Erarbeitung einer Systematik zur Neubewertung der solaren Einträge für Wohn- und Nichtwohngebäude in der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik

IBH-Projektnummer: 1208-18

Endbericht vom 7.12.2020

Bearbeitet durch:

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH

Leipziger Straße 184

34123 Kassel

im Auftrag von:

Verband Fenster + Fassade (VFF)

Walter-Kolb-Str. 1-7

60594 Frankfurt am Main

mitfinanziert durch:

- **Bundesverband Flachglas e.V. (BF)**
- **Industrievereinigung Rollladen-Sonnenschutz-Automation e.V. (IVRSA) im Industrieverband Technische Textilien – Rollladen – Sonnenschutz e.V. (ITRS)**
- **Velux Deutschland GmbH**

Dieser Bericht umfasst 191 Seiten (inklusive Anhang). Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder in sinnentstellendem Zusammenhang erfolgen.

Projektleitung und federführende Bearbeitung:

Ingenieurbüro Prof.-Dr. Hauser GmbH
Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger
Leipziger Straße 184
34123 Kassel

Mail: schlitzberger@ibh-hauser.de

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

Weitere Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Christoph Kempkes

Mail: kempkes@ibh-hauser.de

Tel: +49 (0) 561/949904-36

Kassel, 7. Dezember 2020

Dr. Stephan Schlitzberger

Hinweis:

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

Inhalt

1 Einführung ... 6
1.1 Ausgangspunkt ... 6
1.2 Zielsetzung ... 6
2 Erläuterungen zur Methodik der Bearbeitung ... 8
2.1 Umfang der Berechnungen ... 8
2.1.1 Geometrische Modelle der Einzelraumbetrachtungen ... 8
2.1.2 Gebäudemodelle für exemplarische Berechnungen ... 11
2.1.3 Wärmeschutzniveaus Neubau und Bestand ... 12
2.1.4 Orientierungen ... 13
2.1.5 Nutzungen ... 13
2.1.6 Bauart ... 13
2.1.7 Klimadaten ... 13
2.1.8 Variation der Fenstereigenschaften ... 14
2.1.9 Weitere Randbedingungen für den Sommerfall ... 14
2.2 Bewertung der Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge ... 15
2.2.1 Einfluss von U_W-Wert und g-Wert auf den Energiebedarf für Heizen ... 15
2.2.2 Äquivalenter U-Wert als Kenngröße zur Bewertung der energetischen transparenter Bauteile ... 17
2.2.3 Methodik zur Ermittlung von S_F-Werten zur Bestimmung von äquivalenten U-Werten ... 19
2.2.4 Methodik zur Bestimmung eines Transferkoeffizienten $H_{T,S}$‘ zur Berücksichtigung von Transmissionswärmeverlusten und nutzbaren solaren Wärmeeinträgen ... 20
2.3 Bewertung des Sommerfalls und Zusammenführung von Winter- und Sommerfall ... 24
2.3.1 Identifizierung von Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz ohne beweglichen Sonnenschutz ... 24
2.3.2 Identifizierung von Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz mit beweglichem Sonnenschutz ... 25
2.3.3 Zusammenführung von Winter- und Sommerfall ... 27
3 Ergebnisse zur Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge für den Anwendungsfall Wohngebäude bei Maßnahmen im Bestand ... 31
3.1 Vorbemerkung ... 31
3.2 Ausgewählte Ergebnisse S_F-Werte Wohnnutzung ... 31
3.2.1 Einfluss von Fensterflächenanteil und Orientierung bei Variation einzelner Einflussgrößen ... 31
3.2.2 Detailbetrachtung zum Einfluss der Fensterneigung ... 34
3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Herleitung tabellarisierter S_F-Werte zur Abbildung der Einflüsse Orientierung, Neigung, Wärmeschutzniveau und Fensterflächenanteil und Nutzung ... 37
4 Ergebnisse zur Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude bei Maßnahmen im Bestand ... 40
4.1 Vorbemerkung ... 40
4.2 Ausgewählte Ergebnisse S_F-Werte Nichtwohnnutzung ... 40
4.2.1 Einfluss von Fensterflächenanteil und Orientierung bei Variation einzelner Einflussgrößen ... 40
4.3 Vorschlag normative und verordnungstechnische Verwertung ... 45
5 Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens ... 46
5.1 Anwendungsfall Wohnnutzung ... 46
5.1.1 Erfüllungsoptionen ohne beweglichen Sonnenschutz ... 47
5.1.2 Erfüllungsoptionen mit beweglichem Sonnenschutz ... 52
5.2 Anwendungsfall Nichtwohnnutzung ... 60
5.2.1 Erfüllungsoptionen ohne beweglichen Sonnenschutz ... 61

5.2.2 Erfüllungsoptionen mit beweglichem Sonnenschutz 65

6 Zusammenführung Winterfall/Sommerfall 71

6.1 Anwendungsfall Wohnnutzung 71

6.1.1 Variation des Fensterflächenanteils 72

6.1.2 Variation der Orientierung 74

6.1.3 Variation Geometrie 75

6.1.4 Variation Nutzung 77

6.2 Anwendungsfall Nichtwohnnutzung 78

6.2.1 Variation des Fensterflächenanteils 78

6.2.2 Variation der Orientierung 80

6.2.3 Variation Geometrie 82

6.2.4 Variation Nutzung 83

7 Notwendigkeit und baupraktische Konsequenzen einer angepassten Anforderungssystematik und Bewertung der Flexibilisierung 86

7.1 Erläuterungen 86

7.2 Exemplarische Auswertungen 87

7.2.1 Erfüllungsoptionen für ein Einfamilienhaus als Effizienzhaus 55 bei fossiler Wärmeerzeugung nach gegenwärtiger Anforderungssystematik 88

7.2.2 Erfüllungsoptionen für ein Einfamilienhaus als Effizienzhaus 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung nach gegenwärtiger Anforderungssystematik 91

7.2.3 Erfüllungsoptionen für ein Einfamilienhaus als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$') bei regenerativer Wärmeerzeugung 94

7.3 Bewertung der Ergebnisse 96

8 Vorschlag zur Ergänzung der DIN V 18599 98

8.1 Tabellarisierte S_F-Werte zur Verwendung für Bauteil-Einzelnachweise 98

8.1.1 Wohnnutzung 98

8.1.2 Nichtwohnnutzung 99

8.2 Ermittlung detaillierter S_F-Werte anhand einer Potenzfunktion für individuelle Fensterflächenanteile 104

8.2.1 Wohnnutzung 104

8.2.2 Nichtwohnnutzung 105

8.3 Bewertung der energetischen Qualität der wärmeübertragenden Hüllfläche im Rahmen der Gesamtbilanz 110

8.3.1 Verfahren zur Bestimmung eines Transferkoeffizienten $H_{T,S}$' als Ersatz für die gegenwärtige Bewertungsgröße H_T' 110

8.3.2 Anwendungsbeispiele Wohnnutzung 111

8.3.3 Beispiel Nichtwohngebäude 115

9 Bewertung und Anpassungsbedarf der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik 119

9.1 Wohngebäude 119

9.1.1 Anforderungen an zu errichtende Gebäude 119

9.1.2 Bestehende Gebäude 120

9.2 Nichtwohngebäude 121

9.2.1 Anforderungen an zu errichtende Gebäude 121

9.2.2 Bestehende Gebäude 122

10 Einbeziehung solarer Wärmeeinträge zur Identifizierung eines wirtschaftlichen oder energetischen Optimums 124

10.1 Vorbemerkung 124

10.2 Methodische Hinweise 125

10.2.1 Betrachtung beheizter und nicht gekühlter Gebäude 125

10.2.2 Betrachtung beheizter und gekühlter Gebäude 125
10.2.3 Annahmen für die Wärme- und Kälteerzeugung 125
10.3 Ergebnisse Heizen 126
10.3.1 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 50 % 126
10.3.2 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 70 % 129
10.3.3 Variation Fensterflächenanteil bei Südorientierung 130
10.3.4 Variation Wärmeerzeugung 132
10.4 Ergebnisse Kühlen 133
10.4.1 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 70 % 133
10.4.2 Variation Fensterflächenanteil bei Südorientierung 135
10.4.3 Variation Soll-Temperatur Kühlen 136
10.4.4 Einfluss eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Aufenthaltszeit 137
10.4.5 Einfluss der Anlageneffizienz der Kältebereitstellung 139
10.5 Ergebnisse Heizen und Kühlen 141
10.5.1 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 70 % 141
10.5.2 Variation Fensterflächenanteil bei Südorientierung 143
10.5.3 Variation Soll-Temperatur Kühlen 144
10.5.4 Einfluss eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Aufenthaltszeit 145
10.5.5 Einfluss der Anlageneffizienz der Kältebereitstellung 146
11 Auswirkungen des Klimawandels auf winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz 147
11.1 Simulationsrechnungen Heizwärme- und Kühlkältebedarf 148
11.1.1 Auswertungen Nutzkälte: Einzelauswertungen für U_W = 1,3 W/(m²K) für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 und 90 Prozent 148
11.1.2 Auswertungen Heizwärme: Einzelauswertungen für U_W = 1,3 W/(m²K) für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 und 90 Prozent 150
11.2 Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (DIN 4108-2) 152
11.2.1 Fälle ohne beweglichen Sonnenschutz 152
11.2.2 Fälle mit beweglichem Sonnenschutz 153
11.3 Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge und Bestimmung von S_F-Werten auf Basis von Berechnungen nach DIN V 18599 154
11.4 Auswirkung Zukunftsklima auf S_F-Werte 155
12 Zusammenfassung der Ergebnisse 156
Quellenverzeichnis 158
Abbildungsverzeichnis 160
Tabellenverzeichnis 168
Anhang A Dokumentation Rechenrandbedingungen 169
Anhang B Gegenüberstellung S_F-Werte für Referenzklima und Zukunftsklima 180

1 Einführung

1.1 Ausgangspunkt

Verbunden mit dem Ziel, den Verordnungsgeber bezüglich der Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit zur Überarbeitung der Anforderungssystematik hin zu einer angemessenen Berücksichtigung nutzbarer solarer Wärmeeinträge über transparente Bauteile zu überzeugen, erfolgte im Rahmen der vom VFF beauftragten Studie „Vorschläge zur Verbesserung der EnEV-/GEG-Anforderungssystematik durch Einbeziehung solarer Wärmegewinne in die Einzelanforderungen an transparente Bauteile und in die Nebenanforderung“ (Teilbericht 2 zum Projekt 1091-17 [1]) eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem Anwendungsfall Wohngebäude. Als Ergebnis dieser Untersuchung wurde dem Verordnungsgeber ein Vorschlag zur Vorgabe von S_F-Werten in Form eines Verbände-Positionspapiers [2] vorgelegt. Beschrieben wird hiermit eine in sich schlüssige Struktur zur möglichen Anpassung der EnEV-/GEG-Anforderungssystematik, welche die nutzbaren solaren Wärmeeinträge in einfacher und gut nachvollziehbarer Weise über das „U_{eq}-Prinzip“ abbildet. Dieser Vorschlag fand im GEG [3] jedoch keine Berücksichtigung. Die unterschiedlichen Instanzen des Verordnungsgebers sind allerdings mittlerweile für die Thematik sensibilisiert, sehen aber den Vorschlag zur Implementierung als noch unvollständig an. Neben der systematischen Untersuchung zum Anwendungsfall Nichtwohngebäude ist eine weitergehende Auseinandersetzung mit den wirtschaftlichen und baupraktischen Konsequenzen der Anforderungsanpassung erforderlich. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollen insofern dazu beitragen, dass in einer künftigen Fassung des Gebäudeenergiegesetzes eine Neubewertung der solaren Wärmeeinträge in der Anforderungssystematik vorgenommen werden kann.

1.2 Zielsetzung

Die Studie soll die begonnenen Arbeiten zielgerichtet fortführen, sodass für den weiteren Gesetzgebungsprozess Voraussetzungen geschaffen werden, um eine Neubewertung der solaren Wärmeeinträge in normativen sowie gesetzes- und verordnungstechnischen Regelungen vornehmen zu können.

Der Schwerpunkt der inhaltlichen Bearbeitung besteht in einer systematischen Fortführung der für Wohngebäude bereits durchgeführten Untersuchungen sowie in einer Ausdehnung der Untersuchungen auf den Anwendungsfall Nichtwohngebäude. Eine wesentliche Erweiterung der Untersuchung besteht in der Einbeziehung des Sommerfalls. Für sämtliche Parametervariationen, für die der Einfluss von U_W- und g-Wert auf den Energiebedarf Heizen untersucht wird, erfolgen zusätzliche korrespondierende Simulationsrechnungen. Diese Erweiterung der Betrachtung ist insbesondere für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude von Bedeutung, da hier ein komfortables sommerliches Wärmeverhalten oftmals schwieriger sicherzustellen ist als im Fall von Wohngebäuden. Dies liegt zum einen daran, dass bei Nichtwohngebäuden teilweise deutlich höhere Fensterflächenanteile anzutreffen sind. Darüber hinaus ist die Einrichtung eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Nutzungszeit (in der Regel nachts und am Wochenende) schwieriger sicherzustellen als bei Wohngebäuden (Witterungs- und Einbruchsschutz). Hinzu kommt, dass aus unterschiedlichen Gründen auf die Installation eines außenliegenden Sonnenschutzes verzichtet wird und die Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes durch den Einsatz von Sonnenschutzglas oder auch durch Installation einer anlagentechnische Gebäudekühlung erreicht wird. Dieser Umstand erfordert eine besondere Beachtung, da die Neubewertung der solaren Wärmeeinträge darauf abzielt, möglichst hohe g-Werte zur Erhöhung der solaren Wärmeeinträge in der Heizzeit umzusetzen, was in Bezug auf das sommerliche Wärmeverhaltens und die Sicherstellung des sommerlichen Mindestwärmeschutzes einen Zielkonflikt bedeutet, da hier die solaren Wärmeeinträge minimiert werden müssen. Vor diesem Hintergrund muss der Vorschlag zur Anpassung der GEG-Anforderungssystematik eine ganzheitliche Optimierung des Gebäudeentwurfs verfolgen, wobei Sommer- und

Winterfall gleichermaßen erfasst werden. Vor diesem Hintergrund erfolgen daher über die energetischen und auf den thermischen Komfort bezogenen Betrachtungen hinaus zusätzliche Auseinandersetzungen mit den baupraktischen und wirtschaftlichen Konsequenzen einer umgestellten Anforderungssystematik. Insbesondere für Konzepte mit anlagentechnischer Kühlung erfolgt deshalb auch eine Bewertung des Energiebedarfs für Kühlung. Durch die Gegenüberstellung der winterlichen und sommerlichen Energiebedarfe als von den Größen U_W und g abhängige Werte kann hierdurch unter Einbeziehung unterschiedlicher Wärme- und Kälteerzeuger sowohl ein energetisches als auch wirtschaftliches Optimum identifiziert werden.

Neben der inhaltlichen Auseinandersetzung mit den oben beschriebenen Themen geht aus der Projektbearbeitung der Vorschlag einer Ergänzung von DIN V 18599-2 hervor, in welchem die erforderlichen Rechenvorschriften zur Bestimmung von äquivalenten U-Werten (U_{eq}-Systematik) transparenter Bauteile sowie zur Bestimmung eines Transferkoeffizienten ($H_{T,S}$'-Systematik) beschrieben sind. Ausgehend von diesem Vorschlag zur normativen Verortung wird ein Vorschlag zur Anpassung der Anforderungssystematik des Gebäudeenergiegesetzes formuliert.

Über die vorgenannten Inhalte hinaus erfolgt auch eine Auseinandersetzung mit dem winterlichen und sommerlichen Wärmeverhalten unter Ansatz von Zukunftsklimadaten. Hieraus werde Aussagen zum thermischen und energetischen Verhalten von Gebäuden bei weiter voranschreitendem Klimawandel abgeleitet sowie die Konsequenzen für die baulichen Ausführungen benannt.

2 Erläuterungen zur Methodik der Bearbeitung

Der aktuelle Abschnitt erläutert den Umfang der durchgeführten Berechnungen und gibt grundsätzliche Hinweise zur Vorgehensweise und zur methodischen Bearbeitung.

Die Auswertungen und Ausführungen in dem vorliegenden Bericht sind zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit und Lesbarkeit auf beispielhafte Auswertungen reduziert.

2.1 Umfang der Berechnungen

Die folgenden Unterabschnitte stellen dar, welche Parametrisierung von Einzeleinflüssen der vorliegenden Studie zugrunde liegt. Weitergehende Informationen hierzu sind im Anhang zusammengestellt.

2.1.1 Geometrische Modelle der Einzelraumbetrachtungen

2.1.1.1 Räume

Um den Einfluss einzelner geometrischer Einflüsse auf das winterliche und sommerliche Wärmeverhalten in einer hinreichenden Bandbreite hinsichtlich realer Raumgeometrien zu untersuchen, werden unterschiedliche Raumsituationen betrachtet (die im Bericht verwendeten Bezeichnungen sind im Folgenden ***fett-kursiv*** angegeben). Die Variation der Raumgeometrie erfolgt hierbei ausgehend von dem in Bild 2-1 skizzenhaft dargestellten Prüfraum aus DIN EN ISO 13791:2012-08 [4], welcher in dieser Form bereits in [5] beschrieben wurde.

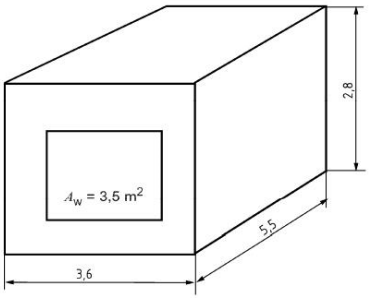


Bild 2-1: Skizze Prüfraum aus DIN EN ISO 13791:2012-08 [4], bereits beschrieben in [5]

Die ausgehend von Bild 2-1 rechnerisch untersuchten Raummodelle sind wie folgt:

<u>Zentralräume:</u>

1. ***zen***:
   Zentralraum mit geometrischen Abmessungen wie in Bild 2-1, Fassade mit Fenster in der schmalen Seite
2. ***zen_breit:***
   Zentralraum mit geometrischen Abmessungen wie in Bild 2-1, Fassade mit Fenster in der breiten Seite
3. ***zen1.5b1.5t:***
   Zentralraum mit 1,5-facher Breite und 1,5-facher Tiefe, Fassade mit Fenster in der schmalen Seite
4. ***zen1.5b1.5t_breit***
   Zentralraum mit 1,5-facher Breite und 1,5-facher Tiefe, Fassade mit Fenster in der breiten Seite
5. ***zen2b2t***
   Zentralraum mit doppelter Breite und doppelter Tiefe, Fassade mit Fenster in der schmalen Seite
6. ***zen2b2t_breit***
   Zentralraum mit doppelter Breite und doppelter Tiefe, Fassade mit Fenster in der breiten Seite

Eckräume

1. ***eck1.5b1.5t***
   Eckraum mit 1,5-facher Breite und 1,5-facher Tiefe, Fassade mit Fenster in der schmalen und breiten Seite
2. ***eck2b2t***
   Eckraum mit doppelter Breite und doppelter Tiefe, Fassade mit Fenster in der schmalen und breiten Seite

Dachräume**:**

1. ***dachzen30***
   Dachraum mit Grundfläche wie in Bild 2-1 und Dachschräge mit 30 ° Neigung und Dachflächenfenster
2. ***dachzen45***
   Dachraum mit Grundfläche wie in Bild 2-1 und Dachschräge mit 45 ° Neigung und Dachflächenfenster
3. ***dachzen60***
   Dachraum mit Grundfläche wie in Bild 2-1 und Dachschräge mit 60 ° Neigung und Dachflächenfenster

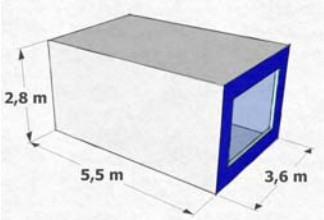
Dachraum mit Oberlicht:

1. ***oben*** bzw. ***zenoben*** (V_{Netto}=55,4 m³, A_{NGF}=19,8 m²)
   Dachraum mit geometrischen Abmessungen wie in Bild 2-1 und Oberlicht in der Dachfläche (Flachdach)

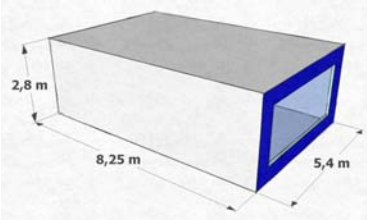
Skizzen der vorgenannten Räume sind in Bild 2-2 auf der folgenden Seite dargestellt. Im Anhang sind weitergehenden Informationen zu den verwendeten Raummodellen enthalten (siehe Abschnitt A 1).

Zentralräume:

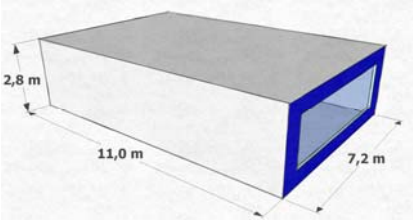
zen



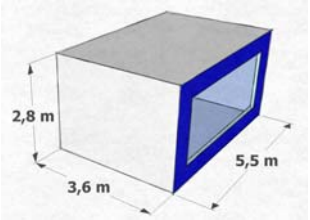
zen1.5b1.5t



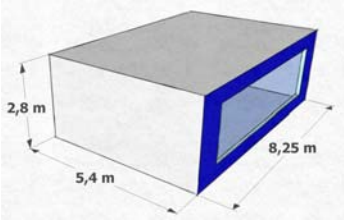
zen2b2t



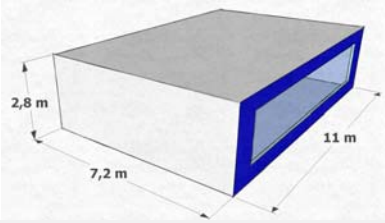
zen_breit



zen1.5b1.5t_breit

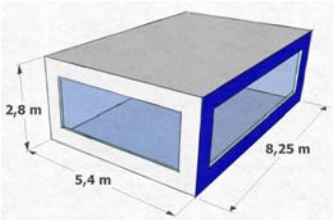


zen2b2t_breit

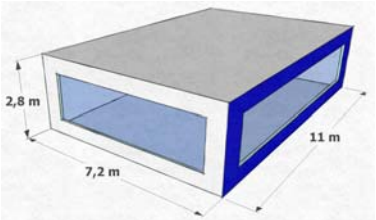


Eckräume:

eck1.5b1.5t

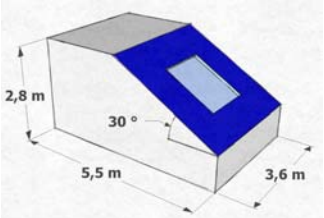


eck2b2t

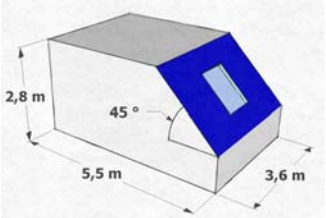


Dachräume:

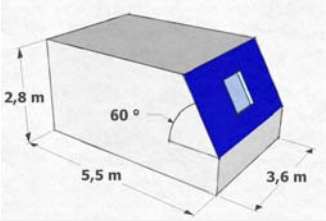
dachzen30



dachzen45



dachzen60



Dachraum mit Oberlicht

oben bzw. ***zenoben***

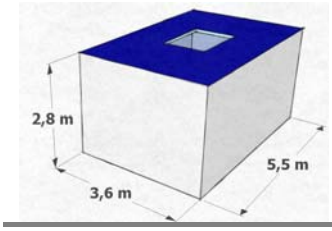


Bild 2-2: Skizzen der verwendeten Raummodelle

2.1.1.2 Fensterflächenanteile Zentralräume

Für Zentral- und Eckräume werden fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von

1. 30 %,
2. 50 %,
3. 70 % und
4. 90 %

rechnerisch modelliert. Weitergehende Informationen zur Raumgeometrie sind in Anhang A 1 enthalten.

2.1.1.3 Fensterflächenanteile Dachräume

Für die Dachräume und den Raum mit Oberlicht werden dachflächenbezogene Fensterflächenanteile von

1. 5 %,
2. 10 %,
3. 20 % und
4. 30 %

rechnerisch modelliert. Weitergehende Informationen zur Raumgeometrie sind in Anhang A 1 enthalten.

2.1.2 Gebäudemodelle für exemplarische Berechnungen

Um den Einfluss der solaren Wärmeeinträge darzustellen und die verbesserten Anforderungssystematik exemplarisch anzuwenden, erfolgen zusätzlich zu den raumbezogenen Auswertungen Berechnungen für ganze Gebäude. Hierzu werden einzelne Gebäude aus einer Modellgebäudetypologie [6] ausgewählt und berechnet. Diese Gebäude werden in den beiden folgenden Unterabschnitten vorgestellt.

2.1.2.1 Wohngebäude

Exemplarische Berechnungen erfolgen für ein kleines Einfamilienhaus aus der ZUB-Modellgebäudetypologie [6]. Ansichten dieses Gebäudes sind in Bild 2-3 dargestellt.

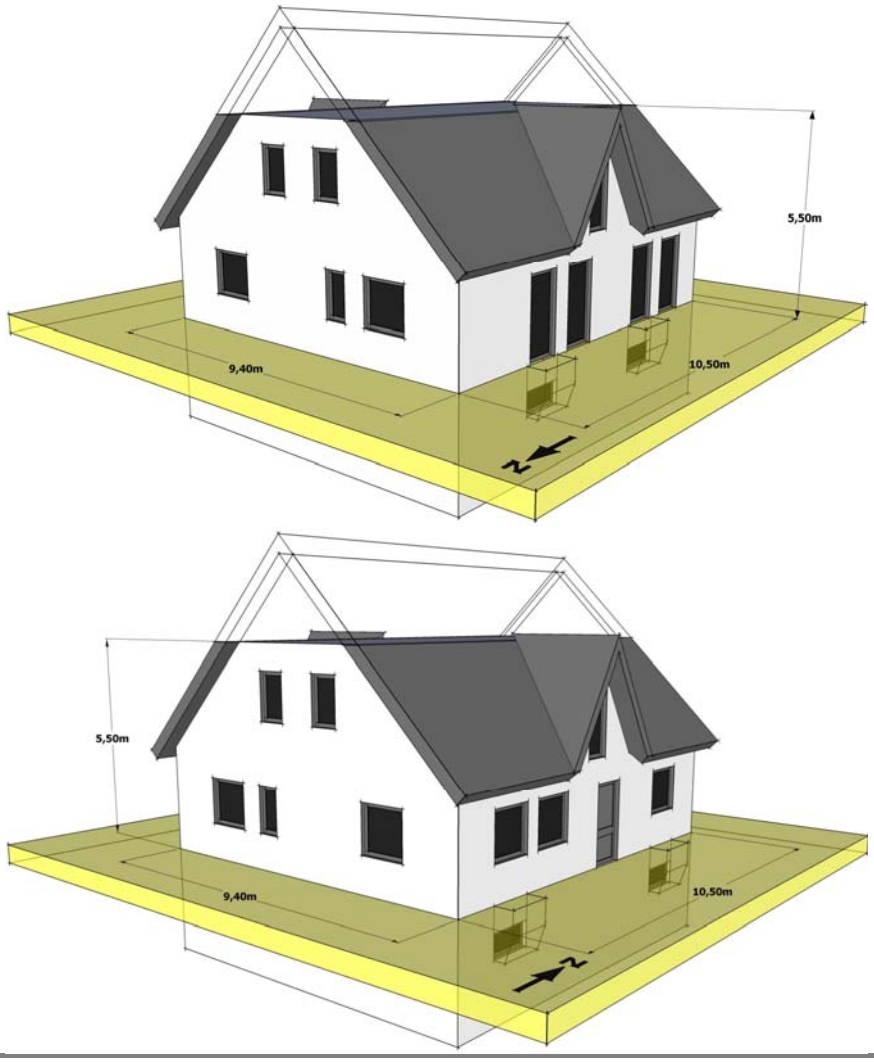


Bild 2-3: Modellgebäude EFH aus ZUB-Modellgebäudetypologie [6], Ansichten Nord-West (oben) und Süd-Ost (unten)

Ein Auszug geometrischer Informationen zu diesem Gebäude ist in Anhang A 2.1 dargestellt. Weitergehende detaillierte Informationen sind dem Bericht zur Modellgebäudetypologie [6] zu entnehmen. Abweichend von den in der Typologie beschriebenen Fensterflächen wird das Einfamilienhaus für 4 unterschiedliche grundflächenbezogene Fensterflächenanteile (10 bis 40 %) modelliert. Hierbei wird eine Verteilung der Fenster auf die Außenwände mit 15 % Richtung Norden, jeweils 25 % Richtung Osten und Westen und mit 35 % Richtung Süden angenommen.

2.1.2.2 Nichtwohngebäude

Als exemplarisches Nichtwohngebäude wird den Auswertungen im vorliegende Bericht ein kleines Bürogebäude aus der ZUB-Modellgebäudetypologie [6] zugrunde gelegt. Bei diesem Gebäude handelt es sich um ein kompaktes Bürogebäude-Modell mit drei Büroetagen und einem sich über die halbe Grundfläche erstreckenden Technik-/Lagergeschoss in der vierten Etage. Es wird von einer Lochfassadenvariante mit Fensterbändern ausgegangen. Die Stirnseite mit dem Eingangsbereich ist großflächig verglast.

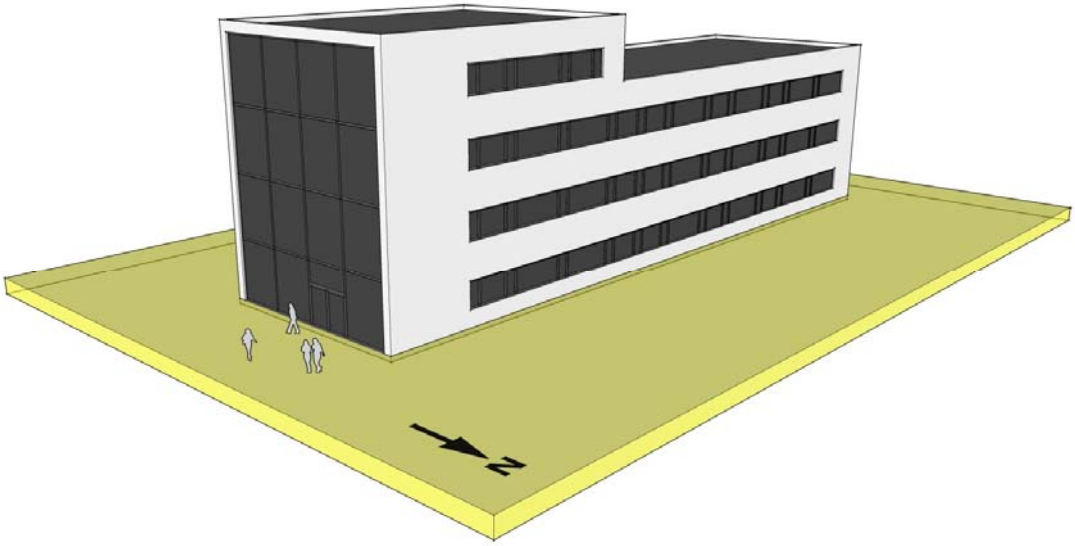


Bild 2-4: Nord-Ost Ansicht Bürogebäude aus ZUB-Modellgebäudetypologie [6]

Geometrische Informationen und Zonierungsdaten zu dem Bürogebäude können Anhang A 2.2 oder der Modellgebäudetypologie [6] entnommen werden.

2.1.2.3 Fensterflächenanteile Gebäude

Im Fall der Berechnungen für ganze Gebäude wird für den Anwendungsfall Wohnnutzung und die beispielhafte Gebäudegeometrie aus [6] eine Variation der Fensterfläche in der Art vorgenommen, dass das Gebäude unterschiedliche grundflächenbezogene Fensterflächenanteile betrachtet werden. Es werden insgesamt 4 geometrische Varianten gebildet, mit denen Fensterflächenanteile von 10, 20, 30 und 40 % beschrieben werden. Die auf diese Weise gebäudespezifisch bestimmten Gesamt-Fensterflächen werden vereinfachend mit 15 % Richtung Norden, jeweils 25 % Richtung Osten und Westen und mit 35 % Richtung Süden in den Außenwänden der Gebäude modelliert.

Für die Bilanzierung des Nichtwohngebäudes wird der in der Modellgebäudetypologie beschriebene Fensterflächenanteil nicht variiert.

2.1.3 Wärmeschutzniveaus Neubau und Bestand

Im Rahmen der Studie werden hinsichtlich der Ausführung der wärmeübertragenden Gebäudehülle (hier also für die Qualität der Außenwände oder Dachflächen, in welcher sich ein Fenster befindet) die im Folgenden benannten Niveaus betrachtet:

1. „bis 1978“: Ausführung vor der Wärmeschutzverordnung 1982
2. „WSV 1982“: Wärmeschutzverordnung 1982
3. „WSV 1995“: Wärmeschutzverordnung 1995 bzw.
4. „GEG 2020“: Referenzgebäude nach Gebäudeenergiegesetz (GEG)
5. „GEG 2020+LA“: Referenzgebäude nach GEG mit Zu-/Abluftanlage mit WRG
6. „EH 55“: KfW-Effizienzhaus 55
7. „EH 55+LA“: KfW-Effizienzhaus 55 mit Zu-/Abluftanlage mit WRG

Die Bauteilqualitäten werden dabei so festgelegt, dass sie typischen Ausführungen der vorbeschriebenen energetischen Niveaus entsprechen.

2.1.4 Orientierungen

Die Berechnungen der Einzelräume erfolgen für die Haupthimmelsrichtungen Nord, Ost, Süd und West. In Einzelfällen sind auch die Nebenhimmelsrichtungen betrachtet.

2.1.5 Nutzungen

Es werden folgende Nutzungsprofile gemäß DIN V 19599-10 für die energetischen Bilanzierungen zugrunde gelegt. Für den Anwendungsfall Wohnnutzung sind dies:

1. EFH und
2. MFH

Für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung werden folgende Nutzungsprofile betrachtet:

1. Einzelbüro (Nutzungsprofil 1, DIN V 18599-10)
2. Gruppenbüro (Nutzungsprofil 2, DIN V 18599-10)
3. Großraumbüro (Nutzungsprofil 3, DIN V 18599-10)
4. Besprechungsraum (Nutzungsprofil 4, DIN V 18599-10)
5. Klassenzimmer (Nutzungsprofil 8, DIN V 18599-10)
6. Bettenzimmer (Nutzungsprofil 10, DIN V 18599-10)
7. Hotelzimmer (Nutzungsprofil 11, DIN V 18599-10)
8. Aufenthaltsräume (Nutzungsprofil 17, DIN V 18599-10)
9. Arztpraxen (Nutzungsprofil 40, DIN V 18599-10)

2.1.6 Bauart

Als Berechnungsvarianten werden die raumumschließenden Bauteile der Räume so gewählt, dass durch diese jeweils eine

1. leichte,
2. mittelschwere und
3. schwere

Bauweise beschrieben wird.

2.1.7 Klimadaten

Für den wesentlichen Teil der Berechnungen werden die Klimadaten zugrunde gelegt, die nach EnEV 2014 [7] und unverändert gemäß GEG 2020 [3] für die öffentlich-rechtliche Nachweisführung bei der energetischen Bilanzierung von Gebäuden zugrunde zu legen sind. Hiernach anzuwenden ist das Referenzklima Deutschland nach DIN V 18599-10 [8]. Diese Klimadaten sind aus dem Testreferenzjahr aus [9] für den Standort Potsdam (Region 4) abgeleitet. Dieses Testreferenzjahr (sog. TRY-Datensatz) ist auch als Klimadatensatz für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 [10] in gemäßigten Klimaregionen Deutschlands (Regionen B)

zugrunde zu legen. Für sommerkühle Regionen (A) und sommerheiße Regionen (C) sind die TRY-Datensätze der Standorte Rostock (TRY-Region 2) und Mannheim (TRY-Region 12) zu verwenden.

Die vorbeschriebenen Klimadaten beschreiben aktuelle mittlere klimatische Verhältnisse. Für Einzelbetrachtungen werden darüber hinaus sowohl für die energetische Bilanzierung nach DIN V 18599 als auch für die thermischen Simulationsrechnungen jeweils Zukunfts-Klimadaten aus [9] zugrunde gelegt.

2.1.8 Variation der Fenstereigenschaften

Für die Berechnungen wird in der überwiegenden Zahl der Fälle ein Rahmenanteil von 30 % angenommen. Zusätzlich erfolgt für ausgewählte Fälle die Betrachtung von 20 % Rahmenanteil. Die Variation der U_W- und g-Werte erfolgt wie in den Abschnitten 2.1.8.1 und 2.1.8.2 beschrieben. Aus insgesamt 7 U_W-Werten mit jeweils 10 g-Werten resultieren insgesamt 70 unterschiedliche Fenstervarianten für die Bilanzierungen nach DIN V 18599 [11] und aus 2 U_W-Werten mit jeweils 10 g-Werten ergeben sich 20 unterschiedliche Fensterqualitäten für die Simulationsrechnungen zum Sommerfall. Die Variation von U_W- und g-Wert beschreibt dabei die Wertebereiche, innerhalb derer reale Kombinationen heutiger Fenster in Erscheinung treten.

2.1.8.1 Variation U_W-Werte

Für die Bewertung hinsichtlich der Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge und der Auswirkungen auf den Nutzenergiebedarf Heizen werden die Kombinationen aus Glas und Rahmen werden für die Berechnungen so gewählt, dass ein U_W-Wertebereich zwischen 1,3 W/(m²K) und 0,70 W/(m²K) abgebildet wird. Die Schrittweite beträgt 0,10 W/(m²K), sodass insgesamt 7 U_W-Werte ausgewertet werden.

Für denselben Wertebereich erfolgen auch die Simulationsrechnungen für den Sommerfall. Aufgrund der untergeordneten Bedeutung des U_W-Wertes im Sommer und dem deutlich höheren Rechenaufwand bei Simulationsrechnungen werden hier aber nur die U_W-Werte 1,3 und 0,70 W/(m²K) als obere und untere Grenze betrachtet.

2.1.8.2 Variation g-Werte

Für jeden U_W-Wert werden Fenster angelegt, sodass ein g-Werte-Bereich von 0,06 bis 0,60 abgedeckt ist. Die Schrittweite beträgt hier 0,06, sodass insgesamt 10 Fenstervarianten je U_W-Wert berechnet werden.

2.1.9 Weitere Randbedingungen für den Sommerfall

2.1.9.1 Beweglicher Sonnenschutz

Die Wirksamkeit eines beweglichen Sonnenschutzes wird häufig über einen sogenannten F_C-Wert beschrieben. Dabei ist der F_C-Wert allerdings eine Kenngröße, welche die Wirksamkeit eines Sonnenschutzes stets in Verbindung mit dem Fenster bzw. Fensterglas (und dessen g-Wert) beschreibt. Ein und derselbe Sonnenschutz weist somit bei Einsatz mit unterschiedlichen Gläsern auch unterschiedliche F_C-Werte auf und ist insofern kein Kennwert für den Sonnenschutz, sondern als Kennwert für das System Sonnenschutz und Fenster zu verstehen. Eine weitere verbreitete Möglichkeit, die Wirksamkeit eines Sonnenschutzes zu beschreiben, liegt in der Verwendung der Größe g_{tot} (Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung inklusive Sonnenschutz). Auch diese Größe bezieht sich immer auf das System Fenster und Sonnenschutz. Die Berechnung erfolgt, wie in Gleichung (2-1) beschrieben.

$$g_{tot} = g \cdot F_C \qquad (2\text{-}1)$$

mit:

g_{tot}	*Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung inklusive Sonnenschutz*
g	*Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung*
F_C	*Abminderungsfaktor Sonnenschutz*

Der F_C-Wert kann somit, ausgehend von Gleichung (2-1) rechnerisch über das Verhältnis von g_{tot} zu g bestimmt werden.

$$F_C = \frac{g_{tot}}{g} \tag{2-2}$$

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen im theoretischen Bereich zwischen F_C = 1,0 (ohne Sonnenschutz bzw. Sonnenschutz nicht thermisch wirksam) und F_C = 0 (kein Energiedurchlass bei vorhandenem Sonnenschutz) bewertet. Die Schrittweite beträgt dabei ΔF_C = 0,10.

2.1.9.2 Nachtlüftung

Zur Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens werden Simulationsrechnungen für die beiden Situationen nach DIN 4108-2 [10], Abschnitt 8.4.2 i) durchgeführt:

1. Nachtlüftung nur über Grundluftwechsel und
2. erhöhte Nachtlüftung bzw. erhöhter Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit (hierbei wird ein 2-facher Luftwechsel angesetzt. Berechnungen zu einem hohen Luftwechsel mit n = 5 h^{-1} erfolgen im Rahmen dieser Studie nicht)

2.2 Bewertung der Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge

Die Ausführung der Gebäudehülle hat einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf für Heizen und Kühlen. Zur Beschreibung der Bauteilqualitäten in Bezug auf das winterliche Wärmeverhalten ist der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) etabliert. Dieser Kennwert beschreibt abhängig von Schichtenaufbau des betreffenden Bauteils (Schichtdicken und Wärmeleitfähigkeiten der Materialen), welcher Transmissionswärmestrom sich über das Bauteil bei einer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen einstellt. Je geringer der U-Wert, desto geringer Wärmestrom und desto besser demzufolge die energetische Qualität des Bauteils. Dieser Kennwert ist für opake (also nicht transparente Bauteile) hinreichend genau, bei transparenten Bauteilen hingegen sind neben den Transmissionswärmeverlusten auch solare Wärmeeinträge entscheidend für die energetische Qualität. Zur Bestimmung der solaren Wärmeeinträge wird hierfür der g-Wert des transparenten Bauteils benötigt. Dieser Verglasungskennwert beschreibt den „wärmewirksamen“ Anteil der außen auf einer Scheibe auftreffenden Solarstrahlung, welcher den dahinter liegenden Raum erreicht und setzt sich zusammen aus einem transmittierten Strahlungsanteil sowie einem radiativen Wärmeeintrag infolge Strahlungsabsorption der inneren Scheibe. Wieviel der solaren Wärmeeinträge tatsächlich nutzbar ist, d.h. den Energiebedarf für Heizen reduziert, hängt von zahlreichen Einzeleinflüssen ab. Die Quantifizierung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge und das Herausarbeiten der Einzelabhängigkeiten ist wesentlicher Gegenstand der Bearbeitung dieser Studie.

2.2.1 Einfluss von U_W-Wert und g-Wert auf den Energiebedarf für Heizen

Die Optimierung einer baulichen Ausführung bezogen auf den Sommerfall bedeutet, dass die solaren Wärmeeinträge minimiert werden müssen. Erfolgt diese Optimierung durch statische Lösungen, wie im Fall von Sonnenschutzgläsern, bei denen ein niedriger g-Wert die solaren Wärmeeinträge permanent reduziert, wirkt sich dies nachteilig auf den Heizwärmebedarf aus, da auch während der Heizperiode entsprechend niedrige solare Wärmeeinträge im Raum anfallen. Für einen exemplarisch ausgewählten Raum werden der Einfluss des U_W-Wertes und der Einfluss des g-Wertes auf den Heizwärmebedarf in Bild 2-5 veranschaulicht. Hierin ausgewertet ist die prozentuale Veränderung des Heizwärmebedarfs bezogen eine Ausführung mit einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) mit einem g-Wert von 0,60. Diese Bezugssituation wird in Bild 2-5 durch die obere linke Ecke des Diagramms beschrieben. Ausgehend von dieser Kombination erfolgt nach rechts die Verringerung des g-Wertes und nach unten die Reduzierung des U-Wertes. In horizontaler Ebene (also bei gleichbleibendem U-Wert) lässt sich aus dem Diagramm ab-

lesen, welchen Einfluss die Veränderung des g-Wertes auf den Heizwärmebedarf hat. In vertikaler Ebene (also bei gleichbleibendem g-Wert) kann der Einfluss der Verringerung des U-Wertes abgelesen werden. Durch die in Bild 2-5 eingetragene Linie in orange werden U_W-/g-Wert-Kombinationen beschrieben, welche bezogen auf den Heizwärmebedarf gleichwertig zur Kombination U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 sind. Rechts von der orangenen Linie sind weitere parallele Linien eingezeichnet, durch die jeweils Erhöhungen des Heizwärmebedarfs um 2,5 Prozent bezogen auf den Heizwärmebedarf der orangenen Linie bedeuten. Sinngemäß sind Bedarfsreduzierungen links unterhalb der orangenen Linie und Bedarfserhöhungen rechts oberhalb abzulesen. Hierzu folgende Beispiele:

(1) Bei einem U-Wert von 1,3 W/(m²K) ergibt sich bei einer Ausführung mit einem g-Wert von 0,30 im Vergleich zu einer Ausführung mit g = 0,60 ein um 15 % höherer Heizwärmebedarf

(2) Bei einer Verbesserung des U-Wertes von 1,30 auf 0,95 W/(m²K) (bei gleichbleibendem g-Wert von 0,60) ergibt sich eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs um 12,5 %

(3) Für die Kombination U_W = 0,90 W/(m²K) mit g = 0,30 ergibt sich im Vergleich zu U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 keine Veränderung im Nutzenergiebedarf Heizen, da sich diese Kombination genau auf der hier orange dargestellten Trennlinie zwischen dem grünlichen und dem bräunlichen Diagrammhintergrund befindet.

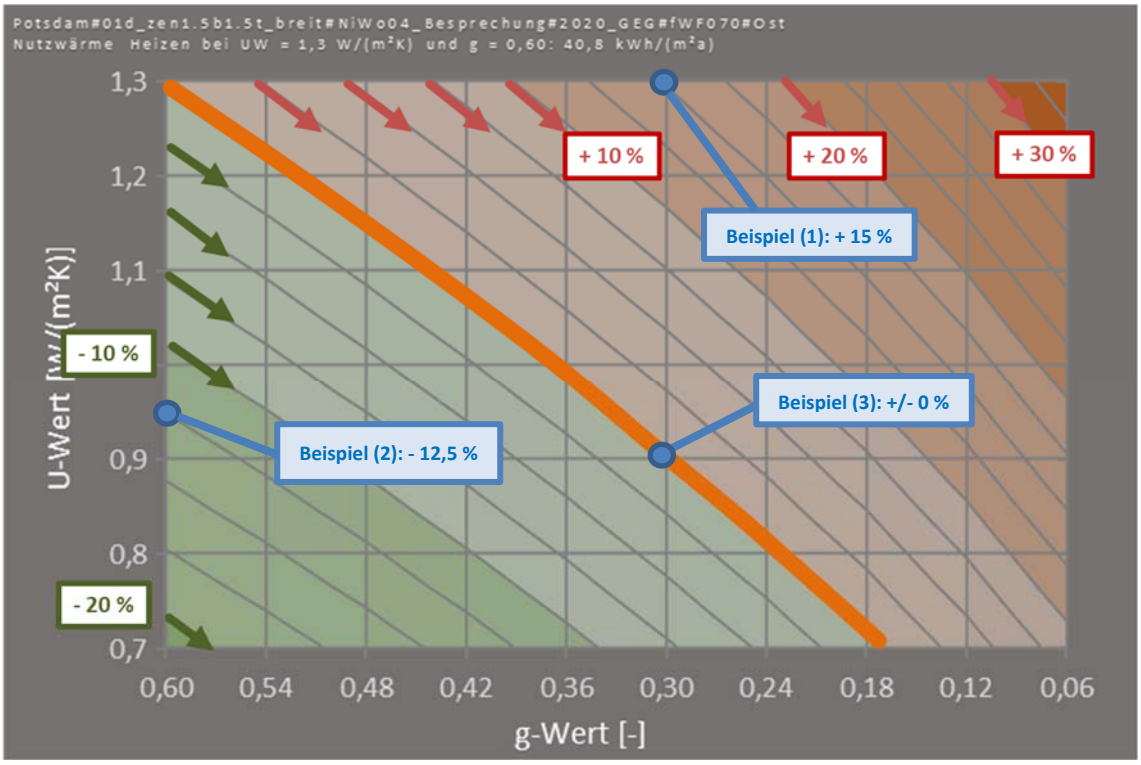


Bild 2-5: **Darstellung zu Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von dem U_W-Wert des Fensters und von dem g-Wert der Verglasung**

Da in Verbindung mit der Pflicht zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 je nach individuellen Gegebenheiten die Ausführung mit Gläsern, die hohe g-Werte aufweisen, nicht möglich ist (z.B. wenn bei hohen Fensterflächenanteilen aufgrund einer hohen Windbeanspruchung kein außen liegender Sonnenschutz möglich ist), ist es erforderlich, diese Limitierungen in der Ausführbarkeit möglichst frühzeitig zu identifizieren. Hierzu erfolgt mit Abschnitt 2.3.3 auf Basis der Auswertung wie in Bild 2-5 eine Zusammenführung der Betrachtung des Winterfalls mit den Limitierungen des Sommerfalls.

2.2.2 Äquivalenter U-Wert als Kenngröße zur Bewertung der energetischen transparenter Bauteile

Für Fenster bzw. Verglasungen kann ein sog. äquivalenter U-Wert angegeben werden (kurz: U_{eq}). Das Wort "äquivalent" kommt aus dem Lateinischen und bedeutet "gleichwertig". Äquivalente U-Werte für Fenster und Verglasungen beschreiben nicht allein die Transmissionswärmeverluste als Kenngröße, sondern berücksichtigen auch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge. U_{eq} ergibt sich aus der Jahreswärmebilanz des Fensters, indem die Transmissionsverluste und die nutzbaren solaren Gewinne miteinander verrechnet werden. Der äquivalente U-Wert kann verstanden werden als Kenngröße für den Wärmedurchgang durch das Fenster unter Berücksichtigung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge in der Ganzjahresbilanz und ermöglich den direkten Vergleich zu U-Werten opaker Bauteile. Im Gegensatz zum U-Wert, der vom Grundsatz „nur" zur Quantifizierung der Wärmeverluste dient, können somit leicht verständlich die nutzbaren solaren Wärmeeinträge beschrieben werden. Insbesondere anhand der Gegenüberstellung des U-Wertes zu dem entsprechenden U_{eq}-Wert kann die Bedeutung der solaren Wärmegewinne für die Energiebilanz eines Raumes oder Gebäudes abgelesen werden. Da -anders als im Fall der Transmissionswärmeverluste- die Höhe der solaren Einstrahlung hinsichtlich der Nutzbarkeit eine große Rolle spielt, resultieren grundsätzlich je Orientierung bei ansonsten gleichen Randbedingungen unterschiedliche U_{eq}-Werte. Für die Berechnung eines äquivalenten U-Wertes wird von folgender Berechnungsgleichung (2-3) ausgegangen (s. a. [12]):

$$U_{eq} = U - g \cdot S_F \qquad (2\text{-}3)$$

mit:

U_{eq}	*äquivalenter U-Wert*
U	*U-Wert*
g	*g-Wert*
S_F	*Strahlungsgewinnkoeffizient*

Mithilfe des sogenannten Strahlungsgewinnkoeffizienten (S_F-Wert) kann der Einfluss unterschiedlich nutzbarer solarer Wärmeeinträge beschrieben werden. Im einfachsten Fall wird dabei nur hinsichtlich der Orientierung eines Fensters unterschieden, wie z.B. bereits in der Wärmeschutzverordnung 1995 [13] vorgesehen und in einem Positionspapier der Verbände [2] vorgeschlagen (siehe auch [1]). Neben der Orientierung eines Fensters gibt es allerdings zahlreiche weitere Einflüsse auf die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge. Während diese für den Anwendungsfall Wohngebäude noch vergleichsweise überschaubar sind, ist der Anwendungsfall Nichtwohngebäude sehr heterogen, was auch für die Nutzbarkeit bzw. Nicht-Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge von Bedeutung ist.

Als wesentliche Einflüsse sind dabei in erster Linie zu beachten:

1. die Größe des Fensters bzw. der (z.B. auf die Grundfläche bezogene) Fensterflächenanteil als wesentlicher geometrischer Einfluss,
2. die Fensterneigung und die Fensterorientierung
3. die Höhe der internen Wärmeeinträge als wichtiger nutzungsbedingter Einfluss

Darüber erfolgt werden im Rahmen der vorliegenden Studie Berechnungen für folgende weitere Einflüsse bewertet:

4. das Wärmeschutzniveau,
5. die Bauart und
6. das Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Die im Weiteren dokumentierten Berechnungen und Ergebnisse sollen zum einen verwendet werden, um den Einfluss der Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge in der Anwendungsbandbreite der DIN V 18599 hinreichend zu beschreiben. Darüber hinaus soll die Bearbeitung einen

fortgeschriebenen Vorschlag zur Implementierung der U_{eq}-Methodik in die Anforderungssystematik eines künftigen GEG für Bauteil-Einzelanforderungen hervorbringen.

2.2.3 Methodik zur Ermittlung von S_F-Werten zur Bestimmung von äquivalenten U-Werten

Mit der Verwendung eines äquivalenten U-Wertes wird die energetische Qualität eines transparenten Bauteils unter Berücksichtigung

1. der Transmissionswärmeverluste sowie
2. der nutzbaren solaren Wärmeeinträge

beschrieben. Zur Bestimmung der fallweise relevanten U-Werte erfolgt die energetische Bilanzierung einzelner Räume mit dem Monatsbilanzverfahren der DIN V 18599 [11]. Ausgehend von einer Bilanzierung für ein Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 wird für jede zu betrachtende Einzelsituation ein Bezugs-Energiebedarf (Nutzenergiebedarf Heizen) bestimmt. Für das in Bild 2-6 gezeigte Diagramm bestimmt dieser Energiebedarf den Bezugswert in der oberen linken Ecke. Als weitere Kombinationen folgt nun die energetische Bilanzierung für Kombinationen von U_W- und g-Werte für jeden einzelnen Gitterpunkt aus Bild 2-6 (also insgesamt 70 Einzelberechnungen). Ausgehend von dem Bezugsenergiebedarf der Kombination U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 in der oberen linken Ecke wird über die farbliche Darstellung in Bild 2-6 die prozentuale Veränderung im Nutzenergiebedarf Heizen dargestellt. Kombinationen von U_W- und g-Wert, welche auf der orangen eingezeichneten Linie liegen, sind äquivalent (also gleichwertig zu dem Bezugsenergiebedarf oben links). Für Bild 2-6 ist als exemplarisches Beispiel für die Erläuterung der Systematik zur Herleitung von S_F-Werten ein ostorientierter Besprechungsraum (Raummodell zen1.5b1.5t_breit, vgl. Darstellung in Bild 2-2) mit einem 70 prozentigen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil zugrunde gelegt.

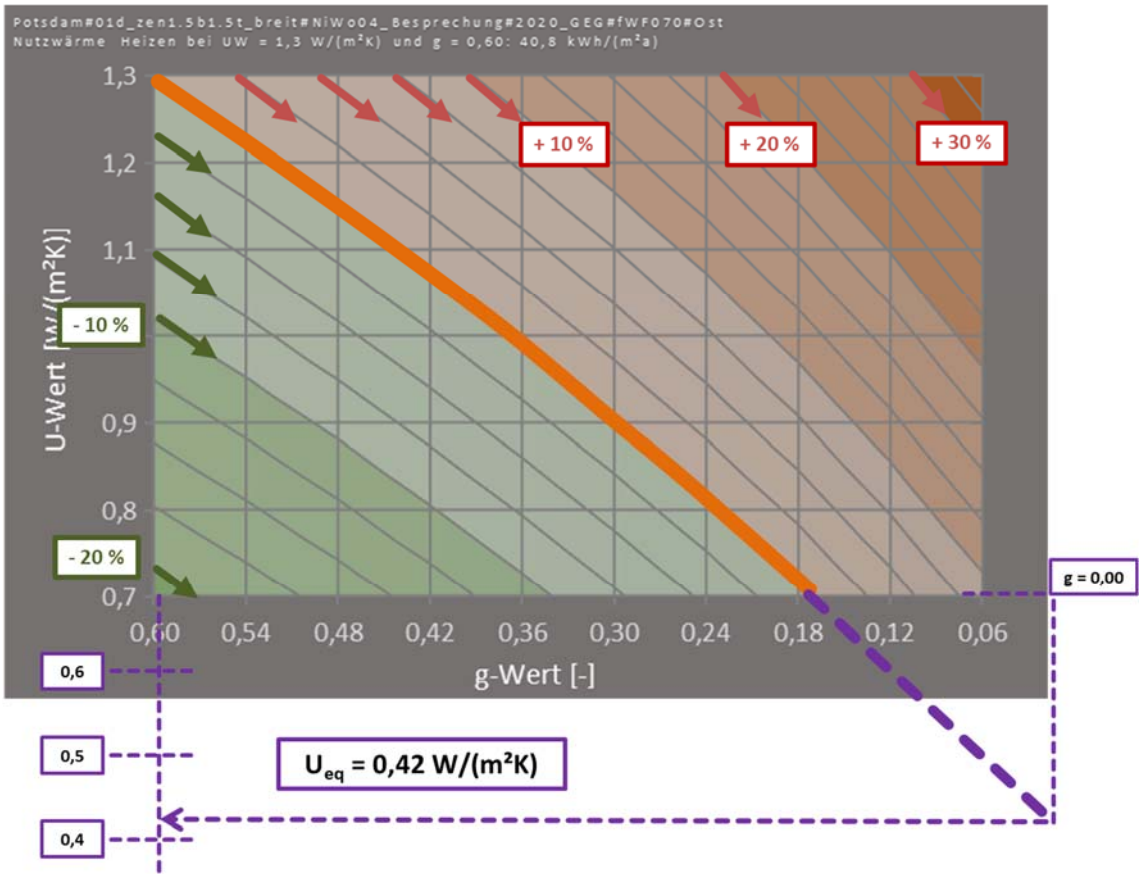


Bild 2-6: Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von U_W- und g-Wert des Fensters

Jeweils parallel zu dieser orangen Linie sind weitere grauen Linien eingezeichnet. Diese markieren in jeweils 2,5 %-Schritten eine Bedarfserhöhung (rechts oberhalb in den bräunlichen Bereich) bzw. eine Bedarfsminderung (links unten in den grünlichen Bereich.) Eine Fortführung

der orangen Linie (in Bild 2-6 durch die lila gestrichelte Linie) bis auf die Höhe des Abszissenwertes (g-Wertes) von 0 und anschließendes Ablesen des Ordinatenwertes der lila gestrichelten Linie liefert für das vorliegende Beispiel eine U-Wert (genau: den äquivalenten U-Wert) von 0,42 W/(m²K). Dieser U-Wert beschreibt gemäß obiger Erläuterung eine zur Situation U_W = 1,30 mit g = 0,60 energetisch gleichwertige Lösung bei einem g-Wert von 0. Ein g-Wert von 0 bedeutet, dass keine wärmewirksamen solaren Einträge anfallen und die energetische Gleichwertigkeit zu der benannten Fensterqualität ausschließlich durch den U_{eq}-Wert beschrieben wird.

Hieraus lässt sich dann durch Umstellung der Gleichung (2-3) der S_F-Wert für das beschriebene Bespiel wie folgt ermitteln:

$$S_F = \frac{U_W - U_{eq}}{g} = \frac{1{,}3 - 0{,}42}{0{,}6} = 1{,}5\ W/(m^2K) \qquad (2\text{-}4)$$

Zur differenzierten Quantifizierung der fallweise nutzbaren solaren Wärmeeinträge erfolgen umfangreiche Auswertungen unter Kombination sämtlicher in Abschnitt 2.1 benannter Parameter bzw. der dort beschriebenen Einzeleinflüsse. Aus dieser Untersuchung wird ein Vorschlag zur Vorgabe von S_F-Werten für DIN V 18599 erarbeitet. Weitergehende Erläuterungen sowie die Beschreibung der vorgeschlagenen Systematik erfolgen in Abschnitt 8.3 des vorliegenden Berichts.

2.2.4 Methodik zur Bestimmung eines Transferkoeffizienten $H_{T,S}$‘ zur Berücksichtigung von Transmissionswärmeverlusten und nutzbaren solaren Wärmeeinträgen

2.2.4.1 Derzeitige Nebenanforderungsgröße H_T‘

Wie weitergehend in Abschnitt 9.1.1 erläutert, richtet sich die Nebenanforderung an die Qualität der wärmeübertragenden Hüllfläche bei neu zu errichtenden Wohngebäuden derzeit an den auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen, spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T‘.

Dieser ist in DIN18599-2, Anlage F definiert und errechnet sich zu:

$$H_T' = \frac{H_{T,D} + H_{T,WB} + \sum_j F_{x,j} \cdot H_{T,iu.j} + \sum_k F_{x,k} \cdot H_{T,s.k}}{A} \quad \text{in W/(m²K)} \qquad (2\text{-}5)$$

mit:

H_T‘	*der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmetransferkoeffizient in W/(m²K);*
$H_{T,D}$	*der Transmissionswärmetransferkoeffizient zwischen der beheizten und/oder gekühlten Gebäudezone und außen in W/K;*
$H_{T,WB}$	*der Transmissionswärmetransferkoeffizient für zweidimensionale Wärmebrücken in W/K;*
$H_{T,iu,j}$	*der Transmissionswärmetransferkoeffizient zwischen beheizten und/oder gekühlten und unbeheizten Gebäudezonen j in W/K;*
$H_{T,s,k}$	*der Wärmetransferkoeffizient der beheizten und/oder gekühlten Gebäudezone über Erdreichflächen k in W/K;*
$F_{x,j,k}$	*der Temperatur-Korrekturfaktor*
A	*die wärmeübertragende Umfassungsfläche in m²*

Dabei beinhaltet die Größe $H_{T,D}$ die Transmissionswärmeverluste über die Außenbauteilflächen an Außenluft (Wand, Dach, Fenster), die Größe $H_{T,WB}$ die zusätzlichen Transmissionswärmeverluste infolge Wärmebrücken, der erste Summand im Zähler (Index j) die Transmissionswärmeverluste über Bauteilflächen zwischen der beheizten und oder gekühlten Gebäudezone und unbeheizten Gebäudezonen und der zweite Summand im Zähler (Index k) die Transmissionswärmeverluste über erdreichberührte Bauteile. Sollen nun die solaren Wärmegewinne in die Betrachtung einbezogen werden, wäre es prinzipiell denkbar, mittels äquivalenter U-Werte der

Fensterflächen ein äquivalentes $H_{T,D,eq}$ und gegebenenfalls äquivalente Größen $H_{T,iu,j,eq}$ zu bilden. Die U_{eq}-Werte müssten dann aufgrund der beschriebenen Zusammenhänge mit geeigneten, tabellierten S_F-Werten zonenweise mindestens orientierungs- und nutzungsabhängig und in Abhängigkeit der Fensterfläche gebildet werden, wodurch sich der Berechnungsaufwand und ggf. die Fehleranfälligkeit deutlich erhöhen würde. Durch die Festlegung auf einen fixen S_F-Wert ergibt sich zudem immer auch ein gewisses Maß an „Unschärfe“, wenn z.B. die Nutzungsrandbedingungen oder die Fensterfläche von den tabellierten Werten abweichen. Für eventuell zu berücksichtigende Bauteilsituationen zwischen beheizten und unbeheizten Zonen müssten S_F-Werte zunächst aufwändig ermittelt werden.

2.2.4.2 Das Bilanzverfahren der DIN V 18599-2 und äquivalente U-Werte

Bereits im Jahr 1988 wurde gezeigt (vgl. [12]), dass die S_F-Werte außer von den meteorologischen Daten des Standortes und der Orientierung analog zum Ausnutzungsgrad η nur noch vom Verhältnis der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten abhängen und sich in guter Näherung mit Hilfe eine e^2-Ansatzes berechnen lassen. Die Zusammenhänge sind mit Bild 2-7 dargestellt.

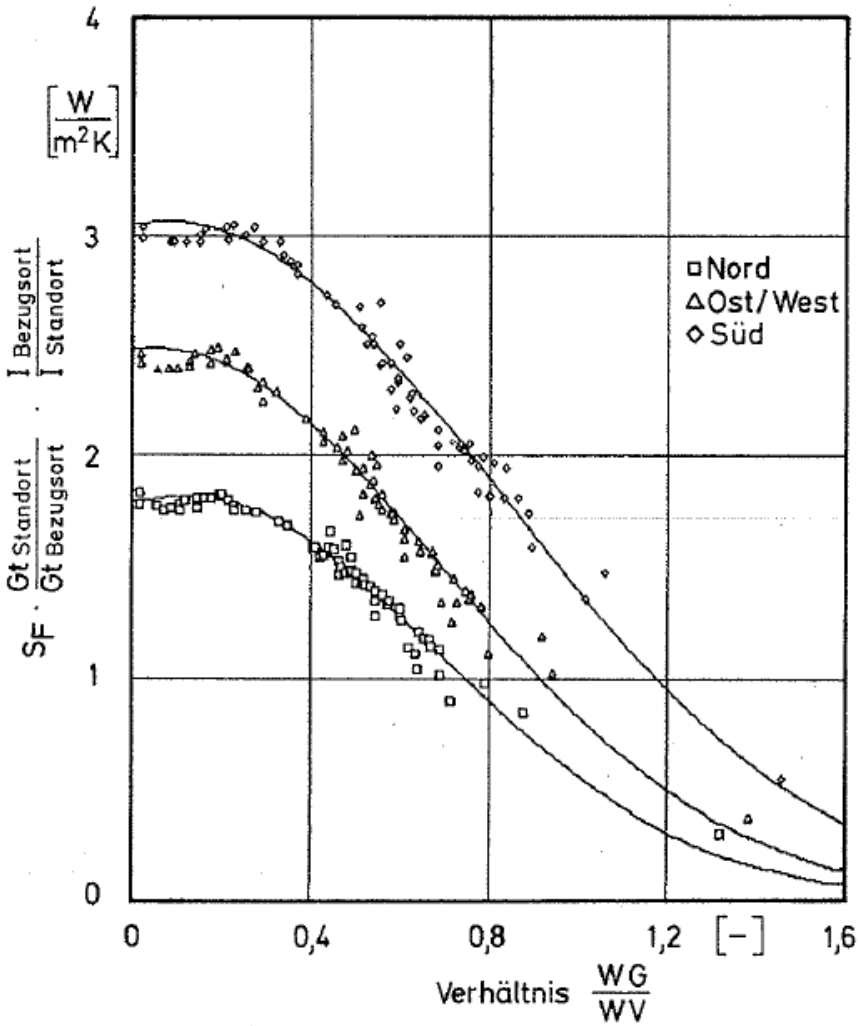


Bild 2-7: Abhängigkeit des Strahlungsgewinnkoeffizienten vom Verhältnis der Wärmegewinne (WG) zu den Wärmeverlusten (WV), Auszug aus [12]

Hierfür ist orientierungsabhängig ein Satz von 4 Konstanten heranzuziehen. Die Wärmegewinne und Wärmeverluste sind bei der Bilanzierung bereits bekannte Größen. Prinzipiell wäre es daher denkbar, auf Monatsbasis für die einzelnen Fenster des Gebäudes bzw. der Gebäude-

zone äquivalente U-Werte zu berechnen und daraus den monatlichen „äquivalenten Transmissionswärmeverlust“ zu bestimmen. Die Einführung monatlich variabler und gebäudespezifischer U_{eq}-Werte wäre allerdings mit einem hohen Erläuterungsbedarf verbunden und dürfte auch aufgrund des erhöhten Aufwands in der Praxis nicht akzeptiert werden. Nach [12] sind zudem die orientierungsabhängigen Konstanten für die Anwendung in einem Gradtagzahlverfahren mit festgelegter Heizperiode (Standort Essen) bestimmt. Für die Anwendung im Rahmen eines Monatsbilanzverfahren müssten die Konstanten aufwändig für den Referenzstandort Potsdam neu festgelegt werden. Die beschriebene Vorgehensweise mit monatlichen S_F- bzw. U_{eq}-Werten wurde getestet und wäre theoretisch auch umsetzbar, wird aber verworfen, da die im Folgenden beschriebene Systematik der Bestimmung eines geeigneten Transferkoeffizienten auf Basis bereits beschriebener Rechengänge der DIN V 18599 erfolgen kann.

2.2.4.3 Methodik Wohnnutzung

Gegenwärtig erfolgt nach GEG [3] die Formulierung der Nebenanforderung (Anforderung an die bauliche Mindestqualität) bei Wohngebäuden (Neubau) über den sogenannten spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transmissionswärmetransferkoeffizienten (kurz: H_T‘-Wert, siehe auch Ausführungen in Abschnitt 9.1.1).

Es wird empfohlen, diese Anforderungsgröße in die Kenngröße des spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transferkoeffizienten $H_{T,S}$‘ zu überführen, welche die nutzbaren Wärmeeinträge berücksichtigt.

Die Ermittlung dieses Kennwertes kann auf Grundlage einer energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 erfolgen. Hiernach ist im Fall von Wohngebäuden wie folgt zu verfahren:

1. In einem ersten Schritt sind die Transmissionswärmeverluste über alle Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche monatsweise zu bestimmen.
2. Jeweils unter Berücksichtigung der **monatlich bestimmten Ausnutzungsgrade** der solaren und internen Wärmeeinträge werden ebenfalls monatsweise die **nutzbaren solaren Wärmeinträge** ermittelt und
3. von den monatsweise bestimmten Transmissionswärmeverlusten subtrahiert. Ergebnis dieser Berechnung sind die verbleibenden Wärmeverluste über die Gebäudehülle. Diese können auch als **äquivalenter Wärmeverlust** bezeichnet werden.
4. Unter Berücksichtigung der mittleren monatlichen Außentemperatur und der mittleren Bilanzzonentemperatur (bei Wohnnutzung entspricht dies der mittleren Gebäudeinnentemperatur) werden **monatsweise Gradtagstunden** bestimmt.
5. Durch Division der nach 3. bestimmten äquivalenten Wärmeverluste durch die Summe der nach 4. bestimmten Gradtagstunden sowie bezogen auf die Fläche der wärmetauschenden Gebäudehülle lässt sich der **Transferkoeffizient $H_{T,S}$‘** bestimmen.

Eine ausführliche formelmäßige Beschreibung der Methodik zur Aufnahme in DIN V 18599 sowie die Dokumentation eines Berechnungsbeispiels erfolgt in den Abschnitten 8.3.1 und 8.3.2.

2.2.4.4 Methodik Nichtwohnnutzung

Bei Nichtwohngebäuden, bei denen in der Regel eine mehrzonige Berechnung aufgrund unterschiedlicher Nutzungsrandbedingungen erforderlich ist, kann im Prinzip dieselbe Systematik zur Bestimmung eines $H_{T,S}$‘-Wertes zur Anwendung kommen, wie zuvor für Wohngebäude beschrieben. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass -anders als bei Wohngebäuden- zwischen Nutzungszeiten und Nichtnutzungszeiten zu differenzieren ist. Dies bedeutet, dass die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge auch getrennt für Nutzungs- und Nichtnutzungszeiten zunächst bilanzzonenweise erfolgen muss. Rechnerisch ist diese Differenzierung relevant für die monatliche Bestimmung

- der Transmissionswärmeverluste,

- der solaren und internen Wärmequellen,
- der Nutzungsgrade der Wärmequellen und
- der Gradstundenwerte

Darüber hinaus können bei der Bilanzierung nach DIN V 18599 neben beheizten Zonen auch niedrig beheizte Zonen berücksichtigt werden, wobei dann für die zu berücksichtigende Bilanzzonentemperatur ein entsprechend niedrigerer Wert anzusetzen ist.

Im Ergebnis führt dieser Berechnungsschritt zu einem $H_{T,S}$'-Wert für jede einzelne Bilanzzone. Der $H_{T,S}$'-Wert für das Gesamtgebäude ergibt sich durch eine auf den Anteil der Bilanzzonenhüllfläche an der Gesamthüllfläche bezogenen Wichtung dieser Einzelwerte.

Bei der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 erfolgt die Bestimmung des benannten Ausnutzungsgrades η durch ein Näherungsverfahren. Dies erfolgt monatsweise, sodass der nutzbare Anteil der Wärmequellen (hierbei werden sämtliche Wärmequellen berücksichtigt) im Bilanzgang ebenfalls zunächst monatsweise bestimmt und anschließend aufsummiert wird.

Eine ausführliche formelmäßige Beschreibung der Methodik zur Aufnahme in DIN V 18599 sowie die Dokumentation eines Berechnungsbeispiels erfolgt in den Abschnitten 8.3.1 und 8.3.3.

2.3 Bewertung des Sommerfalls und Zusammenführung von Winter- und Sommerfall

Damit Gebäude sowohl im Sommer als auch im Winter einen hohen thermischen Komfort und eine gute energetische Perfomance aufweisen können, ist es erforderlich, bereits im Zuge der Planung von Gebäuden die Auswirkungen baulicher Eigenschaften und Kennwerte auf das sommerliche und winterliche Verhalten zu untersuchen. Eine gleichzeitige Optimierung für Sommer und Winter kann in der Regel nur unter Einsatz von dynamischen Systemen erfolgen. Insbesondere für transparente Bauteile, wie das System Fenster, sind dynamische Lösungen von besonderer Bedeutung, da die thermischen und strahlungsphysikalischen Eigenschaften die Überwindung eines Zielkonflikts erfordern: Während im Winter hohe g-Werte und niedrige U-Werte dafür sorgen, dass hohe solare Wärmeeinträge in Verbindung mit geringen Transmissionswärmeverlusten zu möglichst geringen Energiebedarfen für die aktive Beheizung sorgen, führen gerade diese Eigenschaften im Sommer zu einer hohen thermischen Belastung bzw. hohen Energiebedarfen für Kühlung. Hohen solaren Wärmeeinträgen im Sommer kann also nur begegnet werden, indem Maßnahmen zur Reduzierung der solaren Einträge ergriffen werden. Dies erfolgt in der Regel durch Einsatz beweglicher Sonnenschutzvorrichtungen. Da aber nicht nur die Reduzierung der solaren Wärmeeinträge zur Sicherstellung thermischer Behaglichkeit erforderlich ist, sondern auch das Abführen von Wärme aus Räumen, die sich infolge solarer und interner Wärmeeinträge aufheizen, sind im Zuge der nachhaltigen Planung möglichst Maßnahmen zu ergreifen, durch die eine erhöhte Nachtlüftung bzw. ein erhöhter Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit möglich ist. Insbesondere für den Anwendungsfall der Nichtwohnnutzung ist hierbei zu beachten, dass stets ein Witterungs- und Einbruchsschutz gegeben sein muss.

Für die im Rahmen der vorliegenden Studie angestellten Untersuchungen werden Fälle mit und ohne Sonnenschutz betrachtet. Darüber hinaus wird zusätzlich differenziert zwischen Situationen mit und ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit. Die folgenden Abschnitte erläutern zunächst die Vorgehensweise zur Identifizierung von Lösungen für den Sommerfall.

2.3.1 Identifizierung von Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz ohne beweglichen Sonnenschutz

Für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach GEG 2020 [3] müssen neu zu errichtenden Gebäude die Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 [10] erfüllen. Hiernach ist entweder über ein vereinfachtes Sonneneintragskennwertverfahren oder durch thermische Simulationsrechnung der Nachweis zu erbringen, dass die Anforderungen eingehalten werden. Hiernach für die Ausführung zulässige Situationen werden für diese Studie über Simulationsrechnungen ermittelt. Für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der über die Nutzungszeit bestimmte Übertemperaturgradstundenwert den Anforderungswert in Höhen von 500 Kh/a nicht überschreitet. Für Wohngebäude gilt die Anforderung als erfüllt, wenn der Übertemperaturgradstundenwert 1.200 Kh/a nicht überschreitet.

Die Einhaltung der vorbeschriebenen Anforderungswerte kann, bezogen auf die Eigenschaften eines Fensters, abhängig von der Kombination aus U_W-Wert und g-Wert-Wert beschrieben werden. Hierzu erfolgt anhand von Bild 2-8 eine beispielhafte Darstellung. Hieraus geht hervor, welche Kombinationen aus U_W- und g-Wert für den Fall einer unterstellten Möglichkeit zu einem erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit (blaue Linie) sowie für den Fall ohne erhöhten Luftwechsel (rote Linie) eine Einhaltung der Anforderungen gewährleisen. Für den U_W-Wert wird ein Wertebereich zwischen 0,70 und 1,3 W/(m²K) und für den g-Wert ein Wertebereich zwischen 0,06 und 0,60 dargestellt. Tabelle 2-1 stellt zunächst eine Legende für die Darstellung in Bild 2-8 zur Verfügung.

Tabelle 2-1: Legende zu Bild 2-8

Fall	Beschreibung
ohne SS mit NL	Fenster ohne Sonnenschutz, mit erhöhter Nachtlüftung
ohne SS ohne NL	Fenster ohne Sonnenschutz, ohne erhöhte Nachtlüftung

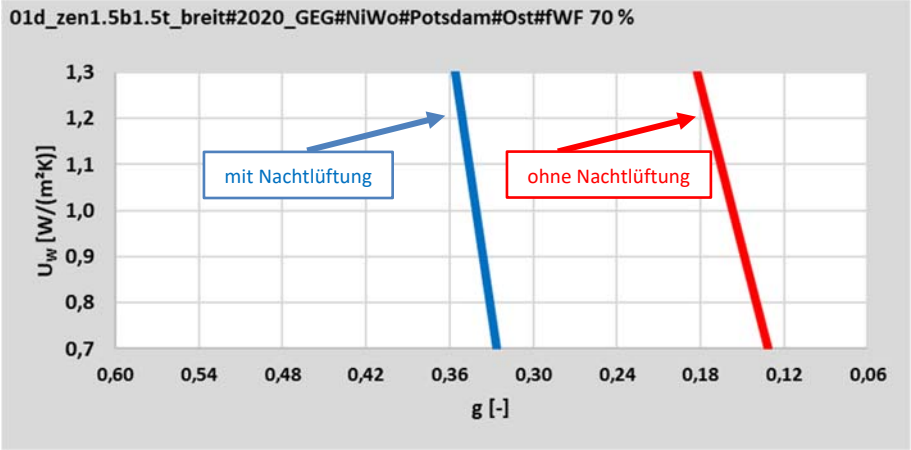


Bild 2-8: Identifizierung von höchstens zulässigen g-Werten zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach GEG 2020 [3] bzw. DIN 4108-2 [10] bei Einsatz von Fenstern ohne beweglichen Sonnenschutz.

Die rote und blaue Linie in Bild 2-8 beschreiben jeweils die Grenzen der zulässigen Kombinationen aus U_W- und g-Wert, mit denen die Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 eingehalten werden. Alle Kombinationen aus U_W- und g-Wert, die sich jeweils links von diesen Linien befinden, stellen unzulässige Ausführungen dar, da für diese Fälle der Übertemperaturgradstunden-Anforderungswert von 500 Kh/a überschritten würde. Alle Kombinationen auf und rechts von den Linien führen nach Simulation zu Übertemperaturgradstunden gleich bzw. kleiner 500 Kh/a. Wird hiernach ein U_W-Wert von 1,3 W//(m²K) angenommen, so ist für den hier dargestellten Fall (Raum: zen1.5b1.5t_breit; Wärmeschutzniveau Außenwand: gemäß Referenzausführung GEG 2020, Orientierung: Ost; fassadenbezogener Fensterflächenanteil: Ost; Nutzung: Nichtwohnnutzung) ein g-Wert von höchstens 0,36 zulässig, wenn die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung (bzw. zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit) besteht. Besteht nicht die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung, darf höchstens ein g-Wert von 0,18 ausgeführt werden.

2.3.2 Identifizierung von Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz mit beweglichem Sonnenschutz

Analog zur Beschreibung im vorigen Abschnitt erfolgt über die Darstellungen in Bild 2-9 und Bild 2-10 die Identifizierung von Lösungen zur Einhaltung der Anforderungen nach DIN 4108-2 für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Analog zur Auswertung in Bild 2-8 kann anhand dieser Darstellungen ermittelt werden, welche g-Werte in Verbindung mit einem jeweils unterstellten F_C-Wert (F_C = 0,60 in Bild 2-9 und F_C = 0,20 in Bild 2-10) höchstens zulässig sind, um die Anforderungen nach DIN 4108-2 einzuhalten. Auch hier gilt, dass für Situationen links der dargestellten Graphen jeweils der zulässige Übertemperaturgradstundenwert von 500 Kh/a überschritten wird. Situationen auf und rechts der Graphen beschreiben hingegen Situationen, mit denen die höchstens zulässigen Übertemperaturgradstunden eingehalten bzw. unterschritten werden. Es werden die mit Tabelle 2-2 beschriebenen Fälle betrachtet.

Tabelle 2-2: Legende zu Bild 2-9 und Bild 2-10

Fall	Beschreibung
mit SS mit NL	mit Sonnenschutz und mit erhöhter Nachtlüftung
mit SS ohne NL	mit Sonnenschutz und ohne erhöhte Nachtlüftung

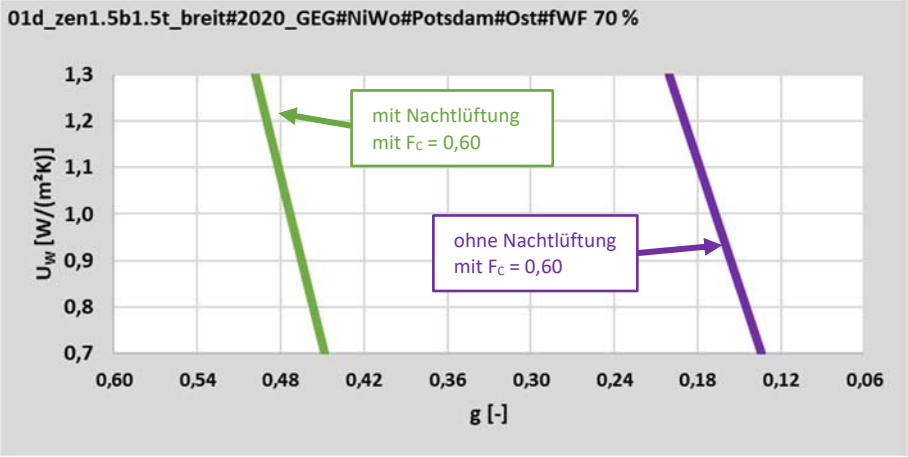


Bild 2-9: Identifizierung von höchstens zulässigen g-Werten in Verbindung mit einem F_C-Wert von 0,60 zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach GEG 2020 [3] bzw. DIN 4108-2 [10]

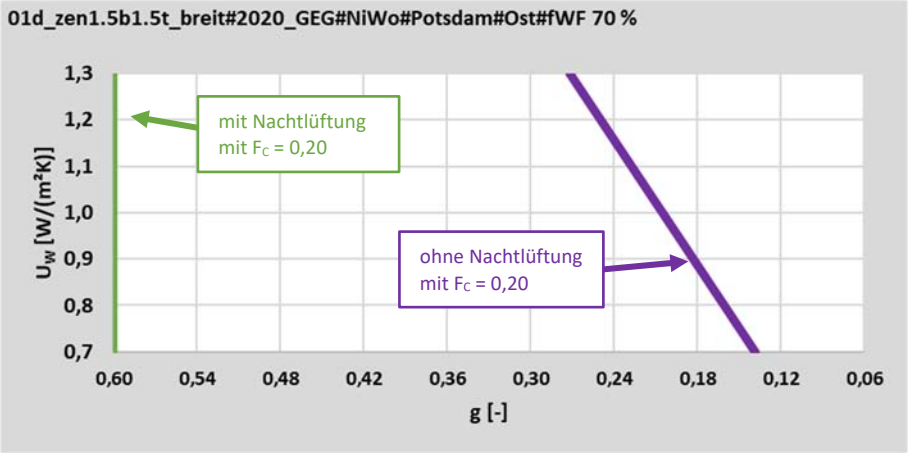


Bild 2-10: Identifizierung von höchstens zulässigen g-Werten in Verbindung mit einem F_C-Wert von 0,20 zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach GEG 2020 [3] bzw. DIN 4108-2 [10]

Aus den Darstellungen in Bild 2-9 (für Kombination mit F_C = 0,60) und Bild 2-10 (für Kombination mit F_C = 0,20) geht hervor, welche g-Werte fallweise in Kombination den F_C-Werten von 0,60 bzw. 0,20 maximal zulässig sind, um mit (grüner Graph) und ohne erhöhte Nachtlüftung (lila Graph) die Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sicherzustellen. Für den Betrieb des Sonnenschutzes wird eine Aktivierung ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m² unterstellt. Diese Steuerung des Sonnenschutzes entspricht der für Nichtwohnnutzung in DIN 4108-2 beschriebenen Standardaktivierung. Bei einer Aktivierung bereits bei niedrigerer Grenzbestrahlungsstärke sind jeweils auch höhere g-Werte zulässig. Um dies rechnerisch für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zu berücksichtigen, müsste allerdings eine automatische Betriebsweise sichergestellt bzw. umgesetzt werden. Die im Rahmen dieser Studie unterstellte Aktivierung ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m² ist stellvertretend für einen manuell bedienten Sonnenschutz. Die Variation der Grenzbestrahlungsstärke wurde im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

2.3.3 Zusammenführung von Winter- und Sommerfall

2.3.3.1 Beispiel Nichtwohnnutzung

Ausgehend von der mit Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Darstellung der Einflüsse des U-Wertes und des g-Wertes auf den Nutzenergiebedarf Heizen erfolgt durch die exemplarischen Darstellungen in Bild 2-11 die Zusammenführung mit den Auswertungen der Abschnitte 2.3.1 und 2.3.2, mit denen die Limitierungen des Sommerfalls für die Situationen mit und ohne beweglichen Sonnenschutz erläutert werden.

Bild 2-11 links und rechts unterscheiden sich lediglich in Bezug auf die darin abgebildeten Fälle mit Sonnenschutz, wobei die Graphen in grün und lila links jeweils für eine Kombination mit einem F_C-Wert von 0,60 und rechts für eine Kombination mit F_C = 0,20 gelten.

Tabelle 2-3: Legende zu Bild 2-11

Fall	Beschreibung
ohne SS mit NL	Fenster ohne Sonnenschutz, mit erhöhter Nachtlüftung
ohne SS ohne NL	Fenster ohne Sonnenschutz, ohne erhöhte Nachtlüftung
mit SS mit NL	mit Sonnenschutz und mit erhöhter Nachtlüftung
mit SS ohne NL	mit Sonnenschutz und ohne erhöhte Nachtlüftung

F_C = 0,60 für mit Sonnenschutz (grün) und ohne Sonnenschutz (lila) **F_C = 0,20** für mit Sonnenschutz (grün) und ohne Sonnenschutz (lila)

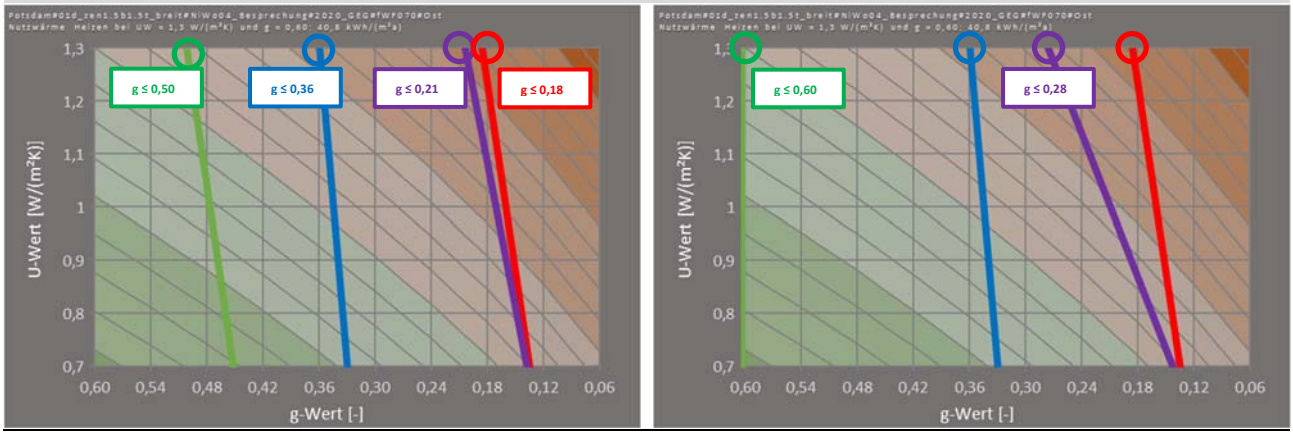


Bild 2-11: Darstellung zu Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von dem U_W-Wert des Fensters und von dem g-Wert der Verglasung mit zusätzlicher Eintragung der U-/g-Limitierungen des Sommerfalls. Die Graphen in grün (mit Nachtlüftung) und lila (ohne Nachtlüftung) stehen hier für die Kombination mit einem F_C-Wert von 0,60 (links) und 0,20 (rechts)

Durch die in Bild 2-11 aufgenommenen Limitierungen des Sommerfalls hinsichtlich ausführbarer Situationen für die Fälle geht unmittelbar hervor, welche Konsequenzen aus dem Sommerfall für die Heizwärmebedarf resultieren bzw. welche Möglichkeiten bestehen, den sommerlichen Wärmeschutz sicherzustellen und welche Konsequenzen daraus fallweise für den Heizenergiebedarf abzuleiten sind.

Zur Erläuterung folgendes Beispiel: Soll in dem zugrunde gelegten Raum (Raum zen1.5b1.5t_breit mit 70 % fassadenbezogenem Fensterflächenanteil in einem ostorientierten Besprechungsraum) zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz kein beweglicher Sonnenschutz eingesetzt werden, kommt hierfür bei einem U_W-Wert von 1,30 W/(m²K) nur ein Glas mit einem g-Wert ≤ 0,36 infrage, wenn zumindest ein erhöhter Luftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit unterstellt werden kann. Besteht die Möglichkeit zum erhöhten Luftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit nicht, so kommen nur Gläser mit einem g-Wert ≤ 0,18 infrage (blauer und roter Graph unterscheiden sich nicht in Bild 2-11). Im Fall mit erhöhtem Luftwechsel bedeutet dies einen Mehraufwand an Heizenergie von ca. 12 % bezogen auf einen g-Wert von 0,60, ohne Möglichkeit des erhöhten Luftwechsels ist mit einem g-Wert von 0,18 bereits ein Mehraufwand an Heizenergie von ca. 22,5 % verbunden. Diese

prozentualen Erhöhungen beziehen sich auf einen Nutzenergiebedarf Heizen bei U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 in Höhe von 40,8 kWh/(m²a).

Wird ein Sonnenschutz mit einem F_C-Wert von 0,60 (z.B. innenliegendes Plissee mit hohem Reflexionsgrad) zugrunde gelegt und wird gleichzeitig von der Möglichkeit eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Anwesenheitszeit ausgegangen, so ist bei einem U-Wert von 1,3 W/(m²K) eine Ausführung mit einem g-Wert ≤ 0,50 (links in Bild 2-11) noch zulässig, was gegenüber einem g-Wert von 0,60 nur einen Mehraufwand an Heizenergie von etwa 4 % bedeutet. Ohne Möglichkeit eines erhöhten Luftwechsels muss g-Wert ≤ 0,21 (links in Bild 2-11). Dies ist gegenüber einer Ausführung ohne Sonnenschutz (g ≤ 0,18) hinsichtlich der Erhöhung des Heizwärmebedarfs nur mit einer geringfügigen Verbesserung verbunden. Kommt hingegen ein Sonnenschutz mit einem F_C-Wert von 0,20 (z.B. außenliegende oder im SZR liegende Jalousie) zum Einsatz und wird die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Anwesenheitszeit unterstellt, kann ein g-Wert von 0,60 (rechts in Bild 2-11) ausgeführt werden, womit der Sommerfall ohne Konsequenz bzgl. einer Erhöhung des Heizenergiebedarfs bleibt. Wird hingegen unterstellt, dass nicht die Möglichkeit zum erhöhten Luftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit besteht, so muss der g-Wert ≤ 0,28 (rechts in Bild 2-11)ausgeführt werden. Dies unterstreicht die hohe Bedeutung eines erhöhten Luftwechsels für das sommerlichen Wärmeverhalten.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass den Simulationsrechnungen für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung im Rahmen dieser Studie eine Betriebsweise des Sonnenschutzes mit Aktivierung ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m² unterstellt ist und dass mit niedrigeren Grenzbestrahlungsstärken auch ein besseres sommerliches Wärmeverhalten erreicht wird (damit einhergehend wäre auch die Umsetzbarkeit entsprechend höherer g-Werte möglich). Dabei ist allerdings zu beachten, dass eine häufigere bzw. frühzeitigere Aktivierung des Sonnenschutzes ggf. auch mit erhöhten Einschaltzeiten für Kunstlicht verbunden sein kann.

2.3.3.2 *Beispiel Wohnnutzung*

Als weitere beispielhafte Auswertungen zur Darstellung der Wechselwirken Winter/Sommer folgen mit Bild 2-12 Auswertungen zum Einfluss von U_W- und g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen für den Anwendungsfall Wohnnutzung mit zusätzlicher Darstellung der Limitierungen aus dem Sommerfall. Der energetischen Bilanzierung liegt das Nutzungsprofil EFH der DIN V 18599-10 zugrunde.

Tabelle 2-4: Legende zu Bild 2-12

Fall	Beschreibung
ohne SS mit NL	Fenster ohne Sonnenschutz, mit erhöhter Nachtlüftung
ohne SS ohne NL	Fenster ohne Sonnenschutz, ohne erhöhte Nachtlüftung
mit SS mit NL	mit Sonnenschutz (F_C = 0,20) und mit erhöhter Nachtlüftung
mit SS ohne NL	mit Sonnenschutz (F_C = 0,20) und ohne erhöhte Nachtlüftung

fassadenbezogener Fensterflächenanteil 50 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil 70 %

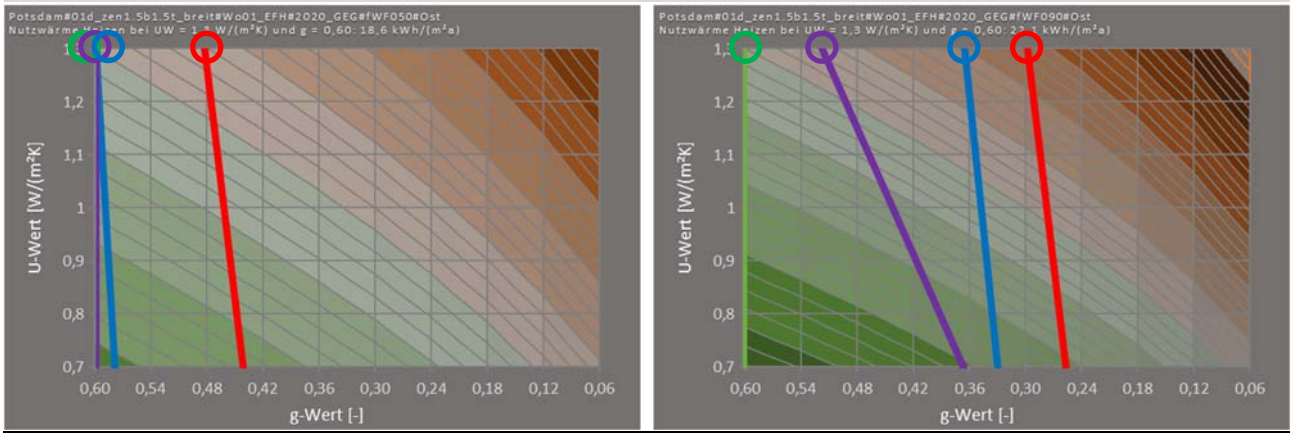


Bild 2-12: Wechselwirkungen Sommer/Winter EFH, GEG 2020, Raum zen1.5b1.5t_breit, Ausrichtung Ost; $f_{W,f}$ = 50 % (links) und 90 % (rechts)

Am Beispiel des Raumes zen1.5b1.5t_breit wird in Bild 2-12 ausgewertet, inwiefern die Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz Einfluss hinsichtlich ausführbarer Lösungen haben. Hiernach sind für den beispielhaft zugrunde gelegten Raum nur diejenigen U-/g-Wert-Kombinationen mögliche Ausführungen, welche sich jeweils auf oder rechts von den eingetragenen Linien befinden. Mit Kombinationen linksseits der Linien werden die maximal zulässigen Übertemperaturgradstundenwerte (bei Wohnnutzung 1.200 Kh/a) überschritten. Für die Fälle mit Sonnenschutz (im Beispiel ein außenliegendes System mit F_C = 0,20) ist bei der Simulation eine Betätigung des Sonnenschutzes ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m² unterstellt (für Nichtwohnnutzung liegt der Standardwert bei 200 W/m²), was im Sinne der zuständigen Norm DIN 4108-2 für den Fall einer manuellen Bedienung zugrunde zu legen ist. Am Beispiel der roten Linie rechts in Bild 2-12, welche für den Fall ohne Sonnenschutz und ohne Nachtlüftung steht, bedeutet die Limitierung für den Sommerfall z. B., dass bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K), also am oberen Ende des Diagramms, ein g-Wert von höchstens 0,30 eingesetzt werden darf. Bezogen auf einen g-Wert von 0,60 bedeutet dies für den Heizwärmebedarf einen Mehrbedarf in Höhe von rund 25 %! Wird für den Raum die Möglichkeit einer erhöhten Nachtlüftung eingerichtet (für Wohnnutzung der Standardfall), so darf ein g-Wert von höchstens 0,36 umgesetzt werden (blaue Linie), was gegenüber dem Normalglas mit g = 0,60 einen Mehraufwand an Heizenergie von 20 % bedeutet. Wird demgegenüber für den Raum ein außenliegender Sonnenschutz mit einem F_C-Wert von 0,20 umgesetzt und gleichzeitig von der Möglichkeit zur Nachtlüftung ausgegangen, so kann ein Normalglas mit einem g-Wert von 0,60 umgesetzt werden (grüne Linie). Für den Fall mit F_C = 0,20 aber ohne erhöhte Nachtlüftung (lila Linie) liegt der maximal zulässige g-Wert bei etwa 0,52, womit gegenüber dem Normalglas bereits ein Mehrbedarf an Heizwärme von 5 % resultiert.

