

Zur thermischen Optimierung von Außentürsystemen

Dissertation an der Universität Hamburg
Fachbereich Biologie

Kooperation mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg
Arbeitsbereich Angewandte Bautechnik

vorgelegt von
Britta Schacht

Hamburg, 10. Juli 2002

Genehmigt vom
Fachbereich Biologie der
Universität Hamburg
auf Antrag von Herrn Professor Dr. A. FRÜHWALD

Weitere Gutachter der Dissertation:
Herr Professor Dr.-Ing. E. W. Krüger

Tag der Disputation: 27. Juni 2002

Hamburg, den 10. Juni 2002



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Udo Wienand".

Professor Dr. U. Wienand
Dekan

Abstract

In der vorliegenden Arbeit wurde der thermische Einfluss der verschiedenen Komponenten von Außentürsystemen untersucht und in Form der berechneten thermischen Kennwerte angegeben. Damit liegen erstmalig Kennwerte für die sehr erhebliche Wärmebrückenwirkung und die Beeinträchtigung der raumseitigen Oberflächentemperaturen von u. a. Türbeschlägen, Aussteifungsprofilen, Befestigungsmitteln und der Türschwelle vor. Weiterhin wurden thermisch optimierte Türkonstruktionen modelliert und berechnet, um zu verdeutlichen, in welchem Maß eine thermische Optimierung bei unterschiedlichen Türkonstruktionen möglich ist.

Anhand eines entwickelten Konzeptes zur thermischen Optimierung und mit Hilfe der erstellten Maßnahmenkataloge für die Außentür, den Wandanschluss und den Türschwellenbereich kann die Planung des Türbereiches erleichtert und Schwachstellen vermieden werden. Das Konstruktionsbeispiel eines Türanschlusses im Holzbau demonstriert eine konkrete Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen.

Dank

Diese Dissertation entstand im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Arbeitsbereich Angewandte Bautechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) und dem Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. A. Frühwald (Universität Hamburg), Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Holle (TUHH) und Herrn Prof. Dr.-Ing. E. W. Krüger (TUHH), die diese Arbeit in allen Phasen betreut und unterstützt haben. Herrn Prof. Dr. J. Ressel und Herrn Dr. A. Bernasconi (Universität Hamburg) danke ich für die interessierte Begleitung der Arbeit.

Weiterhin danke ich den Kollegen Stephan Dyck, Götz Schünemann und Michael Ludolph an der Technischen Universität für die eine oder andere fachliche Diskussion. Bei den studentischen Hilfskräften Henner Behre, Thomas Bissinger, Merijam Eigebracht, Arne Greve und Veronika Günther bedanke ich mich für die zeichnerische Unterstützung.

Ich danke Herrn Stefan Horschler (Büro für Bauphysik, Hannover) für den Gedankenaustausch zur Thematik der erdreichberührenden Bauteile.

Darüber hinaus möchte ich einen herzlichen Dank an meine Eltern Christiane und Detlef Rhenius für die Begleitung während der Erstellung dieser Arbeit richten. Außerdem bin ich Christa Schacht sehr dankbar, die den Text nach Fehlern durchsucht hat.

Insbesondere gilt mein Dank meinem Mann Stefan Schacht, der die Entstehung der Arbeit mit viel Liebe, konstruktiver Kritik und steter Diskussionsbereitschaft begleitet und schließlich das Korrekturlesen des Manuskriptes übernommen hat.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	15
Tabellenverzeichnis	19
Formelzeichen und Indizes	21
1 Einleitung	25
1.1 Ausgangslage	25
1.1.1 Bauschäden an Außentüren	25
1.1.2 Geändertes Anforderungsniveau im Wärmeschutz	27
1.1.3 Bisherige Untersuchungen zu der Thematik	28
1.2 Ziel der Arbeit	29
1.3 Gliederung der Arbeit	31
2 Bauphysikalische Grundlagen	33
2.1 Wärmeschutz	33
2.1.1 Wärmeübertragung	33
2.1.2 Transmissionswärmeverlust	34
2.1.3 Wärmebrücken	38
2.1.4 Oberflächentemperaturen	39
2.2 Feuchteschutz	39
2.2.1 Relative Luftfeuchte	40
2.2.2 Feuchte auf Bauteil-Oberflächen	40

2.2.3	Feuchte und Schimmelpilzbildung	40
2.2.4	Tauwasser innerhalb von Bauteilen durch Wasserdampfdiffusion	41
2.2.5	Tauwasser innerhalb von Bauteilen durch Wasserdampfkonvektion	43
2.2.6	Hygrothermische Formänderungen	43
2.2.7	Belastung durch Niederschlag	43
2.3	Dichtheit der Gebäudehülle	45
2.3.1	Luftdichtheit	45
2.3.2	Winddichtheit	47
3	Anforderungen und Vorgaben im Bereich Wärmeschutz	49
3.1	Mindestwärmeschutz	49
3.2	Energiesparender Wärmeschutz	50
3.3	Dichtheit der Gebäudehülle	51
3.4	Randbedingungen der Berechnung von Wärmebrückenkoeffizienten	51
4	Vorgehensweise	55
4.1	Thermische Kennwerte	55
4.2	Numerische Rechenverfahren	57
4.2.1	Grundlage der Finite-Elemente-Methode für Temperaturfeldberechnungen	57
4.2.2	Verwendete Software	58
4.2.3	Vorbereitung der Querschnitte zur Berechnung	58
4.2.4	Genauigkeit der Berechnung	59
4.2.5	Ausgabe der Berechnungsergebnisse	59
4.3	Linearisierung der Wärmebrücken	59
4.4	Durchgeführte Berechnungen	60
4.4.1	Linienbezogene und punktbezogene Wärmebrückenkoeffizienten	60
4.4.2	Wärmedurchgangskoeffizient einer Tür U_D	62
4.4.3	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens U_F	64
4.4.4	Wärmebrücke Glasrandbereich	64
4.4.5	Wärmebrückeneinfluss ΔU_D auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der Tür	65

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	11
4.5	Untersuchte Außentüren 65
4.5.1	Auswahl der betrachteten Türkonstruktionen 65
4.5.2	Maße der untersuchten Türen 66
4.5.3	Verwendete Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit 66
4.6	Voruntersuchung zum Berechnungsverfahren bei erdreichberührenden Bauteilen 68
4.6.1	Temperaturverteilung im Erdreich 69
4.6.2	Wärmebrücke Sockelanschluss 69
4.6.3	Variation der Randdaten 71
4.6.4	Einfluss des Bedingungsgefüges 75
4.6.5	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse 75
4.6.6	Ausgewähltes Bedingungsgefüge 77
5	Thermische Leistungsfähigkeit von Türblatt und Türrahmen 79
5.1	Rahmentüren 79
5.1.1	Holzrahmentüren 80
5.1.2	Aluminiumrahmentüren 81
5.1.3	Stahlrahmentüren 81
5.1.4	Kunststoffrahmentüren 82
5.1.5	Verglasung 82
5.1.6	Betrachtete Konstruktionen 83
5.1.7	Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse 84
5.2	Sperrtüren 88
5.2.1	Betrachtete Konstruktionen 89
5.2.2	Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse 91
5.3	Aussteifungsmaßnahmen (Profile u. a.) 93
5.3.1	Betrachtete Konstruktionen 93
5.3.2	Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse 94
6	Thermische Auswirkungen von Türbeschlägen 97
6.1	Elemente des Beschlags 97

