

---

# **Detailwissen Bauphysik**

**Reihe herausgegeben von**

W. M. Willems, Bottrop-Grafenwald, Deutschland

K. Schild, Dortmund, Deutschland

Das Fachgebiet der Bauphysik stellt einen wichtigen und zentralen Arbeitsbereich für Architekten und Bauingenieure in der Praxis dar. Die Reihe „Detailwissen Bauphysik“ von Springer Vieweg vermittelt das Wissen und das Handwerkszeug für dieses Aufgabenfeld praxisnah und mit direktem Bezug zu den aktuellen Entwicklungen in Technik und Wissenschaft. Bezogen auf bauphysikalische Fragestellungen werden auch Themen aus anderen Bereichen der Bautechnik behandelt. Die Darstellungstiefe der Inhalte spricht sowohl Praktiker als auch Studierende an, die die Thematik Bauphysik während des Studiums vertiefen möchten. Die Titel dieser Reihe sind anwendungsbezogen und lösungsorientiert.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/12448>

---

Kai Schild

# Wärmebrücken

Berechnung und Mindestwärmeschutz

Kai Schild  
TU Dortmund  
Dortmund, Deutschland

Detailwissen Bauphysik  
ISBN 978-3-658-20708-3 ISBN 978-3-658-20709-0 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-20709-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Lektorat: Karina Danulat

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

## Vorwort

Die Bewertung der thermischen und hygrischen Besonderheiten bei Bauteilanschlüssen beschäftigt mich seit vielen Jahren und spiegelt sich in meiner Mitarbeit in den entsprechenden Arbeitsausschüssen des DIN, aber auch in der Mitgestaltung von verschiedenen Forschungsprojekten wie dem „Planungsatlas Hochbau“ wieder. Im Rahmen dieser Arbeiten haben sich immer wieder Fragestellungen bezüglich der Modellbildung bei Wärmebrückenberechnungen sowie der zu verwendenden Randbedingungen ergeben. In diesem Buch werden diese Fragen aufgegriffen, die Probleme beschrieben und Lösungsvorschläge aufgezeigt. Der Schwerpunkt dieser Veröffentlichung liegt jedoch in der Bewertung und Weiterentwicklung der derzeitigen Anforderungen beim Nachweis des Mindestwärmeschutzes. Hier zeigt sich, dass sowohl die Nachweisrandbedingungen, aber auch die Anforderungen, die aktuell in DIN 4108-2 verankert sind, diskutiert und neu bewertet werden müssen. Die in diesem Buch dokumentierten Arbeiten legen nahe, dass das derzeitige Anforderungsniveau der DIN 4108-2 nicht geeignet ist, das Risiko einer Schimmelpilzbildung ausreichend zu minimieren.

Die vorliegende Arbeit wurde im Sommersemester 2017 von der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dortmund als schriftliche Habilitationsleistung angenommen. Danken möchte ich an dieser Stelle Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems für seinen fachlichen Rat und viele Diskussionen während der Erstellung dieser Arbeit und ferner Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Schmidt für seine Bereitschaft, als externer Gutachter diese Arbeit zu bewerten. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Sonne und Herrn Prof. Dr.-Ing. Mike Gralla für ihr Mitwirken in der Habilitationskommission.

Marl im November 2017

Kai Schild

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Überblick</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Einführung Wärmebrücken</b> .....	3
<b>2.1</b>	<b>Definition „Wärmebrücke“</b> .....	3
<b>2.2</b>	<b>Arten von Wärmebrücken</b> .....	5
2.2.1	Geometrische Wärmebrücken .....	5
2.2.2	Konstruktive Wärmebrücken .....	6
2.2.3	Mischformen .....	6
2.2.4	Lüftungsbedingte Wärmebrücken .....	7
<b>2.3</b>	<b>Auswirkungen von Wärmebrücken</b> .....	8
2.3.1	Erhöhte Wärmeverluste .....	8
2.3.2	Schimmelpilzbildung und Tauwasserausfall.....	10
<b>2.4</b>	<b>Kennwerte für Wärmebrücken</b> .....	11
2.4.1	Thermischer Leitwert.....	11
2.4.2	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient.....	12
2.4.3	Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient.....	17
<b>3</b>	<b>Mindestwärmeschutz</b> .....	19
<b>3.1</b>	<b>Historische Entwicklung</b> .....	19
<b>3.2</b>	<b>Tauwasserbildung und Schimmelpilzwachstum</b> .....	22
3.2.1	Taupunkttemperatur.....	22
3.2.2	Schimmelpilzgrenztemperatur – 80%-Kriterium .....	24
3.2.3	Schimmelpilzgrenztemperatur – Isoplethenmodell.....	24
3.2.4	Grundsätzliche Ursachen für Tauwasserausfall/Schimmelpilzbildung .....	25
3.2.5	Relevanz der Betrachtung von Wärmebrücken.....	28
<b>3.3</b>	<b>Mindestwärmeschutz gemäß DIN 4108-2</b> .....	29
3.3.1	Anforderungen an schwere Bauteile .....	29
3.3.2	Anforderungen an leichte Bauteile .....	32
3.3.3	Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken .....	32
<b>3.4</b>	<b>Mindestwärmeschutz gemäß DIN EN ISO 13788</b> .....	34
<b>3.5</b>	<b>Mindestwärmeschutz bei Abhängungen und anderen Lufträumen</b> .....	34