Die in Bild 2-12 dargestellten Auswertungen beschreiben fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50 % (links) und 90 % (rechts), was für diese Raumgeometrie grundflächenbezogen Fensterflächenanteilen von rund 26 % und 47 % entspricht.

Da für den Anwendungsfall Wohnnutzung gemäß DIN 4108-2 [10] in der Regel von der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden kann, sind die Limitierungen bzgl. baubarer U_W-/g-Wert-Kombinationen an dieser Stelle eher informativ. Für innerstädtische Bebauung oder sonstige Situationen mit erhöhter Lärmbeanspruchung oder Räumen in Erdgeschossen sind die tatsächlichen Gegebenheiten allerdings zu beachten und ggf. eingeschränkte Möglichkeiten der erhöhten Nachtlüftung zu berücksichtigen.

3 Ergebnisse zur Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge für den Anwendungsfall Wohngebäude bei Maßnahmen im Bestand

3.1 Vorbemerkung

Dieses Kapitel dient der Darstellung und Diskussion von S_F-Werten für den Anwendungsfall Wohnnutzung. Hierbei wird zwischen EFH (Einfamilienhaus) und MFH (Mehrfamilienhaus) unterschieden.

Neben der obligatorischen Differenzierung hinsichtlich der Orientierung erfolgen einzelne Auswertungen zu folgenden Einzeleinflüssen:

1. dem **Wärmeschutzniveau** des Bauteils, in dem sich das Fenster befindet im Zusammenhang mit dem
2. Vorhandensein einer **Lüftungsanlage**,
3. fassaden- bzw. grundflächenbezogener **Fensterflächenanteil**
4. der **Neigung** des Fensters
5. der Bauart

Ziel der Untersuchung der benannten Einzeleinflüsse ist die Erarbeitung einer Berechnungsvorschrift für DIN V 18599, welche möglichst den gesamten Anwendungsbereich der Norm abdeckt. Die hiernach entwickelte differenzierte Systematik soll die Grundlage für eine vereinfachte Systematik sein, die als Empfehlung für die Fortschreibung der Anforderungen an transparente Bauteile bei der Durchführung von Einzelmaßnahmen für eine fortgeschriebene Fassung des Gebäudeenergiegesetzes darstellen.

3.2 Ausgewählte Ergebnisse S_F-Werte Wohnnutzung

3.2.1 Einfluss von Fensterflächenanteil und Orientierung bei Variation einzelner Einflussgrößen

3.2.1.1 Variation des Wärmeschutzniveaus

Die folgenden Einzelauswertungen weisen die fallweise unter Zugrundelegung der Raumgeometrie zen1.5b1.5t_breit bestimmten S_F-Werte für die vier Haupthimmelsrichtungen und die vier betrachteten Fensterflächenanteile aus.

Zur Beschreibung, inwieweit die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge von dem Wärmebedarf eines Raumes abhängt, wird einerseits das bauliche Wärmeschutzniveau der Außenwand verändert, in welchem sich das Fenster befindet. Hierbei werden folgende Niveaus betrachtet:

Für den Gebäudebestand:

1. bis 1978 (Bild 3-1)
2. WSV 1982 (Bild 3-2)
3. WSV 1995 (Bild 3-3)

Für den Neubau:

4. GEG 2020 (Bild 3-4)
5. EH 55 (Bild 3-5)

Die vorbenannten Niveaus beziehen sich dabei jeweils auf das Wärmeschutzniveau der Außenwand bzw. des Raumes (Zielniveau), wofür die nutzbaren Anteile der solaren Wärmeeinträge bestimmt werden. Für den sanierten Zustand werden somit Fälle betrachtet, bei denen die Bandbreite von reinem Fenstertausch für unterschiedlichen Bestandsqualitäten bis hin zu einer umfänglichen Sanierung inklusive Außenwand und ggf. zusätzlichem Einbau einer Lüftungsanlage beschrieben werden.

Die Darstellungen in Bild 3-1 bis Bild 3-3 beschreiben zunächst anhand der beispielhaft zugrunde gelegten Raumgeometrie zen1.5b1.5t_breit die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge anhand von S_F-Werten, die nach der in Abschnitt 2.2.3 beschriebenen Methodik bestimmt wurden. In jeder Einzeldarstellung erfolgt die Ausweisung von S_F-Werten in vier Einzelblöcken, die von links nach rechts jeweils unterschiedliche Fensterflächenanteile beschreiben. In jedem Block sind die Ergebnisse für die vier Haupthimmelsrichtungen jeweils differenziert für die Nutzungen Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) ausgewiesen.

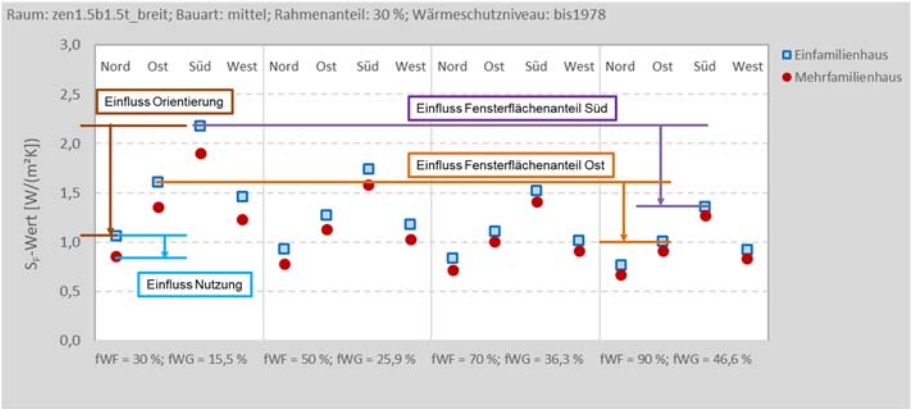


Bild 3-1: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*bis 1978*“**

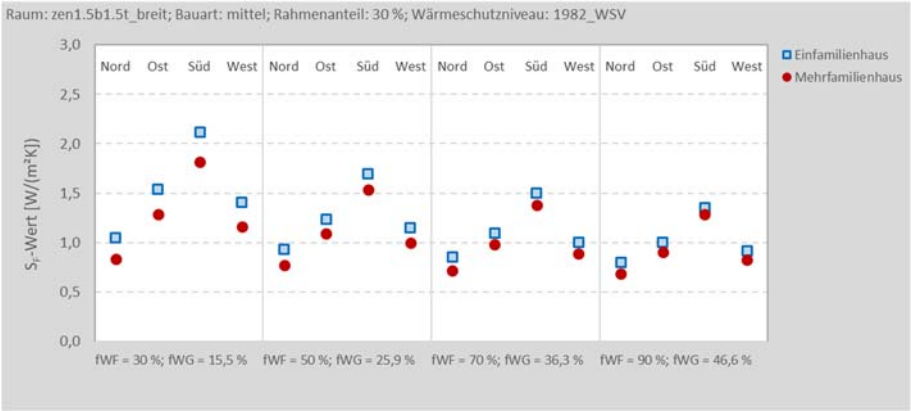


Bild 3-2: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*WSV 1982*“**

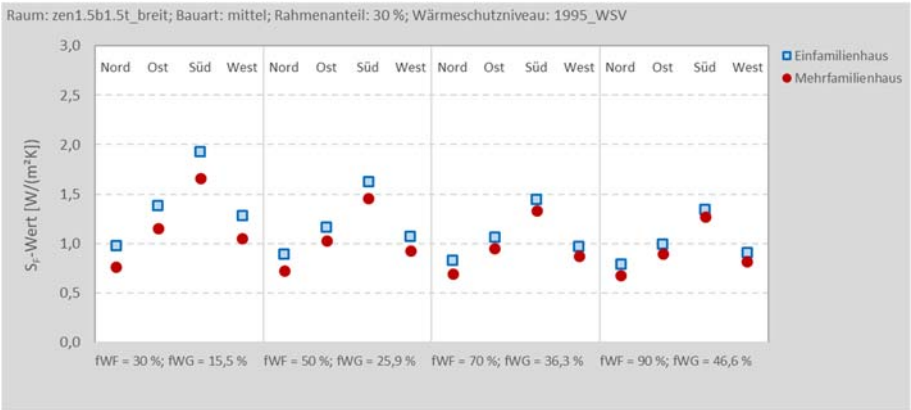


Bild 3-3: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*WSV 1995*“**

Der direkte Vergleich jeweils entsprechender Auswertungen in Bild 3-1 bis Bild 3-3 zeigt, dass mit zunehmendem Wärmeschutzniveau der nutzbare Anteil der solaren Wärmeeinträge abnimmt.

Mit Bild 3-4 und Bild 3-5 erfolgt die Ausweisung von S_F-Werten für unterstellte Neubauniveaus GEG 2020 und EH 55.

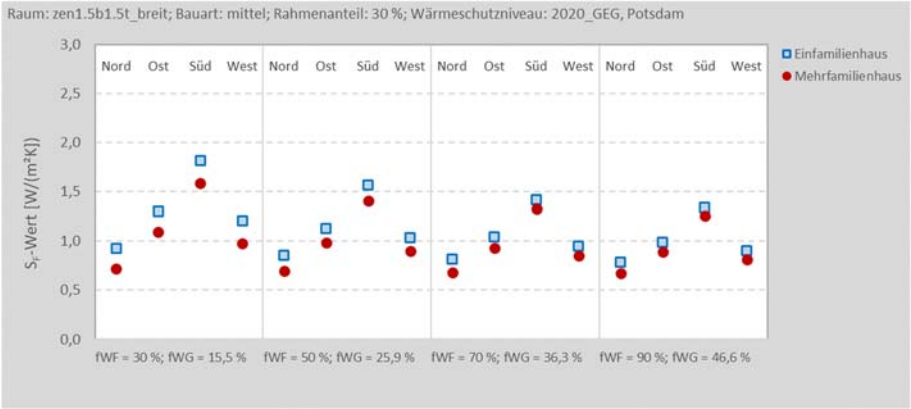


Bild 3-4: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“**

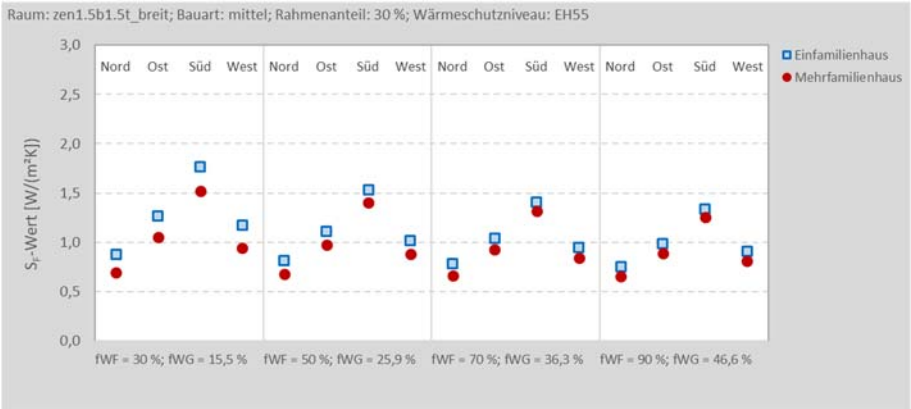


Bild 3-5: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*EH 55*“**

Im Vergleich zu den Bestandsniveaus sinkt die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge unter ansonsten gleichen Randbedingungen mit steigendem Wärmeschutzniveau der Gebäudehülle weiter ab. Für die mit Bild 3-4 und Bild 3-5 betrachteten Niveaus erfolgt zusätzlich eine Auswertung, wobei der Heizwärmebedarf infolge einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung weiter abgesenkt wird. Entsprechende Gegenüberstellungen hierzu folgen in Abschnitt 3.2.1.2.

Anhang von Bild 3-6 erfolgt die Gegenüberstellung der Niveaus „vor 1978“ und „EH 55“.

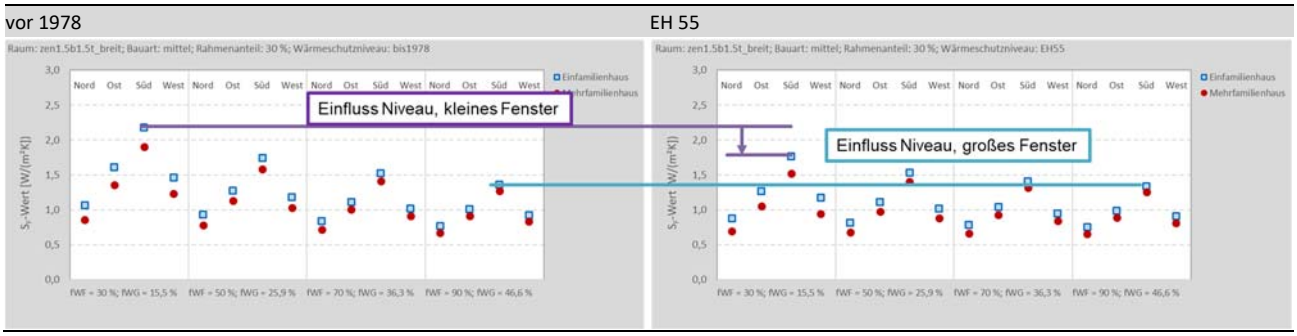


Bild 3-6: **Gegenüberstellung S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH für die Niveaus „*vor 1978*“ und „*EH 55*“**

Die Gegenüberstellung der Niveaus „vor 1978“ und „EH 55“ in Bild 3-6 zeigt, dass der Einfluss des Wärmeschutzniveaus der Außenwand mit zunehmendem Fensterflächenanteil erwartungsgemäß abnimmt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei größer werdendem Fensterflächenanteil der Anteil der Außenwand, worauf sich die Angabe des Wärmeschutzniveaus bezieht, abnimmt. Insofern wird die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge mit zunehmendem Fensterflächenanteil auch zunehmend durch die Kennwerte des Fensters (U- und g-Wert) bestimmt.

Bereits an dieser Stelle gut zu erkennen ist, dass die S_F-Werte mit Zunahme des Fensterflächenanteils abnehmen und somit die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge sinkt. Zum Einfluss des Fensterflächenanteils erfolgt eine gesonderte Betrachtung in Abschnitt 3.2.2.

3.2.1.2 Vergleich Neubauniveaus mit und ohne Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Anhand von Bild 3-7 und Bild 3-8 erfolgt die Gegenüberstellung von S_F-Werten für Situationen ohne (links) und mit (rechts) Lüftungsanlage mit 80 % Wärmerückgewinnung für die Neubauniveaus GEG 2020 und EH 55.

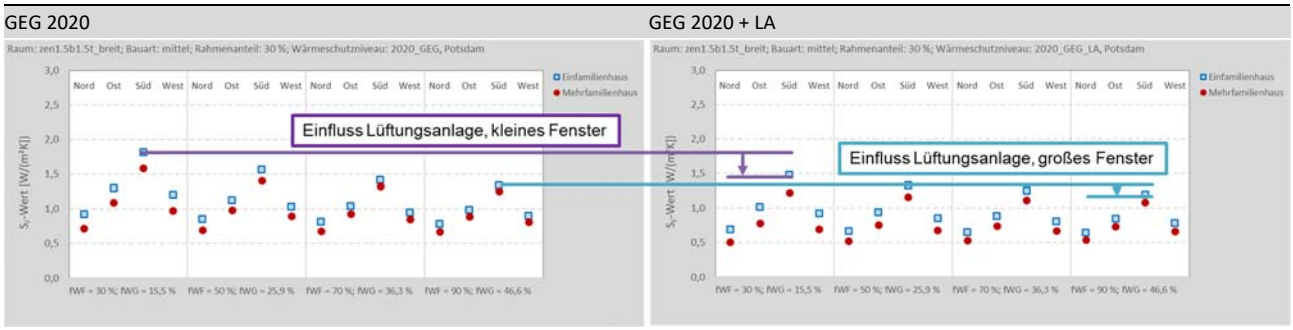


Bild 3-7: Gegenüberstellung S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH für die Niveaus „*GEG 2020*“ und „*GEG 2020 + LA*“

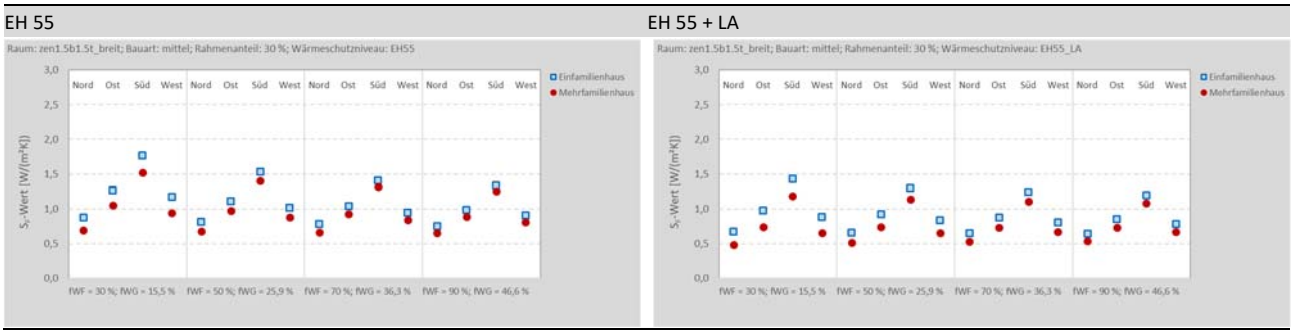


Bild 3-8: Gegenüberstellung S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH für die Niveaus „*EH 55*“ und „*EH 55 + LA*“

Infolge der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ergibt sich im Vergleich zum Fall ohne Lüftungsanlage eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs und in der Folge auch eine deutliche Reduzierung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge.

3.2.2 Detailbetrachtung zum Einfluss der Fensterneigung

Die solare Einstrahlung auf eine Fassade hängt in erster Linie von der Orientierung der Fassade ab. Zusätzlich zur Orientierung hat allerdings auch die Fensterneigung einen Einfluss auf die Höhe der solaren Wärmeeinträge. Die folgenden Auswertungen stellen dar, inwieweit sich die Fensterneigung auf die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge auswirkt. Hierzu erfolgt zunächst in Abschnitt 3.2.2.1 die Ausweisung von Einzelergebnissen für den Zentralraum *zen*, die Dachzentralräume *dachzen30*, *dachzen45* und *dachzen60* sowie den Raum *oben* mit Oberlicht.

3.2.2.1 Einzelergebnisse

Zu den in Bild 3-9 bis Bild 3-13 dargestellten Einzelergebnissen wird darauf hingewiesen, dass jeweils unterschiedliche Fensterflächenanteile ausgewertet werden (für den Raum „zen“ sind dies fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30, 50 70 und 90 Prozent, für die Räume mit geneigten Dachflächen liegen auf die Dachfläche mit 30° Neigung bezogene Fensterflächenanteile von 5, 10, 20 und 30 Prozent zugrunde und im Fall des Raumes „oben“ mit Dachoberlicht werden 5, 10, 20 und 30 Prozent Fensterfläche bezogen auf die Grundfläche ausgewertet).
Eine zusammenfassende Darstellung mit einheitlicher Auftragung der S_F-Werte über den fallweise relevanten grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen erfolgt in Abschnitt 3.2.2.2.

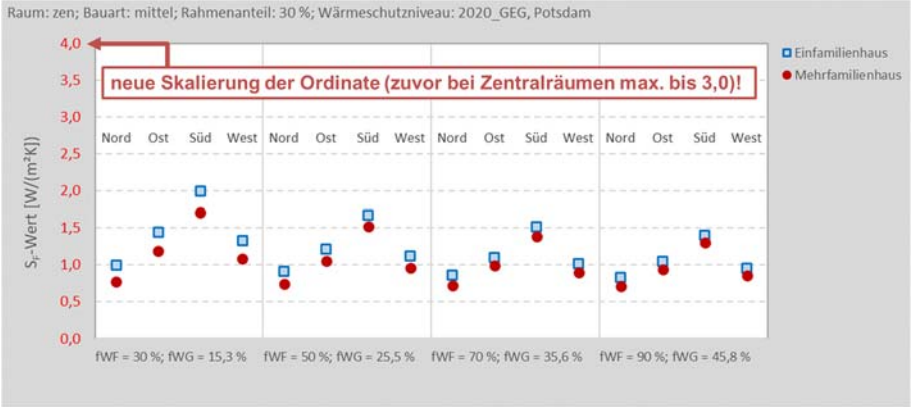


Bild 3-9: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„zen“* (Neigung 90°)**

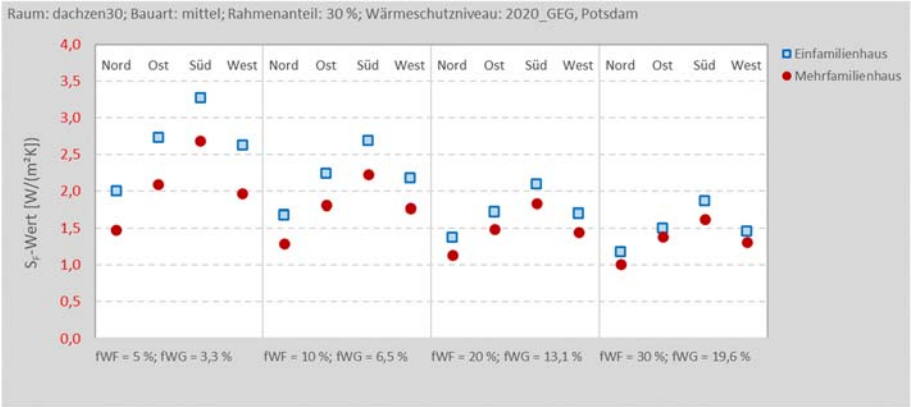


Bild 3-10: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„dachzen30“* (Neigung 30°)**

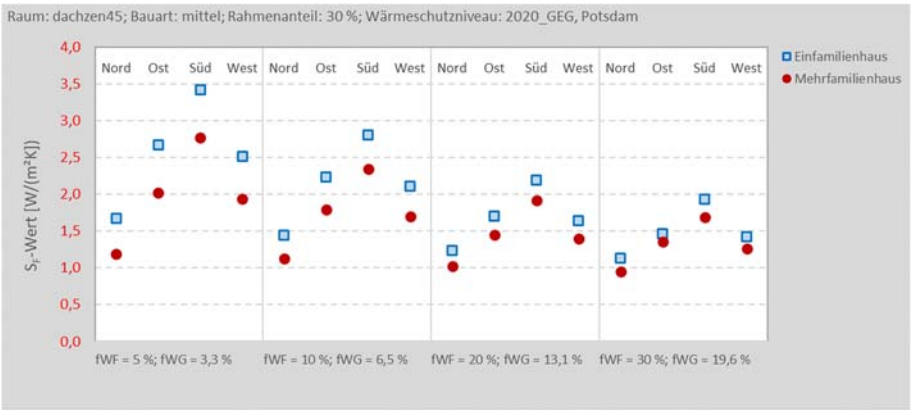


Bild 3-11: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„dachzen45“* (Neigung 45°)**

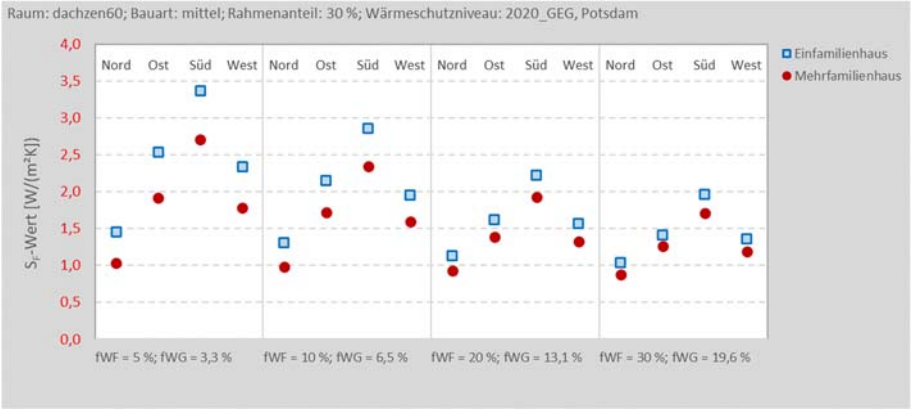


Bild 3-12: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„dachzen60“* (Neigung 60°)**

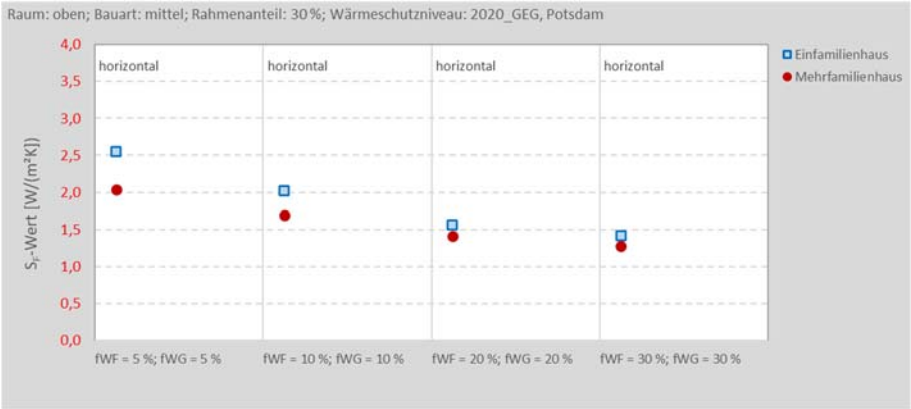


Bild 3-13: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„oben“* (Neigung horizontal)**

3.2.2.2 Zusammenfassung Einfluss Fensterneigung und Orientierung

Für die Nutzung EFH folgt mit Bild 3-14 eine zusammenfassende Gegenüberstellung zum Einfluss der Fensterneigung auf die S_F-Werte zunächst für die Orientierung Süd. Anders als in den vorherigen Einzelauswertungen sind die S_F-Werte hier über dem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil aufgetragen, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Informativ sind in Bild 3-14 auch die nach Wärmeschutzverordnung 1995 sowie die in einem Verbände-Positionspapier vom 23.10.2018 [2] genannten S_F-Werte mit ausgewiesen.

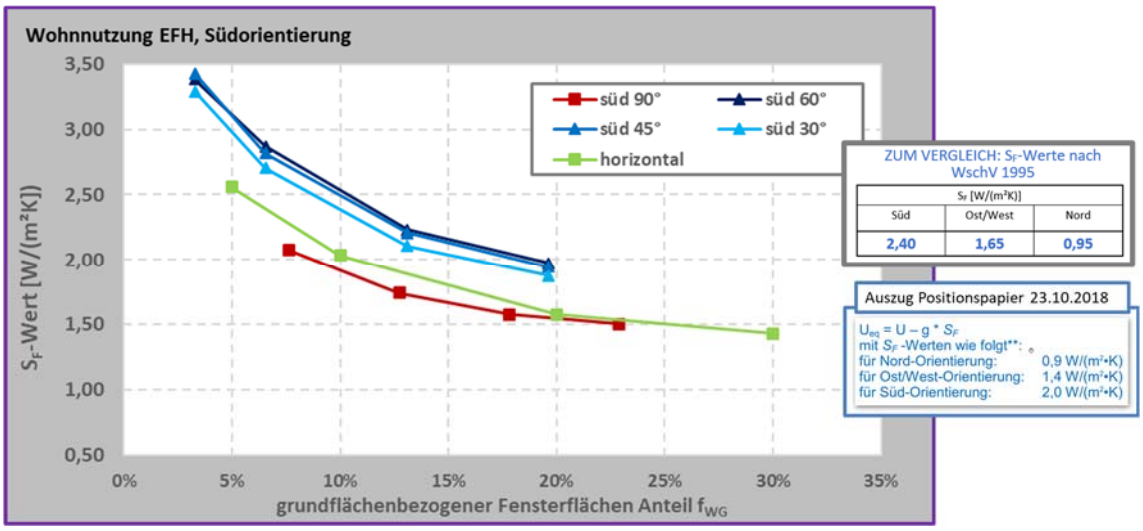


Bild 3-14: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„oben“* (Neigung horizontal)**

Die Auswertungen in Bild 3-14 zeigen, dass sich im Fall der geneigten Fenster (blaue Graphen) für die betrachteten Neigungen 30, 45 und 60 ° vergleichbare S_F-Werte ergeben und dass diese deutlich über den für den senkrechten Fall bestimmte Werten (roter Graph) liegen. Der grüne Graph für den Fall einer horizontalen Fensterlage beschreibt eine ähnliche Abhängigkeit von dem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil wie der Fall Süd 90°.

Bild 3-15 ergänzt die Ergebnisse der S_F-Werte für die übrigen Haupt-Himmelsrichtungen. Hierbei erfolgt eine erneute Darstellung der Süd-Ausrichtung unten links.

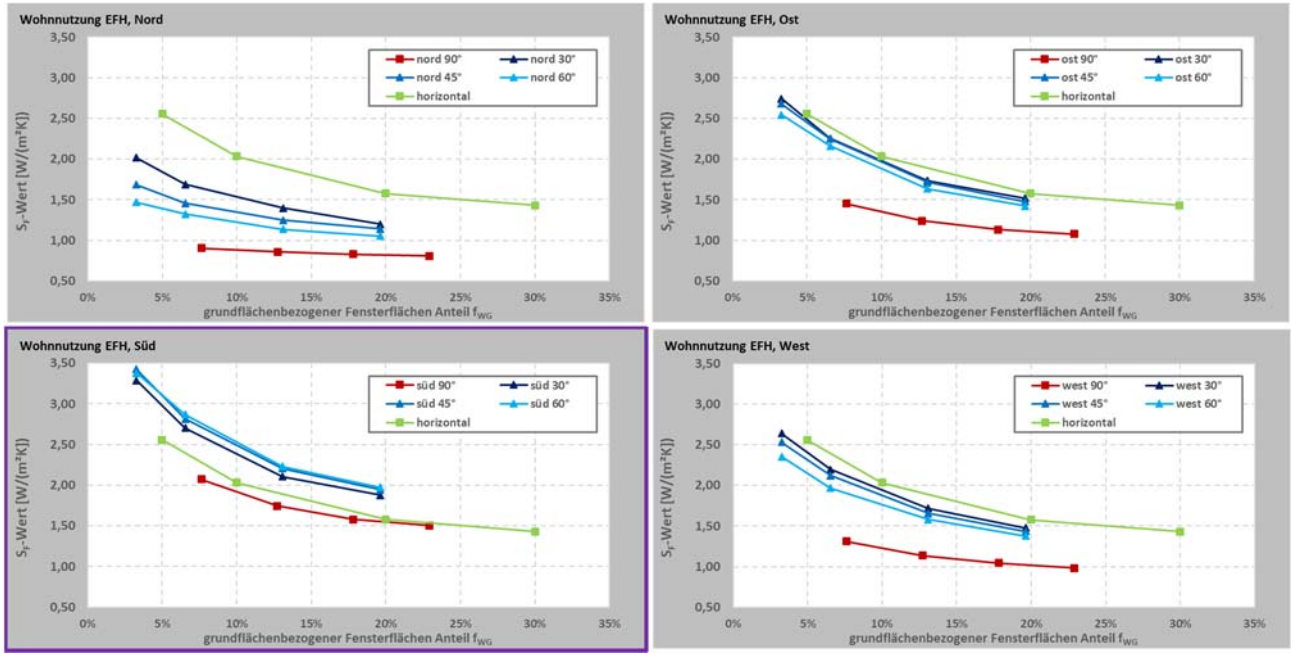


Bild 3-15: **S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„oben“* (Neigung horizontal)**

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Herleitung tabellarisierter S_F-Werte zur Abbildung der Einflüsse Orientierung, Neigung, Wärmeschutzniveau und Fensterflächenanteil und Nutzung

Unter Anwendung der in Abschnitt 2.2.3 beschriebenen Methodik wurde unter Variation zahlreicher Einzeleinflüsse untersucht, welche wesentlichen Abhängigkeiten auf die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge bestehen und in einer entsprechenden Empfehlung zur Verwendung von S_F-Werten berücksichtigt werden sollten. Hiernach abzubildende Einflüsse sind:

- die Orientierung (3)
  Haupthimmelsrichtungen, hierbei Zusammenfassung der Orientierungen Ost und West
- die Neigung (5)
  senkrecht, geneigt für 60°, 45° und 30° sowie für horizontal
- Fensterflächenanteil (3)
  es werden tabellarisierte S_F-Werte für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 10, 20 und 40 % angegeben. Außerdem wird eine Rechenvorschrift für individuelle Fensterflächenanteile bereitgestellt
- Wärmeschutzniveau des Raumes (3)
  Niveaus WSV 1982, WSV 1995 und Neubau (GEG 2020)
- Nutzung (11)
  Wohnnutzung: EFH und MFH;

Nichtwohnnutzung: Einzelbüro, Gruppenbüro, Großraumbüro, Besprechungsraum, Klassenzimmer, Bettenzimmer, Hotelzimmer, Aufenthaltsräume, Arztpraxen

- das Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wird über einen Abschlagsfaktor berücksichtigt

Am Bespiel der Nutzung EFH soll im Folgenden die Herleitung tabellarisierter S_F-Werte beschrieben werden. Zunächst erfolgt hierzu mit Bild 3-16 anhand von vier ausgewählten Situationen die beispielhafte Zusammenstellung aller Einzel-S_F-Werte, welchen jeweils bestimmt wurden. Die Auftragung der S_F-Werte erfolgt hierzu über dem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil. Zur formelmäßigen Darstellung der Abhängigkeit des S_F-Wertes von dem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil sind in Bild 3-16 zusätzlich jeweils Trendlinien eingezeichnet, welche über die angegebenen Potenzfunktionen ($y = a * x^b$, wobei x für den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil steht) beschrieben sind.

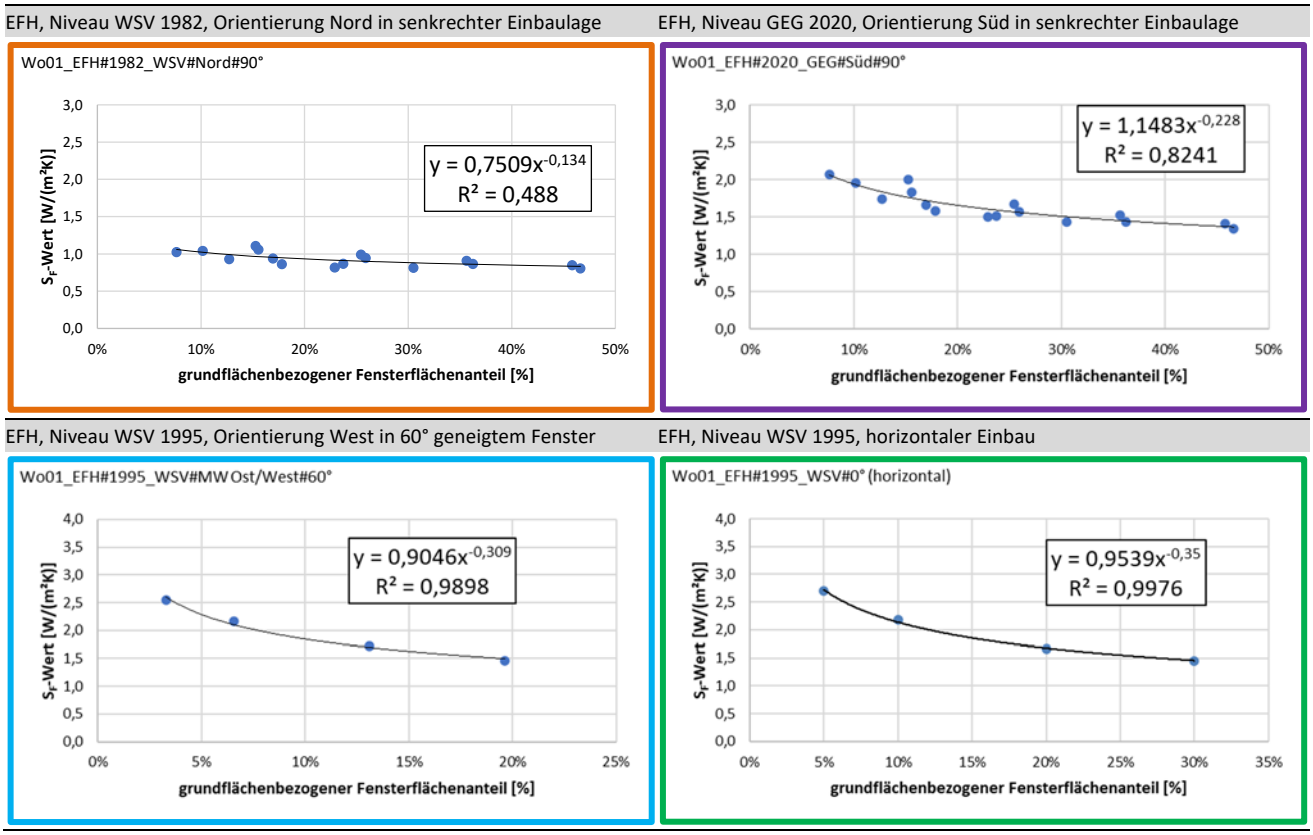


Bild 3-16: **S_F-Werte in Abhängigkeit von dem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil für unterschiedliche Situationen**

Die folgende Tabelle 3-1 stellt am Beispiel der Wohnnutzung EFH den vollständigen Satz der Parameter a und b zur Berechnung von S_F-Werten über die benannte Potenzfunktion dar. Hierbei sind die Wertepaare, die jeweils zu den in Bild 3-16 beschriebenen Fällen gehören, durch einen gleichfarbigen Rahmen entsprechend kenntlich gemacht.

Tabelle 3-1: Parameter a und b zur Berechnung individueller S_F-Werte für den Anwendungsfall Wohnnutzung EFH

Nutzung	Wo01_EFH					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
Parameter	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,751	-0,134	0,809	-0,261	1,123	-0,283
60°	0,893	-0,176	1,032	-0,288	1,399	-0,293
45°	0,893	-0,223	1,038	-0,312	1,301	-0,326
30°	0,946	-0,261	1,043	-0,321	1,234	-0,331
0° (horizontal)	1,054	-0,354				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
Parameter	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,765	-0,097	0,823	-0,222	1,123	-0,254
60°	0,818	-0,185	0,905	-0,309	1,231	-0,314
45°	0,821	-0,229	0,922	-0,324	1,188	-0,329
30°	0,823	-0,282	0,931	-0,332	1,130	-0,335
0° (horizontal)	0,954	-0,350				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
Parameter	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,777	-0,071	0,832	-0,198	1,148	-0,228
60°	0,776	-0,189	0,845	-0,316	1,203	-0,307
45°	0,800	-0,218	0,864	-0,329	1,158	-0,320
30°	0,765	-0,287	0,881	-0,331	1,115	-0,319
0° (horizontal)	0,945	-0,331				

Durch Ansatz der in Tabelle 3-1 benannten Parameter a und b kann für die individuelle grundflächenbezogene Fensterflächenanteile ein S_F-Wert nach Gleichung (3-1) werden.

$$S_F = a * f_{W,g}{}^{b} \qquad (3\text{-}1)$$

Ausgehend von den mit Tabelle 3-1 zur Verfügung gestellten Parametern sind die S_F-Werte für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 10, 20 und 40 Prozent in Tabelle 3-2 zusammengestellt. Die farbliche Kennzeichnung der Fälle aus Bild 3-16 erfolgt auch hier.

Tabelle 3-2: Tabellarisierte S_F-Werte für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 10, 20 und 40 % für den Anwendungsfall Wohnnutzung EFH

Nutzung	Wo01_EFH								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	1,0	0,93	0,85	1,5	1,2	1,0	2,2	1,8	1,5
60°	1,3	1,2	1,0	2,0	1,6	1,3	2,7	2,2	1,8
45°	1,5	1,3	1,1	2,1	1,7	1,4	2,8	2,2	1,8
30°	1,7	1,4	1,2	2,2	1,7	1,4	2,6	2,1	1,7
0° (horizontal)	2,4	1,9	1,5						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,96	0,89	0,84	1,4	1,2	1,0	2,0	1,7	1,4
60°	1,3	1,1	0,97	1,8	1,5	1,2	2,5	2,0	1,6
45°	1,4	1,2	1,0	1,9	1,6	1,2	2,5	2,0	1,6
30°	1,6	1,3	1,1	2,0	1,6	1,3	2,4	1,9	1,5
0° (horizontal)	2,1	1,7	1,3						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,92	0,87	0,83	1,3	1,1	1,00	1,9	1,7	1,4
60°	1,2	1,1	0,92	1,7	1,4	1,1	2,4	2,0	1,6
45°	1,3	1,1	0,98	1,8	1,5	1,2	2,4	1,9	1,6
30°	1,5	1,2	0,99	1,9	1,5	1,2	2,3	1,9	1,5
0° (horizontal)	2,0	1,6	1,3						

Analog zu der vorbeschriebenen Vorgehensweise erfolgt die Bereitstellung von tabellarisierten S_F-Werten für die vordefinierten grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile von 10, 20 und 40 Prozent sowie von tabellarisierten Parametern a und b für individuelle bzw. abweichende Fensterflächenanteile als Vorschlag für die Aufnahme in DIN V 18599-2, wie für den Anwendungsfall Wohnnutzung in den Abschnitten 8.1.1 (tabellarisierte S_F-Werte) 8.2.1 (tabellarisierte Parameter a und b). Hierbei wird zwischen den Nutzungen EFH und MFH unterschieden.

4 Ergebnisse zur Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude bei Maßnahmen im Bestand

4.1 Vorbemerkung

Die differenzierte Betrachtung von Nichtwohngebäuden in Bezug auf die Nutzbarkeit von solaren Wärmeeinträgen ist die zentrale Aufgabenstellung dieser Studie. Während der Anwendungsfall Wohngebäude noch vergleichsweise übersichtlich ist (nur zwei Nutzungen EFH und MFH und deutlich geringere Bandbreite „üblicher“ Fensterflächenanteile), ist die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge in Bezug auf die Reduzierung des Nutzenergiebedarfs Heizen von deutlich mehr Einzeleinflüssen abhängig. In erster Linie kennzeichnend für den Nichtwohnungsbau ist die Vielzahl möglicher Einzelnutzungen (nach DIN V 18599-10:2018-09 sind 41 unterschiedlichen Nutzungsprofile beschrieben), die nach Bilanzierungsvorschrift jeweils einzelnen Bilanzzonen zuzuordnen sind. Je nach anteiliger Zusammensetzung dieser Einzelnutzungen resultiert eine erhebliche Anzahl unterschiedlicher Gebäudetypen, für die jeweils unterschiedliche Nutzbarkeiten solarer Wärmeeinträge gelten. Hierbei sind sicherlich Gebäudetypen vorhanden, die hinsichtlich der Nutzung und der Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge der Wohnnutzung sehr nahekommen (z.B. Kindergärten, Wohnheime, usw.). Andererseits werden Nutzungen und Gebäudetypen beschrieben, welche hinsichtlich der Nutzung und Konditionierung von der Wohnnutzung deutlich abweichen (z.B. Büro- und Verwaltungsbau). Als weiterer wesentlicher Unterschied im Vergleich zur Wohnnutzung kann für Nichtwohngebäude kein „normaler“ bzw. mittlerer Fensterflächenanteil beschrieben werden. Die Bandbreite üblicher Fensterflächenanteile liegt hier zwischen kleinen Fensterflächenanteilen und Ganzglasfassaden.

Hinzu kommt, dass, anders als bei Wohngebäuden, im Fall von Nichtwohngebäuden in der Regel nicht von der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden kann. Auch die Installation von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen ist im Nichtwohnungsbau teilweise wegen der Windbeanspruchung aber auch aus der Kostenperspektive weniger selbstverständlich als im Wohnungsbau. Deshalb ist die Beachtung der „Zwänge“ aus dem Sommerfall für die Nichtwohngebäude von besonderer Bedeutung.

Die Einbeziehung dieser „Wechselwirkungen“ mit dem bislang nicht einbezogenen Sommerfall erfordert insbesondere Beachtung des im Bereich Nichtwohngebäude üblichen Einsatzes von Sonnenschutzgläsern sowie ggf. weiteren Sondergläsern und damit verbundenen Konsequenzen. Hierzu erfolgt die Durchführung von Simulationsrechnungen, da die Anwendung des Sonneneintragskennwertverfahrens nach DIN 4108-2 für eine zielführende Betrachtung der Wechselwirkungen nicht infrage kommt. Die Simulationsrechnungen erfolgen dabei raumweise für dieselben Raummodelle, für welche auch die energetische Bilanzierung nach DIN V 18599 erfolgt. Die Ergebnisse der Bearbeitung werden verwendet, um ggf. eine sinnvolle Begrenzung der für die Bilanzierung solarer Wärmeeinträge anrechenbaren Fensterflächen vorzunehmen. Eine Begrenzung der anrechenbaren Flächen war bereits nach WschV 95 beschrieben, ggf. kann aber auf eine solche Begrenzung verzichtet werden, wenn die zu erarbeitete Systematik für S_F-Werte bereits eine hinreichende Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil abbildet.

4.2 Ausgewählte Ergebnisse S_F-Werte Nichtwohnnutzung

Analog zur Dokumentation der Ergebnisse für den Anwendungsfall Wohnnutzung erfolgt im Weiteren zunächst die Ausweisung von beispielhaften Ergebnissen, bei denen jeweils Einzeleinflüsse in Bezug auf die Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge betrachtet werden.

4.2.1 Einfluss von Fensterflächenanteil und Orientierung bei Variation einzelner Einflussgrößen

Die Höhe der solaren Wärmeeinträge und in der Folge auch die Nutzbarkeit diese hängt im Wesentlichen von der Fensterorientierung und von dem Fensterflächenanteil ab. Die für die

Wohngebäude gewählte Form der Ausweisung von S_F-Werten, wobei jeweils in einem Diagramm der Einfluss von Fensterflächenanteil und Orientierung abgebildet ist, wird deshalb auch für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude beibehalten. Zunächst erfolgt mit den Abschnitten 4.2.1.1 und 4.2.1.2 die Darstellung von S_F-Werten für zwei unterschiedlichen Raummodelle unter Variation des Wärmeschutzniveaus der Außenwand. Betrachtet werden dabei die Niveaus WSV 1982, WSV 1995 sowie GEG 2020.

4.2.1.1 Variation des Wärmeschutzniveaus für den Raum 1.5b1.5t

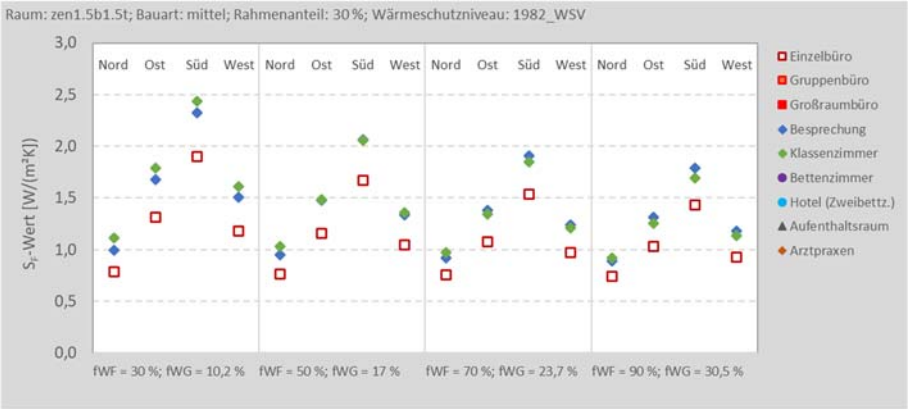


Bild 4-1: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1982“***

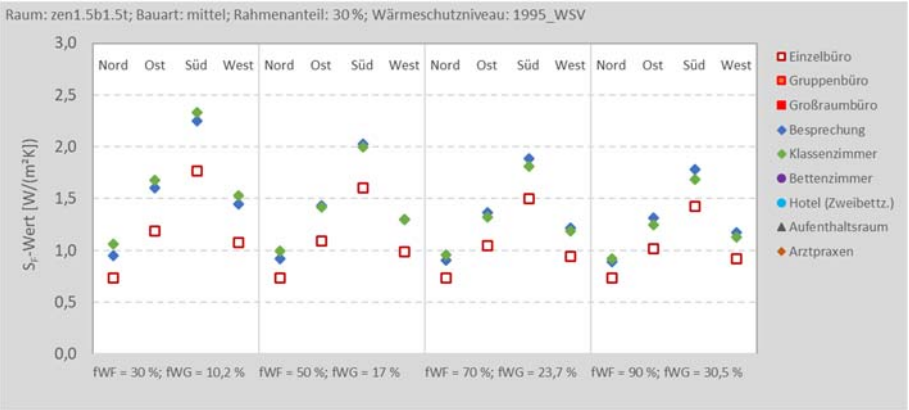


Bild 4-2: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1995“***

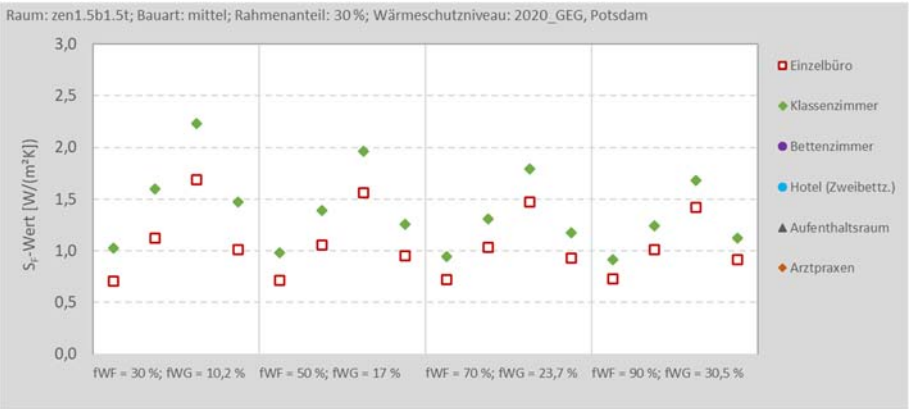


Bild 4-3: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“***

Der Vergleich der in Bild 4-1 bis Bild 4-3 ausgewiesenen S_F-Werte zeigt, in welchem Maß das Wärmeschutzniveau des Raumes (bzw. im vorliegenden Fall der Außenwand) die Nutzbarkeit

der solaren Wärmeeinträge beeinflusst. Erwartungsgemäß sinken die S_F-Werte mit steigendem Wärmeschutzniveau. Die zuvor ausgewiesenen S_F-Werte gelten für das Raummodell zen1.5b1.5t. Ergänzend folgt in Abschnitt 4.2.1.2 mit Bild 4-4 bis Bild 4-6 als weiteres exemplarisches Beispiel die Ausweisung von S_F-Werten für das Raummodell zen2b2t unter ansonsten gleichen Randbedingungen.

4.2.1.2 Variation des Wärmeschutzniveaus für den Raum 2b2t

Im Vergleich zu den Auswertungen des vorigen Abschnittes zum Raummodell zen1.5b1.5t sind in Bild 4-4 bis Bild 4-6 S_F-Werte für weitere Nutzungen ausgewiesen.

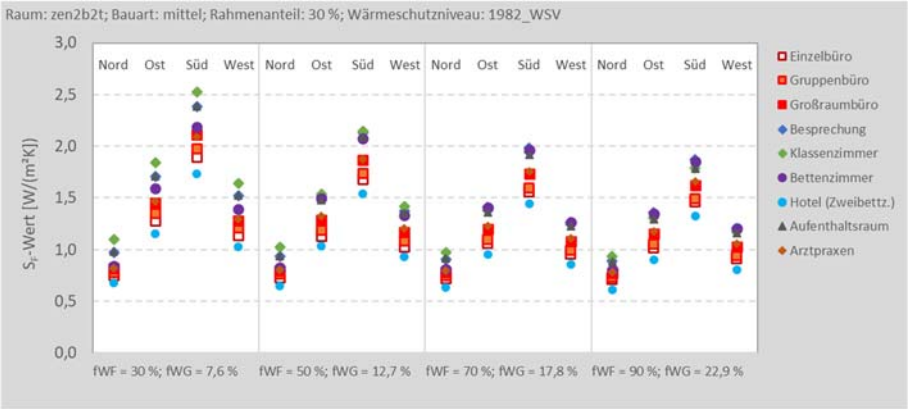


Bild 4-4: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen2b2t* für das Wärmeschutzniveau „*WSV 1982*“**

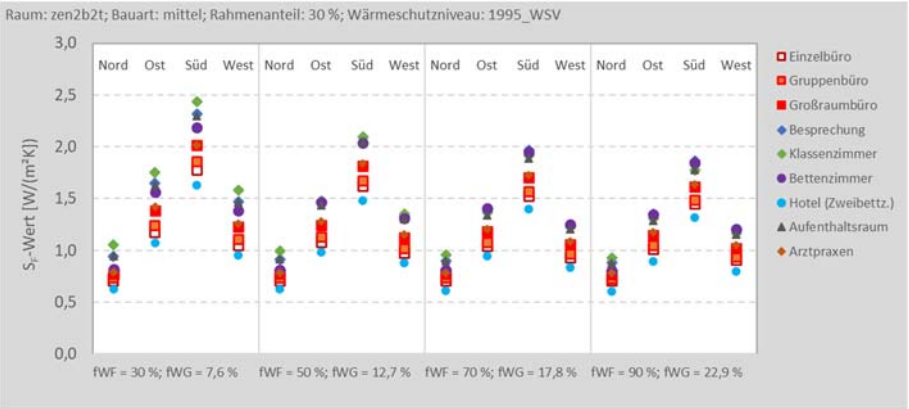


Bild 4-5: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen2b2t* für das Wärmeschutzniveau „*WSV 1995*“**

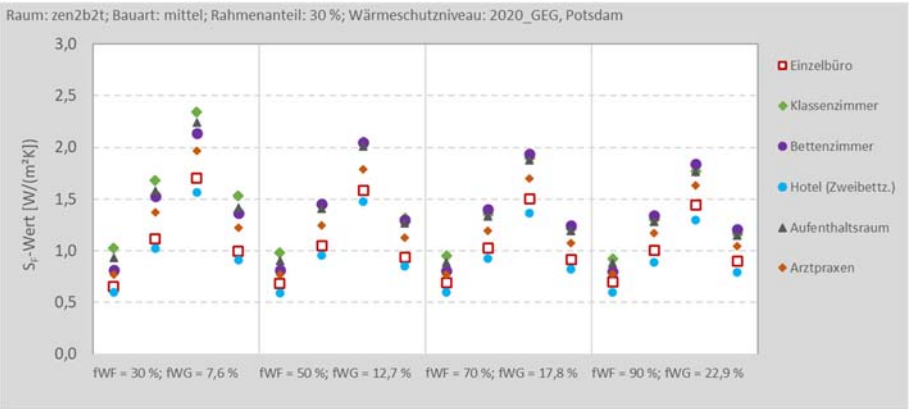


Bild 4-6: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen2b2t* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“**

Wie bereits anhand der Auswertungen für den Raum zen1.5b1.5t, kann durch Vergleich des S_F-Werte in Bild 4-4 bis Bild 4-6 der Einfluss des Wärmeschutzniveaus auf die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge für den Raum zen2b2t abgelesen werden. Erwartungsgemäß sinkt auch hier die Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge, erkennbar an jeweils niedrigeren S_F-Werten, mit steigendem Wärmeschutzniveau.

4.2.1.3 Vergleich Neubauniveaus mit und ohne Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

In welchem Maß die solaren Wärmeeinträge reduzierend auf den Nutzenergiebedarf Heizen wirken, hängt wesentlich davon ab, wie hoch die Transmissions- u. Lüftungswärmeverluste in dem betreffenden Raum sind. Insofern wirkt sich auch das Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung auf die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge aus. Den für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude durchgeführten Berechnungen mit Lüftungsanlage ist im Vergleich zum Anwendungsfall Wohngebäude ein geringerer Wärmerückgewinnungsgrad in Höhe von 60 % unterstellt (Wohngebäude: 80 %). Bild 4-7 und Bild 4-8 werten für die Neubauniveaus die SF-Werte für die Situationen mit (rechts) und ohne (links) Lüftungsanlage mit WRG aus.

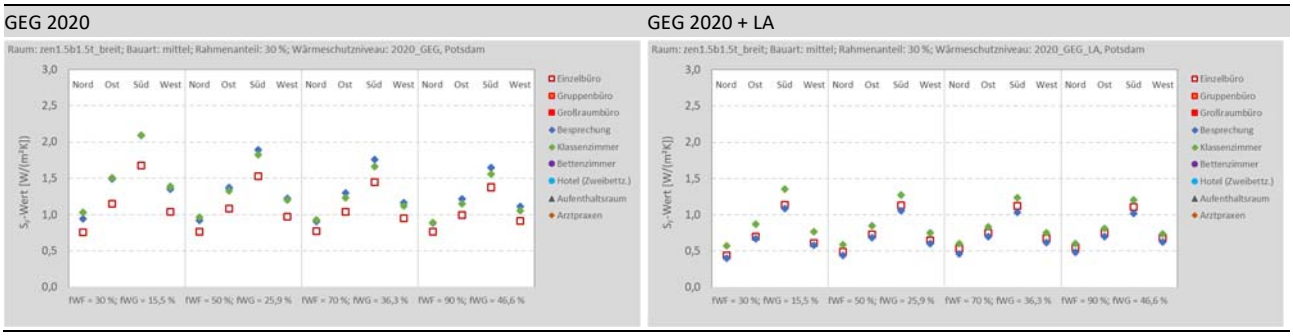


Bild 4-7: Gegenüberstellung S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen für die Niveaus „*GEG 2020*“ und „*GEG 2020 + LA*“, Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit*

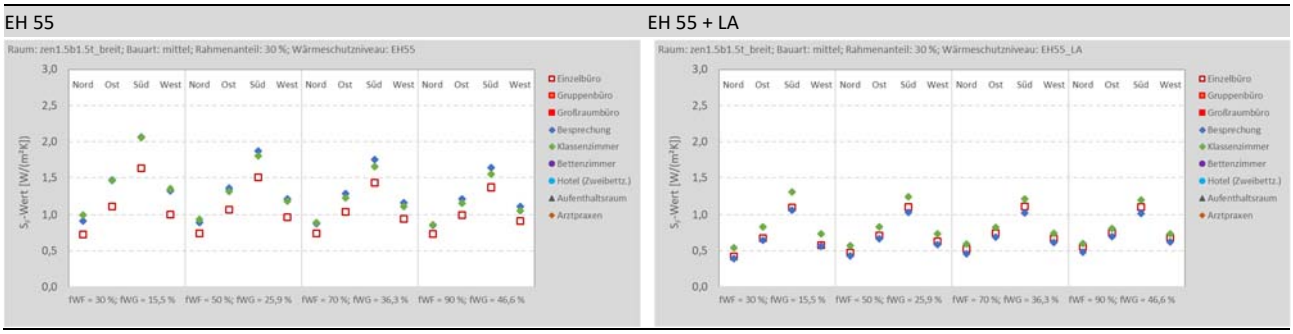


Bild 4-8: Gegenüberstellung S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen für die Niveaus „*EH 55*“ und „*EH 55 + LA*“, Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit*

Die Gegenüberstellung der S_F-Werte in Bild 4-7 und Bild 4-8 verdeutlicht, dass die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge deutlich abnimmt, wenn der Raum mit einer Lüftungsanlage ausgestattet ist. Über sämtliche Fälle hinweg betrachtet liegen die S_F-Werte der Situationen mit Lüftungsanlage in etwa bei 60 % der Werte, die sich für identische Randbedingungen ohne Lüftungsanlage ergeben.

4.2.1.4 Gegenüberstellung zum Einfluss der Bauart

Inwieweit solare Wärmeeinträge zur Reduzierung des Nutzenergiebedarfs Heizen beitragen können, hängt neben den bereits behandelten Einflüssen auch von der Bauart, also von der im Raum zur Verfügung stehenden Wärmespeicherkapazität ab. Wie hoch dieser Einfluss ausfällt, geht aus der Gegenüberstellung der Auswertungen in Bild 4-9 bis Bild 4-11 hervor.

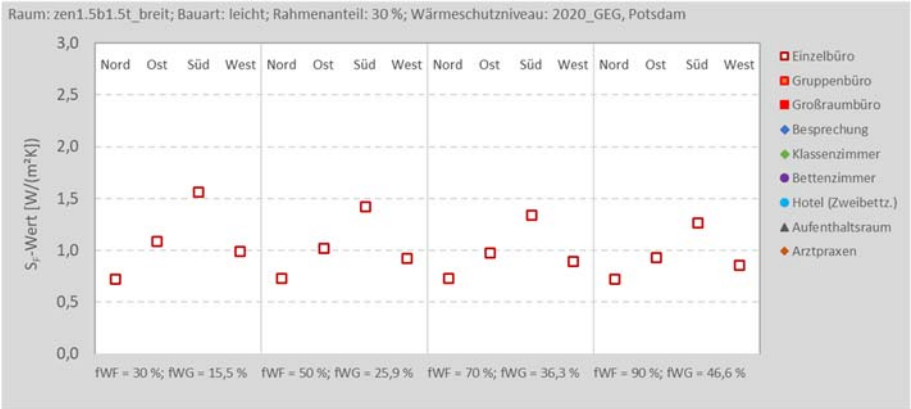


Bild 4-9: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Bauart „leicht“**

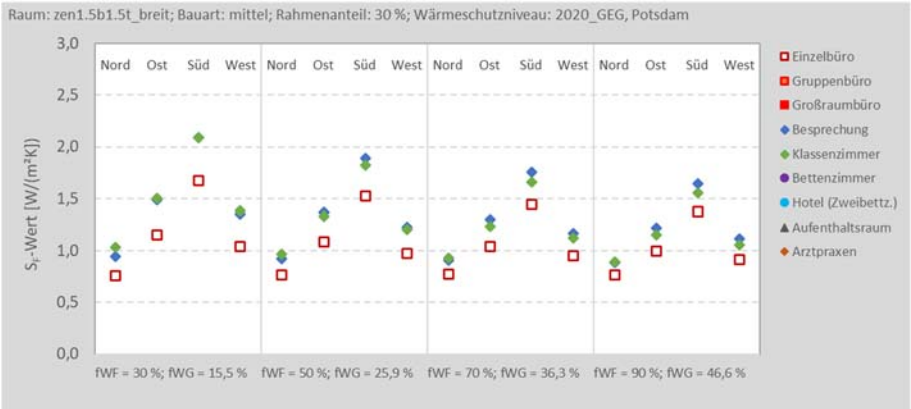


Bild 4-10: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Bauart „mittel“**

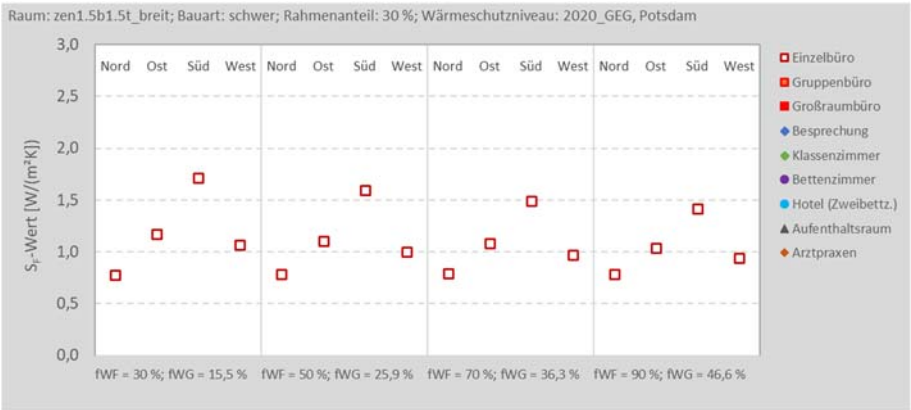


Bild 4-11: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Bauart „schwer“**

Am Beispiel der für die Nutzung Einzelbüro in Bild 4-9 bis Bild 4-11 ausgewiesenen S_F-Werte kann nachvollzogen werden, dass die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge mit zunehmender Wärmespeicherkapazität steigt. Der Unterschied in den S_F-Werten ist jedoch vergleichsweise gering, sodass empfohlen werden kann, für die Vorgabe von S_F-Werten in einer normativen Berechnungsvorschrift nicht hinsichtlich der Bauart zu unterscheiden.

4.2.1.5 Gegenüberstellung zum Einfluss Rahmenanteil

Zur Berechnung der solaren Wärmeeinträge im Rahmen einer energetischen Bilanzierung ist es erforderlich, Annahmen für den transparenten Anteil (Verglasungsanteil) und den opaken Anteil (Rahmenanteil) der Fenster zu treffen. Standardmäßig liegt den durchgeführten Berechnungen ein Rahmenanteil von 30 % zugrunde. Da insbesondere für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude mit großen Fenstern regelmäßig auch deutlich geringere Rahmenanteile anzutreffen sind, wird über die Auswertungen in Bild 4-12 gegenübergestellt, inwieweit sich die S_F-Werte verändern, wenn anstelle des Rahmenanteils von 30 % (links) ein Rahmenanteil von 20 % (rechts) unterstellt wird.

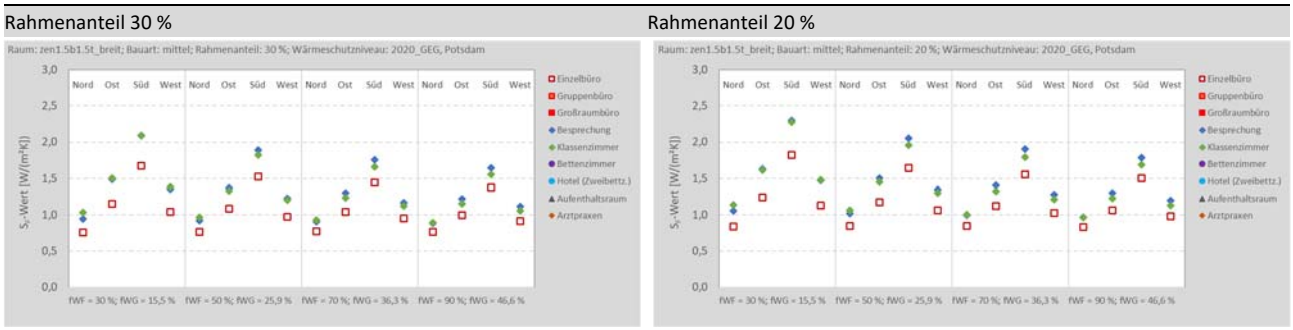


Bild 4-12: **S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“ für Rahmenanteile von 30 % (links) und 20 % (rechts)**

Die Auswertungen in Bild 4-12 zeigen, dass ein größerer transparenter Anteil des Fensters und der hiermit einhergehende höhere solare Wärmeeintrag unter ansonsten gleichen Randbedingungen über die betrachteten Fensterflächenanteil hinweg zu höheren S_F-Werten führen. Dabei kann festgestellt werden, dass die Erhöhung umso größer ausfällt, je kleiner der Fensterflächenanteil ist. Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit wird vorgeschlagen, eine normative Vorschrift für S_F-Werte ohne Berücksichtigung des Rahmenanteils zu formulieren.

4.3 Vorschlag normative und verordnungstechnische Verwertung

Im gemeinsames Verbände-Positionspapier [2] zum Gebäudeenergiegesetz wurde ein Satz von S_F-Werten vorgeschlagen. Der Vorschlag basiert auf ausführlichen Berechnungen [1], die im Auftrag vom Verband Fenster + Fassade vom IB Prof. Dr. Hauser GmbH durchgeführt und aus Berechnungen für den Anwendungsfall Wohngebäude abgeleitet wurden. Dass dieser Vorschlag für Nichtwohngebäude in dieser Form nicht angewendet werden sollte, geht aus den in diesem Abschnitt dokumentierten Auswertungen hervor.

Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass grundsätzlich folgende Differenzierungen (in Übereinstimmung mit dem Vorschlag für Wohngebäude) vorgesehen werden sollten:

1. Differenzierung hinsichtlich der Nutzung
2. Größe der Fensterfläche
3. Neigung der Fensterfläche
4. Wärmeschutzniveau
5. Vorhandensein einer Lüftungsanlage

Die vorgeschlagene Systematik zur Vorgabe von S_F-Werten für die normative Bewertung ist identisch mit der für Wohngebäude vorgeschlagenen und mit Abschnitt 3.3 ausführlich beschriebenen Systematik und differenziert lediglich in Bezug auf eine größere Anzahl an unterschiedlichen Nutzungstypen. Eine vollständige Beschreibung tabellarisierter S-Werte für vorgegebene grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile von 10, 20 und 40 Prozent sowie tabellarisierter Parameter a und b zur Bestimmung von SF-Werten für individuelle Fensterflächenanteile erfolgt in den Abschnitten 8.1.2 und 8.2.2.

5 Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens

Zur Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens werden für die im Rahmen dieser Studie betrachteten Raumsituationen thermische Simulationsrechnungen mit der büroeigenen Simulationssoftware HAUSer [5] durchgeführt. Hierbei werden die in DIN 4108-2 [10] für den Nachweis des sommerlichen Mindestwärmeschutzes beschriebenen Randbedingungen zugrunde gelegt. Abweichend von den Vorgaben bei der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599, wonach in Bezug auf die Nutzungsrandbedingungen bei Wohnnutzung zwischen EFH und MFH sowie bei Nichtwohnnutzung zwischen insgesamt 41 Nutzungsprofilen unterschieden wird, wird für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 nur zwischen Wohn- und Nichtwohnnutzung differenziert. Erläuterungen zur methodischen Vorgehensweise bei der Behandlung des Sommerfalls sowie zur Identifizierung von Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz sind in Abschnitt 2.3 dokumentiert.

Anhand der folgenden Abschnitte 5.1 und 5.2 werden die wesentlichen Einflüsse auf das sommerliche Wärmeverhalten getrennt für Wohn- und Nichtwohnnutzung anhand von exemplarisch ausgewählten Fällen beschrieben. Die Zusammenführung der sommerlichen und winterlichen Betrachtung erfolgt in Abschnitt 6.

5.1 Anwendungsfall Wohnnutzung

Für neu zu errichtende Wohngebäude ist der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach GEG 2020 erbracht, wenn durch Simulationsrechnung nach DIN 4108-2 mit den dort aufgeführten Randbedingungen ein Übertemperaturgradstundenwert von 1.200 Kh/a nicht überschritten ist. Die in diesem Abschnitt folgenden Auswertungen beschreiben über jeweils zulässige Grenzen der Kombinationen von U_W-Wert und g-Wert Erfüllungsoptionen für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.

Die im Folgenden dokumentierten Auswertungen unterscheiden zwischen Erfüllungsoptionen ohne beweglichen Sonnenschutz (Abschnitt 5.1.1) und Erfüllungsoptionen mit beweglichem Sonnenschutz (Abschnitt 5.1.2). Ausgewertet sind hierbei jeweils Situationen ohne Nachtlüftung sowie mit erhöhter Nachtlüftung (erhöhter Luftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit) gemäß Randbedingungen aus DIN 4108-2.

Gemäß DIN 4108-2 ist die Anwesenheitszeit bei Wohngebäuden in Übereinstimmung mit DIN V 18599-10 festgelegt auf täglich von 6:00 Uhr bis 23 Uhr.

Für Wohngebäude wird dabei ein erhöhter Luftwechsel von $n = 2\ h^{-1}$ zugrunde gelegt, wenn im Zeitfenster zwischen 23 und 6 Uhr die Innentemperatur über der Außentemperatur liegt. Der erhöhte Luftwechsel wird rechnerisch nur angesetzt, wenn die Innentemperatur über der Soll-Temperatur für Heizen (Wohngebäude 20 °C) liegt.

Für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz wird bei Wohnnutzung eine Aktivierung des Sonnenschutzes in Ost über Süd bis nach West ausgerichteten Räumen ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung) von 300 W/m² angenommen. Für nach Norden ausgerichtete Räume liegt die Grenzbestrahlungsstärke bei 200 W/m². Die beschriebene Steuerung gilt für den Anwendungsfall Wohngebäude stellvertretend für eine manuelle Bedienung des Sonnenschutzes. Im Fall der Betrachtung von Ausführungen mit beweglichem Sonnenschutz erfolgt die Beschreibung von Erfüllungsoptionen auf zwei unterschiedliche Weisen wie folgt:

1. über zulässige Kombinationen von U_W-Wert und g-Wert in Verbindung mit definierten F_C-Werten
2. über zulässige Kombinationen von U_W-Wert und F_C-Wert in Verbindung mit definierten g-Werten

Weitergehende Erläuterungen hierzu folgen direkt in Abschnitt 5.1.2.

5.1.1 Erfüllungsoptionen ohne beweglichen Sonnenschutz

5.1.1.1 Einfluss des Fensterflächenanteils

Die Ergebnisse in Bild 5-1 beschreiben Erfüllungsoptionen für die Einhaltung des zulässigen Gh_{26}-Wertes für den Raum zen1.5b1.5t_breit mit unterschiedlichen Fensterflächenanteilen.

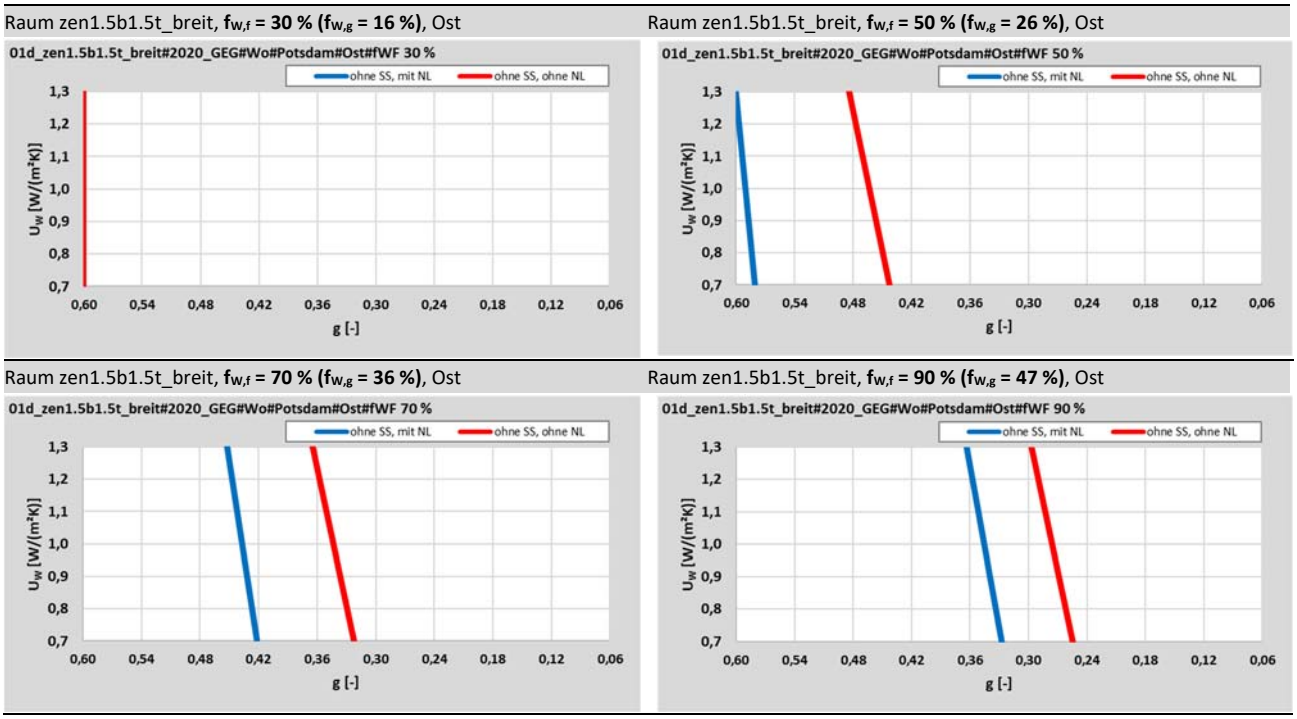


Bild 5-1: **Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts)**

Für den Raum zen1.5b1.5t_breit resultieren nach Bild 5-1 bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 30 % (oben links, grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 16 %) keine Einschränkungen hinsichtlich der Ausführbarkeit bezüglich höchstens zulässiger g-Werte, da mit einem für 2-Scheiben-Ausführung üblichen g-Wert in Höhe von 0,60 auch ohne Ansatz eines erhöhten Nachtluftwechsels die Anforderungen eingehalten werden

Hinweis: der blaue und rote Graph in Bild 5-1 verlaufen deckungsgleich, sodass der rote Graph den blauen überlagert und dieser nicht sichtbar ist.

Eine Vergrößerung des Fensterflächenanteils bis auf 90 % fassadenbezogenen Fensterflächenanteil (unten rechts in Bild 5-1, grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 47 %) zeigt dass hier nur deutlich reduzierte g-Werte ausgeführt werden können, um die Anforderungen einzuhalten. Für den Fall mit Nachtlüftung liegen die zulässigen Kombinationen bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,36 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,33.

Hinweis: die Simulationsrechnungen zur Identifizierung der Erfüllungsoptionen wurden ausschließlich für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) durchgeführt und es wird hinsichtlich zulässiger Kombinationen von U_W- und g-Wert ein linearer Verlauf zwischen den für U_W = 1,3 W/(m²K) und für U_W = 0,70 W/(m²K) ermittelten g-Werten unterstellt.

Erfolgt die Berechnung ohne Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung, so liegen die zulässigen Kombinationen bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,30 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,26. Die Auswertungen in Bild 5-1 zeigen somit, dass Fenster mit besseren U-Werten zu höheren thermischen Beanspruchungen führen. Insbesondere für Fälle ohne Nachtlüftung ist dies von Bedeutung, da hier eine Auskühlung während der Nacht ausschließlich über den Transmissionswärmestrom erfolgen kann und somit ein Fenster mit niedrigerem U-Wert einen größeren Widerstand darstellt. Zwar bieten Fenster mit niedrigerem U-Wert auch tagsüber einen höheren

Wärmedurchlasswiderstand und Wärmeeinträge über Transmission bei hohen Außentemperaturen können geringfügig reduziert werden. Dominierend hinsichtlich der Wärmeeinträge sind tagsüber allerdings die solaren Wärmeeinträge, was mit einem verbesserten U-Wert nicht kompensiert, sondern nur durch einen entsprechend niedrigen g-Wert „abgefangen“ werden kann, wenn kein Sonnenschutz vorhanden ist.

5.1.1.2 Einfluss der Orientierung

Neben der im vorherigen Abschnitt behandelten Fenstergröße ist der solare Wärmeeintrag und die thermische Beanspruchung eines Raumes auch von der Fensterorientierung abhängig. Hierzu folgt für den Raum zen1.5b1.5t_breit die Auswertung für eine Ausrichtung der Fenster in die vier Haupthimmelsrichtungen mit Bild 5-2. In allen Fällen wird ein fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %) unterstellt.

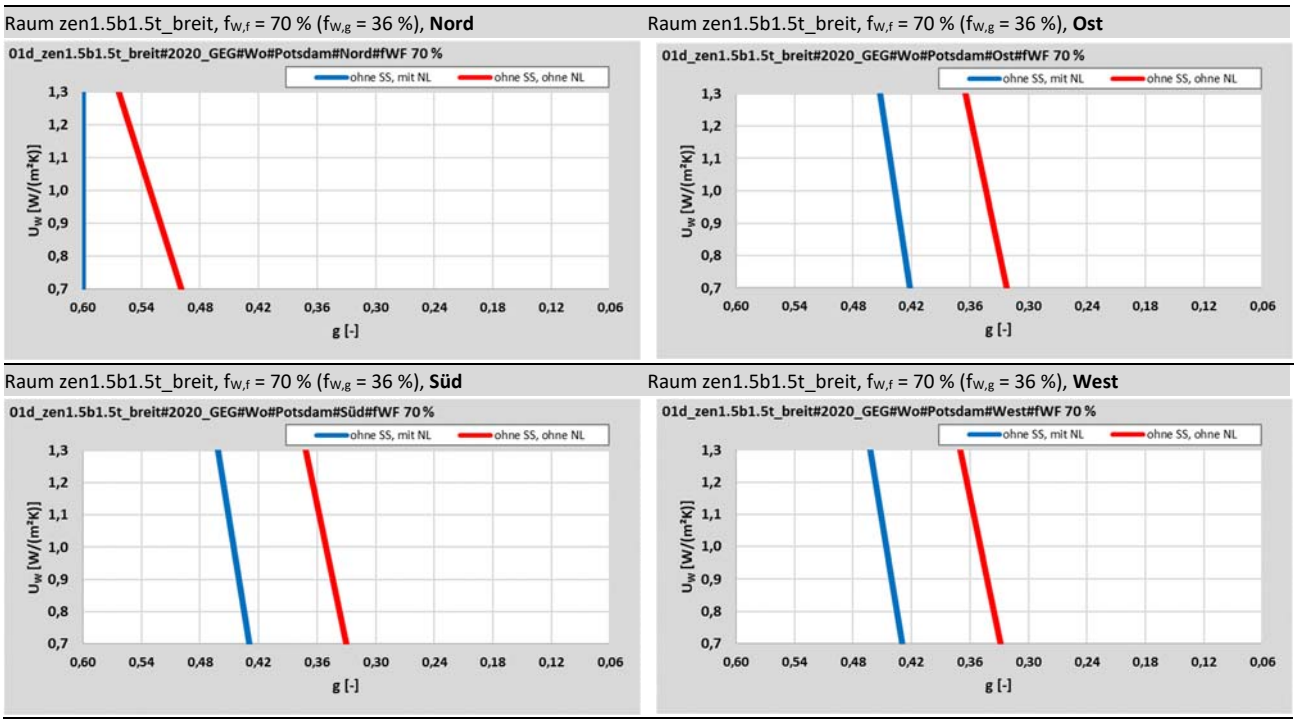


Bild 5-2: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für die Haupthimmelsrichtungen

Die Auswertungen in Bild 5-2 zeigen, dass sich für die Orientierungen Ost, Süd und West in etwa vergleichbare thermische Belastungen ergeben. Es zeigt sich darüber hinaus, dass auch nach Norden ausgerichtete Fenster bei dieser Größe bereits zu kritischen Verhältnissen führen können, wenn keine erhöhte Nachtlüftung stattfindet. Für Nord- u. Ost-Orientierung folgt mit Bild 5-3 eine Auswertung für einen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 90 %.

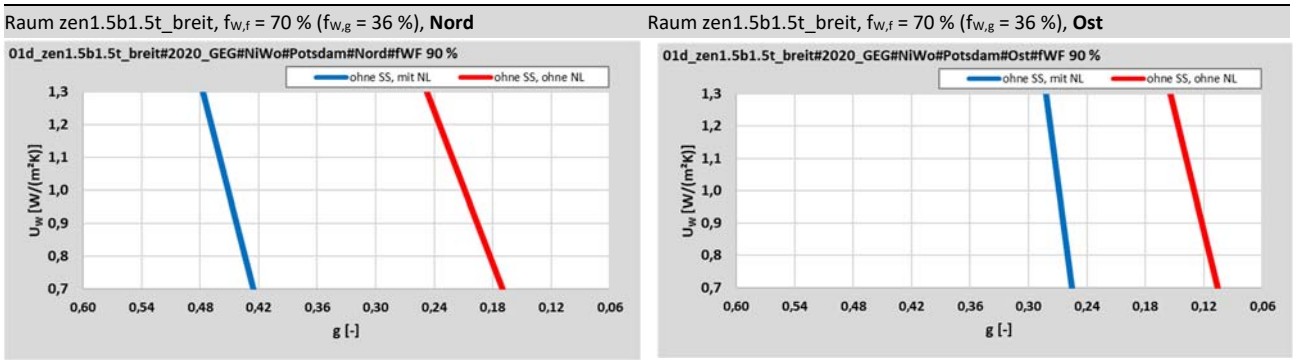


Bild 5-3: Ergänzende Auswertungen zu Bild 5-2 für $f_{w,f}$ = 90 % ($f_{w,g}$ = 47 %) für Nord- und Ost-Orientierung

5.1.1.3 *Einfluss der Raumgeometrie (Zentralräume)*

Die in Bild 5-4 folgenden Auswertungen beschreiben die Erfüllungsoptionen zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz für unterschiedliche Raumsituationen. Unterstellt wird jeweils ein fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 % und eine Ost-Orientierung.

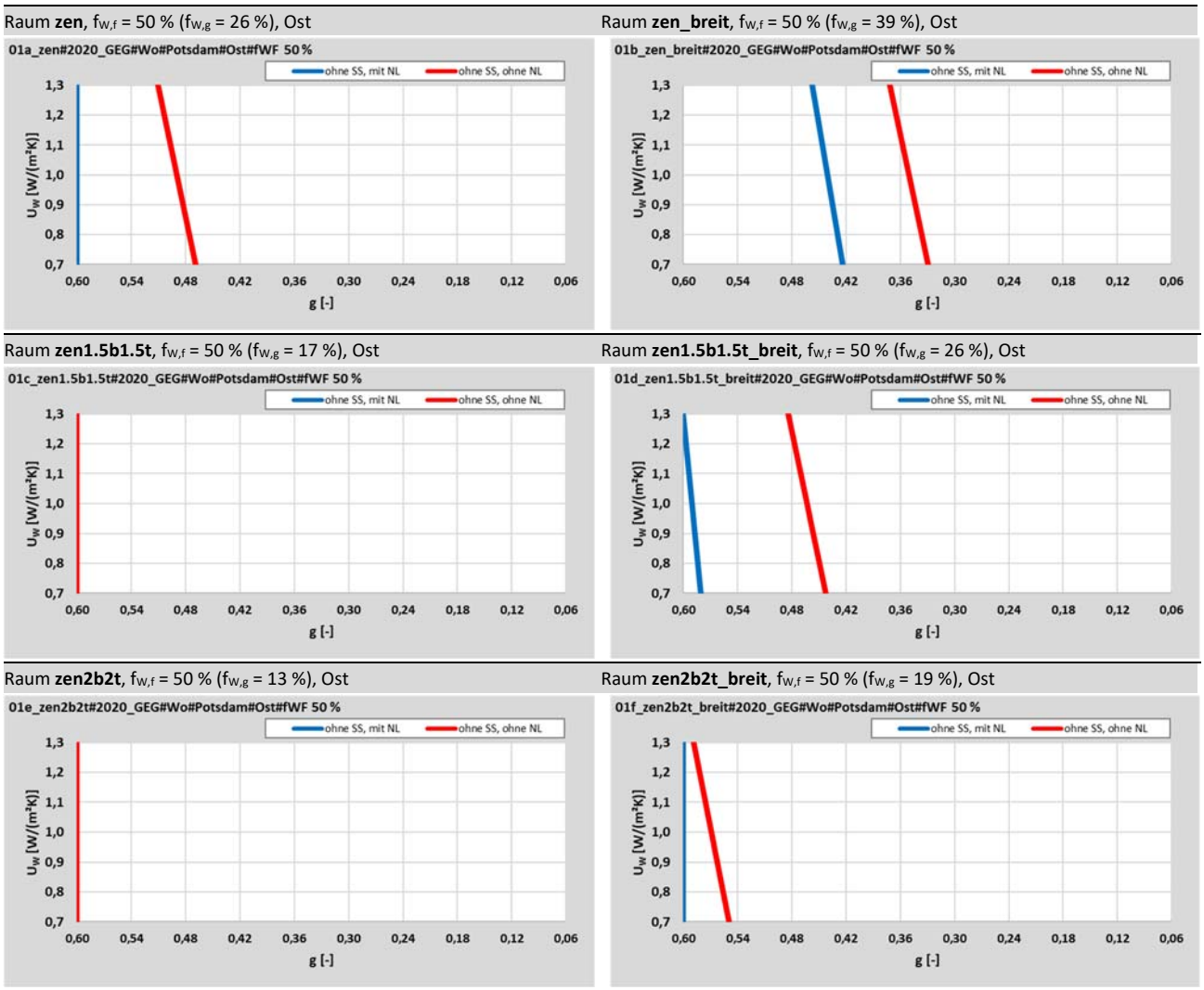


Bild 5-4: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben)

Die Bandbreite der mit den Raumsituationen in Bild 5-4 beschriebenen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile erstreckst sich von 13 % (unten links für den Raum zen2b2t) bis 39 % (oben rechts für den Raum zen_breit). Erwartungsgemäß führt der größte auf die Grundfläche bezogene Fensterflächenanteil auch zur größten thermischen Beanspruchung und in der Folge zu den höchsten Anforderungen in Bezug auf höchstens zulässige g-Werte. Während in den Räumen zen1.5b1.5t (mittig links) und zen2b2t (unten links) auch ohne Ansatz erhöhter Nachtlüftung eine Ausführbarkeit mit Normalglas (g-Wert 0,60) möglich ist, ohne dass der Anforderungswert überschritten wird, liegen die zulässigen U_W-/g-Wert-Kombinationen für den Raum zen_breit mit erhöhter Nachtlüftung bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,46 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,42 und ohne Nachtlüftung bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,37 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,33.

Mit Bild 5-5 folgen ergänzende Auswertungen für einen in allen Fällen auf 90 % erhöhten fassadenbezogenen Fensterflächenanteil.

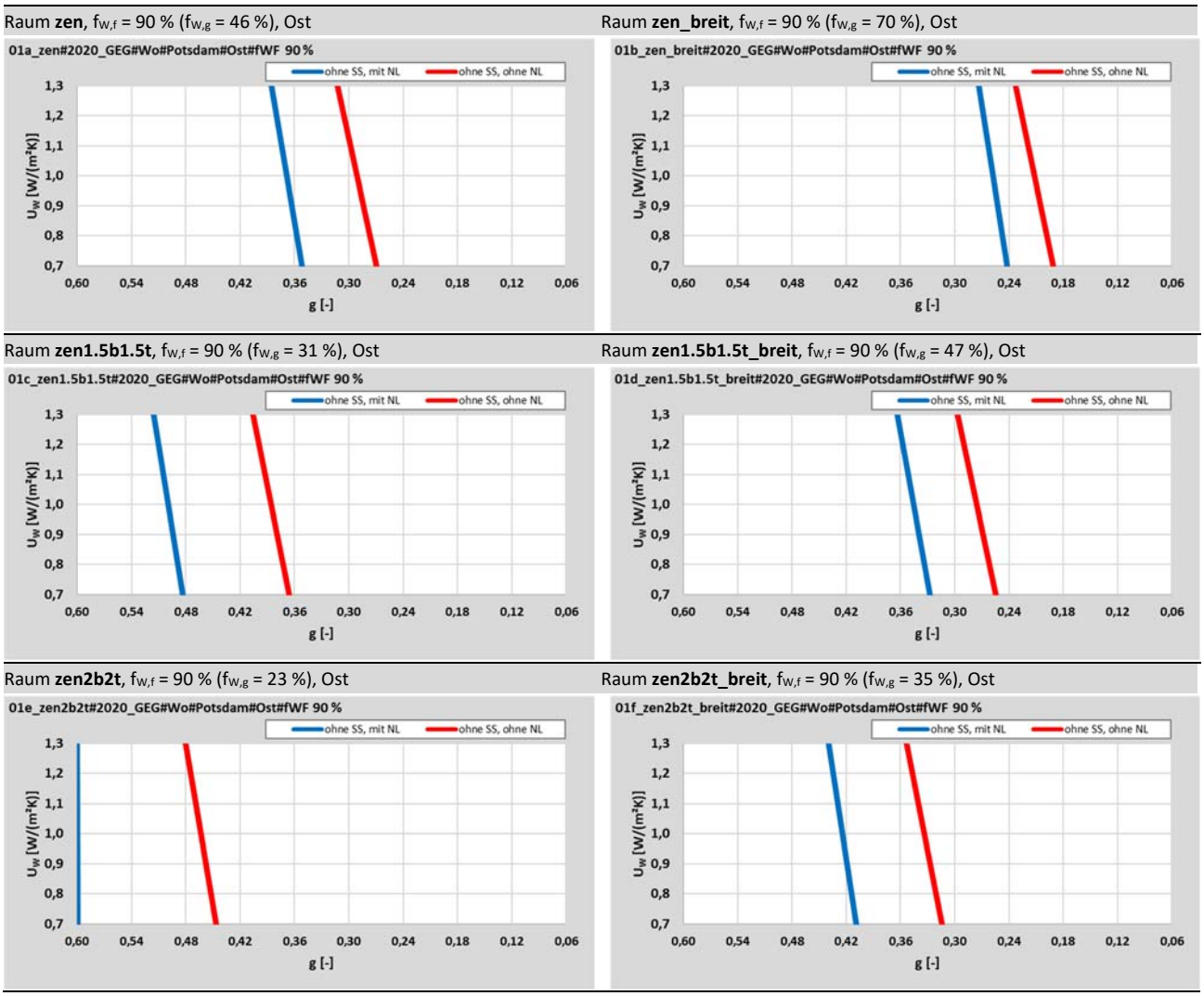


Bild 5-5: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 90 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben)

Durch die in Bild 5-5 beschriebenen Raumsituationen werden grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 23 % (Raum zen2b2t, unten links) und 70 % (zen_breit, oben rechts) beschrieben. Dabei bleibt lediglich der Raum zen2b2t mit erhöhter Nachtlüftung ohne Einschränkung in Bezug auf höchstens zulässige g-Werte. In allen übrigen Fällen ergibt sich eine Ausführbarkeit nur durch Gläser mit im Vergleich zum Normalglas reduzierten g-Werten. Die höchsten Anforderungen ergeben sich für den Raum zen_breit, für den die zulässigen U_W-/g-Wert-Kombinationen bei Ansatz erhöhter Nachtlüftung bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,28 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,24 und ohne Nachtlüftung bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,23 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,20 liegen.

Sofern auf den Einsatz eines beweglichen Sonnenschutzes verzichtet werden soll, ist gemäß obigen Auswertungen bei hohen Fensterflächenanteilen selbst unter Ansatz erhöhter Nachtlüftung in vielen Fällen der Einsatz von Sonnenschutzgläsern erforderlich. Dies hat jedoch zur Folge, dass die solaren Wärmeeinträge auch in der Heizzeit minimiert werden und keinen Beitrag zur Reduzierung des Energiebedarfs für Heizen leisten können. Diese Zusammenhänge werden in Abschnitt 6 behandelt.

5.1.1.4 *Einfluss der Fensterneigung (Dachräume)*

Im Vergleich zu vertikal eingebauten Fenstern ergibt sich für geneigte Fenster in Dachräumen eine deutlich abweichende solare Einstrahlung. Zur Auswertung des sommerlichen Wärmeverhaltens werden im Folgenden drei unterschiedliche Dachräume betrachtet, mit denen Neigungen von 30° (Raum „dachzen30“), 45° (Raum „dachzen45“) und 60° (Raum „dachzen60“) beschrieben sind. Für diese Räume werden im Folgenden grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 13,1 % und 19,6 % ausgewertet. Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit erfolgt eine Beschränkung auf die Orientierung Süd.

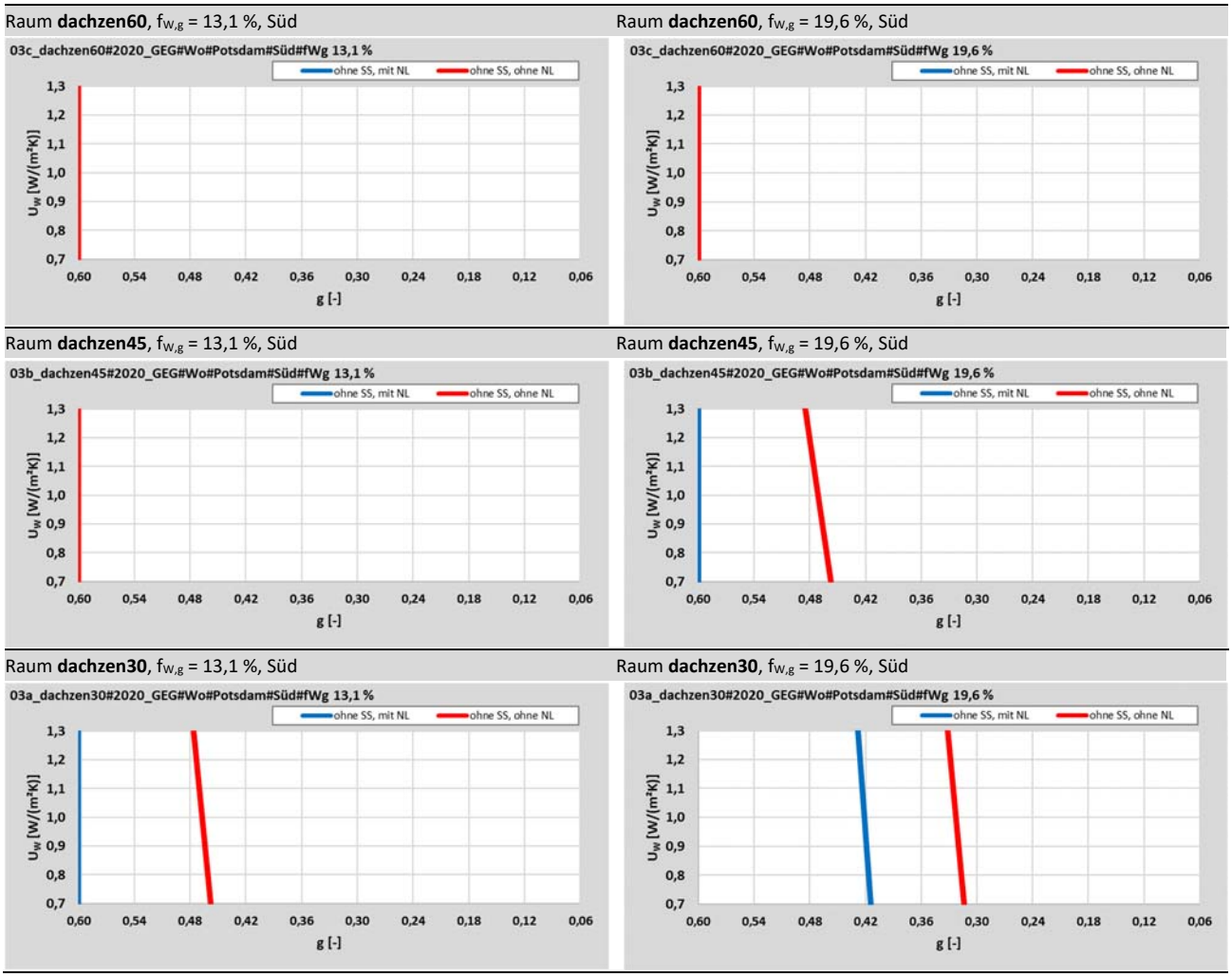


Bild 5-6: **Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Dachräume grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 13,1 % (links) und 19,6 % (rechts)**

5.1.2 Erfüllungsoptionen mit beweglichem Sonnenschutz

Der Einsatz von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen bietet ein hohes Potenzial zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens. Entscheidender Vorteil gegenüber Sonnenschutzgläsern ist hierbei, dass der Sonnenschutz ein dynamisches Element darstellt und die Einstrahlung nach Bedarf verhindert werden kann, sodass solare Wärmeinträge in der Heizzeit weiter genutzt werden können. Bei den folgenden Auswertungen zur Wirksamkeit eines beweglichen Sonnenschutzes erfolgen einerseits Auswertungen, aus denen hervorgeht, welche U_W-/g-Wert Kombinationen bei vorgegebenen F_C-Werten erforderlich sind, um die Anforderungen einzuhalten (Abschnitt 5.1.2.1). Als weitere Art der Auswertung werden zulässige Kombinationen für U_W- und F_C-Wert bei vorgegebenen g-Werten benannt (Abschnitt 5.1.2.2 ff.)