6.2	Betrachtete Elemente des Beschlags	99
6.3	Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse	102
6.3.1	Wärmebrückeneinfluss ΔU	105
7	Thermische Auswirkungen des Wandanschlusses	109
7.1	Einbau der Außentür in das Wandsystem	109
7.2	Befestigungselemente	110
7.2.1	Betrachtete Befestigungselemente	110
7.2.2	Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse	110
7.3	Anschlussgeometrie	112
7.3.1	Betrachtete Wandsysteme	112
7.3.2	Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse	117
8	Thermische Auswirkung des Türschwellenbereiches	121
8.1	Einbau der Schwelle	121
8.2	Überlagerung von Wärmebrücken	121
8.3	Materialtechnische Alternativen der Türschwelle	123
8.4	Betrachtete Schwellenausbildungen	124
8.5	Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse	125
9	Maßnahmen zur thermischen Optimierung	129
9.1	Anforderungsgefüge Außentür	129
9.2	Konzept der thermischen Optimierung	131
9.2.1	Dichtheitskonzept von Schmid	131
9.2.2	Erweiterung des Konzeptes von Schmid um den Bereich der Wärme- dämmung	132
9.3	Maßnahmen Außentür	133
9.3.1	Maßnahmenkatalog	133
9.3.2	Reduzierung der Wärmebrücke im Glasrandbereich	136
9.3.3	Formstabilität des Türblattes	137
9.3.4	Aufdopplung (Vorsatzschale)	139

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	13
9.3.5 Thermische Trennung im Schlossbereich	140
9.3.6 Querleitung der Wärme entlang der raumseitigen Türoberfläche	141
9.3.7 Dichtung im Falzbereich	141
9.3.8 Wärme- sowie schalldämmende Türkonstruktion	142
9.4 Maßnahmen Wandanschluss	143
9.4.1 Maßnahmenkatalog	143
9.4.2 Dichtung der Anschlussfuge zwischen Tür und Wandsystem	144
9.4.3 Geometrie des Wandanschlusses	145
9.4.4 Querleitung der Wärme entlang der Laibungsfläche	146
9.5 Maßnahmen Türschwellenbereich	147
9.5.1 Maßnahmenkatalog	147
9.5.2 Dichtung	149
9.5.3 Türschwelle	149
9.5.4 Wetterschenkel	150
9.6 Konstruktionsbeispiel: Türanschluss im Holzbau	150
9.6.1 Wandsystem	150
9.6.2 Rahmentür	153
9.6.3 Anschlussbereich	153
9.6.4 Türschwellenbereich	154
10 Zusammenfassung	155
11 Ausblick	159
A Vergrößerte Isothermenkarten der Türen und des Schwellenbereiches	163
Quellenverzeichnis	171

Abbildungsverzeichnis

1.1	Bauschäden: Ergebnis der Auswertung von 1036 Schadensfällen bei Wohnhäusern in Holzbauweise	26
1.2	Schäden an Außentüren bei 45 betroffenen Gebäuden	26
1.3	Beispiel Sperrtür: Angabe des Temperaturfaktors f auf der raumseitigen Türoberfläche sowie die Differenzbeträge zum Wärmedurchgangskoeffizienten ΔU	27
2.1	Schema des Wärmedurchgangs durch einen verputzten Wandquerschnitt . . .	35
2.2	Schema zur Definition des U-Wertes nach DIN EN ISO 7345	36
2.3	Grundtypen von Wärmebrücken	38
2.4	Schematische Übersicht zur Dampf-, Luft-, Wind- und Niederschlagsperre . . .	42
2.5	Schema typischer Verformungen bei Außentüren im Sommer und Winter . . .	44
2.6	Diagramm zur Größenordnung der Lüftungswärmeverluste, des Luftdurchsatzes und des konvektiven Wasserdampftransportes durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle	46
2.7	Vergleich der Wasserdampfmengen, die per Diffusion durch die Fläche bzw. per Konvektion durch undichte Fugen transportiert werden	46
4.1	Zuordnung der farbigen Unterlegung in den Ergebnistabellen zu Werten des Temperaturfaktors f	56
4.2	Zuordnung der Farben des Temperaturverlaufs zum Temperaturfaktor f	56
4.3	Erster Schritt bei der Ermittlung der Wärmebrücke Ψ im Anschlussbereich . .	61
4.4	Zweiter Schritt bei der Ermittlung von Ψ im Anschlussbereich	61
4.5	Veranschaulichung der energetischen Kenngrößen und des Außenmaßbezuges der Flächen	63
4.6	Schema zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmen mit einer Kalibrierfüllung	64

4.7	Wärmeleitfähigkeit von Holz	67
4.8	Temperaturgefälle an der Bodenplatte	70
4.9	Normativ unregelte Randbedingungen bei der Berechnung erdreichberührender Bauteile: Varianten für Nr. 1 und 2	72
4.10	Normativ unregelte Randbedingungen bei der Berechnung erdreichberührender Bauteile: Varianten für Nr. 3 bis 5	74
4.11	Größenordnung der Wärmebrückenkoeffizienten von Sockelanschlüssen	76
4.12	Abmessungen bei der Modellbildung	76
4.13	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichem Betrachtungsausschnitt	77
5.1	Marktanteile von Außentüren (1999): Differenzierung nach dem Rahmenmaterial	79
5.2	Vollholzrahmen	80
5.3	Holzrahmen mit Sandwichaufbau	80
5.4	Holzrahmen mit Aluminium als Wetterschutz	81
5.5	Aluminium-Haustür und Rahmenkonstruktion aus dem Fensterbau	81
5.6	Stahlrahmen	82
5.7	Kunststoffrahmen	82
5.8	Verwendete Verglasungen zur Berechnung der thermischen Kennwerte von Rahmentüren	84
5.9	Verwendete Füllungen zur Berechnung der thermischen Kennwerte von Rahmentüren	84
5.10	Thermische Kennwerte für Holzrahmendicken zwischen 68 mm und 120 mm: Interpolation	89
5.11	Sperrtüren mit Aussteifungsprofilen	90
5.12	Überlagerung von zwei gleichartigen Wärmebrücken am Beispiel AP-2	96
6.1	Übersicht über die Türbeschläge	98
6.2	Übersicht über die Beschlagelemente für einfache, mittlere und gute Einbruchhemmung	100
6.3	Bezeichnungen: Schutzbeschlag und Drückerschloss mit Profilzylinder	101
6.4	Wärmebrückeneinfluss des Beschlags ΔU (68 mm)	106
6.5	Wärmebrückeneinfluss des Beschlags ΔU (120 mm)	107

