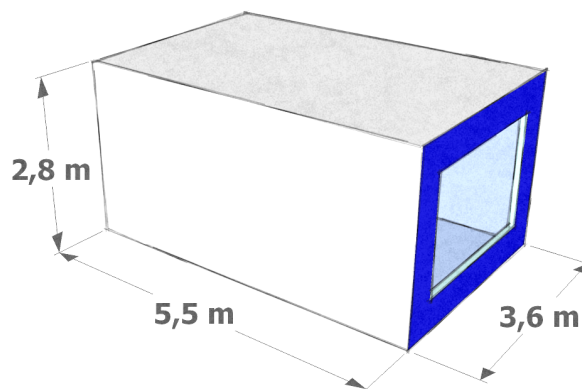


Bild 18
Raummodell „zen“

Diesen exemplarischen Berechnungen wird

- ein 50-prozentiger Fassadenbezogener Grundflächenanteil (entspricht etwa einem 25-prozentigen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil),
- ein mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m^2 automatisch gesteuerter Sonnenschutz mit einem F_C -Wert von 0,30 bei einem U_g -Wert 0,60 sowie

- der Klimadatensatz TRY2010_04 (Potsdam, Klimaregion B gemäß DIN 4108-2)

zugrunde gelegt.

Zunächst folgen mit Bild 19 Auswertungen, die in Bezug auf die tägliche Nutzungszeit (7 bis 18 Uhr) und die wöchentlichen Nutzungstage (5, Mo. –Fr.) direkt mit dem Nutzungsprofil für Nichtwohnnutzung aus DIN 4108-2 vergleichbar sind. Variiert werden hierin gemäß Kategorieverfahren die internen Wärmequellen sowie der Mindestaußenluftvolumenstrom.

In Bild 19 erfolgen die Auswertungen für die Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$. Dabei wird unterstellt, dass nicht die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung besteht. Außerhalb der Nutzungszeit wird insofern ein Luftwechsel von $0,24 \text{ h}^{-1}$ unterstellt.

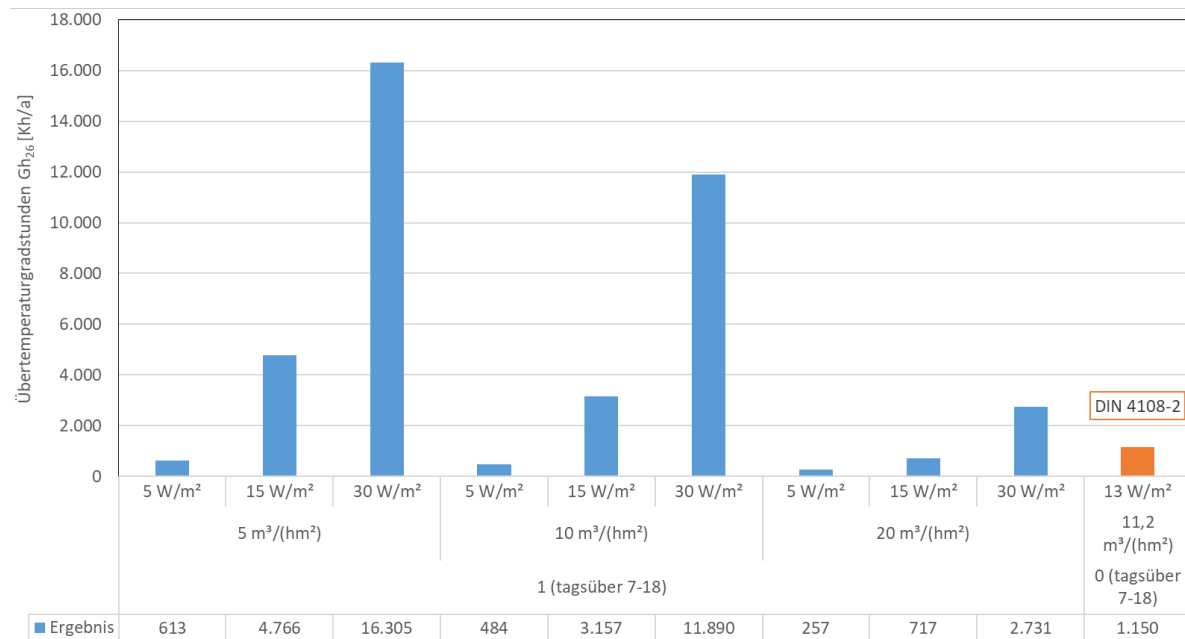


Bild 19

Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ bei Variation von internen Wärmequellen und Mindestaußenluftvolumenstrom

Die Auswertungen in Bild 19 zeigen, dass die Variation der internen Wärmequellen sowie des Mindestaußenluftvolumenstroms einen signifikanten Einfluss auf die $G_{h_{26}}$ -Werte hat. Während für die Nichtwohnnutzung gemäß DIN 4108-2 (orangene Säule in Bild 19 ganz rechts) ein $G_{h_{26}}$ -Wert von 1.150 Kh/a resultiert, ergeben sich unter Variation der Parameter Werte zwischen 16.305 Kh/a für die „ungünstigste“ Kombination der höchsten internen Wärmequellen von 30 W/m^2 bei geringstem Mindestaußenluftvolumenstrom von $5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ und 257 Kh/a für die „günstigste“ Kombination mit den geringsten internen Wärmequellen von 5 W/m^2 und den höchsten Mindestaußenluftvolumenstrom von $20 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$. Wäre eine Differenzierung der Nichtwohnnutzungen gemäß Kategorieverfahren zulässig, so ließen sich abhängig von der Wahl der Randbedingungen also durchaus Lösungen finden, mit denen die Anforderung $G_{h_{26}} \leq 500 \text{ Kh/a}$ nach DIN 4108-2 eingehalten werden kann.

Würde eine künftige Fassung der DIN 4108-2 über die Öffnung der Nachweisrandbedingungen in Bezug auf den Ansatz unterschiedlicher interner Wärmequellen und Mindestaußenluftvolumenströme hinaus auch, wie im Kategorieverfahren vorgesehen, hinsichtlich der täglichen Nutzungszeit und der wöchentlichen Nutzungstage unterschiedliche Ansätze erlauben, ergeben sich hieraus grundsätzlich abweichende Nutzungsstunden pro Jahr. Dies hat zur Folge, dass Auswertungen für die Anforderungshöhe 500 kh/a nicht mehr direkt mit den Auswertungen für eine wochentägliche Nutzung von 7 bis 18 Uhr verglichen werden können.

Hinsichtlich einer weitergehenden Differenzierung der Anforderungen in Bezug auf unterschiedliche Nichtwohnnutzungen müsste unter Beibehaltung der Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden dann für

jede Kombination aus der täglichen Nutzungszeit (3 Klassen) und der wöchentlichen Nutzungstage (3 Klassen) jeweils einzelne Anforderungshöhen (also insgesamt 9 unterschiedliche Anforderungsniveaus) definiert werden. Die Option der Beibehaltung der Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden kommt daher aufgrund der deutlich steigenden Komplexität der Nachweissystematik nicht infrage. Als Anforderungsgröße besser geeignet wäre z. B. die Größe Überschreitungshäufigkeit n_{26} (in Klimaregion B), wobei sich die Anforderungshöhe aus einer prozentualen zulässigen Überschreitungshäufigkeit bezogen auf die Nutzungsstunden pro Jahr formulieren ließe. Alternativ zu Überschreitungshäufigkeiten, die sich wie zuvor beschrieben, auf eine fixe Temperatur je Klimaregion beziehen, bestünde die Möglichkeit, wie in der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 auf einen gleitenden Mittelwert der Außentemperatur zu beziehen (siehe hierzu Ausführungen in Abschnitt 3.3.2 sowie Kapitel 5). Dies hätte perspektivisch den Vorteil, dass ein Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes neben der Variation von Nutzungsrandbedingungen auch den Ansatz ortsbezogener Klimadaten ermöglichen würde, ohne die Anforderungssystematik selbst anpassen zu müssen. Weitere Auswertungen in Bezug auf eine mögliche weitergehende Differenzierung der Nutzungsrandbedingungen können insofern erst dann zierführend erfolgen, wenn grundsätzliche Entscheidungen zur Fortschreibung der Anforderungsgröße und -höhe getroffen sind.

4.3.3 Verfahren Stundenwerte auf Grundlage DIN V 18599-10

4.3.3.1 Erläuterungen

Alternativ zu dem Ansatz von Nutzungsprofilen gemäß Kategorieverfahren (siehe vorheriger Abschnitt 4.3.2), könnten zum Zweck einer weitergehenden Differenzierung der Nutzungen für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes auch Nutzungsprofile aus DIN V 18599-10 abgeleitet werden. In DIN V 18599 werden für die energetische Bilanzierung unterschiedliche Nutzungen auf Basis von Monatswerten definiert. Hieraus können analog zur Vorgehensweise bei dem vorgestellten Kategorieverfahren Nutzungsprofile auf Stundenbasis abgeleitet werden. Für exemplarische Berechnungen wurden für die in Tabelle 3 auszugsweise beschriebenen Nutzungen entsprechende Nutzungsprofile erstellt. Die Auswertungen hierzu folgen in Abschnitt 4.3.3.2.

Tabelle 3
Exemplarische Charakteristika von Nutzungsprofile

Nutzung	Nutzungs- und Betriebszeiten					Raumklima		Wärmequellen	
	Nutzung Beginn	Nutzung Ende	tägliche Nutzungsstunden	jährliche Nutzungstage	jährliche Nutzungsstunden	Mindestaußenluftvolumenstrom	Mindestaußenluftvolumenstrom für Gebäude	Personen	Arbeitshilfen
	–	–	$t_{\text{nutz,d}}$	$d_{\text{nutz,a}}$	t_{Tag}	V_A	$V_{A,\text{Geb}}$	$q_{l,p}$	$q_{l,\text{fac}}$
	Uhr	Uhr	h/d	d/a	h/a	$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$	$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$	$\text{Wh}/(\text{m}^2\text{d})$	$\text{Wh}/(\text{m}^2\text{d})$
Einzelbüro	07:00	18:00	11	250	2.543	4	2,5	30	43
Gruppenbüro	07:00	18:00	11	250	2.543	4	2,5	30	43
Großraumbüro	07:00	18:00	11	250	2.543	6	2,5	42	60
Besprechung, Sitzung, Seminar	07:00	18:00	11	250	2.543	15	2,5	93	8
Klassenzimmer, Gruppenraum	08:00	15:00	7	200	1.400	10	2,5	100	20
Bettzimmer	00:00	00:00	24	365	4.407	5	2,5	108	24

Quelle: Daten nach DIN V 18599-10

4.3.3.2 Exemplarische Auswertungen für Nutzungen nach DIN V 18599-10

Um einen Vergleich der aus den DIN V 18599-10 abgeleiteten Nutzungsprofile zu der aktuell nach DIN 4108-2 beschriebenen Nichtwohnnutzung zu ermöglichen, folgen im Weiteren Auswertungen für den in Beispielraum „zen1.5b1.5t_breit“.

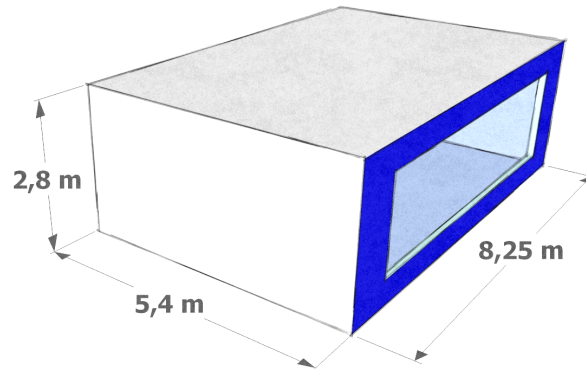


Bild 20
Raummodell „zen1.5b1.5t_breit“

Diesen exemplarischen Berechnungen wird

- ein 70-prozentiger Fassadenbezogener Grundflächenanteil (entspricht etwa einem 35-prozentigen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil),
- ein mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m^2 automatisch gesteuerter Sonnenschutz mit einem FC-Wert von 0,25 bei einem Ug-Wert 0,50 sowie
- der Klimadatensatz TRY2010_04 (Potsdam, Klimaregion B gemäß DIN 4108-2)

zugrunde gelegt. Die Auswertungen in Bild 21 erfolgen für die Größe Überschreitungshäufigkeiten n_{26} . Dabei wird unterstellt, dass nicht die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung besteht.

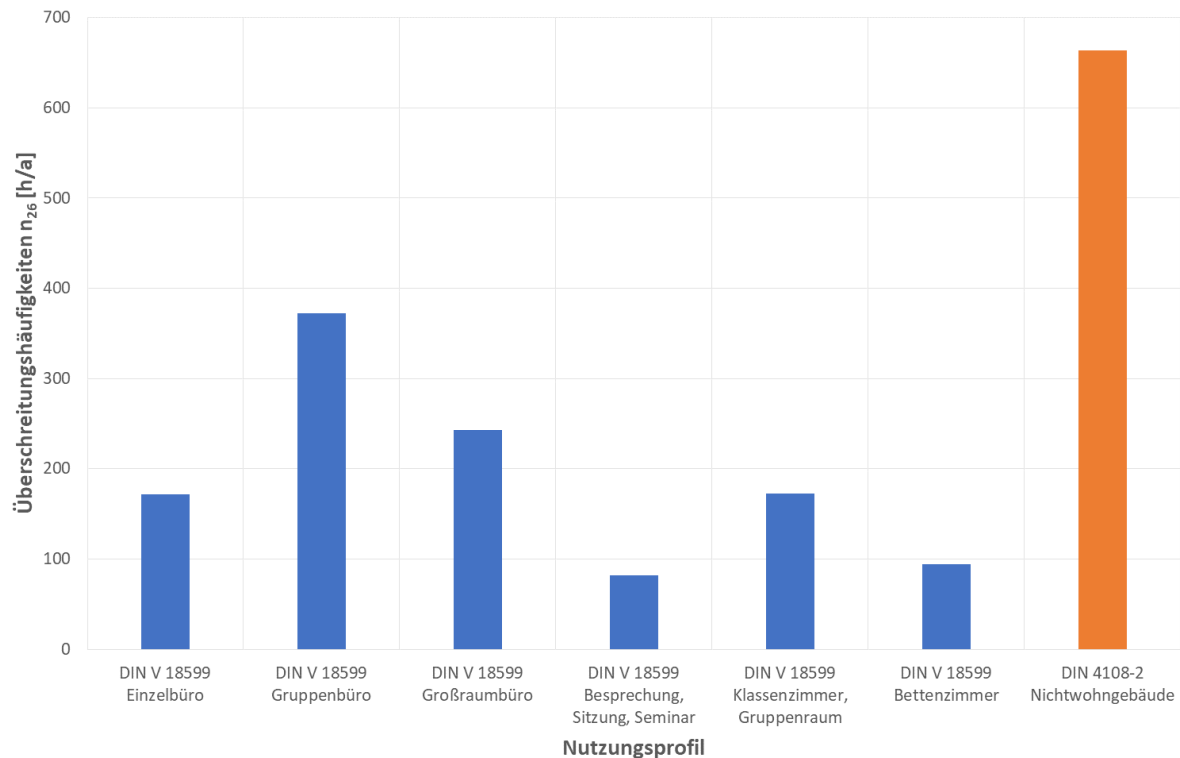


Bild 21

Überschreitungshäufigkeiten n_{26} bei Variation der Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 im Vergleich zur Nichtwohnnutzung nach DIN 4108-2

Die Auswertungen in Bild 21 zeigen, dass Simulationsrechnungen für Nutzungsprofile, die aus den Nutzungen nach DIN V 18599-10 abgeleitet sind, im Vergleich zur Nichtwohnnutzung nach DIN 4108-2 durchweg zu geringeren Überschreitungshäufigkeiten führen. Mit Verweis auf die grundsätzliche Notwendigkeit zur Definition einer neuen Anforderungssystematik (vgl. Erläuterungen in Abschnitt 4.3.3.2), einhergehend mit der Festlegung auf eine neue Anforderungsgröße und -höhe bei der Fortschreibung der Regelungen zur Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes folgen an dieser Stelle keine weitergehenden Auswertungen zur Differenzierung der Nichtwohnnutzungen.

4.4 Zusammenfassung

In Bezug auf die Fortschreibung der Anforderungssystematik lassen sich durchgeführten Untersuchungen wie folgt zusammenfassen:

- **Struktur der Anforderungssystematik**

In der gegenwärtigen Fassung der DIN 4108-2 werden Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz für Aufenthaltsräume bzw. beheizte Räume formuliert. Ob und in welchem Umfang hierbei in Räumen, für die planmäßig eine anlagentechnische Kühlung vorgesehen ist, bauliche Maßnahmen zur Verringerung des Energieeinsatzes für Kühlung umzusetzen ist, wird in der aktuellen Fassung der DIN 4108-2 nicht klar benannt. Weiterhin werden keine Anforderungen an Räume vorgegeben, die zwar keine Aufenthaltsräume sind, aber an Aufenthaltsräume angrenzen (z. B. Treppenhäuser oder Atrien). Auch für gekühlte Nichtaufenthaltsräume, wie z. B. Serverräume, werden keine Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz formuliert. Ergebnis der Projektbearbeitung ist ein Vorschlag für eine qualitative Erweiterung der Anforderungssystematik, wobei die bislang nicht hinreichend adressierten Situationen erfasst werden. Diese Erweiterung wird anhand von Fallbeispielen erläutert.

- Anforderungsgröße und -höhe

Mit Verweis auf den Vorschlag, die Anforderungssystematik in Bezug auf die für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes anzusetzenden Klimarandbedingungen grundsätzlich auf Zukunftsklimadaten abzustellen, ergibt sich die Notwendigkeit, die Weiterverwendung der bisherigen Anforderungsgröße Über-temperaturgradstunden auf den Prüfstand zu stellen. Die Ergebnisse der hierzu durchgeführten Untersuchungen führen zu der Empfehlung, bei der Fortschreibung der Anforderungssystematik methodisch auf die Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 umzustellen. Es wird empfohlen, als Anforderungsgröße künftig die Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Komfortstufe II ($n_{\text{Kat.II}}$) zu etablieren. Hinsichtlich der Anforderungshöhe wird empfohlen, bezogen auf die tatsächliche Nutzungszeit eine maximal zulässige prozentuale Überschreitung der Obergrenzen der Komfortstufe II zu vorgeben. Auswertungen im Vergleich zur gegenwärtigen Anforderungsgröße und Anforderungshöhe zeigen, dass die zulässige Überschreitungshäufigkeit zwischen 3 und 5 % der Nutzungszeit betragen solle.

- Differenzierung Nutzungen

Die exemplarischen Auswertungen unter Zugrundelegung unterschiedlicher Nichtwohnnutzungsprofile zeigen, dass abhängig von den fallweise angesetzten Randbedingungen (interne Wärmequellen, Mindest-Außenluftvolumenstrom, Nutzungszeiten) sehr unterschiedliche thermische Beanspruchungen der Räume resultieren und diese Heterogenität der Nutzungen durch die Vorgabe für Nichtwohnnutzung gemäß DIN 4108-2 nicht hinreichend beschrieben wird. Im Sinne einer zielführenden und den tatsächlichen Nutzungs-randbedingungen gerecht werden Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz sollte die Anforderungssystematik künftig eine differenziertere Behandlung der Nichtwohnnutzung ermöglichen. Bevor die Anforderungssystematik aber hinsichtlich einer weitergehenden Differenzierung der Nichtwohnnutzung fortgeschrieben werden kann, muss zunächst eine grundsätzliche Überarbeitung der Anforderungssystematik hinsichtlich Anforderungsgröße und Anforderungshöhe erfolgen. Erst, wenn dahingehend eine Festlegung getroffen wurde, können ausgehend von der bisherigen Standard-Nichtwohnnutzung Vorschläge für eine weitergehende Differenzierung ausgearbeitet werden.

5 Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 Empfehlung für künftige Anforderung

Dieser Abschnitt beschreibt den gegenwärtigen Erkenntnisstand in Bezug auf die Empfehlung, die künftige Anforderung an den sommerlichen Wärmeschutz auf Grundlage einer Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 zu formulieren. Die Ausführungen erfolgen in Form der Gegenüberstellung der gegenwärtigen Anforderungssystematik zur Komfortbewertung der Kategorie II nach DIN EN 16798-1.

Zu den Anforderungshöhen wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt, welche die bisherige Anforderungssystematik mit Empfehlungen zu deren Novellierung gegenüberstellend bewertet. In Abgrenzung zur bisherigen Bewertung nach DIN 4108-2:2013-02 (TRY 2010 Klimata „Rostock“, „Potsdam“ und „Mannheim“) umfasst der Vergleich die Anwendung der drei TRY 2045 Klimata „Hof“, „Potsdam“ und „Mannheim“. Die Auswertungen dazu erfolgen mit einer Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1:2022-03, jedoch ohne Berücksichtigung des Nationalen Anhangs. Dabei wird die obere Begrenzung von Kategorie II mit jährlichen Überschreitungshäufigkeiten in h/a verwendet.

Die Festlegung einer Anforderungshöhe ist grundsätzlich an ein dazugehöriges Nutzungsprofil gekoppelt. Da Empfehlungen zur weiteren Differenzierung der Nutzungen noch nicht abschließend geklärt sind, werden im Folgenden die Nutzungsprofile der DIN 4108-02:2013-02 für Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung dargestellt. Übergeordnete Überlegungen zur Fortschreibung der Anforderungssystematik beinhalten hinsichtlich klimatischer Veränderungen tendenziell eine moderate Verschärfung der Anforderungen. Die im Weiteren dokumentierten Auswertungen beziehen sich auf die in Bild 22 dargestellten Raummodelle.

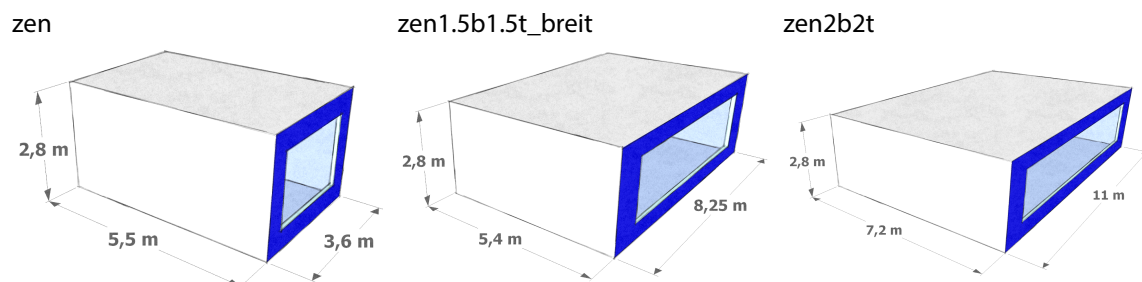


Bild 22
Raummodelle „zen“, „1.5b1.5t_breit“ und „zen2b2t“

Dabei wurden Fensterflächenanteile, U_w -Werte, g -Werte, Orientierungen, F_c -Werte, Steuerungsgrößen der Sonnenschutzsysteme und Nachtlüftungszustände variiert. Die Vergleichsrechnungen umfassen gesamtheitlich über eine Million simulierte Konfigurationen, welche als Datenbankeinträge einzeln abrufbar sind. Da weiterhin mindestens zwei nutzungsabhängige Anforderungshöhen notwendig sind, wird die Neuformulierung der Anforderungswerte im Weiteren für die Wohn- und Nichtwohnnutzung getrennt diskutiert. Dazu sind jeweils im Grenzbereich der bisherigen Anforderungshöhe repräsentative kritische Fälle dargestellt.

5.1 Wohnnutzung

Für den Anwendungsfall Wohnnutzung erfolgt mit Abschnitt 5.1.1 zunächst eine Auswertung für ausgewählte Einzelauswertungen, anhand derer ein Vergleich der gegenwärtigen Anforderungsgröße und -höhe im Vergleich zu der Komfortbewertung gemäß DIN EN 16798-1 und der Überschreitungshäufigkeit der Obergrenzen der Kategorie II ermöglicht wird.

Abschnitt 5.1.2 stellt in Ergänzung zu den Einzelauswertungen die Korrelation zwischen der gegenwärtigen Anforderungsgröße Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25/26/27}}$ und der Überschreitungshäufigkeit der Kategorie

II-Obergrenzen $n_{\text{Kat,II}}$ nach DIN EN 16798-1 für eine umfangreiche Parameterstudie dar. Diese Auswertungen stellen die Grundlage für die Erarbeitung einer Empfehlung für eine sinnvolle künftige Anforderungshöhe zur Anforderungsgröße $n_{\text{Kat,II}}$ dar.

5.1.1 Ausgewählte Einzelauswertungen

5.1.1.1 Übertemperaturgradstunden $G_{h25/26/27}$ im Vergleich zu Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$

Für einen Vergleich der gegenwärtigen Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz zu einer Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 erfolgt mit Bild 23 die Auswertung für das mit Tabelle 4 beschriebene Parameterset.

Tabelle 4

Parameterset zu Auswertungen in Bild 23

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 23 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 23 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.

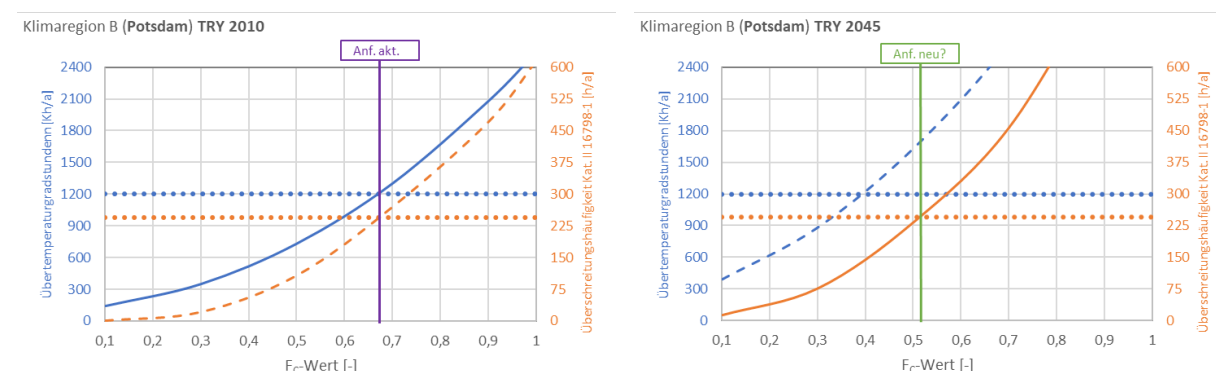


Bild 23

Übertemperaturgradstunden G_{h26} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat,II}}$ in Abhängigkeit von dem F_c -Wert für das Parameterset in Tabelle 4

Aus der Auswertung links in Bild 23 lässt sich ablesen, dass für das mit Tabelle 4 beschriebene Parameterset die Erfüllung der aktuellen Anforderung ($G_{h26} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$) 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 durch 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_{h26} -Wertes erforderlich ist). Für den hier beschriebenen Berechnungsfall lässt sich also festhalten, dass mit Einhaltung des aktuellen G_{h26} -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 % 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 23 ableiten, welcher F_c -Wert hierfür erforderlich ist: aus dem Schnittpunkt des orangenen Graphen mit dem orange punktiert dargestellten Niveau $n_{\text{Kat.II}} = 245$ 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 $G_{h26} \leq 1.200$ 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 5 beschriebene Parameterset folgt mit Bild 24 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_{h25} -Werte zu den $n_{\text{Kat.II}}$ -Auswertungen links in Bild 24. 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) (Deutscher Wetterdienst 2017). 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 TRY) angesehen und für eine künftige Anforderungssystematik vorgeschlagen. Somit erfolgen die rechts in Bild 24 dargestellten Auswertungen für das Zukunftsklima TRY2045_10.

Tabelle 5
Parameterset zu Auswertungen in Bild 24

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 Sonnen-schutz	Lüftung
UW095	g054	FC010 - FC100	m300	NL2

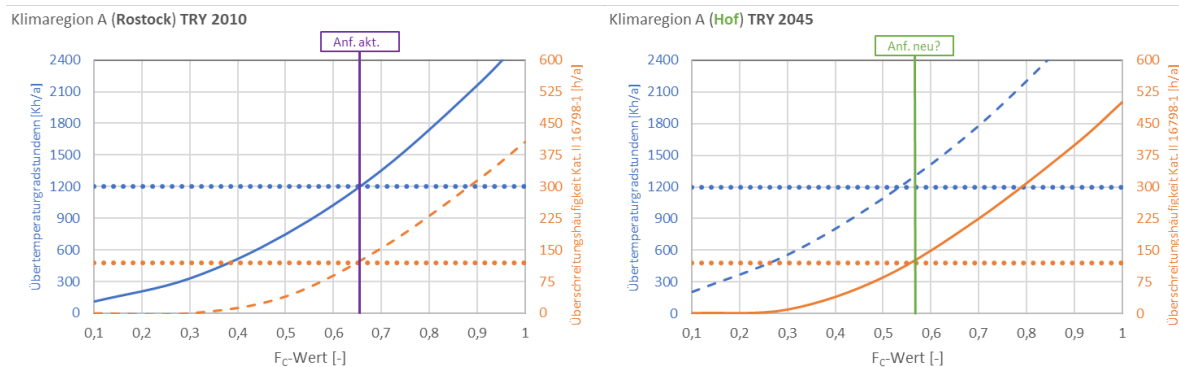


Bild 24

Übertemperaturgradstunden G_{h25} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 5

Aus dem linken Diagramm in Bild 24 geht hervor, dass für das Parameterset gemäß Tabelle 5 (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 24 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 6 das Parameterset für die mit Bild 25 folgende Auswertungen.