5.1.2.1 Zulässige U_W-/g-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen F_C-Werten

In Bezug aus das sommerliche Wärmeverhalten und werden die Potenziale eines beweglichen Sonnenschutzes mit Bild 5-7 dargestellt. Am Beispiel des Raumes zen1.5b1.5t_breit sind hier jeweils Fälle mit F_C-Werten zwischen 1,0 (oben links, informativ, ohne Sonnenschutz) und 0,10 (hoch wirksamer Sonnenschutz, unten rechts) beschrieben.

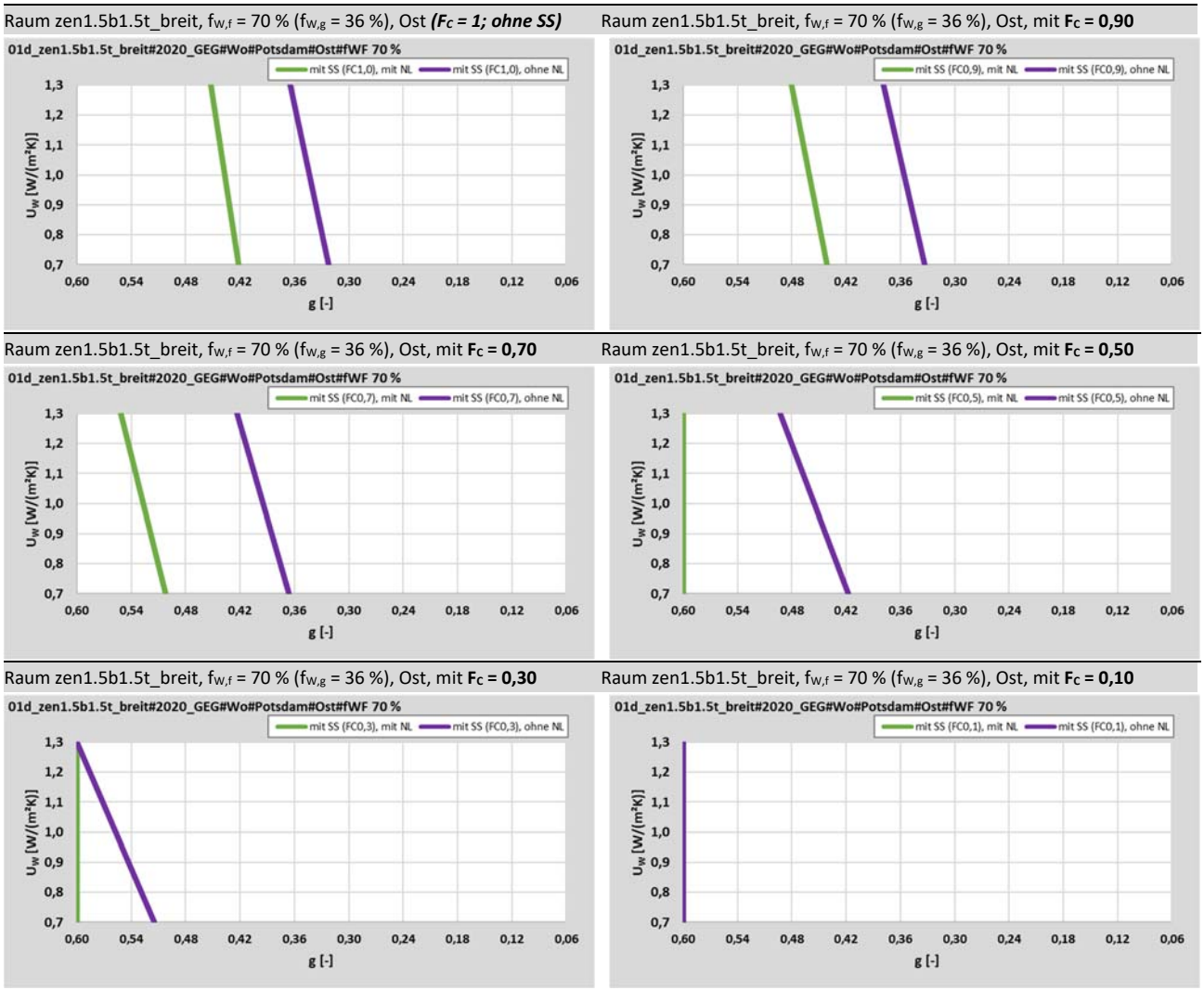


Bild 5-7: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für F_C-Werte von 1,0 (ohne Sonnenschutz, oben links) bis 0,10 (unten rechts)

Ausgehend von dem Fall oben links in Bild 5-7, welcher für die Situation ohne Sonnenschutz (F_C = 1,0) steht, geht aus den weiteren Auswertungen hervor, wie sich die höchstens zulässigen g-Werte mit Verbesserung des F_C-Wertes erhöhen. Während die zulässigen Kombinationen von U_W- und g-Wert für den Fall ohne Sonnenschutz bei Ansatz erhöhter Nachtlüftung noch bei

U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,45 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,42 und ohne Nachtlüftung bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,36 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,33 liegen, kann bei einem F_C-Wert von 0,30 (unten links) mit Nachtlüftung bereits ein Normalglas mit g = 0,60 ausgeführt werden. Kommt ein Sonnenschutz mit F_C = 0,10 zum Einsatz, wird auch ohne Nachtlüftung mit einem g-Wert von 0,60 die Anforderung eingehalten.

5.1.2.2 Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation des Fensterflächenanteils

Abweichend von der Darstellungsform im vorherigen Abschnitt folgt im Weiteren die Beschreibung von Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz über die Beschreibung von zulässigen U_W-/F_C-Wert-Kombinationen für vorgegebene g-Werte von 0,60 und 0,42. Bei den dargestellten Graphen wird wie folgt unterschieden:

- g-Wert von 0,60 ohne erhöhte Nachtlüftung (Graphen rot punktiert)
- g-Wert von 0,60 mit erhöhter Nachtlüftung (Graphen blau punktiert)
- g-Wert von 0,42 ohne erhöhte Nachtlüftung (Graphen rot gestrichelt)
- g-Wert von 0,42 mit erhöhter Nachtlüftung (Graphen blau gestrichelt)

Die Auswertungen in Bild 5-8 beschreiben am Beispiel der Raumgeometrie zen1.5b1.5t_breit über den Verlauf der Graphen diejenigen U_W-/F_C-Wert-Kombinationen, mit denen der Anforderungswert von 1.200 Kh/a gerade eingehalten wird.

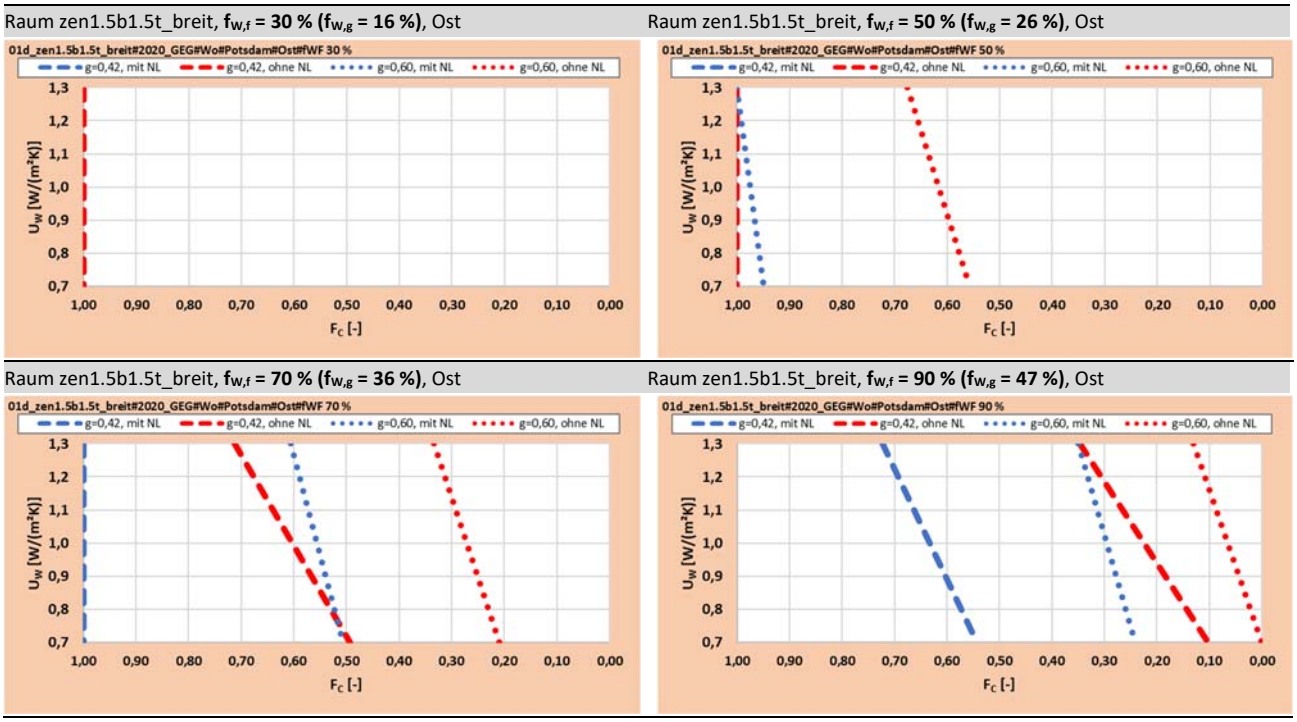


Bild 5-8: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts)

In Bild 5-8 sind fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 % und 90 % betrachtet, was für diesen Raum grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen zwischen 16 und 47 % entspricht. Analog zu den bisherigen Auswertungen stellen alle U_W-/F_C-Wert-Kombinationen links von den Graphen jeweils nicht ausführbare Situationen dar, da mit diesen der Anforderungswert von 1.200 Kh/a nicht eingehalten wird. Die Auswertungen in Bild 5-8 zeigen, dass in diesem Raum bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 30 % (grundflächenbezogen 16 %) in keinem Fall ein Sonnenschutz erforderlich ist.

Hinweise:

1. Die vier Graphen der unterschiedlichen Kombinationen für g-Wert/Ansatz Nachtlüftung verlaufen deckungsgleich am linken Rand der Abbildung oben links in Bild 5-8 bei dem Abszissenwert F_C = 1,0. Aufgrund der Überlagerung ist hier nur ein Graph sichtbar.
2. Erfolgt nach DIN 4108-2 eine Simulationsrechnung für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes und wird hierbei eine erhöhte Nachtlüftung angesetzt, so ist ein Sonnenschutz vorzusehen, mit welchem ein g_{tot}-Wert (Produkt aus g-Wert und F_C-Wert) von 0,40 erreicht wird. Diese Zusatzanforderung gilt nur, wenn ohne den Ansatz der erhöhten Nachtlüftung der Anforderungswert unter ansonsten gleichen Randbedingungen nicht eingehalten wird. Die vorbeschriebene „Zusatzbedingung“ in den obigen Auswertungen nicht dargestellt und bedeutet rechnerisch für den zuvor beschriebenen Fall mit g = 0,42, dass hier zusätzlich ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}95$ eingesetzt werden müsste. Für alle Fälle mit g = 0,60 wäre ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}67$ erforderlich, wenn der Nachweis nur in Verbindung mit dem Ansatz der erhöhten Nachtlüftung erbracht werden kann.
3. Für den Sonnenschutz wird bei den Auswertungen für Wohnnutzung eine Betriebsweise unterstellt, die von einer Aktivierung des Sonnenschutzes ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung senkrecht zur Fensterfläche) von 300 W/m² (Orientierungen Ost, Süd und West) bzw. 200 W/m² (Nord) ausgeht. Diese Modellierung entspricht der Standardsteuerung für einen Sonnenschutz bei Wohnnutzung nach DIN 4108-2. Eine Aktivierung des Sonnenschutzes bereits bei geringeren Grenzbestrahlungsstärken verbessert das sommerliche Wärmeverhalten, setzt aber einen automatisierten Betrieb voraus und führt ggf. zu höheren Einschaltzeiten für künstliche Beleuchtung.

Mit Vergrößerung auf einen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 % (grundflächenbezogen 26 %) ist bei einem g-Wert von 0,60 nur bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) in Verbindung mit dem Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung (oberes Ende des blau punktierten Graphen) kein Sonnenschutz erforderlich. Bei einem U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) wäre hier rechnerisch bereits ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}95$ erforderlich (unteres Ende des blau punktierten Graphen). Ohne Ansatz erhöhter Nachtlüftung ist das Fenster mit U_W = 1,30 W/(m²K) mindestens mit einem F_C-Wert von 0,68 auszustatten. Ein Fenster mit einem U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) erfordert bereits einen F_C-Wert von höchstens 0,57. Kommen Fenster mit einem g-Wert von 0,42 zum Einsatz, kann auf einen Sonnenschutz verzichtet werden (blau gestrichelter und rot gestrichelter Graph verlaufen deckungsgleich bei F_C = 1,0).

Eine weitere Vergrößerung der Fensterflächen auf einen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %) gestattet nur noch für den Fall g = 0,42 mit erhöhter Nachtlüftung eine Ausführung ohne Sonnenschutz.

Für Normalglas mit g = 0,60 ohne Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung kann eine Überschreitung des Anforderungswertes bei $f_{W,f}$ = 70 % ($f_{W,g}$ = 36 %) nur noch sichergestellt werden, wenn bei einem Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K) ein F_C-Wert ≤ 0,33 und bei einem U_W-Wert von 0,70 ein F_C-Wert ≤ 0,20 umgesetzt wird.

Hinweis: Der in Bild 5-8 in der Abbildung unten rechts für die Situation g = 0,60 ohne Nachtlüftung dargestellte Graph liegt mit seinem unteren Ende bei dem theoretischen F_C-Wert von 0,00. Dies bedeutet, dass für diesen Fall (U_W = 0,70 W/(m²K)) der Gh26-Wert noch über dem Anforderungswert von 1.200 Kh/a liegt und eine Ausführung daher nicht zulässig ist. Für den dargestellten Graphen bedeutet dies, dass **nur das obere Ende des Graphen für** die Situation bei **U_W = 1,30 W/(m²K)** **eine zulässige Erfüllungsoption** beschreibt! Da der Graph am unteren Ende für U_W = 0,70 W/(m²K) eine nicht ausführbare Situation beschreibt und für U_W-Werte zwischen 1,3 und 0,70 W/(m²K) keine zusätzlichen Simulationen durchgeführt wurden, kann aus **Graphen, die am oberen Ende einen F_C-Wert > 0 beschreiben und am unteren Ende auf F_C = 0,00 laufen nicht auf zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen geschlossen werden!**

Die Auswertungen in Bild 5-8 für den fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 90 % (grundflächenbezogen 47 %) führen erwartungsgemäß zu noch einmal höheren Anforderun-

gen an die höchstens zulässigen F_C-Werte, wobei die Situation mit U_W = 0,70 W/(m²K) ohne erhöhte Nachtlüftung selbst mit einem theoretischen F_C-Wert von 0,00 nicht mehr ausführbar wäre.

5.1.2.3 Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation der Orientierung

Die thermische Beanspruchung eines Raumes hängt neben zahlreichen weiteren Einzeleinflüssen entscheidend von der Ausrichtung der Fenster des Raumes ab. Die Ergebnisse in Bild 5-9 enthalten hierzu exemplarische Auswertungen für den Raum zen1.5b1.5t_breit mit einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %), wobei als Fensterorientierungen die Haupthimmelsrichtungen betrachtet werden (Auswertungen zum Einfluss der Fensterneigung erfolgen in Abschnitt 5.1.2.5).

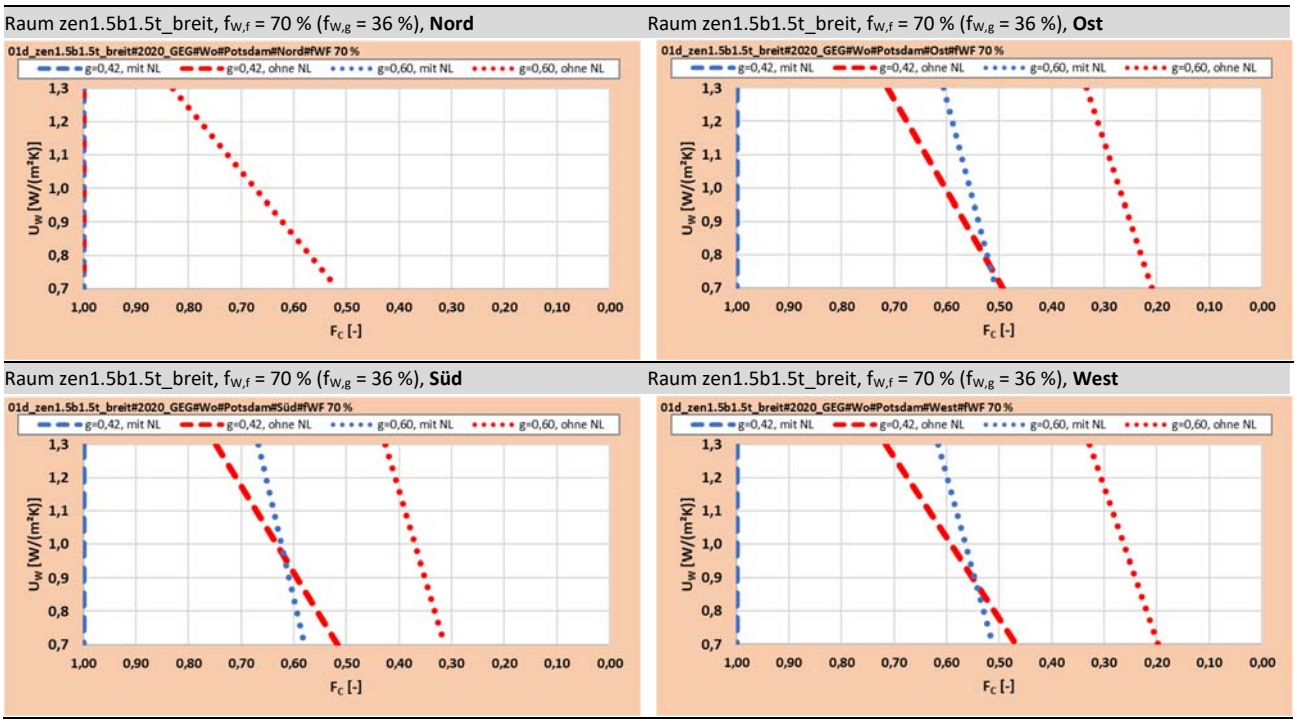


Bild 5-9: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für die Haupthimmelsrichtungen.

Die mit Bild 5-9 beschriebenen Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz zeigen, wie bereits die Auswertungen für die Fälle ohne Sonnenschutz, dass die Orientierungen Ost, Süd und West bei ansonsten gleichen Randbedingungen in etwa zu vergleichbaren thermischen Belastungen bzw. vergleichbaren U_W-/F_C-Wert-Kombinationen führen, mit denen der Anforderungswert eingehalten wird. Während der nach Norden orientierte Raum lediglich ohne Nachtlüftung für den Fall mit Normalglas (g = 0,60) einen Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}85$ bei U_W = 1,3 W/(m²K) bzw. $F_C \leq 0{,}52$ bei U_W = 0,70 W/(m²K) erfordert und die Situation mit g = 0,42 mit Nachtlüftung in allen Fällen ohne Sonnenschutz ausführbar ist, muss in allen übrigen Fällen ein Sonnenschutz bereitgestellt werden. Die höchsten Anforderungen ergeben sich für Normalglas mit g = 0,60 ohne Nachtlüftung bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) zu $F_C \leq 0{,}33$ (Ost und West) bzw. $F_C \leq 0{,}43$ (Süd) und bei einem U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) zu $F_C \leq 0{,}20$ (Ost und West) bzw. $F_C \leq 0{,}30$ (Süd).

Für g = 0,60 mit erhöhter Nachtlüftung liegen die Anforderungen für U_W = 1,3 W/(m²K) bei $F_C \leq 0{,}60$ (Ost und West) bzw. $F_C \leq 0{,}67$ (Süd) und bei einem U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) bei $F_C \leq 0{,}50$ (Ost und West) bzw. $F_C \leq 0{,}58$ (Süd).

5.1.2.4 *Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation der Raumgeometrie (Zentralräume)*

Die thermische Beanspruchung eines Raumes infolge solarer Einstrahlung hängt im Wesentlichen davon ab, welchen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil der Raum aufweist. Zum Vergleich unterschiedlicher Raumsituationen folgt mit Bild 5-10 eine Gegenüberstellung von unterschiedlichen Räumen, die unter ansonsten gleichen Randbedingungen jeweils einen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 % aufweisen. Hierbei variiert der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil zwischen 13 und 39 %. Mit Bild 5-11 folgen identische Auswertungen zu einem in allen Fällen unterstellten fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 90 %. Hiermit werden grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 23 bis 70 % beschrieben.

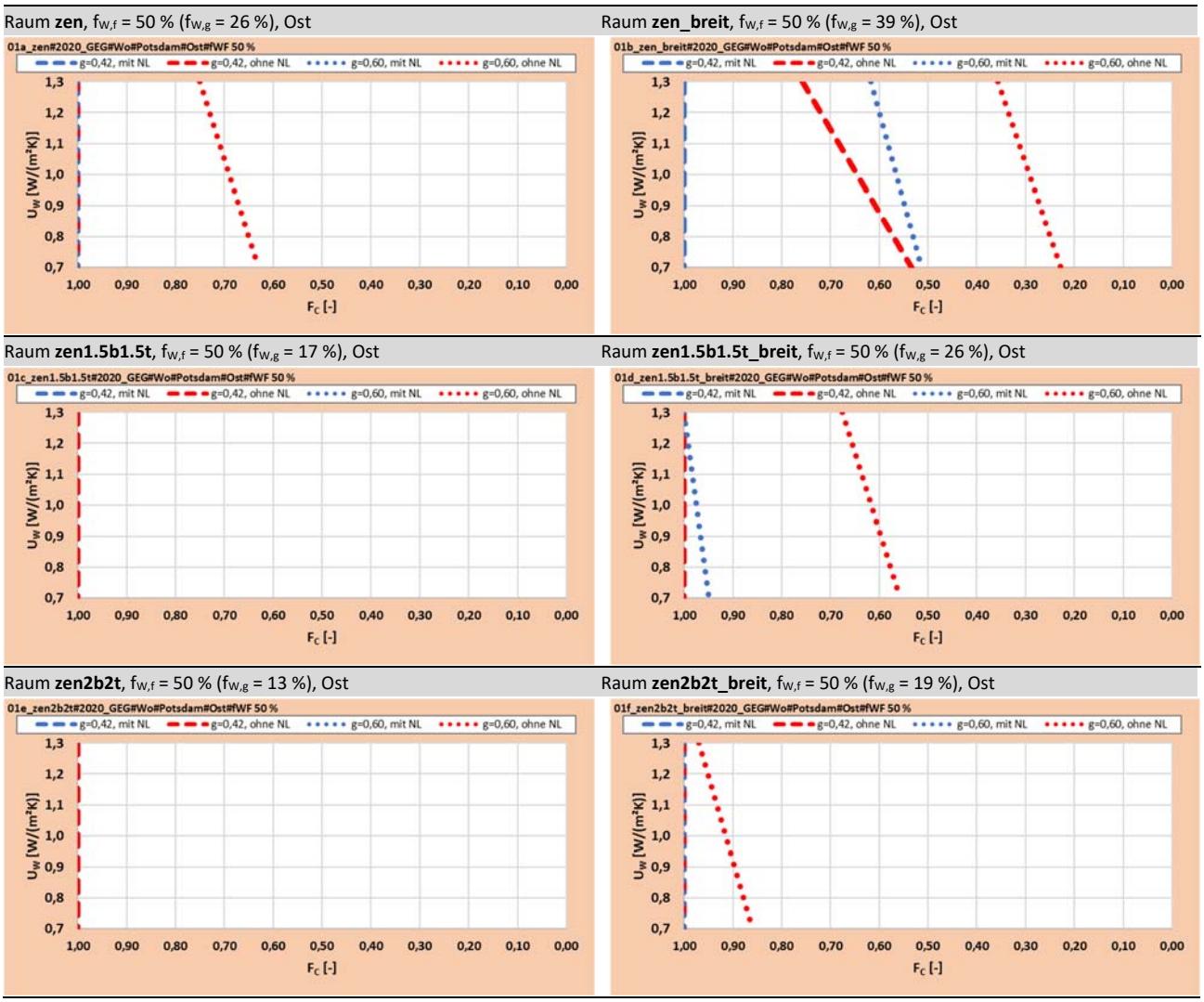


Bild 5-10: **Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen 13 – 39 %)**

Die Auswertungen in Bild 5-10 zeigen, dass die Räume zen2b2t (unten links) und zen1.5b1.5t (mittig links) mit grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 13 und 17 % in allen betrachteten Fällen ohne Sonnenschutz die Mindestanforderungen einhalten. Der Raum zen_breit (oben rechts) weist einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 39 % auf und kommt nur für die Situation g = 0,42 mit erhöhter Nachtlüftung ohne Sonnenschutz aus. Im Vergleich ist für den Einsatz von Normalglas mit g = 0,60 bei Ansatz erhöhter Nachtlüftung für U_W = 1,3 W/(m²K) bereits $F_C \leq 0{,}62$ und für U_W = 0,70 W/(m²K) ein F_C-Wert ≤ 0,52 erforderlich. Ohne Ansatz der Nachtlüftung fallen die Anforderungen entsprechend höher aus.

Als weiteres Beispiel folgt mit Bild 5-11 die Auswertung für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 90 %, womit grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 23 und 70 % beschrieben werden.

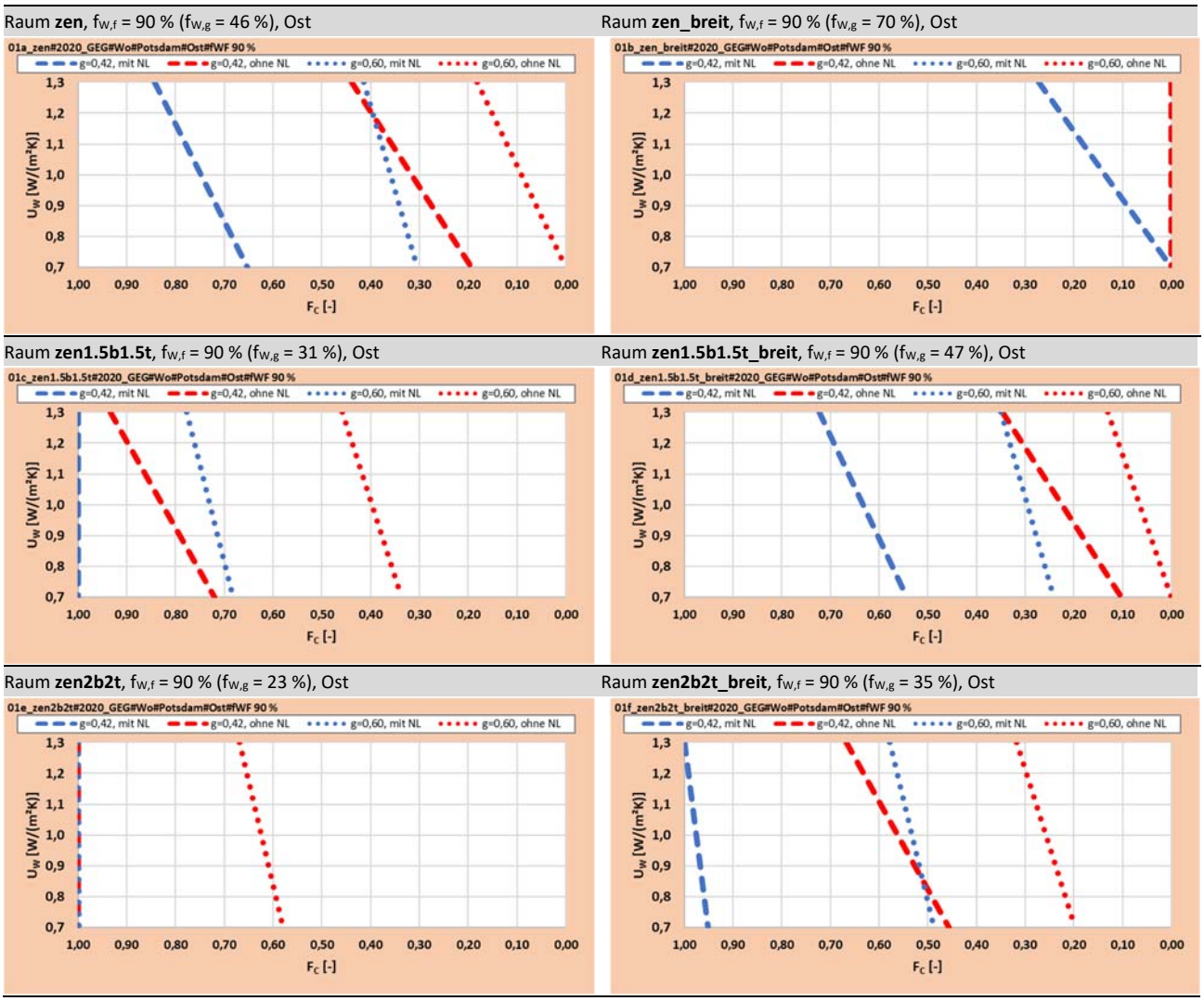


Bild 5-11: **Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 90 % (grundflächenbezogen 23 – 70 %)**

Erwartungsgemäß liegen die Anforderungen an höchstens zulässige F_C-Werte für die Auswertungen in Bild 5-11 deutlich höher als bei den Auswertungen zu den kleineren Fensterflächenanteilen in Bild 5-10. Der Raum zen_breit mit dem größten Fensterflächenanteil (grundflächenbezogen 70 %) ist nur noch für U_W = 1,3 W/(m²K) durch den Fall g = 0,42 in Verbindung mit erhöhter Nachtlüftung und einem F_C-Wert ≤ 0,28 ausführbar. Für alle übrigen Fälle liegt der Gh_{26}-Wert selbst mit einem theoretischen F_C-Wert von 0,00 über dem Anforderungswert.

Für den mit Raum zen2b2t kleinsten grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 23 % ergibt sich eine mit dem Raum zen in Bild 5-10 (grundflächenbezogener Fensterflächenanteil dort 26 %) vergleichbare Situation, wobei nur der Fall mit g = 0,60 ohne Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung den Einsatz eines Sonnenschutzes erfordert.

Hinweis: Nach DIN 4108-2 darf bei Wohnnutzung in der Regel von der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden, wenn im zu bewertenden Raum die Möglichkeit zur nächtlichen Fensterlüftung besteht. Etwaige schallschutztechnische Einschränkungen hinsichtlich der Öffenbarkeit von Fenstern und einer damit ggf. einhergehenden unzulässigen Minderung der Schallschutzwirkung sind im Einzelfall zu prüfen.

5.1.2.5 *Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation der Raumgeometrie (Dachräume)*

Neben der Ausrichtung der Fenster hat auch die Fensterneigung einen deutlichen Einfluss auf die solaren Wärmeeinträge und somit auf die aus der thermischen Beanspruchung resultierenden Anforderungen. Die in Bild 5-12 folgenden Auswertungen beschreiben jeweils Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für die Dachneigungen 60° (oben), 45 (mittig) und 30° (unten) sowie für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 13,1 % (links) und 19,6 % (rechts). In allen Fällen ist eine Südorientierung der Dachflächen unterstellt.

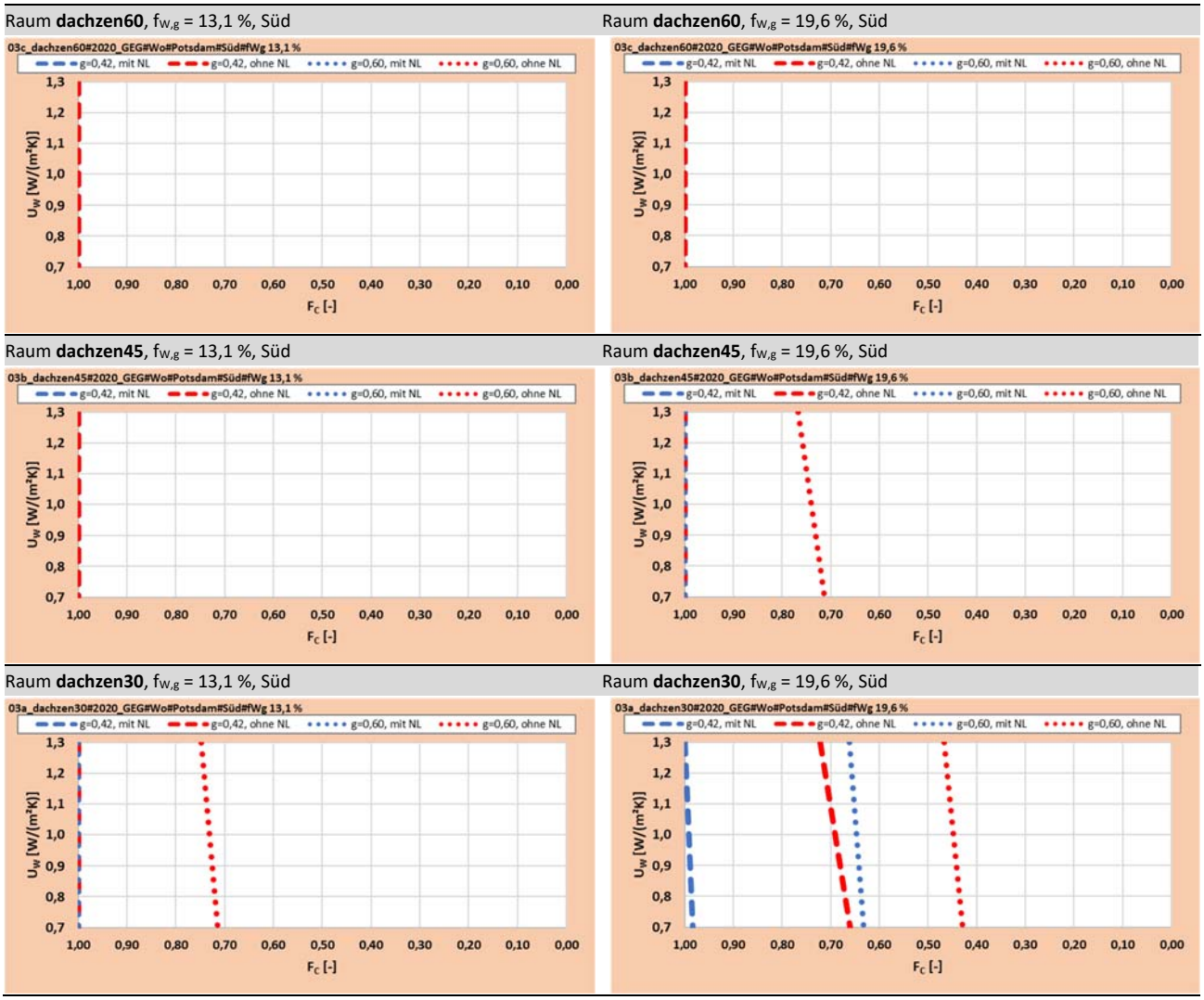


Bild 5-12: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Dachräume bei grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 13,1 % (links) und 19,6 % (rechts)

Von den in Bild 5-12 beschriebenen Fällen stellt der Fall mit einer Dachneigung von 30° den kritischsten Fall dar, da im Sommer zur Mittagszeit ein Sonnenhöhenwinkel von 60° erreicht wird und dies für nach Süden orientierte Fenster einen senkrechten Strahlungseinfall bedeutet (im Winter wird demgegenüber eine Sonnenhöhenwinkel von nur etwa 30° erreicht, was für nach Süden ausgerichtete Dachfenster mit einer Neigung von 60° die Situation eines senkrechten Strahlungseinfalls bedeutet).

5.1.2.6 *Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation der Bauschwere*

Wie sehr sich ein Raum infolge von der solaren Einstrahlung (und weiteren Wärmeeinträgen) aufheizt, hängt zu einem großen Teil davon ab, inwieweit die raumumschließenden Flächen in der Lage sind, die Wärmeeinträge zu speichern. Je kleiner die vom Raum zur Verfügung gestellte wirksame Wärmespeicherfähigkeit ist, umso schneller und intensiver wird sich der Raum erwärmen. Um den Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf das sommerliche Wärmeverhalten und die daraus resultierenden Anforderungen aufzuzeigen, folgt mit Bild 5-13 eine Auswertung für leichte, mittlere und schwere Bauart. Die raumumschließenden Bauteile sind dabei so gewählt, dass wirksame Wärmespeicherfähigkeiten wie folgt beschrieben werden:

- leicht: C_{wirk} = 50 Wh/(m²K)
- mittel: C_{wirk} = 90 Wh/(m²K)
- schwer: C_{wirk} = 130 Wh/(m²K)

Die Beschreibung von Erfüllungsoptionen erfolgt in Bild 5-13 für den Raum zen1.5b1.5t_breit für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50 und 90 % (grundflächenbezogen 26 und 47 %).

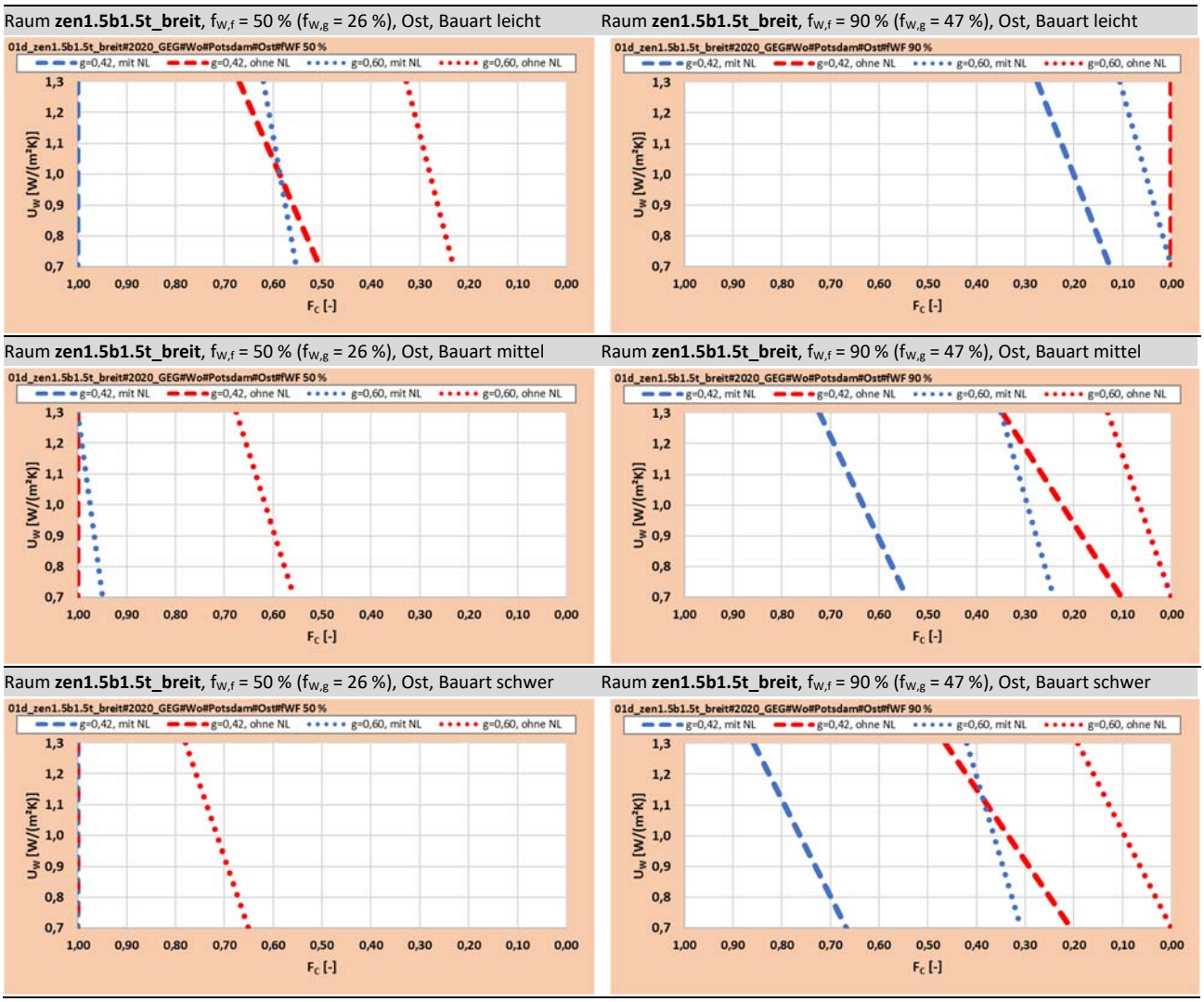


Bild 5-13: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Bauarten

Wie die Darstellung der Erfüllungsoptionen in Bild 5-13 zeigt, hat die wirksame Wärmespeicherfähigkeit einen erheblichen Einfluss das sommerliche Wärmeverhalten bzw. die erforderlichen Kombinationen aus U_W- und F_C-Wert. So kann beispielsweise bei leichter eine Ausführung der Raum mit dem hohen Fensterflächenanteil (oben rechts) nur mit g = 0,42 in Verbindung mit dem Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung sowie für U_W = 1,3 W/(m²K) mit $F_C \leq 0{,}28$ bzw. bei U_W = 0,70 mit $F_C \leq 0{,}14$ ausgeführt werden. Alternativ ist dieser Fensterflächenanteil bei leichter Ausführung auch mit g = 0,60 in Verbindung mit erhöhter Nachtlüftung und $F_C \leq 0{,}10$ möglich.

Wird der Raum in schwerer Bauart ausgeführt, so kann für den vorbeschriebenen Fall mit g = 0,42 bei erhöhter Nachtlüftung und einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}85$ (bei leicht: $F_C \leq 0{,}28$) und für einen U_W-Wert von 0,7 W/(m²K) ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}67$ (bei leicht: $F_C \leq 0{,}14$) eingesetzt werden. Für den Fall mit g = 0,60 unter denselben Randbedingungen kann bei erhöhter Nachtlüftung und einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}42$ (bei leicht: $F_C \leq 0{,}10$) eingesetzt werden.

5.2 Anwendungsfall Nichtwohnnutzung

Für neu zu errichtende Nichtwohngebäude ist der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach GEG 2020 erbracht, wenn durch Simulationsrechnung nach DIN 4108-2 mit den dort aufgeführten Randbedingungen ein Übertemperaturgradstundenwert von 500 Kh/a nicht überschritten ist.

Die im Folgenden dokumentierten Auswertungen unterscheiden zwischen Erfüllungsoptionen ohne beweglichen Sonnenschutz (Abschnitt 5.2.1) und Erfüllungsoptionen mit beweglichem Sonnenschutz (Abschnitt 5.2.2). Ausgewertet sind hierbei jeweils Situationen ohne erhöhten Luftwechsel sowie mit erhöhtem Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit.

Gemäß DIN 4108-2 ist die Nutzungszeit (Aufenthaltszeit) bei Nichtwohngebäuden festgelegt auf Montag bis Freitag von 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr. Ohne Ansatz eines erhöhten Luftwechsels erfolgt hiernach wochentäglich zwischen 18:00 Uhr und 7:00 Uhr sowie am Wochenende keine erhöhte Lüftung.

Für Nichtwohngebäude erfolgt der Ansatz eines erhöhten Luftwechsels von $n = 2\ h^{-1}$, wenn im Zeitfenster zwischen 18 Uhr und 7 Uhr sowie am Wochenende die Innentemperatur über der Außentemperatur liegt. Der erhöhte Luftwechsel wird rechnerisch nur angesetzt, wenn die Innentemperatur über der Soll-Temperatur für Heizen (Nichtwohngebäude 21 °C) liegt.

Für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz wird bei Nichtwohnnutzung eine Aktivierung des Sonnenschutzes in Ost über Süd bis nach West ausgerichteten Räumen ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung) von 200 W/m² angenommen. Für nach Norden ausgerichtete Räume liegt die Grenzbestrahlungsstärke bei 150 W/m². Die beschriebene Steuerung gilt für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude stellvertretend für eine manuelle Bedienung des Sonnenschutzes. Im Fall der Betrachtung von Ausführungen mit beweglichem Sonnenschutz erfolgt die Beschreibung von Erfüllungsoptionen auf zwei unterschiedliche Weisen wie folgt:

1. über zulässige Kombinationen von U_W-Wert und g-Wert in Verbindung mit definierten F_C-Werten
2. über zulässige Kombinationen von U_W-Wert und F_C-Wert in Verbindung mit definierten g-Werten

Weitergehende Erläuterungen hierzu folgen direkt in Abschnitt 5.2.2.

Hinweis: Fälle, die im aktuellen Abschnitt als „nicht ausführbar“ beschrieben werden, führen nach Ansatz der Simulationsrandbedingungen gemäß DIN 4108-2 zur Überschreitung der Anforderungswerte. „Nicht ausführbar“ bedeutet hier, dass in den betreffenden Raumsituationen nur durch zusätzliche anlagentechnische Kühlung eine Nutzbarkeit sichergestellt werden kann.

5.2.1 Erfüllungsoptionen ohne beweglichen Sonnenschutz

5.2.1.1 Einfluss des Fensterflächenanteils

Die Ergebnisse in Bild 5-14 beschreiben Erfüllungsoptionen für die Einhaltung des zulässigen Gh_{26}-Wertes für den Raum zen1.5b1.5t_breit mit unterschiedlichen Fensterflächenanteilen.

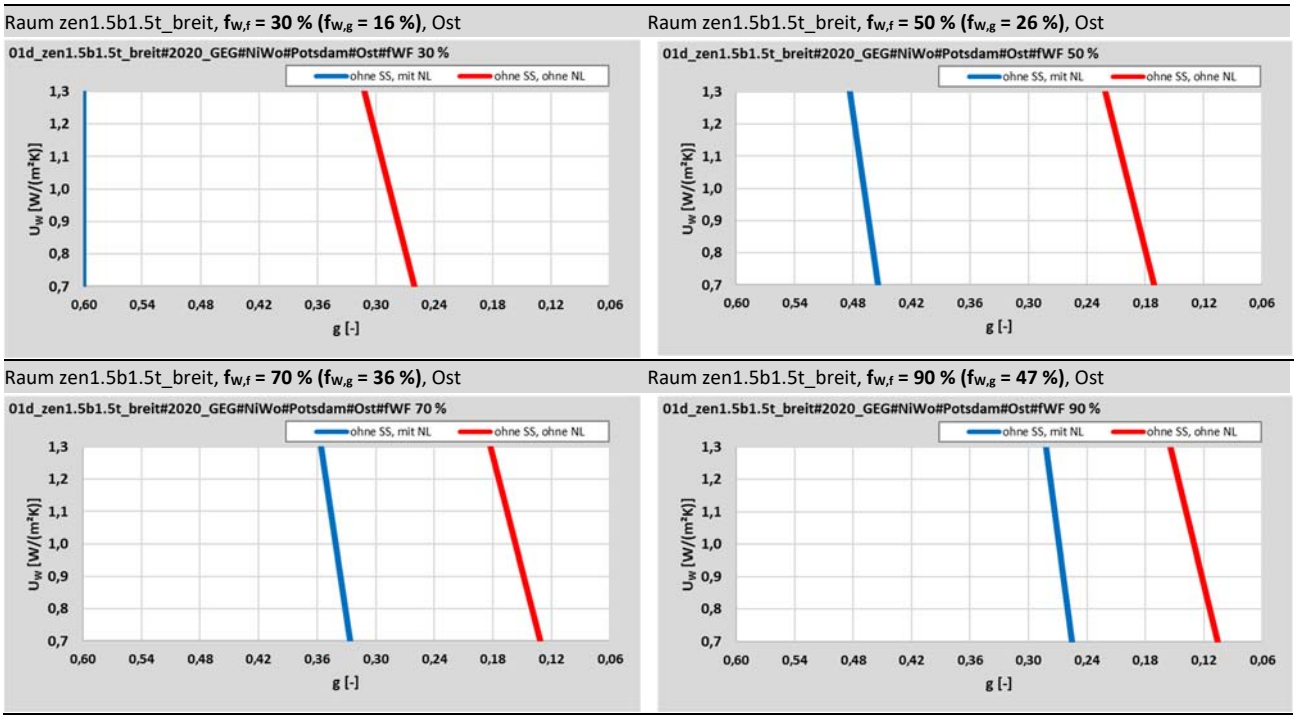


Bild 5-14: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts), Orientierung Ost

Für den Raum zen1.5b1.5t_breit resultieren nach Bild 5-14 bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 30 % (oben links, grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 16 %) keine Einschränkungen hinsichtlich der Ausführbarkeit bezüglich höchsten zulässiger g-Werte, wenn die Möglichkeit zum erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit unterstellt werden kann. Ohne erhöhten Luftwechsel liegen die höchstens zulässigen g-Werte für U_W = 1,3 W/(m²K) bei 0,31 und für U_W = 0,70 W/(m²K) bei 0,26.

Hinweis: Die Simulationsrechnungen zur Identifizierung der Erfüllungsoptionen wurden ausschließlich für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) durchgeführt und es wird hinsichtlich zulässiger Kombinationen von U_W- und g-Wert ein linearer Verlauf zwischen den für U_W = 1,3 W/(m²K) und für U_W = 0,70 W/(m²K) ermittelten g-Werten unterstellt.

Eine Vergrößerung des Fensterflächenanteils bis auf 90 % fassadenbezogenen Fensterflächenanteil (unten rechts in Bild 5-14, grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 47 %) zeigt dass hier nur deutlich reduzierte g-Werte ausgeführt werden können, um die Anforderungen einzuhalten. Für den Fall mit erhöhtem Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit liegen die zulässigen Kombinationen bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,28 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,26.

Erfolgt die Berechnung ohne Ansatz eines erhöhten Luftwechsels, so liegen die zulässigen Kombinationen bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,16 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,10.

Die Auswertungen in Bild 5-14 zeigen somit, dass Fenster mit besseren U-Werten zu höheren thermischen Beanspruchungen führen. Insbesondere für Fälle ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit ist dies von Bedeutung, da hier eine nächtliche Auskühlung ausschließlich über den Transmissionswärmestrom erfolgen kann und somit ein Fenster mit niedrigerem U-Wert einen größeren Widerstand darstellt. Zwar bieten Fenster mit niedrigerem U-Wert auch tagsüber einen höheren Wärmedurchlasswiderstand und Wärmeeinträge über

Transmission bei hohen Außentemperaturen können geringfügig reduziert werden. Dominierend hinsichtlich der Wärmeeinträge sind tagsüber allerdings die solaren Wärmeeinträge, was mit einem verbesserten U-Wert nicht kompensiert, sondern nur durch einen entsprechend niedrigen g-Wert „abgefangen“ werden kann, wenn kein Sonnenschutz vorhanden ist.

5.2.1.2 Einfluss der Orientierung

Neben der in vorherigen Abschnitt behandelten Fenstergröße ist der solare Wärmeeintrag und die thermische Beanspruchung eines Raumes auch von der Fensterorientierung abhängig. Hierzu folgt für den Raum zen1.5b1.5t_breit die Auswertung für eine Ausrichtung der Fenster in die vier Haupthimmelsrichtungen mit Bild 5-15. In allen Fällen wird ein fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %) unterstellt.

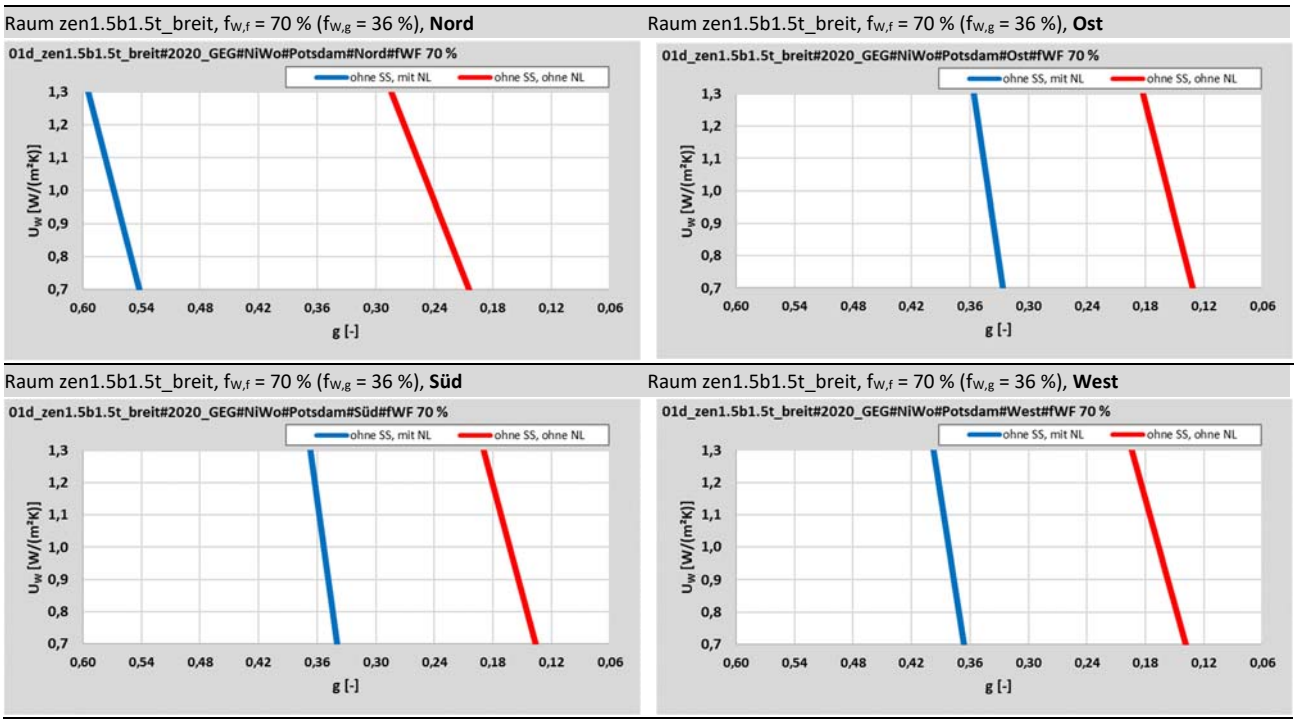


Bild 5-15: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“* für die Haupthimmelsrichtungen, alle Fälle mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 70 %

Die Auswertungen in Bild 5-15 zeigen, dass sich für die Orientierungen Ost, Süd und West in etwa vergleichbare thermische Belastungen und Anforderungen ergeben. Es zeigt sich darüber hinaus, dass auch nach Norden ausgerichtete Fenster bei dieser Größe bereits zu kritischen Verhältnissen führen können, wenn kein erhöhter Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit stattfindet. Für Nord- u. Ost-Orientierung folgt mit Bild 5-16 eine Auswertung für einen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 90 %.

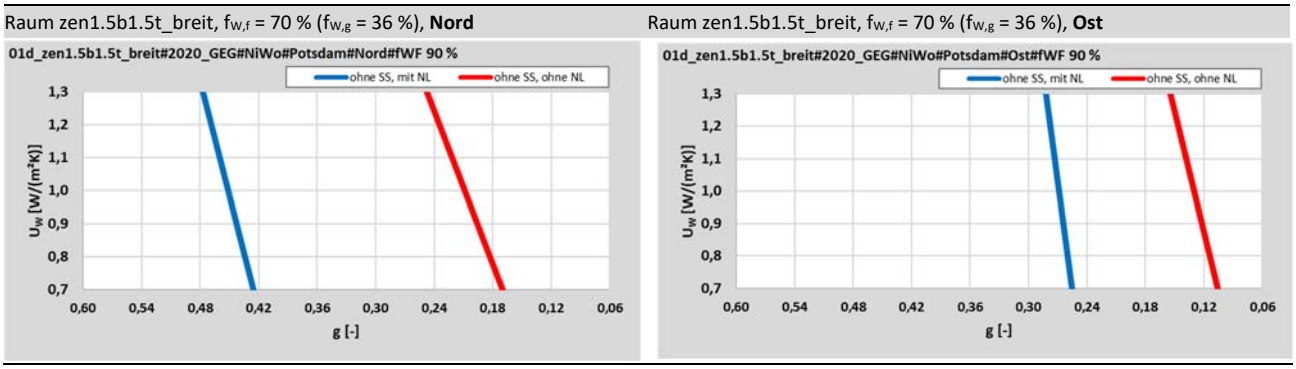


Bild 5-16: Ergänzende Auswertungen zu Bild 5-15 für $f_{w,f}$ = 90 % ($f_{w,g}$ = 47 %) für Nord- und Ost-Orientierung

5.2.1.3 *Einfluss der Raumgeometrie*

Die in Bild 5-17 folgenden Auswertungen beschreiben die Erfüllungsoptionen zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz für unterschiedliche Raumsituationen. Unterstellt wird jeweils ein fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 % und eine Ost-Orientierung.

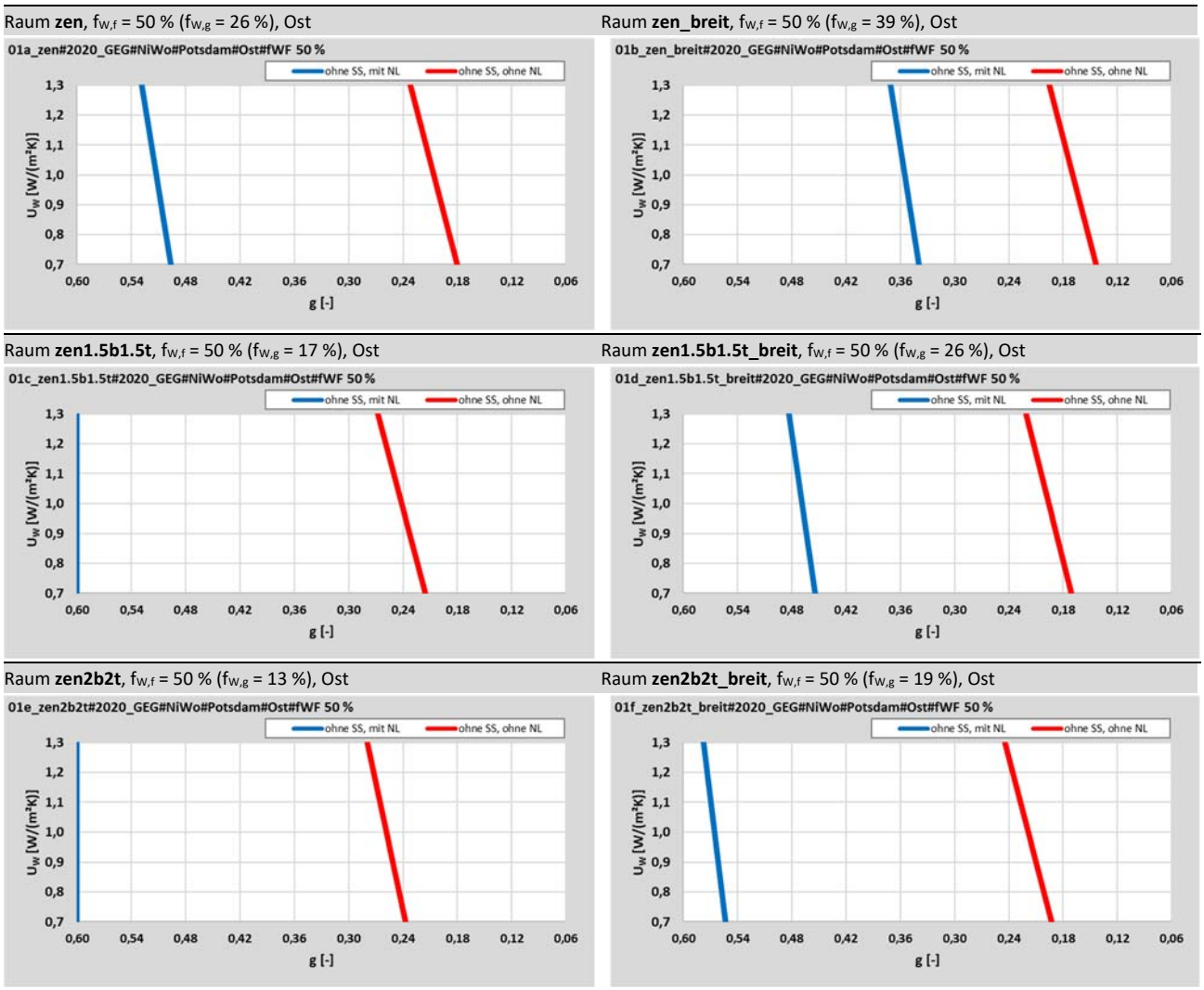


Bild 5-17: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, alle Fälle mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben) in Richtung Osten

Die Bandbreite der mit den Raumsituationen in Bild 5-17 beschriebenen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile erstreckt sich von 13 % (unten links für den Raum zen2b2t) bis 39 % (oben rechts für den Raum zen_breit). Erwartungsgemäß führt der größte auf die Grundfläche bezogene Fensterflächenanteil auch zur größten thermischen Beanspruchung und in der Folge zu den höchsten Anforderungen in Bezug auf höchstens zulässige g-Werte. Während in den Räumen zen1.5b1.5t (mittig links) und zen2b2t (unten links) auch mit Ansatz eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Nutzungszeit eine Ausführbarkeit mit Normalglas (g-Wert 0,60) möglich ist, ohne dass der Anforderungswert überschritten wird, liegen die zulässigen U_W-/g-Wert-Kombinationen für den Raum zen_breit mit erhöhtem Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,37 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,34 und ohne Nachtlüftung bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,20 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,14.

Mit Bild 5-18 folgen ergänzende Auswertungen für einen in allen Fällen auf 90 % erhöhten fassadenbezogenen Fensterflächenanteil.

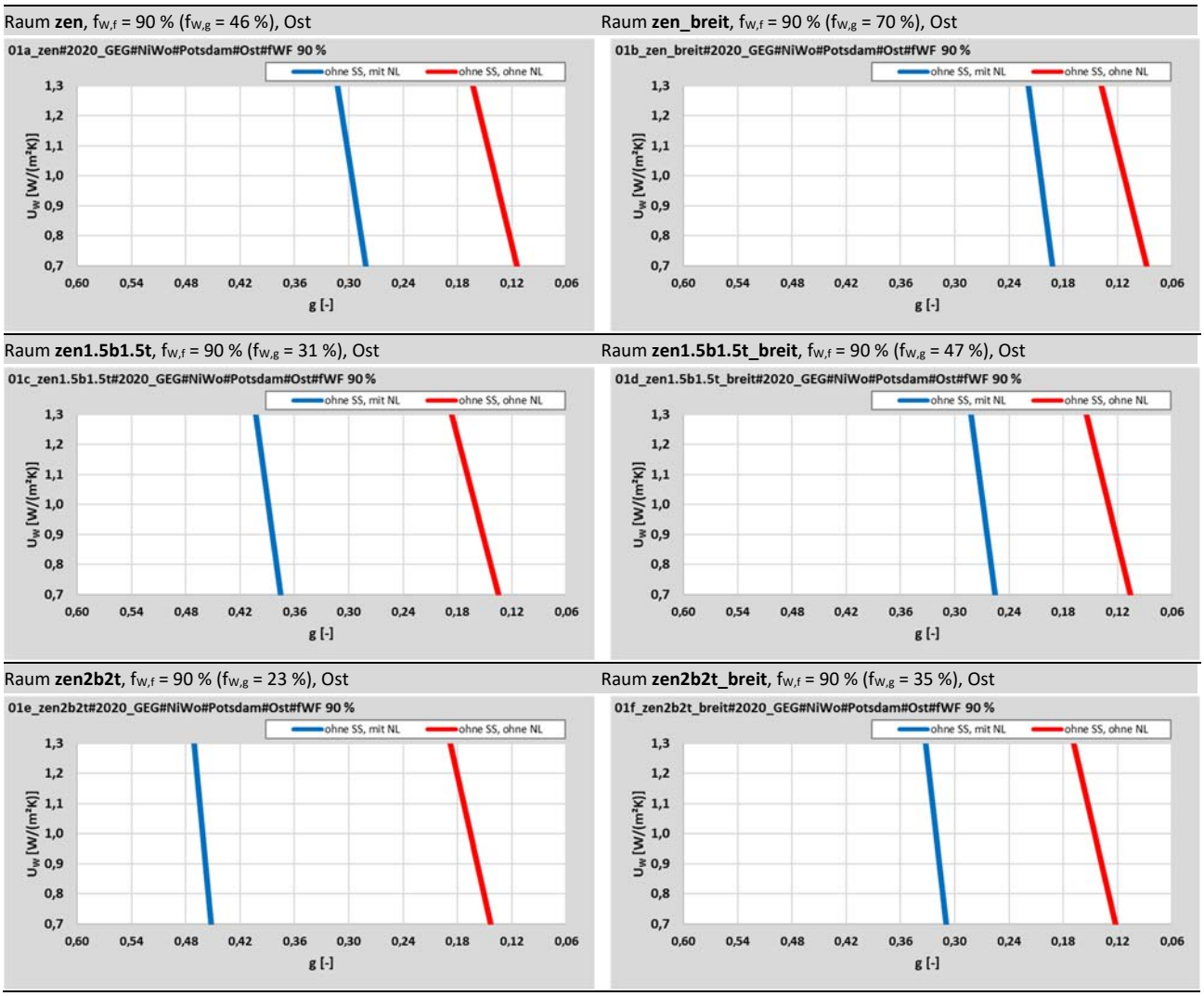


Bild 5-18: **Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“*, alle Fälle mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben) in Richtung Osten**

Durch die in Bild 5-18 beschriebenen Raumsituationen werden grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 23 % (Raum zen2b2t, unten links) und 70 % (zen_breit, oben rechts) beschrieben. In allen betrachteten Fällen ergibt sich eine Ausführbarkeit nur durch Gläser mit im Vergleich zum Normalglas reduzierten g-Werten. Die höchsten Anforderungen ergeben sich für den Raum zen_breit, für den die zulässigen U_W-/g-Wert-Kombinationen mit erhöhtem Luftwechsels außerhalb der Nutzungszeit bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,22 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,19 und ohne erhöhten Luftwechsel bei rechnerisch bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,14 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,09 liegen.

Sofern auf den Einsatz eines beweglichen Sonnenschutzes verzichtet werden soll, ist gemäß obigen Auswertungen bei hohen Fensterflächenanteilen selbst unter Ansatz erhöhter Nachtlüftung in vielen Fällen der Einsatz von extrem verdunkelnden bzw. verspiegelten Sonnenschutzgläsern erforderlich. Dies hat jedoch zur Folge, dass die solaren Wärmeeinträge auch in der Heizzeit minimiert werden und keinen Beitrag zur Reduzierung des Energiebedarfs für Heizen leisten können. Diese Zusammenhänge werden in Abschnitt 6 behandelt.

5.2.2 Erfüllungsoptionen mit beweglichem Sonnenschutz

Der Einsatz von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen bietet ein hohes Potenzial zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens. Entscheidender Vorteil gegenüber Sonnenschutzgläsern ist hierbei, dass der Sonnenschutz ein dynamisches Element darstellt und die Einstrahlung nach Bedarf verhindert werden kann, sodass solare Wärmeinträge in der Heizzeit weiter genutzt werden können. Bei den folgenden Auswertungen zur Wirksamkeit eines beweglichen Sonnenschutzes erfolgen einerseits Auswertungen, aus denen hervorgeht, welche U_W-/g-Wert Kombinationen bei vorgegebenen F_C-Werten erforderlich sind, um die Anforderungen einzuhalten (Abschnitt 5.2.2.1). Als weitere Art der Auswertung werden zulässige Kombinationen für U_W- und F_C-Wert bei vorgegebenen g-Werten benannt (Abschnitt 5.2.2.2 ff.)

5.2.2.1 Zulässige U_W-/g-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen F_C-Werten

In Bezug aus das sommerliche Wärmeverhalten und werden die Potenziale eines beweglichen Sonnenschutzes mit Bild 5-19 dargestellt. Am Beispiel des Raumes zen1.5b1.5t_breit sind hier jeweils Fälle mit F_C-Werten zwischen 1,0 (oben links, informativ, ohne Sonnenschutz) und 0,10 (hoch wirksamer Sonnenschutz, unten rechts) beschrieben.

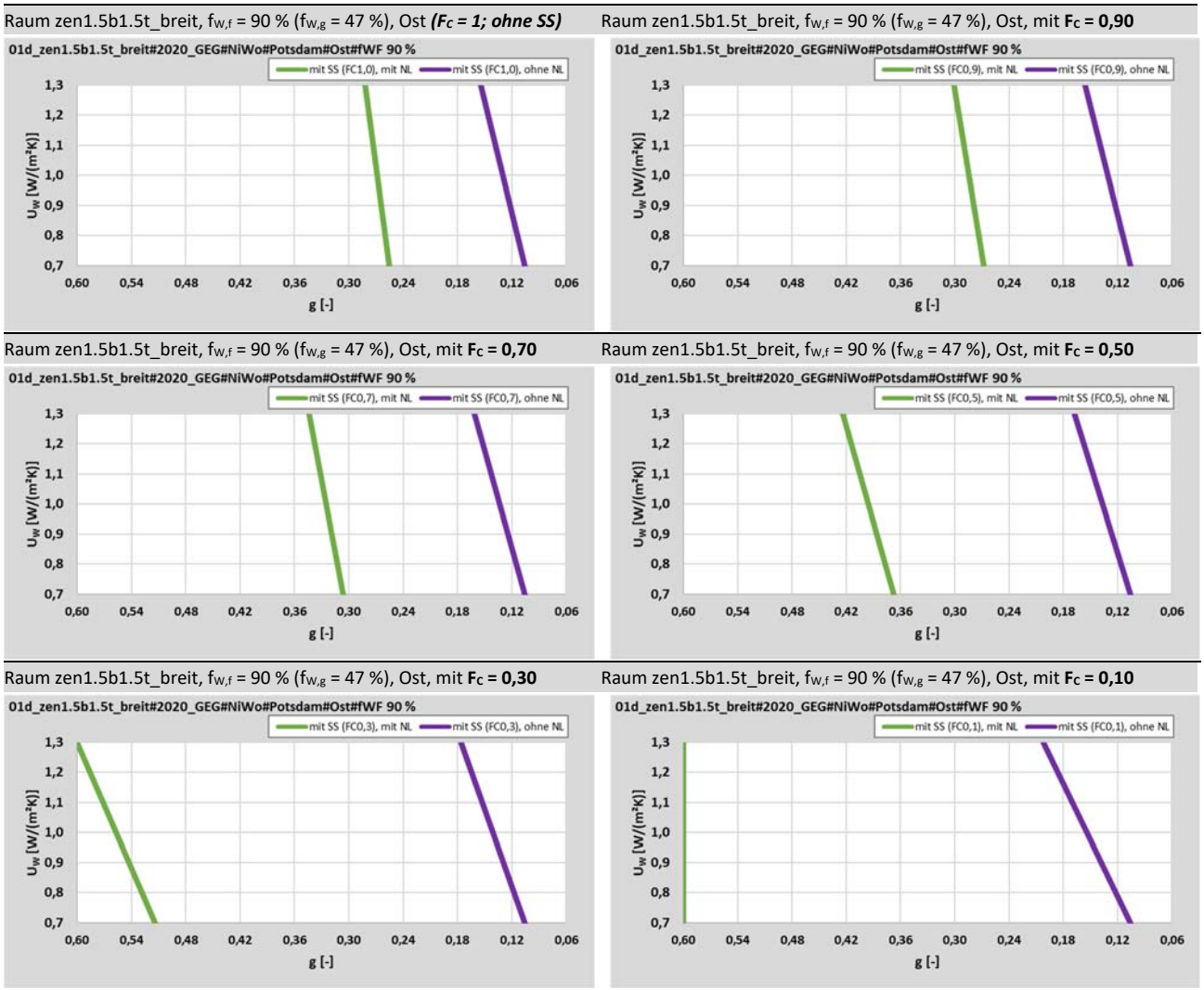


Bild 5-19: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum zen1.5b1,5t_breit für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Auswertungen für F_C-Werte von 1,0 bis 0,10, alle Fälle mit $f_{W,f}$ = 90 % ($f_{W,g}$ = 47 %) in Richtung Osten

Ausgehend von dem Fall oben links in Bild 5-19, welcher für die Situation ohne Sonnenschutz (F_C = 1,0) steht, geht aus den weiteren Auswertungen hervor, wie sich die höchstens zulässigen g-Werte mit Verbesserung des F_C-Wertes erhöhen. Während die zulässigen Kombinationen

von U_W- und g-Wert für den Fall ohne Sonnenschutz bei Ansatz eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Nutzungszeit noch bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,28 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,26 und ohne erhöhten Luftwechsel bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,15 bzw. U_W = 0,70 W/(m²K) mit g = 0,11 liegen, kann bei einem F_C-Wert von 0,30 (unten links) mit erhöhtem Luftwechsel bereits ein Normalglas mit g = 0,60 ausgeführt werden.

Die Auswertungen in Bild 5-19 zeigen darüber hinaus sehr deutlich, dass sich das Vorhandensein bzw. die Qualität eines beweglichen Sonnenschutzes nur dann positiv auswirkt, wenn dem Raum auch ein erhöhter Luftwechsel zugutekommt. Erfolgt die Simulation ohne Ansatz des erhöhten Luftwechsels, so zeigt die Veränderung des F_C-Wertes keinen nennenswerten Effekt, erkennbar daran, dass sich die höchstens zulässigen g-Wert nur sehr geringfügig erhöhen.

5.2.2.2 Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation des Fensterflächenanteils

Abweichend von der Darstellungsform im vorherigen Abschnitt folgt im Weiteren die Beschreibung von Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz über die Beschreibung von zulässigen U_W-/F_C-Wert-Kombinationen für vorgegebene g-Werte von 0,60 und 0,42. Bei den dargestellten Graphen wird wie folgt unterschieden:

- g-Wert von 0,60 ohne erhöhte Nachtlüftung (Graphen rot punktiert)
- g-Wert von 0,60 mit erhöhter Nachtlüftung (Graphen blau punktiert)
- g-Wert von 0,42 ohne erhöhte Nachtlüftung (Graphen rot gestrichelt)
- g-Wert von 0,42 mit erhöhter Nachtlüftung (Graphen blau gestrichelt)

Die Auswertungen in Bild 5-20 beschreiben am Beispiel der Raumgeometrie zen1.5b1.5t_breit über den Verlauf der Graphen diejenigen U_W-/F_C-Wert-Kombinationen, mit denen der Anforderungswert von 500 Kh/a gerade eingehalten wird.

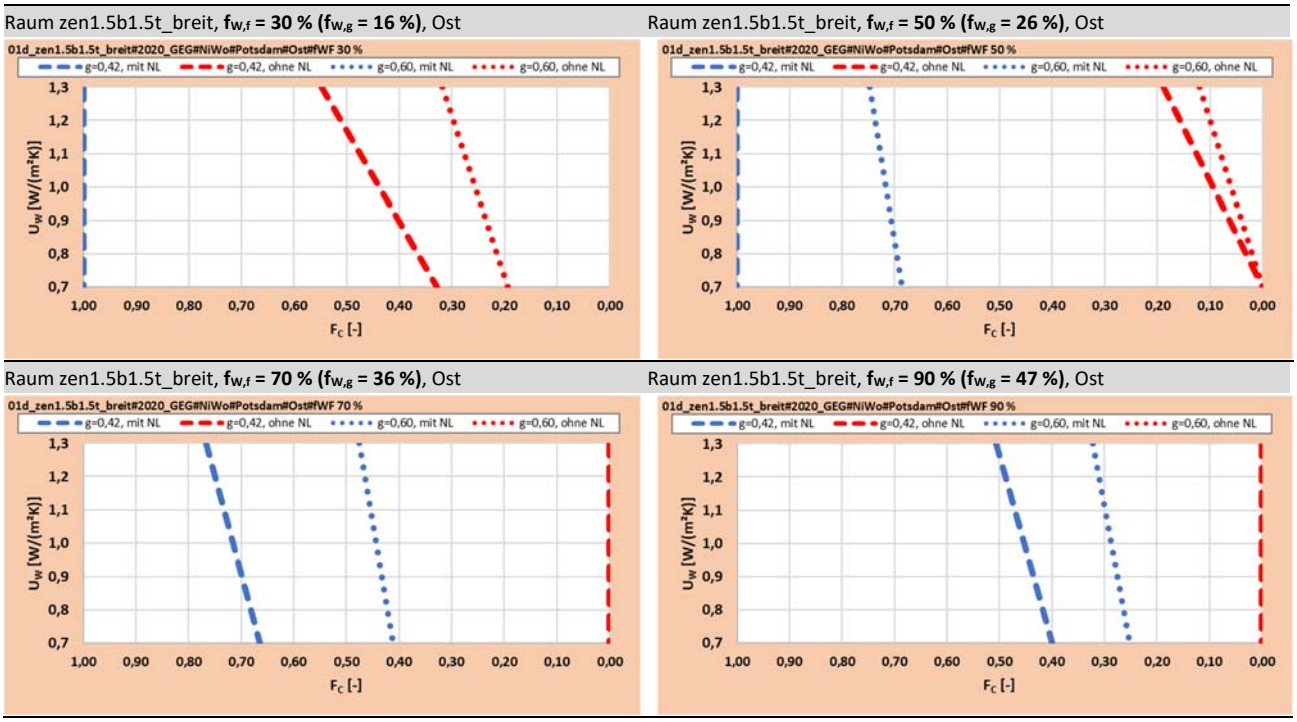


Bild 5-20: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts)

In Bild 5-8 sind fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 % und 90 % betrachtet, was für diesen Raum grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen zwischen 16 und 47 % entspricht. Analog zu den bisherigen Auswertungen stellen alle U_W-/F_C-Wert-Kombinationen

links von den Graphen jeweils nicht ausführbare Situationen dar, da mit diesen der Anforderungswert von 500 Kh/a nicht eingehalten wird. Die Auswertungen in Bild 5-20 zeigen, dass in diesem Raum bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 30 % (grundflächenbezogen 16 %) für die Situationen ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit bereits ein Sonnenschutz erforderlich ist. Bei einem g-Wert von 0,60 und einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) muss $F_C \leq 0{,}31$ und bei $U_W = 0{,}70$ muss der F_C-Wert ≤ 0,20. Für das Glas mit g = 0,42 liegen die zulässigen Kombinationen bei $U_W = 1{,}3$ W/(m²K) mit $F_C \leq 0{,}55$ und $U_W = 0{,}70$ W/(m²K) mit $F_C \leq 0{,}33$. Situationen mit erhöhtem Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit erfordern keinen Sonnenschutz.

Mit Vergrößerung des fassadenbezogenen Fensterflächenanteils ergeben sich entsprechend erhöhte Anforderungen an höchstens zulässige F_C-Werte, wobei ab einem fassadenbezogenen Grundflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %) eine Ausführung ohne erhöhten Luftwechsel nicht mehr möglich ist.

Hinweise:

1. Erfolgt nach DIN 4108-2 eine Simulationsrechnung für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes und wird hierbei eine erhöhte Nachtlüftung angesetzt, so ist ein Sonnenschutz vorzusehen, mit welchem ein g_{tot}-Wert (Produkt aus g-Wert und F_C-Wert) von 0,40 erreicht wird. Diese Zusatzanforderung gilt nur, wenn ohne den Ansatz der erhöhten Nachtlüftung der Anforderungswert unter ansonsten gleichen Randbedingungen nicht eingehalten wird. Die vorbeschriebene „Zusatzbedingung“ in den obigen Auswertungen nicht dargestellt und bedeutet rechnerisch für den zuvor beschriebenen Fall mit g = 0,42, dass hier zusätzlich ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}95$ eingesetzt werden müsste. Für alle Fälle mit g = 0,60 wäre ein Sonnenschutz mit $F_C \leq 0{,}67$ erforderlich, wenn der Nachweis nur in Verbindung mit dem Ansatz der erhöhten Nachtlüftung erbracht werden kann.
2. Für den Sonnenschutz wird bei den Auswertungen für Wohnnutzung eine Betriebsweise unterstellt, die von einer Aktivierung des Sonnenschutzes ab Überschreiten einer Grenzbestrahlungsstärke (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung senkrecht zur Fensterfläche) von 300 W/m² (Orientierungen Ost, Süd und West) bzw. 200 W/m² (Nord) ausgeht. Diese Modellierung entspricht der Standardsteuerung für einen Sonnenschutz bei Wohnnutzung nach DIN 4108-2. Eine Aktivierung des Sonnenschutzes bereits bei geringeren Grenzbestrahlungsstärken verbessert das sommerliche Wärmeverhalten, setzt aber einen automatisierten Betrieb voraus und führt ggf. zu höheren Einschaltzeiten für künstliche Beleuchtung.
3. Der in Bild 5-8 in der Abbildung oben rechts für die Situationen g = 0,60 und g = 0,42 jeweils ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit dargestellten Graphen liegen mit ihren unteren Enden bei dem theoretischen F_C-Wert von 0,00. Dies bedeutet, dass für diese Fälle ($U_W = 0{,}70$ W/(m²K)) der Gh_{26}-Wert noch über dem Anforderungswert von 500 Kh/a liegt und eine Ausführung daher nicht zulässig ist. Für die dargestellten Graphen bedeutet dies, dass **nur das obere Ende der Graphen für** die Situation bei **U_W = 1,30 W/(m²K) zulässige Erfüllungsoptionen** beschreiben! Da die Graph am unteren Ende für $U_W = 0{,}70$ W/(m²K) eine nicht ausführbare Situation beschreibt und für U_W-Werte zwischen 1,3 und 0,70 W/(m²K) keine zusätzlichen Simulationen durchgeführt wurden, kann aus **Graphen, die am oberen Ende einen F_C-Wert > 0 beschreiben und am unteren Ende auf F_C = 0,00 laufen nicht auf zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen geschlossen werden!**

5.2.2.3 *Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation der Orientierung*

Die thermische Beanspruchung eines Raumes hängt neben zahlreichen weiteren Einzeleinflüssen entscheidend von der Ausrichtung der Fenster des Raumes ab. Die Ergebnisse in Bild 5-21 enthalten hierzu exemplarische Auswertungen für den Raum zen1.5b1.5t_breit mit einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %), wobei als Fensterorientierungen die Haupthimmelsrichtungen betrachtet werden.

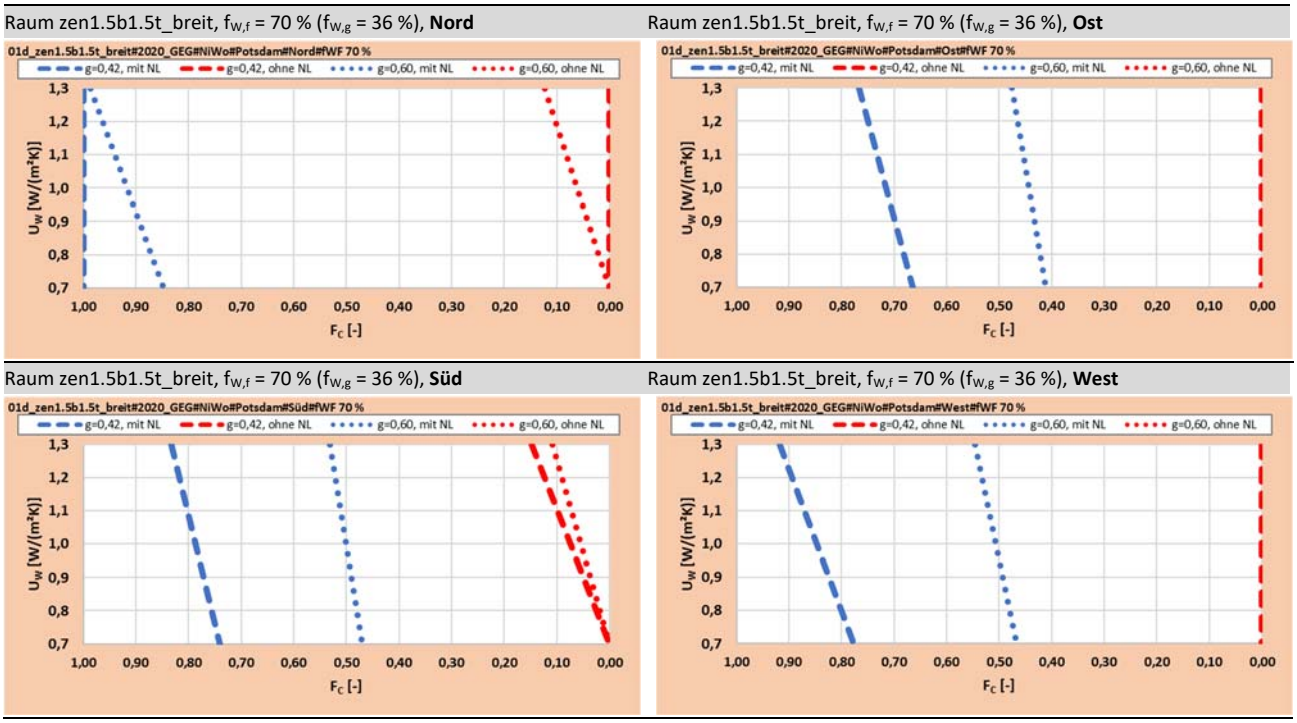


Bild 5-21: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für die Haupthimmelsrichtungen

Die mit Bild 5-21 beschriebenen Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz zeigen, wie bereits die Auswertungen für die Fälle ohne Sonnenschutz, dass die Orientierungen Ost, Süd und West bei ansonsten gleichen Randbedingungen in etwa zu vergleichbaren thermischen Belastungen bzw. vergleichbaren U_W-/F_C-Wert-Kombinationen führen, mit denen der Anforderungswert eingehalten wird. Dabei zeigt sich, dass für diesen Fensterflächenanteil selbst im Fall der Nordorientierung eine Ausführung ohne Ansatz einer erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit nur für die Kombination U_W = 1,3 W/(m²K) mit $F_C \leq 0{,}12$ möglich ist und alle anderen Kombinationen zu einer Überschreitung des Anforderungswertes führen. Ferner zeigen die Darstellungen, dass für die Orientierungen Ost, Süd und West auch mit Ansatz eines erhöhten Luftwechsels stets zusätzlich Sonnenschutzvorrichtungen für die Einhaltung der Anforderungen nötig sind.

5.2.2.4 *Zulässige U_W-/F_C-Wert-Kombinationen bei vorgegebenen g-Werten und Variation der Raumgeometrie*

Die thermische Beanspruchung eines Raumes infolge solarer Einstrahlung hängt im Wesentlichen davon ab, welchen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil der Raum aufweist. Zum Vergleich unterschiedlicher Raumsituationen folgt mit Bild 5-22 eine Gegenüberstellung von unterschiedlichen Räumen, die unter ansonsten gleichen Randbedingungen jeweils einen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 % aufweisen. Hierbei variiert der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil zwischen 13 und 39 %. Mit Bild 5-23 folgen identische Auswertungen zu einem in allen Fällen unterstellten fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 90 %, womit grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 23 bis 70 % beschrieben werden.

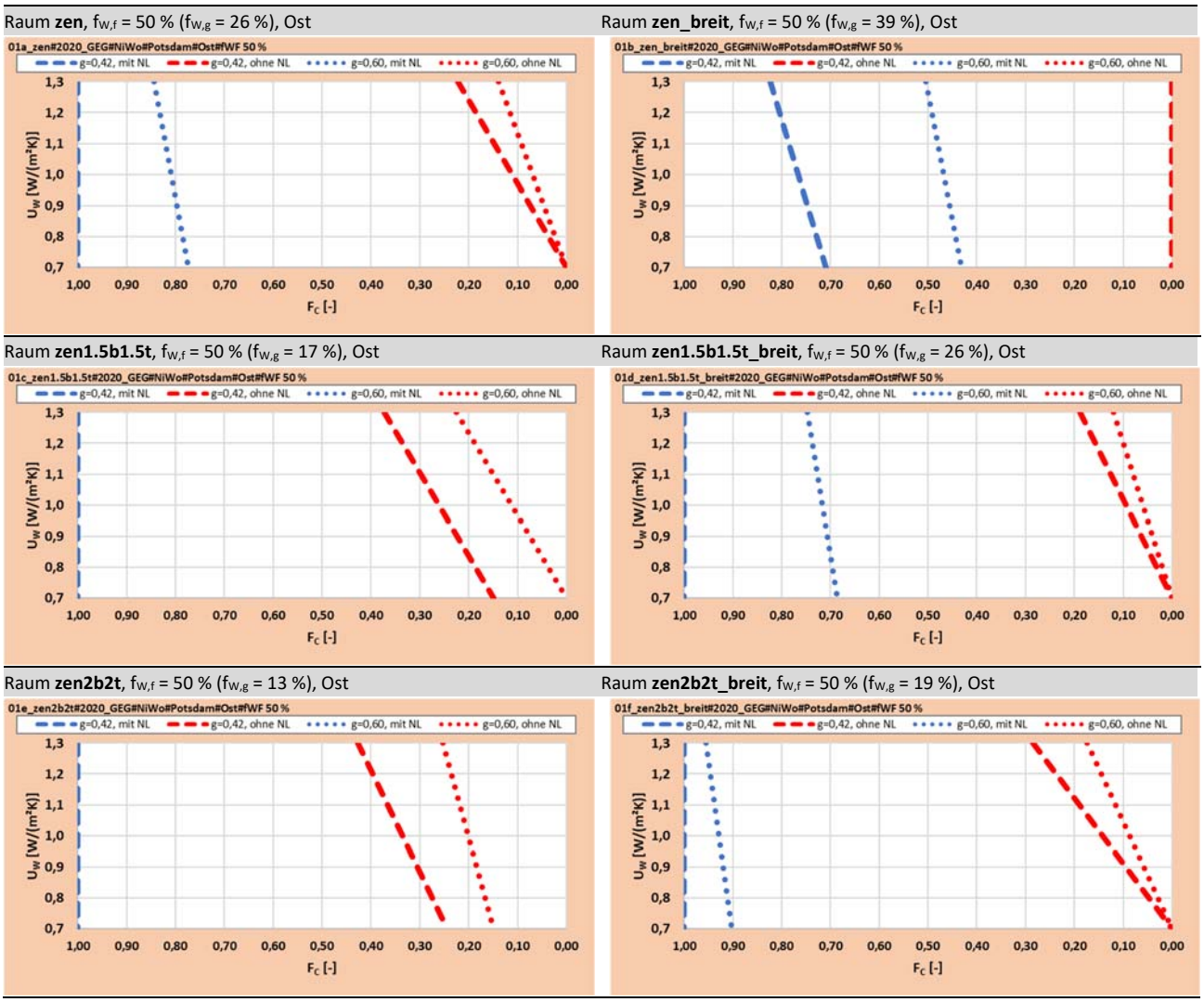


Bild 5-22: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen 13 – 39 %)

Die Auswertungen in Bild 5-22 zeigen, dass die Räume zen2b2t (unten links) und zen1.5b1.5t (mittig links) mit grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 13 und 17 % bei unterstellter erhöhter Lüftung außerhalb der Nutzungszeit ohne Sonnenschutz die Mindestanforderungen einhalten. Der Raum zen_breit (oben rechts) weist einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 39 % auf und erfordert für g = 0,42 mit erhöhter Nachtlüftung bereits F_C ≤0,82 für U_W = 1,3 W/(m²K) bzw. F_C ≤ 0,70 für U_W = 0,70 W/(m²K). Im Vergleich ist für den

Einsatz von Normalglas mit g = 0,60 bei Ansatz erhöhter Nachtlüftung für U_W = 1,3 W/(m²K) bereits F_C ≤ 0,50 und für U_W = 0,70 W/(m²K) ein F_C-Wert ≤ 0,44 erforderlich. Ohne Ansatz der erhöhten Lüftung ist für diesen Raum eine Ausführung nicht möglich.

Als weiteres Beispiel folgt mit Bild 5-23 die Auswertung für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 90 %, womit grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 23 und 70 % beschrieben werden.

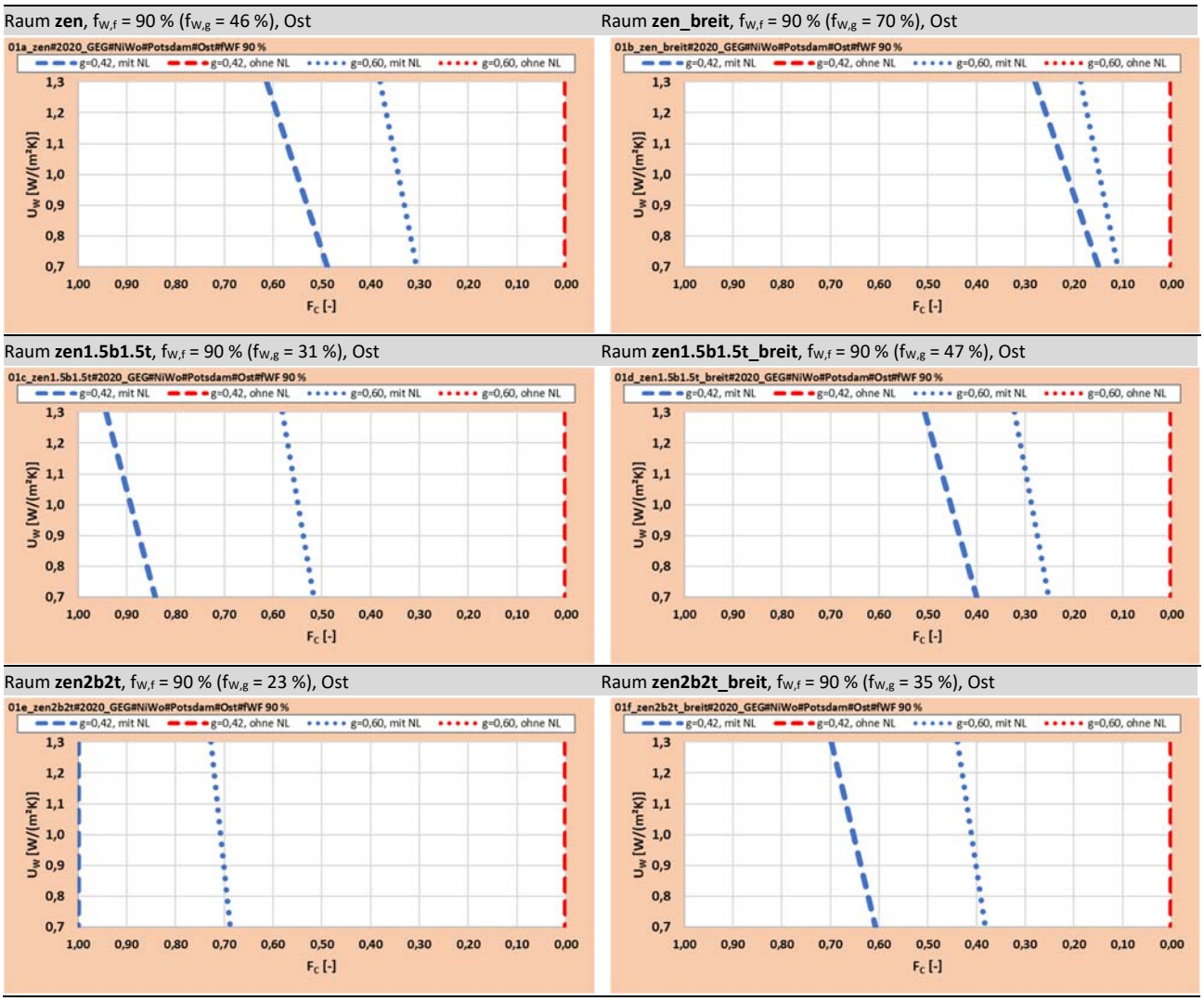


Bild 5-23: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 90 % (grundflächenbezogen 23 – 70 %)

Erwartungsgemäß liegen die Anforderungen an höchstens zulässige F_C-Werte für die Auswertungen in Bild 5-23 deutlich höher als bei den Auswertungen zu den kleineren Fensterflächenanteilen in Bild 5-22. Der Raum zen_breit mit dem größten Fensterflächenanteil (grundflächenbezogen 70 %) ist nur noch für U_W = 1,3 W/(m²K) durch den Fall g = 0,42 in Verbindung mit erhöhter Nachtlüftung und einem F_C-Wert ≤ 0,28 bzw. für U_W = 0,70 mit F_C ≤ 0,15 ausführbar. Für Normalglas mit g = 0,60 sind die Anforderungen F_C ≤ 0,19 bei U_W = 1,3 W/(m²K) und F_C ≤ 0,11 bei U_W = 0,70.

