

Nabil A. Fouad (Hrsg.)

Bauphysik-Kalender 2017

**Schwerpunkt: Gebäudehülle und
Fassaden**

- unverzichtbare Hilfe in der Planungspraxis
- normenähnlicher Charakter
- die Empfehlungen werden auch in Ausschreibungen und Abrechnungen verwendet

Zur Erfüllung der komplexen Anforderungen an funktional optimierte Gebäudehüllen und Fassaden und ihre integrale Planung werden Hintergrundwissen und Beispiele gegeben. Sie beeinflussen Raumklima, Behaglichkeit und Energiebilanz, dienen dem Lärmschutz und sollen wartungsarm sein.

BESTELLEN

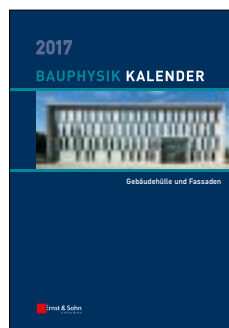
+49 (0) 30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3169

WILEY

Ernst & Sohn
A Wiley Brand



2017 · 778 Seiten · 640 Abbildungen ·
195 Tabellen

Hardcover

ISBN 978-3-433-03169-8

€ 79*

ÜBER DAS BUCH

Zukunftsfähige Gebäudehüllen werden der Interaktion von Außenwandkonstruktionen mit der Gebäudetechnik gerecht. Dabei müssen in einem integralen Planungsprozess die verschiedenen Anforderungen berücksichtigt werden, wie z. B. Behaglichkeit der Gebäudenutzer, energetische Effizienzaspekte, ökonomische Effizienzaspekte und wartungsarme Lebensdauer, Schutz der Konstruktion gegen klimatische Einwirkungen.

Die Entwicklung hin zu Niedrigstenergiegebäuden (nZEB – nearly zero-energy buildings) wirkt sich insbesondere auf den Entwurf der Gebäudehüllen aus. Ab 2021 sollen gemäß EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) alle Neubauten als Niedrigstenergiegebäude gebaut werden. Gebäude, die von Behörden als Eigentümer gebaut werden, sollen bereits ab Anfang 2019 diesen Standard einhalten. Um diesen zu erreichen, müssen die Gebäude vor allem gut gedämmt sein und erneuerbare Energiequellen nutzen. Messtechnische Untersuchungsmethoden und rechnerische Nachweisformate hinsichtlich Wärme- und Feuchte- und Schallschutz werden vorgestellt und er-

läutert. Eine besondere, neue Rolle kommt der Tageslichtnutzung zu.

Das Kompendium der Dämmstoffe im Bauwesen sowie der aktualisierte Beitrag über die Berechnung von Wärmebrücken sind Planungsgrundlagen für die tägliche Praxis. Auf aktuellem Stand sind auch in diesem Jahrgang die Materialtechnischen und Brandschutztechnischen Tabellen.

Der neue Bauphysik-Kalender 2017 mit dem Schwerpunktthema Gebäudehülle und Fassaden bietet eine solide Arbeitsgrundlage und ein verlässliches aktuelles Nachschlagewerk für die Planung in Neubau und Bestand.

Der Bauphysik-Kalender ist ein Kompendium für die richtige Umsetzung bauphysikalischer Schutzfunktionen mit Normenüberblick und -kommentierung, Materialdaten, Berechnung und Nachweisführung sowie praxisgerechten konstruktiven Lösungen auf den Gebieten Wärme- und Feuchteschutz, Schallschutz sowie Brandschutz.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03169-8	Bauphysik-Kalender 2017	€ 79*

☐ Privat

☐ Geschäftlich

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:

Tel. +49 (0) 30 47031-236

Fax +49 (0) 30 47031-240

marketing@ernst-und-sohn.de

Firma

UST-ID Nr.

Name, Vorname

Telefon

Fax

Straße, Nr.

PLZ / Ort / Land

E-Mail

Datum / Unterschrift

www.ernst-und-sohn.de/3169

Irrtum und Änderungen vorbehalten. Stand: 5/2020

Vorwort

Um die komplexen Anforderungen an funktional optimierte Gebäudehüllen bzw. Fassaden zu erfüllen, gewinnen die bauphysikalischen Überlegungen im Bauplanungsprozess, obgleich auf den Teilgebieten Wärme-, Feuchte-, Schallschutz, Brandschutz oder Licht, immer mehr an Bedeutung.

Der vorliegende Bauphysik-Kalender 2017 stellt auf diesen Teilgebieten für die Planung, Ausführung und Bewertung bei Neubauten sowie im Bestand ein aktuelles, verlässliches und praxisgerechtes Nachschlagewerk dar. Die folgenden Ziele sollen mit dem Bauphysik-Kalender erreicht werden, die sich überwiegend auch in seiner Gliederung widerspiegeln:

- Schaffung eines Überblicks über die neuesten Regelwerke und Normen sowie Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Bauphysik,
- materialtechnische Grundlagen sowie materialtechnische Tabellen werden zur Verfügung gestellt,
- bauphysikalische Nachweisverfahren werden vorgestellt und erläutert,
- die konstruktiven Ausbildungen ausgewählter Bauteile und Bauwerke unter Beachtung bauphysikalischer Kriterien werden dargestellt.

Der Bauphysik-Kalender 2017 mit dem Schwerpunkt *Gebäudehülle und Fassaden* enthält neben den jährlich aktualisierten und in Rubrik E abgedruckten Beiträgen zu den materialtechnischen Tabellen insgesamt 18 Beiträge, die das Schwerpunktthema des Bauphysik-Kalenders umfassend abdecken und die neuesten Erkenntnisse auf diesem Gebiet vorstellen.

In der Rubrik A *Allgemeines und Regelwerke* werden in zwei Beiträgen ein geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der Gebäudehülle, die Auswirkungen der Entwicklung zu Niedrigstenergiegebäuden auf die Gebäudehülle sowie die wesentlichen Aspekte zukunftsfähiger Gebäude bzw. Gebäudehüllen gegeben.

Die Rubrik B *Materialtechnische Grundlagen* beinhaltet den im Bauphysik-Kalender regelmäßig erscheinenden und aktualisierten Beitrag zu Wärmedämmstoffen im Bauwesen. Aerogelputze sowie die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens zum Verhalten derartiger Putze werden in einem weiteren Beitrag in dieser Rubrik vorgestellt.