Tabelle 6

Parameterset zu Auswertungen in Bild 25

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

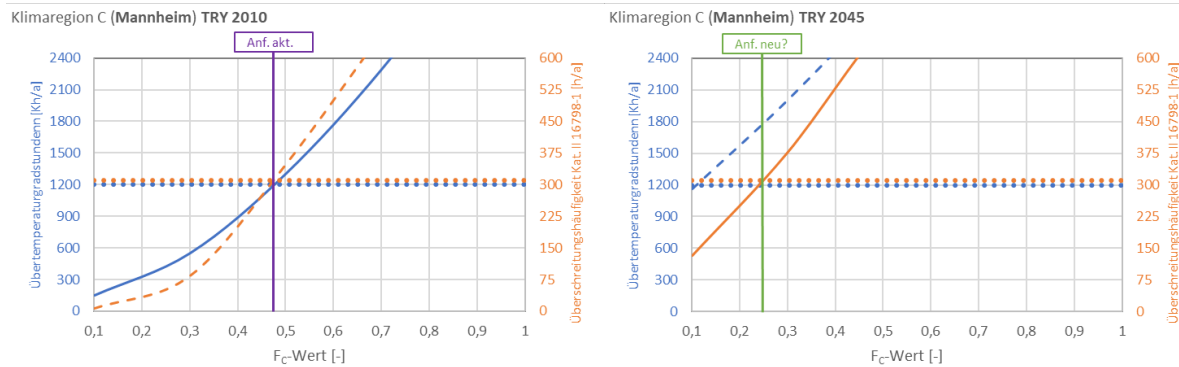


Bild 25

Übertemperaturgradstunden G_{h27} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat.II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 6

Die Darstellung links in Bild 25 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 25), 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. Aus den zuvor 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: $G_{h25} \leq 1.200 \text{ Kh/a} \approx n_{Kat.II} \leq 120 \text{ h/a} \triangleq 1,4 \% \text{ von } 8.760 \text{ h/a}$
- für Klimaregion B: $G_{h26} \leq 1.200 \text{ Kh/a} \approx n_{Kat.II} \leq 245 \text{ h/a} \triangleq 2,8 \% \text{ von } 8.760 \text{ h/a}$
- für Klimaregion C: $G_{h27} \leq 1.200 \text{ Kh/a} \approx n_{Kat.II} \leq 310 \text{ h/a} \triangleq 3,5 \% \text{ von } 8.760 \text{ h/a}$

Die zuvor dokumentierten Auswertungen haben nach Diskussion in der zuständigen adhoc-Gruppe zu der Überlegung geführt, als mögliche Anforderungshöhe künftig über alle Klimaregionen hinweg eine Überschreitungshäufigkeit von 3 % vorzugeben. Der folgende Abschnitt 5.1.1.2 zeigt anhand weitere ausgewählter Beispielauswertungen, welche Konsequenzen dies im Vergleich zur aktuellen Anforderungshöhe je Klimaregion hätte. Um allerdings für die Fortschreibung der Anforderungen eine fundierte Empfehlung für ein Anforderungsniveau für die Anforderungsgröße $n_{Kat.II}$ erarbeiten zu können, sind umfassendere weiterer Auswertungen erforderlich. Als Grundlage für weitergehende Untersuchungen dazu erfolgt mit Abschnitt 5.1.2 die Auswertung zu Korrelationen der Größen $G_{h25/26/27}$ und $n_{Kat.II}$ für die drei Klimaregionen, die auf einer umfangreichen Parameterstudie basieren.

5.1.1.2 Konsequenzen einer über alle Klimaregionen einheitlichen zulässigen Überschreitungshäufigkeit von 3 %

Für die folgenden Auswertungen wird für den Raum zen1.5b1.5t_breit ein fassadenbezogene Fensterflächenanteil $f_{W,f}$ 70 % unterstellt. Der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil $f_{W,g}$ liegt hier etwa bei 35 %. Der U_W -Wert beträgt $0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, der g -Wert $0,54$. In den folgenden Abbildungen ist die bisherige Anforderungshöhe gemäß DIN 4108-2:2013-02 jeweils auf der linken Ordinate dargestellt. Zugehörig ist der jeweils der blaue Graph, wobei für die Simulationsrechnungen die TRY 2010 (Rostock für Klimaregion A, Potsdam für Klimaregion B und Mannheim für Klimaregion C) unterstellt ist. Auf der rechten Ordinate wird jeweils die Anforderungsgröße $n_{Kat,II}$ gemäß DIN EN 16798-1:2022-03 ausgewertet. Der zugehörige orangene Graph wertet dieselbe Simulation jeweils unter Ansatz der Zukunfts-TRY 2045 (Hof anstelle von Rostock für Klimaregion A, Potsdam für Klimaregion B und Mannheim für Klimaregion C) aus. Der für die Einhaltung der jeweiligen Anforderungshöhe erforderliche F_C -Wert wird über den Abszissenwert des Schnittpunkts der Graphen mit der jeweiligen punktierten Anforderungshöhe beschrieben. Bild 26 erläutert dies exemplarisch für ein Wohngebäude mit einem südorientierten Raum (Raummodell zen1.5b1.5t_breit, vgl. Bild 22).

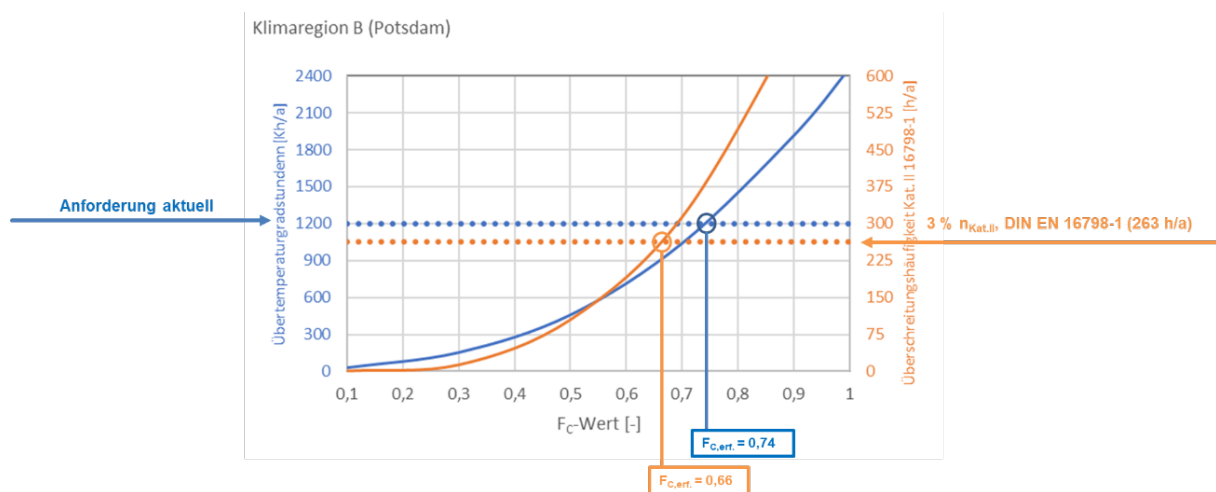


Bild 26

Exemplarische Darstellung zur Erläuterung der Auswertungen

Es ist zu erkennen, dass eine zulässige Überschreitungshäufigkeit von etwa 300 h/a gegenüber der bisherigen Anforderung von 1.200 Kh/a eine moderate Verschärfung abbildet. Bild 27 ergänzt zusätzlich zur zuvor bereits ausgewerteten Klimaregion B (Mitte) die entsprechenden Auswertungen für die Region A (links) und C (rechts).

Gh ₂₀₁₀ vs. Kat.II 16798-1 ₂₀₄₅	Raum	fWG	Ori	Klima	Nutz	UW	gWert	FC	Igrenz	NL
	zen1.5b1.5t	hoch	Sued	TRY2045_02	WG_oK	UW095	g054	FC100	m300	NL2

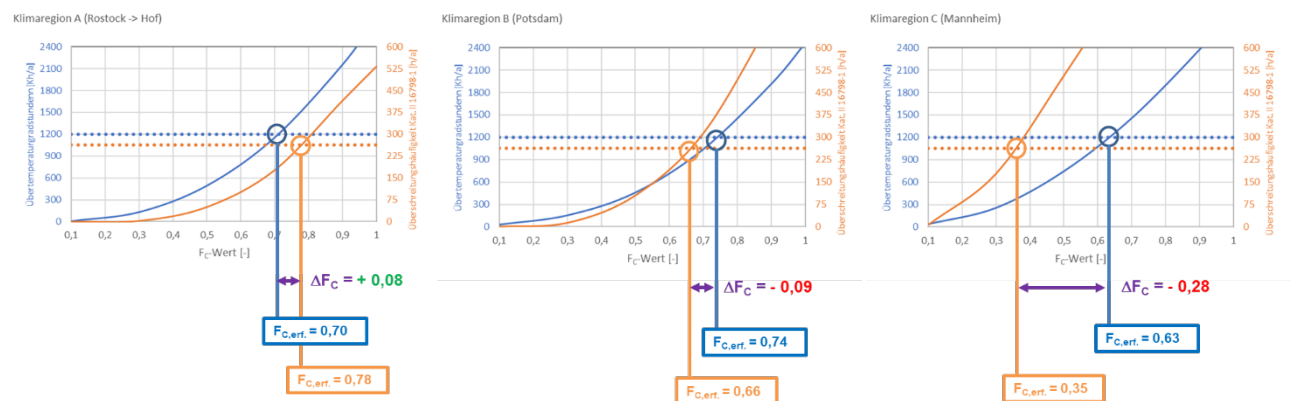


Bild 27

Beispiel 1a: Wohngebäude, fWG hoch; Südorientierung; UW 095; g 054; manuell 300; 2-fache NL; 2045 Klimaregion A (links), B (Mitte) und C (rechts)

Für Region A kann ebenso wie für Region B von einer moderaten Verschärfung der genannten Anforderungswerte ausgegangen werden. Für Region C ergibt sich mit der neuen Anforderungssystematik eine deutliche Verschärfung. Diese bedingt sich aus einer lokal stärker ausgeprägten Klimaveränderung, die im Klimadaten-satz TRY 2045 „Mannheim“ berücksichtigt ist. Mit Bild 28 wird eine unter ansonsten gleichen Randbedingungen berechnete Ostorientierung und mit Bild 29 analog eine Westorientierung dargestellt.

Gh ₂₀₁₀ vs. Kat.II 16798-1 ₂₀₄₅	Raum	fWG	Ori	Klima	Nutz	UW	gWert	FC	Igrenz	NL
	zen1.5b1.5t	hoch	Ost	TRY2045_02	WG_oK	UW095	g054	FC100	m300	NL2

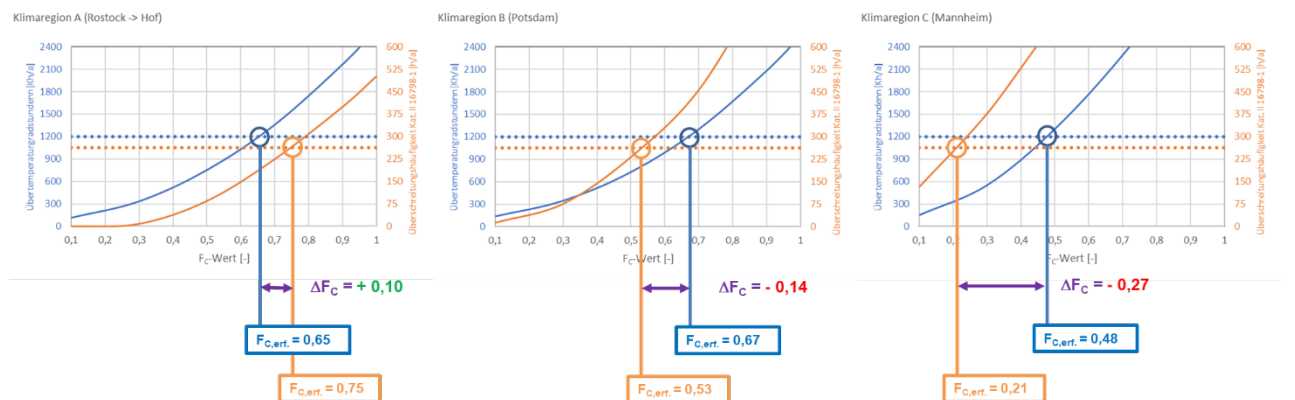


Bild 28

Beispiel 1b: Wohngebäude, fWG hoch; Ostorientierung; UW 095; g 054; manuell 300; 2-fache NL; 2045 Klimaregion A (links), B (Mitte) und C (rechts)

Gh ₂₀₁₀ vs. Kat.II 16798-1 ₂₀₄₅	Raum	fWG	Ori	Klima	Nutz	UW	gWert	FC	Igrenz	NL
	zen1.5b1.5t	hoch	West	TRY2045_02	WG_oK	UW095	g054	FC100	m300	NL2

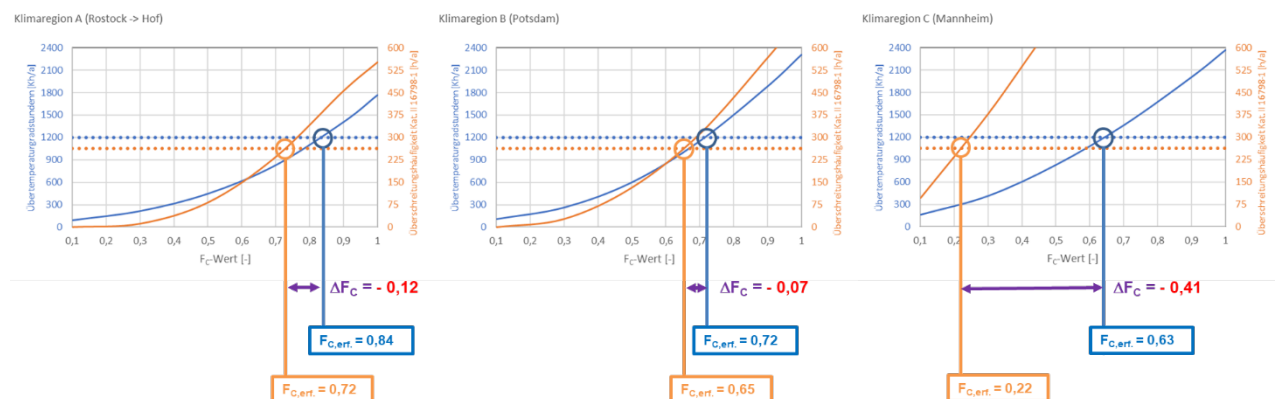


Bild 29

Beispiel 1c: Wohngebäude, fWG hoch; Westorientierung; UW 095; g 054; manuell 300; 2-fache NL; 2045 Klimaregion A (links), B (Mitte) und C (rechts)

Mit den in Bild 28 (Ostorientierung) und Bild 29 (Westorientierung) dargestellten Orientierungen ergeben sich im Vergleich der beiden Himmelsrichtungen teils unplausibel wirkende Ergebnisse (siehe hierzu auch Abschnitt 3.5). Bild 28 (links) zeigt die Situation für den nach Osten orientierten Raum im Klima „Hof“ und führt zu einer Entschärfung. Die restlichen Fälle führen in Sommerklimaregion A und B zu einer moderaten Verschärfung. In Region C kommt es – aufgrund der besonderen Klimasituation – wieder zu einer deutlichen Verschärfung.

5.1.2 Korrelation Übertemperaturgradstunden (DIN 4108-2) und Überschreitungshäufigkeiten der Kategorie II-Obergrenzen (DIN EN 16798-1)

Mit Abschnitt 5.1.2.1 folgt zunächst eine Beschreibung zum Umfang der Parametrisierung. Der Darstellung der auf den Berechnungen basierenden Korrelationen erfolgt anschließend mit Abschnitt 5.1.2.2.

5.1.2.1 Erläuterung zum Umfang der Parametrisierung

Es folgt eine kurze 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**.

Raummodelle:

Die Simulationsrechnungen werden für insgesamt 3 geometrische Raummodelle (siehe Bild 22) durchgeführt. Die Konstruktionen werden so definiert, dass hierdurch eine mittelschwere Bauart beschrieben ist (auf die Grundfläche bezogene wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk}} = 90 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$). Das Bauteil Außenwand als Bestandteil der wärmeübertragenden Hüllfläche, wird im Schichtenaufbau so beschrieben, dass ein U-Wert von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für erreicht wird.

- (1) Zentralraum **zen**
- (2) Zentralraum zen1.5b1.5t_breit
- (3) Zentralraum zen2b2t_breit

Fensterflächenanteile:

Für die Raummodelle werden drei unterschiedliche Fensterflächenanteile wie folgt betrachtet:

- (1) Fensterflächenanteil **niedrig**:
Zentralräume: fassadenbezogener Fensterflächenanteil 30 %

- (2) Fensterflächenanteil **mittel**:

Zentralräume: fassadenbezogener Fensterflächenanteil 50 %

- (3) Fensterflächenanteil **hoch**:

Zentralräume: fassadenbezogener Fensterflächenanteil 70 %

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**

Klimadaten:

Den Auswertungen liegen die Klimadaten der TRY 2010 wie folgt zugrunde:

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

Nutzung:

Die Auswertungen erfolgen ausschließlich für die Wohnnutzung gemäß DIN 4108-2

- (1) ohne Kühlung: **WG_oK**

U-Werte Fenster:

Der U-Wert der Fenster wird im Rahmen der Parametrisierung wie folgt variiert:

- (1) $U_w = 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$: **UW120**
- (2) $U_w = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$: **UW095**
- (3) $U_w = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$: **UW070**

g-Werte Gläser:

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**

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**

Steuerung Sonnenschutz:

Die Steuerung des Sonnenschutzes wird in allen Fällen wie folgt unterstellt:

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

Nachtlüftung:

In Bezug auf den Nachtluftwechsel (Wohnnutzung täglich zwischen 23 und 6 Uhr) wird unterschieden zwischen den Situationen nur Grundluftwechsel ($n = 0,5 \text{ h}^{-1}$) und erhöhte Nachtlüftung ($n = 2 \text{ h}^{-1}$).

- (1) nur Grundluftwechsel: **NL0**
- (2) erhöhter Luftwechsel: **NL2**

5.1.2.2 Ergebnisse der Parameterstudie

Für den zuvor in Abschnitt 5.1.2.1 beschriebenen Umfang der Parametrisierung ergeben sich für jeden der betrachteten Räume und je Klimaregion 1.134 Datenpunkte, für die mit Bild 30 die Korrelation zwischen den Übertemperaturgradstunden $G_{h25/26/27}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ dargestellt wird. Ausgewertet sind hierin Simulationen unter Zugrundelegung der TRY 2010 für die Klimaregionen A, B und C und es soll aufgezeigt werden, welche Überschreitungshäufigkeiten sich für die Größe $n_{\text{Kat.II}}$ für das Niveau der gegenwärtigen Anforderungseinhaltung gemäß DIN 4108-2 ergeben.

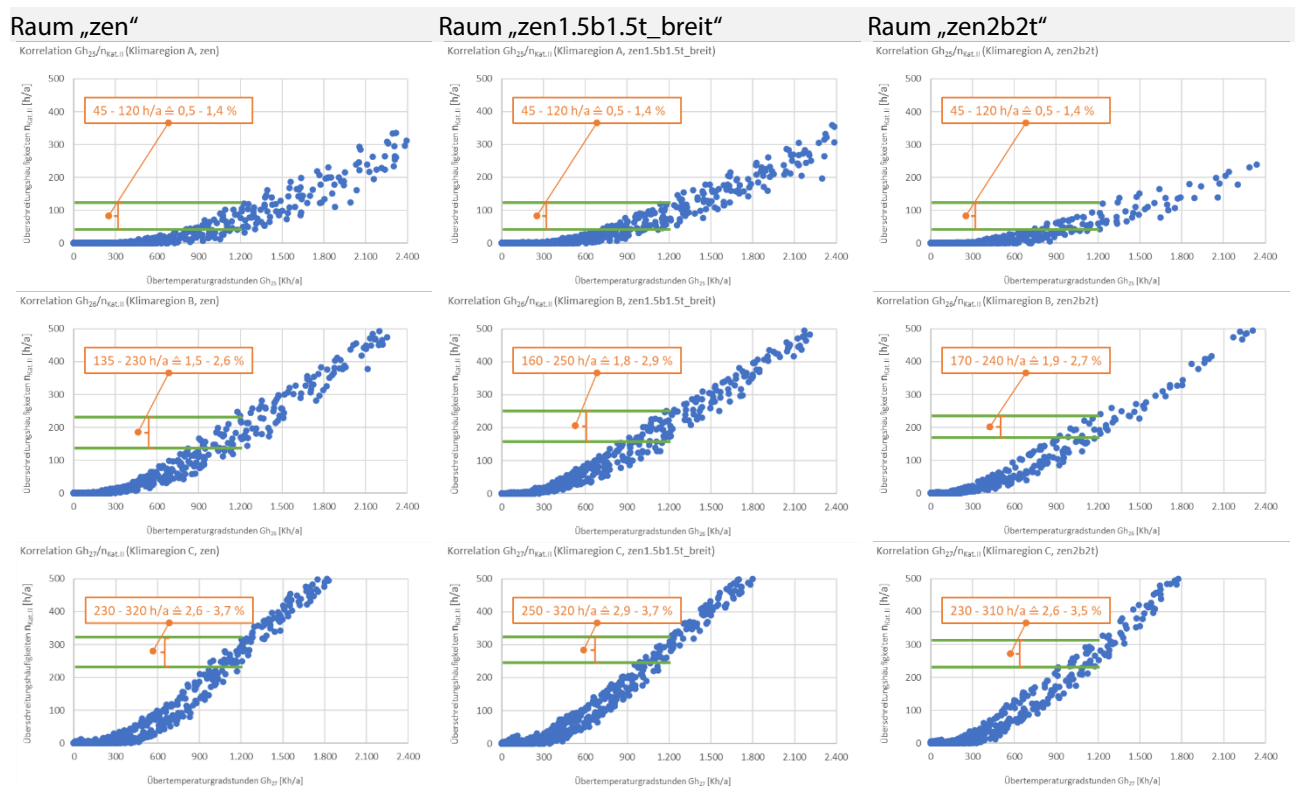


Bild 30

Korrelationen Übertemperaturgradstunden $G_{h25/26/27}$ (DIN 4108-2) / Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ (DIN EN 16798-1) für die Räume „zen“, „zen1.5b1.5t_breit“ und „zen2b2t“

Aus den Auswertungen in Bild 30 lassen sich folgende Aussagen zusammenfassend ableiten:

Für die Klimaregion A:

Über die drei unterschiedlichen Raumgeometrien hinweg ergibt sich für das Niveau $G_{h_{25}} = 1.200 \text{ Kh/a}$ eine Entsprechung für die Größe $n_{\text{Kat.II}}$ zwischen 45 und 120 h/a. Dies entspricht einer 0,5 bis 1,4-prozentigen Überschreitungshäufigkeit. Würde ohne Änderung der Klimarandbedingungen (Beibehaltung TRY 2010 für Rostock) eine Umstellung von der Anforderung $G_{h_{25}} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ auf $n_{\text{Kat.II}} \leq 263 \text{ h/a}$ (3 %) erfolgen, würde diese Umstellung für alle hier ausgewerteten Fälle eine deutliche Erleichterung der Anforderungserfüllung bedeuten.

Für die Klimaregion B:

Über die drei unterschiedlichen Raumgeometrien hinweg ergibt sich für das Niveau $G_{h_{26}} = 1.200 \text{ Kh/a}$ eine Entsprechung für die Größe $n_{\text{Kat.II}}$ zwischen 135 und 250 h/a. Dies entspricht einer 1,5 bis 2,9-prozentigen Überschreitungshäufigkeit. Würde ohne Änderung der Klimarandbedingungen (Beibehaltung TRY 2010 für Potsdam) eine Umstellung von der Anforderung $G_{h_{26}} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ auf $n_{\text{Kat.II}} \leq 263 \text{ h/a}$ (3 %) erfolgen, würde diese Umstellung für alle hier ausgewerteten Fälle ebenfalls eine Erleichterung der Anforderungserfüllung bedeuten. Diese fällt zwar nicht so deutlich aus, wie in Klimaregion A, da aber alle Situationen, mit denen die Anforderung $G_{h_{26}} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ erreicht wird, weniger als 3 % Überschreitungshäufigkeit der Kat. II-Obergrenzen aufweisen, würde die Umstellung der Anforderung eine Erleichterung bedeuten.

Für die Klimaregion C:

Über die drei unterschiedlichen Raumgeometrien hinweg ergibt sich für das Niveau $G_{h_{27}} = 1.200 \text{ Kh/a}$ eine Entsprechung für die Größe $n_{\text{Kat.II}}$ zwischen 230 und 320 h/a. Dies entspricht einer 2,6 bis 3,7-prozentigen Überschreitungshäufigkeit. Würde ohne Änderung der Klimarandbedingungen (Beibehaltung TRY 2010 für Mannheim) eine Umstellung von der Anforderung $G_{h_{27}} \leq 1.200 \text{ Kh/a}$ auf $n_{\text{Kat.II}} \leq 263 \text{ h/a}$ (3 %) erfolgen, würde diese Umstellung teilweise eine Erleichterung und teilweise einer Verschärfung hinsichtlich der Anforderungserfüllung bedeuten.

5.2 Nichtwohnnutzung - Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25/26/27}}$ im Vergleich zu Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$

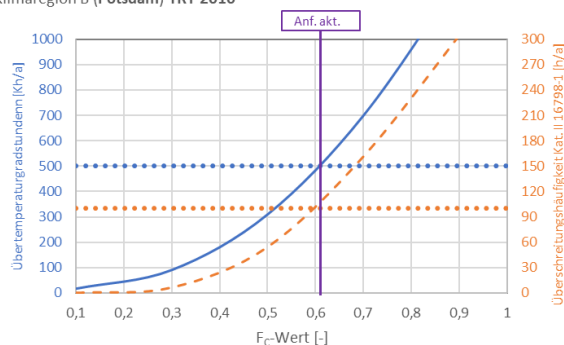
Die mit diesem Abschnitt folgenden Auswertungen sollen analog zu den Beispielen für den Anwendungsfall Wohnnutzung (Abschnitt 5.1.1.1) auch für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung eine Einordnung der komfortbezogenen Auswertungen nach DIN EN 16798-1 im Vergleich zu der Anwendung der aktuellen Anforderungssystematik ermöglichen. Sowohl für die Ermittlung der Übertemperaturgradstunden ($G_{h_{25}}$, $G_{h_{26}}$ und $G_{h_{27}}$) als auch für die Bestimmung der Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Kategorie-II-Grenzwerte ($n_{\text{Kat.II}}$) 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 7 die Zusammenstellung des Parametersets für den exemplarischen Anwendungsfall Nichtwohnnutzung und die Auswertungen in Bild 31.

Tabelle 7
Parameterset zu Auswertungen in Bild 31

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

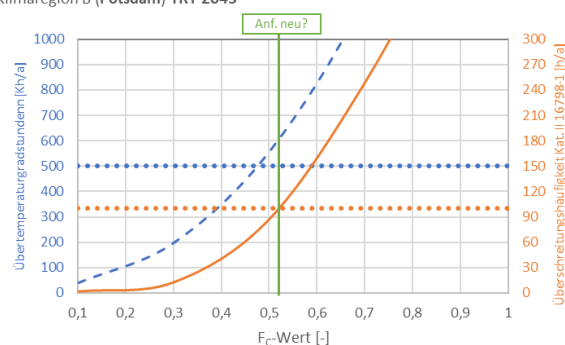


Bild 31

Übertemperaturgradstunden G_{h26} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 7

Aus den Auswertungen links in Bild 31 geht hervor, dass die für Nichtwohnnutzung nach aktueller Anforderungssystematik in Klimaregion B geltende Anforderung $G_{h26} \leq 500 \text{ Kh/a}$ für das in Tabelle 7 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 punktierten Anforderungsniveau). Dem Diagramm kann weiterhin entnommen werden, dass mit diesem F_C -Wert aus der Komfortbewertung ein eine Überschreitungshäufigkeit der Kat.-II-Obergrenze $n_{Kat,II} = 100 \text{ h/a}$ 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 3,5 % der Nutzungsstunden. Dieses $n_{Kat,II}$ -Niveau ist in das rechte Diagramm in Bild 31 für die Auswertungen mit dem Klimadatensatz 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 $n_{Kat,II} = 100 \text{ h/a}$ 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 $n_{Kat,II}$ (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 $G_{h26} \leq 500 \text{ Kh/a}$ festgehalten werden, wäre diese Anforderung mit $F_C \leq 0,47$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

Für die Gegenüberstellung der aktuellen Anforderung in Klimaregion A (sommerkühle Regionen, $G_{h25} \leq 500 \text{ Kh/a}$) zur Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 folgt mit Bild 32 die entsprechende Auswertung. Das zugehörige Parameterset ist mit Tabelle 8 beschrieben.

Wie für den Anwendungsfall Wohnnutzung bereits erläutert, ist als Repräsentant für die Klimaregion A nach aktueller Anforderungssystematik der Klimadatensatz 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_{h25} -Werte zu den $n_{Kat,II}$ -Auswertungen links in Bild 32. 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) (Deutscher Wetterdienst 2017). 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 TRY) angesehen und für eine künftige Anforderungssystematik vorgeschlagen. Somit erfolgen die rechts in Bild 32 dargestellten Auswertungen für das Zukunftsklima TRY2045_10.