7.1	Befestigung der Tür am Baukörper	111
7.2	Überlagerung von zwei unterschiedlichen Wärmebrücken im Sturzbereich	114
8.1	Überlagerung verschiedener Wärmebrücken im Schwellenbereich	122
8.2	Schematische Darstellung unterschiedlicher konfektionierter Türschwellen und -profile	124
8.3	Zur thermischen Trennung bei Aluminiumprofilen	127
9.1	Anforderungsgefüge des Außentürsystems	130
9.2	Hüllenmodell zur thermischen Optimierung	133
9.3	Tür-Wand-Anschluss mit unterbrochener und durchgeführter Wärmedämmung	134
9.4	Schlagregen- und Sonnenschutz des Türbereiches durch ein Vordach	136
9.5	Auswirkung des Glaseinstandes auf die Wärmebrücke und den Temperaturfaktor im Glasrandbereich	137
9.6	Dimensionierungsempfehlung für Holztürrahmen	139
9.7	Schema einer Sperrtür mit vorgesetzter wärmedämmender Aufdopplung	140
9.8	Bauformen von Schließzylindern	140
9.9	Schema der Montage eines Scherenwechselstiftes in eine einseitig gebohrte Tür	141
9.10	Querleitung der Wärme entlang der raumseitigen Oberfläche	141
9.11	Mögliche Anordnung von Dichtungsebenen im Falz	142
9.12	Schall- und wärmedämmende Tür	143
9.13	Belastungen der Baukörper-Anschluss-Fuge	144
9.14	Abdichtungsmaßnahmen für die Fuge am Wandanschluss	145
9.15	Auswirkung der Überdämmung des Blendrahmens	146
9.16	Thermische Auswirkung eines Innenanschlags (Massivbau)	147
9.17	Wärmeleitprinzip: Verbesserung der Oberflächentemperatur im Anschlussbereich Türrahmen-Baukörper	148
9.18	Durchgehende Dämmschicht bzw. thermische Trennung im Schwellenbereich	149
9.19	Ausbildung eines Wetterschenkels aus Holz	150
9.20	Türanschluss im Holzbau, Horizontalschnitt	151
9.21	Türanschluss im Holzbau, Vertikalschnitt	152

10.1	Wärmebrückenwirkungen der betrachteten Außentürkomponenten	156
11.1	Zunehmende Temperaturdifferenz zwischen der Außen- und Innenoberfläche der Tür bei steigendem Wärmedämmniveau	159
11.2	Größere Temperaturdifferenz bei thermisch getrennten Aussteifungsprofilen im Vergleich zu geschlossenen Profilen	160
A.1	Vergrößerte Isothermenkarten der 68 mm dicken Rahmentüren, Teil 1	163
A.2	Vergrößerte Isothermenkarten der 68 mm dicken Rahmentüren, Teil 2	164
A.3	Vergrößerte Isothermenkarten der 120 mm dicken Rahmentüren, Teil 1	165
A.4	Vergrößerte Isothermenkarten der 120 mm dicken Rahmentüren, Teil 2	166
A.5	Vergrößerte Isothermenkarten der Sperrtüren	167
A.6	Vergrößerte Isothermenkarten der Aussteifungsprofile	168
A.7	Vergrößerte Isothermenkarten des Türschwellerbereiches	169

Tabellenverzeichnis

1.1	Behandlung der Thematik in bisherigen Veröffentlichungen	29
3.1	Normativ geregelte Randbedingungen der Berechnung von Wärmeströmen . . .	52
4.1	Verwendete Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit	68
5.1	Thermische Kennwerte von Rahmentüren (Dicke 68 mm)	85
5.2	Thermische Kennwerte von Rahmentüren (Dicke 120 mm)	87
5.3	Thermische Kennwerte von Sperrtüren	92
5.4	Thermische Kennwerte von Aussteifungsprofilen bei Sperrtüren	95
6.1	Thermische Auswirkungen der Beschlagkomponenten a bis g (Türdicke 68 mm)	103
6.2	Thermische Auswirkungen der Beschlagkomponenten a bis g (Türdicke 120 mm)	104
7.1	Thermische Kennwerte von Türanschlüssen an monolithisches Mauerwerk und an Holzständerwandsysteme, differenziert nach der Geometrie	118
7.2	Thermische Kennwerte von Türanschlüssen bei außengedämmten und zwei- schaligen Wandsystemen, differenziert nach der Geometrie	119
8.1	Thermische Kennwerte des Schwellenbereiches bei einem nichtunterkellerten Gebäude	126
9.1	Thermischer Vergleich unterschiedlicher Glasabstandhalter	138
9.2	Thermische Kennwerte des Türanschlusses im Holzbau	153

Formelzeichen und Indizes

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit	Hinweise
A	Fläche	m ²	
a	Fugendurchlasskoeffizient	m ³ /(m h Δp ^{2/3})	
b	Breite	m	
d	Schichtdicke	m	
f	Temperaturfaktor, f-Wert		auch als f _{Rsi} ausgewiesen
Δf	Differenzbetrag Temperaturfaktor		
g	Gesamtenergiedurchlassgrad		
l	Strecke, Länge	m	
L	Thermischer Leitwert	W/K	
L ^{2D}	Linearer thermischer Leitwert	W/(m K)	
m	Masse	g	
n	Luftwechselrate	1/h	
p	Wasserdampfteildruck	Pa	
p _s	Wasserdampfsättigungsdruck	Pa	
q	Luftvolumenstrom bezogen auf die Netto-Grundfläche	m ³ /(m ² h)	
Q	Luftdurchlässigkeit	m ³ /(m ² h)	nach DIN EN 12207 [27]
Q	Wärmemenge	J = W s	
R	Wärmedurchlasswiderstand	m ² K/W	
R _{se}	Wärmeübergangswiderstand außen	m ² K/W	
R _{si}	Wärmeübergangswiderstand innen	m ² K/W	
R _T	Wärmedurchgangswiderstand	m ² K/W	
R _W	Luftschalldämmmaß	dB	
s _d	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke, s _d -Wert	m	
t	Zeit	s	
U	Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert	W/(m ² K)	
ΔU	Differenzbetrag Wärmedurchgangskoeffizient		z. B. durch Wärmebrücken
u	massebezogener Feuchtegehalt		