In der Rubrik C *Bauphysikalische Planungs- und Nachweisverfahren* werden in sechs Beiträgen ausgewählte Themen zum aktuellen Stand sowie Entwicklungen

hinsichtlich der Planung, Prüfung und Ausführung vorgestellt und anhand von Beispielen umfassend erläutert. Zu den ausgewählten Themen gehören: der vereinfachte Tauwasserschutznachweis nach der aktuellen DIN 4108 - Teil 3, der Schlagregenschutz, Wärmebrücken, Luftdichtheit mit den zugehörigen Prüfverfahren sowie Schallschutz der Gebäudehülle und die Tageslichtnutzung bei Gebäuden. Zwei weitere Beiträge widmen sich der Infrarotthermografie im Bauwesen und einem Forschungsvorhaben zu messtechnischen und softwarebasierten Untersuchungen an Fassaden und fassadenintegrierten Kollektoren.

In der Rubrik D *Konstruktive Ausbildung von Bauteilen und Bauwerken* wird im ersten Beitrag die Sanierung der Außenhülle durch Innendämmung abgehandelt. Ausführungsaspekte und Nachweisverfahren nach der DIN, den WTA-Merkblättern sowie mögliche Simulationsverfahren werden hier, auch anhand von Beispieldstudien, vorgestellt. Der zweite Beitrag widmet sich der Problematik der Wärmebrücken bei Fensteranschlüssen, deren rechnerischem Nachweis sowie deren Behandlung im Beiblatt 2 der DIN 4108. Weiterhin werden in dieser Rubrik Ergebnisse und Empfehlungen für die Praxis aus mehreren Forschungsvorhaben, die Gebäudehülle betreffend, wie folgt vorgestellt: Untersuchungsergebnisse zu Doppelfassaden in Kombination von Schallschutz und natürlicher Lüftungsmöglichkeit; Beurteilung des Wärmeschutzes unter Berücksichtigung von gemessenen Raumklimaten, des Wärmeschutzniveaus der Gebäudehülle und des Außenklimas in der Klimaregion; Hygrothermisches Verhalten begrünter Dachkonstruktionen; Mikrobieller Bewuchs an Fassaden.

Der Bauphysik-Kalender 2017 will mit der dargestellten Themenvielfalt den Bogen von der Forschung zur Praxis und vom Planungsbüro zur ausführenden Firma spannen und dabei auf neue Entwicklungen und Tendenzen hinweisen.

Für kritische Anmerkungen sind die Autoren, der Herausgeber und der Verlag dankbar.

Der Herausgeber möchte an dieser Stelle allen Autoren für ihre Mitarbeit und dem Verlag für die angenehme Zusammenarbeit herzlichst danken.

Hannover, im Februar 2017

Nabil A. Fouad

Inhaltsübersicht

A Allgemeines und Regelwerke

- A 1 Gebäudehüllen gestern, heute und morgen 3
Winfried Heusler, Ksenija Kadija
- A 2 Auswirkungen der Entwicklung zu Niedrigstenergiegebäuden auf die Gebäudehülle 45
Tim Schöndube, Svenja Carrigan, Torsten Schoch, Oliver Kornadt

B Materialtechnische Grundlagen

- B 1 Dämmstoffe im Bauwesen 77
Wolfgang M. Willems, Kai Schild
- B 2 Strukturierte Aerogelputze 153
Matthias Schuss, Ardeshir Mahdavi, Ulrich Pont, Christian Sustr, Samira Aien, Karim Ghazi Wakili, Thomas Stahl

C Bauphysikalische Planungs- und Nachweisverfahren

- C 1 Vereinfachter Nachweis des Tauwasserschutzes nach DIN 4108-3:2014 179
Helmut Marquardt
- C 2 Schlagregenschutz von Außenwänden nach DIN 4108-3:2014 223
Helmut Marquardt
- C 3 Wärmebrücken Berechnung – Bewertung – Vermeidung 237
Wolfgang M. Willems, Kai Schild
- C 4 Infrarot-Thermografie der Gebäudehülle 277
Nabil A. Fouad, Torsten Richter
- C 5 Messtechnische und softwarebasierte Untersuchungen an Fassaden und fassaden-integrierten Kollektoren anhand von Prototypen 341
Daniel Brandl, Michael Grobbauer, Stefan Holper, Peter Kautsch, Thomas Mach, Mario J. Müller
- C 6 Luftdichtheit der Gebäudehülle in Planung, Ausführung und Messung 385
Stefanie Rolfsmeier, Paul Simons, Boris Schwitalski
- C 7 Schallschutz der Gebäudehülle 411
Schew-Ram Mehra
- C 8 Tageslicht in Gebäuden 431
Heinrich Kaase

D Konstruktive Ausbildung von Bauteilen und Bauwerken

- D 1 Nachweisführung für Innendämmsysteme 463
Anatol Worch
- D 2 Wärmebrückenproblematik bei Fenstern 507
Marc Klatecki, Anton Maas
- D 3 Doppelfassaden mit Kombination von Schallschutz und (natürlicher) Lüftungsmöglichkeit 531
Ardeshir Mahdavi, Egzon Bajraktari, Josef Lechleitner, Ulrich Pont

- D 4 Simulation des hygrothermischen Verhaltens begrünter Dachkonstruktionen 543
Daniel Zirkelbach
- D 5 Bemessung des Wärmeschutzes der Gebäudehülle auf der Grundlage von
Raumklimamessungen 577
Markus Hofmann, Christoph Geyer, Oliver Kornadt
- D 6 Mikrobieller Bewuchs an Fassaden 603
Heide Ackerbauer

E Materialtechnische Tabellen

- E 1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 645
Nina Schjerve, Ulrich Schneider
- E 2 Materialtechnische Tabellen 683
Rainer Hohmann

Stichwortverzeichnis 763

Hinweis des Verlages

Die Recherche zum Bauphysik-Kalender ab Jahrgang 2001 steht
im Internet zur Verfügung unter www.ernst-und-sohn.de

3 Wärmetechnische Anforderungen an Fenster und Fenstertüren

3.1 Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten

Die wärmeschutztechnischen Anforderungen an Fenster und Fenstertüren sind in der EnEV [4] vorgegeben. Dort wird zwischen Anforderungen an Wohn- und Nichtwohngebäude unterschieden.