Tabelle 8
Parameterset zu Auswertungen in Bild 32

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 Sonnen-schutz	Lüftung
UW095	g054	FC1010 - FC100	a200	NL2

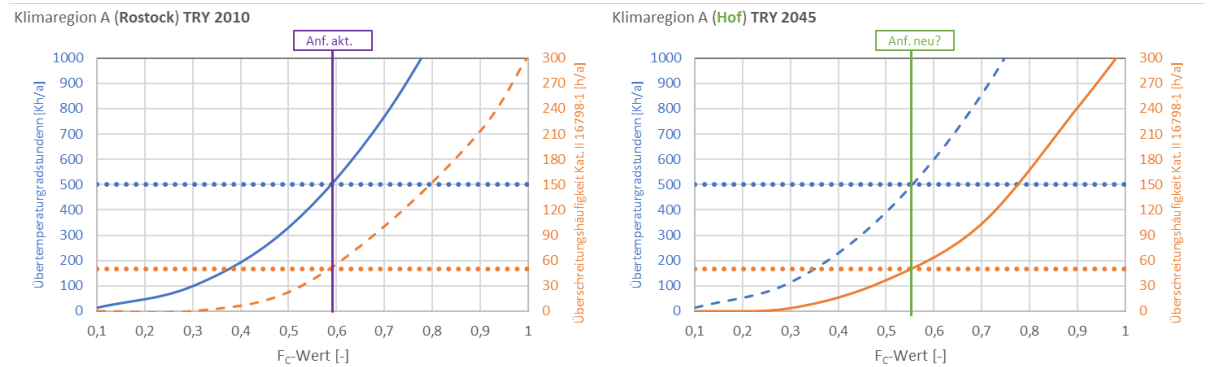


Bild 32
Übertemperaturgradstunden Gh₂₅ und Überschreitungshäufigkeiten n_{Kat.II} in Abhängigkeit von dem F_c-Wert für das Parameterset in Tabelle 8

Aus den Auswertungen links in Bild 32 geht hervor, dass die für Nichtwohnnutzung nach aktueller Anforderungssystematik in Klimaregion B geltende Anforderung $Gh_{25} \leq 500 \text{ Kh/a}$ für das in Tabelle 8 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 $n_{Kat.II} = 50 \text{ h/a}$ 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 % der Nutzungsstunden (zum Vergleich: für Klimaregion B entspricht das aktuelle Anforderungsniveau $Gh_{26} = 500 \text{ Kh/a}$ einer Überschreitungshäufigkeit zu 3,5 % der Nutzungsstunden). Dieses $n_{Kat.II}$ -Niveau ist in das rechte Diagramm in Bild 32 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 $n_{Kat.II} = 50 \text{ h/a}$ 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 $Gh_{25} \leq 500 \text{ Kh/a}$ festgehalten werden, wäre diese Anforderung ebenfalls mit $F_C \leq 0,55$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

Mit Bild 33 folgen die Auswertungen zur Gegenüberstellung der aktuellen Anforderung in Klimaregion C (Standort Mannheim, Bezugstemperatur 27°C , $Gh_{27} \leq 500 \text{ Kh/a}$) zur Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1.

Tabelle 9

Parameterset zu Auswertungen in Bild 33

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 Sonnen-schutz	Lüftung
UW095	g054	FC1010 - FC100	a200	NL2

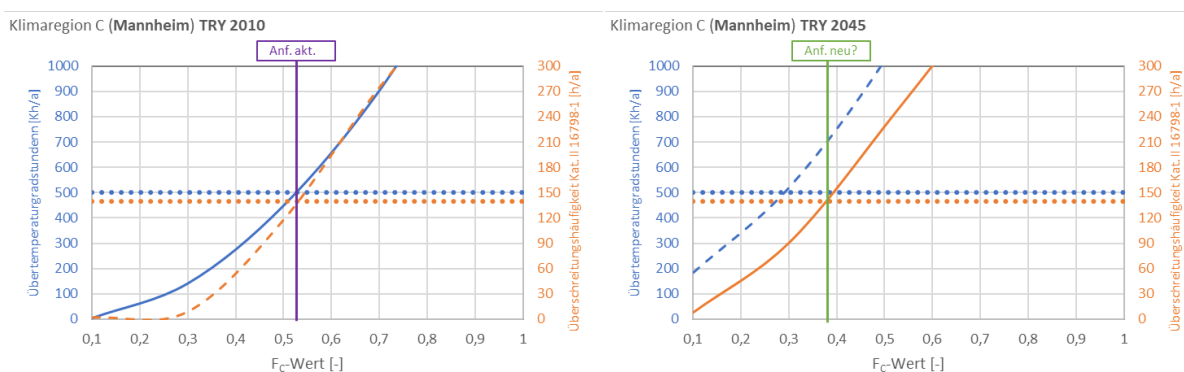


Bild 33

Übertemperaturgradstunden Gh_{27} und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 9

Aus den Auswertungen links in Bild 33 geht hervor, dass die für Nichtwohnnutzung nach aktueller Anforderungssystematik in Klimaregion B geltende Anforderung $Gh_{27} \leq 500 \text{ Kh/a}$ für das in

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 $n_{Kat,II} = 140 \text{ h/a}$ 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 % der Nutzungsstunden (zum Vergleich: für Klimaregion B entspricht das aktuelle Anforderungsniveau $Gh_{26} = 500 \text{ Kh/a}$ einer Überschreitungshäufigkeit zu 3,5 % der Nutzungsstunden und für Klimaregion A entspricht das aktuelle Anforderungsniveau $Gh_{25} = 500 \text{ Kh/a}$ einer Überschreitungshäufigkeit zu 1,7 % der Nutzungsstunden). Dieses $n_{Kat,II}$ -Niveau ist in das rechte Diagramm in Bild 33 für die Auswertungen mit dem Klimadatensatz TRY2045_04 übertragen. Hieraus geht hervor, dass bei einer Beibehaltung des $n_{Kat,II}$ -Niveaus ein F_C -Wert von 0,38 erforderlich ist, um $n_{Kat,II} = 140 \text{ h/a}$ 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 $\Delta F_C = 0,15$ entsprechen. Würde hingegen an der aktuellen Anforderung $Gh_{25} \leq 500 \text{ Kh/a}$ festgehalten werden, wäre diese Anforderung ebenfalls mit $F_C \leq 0,29$ (Schnittpunkt blau gestrichelter Graph mit blau punktiertem Anforderungsniveau) erfüllt.

Aus den zuvor erläuterten Beispielen geht hervor, dass mit den gegenwärtigen Anforderungshöhen Gh_{25} , Gh_{26} und Gh_{27} in den Klimaregionen A, B und C jeweils unterschiedliche Überschreitungshäufigkeiten der Obergrenzen der Komfortkategorie II erreicht werden. Diese sind wie folgt:

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

- für Klimaregion A: $Gh_{25} \leq 500 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} \leq 50 \text{ h/a} \triangleq 1,7 \% \text{ von } 2.871 \text{ h/a}$
- für Klimaregion B: $Gh_{26} \leq 500 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} \leq 100 \text{ h/a} \triangleq 3,5 \% \text{ von } 2.871 \text{ h/a}$
- für Klimaregion C: $Gh_{27} \leq 500 \text{ Kh/a} \approx n_{\text{Kat.II}} \leq 140 \text{ h/a} \triangleq 4,9 \% \text{ von } 2.871 \text{ h/a}$

Die zuvor dokumentierten Auswertungen haben nach Diskussion in der zuständigen adhoc-Gruppe zu der Überlegung geführt, als mögliche Anforderungshöhe auch für Nichtwohngebäude künftig über alle Klimaregionen hinweg eine zulässige Überschreitungshäufigkeit von höchstens 3 % vorzugeben. Hierzu müssen allerdings noch weitergehende Untersuchungen durchgeführt werden, um auf dieser Grundlage eine Empfehlung in Bezug auf eine Anforderungshöhe formulieren zu können.

5.3 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen führen zu der Empfehlung, bei der Fortschreibung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz eine Umstellung der Anforderungsgröße auf Überschreitungshäufigkeiten $n_{\text{Kat.II}}$ nach DIN EN 16798-1 im Zusammenhang mit der Vorgabe von Zukunftsklimadaten vorzunehmen. Hinsichtlich der Formulierung einer geeigneten Anforderungshöhe sind allerdings weitergehende Untersuchungen erforderlich, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

- Durchführung von weitergehenden Auswertungen zur Korrelation der Größen $Gh_{25/26/27}$ und $n_{\text{Kat.II}}$ unter Ansatz der TRY 2010 für den Anwendungsfall Wohnnutzung und Identifizierung der konkreten Abhängigkeiten und Ausarbeitung einer Begründung für die relativ großen Bandbreiten in der Entsprechung der $n_{\text{Kat.II}}$ -Ergebnisse für Fälle, mit denen die gegenwärtige Übertemperaturgradstundenanforderung eingehalten wird.
- Durchführung von Auswertungen zur Korrelation der Größen $Gh_{25/26/27}$ und $n_{\text{Kat.II}}$ unter Ansatz der TRY 2010 für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung
- Quantifizierung der Auswirkung einer Umstellung der Klimadaten von den TRY 2010 auf die TRY 2045 sowohl für Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung. Hierbei sollte in einem ersten Schritt eine Auswertung für alle 15 Repräsentanzstationen der TRY 2010 im Vergleich zu den TRY 2045 derselben Standorte erfolgen. Diese Auswertungen sollen auf die Anforderungsgröße $n_{\text{Kat.II}}$ beschränkt werden die Veränderung der $n_{\text{Kat.II}}$ -Werte infolge der Umstellung der Klimadaten beschreiben. Auf Grundlage dieser Auswertungen kann eine fundierte Empfehlung in Bezug auf eine geeignete Anforderungshöhe formuliert werden.
- In weiteren Bearbeitungsschritten können die Auswertungen auf die Zukunftsklimadaten beschränkt werden. Hierbei sollte der Fokus dann auf eine möglichst umfassende Auswertung der ggf. schon in überarbeiteter Form vorliegenden ortsgenauen neuen Testreferenzjahre liegen. Insbesondere Simulationsrechnungen für städtisches Klima im Vergleich zu Simulationen für ländliches Klima sollten aufzeigen, dass der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz künftig unter Ansatz von ortsgenauen Klimadaten und auf Grundlage der Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 erfolgen sollte.

6 Rechenrandbedingungen für die Nachweisführung mittels Simulationsrechnung

Im Kreis der Ad-hoc-Gruppe sommerlicher Wärmeschutz wurden bereits im Rahmen der Fortschreibung der DIN 4108-2 zur Fassung vom Februar 2013 umfangreiche Simulationsrechnungen (Ringrechnungen, bei denen unterschiedliche Simulationsprogramme zum Einsatz kamen) für definierte Raumgeometrien und einfache Anwendungsfälle durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse dieser Ringrechnungen zeigten große Abweichungen in den Simulationsergebnissen, obwohl in allen Fällen die in DIN 4108-2, Abschnitt 8.4 formulierten Randbedingungen zugrunde gelegt wurden. So konnte an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Randbedingungen offenbar nicht eindeutig bzw. genau genug formuliert sind, um reproduzierbare bzw. vergleichbare Ergebnisse bei Anwendung unterschiedlicher Softwareprodukte erzielen zu können. Ein wesentliches Ziel für die Fortschreibung der Norm besteht hiernach darin, Vorschläge für bessere bzw. eindeutiger formulierte Randbedingungen für DIN 4108-2 zu erarbeiten und dabei bestehenden Lücken in der Vorgabe von Randbedingungen zu schließen. Hierzu gehört u. a. die Festlegungen für Temperaturen in angrenzenden Räumen (unbeheizter Keller, unbeheizte sonstige Räume, Dachräume) aber auch für angrenzendes Erdreich, da hierfür die aktuell in DIN 4108-2 formulierten Vorgaben nicht vorhanden oder nur unzureichend sind.

6.1 Temperaturrendbedingungen in angrenzenden Bereichen

Die gegenwärtig verwendete Normfassung DIN 4108-2:2013-02 macht zu Temperaturrendbedingungen in angrenzenden Räumen keine Angabe. Demnach können die Temperaturrendbedingungen als adiabat angesehen werden. Eine adiabate Betrachtung liegt im Fall des sommerlichen (Mindest-) Wärmeschutzes einerseits nicht grundsätzlich auf der sicheren Seite und andererseits sind in einigen Fällen unrealistische Simulationskonfigurationen zu erwarten.

Neben einer adiabaten Betrachtung sind statisch definierte Temperaturrendbedingungen und die simulationstechnisch reale Erfassung der Temperaturrendbedingungen zwei alternative Optionen. Eine simulationstechnisch reale Erfassung der Temperaturrendbedingungen hängt im Weiteren von entsprechenden programmierten Modulen ab. Demgegenüber schafft die Definition von statischen Temperaturrendbedingungen eine vergleichbare Basis. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden statische Temperaturrendbedingungen empfohlen, wobei eine simulationstechnisch reale Erfassung der Temperaturrendbedingungen weiterhin zugelassen werden sollte.

6.1.1 Erdreich unter einer Bodenplatte

Die Berechnung des Wärmestroms vom betrachteten Raum über das Erdreich an die Außenluft kann nach DIN EN ISO 13370 erfolgen. Vereinfacht können Monatsmittelwerte der Erdreichtemperatur nach Tabelle 10 verwendet werden.

Tabelle 10

Erdrleichtemperaturen nach DIN EN 16798-5-1 in 1 m Tiefe für die Klimastandorte Hof, Potsdam und Mannheim

Klima-standort (TRY2045)	Mittlere monatliche Erdrleichtemperaturen in °C											
	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Hof	2,1	2,0	3,6	6,6	10,1	13,3	15,2	15,3	13,6	10,6	7,0	3,9
Potsdam	4,6	4,5	6,1	9,1	12,6	15,7	17,6	17,7	16,0	13,0	9,5	6,4
Mannheim	5,5	5,4	7,1	10,2	13,9	17,1	19,1	19,2	17,4	14,3	10,6	7,4

Hinweis zur Modellierung: Der Bauteilaufbau der Bodenplatte wird außenseitig um eine Schicht „Erdeich“ mit $d = 1,00 \text{ m}$ und $\lambda = 2,0 \text{ W/(mK)}$ ergänzt. Angrenzend an diese Schicht wird die jeweilige mittlere Erdrleichtemperatur angesetzt.

6.1.2 Unbeheizter Kellerraum oder maschinell belüftete Tiefgarage

Für unbeheizte Kellerräume oder maschinell belüftete Tiefgaragen kann der stündliche Mittelwert der Raumlufttemperatur in Abhängigkeit des Stundenmittelwertes der Außenlufttemperatur nach Bild 34 angesetzt werden. Alternativ kann vereinfachend über den gesamten Berechnungszeitraum die Raumlufttemperatur des unbeheizten Kellerraums konstant mit 18 °C angesetzt werden.

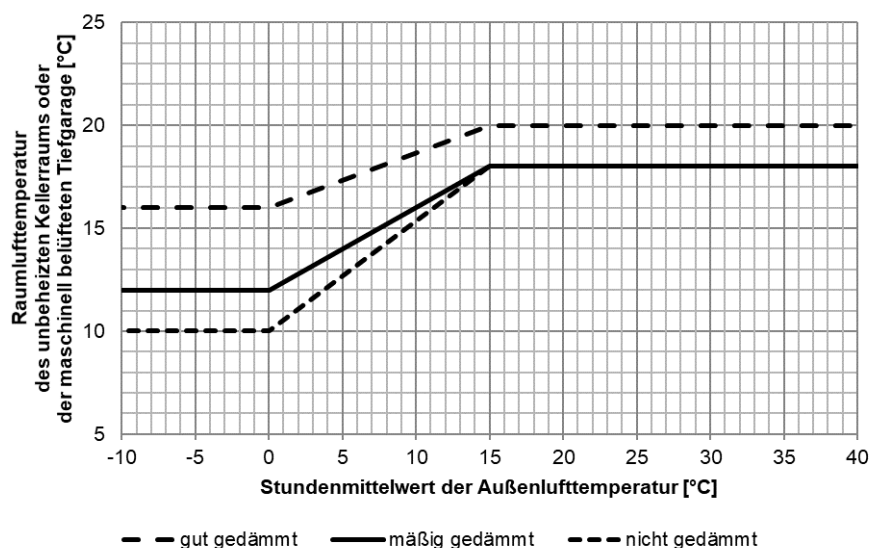


Bild 34

Raumlufttemperatur des unbeheizten Kellerraums oder der maschinell belüfteten Tiefgarage in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus als Randbedingung im Rahmen der Simulationsberechnung nach (Fraunhofer IBP 2016)

6.1.3 Natürlich belüftete Tiefgarage

Für eine Tiefgarage mit natürlicher Belüftung ist die Raumlufttemperatur gleich der Außenlufttemperatur anzunehmen. Für Tiefgargen mit maschineller Belüftung kann deren Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur nach Bild 34 angesetzt werden. Vereinfachend kann alternativ auch eine Raumlufttemperatur von 18 °C über den gesamten Berechnungszeitraum konstant angenommen werden.

6.1.4 Unbeheizter Dachraum

Für unbeheizte Dachräume kann der stündliche Mittelwert der Raumlufttemperatur durch Erhöhung des Stundenmittelwertes der Außenlufttemperatur um den Wert nach Bild 35 ermittelt werden. Vereinfachend kann

über den gesamten Berechnungszeitraum die Raumlufthtemperatur des unbeheizten Dachraums konstant mit 30 °C angesetzt werden.

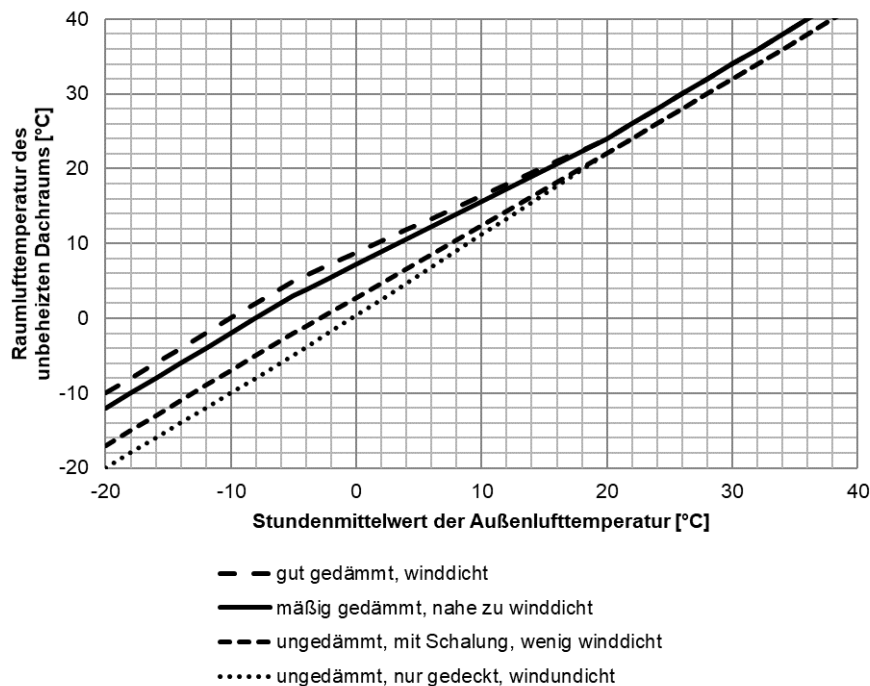


Bild 35

Raumlufthtemperatur des unbeheizten Dachraums in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus als Randbedingung im Rahmen der Simulationsberechnung nach (Fraunhofer IBP 2016)

6.2 Betriebsweise Sonnenschutz

Die in DIN 4108-2:2013-02 beschriebenen Vorgaben zur Betriebsweise des Sonnenschutzes sind unzureichend bzw. unvollständig. Die Regelungen lauten dort in Abschnitt 8.4.2. Abschnitt j) wie folgt:

j) Steuerung Sonnenschutz

Sind zur geplanten Betriebsweise einer Sonnenschutzvorrichtung keine Steuer- bzw. Regelparameter bekannt, so ist **im Fall einer automatischen Sonnenschutzsteuerung** für die Berechnungen von einer strahlungsabhängigen Steuerung für Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fenster mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m² (Wohngebäude) bzw. 150 W/m² (Nichtwohngebäude) und für alle anderen Orientierungen mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m² (Wohngebäude) bzw. 200 W/m² (Nichtwohngebäude) (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung, außen vor dem Fenster) pro Quadratmeter Fensterfläche auszugehen.

Bei nicht-automatischer Sonnenschutzsteuerung erfolgt bei Nichtwohngebäuden keine Aktivierung am Wochenende (Samstag und Sonntag). Grundsätzlich ist für die Berechnungen von einer windunabhängigen Betriebsweise auszugehen.

Wird planerisch eine hiervon abweichende Betriebsweise der Sonnenschutzvorrichtung vorgesehen, so darf diese in der Simulationsrechnung verwendet werden. Die Betriebsweise ist zu dokumentieren.

Hierzu ist festzuhalten, dass momentan keine Vorgaben für einen rechnerischen Ansatz bei **nicht automatischer Betriebsweise** vorhanden sind. Entsprechende Formulierungen für die Fortschreibung der Regelungen zur Betriebsweise des Sonnenschutzes werden zusammen mit der adhoc-Gruppe erarbeitet. Hiernach soll die Formulierung künftig wie folgt lauten (neuer/geänderter Text **in blauer Schrift**):

j) Sonnenschutz

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} des Glases einschließlich Sonnenschutz ist nach DIN EN ISO 52022-1, DIN EN ISO 52022-3 oder angelehnt nach DIN EN 410 zu berechnen oder gemäß zugesicherten Herstellerangaben zu verwenden. Alternativ darf der Gesamtenergiedurchlassgrad nach Gleichung (3) [Anmerkung: Gleichung (3): $g_{\text{tot}} = g \cdot F_c$] in Verbindung mit den Anhaltswerten gemäß Abschnitt 8.5 [Anmerkung: Abschnitt 8.5 der künftigen DIN 4108-2 enthält die neuen Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c , vgl. Abschnitt 6.6.2] bestimmt werden.

Sind zur geplanten Betriebsweise einer Sonnenschutzvorrichtung keine Steuer- bzw. Regelparameter bekannt, so ist für die Berechnungen von einer strahlungsabhängigen Steuerung für Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fenster mit einer Grenzbestrahlungsstärke (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung senkrecht zum transparenten Bauteil) von 200 W/m^2 (Wohngebäude) bzw. 150 W/m^2 (Nichtwohngebäude) und für alle anderen Orientierungen mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m^2 (Wohngebäude) bzw. 200 W/m^2 (Nichtwohngebäude) pro Quadratmeter Fensterfläche auszugehen.

Bei nicht-automatischer Sonnenschutzsteuerung erfolgt bei Nichtwohngebäuden keine Aktivierung am Wochenende (Samstag und Sonntag). Grundsätzlich ist für die Berechnungen von einer windunabhängigen Betriebsweise auszugehen.

Wird planerisch eine hiervon abweichende Betriebsweise der Sonnenschutzvorrichtung vorgesehen, so darf diese in der Simulationsrechnung verwendet werden. Die Betriebsweise ist zu dokumentieren.

6.3 Rahmenanteil, Herleitung eines Korrekturfaktors für den Verglasungsanteil

Der Korrekturfaktor für den Verglasungsanteil f_g ist sowohl abhängig von der Fensterart (ein- oder mehrflügelig, Pfosten-Riegel-Konstruktion etc.) als auch von der Fenstergröße und kann daher nicht mittels eines einzigen Wertes beschrieben werden. Der Korrekturfaktor wird üblicherweise auf die Öffnungsfläche, ermittelt mit den Rohbaumaßen, angewendet. Daher muss dieser nicht nur den Flächenanteil des Rahmens, sondern auch die Einbaufuge und etwaige Rahmenverbreiterungen berücksichtigen. Weiterhin können sich auch Unterschiede aus dem Rahmenmaterial ergeben, wie ein Vergleich der Referenzprofile für den unteren Rahmen mit Sohlbankanschluss, die in DIN 4108 Beiblatt 2:2019-06 dargestellt sind, zeigt Bild 36.

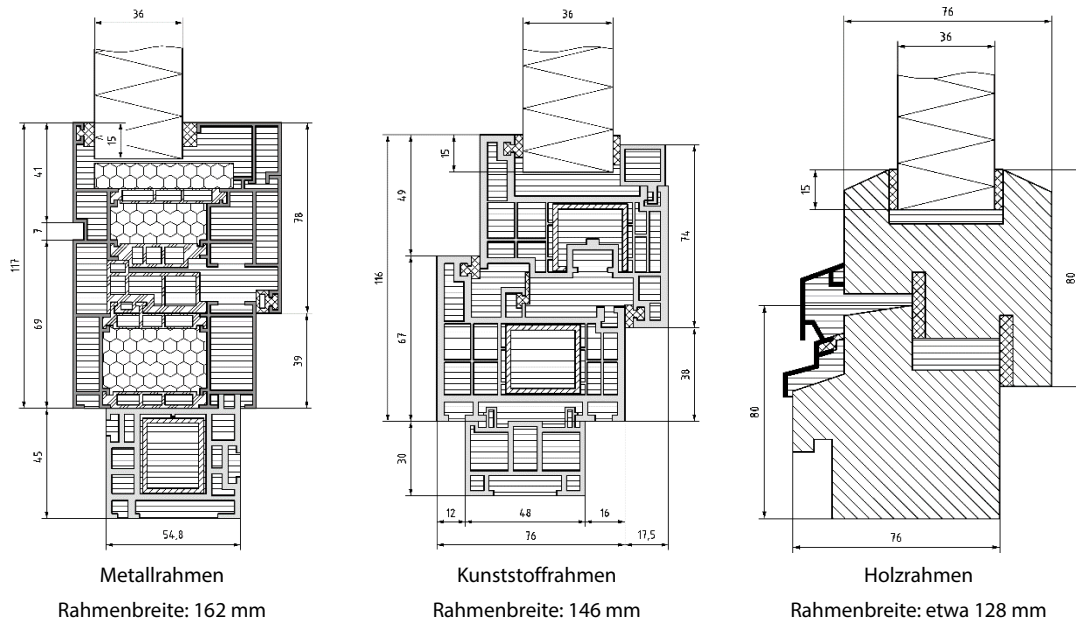


Bild 36

Referenzprofile für den unteren Rahmen mit Sohlbankanschluss nach DIN 4108 Beiblatt 2 für verschiedene Rahmenmaterialien

Die Bedeutung einer differenzierteren Berücksichtigung des Rahmenanteils soll beispielhaft anhand einer Fensteröffnung mit den Rohbauabmessungen $1,23 \times 1,48 \text{ m}$ ($A = 1,82 \text{ m}^2$) dargestellt werden. Für ein einflügeliges Fenster wird der Verglasungsanteil für verschiedene Rahmenprofile mit und ohne Rahmenverbreiterungen sowie unter der Annahme einer umlaufenden Einbaufugenbreite von 10 mm berechnet. Die Varianten mit Rahmenverbreiterung (mV) berücksichtigen eine Verbreiterung der seitlichen Rahmenprofile und des oberen Profils von jeweils 30 mm. Die Profilbreiten wurden aufgrund der bereits zuvor erwähnten Referenzprofile, die in DIN 4108 Beiblatt 2:2019-06 dargestellt sind, gewählt. Für die jeweilige Variante (siehe Bild 37) wurde zusätzlich eine äquivalente mittlere Rahmenbreite berechnet. Die ausgewählten Varianten wurden dem üblichen Standardwert für den Verglasungsanteil f_g von 0,70 gegenübergestellt. Der Standardwert entspricht einer mittleren Rahmenbreite von 0,11 m ohne Berücksichtigung einer Einbaufuge und Rahmenverbreiterungen.

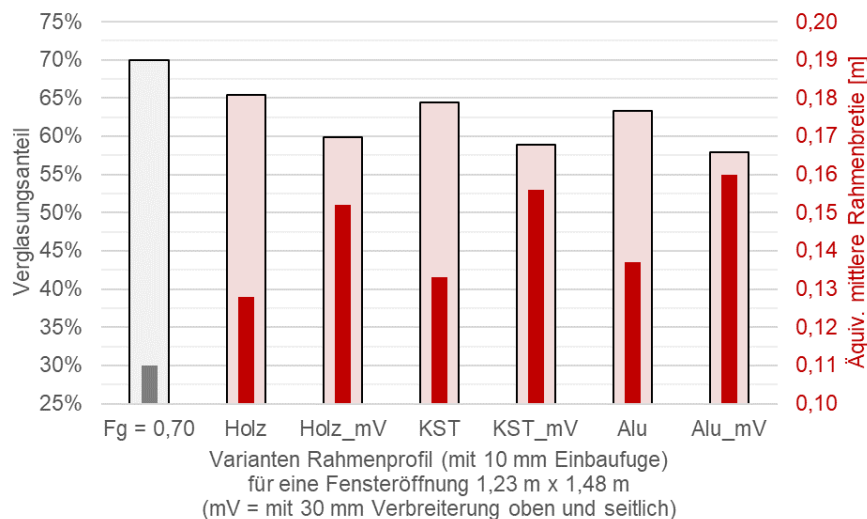


Bild 37

Verglasungsanteil bezogen auf eine Fensteröffnung von 1,23 m x 1,48 m für verschiedene Rahmenprofile eines einflügeligen Fensters mit und ohne Rahmenverbreiterung unter Berücksichtigung einer Einbaufuge von 1 cm Breite sowie Angabe der jeweiligen äquivalenten mittleren Rahmenbreite

Die sich ergebenden Abweichungen bezogen auf den Standardwert von 0,70 sind in Bild 38 wiedergegeben. Es zeigt sich für die ausgewählte Fensteröffnung, dass sich ohne Rahmenverbreiterung der Verglasungsanteil um bis zu 9 % und mit gewählter Rahmenverbreiterung um bis zu 17 % reduziert. Dieser Einfluss kann mit der Wirkung einer dauerhaft aktivierten innenliegenden Sonnenschutzvorrichtung verglichen werden.