Fortsetzung auf der nächsten Seite →

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit	Hinweise
V	Raumvolumen	m ³	
W	Wasserdampfmenge	g/m ³	
W _s	Wasserdampfsättigungsmenge	g/m ³	
x	Abstand	m	
θ	Temperatur	°C	
Δθ	Temperaturdifferenz	K	
θ _e	Außenlufttemperatur	°C	
θ _i	Raumlufttemperatur	°C	
θ _{si}	Raumseitige Oberflächentemperatur	°C	
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m K)	
μ	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl		
ρ	Rohdichte	kg/m ³	
Φ	Wärmestrom	W = J/s	
φ	Relative Luftfeuchtigkeit		
χ	Punktbezogener Wärmebrückenkoeffizient, χ-Wert Auch: punktbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient (WBVK) oder punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	W/K	
Ψ	Längenbezogener Wärmebrückenkoeffizient, Ψ-Wert Auch: längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient (WBVK) oder längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	W/m K	
Index	Bedeutung	Hinweise	
0,13	bei R _{si} = 0,13 (m ² K)/W		
0,17	bei R _{si} = 0,17 (m ² K)/W		
50	Differenzdruck	bei der Differenzdruckprüfung nach DIN EN 13829 [38]	
100	Referenz-Differenzdruck	bei der Luftdurchlässigkeit nach DIN EN 12207 [27]	
a	außen		
AP	Aussteifungsprofil		
AW	Außenwand		
B	Beschlag		
Boden	Bodenplatte		
d	Schichtdicke		
D	Tür	von engl. door	
e	außen	von engl. exterior	
f	feucht		
F	Rahmen	von engl. frame	
g	gestört		

Fortsetzung auf der nächsten Seite →

Index	Bedeutung	Hinweise
G	Verglasung	von engl. glazing
Ges	Gesamt	
i	innen	von engl. interior
KS	Kalksandstein	
LH	Laubholz	
NH	Nadelholz	
P	Füllung	von engl. panel
R	Widerstand	von engl. resistance
R	Bemessungswert	der Wärmeleitfähigkeit in DIN V 4108-4 [16], von dem früheren Namen: Rechenwert
s	Sättigung	der Luft mit Wasserdampf
s	Oberfläche	von engl. surface
t	trocken	
T	(Wärme-)Durchgang	T von Transmission
u	ungestört	
W	bewertet	Schall: bewertet nach einer frequenzabhängigen Bezugskurve
WB	Wärmebrücke	

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Ausgangslage

1.1.1 Bauschäden an Außentüren

Die steigenden Kosten für Bauland und Gebäude haben teilweise zu einer Veränderung des Nutzungsverhaltens im Wohnbereich geführt. So wird inzwischen oft auf den Vorraum, der in älteren Gebäuden zwischen der Haustür und den beheizten Räumen angeordnet war, verzichtet; die Haustür grenzt unmittelbar den beheizten Teil des Hauses nach außen ab. Eine räumliche Trennung zwischen Außen- und Innenklima über den Windfang als Klimaschleuse ist in diesem Fall nicht mehr gegeben. Die Haustür ist damit hohen hygrothermischen Belastungen durch Temperatur- und Luftfeuchtedifferenzen ausgesetzt. Damit steigen die Anforderungen an die Außentürkonstruktion. Können die Anforderungen nicht erfüllt werden, kommt es zu Mängeln und Bauschäden.

Die statistische Auswertung von 1 036 Schadensfällen im Holzbau [56] ergab die in Abbildung 1.1 dargestellte prozentuale Verteilung auf die unterschiedlichen Bauteile. Die ausgewerteten Gutachten handeln zu 88 % von Objekten, die im Jahr 1988 oder später errichtet wurden, so dass die Datenbasis typische Schadensfälle der letzten Jahre umfasst. Mit 5,3 % lag die Schadenshäufigkeit an Außentüren relativ hoch – höher als bei Fenstern, die einen sehr viel größeren Anteil an der Gebäudehülle haben.

Bei einer weiteren Untersuchung, bei der 45 Gebäude mit Schäden im Außentürbereich betrachtet wurden [105], zeigte sich, dass 43 % der Schäden im Schwellenbereich, 28 % im Verziehen des Türblattes (bzw. Quellen und Schwinden) und 24 % im Bereich der Türoberfläche lagen (siehe Abbildung 1.2).

Die Bauschäden im Türbereich betreffen danach die Bereiche [56, 105, 106, 109]:

- **Formänderungen**

Die Formänderungen des Türblattes aufgrund des Differenzklimas zwischen feucht-warmer Innenraum- und kalter Außenluft führen oft zu Undichtigkeiten im Anschlag und Beeinträchtigungen der Schließfunktion und Bedienbarkeit.

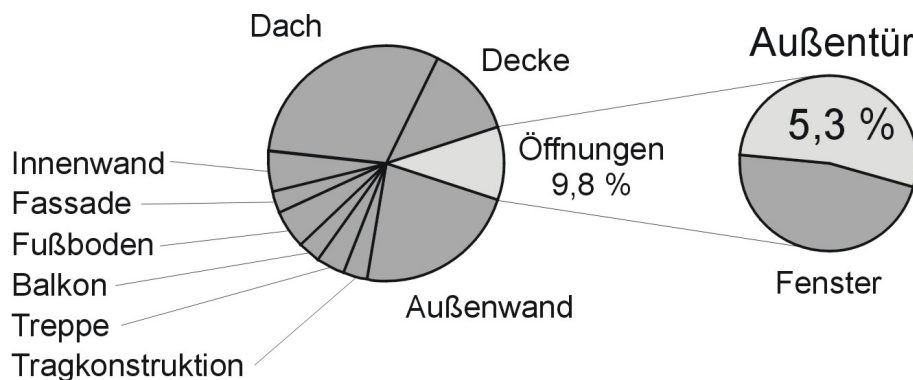


Abbildung 1.1: Bauschäden: Ergebnis der Auswertung von 1036 Schadensfällen bei Wohnhäusern in Holzbauweise, nach [56]

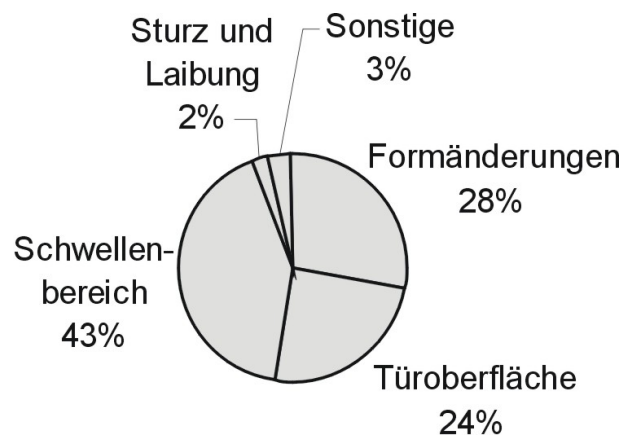


Abbildung 1.2: Schäden an Außentüren bei 45 betroffenen Gebäuden, nach [105]

• Türoberfläche

Am besonders kühlen Bereich der raumseitigen Türoberfläche kann es zu einer Feuchtekondensation kommen. Als Folge häufiger Befeuchtung können Verfärbungen oder Lackschäden auftreten.

Bei Türen, die mit einem Stahlrahmen ausgesteift sind, kann bei solchen Mängeln teilweise sogar die Lage des Aussteifungsprofils im Holz sichtbar werden.

An der außenseitigen Türoberfläche kann beispielsweise in Fugen eingedrungene Niederschlagsfeuchtigkeit zu Schäden führen.