Bei Wohngebäuden werden die Anforderungen an die Gebäudehülle über einen Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T' , einen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Wärmeverlust, beschrieben. Für alle Bauteile, also auch Fenster

und Fenstertüren, bedeutet dies, dass keine expliziten Einzelanforderungen bestehen. Vielmehr darf die gesamte wärmeübertragende Gebäudehülle einen Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlustes nicht überschreiten. Der H_T' -Anforderungswert ergibt sich seit dem 1.1.2016 aus dem H_T' -Wert einer sog. Referenzausführung, einer in der EnEV durch Festlegung von Referenz-U-Werten beschriebenen wärmeschutztechnischen Qualität von Bauteilen. Der unter Zugrundelegung der geplanten Gebäudegeometrie und vorgenannter Referenz-U-Werte ermittelte H_T' -Wert gilt als Anforderungswert für das zu errichtende Gebäude, solange dieser kleiner als der bis zum 31.12.2015 geltende gebäudespezifische Anforderungswert ist. Ist der für die Referenzausführung berechnete H_T' -Wert größer als die

Tabelle 1. Unterscheidung unterschiedlicher Beanspruchung und deren Auswirkungen auf den Baukörperanschluss nach [3]

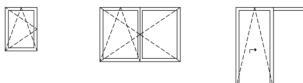
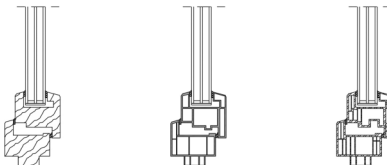
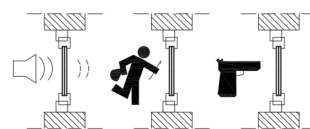
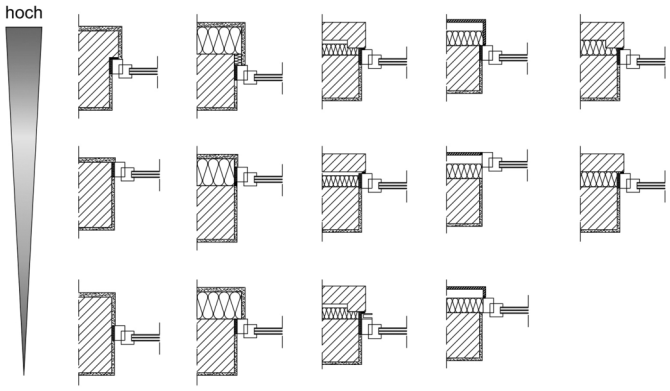
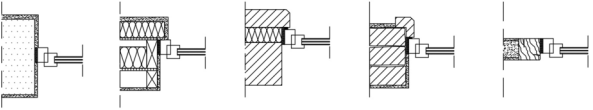
Merkmal	Beanspruchung/tendenzielle Auswirkung
Nutzung	gering  hoch  Gewerbe-, Verwaltungsbau (ohne Klimatisierung)  Wohnungsbau, Schulbau  Sonderbauten, Bäder, klimatisierte Räume
Fensterkonstruktion	Fenstergröße/Öffnungsart  Rahmenwerkstoff/Fugenbewegung  Farbgebung/Erwärmung/Fugenbewegung  Oberflächentemperatur bei Sonneneinstrahlung ca. 40 °C ca. 60 °C ca. 80 °C Besondere Eigenschaften  gering  hoch

Tabelle 1. (Fortsetzung)

Merkmal	Beanspruchung/tendenzielle Auswirkung
Anschlussausbildung	Außenwandkonstruktion - Lage in der Laibung  gering  hoch Laibungsausbildung  gering  hoch

vorgenannten bis zum 31.12.2015 geltenden gebäude-spezifischen H_T' -Höchstwerte, gelten diese nach wie vor als H_T' -Anforderungswert. Bei der Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T' werden alle Bauteile der thermischen Gebäudehülle berücksichtigt. Der Transmissionswär-

meverlust jedes Bauteils innerhalb der thermischen Hüllfläche ist hierbei vom jeweiligen Wärmedurchgangskoeffizienten U abhängig, wobei sich der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T' aus der Summe der zur Transmission beitragenden Bauteile zuzüglich eines auf die gesamte thermische Hüllfläche bezogenen

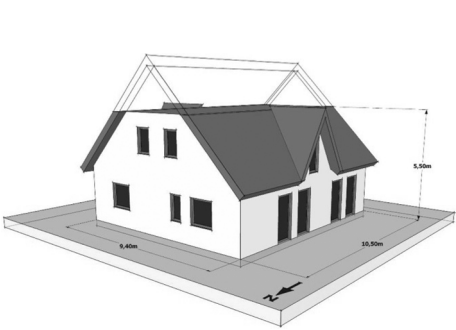


Bild 4. Beispielhafte Ermittlung des spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T'

Bezeichnung	Fläche [m²]	Ausrichtung	U-Wert [W/(m² · K)]	F _x	U · A · F _x [W/K]
Außenwand nord	34,3	Nord	0,28	1	9,60
Fenster nord	5,7		1,3	1	7,41
Außenwand ost	28,1	Ost	0,28	1	7,87
Fenster ost	5,8		1,3	1	7,54
Haustür	2,1		1,8	1	3,78
Außenwand süd	34,7	Süd	0,28	1	9,72
Fenster süd	5,3		1,3	1	6,89
Außenwand west	26,3	West	0,28	1	7,36
Fenster west	9,7		1,3	1	12,61
Dach ost	38,5	Ost	0,2	1	7,70
Dach west	38,5	West	0,2	1	7,70
Bodenplatte	98,7	horizontal	0,35	0,6	20,73
OG-Decke	41	horizontal	0,2	0,8	6,56
A _{ges} [m²]	368,7				
H _{TID} = Summe U·A· F _x					115,47 W/K
ΔU _{WB} [W/(m²·K)]	0,05	H _{T,WB} = A _{ges} · ΔU _{WB}			18,44 W/(m²·K)
H _{Tges} = H _{TID} + H _{T,WB}					133,90 W/(m²·K)
H _T ' = H _{T,WB} : A _{ges}					0,36 W/(m²·K)

Tabelle 2. Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}$ für transparente Bauteile für Nichtwohngebäude nach [4] ab dem 1.1.2016

Bauteil/System	maximale mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}_{\max}$		
	Raum-Solltemperaturen $\geq 19^\circ\text{C}$		Raum-Solltemperaturen $< 19^\circ\text{C}$
Transparente Außenbauteile	bis 31.12.2015	$\bar{U} = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	ab 1.1.2016	$\bar{U} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
Vorhangfassaden	bis 31.12.2015	$\bar{U} = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	ab 1.1.2016	$\bar{U} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	bis 31.12.2015	$\bar{U} = 3,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 3,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	ab 1.1.2016	$\bar{U} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	

pauschalen Zuschlags ΔU_{WB} zur Berücksichtigung der Wärmebrücken ergibt. In Bild 4 ist für ein beispielhaftes Einfamilienhaus das Vorgehen zur Ermittlung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T' dargestellt. Bei Nichtwohngebäuden hingegen sind die Anforderungen an die Gebäudehülle über zulässige Höchstwerte, die sogenannten maximalen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}_{\max}$, definiert. Hierbei werden im Gegensatz zu Wohngebäuden Anforderungen an den mittleren U-Wert der transparenten Bauteile gestellt, bei denen zusätzlich zwischen verschiedenen Raum-Solltemperaturen unterschieden wird. Die Anforderungen sind auszugsweise für transparente Bauteile in Tabelle 2 dargestellt, wobei die Zeilen „Transparente Außenbauteile“ die Anforderungen an Fenster und Fenstertüren beschreiben.