6 Zusammenführung Winterfall/Sommerfall

Die Neubewertung solarer Wärmeeinträge in der GEG-Anforderungssystematik unter Verwendung der äquivalenten U-Werte für Sanierungen im Bestand bzw. von Transferkoeffizienten, welche über die Transmissionswärmeverluste hinaus auch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge berücksichtigen, zielt darauf ab, den Energiebedarfs für die Gebäudebeheizung möglichst zu minimieren. Bezogen auf die solaren Wärmeeinträge bedeutet dies die Umsetzung möglichst hoher g-Werte. Erfolgt eine Optimierung des Gebäudeentwurfs nur aus dieser „Winterperspektive“ heraus, resultieren unter Umständen Probleme in Bezug auf das sommerliche Wärmeverhalten. Dies gilt insbesondere für Bestandssituationen, da hier die GEG-Anforderungssystematik eine Nachweisführung für den sommerlichen Mindestwärmeschutz nicht vorschreibt. Deshalb werden im Rahmen der Studie zusätzlich zu den energetischen Bewertungen nach DIN V 18599 jeweils korrespondierende Simulationsrechnungen durchgeführt. Dabei wird grundsätzlich unterschieden zwischen den Fällen ohne und mit erhöhter Nachtlüftung (Wohnnutzung) bzw. erhöhter Lüftung außerhalb der Nutzungszeit (Nichtwohnnutzung). Zusätzlich erfolgt eine Differenzierung zwischen den Situationen ohne und mit beweglichem Sonnenschutz, wie in Abschnitt 5 ausführlich beschrieben. Die folgenden Darstellungen und Diskussionen führen die Ergebnisse der winterlichen und sommerlichen Betrachtung zusammen, indem die mit Abschnitt 2.2.1 erläuterte Methodik zum Einfluss von U_W-/g-Wert-Kombinationen auf den Nutzenergiebedarf Heizen nach DIN V 18599 mit der Identifizierung von Erfüllungsoptionen zum sommerlichen Mindestwärmeschutz (siehe Erläuterung zur Methodik in den Abschnitten 2.3.1 und 2.3.2) überlagert werden. Hierdurch wird z.B. erkennbar, welche prozentualen Erhöhungen für den Nutzenergiebedarf Heizen (bezogen auf den Nutzenergiebedarf bei U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60) resultieren, wenn zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz Gläser mit niedrigen g-Werten eingesetzt werden sollen. Wie in den vorigen Abschnitten erfolgen die Auswertungen getrennt für die Anwendungsfälle Wohnnutzung (Abschnitt 6.1) und Nichtwohnnutzung (Abschnitt 6.2).

6.1 Anwendungsfall Wohnnutzung

Für den Anwendungsfall Wohnnutzung unterscheidet DIN V 18599-10 [14] bei der energetischen Bilanzierung zwischen den Nutzungen Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH). Unter ansonsten gleichen Randbedingungen ergeben sich dabei für den Fall MFH geringere Wärmebedarfe, da hier höhere interne Wärmeeinträge bilanziert werden. Für die im Folgenden zur Beschreibung der Einzeleinflüsse herangezogenen Beispiele wird die Nutzung EFH zugrunde gelegt. Eine Gegenüberstellung der Nutzungen EFH und MFH erfolgt mit Abschnitt 6.1.4. Für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erfolgt nach DIN 4108-2 [10] bei Wohnnutzung keine Differenzierung zwischen EFH und MFH.

Die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Winter- und Sommerfall erfolgt im Weiteren anhand von ausgewählten Fällen, anhand derer die wesentlichen Zusammenhänge verdeutlicht werden. In Unterabschnitten werden folgende Einzeleinflüsse betrachtet:

- Variation des Fensterflächenanteils (Abschnitt 6.1.1)
- Variation der Orientierung (Abschnitt 6.1.2)
- Variation der Geometrie (Abschnitt 6.1.3)
- Variation der Nutzung (Abschnitt 6.1.4)

6.1.1 Variation des Fensterflächenanteils

Mit Veränderung des Fensterflächenanteils ergeben sich, wie die Auswertungen in Abschnitt 3 bereits gezeigt haben, jeweils unterschiedliche nutzbare solare Wärmeeinträge. Die in Bild 6-1 folgenden Auswertungen verdeutlichen dies anhand von Auswertungen zur prozentualen Veränderung des Nutzenergiebedarfs Heizen jeweils bezogen U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 (jeweils oben links im Diagramm (siehe auch Erläuterungen in Abschnitt 2.2.1). Die vier Einzeldiagramme beschreiben für den Raum zen1.5b1.5t_breit jeweils fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 30, 50, 70 und 90 Prozent, was für diesen Raum grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 16, 26, 36 und 47 Prozent entspricht.

Hinweis: Jedes Einzeldiagramm enthält über dem Diagramm eine Beschriftung, in der jeweils die individuellen Randbedingungen des Falls sowie am Ende der für die Kombination U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 berechneten Nutzenergiebedarf Heizen ausgewiesen ist. Die Linie, welche ausgehend von der oberen linken Diagrammecke nach rechts unten verläuft und den grünen Diagrammhintergrund von dem bräunlichen Hintergrund trennt, beschreibt jeweils Kombinationen von U_W- und g-Wert, welche zu dem gleichen Nutzenergiebedarf führen. Zur Erinnerung: mit jeder parallelen Linie rechts oberhalb oder links unterhalb dieser Trennlinie ergibt sich eine Erhöhung bzw. Verringerung des Nutzenergiebedarfs Heizen um 2,5 Prozent. Jeder Farbwechsel markiert jeweils eine Erhöhung bzw. Verringerung um 10 Prozent.

Zusätzlich zu der Darstellung der von U_W- und g-Wert abhängigen Veränderung des Nutzenergiebedarfs Heizen erfolgt in den Einzeldiagrammen die Darstellung der Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz. Hiernach ausführbare Kombinationen von U_W- und g-Wert befinden sich jeweils auf bzw. rechts von den dargestellten Graphen und entsprechen somit der bereits in Abschnitt 5 eingeführten Form der Darstellung der Erfüllungsoptionen für Situationen mit und ohne erhöhte Nachtlüftung sowie mit und ohne beweglichen Sonnenschutz (mit Sonnenschutz in allen Fällen der folgenden Diagramme für F_C = 0,20).

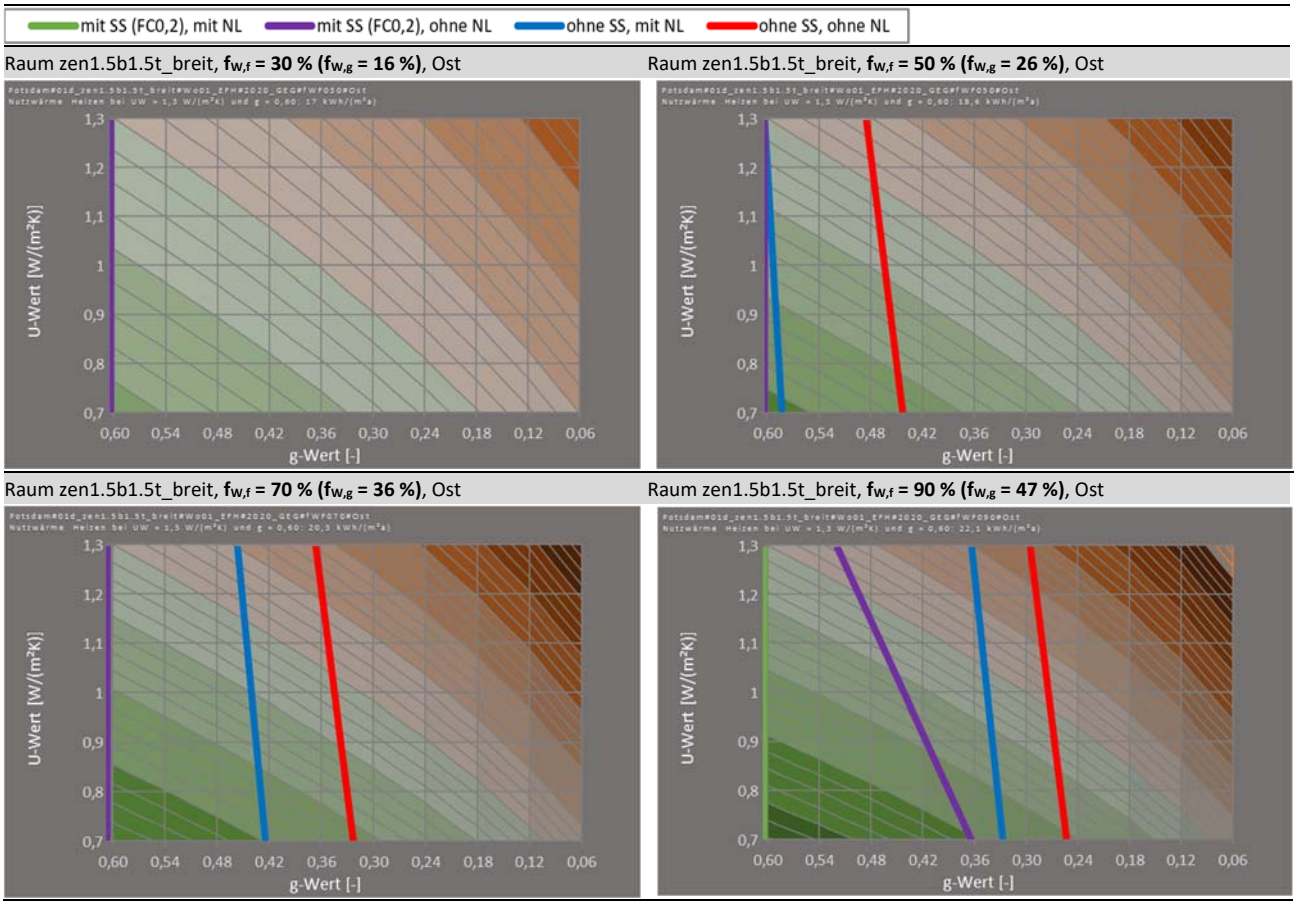


Bild 6-1: **Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH) bei Variation des Fensterflächenanteils**

Hinweise zur Interpretation der Diagramme:

1. Je steiler der Verlauf der Trennlinie zwischen dem grünen und braunen Diagramm-Hintergrund, umso höher ist die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge für den jeweils beschriebenen Fall (vgl. Auswertung und Erläuterung zu Bild 2-6, S. 19: je steiler dort die orangene Linie verläuft, umso kleiner wird der äquivalente U-Wert, was einer besseren Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge entspricht).
   Für die vier Fensterflächenanteile in Bild 6-1 ist erkennbar, dass die benannte Trennlinie mit steigendem Fensterflächenanteil immer flacher verläuft. Somit geht aus den Auswertungen hervor, dass die Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge bei dem kleinsten Fensterflächenanteil am größten ist.
2. Mit größer werdendem Fensterflächenanteil liegen die Kennlinien, die jeweils 2,5 % Erhöhung bzw. Verringerung des Nutzenergiebedarfs Heizen bedeuten, immer enger beieinander. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit steigendem Fensterflächenanteil die energetischen Eigenschaften des Fensters (U_W-Wert und g-Wert) gegenüber dem U-Wert der Außenwand (als einzigem weiteren sich mit Variation des Fensterflächenanteils verändernden Parameters) immer mehr dominieren.

Die Auswertung oben links in Bild 6-1 für den fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 30 % (grundflächenbezogen 16 %) zeigt, dass für diesen Fall keine Einschränkungen hinsichtlich der Ausführbarkeit von Normalglas mit g = 0,60 aus dem Sommerfall resultieren, da alle vier Graphen, mit denen die Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz beschrieben werden am linken Rand des Diagramms deckungsgleich verlaufen. Eine Erhöhung des Fensterflächenanteils auf fassadenbezogen 50 % bzw. grundflächenbezogen 26 % (oben rechts) zeigt, dass bei einer Berechnung ohne Sonnenschutz und ohne Nachtlüftung (roter Graph) für einen U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) bereits ein g-Wert ≤ 0,48 erforderlich wäre, um den zulässigen Übertemperaturgradstundenwert von 1.200 Kh/a nicht zu überschreiten. Dies bedeutet für den beschriebenen Fall einen um etwa 7,5 % höheren Nutzenergiebedarf Heizen. Bei einem U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) dürfte der g-Wert nicht größer als 0,45 sein. Verglichen der Kombination U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 wäre hiermit trotz des vergleichsweise niedrigen g-Wertes aufgrund des besseren U-Wertes eine Reduzierung des Nutzenergiebedarfs Heizen von etwa 15 % verbunden. Der Einsatz eines Sonnenschutzes mit F_C = 0,20 würde für diesen Fall ohne Nachtlüftung allerdings eine Einsparung von mehr als 30 % ermöglichen (lila Graph verläuft am linken Rand des Diagramms), wenn für diesen U_W-Wert ein Glas mit g = 0,60 (dies wäre bei diesem U_W-Wert eine Ausführung mit Weißglas, da mit Normalglas bei 3-Scheiben-Ausführung keine g-Werte größer als 0,53 erreicht werden können) vorgesehen wird.

Analog zur vorigen Beschreibung kann für jede über die Einzeldiagramme beschriebene Situation jeweils die aus den beschriebenen Erfüllungsoptionen des Sommerfalls resultierenden Limitierungen hinsichtlich ausführbarer Kombinationen aus U_W- und g-Wert und die damit einhergehende Beeinflussung des Nutzenergiebedarfs Heizen abgelesen werden. Am Beispiel des größten beschriebenen Fensterflächenanteils (unten rechts, fassadenbezogen 90 %, grundflächenbezogen 47 %) kann abgelesen werden, dass eine erhöhte Nachtlüftung in Verbindung mit einem Sonnenschutz mit F_C = 0,20 (grüner Graph) auch für große Fensterflächenanteile mit Normalglas ausführbar ist. Sowohl der Verzicht auf Sonnenschutz als auch die Berechnung ohne Nachtlüftung erfordert eine deutliche Reduzierung der noch zulässigen g-Werte, was abhängig von den fallweise zugrunde gelegten U-Werten eine Bedarfserhöhung von bis zu 27,5 % (bei UW = 1,3 W/(m²K) ohne Sonnenschutz und ohne Nachtlüftung) bedeutet. Auch für den bei Wohnnutzung in der Regel vorliegenden Fall der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung bedeutet der Verzicht auf einen Sonnenschutz (blauer Graph) bei U_W =1,3 W/(m²K) einen maximal zulässigen g-Wert von 0,36. Dieser geringe g-Wert hat zur Folge, dass sich der Nutzenergiebedarf Heizen um 20 % gegenüber einer Ausführung mit g = 0,60 erhöht.

Als wesentliche Erkenntnis kann an dieser Stelle bereits festgehalten werden, dass dynamische Systeme, welche die Möglichkeit bieten, im Sommer die solaren Wärmeeinträge zu minimieren und gleichzeitig in der Heizzeit die Maximierung der solaren Wärmeeinträge ermöglichen, aus dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit zu bevorzugen sind. Kann gleichzeitig die Möglichkeit

zur erhöhten Nachtlüftung bereitgestellt werden, können auch hohe Fensterflächenanteile realisiert werden, ohne dass zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes eine anlagentechnische Kühlung erforderlich wird.

6.1.2 Variation der Orientierung

Die Ausrichtung eines Fensters bestimmt einerseits die Höhe der solaren Einträge und andererseits die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz. Für Ausrichtungen in die vier Haupthimmelsrichtungen folgen mit Bild 6-2 die entsprechenden Darstellungen.

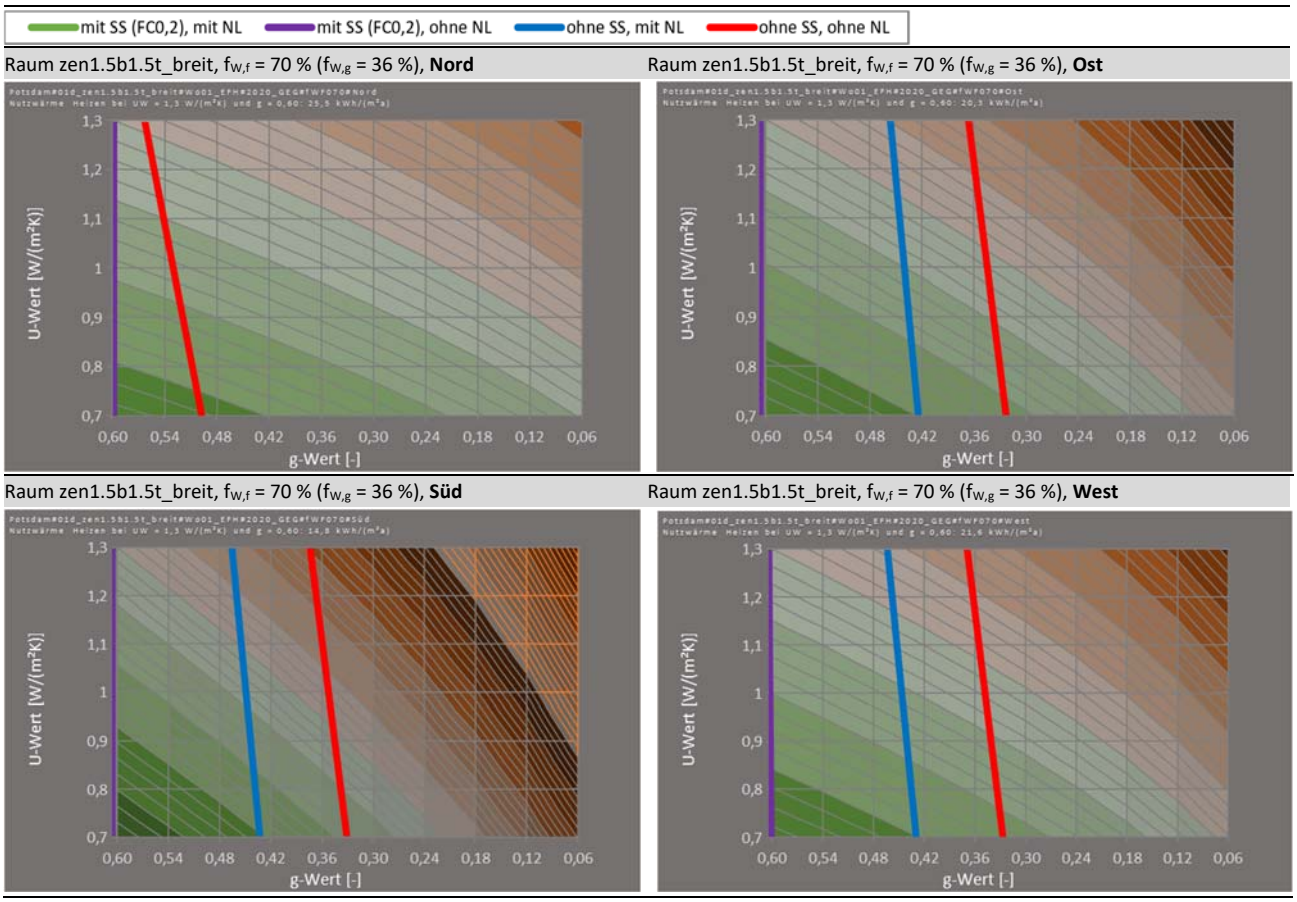


Bild 6-2: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH), bei Variation der Orientierung

Der flache Verlauf der Trennlinie zwischen dem grünen und braunen Diagrammhintergrund oben links in Bild 6-2 für die Ausrichtung Nord zeigt, dass die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge gegenüber den übrigen Orientierungen vergleichsweise gering ist. Gleichzeitig zeigt dieser flache Verlauf dieser Trennlinie, dass bei nordorientiertem Fenster der Einfluss des g-Wertes gegenüber dem Einfluss des U-Wertes auf den Nutzenergiebedarf Heizen geringer ist als bei den übrigen Ausrichtungen. Der steilste Verlauf der Trennlinie zwischen grünem und braunem Hintergrund ergibt sich gemäß Bild 6-2 unten links für die Südausrichtung, wobei auch die Linien, welche für eine jeweils 2,5 prozentige Veränderung des Nutzenergiebedarfs Heizen markieren, am engsten beieinander liegen. Die Limitierungen des Sommerfalls zeigen bei der Südausrichtung (und auch bei den Ausrichtungen Ost und West), dass unter Ansatz eines beweglichen Sonnenschutzes (F_C = 0,20) für den hier unterstellten fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %) mit einem g-Wert von 0,60 die Anforderung eingehalten werden kann und somit die Maximierung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge zur Reduzierung des Energiebedarfs für Heizen möglich ist. Wird auf einen beweglichen Sonnenschutz verzichtet, so liegen die höchstens zulässigen g-Werte für U_W = 1,3 W/(m²K) bei 0,46 und für U_W = 0,7 W/(m²K) bei 0,44, wenn erhöhte Nachtlüftung möglich ist. Erfolgt kein Ansatz der erhöhten Nachtlüftung, so liegen die höchstens zulässigen g-Werte für

U_W = 1,3 W/(m²K) bei 0,38 und für U_W = 0,7 W/(m²K) bei 0,33. Bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) bedeutet dies eine Zunahme des Nutzenergiebedarfs Heizen um etwa 16 % mit Nachtlüftung bzw. 30 % ohne Nachtlüftung. Im Vergleich zur Ausführung mit Sonnenschutz (F_C = 0,2), wobei ein g-Wert von 0,60 bei einem U-Wert von 0,70 eine fast 50 prozentige Einsparung gegenüber U_W = 1,3/g = 0,60 bedeutet, reduzieren sich die möglichen Einsparungen auf 30 % mit Nachtlüftung und rund 18 % ohne Nachtlüftung. Für die Südausrichtung gilt insofern mehr als für die übrigen Ausrichtungen, dass hier die solaren Wärmeeinträge das größte Potenzial zur Reduzierung des Energiebedarfs für Heizen darstellen und dass dieses Potenzial nur ausgenutzt werden kann, wenn ein dynamisches System umgesetzt wird, welches die Maximierung der solaren Einträge in der Heizzeit ermöglicht und im Sommer zur Verbesserung des thermischen Verhaltens minimiert.

6.1.3 Variation Geometrie

Sowohl die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge in einem Raum als auch das sommerliche Wärmeverhalten hängen unter sonst gleichen Randbedingungen davon ab, in welchem Verhältnis die solaren Wärmeeinträge zu der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes stehen. In guter Näherung kann dieser Zusammenhang über das Verhältnis von der Fensterfläche zur Grundfläche eines Raumes herangezogen werden. Hierzu folgt mit Bild 6-3 eine Auswertung für vier unterschiedliche Raumgeometrien, womit grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 13 % und 26 % beschrieben sind.

Hinweis: Die Simulationsrechnungen für die Fälle mit beweglichem Sonnenschutz sind für diese Form der Darstellung ausschließlich für den Raum zen1.5b.15t_breit (in Bild 6-3 unten rechts) verfügbar. **Deshalb fehlen die Graphen in grün und lila für „mit SS (FC0,2), mit NL“ sowie „mit SS (FC0,2), ohne NL“ für die Räume zen (oben links), zen2b2t (oben rechts) und zen1.5b1.5t unten links!**

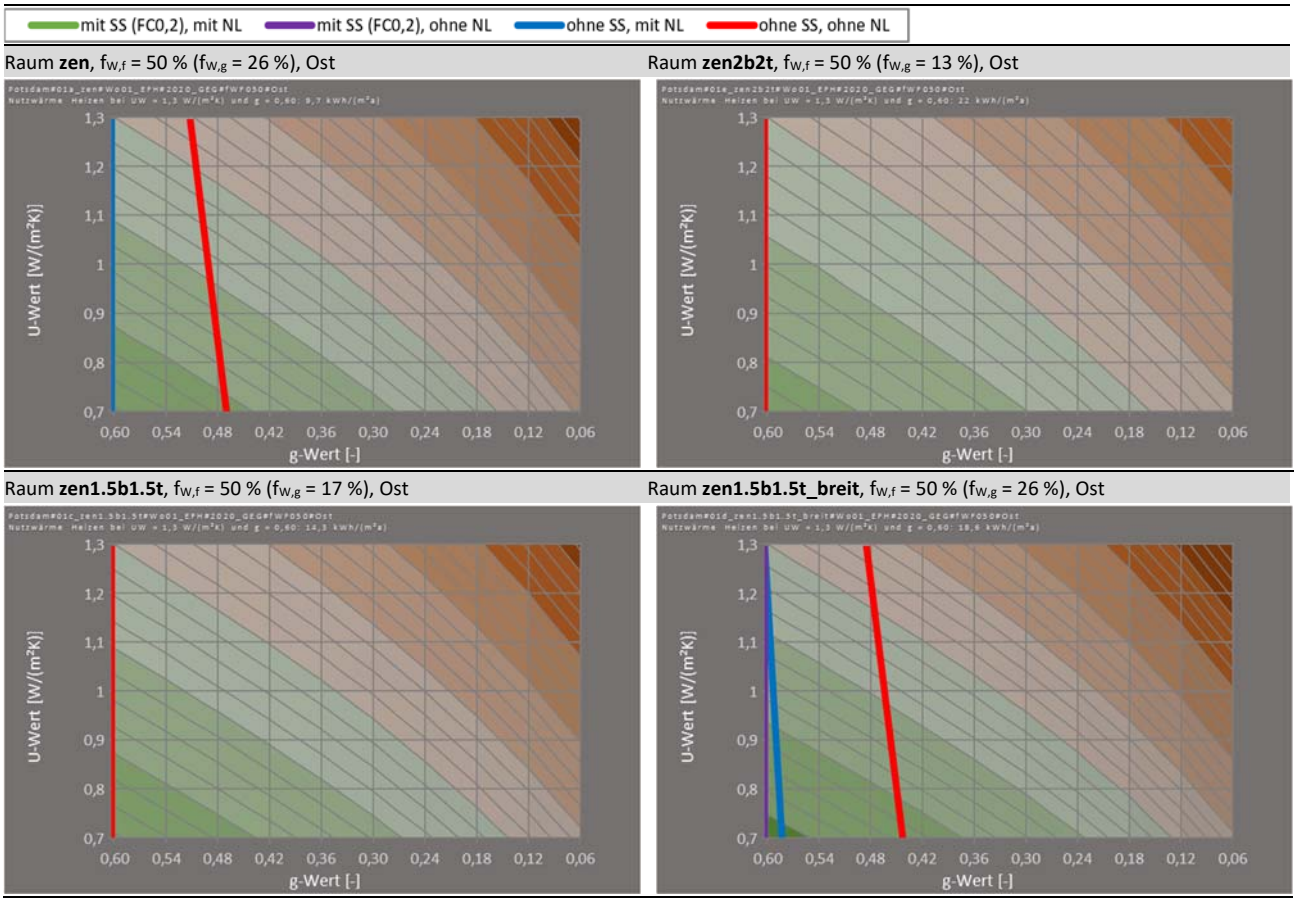


Bild 6-3: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH) und unterschiedliche Raumgeometrien

Die mit Bild 6-3 beschriebenen Wechselwirkungen zwischen dem Winter- und Sommerfall zeigen, dass sich Einschränkungen hinsichtlich der Ausführbarkeit hoher g-Werte für die beschriebenen Fälle nur für die Situation ohne Sonnenschutz und ohne Nachtlüftung bei den Räumen zen (oben links) und zen1.5b1.5t_breit ergeben, was für den Raum zen bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) eine Zunahme des Nutzenergiebedarfs Heizen um rund 5 % und für den Raum zen1.5b1.5t_breit um rund 7,5 % bedeutet.

Ergänzend folgt mit Bild 6-4 eine Auswertung für vergrößerte Fensterflächen, mit denen grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 23 und 47 % beschrieben werden.

Hinweis: auch in Bild 6-4 fehlen die Graphen in grün und lila für „mit SS (FC0,2), mit NL“ sowie „mit SS (FC0,2), ohne NL“ für die Räume zen (oben links), zen2b2t (oben rechts) und zen1.5b1.5t unten links, da entsprechende Auswertungen nur für den Raum zen1.5b1.5t_breit vorliegen!

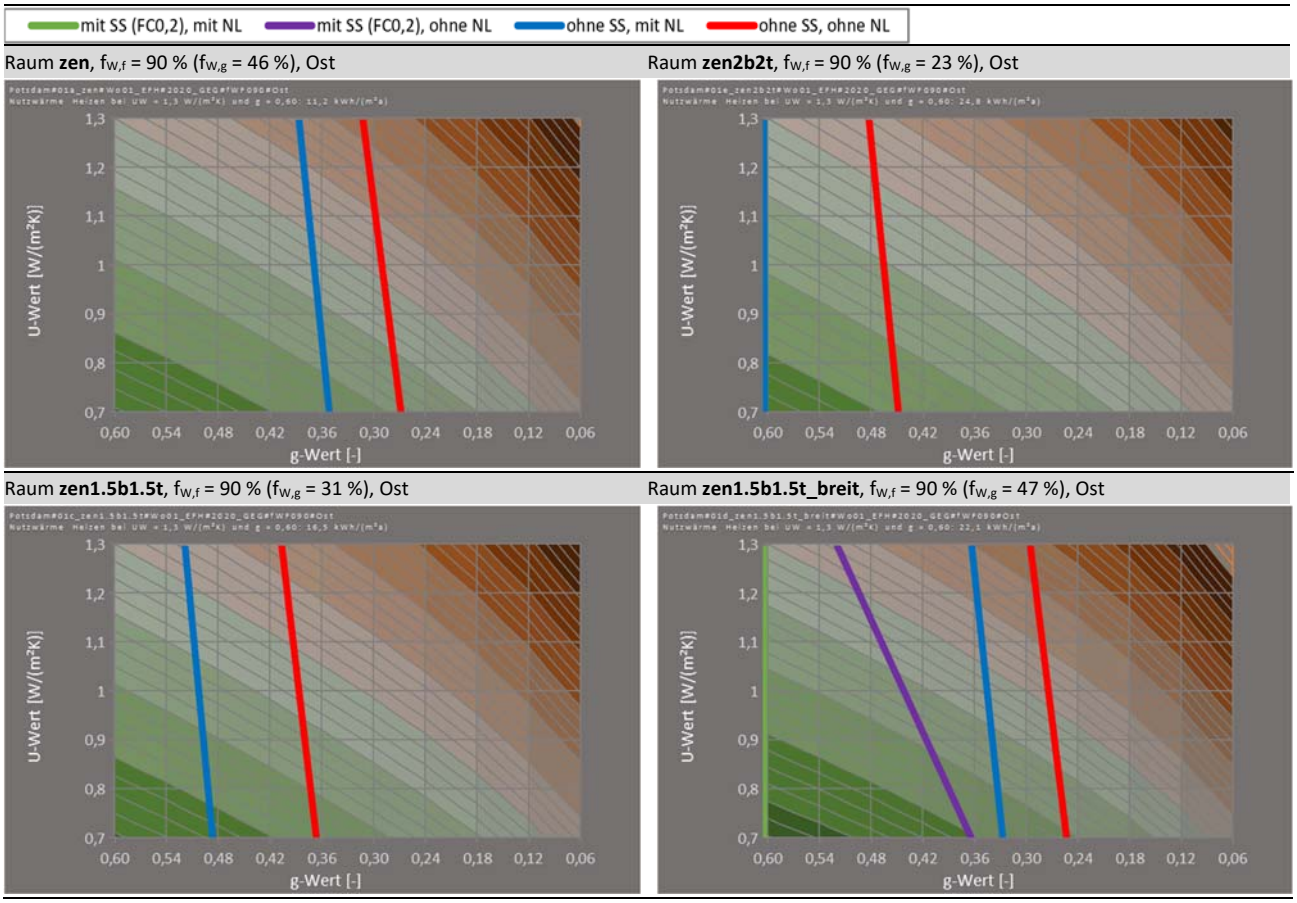


Bild 6-4: **Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH) und unterschiedliche Raumgeometrien**

Die Auswertungen in Bild 6-4 lassen erkennen, dass Einschränkungen hinsichtlich ausführbarer U_W-/g-Wert-Kombinationen zunehmen, wenn die Fenster im Vergleich zu Bild 6-3 vergrößert werden. Diese Limitierungen bedeuten auch entsprechend größere Einflüsse den Nutzenergiebedarf Heizen. Während gemäß Bild 6-3 die höchstens zulässigen g-Werte für den die Räume zen und zen1.5b1.5t_breit bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) noch eine Zunahme des Nutzenergiebedarfs Heizen für den Raum zen um rund 5 % und für den Raum zen1.5b1.5t_breit um rund 7,5 % bedeuteten, wenn auf Sonnenschutz und Nachtlüftung verzichtet wird, so ergeben sich für diese Fälle in Bild 6-4 bereits Erhöhungen um rund 23 % für den Raum zen bzw. 27 % für den Raum zen1.5b1.5t_breit.

6.1.4 Variation Nutzung

Im Rahmen der energetischen Bilanzierung wird nach DIN V 18599-10 für den Anwendungsfall Wohnnutzung zwischen Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) unterschieden. In Bezug auf den bilanzierten Nutzenergiebedarf Heizen von Bedeutung ist dabei, dass für diese beiden Nutzungen jeweils unterschiedliche interne Wärmeeinträge berücksichtigt werden (EFH: q_i = 45 Wh/(m²d); MFH: q_i = 90 Wh/(m²d)). Die für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zuständige DIN 4108-2 unterscheidet nicht zwischen den Nutzungen EFH und MFH.

Zur Darstellung des Nutzungseinflusses auf die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge folgt mit Bild 6-5 die exemplarische Auswertung für den Raum zen1.5b1.5t_breit für zwei unterschiedliche fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50 % (links) und 70 % (rechts) sowie für die Nutzungen EFH (oben) und MFH (unten). Die Limitierungen des Sommerfalls sind dabei jeweils identisch für EFH und MFH, da für den sommerlichen Wärmeschutz, wie oben bereits erwähnt, innerhalb der Wohnnutzung nicht differenziert wird.

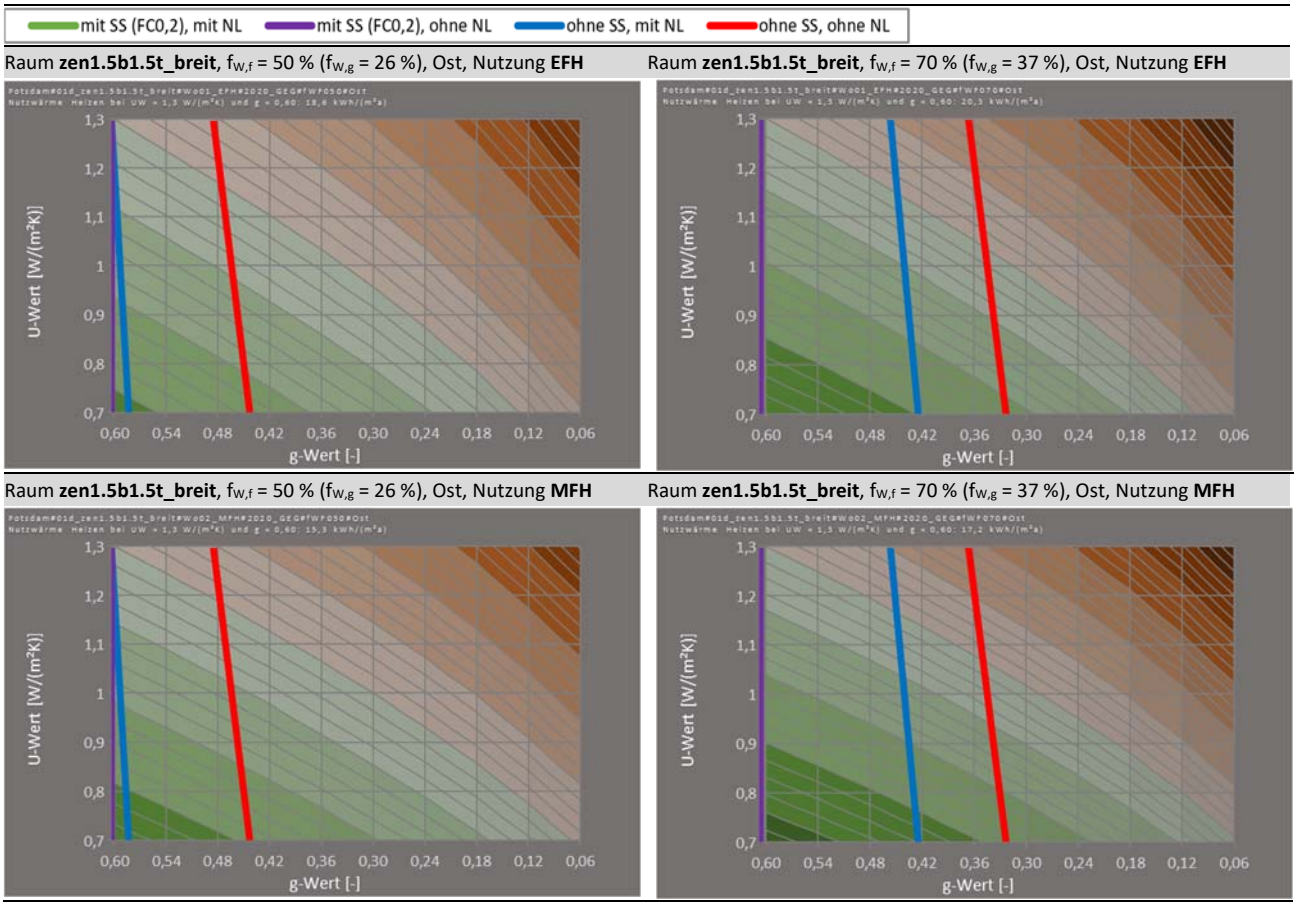


Bild 6-5: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für die Wohnnutzungen EFH (oben) und MFH (unten), Raum *zen1.5b1.5t_breit*, Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Fensterflächenanteile $f_{W,f}$ = 50 % (links) und 70 % (rechts) , Orientierung Ost

Der Vergleich der Nutzungen EFH (oben) und MFH (unten) in Bild 6-5 zeigt für beide betrachtete Fensterflächenanteile, dass die Trennlinie zwischen dem grünen und bräunlichen Hintergrund im Fall der MFH-Auswertungen etwas flacher verläuft als im Fall der EFH-Auswertungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Fall der Nutzung MFH die internen Wärmeeinträge bereits einen Teil des Nutzenergiebedarfs Heizen decken und deshalb der Anteil der nutzbaren solaren Wärmeeinträge für diese Fälle entsprechend etwas geringer ausfällt. Hinsichtlich der Limitierungen des Sommerfalls ergeben sich in etwa vergleichbare Einflüsse von U_W-/g-Wert in Bezug auf die prozentuale Veränderung des Nutzenergiebedarfs Heizen, die sich allerdings für das MFH auf ein um 15 bis 20 Prozent niedrigeres Bedarfsniveau beziehen.

6.2 Anwendungsfall Nichtwohnnutzung

Im Nichtwohnungsbau liegt die Anzahl der maximal zulässigen Übertemperaturgradstunden bei maximal 500 Kh/a. Da im Nichtwohnungsbau oftmals keine Nachtlüftung möglich ist und auch Verschattungssysteme nicht immer zum Einsatz kommen können, bekommt hier der Einsatz von Sonnenschutzverglasung einen wesentlich höheren Stellenwert als im Wohnungsbau.

Analog zur Auswertung zum Anwendungsfall Wohnnutzung folgen im Weiteren entsprechende Diskussionen der Ergebnisse zum Anwendungsfall Nichtwohnnutzung.

Die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Winter- und Sommerfall erfolgt im Weiteren anhand von ausgewählten Fällen, anhand derer die wesentlichen Zusammenhänge verdeutlicht werden. In Unterabschnitten werden folgende Einzeleinflüsse betrachtet:

- Variation des Fensterflächenanteils (Abschnitt 6.2.1)
- Variation der Orientierung (Abschnitt 6.2.2)
- Variation der Geometrie (Abschnitt 6.2.3)
- Variation der Nutzung (Abschnitt 6.2.4)

6.2.1 Variation des Fensterflächenanteils

Mit Veränderung des Fensterflächenanteils ergeben sich, wie die Auswertungen in Abschnitt 3 sowie für den Anwendungsfall Wohnnutzung in Abschnitt 6.1 bereits gezeigt haben, jeweils unterschiedliche nutzbare solare Wärmeeinträge. Die in Bild 6-6 folgenden Auswertungen verdeutlichen dies anhand von Auswertungen zur prozentualen Veränderung des Nutzenergiebedarfs Heizen jeweils bezogen U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 (jeweils oben links im Diagramm (siehe auch Erläuterungen in Abschnitt 2.2.1). Die vier Einzeldiagramme beschreiben für den Raum zen1.5b1.5t_breit jeweils fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 30, 50, 70 und 90 Prozent, was für diesen Raum grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 16, 26, 36 und 47 Prozent entspricht.

Hinweis: Jedes Einzeldiagramm enthält über dem Diagramm eine Beschriftung, in der jeweils die individuellen Randbedingungen des Falls sowie am Ende der für die Kombination U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 berechneten Nutzenergiebedarf Heizen ausgewiesen ist. Die Linie, welche ausgehend von der oberen linken Diagrammecke nach rechts unten verläuft und den grünen Diagrammhintergrund von dem bräunlichen Hintergrund trennt, beschreibt jeweils Kombinationen von U_W- und g-Wert, welche zu dem gleichen Nutzenergiebedarf führen. Zur Erinnerung: mit jeder parallelen Linie rechts oberhalb oder links unterhalb dieser Trennlinie ergibt sich eine Erhöhung bzw. Verringerung des Nutzenergiebedarfs Heizen um 2,5 Prozent. Jeder Farbwechsel markiert jeweils eine Erhöhung bzw. Verringerung um 10 Prozent.

Zusätzlich zu der Darstellung der von U_W- und g-Wert abhängigen Veränderung des Nutzenergiebedarfs Heizen erfolgt in den Einzeldiagrammen die Darstellung der Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz. Hiernach ausführbare Kombinationen von U_W- und g-Wert befinden sich jeweils auf bzw. rechts von den dargestellten Graphen und entsprechen somit der bereits in Abschnitt 5 eingeführten Form der Darstellung der Erfüllungsoptionen für Situationen mit und ohne erhöhte Nachtlüftung sowie mit und ohne beweglichen Sonnenschutz.

Hinweise:
1. Die Darstellung von Erfüllungsoptionen mit beweglichem Sonnenschutz erfolgt für die Auswertungen in diesem Abschnitt ausschließlich unter Zugrundelegung von einem F_C-Wert in Höhen von 0,20.
2. Auswertungen mit beweglichem Sonnenschutz erfolgen ausschließlich für den Raum zen1.5b1.5t_breit. Hierbei werden Fälle mit und ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit betrachtet.

Den Auswertungen in Bild 6-6 liegt bei der Darstellung der Auswirkungen des U_W-/g-Wert-Kombinationen auf den Nutzenergiebedarf Heizen das Nutzungsprofil Besprechungsraum nach DIN V 18599-10 [14] zugrunde. Auswertungen zu weiteren Nutzungen erfolgen in Abschnitt 6.2.4.

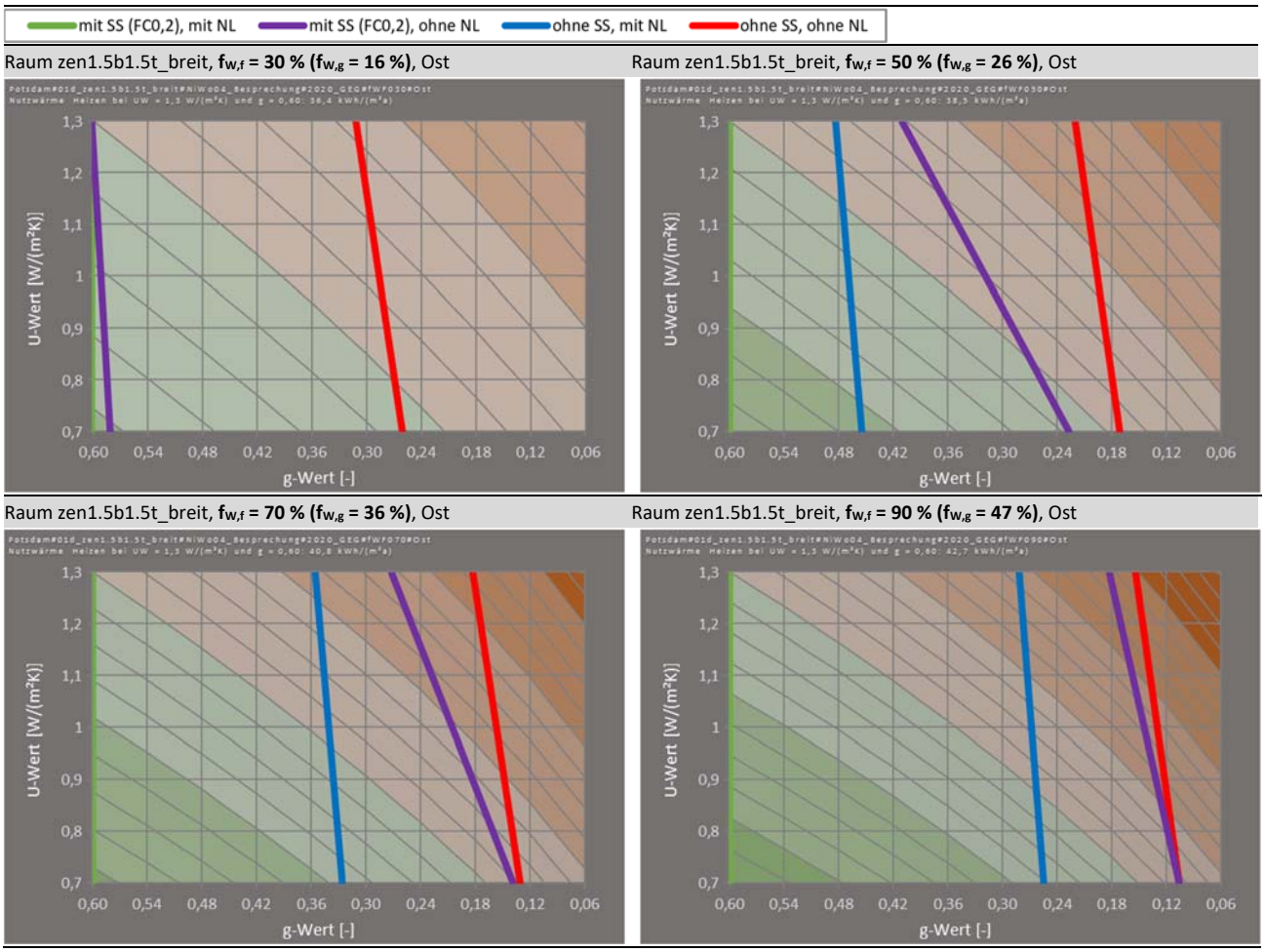


Bild 6-6: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) bei Variation des Fensterflächenanteils

Anders als im Anwendungsfall Wohngebäude kann für Nichtwohngebäude nicht ohne Weiteres die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Nutzungszeit unterstellt werden, da für Nichtwohngebäude stets der Witterungsschutz sowie der Einbruchsschutz zu Nichtnutzungszeiten sichergestellt werden muss. Dass wesentliche Einsparpotenziale in Bezug auf den Nutzenergiebedarf Heizen aber von der Möglichkeit zur erhöhten Lüftung abhängen, geht aus den Auswertungen in Bild 6-6 deutlich hervor. So erfordert der Fall ohne Sonnenschutz und ohne erhöhte Lüftung (rote Graphen) bereits für den geringsten der betrachteten Fensterflächenanteile (Abbildung oben links in Bild 6-6) bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) einen g-Wert ≤ 0,31, was einer Erhöhung des Nutzenergiebedarfs Heizen im Vergleich zu g = 0,60 um rund 8 % entspricht. Für U_W = 0,70 W/(m²K) ist ein g-Wert ≤ 0,26 erforderlich, womit dann trotz erheblich verbessertem U-Wert nur eine Einsparung des Nutzenergiebedarfs Heizen im Vergleich zu U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 von weniger als 2 % erreicht wird. Wird für denselben Fall die Möglichkeit zur erhöhten Lüftung außerhalb der Anwesenheitszeit unterstellt, kann bei U_W = 0,70 W/(m²K) und g = 0,60 (bei 3-Scheiben-Ausführung als Weißglas) eine Einsparung in von mehr als 10 % erreicht werden.

Für die Fälle mit Sonnenschutz aber ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit (lila Graphen) zeigen die Auswertungen in Bild 6-6 im Vergleich zu den Fällen ohne Sonnenschutz und ohne erhöhten Luftwechsel (rote Graphen), dass sich diese Graphen mit steigendem Fensterflächenanteil annähern. Während für den kleinsten Fensterflächenanteil ohne Ansatz der erhöhten Lüftung für U_W = 1,3 W/(m²K) mit F_C = 0,20 ein g-Wert von 0,60 möglich ist und der Fall ohne Sonnenschutz hier bereits g ≤ 0,31 erfordert, nimmt die Differenz der höchsten zulässigen g-Werte dieser beiden Fälle immer weiter ab. So liegen die höchstens zulässigen g-Werte für den größten Fensterflächenanteil mit Sonnenschutz und ohne erhöhte

Lüftung bei g ≤ 0,18 und für den Fall ohne Sonnenschutz und ohne erhöhten Luftwechsel bei g ≤ 0,15.

Am Beispiel der Auswertungen zu dem größten Fensterflächenanteile (fassadenbezogen 90 % bzw. grundflächenbezogen 47 %, unten links in Bild 6-6) zeigt sich, dass insbesondere für große Fensterflächenanteile eine bestmögliche Optimierung des energetischen Verhaltens nur für Situationen mit Sonnenschutz und in Kombination mit der Möglichkeit eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Nutzungszeit zu erreichen ist. Für reale Ausführungen entscheidend sind im Nichtwohnungsbau letztlich Investitionskosten und energiebedingte Betriebskosten zu bewerten und hieraus den für die gegebenen Umstände aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht optimierten Ausführungsfall zu identifizieren. Dabei sind vor gegebenenfalls auch Investitionskosten und Energiebedarf für anlagentechnische Kühlung zu berücksichtigen. Zum Einfluss von U_W- und g-Wert auf energiebedingte Kosten für Heizen und Kühlen sowie hinsichtlich baupraktischer Konsequenzen erfolgen weitergehende Auswertungen in den Abschnitten 10 und 7 .

6.2.2 Variation der Orientierung

Die Ausrichtung eines Fensters bestimmt einerseits die Höhe der solaren Einträge und andererseits die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz. Für Ausrichtungen in die vier Haupthimmelsrichtungen folgen mit Bild 6-2 die entsprechenden Darstellungen.

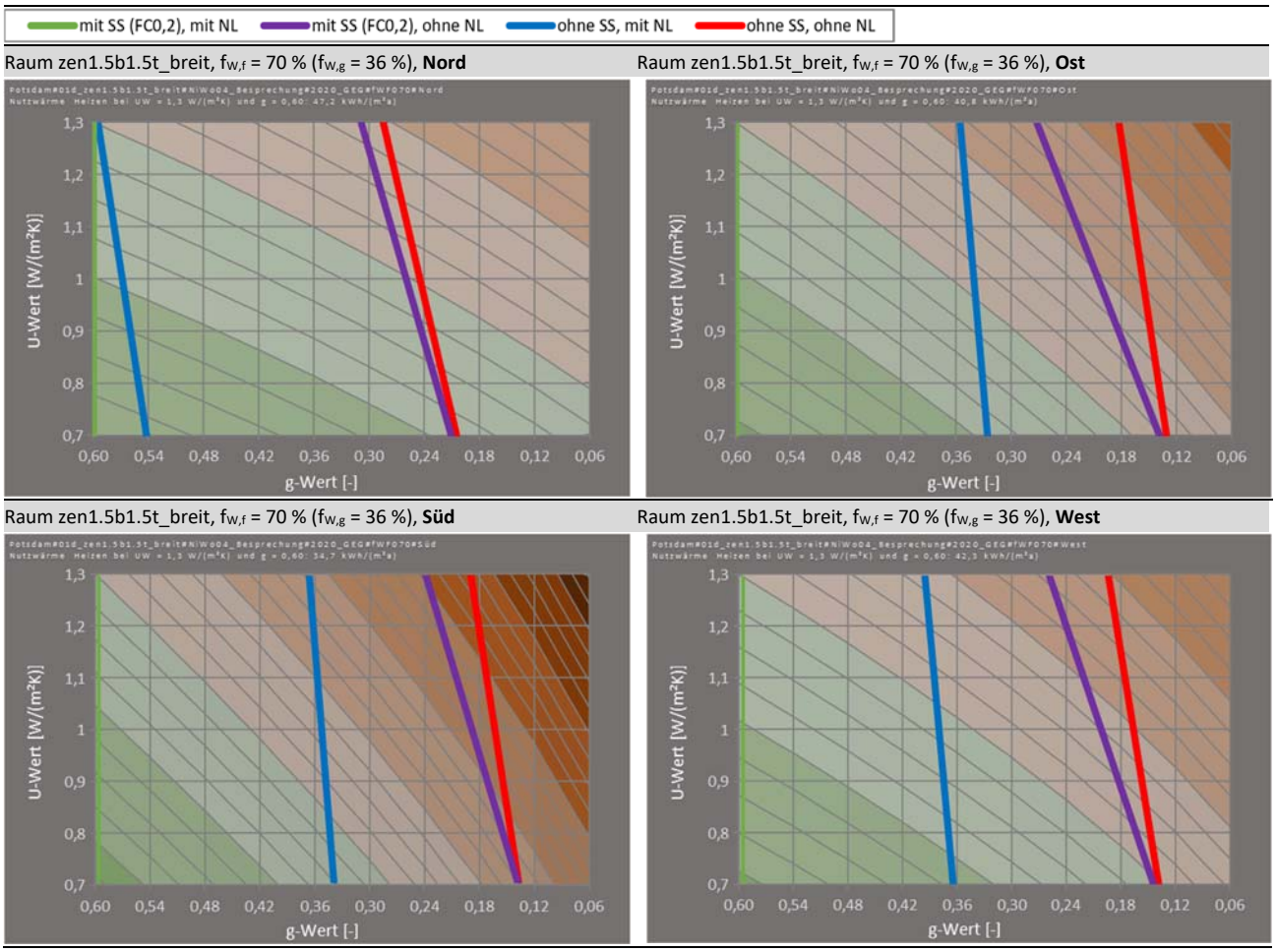


Bild 6-7: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) bei Variation der Orientierung

Der flache Verlauf der Trennlinie zwischen dem grünen und braunen Diagrammhintergrund oben links in Bild 6-7 für die Ausrichtung Nord zeigt, dass die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge gegenüber den übrigen Orientierungen vergleichsweise gering ist. Gleichzeitig zeigt dieser flache Verlauf dieser Trennlinie, dass bei nordorientiertem Fenster der Einfluss des g-Wertes gegenüber dem Einfluss des U-Wertes auf den Nutzenergiebedarf Heizen geringer ist

als bei den übrigen Ausrichtungen. Der steilste Verlauf der Trennlinie zwischen grünem und braunem Hintergrund ergibt sich gemäß Bild 6-7 unten links für die Südausrichtung, wobei auch die Linien, welche für eine jeweils 2,5 prozentige Veränderung des Nutzenergiebedarfs Heizen markieren, am engsten beieinander liegen. Die Limitierungen des Sommerfalls zeigen bei der Südausrichtung (und auch bei den Ausrichtungen Ost und West), dass unter Ansatz eines beweglichen Sonnenschutzes (F_C = 0,20) für den hier unterstellten fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % (grundflächenbezogen 36 %) mit einem g-Wert von 0,60 die Anforderung eingehalten werden kann, sofern die Möglichkeit zum erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit unterstellt wird, und somit die Maximierung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge zur Reduzierung des Energiebedarfs für Heizen möglich ist. Wird auf den Sonnenschutz verzichtet (), aber nach wie vor von der erhöhten Lüftung ausgegangen, so liegen die höchstens zulässigen g-Werte für die Orientierung Süd für U_W = 1,3 W/(m²K) bei 0,36 und für U_W = 0,7 W/(m²K) bei 0,34. Erfolgt kein Ansatz der erhöhten Nachtlüftung, wird aber ein Sonnenschutz mit F_C = 0,20 angesetzt (lila Graph) so liegen die höchstens zulässigen g-Werte für U_W = 1,3 W/(m²K) bei 0,24 und für U_W = 0,7 W/(m²K) bei 0,14 und unterscheiden liegen damit nur noch geringfügig höher als die höchstens zulässige g-Werte für die Fälle ohne erhöhte Lüftung und ohne Sonnenschutz. Dies verdeutlicht erneut die hohe Bedeutung eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Nutzungszeit für das sommerliche Wärmeverhalten.

Für die Südausrichtung gilt insofern mehr als für die übrigen Ausrichtungen, dass hier die solaren Wärmeeinträge das größte Potenzial zur Reduzierung des Energiebedarfs für Heizen darstellen und dass dieses Potenzial nur ausgenutzt werden kann, wenn ein dynamisches System umgesetzt wird, welches die Maximierung der solaren Einträge in der Heizzeit ermöglicht und im Sommer zur Verbesserung des thermischen Verhaltens minimiert.

6.2.3 Variation Geometrie

Sowohl die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge in einem Raum als auch das sommerliche Wärmeverhalten hängen unter sonst gleichen Randbedingungen davon ab, in welchem Verhältnis die solaren Wärmeeinträge zu der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes stehen. In guter Näherung kann dieser Zusammenhang über das Verhältnis von der Fensterfläche zur Grundfläche eines Raumes herangezogen werden. Hierzu folgt mit Bild 6-8 eine Auswertung für vier unterschiedliche Raumgeometrien, womit grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 13 % und 26 % beschrieben sind.

Hinweis: Die Simulationsrechnungen für die Fälle mit beweglichem Sonnenschutz sind für diese Form der Darstellung ausschließlich für den Raum zen1.5b.15t_breit (in Bild 6-8 unten rechts) verfügbar. **Deshalb fehlen die Graphen in grün und lila für „mit SS (FC0,2), mit NL“ sowie „mit SS (FC0,2), ohne NL“ für die Räume zen (oben links), zen2b2t (oben rechts) und zen1.5b1.5t unten links!**

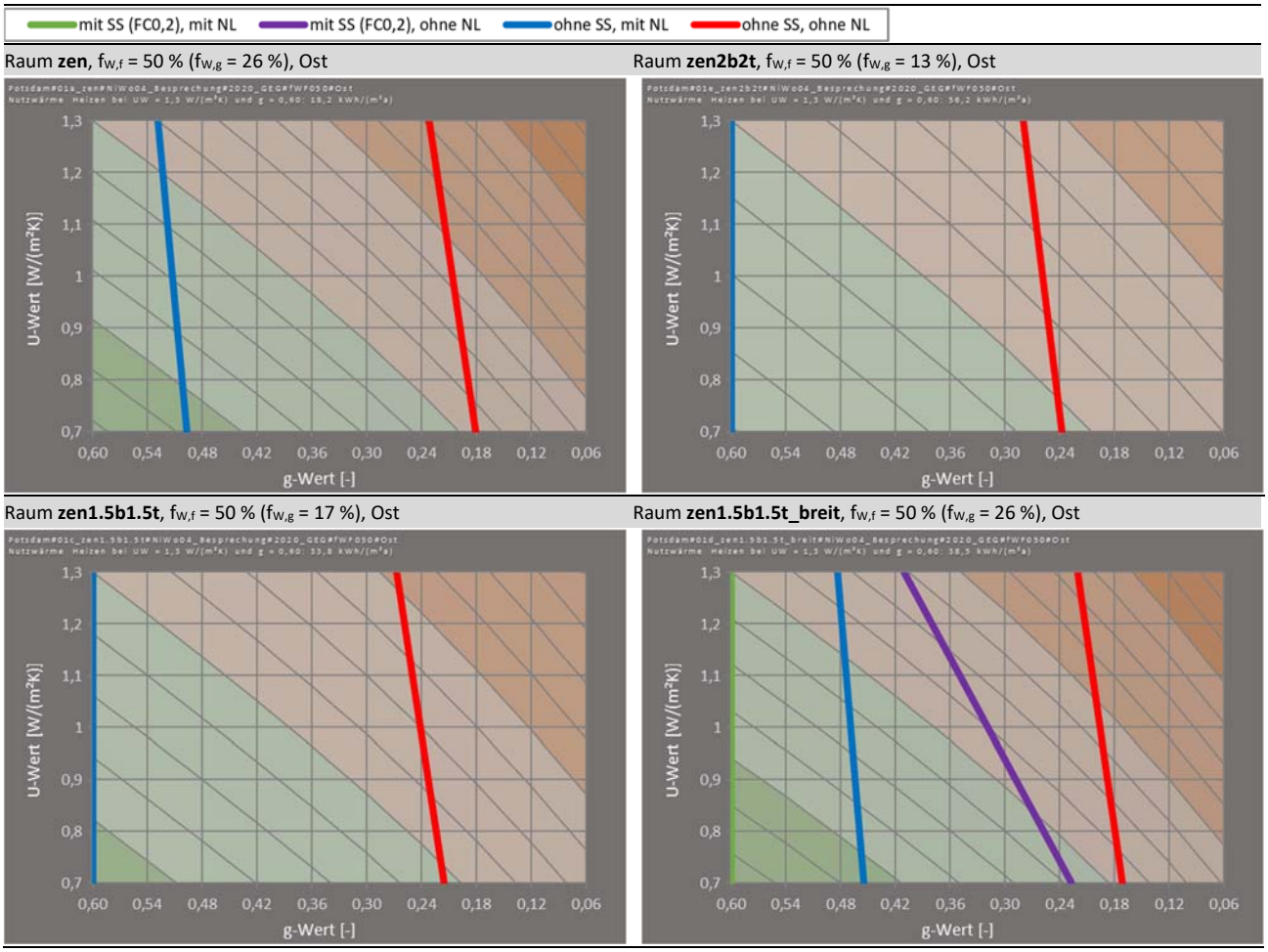


Bild 6-8: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) und unterschiedliche Raumgeometrien, Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“*, Fensterflächenanteil $f_{W,f}$ = 50 % ($f_{W,g}$ = variabel), Orientierung Ost

Die mit Bild 6-8 beschriebenen Wechselwirkungen zwischen dem Winter- und Sommerfall zeigen, dass sich Einschränkungen hinsichtlich der Ausführbarkeit hoher g-Werte für die beschriebenen Fälle nur für die Situation ohne Sonnenschutz und ohne Nachtlüftung bei den Räumen zen (oben links) und zen1.5b1.5t_breit ergeben, was für den Raum zen bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) eine Zunahme des Nutzenergiebedarfs Heizen um rund 2,5 % und für den Raum zen1.5b1.5t_breit um rund 4 % bedeutet. Ohne Ansatz des erhöhten Luftwechsels ergeben sich bei U_W = 1,3 W/(m²K) für diese beiden Räume höchstens zulässige g-Werte von 0,23 (Raum zen) bzw. 0,22 (Raum zen1.5b1.5t_breit), was Erhöhungen des Nutzenergiebedarfs Heizen von 15 – 18 % entspricht.

Ergänzend folgt mit Bild 6-4 eine Auswertung für vergrößerte Fensterflächen, mit denen grundflächenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 23 und 47 % beschrieben werden.

Hinweis: auch in Bild 6-4 fehlen die Graphen in grün und lila für „mit SS (FC0,2), mit NL“ sowie „mit SS (FC0,2), ohne NL“ für die Räume zen (oben links), zen2b2t (oben rechts) und zen1.5b1.5t unten links, da entsprechende Auswertungen nur für den Raum zen1.5b1.5t_breit vorliegen!

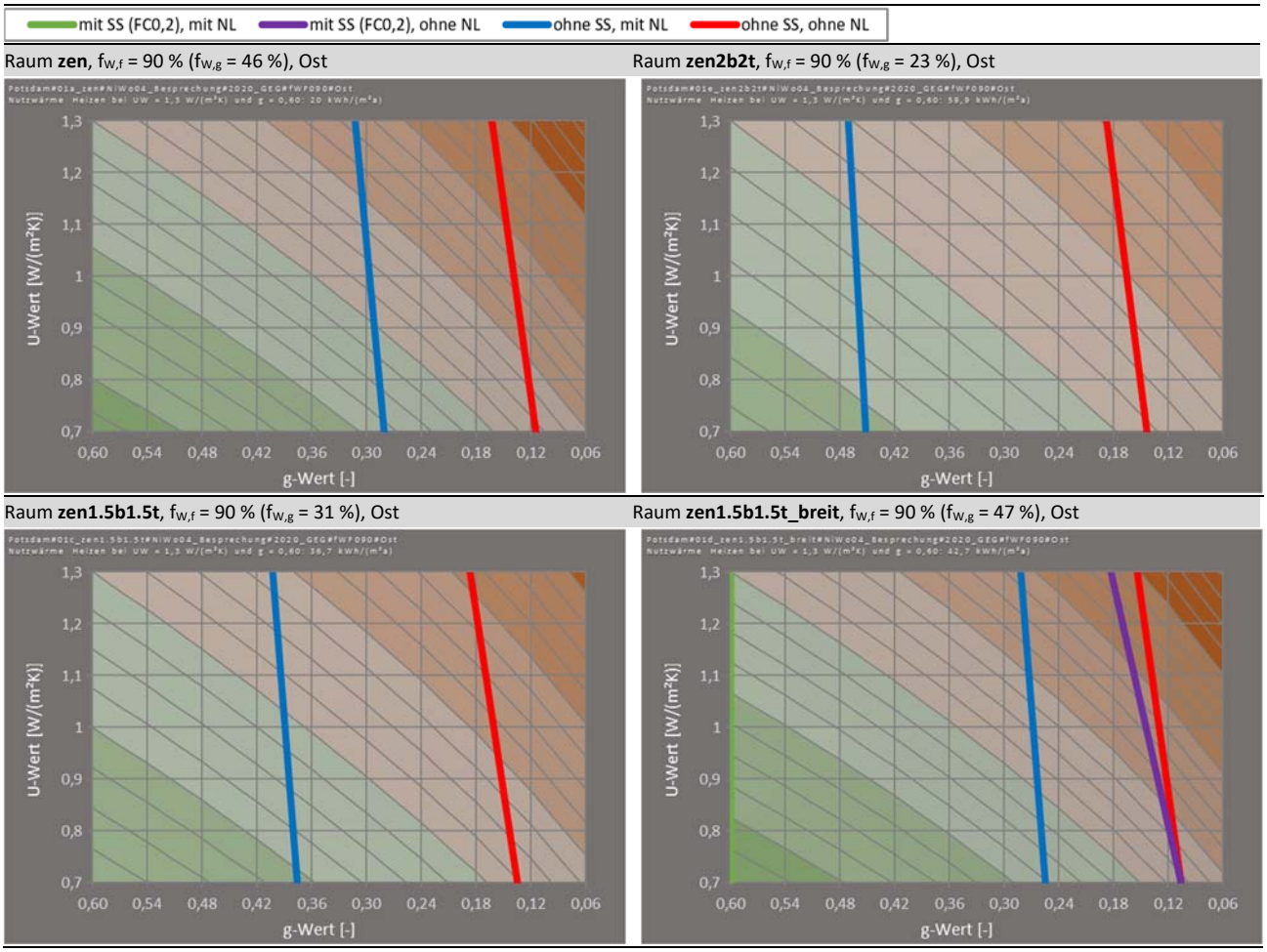


Bild 6-9: **Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) und unterschiedliche Raumgeometrien, Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Fensterflächenanteil $f_{W,f}$ = 90 % ($f_{W,g}$ = variabel) , Orientierung Ost**

Die Auswertungen in Bild 6-9 lassen erkennen, dass Einschränkungen hinsichtlich ausführbarer U_W-/g-Wert-Kombinationen zunehmen, wenn die Fenster im Vergleich zu Bild 6-8 vergrößert werden. Diese Limitierungen bedeuten auch eine entsprechend größere Beeinflussung des Nutzenergiebedarf Heizen. Während gemäß Bild 6-8 die höchstens zulässigen g-Werte für den die Räume zen und zen1.5b1.5t_breit bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) noch eine Zunahme des Nutzenergiebedarfs Heizen für den Raum zen um rund 2,5 % und für den Raum zen1.5b1.5t_breit um rund 4 % bedeuteten, wenn auf Sonnenschutz und Nachtlüftung verzichtet wird, so ergeben sich für diese Fälle in Bild 6-4 bereits Erhöhungen um rund 28 % für den Raum zen bzw. 30 % für den Raum zen1.5b1.5t_breit.

6.2.4 Variation Nutzung

Im Rahmen der energetischen Bilanzierung kann nach DIN V 18599-10 für den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung zwischen insgesamt 41 Nutzungsprofilen unterschieden werden. In Bezug auf den bilanzierten Nutzenergiebedarf Heizen von Bedeutung sind dabei eine Vielzahl von Ein-

zeleinflüssen (z.B. Nutzungszeiten, Höhe der internen Wärmeeinträge, Art und Umfang der Beleuchtung). Die für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zuständige DIN 4108-2 differenziert für Nichtwohnnutzung nicht zwischen unterschiedlichen Nutzungsprofilen.

Es folgen mit Bild 6-10 exemplarische Auswertungen für den Raum zen1.5b1.5t_breit für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50 % (links) und 70 % (rechts) sowie für die Nutzungen Einzelbüro (oben), Besprechungsraum (mittig) und Klassenzimmer (unten). Die Limitierungen des Sommerfalls sind dabei jeweils identisch für diese drei Nutzungen, da für den sommerlichen Wärmeschutz, wie oben bereits erwähnt, innerhalb der Nichtwohnnutzung nicht differenziert wird.

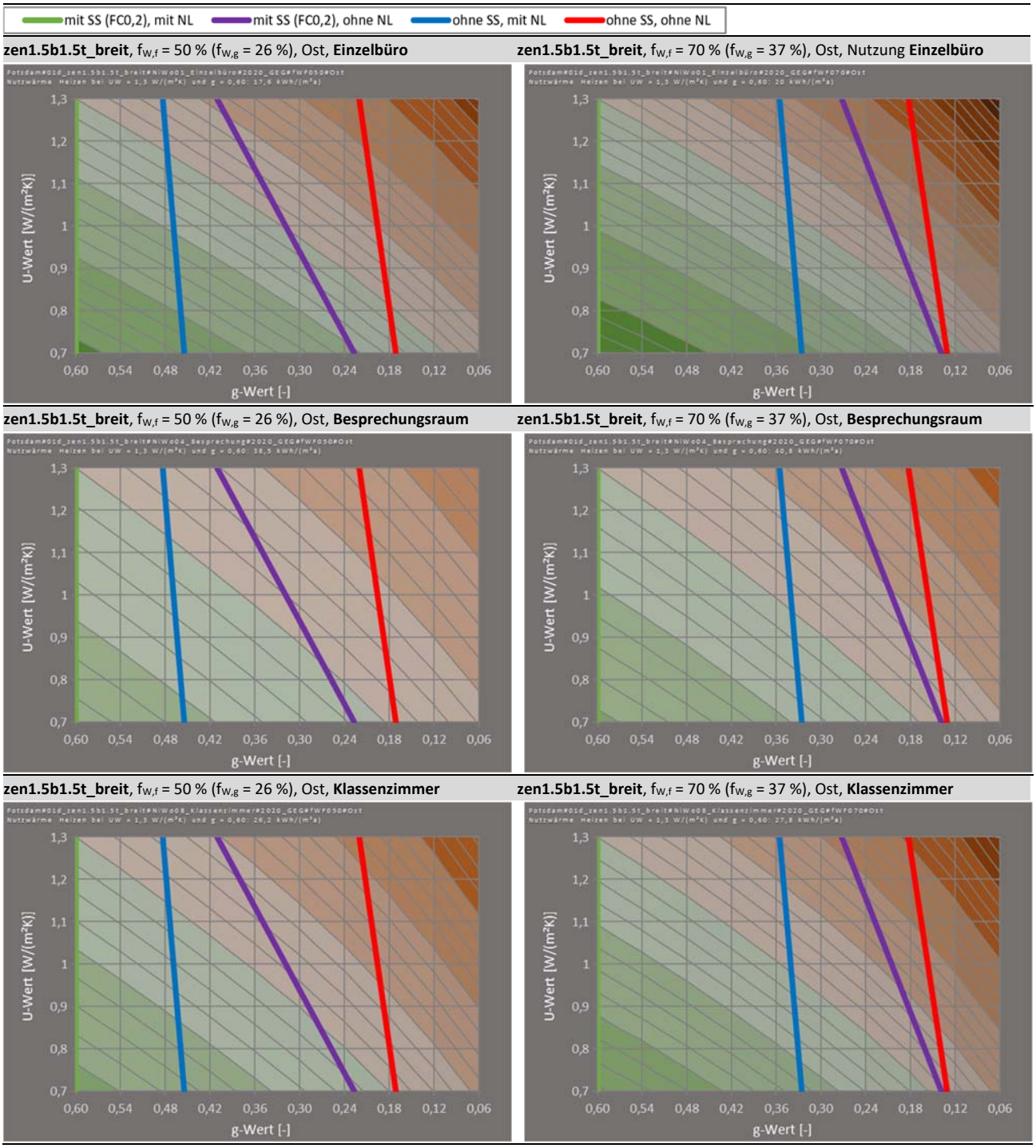


Bild 6-10: **Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen und Fensterflächenanteile $f_{w,f}$ = 50 % (links) und 70 % (rechts)**

Der Vergleich der Nutzungen Einzelbüro (oben), Besprechungsraum (mittig) und Klassenzimmer (unten) in Bild 6-10 zeigt für beide betrachtete Fensterflächenanteile, dass die Trennlinie zwischen dem grünen und bräunlichen Hintergrund im Fall der Nutzung Einzelbüro etwas flacher verläuft als bei dem Besprechungsraum und dem Klassenzimmer, dennoch aber der Einfluss der U_W-/g-Wert-Kombination auf den Nutzenergiebedarf Heizen für die Nutzung Einzelbüro am größten ist (die Kennlinien, mit denen jeweils 2,5 prozentige Erhöhungen bzw. Reduzierungen des Nutzenergiebedarfs Heizen beschrieben werden, liegen bei dieser Nutzung am engsten zusammen). Welche Limitierungen sich hinsichtlich des Sommerfalls bezüglich maximal zulässiger g-Werte ergeben, kann analog zu den bisherigen Auswertungen fallweise aus den Diagrammen abgelesen werden.

7 Notwendigkeit und baupraktische Konsequenzen einer angepassten Anforderungssystematik und Bewertung der Flexibilisierung

7.1 Erläuterungen

Die Notwendigkeit, die öffentlich-rechtliche Anforderungssystematik insofern anzupassen, als dass die energetische Qualität der Gebäudehülle korrekt bewertet wird, ist im Wesentlichen darin begründet, dass in Teilen der aktuellen Anforderungssystematik des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) [3] eine, wie im Folgenden beschrieben, unzureichende Bewertung der Gebäudehülle erfolgt.

Sowohl die öffentlich rechtliche Nachweisführung gemäß GEG als auch die Anforderungen, die seitens der KfW für Effizienzhäuser gelten, zielen auf die Einhaltung zweier separat formulierter Einzelanforderungen wie folgt ab:

1. mit Blick auf die CO_2-Emissionen eines Gebäudes wird ein höchstens zulässiger Primärenergiebedarf bezogen auf den für das Referenzgebäude ermittelten Bedarf benannt
2. mit Blick auf die Hüllflächenqualität und die Minimierung des Energiebedarfs an sich wird zusätzlich eine mindestens erforderliche Qualität der Gebäudehülle gefordert. Als Bewertungsgröße dient der sog. spezifische auf die Hüllfläche bezogene Transmissionswärmetransferkoeffizient (H_T‘). Im Neubau für das öffentlich-rechtliche Anforderungsniveau sowie für alle Effizienzhausniveaus in Neubau und in der Sanierung bezieht sich diese Anforderung auf den H_T‘-Wert der Referenzausführung. Für Sanierungen werden für das öffentlich-rechtliche Anforderungsniveau feste Werte abhängig vom Anbaugrad des Gebäudes als höchstens zulässige H_T‘-Werte (§ 50 GEG) formuliert.

Abhängig davon, ob die Wärme- bzw. Energiebereitstellung auf Basis fossiler Energieträger oder regenerativ erfolgt, fungiert entweder die Q_p-Anforderung oder die H_T‘-Anforderung als Führungsgröße in Bezug auf die Bildung einer Erfüllungsoption individueller Anforderungsniveaus bzw. in Bezug auf die Identifizierung fallweise zur Anforderungserfüllung erforderlicher Bauteilqualitäten. Während bei Einsatz fossiler Energieträger stets eine bauliche Ausführung erforderlich ist, welche über das per Nebenanforderung geforderte H_T‘-Niveau hinausgeht (Q_p ist Führungsgröße), wird bei regenerativer Energiebereitstellung (z.B. Biomasse) die Q_p-Anforderung übererfüllt, sodass der H_T‘-Wert zur Führungsgröße wird.

Diese beiden Führungsgrößen Q_p und H_T‘ unterscheiden sich insofern, als dass in die bilanzielle Ermittlung des Primärenergiebedarfs sowohl die über die Bauteile der Gebäudehülle anfallenden Wärmeverluste (Wärmesenken) als auch die nutzbaren Anteile der internen und solaren Wärmeeinträge (Wärmequellen) erfasst werden. Die Bestimmung der Qualität der Gebäudehülle erfolgt hierbei unter Einbeziehung der U-Werte von opaken und transparenten Bauteilen (für die Wärmesenken) sowie unter Einbeziehung der g-Werte transparenter Bauteile (für die nutzbaren Wärmequellen). Auch interne Wärmeeinträge sowie solare Wärmeeinträge über opake Bauteile werden dabei berücksichtigt. Insofern ist der bilanzierte Primärenergiebedarf eine geeignete Größe, um die energetische Qualität der Gebäudehülle zu bewerten. Der H_T‘-Wert hingegen berücksichtigt ausschließlich die Wärmeverluste über die Gebäudehülle, indem aus den flächengewichteten U-Werten der Einzelbauteile unter Einbeziehung der Wärmeverluste über Wärmebrücken ein „mittlerer U-Wert der Gebäudehülle“ bestimmt wird. Die Eignung des H_T‘-Wertes als Größe zur Bewertung der Hüllflächenqualität hängt dabei entscheidend davon ab, welches Wärmeschutzniveau betrachtet wird. Wenn die Wärmesenken die Wärmequellen deutlich übersteigen, kann der H_T‘-Wert noch als geeignet angesehen werden (z.B. bei Bestandsgebäuden). Mit größer werdendem Quellen/Senken-Verhältnis verliert der H_T‘-Wert jedoch zunehmend an Aussagekraft, da der Anteil der nutzbaren Wärmeeinträge in dieser Bewertungsgröße nicht erfasst wird. Insbesondere bei ambitionierten Anforderungen

können die nutzbaren Anteile der solaren Wärmeeinträge über 40 % der Wärmesenken kompensieren. Die im Weiteren dokumentierten Auswertungen stellen die vorbeschriebenen Sachverhalte anhand von ausgewählten Berechnungsfällen dar und begründen hiermit den unterbreiteten Vorschlag zur Umstellung der Nebenanforderung sowohl für das öffentlich-rechtlichen Anforderungsniveau als auch für Effizienzhaus-Niveaus. Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf die baupraktischen Konsequenzen einer umgestellten Anforderungssystematik gelegt, da mit der Umstellung eine im Sinnen des energieoptimierten Bauens sinnvolle Flexibilisierung hinsichtlich der Bildung von Erfüllungsoptionen für jeweils zugrundeliegenden Anforderungsniveaus erreicht wird.

Die im weiteren dokumentierten Ergebnisse wurden den Untersuchungen einer im Auftrag der Repräsentanz Transparente Gebäudehülle parallel zu diesem Projekt durchgeführten Untersuchung [15] entnommen.

Als beispielhafte Auswertungen beschreibt der folgende Abschnitt die baulichen Konsequenzen hinsichtlich der Bildung von Erfüllungsoptionen für das Einfamilienhaus (vgl. Darstellung in Abschnitt 2.1.2.1) als Effizienzhaus 55 sowohl für die Anwendung der aktuellen Anforderungssystematik (Abschnitte 7.2.1 und 7.2.2) sowie für die Anwendung einer angepassten Anforderungssystematik (Abschnitt 7.2.3). Dargestellt werden dabei jeweils Auswertungen für vier grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile von 10 bis 40 %.

Abweichend von den für die übrigen Auswertungen des vorliegenden Berichts zugrunde gelegten Fensteroptionen werden in diesem Abschnitt folgende Fensterqualitäten betrachtet:

(1) U_W = 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 (Fensterqualität gemäß GEG Referenzgebäude)
(2) U_W = 1,2 W/(m²K) mit g = 0,64
(3) U_W = 1,1 W/(m²K) mit g = 0,53
(4) U_W = 1,0 W/(m²K) mit g = 0,60 (Sonderqualität mit Weißglas)
(5) U_W = 0,94 W/(m²K) mit g = 0,53
(6) U_W = 0,88 W/(m²K) mit g = 0,53
(7) U_W = 0,82 W/(m²K) mit g = 0,53
(8) U_W = 0,76 W/(m²K) mit g = 0,53

Für jede der acht benannten Fensterqualitäten erfolgt die Bildung von Erfüllungsoptionen, wobei neben der Qualität des Fensters ausschließlich der U-Wert der Außenwand variiert wird. Die übrigen Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche sowie der Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} werden über die Fensterqualitäten und Fensterflächenanteil hinweg jeweils konstant gehalten. Anhand der fallweise in Kombination der Fensterqualität erforderlichen U-Werte der Außenwand lässt sich erkennen, wie sich die Anwendung der Anforderungssystematik auf die jeweils erforderliche Ausbildung der Gebäudehülle auswirkt. Für die Bildung von Erfüllungsoptionen wird der U-Wert der Außenwand auf bestenfalls 0,10 W/(m²K) festgelegt.

7.2 Exemplarische Auswertungen

Die folgenden Abschnitte beschreiben Erfüllungsoptionen für folgende Situationen:

1. Abschnitt 7.2.1: **EFH als Effizienzhaus 55 (55 % $Q_{p,Ref}$/70 % $H_{T,Ref}$')** bei fossiler Wärmeerzeugung durch einen Gas-BW-Kessel sowie Ausstattung mit einer Zu-/Abluftanlage mit 90 % Wärmerückgewinnung und Solarthermie Trinkwarmwasser
2. Abschnitt 7.2.2: **EFH als Effizienzhaus 55 (55 % $Q_{p,Ref}$/70 % $H_{T,Ref}$')** bei regenerativer Wärmeerzeugung durch einen Pelletkessel, Fensterlüftung, ohne Solarthermie
3. Abschnitt 7.2.3: **EFH als Effizienzhaus 55** mit angepasster Anforderungssystematik **(55 % $Q_{p,Ref}$/65 % $H_{T,S,Ref}$')** bei regenerativer Wärmeerzeugung durch einen Pelletkessel, Fensterlüftung, ohne Solarthermie

Jeweils dargestellt werden die Qualitäten der Bautechnik, die Ergebnisse für Q_p, H_T‘ und $H_{T,S}$‘ sowie die Transmissionswärmesenken und die fallweise nutzbaren Wärmequellen für die einzelnen Erfüllungsoptionen.

7.2.1 Erfüllungsoptionen für ein Einfamilienhaus als Effizienzhaus 55 bei fossiler Wärmeerzeugung nach gegenwärtiger Anforderungssystematik

Bei fossiler Wärmeerzeugung ist für die Erfüllung der primärenergetischen Anforderung (hier 55 % $Q_{p,Ref}$) eine Ausführung der Gebäudehülle erforderlich, welche besser ist als nach Nebenanforderung (hier 70 % $H_{T,Ref}$‘) erforderlich, da nur mit einer verbesserten Gebäudehülle der primärenergetische Anforderungswert erreicht werden kann. Hierbei wird die Haupanforderung Q_p also zur „Führungsgröße“ bei der Bildung von Erfüllungsoptionen. Anhand des primärenergetischen Bilanzergebnisses, in welches sowohl die Transmissionswärmeverluste als auch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge eingehen, lassen sich energetisch sinnvolle Erfüllungsoptionen bilden. Bild 7-1 stellt die fallweise gebildeten Erfüllungsoptionen für die acht unterschiedlichen Fenster sowie für die vier betrachteten Fensterflächenanteile dar.

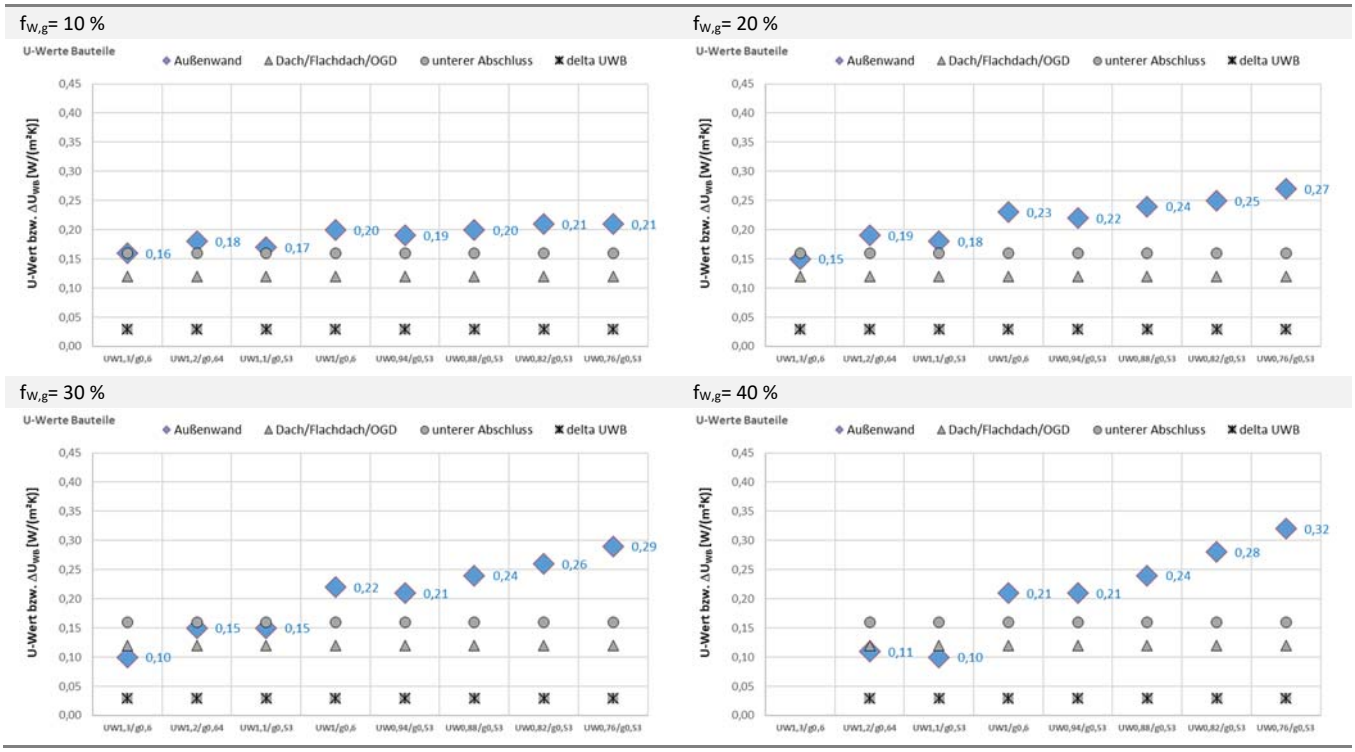


Bild 7-1: Qualitäten Bautechnik für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei fossiler Wärmeerzeugung

Dass der Primärenergiebedarf eine geeignete (Führungs-) Größe zur Bewertung der Hüllflächenqualität darstellt und insofern dazu beiträgt, dass energetisch optimierte und sinnvolle Lösungen zur Ausführung kommen, kann sehr gut aus den Darstellungen in Bild 7-1 abgelesen werden. So zeigt zum Beispiel der Vergleich der Erfüllungsoptionen der Fenster (2) und (3) bei einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 20 % (oben rechts) dass bei Fenster (3) trotz besserem U_W-Wert auch ein besser U-Wert der Außenwand gegenüber der für Fenster (2) gebildeten Erfüllungsoption erforderlich ist. Dies liegt daran, dass die bei Fenster (3) bilanzierten nutzbaren solaren Wärmeeinträge aufgrund des niedrigeren g-Wertes deutlich geringer ausfallen als bei Fenster (2). Vergleichbare Effekte sind auch bei der Gegenüberstellung der Erfüllungsoptionen für die Fenster (4) und (5) festzustellen.

Hinweis: Die unten rechts in Bild 7-1 für den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 40 % beschriebenen Erfüllungsoptionen zeigen, dass für das Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 keine Erfüllungsoption beschrieben ist. Dies liegt daran, dass hierfür ein U-Wert der Außenwand kleiner als 0,10 W/(m²K) erforderlich wäre, die in der Projektbearbeitung zugrunde gelegten Kostenfunktionen zur

Wirtschaftlichkeitsbewertung aber nur eine Gültigkeit bis zu einem minimalen U-Wert der Außenwand von 0,10 W/(m²K) haben.

Die folgenden Auswertungen in Bild 7-2 zeigen jeweils den spezifischen Primärenergiebedarf, den H_T'-Wert sowie den $H_{T,S}$'-Wert der einzelnen Erfüllungsoptionen. Als Beschriftung der Einzelwerte sind jeweils die prozentualen Erfüllungsgrade bezogen auf die Bilanzergebnisse des Referenzgebäudes dargestellt.

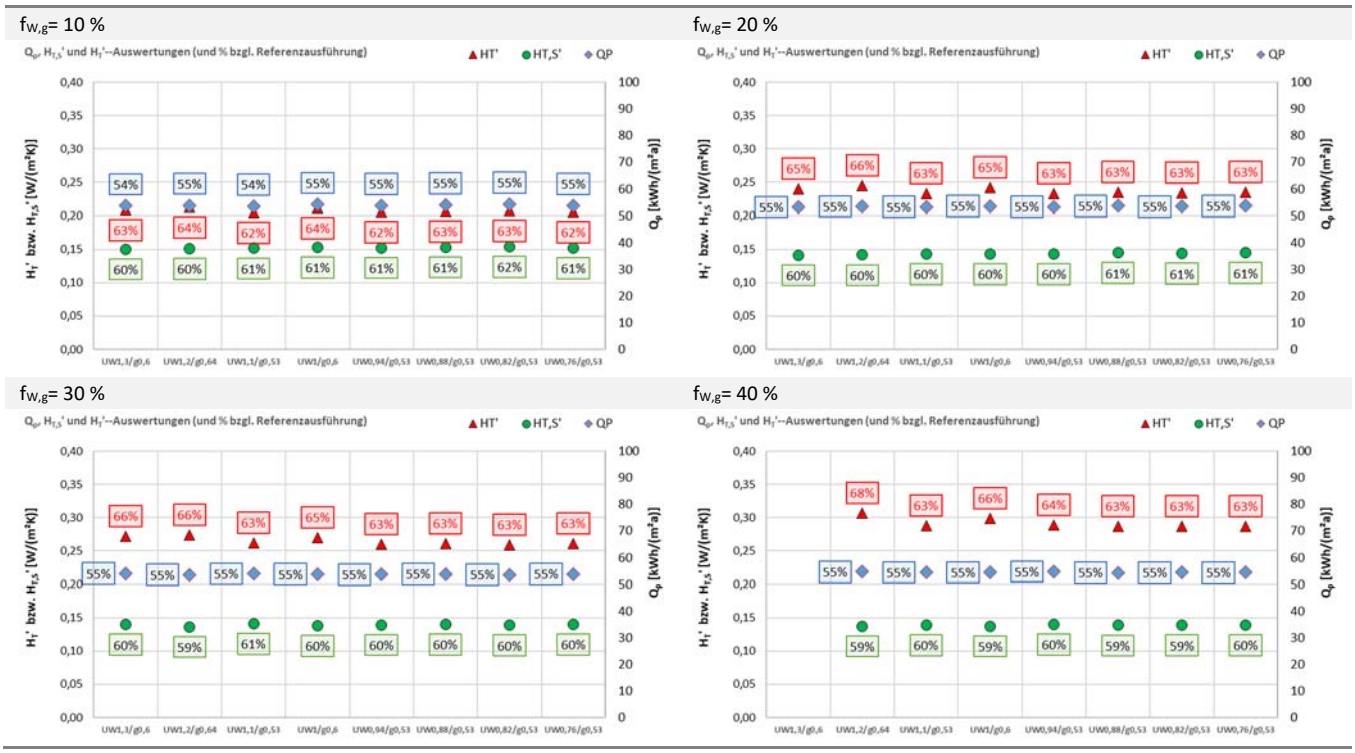


Bild 7-2: **Ergebnisse Q_p, H_T' und $H_{T,S}$' für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei fossiler Wärmeerzeugung**

Die Auswertungen in Bild 7-2 zeigen, dass für das Erreichen der Q_p-Anforderung je nach Erfüllungsoption Niveaus zwischen 62 und 68 % $H_{T,Ref}$' beschrieben werden. Wie weiter oben bereits erwähnt, wird hiermit in allen Fällen eine Übererfüllung der H_T'-Anforderung beschrieben, sodass die Q_p-Anforderung die Führungsgröße darstellt und hierdurch sowohl die Transmissionswärmeverluste und die nutzbaren Wärmeeinträge bei der Bildung von Erfüllungsoptionen berücksichtigt werden.

Hinweis: In einzelnen Ausnahmefällen wird der Q_p-Anforderungswert leicht übererfüllt. So wird in oben links in Bild 7-2 für den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 10 % beispielsweise ein Erfüllungsgrad von 54 % $Q_{p,Ref}$ beschrieben, obwohl nur 55 % $Q_{p,Ref}$ gefordert sind. Aus Bild 7-1 kann entnommen werden, dass für die Ausführung ein U-Wert der Außenwand von 0,16 W/(m²K) unterstellt ist. Da bei der Bildung von Erfüllungsoptionen der U-Wert der Außenwand nur in Schritten von ΔU = 0,01 W/(m²K) verändert werden kann und sich mit einem U-Wert der Außenwand von 0,17 W/(m²K) eine Nicht-Erfüllung der Anforderung ergeben würde, ergibt sich für diesen Fall eine leichte Übererfüllung der Anforderungen bei der beschriebenen Erfüllungsoption.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der primärenergetischen Bilanzierung und den H_T'-Werten sind in Bild 7-2 die fallweise mitbestimmten $H_{T,S}$'-Werte mit ausgewiesen. Hieraus geht hervor, dass mit den gebildeten Erfüllungsoptionen ein Niveau von 59 bis 61 % $H_{T,S,Ref}$' beschrieben wird. Im Vergleich zu den auf $H_{T,Ref}$' bezogenen Auswertungen (62 bis 68 % $H_{T,Ref}$') ist dies eine deutlich geringere Bandbreite. Die in Bild 7-3 enthaltenen Auswertungen zeigen die fallweise bilanzierten Transmissionswärmeverluste sowie die nutzbaren solaren Wärmequellen und die verbleibenden Transmissionswärmeverluste, welche sich nach Abzug der nutzbaren solaren Wärmequellen als tatsächliche Wärmeverluste über die Gebäudehülle ergeben.