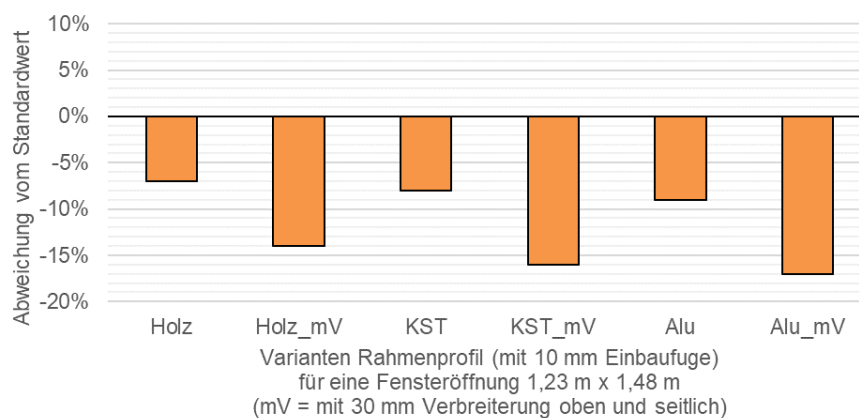


Bild 38

Abweichung der berechneten Verglasungsanteile für eine Fensteröffnung 1,23 m x 1,48 m vom Standardwert $f_g = 0,70$

Die zuvor angestellten Betrachtungen werden nachfolgend zusätzlich für eine Fensteröffnung 1,13 m x 2,13 m ($A = 2,41 \text{ m}^2$) angestellt, um den Einfluss des Rahmenanteils bei größer werdenden Fensteröffnungen zu bewerten. Diese gewählte Größe entspricht einer Fenstertür. Es wird weiterhin von einem einflügeligen Fenster ausgegangen. Als Vergleichswerte werden hier jedoch zwei Werte herangezogen. Einerseits der Standardwert für den Verglasungsanteil mit dem Wert 0,70, was für die gewählten Randbedingungen einer mittleren Rahmenbreite von 0,12 m entspricht. Andererseits wurde mit der mittleren Rahmenbreite von 0,11 m aus der vorherigen Betrachtung ein entsprechender Rahmenanteil ermittelt, siehe Bild 39.

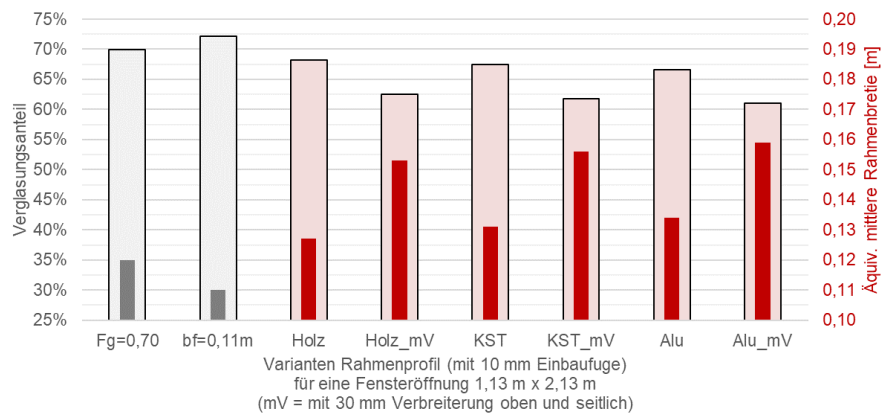


Bild 39

Verglasungsanteil bezogen auf eine Fensteröffnung von 1,13 m x 2,13 m für verschiedene Rahmenprofile eines einflügeligen Fensters mit und ohne Rahmenverbreiterung unter Berücksichtigung einer Einbaufuge von 1 cm Breite sowie Angabe der jeweiligen äquivalenten mittleren Rahmenbreite

Das Szenario der mittleren Rahmenbreite von 0,11 m ($b_f = 0,11$ m) ist das einzige, dass zu einem höheren Verglasungsanteil führt. Dies ergibt sich erwartungsgemäß aus den geometrischen Zusammenhängen. Die anderen Szenarien zeigen, wenn auch weniger ausgeprägt, jedoch weiterhin niedrigere Werte als 0,70.

Somit kann festgehalten werden, dass der Ansatz eines Standardwertes für den Verglasungsanteil von 0,70 zu einer teils deutlichen Überbewertung der solaren Einträge führt und somit Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überhitzung nach sich ziehen kann, die bei einer genaueren Bewertung der Verglasungsanteile vermieden werden können.

In dem nachstehenden Bild 40 sind die Abweichung vom Standardwert für die betrachtete Fensteröffnung 1,13 m x 2,13 m der Vollständigkeit halber dargestellt.

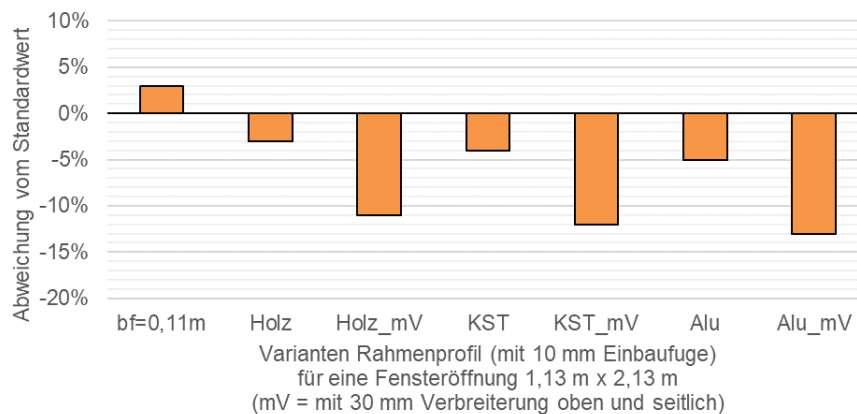


Bild 40

Abweichung der berechneten Verglasungsanteile für eine Fensteröffnung 1,13 m x 2,13 m vom Standardwert $F_g = 0,70$

Auf Grundlage der in Bild 41 dargestellten Festlegungen wurden für verschiedene äquivalente mittlere Rahmenbreiten $b_{F,mittel}$ die Verglasungsanteile f_g für ein- und zweiflügelige Fenster in Abhängigkeit der Öffnungsfläche berechnet. Die Berechnungen wurden für eine Fensterhöhe von 1,48 m und 2,13 m durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Bild 42 und Bild 43 dargestellt.

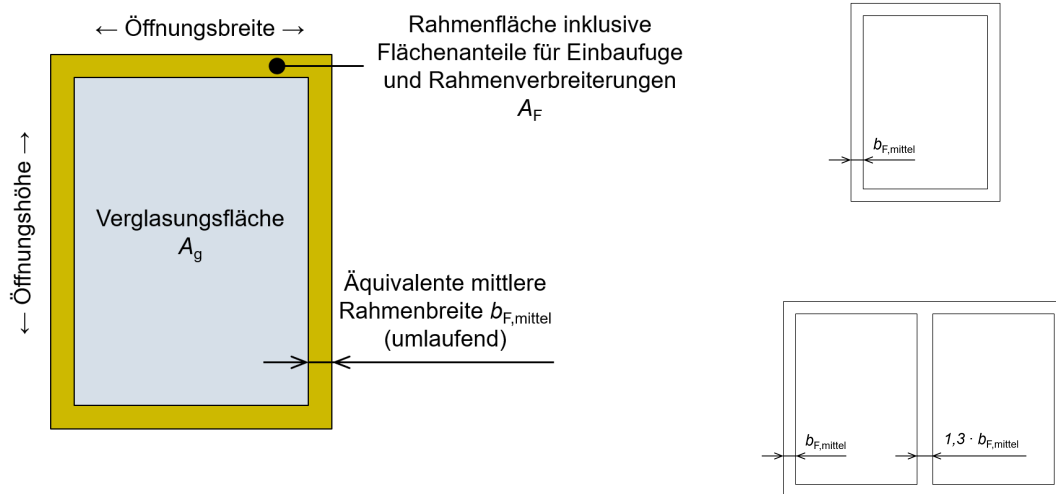


Bild 41
Geometrische Festlegungen für die Berechnung des Verglasungsanteils

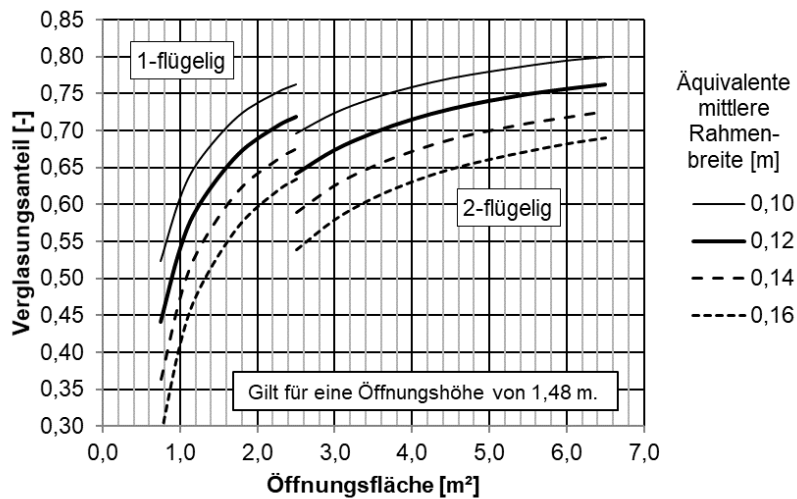


Bild 42
Verglasungsanteil f_g für ein- und zweiflügelige Fenster in Abhängigkeit der äquivalenten mittleren Rahmenbreite für eine Öffnungshöhe von 1,48 m

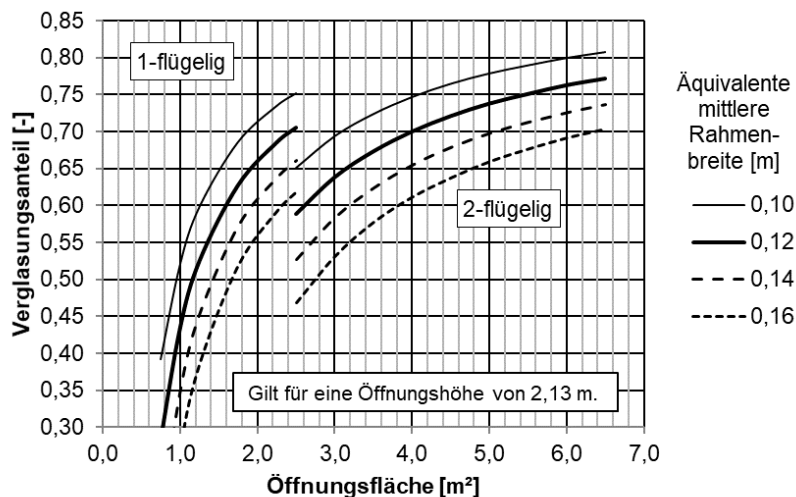


Bild 43

Verglasungsanteil f_g für ein- und zweiflügelige Fenster in Abhängigkeit der äquivalenten mittleren Rahmenbreite für eine Öffnungshöhe von 2,13 m

Die Auswertungen zeigen, dass der Verglasungsanteil, der bei der Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes einen hohen Einfluss nehmen kann, sehr von der Fensterart (z.B. ein- oder zweiflügelig), von der Fenstergröße und -geometrie sowie der äquivalenten mittleren Rahmenbreite abhängig ist, weshalb für den hier betrachteten Anwendungsfall eine Bewertung mittels eines Standardwertes als nicht sachgerecht bewertet wird.

6.4 Natürliche Lüftung

Die aktuelle Fassung der DIN 4108-2:2013-02 beschreibt den Luftaustausch zwischen Innen- und Außenraum sowohl im Zusammenhang mit dem Sonneneintragskennwertverfahren als auch mit thermischen Simulationsberechnungen durch einen mittleren Luftwechsel, der sowohl in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen als auch in zeitlicher Abhängigkeit vorgegeben wird. Eine Unterscheidung der Lüftungsart zwischen natürlicher und ventilatorgestützter Lüftung spielt hierbei keine Rolle.

Bei der Nachweisführung findet eine zeitliche Differenzierung des Lüftungsfalls wie folgt statt:

- Grundlüftung
- erhöhte Taglüftung
- erhöhte oder hohe Nachtlüftung (bzw. Lüftung außerhalb der Nutzungszeit)

Insbesondere in Wohngebäuden handelt es sich bei der natürlichen Lüftung um übliche Lösung, weshalb im Weiteren betrachtet werden soll, ob es für die Nachweisführung einen Ergänzungs- oder Änderungsbedarf bei den Rechenrandbedingungen gibt.

DIN 4108-2 unterscheidet beispielsweise für Nachtlüftung bzw. den Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit die Situationen eines „erhöhten Luftwechsels“ mit $n = 2,0 \text{ h}^{-1}$ sowie eines „hohen Luftwechsels“ mit $n = 5,0 \text{ h}^{-1}$. Als Voraussetzung für das Erreichen eines erhöhten Luftwechsels ist dabei die Möglichkeit zur Fensterlüftung benannt. Für das Erreichen des hohen Luftwechsels müssen geschossübergreifenden Lüftungsmöglichkeiten bestehen. Weitergehende Anforderungen werden nicht formuliert.

Der bisherige Ansatz, der sowohl im Zusammenhang mit dem Sonneneintragskennwertverfahren als auch mit thermischen Simulationsberechnungen anzuwenden ist, berücksichtigt jedoch weder die Fensterart (Dreh-, Kipp-, Schwingfenster oder andere Ausführungsarten), die Fenstergröße noch die Öffnungsstellung.

Im Zuge der Projektbearbeitung wird sowohl für das vereinfachte Nachweisverfahren als auch für Simulationsrechnungen untersucht, ob die Benennung baulicher Vorgaben/Voraussetzungen, z. B. durch Benennung mindestens erforderlicher Lüftungsquerschnitte, möglich ist. Hierzu wurden zunächst aus einer Vielzahl von möglichen Ansätzen die im Folgenden benannten Regelwerke/Quellen hinsichtlich der darin beschriebenen Verfahren zur Bestimmung des Luftwechsels bei Fensterlüftung analysiert und in Einzelabschnitten kurz erläutert:

- DIN/TS 4108-8 (siehe Abschnitt 6.4.1)
- DIN EN 16789-7 (siehe Abschnitt 6.4.2)
- VDI 2078 (siehe Abschnitt 6.4.3)

Zusätzlich zu den oben genannten Quellen wird auf die Dissertation von Anton Maas (Maas 1995) verwiesen. Der darin beschriebene Berechnungsansatz für den sich einstellenden Luftvolumenstrom über geöffnete Fenster ist im Simulationsprogramm HAUSer implementiert. Mit diesem Programm wurden im Rahmen der Projektbearbeitung die erforderlichen Simulationsrechnungen durchgeführt. Die Gleichung für die Volumestromberechnung bei geöffnetem Fenster enthält, wie auch DIN EN 15242:2007-09, den Einfluss der Temperaturdifferenz innen/außen, den Einfluss der Windgeschwindigkeit v sowie zusätzlich den Einfluss der Windturbulenz. Die verwendeten Fitkoeffizienten resultieren aus umfangreichen Tracergasmessungen an einem Versuchsstand der Universität Kassel mit einer Klimastation direkt am Gebäude. Der Ansatz kann somit ebenfalls mit den Daten der DWD-TRY Verwendung finden und ermöglicht die instationäre Berechnung des Luftvolumenstroms für gekippte und geöffnete Fenster. Fensterhöhe und -breite sowie die Öffnungsweite (Kippweite) in cm sind daher im Simulationsprogramm die zusätzlichen Eingabegrößen zur Berechnung des (instationären) Luftvolumenstroms mit diesem Ansatz. Da der Ansatz für einseitige Fensterlüftung aufgestellt wurde, ist er für Situationen mit Fenstern in verschiedenen Fassaden nur bedingt anwendbar und die berechneten Luftvolumenströme liegen deutlich auf der sicheren Seite (tatsächliche Luftwechsel liegen in der Regel über den berechneten).

Bild 44 zeigt für eine Windgeschwindigkeit $v = 0$ m/s die sich mit dem Ansatz ergebenden Luftvolumenströme (in m^3/h) abhängig von der Temperaturdifferenz innen/außen bei variabler Kippweite. Durch die Vernachlässigung des Windeinflusses liegen hiermit gewonnene Simulationsergebnisse zum Temperaturverhalten von Räumen auf der sicheren Seite, weil sich mit Windeinfluss höhere Volumenströme einstellen würden.

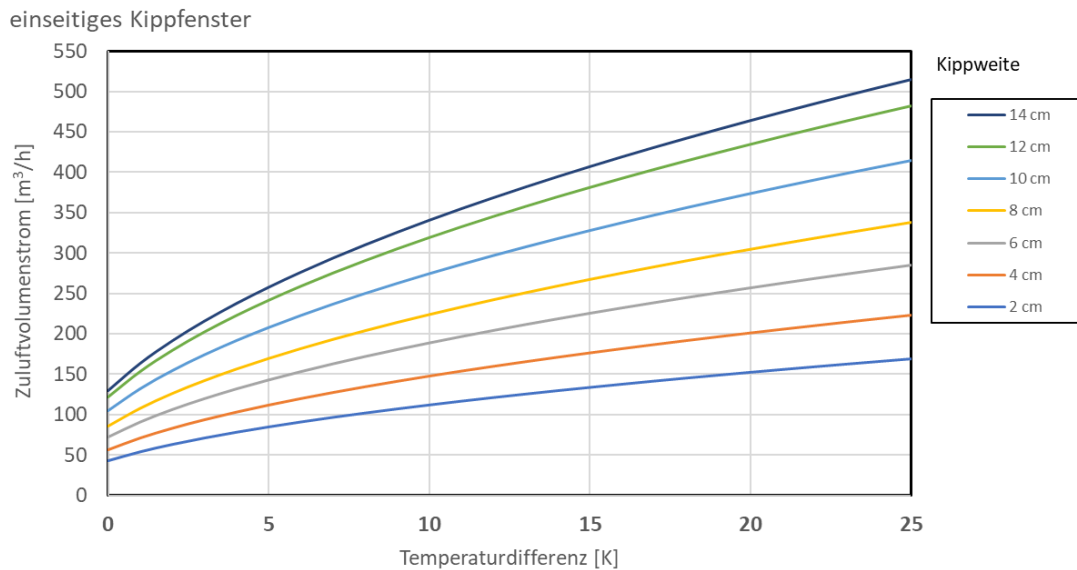


Bild 44

Zuluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz und der Kippweite (Fensterbreite 1,58 m, Fensterhöhe 1,90 m)

Bild 45 zeigt hiermit gewonnene Simulationsergebnisse für einen Zentralraum (Wohnnutzung) mit (fassadenbezogenem) Fensterflächenanteil $f_w = 30\%$ bei einem Fenster mit einer Höhe von $h_f = 1,90$ m und einer Breite von $b_f = 1,58$ im Jahresgang. Die angenommene Kippweite beträgt 7 cm.

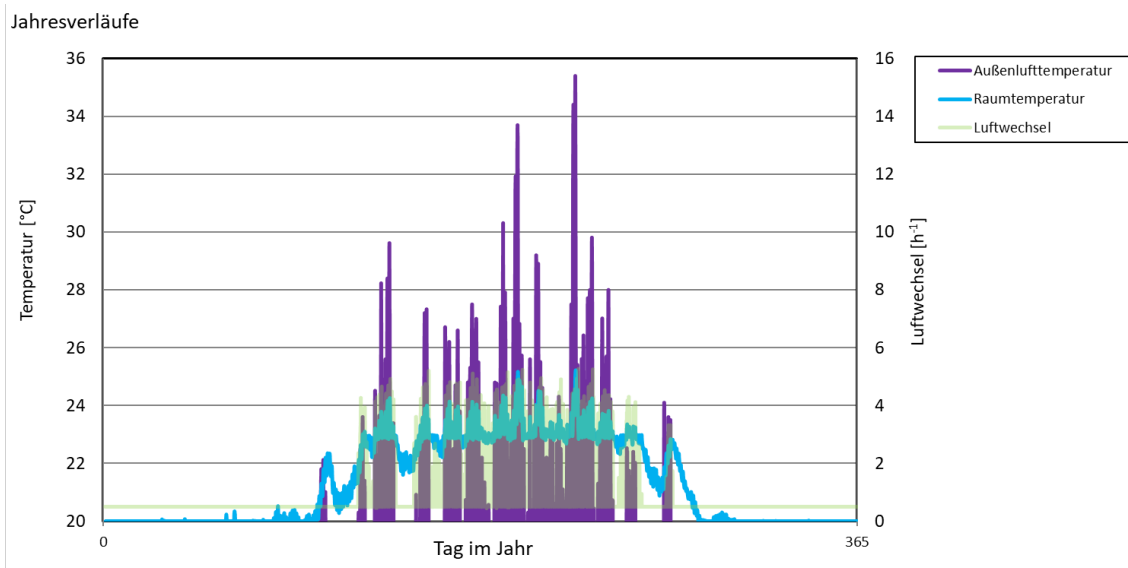


Bild 45

Jahresverläufe, Auswertungen für einen Beispielraum (Wohnzimmer, $f_{w,f} = 30\%$, Kippweite 7 cm)

Trotz der hohen Außenlufttemperaturen am Standort (im Sommer bis zu 35°C !) bleibt die (operative) Raumtemperatur auch im Sommer auf einem behaglichen Niveau und stets unter 26°C . Ein Fensteröffnen (Fensterkippen) wurde bei der Berechnung nur unterstellt, wenn die Außentemperatur unter der Raumtemperatur liegt. Die Beeinflussbarkeit der Raumtemperatur durch Bedienen eines Fensters wird hier sehr deutlich. Am grün dargestellten Verlauf (rechte y-Achse) ist erkennbar, dass die sich aus dem Ansatz ergebenden Luftvolumenströme zu Luftwechselraten bis hin zu 4 h^{-1} führen. Zu Werten also, die oberhalb der beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes Luftwechselraten von $n = 3\text{ h}^{-1}$ bzw. $n = 2\text{ h}^{-1}$ führen

Zur detaillierteren Betrachtung sind im Bild 46 als Tagesgang aus dem gleichen Ergebnisdatensatz die Verläufe für den 19. August des Jahres dargestellt. Das Bild zeigt deutlich, dass ein Fensteröffnen nur angesetzt wird, wenn die Raumtemperatur über der Außenluft liegt und an diesem Tag nicht in der Zeit zwischen etwa 8 Uhr und 20 Uhr. Bereits geringe Temperaturdifferenzen innen/außen von 1 - 2 Kelvin bewirken Luftwechselraten in der oben genannten Größenordnung.

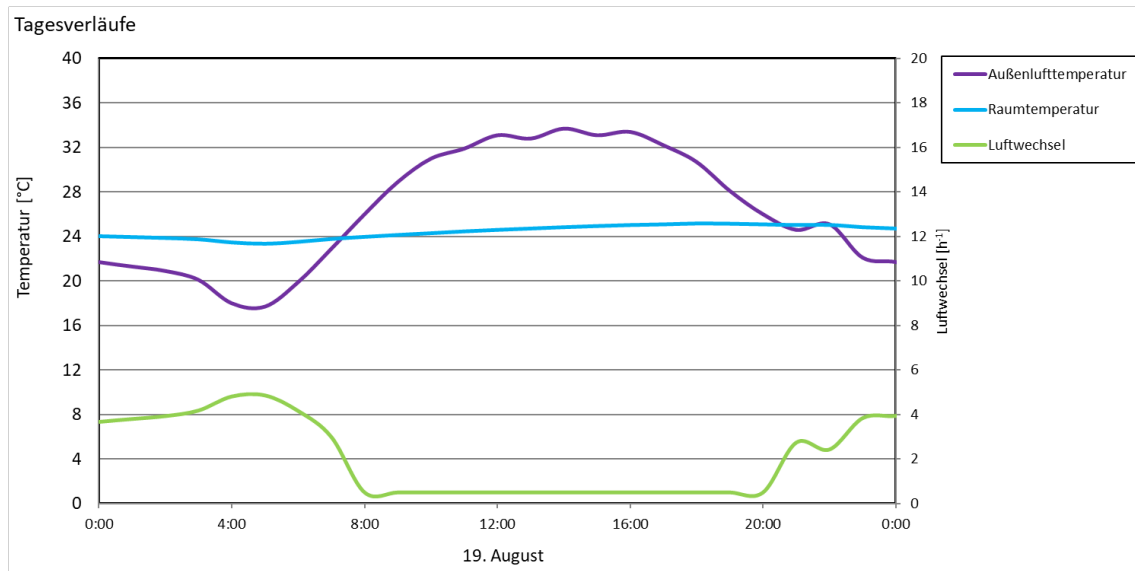


Bild 46

Tagesverläufe, Auswertungen für einen Beispielraum (Wohnzimmer, $f_{w,f} = 30\%$, Kippweite 7 cm)

6.4.1 DIN/TS 4108-8

Im Zusammenhang mit den Nachweisverfahren zur Lüftung zum Feuchteschutz wird im Anhang G der DIN/TS 4108-8:2022-09 eine Methode zur Berechnung des Luftvolumenstroms über Öffnungen beschrieben, die eine alternative Auslegung unter Anrechnung der Fensterlüftung ermöglicht. Die dort dargestellte Methode beschreibt die Berechnung des Luftvolumenstroms durch geöffnete Fenster unter stationären Bedingungen und dient der Beurteilung des Luftvolumenstroms durch teilweise oder vollständig geöffnete Fenster und kann beispielsweise für die Beurteilung des tatsächlich vorhandenen Luftvolumenstroms von Räumen bei gegebenem Nutzerverhalten herangezogen werden.

Aufgrund des Anwendungsbereichs Lüftung zum Feuchteschutz, die den Bautenschutz sicherstellen soll, erfolgt die Beschreibung der Methode nicht auf Basis von fortlaufenden Stundenwerten, sondern als singuläre Berechnung beispielsweise auf Basis eines Monatsmittelwertes für die meteorologische Windgeschwindigkeit. Eine Anwendung auf eine Berechnung in Stundenschritten ist jedoch möglich. Mit der Berechnungsmethode kann sowohl eine einseitige wie eine zweiseitige Lüftung (Querlüftung) betrachtet werden. In die Berechnung fließen jeweils der thermisch induzierte und der windinduzierte Anteil des Luftvolumenstroms ein. Diese werden zunächst getrennt berechnet. Deren Überlagerung erfolgt im Anschluss mittels einer quadratischen Gewichtung.

Ergänzend werden für unterschiedliche Fensterarten (z.B. Kipp-, Dreh- und Schiebefenster sowie Fenster in Parallelabstellung und Schwingflügel Fenster) Berechnungsvorschriften für die Ermittlung der lüftungswirksamen Fensterflächenöffnung angegeben.

6.4.2 DIN EN 16798-7

Für die Berechnung der energetisch/thermisch wirksamen Luftvolumenströme über geöffnete Fenster einschließlich Infiltration ist in DIN EN 16798-7 der Absatz 6.4.3.5 maßgeblich. Die Inhalte in DIN EN 16798-7 basieren auf der mittlerweile zurückgezogenen Norm DIN EN 15242:2007-09.

Zur Anwendung der Berechnung sind Werte erforderlich, die Anhang B aufgeführt sind. Es handelt sich hierbei um europäische Standardwerte. Die Möglichkeit nationale Werte festzulegen (Anhang A) wurde in Deutschland nicht wahrgenommen.

Prinzipiell kann eine Berechnung der Luftströme über geöffnete Fenster für beliebig viele Fenster in einem Raum erfolgen. Die gesamte Fensterfläche ergibt sich aus den freien Fensteröffnungsflächen der einzelnen Fenster. Die Berechnung kann wahlweise vereinfacht, abhängig von der Windgeschwindigkeit und der Temperaturdifferenz innen/außen als Eingabewerte und abhängig vom Innendruck als Eingabewert erfolgen. Für die Anwendung dieses Normenteils im Rahmen einer thermischen Simulation ist somit hier zunächst eine Festlegung erforderlich oder das Berechnungsverfahren muss durch einen „Schalter“ vor dem Start der Simulation vom Anwender selbst bestimmt werden. Kapitel 6.4.3.5.4 enthält die Beschreibung des Verfahrens bei Nutzung der Temperaturdifferenz innen/außen und der Windgeschwindigkeit als Vorgabegrößen, die sich aus der Simulationsberechnung und den DWD-Testreferenzjahren direkt ergeben und wird daher bei einer Festlegung auf ein bestimmtes Verfahren (also ohne „Schalter des Anwenders“) empfohlen.

6.4.3 VDI 2078

Die VDI 2078 beschreibt den Luftaustausch über geöffnete Fenster in ihrem Anhang A3. Hier wird ausschließlich die Temperaturdifferenz innen/außen betrachtet, Windeinflüsse werden nicht berücksichtigt.

Es erfolgt eine Fallunterscheidung zwischen vollständig geöffnetem und gekipptem Fenster bei einzelnen (Ein- und Ausströmung über dasselbe Fenster) und übereinander angeordneten Fenstern mit Einströmung unten und Ausströmung im oberen Fenster – also insgesamt 4 Fälle.

Beim vollständig geöffneten Fenster ist als geometrische Größe lediglich die lichte Fensterhöhe und Fensterbreite für die wirksame Öffnungsfläche relevant, bei übereinander angeordneten Fenstern wird als wirksame Höhe der Abstand zwischen Unterkante des oberen Fensters und der Unterkante des unteren Fensters angesetzt. Unterscheiden sich das obere und untere Fenster hinsichtlich ihrer Größe, ist für die wirksame Öffnungsfläche der kleinere Wert anzusetzen.

Der Kippwinkel eines gekippten Fensters ist auf 15° beschränkt, was in der Praxis in aller Regel auch erfüllt sein dürfte. Auch die Falztiefe d_{Falz} muss bekannt sein.