Bei Änderungen von Außenbauteilen müssen die in Tabelle 3 dargestellten Wärmedurchgangskoeffizienten für transparente Bauteile eingehalten werden. Alternativ darf der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und der Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T' bei Wohngebäuden bzw. die in Tabelle 2 für „bis 31.12.2015“ angegebenen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}$ bei Nichtwohngebäuden um nicht mehr als 40 % überschritten werden.

Dieser Nachweis muss jedoch nur geführt werden, wenn mehr als 10 % der jeweiligen Bauteilfläche geändert werden.

Tabelle 3. Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nach [4]

Bauteil	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen $\geq 19^\circ\text{C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis $< 19^\circ\text{C}$
	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\max}$	
Außenliegende Fenster, Fenstertüren	$1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Dachflächenfenster	$1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Verglasungen	$1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	keine Anforderung
Vorhangfassaden	$1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Glasdächer	$2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Fenstertüren mit Klapp-, Falt-, Schiebe- oder Hebemechanismus	$1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Außenliegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	$2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Sonderverglasungen	$1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	keine Anforderung
Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	$2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2 Anforderungen an Wärmebrücken

DIN V 18599 [6] und DIN V 4108-6 [7] bilden die Grundlage zur Berücksichtigung der Wärmeverluste über die Anschlussfuge. Diese können unter Inkaufnahme erhöhter Werte pauschal einbezogen werden. Ohne weitere Betrachtung muss die Wirkung der vermehrten Transmissionswärmeverluste mit einem allgemeinen Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (bei Innendämmsystemen mit $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) angesetzt werden. Kommen bauliche Ausführungen nach DIN 4108 Beiblatt 2 [8] zur Umsetzung, darf ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag in Höhe von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ verwendet werden. Alternativ können die Wärmeverluste bei einer detaillierten Erfassung der Fensteranschlüsse durch längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ bestimmt werden. Der Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} errechnet sich dann unter Berücksichtigung der anschlusspezifischen Wärmebrückenwirkung und deren Längen. Die zukünftige Fassung des Beiblatts 2 der DIN 4108 [9] sieht die Einteilung von Bauteilanschlüssen in zwei energetische Niveaus vor. Die Anschlüsse werden in die energetischen Kategorien A und B eingeteilt, wobei die Kategorie B das verbesserte energetische Niveau beschreibt und mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bei der energetischen Bilanzierung in Ansatz gebracht werden kann, wenn sämtliche Anschlüsse diese Qualität aufweisen. Für Fenster und Fenstertüranschlüsse bedeutet diese Einteilung eine differenzierte Betrachtung der Lage des Fensters bzw. der Fenstertür innerhalb der Laibung, wobei das Niveau B in der Regel eine Verlagerung des Fensters in die Dämmebene verlangt, siehe Bild 5. Bei monolithischer Bauweise erfolgt keine Differenzierung der Fensterlage, das Fenster muss lediglich innerhalb des mittleren Drittels zur Erfüllung der Anforderungen an Niveau B montiert werden.

3.3 Anforderungen an den Mindestwärmeschutz

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Fenstern und Fenstertüren sind in DIN 4108-2 [8] beschrieben. Dort heißt es, dass Schnittstellen von Fen-

tern bzw. Fenstertüren zum Rollladenkasten, zum Baukörper und vom Rollladen zum Baukörper einen Temperaturfaktor $f_{Rsi} \geq 0,70$, was einer minimalen zulässigen Oberflächentemperatur von $12,5^\circ\text{C}$ entspricht, einhalten müssen.

Die Bewertung des Mindestwärmeschutzes erfolgt auf Grundlage von Wärmebrückenberechnungen nach DIN EN ISO 10211 [10] mit den Randbedingungen des Beiblatts 2 der DIN 4108 [9] anhand Gleichung (1).

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (1)$$

mit

θ_{si} Temperatur am Punkt der Innenoberfläche $^\circ\text{C}$

θ_e Außenlufttemperatur $^\circ\text{C}$

θ_i Innenlufttemperatur $^\circ\text{C}$

Hierbei wird immer von einer gleichmäßigen Beheizung und ausreichenden Belüftung des Raumes sowie von einer weitgehend ungehinderten Luftzirkulation im Fensterbereich durch Ansatz eines raumseitigen Wärmeübergangswiderstands $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ausgegangen, ausgenommen Rollläden. An den sonstigen Außenbauteilen, auch bei den Rollläden, erfolgt die Berücksichtigung einer Behinderung des Wärmeüberganges über den Ansatz eines erhöhten raumseitigen Wärmeübergangswiderstandes $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, welcher nach DIN Fachbericht zur 4108-8 [11] mit Behinderung des Wärmeübergangs durch leichte Gardinen vergleichbar ist.

Rollläden, beispielsweise (Mini-) Aufsatzkästen und Vorsatzkästen vor Verbreiterungen, müssen nach [8] einen Wärmedurchlasswiderstand von $R \geq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ aufweisen, was einem Wärmedurchgangskoeffizienten $U \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bei horizontalem Wärmestrom entspricht. Bei Vorsatzkästen wird zusätzlich die vorhandene Einbausituation, also auch eine mögliche Verbreiterung auf dem Fenster bzw. der Fenstertür, bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U berücksichtigt, welche ebenfalls einen Temperaturfaktor $f_{Rsi} \geq 0,7$ in den Anschlussbereichen zum Mauerwerk und zum Fenster bzw. zur Fenstertür aufweisen müssen. Diese Anforderungen sind in Bild 6 bildhaft dargestellt.

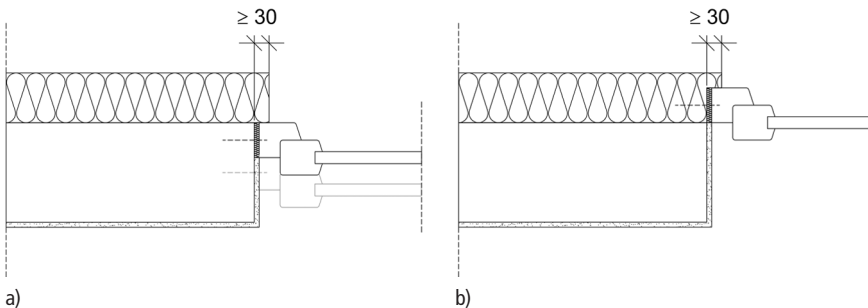


Bild 5. Fenstereinbaulage für die unterschiedlichen energetischen Niveaus am Beispiel einer außengedämmten Wand; a) Fensterlage im Bereich des Wandbildners (Niveau A), b) Fensterlage innerhalb der Dämmebene (Niveau B)