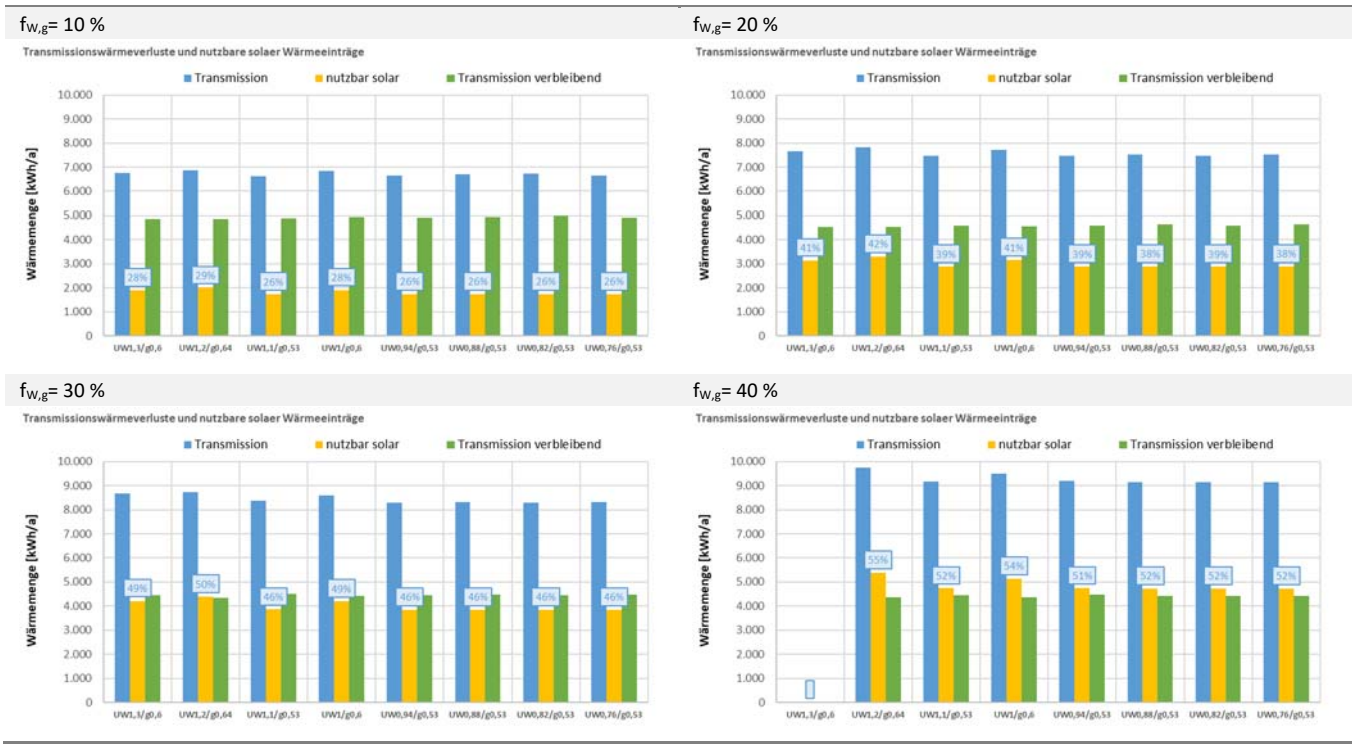


Bild 7-3: **Transmissionswärmesenken, nutzbare Wärmequellen und verbleibende Transmissionswärmeverluste für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei fossiler Wärmeerzeugung**

Die Ergebnisse in Bild 7-3 zeigen, dass mit steigendem Fensterflächenanteil der Deckungsanteil der Transmissionswärmeverluste durch nutzbare solare Wärmeeinträge deutlich zunimmt. Während der Deckungsanteil bei einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 10 % noch bei etwas mehr als einem Viertel der Transmissionswärmeverluste liegt, werden bei dem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 40 % bereits mehr als die Hälfte der anfallenden Wärmeverluste durch nutzbare solare Wärmeeinträge gedeckt. Über alle Erfüllungsoptionen hinweg betrachtet, ergeben sich für den kleinen Fensterflächenanteil verbleibenden Transmissionswärmeverluste in Höhe von etwa 4.900 kWh/a. Demgegenüber liegt das Mittel der verbleibenden Transmissionswärmeverluste bei den Erfüllungsoptionen für den hohen Fensterflächenanteil bei nur 4.400 kWh/a. Somit hat die Gebäudehülle im Fall des höheren Fensterflächenanteils eine bessere energetische Performance, obwohl der H_T'-Wert, welcher ausschließlich die Transmissionswärmeverluste erfasst, bei dem größeren Fensterflächenanteil mit im Mittel 0,292 W/(m²K) deutlich schlechter ist als der H_T'-Wert bei dem kleinen Fensterflächenanteil, der hier im Mittel 0,208 W/(m²K) beträgt (vgl. Werte in Bild 7-2). Der $H_{T,S}$'-Wert liefert demgegenüber eine deutlich bessere Bewertung der Hüllfläche: für den kleinen Fensterflächenanteil liegt der $H_{T,S}$'-Wert im Mittel bei 0,152 W/(m²K) und bei dem großen Fensterflächenanteil bei 0,139 W/(m²K).

Somit kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass für die hier betrachtete Situation, bei welcher der Primärenergiebedarf die Führungsgröße darstellt, die Planung in die richtige Richtung gelenkt wird und die optimale Ausführung unter Berücksichtigung des tatsächlichen energetischen Verhaltens der Gebäudehülle gefunden wird. Die obigen Erläuterungen zum Vergleich der H_T'-Werte für den kleinen und großen Fensterflächenanteil zeigen, dass der H_T'-Wert nicht geeignet ist, um die Hüllflächenqualität zu beschreiben. Das mit Abschnitt 7.2.2 folgende Beispiel für eine Ausführung des EFH als EH 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung unterstreicht dies noch einmal, da hier die Nebenanforderung zur Führungsgröße wird.

7.2.2 Erfüllungsoptionen für ein Einfamilienhaus als Effizienzhaus 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung nach gegenwärtiger Anforderungssystematik

Für die in diesem Abschnitt dokumentierten Berechnungen ist eine regenerative Wärmeerzeugung durch einen Pelletkessel unterstellt. Aufgrund des niedrigen Primärenergiefaktors für Pellets ergibt sich auch ohne Berücksichtigung einer Lüftungsanlage und einer Solarthermieanlage eine deutliche Übererfüllung der primärenergetischen Anforderung (siehe Bild 7-5) für dieses Effizienzhausniveau. Hierdurch wird die über H_T‘ formulierte Nebenanforderung zur Führungsgröße bei der Bildung von Erfüllungsoptionen für das hier zugrunde gelegte Niveau mit einem Anforderungswert von 70 % $H_{T,Ref}$‘. Mit den Darstellungen in Bild 7-4 werden die für diese H_T‘-Niveau gebildeten Erfüllungsoptionen für das EFH beschrieben.

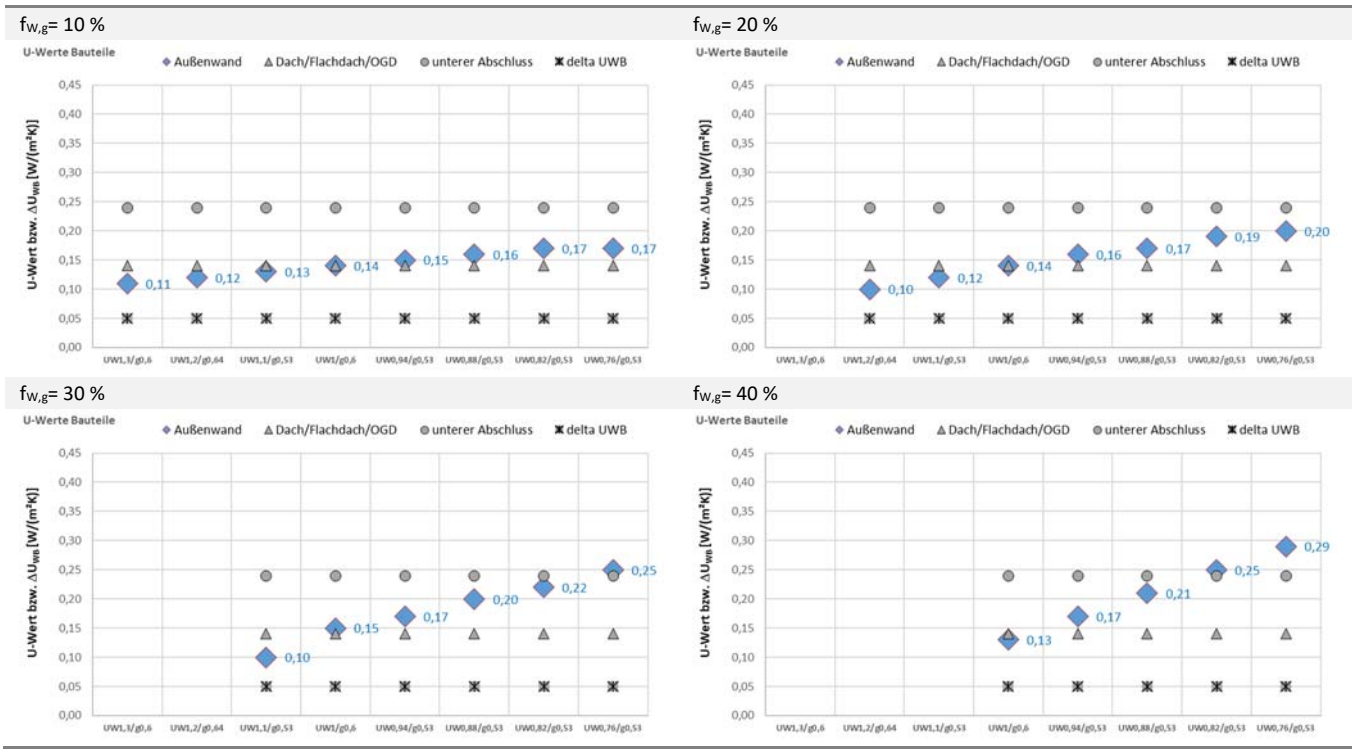


Bild 7-4: Qualitäten Bautechnik für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung

Dadurch, dass in den H_T‘-Wert ausschließlich die U-Werte der Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche sowie der ΔU_{WB}-Wert eingehen, folgt nach Bild 7-4 für die beschriebenen Erfüllungsoptionen, dass mit verbessertem U_W-Wert der Fenster ein lineares „Nachlassen“ bei dem U-Wert der Außenwand möglich ist. Hiernach ist für den kleinsten grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil oben links in Bild 7-4 eine Ausführung mit U_W = 1,3 W/(m²K) (Fenster (1)) in Verbindung mit einem U-Wert der Außenwand von 0,11 W/(m²K) eine Erfüllungsoption. Die Verbesserung des UW-Wertes auf 0,76 W/(m²K) ermöglicht eine Ausführung in Kombination mit einem U-Wert der Außenwand von 0,17 W/(m²K) für diesen Fensterflächenanteil. Ein Blick auf die Auswertungen oben rechts in Bild 7-4 zeigt, dass hier das geforderte $H_{T,Ref}$‘-Niveau mit dem Fenster (1) nicht mehr erreicht werden kann. Aufgrund des höheren Fensterflächenanteils in Verbindung gleichzeitig sinkendem Flächenanteil der Außenwand ergeben sich mit verbessertem U_W-Wert im Vergleich zu dem kleineren Fensterflächenanteil größere Differenzen in den fallweise erforderlichen U-Werten der Außenwand. Für den größten Fensterflächenanteil unten rechts in Bild 7-4 lassen sich keine Erfüllungsoptionen für die Fenster (1) bis (3) bilden. Bei Fenster (4) mit einem U-Wert von 1,0 W/(m²K) beträgt der erforderliche U-Wert der Außenwand 0,13 W/(m²K). Kommt das Fenster (8) mit einem UW-Wert von 0,76 W/(m²K) zum Einsatz, kann im U-Wert der Außenwand bis auf 0,29 W/(m²K) nachgelassen werden.

Mit Bild 7-5 erfolgt die Darstellung der Bilanzergebnisse für Q_p, H_T‘ sowie $H_{T,S}$‘ für die gebildeten Erfüllungsoptionen. Auch hier sind jeweils die Erfüllungsgrade dieser Größen bezogen auf die Referenzausführung als Beschriftung der Einzelwerte angegeben.

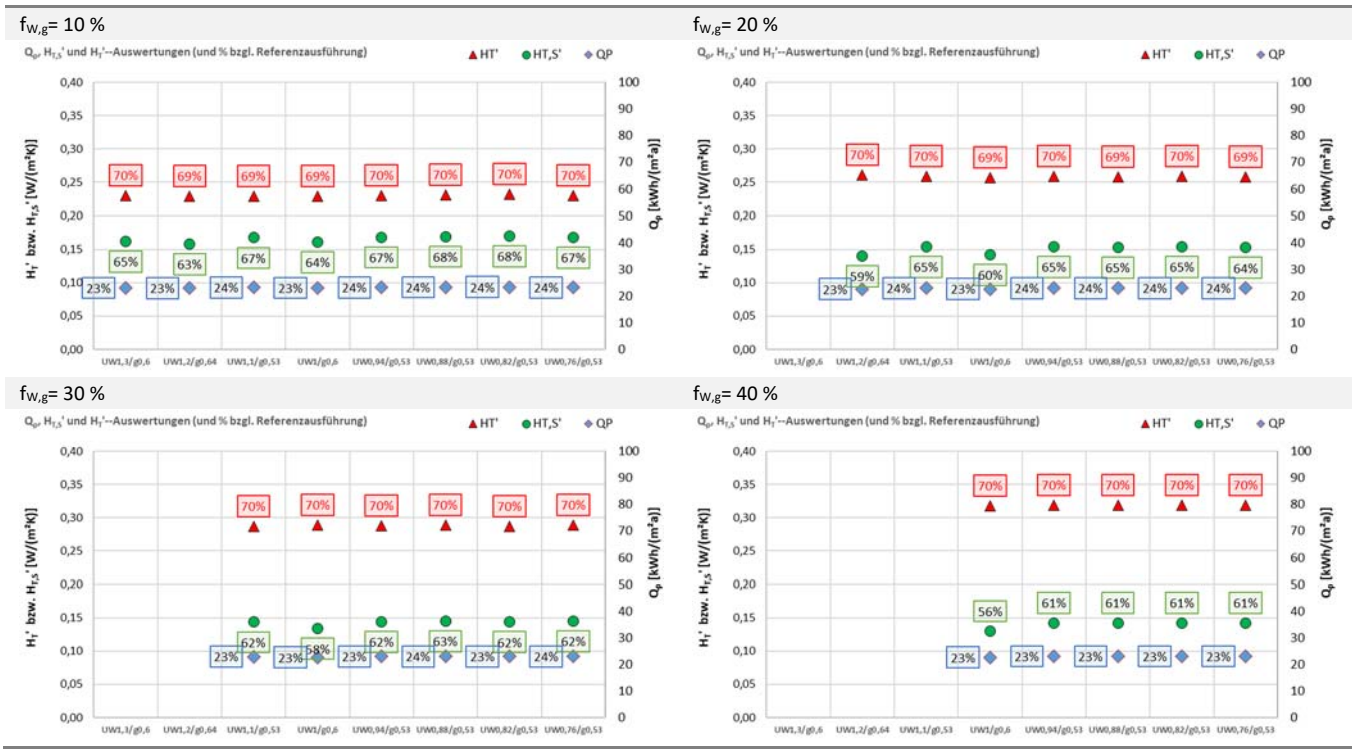


Bild 7-5: **Ergebnisse Q_p, H_T‘ und $H_{T,S}$‘ für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung**

Die in Bild 7-5 wiedergegebenen Auswertungen zeigen, dass die Erfüllungsoptionen so ausgeführt sind, dass jeweils das Anforderungsniveau 70 % $H_{T,Ref}$‘ eingehalten wird. Die H_T‘-Werte liegen dabei für den kleinsten Fensterflächenanteil bei 0,230 W/(m²K) und für den größten Fensterflächenanteil bei 0,319 W/(m²K), was einer „Verschlechterung“ um 39 % entspricht.

Hinweis: Auch bei der Bildung der Erfüllungsoptionen für das EH 55 mit regenerativer Wärmeerzeugung ergeben sich fallweise geringe Übererfüllung der 70 % $H_{T,Ref}$‘-Anforderung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die U-Werte der Außenwand nur in Schritten von ΔU = 0,01 W/(m²K) verändert werden können. Fälle, für die sich nach Bild 7-5 Niveaus von 69 % $H_{T,Ref}$‘ ergeben, würden jeweils mit einem um 0,01 W/(m²K) schlechteren U-Wert der Außenwand bereits bei 71 % $H_{T,Ref}$‘ liegen und somit die Anforderung nicht mehr erfüllen.

Wird der Blick auf die $H_{T,S}$‘-Werte in Bild 7-5 gerichtet, so ist zu erkennen, dass für das bei diesen Erfüllungsoptionen zugrunde liegenden Niveau von 70 % $H_{T,Ref}$‘ bei dem kleinsten Fensterflächenanteil oben links Niveaus zwischen 63 und 68 % $H_{T,S,Ref}$‘ erreicht werden. Mit steigendem Fensterflächenanteil verbessert sich das auf die Referenzausführung bezogene Niveau auf 56 bis 61 % $H_{T,S,Ref}$‘. Die $H_{T,S}$‘-Werte selbst liegen hier bei dem kleinsten Fensterflächenanteil im Mittel bei 0,166 W/(m²K) und bei dem größten Fensterflächenanteil im Mittel bei 0,140 W/(m²K). Dies entspricht einer Verbesserung gegenüber dem $H_{T,S}$‘-Wert des kleinsten Fensterflächenanteils um rund 16 %. Im Gegensatz zu der durch den H_T‘-Wert beschriebenen Qualität der Gebäudehülle ergibt sich also nach Bewertung über die Größe $H_{T,S}$‘ mit Vergrößerung der Fensterfläche eine verbesserte energetische Qualität. Die mit Bild 7-6 folgenden Auswertungen zeigen anhand der fallweise bestimmten Transmissionswärmeverluste und nutzbaren solaren Wärmeeinträge, welche verbleibenden Verluste sich nach Abzug der nutzbaren Einträge bei Vergrößerung des Fensterflächenanteils ergeben. Analog zur Darstellung der Ergebnisse im vorhergehenden Abschnitt sind die fallweise ermittelten nutzbaren solaren Wärmeeinträge mit den jeweils berechneten Deckungsanteilen der Transmissionswärmeverluste beschriftet.

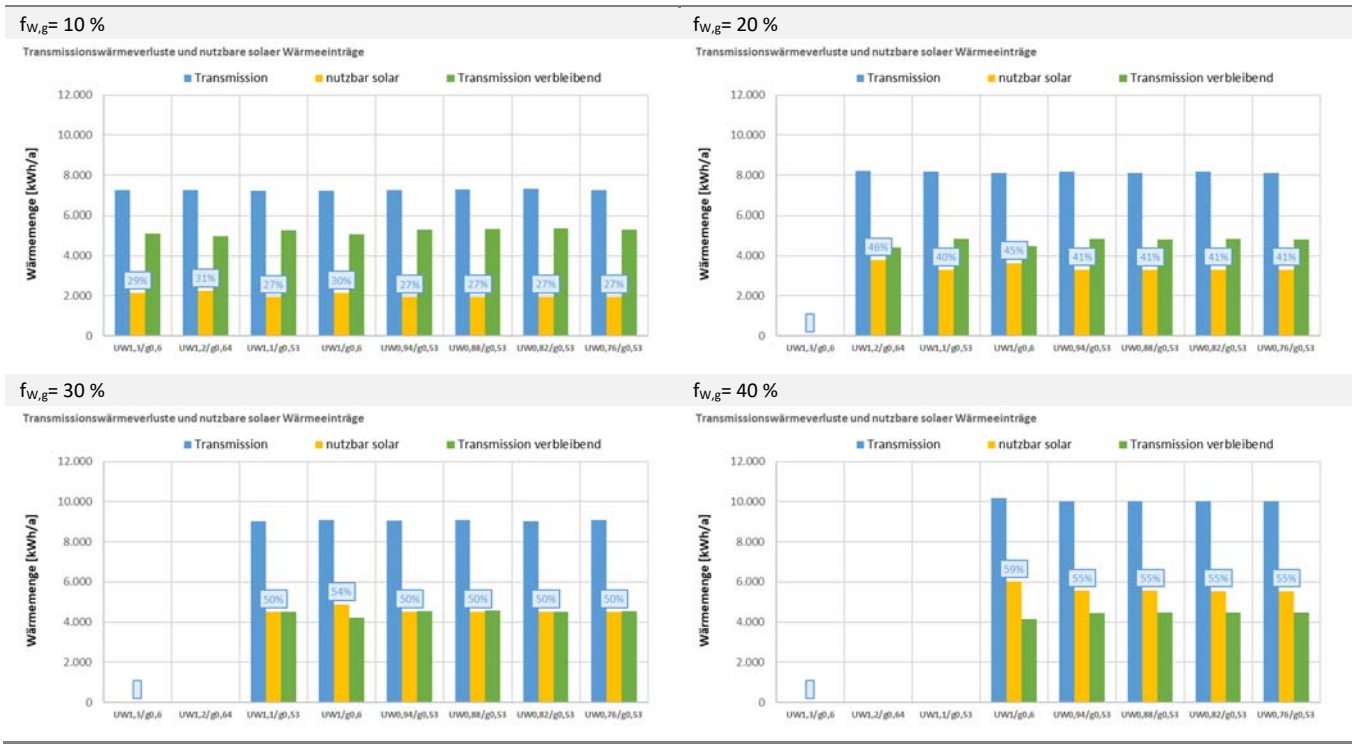


Bild 7-6: Transmissionswärmesenken, nutzbare Wärmequellen und verbleibende Transmissionswärmeverluste für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung

Der Blick auf die Transmissionswärmeverluste in Bild 7-6 zeigt, dass mit steigendem Fensterflächenanteil auch höhere Transmissionswärmeverluste zu verzeichnen sind. Gleichzeitig steigt aber auch mit größer werdendem Fensterflächenanteil der nutzbare Anteil der solaren Wärmeeinträge von im Mittel 28 % bei dem kleinsten Fensterflächenanteil auf im Mittel 56 % bei dem größten Fensterflächenanteil. Die nutzbaren Wärmeeinträge nehmen somit stärker zu als die Verluste steigen. Hieraus folgt, dass die verbleibenden Transmissionswärmeverluste nach Abzug der nutzbaren solaren Wärmeeinträge von rund 5.200 kWh/a bei dem kleinsten Fensterflächenanteil auf rund 4.400 kWh/a sinken.

Somit kann an dieser Stelle erneut festgehalten werden, dass die Größe H_T‘ keine geeignete Größe zur Bewertung der Hüllflächenqualität darstellt. Ferner zeigen die Auswertungen, dass die Nichteinbeziehung der nutzbaren Wärmeeinträge in der Anforderungsgröße H_T‘ zu falschen Planungsentscheidungen führen kann. Diese Möglichkeit der Fehlbewertung ergibt sich in allen Fällen, bei denen die Nebenanforderung als Führungsgröße agiert, also in Fällen, bei denen eine überwiegende Wärmebereistellung durch regenerative Systeme erfolgt. Dies gilt insbesondere für Gebäude auf einem hohen Wärmeschutzniveau, welche sich dadurch auszeichnen, dass sie einen geringen Wärmebedarf aufweisen, welcher zu großen Teilen durch nutzbare solaren Wärmeinträge gedeckt werden kann. Gerade für solche Gebäudekonzepte ist es wichtig, dass eine Führungsgröße in der Nebenanforderung verwendet wird, welche es ermöglicht, die energetische Qualität der Gebäudehülle richtig und im Sinne einer Optimierung des Gebäudekonzepts zu bewerten.

Die in dem folgenden Abschnitt beschriebenen Auswertungen definieren ein modifiziertes Anforderungsniveau, bei dem die Bildung von Erfüllungsoptionen an der Führungsgröße $H_{T,S}$‘ ausgerichtet ist.

7.2.3 Erfüllungsoptionen für ein Einfamilienhaus als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$') bei regenerativer Wärmeerzeugung

Die in den beiden vorhergehenden Abschnitten dokumentieren Auswertungen zeigen, dass die gegenwärtige Nebenanforderung über H_T' zur Bewertung der Hüllflächenqualität ungeeignet ist. Grund hierfür ist, wie schon mehrfach erläutert, dass die nutzbaren solaren Wärmeeinträge, welche wesentliche Anteile der anfallenden Transmissionswärmeverluste decken, nicht in dieser Größe berücksichtigt werden. Die Auswertungen zeigen ebenfalls, dass die Verwendung der Größe $H_{T,S}$' als Nebenanforderung geeignet wäre, um als Anforderungsgröße die Hüllflächenqualität entsprechend ihrer tatsächlichen energetischen „Performance" zu bewerten.

Ausgehend von den gemäß Auswertung in Bild 7-5 und den obigen Erläuterungen, entspricht das Niveau 70 % $H_{T,Ref}$' in etwa einem Niveau 65 % $H_{T,S,Ref}$'. Auf dieses Niveau könnte also ein „neues" EH 55-Niveau ausgerichtet werden. Bild 7-7 beschreibt die baulichen Qualitäten der hierzu gebildeten Erfüllungsoptionen.

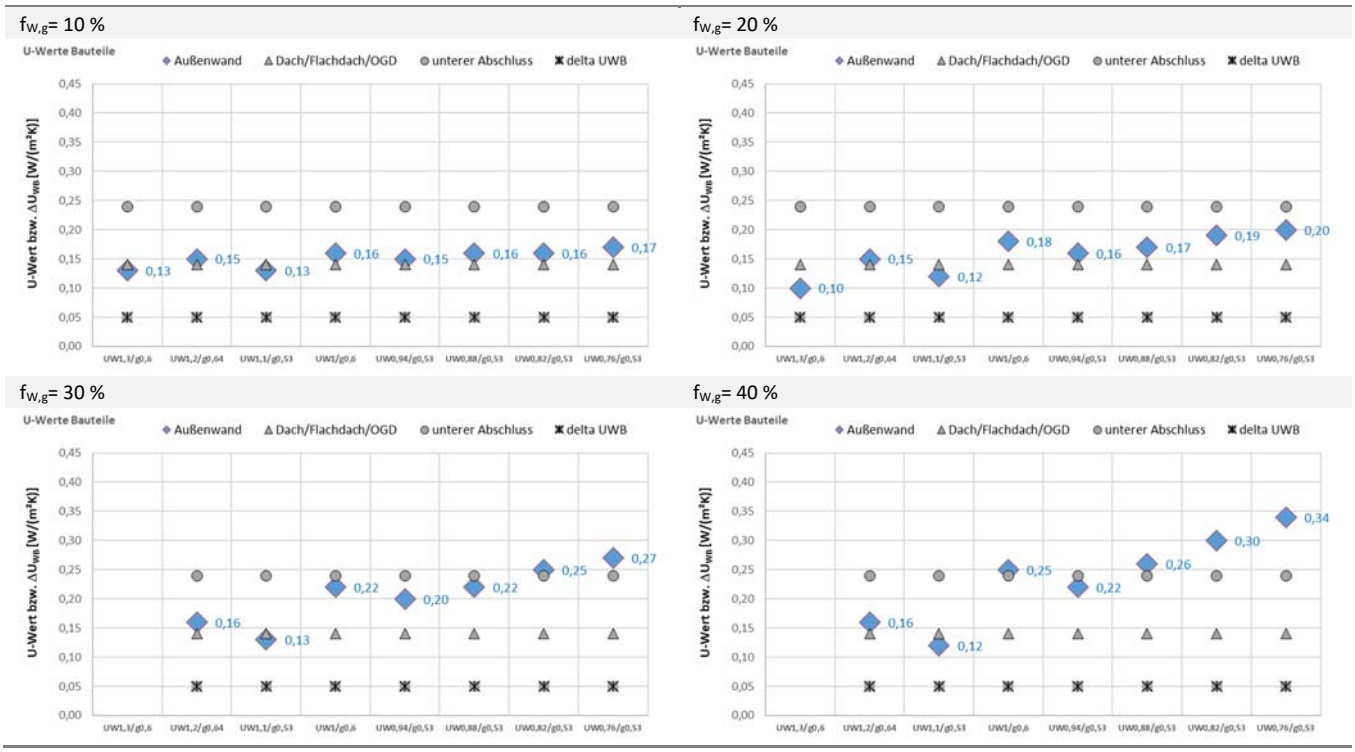


Bild 7-7: **Qualitäten Bautechnik für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$') bei regenerativer Wärmeerzeugung**

Während die Anwendung der Anforderungsgröße H_T' noch mit verbessertem U_W-Wert eine lineares Nachlassen des U-Wertes der Außenwand zugelassen hat, folgt aus der Anwendung der Größe $H_{T,S}$' als Nebenanforderung eine Bildung von Erfüllungsoptionen, welche dem bereits in Abschnitt 7.2.1 beschriebenen „Mechanismus" bei Anwendung der Führungsgröße Q_p entspricht. Deutlich zu erkennen ist, dass bei der Bildung der Erfüllungsoptionen der g-Wert der Gläser eine Rolle spielt. Wie bereits in Abschnitt 7.2.1 ist dies erkennbar bei einem Vergleich der Erfüllungsoptionen für die Fenster (2) und (3) bzw. (4) und (5). Obwohl mit den Fenstern (3) und (5) im Vergleich zu den Fenstern (2) und (4) jeweils bessere U_W-Werte zugrunde liegen, sind bei diesen Fällen bessere U-Werte der Außenwand erforderlich. Eine baupraktische Konsequenz aus der Anwendung dieser Anforderungsgröße ist z.B. dass auch die Variation des g-Wertes einen Beitrag zum Erreichen des Anforderungsniveaus leisten kann. Ein Beispiel hierfür ist das Fenster (4), mit dem eine sogenannte Weißglas-Ausführung beschrieben ist. Hierbei handelt es sich um Glas, bei dem durch Erhitzen des Glases im Herstellungsprozess die Eisenoxidanteile reduziert werden. Hierdurch ergibt sich einer höherer Licht- und Energiedurchlass

und somit für das Fensterglas ein höherer g-Wert im Vergleich zu einem Normalglas. Somit ergibt sich aus der Anwendung der neuen Anforderungsgröße eine zusätzliche Flexibilisierung bei der Bildung von Erfüllungsoptionen. Dies ist von besonderer Bedeutung für die Anwendung im Bestand, da hier oftmals Teile der wärmeübertragenden Hüllfläche nicht mit einem vertretbaren Aufwand energetisch verbessert werden können (z.B. unterer Gebäudeabschluss) und deshalb bestimmte auf $H_{T,Ref}$' bezogene Anforderungswerte bei Effizienzhäusern nicht erreicht werden. Solche Fälle würden von dieser zusätzlichen Flexibilisierung profitieren. Dass sich aus der Einbeziehung zusätzliche Freiheiten ergeben, ist auch daran zu erkennen, dass mit den Fenstern (1) bis (3) bzw. (2) und (3) auch noch bei den größeren Fensterflächenanteilen Erfüllungsoptionen gebildet werden können.

Mit Bild 7-8 folgt die Ausweisung der korrespondierenden Q_p, H_T' sowie $H_{T,S}$'-Werte jeweils mit den Erfüllungsgraden bezogen auf die Referenzausführung als Beschriftung der Einzelwerte.

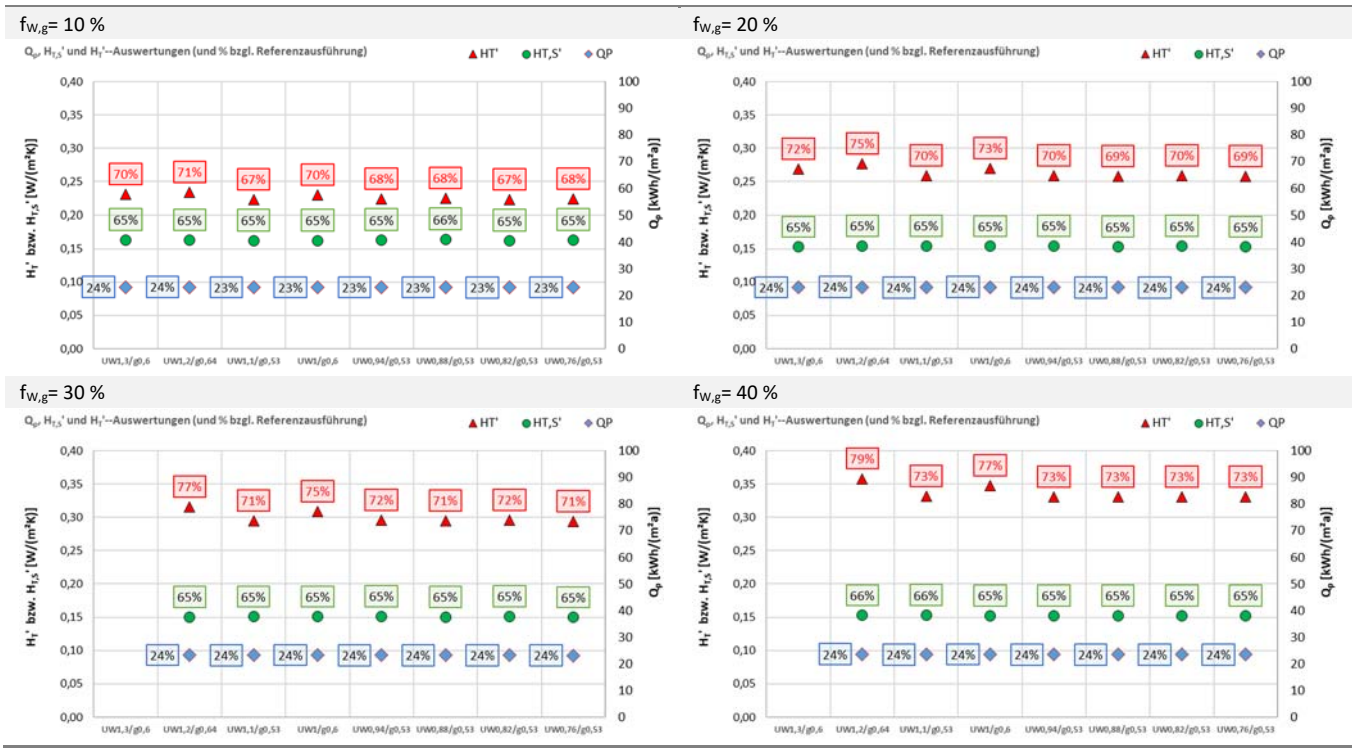


Bild 7-8: **Ergebnisse Q_p, H_T' und $H_{T,S}$' für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$') bei regenerativer Wärmeerzeugung**

Die Auswertungen in Bild 7-8 zeigen, dass die Erfüllungsoptionen an dem Niveau 65 % $H_{T,S,Ref}$' ausgerichtet sind. Die $H_{T,S}$'-Werte liegen dabei zwischen im Mittel 0,163 W/(m²K) bei dem kleinsten Fensterflächenanteil und im Mittel 0,152 W/(m²K) bei dem größten Fensterflächenanteil. Mit zunehmendem Fensterflächenanteil steigen erwartungsgemäß die auf $H_{T,Ref}$' bezogenen Erfüllungsgrade bei gleichbleibendem $H_{T,S,Ref}$'-Niveau (vgl. Bild 7-5, wobei sich bei gleichbleibendem $H_{T,Ref}$'-Niveau bei größer werdendem Fensterflächenanteil das $H_{T,S,Ref}$'-Niveau verbessert).

Abschließend folgt mit Bild 7-9 die Ausweisung der für die Erfüllungsoptionen bestimmten Transmissionswärmeverluste, die nutzbaren solaren Wärmeeinträge sowie die hieraus ermittelten verbleibenden Transmissionswärmeverluste nach Abzug der nutzbaren solaren Wärmeeinträge.

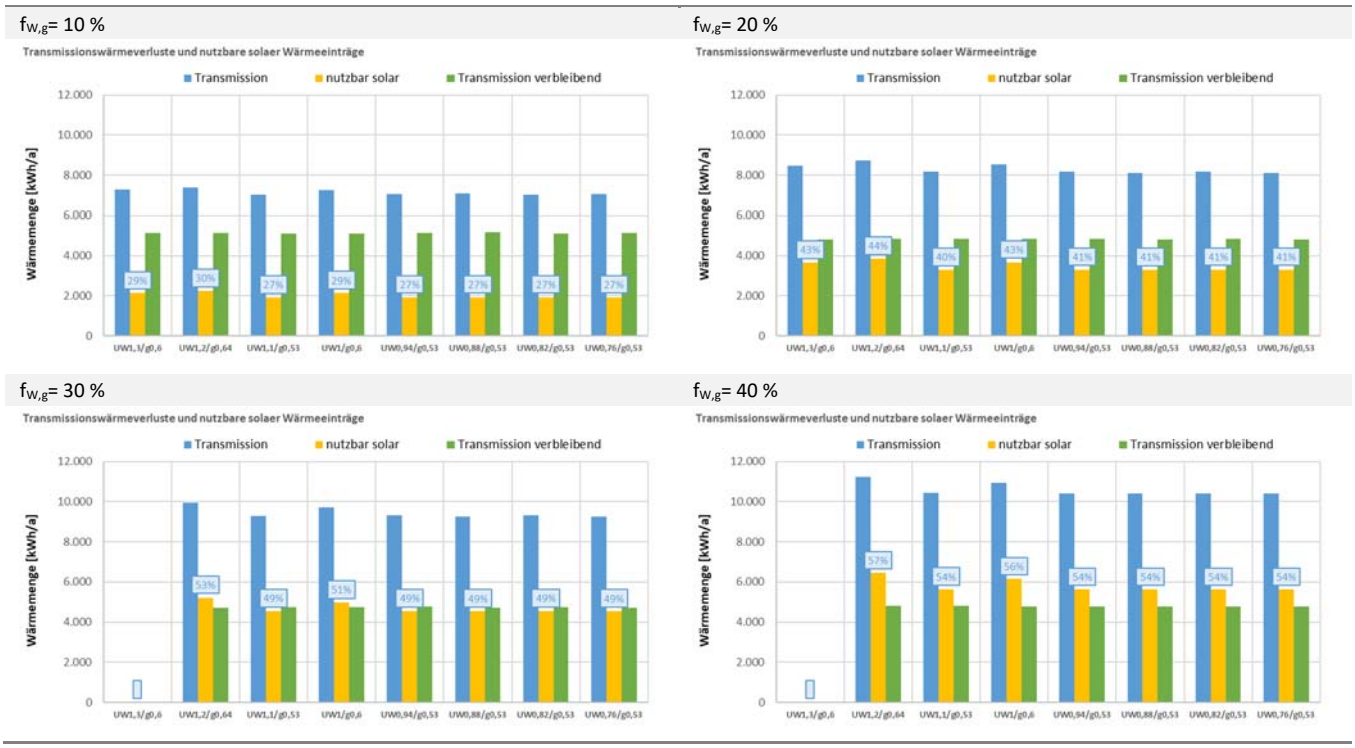


Bild 7-9: Transmissionswärmesenken, nutzbare Wärmequellen und verbleibende Transmissionswärmeverluste für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$') bei regenerativer Wärmeerzeugung

Wie bereits aus den bisherigen Auswertungen zu den nutzbaren solaren Wärmeeinträgen hervorgeht, zeigen die Ergebnisse in Bild 7-9, dass mit steigendem Fensterflächenanteil die nutzbaren solaren Wärmeeinträge stärker zunehmen als die Transmissionswärmeverluste. Hieraus folgt, dass mit größeren Fensterflächenanteilen eine höhere energetische Qualität der Gebäudehülle beschrieben wird. Die Größe $H_{T,S}$' sollte deshalb als Ersatz für die Größe H_T' in der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik und in der hieran gekoppelten Anforderungssystematik für Effizienzhäuser eingeführt werden.

7.3 Bewertung der Ergebnisse

Die bespielhafte Auswertungen dieses Kapitels zeigen, dass die etablierte Größe H_T' insbesondere für Gebäude auf einem hohen energetischen Niveau mit niedrigen Wärmebedarfen als Bewertungsgröße für die energetische Qualität der Gebäudehülle ungeeignet ist. Während Gebäudekonzepte mit fossiler Wärmeversorgung durch die Anforderungsgröße Q_p hinsichtlich der hinsichtlich der Identifizierung einer optimierten Gebäudehülle in die „richtige Richtung" gelenkt werden, führt die über H_T' formulierte und bei regenerativen Versorgungskonzepten greifende Nebenanforderung zu einer einseitigen Optimierung mit Reduzierung der Wärmeverluste. Dass aber bis zu einem gewissen Punkte gerade bei steigenden Fensterflächenanteilen die nutzbaren solaren Wärmeeinträge stärker steigen als die Wärmeverluste zunehmen, können falsche Planungsentscheidungen und Ausführungen resultieren. Deshalb ist es erforderlich, eine neue Nebenanforderungsgröße als Führungsgröße zu etablieren, welche in der Lage ist, sowohl die Wärmeverluste als auch die Wärmegewinne richtig zu beschreiben. Die Verwendung der Größe $H_{T,S}$' bietet sich hierfür an.

Baupraktische Konsequenz ist, dass einerseits für die Bildung von Erfüllungsoptionen für das öffentlich-rechtliche bzw. darüberhinausgehender energetischer Niveaus eine zusätzliche Flexibilisierung erreicht wird. Die zusätzliche Flexibilisierung wird dadurch erreicht, dass die Variation des g-Werts Einfluss im Sinne des tatsächlichen energetischen Verhaltens als Beitrag zur

Erfüllung der Anforderungen berücksichtigt wird und sich höhere g-Werte entsprechend positiv auswirken. Durch Einbeziehung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge bei der Bewertung der energetischen Qualität der Gebäudehülle werden nachhaltige Gebäudekonzepte gefördert, welche sich dadurch auszeichnen, dass die Gebäude hinsichtlich der Nutzung der „solaren Beheizung“ optimiert sind. Neben dieser auf den Winterfall bezogenen Optimierung darf allerdings der sommerliche Wärmeschutz nicht außer Acht gelassen werden! Gebäude mit hohen Fensterflächenanteilen bei hohen g-Werten erfordern zur Sicherstellung eines guten sommerlichen Komforts bzw. zur Minimierung der für Gebäudekühlung aufzubringenden Kühlenergie in der Regel den Betrieb von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen in Verbindung mit einem erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit. Sind bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen oder erhöhte Nachtlüftung nicht möglich, ergeben sich aus dem Sommerfall Limitierungen des g-Wertes, welche einer Maximierung der solaren Wärmeeinträge im Winter entgegenstehen. Eine künftige öffentlich-rechtliche Anforderungssystematik sollte auf diese Zusammenhänge des winterlichen und sommerlichen Wärmeverhaltens hinweisen und die Umsetzung dynamischer Gebäudekonzepte fordern bzw. im Rahmen des Energieeffizienten Bauens durch entsprechende Förderprogramme fördern.

8 Vorschlag zur Ergänzung der DIN V 18599

8.1 Tabellarisierte S_F-Werte zur Verwendung für Bauteil-Einzelnachweise

8.1.1 Wohnnutzung

Die Bereitstellung von S_F-Werten in DIN V 18599 wird für Wohnnutzung wie in Tabelle 8-1 (EFH) und Tabelle 8-2 (MFH) empfohlen. Bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sind diese S_F-Werte mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren, da in diesen Fällen von einer geringeren Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge auszugehen ist.

Tabelle 8-1: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Wohnnutzung EFH

Nutzung	**Wo01_EFH**								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	1,0	0,93	0,85	1,5	1,2	1,0	2,2	1,8	1,5
60°	1,3	1,2	1,0	2,0	1,6	1,3	2,7	2,2	1,8
45°	1,5	1,3	1,1	2,1	1,7	1,4	2,8	2,2	1,8
30°	1,7	1,4	1,2	2,2	1,7	1,4	2,6	2,1	1,7
0° (horizontal)	2,4	1,9	1,5						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,96	0,89	0,84	1,4	1,2	1,0	2,0	1,7	1,4
60°	1,3	1,1	0,97	1,8	1,5	1,2	2,5	2,0	1,6
45°	1,4	1,2	1,0	1,9	1,6	1,2	2,5	2,0	1,6
30°	1,6	1,3	1,1	2,0	1,6	1,3	2,4	1,9	1,5
0° (horizontal)	2,1	1,7	1,3						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,92	0,87	0,83	1,3	1,1	1,00	1,9	1,7	1,4
60°	1,2	1,1	0,92	1,7	1,4	1,1	2,4	2,0	1,6
45°	1,3	1,1	0,98	1,8	1,5	1,2	2,4	1,9	1,6
30°	1,5	1,2	0,99	1,9	1,5	1,2	2,3	1,9	1,5
0° (horizontal)	2,0	1,6	1,3						

Tabelle 8-2: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Wohnnutzung MFH

Nutzung	**Wo02_MFH**								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,77	0,75	0,72	1,2	1,0	0,93	1,8	1,6	1,4
60°	1,1	1,0	0,91	1,7	1,4	1,2	2,4	2,0	1,7
45°	1,3	1,1	1,00	1,8	1,5	1,3	2,4	2,0	1,7
30°	1,4	1,2	1,1	1,9	1,6	1,3	2,3	1,9	1,6
0° (horizontal)	2,1	1,7	1,4						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,72	0,71	0,71	1,1	0,99	0,91	1,7	1,5	1,3
60°	1,0	0,94	0,87	1,6	1,3	1,1	2,2	1,8	1,5
45°	1,1	1,0	0,92	1,6	1,4	1,2	2,2	1,8	1,5
30°	1,3	1,1	0,95	1,7	1,4	1,2	2,1	1,8	1,5
0° (horizontal)	1,8	1,5	1,2						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,68	0,69	0,69	1,0	0,96	0,90	1,6	1,5	1,3
60°	0,95	0,89	0,84	1,5	1,2	1,1	2,1	1,7	1,5
45°	1,1	0,97	0,89	1,5	1,3	1,1	2,1	1,7	1,4
30°	1,2	1,0	0,90	1,6	1,4	1,1	2,0	1,6	1,3
0° (horizontal)	1,7	1,4	1,2						

8.1.2 Nichtwohnnutzung

Die Bereitstellung von S_F-Werten in DIN V 18599 wird für Nichtwohnnutzungen, wie in Tabelle 8-3 bis Tabelle 8-11 dargestellt, empfohlen. Bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sind diese S_F-Werte mit dem Faktor 0,6 zu multiplizieren.

Tabelle 8-3: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Einzelbüro

Nutzung	NiWo01_Einzelbüro								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,79	0,80	0,80	1,2	1,1	1,0	1,9	1,7	1,5
60°	1,1	1,0	0,95	1,6	1,4	1,2	2,4	2,0	1,7
45°	1,2	1,1	1,0	1,7	1,5	1,3	2,4	2,0	1,7
30°	1,5	1,3	1,1	1,9	1,6	1,4	2,4	2,0	1,7
0° (horizontal)	2,1	1,7	1,4						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,74	0,77	0,79	1,1	1,1	1,0	1,8	1,6	1,4
60°	1,0	0,97	0,93	1,6	1,4	1,2	2,3	1,9	1,6
45°	1,1	1,0	0,97	1,6	1,4	1,2	2,3	1,9	1,5
30°	1,3	1,2	1,1	1,7	1,5	1,3	2,2	1,8	1,6
0° (horizontal)	1,8	1,5	1,2						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,71	0,74	0,78	1,1	1,0	1,00	1,7	1,6	1,4
60°	0,96	0,94	0,91	1,5	1,3	1,1	2,2	1,9	1,6
45°	1,1	1,0	0,95	1,6	1,4	1,2	2,2	1,8	1,5
30°	1,2	1,1	0,97	1,6	1,4	1,2	2,0	1,7	1,5
0° (horizontal)	1,7	1,4	1,2						

Tabelle 8-4: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Gruppenbüro

Nutzung	NiWo02_Gruppenbüro								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,80	0,83	0,85	1,3	1,2	1,1	1,9	1,7	1,5
60°	1,1	1,1	1,0	1,8	1,5	1,3	2,4	2,0	1,7
45°	1,2	1,1	1,1	1,8	1,6	1,4	2,4	2,0	1,7
30°	1,4	1,3	1,1	1,9	1,7	1,4	2,3	2,0	1,7
0° (horizontal)	2,1	1,8	1,6						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,76	0,80	0,83	1,2	1,1	1,1	1,8	1,6	1,5
60°	1,0	1,0	0,97	1,7	1,4	1,3	2,3	1,9	1,7
45°	1,1	1,1	1,0	1,7	1,5	1,3	2,3	1,9	1,6
30°	1,3	1,1	1,0	1,8	1,6	1,3	2,2	1,8	1,5
0° (horizontal)	1,9	1,6	1,4						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,74	0,78	0,82	1,1	1,1	1,0	1,7	1,6	1,5
60°	1,0	0,98	0,96	1,6	1,4	1,2	2,2	1,9	1,7
45°	1,1	1,1	1,0	1,6	1,4	1,2	2,1	1,9	1,6
30°	1,2	1,1	1,0	1,7	1,5	1,2	2,1	1,8	1,5
0° (horizontal)	1,8	1,5	1,4						

Tabelle 8-5: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Großraumbüro

Nutzung	NiWo03_Großraumbüro								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,84	0,85	0,86	1,3	1,2	1,1	2,0	1,8	1,6
60°	1,2	1,1	1,0	1,8	1,5	1,3	2,5	2,2	1,8
45°	1,3	1,2	1,1	1,8	1,6	1,4	2,5	2,2	1,8
30°	1,5	1,3	1,1	1,9	1,7	1,4	2,4	2,1	1,8
0° (horizontal)	2,2	1,9	1,6						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,80	0,83	0,85	1,3	1,2	1,1	2,0	1,8	1,6
60°	1,1	1,0	1,00	1,8	1,5	1,3	2,5	2,1	1,8
45°	1,2	1,1	1,0	1,9	1,6	1,3	2,5	2,1	1,7
30°	1,3	1,2	1,1	2,0	1,6	1,3	2,4	2,0	1,6
0° (horizontal)	2,1	1,7	1,5						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,78	0,81	0,85	1,2	1,2	1,1	1,9	1,7	1,6
60°	1,1	1,0	0,99	1,7	1,5	1,3	2,4	2,1	1,8
45°	1,2	1,1	1,0	1,8	1,6	1,4	2,4	2,0	1,7
30°	1,3	1,2	1,0	1,9	1,6	1,4	2,3	1,9	1,6
0° (horizontal)	1,9	1,7	1,4						

Tabelle 8-6: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Besprechungsraum

Nutzung	NiWo04_Besprechung								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	1,00	0,96	0,93	1,6	1,4	1,2	2,3	2,0	1,8
60°	1,4	1,2	1,1	2,2	1,8	1,4	2,9	2,5	2,1
45°	1,5	1,3	1,2	2,3	1,9	1,5	2,9	2,4	2,0
30°	1,7	1,5	1,4	2,2	1,9	1,7	2,8	2,4	2,0
0° (horizontal)	2,4	1,9	1,6						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,96	0,94	0,92	1,5	1,4	1,2	2,3	2,0	1,7
60°	1,3	1,2	1,1	2,1	1,7	1,4	2,9	2,4	1,9
45°	1,4	1,3	1,1	2,2	1,8	1,5	2,9	2,3	1,9
30°	1,6	1,4	1,2	2,1	1,8	1,6	2,6	2,2	1,9
0° (horizontal)	2,2	1,8	1,5						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,94	0,93	0,91	1,5	1,3	1,2	2,2	2,0	1,7
60°	1,3	1,2	1,1	2,1	1,7	1,4	2,8	2,3	1,9
45°	1,4	1,3	1,1	2,2	1,8	1,5	2,8	2,3	1,9
30°	1,5	1,4	1,2	2,1	1,8	1,5	2,6	2,2	1,9
0° (horizontal)	2,1	1,8	1,5						

Tabelle 8-7: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Klassenzimmer

Nutzung	NiWo08_Klassenzimmer								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	1,1	1,0	0,95	1,7	1,4	1,2	2,4	2,0	1,7
60°	1,5	1,3	1,1	2,3	1,8	1,4	3,0	2,4	1,9
45°	1,6	1,4	1,2	2,4	1,9	1,5	3,0	2,4	1,9
30°	1,9	1,6	1,3	2,4	1,9	1,6	2,9	2,4	1,9
0° (horizontal)	2,6	2,0	1,6						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	1,1	1,0	0,94	1,6	1,4	1,2	2,3	2,0	1,6
60°	1,5	1,3	1,1	2,2	1,8	1,4	2,9	2,3	1,8
45°	1,6	1,4	1,1	2,3	1,9	1,5	2,9	2,3	1,8
30°	1,7	1,5	1,2	2,2	1,8	1,5	2,7	2,2	1,8
0° (horizontal)	2,3	1,9	1,5						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	1,0	0,99	0,93	1,5	1,3	1,2	2,3	1,9	1,6
60°	1,4	1,2	1,1	2,1	1,7	1,4	2,9	2,3	1,8
45°	1,5	1,3	1,1	2,2	1,8	1,5	2,9	2,2	1,7
30°	1,6	1,4	1,2	2,1	1,7	1,4	2,6	2,1	1,7
0° (horizontal)	2,2	1,8	1,5						

Tabelle 8-8: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Bettenzimmer

Nutzung	NiWo10_Bettenzimmer								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,85	0,84	0,83	1,5	1,3	1,2	2,2	1,9	1,7
60°	1,2	1,1	0,99	2,0	1,7	1,4	2,8	2,3	1,9
45°	1,3	1,1	1,0	2,1	1,8	1,5	2,8	2,3	1,9
30°	1,5	1,3	1,1	2,2	1,8	1,5	2,7	2,2	1,9
0° (horizontal)	2,4	2,0	1,7						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,84	0,83	0,82	1,5	1,3	1,2	2,1	1,9	1,7
60°	1,1	1,0	0,96	2,1	1,7	1,4	2,7	2,3	1,9
45°	1,3	1,1	1,0	2,1	1,7	1,4	2,7	2,2	1,9
30°	1,4	1,2	1,0	2,3	1,8	1,5	2,6	2,1	1,7
0° (horizontal)	2,2	1,8	1,5						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,83	0,82	0,81	1,4	1,3	1,2	2,1	1,9	1,7
60°	1,1	1,0	0,95	2,0	1,6	1,4	2,7	2,3	1,9
45°	1,2	1,1	0,99	2,0	1,7	1,5	2,7	2,2	1,9
30°	1,4	1,2	1,0	2,2	1,8	1,5	2,6	2,1	1,7
0° (horizontal)	2,2	1,8	1,5						

Tabelle 8-9: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Hotelzimmer

Nutzung	NiWo11_Hotelzimmer								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,67	0,63	0,59	1,0	0,89	0,77	1,6	1,4	1,2
60°	0,92	0,80	0,70	1,4	1,1	0,93	2,0	1,7	1,4
45°	1,0	0,86	0,74	1,4	1,2	0,98	2,0	1,7	1,4
30°	1,2	0,95	0,78	1,5	1,2	1,0	2,0	1,6	1,3
0° (horizontal)	1,8	1,4	1,2						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,63	0,62	0,61	0,98	0,88	0,79	1,6	1,4	1,2
60°	0,86	0,78	0,71	1,4	1,1	0,91	2,0	1,7	1,4
45°	0,95	0,84	0,75	1,4	1,2	0,97	2,0	1,6	1,3
30°	1,1	0,89	0,75	1,5	1,2	0,97	2,0	1,6	1,2
0° (horizontal)	1,6	1,3	1,1						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,61	0,61	0,62	0,94	0,87	0,80	1,5	1,4	1,2
60°	0,83	0,77	0,72	1,3	1,1	0,93	1,9	1,6	1,4
45°	0,92	0,83	0,76	1,4	1,2	0,98	1,9	1,6	1,3
30°	1,0	0,88	0,76	1,5	1,2	0,98	1,9	1,5	1,2
0° (horizontal)	1,5	1,3	1,1						

Tabelle 8-10: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Aufenthaltsräume

Nutzung	NiWo17_Aufenthaltsräume								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,97	0,91	0,85	1,5	1,3	1,1	2,2	1,9	1,6
60°	1,3	1,2	1,0	2,1	1,7	1,3	2,8	2,3	1,8
45°	1,5	1,2	1,1	2,1	1,7	1,4	2,8	2,3	1,8
30°	1,7	1,4	1,1	2,2	1,8	1,4	2,7	2,2	1,8
0° (horizontal)	2,5	2,0	1,6						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,94	0,90	0,86	1,5	1,3	1,1	2,2	1,8	1,6
60°	1,3	1,1	1,0	2,1	1,6	1,3	2,7	2,2	1,8
45°	1,4	1,2	1,1	2,2	1,7	1,4	2,7	2,2	1,7
30°	1,6	1,3	1,1	2,3	1,8	1,4	2,6	2,1	1,6
0° (horizontal)	2,3	1,8	1,4						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,93	0,90	0,86	1,4	1,3	1,1	2,1	1,8	1,6
60°	1,3	1,1	1,0	2,0	1,6	1,3	2,6	2,2	1,8
45°	1,4	1,2	1,1	2,1	1,7	1,4	2,6	2,1	1,7
30°	1,6	1,3	1,1	2,2	1,7	1,4	2,5	2,0	1,6
0° (horizontal)	2,2	1,8	1,4						

Tabelle 8-11: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Arztpraxen

Nutzung	NiWo40_Arztpraxen								
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,82	0,80	0,78	1,3	1,2	1,0	2,0	1,7	1,5
60°	1,1	1,0	0,93	1,8	1,5	1,2	2,5	2,1	1,7
45°	1,2	1,1	0,97	1,9	1,6	1,3	2,5	2,1	1,7
30°	1,4	1,2	1,0	2,0	1,6	1,3	2,4	2,0	1,7
0° (horizontal)	2,2	1,8	1,5						
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,80	0,79	0,79	1,3	1,1	1,0	1,9	1,7	1,5
60°	1,1	1,0	0,92	1,8	1,4	1,1	2,4	2,0	1,7
45°	1,2	1,1	0,97	1,9	1,5	1,2	2,4	2,0	1,6
30°	1,3	1,1	0,98	3,0	2,1	1,4	2,3	1,9	1,5
0° (horizontal)	2,0	1,6	1,3						
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)			Ost/West			Süd		
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	10%	20%	40%	10%	20%	40%	10%	20%	40%
90° (senkrecht)	0,78	0,79	0,79	1,3	1,1	1,0	1,9	1,7	1,5
60°	1,1	0,99	0,93	1,8	1,4	1,1	2,4	2,0	1,7
45°	1,2	1,1	0,97	1,9	1,5	1,2	2,4	2,0	1,6
30°	1,3	1,1	0,98	2,0	1,6	1,2	2,3	1,9	1,5
0° (horizontal)	2,0	1,6	1,3						

Bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sind die S_F-Werte nach Tabelle 8-1 bzw. Tabelle 8-2 mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren.

8.2 Ermittlung detaillierter S_F-Werte anhand einer Potenzfunktion für individuelle Fensterflächenanteile

Weichen die Fensterflächenanteile von 10, 20 bzw. 40 % ab, so kann die Ermittlung individueller S_F-Werte auch anhand einer Potenzfunktionen nach Gleichung (8-1) erfolgen.

$$S_F = a * f_{W,g}{}^{b} \qquad (8\text{-}1)$$

Hierbei müssen die Parameter a und b gemäß Abschnitt 8.2.1 (Wohnnutzung) bzw. 8.2.2 (Nichtwohnnutzung) zugrunde gelegt werden. Bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sind diese S_F-Werte mit dem Faktoren 0,75 bei Wohnnutzung bzw. 0,6 bei Nichtwohnnutzung zu multiplizieren.

8.2.1 Wohnnutzung

Tabelle 8-12: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für EFH

Nutzung	Wo01_EFH					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
Parameter	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,751	-0,134	0,809	-0,261	1,123	-0,283
60°	0,893	-0,176	1,032	-0,288	1,399	-0,293
45°	0,893	-0,223	1,038	-0,312	1,301	-0,326
30°	0,946	-0,261	1,043	-0,321	1,234	-0,331
0° (horizontal)	1,054	-0,354				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
Parameter	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,765	-0,097	0,823	-0,222	1,123	-0,254
60°	0,818	-0,185	0,905	-0,309	1,231	-0,314
45°	0,821	-0,229	0,922	-0,324	1,188	-0,329
30°	0,823	-0,282	0,931	-0,332	1,130	-0,335
0° (horizontal)	0,954	-0,350				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
Parameter	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,777	-0,071	0,832	-0,198	1,148	-0,228
60°	0,776	-0,189	0,845	-0,316	1,203	-0,307
45°	0,800	-0,218	0,864	-0,329	1,158	-0,320
30°	0,765	-0,287	0,881	-0,331	1,115	-0,319
0° (horizontal)	0,945	-0,331				

Tabelle 8-13: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für MFH

Nutzung	Wo02_MFH					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,694	-0,044	0,794	-0,169	1,132	-0,201
60°	0,789	-0,153	0,989	-0,237	1,354	-0,249
45°	0,855	-0,167	1,012	-0,254	1,309	-0,266
30°	0,879	-0,215	1,024	-0,262	1,245	-0,270
0° (horizontal)	1,045	-0,299				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,703	-0,009	0,817	-0,120	1,152	-0,162
60°	0,780	-0,114	0,917	-0,230	1,216	-0,258
45°	0,809	-0,145	0,930	-0,246	1,215	-0,261
30°	0,784	-0,212	0,946	-0,252	1,160	-0,263
0° (horizontal)	0,952	-0,284				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,701	0,014	0,833	-0,086	1,177	-0,131
60°	0,772	-0,091	0,853	-0,233	1,148	-0,256
45°	0,790	-0,127	0,896	-0,237	1,095	-0,276
30°	0,744	-0,204	0,926	-0,235	1,039	-0,280
0° (horizontal)	0,940	-0,260				

8.2.2 Nichtwohnnutzung

Tabelle 8-14: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Einzelbüro

Nutzung	NiWo01_Einzelbüro					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,813	0,012	0,895	-0,140	1,228	-0,189
60°	0,876	-0,093	0,981	-0,225	1,372	-0,244
45°	0,894	-0,123	1,051	-0,211	1,372	-0,244
30°	0,965	-0,180	1,133	-0,226	1,372	-0,238
0° (horizontal)	1,072	-0,284				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,825	0,047	0,925	-0,088	1,256	-0,150
60°	0,876	-0,061	0,973	-0,206	1,244	-0,264
45°	0,885	-0,100	1,039	-0,195	1,172	-0,289
30°	0,914	-0,154	1,050	-0,216	1,258	-0,233
0° (horizontal)	0,988	-0,256				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,842	0,077	0,947	-0,055	1,277	-0,125
60°	0,878	-0,040	0,943	-0,206	1,304	-0,223
45°	0,887	-0,080	1,007	-0,195	1,229	-0,247
30°	0,844	-0,154	0,988	-0,217	1,227	-0,216
0° (horizontal)	0,963	-0,240				

Tabelle 8-15: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Gruppenbüro

Nutzung	NiWo02_Gruppenbüro					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,882	0,041	0,962	-0,114	1,315	-0,162
60°	0,961	-0,059	1,090	-0,214	1,372	-0,244
45°	0,980	-0,088	1,167	-0,200	1,372	-0,244
30°	0,979	-0,152	1,181	-0,212	1,346	-0,236
0° (horizontal)	1,278	-0,225				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,885	0,065	0,985	-0,073	1,323	-0,137
60°	0,935	-0,044	1,044	-0,200	1,379	-0,214
45°	0,944	-0,084	1,115	-0,189	1,299	-0,239
30°	0,890	-0,158	1,075	-0,232	1,205	-0,256
0° (horizontal)	1,146	-0,211				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,885	0,078	0,994	-0,051	1,339	-0,116
60°	0,931	-0,034	0,973	-0,206	1,446	-0,173
45°	0,940	-0,073	1,039	-0,195	1,362	-0,198
30°	0,886	-0,148	1,002	-0,238	1,263	-0,214
0° (horizontal)	1,131	-0,194				

Tabelle 8-16: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Großraumbüro

Nutzung	NiWo03_Großraumbüro					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,877	0,020	1,007	-0,122	1,380	-0,169
60°	0,947	-0,085	1,090	-0,214	1,476	-0,235
45°	0,966	-0,115	1,167	-0,200	1,476	-0,235
30°	0,964	-0,179	1,181	-0,212	1,448	-0,226
0° (horizontal)	1,316	-0,227				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,890	0,047	1,012	-0,100	1,388	-0,150
60°	0,940	-0,064	1,006	-0,257	1,448	-0,244
45°	0,949	-0,104	1,074	-0,247	1,364	-0,268
30°	0,895	-0,178	1,035	-0,289	1,265	-0,285
0° (horizontal)	1,157	-0,249				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,892	0,059	1,026	-0,084	1,396	-0,136
60°	0,952	-0,046	1,075	-0,200	1,482	-0,207
45°	0,961	-0,085	1,148	-0,189	1,396	-0,231
30°	0,907	-0,160	1,106	-0,232	1,295	-0,248
0° (horizontal)	1,184	-0,212				

Tabelle 8-17: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Besprechung

Nutzung	NiWo04_Besprechung					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,882	-0,053	1,048	-0,182	1,454	-0,208
60°	0,960	-0,155	1,100	-0,301	1,642	-0,251
45°	0,979	-0,184	1,178	-0,287	1,624	-0,251
30°	1,154	-0,172	1,362	-0,216	1,632	-0,228
0° (horizontal)	1,258	-0,272				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,889	-0,034	1,061	-0,159	1,467	-0,189
60°	0,948	-0,139	1,071	-0,298	1,462	-0,301
45°	0,958	-0,178	1,144	-0,287	1,378	-0,325
30°	1,053	-0,184	1,273	-0,221	1,549	-0,230
0° (horizontal)	1,173	-0,268				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,894	-0,022	1,074	-0,141	1,479	-0,176
60°	0,946	-0,131	1,045	-0,298	1,517	-0,269
45°	0,955	-0,171	1,116	-0,287	1,429	-0,293
30°	1,031	-0,174	1,244	-0,218	1,522	-0,226
0° (horizontal)	1,147	-0,264				

Tabelle 8-18: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Klassenzimmer

Nutzung	NiWo08_Klassenzimmer					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,855	-0,119	0,935	-0,257	1,298	-0,274
60°	0,928	-0,208	1,046	-0,344	1,440	-0,323
45°	0,946	-0,238	1,121	-0,331	1,440	-0,323
30°	1,084	-0,237	1,212	-0,293	1,462	-0,296
0° (horizontal)	1,184	-0,336				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,863	-0,095	0,951	-0,225	1,308	-0,252
60°	0,893	-0,221	1,016	-0,344	1,336	-0,344
45°	0,902	-0,261	1,084	-0,334	1,258	-0,369
30°	0,986	-0,245	1,119	-0,297	1,353	-0,304
0° (horizontal)	1,108	-0,323				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,869	-0,079	0,968	-0,200	1,330	-0,229
60°	0,948	-0,160	1,045	-0,298	1,313	-0,344
45°	0,957	-0,200	1,116	-0,287	1,237	-0,369
30°	0,927	-0,248	1,070	-0,299	1,309	-0,302
0° (horizontal)	1,092	-0,312				

Tabelle 8-19: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Bettenzimmer

Nutzung	NiWo10_Bettenzimmer					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,809	-0,022	1,068	-0,142	1,472	-0,168
60°	0,886	-0,120	1,132	-0,254	1,521	-0,260
45°	0,903	-0,149	1,213	-0,240	1,521	-0,260
30°	0,902	-0,213	1,227	-0,253	1,492	-0,251
0° (horizontal)	1,326	-0,261				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,808	-0,015	1,062	-0,137	1,456	-0,169
60°	0,856	-0,125	1,045	-0,298	1,550	-0,235
45°	0,864	-0,165	1,116	-0,278	1,460	-0,260
30°	0,815	-0,239	1,076	-0,330	1,354	-0,277
0° (horizontal)	1,182	-0,273				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,805	-0,011	1,061	-0,131	1,458	-0,164
60°	0,845	-0,126	1,107	-0,248	1,550	-0,235
45°	0,853	-0,165	1,182	-0,237	1,460	-0,260
30°	0,805	-0,239	1,139	-0,280	1,354	-0,277
0° (horizontal)	1,186	-0,259				

Tabelle 8-20: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Hotelzimmer

Nutzung	NiWo11_Hotelzimmer					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,547	-0,089	0,627	-0,220	0,950	-0,238
60°	0,589	-0,194	0,719	-0,282	1,063	-0,281
45°	0,600	-0,224	0,770	-0,268	1,063	-0,281
30°	0,599	-0,287	0,779	-0,280	1,042	-0,273
0° (horizontal)	0,891	-0,294				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,592	-0,030	0,678	-0,161	1,010	-0,189
60°	0,633	-0,131	0,699	-0,292	1,042	-0,290
45°	0,639	-0,171	0,746	-0,281	0,982	-0,315
30°	0,603	-0,245	0,719	-0,324	0,910	-0,332
0° (horizontal)	0,811	-0,297				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,624	0,012	0,716	-0,120	1,027	-0,170
60°	0,663	-0,096	0,734	-0,253	1,099	-0,244
45°	0,669	-0,136	0,784	-0,242	1,036	-0,268
30°	0,631	-0,210	0,756	-0,285	0,960	-0,285
0° (horizontal)	0,843	-0,257				

Tabelle 8-21: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Aufenthaltsräume

Nutzung	NiWo17_Aufenthaltsräume					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,785	-0,093	0,843	-0,256	1,223	-0,262
60°	0,845	-0,198	0,994	-0,317	1,389	-0,304
45°	0,862	-0,227	1,065	-0,303	1,389	-0,304
30°	0,861	-0,291	1,077	-0,316	1,363	-0,295
0° (horizontal)	1,212	-0,316				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,813	-0,064	0,888	-0,217	1,270	-0,233
60°	0,860	-0,172	0,918	-0,361	1,338	-0,312
45°	0,868	-0,212	0,980	-0,350	1,261	-0,337
30°	0,819	-0,286	0,945	-0,393	1,169	-0,354
0° (horizontal)	1,064	-0,336				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,822	-0,053	0,924	-0,189	1,305	-0,212
60°	0,868	-0,164	0,972	-0,311	1,390	-0,279
45°	0,876	-0,204	1,037	-0,300	1,310	-0,303
30°	0,826	-0,278	1,000	-0,343	1,215	-0,320
0° (horizontal)	1,092	-0,306				

Tabelle 8-22: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Arztpraxen

Nutzung	**NiWo40_Arztpraxen**					
Niveau 1982_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,752	-0,039	0,849	-0,193	1,227	-0,209
60°	0,818	-0,138	0,945	-0,282	1,315	-0,281
45°	0,835	-0,168	1,012	-0,269	1,315	-0,281
30°	0,833	-0,232	1,024	-0,281	1,290	-0,273
0° (horizontal)	1,153	-0,282				
Niveau 1995_WSV	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,783	-0,007	0,869	-0,170	1,260	-0,185
60°	0,829	-0,117	0,848	-0,326	1,346	-0,253
45°	0,837	-0,156	0,905	-0,315	1,268	-0,278
30°	0,789	-0,231	0,872	-0,538	1,176	-0,295
0° (horizontal)	1,032	-0,286				
Niveau 2020_GEG	Nord (bzw. horizontal bei 0° Neigung)		Ost/West		Süd	
grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	a	b	a	b	a	b
90° (senkrecht)	0,804	0,014	0,898	-0,144	1,279	-0,169
60°	0,846	-0,099	0,848	-0,326	1,346	-0,253
45°	0,855	-0,138	0,905	-0,315	1,268	-0,278
30°	0,806	-0,212	0,872	-0,358	1,176	-0,295
0° (horizontal)	1,023	-0,285				

8.3 Bewertung der energetischen Qualität der wärmeübertragenden Hüllfläche im Rahmen der Gesamtbilanz

8.3.1 Verfahren zur Bestimmung eines Transferkoeffizienten $H_{T,S}$‘ als Ersatz für die gegenwärtige Bewertungsgröße H_T‘

An dieser Stelle wird auf die in Abschnitt 2.2.4 bereits erfolgte qualitative Erläuterung der Systematik zur Bestimmung von $H_{T,S}$‘-Werten für Wohn- und Nichtwohngebäude verwiesen. Ergänzend folgt im Weiteren eine formelmäßige Darstellung der Methodik zur Bestimmung von $H_{T,S}$‘-Werten.

In den Transmissionswärmeverlusten des Gebäudes bzw. der Gebäudezone sind alle Transmissionsanteile, die zur Berechnung von H_T´ gemäß DIN V 18599-2 (siehe Gleichung (8-2)) herangezogen werden, komplett enthalten.

$$H_T' = \frac{H_{T,D} + H_{T,WB} + \sum_j F_{x,j} \cdot H_{T,iu.j} + \sum_k F_{x,k} \cdot H_{T,s.k}}{A} \quad \text{in } W/(m^2K) \qquad (8\text{-}2)$$

mit:

H_T‘	*der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmetransferkoeffizient in W/(m²K);*
$H_{T,D}$	*der Transmissionswärmetransferkoeffizient zwischen der beheizten und/oder gekühlten Gebäudezone und außen in W/K;*
$H_{T,WB}$	*der Transmissionswärmetransferkoeffizient für zweidimensionale Wärmebrücken in W/K;*
$H_{T,iu,j}$	*der Transmissionswärmetransferkoeffizient zwischen beheizten und/oder gekühlten und unbeheizten Gebäudezonen j in W/K;*
$H_{T,s,k}$	*der Wärmetransferkoeffizient der beheizten und/oder gekühlten Gebäudezone über Erdreichflächen k in W/K;*
$F_{x,j,k}$	*der Temperatur-Korrekturfaktor*
A	*die wärmeübertragende Umfassungsfläche in m²*

Der Monatswert der Transmissionswärmeverluste wird errechnet, indem je Monat die Summe dieser Transmissionsanteile, also $H_{T,ges}$, mit der Temperaturdifferenz innen/außen und der monatlichen Dauer in Stunden multipliziert wird. Der spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T‘ könnte daher formal auch mit deckungsgleichem Ergebnis - durch „Rückrechnen“ aus den monatlichen Transmissionswärmeverlusten ermittelt werden. Hierzu muss für jeden Monat die Temperaturdifferenz zwischen der Bilanzinnentemperatur und der mittleren, monatlichen Außentemperatur gebildet und mit der Anzahl der Stunden des Monats multipliziert werden. Das Ergebnis ist eine monatliche Gradstundenzahl Gt_{mth} in Kh/mth gemäß Gleichung (8-3)

$$Gt_{mth} = (\theta_i - \theta_e) \cdot t \qquad (8\text{-}3)$$

mit:

Gt_{mth}	*monatliche Gradstundenzahl in [Kh/mth]*
$(\theta_i - \theta_e)$	*Differenz Bilanzzonentemperatur und mittlere monatl. Außentemperatur in [K]*
t	*Stunden des Monats in [h]*

Aufsummierung der Monatswerte über das Jahr und Division durch 1000 ergibt dann eine jährliche Gradstundenszahl in kKh/a, wie mit Gleichung (8-4) beschrieben.

$$Gt_a = \frac{\sum Gt_{mth}}{1000} \qquad (8\text{-}4)$$

mit:

Gt_a	*jährliche Gradstundenzahl in [kKh/a]*

H_T' erhält man dann mit gleichem Ergebnis wie gemäß Gleichung (8-2), indem man die Summe der monatlichen Transmissionswärmeverluste durch Gt_a und die wärmetauschende Hüllfläche teilt, also:

$$H_T' = \frac{\sum Q_{T,mth}}{Gt_a \cdot A} \tag{8-5}$$

Der beschriebene Umstand führt zu der Überlegung, in analoger Weise und völlig konform zum Bilanzierungsverfahren der DIN V 18599 einen Transferkoeffizienten $H_{T,S}'$ zu definieren, indem gemäß Gleichung (8-6) zunächst monatlich die Differenz zwischen Transmissionswärmeverlusten und ausnutzbaren, solaren Wärmegewinnen gebildet wird.

$$Q_{T,\eta S,mth} = Q_{T,mth} - \eta_{mth} \cdot Q_{S,mth} \tag{8-6}$$

Ein Jahreswert $Q_{T,\eta S,a}$ kann nun wiederum durch Summation der Monatswerte ermittelt werden. $H_{T,S}'$ ergibt sich nach Gleichung (8-7), indem durch die Gradstundenzahl Gt_a und die wärmübertragende Hüllfläche A dividiert wird.

$$H_{T,S}' = \frac{Q_{T,\eta S,a}}{Gt_a \cdot A} \tag{8-7}$$

Die beschriebene Systematik zur Bestimmung von $H_{T,S}'$ (auf den Index η wird bei dem Transferkoeffizienten der Einfachheit halber verzichtet) hat den Vorteil, dass sie ausschließlich auf ohnehin im Rahmen der Bilanzierung nach DIN V 18599 berechnete Größen (Transmissionswärmesenken, solare Wärmequellen und deren Nutzungsgrade, Bilanzinnentemperatur und wärmeübertragende Hüllfläche) zurückgreift. Der einzige rechnerische Mehraufwand besteht in der Bestimmung der monatlichen Differenz aus Transmissionswärmeverlusten und nutzbaren solaren Wärmeeinträgen sowie in der Berechnung der jährlichen Gradstundenwerte, was programmintern leicht umgesetzt werden kann, ohne dass der Planer bzw. Nachweisführende selbst von einem Mehraufwand betroffen ist.

Es ergibt sich auf diese Weise eine Anforderungsgröße, welche die nutzbaren solaren Wärmeeinträge gebäude- und nutzungsspezifisch mit einbezieht und daher ohne Einschränkung für den gesamten Anwendungsbereich der DIN V 18599 Verwendung finden kann. Diese Bewertungsgröße ist, anders als der H_T'-Wert, in der Lage, die energetische Qualität der Gebäudehülle zu beschreiben.

Die folgenden Abschnitte sollen eine exemplarische Anwendung der Methodik für Wohn- und Nichtwohngebäude bereitstellen.

8.3.2 Anwendungsbeispiele Wohnnutzung

8.3.2.1 Berechnung anhand eines Raumes

Bei der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 handelt es sich um ein sogenanntes Monatsbilanzverfahren, d.h.es wird monatlich für das Gebäude bzw. die Gebäudezonen die Bilanz aus den Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) und den nutzbaren Wärmegewinnen (interne und solare Wärmegewinne) gebildet, um den monatlichen Nutzwärmebedarf zu ermitteln. Bild 8-1 zeigt beispielhaft für einen Raum (zen1.5b1.5t_breit) die berechneten Eingangsgrößen dieser Bilanz, Bild 8-2 den sich daraus ergebenden Nutzwärmebedarf.

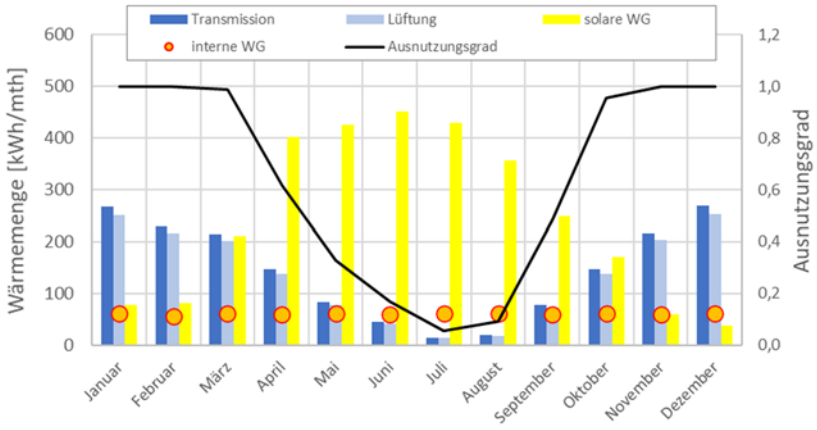


Bild 8-1: **Eingangsgrößen für die Monatsbilanz am Beispiel zen1.5b1.5t_breit**

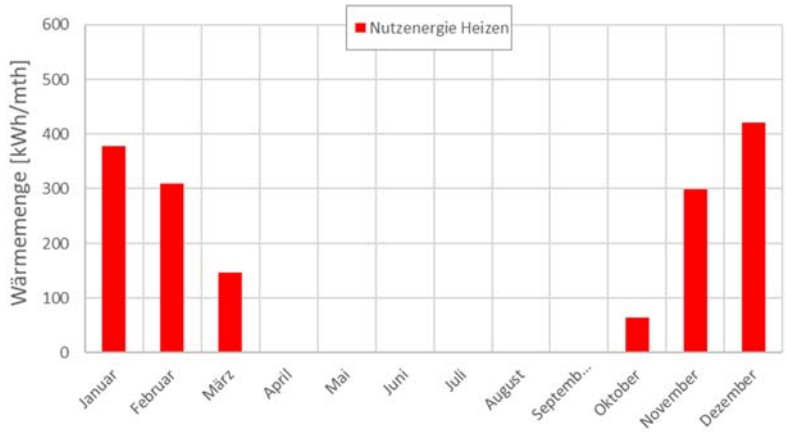


Bild 8-2: **Monatswerte Nutzenergie Heizen**

Bei einer Wohnnutzung erfolgt eine einzonige Berechnung, wobei für die Nutzungsprofile EFH und MFH gemäß DIN V 18599-10 von einer täglich gleichbleibenden und über das Gebäude gleichmäßig verteilten Nutzung ausgegangen wird. Die Bestimmung von $Q_{T,\eta S,mth}'$ (Transmission abzüglich nutzbare solare Wärmeeinträge) und $H_{T,S}'$ kann daher unmittelbar anhand der Gleichungen (8-6) und (8-7) erfolgen. Für den Raum zen1.5b1.5t_breit mit den Bilanzanteilen gemäß Bild 8-1 ergeben sich hierbei die in Bild 8-3 dargestellten Verläufe.

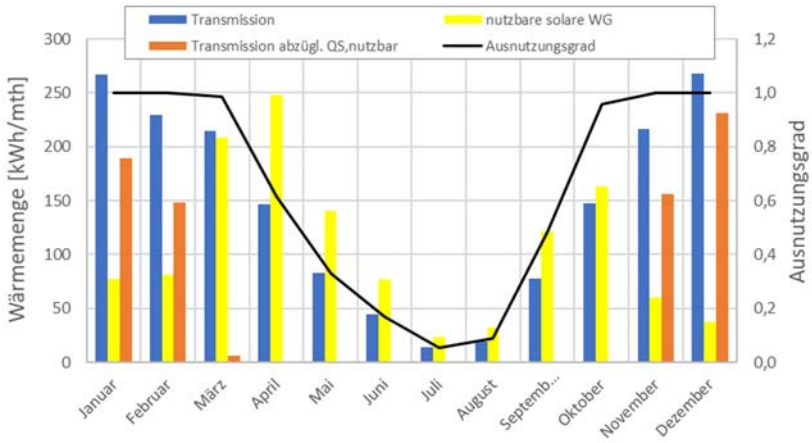


Bild 8-3: **Wärmemengen und Ausnutzungsgrad von Wärmeeinträgen im Jahresverlauf**

Bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 %, einem U-Wert der Außenwand von U_{AW} = 0,28 W/(m²K) und einem Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,6 errechnet sich die derzeitige Nebenanforderungsgröße H_T' nach Gl. (2-5) zu 0,636 W/(m²K). Die nach der be-

schriebenen Systematik ermittelte Größe $H_{T,S}'$ beträgt 0,340 W/(m²K), wobei eine Ostausrichtung unterstellt ist. Die Transmissionswärmeverluste werden somit annähernd zur Hälfte durch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge gedeckt.

In Bild 8-3 wird ersichtlich, dass in den Monaten April bis Oktober die nutzbaren solaren Wärmegewinne die Transmissionswärmeverlust komplett abdecken, $H_{T,S,mth}'$ somit Null bzw. rechnerisch sogar negativ werden können. Negative Werte für $H_{T,S,mth}'$ werden in der Summenbildung nicht berücksichtigt.

8.3.2.2 Beispiel Einfamilienhaus

Für das betrachtete freistehende Einfamilienhaus (vgl. Bild 2-3) wurden Berechnung von $H_{T,S}'$ nach der zuvor beschriebene Methodik durchgeführt. Die Bauteile der wärmetauschenden Hüllfläche wurden zunächst entsprechend den Referenzwerten gemäß GEG gewählt, d.h. u.a. mit Fenster-U-Werten von U_W = 1,3 W/(m²K) bei einem g-Wert von g = 0,60. Der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil wurde mit 10 %,20 %,30 % und 40 % variiert, um den Einfluss der Fensterfläche aufzeigen zu können. Die Verteilung der Fensterflächen wurde dabei so gewählt, dass im Norden 10%, im Osten und Westen 25% und im Süden 35% der gesamten Fensterfläche angeordnet sind. Aufgrund der gewählten Referenzausführung ist die derzeitige Nebenanforderung des GEG (100 % $H_{T'Ref}'$) automatisch exakt eingehalten.

Die Berechnungen gemäß DIN V 18599 wurden für das Gebäude mit der Berechnungssoftware ZUB-Helena Ultra durchgeführt, welches die Ausgabe von Transmissionswärmeverlusten, solaren Wärmeeinträgen, Ausnutzungsgraden und Bilanzinnentemperaturen auf monatlicher Basis und damit die rechnerische Ermittlung von $H_{T,S}'$ sowie die folgenden Darstellungen der monatlichen Bilanzergebnisse ermöglicht. Ferner werden für Wohngebäude in dieser Software auch die über das Jahr aufsummierten Transmissionswärmeverluste sowie die ebenfalls über das Jahr aufsummierten nutzbaren Anteil der solaren Wärmeeinträge ausgewiesen, was die rechnerische Bestimmung des $H_{T,S}$-Wertes erleichtert.

Tabelle 8-23 enthält die Berechnungsergebnisse für H_T' und $H_{T,S}'$ für die 4 betrachteten Fensterflächenanteile. Zusätzlich ist auch der Primärenergiebedarf als Hauptanforderungsgröße des GEG jeweils mit aufgeführt.

Tabelle 8-23: Berechnungsergebnisse für die betrachteten Fensterflächenanteile bei U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60

$f_{W,g}$ [%]	H_T' [W/(m²K)]	$H_{T,S}'$ [W/(m²K)]	Q_p [kWh/(m²a)]
10%	0,328	0,251	89,6
20%	0,365	0,238	88,7
30%	0,403	0,235	89,2
40%	0,441	0,236	90,3

Eine grafische Darstellung der Tabellenwerte findet sich in Bild 8-4. Der Verlauf von H_T' zeigt erwartungsgemäß einen linearen Anstieg mit zunehmendem Fensterflächenanteil. Es wird offensichtlich, dass durch die Einführung von $H_{T,S}'$ der tendenzielle Verlauf der Hauptanforderung an Q_P in Abhängigkeit von dem Fensterflächenanteil deutlich besser beschrieben wird als durch den Verlauf von H_T'.

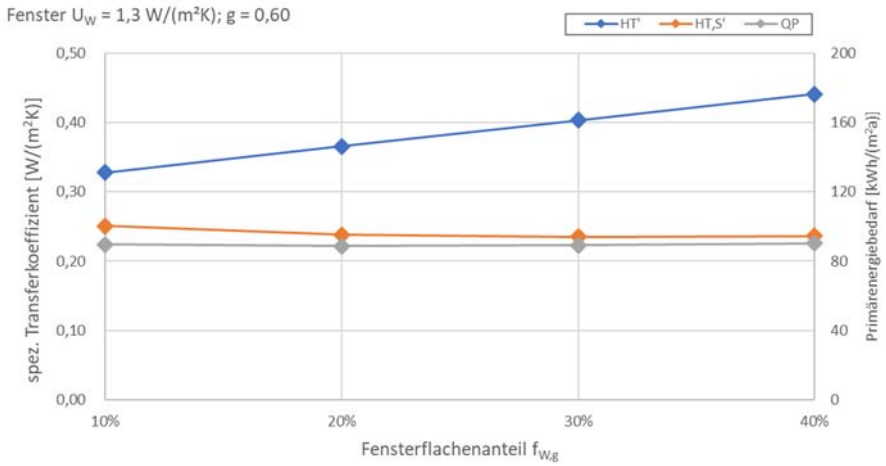


Bild 8-4: **Grafische Darstellung der Tabellenwerte aus Tabelle 8-23 für U_W=0,95 W/(m²K) und g=0,50**

Als Variante wurde das gleiche Gebäude – ansonsten unverändert – mit einem Fenster-U-Wert von U_W = 0,95 W/(m²K) bei einem g-Wert von g = 0,50 bewertet. Eine zu Bild 8-4 analoge Darstellung findet sich in Bild 8-5, vorangestellt mit Tabelle 8-24 die zugehörigen Werte. Auch hier gilt das oben Gesagte analog, die Abnahme von Q_P bis hin zu 40 % Fensterflächenanteil spiegelt sich im Gegensatz zum Verlauf von H_T' im Verlauf von $H_{T,S}'$ deutlich besser wider.

Tabelle 8-24: **Berechnungsergebnisse für die betrachteten Fensterflächenanteile bei U_W = 0,95 W/(m²K) und g = 0,50**

$f_{W,g}$ [%]	H_T' [W/(m²K)]	$H_{T,S}'$ [W/(m²K)]	Q_p [kWh/(m²a)]
10%	0,310	0,254	88,5
20%	0,335	0,233	86,1
30%	0,359	0,221	84,8
40%	0,383	0,214	84,2

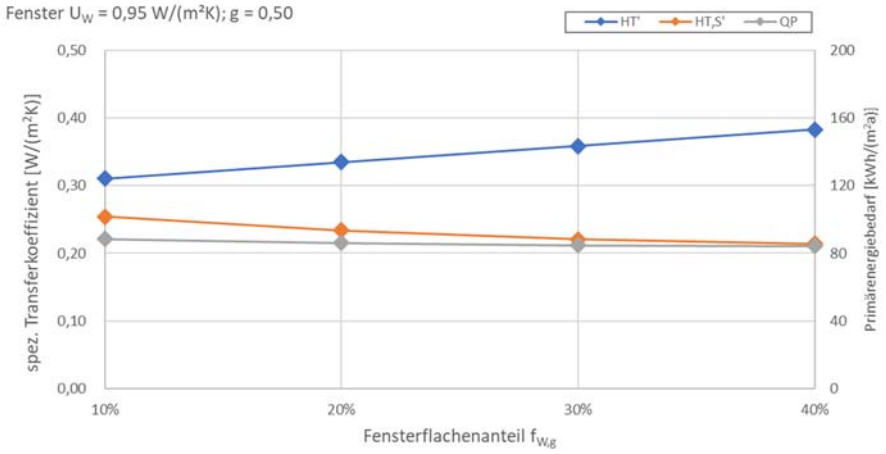


Bild 8-5: **Grafische Darstellung der Tabellenwerte aus Tabelle 8-24 für U_W=0,95 W/(m²K) und g=0,50**

8.3.3 Beispiel Nichtwohngebäude

8.3.3.1 Beispielhafte Ermittlung von $H_{T,S}'$ für eine Bilanzzone

Für das mit 2.1.2.2 in Verbindung mit Anhang A 2.2 beschriebene Bürogebäude wird exemplarisch die Ermittlung des Zonenwertes von $H_{T,S}'$ am Beispiel der Zone 1 (Büro) gezeigt. Zur Bestimmung sind zunächst die monatlichen Werte des Transmissionswärmebedarfs $Q_{T,mth}$ der Zone - getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen in Bild 8-6 dargestellt.

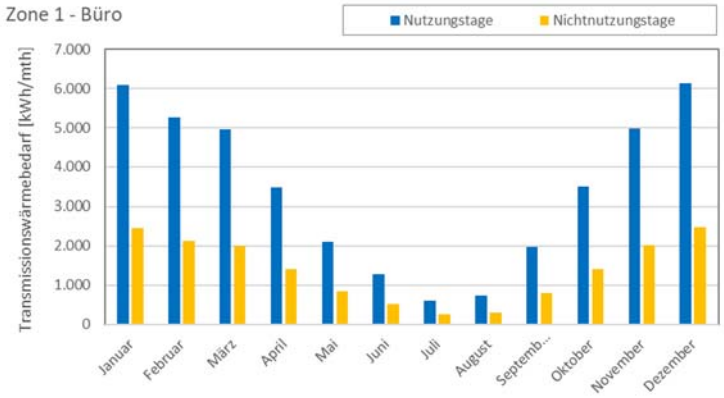


Bild 8-6: Monatlicher Transmissionswärmebedarf der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen

Im Weiteren sind, ebenfalls getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen, die monatlichen solaren Wärmegewinne $Q_{S,mth}$ (opak + transparent) sowie die monatlichen Ausnutzungsgrade $\eta_{,mth}$ der Zone in Bild 8-7 und Bild 8-8 ausgewiesen.

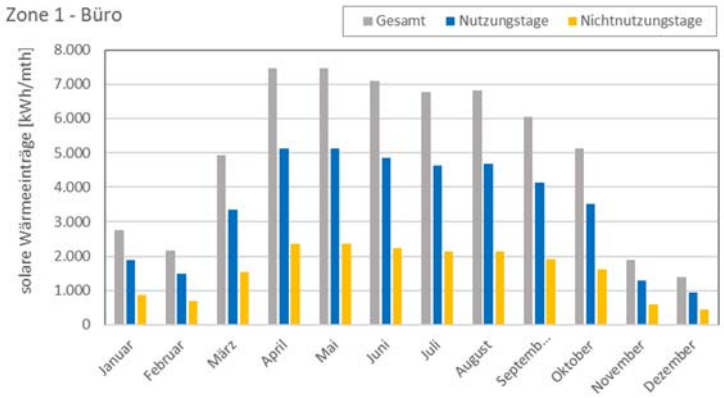


Bild 8-7: Monatliche solare Wärmegewinne $Q_{S,mth}$ der Zone 1 aufgeteilt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen

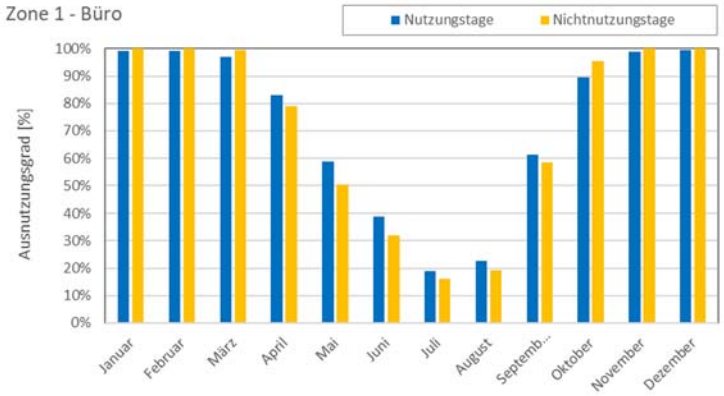


Bild 8-8: Monatlicher Ausnutzungsgrad $\eta_{,mth}$ der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen

Liegen die monatlichen, solaren Wärmegewinne nicht getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen vor, erfolgt zunächst eine Aufteilung entsprechend der jährlichen Anzahl der Nutzungstage, wie im Bild 8-7 dargestellt. Im vorliegenden Fall beträgt die Anzahl der Nutzungstage 250 (Büronutzung gem. DIN 19855-10). Der Faktor zur Ermittlung der monatlichen, solaren Wärmegewinne während der Nutzungszeit ist dementsprechend mit 250/365 an zu setzen, die monatlichen, solaren Wärmegewinne der Nichtnutzungszeit erhält man durch Multiplikation mit dem Faktor (365-250) / 365.

Man erhält den monatlichen, äquivalenten Transmissionswärmebedarf $Q_{T,eq,mth}$ indem – getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen – die nutzbaren, monatlichen solaren Wärmegewinne ($\eta_{mth} \cdot Q_{S,mth}$) von dem zugehörigen, monatlichen Transmissionswärmebedarf $Q_{T,mth}$ abgezogen werden. Wie in Bild 8-9 ersichtlich, können die Werte von $Q_{T,eq,mth}$ auch negativ werden, d.h. in dem entsprechenden Monat und bei der zugehörigen Nutzung decken die nutzbaren solaren Wärmegewinne den Transmissionswärmebedarf komplett. Ob negative Werte von $Q_{T,eq}$ bei der Ermittlung von $H_{T,eq}$´-Berücksichtigung finden sollten oder ggf. nur bis zu der Höhe, in der die nutzbaren solaren Wärmeeinträge in diesen Monaten noch einen Beitrag zur Deckung der Lüftungswärmeverluste leisten, bedarf weiterer Diskussion bzw. Festlegung. Im Rahmen dieser Studie wird ohne Beschränkung der Durchführbarkeit der Methodik hiervon ausgegangen.

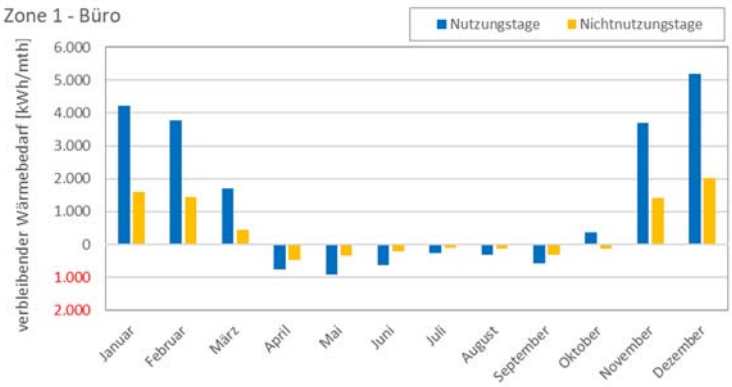


Bild 8-9: Berechneter monatlicher äquivalenter Transmissionswärmebedarf $Q_{T,eq,mth}$ der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen

Durch Aufsummieren der Monatswerte erhält man im vorliegenden Beispiel für die Zone 1als Zwischenergebnisse die Jahreswerte des Transmissionswärmebedarf $Q_{T,eq,a}$:

- $Q_{T,\eta S,a}$ = 15505,4 kWh/a während der Nutzungstage und
- $Q_{T,\eta S,a}$ = 5276,6 kWh/a während der Nichtnutzungstage.

Wie bei den Wohngebäuden werden in einem nächsten Schritt monatliche Gradtagzahlen Gt_{mth} berechnet, indem jeweils die Differenz zwischen der monatlichen Bilanzinnentemperatur und der mittleren Außentemperatur gebildet und mit der Anzahl der Stunden des Monats multipliziert wird. Aufgrund voneinander abweichender Bilanzinnentemperaturen während der Nutzungs- und Nichtnutzungstage – vergleiche Bild 8-10 - ist auch hierbei eine getrennte Betrachtung erforderlich. Die für die Zone 1 des Beispiels ermittelten, monatlichen Gradtagzahlen Gt_{mth} sind in Bild 8-11 dargestellt.