• Schwellenbereich

Im Schwellenbereich kann entweder Regenwasser eindringen, oder es kommt zur Kondensation von feuchter Raumluft, die an diesen sehr kühlen Bereichen unter ihre Taupunkttemperatur abkühlt. Die Folgen sind u. a. festfrierende Dichtungen, Eisbildung auf Bodenfliesen, Schimmelpilzbildung auf Fliesenfugen, aufquellende Bodenbeläge im Innenraum oder Feuchtigkeitsflecken auf Parkettbelag.

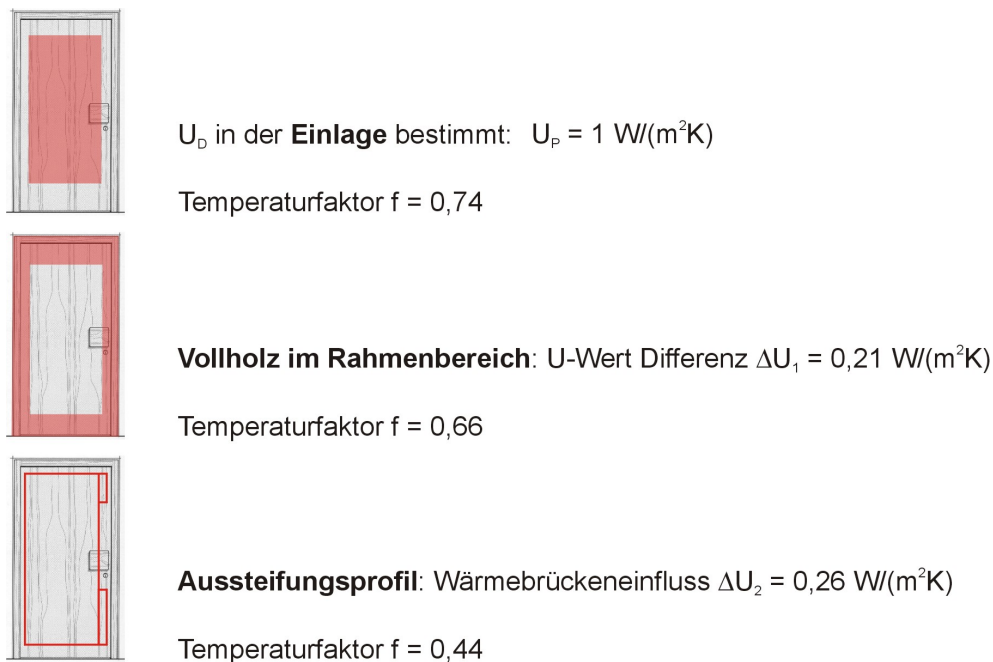


Abbildung 1.3: Beispiel Sperrtür: Angabe des Temperaturfaktors f auf der raumseitigen Türoberfläche sowie die Differenzbeträge zum Wärmedurchgangskoeffizienten ΔU

• Sturz und Laibung

Im Sturz und in der Laibung kann bei Unterschreitung der kritischen Oberflächentemperatur Schimmelpilzbildung auftreten.

1.1.2 Geändertes Anforderungsniveau im Wärmeschutz

Seit einer Novellierung 1999 enthält die DIN 4108-2 [14] Anforderungen bezüglich des Mindestwärmeschutzes: Zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung wird gefordert, dass der Temperaturfaktor f – der ein Maß für die Oberflächentemperatur ist^a – an der ungünstigsten Stelle der Konstruktion $f \geq 0,7$ beträgt. Für Rahmenflächen bei Fenstern und Türen wird auf DIN EN ISO 13788 [36] verwiesen. Nach dieser Norm muss der Temperaturfaktor auf der Rahmenfläche über 0,6 liegen, damit ein Tauwasserausfall vermieden wird. Das Anforderungsniveau liegt hier – im Gegensatz zu anderen Oberflächen wie Tapeten – niedriger, da die Rahmenoberflächen abwischbar und leicht zu reinigen sind.

Der Wärmedurchgangskoeffizient U_D von Außentüren muss nach DIN EN ISO 10077-1 [23] oder E DIN EN ISO 10077-2^b [24] berechnet werden. Im Teil 1 der Norm wird ein vereinfachtes Verfahren für Rahmen vorgestellt, das jedoch nur Türen, die wie Fenster aufgebaut sind, behandelt. Bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten wird nur Rahmen und Füllung bzw. Verglasung und Glasrand berücksichtigt. Aussteifungsmaßnahmen oder der Beschlag werden nicht angesprochen, allerdings wohl auch deshalb, weil Fenster den Schwerpunkt der Norm

a. Definition des Temperaturfaktors in Abschnitt 2.1.4 auf Seite 39.
b. Erscheinungsdatum von Teil 1: November 2000 und von Teil 2: Februar 1999

bilden. Teil 2 der Norm beschreibt die numerische Ermittlung von Wärmedurchgangskoeffizienten und ist auf alle Türen anwendbar.

Mit der Ermittlung von Wärmedurchgangskoeffizienten nach DIN EN ISO 10077 erhält man Werte, die in der Regel ungünstiger sind, als die Angaben der Hersteller. Dies liegt einerseits daran, dass der Wärmebrückenkoeffizient Ψ des Glasrandes und damit auch der Sprossen bis zum Erscheinen von DIN EN ISO 10077 nicht berücksichtigt werden musste. Andererseits werden von den Herstellern von Sperrtüren oft U-Werte angegeben, die für den Bereich der Einlage gelten. Auf diese Weise wird ein hohes Wärmedämmniveau vorgetäuscht, das jedoch den gesamten Rahmenbereich des Türblattes und den Blendrahmen vernachlässigt. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Tür erhöht sich dadurch jedoch um mindestens 20 %, siehe Abbildung 1.3. Noch seltener wird vom Hersteller die thermische Beeinträchtigung durch Aussteifungsprofile berücksichtigt. Ihr Anteil kann noch höher liegen: Bei der Tür in Abbildung 1.3 führt allein das Aussteifungsprofil zu einer Erhöhung des Wärmedurchgangskoeffizienten um 26 %. Bereits bei Korrekturen über 3 % muss allerdings nach DIN EN ISO 6946 [21] der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils korrigiert werden.

Im Bereich der metallischen Aussteifungsprofile liegt bei dem Berechnungsbeispiel in Abbildung 1.3 ein Temperaturfaktor von 0,44 vor. Da normativ bei Temperaturfaktoren unter 0,6 mit Tauwasserausfall zu rechnen ist, wird an diesen Stellen auch bei gemäßigten Außentemperaturen im Herbst und Frühjahr Feuchtigkeit kondensieren. Eine länger andauernde Befeuchtung führt – je nach Material – zu den oben beschriebenen Bauschäden.