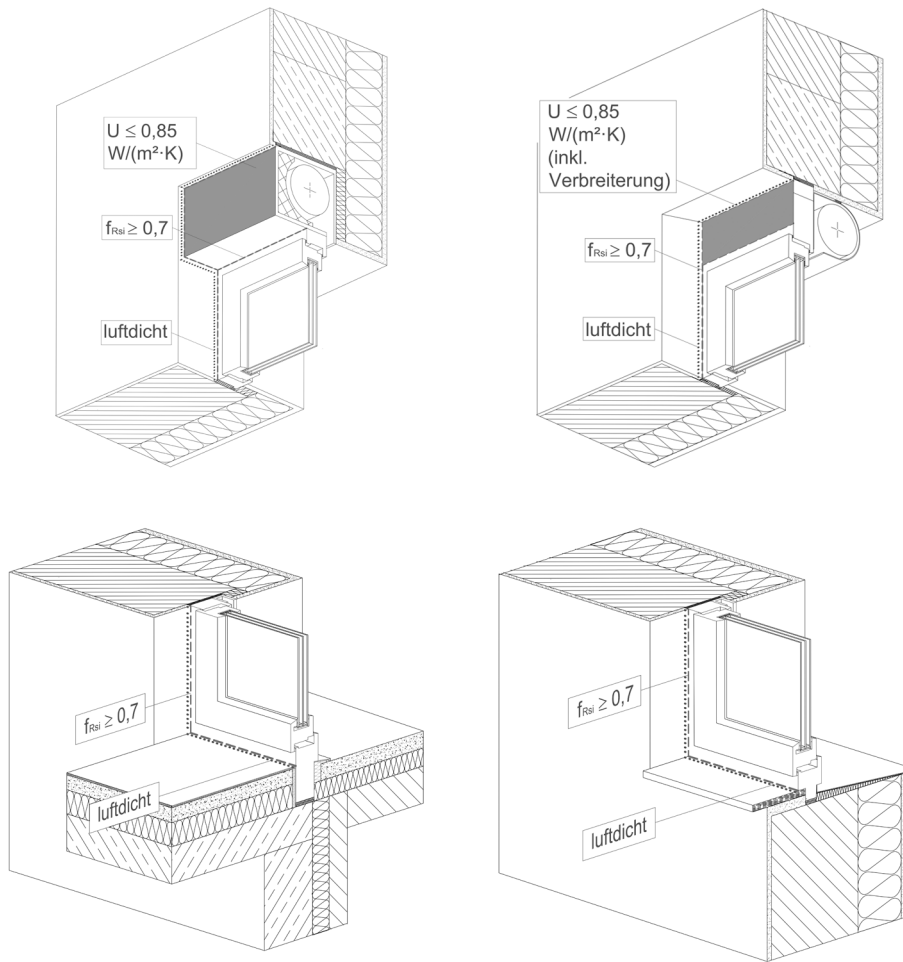


Bild 6. Darstellung der Anforderungen an den Mindestwärmeschutz an Fenster und Fenstertüren nach [12]

4 Wärmebrückenproblematik bei Fensteranschlüssen

4.1 Ersatzsystem für die energetische Bewertung von Fenstern

Bei Bauelementen stellt die Modellierung der tatsächlichen Profile einen hohen Aufwand dar. Vor allem die Behandlung von Hohlräumen in Aluminium- und Kunststoffprofilen auf Grundlage von DIN EN ISO 10077-2 [13] mit Berücksichtigung der Emission zwischen den Oberflächen des Hohlraumes ist bei den meisten Wärmebrückenprogrammen für baupraktische Fragestellungen nicht möglich. Daher besteht bei Führung des rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweises nach DIN 4108 Beiblatt 2 [8] und auch in der zukünftigen Fassung des Beiblatts [9] die Möglichkeit, Fenstersysteme über das in Bild 7 dargestellte Ersatzsystem mit

einer Dicke von 7 cm und Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ abzubilden.

Bei der rechnerischen Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ von Fenster- und Fenstertüranschlüssen mit dem in Bild 7 dargestellten Ersatzsystem treten jedoch im Vergleich zu Berechnungen mit detaillierter Darstellung des Fenstersystems auf Grundlage von DIN EN ISO 10077-2 [13] Diskrepanzen auf. Diese ergeben sich vor allem durch unterschiedliche Ausführungen im Bereich des unteren Fenstertüranschlusses und im Bereich der Brüstung. Beim unteren Fenstertüranschluss wird typischerweise unterhalb des Rahmenprofils eine zusätzliche Verbreiterung aufgebracht, die in der Regel, sollte sie nicht gedämmt sein, einen geringeren Wärmedurchlasswiderstand als das Fensterprofil aufweist. Bisher wurde im Beiblatt 2 der DIN 4108 [8] eine mindestens 50 mm dicke Dämmung

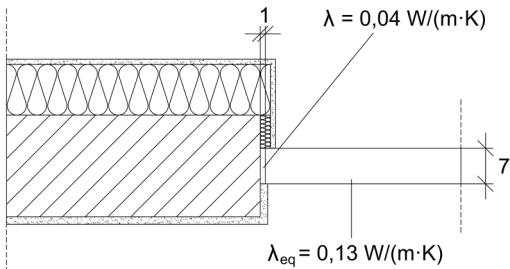


Bild 7. Darstellung des Ersatzsystems zur energetischen Bewertung von Fenster- und Fenstertüranschlüssen nach [8] und [9] am Beispiel einer außendämmten Außenwand

Bewertung erfolgte deshalb ohne Berücksichtigung der Führungsschienen. In Bild 10 ist die reale Ausführung mit Führungsschienen dem Detail nach [8] gegenübergestellt. Auch in diesem Bereich kommt es zu einer thermischen Schwachstelle, die eine Erhöhung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ zur Folge hat, die bislang nicht berücksichtigt wurde.

Die aufgetretenen Diskrepanzen werden in [9] zukünftig in Abhängigkeit vom tatsächlich verwendeten Rahmenmaterial, der betrachteten Anschlusssituation und der Bauart des angrenzenden Mauerwerks über einen Aufschlag korrigiert.