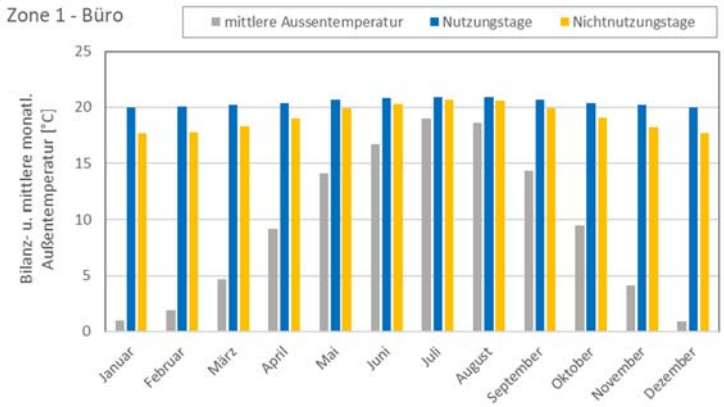


Bild 8-10: **Monatliche, mittlere Außentemperaturen- sowie monatliche Bilanzinnentemperaturen der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen**

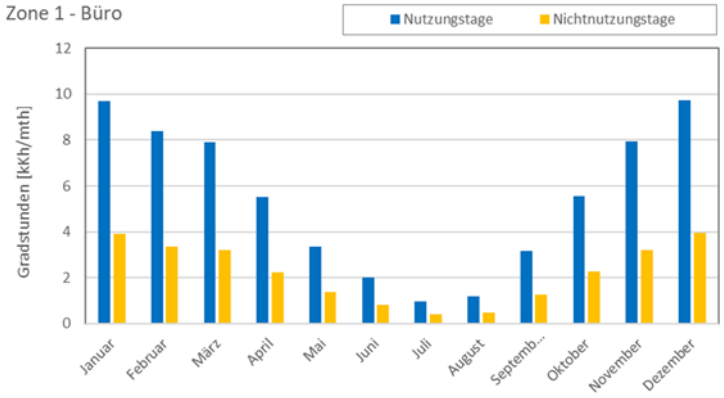


Bild 8-11: **Berechnete monatliche Gradtagzahlen Gt_{mth} der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen**

Durch Aufsummieren der Monatswerte erhält man im vorliegenden Beispiel für die Zone 1als weitere Zwischenergebnisse die Jahreswerte:

- Gt_a = 65,4 kKh/a während der Nutzungstage und
- Gt_a = 25,4 kKh/a während der Nichtnutzungstage.

Die jeweiligen spezifischen äquivalenten Transmissionswärmetransferkoeffizienten $H_{T,eq}'$ erhält man, indem der entsprechende Transmissionswärmebedarf $Q_{T,eq,a}$ durch die zugehörige Gradtagzahl Gt_a und die wärmtauschende Hüllfläche A der Zone (Zone 1: A=1337 m²) geteilt wird. Es ergibt sich im Beispiel:

- $H_{T,eq}'$ = 0,177 W/(m²K) während der Nutzungstage und
- $H_{T,eq}'$ = 0,150 W/(m²K) während der Nichtnutzungstage.

Die Zusammenfassung zum Endergebnis der Zone erfolgt durch anteilige Mittelung entsprechend der Anzahl der Nutzungs- bzw. Nichtnutzungstage pro Jahr, im vorliegenden Fall werden also die entsprechenden Werte mit den Faktoren 250/365 (Nutzungstage) bzw. 115/365 (Nichtnutzungstage) multipliziert und addiert. Es ergibt sich als Zonenendergebnis:

$H_{T,eq}'$ = 0,169 W/(m²K)

8.3.3.2 Zusammenführung der Zonenergebnisse zu einem gebäudebezogenen $H_{T,S}'$-Wert

Die oben beschriebene Ermittlung des Zonenwertes von $H_{T,S}'$ wird für jede Zone des Gebäudes durchgeführt. Für das Beispiel ergeben sich die in Tabelle 8-1 aufgeführten zonenweise Werte von $H_{T,S}'$, wobei zur Information und zum Vergleich auch der jeweilige Zonenwert von H_T' mit aufgeführt ist. In dieser Tabelle ebenso mit ausgewiesen ist der $H_{T,S}'$-Wert für das Gesamtgebäude, welcher unter Verwendung der in Tabelle 8-26 in der letzten Spalte ausgewiesenen Hüllflächenanteile als zonenspezifischen Wichtungsfaktoren bestimmt sind.

Tabelle 8-25: Zonenwerte von H_T' und $H_{T,S}'$

Zone Nr.	Nutzung	H_T' [W/(m²K)]	$H_{T,S}'$ [W/(m²K)]	Wichtung [%]
1	Büro	0,470	0,169	49%
2	Besprechung	0,591	0,305	16%
3	Sanitär	0,357	0,184	3%
4	Verkehrsfläche	0,570	0,278	19%
5	Lager	0,406	0,220	13%
Gesamtgebäude		**0,499**	**0,219**	**100%**

Aus den Zonenwerten von $H_{T,S}'$ lässt sich abschließend auf einfache Weise ein $H_{T,S}'$-Wert für das Gesamtgebäude ableiten, indem die Zonenwerte in Bezug auf die wärmetauschende Hüllfläche flächenanteilig gewichtet in das Gesamtergebnis verrechnet werden.

Tabelle 8-26 enthält für das Beispiel die Flächenanteile der 5 Zonen des Gebäudes an der wärmetauschenden Hüllfläche und den sich daraus ergebenden Gewichtungsanteil.

Tabelle 8-26: Anteile der einzelnen Zonen an der wärmetauschenden Hüllfläche des Gebäudes

Zone		Nutzfläche		thermische Hüllfläche	
Nr.	Nutzung	[m²]	Anteil [%]	[m²]	Anteil [%]
1	Büro	1045,5	62%	1337,0	49%
2	Besprechung	221,9	13%	437,4	16%
3	Sanitär	66,3	4%	81,6	3%
4	Verkehrsfläche	188,7	11%	529,6	19%
5	Lager	153,9	9%	364,0	13%

Bild 8-12 zeigt zur Veranschaulichung eine grafische Darstellung der H_T'- und $H_{T,S}'$-Werte aus Tabelle 8-25. Der Unterschied einer Bewertung der wärmetechnischen Qualität der Gebäudehülle ausschließlich anhand der Transmissionswärmeverluste (H_T') im Vergleich zu einer Einbeziehung der nutzbaren solaren Wärmegewinne mittels einer $H_{T,S}'$-Kenngröße wird sowohl auf Zonenebene als auch für das Gesamtgebäude deutlich.

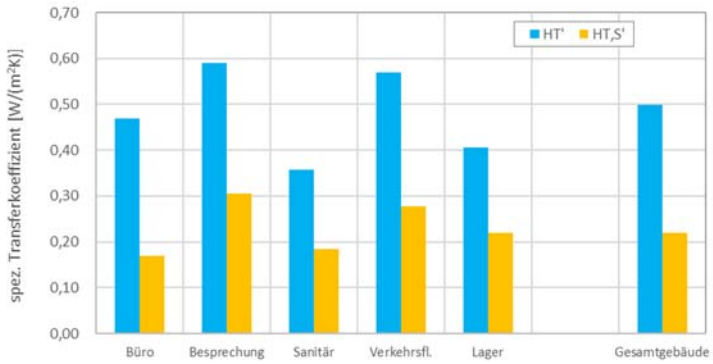


Bild 8-12: H_T'- und $H_{T,S}'$-Werte für die Bilanzzonen und für das Gesamtgebäude

9 Bewertung und Anpassungsbedarf der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik

Die Ausführungen in diesem Kapitel widmen sich dem Anpassungsbedarf der aktuellen Anforderungssystematik zur öffentlich-rechtlichen Nachweisführung gemäß GEG 2020 [3]. Hiernach bleibt die bereits nach EnEV 2014 [7] beschriebene Anforderungssystematik und das hierin für Maßnahmen ab dem 1.1.2016 beschriebene Anforderungsniveau (mit geringfügigen Anpassungen) beibehalten.

Ausgehend von der Beschreibung der aktuellen Anforderungssystematik werden die einzelnen Stellen mit Anpassungsbedarf hinsichtlich einer Neubewertung der solaren Wärmeeinträge einzeln benannt und es werden Vorschläge zur Anpassung unterbreitet, welche dem Verordnungsgeber für die weitere Fortschreibung des Gebäudeenergiegesetzes vorgelegt werden sollen.

9.1 Wohngebäude

9.1.1 Anforderungen an zu errichtende Gebäude

Neu zu errichtende Wohngebäude sind nach GEG [3] so auszuführen, dass

1. der Gesamt-Primärenergiebedarf das **0,75-fache des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes** nach Anlage 1 GEG nicht überschreitet (auch als „**Hauptanforderung**“ bezeichnet) und dabei
2. der bauliche Wärmeschutz so ausgeführt wird, dass der **1,0-fache Wert des spezifischen, auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogene Transmissionswärmeverlusts (H_T‘)** des Referenzgebäudes nicht überschritten wird (auch als „**Nebenanforderung**“ bezeichnet).

Hinweis: Die nach EnEV 2014, Anlage 1, Tabelle 2 geführten Maximalwerte („Deckelwerte“) als zusätzliche Anforderung zu obigem Punkt **2.** an den H_T‘-Wert sind für neu zu errichtende Gebäude nicht als zusätzliche Anforderung an den baulichen Wärmeschutz in das Gebäudeenergiegesetz überführt worden.

Der Nachweis zur Einhaltung der oben beschriebenen Hauptanforderung hat nach GEG zu erfolgen, indem das geplante Gebäude und das (geometrisch identische) Referenzgebäude gesamtenergetisch bilanziert werden. Hierbei werden sowohl die Transmissionswärmeverluste als auch die nutzbaren solaren Wärmeeinträge erfasst. Durch die Vorgabe einer Fensterqualität in der Referenzausführung mit einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) und einen g-Wert der Verglasung von 0,60 wird somit der Anforderungswert bestimmt. Jede für die tatsächliche Ausführung vorgesehene Fensterqualität (U-Wert und g-Wert) wird somit sowohl hinsichtlich der Wärmeverluste als auch hinsichtlich der Wärmegewinne im Vergleich zu der Referenzausführung bewertet. In Bezug auf die Hauptanforderung und die primärenergetische Bilanzierung ergibt sich hiernach kein Anpassungsbedarf.

Der Nachweis der Einhaltung der Nebenanforderung erfolgt, indem unter Zugrundelegung der U-Werte der Referenzausführung aller Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche und unter Berücksichtigung eines pauschalen Wärmebrückenzuschlags in Höhe von 0,05 W/(m²K) der mittlere spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient der Referenzausführung bestimmt wird. Dieser Anforderungswert darf unter Ansatz der tatsächlich vorgesehenen U-Werte und unter Berücksichtigung eines projektbezogenen Wärmebrückenzuschlags nicht überschritten werden. Ein entscheidender Nachteil dieses Anforderungswertes ist, dass die Qualität der Gebäudehülle ausschließlich unter Zugrundelegung der U-Werte bestimmt wird. Anders als bei der Durchführung der Gesamtbilanz erfolgt hierbei also keine Berücksichtigung der (nutzbaren) solaren Wärmeeinträge über transparente Bauteile. Da die nutzbaren solaren Wärmeeinträge aber einen erheblichen Einfluss auf den (verbleibenden) Energiebedarf für Heizen haben, wird

empfohlen, die Anforderungssystematik entsprechend anzupassen. Die Anpassung kann vergleichsweise einfach durchgeführt werden, indem eine Umstellung der Anforderung von dem gegenwärtigen spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T‘ auf einen **spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transferkoeffizient $H_{T,S}$‘** erfolgt. Sämtliche für die Bestimmung dieser neu einzuführenden Kenngröße erforderlichen Parameter werden im Rahmen der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 bestimmt. Dies sind die Transmissionswärmeverluste und die nutzbare solaren Wärmeeinträge (welche aus den monatlich ermittelten Nutzungsgraden der solaren (und internen) Wärmeeinträge und den solaren Wärmeeinträgen selbst ermittelt werden). Entscheidender Vorteil einer solche Umstellung ist, dass der bestimmte $H_{T,S}$‘-Wert sämtliche bislang in dem H_T‘-Wert nicht erfasste Einflussgrößen auf die energetische Qualität der Gebäudehülle physikalisch richtig beschreibt. Bislang in H_T‘ nicht berücksichtigt sind:

1. die Orientierung und Neigung der Fenster in Verbindung mit
2. dem g-Wert der Verglasung und hierdurch
3. die unterschiedliche Höhe und Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge

Der Anpassungsbedarf im GEG-Gesetzestext erfordert daher „lediglich“ eine textliche Anpassung, indem als Nebenanforderung künftig das 1,0-fache des Transferkoeffizienten $H_{T,S}$‘ der Referenzausführung formuliert wird und dabei auf die entsprechende (und noch in DIN V 18599 aufzunehmende) Berechnungsvorschrift (Vorschlag siehe Abschnitt 8.3) verweist.

9.1.2 Bestehende Gebäude

Anders als im Fall von neu zu errichtenden Gebäuden, für welche stets eine gesamtenergetische Bilanzierung erforderlich ist, kann im Fall von Sanierungen im Bestand, wenn ausschließlich bauliche Maßnahmen erfolgen sollen, auch ein vereinfachter Nachweis über die Einhaltung höchstens zulässiger Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) erfolgen. Die bisherigen Regelungen nach EnEV 2014 [7], Anlage 3 sind in das Gebäudeenergiegesetz [3] inhaltsgleich in Anlage 7 überführt. Analog zu den zuvor beschriebenen Nachteilen eines H_T‘-Wertes werden durch die Vorgabe von nicht zu überschreitenden U-Werten bei transparenten Bauteilen die (nutzbaren) Wärmeeinträge nicht erfasst und somit das energetische Verhalten der betreffenden Bauteile auch nicht physikalisch richtig beschrieben. Um auch im Fall von bauteilbezogenen Einzelmaßnahmen sinnvolle Anforderungswerte für transparente Bauteile zu benennen, wird deshalb empfohlen, anstelle der nicht zu überschreitenden U-Werte in der benannten Tabelle nicht zu überschreitende **äquivalente U-Werte** zu benennen. Die Berechnung äquivalenter U-Werte soll dabei nach Gleichung (9-1) erfolgen.

$$U_{eq} = U - g \cdot S_F \qquad (9\text{-}1)$$

mit:

U_{eq}	*äquivalenter U-Wert*
U	*U-Wert*
g	*g-Wert*
S_F	*Strahlungsgewinnkoeffizient*

Die Nutzbarkeit der solaren Wärmeeinträge wird dabei vereinfacht über sogenannte Strahlungsgewinnkoeffizienten (S_F-Werte) vorgenommen. In welcher Form und mit welcher Differenzierung die Vorgabe von S_F-Werten sinnvollerweise erfolgen sollte, ist wesentliches Ergebnis der Bearbeitung der vorliegenden Studie. Es wird anvisiert, eine entsprechende Systematik zur differenzierten Vorgabe von S_F-Werten in den Teil 2 der DIN V 18599 aufzunehmen, sodass eine künftige Fassung des GEG hierauf verweisen kann. Alternativ dazu besteht prinzipiell auch die Möglichkeit, S_F-Werte direkt im Gesetzestext zu benennen, falls eine Verortung in der DIN V 18599 nicht erfolgen kann oder soll.

Für die Fortschreibung der Anforderungssystematik im GEG sind hierzu folgende Schritte erforderlich:

1. zusätzliche Angabe von g-Werten für alle in Anlage 7 des GEG genannten transparenten Bauteile (2a bis 2f für „normale“ transparente Bauteile sowie 3a bis 3c für Bauteile mit Sonderverglasungen). Diese g-Werte können hier in Anlehnung an die Angaben zur Ausführung des Referenzgebäudes erfolgten (hier sinnvoll ist die Verwendung der Angaben in der Referenzgebäudeausführung für Nichtwohngebäude nach Anlage 2 GEG, da die Anlage 7 des GEG auch für Einzelmaßnahmen bei Nichtwohngebäuden heranzuziehen ist.)
2. Anpassung von GEG § 48, welcher gegenwärtig fordert, dass die Wärmedurchgangskoeffizienten nach Anlage 7 einzuhalten sind. Hier muss für die transparenten Bauteile ergänzt werden, dass durch die vorgesehene Ausführung die mit den U- und g-Werten der (neuen um die g-Werte ergänzten) Tabelle 7 berechneten äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten nicht überschritten werden dürfen.

Vorschläge zur Ergänzung der DIN V 18599 werden in Abschnitt 8 beschrieben.

9.2 Nichtwohngebäude

9.2.1 Anforderungen an zu errichtende Gebäude

Neu zu errichtende Nichtwohngebäude sind nach GEG [3] so auszuführen, dass

1. der Gesamt-Primärenergiebedarf das **0,75-fache des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes** nach Anlage 2 GEG nicht überschreitet (auch als „**Hauptanforderung**“ bezeichnet).
2. Abweichend von der Anforderungssystematik bei Wohngebäuden werden hinsichtlich der erforderlichen baulichen Mindestqualität als **Nebenanforderung** für einzelne Bauteilearten mit Anlage 3 GEG **Höchstwerte der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten** benannt. Hierbei wird unterschieden zwischen
   1. opaken Außenbauteilen,
   2. transparenten Außenbauteilen,
   3. Vorhangfassaden und
   4. Glasdächern, Lichtbändern und Lichtkuppeln

Hinsichtlich der Hauptanforderung besteht, wie bei dem Anwendungsfall Wohngebäude, kein Anpassungsbedarf in der Anforderungssystematik, da im Rahmen der gesamtenergetischen Bilanzierung die transparenten Bauteile sowohl hinsichtlich ihrer Wärmeverluste (U-Werte) als auch in Bezug auf die nutzbaren solaren Wärmegewinne bereits richtig, d. h. unter Berücksichtigung der g-Werte, erfasst werden.

In Bezug auf die Nebenanforderung ergibt sich allerdings auch hier die Notwendigkeit, die nutzbaren solaren Wärmeeinträge über transparente Bauteile in dem Anforderungswerte zu berücksichtigen, da auch hier die energetische Qualität nicht nur über den U-Wert, sondern auch unter Berücksichtigung der g-Werte beschrieben werden sollte.

Prinzipiell bestehen zwei unterschiedliche Möglichkeiten, die Anforderungssystematik so anzupassen, dass die Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge auch in der Nebenanforderung berücksichtigt ist:

(a) Beibehaltung der Vorgabe von Höchstwerten für Wärmedurchgangskoeffizienten, allerdings in Form von **Höchstwerten für <u>äquivalente</u> Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}_{eq,max}$**

(b) Umstellung der Nebenanforderung auf einen höchstens zulässigen spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transferkoeffizient $H_{T,S}$‘ (analog zur empfohlenen Umstellung bei Wohngebäuden)

Die vorgenannten Optionen (a) und (b) werden im Folgenden weiter erläutert.

zu **(a)**:

Für diese Option ergibt sich ein Anpassungsbedarf in der Anforderungssystematik wie folgt:

1. zusätzliche Angabe von g-Werten für die Bauteilarten 2., 3. und 4. in Anlage 3 GEG
2. Anpassung der Formulierung in § 19 GEG, sodass hier die Einhaltung der mit den U- und g-Werten aus Anlage 3 GEG ermittelten maximalen $\bar{U}_{eq,max}$-Werte einzuhalten sind.

Für die Umsetzung bedeutet dies, dass die Berechnung der maximalen äquivalenten U-Werte $\bar{U}_{eq,max}$ nach Gleichung (9-1) und unter Ansatz entsprechender S_F-Werte zu erfolgen hat. Die Erarbeitung einer hinreichenden Vorgabe von S_F-Werten ist ein wesentliches Arbeitsergebnis der vorliegenden Studie. Die Empfehlung für S_F-Werte für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude soll analog zu den Wohngebäuden in den Teil 2 der DIN V 18599 aufgenommen werden. Hierzu erfolgt die entsprechende Erarbeitung eines Vorschlags zu Implementierung in diesem Normenteil (siehe Abschnitt 8.1.2). Nach gegenwärtigem Bearbeitungsstand ist es erforderlich, zumindest für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude eine Systematik zur Ermittlung der fallweise relevanten S_F-Werte zu beschreiben, welche auf individuelle Fensterflächenanteile eingeht, da die Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge mit größer werdenden Fensterflächenanteilen deutlich abnimmt. Anders als bei Wohngebäuden kann im Fall von Nichtwohngebäuden nicht von üblichen bzw. typischen Fensterflächenanteilen ausgegangen werden, da sowohl geringe als auch hohe Fensterflächenanteile üblich sind und insofern auch S_F-Werte dies abbilden sollten.

Für die praktische Anwendung würde die Umstellung der Anforderungssystematik allerdings einen Mehraufwand in der Nachweisführung bedeuten, da die U_{eq}-Systematik im Grunde eine raum- und orientierungsbezogene Herangehensweise beschreibt und die Anwendung für ein ganzes Gebäude je Orientierung und Fensterflächenanteil eines Raumes zu unterschiedlichen Anforderungen führen würde bzw. aus den bestimmten Einzelanforderungen einen mittlere Gesamtanforderung abgeleitet werden müsste. Grundsätzlich ist es zwar möglich, eine in sich geschlossene und eindeutige Logik für die hier beschriebene Anpassungsoption der Anforderungssystematik zu beschreiben. Aufgrund des damit einhergehenden Zusatzaufwands bei der Planung und Nachweisführung wird grundsätzlich empfohlen, die im Folgenden weiter diskutierte Option (b) zur Anpassung der Anforderungssystematik zu verfolgen bzw. dem Verordnungsgeber zu empfehlen.

zu **(b)**:

Die Umstellung der Nebenanforderung auf einen **spezifischen auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transferkoeffizient $H_{T,S}$'** wird deshalb empfohlen, weil die Ermittlung dieses Anforderungswertes grundsätzlich nach derselben Methode erfolgen kann, wie zuvor bereits für den Anwendungsfall Wohngebäude beschrieben. Dabei sind jeweils bilanzzonenweise die Transmissionswärmeverluste sowie die nutzbaren solaren Wärmeeinträge heranzuziehen, die ohnehin im Bilanzrahmen der DIN V 18599 bereits bestimmt werden. Insofern ergibt sich aus einer Umstellung der Anforderungssystematik eine deutliche Verbesserung, da auf die derzeit noch formulierte Differenzierung zwischen Einzelanforderungen an 1. opake und 2. transparente Bauteile sowie an 3. Vorhangfassaden und 4. Glasdächer, Lichtbänder und Lichtkuppeln verzichtet werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die vorgeschlagene Umstellung der Anforderung eine Flexibilisierung erreicht wird, da zur Anforderungserfüllung die Bauteilqualitäten der vier vorgenannten Kategorien untereinander kompensiert werden können, was nach der gegenwärtigen $\bar{U}_{max}$-Systematik nicht möglich ist.

9.2.2 Bestehende Gebäude

Auch für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude besteht die Möglichkeit einer vereinfachten Nachweisführung, wenn im Zuge einer Sanierung nur bauliche Maßnahmen erfolgen sollen.

Für diesen Fall wird in § 48 GEG nicht zwischen Wohn- u. Nichtwohngebäuden unterschieden und auf die Anlage 7 des GEG verwiesen.

Analog zu den Ausführungen und der Empfehlung nach Abschnitt 9.1.2 wird eine entsprechende Umstellung der Einzelanforderungen auf einzuhaltenden äquivalente U-Werte anstelle der bislang höchstens zulässigen U-Werte auch für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude empfohlen. Insofern ergibt sich formell kein Unterschied in Bezug auf die Umstellung der Anforderungssystematik selbst (siehe Abschnitt 9.1.2). Lediglich hinsichtlich der für den Anwendungsfall Nichtwohngebäude relevanten Vorgabe anzuwendender S_F-Werte wird für Nichtwohngebäude eine differenzierte Vorgabe als Vorschlag für die Ergänzung des Teils 2 der DIN V 18599 erarbeitet (siehe hierzu Abschnitt 8.1.2). Ob eine künftige Fassung des GEG hinsichtlich der S_F-Werte dann differenziertere Vorgaben als für Wohngebäude macht, muss im Zuge der Diskussionen mit dem Gesetzgeber bzw. den zuständigen Ministerien abgestimmt werden.

10 Einbeziehung solarer Wärmeeinträge zur Identifizierung eines wirtschaftlichen oder energetischen Optimums

10.1 Vorbemerkung

Eine Anpassung der Anforderungssystematik in Form der Einbeziehung nutzbarer solarer Wärmeeinträge bei der Bewertung der energetischen Qualität der Gebäudehülle führt bei der Konzeptionierung von Gebäuden zu einer Optimierung des Energiebedarfs für Heizen. Hierzu wird vorgeschlagen, in der so bezeichneten „Nebenanforderung“ nicht nur die Transmissionswärmeverluste über Bauteile, sondern auch den nutzbaren Anteil der solaren Wärmeeinträge, welcher im Wesentlichen über transparente Bauteile anfällt, in analoger Weise zu berücksichtigen, wie es auch bei der gesamtenergetischen Bilanzierung zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs erfolgt. Die vorgeschlagene Änderung der Anforderungssystematik bezieht sich insofern nur auf die Anpassung der Nebenanforderung, welche ergänzend zur (Haupt-) Anforderung an den Primärenergiebedarf eine energetische Mindestqualität der Gebäudehülle definiert.

Durch konsequente Anwendung der vorgeschlagenen Änderung ergibt sich hinsichtlich der Bildung von Erfüllungsoptionen für das öffentlich-rechtliche Anforderungsniveau und insbesondere für darüber hinausgehende Niveaus (KfW-Effizienzhäuser) eine zusätzliche Flexibilisierung, da neben den U-Werten der Gebäudehülle die ebenso wichtigen g-Werte transparenter Bauteile zur Bewertung der energetischen Qualität herangezogen werden. Nur durch diese gleichzeitige Berücksichtigung von Transmissionswärmeverlusten und nutzbaren solaren Wärmeeinträgen kann der Planer das energetische Optimum für seinen Gebäudeentwurf identifizieren bzw. unterschiedliche Ausführungsoptionen untereinander vergleichen. Welche der infrage kommenden Erfüllungsoptionen letztlich zur Ausführung kommen soll, ist von zahlreichen weitergehenden Aspekten abhängig. Ein insbesondere aus Investorensicht wichtiger Punkt ist dabei die Wirtschaftlichkeitsbewertung, bei der in erster Linie Investitionskosten aber auch energiebedingte Kosten sowie Aufwand für Wartung und Instandhaltung während der Nutzung zu berücksichtigen sind.

Hinsichtlich der baupraktischen Konsequenzen ergibt sich, wie zuvor bereits beschrieben, mit der vorgeschlagenen Anpassung der Anforderungssystematik eine zusätzliche Flexibilisierung bei der Bildung von Erfüllungsoptionen, welche darüber hinaus im Vergleich zur derzeitigen Anforderung deutlich besser geeignet ist, um energetisch sinnvolle Ausführungen zu identifizieren und von wenig sinnvollen Ausführungen (niedrige g-Werte verbunden mit niedrigen nutzbaren solaren Wärmeeinträgen) zu unterscheiden. Allein aus der gewonnenen Flexibilisierung in Form der Einbeziehung nutzbarer solarer Wärmeeinträge bei der Bewertung der energetischen Qualität der Gebäudehülle lässt sich durch diesen hinzukommenden „Freiheitsgrad“ (Einbeziehung der g-Werte transparenter Bauteile) festhalten, dass die vorgeschlagene Anpassung auch in wirtschaftlicher Konsequenz positiv auswirkt, da die Planung in Richtung energetisch sinnvollerer Ausführungen mit entsprechend niedrigen energiebedingten Betriebskosten gelenkt wird.

Da die vorgeschlagene Anpassung der Anforderungssystematik darauf abzielt, die nutzbaren solaren Wärmeeinträge zu maximieren und damit den Energieaufwand für Heizen zu minimieren, darf der sommerliche Komfort bzw. ein gegebenenfalls anfallender Energieaufwand für Kühlung dabei nicht außer Acht gelassen werden. Hiermit wird der grundsätzliche Zielkonflikt der Maximierung der solaren Wärmeeinträge im Winter bei gleichzeitiger Minimierung der Wärmeeinträge im Sommer angesprochen. Dieser Zielkonflikt lässt sich praktisch nur durch dynamische Systeme überwinden, bei denen einen Reduzierung der solaren Wärmeeinträge im Sommer durch Verschattung oder andere dynamische Lösungen nach Bedarf reduziert werden. Sind keine beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen oder andere dynamische Einrichtungen vorgesehen, kann das winterliche und sommerliche Wärmeverhalten nur über den g-Wert

transparenter Bauteile gesteuert werden. Dieser Abschnitt behandelt über exemplarische Auswertungen die wesentlichen Zusammenhänge des winterlichen und sommerlichen Wärmeverhaltens mit besonderem Fokus auf die bauphysikalisch relevanten Eigenschaften transparenter Bauteile (U-Wert und g-Wert).

10.2 Methodische Hinweise

Zur integralen Bewertung der Auswirkungen unterschiedlicher U_W-/g-Wert-Kombinationen auf die Wirtschaftlichkeit wird, wie in den Abschnitten 10.2.1 und 10.2.2 beschrieben, zwischen nicht gekühlten und gekühlten Gebäuden unterschieden.

Die in Bild 10-1 enthaltene Legende gilt für sämtliche Auswertungen des aktuellen Kapitels und wird in den Einzelauswertungen nicht erneut dargestellt.

▲ UW = 1,3 W/(m²K)
◆ UW = 0,70 W/(m²K)

Bild 10-1: Legende für die Auswertungen in diesem Kapitel

10.2.1 Betrachtung beheizter und nicht gekühlter Gebäude

Im Fall nicht gekühlter Gebäude haben unterschiedliche U_W-/g-Wert-Kombinationen in energetischer Hinsicht ausschließlich Auswirkung auf den für die Beheizung anfallenden Energiebedarf. Veränderungen des U_W-Wertes und vor allem des g-Wertes wirken sich zwar auch auf das sommerliche Wärmeverhalten und den thermischen Komfort aus, eine direkte Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit in Bezug auf eine Veränderung der für den Betrieb des Gebäudes anfallenden energiebedingten Kosten lässt sich daraus allerdings nicht ableiten. Die Ermittlung der spezifischen Kosten für Heizen wird aus den nach DIN V 18599 [11] ermittelten Nutzwärmebedarfen abgeleitet.

10.2.2 Betrachtung beheizter und gekühlter Gebäude

Für eine integrale Betrachtung der Auswirkungen unterschiedlicher U_W- und g-Werte wird für die hier angestellten Berechnungen einerseits der aus der energetischen Bilanzierung hervorgehende Nutzenergiebedarf für Heizen und andererseits der aus den dynamischen Simulationsrechnung hervorgehende Nutzenergiebedarf für Kühlen herangezogen. Der Einfluss veränderlicher U_W- und g-Werte auf den Kühlenergiebedarf wird aus den mit dem Programm HAUSer [5] durchgeführten Simulationsrechnungen abgeleitet, da die energetische Bilanzierung nach DIN V 18599 [11] den Einfluss einer erhöhten Nachtlüftung auf den Energiebedarf für Kühlen im Vergleich zu dem Fall ohne Nachtlüftung nicht abbilden kann. Für den Standardfall wird zunächst von einer Situation ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit ausgegangen. Auswertungen zur Gegenüberstellung der Situationen ohne und mit erhöhtem Luftwechsel werden in den Unterabschnitten 10.4.4 und 10.5.4 gesondert behandelt.

10.2.3 Annahmen für die Wärme- und Kälteerzeugung

Zur Ermittlung der energiebedingten Kosten für die Wärme- und Kälteversorgung werden für die hier angestellten Untersuchungen zunächst die im Folgenden beschriebenen Annahmen zugrunde gelegt bzw. Varianten betrachtet:

Varianten Wärmeerzeugung:

1. Gas-Brennwertkessel
   # Anlagenaufwandszahl: 1,2
   # Kosten Gas: 0,06 €/kWh
   # $f_{p,Wärme}$: 1,1
2. Luft/Wasser Wärmepumpe:
   # Anlagenaufwandszahl: 0,30
   # Kosten Strom: 0,28 €/kWh
   # $f_{p,Wärme}$: 1,8

Kälteerzeugung und Annahmen zur Kühlung:

- EER: 3
- Kosten: 0,28 €/kWh
- $f_{p,Kälte}$: 1,8
- ideale Kühlung auf 24 °C

Auswertungen werden für den vorliegenden Bericht exemplarisch für eine Wärmeerzeugung durch einen Gas-BW-Kessel sowie durch eine Wärmepumpe dargestellt. Ferner beschränkt sich die grafische Darstellung von Auswertungen zur Wirtschaftlichkeit auf Nichtwohnnutzung (Einzelbüro, Zentralraum *zen1.5b1.5t_breit*) und das Wärmeschutzniveau gemäß Referenzausführung GEG. Betrachtet werden Fälle ohne und mit erhöhtem Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, unterschiedlichen Soll-Temperaturen für den Kühlfall sowie unterschiedlichen Anlageneffizienzen für die Kühlung.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für die vorbeschriebene Konstellation wie folgt:

1. für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei einem Fensterflächenanteil (fassadenbezogen) von 50 %
2. Auswertungen für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30, 50, 70 und 90 % bei einer Südorientierung.

Hieraus folgt, dass der 50 %ige Fensterflächenanteil bei Südausrichtung in den Auswertungen doppelt enthalten ist.

Fallweise erfolgt für die beschriebenen Konstellationen eine

1. Auswertung der spezifischen energiebedingten Kosten für Heizen, Kühlen oder Heizen und Kühlen sowie jeweils korrespondierend die
2. Auswertung des spezifischen jährlichen Primärenergiebedarfs.

Hinweis: Die in diesem Abschnitt dokumentierten Auswertungen erfolgen für den g-Wertebereich zwischen 0,60 und 0,06. Dieser Wertebereich soll als theoretisches Auswerteintervall verstanden werden, woraus der Einfluss des g-Wertes bis hin zu einer in der Praxis unüblichen Untergrenze von 0,06 dargestellt wird.

10.3 Ergebnisse Heizen

Die Auswertungen zum Einfluss unterschiedlicher U_W-/g-Wert-Kombinationen auf die energiebedingten Kosten für Heizen sowie auf den spezifischen Primärenergiebedarf erfolgen in den beiden Unterabschnitten zunächst für unterschiedliche Orientierungen (Abschnitte 10.3.1 und 10.3.2) bei fassadenbezogenen Fensterflächenanteilen von 50 % und 70 % und anschließend für unterschiedliche Fensterflächenanteile (Abschnitt 10.3.3) bei unterstellter Südorientierung. Die Ergebnisse basieren auf Berechnungen nach DIN V 18599 [11].

10.3.1 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 50 %

Wird ein Gebäude nicht gekühlt, wirkt sich die Veränderung von U_W- und g-Wert nur auf die energiebedingten Kosten für Heizen aus. Für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West sind die spezifischen Kosten für Heizen und die primärenergetische Auswertung in Bild 10-2 und Bild 10-3 enthalten.

Hinweis: Für die im Weiteren dargestellten Graphen ist eine automatische Skalierung der Ordinate gewählt. Dies ist bei der Bewertung der Diagramme stets zu beachten! Für die in Bild 10-2 dargestellten Graphen ist oben links (Nordorientierung) beispielsweise ein maximaler Ordinatenwert von 4,0 €/(m²a) und für die übrigen Graphen ein maximaler Ordinatenwert von 3,5 €/(m²a) dargestellt. Ohne Beachtung dieser unterschiedlichen Skalierungen könnte der Eindruck entstehen, dass bei der Nordorientierung geringe spezifische Kosten anfallen, als für die übrigen Orientierungen, obwohl das Gegenteil der Fall ist.

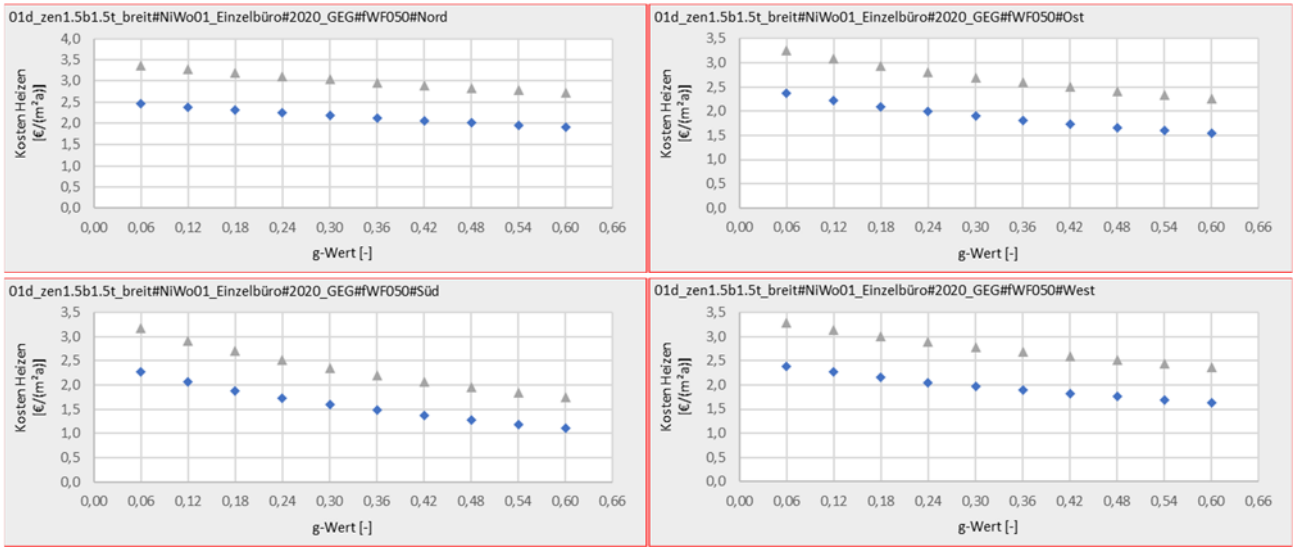


Bild 10-2: **Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 50 %.**

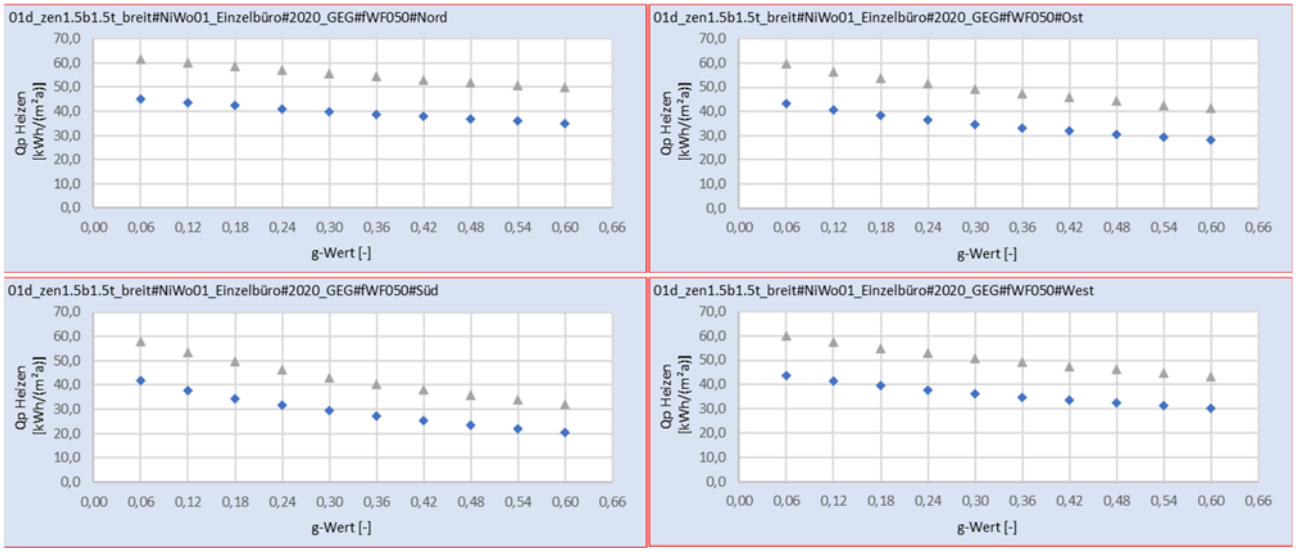


Bild 10-3: **Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 50 %.**

Die Auswertungen in Bild 10-2 zeigen erwartungsgemäß, dass mit einer Erhöhung des g-Wertes unter ansonsten gleichen Randbedingungen eine Reduzierung der spezifischen Kosten für Heizen einhergeht. Im Fall der Nordorientierung (oben links) liegen die spezifischen Kosten für Heizen bei dem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) bei 1,61 € für eine g-Wert von 0,60. Fallen nahezu keine solaren Wärmeeinträge an, so ergibt sich für einen g-Wert von 0,06 eine Erhöhung der spezifischen Kosten auf 1,87 € (+ 16 %). Die korrespondierende primärenergetische Bewertung (Bild 10-3) ergibt für diese Fälle eine Erhöhung von 29,5 kWh/(m²a) bei g = 0,60 auf 34,3 kWh/(m²a) bei g = 0,06.

Im Fall der Südorientierung liegen die spezifische Kosten nach Bild 10-2 (unten links) für den U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) mit einem g-Wert von 0,60 bei 1,15 €/(m²a). Für g = 0,06 liegen die spezifischen Kosten mit 1,79 €/(m²a) um 56 % höher. Für einen U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) ergibt sich ein Kostenunterschied von 0,83 €/(m²a) bei g = 0,60 zu 1,38 €/(m²a) bei g = 0,06, was einer Erhöhung um 66 % entspricht.

Die obigen Auswertungen können wie folgt interpretiert werden:

1. Die Ausrichtung eines Fensters hat einen wesentlichen Einfluss auf die resultierenden spezifischen Kosten für Heizen. Für die hier beispielhaft dokumentierten Auswertungen liegen die spezifischen Kosten bei U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 zwischen
   # 1,61 €/(m²a) bei Nordorientierung und
   # 1,15 €/(m²a) bei Südorientierung
2. Ohne solare Wärmeeinträge (g = 0,06) ergeben sich im Norden um rund 16 % erhöhte Kosten bzw. Energiebedarfe, im Süden erhöhen sich die Bedarfe um mehr als 50 %

Neben den festgestellten Unterschieden der spezifischen Kosten für unterschiedliche Orientierungen führt eine Variation der Fenstergröße ebenfalls zu einer Veränderung der solaren Wärmeeinträge. Die entsprechenden Auswertungen hierzu folgen in Abschnitt 10.3.3. Zuvor folgen mit Abschnitt 10.3.2 weitere Auswertungen zur Abhängigkeit der Heizkosten und des Primärenergiebedarfs von der Orientierung unter Zugrundelegung eines fassadenbezogenen Fensterflächenanteils von 70 %.

10.3.2 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 70 %

Die mit Bild 10-4 und Bild 10-5 folgenden Auswertungen zeigen die Ergebnisse der spezifischen Heizkosten sowie des Primärenergiebedarfs für Heizen bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 %. Diese Auswertungen werden benötigt für die Zusammenführung der Betrachtungen für Heizen und Kühlen in Abschnitt 10.5.1, die dort nur für diesen Fensterflächenanteil erfolgt. Auf eine textliche Erläuterung der Ergebnisse wird hier verzichtet.

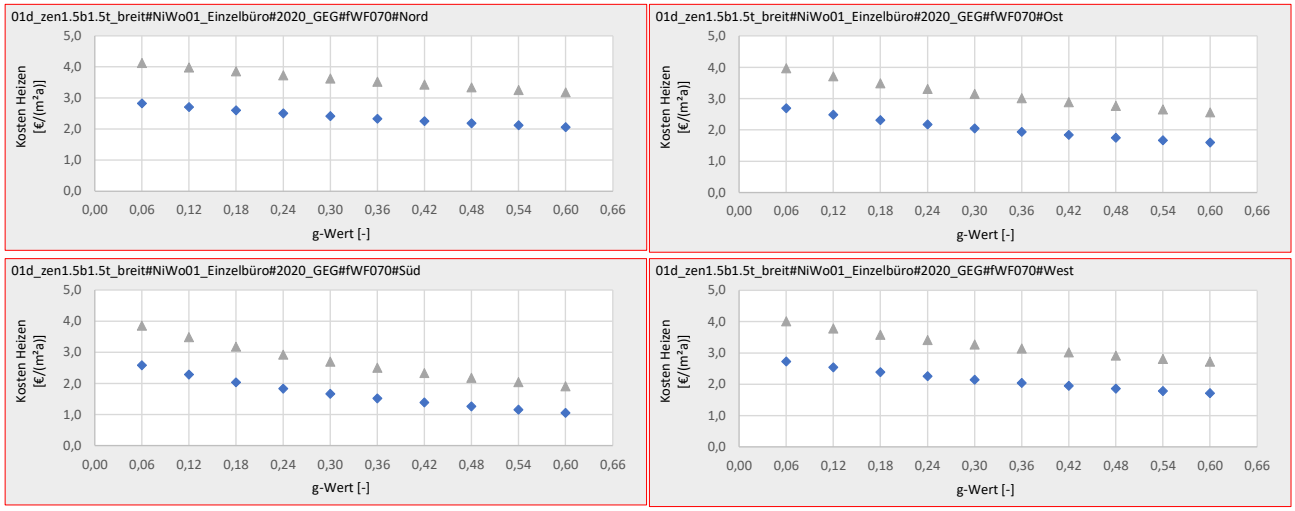


Bild 10-4: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 70 %.

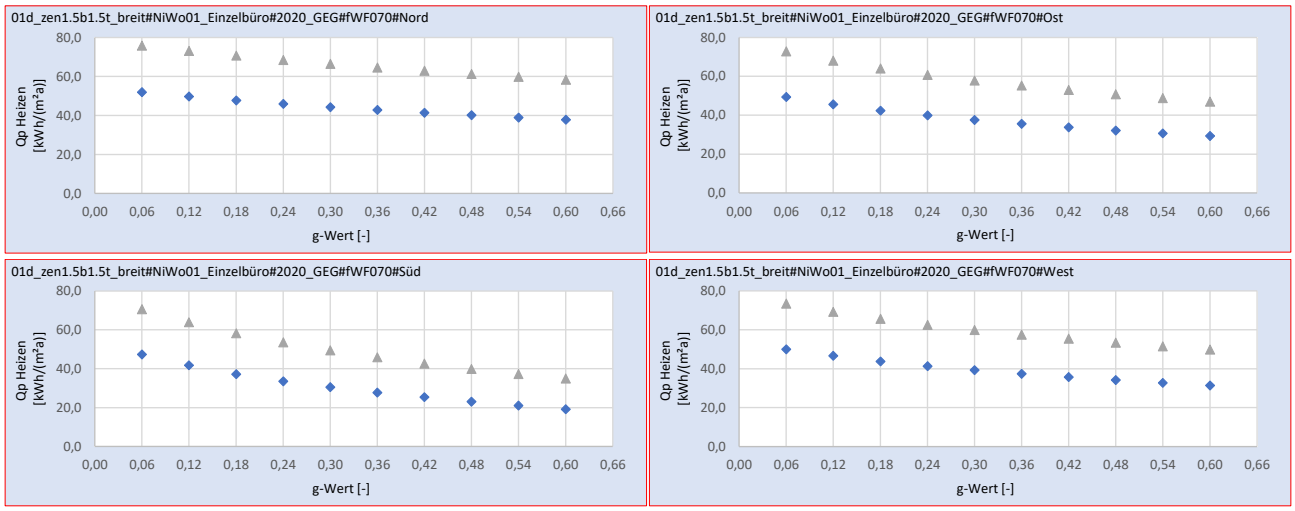


Bild 10-5: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 70 %.

10.3.3 Variation Fensterflächenanteil bei Südorientierung

Die folgenden Auswertungen in Bild 10-6 beschreiben die Abhängigkeit der spezifischen Kosten für Heizen von U_W-Wert und g-Wert für die vier fassadenbezogenen Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 100 % bei unterstellter Südorientierung. Die übrigen Randbedingungen sind analog zu den beispielhaften Auswertungen des vorherigen Abschnitts. Die primärenergetischen Ergebnisse sind in Bild 10-7 dargestellt.

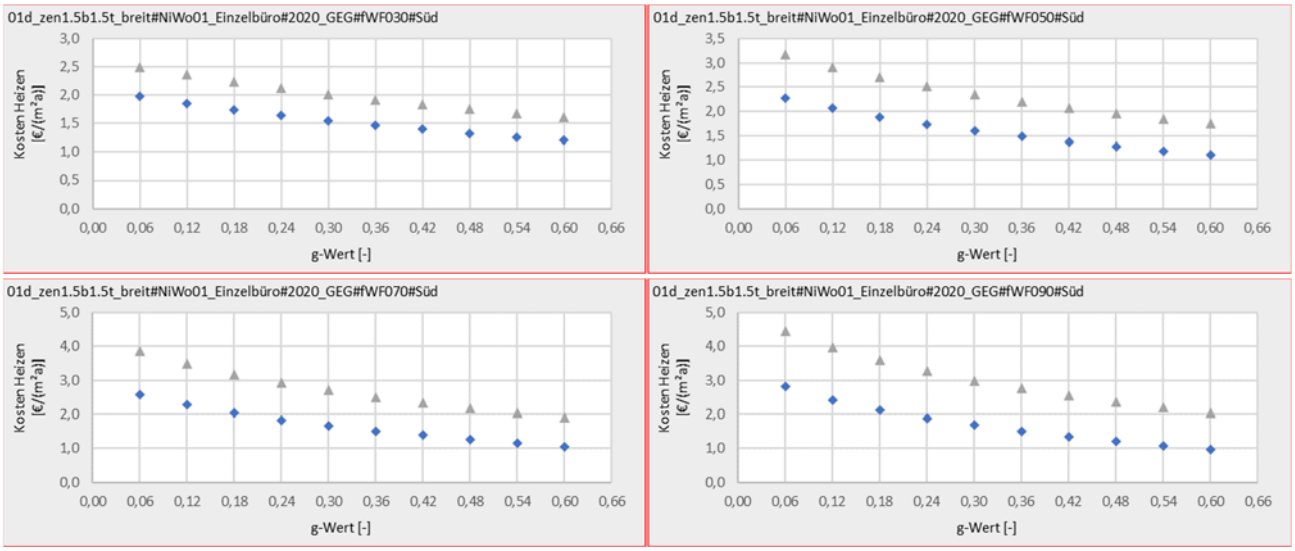


Bild 10-6: **Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung**

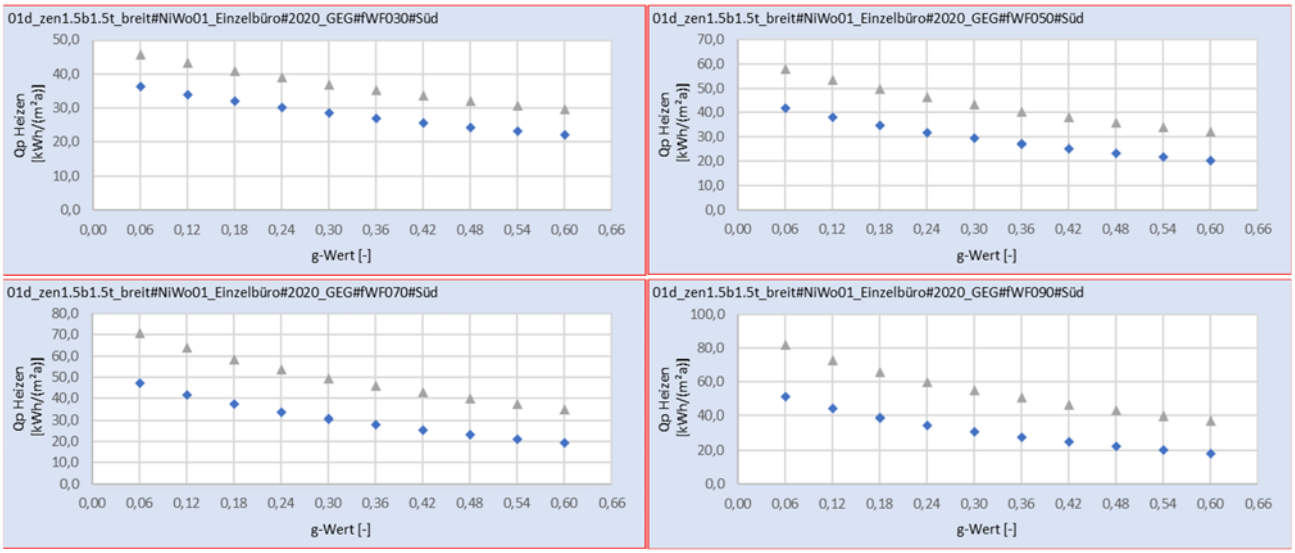


Bild 10-7: **Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung**

Ein direkter Vergleich der spezifischen Heizkosten Bild 10-6 bei U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 zeigt, dass diese zwischen 1,09 €/(m²a) bei 30 prozentigem Fensterflächenanteil und 1,29 €/(m²a) bei 90 prozentigem Fensterflächenanteil liegen. Für einen U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) liegen die spezifischen Heizkosten zwischen 0,89 €/(m²a) bei einem 30 prozentigen Fensterflächenanteil und 0,76 €/(m²a) bei einem 90 prozentigen Fensterflächenanteil. Mit einer Erhöhung des Fensterflächenanteils kann für diesen Fall also eine Reduzierung der für die Beheizung anfallenden Kosten festgestellt werden. Die gegenwärtige GEG-Anforderungssystematik, die bei einer Vergrößerung des Fensterflächenanteils einen steigenden, also schlechteren H_T'-Wert ausweist, unterstellt hingegen eine Verschlechterung der energetischen Performance.

Die Einführung eines spezifischen Transferkoeffizienten $H_{T,S}$' würde diese Abhängigkeiten richtig beschreiben.

Zum Einfluss der solaren Wärmeeinträge auf die spezifischen Heizkosten bei Veränderung des Fensterflächenanteils zeigen die Auswertungen in Bild 10-6, dass sich für U_W = 1,30 W/(m²K) und 30 prozentigem Fensterflächenanteil eine Erhöhung der spezifischen Kosten von 1,09 auf 1,48 €/(m²a) ergibt, wenn anstelle g = 0,60 mit einem g-Wert von 0,06 bilanziert wird. Dies entspricht einer Erhöhung um 36 %. Für einen U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) ergibt sich bei diesem Fensterflächenanteil eine Erhöhung der Kosten um 39 % von 0,89 auf 1,24 €/(m²a). Bei einem 90 prozentigen Fensterflächenanteil ergibt sich für eine U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) eine Erhöhung um 86 % von 1,29 auf 2,42 €/(m²a), für eine U_W-Wert von 0,70 W/(m²K) sogar eine Erhöhung um 118 % von 0,76 auf 1,66 €/(m²a).

Die Bedeutung der solaren Wärmeeinträge als wesentliche Einflussgröße auf den Energiebedarf für Heizen und somit auf die Wirtschaftlichkeit wird durch die obigen Auswertungen unterstrichen. Sofern Gebäude nicht gekühlt werden, ist im Zusammenhang mit der „richtigen" U_W-/g-Wert-Kombination stets auch der Sommerfall in die Bewertung mit einzubeziehen. Die Sicherstellung einer Ausführung, welche die Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz erfüllt bedeutet hierbei, dass die wirtschaftlichste Ausführung gegebenenfalls nicht zur Ausführung kommen kann.

Mit Abschnitt 10.3.4 folgt eine weitere exemplarische Auswertung zur Variation der Wärmeerzeugung. Anschließend erfolgt mit Abschnitt 10.4 eine isolierte Betrachtung zum Einfluss unterschiedlicher U_W-/g-Wert Kombinationen auf den Nutzenergiebedarf Kühlen. Die zusammenfassende Auswertung zur Wirtschaftlichkeit von beheizten und gekühlten Gebäuden erfolgt in Abschnitt 10.5.

10.3.4 Variation Wärmeerzeugung

Abhängig von der im Einzelfall zugrundeliegenden Wärmeversorgung können auch die mutmaßlichen Preisentwicklungen für die jeweils relevanten Energieträger eine wichtige Rolle spielen. So ist beispielsweise für fossile Energieträger, wie im vorigen Unterabschnitt für den Gas-Brennwertkessel zugrunde gelegt, eher von einer Erhöhung der Energiebezugskosten aufgrund steigender Gaspreise auszugehen. Für den Energieträger Strom sagen unterschliche Prognosen zur Preisentwicklung eine sehr geringe bis keine Preissteigerung voraus. Dies ist bei der Interpretation der hier dokumentierten Ergebnisse zu beachten, da die Berechnungen keine dynamische Preisentwicklung in der Zukunft abbilden (siehe Randbedingen der Berechnung in Abschnitt 10.2.3). Zur exemplarischen Gegenüberstellung der Wärmeerzeuger Gas-BW-Kessel mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe folgt mit Bild 10-8 und Bild 10-9 ein entsprechender Vergleich für die Energiebezugskosten pro m² und Jahr sowie für das primärenergetische Bilanzergebnis. Hierbei ist ein fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 % sowie eine Ost-Orientierung unterstellt.

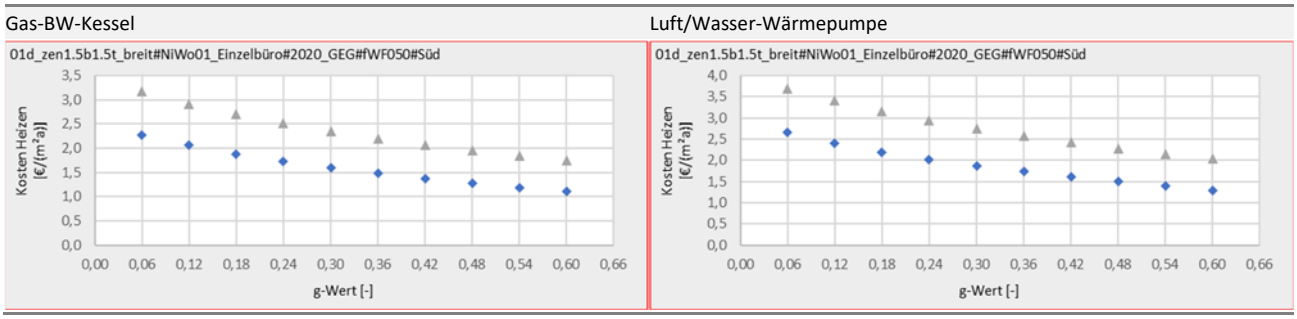


Bild 10-8: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Wärmebereitstellung durch Gas-Brennwertkessel (links) und Luft/Wasser-Wärmepumpe (rechts) bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung und 50 % Fensterflächenanteil

Der Vergleich der spezifischen Heizkosten in Bild 10-8 zeigt, dass bei der fossilen Wärmeerzeugung bei den getroffenen Annahmen etwas niedrigere Energiebezugskosten anfallen. Bei einem Fenster mit einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) und einem g-Wert von 0,60 liegen die spezifischen Kosten für den Gas-BW-Kessel bei etwa 1,75 €/(m²a). Für die Wärmepumpe, bei der eine Anlagenaufwandszahl von 0,30 zugrunde gelegt ist (was in etwa einer Jahresarbeitszahl von 3,3 entspricht), liegen die Kosten bei etwa 2,0 €/(m²a). Bine einer Reduzierung des g-Wertes auf 0,30 erhöhen sich die Kosten für den Gas-BW-Kessel auf etwa 2,30 €/(m²a) und bei der Wärmepumpe auf 2,70 €/(m²a). Dies entspricht in beiden Fällen einer Kostensteigerung um mehr als 30 % aufgrund der geringeren solaren Wärmeeinträge.

Ergänzend zu der Auswertung der Energiebezugskosten folgt mit Bild 10-9 die korrespondierende primärenergetische Bewertung.

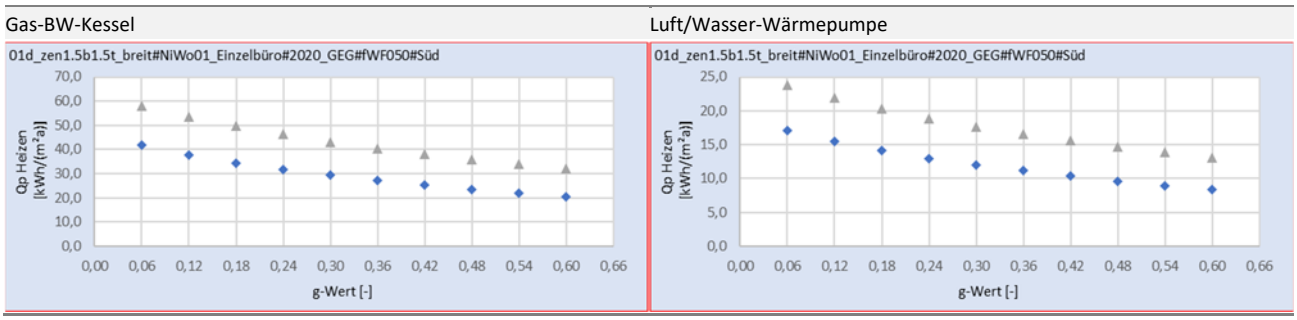


Bild 10-9: des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Wärmebereitstellung durch Gas-Brennwertkessel (links) und Luft/Wasser-Wärmepumpe (rechts) bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung und 50 % Fensterflächenanteil

Aus dem Vergleich in Bild 10-9 geht hervor, dass bei Einsatz einer Wärmepumpe deutlich bessere primärenergetische Bilanzergebnisse erzielt werden. Wird ein U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) mit einem g-Wert von 0,60 unterstellt, so ergibt sich ein spezifischer Primärenergiebedarf in Höhen von etwa 14 kWh/(m²a). Bei Wärmeerzeugung durch einen Gas-BW-Kessel liegt der Primärenergiebedarf mehr als doppelt so hoch. Insofern ergibt sich zwar hinsichtlich der Energiebezugskosten für das Gas-BW-System eine bessere Bewertung, da hier im Vergleich zu der Wärmeversorgung mit einer Wärmepumpe unter den gewählten Randbedingungen in etwa 15 % geringere Kosten anfallen. Demgegenüber fallen bei der Wärmeversorgung über eine Wärmepumpe unter sonst gleichen Randbedingungen aber nur die Hälfte der CO_2-Emissionen an. Über die reine Bewertung der Energiebezugskosten hinaus sollte daher stets auch die primärenergetische Bewertung bei der Festlegung auf eine bestimmte Ausführung beachtet werden.

10.4 Ergebnisse Kühlen

Die Auswertungen zum Einfluss unterschiedlicher U_W-/g-Wert-Kombinationen auf die energiebedingten Kosten für Kühlen sowie auf den spezifischen Primärenergiebedarf erfolgen in den beiden Unterabschnitten zunächst für unterschiedliche Orientierungen (Abschnitt 10.4.1) bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 % und anschließend für unterschiedliche Fensterflächenanteile (Abschnitt 10.4.2) bei unterstellter Südorientierung. Hierbei unterstellt sind die in Abschnitt 10.2.3 beschriebenen Annahmen bezüglich der Effizienz der Kälteerzeugung (EER = 3,0). Für in den Abschnitten 10.4.1 und 10.4.2 beschriebenen Fälle ist unterstellt, dass außerhalb der Nutzungszeit keine erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit erfolgt. Ferner liegt eine Soll-Temperatur für den Kühlfall von 24 °C sowie eine Anlageneffizienz mit einem EER von 3,0 zugrunde. Variationen zum Ansatz des Luftwechsels, zur Soll-Temperatur für den Kühlfall sowie zur Anlageneffizienz im Kühlfall folgen in den Abschnitten 10.4.3 bis 10.4.5. Die Ergebnisse basieren auf Simulationsrechnungen mit dem Programm HAUSer [5].

Hinweis: Eine Kostenbewertung sowie eine primärenergetische Bewertung unter Einbeziehung der Wirksamkeit von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen ist nicht Gegenstand dieser Projektbearbeitung! Die für den Kühlfall durchgeführten Simulationsrechnungen unterstellen in allen Fällen, dass kein beweglicher Sonnenschutz zum Einsatz kommt. Es bleibt hierbei also außer Acht, dass sich die erforderliche Kühlleistung erheblich durch den Einsatz von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen reduzieren lässt.
Die Berücksichtigung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen zur temporären Reduzierung der solaren Einstrahlung ist eine wichtige Komponente für die Optimierung des energetischen Gesamtverhaltens, da hierbei die solaren Wärmeeinträge in der Heizzeit im Gegensatz zu statischen Sonnenschutzgläsern weiterhin nutzbar sind. Es wird empfohlen, den Einfluss beweglicher Sonnenschutzvorrichtungen auf die Kosten für Kühlung sowie auf die energetische Bewertung in weitergehenden Untersuchungen zu betrachten.

10.4.1 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 70 %

Die mit Bild 10-10 und Bild 10-11 folgenden Auswertungen beschreiben den Einfluss der Orientierung auf die energiebedingten Kosten und den Primärenergiebedarf für Kühlung dar. Hier wird der Raum zen1.5b1.5t_breit mit einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % und baulicher Ausführung nach Referenzausführung GEG 2020 unterstellt. Weitere Randbedingungen sind:

- ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit
- Soll-Temperatur für den Kühlfall: 24 °C
- Anlageneffizienz Kältebereitstellung: EER = 3,0

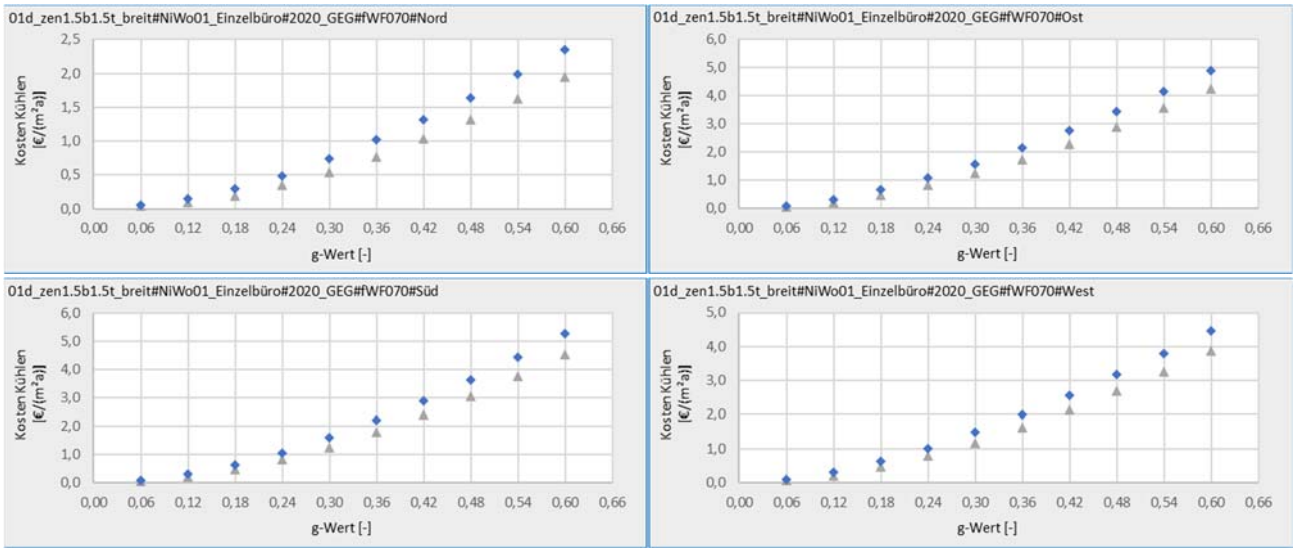


Bild 10-10: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %.

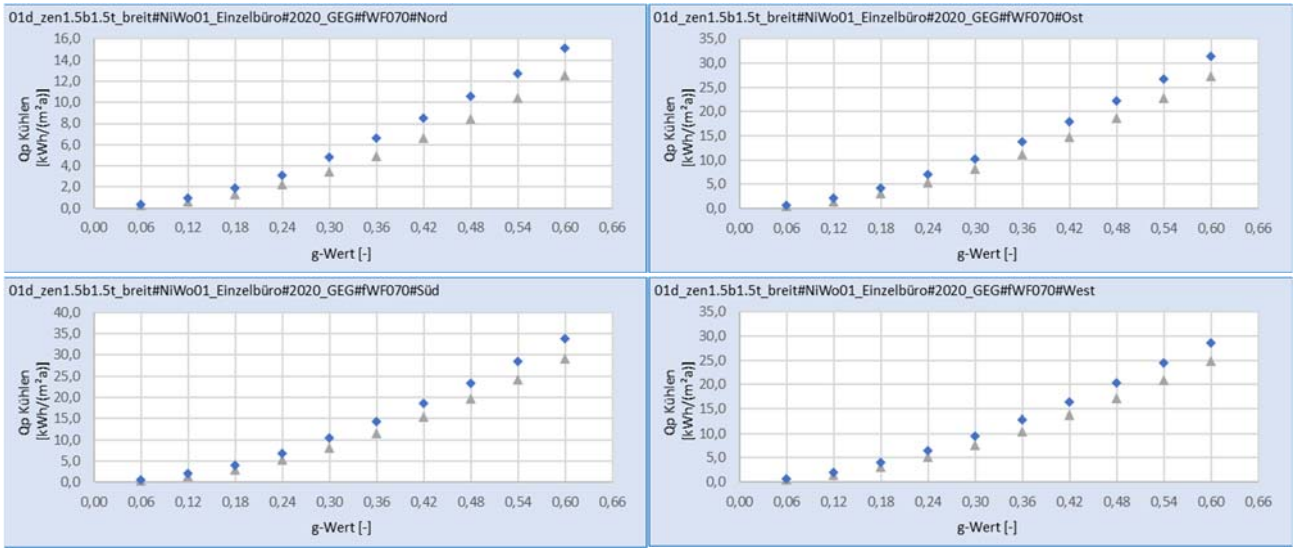


Bild 10-11: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %.

Die Auswertungen in Bild 10-10 und Bild 10-11 zeigen, dass mit Verringerung des g-Wertes erwartungsgemäß auch eine Reduzierung der energiebedingten Kosten für Kühlung bzw. des Primärenergiebedarfs einhergeht. Im Vergleich zu den Auswertungen des Heizfalls zeigt sich außerdem, dass der U_W-Wert für den Kühlbedarf von untergeordneter Bedeutung ist.

Abhängig von der Orientierung liegen die spezifischen Kosten für Kühlen bei einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) mit g = 0,60 zwischen 0,84 €/(m²a) für die Nordorientierung und 1,64 €/(m²a) für die Südorientierung. Für U_W-Werte von 0,70 W/(m²K) ergeben sich geringfügig höhere Kosten. Werden die solaren Wärmeeinträge durch entsprechend niedrigen g-Wert von 0,06 unterbunden, so reduzieren sich die spezifischen Kosten für U_W = 1,3 W/(m²K) bei der Nord-Orientierung auf 0,24 €/(m²a), was einer Reduzierung auf rund 29 % bezogen auf einen g-Wert von 0,60 entspricht. Für die Südorientierung ergeben sich bei einem g-Wert von 0,06 Kühlkosten von 0,28 €/(m²a). Dies entspricht etwa 17 % der Kühlkosten bei g = 0,60.

Der Einfluss von unterschiedlichen U_W-/g-Wert Kombinationen bei Variation des Fensterflächenanteils wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

10.4.2 Variation Fensterflächenanteil bei Südorientierung

Die folgenden Auswertungen in Bild 10-12 zeigen den Einfluss unterschiedlicher U_W-/g-Wert Kombinationen auf die spezifischen Kosten für Kühlung für unterschiedliche Fensterflächenanteile bei unterstellter Südorientierung.

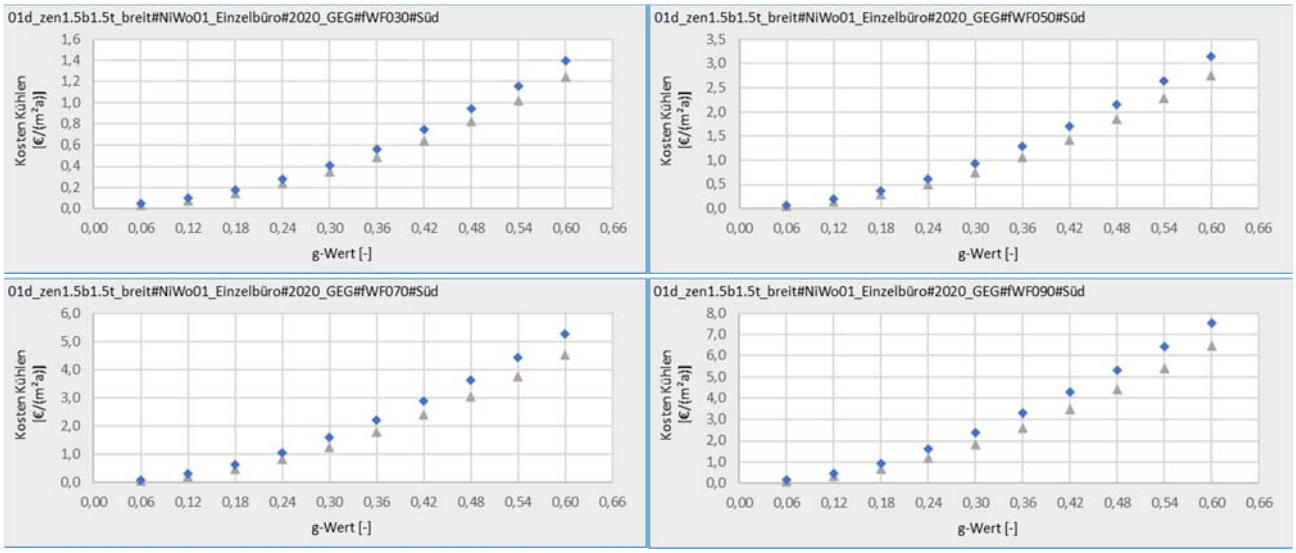


Bild 10-12: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung

Eine Vergrößerung des Fensterflächenanteils von 30 auf 90 % führt aufgrund der Erhöhung der solaren Wärmeeinträge bei einem Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 zu einer Erhöhung der spezifischen Kosten von 0,95 €/(m²a) auf 3,31 €/(m²a).

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die zuvor getroffenen Aussagen zur Wirtschaftlichkeit bzw. zum Einfluss unterschiedlicher U_W-/g-Wert-Kombinationen nur für die oben genannten Randbedingungen haben. Weitergehende Auswertungen mit abweichenden Randbedingungen folgen in den weiteren Abschnitten.

10.4.3 Variation Soll-Temperatur Kühlen

Welchen Einfluss die Soll-Temperatur für den Kühlfall auf die Kühlkosten sowie den Energiebedarf haben, zeigen die Auswertungen in Bild 10-13 und Bild 10-14. Hierin erfolgen jeweils Auswertungen für die Soll-Temperaturen von 26 °C (oben), 24 °C (Mitte) sowie 22 °C (unten) für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50 % (links) und 90 % (rechts).

Hinweis: Zu beachten ist auch hier, dass die Ordinatenskalierung automatisch erfolgt und den Diagrammen somit jeweils unterschiedliche Skalierungen zugrunde liegen.

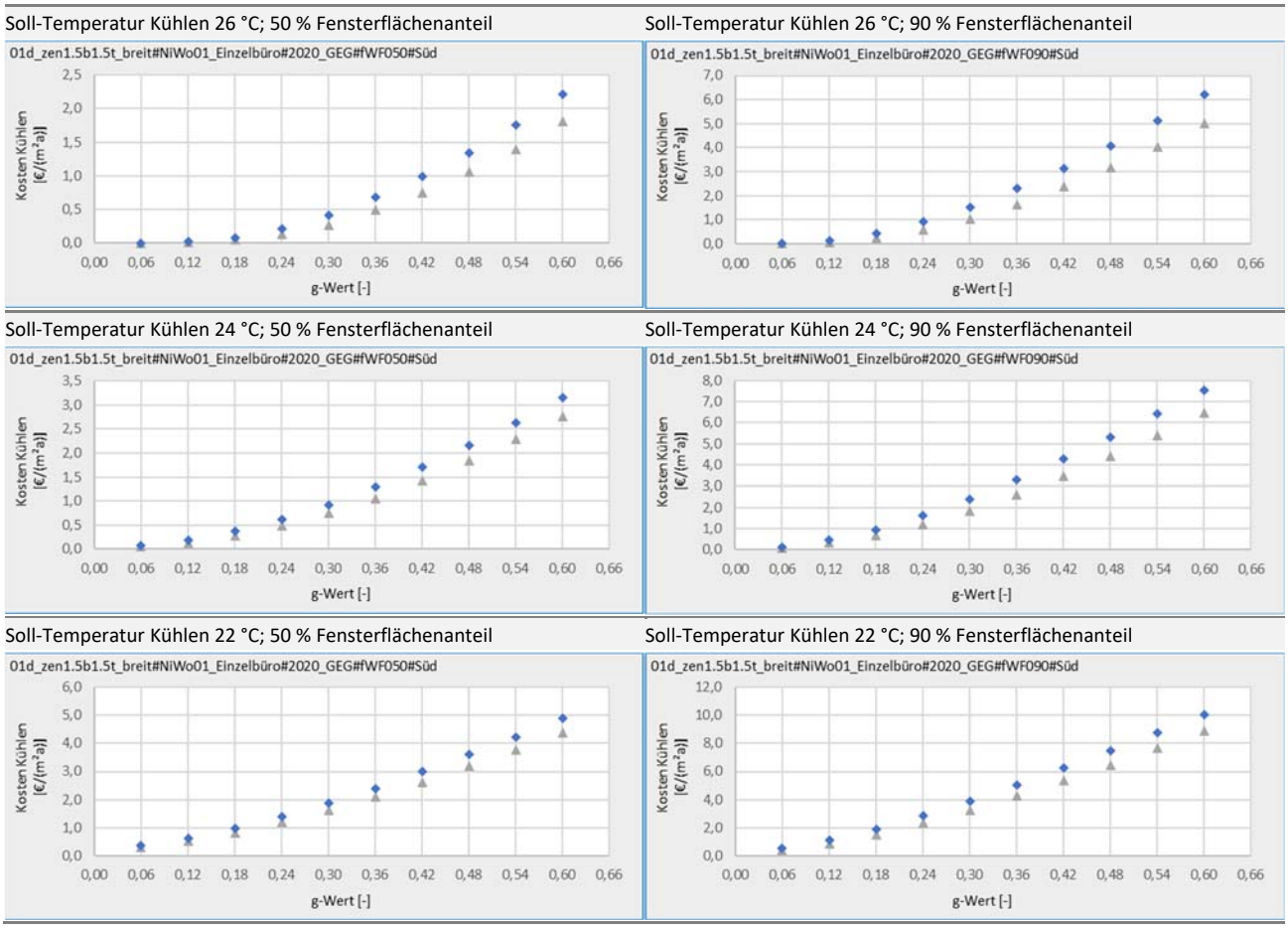


Bild 10-13: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

Ausgehend von der in den bisherigen Auswertungen unterstellten Soll-Temperatur von 24 °C (mittig in Bild 10-13) ergibt sich für den fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 % (links) bei Erhöhung der Soll-Temperatur auf 26 °C für einen U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) bei einem g-Wert von 0,60 eine Reduzierung der Kühlkosten von etwa 2,70 auf 1,80 €/(m²a). Dies entspricht einer Reduzierung um rund 35 %. Eine Reduzierung der Soll-Temperatur auf 22 °C führt hingegen zu einer Erhöhung der Kühlkosten auf etwa 4,20 €/(m²a), was mehr einer Erhöhung der Kosten um rund 55 % entspricht. Wird ein Sonnenschutzglas mit einem g-Wert von 0,30 unterstellt, reduzieren sich die Kühlkosten von 0,70 €/(m²a) bei 24 °C Soll-Temperatur auf 0,25 €/(m²a) bei 26 °C Soll-Temperatur. Ein Absenken der Soll-Temperatur auf 22 °C hat eine Erhöhung auf etwa 1,8 € €/(m²a) zur Folge.

Für den fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 90 % (rechts in Bild 10-13) ergeben sich in der Tendenz ähnliche Bewertungen, jedoch auf einem höheren Kostenniveau aufgrund der höheren solaren Einstrahlung. Die Veränderung der Kosten abhängig von der Soll-Temperatur ist hier nicht so stark ausgeprägt wie dem kleineren Fensterflächenanteil.

Mit Bild 10-14 folgt die primärenergetische Bewertung der zuvor hinsichtlich der anfallenden Kühlkosten bewerteten Fälle.

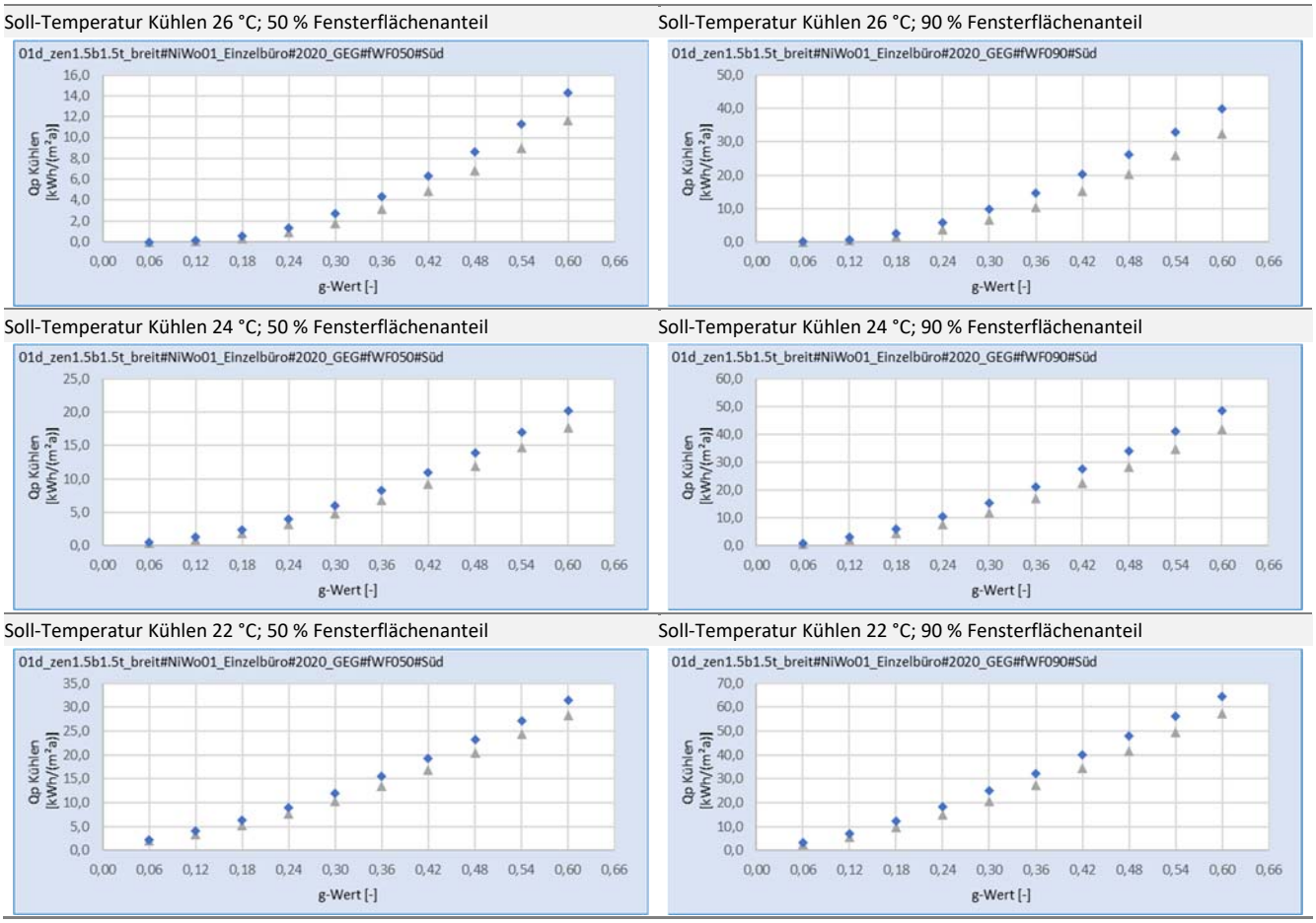


Bild 10-14: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Kühlung für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

Die primärenergetische Bewertung in Abhängigkeit der Soll-Temperatur für Kühlen in Bild 10-14 zeigt eine mit der Kostenbewertung korrelierende Bewertung, da hier sowohl für die Kosten als auch für die Kühlenergie ausschließlich der Energieträger Strom bewertet wird. Auf eine weitergehende textliche Erläuterung zur Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Soll-Temperaturen auf die primärenergetische Wirkung wird deshalb an dieser Stelle verzichtet. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass neben der Soll-Temperatur für den Kühlfall auch die Effizienz der Kältebereitstellung von hoher Bedeutung für die Kühlkosten sowie den Primärenergiebedarf ist. Weitergehende Auswertungen hierzu folgen in Abschnitt 10.4.5.

10.4.4 Einfluss eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Aufenthaltszeit

Erfährt ein gekühlter Raum außerhalb der Nutzungszeit (wochentäglich zwischen 18 Uhr abends und 7 Uhr morgens sowie an Samstagen und Sonntagen) einen erhöhten Luftwechsel, so kann hierdurch der für die Kühlung während der Nutzungszeit anfallende Kosten- bzw. Energieaufwand erheblich reduziert werden. Zur Quantifizierung folgen mit Bild 10-15 und Bild 10-16 die entsprechen Gegenüberstellungen für Situationen ohne erhöhte Lüftung (jeweils links) zu Situationen mit erhöhter Lüftung (jeweils rechts) für die fassadenbezogenen Fensterflächenanteile 50 % (jeweils oben) und 90 % (jeweils unten). In allen Fällen ist eine Soll-Temperatur für den Kühlfall von 24 °C und eine Südausrichtung unterstellt.

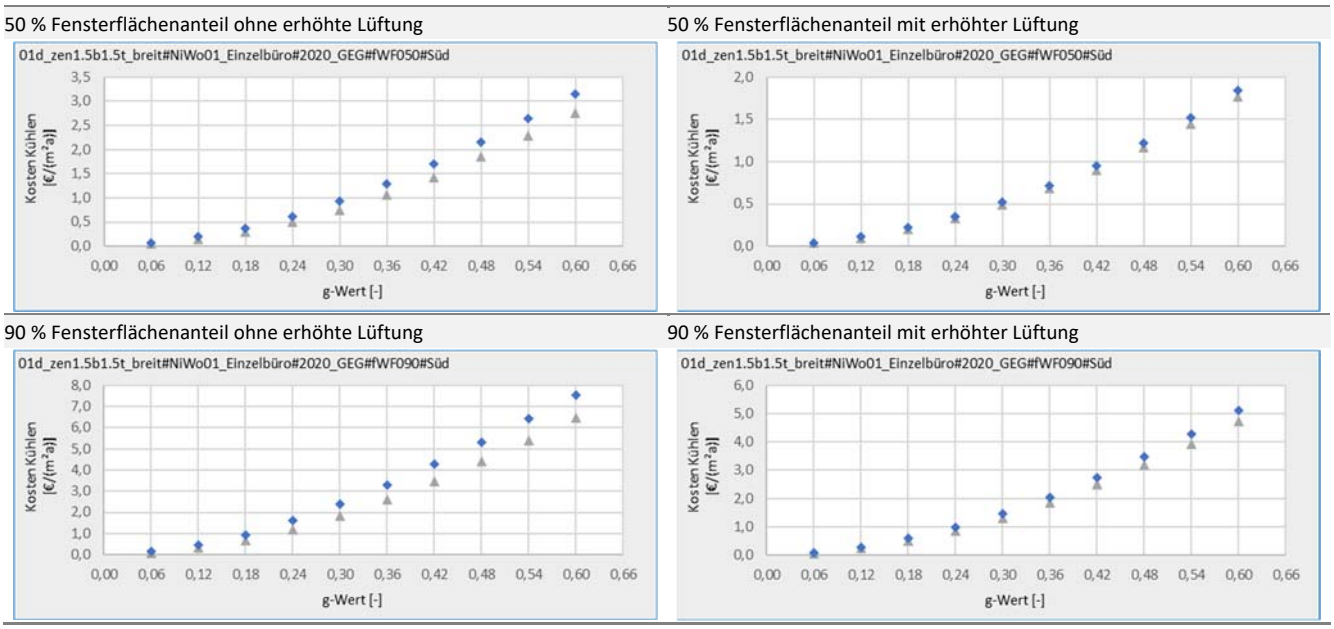


Bild 10-15: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

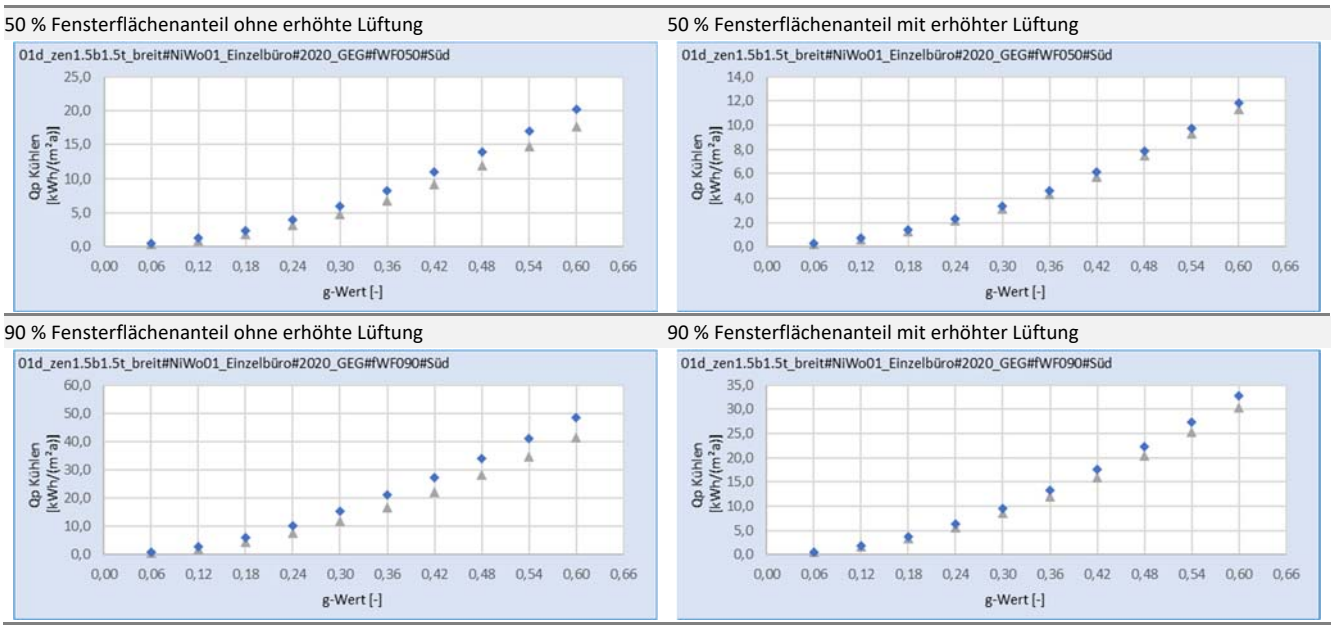


Bild 10-16: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Kühlung für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

Für die beiden betrachten Fensterqualitäten ergeben sich gemäß Darstellung Bild 10-15 bei den kleineren Fensterflächenanteil ohne erhöhten Luftwechsel (oben links) bei einem g-Wert von 0,60 Kosten für Kühlen von rund 2,90 €/(m²a). Bei einem g-Wert von 0,30 liegen die Kosten bei etwa 0,80 €/(m²a). Bei erhöhtem Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit ergeben sich Kühlkosten von etwa 1,80 €/(m²a) bei einem g-Wert von 0,60 bzw. in Höhe von 0,50 €/(m²a) für einen g-Wert von 0,30. Bei einem g-Wert von 0,60 bedeutet dies eine Reduktion der Kühlkosten um 38 % und bei einem g-Wert von 0,30 eine Reduktion der Kühlkosten um rund 37 %.

Für den größeren Fensterflächenanteil (unten in Bild 10-15) liegen die Kühlkosten im Mittel für die beiden Fensterqualitäten und für eine g-Wert von 0,60 bei rund 7,0 €/(m²a) sowie bei einem g-Wert von 0,30 bei etwa 2,0 €/(m²a). Ein erhöhter Luftwechsel reduziert diese Kosten auf 4,9 €/(m²a) bei einem g-Wert von 0,6 sowie auf 1,3 €/(m²a) bei einem g-Wert von 0,30. Bei

einem g-Wert von 0,60 bedeutet dies eine Reduktion der Kühlkosten um 30 % und bei einem g-Wert von 0,30 eine Reduktion der Kühlkosten um 35 %.

10.4.5 Einfluss der Anlageneffizienz der Kältebereitstellung

Die Anlageneffizienz der Kältebereitstellung wird über den sogenannten EER-Wert (Energy-Efficiency-Ratio) beschrieben. Bei den in den vorhergehenden Abschnitten dokumentierten Auswertungen ist ein EER-Wert von 3,0 zugrunde gelegt. Dies Wert bedeutet, dass aus einem Kilowatt elektrischer Kühlleistung eine thermische Kühlleistung von drei Kilowatt hervorgeht. Eine Erhöhung des EER-Wertes beschreibt somit eine effizientere Kühlung, ein reduzierter EER-Wert eine weniger effiziente Kühlung. Bild 10-17 und Bild 10-18 enthalten Auswertungen für EER-Werte von 2,0 (jeweils oben), 3,0 (jeweils mittig) sowie 4,0 (jeweils unten) für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 50 % (jeweils links) und 90 % (jeweils rechts). Hierbei ist in allen Fällen eine Südorientierung sowie eine Soll-Temperatur für den Kühlfall von 24 °C unterstellt.

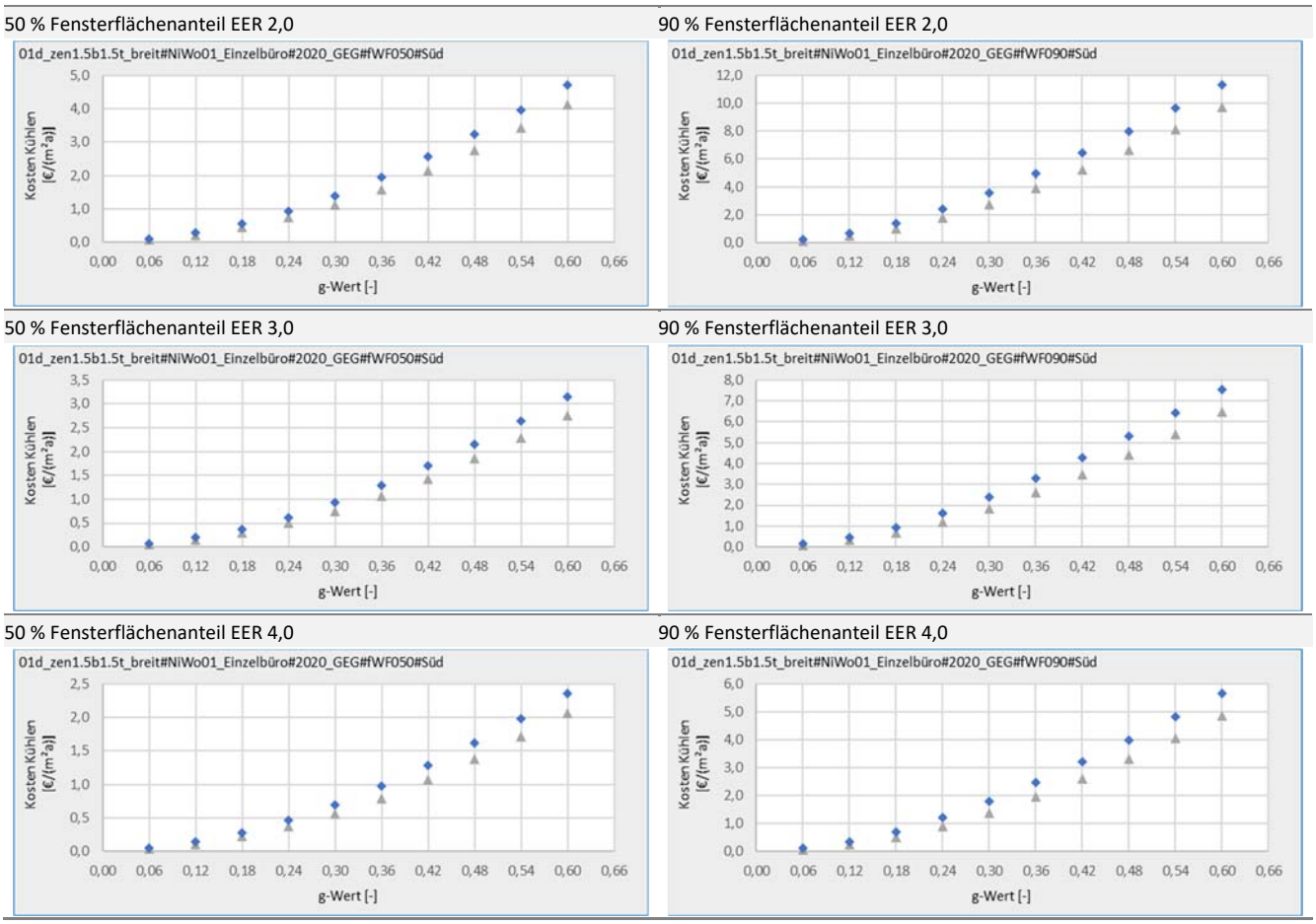


Bild 10-17: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

Für den fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 % (links in Bild 10-17) ergibt sich ausgehend von dem EER-Wert von 3,0 (mittig in Bild 10-17) bei Verschlechterung des EER-Wertes auf 2,0 für einen g-Wert von 0,60 eine Erhöhung der spezifischen Kühlkosten von im Mittel 2,9 €/(m²a) auf etwa 4,4 €/(m²a). Bei einem g-Wert von 0,30 erhöhen sich die Kosten von 0,8 €/(m²a) auf etwa 1,2 €/(m²a). Bei dem g-Wert von 0,60 entspricht dies einer Kostenerhöhung um mehr als 50 %, für den g-Wert von 0,30 ergeben sich ebenfalls um rund 50 % höhere Kosten.

Wird die Anlageneffizienz mit einem EER-Wert von 4,0 statt 3,0 bewertet, so reduzieren sich die spezifischen Kosten für Kühlung bei einem g-Wert von 0,60 auf rund 2,2 €/(m²a) und bei

einem g-Wert von 0,30 auf etwa 0,60 €/(m²a). Dies entspricht einer prozentualen Reduzierung im etwa 25 % für beide betrachteten g-Werte.