6.4.4 Zusammenfassung und Empfehlung

Der Luftvolumenstrom infolge Fensterlüftung setzt sich grundsätzlich aus einem thermisch induzierten und einem windinduzierten Anteil zusammen. Deren getrennt ermittelten Anteile können jedoch nicht einfach addiert werden, da der gesamte Luftvolumenstrom von der Größe des jeweiligen Anteils abhängig ist. Dieser Umstand wird in den einzelnen Regelwerken in unterschiedlicher Weise Rechnung getragen:

In DIN/TS 4108-8 erfolgt eine quadratische Gewichtung des thermisch induzierten und des windinduzierten Luftvolumenstroms. Der Luftvolumenstrom für eine Zone, der sich in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur und der Windgeschwindigkeit für nur einer Fensteröffnung oder mehr als eine Fensteröffnung in unterschiedlichen Fassaden ergibt, ist in den beiden Diagrammen in Bild 47 dargestellt. Darin sind beispielhaft die rechnerischen Außenluftvolumenströme bei einer bei einer vorgegebenen Raumlufttemperatur von 20 °C und unterschiedlichen Außenlufttemperaturen sowohl für eine einseitige Lüftung (linkes Diagramm) und für eine Querlüftung (rechtes Diagramm) dargestellt. Es zeigt sich, dass bei einseitiger Lüftung beide Anteile unabhängig von der Windgeschwindigkeit und der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen gemeinsam wirken. Bei einer Querlüftung hingegen zeigt sich, sofern die gegenüberliegenden Öffnungsflächen den gleichen Flächenschwerpunkt aufweisen, dass ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit kein thermisch induzierter Einfluss mehr berücksichtigt wird.

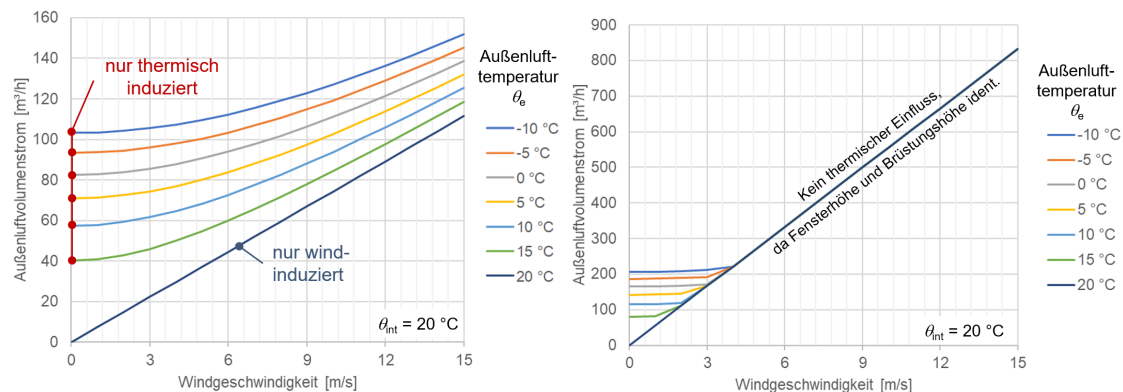


Bild 47

Außenluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Links: einseitige Lüftung, rechts: Querlüftung

Weiterhin bietet die Norm in Anhang G für unterschiedliche Fensterarten Berechnungsvorschriften für die Ermittlung der wirksamen Fensteröffnungsfläche an. Die Berücksichtigung des Windeinflusses erfolgt jedoch nur mittels einer mittleren Windgeschwindigkeit. Weiterhin kann der Einfluss der Hauptwindrichtung rechnerisch nicht berücksichtigt werden.

Das im Anhang G der DIN/TS 4108-8 beschriebene Verfahren beruht in weiten Teilen auf den Ansätzen der DIN EN 16798-7. Abweichend wird in der EN-Norm jedoch bei vorhandener Querlüftung nur der größere Wert aus thermisch induziertem und windinduziertem Volumenstrom in Anrechnung gebracht. Eine weitere Unterscheidung liegt in der Berechnung des windinduzierten Luftvolumenstroms. Hier ist eine differenziertere Bewertung mittels dimensionslosen Winddruck-Koeffizienten möglich. In der VDI 2078 wird der windinduzierte Anteil des Luftvolumenstromes nicht berücksichtigt.

6.4.4.1 Anwendungsvoraussetzungen für eine Nachtlüftung (Lüftung außerhalb der Nutzungszeiten)

Die Möglichkeit einer erhöhten oder auch hohen Nachtlüftung kann insbesondere unter den zu erwartenden Klimaveränderungen weder bei Nichtwohngebäuden noch bei Wohngebäuden grundsätzlich vorausgesetzt werden. Die Festlegung von Mindestöffnungsflächen in Abhängigkeit der Fensteranordnung, der Öffnungsstrategien sowie der Nutzungsart des betrachteten Raumes wäre im Rahmen dieses Projektes jedoch nur möglich gewesen, wenn ausschließlich der thermisch induzierte Anteil berücksichtigt worden wäre. Eine Vernachlässigung des windinduzierten Anteils könnte für den hier betrachteten Sommerfall allerdings zu einer Überdimensionierung der Öffnungsflächen führen. Die rechnerische Einbindung des windinduzierten Anteils in die Simulationsumgebung erfordert jedoch eine weitergehende Auseinandersetzung mit den Windverhältnissen, die an der Fassade des zu betrachtenden Raumes angesetzt werden können. Diese sind nicht nur abhängig vom Standort des Gebäudes und der Lage des zu untersuchenden Raumes. Neben der näheren Umgebungsbebauung ist hier auch die, bezogen auf den Gebäudestandort, die weiter entfernte Bebauung und Topographie des Geländes von Bedeutung.

Aus diesem Grunde können gegenwärtig keine quantitativen Anforderungen formuliert werden. Die Möglichkeit einer Nachtlüftung ist jedoch grundsätzlich nur gegeben, wenn u.a. nachstehende Randbedingungen gegeben sind:

- Der nächtliche Schallpegel vor dem geöffneten Fenster ermöglicht eine ausreichende Nachtruhe. Für die Beurteilung einer ausreichenden Nachtruhe können beispielsweise die Ausführungen der Technischen Anleitung Lärm (TA Lärm, (vgl. BMUB 2017)) herangezogen werden.
- Die Erdgeschossfenster, die von öffentlich zugänglichen Flächen erreichbar sind, sind mit einem entsprechenden Einbruchschutz ausgestattet.
- Für die geöffneten Fenster ist ein Witterungsschutz gegeben.

Für Nichtwohngebäude gilt: Eine erhöhte natürliche oder hohe natürliche Nachtlüftung ist nur zulässig, wenn beim Öffnen der Fenster Einbruch- und Witterungsschutz durch andere Maßnahmen gewährleistet sind.

6.4.4.2 Empfehlung

Für die Herleitung von Mindestöffnungsflächen, die einen ausreichenden Luftwechsel für die Abfuhr der tagsüber eingebrachten Wärmeenergie sicherstellen, die im Weiteren dann in einem normativen Verfahren zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes Verwendung finden sollen, bedarf es weitergehender Untersuchungen und Berechnungen. Diese waren im Rahmen dieses Projektes nicht leistbar. Es wird empfohlen, dass ein entsprechendes Projekt durch den Auftraggeber veranlasst wird.

6.5 Passive Kühlung

Mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulationen (nur für Erdwärmetauscher) bzw. nach den Vorgaben der Berechnung gemäß DIN V 18599-7 (EER) werden energetische Bewertungen verschiedener passiver Kühlsysteme vorgenommen. Anhand der Simulationen werden die tatsächlichen Potentiale der Systeme und ihrer Konfigurationen hinsichtlich Effizienz und Energieaufwand in der Realität prognostiziert. Zudem werden die Bewertungsansätze nach DIN 4108-2 überprüft und auf Basis aktueller meteorologischer Datensätze neu bewertet.

Die Untersuchung erfolgt softwaregestützt mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulation. Ein Gebäudemodell wird mit verschiedenen Kühlsystemen ausgestattet, um diese einander gegenüberzustellen. Dabei soll ein geometrisch einfach gehaltenes Gebäudemodell verwendet werden, damit die Übertragbarkeit auf andere Gebäude verbessert wird. Um die Potentiale der jeweiligen Systeme und ihrer Konfigurationen herauszustellen, werden die Simulationen unter Variation verschiedener Parameter durchgeführt und hinsichtlich ihrer Übertemperaturgradstunden nach DIN 4108-2 und ggf. weiterer geeigneter Bewertungsgrößen ausgewertet. Teil dieser Untersuchung soll es auch sein, wie dem Umstand Rechnung getragen werden kann, dass bei einer passiven Kühlung die maximale Kühlleistung kleiner als die berechnete Kühllast sein kann.

Auf Basis der Berechnungen und der Bewertung des anteiligen Sonneneintragskennwertes wird schließlich ein Änderungsvorschlag für die Berücksichtigung der passiven Kühlung im vereinfachten und detaillierten Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes der DIN 4108-2 entwickelt.

Die Definition von passiver Kühlung erfolgt in DIN 4108-2 bislang nur in einer qualitativen Form und führt bisweilen zu Diskussionen was darunter verstanden werden kann. Die Definition lautet wie folgt (vgl. DIN 4108-2:2013-02 Abs. 4.3.6):

Das thermische Verhalten eines Raumes kann durch passive Kühlung positiv beeinflusst werden. Von passiver Kühlung kann ausgegangen werden, wenn zur Raumkühlung Systeme eingesetzt werden, bei denen Energie ausschließlich zur Förderung des Kühlmediums erforderlich ist. Vorausgesetzt wird eine fallspezifische Auslegung des Systems, in der Regel thermisch aktivierte Bauteile mit Nutzung eines Sohlplattenkühlers oder Erdwärmetauschers (geothermische Kühlung, kein bivalenter Betrieb mit Kältemaschinen) oder Systeme mit Kühlung über indirekte Verdunstung (monovalente Betriebsweise).

Allerdings kann auch der Energieeinsatz, der ausschließlich zur Förderung des Kühlmediums erforderlich ist, bedeutend sein, sodass eine quantitative Bewertung sinnvoll erscheint. Darüber hinaus kann damit eine klare Abgrenzung zur aktiven Kühlung hergestellt werden, die, um den Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gerecht zu werden, grundsätzlich keine Berücksichtigung finden soll (→ Vermeidungsgebot).

Für die quantitative Bewertung bietet sich die Verwendung einer Leistungszahl an, wie sie auch in Verbindung mit anderen Technologien üblich ist. Im Falle der passiven Kühlung soll sie das Verhältnis vom thermischen Nutzen bzw. der Kühlleistung zum energetischen Aufwand während der Betriebsphase darstellen. Damit eine Maßnahme als passive Kühlung bewertet werden kann, muss die Leistungszahl sehr hoch sein. Der thermische Nutzen kann sowohl aus der Vermeidung des Energieeintrags (z. B. durch Sonnenschutzmaßnahmen oder Luft-Erdreich-Wärmeübertrager) als auch die Wärmeabfuhr aus dem Raum (z. B. durch Fußbodenkühlung) resultieren. Der energetische Aufwand ergibt sich aus dem Strom- bzw. Leistungsbedarf sowie gegebenenfalls

weiterer Energiebedarfe, die für den Betrieb der Maßnahme erforderlich sind. Eine Berücksichtigung des Stroms sollte unabhängig davon erfolgen, ob dieser aus erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Energien erzeugt wird. Weitere Energieträger, die gegebenenfalls für den Betrieb einer Maßnahme erforderlich sind, sind mit Ausnahme von Umwelt- und Strahlungsenergie, gleichfalls zu berücksichtigen.

Es wird vorgeschlagen für die Leistungszahl, die im Weiteren mit EER_{passiv} bezeichnet wird, einen Mindestwert von 50 anzusetzen. Die Herleitung des Zahlenwertes erfolgt nachfolgend anhand von Systemen, die bereits in der Vergangenheit als passive Kühlung betrachtet wurden.

6.5.1 Herleitung des Anforderungswertes für die Leistungszahl EER_{passiv}

6.5.1.1 Kühlung mit Grundwasser

Für den Anwendungsfall Kühlung mit Grundwasser kann auf die technische Regel DIN V 18599-7:2018-09 zurückgegriffen werden. Dieser Teil der Normenreihe zur energetischen Bewertung von Gebäuden behandelt Klimakältesysteme in Nichtwohngebäuden. In dieser Norm werden im Abschnitt 7.3.2 Kälteleistungszahlen von Grundwassernutzungsanlage EER_{GW} angegeben. In nachstehender Tabelle 11 sind die Werte für Grundwassernutzungsanlagen mit Hocheffizienzpumpen in Abhängigkeit der Temperaturspreizung im Wärmesenkenkreis dargestellt. Diese wurden für eine Grundwassertemperatur von 12 °C sowie einer Auslegungsförderrhöhe der Pumpen von 400 kPa ermittelt.

Tabelle 11
Kälteleistungszahlen EER_{GW} von Grundwassernutzungsanlagen

Zeile	Temperaturspreizung im Wärmesenkenkreis [K]	Grundwassernutzungsanlage mit Hocheffizienzpumpe
1	5	30
2	8,3	50
3	10	60
4	15	89

Die Zeile 2 wurde gegenüber der Tabelle 35 in DIN V 18599-7:2018-09 ergänzt, um unter den angenommenen Randbedingungen die minimale Temperaturspreizung für eine EER_{GW} von 50 darzustellen. Die Temperaturspreizung von 8,3 K wurde durch Interpolation aus den vorhandenen Tabellenwerten ermittelt. Grundsätzlich kann demnach mit einer Grundwassernutzungsanlage eine Leistungszahl von 50 erreicht werden. Allerdings gilt es zu bedenken, dass es sich hierbei im wasserrechtlichen Sinne um genehmigungspflichtige Anlagen handelt und die Behörden häufig nur Spreizungen bis zu 6 K zulassen. Nachdem diese Art der Anlagen jedoch eine detaillierte Planung benötigt, wird davon ausgegangen, dass eine Kälteleistungszahl von 50 auch unter dieser Randbedingung erreichbar ist.

Ergänzend sei erwähnt, dass Teil 6 der Normenreihe DIN V 18599, der sich u. a. mit der Kühlung von Wohngebäuden befasst, in der Fassung 2018 keine Kühlung mit Grundwasser behandelt.

6.5.1.2 Kühlung über Erdsonden

Für den Anwendungsfall Kühlung über Erdsonden kann gleichfalls auf Teil 7 der Normenreihe DIN V 18599 zurückgegriffen werden. In Abschnitt 7.3.3 wird dort eine Kälteleistungszahl EER_{GS} für einzelne Erdsonden sowie für Erdsondenfelder bestehend aus bis zu 24 Sonden in Abhängigkeit der Bohrtiefe und der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs angegeben. Weiterhin werden die Leistungszahlen für eine Ausführung als einfache U-Rohrsonde oder als Doppel-U-Rohrsonde unterschieden, siehe Bild 48.

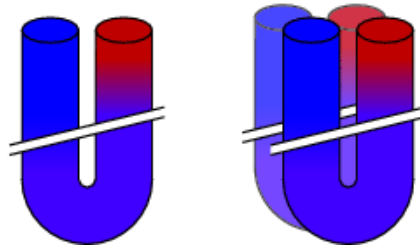


Bild 48

Darstellung einer einfachen U-Rohrsonde (links) und einer Doppel-U-Rohrsonde (rechts)

Quelle: Stober I., Bucher K. (2014) Erdwärmesonden. In: Geothermie. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg

Die Standardwerte für die Kälteleistungszahl eines Erdsondenfeldes EER_{GS} in DIN V 18599-7 wurden für eine Sondereintrittstemperatur von 18 °C berechnet und sind in nachfolgender Tabelle 12 in Verbindung mit der Verwendung von Hocheffizienzpumpen wiedergegeben.

Tabelle 12

Kälteleistungszahlen EER_{GS} von Erdsondenfeldern

Boden	Sonde	Bohrtiefe					
		40 m		70 m		100 m	
		Einzel $i = 1$	Feld $i = 24$	Einzel $i = 1$	Feld $i = 24$	Einzel $i = 1$	Feld $i = 24$
Ton/Schluff, trocken, $\lambda = 0,5 \text{ W/(mK)}$	1 U	18	43	28	68	33	85
	2 U	23	54	36	87	46	111
Kalkstein, $\lambda = 2,7 \text{ W/(mK)}$	1 U	51	74	72	111	82	134
	2 U	66	93	98	142	117	174
Quarzit, $\lambda = 5,5 \text{ W/(mK)}$	1 U	65	95	90	140	101	165
	2 U	84	120	123	179	143	214

Die Tabellenwerte zeigen, dass unter den hier zugrunde gelegten Randbedingungen und unabhängig von der Bohrtiefe nur bei einem Boden mit geringer Wärmeleitfähigkeit (hier: $\lambda \leq 0,5 \text{ W/(mK)}$) für einzelne Erdsonden ($i = 1$) eine Leistungszahl von 50 nicht erreicht werden kann. Mit steigender Wärmeleitfähigkeit und Sondenanzahl wird diese Leistungszahl dann jedoch deutlich überschritten.

Dies verdeutlicht, wie relevant die Möglichkeit einer quantitativen Bewertung von Technologien ist, da nicht jede Ausführungsvariante den erwünschten Nutzen bringt.

6.5.1.3 Kühlung über Luft-Erdreich-Wärmeübertrager

Bei der Kühlung über Luft-Erdreich-Wärmeübertrager ist grundsätzlich eine Lüftungsanlage erforderlich. Diese wird bei den nachfolgenden Betrachtungen als ohnehin vorhanden vorausgesetzt. Dies ist dahingehend von Bedeutung, da somit nur der Energieaufwand für den Lufttransport berücksichtigt wird, der sich zusätzlich durch den Luft-Erdreich-Wärmeübertrager ergibt. Andernfalls wäre der gesamte Energiebedarf für den Lufttransport zu berücksichtigen.

Die Senkenwirkung des Erdreichs kann bei diesem System entweder durch einen Luft- oder Solekollektoren (Bild 49) nutzbar gemacht werden.



Bild 49

Darstellung eines Luftkollektors (links) und eines Solekollektors (rechts)

Quelle: www.sole-ewt.de

Bei Luftkollektoren wird die Außenluft über ein im Erdreich angeordnetes Rohrleitungssystem angesaugt, sodass die Außenluft auf dem Weg ins Gebäude im Wärmeaustausch mit dem Erdreich steht. Es entsteht ein zusätzlicher Energieaufwand für den Lufttransport, da die zusätzlichen Druckverluste durch das Rohrleitungssystem und zusätzliche Komponenten (z. B. Filter) durch den Ventilator ausgeglichen werden müssen. Im Falle eines Solekollektors zirkuliert in dessen Leitungssystem ein Medium, über das mittels eines Wärmeübertragers die Außenluft vorkonditioniert werden kann. Es findet also nur ein mittelbarer Wärmeübergang von Erdreich zur Außenluft statt. Der Wärmeübertrager ist vor dem Lüftungsgerät angeordnet, sodass der daraus resultierende Druckverlust gleichfalls durch den Ventilator ausgeglichen werden muss. Zusätzlich bedarf es für die Zirkulation der Sole einer Umwälzpumpe. Auch dieser Strombedarf ist zu berücksichtigen.

Für Luft-Erdreich-Wärmeübertrager finden sich weder in der Normenreihe DIN V 18599 noch in anderen Regelwerken vergleichbare Angaben zu Kälteleistungszahlen, wie zuvor für Grundwassernutzungsanlagen oder Erdsondenfelder. Aus diesem Grunde wurden für einen Luftkollektor verschiedene Szenarien mittels Simulationsberechnungen untersucht, um eine entsprechende Bewertung vornehmen zu können. Dazu wurden folgende Parameter variiert:

- Sommer-Klimaregion
- Volumenstrom

Die Dimensionierung des Kollektors erfolgte nach VDI 4640 Blatt 4:2004-09 Tabelle 6. Die Simulationsberechnungen wurden mit den Randbedingungen nach Tabelle 13 für Annahmen, die für alle Varianten gelten, und nach Tabelle 14 für variantenabhängige Festlegungen durchgeführt.

Tabelle 13

Simulationsrandbedingungen für alle Varianten zur Berechnung einer Kälteleistungszahl EER_{EWT}

Beschreibung	Formelzeichen	Einheit	Wert	Anmerkung
Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	λ_E	W/(mK)	2,0	Der Wert entspricht einem Boden mit höherer Wärmeleitfähigkeit
Dichte des Erdreichs	ρ_E	kg/m ³	1.500	-
Wärmekapazität des Erdreichs	c_E	kJ/(kgK)	1,25	-
Temperaturleitfähigkeit des Erdreichs	a_E	m ² /s	$10,7 \cdot 10^{-7}$	Berechnet sich aus den vorherigen Kennwerten.
Tiefe des Grundwassers unter Geländeoberfläche	l_{GW}	m	20	Der Einfluss des Grundwassers wurde damit ausgeschlossen.
Verlegetiefe des Luftkollektors unter Geländeoberfläche	l_{LK}	m	1,50	-
Abstand vom Gebäude	l_{Geb}	m	30	Der Einfluss des Gebäudes wurde damit ausgeschlossen.
Anordnung des Ventilators nach EWT	-	-	ja	Eine Temperaturerhöhung durch den Ventilator findet keine Berücksichtigung.
Wirkungsgrad des Ventilators	η_{vent}	-	0,60	-
Druckverlust infolge Einbauten	Δp	Pa	30	Berücksichtigung von Filter, Ansaugung etc.
Kühlgrenztemperatur	$\theta_{e,c}$	°C	22	Mindesttemperatur der Außenluft, damit ein Wärmeentzug rechnerisch berücksichtigt wurde.

Tabelle 14

Variantenabhängige Simulationsrandbedingungen zur Berechnung einer Kälteleistungszahl EER_{EWT}

Variante	Volumenstrom m ³ /h	Rohrdurchmesser mm	Verlegelänge m	Druckverlust durch Rohrleitung Pa	Anmerkung
1	100	100	25	58,7	Entspricht etwa der Nennlüftung nach DIN 1946-6 für eine Wohneinheit mit einer Nutzfläche von 100 m ² .
2	250	200	30	14,4	Entspricht etwa der Nennlüftung nach DIN 1946-6 für zwei Wohneinheiten.
3	500	300	40	9,8	Entspricht etwa der Nennlüftung nach DIN 1946-6 für vier Wohneinheiten.

Jede Variante wurde zusätzlich für die folgenden Klimaregionen (aus (Deutscher Wetterdienst 2017)) berechnet:

- Hof (TRY10:2045) – sommerkühl
- Potsdam (TRY04:2045) – gemäßigt
- Mannheim (TRY12:2045) – sommerheiß

Die Simulationsergebnisse in Bild 50 zeigen für die untersuchten Varianten die rechnerisch ermittelte Wärmeenergie $Q_{c,EWT}$, die der Außenluft entzogen werden konnte. Deutlich ist der Einfluss des Volumenstroms auf den potentiellen Wärmeentzug zu erkennen. Weiterhin ist ersichtlich, dass der Klimastandort Einfluss auf das Ergebnis nimmt. Für den Klimastandort Mannheim, als Repräsentant für eine sommerheiße Region, zeigt sich

gegenüber den anderen Standorten ein höheres Wärmeentzugspotential. Mit Blick auf die Klimaveränderungen könnte diese Technologie somit eine größere Bedeutung in der Planung bekommen.

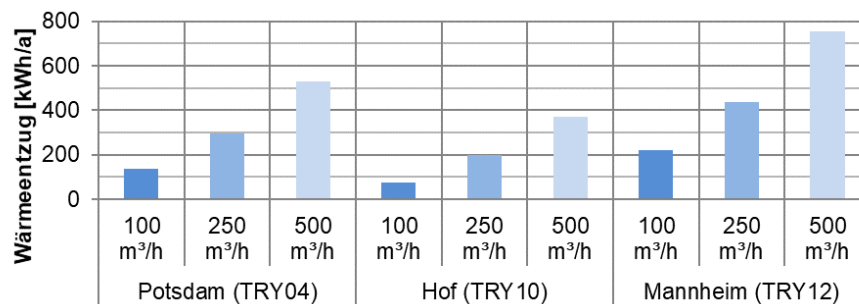


Bild 50

Rechnerischer Wärmeentzug [kWh/a] für drei Ausführungsvarianten des Luft-Erdreich-Wärmeübertragers unter drei verschiedenen Klimarandbedingungen

Der zusätzliche Strombedarf ΔW_{ventr} , der sich aus den zusätzlichen Druckverlusten des Luft-Erdreich-Wärmetauschers ergibt, kann mit nachstehendem Formelsatz berechnet werden:

$$\Delta W_{\text{vent}} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p \cdot t_{c, \text{EWT}}}{\eta_{\text{vent}} \cdot 3,6} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] \quad (5-1)$$

Dabei ist:

$\dot{V}$	Luftvolumenstrom	[m³/h]
Δp	Druckverlust	[Pa]
$t_{c, \text{EWT}}$	Laufzeit des Ventilators zu Zeiten des Wärmeentzugs	[h/a]
η_{vent}	Gesamtwirkungsgrad des Ventilators	[-]

Die Kälteleistungszahl des Luft-Erdreich-Wärmeübertragers EER_{EWT} kann dann wie folgt ermittelt werden:

$$\text{EER}_{\text{EWT}} = \frac{Q_{c, \text{EWT}}}{\Delta W_{\text{vent}}} \quad (5-2)$$

Die Auswertung der untersuchten Varianten in Bezug auf die Kälteleistungszahl EER_{EWT} ist in Bild 51 dargestellt. Sie zeigt, dass unter den angenommenen Randbedingungen eine Kälteleistungszahl von größer 50 für alle betrachteten Szenarien erreicht wird.

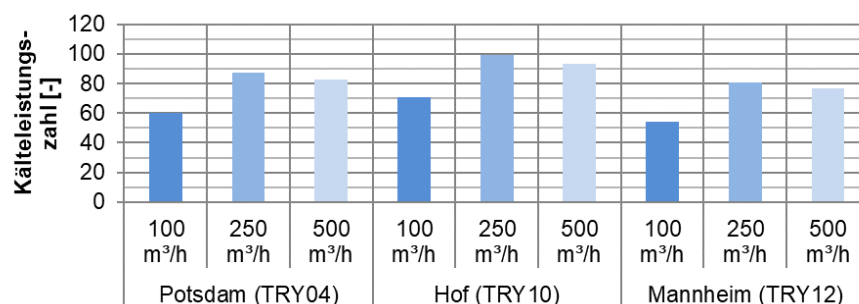


Bild 51

Kälteleistungszahl für drei Ausführungsvarianten des Luft-Erdreich-Wärmeübertragers unter drei verschiedenen Klimarandbedingungen

Im Rahmen dieser Betrachtungen wird für die Bewertung von Sole-Kollektoren von dem zuvor ermittelten Wärmeentzug ausgegangen. Allerdings verändern sich die Druckverluste sowie damit der zusätzliche Energiebedarf für den Lufttransport und es kommt ein Energiebedarf für die Umwälzpumpe des Solekreises hinzu. Die

hier angenommenen Druckverluste in Abhängigkeit des Volumenstroms berücksichtigen sowohl den Wärmeübertrager als auch einen zusätzlichen Filter. Die Werte basieren auf Herstellerangaben und sind in Tabelle 15 angegeben.

Tabelle 15
Druckverluste durch einen Solekollektor in Abhängigkeit des Volumenstroms

Volumenstrom [m³/h]	Druckverlust [Pa]
100	3
250	10
500	32

Mit den veränderten Druckverlusten wird eine maximale Leistung der Sole-Pumpe ermittelt, mit der einer Kälteleistungszahl von 50 erreicht werden würde. Die Auswertung in Bild 52 zeigt, dass Pumpenleistungen von weniger als 10 W erforderlich sind. Diese sind jedoch bei einer entsprechenden Auslegung des Solekollektors mit Hocheffizienzpumpen erreichbar.

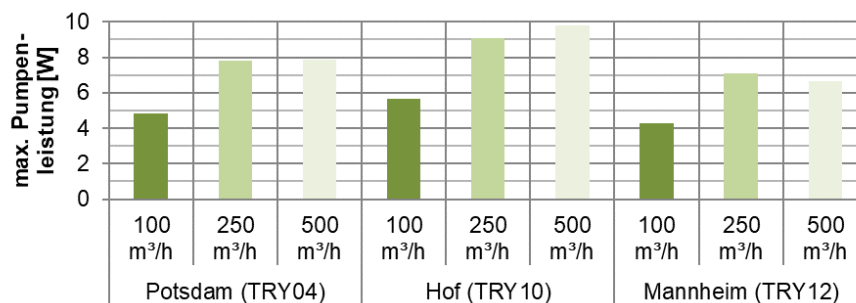


Bild 52
Maximale Leistung [W] der Sole-Pumpe, um unter der vorgegebenen Randbedingungen noch eine Kälteleistungszahl EER_{EWT} von 50 zu erreichen.

6.5.1.4 Schlussfolgerung

Mit der Herleitung einer Kälteleistungszahl EER_{passiv} am Beispiel dreier unterschiedlicher Technologien, die im Allgemeinen als passive Kühlung angesehen werden, konnte gezeigt werden, dass eine Kälteleistungszahl von 50 ein geeigneter Zahlenwert ist, der für die Definition einer passiven Kühlung herangezogen werden kann. Es wurde aber auch ersichtlich, dass es Konstellationen gibt, für die dieser Grenzwert nicht eingehalten wird. Dies ist dem vorgeschlagenen Konzept jedoch nicht nachteilig anzulasten, da es vielmehr die Notwendigkeit einer Planung solcher Anlagen verdeutlicht.