Die Ermittlung dieser Korrekturwerte erfolgte über eine vergleichende Berechnung des längenbezogenen

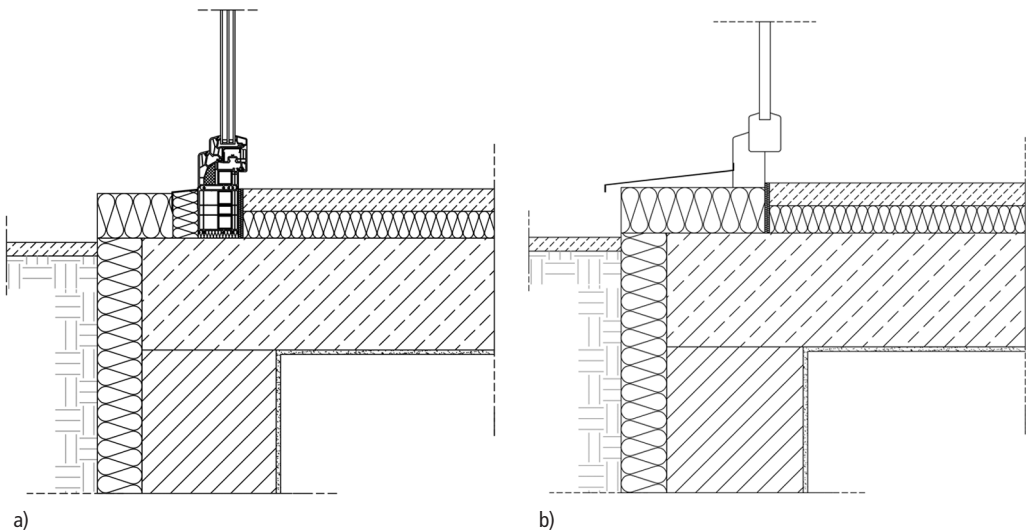


Bild 8. Gegenüberstellung der realen Ausführung des unteren Fenstertüranschlusses (a) mit dem bisherigen Detail nach [8] (b)

unterhalb der Fenstertür gefordert, siehe Bild 8. Dies führt folglich dazu, dass bei Ansatz eines pauschalen Wärmebrückenzuschlags von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ keine der angegebenen Lösungen anwendbar ist und die Gleichwertigkeit anhand von Wärmebrückenberechnungen nachgewiesen werden muss.

Bei Brüstungsanschlüssen wird unterhalb des Rahmenprofils in der Regel ein Bankanschluss, der die Möglichkeit zur Befestigung einer inneren und äußeren Fensterbank bietet, montiert. Durch den wesentlich kleineren Querschnitt des Bankanschlussprofils gegenüber dem Rahmen entsteht eine thermische Schwächung, die zu höheren Wärmeverlusten in diesem Bereich führt. In Bild 9 ist die Ausführung eines Rahmenprofils mit Bankanschluss dem bisherigen Detail nach [8] gegenübergestellt. Auch hier wäre streng genommen keine Gleichwertigkeit des Details gegeben und die Führung des rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweises erforderlich.

Laibungsanschlüsse mit Führungsschienen waren bisher im Beiblatt 2 der DIN 4108 [8] nicht vertreten. Die

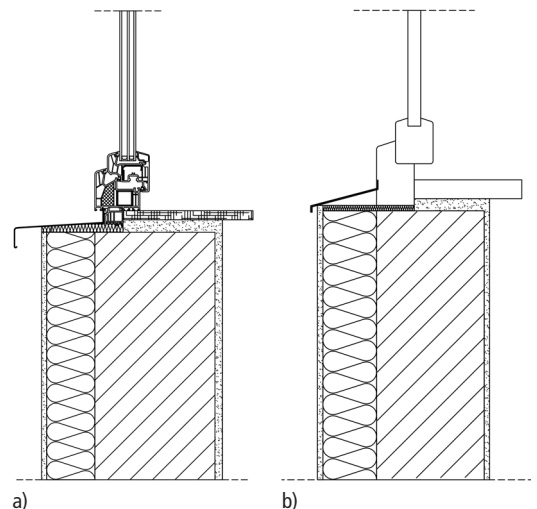


Bild 9. Gegenüberstellung der realen Ausführung des Brüstungsanschlusses (a) mit dem bisherigen Detail nach [8] (b)

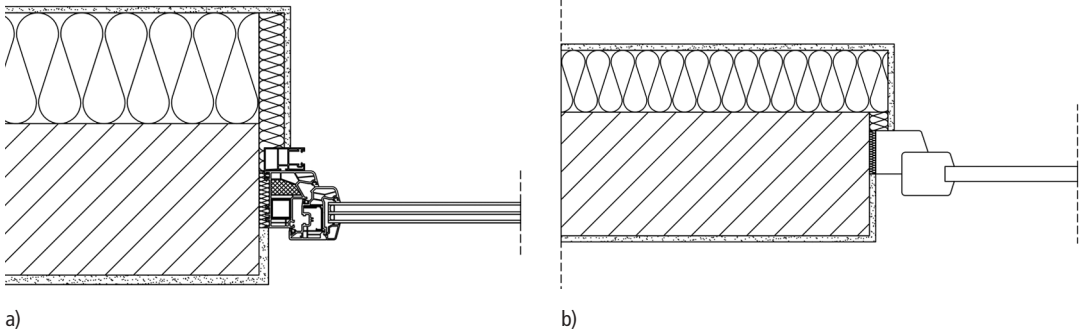


Bild 10. Gegenüberstellung der realen Ausführung des Laibungsanschlusses mit Führungsschiene (a) mit dem bisherigen Detail nach [8] (b)

Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ bei detaillierter Abbildung der Fenstersysteme auf Grundlage von DIN EN ISO 10077-2 [13] in Verbindung mit DIN EN ISO 10211 [10] und Abbildung des Fenstersystems über das in Bild 11 dargestellte Ersatzsystem in Verbindung mit DIN EN ISO 10211 [10].

Die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ bei der detaillierten Abbildung der Fenstersysteme erfolgt analog. Jedoch muss zunächst der thermische zweidimensionale Leitwert L_{2D} des Fenstersystems inkl. Verglasung berechnet werden. Dieser thermische zweidimensionale Leitwert L_{2D} wird mit der sich aus Anschlussfuge (ggf. Bankanschlussprofil) und Fenstersystem ergebenden Länge multipliziert und wie der Wärmedurchgangskoeffizient mit der effektiven Länge des Wandbildners vom thermischen zweidimensionalen Leitwert L_{2D} des Gesamtsystems subtrahiert. Das Vorgehen zur Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ im realen Fenstersystem ist in Bild 11 und Gleichung (2) dargestellt.