Bezüglich der Kostenveränderung in Abhängigkeit von dem EER-Wert bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 90 % wird an dieser Stelle auf eine weitergehende textliche Erläuterung verzichtet und auf die grafischen Auswertungen in Bild 10-17 verwiesen.

Auf eine textliche Erläuterung der primärenergetischen Auswirkung unterschiedlicher EER-Werte wird ebenfalls verzichtet. Die grafischen Auswertungen hierzu folgen mit Bild 10-18.

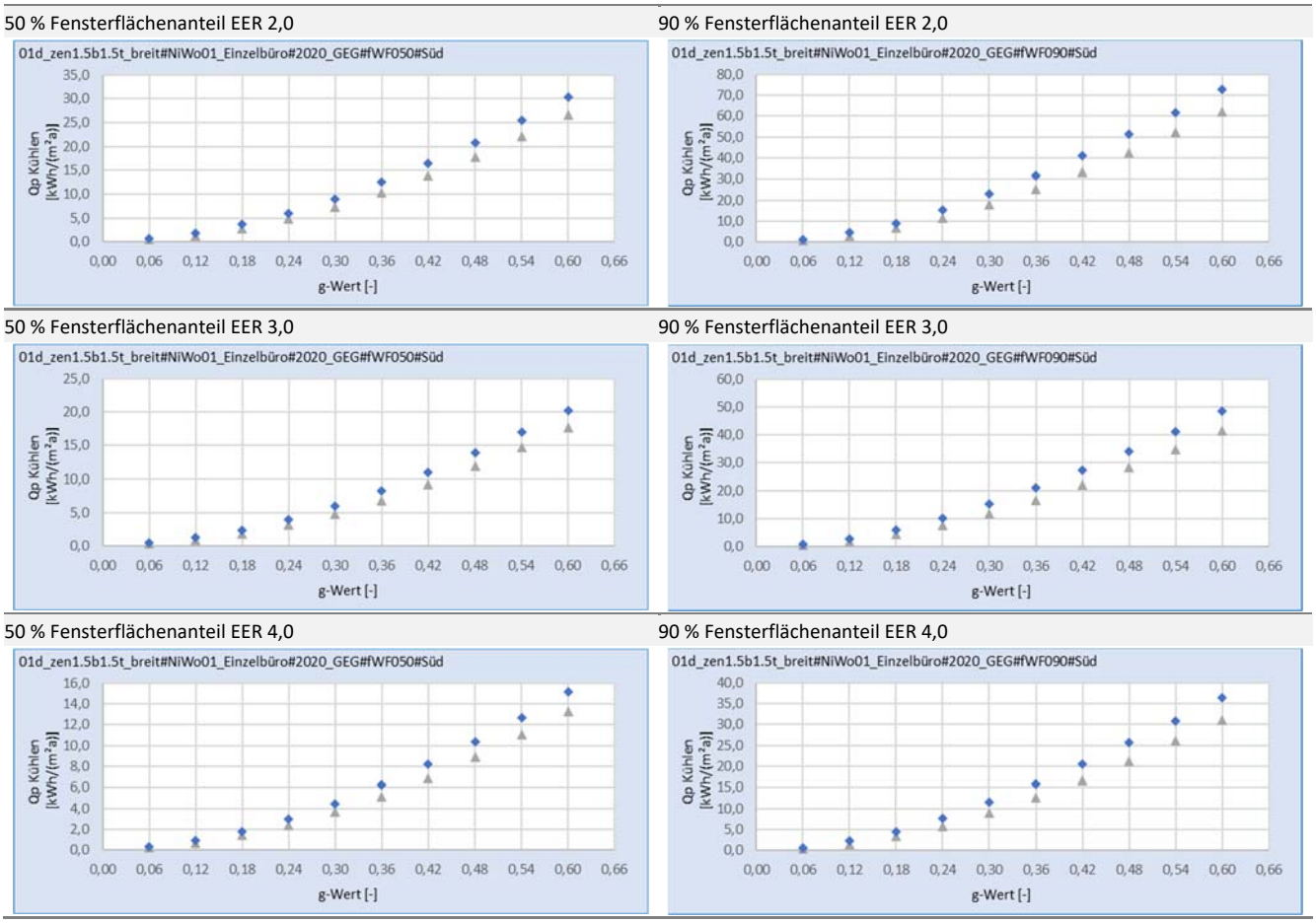


Bild 10-18: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Kühlung für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

10.5 Ergebnisse Heizen und Kühlen

Nach jeweils isolierter Betrachtung der Heiz- und Kühlbedarfe und korrespondierender Kosten für Heizen und Kühlen in den Abschnitten 10.3 und 10.4 folgt in diesem Abschnitt die Zusammenführung dieser Teilbewertungen. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diese Zusammenführung auf unterschiedlichen Berechnungsansätzen basiert (Monatsbilanz nach DIN V 18599 zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs Heizen und Simulationsrechnungen zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs Kühlen). Sowohl der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 als auch die Simulationsrechnungen wird dabei der Klimadatensatz für das Referenzklima Deutschland (Potsdam) zugrunde gelegt. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die Anlageneffizienz der Kühlung einen großen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Kommen effiziente Anlagen für die Kühlung zum Einsatz, ergeben sich deutlich geringere Kosten für die Kühlung und entsprechend abweichende integrale Bewertungen (siehe Abschnitt 10.4.5 für den Kühlbedarf sowie Abschnitt 10.5.5 für die integrale Bewertung von Heiz- und Kühlbedarf).

Die Auswertungen zum Einfluss unterschiedlicher U_W-/g-Wert-Kombinationen auf die energiebedingten Kosten sowie auf den spezifischen Primärenergiebedarf für Heizen und Kühlen erfolgen in den beiden Unterabschnitten zunächst für unterschiedliche Orientierungen (Abschnitt 10.5.1) bei einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 50 % und anschließend für unterschiedliche Fensterflächenanteile (Abschnitt 0) bei unterstellter Südorientierung. In den Abschnitten 10.5.3 bis 10.5.5 folgen weitere Auswertungen zur Variation von Soll-Temperatur Kühlen, zur Gegenüberstellung von Situationen ohne erhöhten Luftwechsel zu erhöhtem Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit sowie zu unterschiedlichen Anlageneffizienzen bei der Kältebereitstellung.

Hinweis: Es wird an dieser Stelle erneut darauf hingewiesen, dass die in diesem Abschnitt dokumentierten Ergebnisse ausschließlich Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz betrachten.

10.5.1 Variation Orientierung bei $f_{W,f}$ = 70 %

Analog zur den Auswertungen in den Abschnitten 10.3 und 10.4 folgen mit Bild 10-19 und Bild 10-20 zunächst die Auswertungen der spezifischen Kosten und des Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen (Einzelergebnisse Heizen siehe Abschnitt 10.3.2, Einzelergebnisse Kühlen siehe Abschnitt 10.4.1) bei Variation der Orientierung.

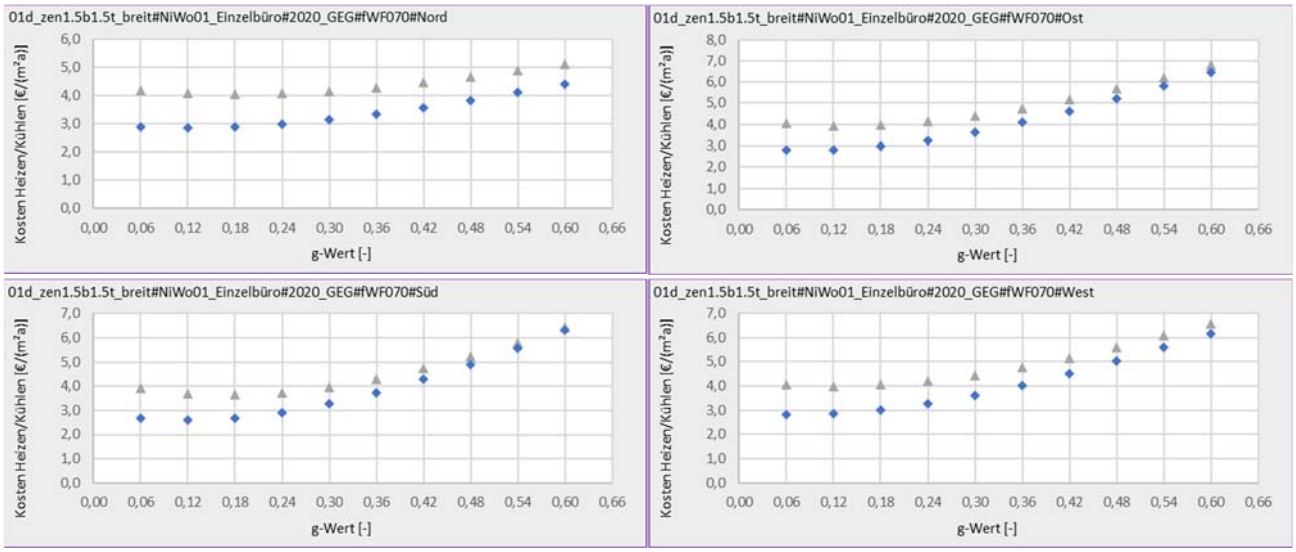


Bild 10-19: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %.

Die Zusammenführung der Ergebnisse der energiebedingten Kosten für Heizen und Kühlen in Bild 10-19 zeigt, dass unter Zugrundelegung der hier gewählten Randbedingungen mit einer

Erhöhung des g-Wertes auch eine Erhöhung der energiebedingten Kosten einhergeht. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die spezifischen Kosten für Heizen bei unterstellter fossiler Wärmebereitstellung vergleichsweise niedrig ausfallen (vgl. Bild 10-4, S. 129) und die Kosten für Kühlen bei diesem Fensterflächenanteil vergleichsweise hoch sind (vgl. Bild 10-10, S. 134) und somit in der zusammengeführten Bewertung dominieren.

Die mit Bild 10-20 folgenden Auswertungen zeigen die für Winter- und Sommerfall zusammengeführte primärenergetische Bewertung.

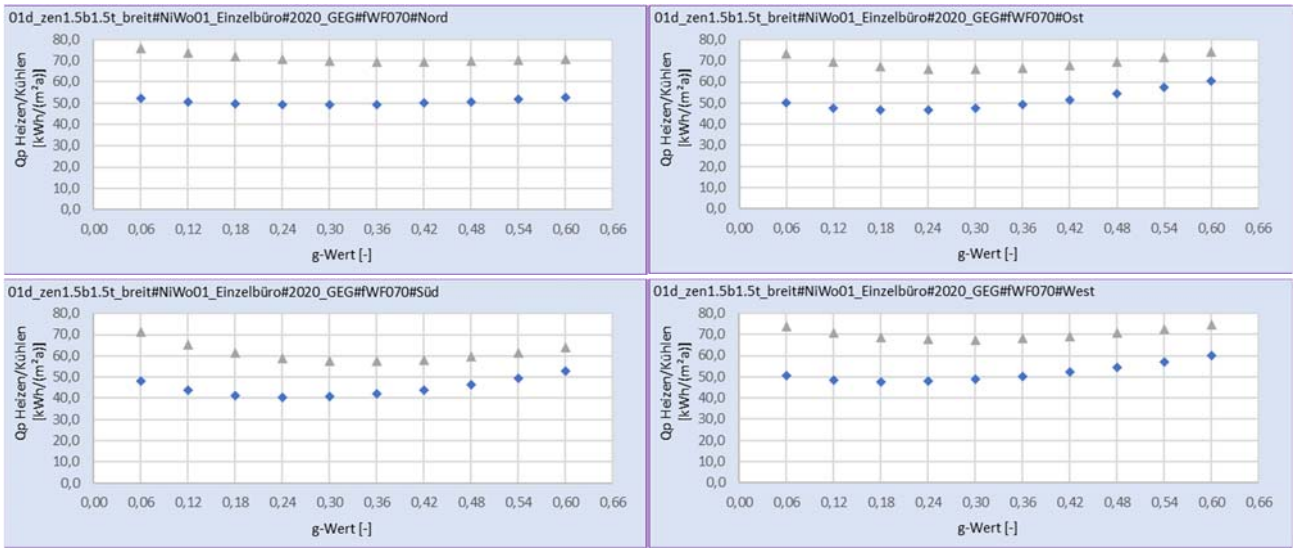


Bild 10-20: **Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %.**

Die mit Bild 10-20 gegenübergestellten primärenergetischen Bewertungen lassen erkennen, dass für die hier gewählten Randbedingungen je nach Orientierung aus der energetischen Perspektive ein optimaler g-Wert im Bereich zwischen g = 0,18 und 0,30 zu finden ist. Dass sich hier nicht, wie im Fall der Kostenbewertung mit steigendem g-Wert auch ein steigender Primärenergiebedarf einstellt, ist darauf zurückzuführen, dass die Bewertung der für Heizen aufzubringenden Energie mit einem Primärenergiefaktor von 1,1 (für den Energieträger Gas) und die für Energie für die Kühlung mit einem Primärenergiefaktor von 1,8 bewertet wird.

Hinweis: Auch hier erneut der Hinweis, dass die in diesem Abschnitt dokumentierten Ergebnisse ausschließlich Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz betrachten. Eine Bewertung unter Berücksichtigung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen minimiert den energetischen Aufwand erheblich, sodass der für Heizen erforderliche Energiebedarf in bei der Bewertung dominiert und das energetische (sowie auch das kostenmäßig) Optimum bei hohen g-Werten erreicht wird!

10.5.2 Variation Fensterflächenanteil bei Südorientierung

Für eine unterstellte Südorientierung bei Variation des Fensterflächenanteils zeigt Bild 10-21 die aus Heiz- und Kühlfall zusammengeführten Bewertungen der spezifischen Kosten (Einzelauswertung Heizen in Bild 10-6, S. 130 und Kühlen in Bild 10-12, S. 135). Bild 10-22 ergänzt die entsprechend zusammengeführte Bewertung für den Primärenergiebedarf.

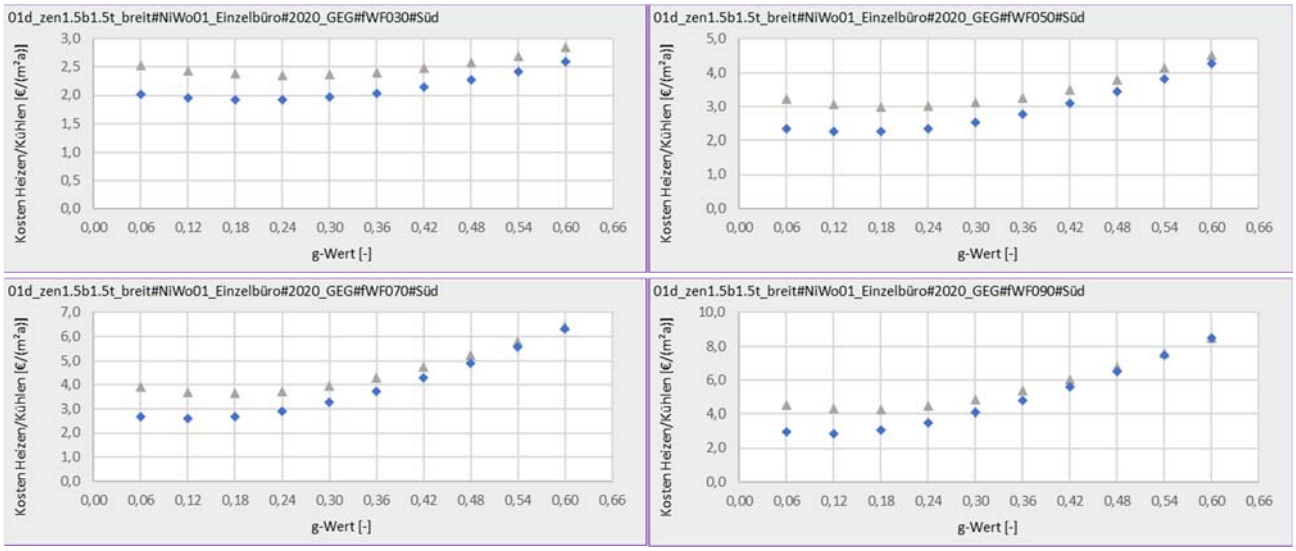


Bild 10-21: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung

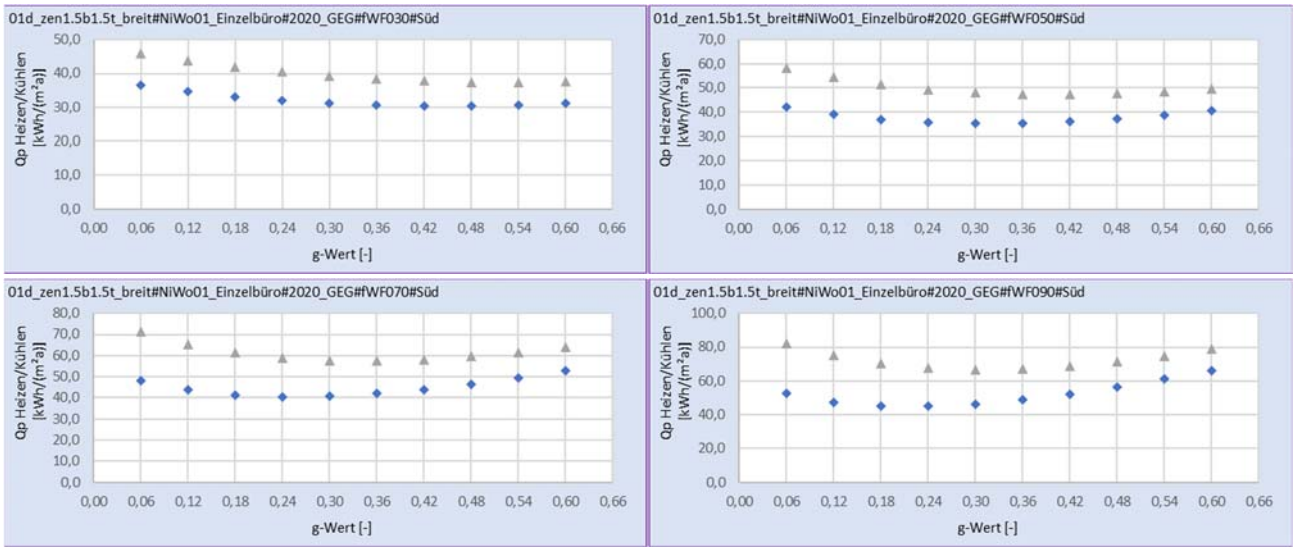


Bild 10-22: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung

Eindeutig zu erkennen ist, dass mit Erhöhung des Fensterflächenanteils auch eine Erhöhung der spezifischen Kosten verbunden ist. Für eine U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) bei einem g-Wert von 0,60 liegen die spezifischen Kosten für den 30 prozentigen Fensterflächenanteil bei rund 2 €/(m²a). Eine Verdreifachung der Fensterfläche auf einen 90 prozentigen Fensterflächenanteil führt zu spezifischen Kosten von 4,39 €/(m²a). Wie bereits die Auswertungen für die unterschiedlichen Orientierungen zeigen auch die Auswertungen zum Primärenergiebedarf, dass für einen g-Wert zwischen 0,24 und 0,30 ein Minimum festgestellt werden kann.

Aus der Perspektive der spezifischen Kosten würde (und dies gilt ausschließlich für die hier zugrunde gelegten Randbedingungen ohne beweglichen Sonnenschutz) eine Verringerung des g-Wertes grundsätzlich zu einer wirtschaftlicheren Lösung führen. Ein nur beheiztes Gebäude

würde sein wirtschaftliches Optimum bei einem möglichst hohen g-Wert erreichen, wobei selbstverständlich ggf. zusätzliche Limitierungen für den g-Wert aus den Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz zu beachten sind. Aus energetischer Perspektive liegt der optimale g-Wert (nur für die hier betrachteten Varianten) zwischen 0,24 und 0,30.

10.5.3 Variation Soll-Temperatur Kühlen

Der Einfluss der Soll-Temperatur im Kühlfall beeinflusst ausschließlich den für Kühlen aufzubringenden Kosten- bzw. Energieaufwand. Für Soll-Temperaturen von 26 °C und 22 °C folgt mit Bild 10-23 und Bild 10-24 die mit dem Heizfall zusammengeführte Bewertung für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50 und 90 %.

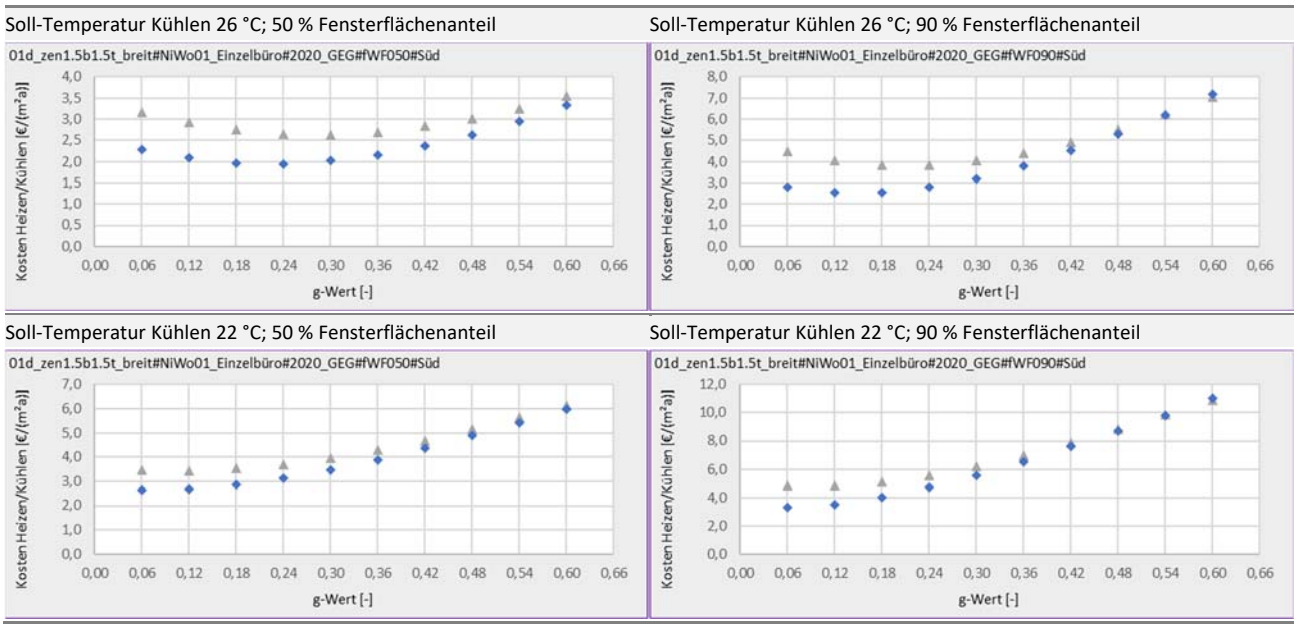


Bild 10-23: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

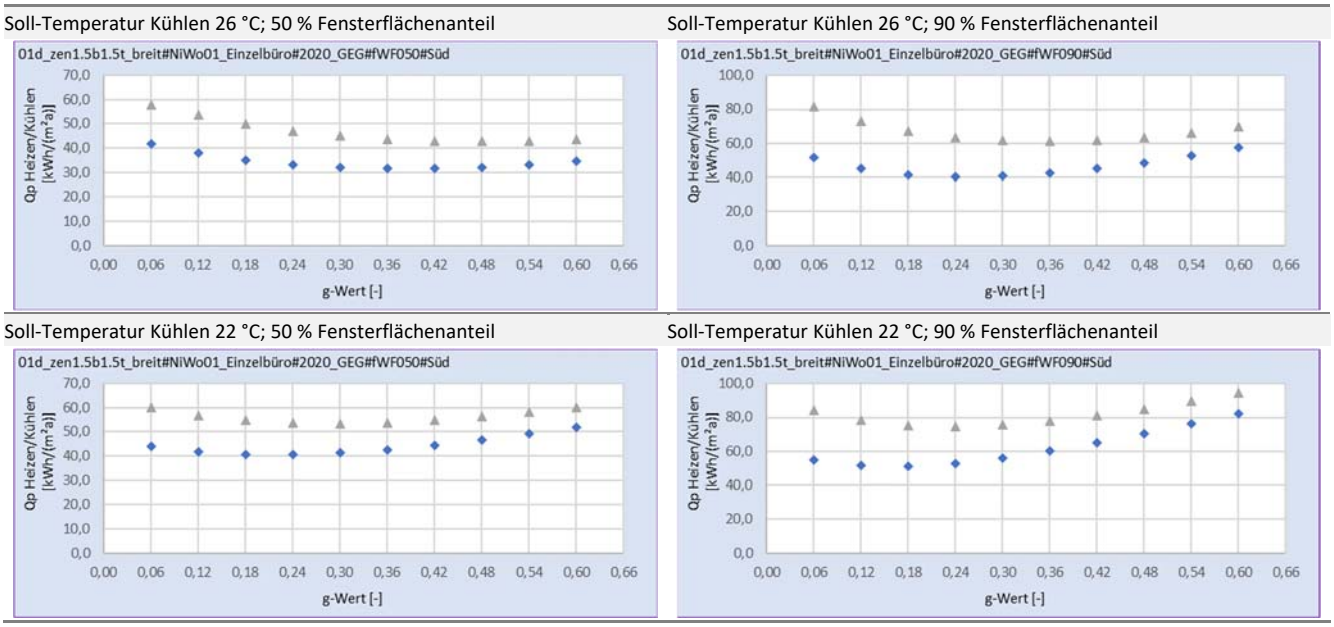


Bild 10-24: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

10.5.4 Einfluss eines erhöhten Luftwechsels außerhalb der Aufenthaltszeit

Die Auswertungen in Abschnitt 10.4.4 zeigen, dass ein erhöhter Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit eine deutliche Reduzierung der Kühlkosten bzw. der für Kühlung aufzubringenden Energie bedeutet. Die Auswertungen in Bild 10-25 und Bild 10-26 enthalten die für Heiz- u. Kühlfall zusammengeführten Bewertungen.

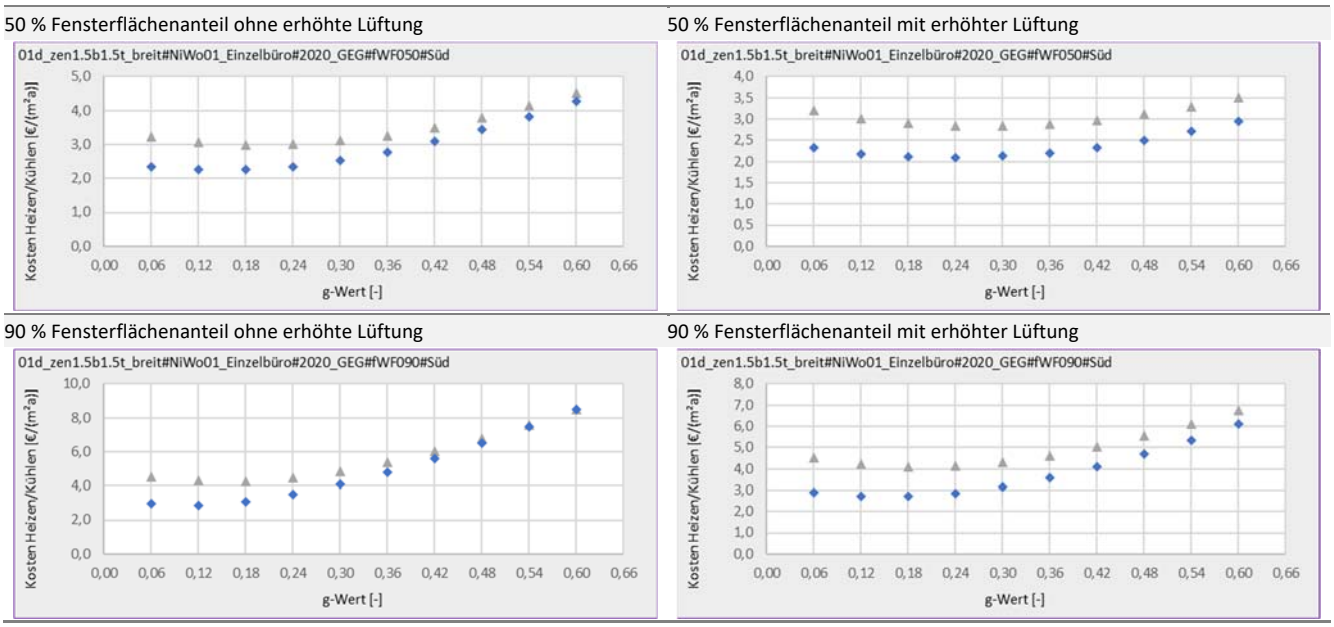


Bild 10-25: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

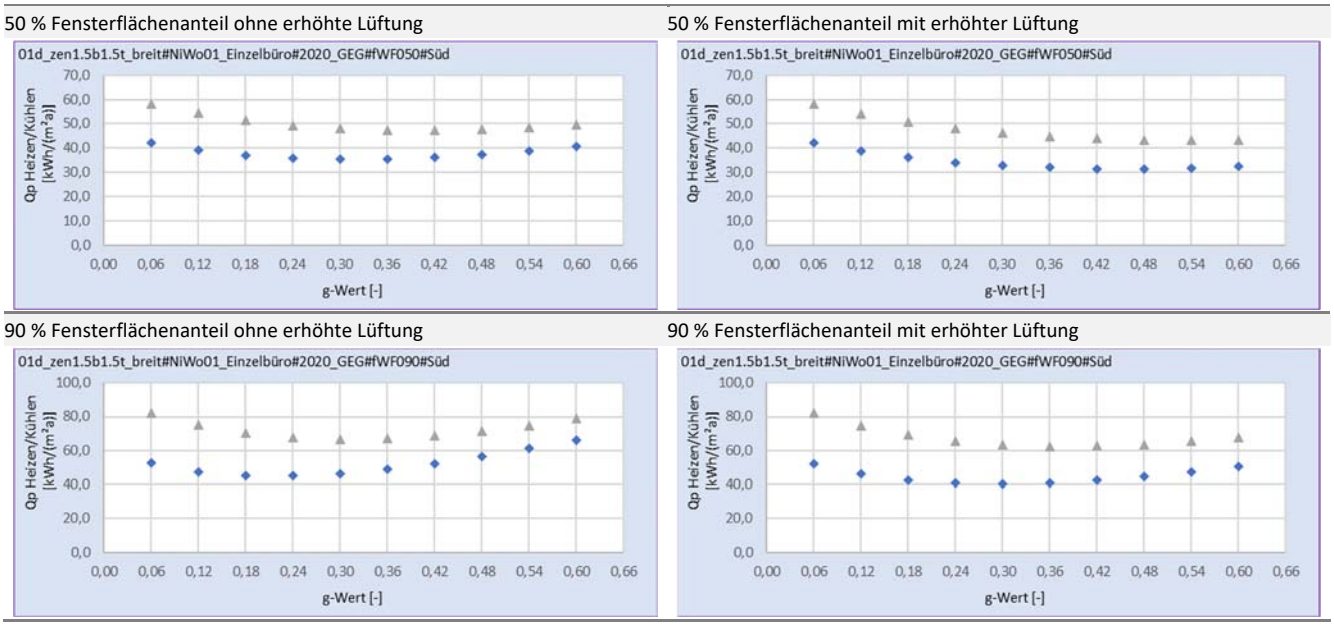


Bild 10-26: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

10.5.5 Einfluss der Anlageneffizienz der Kältebereitstellung

Neben der Soll-Temperatur für den Kühlfall und dem erhöhten Luftwechsel hat auch die Anlageneffizienz der Kältebereitstellung einen wesentlichen Einfluss auf die energiebedingten Kosten sowie die energetische Gesamtperformance. Bild 10-27 und Bild 10-28 enthalten die für Heizen und Kühlen zusammengefasste Bewertung, wobei EER-Werte von 2,0 und 4,0 für die fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 50 und 90 % ausgewertet sind.

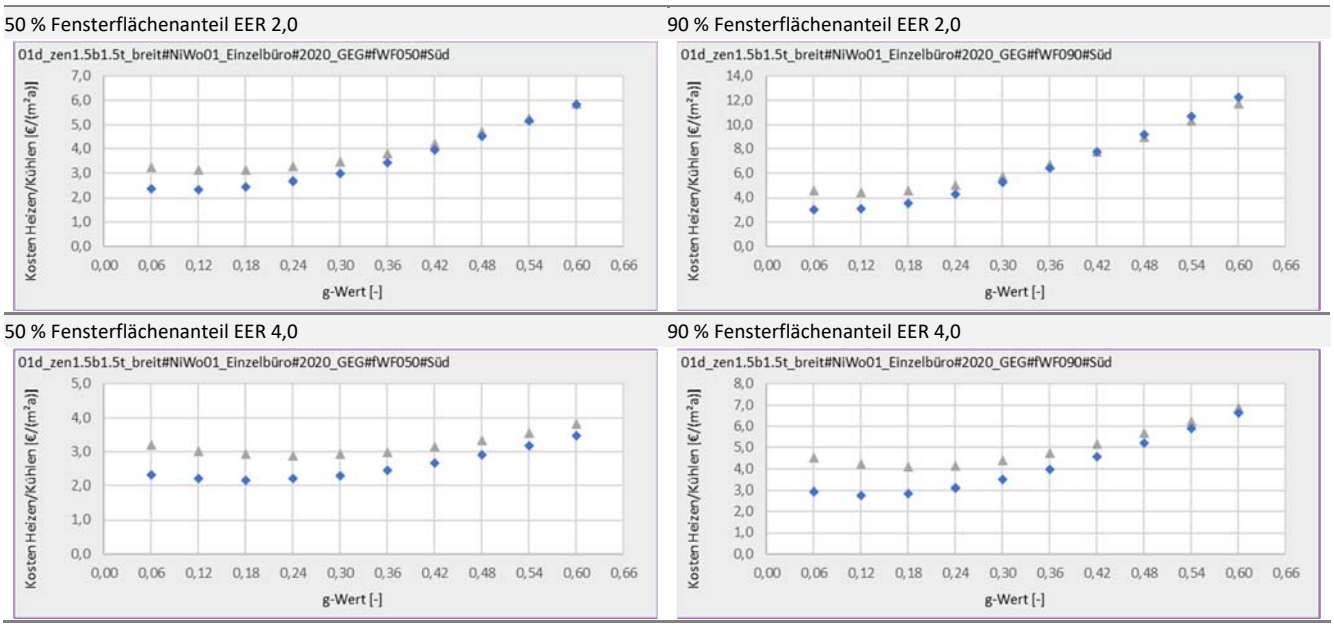


Bild 10-27: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

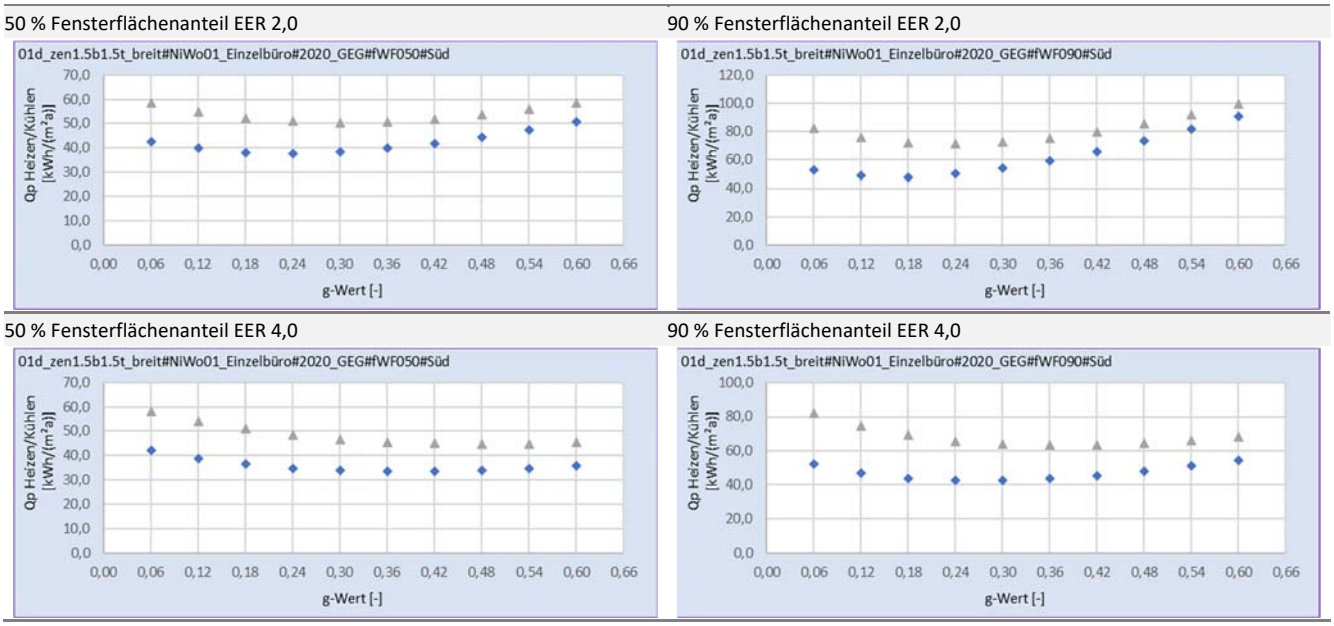


Bild 10-28: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020

11 Auswirkungen des Klimawandels auf winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz

Den bislang dokumentierten Ergebnissen der vorhergehenden Kapitel liegen als Klimarandbedingungen die nach öffentlich-rechtlicher Anforderungssystematik gegenwärtig durch das GEG [3] vorgegebenen Klimadaten zugrunde. Diese Klimadaten beschreiben aktuelle mittlere Klimaverhältnisse für Deutschland. Für die energetischen Bilanzierungen entspricht dies dem Referenzklima Deutschland nach DIN V 18599-10 [8], für die Simulationsrechnungen zum sommerlichen Wärmeverhalten dem Standort Potsdam (TRY-Region 4 aus [9]) für die Klimaregion B (gemäßigtes Klima), bzw. dem Standort Rostock). Das benannte Testreferenzjahr bildet auch die Grundlagen für das Referenzklima Deutschland.

Die mit diesem Kapitel ergänzten Auswertungen sollen eine Abschätzung erlauben, inwieweit sich das sommerliche und winterliche Wärmeverhalten bei weiter voranschreitendem Klimawandel verändert. Hierzu erfolgen Berechnungen unter Ansatz von Zukunfts-Klimadaten, welche zusammen mit den „normalen“ Testreferenzjahren auch mit [9] bereitgestellt werden. Rein qualitativ geht mit dem weiter voranschreitenden Klimawandel eine Bedarfsreduzierung für den Heizwärmebedarf und eine Bedarfserhöhung für den Kühlkältebedarf einher. Wird ein Raum oder Gebäude nicht gekühlt, erhöht sich die thermische Beanspruchung und es resultiert im Vergleich zu dem jetzigen mittleren Klima eine Verschlechterung des thermischen Komforts.

Die Berechnungen unter Ansatz von Zukunfts-Klimadaten erfolgen im Rahmen dieser Studie für den im Folgenden beschriebenen Rechenumfang:

1. Räume: zen, zen_breit, zen1.5b1.5t und zen1.5b1.5t_breit
2. Fensterflächenanteile: 30, 50, 70 und 90 % (fassadenbezogen)
3. Orientierung: Haupthimmelsrichtungen
4. Niveau: GEG 2020 (Ausführung der Außenwand, in der sich das Fenster befindet gemäße Referenzausführung GEG 2020)
5. U_W-Werte: 1,3 bis 0,70 W/(m²K) mit ΔU_W = 0,10 W/(m²K) für DIN V 18599 sowie 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Simulationsrechnungen
6. g-Werte: 0,60 bis 0,06 mit Δg = 0,06
7. Nutzungen:
   a) Wohnnutzung: EFH, MFH nach DIN V 18599 sowie Wohnnutzung nach DIN 4108-2
   b) Nichtwohnnutzung: Einzelbüro (1), Großraumbüro (3) nach DIN V 18599 sowie Nichtwohnnutzung nach DIN 4108-2
8. Kühlung: ohne Kühlung, mit Kühlung auf 26 °C, 24 °C und 22 °C

Die Dokumentation von Ergebnissen beschränkt sich auf eine Auswahl von Berechnungsfällen, anhand derer eine gute Abschätzung zur Auswirkung des weiter voranschreitenden Klimawandels auf die Heiz- und Kühlbedarfe sowie auf die Komfortveränderung möglich ist. Zunächst erfolgt mit Abschnitt 11.1 die Auseinandersetzung mit der Veränderung des Heiz- und Kühlbedarfs anhand der Gegenüberstellung von Ergebnissen aus Simulationsrechnungen. Welche Auswirkungen der Ansatz von zukünftigen Klimadaten auf den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 haben, wird in Abschnitt 11.2 bewertet. Die Auswirkungen unter Ansatz des Zukunftsklimas auf den Nutzenergiebedarf Heizen bei Bilanzierung nach DIN V 18599 wird in Abschnitt 11.3 erläutert. Im Zusammenhang mit der Veränderung im Heizwärmebedarf folgt hier auch eine Auswertung in Bezug auf die S_F-Werte.

Informativ erfolgt in Anhang A, Abschnitt A 3 die Ausweisung von Strahlungsdaten und Außentemperaturen für die aktuellen mittlere Klimadaten im Vergleich zu den Zukunftsklimadaten für den Standort Potsdam.

11.1 Simulationsrechnungen Heizwärme- und Kühlkältebedarf

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Heizwärme- und Kühlkältebedarf wird im Folgenden anhand von Ergebnissen aus Simulationsrechnungen bewertet. Hierbei erfolgt die Gegenüberstellung von Berechnungsergebnissen unter Ansatz des aktuellen mittleren Klimas im Vergleich zum mittleren Zukunftsklima der Periode 2020 bis 2050. Beide Klimadatensätze werden mit [9] bereitgestellt.

11.1.1 Auswertungen Nutzkälte: Einzelauswertungen für U_W = 1,3 W/(m²K) für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 und 90 Prozent

Anhand von Bild 11-1 erfolgt die Gegenüberstellung der Nutzkältebedarfe für das aktuelle mittlere Klima gegenüber dem zukünftigen mittleren Klima. Den Simulationsrechnungen liegt das Raummodell zen zugrunde. Die Ergebnisse werden für einen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 30 % (links) und 90 % (rechts) für alle Haupthimmelsrichtungen ausgewiesen. Für die Simulationsrechnungen wird eine ideale Kühlung auf 22 °C bei Büronutzung unterstellt.

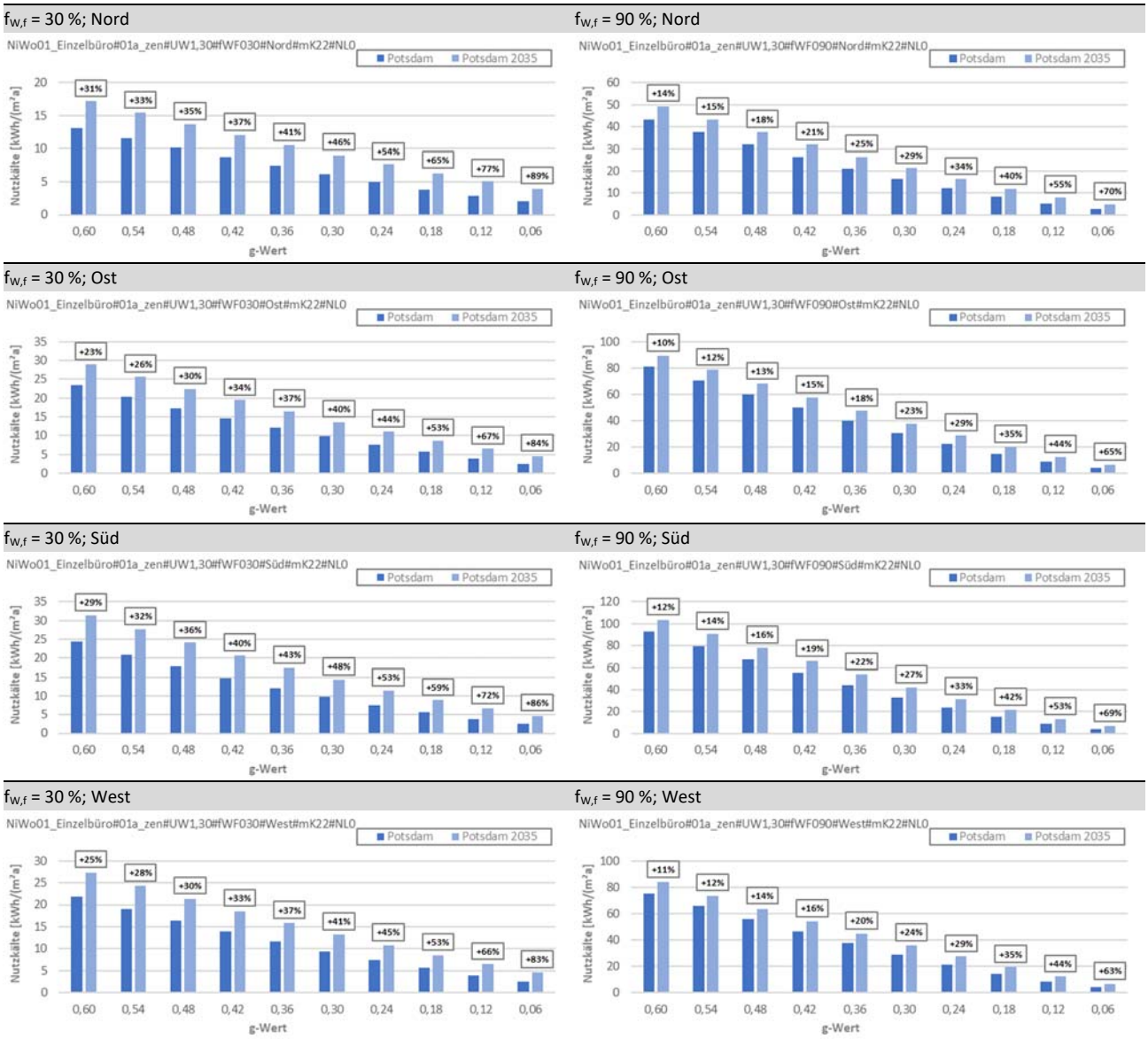


Bild 11-1: Gegenüberstellung von Nutzkältebedarfswerten für aktuelles und zukünftiges Klima am Standort Potsdam. Auswertungen für den Raum „zen“ für eine Fensterqualität mit U_W = 1,3 W/(m²K) bei Variation des g-Werts im Bereich zwischen 0,60 und 0,06. Links: Auswertungen für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 30 % (links) und 90 % (rechts) für alle Haupthimmelsrichtungen

Bezogen auf eine übliche Zweischeiben-Ausführung des Fensters mit einem U_W-Wert von 1,3 W/(m²K) mit einem g-Wert von 0,60 ergibt sich für kleine Fensterflächenanteile eine Bedarfserhöhung je nach Orientierung zwischen 23 und 31 %. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Ordinatenskalierungen der einzelnen Diagramme untereinander abweichen. Dies ist insbesondere bei dem Vergleich der prozentualen Veränderungen zu beachten, da sich diese Angaben stets auf unterschiedliche Ausgangswerte beziehen. Für große Fensterflächen ergibt sich eine prozentuale Bedarfserhöhung zwischen 10 und 14 %, die sich allerdings im Vergleich zu den geringen Fensterflächenanteilen auf höhere Bedarfswerte beziehen.

Ergänzend zu den obigen Auswertungen folgt mit Bild 11-2 und Bild 11-3 die grafisch Auswertung der Korrelation der Nutzkältebedarfe Potsdam zu Potsdam 2035, getrennt für die Fensterqualitäten U_W = 1,30 W/(m²K) und 0,70 W/(m²K) für alle betrachteten Fensterflächenanteile und Orientierungen.

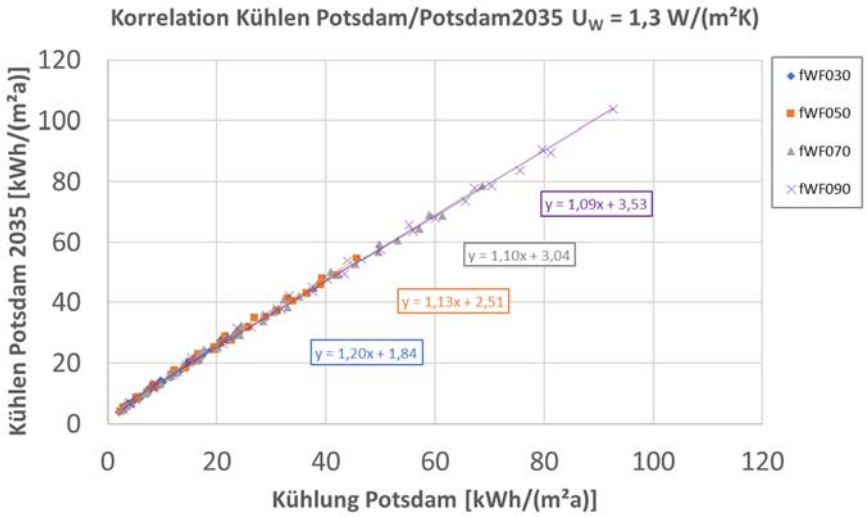


Bild 11-2: Korrelation Nutzkältebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K)

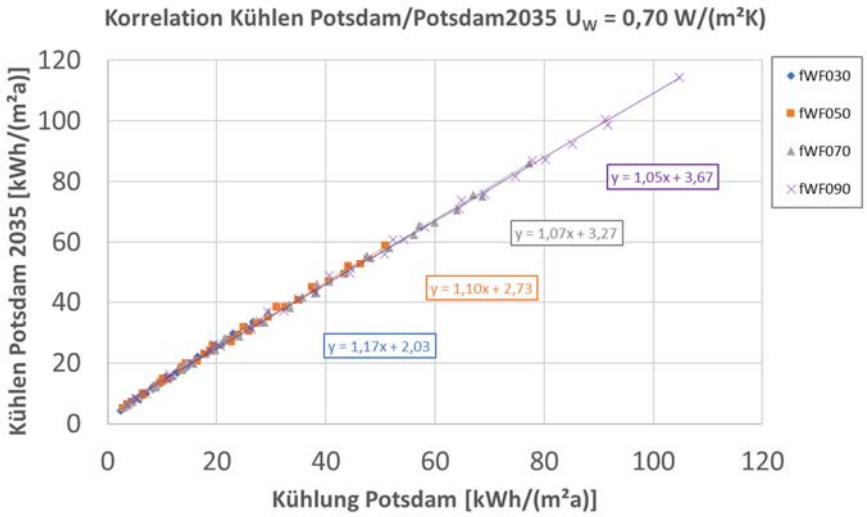


Bild 11-3: Korrelation Nutzkältebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 0,70 W/(m²K)

Die Auswertungen in Bild 11-2 und Bild 11-3 beschreiben jeweils über Geradengleichungen die Korrelation für den Energiebedarf für Kühlen zwischen aktuellem und künftigem mittlerem Klima. Je nach Fensterqualität und Fensterflächenanteil ergibt sich aus dieser Darstellung eine Zunahme der Kühlenergie um 5 bis 20 % unter künftigen Klimarandbedingungen.

11.1.2 Auswertungen Heizwärme: Einzelauswertungen für U_W = 1,3 W/(m²K) für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 und 90 Prozent

Analog zur Auswertung für die Kühlbedarfe folgt mit Bild 11-4 die Gegenüberstellung der Nutzwärmebedarfe Heizen für aktuelles und zukünftiges mittleres Klima.

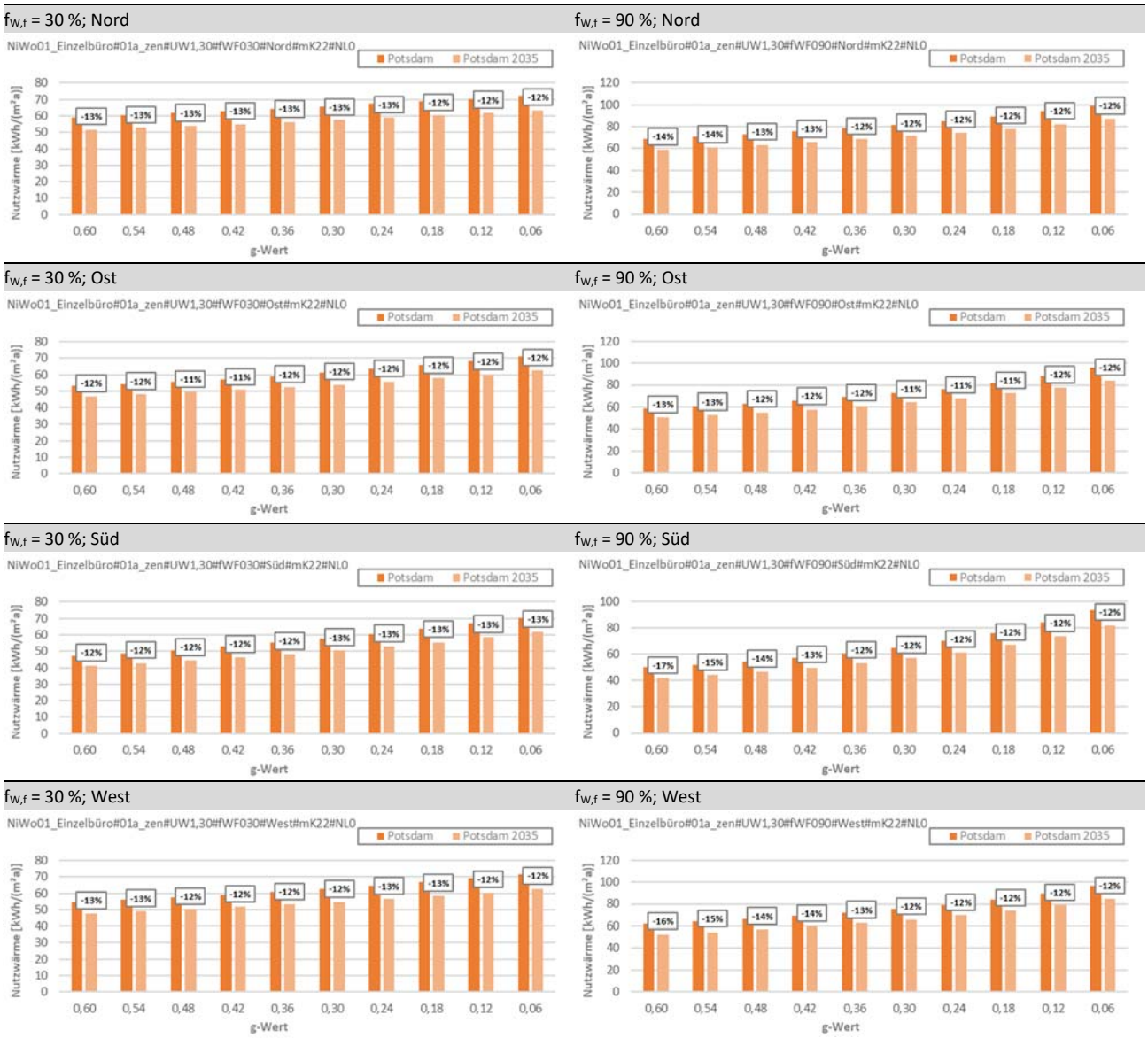


Bild 11-4: Gegenüberstellung von Nutzwärmebedarfswerten für aktuelles und zukünftiges Klima am Standort Potsdam. Auswertungen für den Raum „zen“ für eine Fensterqualität mit U_W = 1,3 W/(m²K) bei Variation des g-Werts im Bereich zwischen 0,60 und 0,06. Links: Auswertungen für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 30 % (links) und 90 % (rechts) für alle Haupthimmelsrichtungen

Nach Bild 11-4 ergibt sich infolge des Klimawandels für kleine Fensterflächenanteile (bei U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60) eine Reduzierung des Nutzenergiebedarfs Heizen von 12 bis 13 Prozent. Im Fall der großen Fensterflächen zwischen 13 und 17 Prozent je nach Orientierung.

Für die zusammenfassende Bewertung zum Einfluss den Klimawandels auf den Nutzenergiebedarf Heizen folgt mit Bild 11-5 und Bild 11-6 die grafische Auswertung der Korrelationen Nutzwärme Potsdam/Potsdam 2035 für die U_W-Werte 1,3 und 0,70 W/(m²K).

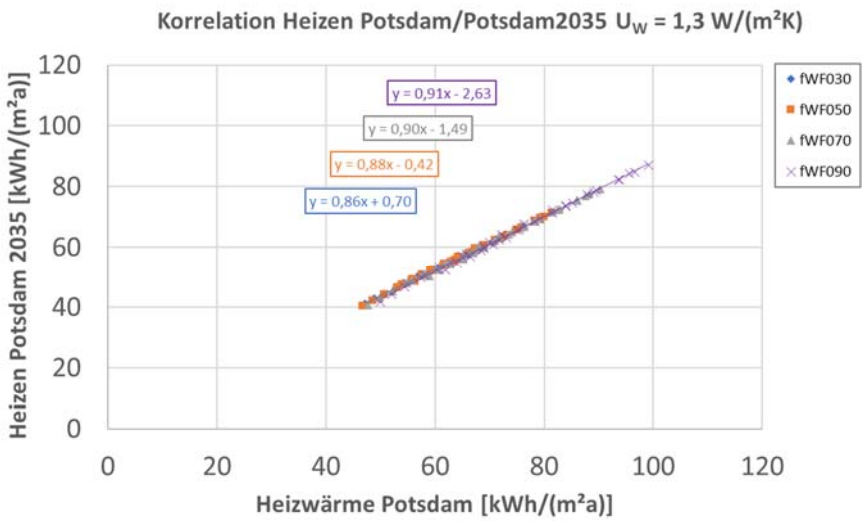


Bild 11-5: Korrelation Nutzwärmebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K)

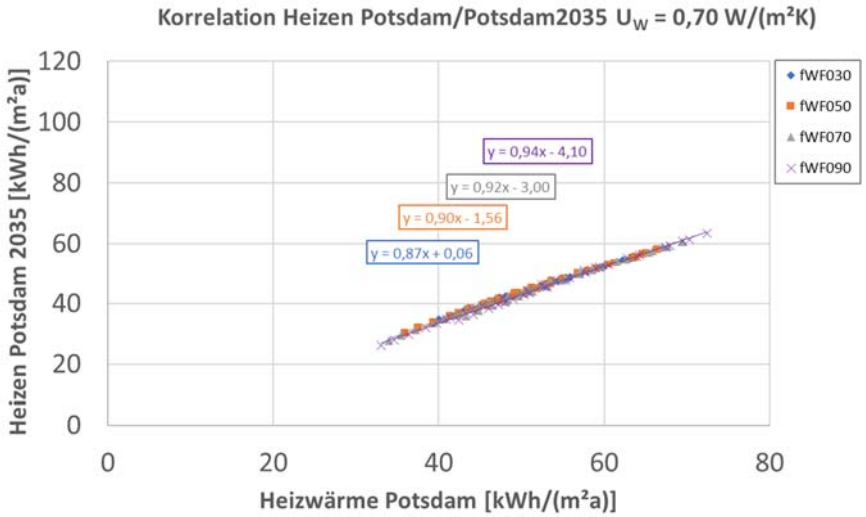


Bild 11-6: Korrelation Nutzwärmebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 0,70 W/(m²K)

Die Auswertungen in Bild 11-5 und Bild 11-6 beschreiben jeweils über Geradengleichungen die Korrelation für den Energiebedarf für Heizen zwischen aktuellem und künftigem mittleren Klima. Je nach Fensterqualität und Fensterflächenanteil ergibt sich aus dieser Darstellung eine Abnahme der Heizenergie um 6 bis 14 % unter künftigen Klimarandbedingungen.

11.2 Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (DIN 4108-2)

Die Auswertungen dieses Abschnitts stellen dar, welche Konsequenzen sich aus dem Ansatz des zukünftigen mittleren Klimas im Vergleich zu dem aktuellen mittleren Klima hinsichtlich der zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz ergeben. Für diese Auswertungen wird die gegenwärtige Anforderungssystematik für Wohnnutzung nach DIN 4108-2 zugrunde gelegt. Die Auswertungen erfolgen getrennt für die Situationen ohne und mit beweglichem Sonnenschutz jeweils für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50 % und 90 %.

11.2.1 Fälle ohne beweglichen Sonnenschutz

Die Darstellungen in Bild 11-7 beschreiben die nach DIN 4108-2 für Wohnnutzung zulässigen Ausführungen zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz bei Wohnnutzung.

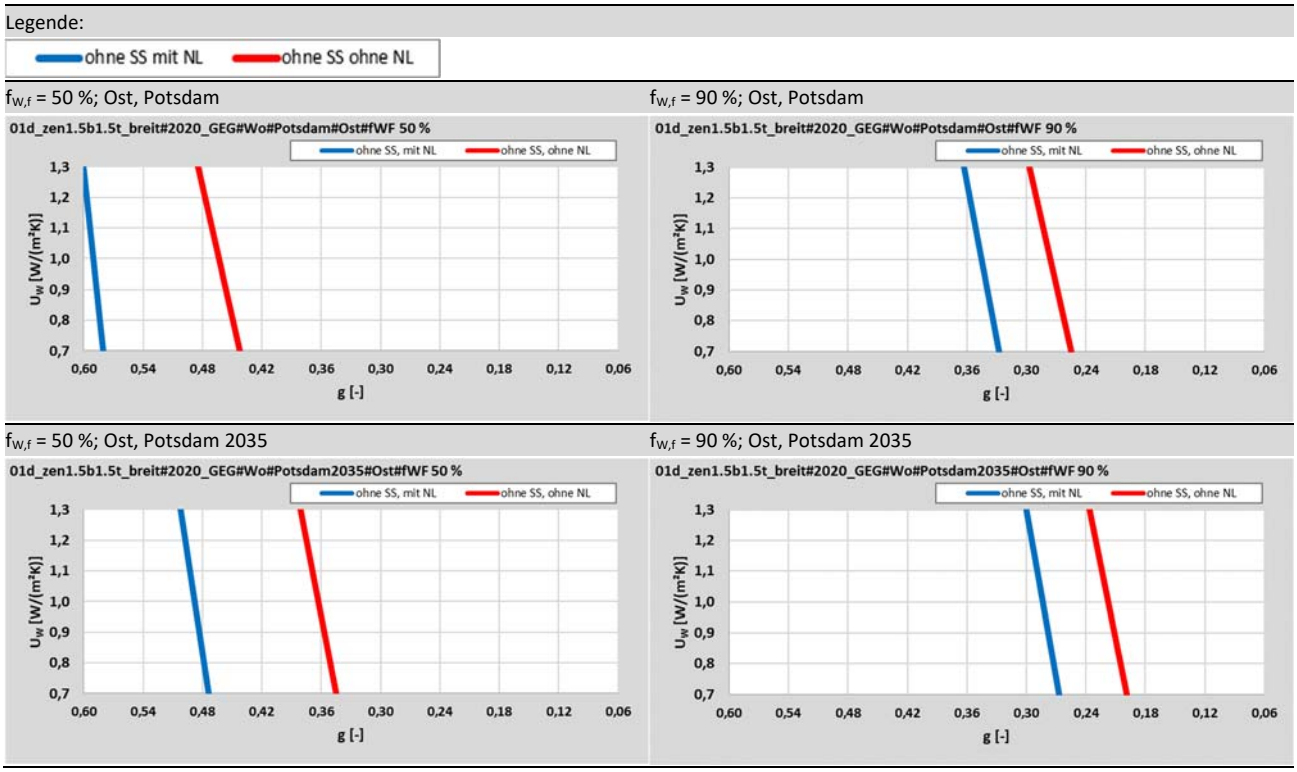


Bild 11-7: Gegenüberstellung der nach DIN 4108-2 erforderlichen Qualitäten (Kombination von U_W- und g-Wert) zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Wohnnutzung) für aktuelles mittleres Klima (oben) und zukünftiges mittleres Klima (unten) für den Standort Potsdam.

Kombinationen von UW- und g-Werten, die sich jeweils links von den in Bild 11-7 dargestellten Graphen befinden, führen zu einer Überschreitung des für Wohnnutzung geltenden Maximalwertes der Übertemperaturgradstunden von 1.200 Kh/a und sind insofern unzulässige Ausführungen. Die Diagramme (links: fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %, rechts 90 %) oben beschreiben die zulässigen Ausführungen unter Ansatz des aktuellen mittleren Klimas, die unteren Diagramme für das mittlere Zukunftsklima. Der direkte Vergleich der Graphen in den oberen Diagrammen mit den nach rechts verschobenen Graphen in den unteren Diagrammen beschreibt den Einfluss des Klimawandels. Am Beispiel des Diagramms oben links ergibt sich für die Situation ohne Nachtlüftung (roter Graph) bei einem UW-Wert von 1,3 W/(m²K) ein höchstens zulässiger g-Wert von etwa 0,48. Der höchstens zulässige g-Wert für dieselbe Situation im Diagramm unten links liegt bei etwa 0,38.

11.2.2 Fälle mit beweglichem Sonnenschutz

Analog zur Betrachtung der Situation ohne beweglichen Sonnenschutz folgt mit Bild 11-8 die grafische Auswertung zu Varianten mit beweglichem Sonnenschutz. Ausgewertet sind hierin die Glasqualitäten g = 0,60 und g = 0,42 jeweils für den Ansatz mit und ohne Nachtlüftung.

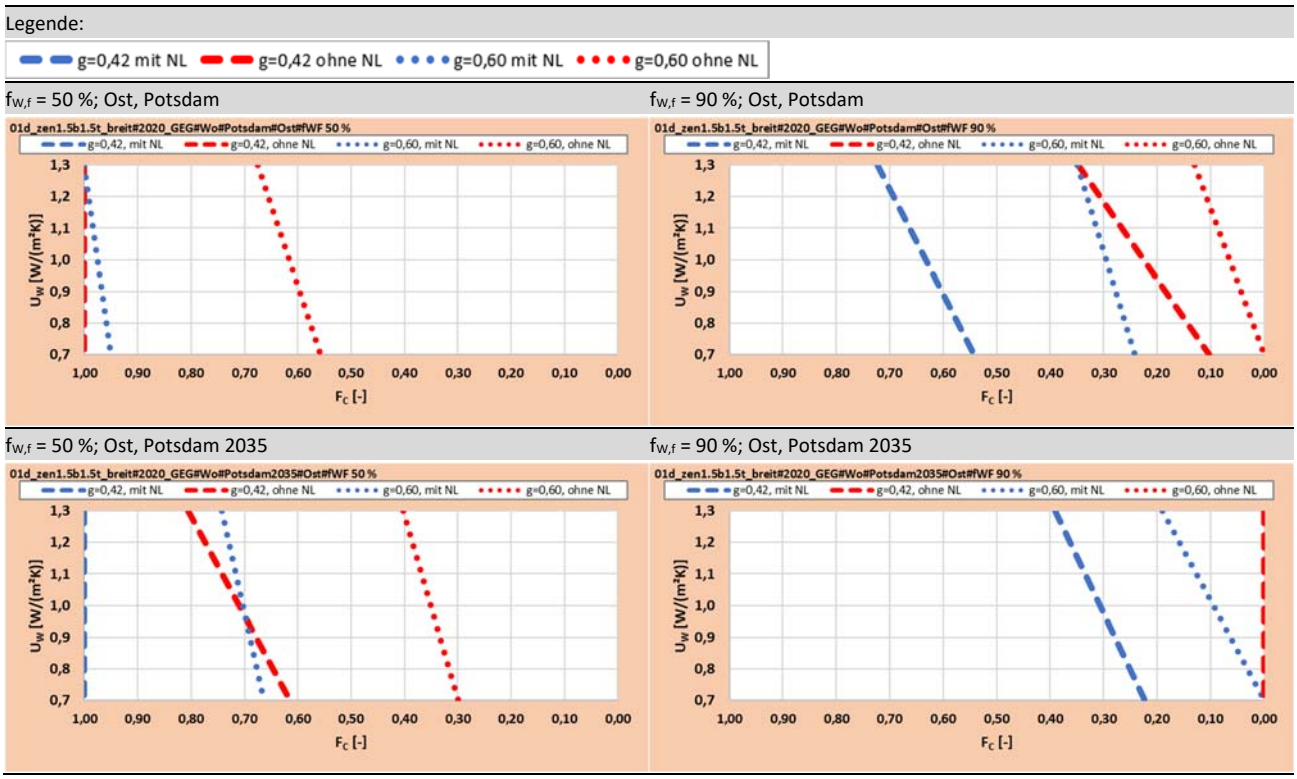


Bild 11-8: Gegenüberstellung der nach DIN 4108-2 erforderlichen Qualitäten (Kombination von U_W- und F_C-Wert) zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Wohnnutzung) für aktuelles mittleres Klima (oben) und zukünftiges mittleres Klima (unten) für den Standort Potsdam.

Anhand der Auswertungen in Bild 11-8 können die fallweise zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 erforderlichen Kombinationen für U_W- und F_C-Wert identifiziert werden. Analog zu den Auswertungen in Bild 11-7 beschreiben alle U_W- und F_C-Wert-Kombinationen links der dargestellten Graphen unzulässige Ausführungen. Der direkte Vergleich einzelner Graphen aus der jeweils oberen Auswertung (normales mittleres Klima) zur darunter befindlichen Darstellung beschreibt auch hier den Einfluss des Klimawandels und die erforderliche Verbesserung im F_C-Wert.

11.3 Nutzbarkeit solarer Wärmeeinträge und Bestimmung von S_F-Werten auf Basis von Berechnungen nach DIN V 18599

Die rechnerische Bestimmung von S_F-Werten als Basis für einen Vorschlag zur Fortschreibung der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik in Verbindung mit einer Neubewertung der solaren Wärmeeinträge erfolgt unter Zugrundelegung des im Gebäudeenergiegesetz (GEG) [3] vorgegebenen Klimas (Referenzklima Deutschland). Zur Abschätzung, in welcher Größenordnung die Methodik zur Bestimmung von S_F-Werten zu abweichenden Ergebnissen führt, wenn anstelle der aktuellen mittleren Klimadaten die Zukunftsklimadaten für den Standort Potsdam zugrunde gelegt werden, erfolgt im Weiteren die Gegenüberstellung der ermittelten Werte. Die Berechnungen sind beschränkt auf den Anwendungsfall Wohnnutzung (differenziert zwischen EFH und MFH) für drei unterschiedliche Wärmeschutzniveaus der Außenwand (WSV 1982, WSV 1995 und GEG 2020) und werden in Bild 11-9 beispielhaft für das Niveau GEG und Nutzung EFH ausgewertet. Analog zu den zuvor dokumentierten Auswertungen werden hier sowohl die Ergebnisse für das aktuelle Klima (oben) als auch für das zukünftige mittlere Klima (unten) für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 50 und 90 % dargestellt. Zusätzlich zu werden die Limitierungen des Sommerfalls für die Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz (vgl. Abschnitt 11.2.1) für mit und ohne erhöhte Nachtlüftung mit dargestellt.

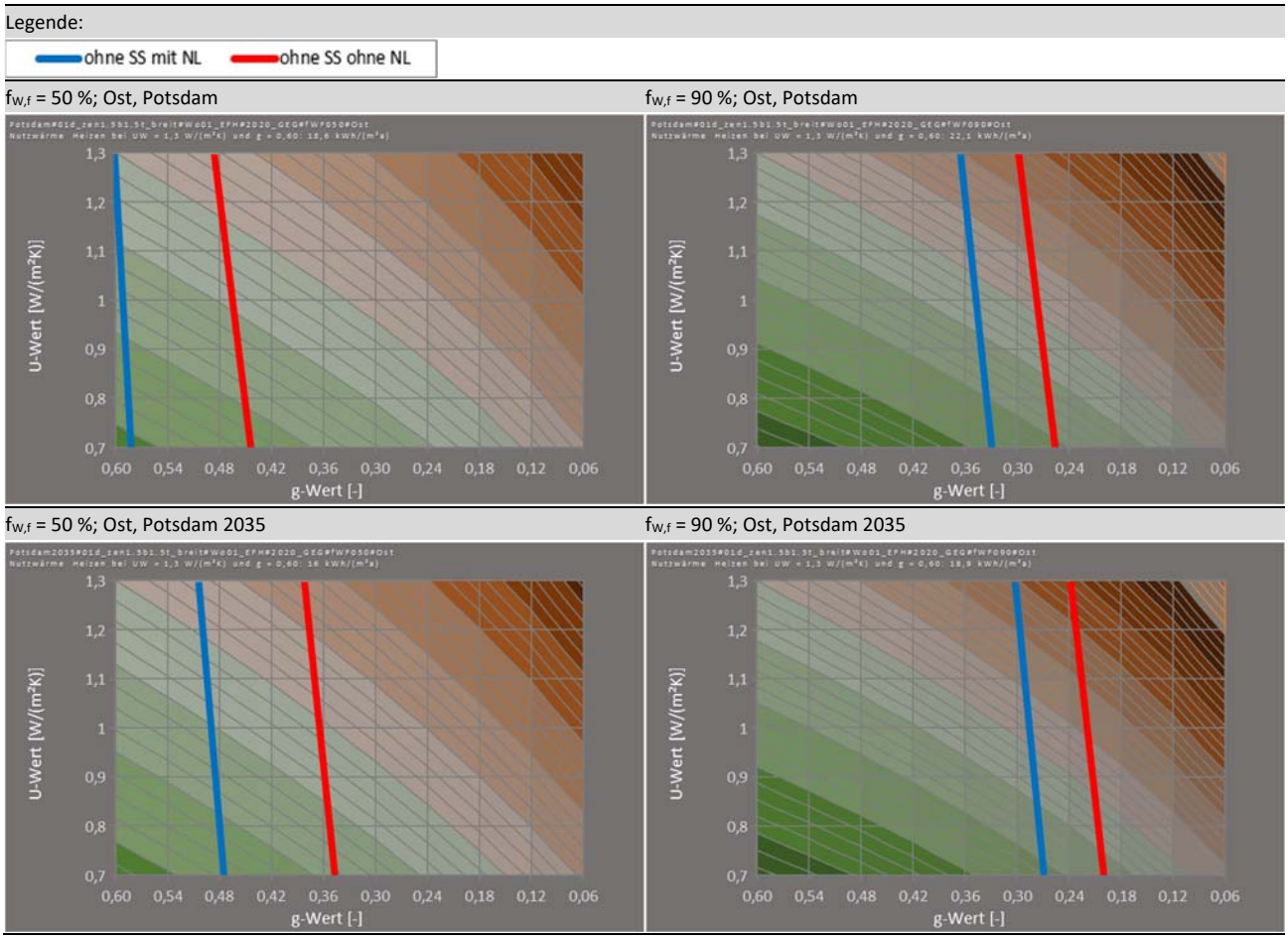
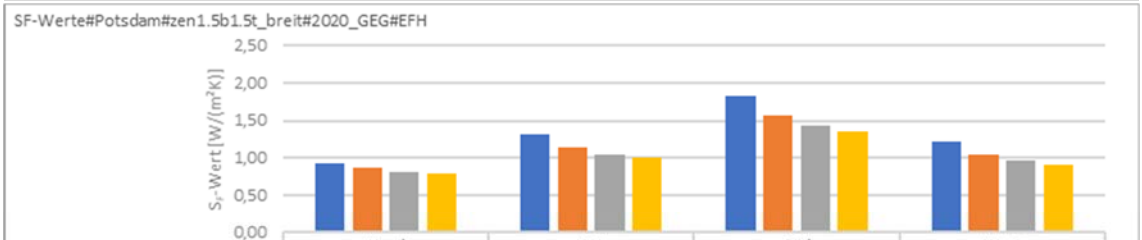


Bild 11-9: Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von U_W- und g-Wert des Fensters. Vergleich von aktuellem mittlerem Klima (oben) zu mittlerem zukünftigem Klima (unten) für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 50 % (links) und 90 % (rechts). Beispielhafte Auswertungen für Orientierung Ost mit gleichzeitiger Eintragung der zulässigen Kombinationen UW- und g-Wert für die Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz

11.4 Auswirkung Zukunftsklima auf S_F-Werte

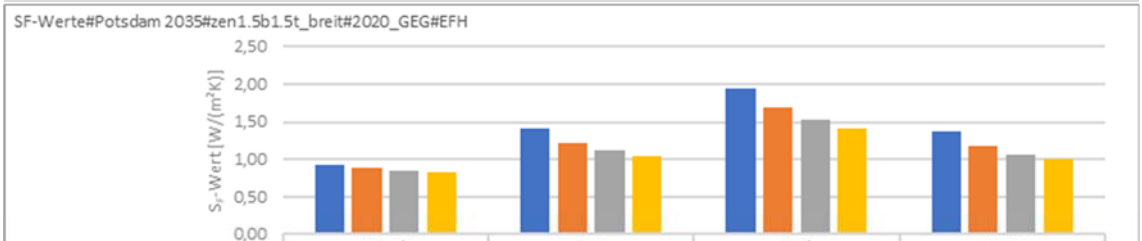
Unter Anwendung der in Abschnitt 2.2.3 beschriebenen Methodik werden die S_F-Werte auch unter Zugrundelegung der mittleren zukünftigen Klimadaten bestimmt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten wiedergegeben. Hierbei erfolgt in jeder Einzelauswertung jeweils die Ausweisung der S_F-Werte für das aktuelle mittlere Klima (oben), für das mittlere zukünftige Klima (Mitte) und zusätzlich die Differenz der S_F-Werte für beide Klimadatensätze (unten). Die Darstellungen im Hauptteil des Berichts erfolgt für Wohnnutzung EFH bei Wärmeschutzniveau gemäß Referenzausführung GEG, sämtliche Auswertungen für den Fall Wohnnutzung MFH und weitere Wärmeschutzniveaus sind diesem Bericht in Anhang B beigefügt.

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)



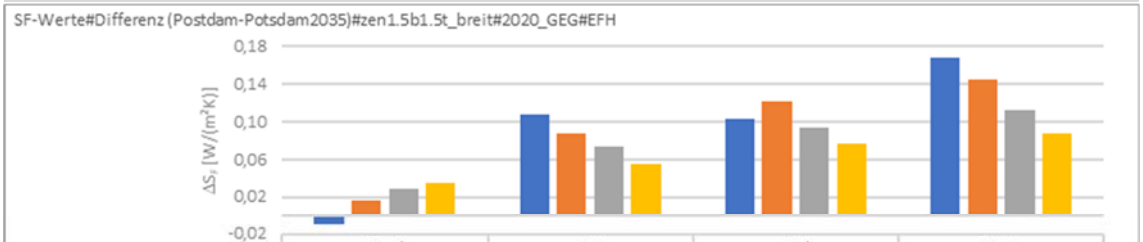
	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	0,94	1,31	1,83	1,22
EFH fWF = 50 %	0,87	1,14	1,57	1,04
EFH fWF = 70 %	0,83	1,06	1,43	0,96
EFH fWF = 90 %	0,79	1,00	1,35	0,92

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	0,93	1,42	1,93	1,38
EFH fWF = 50 %	0,89	1,23	1,70	1,19
EFH fWF = 70 %	0,85	1,13	1,52	1,07
EFH fWF = 90 %	0,83	1,05	1,43	1,00

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam ('+' Erhöhung; '-' Verringerung)



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	-0,01	+0,11	+0,10	+0,17
EFH fWF = 50 %	+0,02	+0,09	+0,12	+0,14
EFH fWF = 70 %	+0,03	+0,07	+0,09	+0,11
EFH fWF = 90 %	+0,04	+0,05	+0,08	+0,09

Bild 11-10: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit" und das Niveau „GEG 2020". Auswertungen für die Nutzung EFH.**

12 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Untersuchung erfolgt die intensive Auseinandersetzung mit der Nutzbarkeit solarer Wärmeinträge bei Neubauten und Bestandsgebäuden auf unterschiedlichen energetischen Niveaus. Durch umfangreiche Parameterstudien erfolgt die Bewertung des energetischen und thermischen Verhaltens von Wohn- und Nichtwohngebäuden unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen. Die Untersuchung und Bewertung der solaren Wärmeeinträge umfasst dabei nicht nur die Auseinandersetzung mit dem winterlichen Wärmeverhalten, sondern auch mit dem sommerlichen Wärmeschutz. Mit Blick auf den perspektivisch weiter voranschreitenden Klimawandel werden den Berechnungen neben den aktuellen mittleren Klimadaten auch Zukunftsklimadaten zugrunde gelegt, um hieraus die Auswirkungen veränderter Klimata auf die Gebäude bzw. deren thermisches und energetisches Verhalten abzuleiten.

Die Untersuchung baut auf zahlreichen im Vorfeld durchgeführten weiteren Projekten auf, bei denen das Ziel verfolgt wird, die energetische Qualität der Gebäudehülle in der Anforderungssystematik besser als bislang zu bewerten. Kern der Auseinandersetzung ist dabei, dass in den etablierten Kennwerten, welche zur Bewertung der energetischen Qualität von Einzelbauteilen (U-Werte) oder der gesamten wärmeübertragenden Hüllfläche (H_T'-Wert) eines Gebäudes keine Berücksichtigung der über die Gebäudehülle anfallenden nutzbaren solaren Wärmeeinträge erfolgt. Folge dieser Nichtberücksichtigung ist, dass die Qualität der Gebäudehülle ausschließlich hinsichtlich der anfallenden Verluste, nicht aber bezüglich der tatsächlichen energetischen Performance bewertet wird. Hieraus resultieren Unschärfen, welche bei älteren Bestandsgebäuden mit hohen Wärmebedarfen aufgrund einer schlechten Hüllflächenqualität oder auch bei schlechten Fenster U-Werten eine untergeordnete Rolle spielen. Hier dominieren die über die Gebäudehülle anfallenden Wärmeverluste bei Weitem die nutzbaren solaren Wärmeeinträge, sodass H_T'-Werte und U-Werte in diesen Fällen mit hinreichender Genauigkeit die Gesamtqualität der Hüllfläche oder einzelner Fenster beschreiben. Für Gebäude auf einem Wärmeschutzniveau, welches der Ausführung des Referenzgebäudes nach GEG oder besser entspricht, werden diese Kenngrößen zunehmend ungenauer, da erhebliche Teile der über die Hüllfläche bzw. Fenster anfallenden Wärmeverluste durch nutzbare solare Wärmeeinträge gedeckt werden. In diesen Fällen sind H_T'- und U-Werte nicht geeignet, um die energetische Qualität der Hüllfläche bzw. der Fenster richtig zu beschreiben.

Ergebnis der Projektbearbeitung sind umfassende Vorschläge zur Überführung der gegenwärtigen, auf H_T'- und U-Werte ausgelegten, Anforderungssystematik in eine neue Struktur, bei der neue Bewertungsgrößen zur Formulierung von Anforderungen verwendet werden. Neben der Erarbeitung von Vorschlägen für geänderte Anforderungsgrößen in der öffentlich-rechtlichen Anforderungssystematik werden auch entsprechende Vorschläge zur inhaltlichen Ergänzung der für die energetische Bilanzierung zuständigen Normenreihe DIN V 18599 ausgearbeitet.

Für den Anwendungsbereich der Durchführung von Einzelmaßnahmen wird vorgeschlagen, anstelle der bislang verwendeten höchstens zulässigen U-Werte auf höchstens zulässige äquivalente U-Werte (U_{eq}) umzustellen. Die Bestimmung eines äquivalenten U-Wertes erfolgt, indem von dem U-Wert eines transparenten Bauteils das Produkt aus einem Strahlungsgewinnkoeffizient (S_F-Wert) und dem g-Wert subtrahiert wird. Die hierfür benötigten S_F-Werte werden in tabellarischer Form zur Verfügung gestellt.

Für Situationen, bei denen eine gesamtenergetische Bilanzierung durchgeführt wird (Neubauten und umfassende Sanierungen) wird vorgeschlagen, anstelle der bislang verwendeten Anforderungsgrößen H_T' bei Wohngebäuden bzw. maximal zulässiger mittlerer U-Werte ($\bar{U}_{max}$) auf den Transferkoeffizienten $H_{T,S}$' umzustellen. Die rechnerische Bestimmung dieses Transferkoeffizienten erfolgt, indem die Differenz aus den im Rahmen der energetischen Bilanzierung bestimmten Transmissionswärmeverlusten und den nutzbaren solaren Wärmeeinträgen durch das Produkt aus Gradstundenzahl und Größe der Wärmeübertragenden Hüllfläche geteilt wird.

Auch der H_T'-Wert kann in gleicher Weise bestimmt werden, indem auf die Subtraktion der nutzbaren solaren Wärmeeinträge verzichtet wird.

Zahlreiche bespielhafte Auswertungen dieser Untersuchung zeigen -wie zuvor bereits ausgeführt-, dass die etablierte Größe H_T' insbesondere für Gebäude auf einem hohen energetischen Niveau mit niedrigen Wärmebedarfen als Bewertungsgröße für die energetische Qualität der Gebäudehülle ungeeignet ist. Während Gebäudekonzepte mit fossiler Wärmeversorgung durch die Anforderungsgröße Q_p hinsichtlich der hinsichtlich der Identifizierung einer optimierten Gebäudehülle in die „richtige Richtung" gelenkt werden, führt die über H_T' formulierte und bei regenerativen Versorgungskonzepten greifende Nebenanforderung zu einer einseitigen Optimierung mit Reduzierung der Wärmeverluste. Dass aber bis zu einem gewissen Punkte gerade bei steigenden Fensterflächenanteilen die nutzbaren solaren Wärmeeinträge stärker steigen als die Wärmeverluste zunehmen, können falsche Planungsentscheidungen und Ausführungen resultieren. Deshalb ist es erforderlich, eine neue Nebenanforderungsgröße als Führungsgröße zu etablieren, welche in der Lage ist, sowohl die Wärmeverluste als auch die Wärmegewinne richtig zu beschreiben. Die Verwendung der Größe $H_{T,S}$' bietet sich hierfür an.

Baupraktische Konsequenz ist, dass einerseits für die Bildung von Erfüllungsoptionen für das öffentlich-rechtliche bzw. darüberhinausgehender energetischer Niveaus eine zusätzliche Flexibilisierung erreicht wird. Die zusätzliche Flexibilisierung wird dadurch erreicht, dass die Variation des g-Werts Einfluss im Sinne des tatsächlichen energetischen Verhaltens als Beitrag zur Erfüllung der Anforderungen berücksichtigt wird und sich höhere g-Werte entsprechend positiv auswirken. Durch Einbeziehung der nutzbaren solaren Wärmeeinträge bei der Bewertung der energetischen Qualität der Gebäudehülle werden nachhaltige Gebäudekonzepte gefördert, welche sich dadurch auszeichnen, dass die Gebäude hinsichtlich der Nutzung der „solaren Beheizung" optimiert sind. Neben dieser auf den Winterfall bezogenen Optimierung darf allerdings der sommerliche Wärmeschutz nicht außer Acht gelassen werden! Gebäude mit hohen Fensterflächenanteilen bei hohen g-Werten erfordern zur Sicherstellung eines guten sommerlichen Komforts bzw. zur Minimierung der für Gebäudekühlung aufzubringenden Kühlenergie in der Regel den Betrieb von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen in Verbindung mit einem erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit. Sind bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen oder erhöhte Nachtlüftung nicht möglich, ergeben sich aus dem Sommerfall Limitierungen des g-Wertes, welche einer Maximierung der solaren Wärmeeinträge im Winter entgegenstehen. Eine künftige öffentlich-rechtliche Anforderungssystematik sollte auf diese Zusammenhänge des winterlichen und sommerlichen Wärmeverhaltens hinweisen und die Umsetzung dynamischer Gebäudekonzepte fordern bzw. im Rahmen des Energieeffizienten Bauens durch entsprechende Förderprogramme auch fördern.

Quellenverzeichnis

[1] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, “Vorschläge zur Verbesserung der EnEV-/GEG-Anforderungssystematik durch Einbeziehung solarer Wärmegewinne in die Einzelanforderungen an transparente Bauteile und in die Nebenanforderung: Teilbericht 2/2 IBH 1097-17” Verband Fenster + Fassade (VFF), Bundesverband Flachglas e.V. (BF) und Bundesverband Rollladen und Sonnenschutz e.V (RS)., Hg., noch unveröffentlicht.

[2] Bundesverband Flachglas e.V., Bundesverband Rollladen und Sonnenschutz e.V, Industrieverband Technische Textilien-Rollladen-Sonnenschutz e.V., Qualitätsverband Kunststofferzeugnisse e.V. und Verband Fenster + Fassade, “Kostenneutrale und einfache Verbesserung der Anforderungssystematik zur energetischen Bewertung der Gebäudehülle: Gemeinsames Verbände-Positionspapier zum Gebäudeenergiegesetz (GEG)”, Okt. 2018.

[3] “Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden: (Gebäudeenergiegesetz - GEG)” in *Bundesgesetzblatt*, 2020, S. 1728–1794.

[4] *DIN EN ISO 13791:2012-08 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.*

[5] G. Hauser, “Rechnerische Vorherbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten: Dissertation” Universität Stuttgart, Hg., 1977.

[6] S. Klauß und W. Kirchhof, “Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit” Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Hg., Kassel, 2010.

[7] *EnEV 2014. Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung*, 2013.

[8] *DIN V 18599-10:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.*

[9] Deutscher Wetterdienst, “Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse” BBSR, Hg., Bonn, 2011.

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

[11] *DIN V 18599:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (11 Normenteile).*

[12] Gerd Hauser, “Näherungsformel zur einfachen Berechnung von Strahlungsgewinnkoeffizienten” in *Bauphysik 10*, S. 43–60.

[13] “Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden: WärmeschutzV 1995” in *Bundesgesetzblatt*, 1994.

[14] *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.*

[15] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, “Anforderungssystematik nach GEG und für Effizienzhäuser - Optimierungen für eine zielgerichtete Anforderung und Förderung -” Repräsentanz Transparente Gebäudehülle, Hg., Berlin, unveröffentlicht.