6.5.2 Berücksichtigung der passiven Kühlung im Verfahren Sonneneintragskennwerte

Für eine Berücksichtigung der passiven Kühlung im Verfahren Sonneneintragskennwerte bedarf es aus den obigen Erkenntnissen heraus einer Beschreibung der Voraussetzungen, unter welchen ein entsprechender Bonus in Form eines positiven Teilkennwertes S_x in Anspruch genommen werden darf. Eine grundsätzliche Voraussetzung kann durch die Kälteleistungszahl EER_{passiv} beschrieben werden. Die Nachweisführung mittels des Verfahrens Sonneneintragskennwerte erfolgt jedoch meist zu einem Zeitpunkt, zu dem detaillierte Angaben für eine Berechnung dieser Leistungszahl fehlen. Dies soll durch eine qualitative Systembeschreibung kompensiert werden. Es wird jedoch empfohlen, dass im weiteren Planungsverlauf der rechnerische Nachweis über die Einhaltung der minimalen Kälteleistungszahl geführt wird.

Weiterhin muss sichergestellt sein, dass die Kühlleistung der geplanten passiven Kühlung mindestens der angenommenen Kühlleistung für die Herleitung der Teilkennwerte entspricht. Daher ist in den Anwendungsvoraussetzungen auch ein Mindestwert für die Kühlleistung anzugeben.

6.5.2.1 Anwendungsvoraussetzungen für Wohngebäude

6.5.2.2 Luft-Erdreich-Wärmeübertrager

Der Teilkennwert im Verfahren Sonneneintragskennwerte für passive Kühlung kann sowohl für Luftkollektoren mit oder ohne Bypass als auch für Solekollektoren angewendet werden, sofern die nachfolgend näher beschriebenen Voraussetzungen gegeben sind:

- Die belüftete Nettogrundfläche entspricht der beheizten Nettogrundfläche des Gebäudes.
- Die Auslegung der Wohnungslüftungsanlage erfolgte nach DIN 1946-6:2019-12 für die Lüftungsstufe Nennlüftung oder höher.
- Die Ausführung des Luft-Erdreich-Wärmetauschers erfolgt entsprechend VDI 4640 Blatt 4:2004-09 Tabelle 6 bei einer Verlegetiefe von 1,5 m.

6.5.2.3 Kühlung mit Grundwasser oder über Erdsonden

Der Teilkennwert im Verfahren Sonneneintragskennwerte für passive Kühlung kann sowohl in Verbindung mit Wasser/Wasser-Wärmepumpen als auch Sole/Wasser-Wärmepumpen angewendet werden, sofern die nachfolgend näher beschriebenen Voraussetzungen gegeben sind:

- Es ist grundsätzlich eine fallspezifische Auslegung der Kühlung erforderlich, mit der sichergestellt werden muss, dass die raumweise in Ansatz gebrachten Kühlleistungen auch tatsächlich für alle gekühlten Räume des Gebäudes in der Summe als Gesamtkühlleistung zur Verfügung steht.
- Im Falle der Kühlung über Grundwasser muss die Temperaturspreizung im Wärmesenkenkreis mindestens 8 K (vgl. Tabelle 11) betragen. Sollte die wasserrechtliche Genehmigung dies nicht ermöglichen, ist ein rechnerischer Nachweis zu führen, dass die Kälteleistungszahl EERGW der geplanten Anlage mindestens 50 beträgt.
- Im Falle der Kühlung über Erdsondenfelder muss die Kälteleistungszahl EERGS der geplanten Anlage nach Tabelle 12 mindestens 50 betragen (Zwischenwerte können interpoliert werden). Alternativ ist ein rechnerischer Nachweis zu führen, dass die Kälteleistungszahl EERGS der geplanten Anlage mindestens 50 beträgt.
- Es sind grundsätzlich Hocheffizienzpumpen vorzusehen.
- Der Wärmeentzug im betrachteten Raum erfolgt durch eine Flächenkühlung, die für eine Kühlleistung von mindestens 20 W/m² ausgelegt wird.
- Die Summe der Kühllasten der passiv gekühlten Räume einer Wohnung oder eines Gebäudes muss kleiner sein als die geplante Leistung der passiven Kühlung.

Zusätzlich ist in Betracht zu ziehen, dass für den grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{WG} des betrachteten Raums ggf. ein Höchstwert eingeführt werden sollte, bis zu welchem eine passive Kühlung anrechenbar ist. Damit kann u.a. vermieden werden, dass künftig beispielsweise Erdsondenanlagen auf den Kühlfall anstelle des Heizfalls ausgelegt werden.

Für den Fall, dass die Kühlleistung der Senkenanlage geringer ist als die Kühllast, ist der Teilkennwert S_x entsprechend zu reduzieren. Die Korrektur kann mittels eines Ankühlfaktors $f_{c,limit,g}$ erfolgen, der sich wie folgt ergibt:

- Grundwassernutzungsanlage:

$$f_{c,limit,g} = \min \left(1; \frac{\dot{Q}_{GW}}{\dot{Q}_{c,max}} \right) \quad (5-3)$$

Dabei ist:

$\dot{Q}_{GW}$ Leistung der Grundwassernutzungsanlage nach DIN V 18599-7:2018-09, Gleichung 64

$\dot{Q}_{c,max}$ maximal erforderliche Kühlleistung nach DIN V 18599-2:2018-09, Anhang C

- Erdsondenfeld:

$$f_{c,limit,g} = \min\left(1; \frac{\dot{Q}_{h,max}}{\dot{Q}_{c,max}} \cdot 0,455\right) \quad (5-4)$$

Dabei ist:

$\dot{Q}_{h,max}$ maximal erforderliche Heizleistung nach DIN V 18599-2:2018-09, Anhang B

$\dot{Q}_{c,max}$ maximal erforderliche Kühlleistung nach DIN V 18599-2:2018-09, Anhang C

Anmerkung: Der Ansatz hier für $f_{c,limit,g}$ entspricht DIN V 18599-6:2018-09 Gleichung 162.

6.5.2.4 Anwendungsvoraussetzungen für Nichtwohngebäude

Der Teilkennwert im Verfahren Sonneneintragskennwerte für passive Kühlung kann auch auf Nichtwohngebäude angewendet werden, wenn vergleichbare Technologien und Randbedingungen, wie zuvor beschrieben, vorliegen. Andernfalls ist, sofern eine passive Kühlung berücksichtigt werden soll, der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mittels einer thermischen Gebäudesimulation zu führen.

6.5.3 Berücksichtigung der passiven Kühlung im Rahmen einer thermischen Gebäudesimulation

Maßnahmen der passiven Kühlung können auch im Rahmen der thermischen Gebäudesimulation berücksichtigt werden, sofern sie die Mindestanforderung an die Kälteleistungszahl erfüllen.

Sofern die Simulationsrechnungen nur für einen einzelnen Raum und nicht für das gesamte Gebäude durchgeführt werden, sind die nachfolgend beschriebenen gebäudebezogenen Vorgaben gleichfalls zu berücksichtigen.

6.5.3.1 Luft-Erdreich-Wärmeübertrager

Die Modellbildung des Luft-Erdreich-Wärmeübertragers im Rahmen einer thermischen Gebäudesimulation hat unter Berücksichtigung nachstehend beschriebener Randbedingungen zu erfolgen.

- Es ist der nutzungsbedingte Zuluftvolumenstrom entsprechend der Auslegungsplanung der Lüftungsanlage für den zu betrachtenden Raum zu berücksichtigen. Sofern der zu betrachtende Raum nicht unmittelbar mit über das Erdreich vorkonditionierter Zuluft versorgt wird, kann keine passive Kühlung in Ansatz gebracht werden.
- Ein erhöhter Zuluftvolumenstrom während der Nachtstunden, sofern diese keine Nutzungsstunden sind, kann berücksichtigt werden, sofern ein entsprechendes Konzept in der Planung der raumlufttechnischen Anlage vorgesehen wird.
- Die Berechnung der Temperaturdifferenz infolge der Vorkühlung durch das Erdreich erfolgt nach DIN EN 16798-5-1:2017-11 Anhang C.
- Sofern für das Erdreich keine bodengutachtlichen Kennwerte vorliegen, wird empfohlen die Werte nach Tabelle 13 zu verwenden.
- Die Nutzung des Erdreich-Wärmeübertragers ist an die Betriebszeiten der Lüftungsanlage gekoppelt.
- Die Zulufttemperatur darf während der Nutzungszeit nicht weniger als 18°C betragen, um Behaglichkeitsdefizite zu vermeiden.

Vereinfachend kann anstelle der Berechnung der Temperaturdifferenz nach DIN EN 16798-5-1 für raumlufttechnische Anlagen mit Luft-Erdreich-Wärmeübertrager bis 1.000 m³/h eine flächenbezogene mittlere Kühlleistung in Ansatz gebracht werden. In Tabelle 16 werden entsprechende Werte vorgeschlagen, die aus den Simulationsberechnungen nach Abschnitt 6.5.1.3 abgeleitet wurden. Dabei wurde ein flächenbezogener Volumenstrom von 1 m³/(hm²) angenommen. Die Ausführung des Luft-Erdreich-Wärmetauschers erfolgt dann entsprechend VDI 4640 Blatt 4:2004-09 Tabelle 6 mit einer Verlegetiefe von 1,5 m.

Tabelle 16

Vorschlagswerte für die flächenbezogene mittlere Kühlleistung [W/m^2] eines Luft-Erdreich-Wärmeübertragers in Abhängigkeit des Volumenstroms und des Klimastandorts entsprechend den Randbedingungen in Abschnitt 6.5.1.3

Klimastandort	Volumenstrom [m^3/h]			
	100	250	500	1.000
Hof (TRY10:2045)	2,9	2,0	1,7	1,7
Potsdam (TRY04:2045)	2,5	1,8	1,5	1,5
Mannheim (TRY12:2045)	2,2	1,7	1,4	1,4

6.5.3.2 Wassergeführte Systeme

Wassergeführte Systeme können im Rahmen der thermischen Gebäudesimulation zunächst technologieunabhängig betrachtet werden. Es sind jedoch nachstehende Randbedingungen zu betrachten:

- Die maximale Kühlleistung, die im Rahmen der Simulationsberechnung angesetzt werden darf, ist abhängig vom Übergabesystem:
 - Fußbodenkühlung: 20 W/m^2
 - Deckenkühlung: 45 W/m^2
- Die Summe der Kühllasten der passiv gekühlten Räume einer Wohnung oder eines Gebäudes muss kleiner sein als die geplante Leistung der passiven Kühlung.
- Die passive Kühlung kann nur in Ansatz gebracht werden, wenn die Außenlufttemperatur θ_e über der Heizgrenztemperatur θ_{HG} liegt. Sofern keine anderen Informationen vorliegen, kann für Wohn- und Bürogebäude sowie Gebäude mit ähnlichen Nutzungen θ_{HG} mit 12 °C angenommen werden.
- Die passive Kühlung kann auch während der Nichtnutzungsstunden berücksichtigt werden.
- Das geplante anlagentechnische Konzept muss einen durchgängigen Betrieb der passiven Kühlung gewährleisten.

Zusätzlich ist in Betracht zu ziehen, dass für den grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{WG} des betrachteten Raums ggf. ein Höchstwert eingeführt werden sollte, bis zu welchem eine passive Kühlung anrechenbar ist. Damit kann u.a. vermieden werden, dass künftig beispielsweise Erdsondenanlagen auf den Kühlfall anstelle des Heizfalls ausgelegt werden.

6.5.3.3 Sonstige Systeme

Maßnahmen der passiven Kühlung, die mit den zuvor beschriebenen Methoden nicht vereinfacht modelliert werden können, können mittels einer detaillierten Modellierung des geplanten anlagentechnischen Konzeptes bewertet werden. In diesen Fällen ist jedoch das gesamte Gebäude mit allen thermisch konditionierten Räumen abzubilden. Die Rechenrandbedingungen sind dann nachvollziehbar zu dokumentieren.

6.6 Neue Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c

Die Ausführungen dieses Abschnitts spiegeln das Ergebnis eines durch das Ingenieurbüro Hauser gemeinsam mit dem ift Rosenheim im Auftrag des Verband Fenster und Fassade (VFF) durchgeführten Projekts (Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH und ift Rosenheim 2022) wider. Ein Projektergebnis ist der im Folgenden beschriebene Vorschlag zur Revision der gegenwärtig in DIN 4108-2 bereitgestellten „Tabelle 7 - Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis“. Der Vorschlag wurde dem zuständigen Normenausschuss im Rahmen der aktuellen Projektbearbeitung vorgestellt und wird diesseits grundsätzlich befürwortet, sodass von einer Aufnahme in eine künftige Fassung der DIN 4108-2 ausgegangen werden kann.

6.6.1 Systematische und methodische Hinweise

Ausgangspunkt für die Erarbeitung eines Vorschlags für neue Anhaltswerte ist die Tabelle 7 aus DIN 4108-2:2013-02. Der in diesem Abschnitt beschriebene Vorschlag für neue tabellarisierte Anhaltswerte für den Abminderungsfaktor F_c zeichnet sich durch eine geänderte und differenziertere Tabellenstruktur, wie im Folgenden beschrieben, aus:

- für den Anwendungsfall bei Gläsern mit $g \leq 0,40$ wurden in der bisherigen Tabelle nur Anhaltswerte für Gläser in Zweischeiben-Ausführung bereitgestellt. Der neu erarbeitete Vorschlag umfasst diesbezüglich die Ergänzung für Gläser in Dreischeiben-Ausführung.
- die bislang in einer Kategorie geführten innenliegenden und zwischen den Scheiben liegenden Sonnenschutzvorrichtungen werden in zwei getrennten Kategorien geführt. Hierbei erfolgt gleichzeitig eine weitergehende Differenzierung für die Systeme im Scheibenzwischenraum mit einer Unterscheidung wie folgt:
 - Systeme im Scheibenzwischenraum des Mehrscheibenisolierglases
 - Systeme im Scheibenzwischenraum von Verbund-/Kastenfenstern

Für Systeme im Scheibenzwischenraum werden nur Kennwerte in Verbindung mit Gläsern mit $g > 0,40$ bereitgestellt.

- auf eine Nennung von FC -Werten für den Fall ohne Sonnenschutz ($FC = 1,0$) wird verzichtet
- die bislang über eine Tabelle bereitgestellten FC -Werte werden wie folgt auf mehrere Einzeltabellen verteilt, um die Lesbarkeit bzw. Anwendbarkeit zu erleichtern:
 - Kategorie 1: außenliegende Systeme
 - Kategorie 2: Systeme im SZR des MIG
 - Kategorie 3: Systeme im Kasten-/Verbundfenster
 - Kategorie 4: innenliegende Systeme
- Die Angabe von FC -Werten erfolgt
 - für Rollläden nicht mehr für die Zustände „vollständig geschlossen“ und „3/4 geschlossen“, sondern (wie für alle betrachteten Systeme) für Klassen mit
 - niedriger Tageslichttransmission (entspricht einem vollständig geschlossenen Rollladen bei noch geöffneten Sehschlitzen, sodass eine von einer Tageslichttransmission des Sonnenschutzes von mindestens 5 % ausgegangen werden kann)
 - mittlerer Tageslichttransmission (entspricht in etwa einem 95 % geschlossenen Zustand; hierbei wird ein Tageslichttransmissionsgrad von 10 % erreicht)
 - hoher Tageslichttransmission (entspricht in etwa einem 85 % geschlossenen Zustand; hierbei wird ein Tageslichttransmissionsgrad von 20 % erreicht)
 - für Lamellenbehänge nicht mehr für Lamellenstellungen von 10° und 45°, sondern analog zu den Klassen bei den Rollläden für
 - niedriger Tageslichttransmission (Tageslichttransmission von mindestens 5 % wird erreicht, entweder durch Stoffeigenschaft oder teilgeschlossenen Zustand)
 - mittlerer Tageslichttransmission (Tageslichttransmissionsgrad von 10 % wird erreicht, entweder durch Stoffeigenschaft oder teilgeschlossenen Zustand)
 - hoher Tageslichttransmission (Tageslichttransmissionsgrad von 20 % wird erreicht, entweder durch Stoffeigenschaft oder teilgeschlossenen Zustand)

6.6.2 Vorschläge für neue Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C

In den folgenden Tabellen Tabelle 17 bis Tabelle 20 wird der Vorschlag für die neuen F_C -Werte beschrieben. Die Tabellen geben Anhaltswerte wie folgt vor:

- Tabelle 17:

Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von **außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen** in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

Hinweis: in den Fußnoten zur dieser Tabelle sind textliche Änderungen gegenüber der gegenwärtigen Tabelle 7 der DIN 4108-2 durch **blaue Schrift** kenntlich gemacht.

- Tabelle 18:

Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von Sonnenschutzvorrichtungen im Scheibenzwischenraum des Mehrscheibenisolierglases Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

- Tabelle 19:

Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von Sonnenschutzvorrichtungen im Scheibenzwischenraum einer mehrschaligen Konstruktion

- Tabelle 20:

Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von **innenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen** in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

Tabelle 17

Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

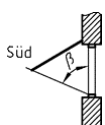
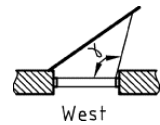
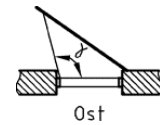
Zeile		Sonnenschutzvorrichtung	F _C				
			g ≤ 0,40		g > 0,40		
			dreifach	zweifach	dreifach	zweifach	
1		außenliegend					
	1.1	Fensterläden, Rollläden, Markisen (parallel zur Verglasung) (hell bzw. hoch reflektierend ^a)					
	1.1.1	niedrige Tageslichttransmission ^b	0,12	0,15	0,09	0,09	
	1.1.2	mittlere 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 (ρ_{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 (τ_{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 (bezogen auf die Rohbauöffnungsmaße) erfolgt. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn — bei Südorientierung der obere Abdeckwinkel β ≥ 50° ist; — bei Ost- und Westorientierung der obere Abdeckwinkel β ≥ 85° ist oder der seitliche Abdeckwinkel γ ≥ 115° ist. Der F_C-Wert darf auch für beschattete Teilflächen des Fensters angesetzt werden. Dabei darf F_S nach DIN V 18599-2:2018-09, A.2, nicht angesetzt werden. Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von 22,5°. Bei Zwischenorientierungen ist der obere Abdeckwinkel β ≥ 80° erforderlich.							
							
Vertikalschnitt durch Fassade		Horizontalschnitt durch Fassade					

Tabelle 18

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 19

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

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung			F_C	
				$g > 0,40^a$	
				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 20

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 ($\rho_{e,s}$) 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 ($\tau_{v,s}$) 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.					

6.7 Zusammenfassung

Die Auseinandersetzung mit den für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zugrunde zu legenden Rechenrandbedingungen führt zu den im Folgenden zusammengefassten Empfehlungen bei der Fortschreibung der DIN 4108-2:

- **Temperaturrandbedingungen in angrenzenden Bereichen**

Die Nachweisführung über thermische Simulationsrechnung erfolgt in der Praxis in der Regel für Einzelraumsimulationen. Zusätzlich zu den an Außenluft angrenzenden Räumen sind hierbei die Temperaturrandbedingungen aller raumumschließenden Bauteile bei der Simulation festzulegen. Die gegenwärtige Fassung der DIN 4108-2 formuliert hierzu keine klaren Vorgaben oder Empfehlungen, sodass im Rahmen der Projektbearbeitung für die angrenzenden Situationen „Erdreich unter Bodenplatte“, „unbeheizte Kellerräume“, „Tiefgarage“ sowie „unbeheizter Dachraum“ Vorschläge für entsprechende Ansätze erarbeitet wurden.

- **Betriebsweise Sonnenschutz**

Die Vorgabe für den rechnerischen Ansatz zur Betriebsweise eines Sonnenschutzes ist in der aktuellen Fassung der DIN 4108-2 unvollständig bzw. nicht eindeutig. Ein entsprechender Vorschlag zur textlichen Anpassung wurde erarbeitet.

- Rahmen- und Glasanteil eines Fensters

Zum Zeitpunkt der Nachweisführung für die Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Bauantragstellung) sind in der Regel genaue Informationen zum Rahmen- und Glasanteil eines Fensters noch nicht bekannt. Um für diesen Zeitpunkt bereits möglichst gute und mit der späteren Ausführung übereinstimmende Ansätze in den Berechnungen zugrunde zu legen, liefern die im Zuge der Bearbeitung entwickelten Vorschläge eine wertvolle Hilfestellung, die direkt in eine Neufassung der DIN 4108-2 übernommen werden kann.

- Lüftung/Nachtlüftung

Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgt eine intensive Auseinandersetzung mit den Potenzialen der Lüftung hinsichtlich der Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens. Während die aktuellen Vorgaben der DIN 4108-2 in Bezug auf die rechnerisch anzusetzenden Luftwechsel stark vereinfachte Ansätze und Rechenregeln formuliert und dabei nicht auf tatsächlich vorhandene Lüftungsquerschnitte eingeht bzw. keine geometrischen Vorgaben macht, um die rechnerisch anzusetzenden Luftwechsel im realen Betrieb auch zu erreichen, zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass eine genauere Betrachtung der Lüftungsquerschnitte durchaus sinnvoll sein kann. Als Ergebnis der Untersuchung kann festgehalten werden, dass die bestehenden Ansätze grundsätzlich beibehalten werden können, wobei ggf. zusätzlich Mindestöffnungsmaße für Fenster vorgegeben werden sollten. Grundsätzlich sollte aber eine Öffnung in Bezug auf genauere Rechenverfahren eingeführt werden. Hierdurch würde einerseits erreicht, dass eine fallweise durchgeführte Optimierung auch im Ergebnis der Simulationsrechnung „sichtbar“ wird. Andererseits würde das Ergebnis der Simulationsrechnung besser mit den realen geometrischen Verhältnissen in Einklang gebracht.

- Passive Kühlung

Nach aktueller Fassung der DIN 4108-2 besteht grundsätzlich die Möglichkeit, den positiven Einfluss einer passiven Kühlung auf das sommerliche Wärmeverhalten zu berücksichtigen. Es wird lediglich formuliert, dass der Ansatz zulässig ist und entsprechend dokumentiert werden muss. Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgt zunächst die Definition eines Anforderungswertes ($EER_{\text{passiv}} > 50$), den ein System erreichen muss, um als passive Kühlung im Sinne der Norm zu gelten. Für die Systeme „Kühlung mit Grundwasser“, „Kühlung über Erdsonden“ und „Kühlung über Luft-Erdreich-Wärmeübertrager“ werden entsprechende Hilfestellung bereitgestellt, die bereits in frühen Planungsphasen als systemische Voraussetzungen die Eingangsinformationen für eine weitergehende Auslegung der passiven Kühlung bereitstellen.

- Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C

Es werden Vorschläge für neue Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C informativ dargestellt. Diese Anhaltswerte sind das Ergebnis eines durch das Ingenieurbüro Hauser gemeinsam mit dem ift Rosenheim im Auftrag des Verband Fenster und Fassade (VFF) durchgeführten Projekts (Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH und ift Rosenheim 2022). Das Projektergebnis ist ein Vorschlag zur Revision der gegenwärtig in DIN 4108-2 bereitgestellten „Tabelle 7 - Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis“. Der Vorschlag wurde dem zuständigen Normenausschuss im Rahmen der aktuellen Projektbearbeitung vorgestellt und wird diesseits grundsätzlich befürwortet, sodass von einer Aufnahme in eine künftige Fassung der DIN 4108-2 ausgegangen werden kann. Die Verwendung der Anhaltswerte ist nicht beschränkt auf die thermische Simulationsrechnung, sondern ebenfalls anwendbar für das Sonneneintragskennwerteverfahren.

7 Verfahrensanpassungen

7.1 Umgang mit besonderen Raumsituationen

Ausgehend von dem in AP 1 bereits benannten Arbeitspapier der Ad-hoc-Gruppe wurden für den Umgang mit den in diesem Arbeitsschritt benannten „besonderen Raumsituationen“ bereits Ansätze erarbeitet, die im Rahmen der Projektbearbeitung weiterbearbeitet wurden. Die Empfehlungen für die Fortschreibung der DIN 4108-2 werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

7.1.1 Besonders tiefe oder breite Räume, sowie L- und U-förmige Räume

In DIN 4108-2:2013-02 wird in Abschnitt 8.2.4 Allgemeine Berechnungsrandbedingungen in Abschnitt a) zur Nettogrundfläche und Raumtiefe vorgegeben, dass die größte anzusetzende Raumtiefe das 3-fache der lichten Raumhöhe beträgt. Weiterhin wird hier vorgegeben, dass bei gegenüberliegenden Fensterfassaden keine Beschränkung der größten anzusetzenden Tiefe vorgenommen wird, wenn der Fassadenabstand kleiner oder gleich der 6-fachen lichten Raumhöhe beträgt.

Bei der Betrachtung von Räumen bleiben nach gegenwärtiger Regelung der DIN 4108-2 alle Bereiche unberücksichtigt, die in der Raumtiefe mehr als das Dreifache der lichten Raumhöhe von der Fensterfassade entfernt sind.

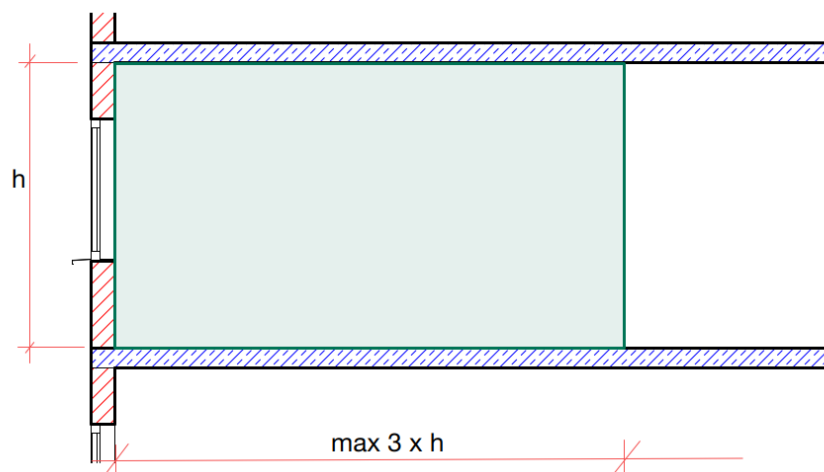


Bild 53
Skizze zur größten anzusetzenden Raumtiefe

Für die Fortschreibung der Norm wird empfohlen, auch für die seitliche Ausdehnung von Räumen eine Begrenzung der maximal anrechenbaren Raumbreite einzuführen, indem seitlich ausgehend von der jeweiligen Fensterkante (Rohbauöffnungsmaß) nicht mehr als das Dreifache der lichten Raumhöhe auch als seitliche Begrenzung der Raumbreite in Ansatz gebracht werden darf.

Dadurch ergibt sich: es sind all jene Raumbereiche zu berücksichtigen, die in der Raumtiefe weniger als das Dreifache der lichten Raumhöhe von einer der Fensterfassaden entfernt sind, und die in der Raumbreite weniger als das Dreifache der lichten Raumhöhe von der Laibung eines der Fenster des Raums entfernt sind. Ergeben sich dadurch zu berücksichtigende Raumbereiche, die sich berühren oder überlappen, werden diese für den Nachweis zu einem Raumbereich zusammengefasst.

Mit Bild 54 und Bild 55 folgt die skizzenhafte Darstellung für Situationen mit größter anzusetzender Raumtiefe und -breite sowie zur Zusammenfassung von sich überlappenden Teilbereichen.

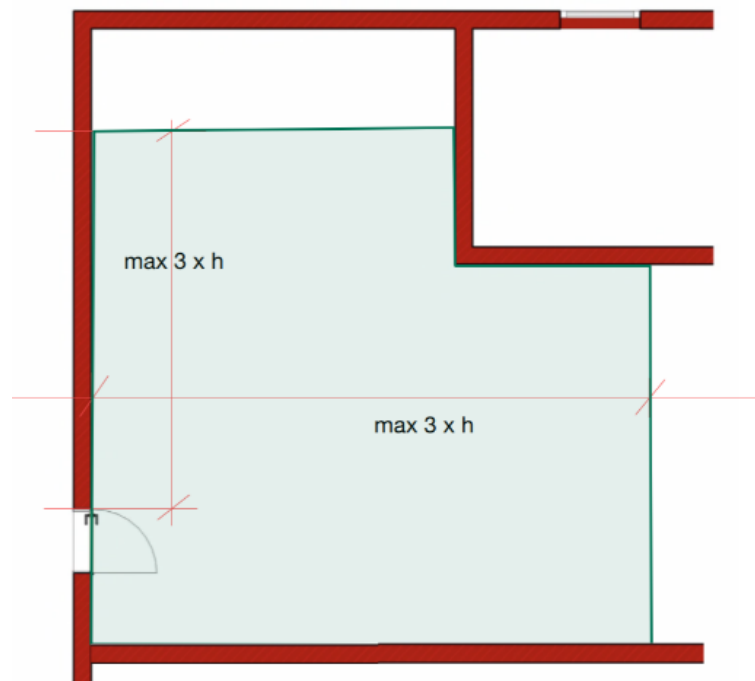


Bild 54

Skizze zur größten anzusetzenden Raumtiefe und -breite

Erläuterung zu Bild 54: der zu berücksichtigende Bereich (grün umrandet) umfasst in der Raumtiefe jenen Bereich, der weniger als das Dreifache der lichten Raumhöhe von der Fensterfassade entfernt ist, und in der Raumbreite jenen Bereich, der weniger als das Dreifache der lichten Raumhöhe von der nächstgelegenen Fenster- oder Fenstertür-Laibung entfernt ist. Der nicht farbig markierte, fensterlose Bereich im oberen Teil der Skizze wird nicht berücksichtigt.