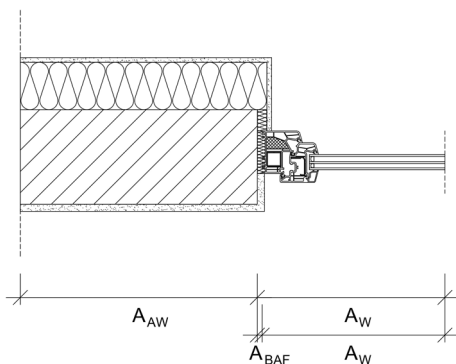


Bild 11. In Ansatz zu bringende Längen zur Ermittlung des Ψ -Werts bei realen Fenstersystemen

$$\Psi = L_{2D, \text{gesamt}} - U_{AW} \cdot A_{AW} - L_{2D, Fe} (A_{BAF} + A_{BA} + A_W) \quad (2)$$

mit

$L_{2D, \text{gesamt}}$ zweidimensionaler thermischer Leitwert des Gesamtsystems $[W/(m \cdot K)]$

A_{AW} modellierte Fläche der Außenwand $[m^2]$

U_{AW} Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand $[W/(m^2 \cdot K)]$

$L_{2D, Fe}$ zweidimensionaler thermischer Leitwert des Fensterelements $[W/(m \cdot K)]$

A_{BAF} modellierte Fläche der Bauanschlussfuge $[m^2]$

A_{BA} modellierte Fläche des Bankanschlussprofils des Fensterelements, falls vorhanden $[m^2]$

A_W modellierte Fläche des Fensterelements $[m^2]$

Anhand der sich einstellenden maximalen Abweichungen erfolgte die Ableitung der Korrekturwerte für die unterschiedlichen Anschlusssituationen, Rahmenmaterialien und Bauarten.

Die sich hieraus ergebenden Korrekturwerte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Das zuvor beschriebene Vorgehen wurde analog für die ermittelten Korrekturwerte der Dachflächenfensteranschlüsse angewendet. Diese sind in Tabelle 5 aufgeführt. Auch hier treten wie bei Fenster- bzw. Fenstertüranschlüssen Diskrepanzen zwischen detaillierter Modellierung der Rahmengometrie nach DIN EN ISO 10077-2 [13] und dem Ersatzsystem nach Beiblatt 2 [9] auf. Differenziert wird hierbei jedoch nur über die jeweilige Anschlusssituation und nicht wie bei Fenstern und Fenstertüren zusätzlich über das Material.

Bei der Führung des Gleichwertigkeitsnachweises nach Neufassung der DIN 4108 Beiblatt 2 [9] erfolgt die Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ für Dachflächenfensteranschlüsse zukünftig über die Modellierung einer homogenen 70 mm dicken Schicht für den Blendrahmen mit einer äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq} = 0,13 W/(m \cdot K)$, wobei die Außenseite der Ersatzmaske dieselbe Lage wie die Außenseite des konkreten Fensterrahmens aufweist.

Tabelle 4. Korrekturwerte des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ für Fenstersysteme nach [9]

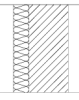
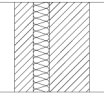
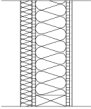
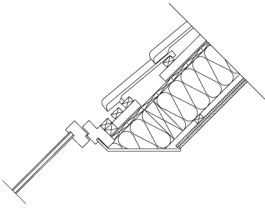
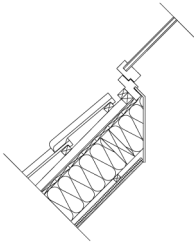
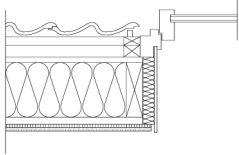
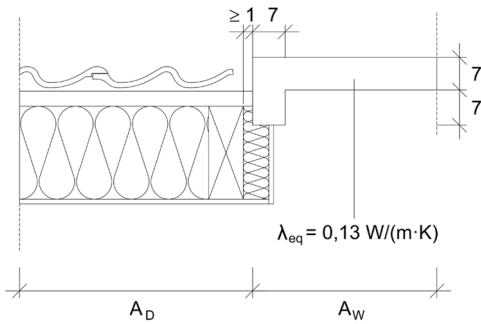
Anschluss	Material	Brüstung [W/(m · K)]	Laibung [W/(m · K)]	Sturz [W/(m · K)]	Unterer Anschluss Fenstertür [W/(m · K)]	Führungs- schiene [W/(m · K)]
Außenwand monolithisch 	Holz	0,08	0,01	0,01	0,13	0,01
	KST	0,08	0,01	0,02	0,13	0,01
	Alu	0,06	0,01	0,05	0,13	–
Außenwand außengedämmt 	Holz	0,03	0,01	0,01	0,18	0,06
	KST	0,08	0,03	0,03	0,18	0,10
	Alu	0,04	0,07	0,07	0,18	–
zweisch. Außenwand kerngedämmt 	Holz	0,10	0,01	0,01	0,11	0,06
	KST	0,16	0,02	0,01	0,12	0,08
	Alu	0,08	0,04	0,05	0,11	–
Außenwand in Holzbauart 	Holz	0,06	0,02	0,02	0,01	0,02
	KST	0,09	0,02	0,02	0,01	0,04
	Alu	0,07	0,02	0,02	0,01	–
Holz: Holzrahmen; KST: Kunststoffrahmen; Alu: thermisch getrenntes Alu-Rahmenprofil						

Tabelle 5. Korrekturwerte des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ für Dachflächenfenster nach [9]

Dachflächenfenster		
oberer Anschluss [W/(m · K)]	unterer Anschluss [W/(m · K)]	seitlicher Anschluss [W/(m · K)]
		
– 0,05	– 0,06	– 0,09



A_D modellierte Fläche des Dachs

A_W modellierte Fläche des Dachflächenfensters

Bild 12. Darstellung der Ersatzmaske zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ nach [9] für einen seitlichen Anschluss

Der untere und obere Anschluss des Dachflächenfensters muss bei der Eingabe in das Wärmebrückenprogramm mit Wechselsparren, Innenfutter und ggf. mit Dämmrahmen modelliert werden. Die Lage des Wechselsparrens ergibt sich hierbei aus der Dachneigung, Dachdicke und dem Sicherheitsabstand zur Montage eines senkrechten Fensterbankfutters. Die Modellierung eines Dachflächenanschlusses ist beispielhaft in Bild 12 dargestellt.

Die energetische Bewertung von Rollladenanschlüssen erfolgt, sofern keine konkreten Herstellerangaben hinsichtlich der Materialien und der Dämmstoffverteilung vorliegen, auf Grundlage des nachfolgend dargestellten geometrischen Hilfsmodells, welches die Mindestanforderungen der DIN 4108-2 [5] bzw. der Bauregelliste

einhält, in Abhängigkeit von der jeweils vorliegenden Belüftung des Rolllraums (Bild 13).

Die Außenkante des Blendrahmens liegt dabei an derselben Stelle wie in der geplanten Ausführung. Die Modellierung des Fensterrahmens erfolgt wiederum über das Ersatzsystem nach Bild 7. Der Lufthohlraum im Inneren des Rollladenkastens wird gemäß DIN EN ISO 10077-2 [13] wie folgt behandelt:

- wenn $e_1 + e_3 \leq 2$ mm: unbelüftet

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit eines unbelüfteten Lufthohlraums wird nach DIN EN ISO 10077-2 [13], Abschnitt 6.4 berechnet. Zur Bestimmung von e_1 und e_3 können zusätzliche Kleinteile z. B. Buchsen, Dichtungen usw. berücksichtigt werden.