1.1.3 Bisherige Untersuchungen zu der Thematik

Außentüren

Die thermische Leistungsfähigkeit von Außentüren sowie ihre Beeinträchtigung durch Wärmebrücken und niedrige Oberflächentemperaturen wird bisher in der Literatur nicht betrachtet. Es existieren einige Publikationen zu Außentüren, die in Tabelle 1.1 mit einer Übersicht über die Themenschwerpunkte aufgeführt sind. Der Wärmeschutz wird in diesen Veröffentlichungen entweder gar nicht oder nur kurz und auf einem nicht mehr aktuellen Anforderungsniveau behandelt. In [109] wird jeweils ein Schadensbild zur Tauwasserbildung an Wärmebrücken des Türblattes und der Türschwelle dargestellt. Eine Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten für Türen erfolgt jedoch nicht, und auch die Wärmebrückenwirkung von Aussteifungsprofilen, Beschlag o. Ä. wird weder in [92], in [94] noch bei [109] behandelt. Eine Betrachtung der thermischen Beeinträchtigung durch Befestigungsmittel sowie des Schwellenbereiches fehlt bislang ebenfalls.

Wärmeschutz von Fenstern und anderen Bauteilen

Der Wärmeschutz von Fenstern ist in den letzten drei Jahren in der Fachpresse zum einen durch Vorstellung des neuen Berechnungsverfahrens nach DIN EN ISO 10077-1 [23] (beispielsweise [55, 83, 95]), zum anderen in Form von Produktübersichten über energieeffiziente Fensterrahmen und Verglasungen [50, 55, 81] und durch Betrachtung des Fensteranschlusses an den Baukörper (zum Beispiel [52, 83]) behandelt worden. In diesen Artikeln bzw. Broschüren werden allerdings lediglich einzelne thermische Kennwerte für die von den Fensterherstellern

	[103] 1970	[106] 1980	[105] 1984	[94] 1988	[53] 1993	[92] 1994	[109] 2001
Konstruktion von Außentüren	xx		x	xx	xx	xx	x
Einbau in den Baukörper				x	x	xx	
Behandlung des Wärmeschutzes				x		x	x
Behandlung der thermischen Beeinträchtigung des Schwellenbereiches							x
Wärmebrücken (z. B. Aussteifungsprofile oder Beschlag)							x
Behandlung des Feuchteschutzes			xx	x		xx	x
Tauwasserausfall		x					x
Behandlung der Dichtheit		x	xx	x		xx	x
Beschreibung von Bauschäden		x	xx				xx

Tabelle 1.1: Behandlung der Thematik in bisherigen Veröffentlichungen

angebotenen Rahmendicken angegeben, eine vergleichende Betrachtung verschiedener Rahmenkonstruktionen und der Optimierungspotentiale existiert auch im Fensterbereich nicht. Bei den Artikeln zum Fensteranschluss werden einzelne exemplarische Anschlussausbildungen betrachtet, der Einfluss der thermischen Leistungsfähigkeit des Rahmens auf die Wärmebrücke im Anschluss wird jedoch nicht berücksichtigt.

Die Wärmebrücke durch die Einbaulage des Fensters in den Baukörper (Geometrie) wird in Wärmebrückenkatalogen grob angegeben, beispielsweise in [70, 78]. Variiert werden kann hier die Ausbildung des Wandsystems und der Anschlussgeometrie; der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens wird nicht angegeben und auch nicht variiert. Sein Einfluss auf die Wärmebrücke und auf die Temperaturen in der Laibung ist jedoch erheblich.

Für andere Anschlusssituationen des Gebäudes, zum Beispiel Gebäudeecken oder Dachanschlüsse, werden Wärmebrückenkoeffizienten und Temperaturfaktoren entweder aus Wärmebrückenkatalogen entnommen oder einzeln berechnet. Ein Modell der thermischen Optimierung von Anschlüssen existiert bislang nicht.

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, den thermischen Einfluss der verschiedenen Türkomponenten zu ermitteln und das Optimierungspotential aufzuzeigen, das in den einzelnen Türkonstruktionen liegt. Darüber hinaus soll ein Konzept der thermischen Optimierung entwickelt und Maßnahmen zur

thermischen Optimierung vorgestellt werden. So wird es möglich, Schwachstellen schon bei der Planung zu begegnen bzw. sie zu vermeiden.

Thermischer Einfluss der Türkomponenten

Der konstruktive Aufbau der Tür erfordert – wie das Beispiel in Abbildung 1.3 zeigt – Korrekturen am Wärmedurchgangskoeffizienten U_D und bewirkt ein Absinken der raumseitigen Oberflächentemperaturen. Es soll daher der thermische Einfluss verschiedener Türkomponenten untersucht werden. Dabei soll die Tür nicht isoliert betrachtet, sondern auch der Übergang der Tür zum Baukörper – Wandanschluss und Türschwellerbereich – berücksichtigt werden. Untersucht werden daher die folgenden Bereiche:

- Türkonstruktionen (Rahmentüren und Sperrtüren)
- Aussteifungsmaßnahmen
- Elemente des Türbeschlags
- Befestigungsmittel im Baukörperanschluss
- Einbaulage in der Laibung
- Türschwellerbereich

Der thermische Einfluss der Türkomponenten zeigt sich einerseits als zusätzlicher Wärmeverlust und andererseits durch Beeinträchtigung der raumseitigen Oberflächentemperatur. Die Wärmeverluste sollen in Form der Wärmedurchgangskoeffizienten U bzw. ΔU und der Wärmebrückenkoeffizienten Ψ bzw. χ angegeben werden. Die raumseitige Oberflächentemperatur wird angegeben in Form des Temperaturfaktors f . Mithilfe des Temperaturfaktors kann eine Aussage über das Risiko der Schimmelpilz- und Tauwasserbildung an der Raumseite der Tür bzw. der Laibung gemacht werden. Es soll geprüft werden, ob mit den auf dem Markt angebotenen Türkonstruktionen ausreichende Oberflächentemperaturen erreicht werden.

Optimierungspotential

Auf der Grundlage von existierenden Rahmenkonstruktionen aus dem Tür- und Fensterbereich sollen für die unterschiedlichen Türmaterialien jeweils thermisch optimierte Türkonstruktionen modelliert werden. Die Ermittlung der Kennwerte dieser Türkonstruktionen gibt dann das Optimierungspotential an, das in den einzelnen Türkonstruktionen liegt und verdeutlicht auf diese Weise, in welchem Maß eine thermische Verbesserung jeweils möglich ist.

Für den Wandanschluss soll durchgespielt werden, wie sich die Wärmebrücke und die Oberflächentemperaturen bei thermisch verbessertem Wandsystem, bei thermisch verbessertem Türsystem und bei einer Kombination von beidem verändern. Berücksichtigt werden soll auch die Einbaulage des Türsystems in der Laibung.

Für den Schwellenbereich, der thermisch bislang meist sehr vernachlässigt wird, sollen Möglichkeiten der thermischen Verbesserung entwickelt und die dazugehörigen thermischen Kennwerte

ermittelt werden.