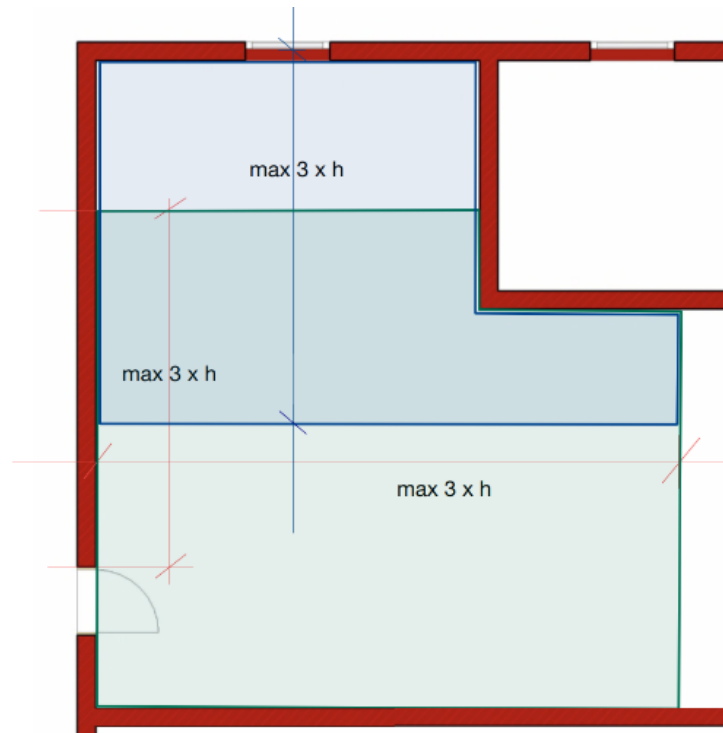


Bild 55

Skizze zur Zusammenfassung von sich überlappenden Bereichen zu einem für den Nachweis zu berechnenden Bereich

Erläuterung zu Bild 55: der grün umrandete Bereich (ausgehend von der Fenstertür im unteren Teil der Skizze) und der blau umrandete Bereich (ausgehend vom Fenster im oberen Teil der Skizze) überlappen sich und werden für den Nachweis zu einem Bereich zusammengefasst.

Für die Raumtiefe wird hierbei ausgehend von der Innenoberfläche der Außenwand und für die Raumbreite ausgehend von den Fensterlaibungen gemessen. Bei der Ermittlung der wirksamen Wärmekapazität sind die raumumschließenden Bauteile nur insoweit zu berücksichtigen, wie sie das Volumen bestimmen, das aus der lichten Grundfläche dieses zusammengefassten Bereichs (= Nettogrundfläche A_G) und der lichten Raumhöhe gebildet wird.

7.1.2 Hallenbauten

Räume mit einer lichten Raumhöhe über 4 m sind vorzugsweise mit geeigneten Simulationsverfahren nachzuweisen, da die Anwendung des Sonneneintragskennwertverfahrens für diese Fälle weit auf der sicheren Seite liegt.

7.1.3 Geschossübergreifende Raumsituationen, Foyers, Galerien

Mehrgeschossige Räume wie Foyers oder Galerien sollten stockwerksweise unterteilt werden. Zwei- oder mehrgeschossige Räume werden auf Höhe der Oberkante der vorhandenen Rohdecke horizontal virtuell unterteilt. Die so entstehenden virtuellen Raumbereiche werden separat, nach den genannten Grundsätzen, behandelt. Die virtuell eingezogenen Böden und die tatsächlich vorhandenen Böden bilden zusammen die Grundflächen der Raumbereiche.

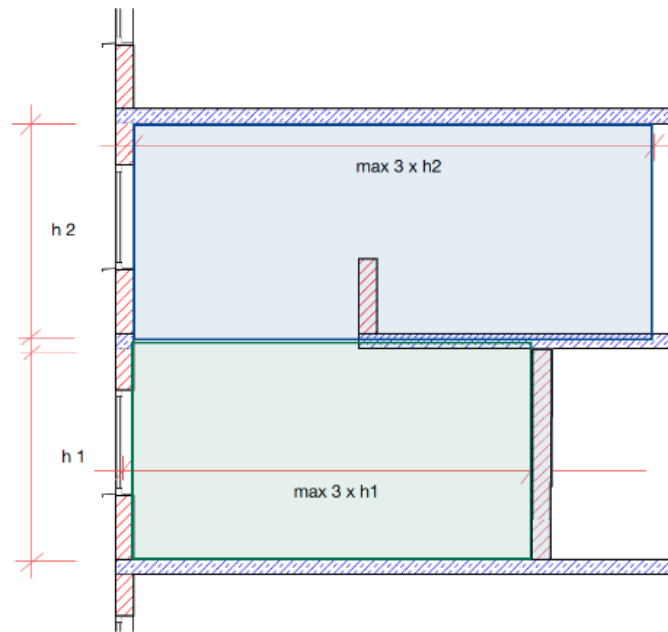


Bild 56
Skizze zur stockwerksweisen Unterteilung von Räumen

Erläuterung zu Bild 56: Der mehrgeschossige Raum wird auf Höhe der Oberkante der vorhandenen Rohdecke horizontal virtuell unterteilt. Die so entstehenden virtuellen Raumbereiche werden jeweils separat, nach den oben genannten Grundsätzen, behandelt.

7.1.4 Räume mit beheizten oder unbeheizten Glasvorbauten oder Schaufenstern

Wärmeeinträge aus verglasten Treppenhäusern, Foyers, Malls oder Schaufenstern sind irrelevant für den Aufenthaltsbereich, wenn dieser durch bauliche Maßnahmen von den genannten Bereichen getrennt ist und eine separate Belüftung hat. Wenn keine räumliche Trennung besteht oder die Belüftung des Aufenthaltsbereichs über das verglaste Treppenhaus, das Foyer, die Mall oder das Schaufenster erfolgt wird das Treppenhaus, das Foyer, die Mall oder das Schaufenster als Teil des Aufenthaltsbereichs betrachtet.

Als räumliche Trennung gelten hierbei auch komplett mindestens einseitig geschlossene Regalwände, komplett mindestens einseitig geschlossene Leichtbauwände und ähnliche Abtrennungen, aber keine Vorhänge.

7.1.5 Räume mit mehreren Merkmalen der Abschnitte 7.1.1 bis 7.1.4

Für Räume, die mehrere der in 7.1.1 bis 7.1.4 genannten Merkmale aufweisen, z.B. große L-förmige Räume mit Treppe und Galerie, werden die genannten Grundsätze sinngemäß in Kombination angewendet, und die eventuell entstehenden, getrennten Raumbereiche separat betrachtet.

7.2 Erweiterung und Neukalibrierung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens

Die Neukalibrierung der Sonneneintragskennwerte im Kennwertverfahren kann grundsätzlich erst erfolgen, wenn die Anforderungssystematik selbst in Bezug auf Klimadaten, Anforderungsgröße und Anforderungshöhe überarbeitet wurde. Die bestehende Struktur des Kennwertverfahrens soll dabei möglichst erhalten und ggf. um sinnvolle Elemente (z. B. weitergehende Differenzierung in Bezug auf passive Kühlung) ergänzt werden.

Neben der Überarbeitung der Anforderungssystematik ist auch die Fortschreibung der Simulationsrandbedingungen für die Neukalibrierung des Kennwertverfahrens von hoher Bedeutung, da die Ergebnisse von Kennwertverfahren und Simulationsrechnung auf denselben Randbedingungen basieren müssen. Da sowohl die

Systematik der Anforderungen als auch die Bedingungen für die Simulation noch nicht finalisiert und vom zuständigen Normenausschuss bestätigt wurden, konnte das Sonneneintragskennwert-Verfahren im Rahmen dieses Projekts nicht weiterbearbeitet oder neu kalibriert werden. Methodische Hinweise zur Vorgehensweise bei der Neukalibrierung werden im folgenden Abschnitt kurz beschrieben.

7.2.1 Beschreibung der Simulationsreihe und Kalibrierungsmethodik

Die Neukalibrierung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens erfordert die Durchführung von Simulationsrechnungen innerhalb einer umfassenden Simulationsreihe, die alle „Freiheitsgrade“ des Verfahrens umfasst. Diese Simulationsreihe bildet die Grundlage für die Kalibrierung und ist hinsichtlich der jeweils genannten Kennwerte und der in Tabelle 21 genannten Parameter variabel.

Tabelle 21
Umfang der Simulationsreihe zur Neukalibrierung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens

Sonneneintragskennwert	Beurteilung von	Parameter	Multiplikator für Varianten der Simulationsreihe
S1	Nutzung	Wohngebäude; Nichtwohngebäude	2
	Bauart	leicht; mittel; schwer	3
	Nachtlüftung	keine; erhöhte; hohe	3
	Sommerklima-region	A; B; C	3
S2	Fensterflächenanteil f_{WF}	0,3; 0,5 ; 0,7; 0,9	4
	Faktor Sonnenschutz F_c	0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0	6
S3	g-Wert	0,3; 0,4; 0,5; 0,6	4
S4	Neigung Fenster	30°; 90°	2
S5	Orientierung	Nord; Ost; Süd; West	4
S6	Passive Kühlung	00 W/m² ; 10 W/m ² ; 20 W/m ²	3

Daraus ergeben sich pro Simulationsreihe 124.416 Varianten. Bei der Beurteilung von mindestens zwei repräsentativen Raumgeometrien und drei bisherigen (TRY 2010) sowie drei neu zu verwendenden (TRY 2045) Klimadatensätzen ergeben sich zwei mal zwei Simulationsreihen bzw. insgesamt 497.664 Fälle.

Die Methodik der Kalibrierung besteht in einem Vergleich mit dem Anforderungsniveau, welches sich bei Anwendung des Simulationsverfahrens für die beschriebenen Reihen ergibt. Genauer werden die Sonneneintragskennwerte so eingestellt, dass im neu kalibrierten Sonneneintragskennwerteverfahren sowie in den simulativ ermittelten Vergleichsreihen gerade noch die jeweilige Anforderung eingehalten wird. Diese Vorgehensweise enthält eine auf der sicheren Seite liegende Vereinfachung, welche im Sonneneintragskennwerteverfahren von einer linearen Verteilung der Ergebnisse ausgeht. Die Kalibrierung der Kennwerte erfolgt numerisch aufsteigend, beginnend mit S1 und orientiert sich für S1 an einem sogenannten Basisfall, welcher auf der sicheren Seite liegend die in Tabelle 21 fett gedruckten Parameter beinhaltet.

7.2.2 Umstellen von Fensterfläche auf Verglasungsfläche

Das in DIN 4108-2:2013-02 beschriebene vereinfachte Nachweisverfahren ist kalibriert für einen Rahmenanteil von 30 %. Für große Fenster liegt diese Annahme in der Regel auf der unsicheren Seite, da hier der Rahmenanteil in der Regel deutlich geringer ausfällt, siehe Abschnitt 6.3. Hierzu wird empfohlen, das Nachweisverfahren von der Fensterfläche auf die Verglasungsfläche umzustellen.

Im Rahmen des vereinfachten Verfahrens mittels des Sonneneintragskennwertes S wird bislang die Fensterfläche, ermittelt mit den Rohbaumaßen, als Eingangsgröße verwendet. Die Kalibrierung des Verfahrens erfolgte mit einem Rahmenanteil von 30 %. Das Verfahren Sonneneintragskennwerte darf aber auch für Fensterflächen mit abweichendem Rahmenanteil verwendet werden, vgl. DIN 4108-2:2013-02 Abs. 8.2.4.

Der Ansatz über die Rohbaumaße und einen Standardwert für den Rahmenanteil ist aus pragmatischen Gründen nachvollziehbar, da einerseits die Abmessungen üblicherweise in den Planunterlagen angegeben sind und andererseits die Fensterart zum Zeitpunkt der Nachweisführung meist noch nicht umfänglich definiert ist, sodass der Rahmenanteil ohnehin nur geschätzt werden könnte. Allerdings beeinflussen beide Ansätze die Verglasungsfläche, die für den Sonneneintrag maßgebliche Größe, in hohem Maße. Daher wird empfohlen, das Verfahren mittels Sonneneintragskennwerte auf die Verglasungsfläche A_g umzustellen. Dies reduziert zusätzlich den Regelungsaufwand innerhalb der Norm, da eine Beschreibung zur Berechnung der maßgeblichen Fensterfläche entfallen kann.

Der Sonneneintragskennwert S_{vorh} würde künftig wie folgt berechnet werden:

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_j A_{g,j} \cdot g_{\text{tot},j}}{A_j} \quad (6-1)$$

mit:

$$A_{g,j} = f_{g,j} \cdot A_{w,j} \quad (6-2)$$

Dabei sind:

$A_{g,j}$ die Verglasungsfläche des j-ten Fensters [m^2]

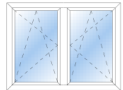
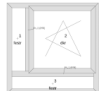
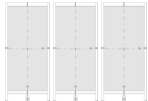
$A_{w,j}$ die Fensterfläche des j-ten Fensters ermittelt mit den Fensterabmessungen [m^2]

f_g Korrekturfaktor für den Verglasungsanteil in Abhängigkeit der Fenstergröße und der Fensterart

Den Planenden sollen jedoch gerade für die frühe Planungsphase Anhaltswerte für den Korrekturfaktor f_g zur Verfügung gestellt werden. Deren Herleitung wurde im Abschnitt 6.3 beschrieben. Es wird vorgeschlagen die folgende Tabelle 22 sowie Bild 57 in die künftige Fassung der DIN 4108-2 aufzunehmen. Hierin werden Ansätze für die Verwendung von Korrekturfaktoren gemäß Gleichung (6-2) beschrieben.

Tabelle 22

Korrekturfaktor für den Verglasungsanteil f_g

Zeile	Fensterart	f_g [-]
1	 einflügelig; $A_w < 2,5 \text{ m}^2$	siehe Bild 57
2	 zweiflügelig; $2,5 \text{ m}^2 < A_w < 6,5 \text{ m}^2$	siehe Bild 57
2	 Sonstige	0,65
4	 Pfosten-Riegel-Konstruktion (ohne opake Füllungen)	0,80

Die in Bild 57 folgenden Graphen wurden für eine mittlere Rahmenbreite von 13 cm hergeleitet.

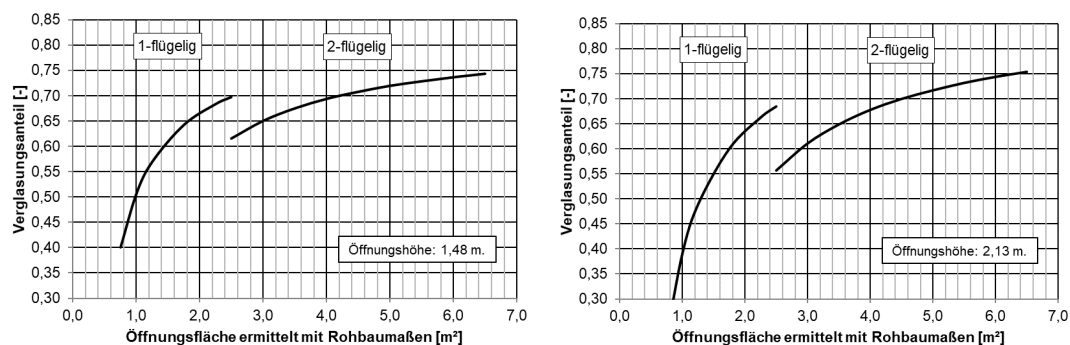


Bild 57

Anhaltswerte für den Korrekturfaktor zur Ermittlung des Verglasungsanteils f_g in Abhängigkeit der Öffnungsfläche, der Fensterart sowie der Fensterhöhe

7.3 Zusammenfassung

Sowohl für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes über Simulationsrechnungen als auch für die Anwendung des Sonneneintragskennwert-Verfahrens wurden im Rahmen der Projektbearbeitung Vorschläge für Verfahrensanpassungen erarbeitet. Die folgenden Ausführungen fassen die Ergebnisse der Bearbeitung zusammen:

■ Umgang mit besonderen Raumsituationen

Für zahlreiche praxisrelevante Anwendungsfälle enthält die aktuelle Fassung der DIN 4108-2 keine konkreten Vorgaben für die rechnerische Modellierung. Deshalb werden für besondere Raumsituationen, wie z. B. „besonders tiefe und/oder besonders breite Räume“, „Hallenbauten“, „geschossübergreifende Raumsituationen“ und „Räume mit beheizten oder unbeheizten Glasvorbauten“ Vorschläge für künftige Vorgaben, Hilfestellungen und Hinweise zur Modellierung erarbeitet und bereitgestellt.

■ Erweiterung und Neukalibrierung des Sonneneintragskennwert-Verfahrens

Die Neukalibrierung der Sonneneintragskennwerte im Kennwertverfahren kann grundsätzlich erst erfolgen, wenn die Anforderungssystematik selbst in Bezug auf Klimadaten, Anforderungsgröße und Anforderungshöhe überarbeitet wurde. Die bestehende Struktur des Kennwertverfahrens soll dabei möglichst erhalten und ggf. um sinnvolle Elemente (z. B. weitergehende Differenzierung in Bezug auf passive Kühlung) ergänzt werden.

Neben der Überarbeitung der Anforderungssystematik ist auch die Fortschreibung der Simulationsrandbedingungen für die Neukalibrierung des Kennwertverfahrens von hoher Bedeutung, da die Ergebnisse von Kennwertverfahren und Simulationsrechnung auf denselben Randbedingungen basieren müssen. Da sowohl die Anforderungssystematik als auch die Simulationsrandbedingungen sind noch in einer Weise fortgeschrieben und im zuständigen Normenausschuss abgestimmt sind, wie es für eine Neukalibrierung des Kennwertverfahrens erforderlich wären, konnte im Rahmen der Projektbearbeitung keine weitergehende Bearbeitung bzw. Neukalibrierung des Sonneneintragskennwert-Verfahrens erfolgen.

Unabhängig von der nicht erfolgten Neukalibrierung wurde ein Vorschlag zur Verfahrensumstellung von der Fensterfläche auf die Glasfläche erarbeitet und zur direkten Übernahme in die Norm bereitgestellt.

8 Überprüfung des Nachweisverfahrens zur Anwendung auf bestehende Gebäude

Ein Nachweis zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wurde aus öffentlich-rechtlicher Sicht erstmals mit der am 1. Februar 2002 in Kraft getretenen Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16. November 2001 (Bundesregierung 2001) formuliert. Seither wurde durch jede Folgefassung der EnEV bis hin zu dem zum 1. Oktober 2020 in Kraft getretenen Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden: Gebäudeenergiegesetz – GEG, (Bundesregierung 2020) die Norm DIN 4108-2 mit den hierin festgelegten Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz in ihrer jeweils aktuellen Fassung in Bezug genommen. Die nach EnEV 2014/2016 und unverändert nach GEG 2020 formulierten Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gelten ausschließlich für Neubauten bzw. für Erweiterungen von Bestandsgebäuden um mehr als 50 m² zusammenhängende Nutzfläche.

Mit Inkrafttreten der Richtlinien für die Bundesförderung für effiziente Gebäude - Wohngebäude (BEG WG) bzw. Nichtwohngebäude (BEG NWG) ist Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz allerdings auch dann nachzuweisen, wenn eine umfassende geförderte Sanierung zum Effizienzhaus bzw. Effizienzgebäude erfolgt.

Für das Bauen im Bestand stellt sich die Frage, wie sich das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden im Zusammenhang mit der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen verändert. Welche Anforderungen sind hierbei zu beachten und wie verändert sich das Innenraumklima bei weiter voranschreitendem Klimawandel? Wie müssen Sanierungsmaßnahmen bereits in der Planungsphase konzeptioniert werden, sodass ein guter thermischer Komfort in Gebäuden sichergestellt werden kann? Dieser Abschnitt widmet sich den vorgenannten Fragestellungen und geht dabei auf die wesentlichen Einflussgrößen auf das sommerliche Wärmeverhalten ein.

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, muss sowohl im Neubau als auch im Bestand bereits bei der Planung auf einen ressourcenschonenden und nachhaltigen Einsatz der zur Verfügung stehenden Ressourcen geachtet werden. Mit besonderem Blick auf das Bauen im Bestand erfolgt im Weiteren eine Auseinandersetzung mit den wesentlichen Einflussgrößen auf das sommerliche Wärmeverhalten. Anhand zweier Bespielräume werden ausgehend von einem unsanierten Zustand unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen betrachtet. Als Ausgangsfall dient dabei ein Einfamilienhaus mit Zuordnung zur Baualtersklasse „vor 1995“. Die betrachteten Sanierungsvarianten gehen dabei von einem reinen Fenstertausch bis hin zur Sanierung des Gebäudes auf Effizienzhausniveau. Dabei werden für den Sanierungsfall Situationen mit und ohne beweglichen Sonnenschutz betrachtet. Ebenfalls wird anhand von Einzelfallbetrachtungen untersucht, wie sich eine Vergrößerung der lichten Öffnungsmaße im Zuge einer Sanierung auf das sommerliche Wärmeverhalten des betreffenden Raumes auswirkt.

Die Auseinandersetzung wird eine Aussage ermöglichen, unter welchen Voraussetzungen das Nachweisverfahren auch für Bestandsgebäude anwendbar ist bzw. ob Ergänzungen der normativen Vorgaben zu diesem Zweck ergänzt werden müssen. Insbesondere aufgrund der gemäß Richtlinien für die Bundesförderung für effiziente Gebäude mittlerweile formulierten Pflicht zur Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz bei Sanierung zum Effizienzhaus (Richtlinie BEG WG) bzw. Effizienzgebäude (Richtlinie BEG NWG) ist das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes von großer Bedeutung.

Die in diesem Abschnitt wiedergegebenen Ergebnisse beschreiben die Anwendung der gegenwärtigen Anforderungssystematik auf bestehende Gebäude bzw. exemplarische Sanierungsfälle. Sollte bei der Fortschreibung der DIN 4108-2 dem aus dieser Projektbearbeitung heraus erarbeiteten Vorschlag zur Umstellung der Anforderungssystematik auf die Komfortbewertung nach DIN EN 16798-1 erfolgen, wären diese neuen Anforderungen dann sinngemäß auf den Bestand anzuwenden.

8.1 Randbedingungen für exemplarische Auswertungen

Für die im Weiteren dokumentierten Ergebnisse von Simulationsrechnungen werden beispielhaft zwei Räume eines Einfamilienhauses (siehe Skizzen in Bild 58 und Bild 60) ausgewählt. Hierbei handelt es sich um das im Erdgeschoss befindliche Wohnzimmer sowie um ein im Dachgeschoss befindliches Schlafzimmer. Das Wohnzimmer hat Außenwände mit Fenstern Richtung Norden, Westen und Osten, das Schlafzimmer hat ein südorientiertes Fenster in der Giebelwand sowie ein nach Osten ausgerichtetes Dachflächenfenster. Das Gebäude ist nicht unterkellert.

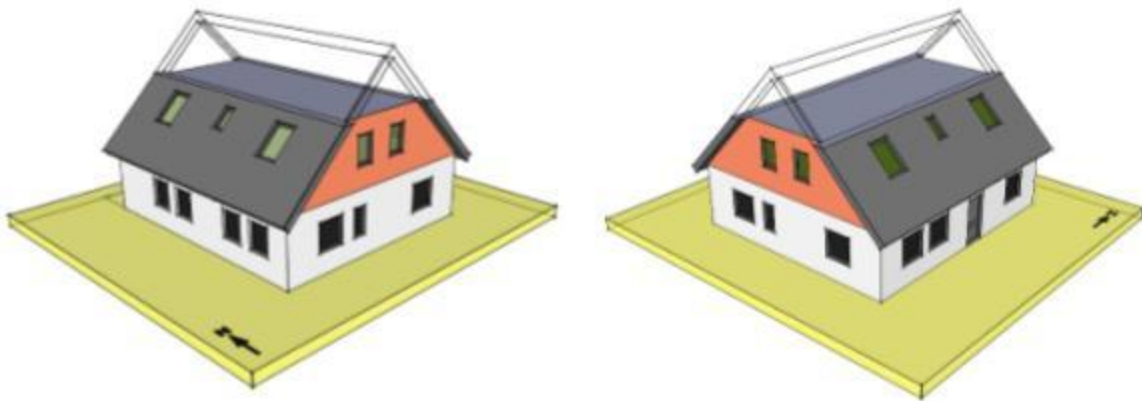


Bild 58
Skizzen EFH, Ansicht Südwest (links) und Südost (rechts)

Die für Bestandsgebäude typischen moderaten Fenstergrößen sowie die Raumdimensionen können anhand der in Bild 59 gezeigten Grundrisse nachvollzogen werden.

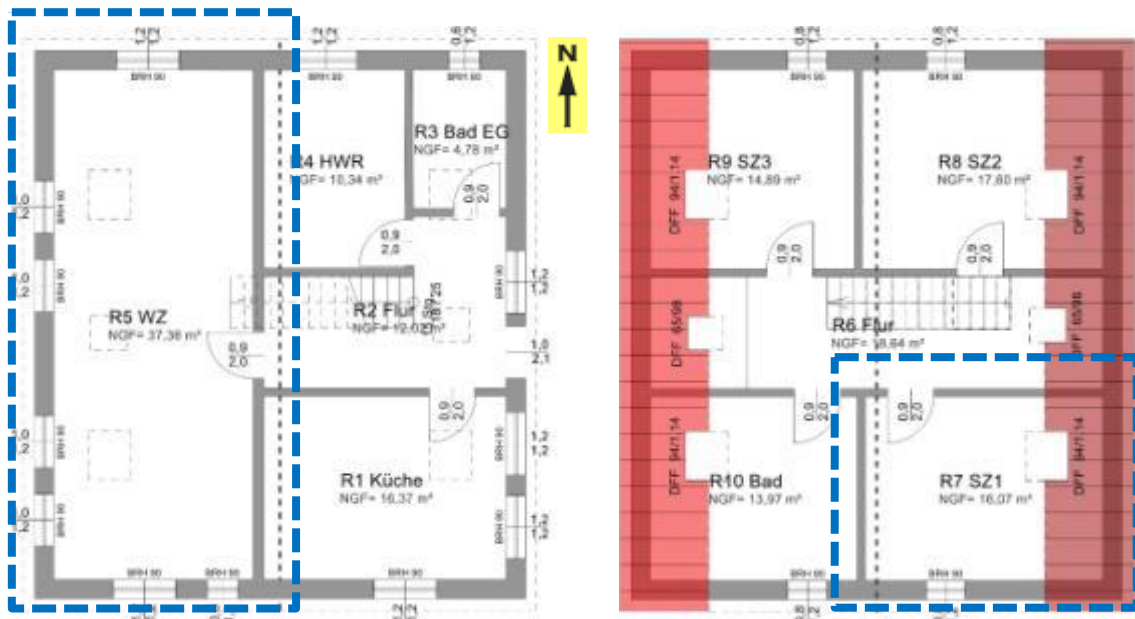


Bild 59
Grundrisse EFH Erdgeschoss (links) und Dachgeschoss (rechts), Beispielräume Wohnzimmer EG (R5 WZ) und Schlafzimmer DG (R7 SZ1)

Für den Ausgangsfall mit Baualtersklasse „vor 1995“ werden die in Tabelle 23 beschriebenen Eigenschaften der Bauteile zugrunde gelegt:

Tabelle 23
Bauteile und Eigenschaften Ausgangsfall Baualtersklasse „vor 1995“

Bauteil	Erläuterung	Eigenschaften
Boden	25 cm StB, 2 cm Trittschall, 7 cm Estrich	$U_{Bo} = 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Außenwand	Ziegelmauerwerk 36,5 cm, beidseitig verputzt	$U_{AW} = 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Dach/Spitzboden	12 cm Dämmung zw. Balken/Sparren	$DU = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Fenster	2-Scheiben Isolierverglasung	$U_W = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}); g = 0,76$

8.1.1 Beschreibung der betrachteten Sanierungsfälle

Tabelle 24
Beschreibung der Sanierungsfälle

1. Fenstertausch (Einzelmaßnahme nach GEG bzw. nach BEG EM)		
1.1. GEG	Fenster	$U_W = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,60$
	Dachflächenfenster	$U_W = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,60$
1.2 BEG	Fenster	$U_W = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,53$
	Dachflächenfenster	$U_W = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,53$
2. Sanierung Gebäude gemäß GEG-Anforderungen		
Boden	neuer Bodenaufbau auf StB: 12 cm Dämmung + 5 cm Estrich	$U_{Bo} = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Außenwand	Bestand + 10 cm WDVS	$0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Fenster	2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	$U_W = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,60$
Dachflächenfenster	2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	$U_W = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,60$
Dach/Spitzboden	Bestand + 4 cm Dämmung innen	$0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
3. Sanierung Gebäude zum Effizienzhaus 55 (Niveau Hüllfläche $\approx 70 \% H_{T,Ref'}$)		
Boden	neuer Bodenaufbau auf StB: 15 cm Dämmung + 5 cm Estrich	$U_{Bo} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Außenwand	Bestand + 15 cm WDVS	$0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Fenster	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	$U_W = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,53$
Dachflächenfenster	2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	$U_W = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g = 0,53$
Dach/Spitzboden	Bestand + 12 cm außen	$U_{Da} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Für die Sanierungsfälle 2. (Sanierung Gebäude gemäß GEG-Anforderungen) und 3. (Sanierung Gebäude zum Effizienzhaus 55 mit Niveau Hülle $70 \% H_{T,Ref'}$) werden für das Wohnzimmer zusätzlich Varianten betrachtet, bei

denen die 4 nach Westen orientierten Einzelfenster in 2 breite bodentiefe Fenster aufgelöst werden (siehe Bild 60).