- wenn $e_{tot} \leq 35$ mm: leicht belüftet

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit beträgt das Zweifache der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} eines unbelüfteten Lufthohlraums derselben Größe.

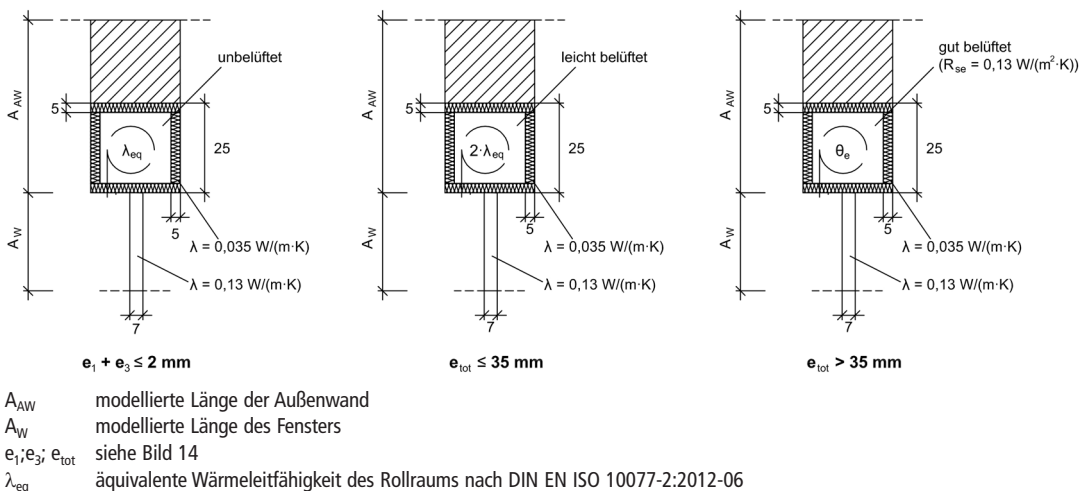
- wenn $e_{tot} > 35$ mm: gut belüftet

Die Lufttemperatur innerhalb des Lufthohlraums ist als gleich der Außentemperatur anzunehmen, jedoch mit einem Wärmeübergangswiderstand $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Zur besseren Verdeutlichung sind in Bild 14 die Abstände e_1 , e_2 , e_3 und e_{tot} zeichnerisch dargestellt.

Die Berechnung der energetischen Gleichwertigkeit von Vorsatzkästen, Mini-Aufsatzkästen oder Aufsatzkästen erfolgt analog eines Fenstersturzan schlusses mit dem zuvor beschriebenen Ersatzsystem für Fenster ohne Beaufschlagung des Korrekturwerts für die Fenster selbst. In Abhängigkeit vom tatsächlich vorgesehenen Rollladensystem und der Bauart muss der berechnete längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ mit den Korrekturwerten nach Tabelle 6 additiv beaufschlagt werden.

Die Ermittlung dieser Korrekturwerte erfolgte nach [9] analog zu den Korrekturwerten für Fenster.



A_{AW} modellierte Länge der Außenwand

A_W modellierte Länge des Fensters

e_1, e_3, e_{tot} siehe Bild 14

λ_{eq} äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Rolllraums nach DIN EN ISO 10077-2:2012-06

Bild 13. Darstellung des Hilfsmodells für den Sturzrollladenkasten zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ [9]

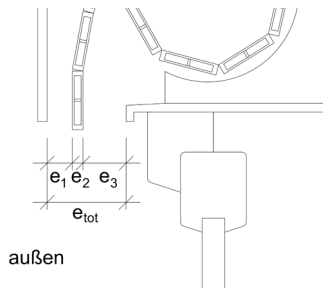


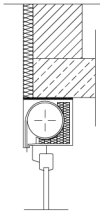
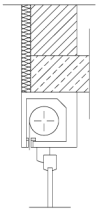
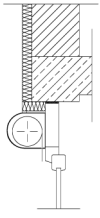
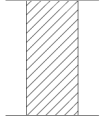
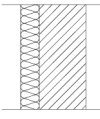
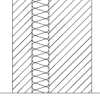
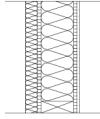
Bild 14. Schematische Beispiel für die Behandlung der Randbedingungen von Rollladenkästen nach DIN EN ISO 10077-2 [13]

4.2 Energetisch optimierter Fenstereinbau im Neubau

Die Lage des Fensters im Baukörper beeinflusst das wärmetechnische Verhalten des Anschlusses, wobei der Wärmedurchgang im Anschlussbereich des Fensters je nach Bauart und Einbaulage unterschiedlich ist. Aus Gründen des Wärmeschutzes ist die Lage des Fensters bei monolithischer Bauweise im mittleren Bereich zu wählen und mit zusätzlicher Außendämmung im Bereich der Dämmebene. Je weiter das Fenstersystem in die Dämmebene nach außen gesetzt wird, umso geringer bilden sich die Wärmebrückenverluste aus. Bei Außenwandkonstruktionen mit Vorsatzschale und Kerndämmung ist der Fenstereinbau wie bei der außengedämmten Konstruktion in der Dämmebene am günstigsten, wobei das Fenstersystem bei beiden Konstruktionsarten auf spezielle Konsolen aufgesetzt werden muss.

In Bild 15 bis Bild 18 sind die sich einstellenden Tendenzen des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ für unterschiedliche Konstruktionsarten in Abhängigkeit von der Einbaulage dargestellt. Bei guter Planung lassen sich je nach Einbaulage die Wärmeverluste auf ein Minimum reduzieren.

Tabelle 6. Korrekturwerte des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ für Vorsatzkästen, Mini-Aufsatzkästen und Aufsatzkästen nach [9]

Anschluss		Mini-Aufsatzkasten	Aufsatzkasten	Vorsatzelemente
				
Außenwand monolithisch		0,01	0,10	0,15
Außenwand außengedämmt		0,14	0,11	0,07
zweisch. Außenwand kerngedämmt		0,13	0,11	0,10
Außenwand Holzbauart		0,05	0,07	0,16

BESTELLSCHEIN

Stück	Bestell-Nr.:	Titel	Preis* €
	978-3-433-03169-8	Bauphysik Kalender 2017	149,-
	909538	Gesamtverzeichnis Ernst & Sohn 2016/2017	kostenlos
Monatlicher E-Mail-Newsletter: Anmeldung unter www.ernst-und-sohn.de/newsletter			

Liefer- und Rechnungsanschrift: ☐ privat ☐ geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr. / VAT-ID No.			Fax
Straße//Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Vertrauensgarantie: Dieser Auftrag kann innerhalb von zwei Wochen beim Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim, schriftlich widerrufen werden.

Datum / Unterschrift

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten.

Stand: Mai 2017 (homepage_Probekapitel)