<b>4</b>	<b>Energetische Relevanz</b> .....	35
<b>4.1</b>	<b>Berücksichtigung von Wärmebrücken im EnEV-Nachweis</b> .....	35
4.1.1	Einordnung in die Anforderungssystematik.....	35
4.1.2	Berücksichtigung von Wärmebrücken im U-Wert.....	35
4.1.3	Berücksichtigung durch pauschale Zuschläge auf den U-Wert.....	37
4.1.4	Berücksichtigung durch detaillierte Berechnung.....	38
4.1.5	Hybrider Zuschlag.....	39
<b>4.2</b>	<b>Wärmebrückenfreies Konstruieren</b> .....	40
4.2.1	Flachdachattika.....	40
4.2.2	Gebäudesockel.....	41
4.2.3	Innenwand.....	41
4.2.4	Fensterlaibung.....	42
4.2.5	Fenstersturz.....	42
4.2.6	Auskragungen.....	43
<b>5</b>	<b>Berechnungsrandbedingungen</b> .....	45
<b>5.1</b>	<b>Maßbezugssysteme</b> .....	45
5.1.1	Maßbezugssysteme gemäß DIN EN ISO 13789.....	45
5.1.2	Exkurs: Neutrale Bauteilachse.....	46
<b>5.2</b>	<b>Modellgeometrie</b> .....	49
5.2.1	Vorgaben gemäß DIN EN ISO 10211.....	49
5.2.2	Exkurs: Modellbildung für Fensteranschlüsse.....	57
<b>5.3</b>	<b>Materialkenngrößen</b> .....	60
5.3.1	Wärmeleitfähigkeit.....	60
5.3.2	Rohdichte.....	63
5.3.3	Spezifische Wärmekapazität.....	63
<b>5.4</b>	<b>Außenklima</b> .....	64
5.4.1	Reales Umgebungsklima.....	64
5.4.2	Außenlufttemperatur.....	67
5.4.3	Solare Einstrahlung.....	80
5.4.4	Wärmeübergangskoeffizient.....	81
<b>5.5</b>	<b>Erdreichtemperatur</b> .....	84
5.5.1	Temperaturverteilung im ungestörten Erdreich.....	84
5.5.2	Niederschlag.....	87

---

5.5.3	Grundwasser.....	87
5.5.4	Schnee.....	89
5.5.5	Frost.....	89
5.5.6	Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches.....	90
5.5.7	Wärmeübergangskoeffizient an der Erdoberfläche.....	91
5.5.8	Erdreichtemperatur in der Wärmebrückenberechnung.....	91
<b>5.6</b>	<b>Raumklima</b> .....	<b>95</b>
5.6.1	Raumlufttemperatur.....	95
5.6.2	Wärmeübergangskoeffizient.....	100
<b>5.7</b>	<b>Weitere Parameter</b> .....	<b>104</b>
<b>5.8</b>	<b>Beispiele zur Modellbildung</b> .....	<b>107</b>
<b>6</b>	<b>Auswertung der 3D-Berechnungen</b> .....	<b>113</b>
6.1	Umfang der Berechnungen.....	113
6.2	Einfluss der Nachtabenkung.....	116
6.3	Einfluss der Solarstrahlung.....	118
6.4	Einfluss des Klimadatensatzes.....	120
6.4.1	Visualisierung der grundsätzlichen Auswirkungen.....	120
6.4.2	Auswertung über alle Berechnungen.....	121
6.5	Einfluss der Dämmqualität.....	123
6.5.1	Visualisierung der grundsätzlichen Auswirkungen.....	123
6.5.2	Auswertung über alle Berechnungen.....	124
6.6	Einfluss der Masse.....	126
6.7	Einfluss der Wanddicke.....	128
6.8	Zusammenhang zwischen Eck- und Kantentemperatur.....	129
<b>7</b>	<b>Konsequenzen für den Mindestwärmeschutz</b> .....	<b>131</b>
7.1	Einordnung des aktuellen Mindestwärmeschutzes.....	131
7.2	Ableitung neuer Nachweisrandbedingungen.....	132
7.2.1	Erläuterung der Vorgehensweise.....	132
7.2.2	Nachweis der Anwendbarkeit.....	135
7.3	Festlegung des Anforderungsniveaus.....	140
7.4	Ableitung erforderlicher Bauteilqualitäten.....	141
7.4.1	Diskussion des Ansatzes gemäß DIN 4108-2.....	141



---

7.4.2	Einfluss der Eckausführung auf den Mindest-Wärmedurchlasswiderstand ....	146
7.4.3	Ergebnis und Ausblick.....	151
7.4.4	Zusammenfassung.....	153
<b>8</b>	<b>Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>155</b>
<b>9</b>	<b>Klimazeitreihen der 15 Repräsentanzstandorte .....</b>	<b>297</b>
<b>10</b>	<b>Wärmebrückenberechnung mit ANSYS.....</b>	<b>303</b>
10.1	Beispiel: APDL-Eingabedatei für Modell 1.1 gemäß Abschnitt 8.....	303
10.2	Auszug aus der Klimadatei „TRY1_w_temp“ .....	313
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>315</b>
11.1	Verordnungen und Veröffentlichungen.....	315
11.2	Normen und Richtlinien.....	319