Bild 60
Skizze EFH mit Fenstervergrößerung Westfassade Wohnzimmer, Ansicht Südwest

8.1.2 Dokumentation der Simulationsrechnungen

Für den mit Tabelle 23 beschriebenen Ausgangsfall sowie die in Tabelle 24 beschriebenen Sanierungsfälle wurden Simulationsrechnungen zur vergleichenden Darstellung des sommerlichen Wärmeverhaltens durchgeführt. Hierbei wurden zwei unterschiedliche vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellte Klimadatensätze (sogenannte Testreferenzjahre, kurz: TRY) zugrunde gelegt:

- a) **Potsdam aktuell:** Testreferenzjahr Potsdam (Datensatz zur Nachweisführung für Klimaregion B nach DIN 4108-2:2013-02), stellvertretend für aktuelle mittlere Klimaverhältnisse
- b) **Potsdam 2020 – 2050:** Zukunftsklimadatensatz Potsdam für die Periode 2020 bis 2050, stellvertretend für mittlere Klimaverhältnisse in der benannten Periode unter Berücksichtigung des weiter voranschreitenden Klimawandels

Für die beiden Räume Wohnzimmer und Schlafzimmer stellen die Tabelle 25 und Tabelle 26 die Ergebnisse der Simulationsrechnungen dar. Als Auswertegrößen dienen dabei:

- Übertemperaturgradstunden Gh₂₆,
- maximale operative Temperaturen Top,max

Um den großen Einfluss und die Bedeutung einer erhöhten Nachtlüftung aufzuzeigen, erfolgt jeweils eine Angabe der Ergebnisse ohne Nachtlüftung (ohne NL) sowie mit Nachtlüftung (mit NL). Für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes kann bei Wohnnutzung in der Regel von der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden. Hinsichtlich der Ausstattung der Räume bzw. Fenster mit Sonnenschutzvorrichtungen werden folgende Situationen betrachtet:

- Ausführung ohne Sonnenschutz (FC = 1,0)
- Ausführung mit Sonnenschutz, wobei für das System Fenster und Sonnenschutz ein Abminderungsfaktor FC = 0,7 angesetzt wird (typisch wäre eine innenliegende Jalousie oder ein Plissee)
- Ausführung mit Sonnenschutz, wobei für das System Fenster und Sonnenschutz ein Abminderungsfaktor FC = 0,25 angesetzt wird (typisch wäre ein Rollladen, eine außenliegende Jalousie oder ein Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum des Mehrscheiben-Isolierglases)

Dabei wird, wie in DIN 4108-2 für den Standardfall beschrieben, von einer Aktivierung des Sonnenschutzes ausgegangen, wenn senkrecht zum Fenster die Summe von Direkt- und Diffusstrahlung von 300 W/m² überschritten ist.

8.2 Ausgewählte Ergebnisse

8.2.1 Wohnzimmer

Die Betrachtung des Ausgangsfalls sowie der Varianten Fenstertausch GEG und BEG zeigt, dass in allen Fällen für das aktuelle Klima sowie für das Zukunftsklima von einem guten sommerlichen Komfort ausgegangen werden kann (der einzuhaltende Übertemperaturgradstundenwert von 1.200 Kh/a in allen Fällen deutlich unterschritten, die entsprechenden Werte sind in grüner Schriftfarbe dargestellt). Auch für die Sanierung des Gebäudes nach den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) liegen die berechneten Werte auch ohne Sonnenschutz noch deutlich unter dem Anforderungswert. Wird das Gebäude nach den Kriterien der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zum Effizienzhaus 55 saniert, zeigen die Ergebnisse bereits eine deutliche Erhöhung der G_{h26} -Werte. Überschritten wird der Anforderungswert allerdings nur ohne Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung bei einer Ausführung ohne Sonnenschutz unter Zugrundelegung des Zukunftsklimas (siehe G_{h26} -Wert von 1.396 Kh/a in roter Schrift im oberen Teil der Tabelle 25). Durch Nachtlüftung und/oder Sonnenschutz ergeben sich allerdings auch hier deutliche Unterschreitungen des Anforderungswertes.

Tabelle 25
Ergebnisse Simulationsrechnungen Wohnzimmer Erdgeschoss

	F_c	Klima: Potsdam aktuell				Klima Potsdam 2020 - 2050			
		G_{h26} [Kh/a]		$T_{op,max}$ [°C]		G_{h26} [Kh/a]		$T_{op,max}$ [°C]	
		ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL
Ausgangsfall „vor 1995“	1,0	27	7	27,6	27,1	94	30	27,9	27,3
Fenstertausch GEG	1,0	2	0	26,6	26,0	17	0	26,9	26,3
Fenstertausch BEG	1,0	4	0	26,7	26,1	26	2	27,2	26,4
Sanierung Gebäude GEG	1,0	62	11	27,9	27,1	248	51	28,4	27,4
Sanierung Gebäude EH 55	1,0	648	262	30,9	29,7	1.393	580	31,1	30
	0,7	270	83	29,4	28,4	688	214	29,8	28,6
	0,25	34	3	27,3	26,4	108	17	28,2	27,3
mit Fenstervergrößerung (siehe Bild 60)									
Sanierung Gebäude GEG	1,0	1.238	608	32,1	30,9	2.499	1.289	32,4	31,1
	0,7	516	201	30,3	29,2	1.244	523	30,5	29,4
	0,25	53	9	27,5	26,7	176	36	28,6	27,7
Sanierung Gebäude EH 55	1,0	3.757	2.261	36,2	34,9	5.816	3.614	36,4	35,1
	0,7	2.165	1.171	33,9	32,7	3.630	2.066	33,8	32,6
	0,25	554	224	30,2	29,0	1.206	493	31,5	30,4

Erfolgt im Zuge der Gebäudesanierung eine Vergrößerung der nach Westen ausgerichteten Wohnzimmerfenster (siehe Bild 60) hin zu zwei breiten bodentiefenisterelementen, ergeben sich deutliche Erhöhungen der G_{h26} -Werte, sodass insbesondere unter Ansatz des Zukunftsklimas die Einhaltung des Anforderungswertes nur noch durch einen wirksamen Sonnenschutz in Verbindung mit erhöhter Nachtlüftung sichergestellt werden kann. Nach gegenwärtiger Anforderungssystematik und für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 wäre eine Ausführung mit $F_c = 0,70$ in Verbindung mit erhöhter Nachtlüftung noch zulässig (siehe vorletzte Zeile in Tabelle 25 mit $G_{h26} = 1.171$ Kh/a). Unter Ansatz des Zukunftsklimas (nicht nachweisrelevant) müsste allerdings ein deutlich wirksamerer Sonnenschutz eingesetzt werden, um den Anforderungswert zu unterschreiten.

Der wesentliche Grund für die höhere thermische Beanspruchung bei Sanierung des Gebäudes bis hin zum Niveau Effizienzhaus 55 ist in der thermischen Entkopplung des Erdreichs als Speichermasse durch Dämmung der Bodenplatte zu sehen. Aber auch die verbesserten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) tragen dazu bei, dass das Gebäude über Transmission nicht mehr so gut auskühlen können, wie im unsanierten Zustand.

8.2.2 Schlafzimmer

Analog zu den Ergebnissen zum Wohnzimmer folgt mit Tabelle 26 die Auswertung der Simulationsrechnungen für das Schlafzimmer im Dachgeschoss. Aufgrund der hier konstruktionsbedingt geringeren Speichermasse liegt die thermische Beanspruchung des Raumes trotz vergleichsweise kleiner Fensterflächen bereits im Ausgangsfall vor der Sanierung auf einem deutlich höheren Niveau. Wie bereits für das Wohnzimmer sind die in Tabelle 4 ausgewiesenen G_{h26} -Werte in grüner und roter Schriftfarbe dargestellt, sodass unmittelbar die Unter- bzw. Überschreitung des Anforderungswertes abgelesen werden kann.

Tabelle 26
Ergebnisse Simulationsrechnungen Schlafzimmer Dachgeschoss

	F_c	Klima: Potsdam aktuell				Klima Potsdam 2020 - 2050			
		G_{h26} [Kh/a]		$T_{op,max}$ [°C]		G_{h26} [Kh/a]		$T_{op,max}$ [°C]	
		ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL
Ausgangsfall „vor 1995“	1,0	1.588	961	33,5	32,5	3.015	1.910	33,6	32,6
	0,7	727	394	31,6	30,7	1.543	847	31,8	30,9
	0,25	110	48	28,7	28,0	233	95	29,1	28,4
Fenstertausch GEG	1,0	1.057	560	32,2	31,2	2.185	1.208	32,4	31,3
	0,7	468	212	30,6	29,7	1.083	488	30,9	29,9
	0,25	74	27	28,2	27,5	163	55	28,5	27,9
Fenstertausch BEG	1,0	1.088	573	32,2	31,1	2.248	1.238	32,3	31,3
	0,7	486	217	30,5	29,6	1.128	504	30,8	29,9
	0,25	77	27	28,2	27,4	173	56	28,5	27,8
Sanierung Gebäude GEG	1,0	1.274	643	32,5	31,3	2.644	1.414	32,7	31,6
	0,7	565	240	30,8	29,8	1.335	575	31,1	30,1
	0,25	81	26	28,3	27,5	197	58	28,7	27,9
Sanierung Gebäude EH 55	1,0	1.378	686	32,6	31,3	2.833	1.503	32,8	31,5
	0,7	621	258	30,9	29,8	1.461	623	31,2	30,1
	0,25	90	28	28,3	27,5	226	62	28,8	27,9

8.3 Zusammenfassung

Die Auswertungen für das Wohnzimmer und das Schlafzimmer zeigen, dass mit einem reinen Fenstertausch unter Beibehaltung der Ausgangsfenstergrößen keine nennenswerte Verschlechterung des sommerlichen Wärmeverhaltens einhergeht. Erfolgt allerdings eine Sanierung des Gesamtgebäudes bis hin zum Effizienzhaus, wobei gegebenenfalls sogar Fenstervergrößerungen vorgenommen werden, so können die Anforderungen teilweise nur dann eingehalten werden, wenn ein wirksamer Sonnenschutz vorgesehen wird und zugleich eine erhöhte Nachtlüftung unterstellt ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn für die Simulationsrechnungen ein Klimadatensatz verwendet wird, durch den der weiter voranschreitende Klimawandel beschrieben ist. Vor diesem Hintergrund sollten in die öffentlich-rechtliche Anforderungssystematik auch Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz bei umfassenden Sanierungen aufgenommen werden. Konkrete Ausgestaltungen der Anforderungen sollten dann formuliert werden, wenn die Anforderungssystematik selbst auf eine neue Anforderungsgröße und -höhe umgestellt ist.

9 Weitere Schritte/Handlungsbedarf

In Anbetracht der wachsenden Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes erscheint eine systematische Überarbeitung und Fortschreibung der bestehenden Regelungen unabdingbar. Zentral hierbei ist die Integration und Überprüfung der neuesten Klimadaten. Insbesondere die momentan in Revision befindlichen ortsgenauen TRY-Daten sollten sorgfältig analysiert werden, um ihre Anwendbarkeit und Genauigkeit sicherzustellen.

Die gravierenden Klimaänderungen erfordern eine Überdenkung sowohl der Verfahren als auch der Anforderungssystematiken. Hierbei könnte die Berücksichtigung unterschiedlicher Zukunftsszenarien vorteilhaft sein, um ein breites Spektrum möglicher klimatischer Entwicklungen abzudecken. In diesem Kontext könnte eine Zusammenarbeit mit Umweltmeteorologen dazu beitragen, den Einfluss des Mikroklimas besser zu verstehen und in die Regelungen einzubeziehen.

Ein weiterer Aspekt, der Berücksichtigung finden muss, sind die Mindestanforderungen, insbesondere im Hinblick auf medizinische Aspekte und die damit verbundene Mortalität. Neue Erkenntnisse in diesem Bereich könnten dazu beitragen, die Sicherheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung zu erhöhen. Eine detaillierte Analyse der Überschreitungshäufigkeiten, besonders im Kontext der Nichtwohnnutzung unter Nutzung der neuen TRY-Daten, könnte weiteren Aufschluss über Anpassungsbedarfe bieten.

Die bestehende Klimakarte für das Kennwertverfahren sollte hinsichtlich der Abbildbarkeit von Wärmeinseleffekten überprüft werden. Falls sich herausstellt, dass die Abbildbarkeit solcher Effekte auf der Karte nicht zufriedenstellend ist, könnte alternativ eine Neuentwicklung für das Kennwertverfahren in Erwägung gezogen werden. Eine solche Alternative könnte beispielsweise einen neu zu definierenden anteiligen Sonneneintragskennwert zur Berücksichtigung des Standortes nutzen und somit die Notwendigkeit einer Klimakarte gänzlich obsolet machen.

Die Berücksichtigung verschiedener Nutzungsprofile, insbesondere im Hinblick auf Nichtwohnnutzungen und ggf. auch für vulnerable Bevölkerungsgruppen (z. B. für Pflege- und Seniorenheime), sollte in künftigen Überlegungen eine Rolle spielen. Das Sonneneintragskennwerte-Verfahren bedarf zudem einer gründlichen Kalibrierung.

Wechselwirkungen – insbesondere zwischen sommerlichem und winterlichem Wärmeschutz, Tageslicht und Schallschutz – sollten weiter untersucht, qualitativ und quantitativ bewertet und Möglichkeiten zur Förderung integraler Gebäudekonzepte bereits auf Ebene der Anforderungssystematik ausgearbeitet werden.

Literaturverzeichnis

BMUB 2017: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, vom 01.06.2017. Fundstelle: BAnz AT 08.06.2017 B5.

Bundesregierung 2001: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Energieeinsparverordnung - EnEV. In: Bundesgesetzblatt, Teil I Nr. 59, Seiten 3085 ff.

Bundesregierung 2013: Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Energieeinsparverordnung - EnEV 2014.

Bundesregierung 2020: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden, Gebäudeenergiegesetz - GEG, vom 2020. In: BGBl. I S. 1728.

Deutscher Wetterdienst 2011a: Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn.

Deutscher Wetterdienst 2011b: Projektbericht. Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Offenbach am Main: Selbstverlag Deutscher Wetterdienst.

Deutscher Wetterdienst 2017: Ortsgenaue Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn.

DIN 4108 Beiblatt 2:2019-06 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt 2: Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele.

DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

DIN EN 15242:2007-09 Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration.

DIN EN 15251:2012-12. Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.

DIN EN 16798-1:2022-03 Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparmeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Modul M1-6.

DIN EN 16798-5-1:2017-11 Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 5-1: Berechnungsmethoden für den Energiebedarf von Lüftungs- und Klimaanlage (Module M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8) - Methode 1: Verteilung und Erzeugung.

DIN EN 16798-7:2017-11 Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration (Modul M5-5); Deutsche Fassung EN 16798-7:2017.

DIN EN ISO 13370:2018-03 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmetransfer über das Erdreich - Berechnungsverfahren.

DIN EN ISO 13792:2012-08 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Vereinfachtes Berechnungsverfahren.

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.

DIN/TS 4108-8: 2022-09 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden - Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden.

Fraunhofer IBP 2016: Energieoptimiertes Bauen: Klima- und Oberflächenübergangsbedingungen für die hygrothermische Bauteilsimulation, Kurztitel: Klimamodelle (IBP-Bericht: HTB-021/2016).

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH 2020: Anforderungssystematik nach GEG und für Effizienzhäuser - Optimierungen für eine zielgerichtete Anforderung und Förderung. 2. überarbeitete Auflage. Hg. v. Repräsentanz Transparente Gebäudehülle GbR.

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH; ift Rosenheim 2022: Überarbeitung der Kennwerte zur Bewertung von Fenstern mit Sonnenschutzvorrichtungen in DIN 4108-2 und DIN V 18599-2. Hg. v. Verband Fenster + Fassade (VFF).

Kuttler, W. 1997: Städtische Klimamodifikation. VDI-Berichte 1330; S. 87–108. Hg. v. VDI Verlag. Düsseldorf.

Lam, J.; Hiller, M. 2014: Schwierigkeiten bei der Verwendung der TRY-Daten 2011 für Deutschland in der thermischen Simulation. Hg. v. Fifth German-Austrian IBPSA Conference. RWTH Aachen University. Aachen.

Maas, A. 1995: Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung. Dissertation. Universität Gesamthochschule Kassel. Kassel.

Vukadinovic, M. 2022: Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Überhitzung von Gebäuden und Empfehlungen zur Begrenzung sommerlicher Übertemperaturen. Dissertation. Universität Kassel. Kassel.

Vukadinovic, M.; Kempkes, C.; Maas, A. 2020: 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. Hg. v. M. Monsberger, C.-J. Hopfe, M. Krüger und A. Passer. International Building Performance Simulation Association, Technische Universität Graz. Graz.

Wienert, U.; Kreienkamp, F.; Spekat, A.; Enke, W. 2013: A simple method to estimate the urban heat island intensity in data sets used for the simulation of the thermal behaviour of buildings. In: *metz* 22 (2), S. 179–185. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0397.

Abbildungsverzeichnis

Bild 1 Mittlere Außenlufttemperaturen im Sommerhalbjahr (April bis September)	25
Bild 2 Höhenlage (linke Abbildung) – jährliche, mittlere Außenlufttemperaturen (mittlere Abbildung) – jährliche Globalstrahlungssummen (rechte Abbildung) der TRY 2015 der Auswertungen für Großraum Berlin	26
Bild 3 Tagesverläufe der Außentemperatur in zwei benachbarten TRY 2015 Standorten (linke Abbildung) und Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ auf Außenlufttemperatur bezogen (rechte Abbildung) im Großraum Berlin	27
Bild 4 Verteilungen der Sommerklimaregionen in Anlehnung an DIN 4108-2:2013-02 (linke Abbildung) für die TRY 2015 (mittlere Abbildung) und 2045 (rechte Abbildung) auf Basis der TRY 2010 Quelle: linke Abbildung vgl. DIN 4108-2:2013-02; mittlere und rechte Abbildung vgl. Vukadinovic et al. 2020	27
Bild 5 Sommerhalbjährliche, mittlere Außenlufttemperaturen (linke Abbildung) und sommerhalbjährliche, mittlere, nächtliche Außenlufttemperaturen (rechte Abbildung) in °C im Großraum Berlin für die TRY 2045 Jahre	28
Bild 6 Flächenanteil heißestes Prozent der sommerhalbjährlichen, mittleren Außenlufttemperaturen der TRY 2045 Jahre in Deutschland	29
Bild 7 Übertemperaturgradstunden in Abhängigkeit von der Festlegung des Berechnungsbeginns auf einen bestimmten Wochentag nach DIN 4108-2:2013-02 mit den TRY 2010 (links) sowie analoge Auswertungen für Überschreitungshäufigkeiten (rechts)	30
Bild 8 Überschreitungshäufigkeiten von Kategorie II in Abhängigkeit von der Festlegung des Berechnungsbeginns auf einen bestimmten Wochentag in Anlehnung an DIN EN 16798-1:2022-03 mit den TRY 2035 (links) und TRY 2045 (rechts)	31
Bild 9 Häufigkeitsverteilung von $\theta_{m, \text{Sommerhalbjahr}}$ aller 333.321 TRY 2045 über die 6-Umgebung	32
Bild 10 Mögliche neue Klimakarte anhand $\theta_{m, \text{Sommerhalbjahr}}$ aller 333.321 TRY 2045 über die 6-Umgebung (links – unbearbeitet; rechts – nachbearbeitet) Quelle: linke Abbildung Vukadinovic 2022	33
Bild 11 Jährliche Einstrahlungssummen auf ost- und westorientierte Fassaden für TRY 2010 und 2045 „Potsdam“ mit verschiedenen Berechnungsgrundlagen in kWh/(m ² a)	34
Bild 12 Vorschlag für eine neue Nachweis- und Anforderungsmethodik zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung	36
Bild 13 Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf ein ungekühltes Kinderzimmer	37
Bild 14 Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf einen Büroraum mit aktiver Kühlung	38
Bild 15 Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf einen ungekühlten Treppenraum mit hohem Fensterflächenanteil, der unmittelbar in einen Aufenthaltsraum führt	39
Bild 16 Anwendung der Nachweis- und Anforderungsmethodik auf einen Serverraum mit gekühlten Serverschränken	40
Bild 17 Zulässige operative Innentemperatur für Kategorie II (obere Begrenzung) $\theta_{op, Kat. II, og}$ Quelle: Daten gemäß DIN EN 16798-1:2022-03	43

Bild 18 Raummodell „zen“	47
Bild 19 Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ bei Variation von internen Wärmequellen und Mindestaußenluftvolumenstrom	48
Bild 20 Raummodell „zen1.5b1.5t_breit“	50
Bild 21 Überschreitungshäufigkeiten n_{26} bei Variation der Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 im Vergleich zur Nichtwohnnutzung nach DIN 4108-2	51
Bild 22 Raummodelle „zen“, „1.5b1.5t_breit“ und „zen2b2t“	53
Bild 23 Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 4	54
Bild 24 Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 5	56
Bild 25 Übertemperaturgradstunden $G_{h_{27}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 6	57
Bild 26 Exemplarische Darstellung zur Erläuterung der Auswertungen	58
Bild 27 Beispiel 1a: Wohngebäude, fWG hoch; Südorientierung; UW 095; g 054; manuell 300; 2-fache NL; 2045 Klimaregion A (links), B (Mitte) und C (rechts)	59
Bild 28 Beispiel 1b: Wohngebäude, fWG hoch; Ostorientierung; UW 095; g 054; manuell 300; 2-fache NL; 2045 Klimaregion A (links), B (Mitte) und C (rechts)	59
Bild 29 Beispiel 1c: Wohngebäude, fWG hoch; Westorientierung; UW 095; g 054; manuell 300; 2-fache NL; 2045 Klimaregion A (links), B (Mitte) und C (rechts)	60
Bild 30 Korrelationen Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25/26/27}}$ (DIN 4108-2) / Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ (DIN EN 16798-1) für die Räume „zen“, „zen1.5b1.5t_breit“ und „zen2b2t“	62
Bild 31 Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 7	64
Bild 32 Übertemperaturgradstunden $G_{h_{25}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 8	65
Bild 33 Übertemperaturgradstunden $G_{h_{27}}$ und Überschreitungshäufigkeiten $n_{Kat,II}$ in Abhängigkeit von dem F_C -Wert für das Parameterset in Tabelle 9	66
Bild 34 Raumlufttemperatur des unbeheizten Kellerraums oder der maschinell belüfteten Tiefgarage in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus als Randbedingung im Rahmen der Simulationsberechnung nach (Fraunhofer IBP 2016)	69
Bild 35 Raumlufttemperatur des unbeheizten Dachraums in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für unterschiedliche Wärmeschutzniveaus als Randbedingung im Rahmen der Simulationsberechnung nach (Fraunhofer IBP 2016)	70
Bild 36 Referenzprofile für den unteren Rahmen mit Sohlbankanschluss nach DIN 4108 Beiblatt 2 für verschiedene Rahmenmaterialien	72

Bild 37 Verglasungsanteil bezogen auf eine Fensteröffnung von 1,23 m x 1,48 m für verschiedene Rahmenprofile eines einflügeligen Fensters mit und ohne Rahmenverbreiterung unter Berücksichtigung einer Einbaufuge von 1 cm Breite sowie Angabe der jeweiligen äquivalenten mittleren Rahmenbreite	73
Bild 38 Abweichung der berechneten Verglasungsanteile für eine Fensteröffnung 1,23 m x 1,48 m vom Standardwert $f_g = 0,70$	73
Bild 39 Verglasungsanteil bezogen auf eine Fensteröffnung von 1,13 m x 2,13 m für verschiedene Rahmenprofile eines einflügeligen Fensters mit und ohne Rahmenverbreiterung unter Berücksichtigung einer Einbaufuge von 1 cm Breite sowie Angabe der jeweiligen äquivalenten mittleren Rahmenbreite	74
Bild 40 Abweichung der berechneten Verglasungsanteile für eine Fensteröffnung 1,13 m x 2,13 m vom Standardwert $F_g = 0,70$	74
Bild 41 Geometrische Festlegungen für die Berechnung des Verglasungsanteils	75
Bild 42 Verglasungsanteil f_g für ein- und zweiflügelige Fenster in Abhängigkeit der äquivalenten mittleren Rahmenbreite für eine Öffnungshöhe von 1,48 m	75
Bild 43 Verglasungsanteil f_g für ein- und zweiflügelige Fenster in Abhängigkeit der äquivalenten mittleren Rahmenbreite für eine Öffnungshöhe von 2,13 m	76
Bild 44 Zuluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz und der Kippweite (Fensterbreite 1,58 m, Fensterhöhe 1,90 m)	78
Bild 45 Jahresverläufe, Auswertungen für einen Beispielraum (Wohnzimmer, $f_{w,f} = 30 \%$, Kippweite 7 cm)	78
Bild 46 Tagesverläufe, Auswertungen für einen Beispielraum (Wohnzimmer, $f_{w,f} = 30 \%$, Kippweite 7 cm)	79
Bild 47 Außenluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Links: einseitige Lüftung, rechts: Querlüftung	81
Bild 48 Darstellung einer einfachen U-Rohrsonde (links) und einer Doppel-U-Rohrsonde (rechts) Quelle: Stober I., Bucher K. (2014) Erdwärmesonden. In: Geothermie. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg	84
Bild 49 Darstellung eines Luftkollektors (links) und eines Solekollektors (rechts) Quelle: www.sole-ewt.de	85
Bild 50 Rechnerischer Wärmeentzug [kWh/a] für drei Ausführungsvarianten des Luft-Erdreich-Wärmeübertragers unter drei verschiedenen Klimarandbedingungen	87
Bild 51 Kälteleistungszahl für drei Ausführungsvarianten des Luft-Erdreich-Wärmeübertragers unter drei verschiedenen Klimarandbedingungen	87
Bild 52 Maximale Leistung [W] der Sole-Pumpe, um unter der vorgegebenen Randbedingungen noch eine Kälteleistungszahl EER_{EWT} von 50 zu erreichen.	88
Bild 53 Skizze zur größten anzusetzenden Raumtiefe	99
Bild 54 Skizze zur größten anzusetzenden Raumtiefe und -breite	100
Bild 55 Skizze zur Zusammenfassung von sich überlappenden Bereichen zu einem für den Nachweis zu berechnenden Bereich	101
Bild 56 Skizze zur stockwerksweisen Unterteilung von Räumen	102
Bild 57 Anhaltswerte für den Korrekturfaktor zur Ermittlung des Verglasungsanteils f_g in Abhängigkeit der Öffnungsfläche, der Fensterart sowie der Fensterhöhe	105

Bild 58 Skizzen EFH, Ansicht Südwest (links) und Südost (rechts)	108
Bild 59 Grundrisse EFH Erdgeschoss (links) und Dachgeschoss (rechts), Beispielräume Wohnzimmer EG (R5 WZ) und Schlafzimmer DG (R7 SZ1)	108
Bild 60 Skizze EFH mit Fenstervergrößerung Westfassade Wohnzimmer, Ansicht Südwest	110

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der 2011 und 2017 veröffentlichten DWD-TRY-Datensätze	24
Tabelle 2 Übersicht Parameter der Anforderungssystematik in der Normfassung DIN 4108-2:2013-02	41
Tabelle 3 Exemplarische Charakteristika von Nutzungsprofile	49
Tabelle 4 Parameterset zu Auswertungen in Bild 23	54
Tabelle 5 Parameterset zu Auswertungen in Bild 24	55
Tabelle 6 Parameterset zu Auswertungen in Bild 25	56
Tabelle 7 Parameterset zu Auswertungen in Bild 31	64
Tabelle 8 Parameterset zu Auswertungen in Bild 32	65
Tabelle 9 Parameterset zu Auswertungen in Bild 33	66
Tabelle 10 Erdreichtemperaturen nach DIN EN 16798-5-1 in 1 m Tiefe für die Klimastandorte Hof, Potsdam und Mannheim	69
Tabelle 11 Kälteleistungszahlen EER_{GW} von Grundwassernutzungsanlagen	83
Tabelle 12 Kälteleistungszahlen EER_{GS} von Erdsondenfeldern	84
Tabelle 13 Simulationsrandbedingungen für alle Varianten zur Berechnung einer Kälteleistungszahl EER_{EWT}	86
Tabelle 14 Variantenabhängige Simulationsrandbedingungen zur Berechnung einer Kälteleistungszahl EER_{EWT}	86
Tabelle 15 Druckverluste durch einen Solekollektor in Abhängigkeit des Volumenstroms	88
Tabelle 16 Vorschlagswerte für die flächenbezogene mittlere Kühlleistung $[W/m^2]$ eines Luft-Erdreich-Wärmeübertragers in Abhängigkeit des Volumenstroms und des Klimastandorts entsprechend den Randbedingungen in Abschnitt 6.5.1.3	91
Tabelle 17 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis	94
Tabelle 18 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von Sonnenschutzvorrichtungen im Scheibenzwischenraum des Mehrscheibenisolierglases Abhängigkeit vom Glaserzeugnis	95
Tabelle 19 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von Sonnenschutzvorrichtungen im Scheibenzwischenraum einer mehrschaligen Konstruktion (z. B. Verbundfenster, Kastenfenster) Abhängigkeit vom Glaserzeugnis	96
Tabelle 20 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von innenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis	97
Tabelle 21 Umfang der Simulationsreihe zur Neukalibrierung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens	103
Tabelle 22 Korrekturfaktor für den Verglasungsanteil f_g	105
Tabelle 23 Bauteile und Eigenschaften Ausgangsfall Baualtersklasse „vor 1995“	109

Tabelle 24 Beschreibung der Sanierungsfälle	109
Tabelle 25 Ergebnisse Simulationsrechnungen Wohnzimmer Erdgeschoss	111
Tabelle 26 Ergebnisse Simulationsrechnungen Schlafzimmer Dachgeschoss	112