Konzept und Maßnahmen zur thermischen Optimierung

Es soll ein Konzept entwickelt werden, das die thermische Optimierung beschreibt und eine Planung von thermisch verbesserten Außentüren erleichtert. Schließlich soll ein Maßnahmenkatalog erstellt werden, der es ermöglicht, Schwachstellen schon bei der Planung zu begegnen und sie gegebenenfalls zu vermeiden. Betrachtet werden muss dabei immer sowohl die Begrenzung der Transmissionswärmeverluste über Flächen und Wärmebrücken als auch der ausreichende Mindestwärmeschutz, der Schimmelpilz und Tauwasserausfall auf den raumseitigen Bauteiloberflächen vermieden.

In dem Maßnahmenkatalog sollen auch die Anforderungen, die neben denen des Wärmeschutzes an Außentürsysteme gestellt werden (beispielsweise Schallschutz, Einbruchschutz), Berücksichtigung finden – genauso wie Aspekte der Sanierung.

1.3 Gliederung der Arbeit

Zunächst werden die bauphysikalischen Grundlagen und die normativen Anforderungen im Bereich Wärmeschutz dargestellt. Anschließend wird die Vorgehensweise bei den Untersuchungen beschrieben. Hierzu gehört auch eine Voruntersuchung, die die Randbedingungen der Berechnung für den Schwellenbereich festlegt, da in diesem Bereich, der zu den erdreichberührenden Bauteilen gehört, normative Angaben zur Modellbildung und zum Berechnungsansatz fehlen.

In den dann folgenden vier Kapiteln werden für die Elemente des Türbereiches

- Türblatt und Türrahmen
- Türbeschläge
- Wandanschluss der Tür
- Bereich der Türschwelle

die thermischen Kennwerte in Form des Wärmedurchgangskoeffizienten U , der Wärmebrückenkoeffizienten Ψ bzw. χ und des Temperaturfaktors f ermittelt.

Betrachtet wird neben den derzeit üblichen Türkonstruktionen auch das Optimierungspotential, das in den Konstruktionen liegt. Daher werden auch Kennwerte für Türen bei thermisch optimierten Konstruktionen ermittelt.

In dem Kapitel ‚Maßnahmen zur thermischen Optimierung‘ werden die Wärmeschutzanforderungen den anderen Anforderungen an Außentüren gegenübergestellt und sich widersprechende Anforderungen verdeutlicht. Mithilfe des ebenfalls in dem Kapitel eingeführten Hüllenmodells zur thermischen Optimierung und den Ergebnissen der Berechnungen aus den vorherigen Kapiteln wird schließlich in Form eines Maßnahmenkataloges zusammengestellt, welche Aspekte

bereits bei der Planung von Außentüren Berücksichtigung finden sollten. Am Ende des Kapitels wird aus den Erkenntnissen ein Beispiel für einen Türanschluss im Holzbau abgeleitet.

Den Abschluss der Arbeit bilden eine Zusammenfassung und ein Ausblick, in dem Fragestellungen beschrieben werden, die sich während der Arbeit ergaben, aber nicht zum Ziel dieser Arbeit gehören und daher nicht betrachtet wurden. Bei einer weiteren Beschäftigung mit der Thematik sollten diese Bereiche beachtet werden.

Kapitel 2

Bauphysikalische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die bauphysikalischen Grundlagen aufgearbeitet, soweit sie für den Inhalt dieser Arbeit wesentlich sind. Dies sind die Bereiche Wärme- und Feuchteschutz sowie Dichtheit der Gebäudehülle.

2.1 Wärmeschutz

Nach DIN 4108-2 [14] wird unterschieden in Mindestwärmeschutz und energiesparenden Wärmeschutz.

- **Mindestwärmeschutz**

Der Mindestwärmeschutz umfasst nach DIN 4108-2 [14] alle Maßnahmen, die ein hygienisches Raumklima sicherstellen, damit das Risiko der Schimmelpilzbildung verringert und Tauwasserausfall vermieden wird. Der Mindestwärmeschutz umfasst damit neben dem Wärmeschutz im engeren Sinne auch Bereiche des Feuchteschutzes.

- **Energiesparender Wärmeschutz**

Zum energiesparenden Wärmeschutz gehören darüber hinaus Maßnahmen, die den Heizenergiebedarf senken. Neben dem Wärmedämmniveau gehört zu diesen Maßnahmen auch der Bereich Luftdichtheit der Gebäudehülle, da auf diese Weise der Lüftungswärmeverlust über Leckagen reduziert wird.

2.1.1 Wärmeübertragung

Die Übertragung von Wärme geschieht in Form von Wärmestrahlung, Konvektion und Wärmeleitung:

- Wärmestrahlung ist elektromagnetische Strahlung. Sie ist nicht an Materie gebunden und damit auch im Vakuum möglich.
- Konvektion tritt in Flüssigkeiten und Gasen auf. In diesem Fall findet ein Stofftransport statt, zum Beispiel durch Auftrieb warmer Luft über dem Heizkörper oder durch den Transport von Warmwasser im Heizsystem.

- Bei der Wärmeleitung wird zwischen benachbarten Molekülen eines Stoffes Schwingungsenergie und kinetische Energie der Leitungselektronen durch Stöße übertragen. Hierbei ist die Intensität des Transportes abhängig vom Aufbau des (Bau-)Stoffes. Sie wird durch die Wärmeleitfähigkeit λ beschrieben. Handelt es sich bei dem (Bau-)Stoff um ein inhomogenes Stoffgefüge mit Luft- bzw. Gaseinschlüssen, so erfolgt die Wärmeübertragung innerhalb der Hohlräume auch durch Konvektion und Strahlung.

Für die Wärmeabgabe von Heizkörpern in den Raum sind Konvektion und Wärmestrahlung maßgebend. Der Wärmeabfluss durch die den Raum umschließenden Bauteile (Wände, Decken, Fenster, Türen u. a.) erfolgt überwiegend durch Wärmeleitung. Bei Luftschichten innerhalb der Bauteile sind Strahlung und Konvektion wirksam. Von den Außenoberflächen der Bauteile wird die Wärme ebenfalls primär über Konvektion und Strahlung abgegeben.

Wärmestrom Φ

Der Wärmestrom Φ beschreibt die Wärmemenge Q , die pro Zeiteinheit durch ein Bauteil geleitet wird:

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (2.1)$$

Die Betrachtung von Wärmeströmen erfolgt in der Regel unter stationären Bedingungen. Dabei wird von zeitlich konstanten Temperaturen zu beiden Seiten des Bauteils ausgegangen.

2.1.2 Transmissionswärmeverlust

Transmissionswärmeverluste sind Wärmeverluste durch den Transport (Transmission) von Wärmeenergie durch Bauteile. Ihre Höhe ist abhängig

- vom Wärmedämmniveau der Bauteile (beschrieben als U-Wert),
- von der Größe der Bauteilflächen,
- vom Anteil und Ausmaß der Wärmebrücken
- und von der Temperaturdifferenz zu beiden Seiten des Bauteils.