Abbildungsverzeichnis

Bild 2-1: Skizze Prüfraum aus DIN EN ISO 13791:2012-08 [4], bereits beschrieben in [5] 8

Bild 2-2: Skizzen der verwendeten Raummodelle 10

Bild 2-3: Modellgebäude EFH aus ZUB-Modellgebäudetypologie [6], Ansichten Nord-West (oben) und Süd-Ost (unten) 11

Bild 2-4: Nord-Ost Ansicht Bürogebäude aus ZUB-Modellgebäudetypologie [6] 12

Bild 2-5: Darstellung zu Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von dem U_W-Wert des Fensters und von dem g-Wert der Verglasung 16

Bild 2-6: Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von U_W- und g-Wert des Fensters ... 19

Bild 2-7: Abhängigkeit des Strahlungsgewinnkoeffizienten vom Verhältnis der Wärmegewinne (WG) zu den Wärmeverlusten (WV), Auszug aus [12] 21

Bild 2-8: Identifizierung von höchstens zulässigen g-Werten zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach GEG 2020 [3] bzw. DIN 4108-2 [10] bei Einsatz von Fenstern ohne beweglichen Sonnenschutz. . 25

Bild 2-9: Identifizierung von höchstens zulässigen g-Werten in Verbindung mit einem F_C-Wert von 0,60 zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach GEG 2020 [3] bzw. DIN 4108-2 [10] 26

Bild 2-10: Identifizierung von höchstens zulässigen g-Werten in Verbindung mit einem F_C-Wert von 0,20 zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz nach GEG 2020 [3] bzw. DIN 4108-2 [10] 26

Bild 2-11: Darstellung zu Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von dem U_W-Wert des Fensters und von dem g-Wert der Verglasung mit zusätzlicher Eintragung der U-/g-Limitierungen des Sommerfalls. Die Graphen in grün (mit Nachtlüftung) und lila (ohne Nachtlüftung) stehen hier für die Kombination mit einem F_C-Wert von 0,60 (links) und 0,20 (rechts) 27

Bild 2-12: Wechselwirkungen Sommer/Winter EFH, GEG 2020, Raum zen1.5b1.5t_breit, Ausrichtung Ost; $f_{W,f}$ = 50 % (links) und 90 % (rechts) 29

Bild 3-1: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„bis 1978“* 32

Bild 3-2: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1982“* 32

Bild 3-3: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1995“* 32

Bild 3-4: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“* 33

Bild 3-5: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„EH 55“* 33

Bild 3-6: Gegenüberstellung S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH für die Niveaus *„vor 1978“* und *„EH 55“* 33

Bild 3-7: Gegenüberstellung S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH für die Niveaus *„GEG 2020“* und *„GEG 2020 + LA“* 34

Bild 3-8: Gegenüberstellung S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH für die Niveaus *„EH 55“* und *„EH 55 + LA“* 34

Bild 3-9: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„zen“* (Neigung 90°) 35

Bild 3-10: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„dachzen30“* (Neigung 30°) 35

Bild 3-11: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„dachzen45“* (Neigung 45°) 35

Bild 3-12: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„dachzen60“* (Neigung 60°) 36

Bild 3-13: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„oben“* (Neigung horizontal) ... 36
Bild 3-14: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„oben“* (Neigung horizontal) ... 36
Bild 3-15: S_F-Werte für die Nutzungen EFH und MFH im Vergleich. Auswertungen für den Raum *„oben“* (Neigung horizontal) ... 37
Bild 3-16: S_F-Werte in Abhängigkeit von dem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil für unterschiedliche Situationen ... 38
Bild 4-1: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1982“* ... 41
Bild 4-2: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1995“* ... 41
Bild 4-3: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“* ... 41
Bild 4-4: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen2b2t* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1982“* ... 42
Bild 4-5: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen2b2t* für das Wärmeschutzniveau *„WSV 1995“* ... 42
Bild 4-6: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen2b2t* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“* ... 42
Bild 4-7: Gegenüberstellung S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen für die Niveaus *„GEG 2020“* und *„GEG 2020 + LA“*, Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* ... 43
Bild 4-8: Gegenüberstellung S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen für die Niveaus *„EH 55“* und *„EH 55 + LA“*, Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* 43
Bild 4-9: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“*, Bauart „leicht“ ... 44
Bild 4-10: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“*, Bauart „mittel“ ... 44
Bild 4-11: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“*, Bauart „schwer“ ... 44
Bild 4-12: S_F-Werte für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen im Vergleich. Auswertungen für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau *„GEG 2020“* für Rahmenanteile von 30 % (links) und 20 % (rechts) ... 45
Bild 5-1: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts) ... 47
Bild 5-2: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für die Haupthimmelsrichtungen ... 48
Bild 5-3: Ergänzende Auswertungen zu Bild 5-2 für $f_{W,f}$ = 90 % ($f_{W,g}$ = 47 %) für Nord- und Ost-Orientierung ... 48
Bild 5-4: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben) ... 49
Bild 5-5: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 90 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben) ... 50

Bild 5-6: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Dachräume grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 13,1 % (links) und 19,6 % (rechts) 51

Bild 5-7: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für F_C-Werte von 1,0 (ohne Sonnenschutz, oben links) bis 0,10 (unten rechts) 52

Bild 5-8: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts) 53

Bild 5-9: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für die Haupthimmelsrichtungen. 55

Bild 5-10: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen 13 – 39 %) 56

Bild 5-11: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 90 % (grundflächenbezogen 23 – 70 %) 57

Bild 5-12: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Dachräume bei grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen von 13,1 % (links) und 19,6 % (rechts) 58

Bild 5-13: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Wohnnutzung für unterschiedliche Bauarten 59

Bild 5-14: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts), Orientierung Ost 61

Bild 5-15: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“ für die Haupthimmelsrichtungen, alle Fälle mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 70 % 62

Bild 5-16: Ergänzende Auswertungen zu Bild 5-15 für $f_{W,f}$ = 90 % ($f_{W,g}$ = 47 %) für Nord- und Ost-Orientierung 62

Bild 5-17: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, alle Fälle mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben) in Richtung Osten 63

Bild 5-18: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen ohne beweglichen Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, alle Fälle mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen variabel, siehe Beschriftung oben) in Richtung Osten 64

Bild 5-19: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum

zen1.5b1,5t_breit für das Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Auswertungen für F_C-Werte von 1,0 bis 0,10, alle Fälle mit $f_{W,f}$ = 90 % ($f_{W,g}$ = 47 %) in Richtung Osten 65

Bild 5-20: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für den Raum *zen1.5b1.5t_breit* für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30 % (oben links) bis 90 % (unten rechts) 66

Bild 5-21: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für die Haupthimmelsrichtungen 68

Bild 5-22: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 50 % (grundflächenbezogen 13 – 39 %) 69

Bild 5-23: Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Situationen mit beweglichem Sonnenschutz. Auswertungen für Nichtwohnnutzung für unterschiedliche Zentralräume mit fassadenbezogenem Fensterflächenanteil 90 % (grundflächenbezogen 23 – 70 %) 70

Bild 6-1: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH) bei Variation des Fensterflächenanteils 72

Bild 6-2: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH), bei Variation der Orientierung 74

Bild 6-3: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH) und unterschiedliche Raumgeometrien 75

Bild 6-4: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Wohnnutzung (EFH) und unterschiedliche Raumgeometrien 76

Bild 6-5: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für die Wohnnutzungen EFH (oben) und MFH (unten), Raum *zen1.5b1.5t_breit*, Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Fensterflächenanteile $f_{W,f}$ = 50 % (links) und 70 % (rechts) , Orientierung Ost77

Bild 6-6: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) bei Variation des Fensterflächenanteils 79

Bild 6-7: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) bei Variation der Orientierung 80

Bild 6-8: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) und unterschiedliche Raumgeometrien, Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Fensterflächenanteil $f_{W,f}$ = 50 % ($f_{W,g}$ = variabel), Orientierung Ost 82

Bild 6-9: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohnnutzung (Besprechungsraum) und unterschiedliche Raumgeometrien, Wärmeschutzniveau „*GEG 2020*“, Fensterflächenanteil $f_{W,f}$ = 90 % ($f_{W,g}$ = variabel) , Orientierung Ost ... 83

Bild 6-10: Einfluss Kombination U_W-/g-Wert auf den Nutzenergiebedarf Heizen und Erfüllungsoptionen für den sommerlichen Wärmeschutz für unterschiedliche Nichtwohnnutzungen und Fensterflächenanteile $f_{W,f}$ = 50 % (links) und 70 % (rechts) 84

Bild 7-1: Qualitäten Bautechnik für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei fossiler Wärmeerzeugung 88

Bild 7-2: Ergebnisse Q_p, H_T‘ und $H_{T,S}$‘ für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei fossiler Wärmeerzeugung 89
Bild 7-3: Transmissionswärmesenken, nutzbare Wärmequellen und verbleibende Transmissionswärmeverluste für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei fossiler Wärmeerzeugung 90
Bild 7-4: Qualitäten Bautechnik für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung 91
Bild 7-5: Ergebnisse Q_p, H_T‘ und $H_{T,S}$‘ für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung 92
Bild 7-6: Transmissionswärmesenken, nutzbare Wärmequellen und verbleibende Transmissionswärmeverluste für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei regenerativer Wärmeerzeugung 93
Bild 7-7: Qualitäten Bautechnik für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$‘) bei regenerativer Wärmeerzeugung 94
Bild 7-8: Ergebnisse Q_p, H_T‘ und $H_{T,S}$‘ für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$‘) bei regenerativer Wärmeerzeugung 95
Bild 7-9: Transmissionswärmesenken, nutzbare Wärmequellen und verbleibende Transmissionswärmeverluste für die Erfüllungsoptionen EFH als EH 55 bei angepasster Anforderungssystematik (55 % $Q_{p,Ref}$ und 65 % $H_{T,S,Ref}$‘) bei regenerativer Wärmeerzeugung 96
Bild 8-1: Eingangsgrößen für die Monatsbilanz am Beispiel zen1.5b1.5t_breit 112
Bild 8-2: Monatswerte Nutzenergie Heizen 112
Bild 8-3: Wärmemengen und Ausnutzungsgrad von Wärmeeinträgen im Jahresverlauf 112
Bild 8-4: Grafische Darstellung der Tabellenwerte aus Tabelle 8-23 für U_W=0,95 W/(m²K) und g=0,50 114
Bild 8-5: Grafische Darstellung der Tabellenwerte aus Tabelle 8-24 für U_W=0,95 W/(m²K) und g=0,50 114
Bild 8-6: Monatlicher Transmissionswärmebedarf der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen 115
Bild 8-7: Monatliche solare Wärmegewinne $Q_{S,mth}$ der Zone 1 aufgeteilt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen 115
Bild 8-8: Monatlicher Ausnutzungsgrad $\eta_{,mth}$ der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen 115
Bild 8-9: Berechneter monatlicher äquivalenter Transmissionswärmebedarf $Q_{T,eq,mth}$ der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen 116
Bild 8-10: Monatliche, mittlere Außentemperaturen- sowie monatliche Bilanzinnentemperaturen der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen 117
Bild 8-11: Berechnete monatliche Gradtagzahlen Gt_{mth} der Zone 1 getrennt nach Nutzungs- und Nichtnutzungstagen 117
Bild 8-12: H_T´- und $H_{T,S}$´-Werte für die Bilanzzonen und für das Gesamtgebäude 118
Bild 10-1: Legende für die Auswertungen in diesem Kapitel 125
Bild 10-2: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 50 %. 127
Bild 10-3: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau

Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 50 %. 127

Bild 10-4: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 70 %. 129

Bild 10-5: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von 70 %. 129

Bild 10-6: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung 130

Bild 10-7: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung 130

Bild 10-8: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Wärmebereitstellung durch Gas-Brennwertkessel (links) und Luft/Wasser-Wärmepumpe (rechts) bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung und 50 % Fensterflächenanteil 132

Bild 10-9: des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Wärmebereitstellung durch Gas-Brennwertkessel (links) und Luft/Wasser-Wärmepumpe (rechts) bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung und 50 % Fensterflächenanteil 132

Bild 10-10: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %. 134

Bild 10-11: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Beheizung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %. 134

Bild 10-12: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung 135

Bild 10-13: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 136

Bild 10-14: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Kühlung für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 137

Bild 10-15: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für

Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 138

Bild 10-16: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Kühlung für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 138

Bild 10-17: Auswertungen der spezifischen Kosten für die Kühlung für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 139

Bild 10-18: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für die Kühlung für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 140

Bild 10-19: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %. 141

Bild 10-20: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Orientierungen Nord, Ost, Süd und West bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und fassadenbezogener Fensterflächenanteil von 50 %. 142

Bild 10-21: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung 143

Bild 10-22: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für die Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 90 % bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 und Südorientierung 143

Bild 10-23: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 144

Bild 10-24: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen für Soll-Temperaturen für den Kühlfall von 26, 24 und 22 °C für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung ohne erhöhten Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeit, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020144

Bild 10-25: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 145

Bild 10-26: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen für Situationen mit und ohne erhöhte Lüftung außerhalb der Nutzungszeit für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 145

Bild 10-27: Auswertungen der spezifischen Kosten für Heizen und Kühlen für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 146

Bild 10-28: Auswertungen des spezifischen Primärenergiebedarfs für Heizen und Kühlen für Situationen mit unterschiedlicher Anlageneffizienz der Kältebereitstellung für Fensterflächenanteile von 50 und 90 % abhängig von dem g-Wert für U_W-Werte von 1,3 und 0,70 W/(m²K) für Süd-Orientierung bei Büronutzung, Wärmeschutzniveau Referenzausführung GEG 2020 146

Bild 11-1: Gegenüberstellung von Nutzkältebedarfswerten für aktuelles und zukünftiges Klima am Standort Potsdam. Auswertungen für den Raum „zen“ für eine Fensterqualität mit U_W = 1,3 W/(m²K) bei Variation des g-Werts im Bereich zwischen 0,60 und 0,06. Links: Auswertungen für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 30 % (links) und 90 % (rechts) für alle Haupthimmelsrichtungen 148

Bild 11-2: Korrelation Nutzkältebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K) 149

Bild 11-3: Korrelation Nutzkältebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 0,70 W/(m²K) 149

Bild 11-4: Gegenüberstellung von Nutzwärmebedarfswerten für aktuelles und zukünftiges Klima am Standort Potsdam. Auswertungen für den Raum „zen“ für eine Fensterqualität mit U_W = 1,3 W/(m²K) bei Variation des g-Werts im Bereich zwischen 0,60 und 0,06. Links: Auswertungen für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 30 % (links) und 90 % (rechts) für alle Haupthimmelsrichtungen 150

Bild 11-5: Korrelation Nutzwärmebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 1,3 W/(m²K) 151

Bild 11-6: Korrelation Nutzwärmebedarf Potsdam/Potsdam 2035 für Fenster mit U_W = 0,70 W/(m²K) 151

Bild 11-7: Gegenüberstellung der nach DIN 4108-2 erforderlichen Qualitäten (Kombination von U_W- und g-Wert) zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Wohnnutzung) für aktuelles mittleres Klima (oben) und zukünftiges mittleres Klima (unten) für den Standort Potsdam 152

Bild 11-8: Gegenüberstellung der nach DIN 4108-2 erforderlichen Qualitäten (Kombination von U_W- und F_C-Wert) zur Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Wohnnutzung) für aktuelles mittleres Klima (oben) und zukünftiges mittleres Klima (unten) für den Standort Potsdam 153

Bild 11-9: Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Heizen von U_W- und g-Wert des Fensters. Vergleich von aktuellem mittlerem Klima (oben) zu mittlerem zukünftigem Klima (unten) für fassadenbezogenen Fensterflächenanteile von 50 % (links) und 90 % (rechts). Beispielhafte Auswertungen für Orientierung Ost mit gleichzeitiger Eintragung der zulässigen Kombinationen UW- und g-Wert für die Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz 154

Bild 11-10: S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit“ und das Niveau „GEG 2020“. Auswertungen für die Nutzung EFH. 155

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Legende zu Bild 2-8 ... 25
Tabelle 2-2: Legende zu Bild 2-9 und Bild 2-10 ... 26
Tabelle 2-3: Legende zu Bild 2-11 ... 27
Tabelle 2-4: Legende zu Bild 2-12 ... 29
Tabelle 3-1: Parameter a und b zur Berechnung individueller S_F-Werte für den Anwendungsfall Wohnnutzung EFH ... 39
Tabelle 3-2: Tabellarisierte S_F-Werte für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von 10, 20 und 40 % für den Anwendungsfall Wohnnutzung EFH ... 39
Tabelle 8-1: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Wohnnutzung EFH ... 98
Tabelle 8-2: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Wohnnutzung MFH ... 98
Tabelle 8-3: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Einzelbüro ... 99
Tabelle 8-4: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Gruppenbüro ... 99
Tabelle 8-5: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Großraumbüro ... 100
Tabelle 8-6: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Besprechungsraum ... 100
Tabelle 8-7: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Klassenzimmer ... 101
Tabelle 8-8: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Bettenzimmer ... 101
Tabelle 8-9: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Hotelzimmer ... 102
Tabelle 8-10: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Aufenthaltsräume ... 102
Tabelle 8-11: Vorschlag zur Differenzierung der S_F-Werte bei Nutzung Arztpraxen ... 103
Tabelle 8-12: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für EFH ... 104
Tabelle 8-13: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für MFH ... 104
Tabelle 8-14: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Einzelbüro ... 105
Tabelle 8-15: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Gruppenbüro105
Tabelle 8-16: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Großraumbüro106
Tabelle 8-17: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Besprechung106
Tabelle 8-18: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Klassenzimmer107
Tabelle 8-19: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Bettenzimmer107
Tabelle 8-20: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Hotelzimmer108
Tabelle 8-21: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Aufenthaltsräume ... 108
Tabelle 8-22: Parameter a und b zur individuellen Bestimmung von S_F-Werten für Arztpraxen ... 109
Tabelle 8-23: Berechnungsergebnisse für die betrachteten Fensterflächenanteile bei U_W = 1,3 W/(m²K) und g = 0,60 ... 113
Tabelle 8-24: Berechnungsergebnisse für die betrachteten Fensterflächenanteile bei U_W = 0,95 W/(m²K) und g = 0,50 ... 114
Tabelle 8-25: Zonenwerte von H_T' und $H_{T,S}'$ ... 118
Tabelle 8-26: Anteile der einzelnen Zonen an der wärmetauschenden Hüllfläche des Gebäudes118

Anhang A Dokumentation Rechenrandbedingungen

Dieser Abschnitt dient der detaillierten Dokumentation der Rechenrandbedingungen sowie der ausführlichen Beschreibung der Parametrisierung.

A 1 Raumgeometrien

A 1.1 Raum *zen*

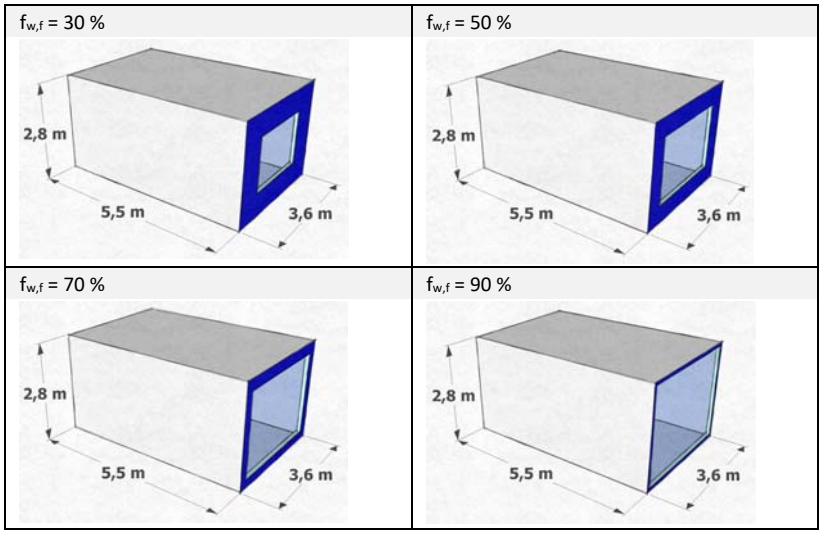


Bild A-1: Skizzen und geometrische Daten Raum *zen*

A 1.2 Raum *zen_breit*

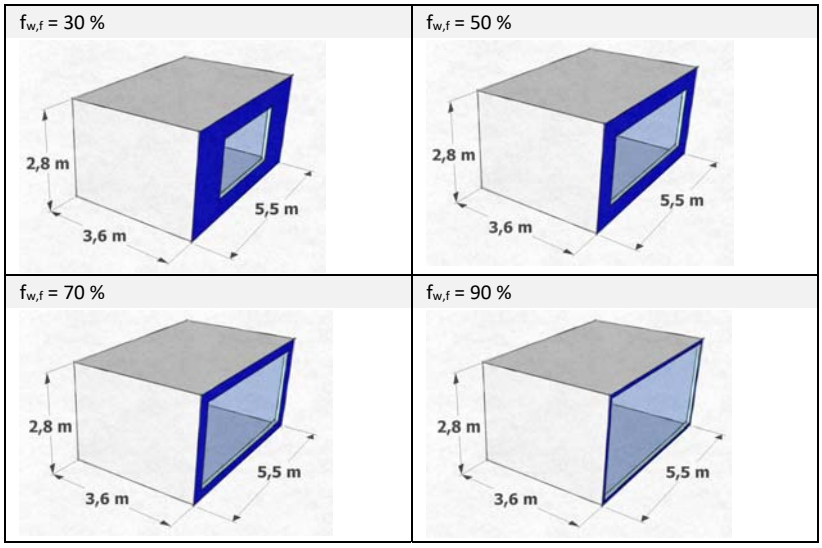


Bild A-2: Skizzen und geometrische Daten Raum *zen_breit*

A 1.3 **Raum** *zen1.5b1.5t*

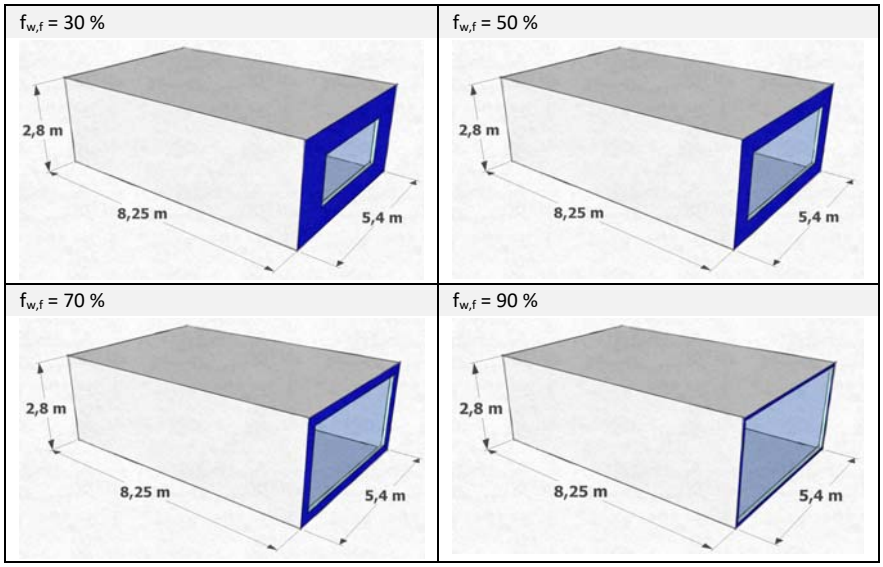


Bild A-3: **Skizzen und geometrische Daten Raum *zen1.5b1.5t***

A 1.4 **Raum** *zen1.5b1.5t_breit*

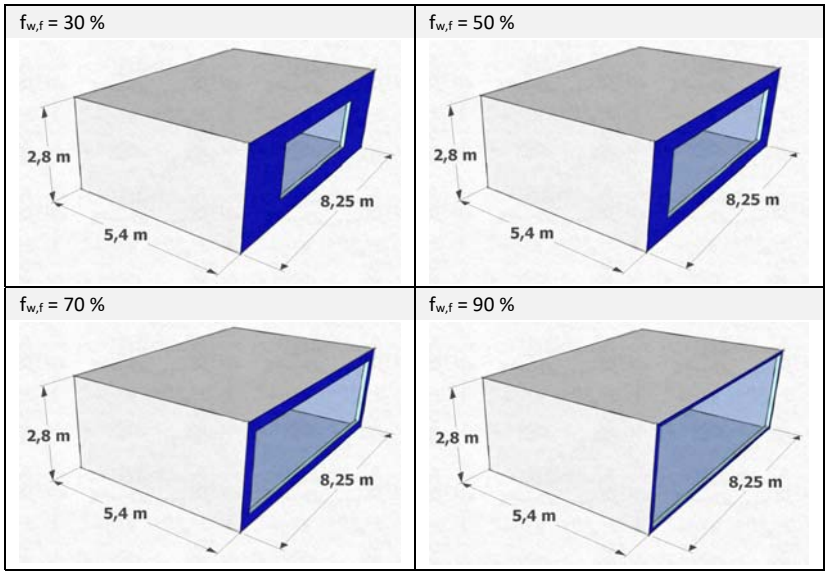


Bild A-4: **Skizzen und geometrische Daten Raum *zen1.5b1.5t_breit***

A 1.5 **Raum** *zen2b2t*

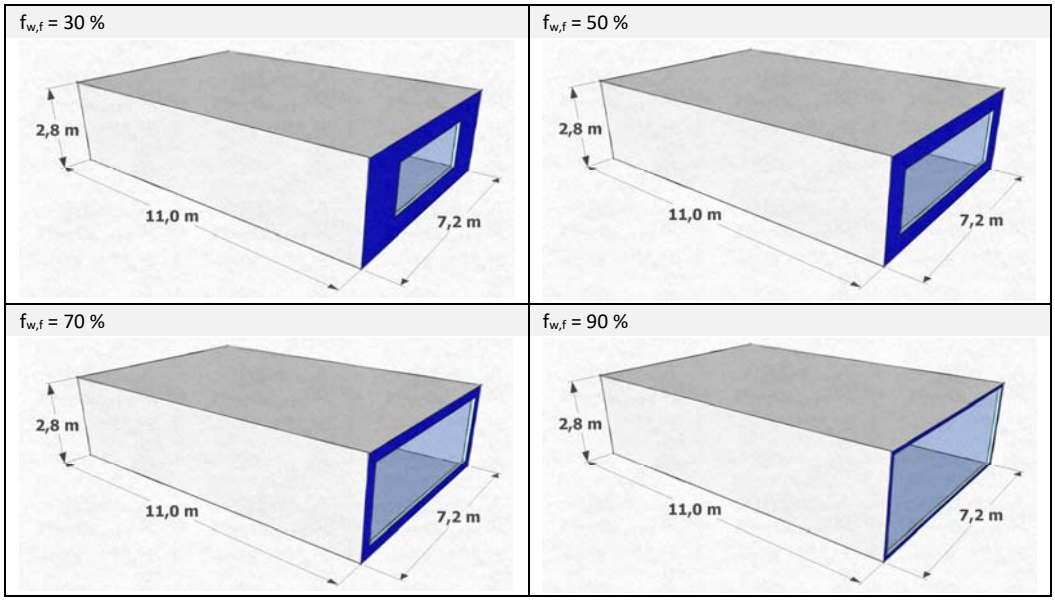


Bild A-5: **Skizzen und geometrische Daten Raum *zen2b2t***

A 1.6 **Raum** *zen2b2t_breit*

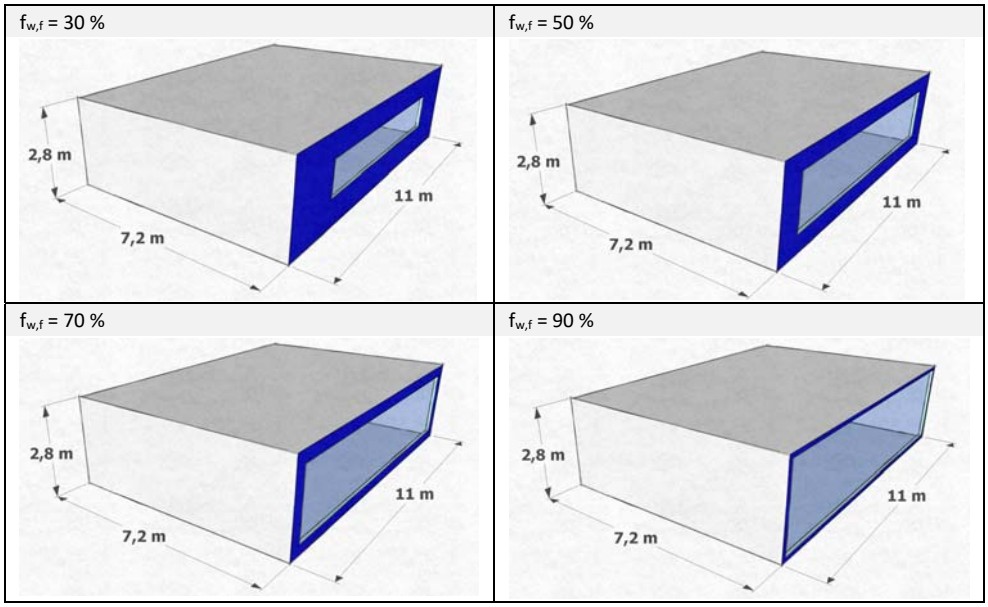


Bild A-6: **Skizzen und geometrische Daten Raum *zen2b2t_breit***

A 1.7 **Raum** *eck1.5b1.5t*

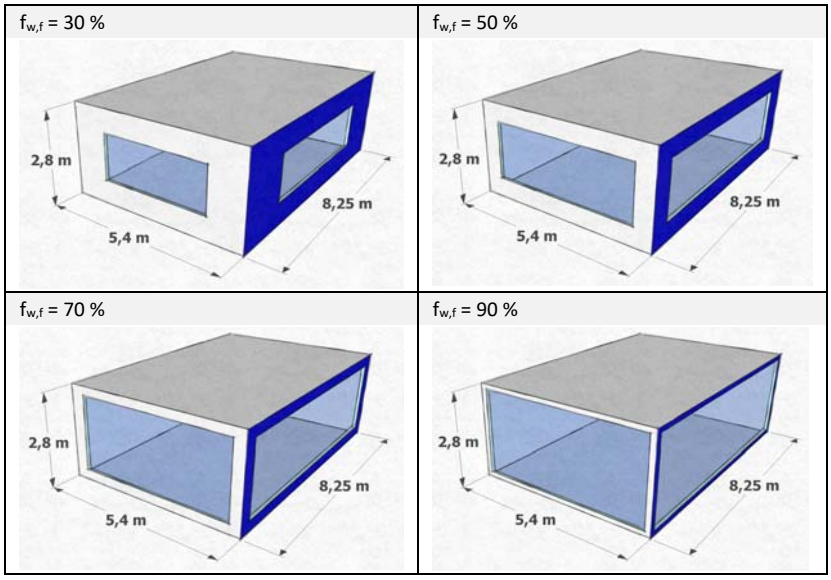


Bild A-7: **Skizzen und geometrische Daten Raum *eck1.5b1.5t***

A 1.8 **Raum** *eck2b2t*

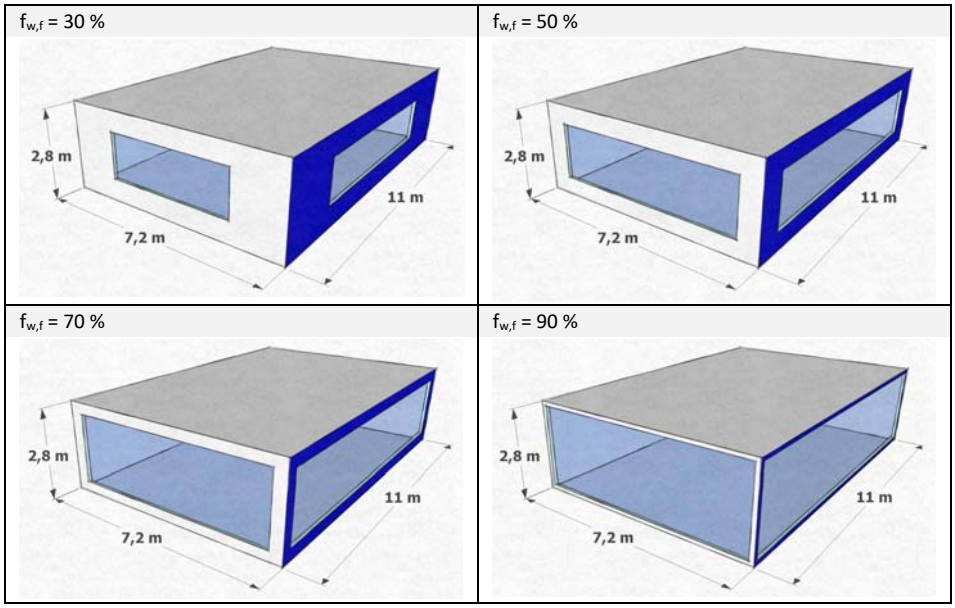


Bild A-8: **Skizzen und geometrische Daten Raum *eck2b2t***

A 1.9 **Raum** *dachzen30*

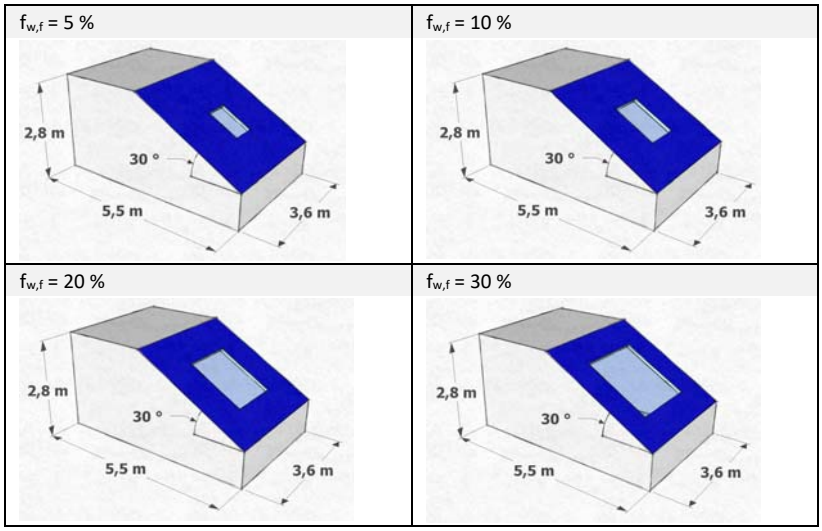


Bild A-9: Skizzen und geometrische Daten Raum *dachzen30*

A 1.10 **Raum** *dachzen45*

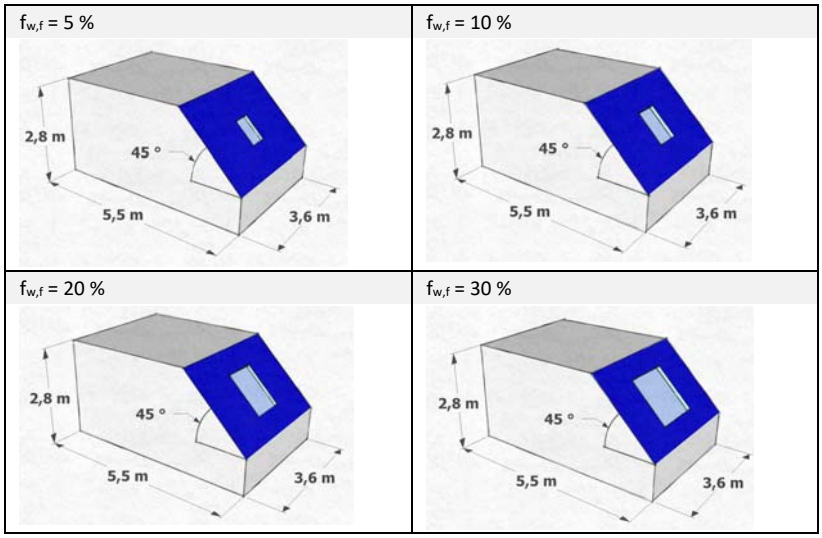


Bild A-10: Skizzen und geometrische Daten Raum *dachzen45*

A 1.11 **Raum** *dachzen60*

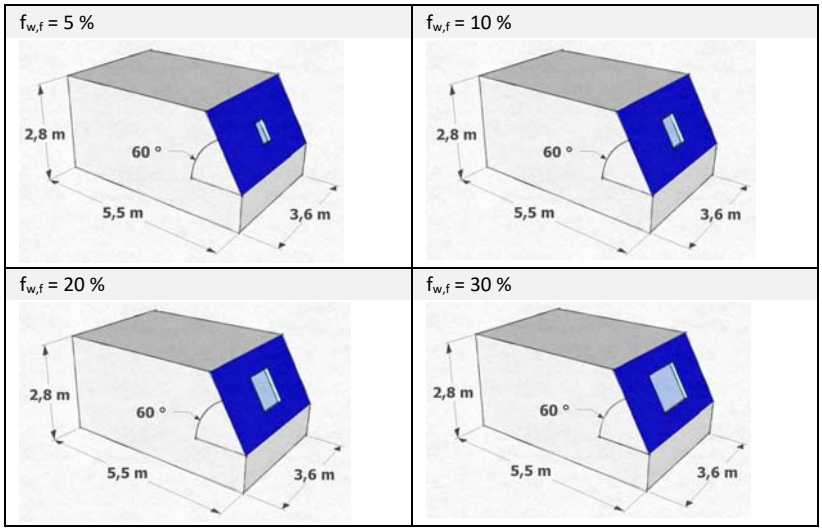


Bild A-11: Skizzen und geometrische Daten Raum *dachzen60*

A 1.12 **Raum** *oben* **bzw.** *zenoben*

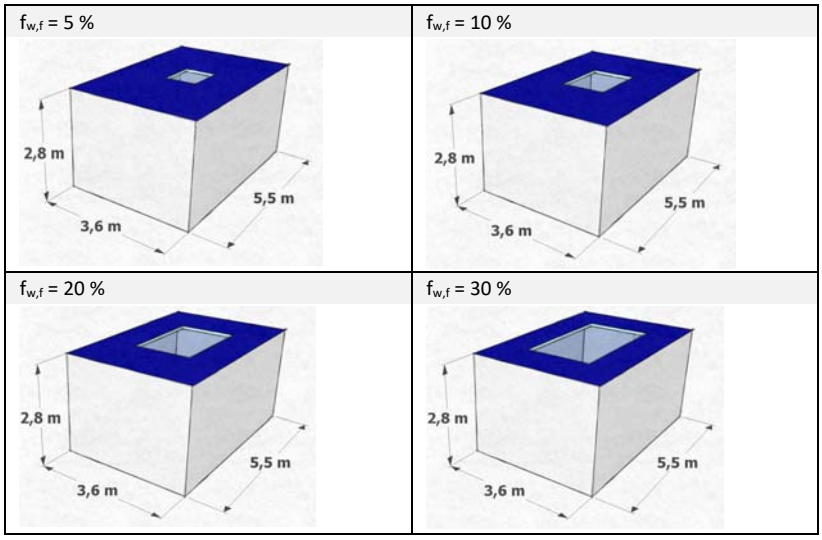


Bild A-12: Skizzen und geometrische Daten Raum *oben* bzw. *zenoben*

A 2 Weitergehende Informationen zu Gebäudegeometrien

A 2.1 Geometrie EFH klein

Tabelle A-1: Einfamilienhaus klein – rechnerisch ermittelte Maße und Flächen sowie definierte Angaben für die Modellgebäudeentwicklung (Auszug aus [6])

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	**EFH_klein**	mittlerer rechner. Durchschnittswert*		**Modellwert**					
2									
3	**Grundmaße**								
4	Wohnfläche	110,65	m²	**110,00**	m²	**informativ!**			
5	Bodenplattenbreite	9,38	m	**9,40**	m				
6	Bodenplattenlänge	10,45	m	**10,50**	m				
7	Bodenplatten-/Kellerdeckenfläche	99,24	m²	**98,70**	m²				
8	Perimeter	39,67	m	**39,80**	m				
9	Fläche OG-Decke gesamt	40,61	m²	**41,00**	m²				
10	durchschnittliche Geschosshöhe	2,75	m	**2,75**	m				
11	Anzahl der oberirdischen Geschosse	2	-	**2**	-				
12	**Brutto-Wandflächen**								
13	Brutto-Wandfläche nord	39,55	m²	**40,00**	m²				
14	Brutto-Wandfläche ost	35,89	m²	**36,00**	m²				
15	Brutto-Wandfläche süd	39,55	m²	**40,00**	m²				
16	Brutto-Wandfläche west	35,73	m²	**36,00**	m²				
17	**Netto-Wandflächen**								
18	Netto-Wandfläche nord	33,09	m²	**34,30**	m²				
19	Netto-Wandfläche ost	27,20	m²	**28,10**	m²				
20	Netto-Wandfläche süd	26,04	m²	**34,70**	m²				
21	Netto-Wandfläche west	27,40	m²	**26,30**	m²				
22	Netto-Wandfläche gesamt	113,73	m²	**123,40**	m²				
23	**Brutto-Dachflächen**								
24	Brutto-Dachfläche ost	38,32	m²	**38,50**	m²				
25	Brutto-Dachfläche west	38,32	m²	**38,50**	m²				
26	Brutto-Dachfläche gesamt	76,64	m²	**77,00**	m²				
27	**Netto-Dachflächen**								
28	Netto-Dachfläche ost	38,32	m²	**38,50**	m²				
29	Netto-Dachfläche west	38,32	m²	**38,50**	m²				
30	Netto-Dachfläche gesamt	76,64	m²	**77,00**	m²				
31	**Brutto-Wandflächen Keller**								
32	Brutto-Wandfläche Keller nord	25,80	m²	**26,00**	m²				
33	Brutto-Wandfläche Keller ost	28,74	m²	**26,00**	m²				
34	Brutto-Wandfläche Keller süd	25,80	m²	**26,00**	m²				
35	Brutto-Wandfläche Keller west	28,74	m²	**26,00**	m²				
36	**Brutto-Wandflächen Keller gegen Außenluft (Lichtschacht)**								
37	Brutto-Wandfläche Keller gg. Außenluft nord	-	m²	**0,00**	m²				
38	Brutto-Wandfläche Keller gg. Außenluft ost	2,88	m²	**3,00**	m²				
39	Brutto-Wandfläche Keller gg. Außenluft süd	-	m²	**0,00**	m²				
40	Brutto-Wandfläche Keller gg. Außenluft west	2,88	m²	**3,00**	m²				
41	**Netto-Wandflächen Keller gegen Außenluft (Lichtschacht)**								
42	Netto-Wandfläche Keller nord	-	m²	**0,00**	m²				
43	Netto-Wandfläche Keller ost	1,44	m²	**1,50**	m²				
44	Netto-Wandfläche Keller süd	-	m²	**0,00**	m²				
45	Netto-Wandfläche Keller west	1,44	m²	**1,50**	m²				
46	Netto-Wandfläche Keller gesamt	2,88	m²	**3,00**	m²				
47	**Fensterflächenanteile**					entspricht		**Modellwert**	
48	Fensterflächenanteil nord	14,2%		**14,3%**		5,62	m²	**5,70**	m²
49	Fensterflächenanteil ost	16,2%		**16,1%**		5,80	m²	**5,80**	m²
50	Fensterflächenanteil süd	13,3%		**13,3%**		5,25	m²	**5,30**	m²
51	Fensterflächenanteil west	27,0%		**26,9%**		9,66	m²	**9,70**	m²
52	Fensterflächenanteil gesamt	20,9%		**17,4%**		26,68	m²	**26,50**	m²
53	Haustürflächenanteil ost	5,9%		**5,8%**		2,10	m²	**2,10**	m²
54	Dachflächenfensteranteil ost	0,0%		**0,0%**		0,00	m²	**0,00**	m²
55	Dachflächenfensteranteil west	0,0%		**0,0%**		0,00	m²	**0,00**	m²
56	Dachflächenfensteranteil gesamt	0,0%		**0,0%**		0,00	m²	**0,00**	m²
57	Kellerfensterflächenanteil nord	0,0%		**0,0%**		0,00	m²	**0,00**	m²
58	Kellerfensterflächenanteil ost	5,0%		**5,2%**		1,44	m²	**1,50**	m²
59	Kellerfensterflächenanteil süd	0,0%		**0,0%**		0,00	m²	**0,00**	m²
60	Kellerfensterflächenanteil west	5,0%		**5,2%**		1,44	m²	**1,50**	m²
61	Kellerfensterflächenanteil gesamt	2,6%		**2,7%**		2,88	m²	**3,00**	m²
62	**Volumen**								
63	beheiztes Volumen (Ve) - EG-DG	463,61	m³	**465,00**	m³				
64	beheiztes Volumen (Ve) - KG	270,13	m³	**270,00**	m³				
65	beheiztes Volumen (Ve) - KG-DG	733,74	m³	**735,00**	m³				
66	**informative Angaben**								
67	A/Ve ohne KG	0,79		**0,79**					
68	A/Ve mit KG	0,65		**0,64**					
69	Fensterflächenanteil bezogen auf A_N ohne KG	17,7%		**17,8%**					
70	Fensterflächenanteil bezogen auf A_N mit KG	11,2%		**11,3%**					
71	beheizte Nutzfläche A_N ohne KG	148,35	m²	**148,80**	m²				
72	beheizte Nutzfläche A_N mit KG	234,80	m²	**235,20**	m²				
73	wärmetauschende Hüllfläche A ohne KG	367,20	m²	**368,70**	m²				
74	wärmetauschende Hüllfläche A mit KG	477,20	m²	**472,70**	m²				

* Da der „rechnerische Durchschnittswert" aus einer arithmetischen Mittelwertbildung der Maße verschiedener Realgebäude hergeleitet wird, kann es zwischen diesem und dem ingenieurmäßig festgelegten „Modellwert" zu teilweise größeren Abweichungen kommen. Auch sind Unterschiede zwischen "Modellwerten" und ableitbaren Flächen der SketchUp-Modelle möglich. Dies ist der gewählten Vorgehensweise geschuldet.

A 2.2 Flächen- u. Zonenzusammenstellung Bürogebäude

Tabelle A-2: Modellwerte für „Büros - klein“ (Auszug aus [6])

Büros - klein	GESAMT	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4	ZONE 5
		Profil 3 Großraumbüro	Profil 4 Besprechung, Sitzung, Seminar	Profil 16 WC und Santräume in Nichtw ohngebäuden	Profil 19 Verkehrsflächen	Profil 20 Lager, Technik, Archiv
Grundfläche						
maximale Gebäudebreite	12,50 m	60,00 m	24,30 m	5,00 m	30,80 m	0,00 m
maximale Gebäudelänge	47,30 m	410,00 m²	87,00 m²	26,00 m²	68,00 m²	0,00 m²
Perimeter	120,10 m	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²
Bodenplattenfläche	591,00 m²	1.230,00 m²	261,00 m²	78,00 m²	222,00 m²	181,00 m²
Kellerdecke zu unbeheizt	- m²	69%	15%	4%	12%	0%
Brutto-Grundfläche	1.972,00 m²	-	-	-	-	-
	100%	62%	13%	4%	11%	9%
Brutto-Dachfläche / OG-Decke						
Brutto-Dachfläche gesamt	591,00 m²	266,00 m²	81,00 m²	0,00 m²	63,00 m²	181,00 m²
Brutto-Dachfläche ost	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²
Brutto-Dachfläche west	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²
Brutto-Dachfläche OG-Decke	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²
Netto-Dachfläche						
Netto-Dachfläche gesamt	591,00 m²	266,00 m²	81,00 m²	0,00 m²	63,00 m²	181,00 m²
Netto-Dachfläche ost	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²
Netto-Dachfläche west	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²	- m²
Höhen						
Höhe Geschoss	3,70 m	3,70 m	3,70 m	3,70 m	3,70 m	3,70 m
Höhe Gebäude	15,10 m	- m	- m	- m	- m	- m
Volumen						
Volumen	7.473,70 m³	4.674,00 m³	991,80 m³	296,40 m³	841,80 m³	669,70 m³
Brutto-Wandflächen						
Brutto-Wandfläche gesamt	1.567,60 m²	661,00 m²	269,40 m²	55,60 m²	398,60 m²	183,00 m²
Brutto-Wandfläche nord	594,80 m²	225,00 m²	211,00 m²	27,80 m²	75,00 m²	56,00 m²
Brutto-Wandfläche ost	189,00 m²	0,00 m²	39,00 m²	0,00 m²	136,00 m²	14,00 m²
Brutto-Wandfläche süd	594,80 m²	436,00 m²	19,40 m²	27,80 m²	48,60 m²	63,00 m²
Brutto-Wandfläche west	189,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	139,00 m²	50,00 m²
Netto-Wandflächen						
Netto-Wandflächen gesamt	951,50 m²	378,00 m²	135,90 m²	48,00 m²	253,20 m²	136,40 m²
Netto-Wandflächen nord	386,90 m²	129,00 m²	120,00 m²	24,00 m²	75,00 m²	38,90 m²
Netto-Wandflächen ost	7,50 m²	0,00 m²	1,90 m²	0,00 m²	4,00 m²	1,60 m²
Netto-Wandflächen süd	381,50 m²	249,00 m²	14,00 m²	24,00 m²	48,60 m²	45,90 m²
Netto-Wandflächen west	175,60 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	125,60 m²	50,00 m²
Fensterflächen						
Fensterflächen gesamt	616,10 m²	283,00 m²	133,50 m²	7,60 m²	145,40 m²	46,60 m²
Fensterflächen nord	207,90 m²	96,00 m²	91,00 m²	3,80 m²	0,00 m²	17,10 m²
Fensterflächen ost	181,50 m²	0,00 m²	37,10 m²	0,00 m²	132,00 m²	12,40 m²
Fensterflächen süd	213,30 m²	187,00 m²	5,40 m²	3,80 m²	0,00 m²	17,10 m²
Fensterflächen west	13,40 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	13,40 m²	0,00 m²
Oberlichter	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²
Türflächen opak gesamt	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²
Türflächen opak nord	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²
Türflächen opak ost	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²
Türflächen opak süd	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²
Türflächen opak west	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²
	entspricht:	entspricht:	entspricht:	entspricht:	entspricht:	entspricht:
	39%	43%	50%	14%	36%	25%
	35%	43%	43%	14%	0%	31%
	96%	0%	95%	0%	97%	89%
	36%	43%	28%	14%	0%	27%
	7%	0%	0%	0%	10%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%

A 3 Klimadaten (für die Monatsbilanz nach DIN V 18599)

A 3.1 Potsdam, Referenzklima nach GEG 2020

Tabelle A-3: Mittlere monatliche Strahlungsintensitäten und Außenlufttemperaturen für den Referenzort Potsdam, generiert aus dem Testreferenzjahr der TRY-Region 4 aus [9]

Klimadaten (Potsdam aktuell, Refernzklima Deutschland)													
	mittlere monatliche Strahlungsintensität I_S [W/m²]												solare Einstralung [kWh/(m²a)]
Orientierung und Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr (Jan. - Dez.)
horizontal	29	44	96	189	221	241	210	180	127	77	31	17	1.071
S 30	51	55	122	219	231	243	210	200	158	112	42	27	1.223
S 45	59	57	125	217	220	226	196	195	162	121	45	31	1.211
S 60	64	56	123	204	199	200	174	181	157	124	45	33	1.142
S 90	62	48	100	151	135	127	115	130	126	110	41	31	860
S-O 30	46	52	114	214	228	243	212	194	148	103	38	24	1.183
S-O 45	52	53	116	213	217	229	201	189	148	108	39	26	1.164
S-O 60	55	52	112	202	198	208	183	175	142	109	39	26	1.099
S-O 90	52	43	91	157	144	147	133	131	112	93	33	24	850
S-W 30	42	49	111	203	223	236	203	190	147	98	38	24	1.145
S-W 45	45	49	112	198	212	221	189	184	147	102	39	26	1.115
S-W 60	47	47	108	184	192	198	170	170	140	100	38	27	1.041
S-W 90	43	37	86	139	139	138	122	126	111	84	33	25	793
O 30	31	43	94	187	210	230	204	172	122	77	30	17	1.037
O 45	31	41	90	180	196	215	193	162	115	74	28	16	982
O 60	30	38	84	168	179	197	178	149	106	69	26	15	907
O 90	25	29	68	132	136	149	137	114	82	55	20	12	702
W 30	26	40	90	173	203	220	189	166	121	71	29	17	985
W 45	25	37	86	161	188	203	175	155	114	66	28	16	917
W 60	23	33	79	148	170	183	158	140	104	61	25	15	835
W 90	18	25	62	116	128	137	118	107	81	48	20	12	639
NW 30	16	32	68	139	178	199	173	138	91	47	22	12	816
NW 45	15	28	58	117	151	168	149	116	77	40	20	11	695
NW 60	13	25	50	102	130	144	128	100	67	36	18	9	601
NW 90	11	18	38	79	96	108	95	74	51	29	13	7	454
NO 30	17	33	70	149	183	207	185	143	92	49	22	12	851
NO 45	15	29	60	128	158	178	165	122	78	41	20	11	736
NO 60	14	26	53	112	137	154	146	105	68	36	17	9	642
NO 90	11	19	41	85	102	114	110	80	52	29	13	7	486
N 30	16	29	55	126	171	196	173	127	75	36	21	11	759
N 45	15	26	43	88	134	159	144	93	56	33	19	10	600
N 60	13	24	39	70	100	116	111	72	50	30	17	9	477
N 90	10	18	31	57	75	83	80	57	41	25	13	7	364
Außenluft-temperatur [°C]	mittlere monatliche Außenlufttempertatur												Jahreswert
	1	1,9	4,7	9,2	14,1	16,7	19	18,6	14,3	9,5	4,1	0,9	9,5

A 3.2 Potsdam, Zukunftsklima für die Periode 2020 - 2050

Tabelle A-4: Mittlere monatliche Strahlungsintensitäten und Außenlufttemperaturen für den Referenzort Potsdam (Zukunftsklima Potsdam 2035), generiert aus dem mittleren Zukunfts-Testreferenzjahr der TRY-Region 4 aus [9]

Klimadaten (Zukunftsklima Potsam 2035)													
	mittlere monatliche Strahlungsintensität I_S [W/m²]												solare Einstralung [kWh/(m²a)]
Orientierung und Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr (Jan. - Dez.)
horizontal	27	54	104	173	215	255	218	190	147	84	24	19	1.105
S 30	45	74	127	202	226	256	223	212	188	119	30	31	1.268
S 45	50	79	129	201	215	238	210	208	194	127	31	35	1.257
S 60	53	80	126	190	195	211	188	193	189	129	30	38	1.186
S 90	51	71	102	141	132	136	123	139	151	113	26	36	892
S-O 30	40	68	121	195	225	255	222	205	177	105	27	28	1.220
S-O 45	43	70	122	193	216	240	210	200	180	108	27	30	1.199
S-O 60	45	69	118	182	199	216	192	186	174	107	25	31	1.129
S-O 90	41	59	95	140	145	153	137	139	139	89	20	29	868
S-W 30	38	66	115	188	215	250	215	202	172	110	29	27	1.190
S-W 45	41	68	114	184	203	235	202	196	173	115	29	29	1.161
S-W 60	42	67	108	172	183	211	181	182	166	114	28	29	1.086
S-W 90	38	56	85	131	131	149	127	135	131	97	24	27	827
O 30	28	52	102	168	208	242	208	180	144	79	22	19	1.063
O 45	27	49	98	159	196	225	194	169	138	75	21	19	1.003
O 60	26	46	90	148	180	206	177	155	128	69	18	18	923
O 90	22	35	71	116	137	156	132	120	102	55	14	15	712
W 30	26	50	95	159	193	234	197	176	138	84	24	18	1.021
W 45	25	47	89	149	177	217	181	163	130	81	23	17	951
W 60	23	43	81	136	160	196	162	149	120	77	21	16	865
W 90	19	33	61	104	120	146	119	113	95	61	16	13	659
NW 30	18	35	76	126	169	212	176	144	100	57	20	13	839
NW 45	16	30	65	105	142	181	148	121	83	49	18	12	710
NW 60	14	27	57	90	121	155	125	103	72	43	16	10	610
NW 90	11	21	43	68	91	115	93	77	57	34	11	8	460
NO 30	18	36	80	132	181	219	185	148	104	54	19	13	872
NO 45	16	31	70	112	156	189	159	126	87	46	17	12	749
NO 60	15	28	61	98	135	164	137	109	75	41	15	11	651
NO 90	11	21	47	75	101	123	101	83	59	32	11	8	493
N 30	17	30	66	112	165	208	172	132	81	42	19	13	775
N 45	15	27	55	76	130	170	138	95	54	38	17	12	606
N 60	14	25	49	62	95	127	101	73	49	34	15	10	479
N 90	11	19	39	50	72	91	74	59	42	28	11	8	368
Außenluft-temperatur [°C]	mittlere monatliche Außenlufttempertatur												Jahreswert
	2,6	3,9	5,6	9,7	14,9	17,7	20,2	19,7	15,4	10,8	5,3	2,7	10,7

A 3.3 Gegenüberstellung Referenzklima Potsdam nach GEG und Zukunftsklima Potsdam

Tabelle A-5: Differenzen der mittlere monatlichen Strahlungsintensitäten und Außenlufttemperaturen für den Referenzort Potsdam (Zukunftsklima Potsdam 2035 – aktuelles mittleres Klima

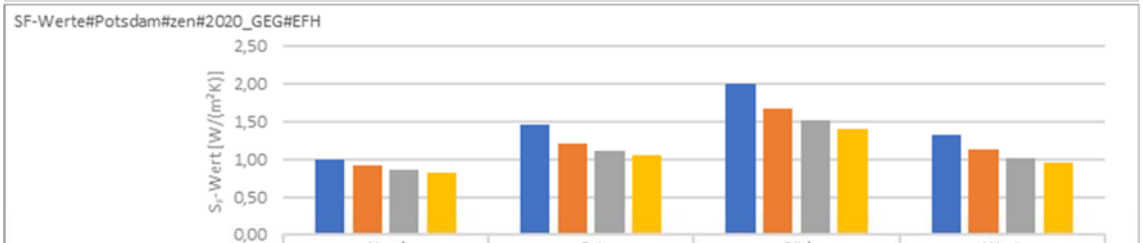
Klimadaten (Differenzen Potsdam 2035 - Potsdam aktuell) '+' Erhöhung; '-' Verringerung													
	mittlere monatliche Strahlungsintensität I_S [W/m²]												solare Einstralung [kWh/(m²a)]
Orientierung und Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr (Jan. - Dez.)
horizontal	-2,0	+10,0	+8,0	-16,0	-6,0	+14,0	+8,0	+10,0	+20,0	+7,0	-7,0	+2,0	+34,0
S 30	-6,0	+19,0	+5,0	-17,0	-5,0	+13,0	+13,0	+12,0	+30,0	+7,0	-12,0	+4,0	+45,0
S 45	-9,0	+22,0	+4,0	-16,0	-5,0	+12,0	+14,0	+13,0	+32,0	+6,0	-14,0	+4,0	+46,0
S 60	-11,0	+24,0	+3,0	-14,0	-4,0	+11,0	+14,0	+12,0	+32,0	+5,0	-15,0	+5,0	+44,0
S 90	-11,0	+23,0	+2,0	-10,0	-3,0	+9,0	+8,0	+9,0	+25,0	+3,0	-15,0	+5,0	+32,0
S-O 30	-6,0	+16,0	+7,0	-19,0	-3,0	+12,0	+10,0	+11,0	+29,0	+2,0	-11,0	+4,0	+37,0
S-O 45	-9,0	+17,0	+6,0	-20,0	-1,0	+11,0	+9,0	+11,0	+32,0	+0,0	-12,0	+4,0	+35,0
S-O 60	-10,0	+17,0	+6,0	-20,0	+1,0	+8,0	+9,0	+11,0	+32,0	-2,0	-14,0	+5,0	+30,0
S-O 90	-11,0	+16,0	+4,0	-17,0	+1,0	+6,0	+4,0	+8,0	+27,0	-4,0	-13,0	+5,0	+18,0
S-W 30	-4,0	+17,0	+4,0	-15,0	-8,0	+14,0	+12,0	+12,0	+25,0	+12,0	-9,0	+3,0	+45,0
S-W 45	-4,0	+19,0	+2,0	-14,0	-9,0	+14,0	+13,0	+12,0	+26,0	+13,0	-10,0	+3,0	+46,0
S-W 60	-5,0	+20,0	+0,0	-12,0	-9,0	+13,0	+11,0	+12,0	+26,0	+14,0	-10,0	+2,0	+45,0
S-W 90	-5,0	+19,0	-1,0	-8,0	-8,0	+11,0	+5,0	+9,0	+20,0	+13,0	-9,0	+2,0	+34,0
O 30	-3,0	+9,0	+8,0	-19,0	-2,0	+12,0	+4,0	+8,0	+22,0	+2,0	-8,0	+2,0	+26,0
O 45	-4,0	+8,0	+8,0	-21,0	+0,0	+10,0	+1,0	+7,0	+23,0	+1,0	-7,0	+3,0	+21,0
O 60	-4,0	+8,0	+6,0	-20,0	+1,0	+9,0	-1,0	+6,0	+22,0	+0,0	-8,0	+3,0	+16,0
O 90	-3,0	+6,0	+3,0	-16,0	+1,0	+7,0	-5,0	+6,0	+20,0	+0,0	-6,0	+3,0	+10,0
W 30	+0,0	+10,0	+5,0	-14,0	-10,0	+14,0	+8,0	+10,0	+17,0	+13,0	-5,0	+1,0	+36,0
W 45	+0,0	+10,0	+3,0	-12,0	-11,0	+14,0	+6,0	+8,0	+16,0	+15,0	-5,0	+1,0	+34,0
W 60	+0,0	+10,0	+2,0	-12,0	-10,0	+13,0	+4,0	+9,0	+16,0	+16,0	-4,0	+1,0	+30,0
W 90	+1,0	+8,0	-1,0	-12,0	-8,0	+9,0	+1,0	+6,0	+14,0	+13,0	-4,0	+1,0	+20,0
NW 30	+2,0	+3,0	+8,0	-13,0	-9,0	+13,0	+3,0	+6,0	+9,0	+10,0	-2,0	+1,0	+23,0
NW 45	+1,0	+2,0	+7,0	-12,0	-9,0	+13,0	-1,0	+5,0	+6,0	+9,0	-2,0	+1,0	+15,0
NW 60	+1,0	+2,0	+7,0	-12,0	-9,0	+11,0	-3,0	+3,0	+5,0	+7,0	-2,0	+1,0	+9,0
NW 90	+0,0	+3,0	+5,0	-11,0	-5,0	+7,0	-2,0	+3,0	+6,0	+5,0	-2,0	+1,0	+6,0
NO 30	+1,0	+3,0	+10,0	-17,0	-2,0	+12,0	+0,0	+5,0	+12,0	+5,0	-3,0	+1,0	+21,0
NO 45	+1,0	+2,0	+10,0	-16,0	-2,0	+11,0	-6,0	+4,0	+9,0	+5,0	-3,0	+1,0	+13,0
NO 60	+1,0	+2,0	+8,0	-14,0	-2,0	+10,0	-9,0	+4,0	+7,0	+5,0	-2,0	+2,0	+9,0
NO 90	+0,0	+2,0	+6,0	-10,0	-1,0	+9,0	-9,0	+3,0	+7,0	+3,0	-2,0	+1,0	+7,0
N 30	+1,0	+1,0	+11,0	-14,0	-6,0	+12,0	-1,0	+5,0	+6,0	+6,0	-2,0	+2,0	+16,0
N 45	+0,0	+1,0	+12,0	-12,0	-4,0	+11,0	-6,0	+2,0	-2,0	+5,0	-2,0	+2,0	+6,0
N 60	+1,0	+1,0	+10,0	-8,0	-5,0	+11,0	-10,0	+1,0	-1,0	+4,0	-2,0	+1,0	+2,0
N 90	+1,0	+1,0	+8,0	-7,0	-3,0	+8,0	-6,0	+2,0	+1,0	+3,0	-2,0	+1,0	+4,0
Außenluft-temperatur [°C]	Differenzen mittlere monatliche Außenlufttempertatur (Differenzen Potsdam 2035 - Potsdam aktuell) '+' Erhöhung; '-' Verringerung												Differenz Jahreswert
	+1,6	+2,0	+0,9	+0,5	+0,8	+1,0	+1,2	+1,1	+1,1	+1,3	+1,2	+1,8	+1,2

Anhang B Gegenüberstellung S_F-Werte für Referenzklima und Zukunftsklima

B 1 Auswertungen Niveau GEG 2020

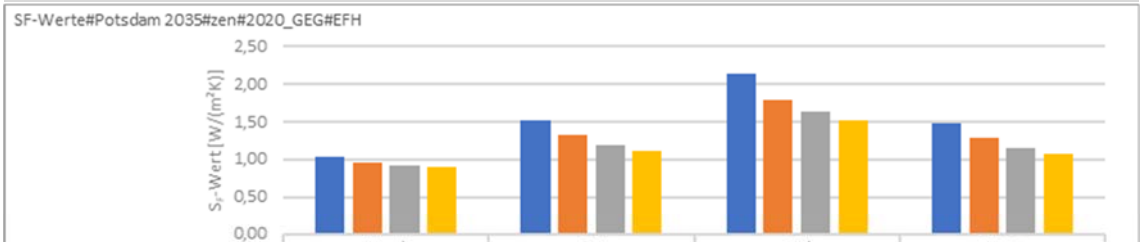
B 1.1 Raum „zen“

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)



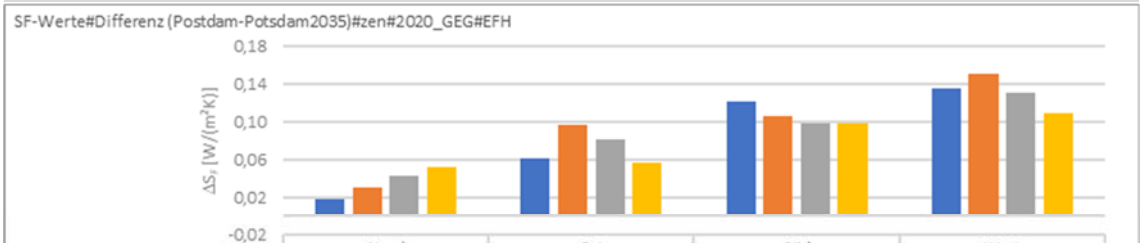
	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,01	1,46	2,01	1,33
EFH fWF = 50 %	0,93	1,22	1,68	1,13
EFH fWF = 70 %	0,87	1,11	1,53	1,02
EFH fWF = 90 %	0,84	1,06	1,42	0,96

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,03	1,52	2,13	1,47
EFH fWF = 50 %	0,96	1,32	1,78	1,28
EFH fWF = 70 %	0,92	1,20	1,63	1,15
EFH fWF = 90 %	0,89	1,11	1,52	1,07

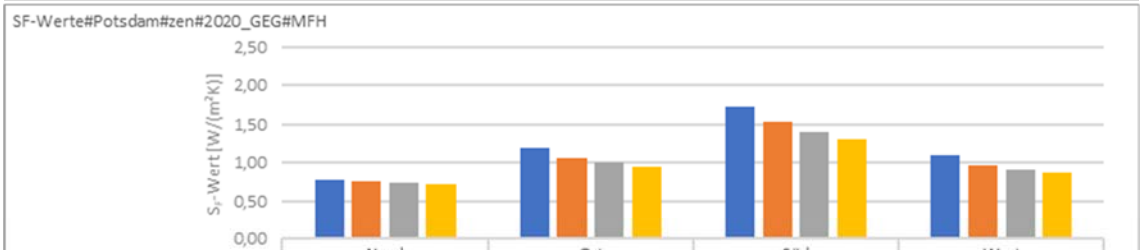
Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam (‘+‘ Erhöhung; ‘-‘ Verringerung)



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	+0,02	+0,06	+0,12	+0,14
EFH fWF = 50 %	+0,03	+0,10	+0,11	+0,15
EFH fWF = 70 %	+0,04	+0,08	+0,10	+0,13
EFH fWF = 90 %	+0,05	+0,06	+0,10	+0,11

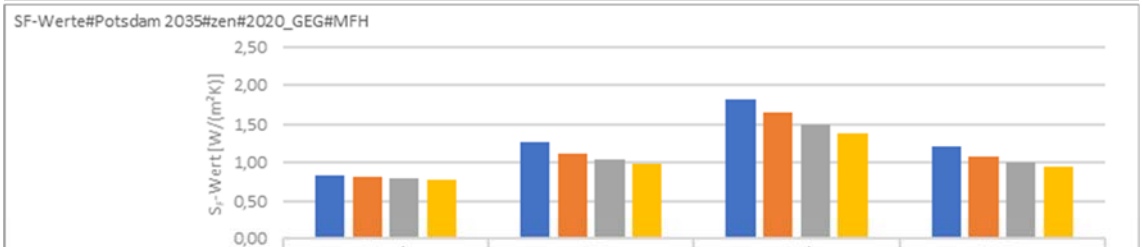
Bild B-1: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen“ und das Niveau „GEG 2020“. Auswertungen für die Nutzung EFH.**

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)



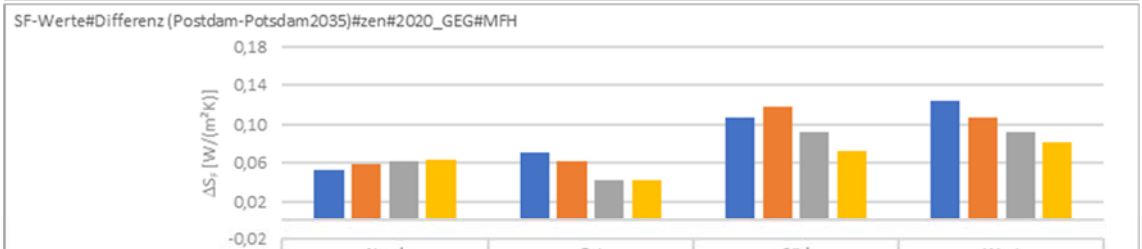
	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,78	1,20	1,72	1,09
MFH fWF = 50 %	0,75	1,07	1,53	0,97
MFH fWF = 70 %	0,73	1,00	1,40	0,91
MFH fWF = 90 %	0,72	0,95	1,32	0,87

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,84	1,27	1,82	1,22
MFH fWF = 50 %	0,81	1,13	1,65	1,08
MFH fWF = 70 %	0,80	1,05	1,49	1,00
MFH fWF = 90 %	0,78	1,00	1,39	0,95

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam ('+' Erhöhung; '-' Verringerung)



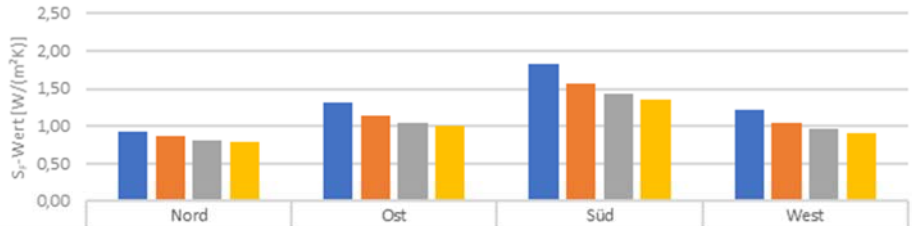
	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	+0,05	+0,07	+0,11	+0,12
MFH fWF = 50 %	+0,06	+0,06	+0,12	+0,11
MFH fWF = 70 %	+0,06	+0,04	+0,09	+0,09
MFH fWF = 90 %	+0,06	+0,04	+0,07	+0,08

Bild B-2: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen" und das Niveau „GEG 2020". Auswertungen für die Nutzung MFH.**

B 1.2 Raum „zen1.5b1.5t_breit“

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)

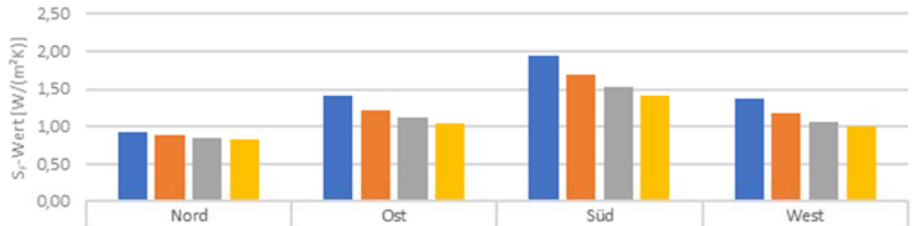
SF-Werte#Potsdam#zen1.5b1.5t_breit#2020_GEG#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	0,94	1,31	1,83	1,22
EFH fWF = 50 %	0,87	1,14	1,57	1,04
EFH fWF = 70 %	0,83	1,06	1,43	0,96
EFH fWF = 90 %	0,79	1,00	1,35	0,92

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)

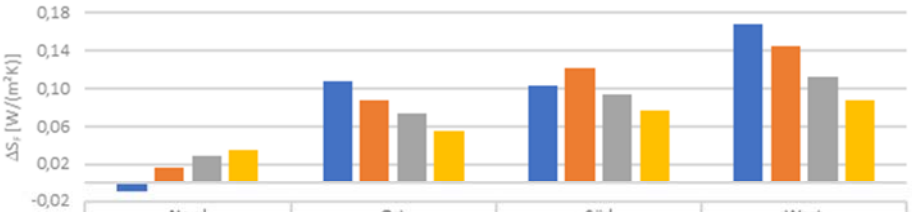
SF-Werte#Potsdam 2035#zen1.5b1.5t_breit#2020_GEG#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	0,93	1,42	1,93	1,38
EFH fWF = 50 %	0,89	1,23	1,70	1,19
EFH fWF = 70 %	0,85	1,13	1,52	1,07
EFH fWF = 90 %	0,83	1,05	1,43	1,00

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam (‘+‘ Erhöhung; ‘-‘ Verringerung)

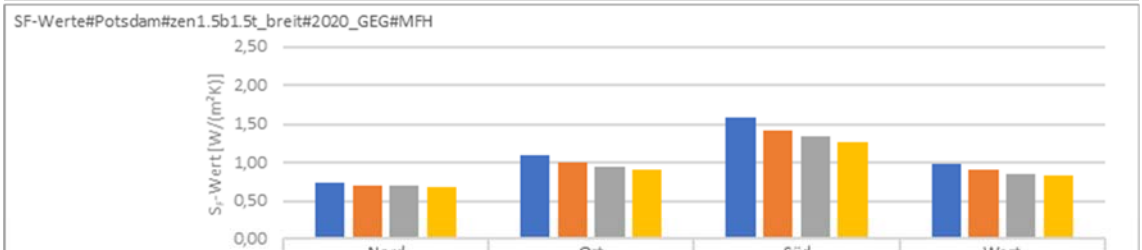
SF-Werte#Differenz (Postdam-Potsdam2035)#zen1.5b1.5t_breit#2020_GEG#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	-0,01	+0,11	+0,10	+0,17
EFH fWF = 50 %	+0,02	+0,09	+0,12	+0,14
EFH fWF = 70 %	+0,03	+0,07	+0,09	+0,11
EFH fWF = 90 %	+0,04	+0,05	+0,08	+0,09

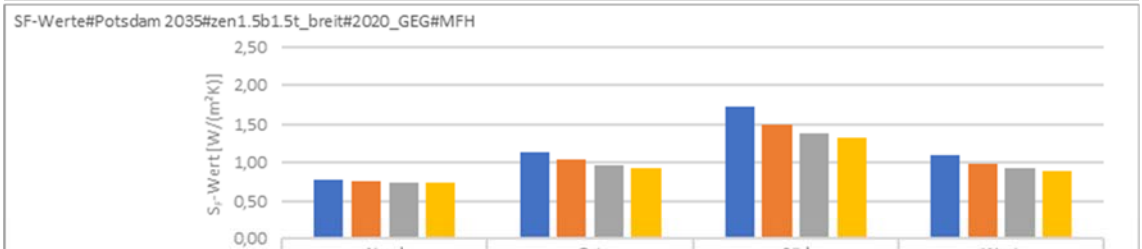
Bild B-3: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit“ und das Niveau „GEG 2020“. Auswertungen für die Nutzung EFH.**

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)



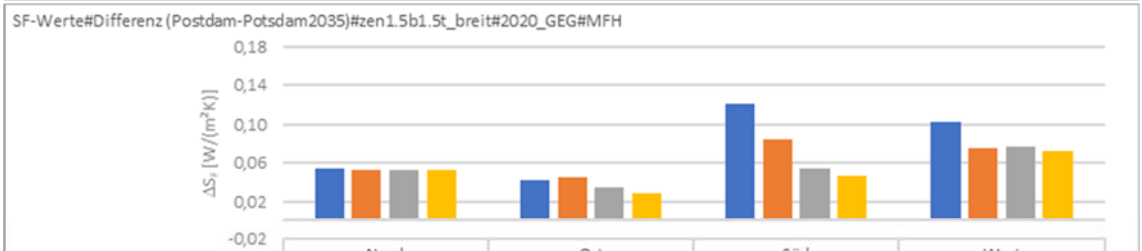
	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,73	1,10	1,60	0,99
MFH fWF = 50 %	0,71	1,00	1,41	0,91
MFH fWF = 70 %	0,70	0,94	1,34	0,86
MFH fWF = 90 %	0,68	0,90	1,27	0,82

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,79	1,15	1,72	1,09
MFH fWF = 50 %	0,76	1,04	1,50	0,99
MFH fWF = 70 %	0,75	0,98	1,39	0,94
MFH fWF = 90 %	0,74	0,93	1,32	0,90

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam ('+' Erhöhung; '-' Verringerung)



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	+0,05	+0,04	+0,12	+0,10
MFH fWF = 50 %	+0,05	+0,05	+0,09	+0,08
MFH fWF = 70 %	+0,05	+0,03	+0,05	+0,08
MFH fWF = 90 %	+0,05	+0,03	+0,05	+0,07

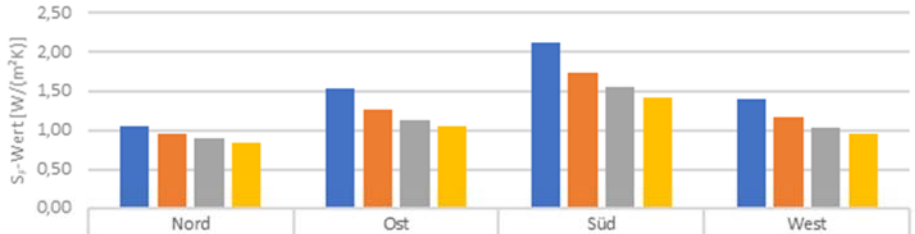
Bild B-4: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit" und das Niveau „GEG 2020". Auswertungen für die Nutzung MFH.**

B 2 Auswertungen Niveau WSV 1995

B 2.1 Raum „zen“

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)

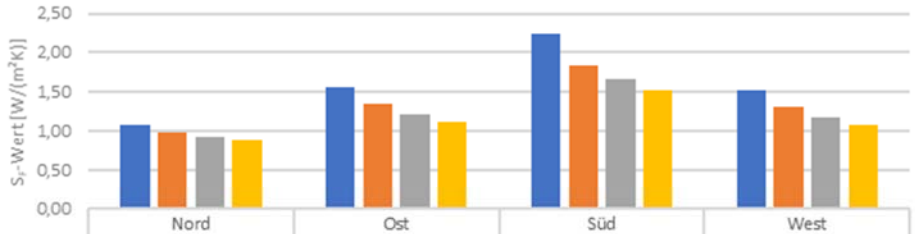
SF-Werte#Potsdam#zen#1995_WSV#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,05	1,54	2,11	1,40
EFH fWF = 50 %	0,95	1,26	1,73	1,17
EFH fWF = 70 %	0,89	1,13	1,55	1,04
EFH fWF = 90 %	0,84	1,06	1,42	0,96

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)

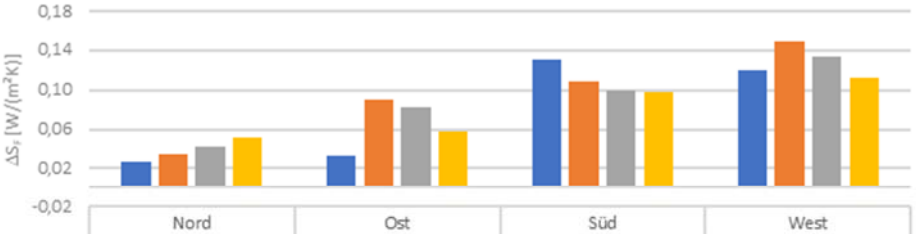
SF-Werte#Potsdam 2035#zen#1995_WSV#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,08	1,57	2,24	1,52
EFH fWF = 50 %	0,99	1,36	1,84	1,32
EFH fWF = 70 %	0,93	1,21	1,65	1,17
EFH fWF = 90 %	0,89	1,12	1,52	1,08

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam (‘+‘ Erhöhung; ‘-‘ Verringerung)

SF-Werte#Differenz (Postdam-Potsdam2035)#zen#1995_WSV#EFH

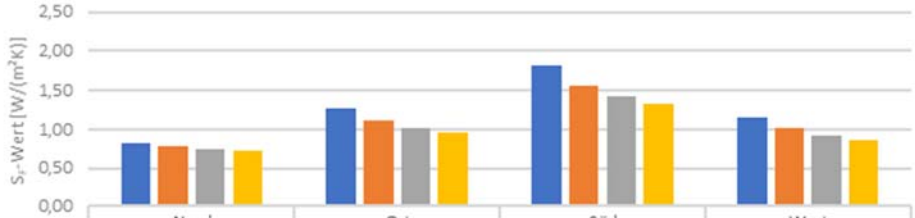


	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	+0,03	+0,03	+0,13	+0,12
EFH fWF = 50 %	+0,04	+0,09	+0,11	+0,15
EFH fWF = 70 %	+0,04	+0,08	+0,10	+0,13
EFH fWF = 90 %	+0,05	+0,06	+0,10	+0,11

Bild B-5: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen“ und das Niveau „WSV 1995“. Auswertungen für die Nutzung EFH.**

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)

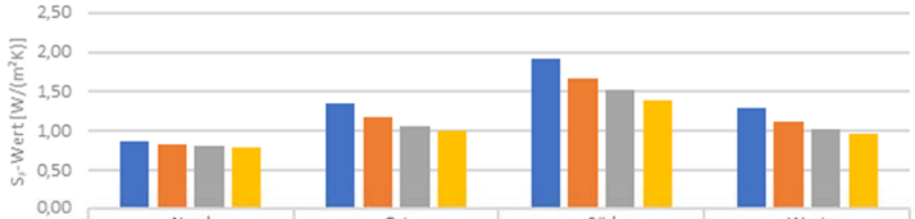
SF-Werte#Potsdam#zen#1995_WSV#MFH



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,82	1,28	1,81	1,16
MFH fWF = 50 %	0,78	1,11	1,56	1,01
MFH fWF = 70 %	0,75	1,01	1,43	0,93
MFH fWF = 90 %	0,72	0,96	1,33	0,87

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)

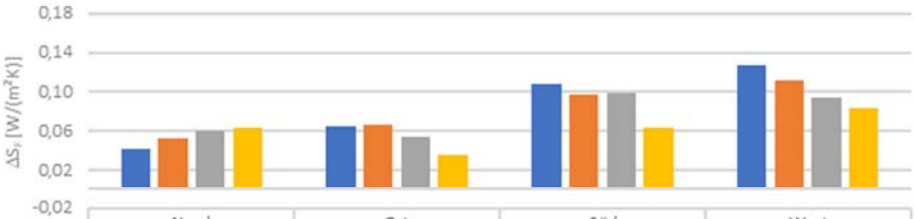
SF-Werte#Potsdam 2035#zen#1995_WSV#MFH



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,86	1,34	1,92	1,29
MFH fWF = 50 %	0,83	1,17	1,66	1,12
MFH fWF = 70 %	0,81	1,07	1,53	1,02
MFH fWF = 90 %	0,78	1,00	1,40	0,95

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam ('+' Erhöhung; '-' Verringerung)

SF-Werte#Differenz (Postdam-Potsdam2035)#zen#1995_WSV#MFH



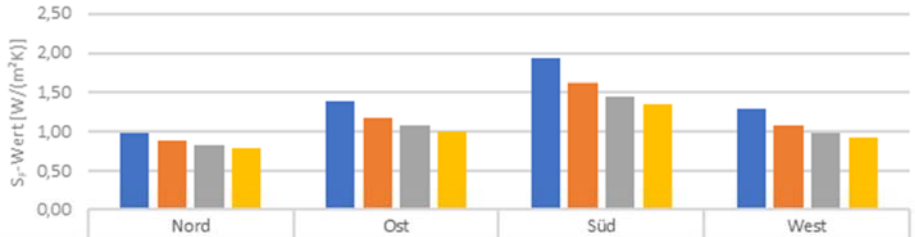
	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	+0,04	+0,06	+0,11	+0,13
MFH fWF = 50 %	+0,05	+0,07	+0,10	+0,11
MFH fWF = 70 %	+0,06	+0,05	+0,10	+0,09
MFH fWF = 90 %	+0,06	+0,03	+0,06	+0,08

Bild B-6: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen" und das Niveau „WSV 1995". Auswertungen für die Nutzung MFH.**

B 2.2 Raum „zen1.5b1.5t_breit“

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)

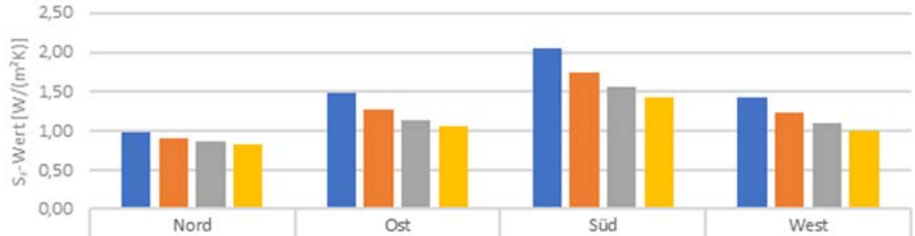
SF-Werte#Potsdam#zen1.5b1.5t_breit#1995_WSV#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	0,99	1,40	1,94	1,29
EFH fWF = 50 %	0,90	1,17	1,63	1,08
EFH fWF = 70 %	0,84	1,08	1,46	0,98
EFH fWF = 90 %	0,80	1,01	1,35	0,92

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)

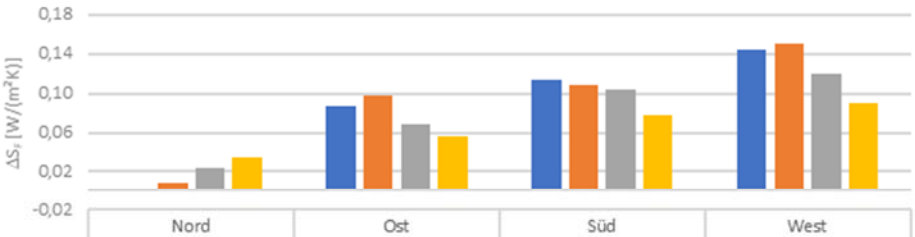
SF-Werte#Potsdam 2035#zen1.5b1.5t_breit#1995_WSV#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	0,99	1,49	2,06	1,44
EFH fWF = 50 %	0,91	1,27	1,74	1,23
EFH fWF = 70 %	0,86	1,14	1,56	1,10
EFH fWF = 90 %	0,83	1,06	1,43	1,01

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam (‘+‘ Erhöhung; ‘-‘ Verringerung)

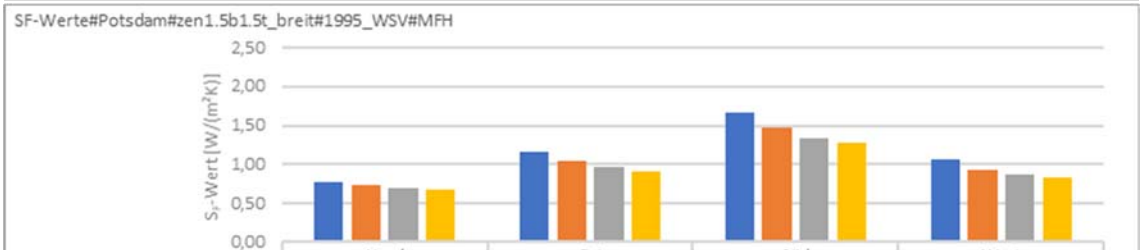
SF-Werte#Differenz (Postdam-Potsdam2035)#zen1.5b1.5t_breit#1995_WSV#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	-0,00	+0,09	+0,11	+0,14
EFH fWF = 50 %	+0,01	+0,10	+0,11	+0,15
EFH fWF = 70 %	+0,02	+0,07	+0,10	+0,12
EFH fWF = 90 %	+0,03	+0,06	+0,08	+0,09

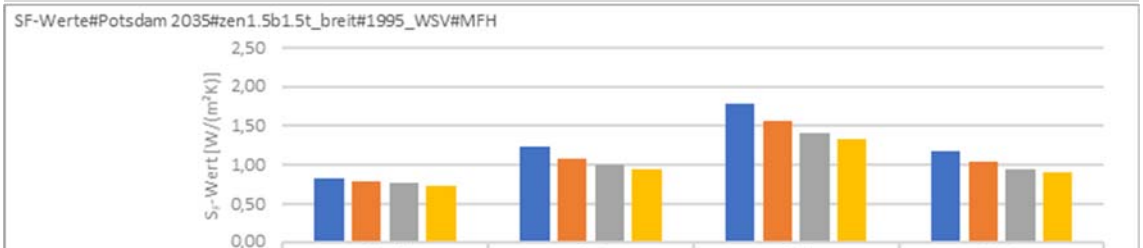
Bild B-7: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit“ und das Niveau „WSV 1995“. Auswertungen für die Nutzung EFH.**

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)



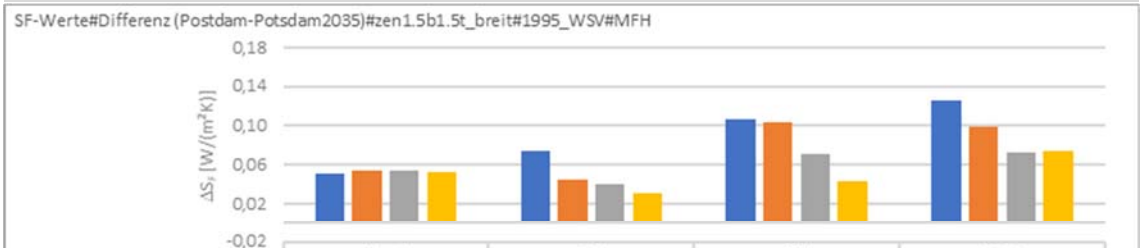
	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,77	1,16	1,67	1,06
MFH fWF = 50 %	0,73	1,04	1,47	0,94
MFH fWF = 70 %	0,71	0,96	1,35	0,88
MFH fWF = 90 %	0,69	0,91	1,28	0,83

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,82	1,24	1,78	1,19
MFH fWF = 50 %	0,79	1,09	1,57	1,04
MFH fWF = 70 %	0,76	1,00	1,42	0,95
MFH fWF = 90 %	0,74	0,94	1,32	0,90

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam ('+' Erhöhung; '-' Verringerung)



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	+0,05	+0,07	+0,11	+0,13
MFH fWF = 50 %	+0,05	+0,05	+0,10	+0,10
MFH fWF = 70 %	+0,05	+0,04	+0,07	+0,07
MFH fWF = 90 %	+0,05	+0,03	+0,04	+0,07

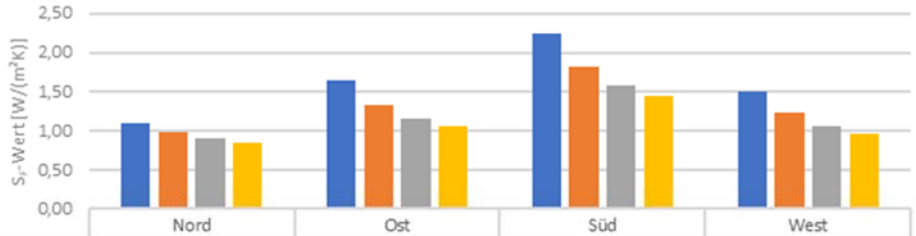
Bild B-8: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit" und das Niveau „WSV 1995". Auswertungen für die Nutzung MFH.**

B 3 Auswertungen Niveau WSV 1982

B 3.1 Raum „zen“

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)

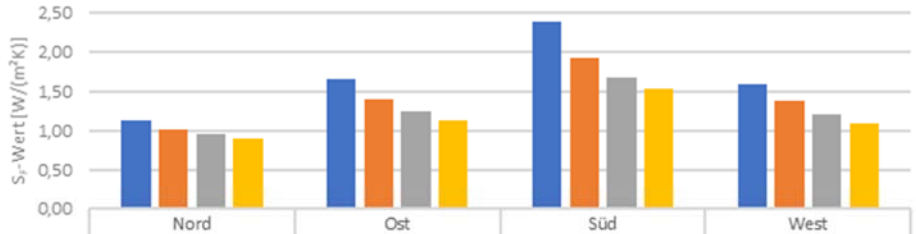
SF-Werte#Potsdam#zen#1982_WSV#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,11	1,65	2,24	1,50
EFH fWF = 50 %	0,99	1,34	1,81	1,24
EFH fWF = 70 %	0,91	1,16	1,58	1,07
EFH fWF = 90 %	0,85	1,06	1,44	0,97

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)

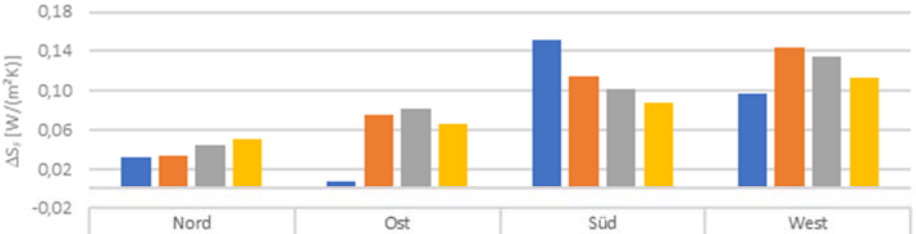
SF-Werte#Potsdam 2035#zen#1982_WSV#EFH



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,14	1,66	2,39	1,60
EFH fWF = 50 %	1,02	1,41	1,92	1,38
EFH fWF = 70 %	0,95	1,25	1,68	1,21
EFH fWF = 90 %	0,90	1,13	1,53	1,09

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam (‘+‘ Erhöhung; ‘-‘ Verringerung)

SF-Werte#Differenz (Postdam-Potsdam2035)#zen#1982_WSV#EFH

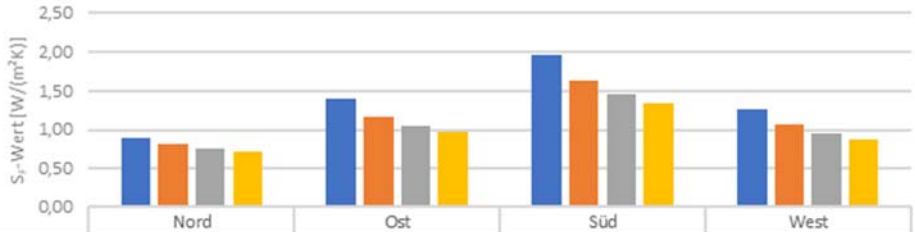


	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	+0,03	+0,01	+0,15	+0,10
EFH fWF = 50 %	+0,03	+0,08	+0,11	+0,14
EFH fWF = 70 %	+0,04	+0,08	+0,10	+0,13
EFH fWF = 90 %	+0,05	+0,07	+0,09	+0,11

Bild B-9: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen“ und das Niveau „WSV 1982“. Auswertungen für die Nutzung EFH.**

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)

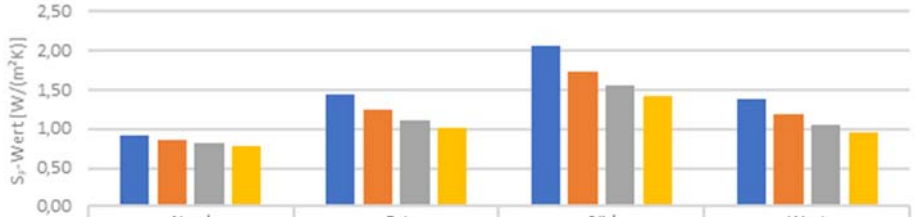
SF-Werte#Potsdam#zen#1982_WSV#MFH



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,89	1,39	1,96	1,26
MFH fWF = 50 %	0,82	1,17	1,64	1,07
MFH fWF = 70 %	0,77	1,05	1,46	0,96
MFH fWF = 90 %	0,73	0,97	1,34	0,88

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)

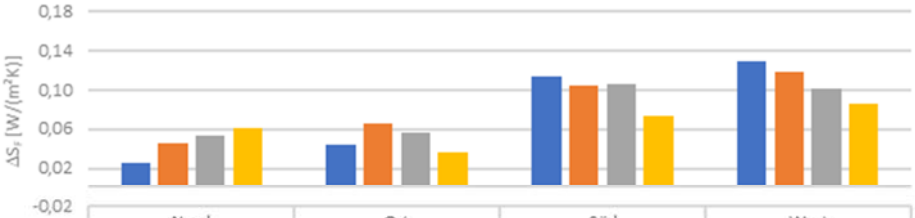
SF-Werte#Potsdam 2035#zen#1982_WSV#MFH



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,91	1,44	2,07	1,39
MFH fWF = 50 %	0,86	1,24	1,74	1,19
MFH fWF = 70 %	0,82	1,10	1,56	1,06
MFH fWF = 90 %	0,79	1,01	1,42	0,97

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam ('+' Erhöhung; '-' Verringerung)

SF-Werte#Differenz (Postdam-Potsdam2035)#zen#1982_WSV#MFH

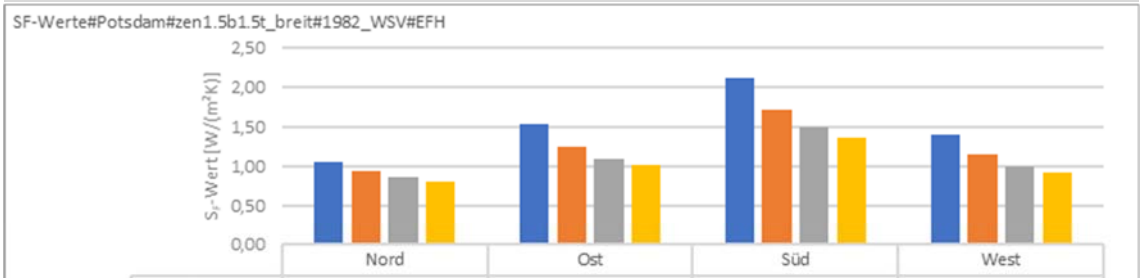


	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	+0,03	+0,04	+0,11	+0,13
MFH fWF = 50 %	+0,05	+0,07	+0,10	+0,12
MFH fWF = 70 %	+0,05	+0,06	+0,11	+0,10
MFH fWF = 90 %	+0,06	+0,04	+0,07	+0,09

Bild B-10: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen" und das Niveau „WSV 1982". Auswertungen für die Nutzung MFH.**

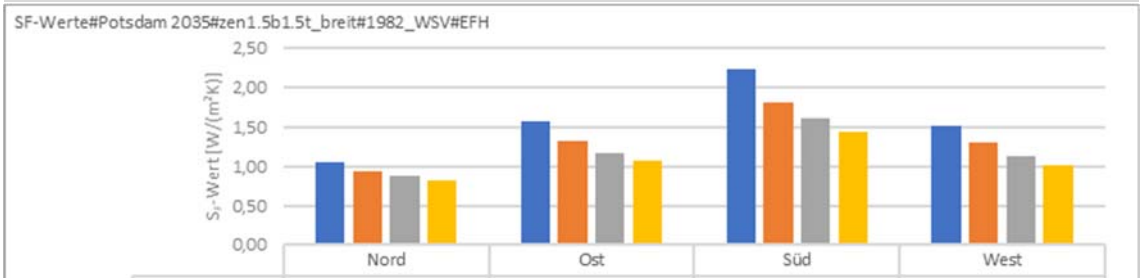
B 3.2 Raum „zen1.5b1.5t_breit“

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)



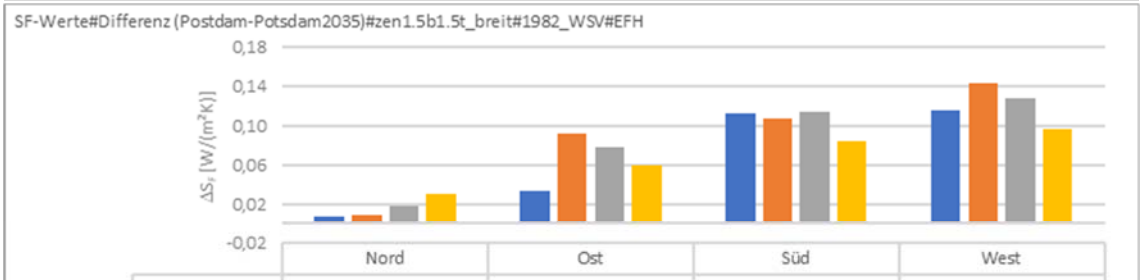
	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,06	1,55	2,12	1,41
EFH fWF = 50 %	0,94	1,25	1,71	1,16
EFH fWF = 70 %	0,87	1,10	1,51	1,01
EFH fWF = 90 %	0,81	1,01	1,36	0,93

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)



	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	1,07	1,58	2,24	1,53
EFH fWF = 50 %	0,95	1,34	1,81	1,30
EFH fWF = 70 %	0,89	1,18	1,62	1,14
EFH fWF = 90 %	0,84	1,07	1,45	1,02

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam (‘+‘ Erhöhung; ‘-‘ Verringerung)

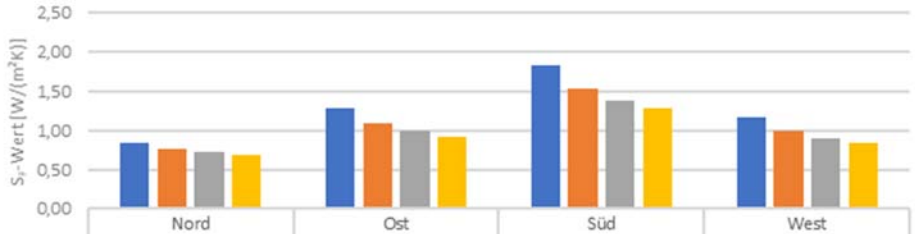


	Nord	Ost	Süd	West
EFH fWF = 30 %	+0,01	+0,03	+0,11	+0,12
EFH fWF = 50 %	+0,01	+0,09	+0,11	+0,14
EFH fWF = 70 %	+0,02	+0,08	+0,11	+0,13
EFH fWF = 90 %	+0,03	+0,06	+0,08	+0,10

Bild B-11: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit“ und das Niveau „WSV 1982“. Auswertungen für die Nutzung EFH.**

Potsdam, aktuelles mittleres Klima (Referenzklima Deutschland)

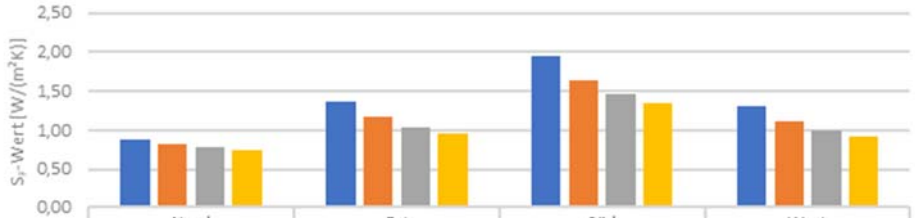
SF-Werte#Potsdam#zen1.5b1.5t_breit#1982_WSV#MFH



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,84	1,30	1,83	1,17
MFH fWF = 50 %	0,78	1,10	1,55	1,00
MFH fWF = 70 %	0,73	1,00	1,39	0,90
MFH fWF = 90 %	0,69	0,92	1,29	0,84

Potsdam 2035 (mittleres Zukunftsklima für die Periode 2020 bis 2050)

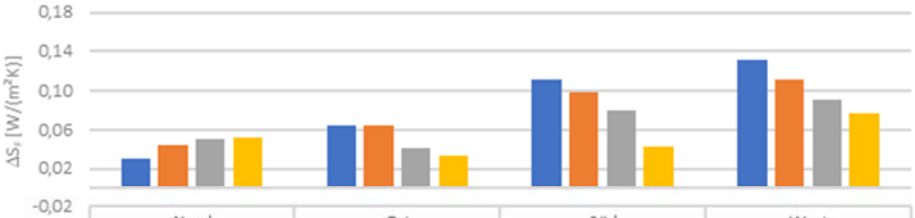
SF-Werte#Potsdam 2035#zen1.5b1.5t_breit#1982_WSV#MFH



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	0,87	1,36	1,94	1,31
MFH fWF = 50 %	0,82	1,16	1,64	1,12
MFH fWF = 70 %	0,78	1,04	1,47	0,99
MFH fWF = 90 %	0,75	0,95	1,34	0,92

Differenz Potsdam 2035 zu Potsdam ('+' Erhöhung; '-' Verringerung)

SF-Werte#Differenz (Postdam-Potsdam2035)#zen1.5b1.5t_breit#1982_WSV#MFH



	Nord	Ost	Süd	West
MFH fWF = 30 %	+0,03	+0,06	+0,11	+0,13
MFH fWF = 50 %	+0,04	+0,07	+0,10	+0,11
MFH fWF = 70 %	+0,05	+0,04	+0,08	+0,09
MFH fWF = 90 %	+0,05	+0,03	+0,04	+0,08

Bild B-12: **S_F-Werte für aktuelles mittleres Klima (oben), mittleres Zukunftsklima (Mitte) sowie Differenzen (unten) für den Zentralraum „zen1.5b1.5t_breit" und das Niveau „WSV 1982". Auswertungen für die Nutzung MFH.**