Da die Innenraumtemperaturen stark vom Nutzerverhalten abhängen und die Außentemperaturen über den Zeitverlauf sehr schwanken, werden für energetische Vergleichsberechnungen normative Innenraum- und Außentemperaturen zugrunde gelegt, zum Beispiel $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ und $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ (DIN V 4108-6 [17]).

Wärmedurchlasswiderstand R

Betrachtet man ein Bauteil mit thermisch homogenen Schichten, so setzt jede dieser Schichten – zum Beispiel Innenputz, Mauerwerk, Außenputz – dem Wärmefluss einen Wärmedurchlasswi-

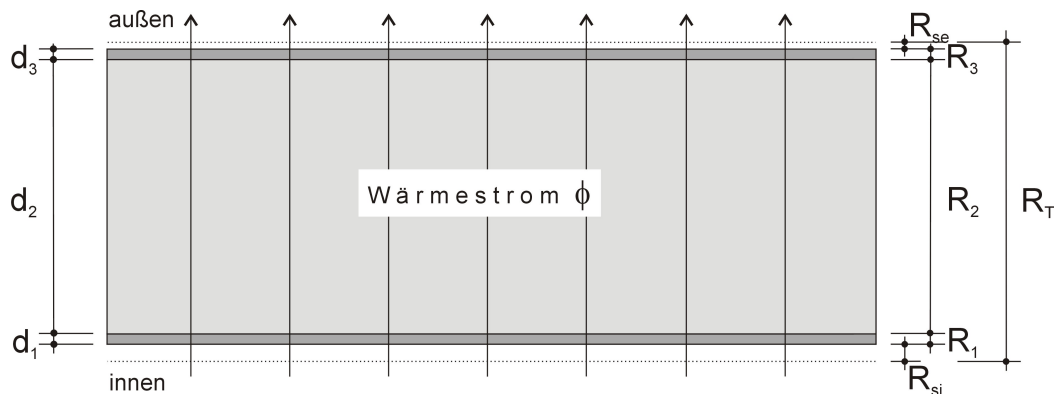


Abbildung 2.1: Schema des Wärmedurchgangs durch einen verputzten Wandquerschnitt

derstand R entgegen (siehe Abbildung 2.1). Dieser Wert ist der Quotient aus der Dicke d der Schicht und ihrer Wärmeleitfähigkeit^a λ :

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2.2)$$

Die Wärmedurchlasswiderstände R einzelner Bauteilschichten können addiert werden, um den Widerstand zu berechnen, den die Schichten zusammen dem Wärmedurchgang entgegensetzen. Hinzu kommen noch die Wärmeübergangswiderstände innen und außen, da sich an der äußeren und inneren Bauteiloberfläche eine Luftschichtung mit geringer Luftbewegung einstellt, die je nach Bauteillage unterschiedlich sein kann. Dieser Tatsache wird durch normativ festgelegte Wärmeübergangswiderstände R_s (früher $1/\alpha$) entsprochen, die in DIN EN ISO 6946 [21] geregelt sind. Die Wärmedurchlasswiderstände von eingeschlossenen Luftschichten (ruhend, schwach belüftet oder stark belüftet) werden in DIN EN ISO 6946 je nach Luftschichtdicke aufgeführt.

Wärmedurchgangswiderstand R_T

Durch die Addition der Wärmedurchlasswiderstände R der einzelnen Bauteilschichten und der Wärmeübergangswiderstände R_s erhält man den Widerstand, den das gesamte Bauteil dem Wärmedurchgang entgegensetzt. Die erhaltene Größe wird Wärmedurchgangswiderstand R_T genannt:

$$\begin{aligned} R_T &= R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \\ &= R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se} \end{aligned} \quad (2.3)$$

a. DIN V 4108-4 [16] gibt die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_R von Bau- und Dämmstoffen an.

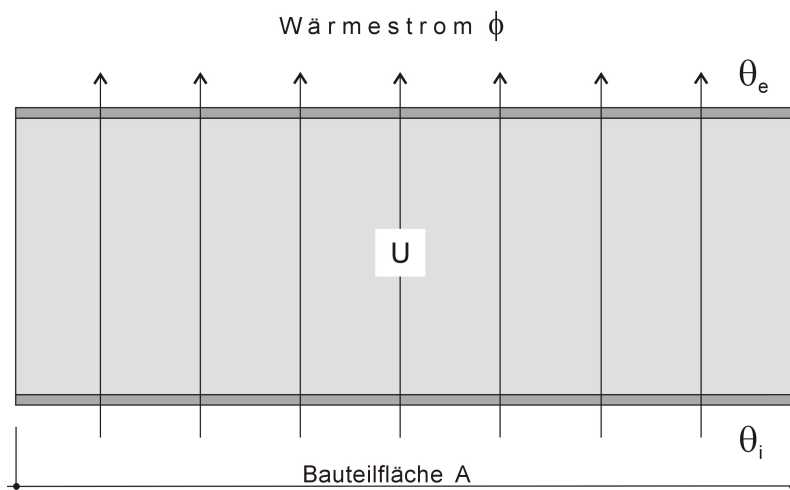


Abbildung 2.2: Schema zur Definition des U-Wertes nach DIN EN ISO 7345 [22]

Mit:

R_T	Wärmedurchgangswiderstand
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand an der inneren Bauteiloberfläche
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand an der äußeren Bauteiloberfläche
R_1 bis R_n	Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Bauteilschichten
d	Dicke der Bauteilschicht
λ	Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Baustoffe

Wärmedurchgangskoeffizient U

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (auch: U-Wert) des Bauteils ist der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_T :

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2.4)$$

Bei dieser Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten wird vorausgesetzt, dass Wärmeströme nur senkrecht zur Bauteiloberfläche verlaufen. Tatsächlich kommt es aber partiell – gerade bei zusammengesetzten Bauteilen und in Ecken – zu verstärkten Wärmeströmen durch Querleitung. Sie können als Wärmebrückenverluste erfasst werden. Ihr Anteil an den Transmissionswärmeverlusten steigt relativ gesehen an, je besser die Konstruktionen gedämmt sind. Daher berücksichtigen die in jüngerer Zeit erschienenen Regelwerke zusätzlich zu den Wärmeverlusten ungestörter Bauteilflächen (berechnet nach Gleichung 2.3 und 2.4) auch die Wärmebrückenverluste.

Ist der Wärmestrom Φ durch ein Bauteil bekannt, so kann der Wärmedurchgangskoeffizient U auch nach der folgenden Gleichung aus DIN EN ISO 7345^b bestimmt werden (siehe dazu Abbildung 2.2) [22]:

b. DIN EN ISO 7345 gilt als teilweiser Ersatz für DIN 4108-1 [13]

$$U = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta\theta} \quad (2.5)$$

Es ist:

- Φ der Wärmestrom durch das Bauteil unter stationären Bedingungen,
- A die betrachtete Bauteilfläche (mit den Abmessungen $d \cdot b$) und
- $\Delta\theta$ die Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenklima ($\theta_i - \theta_e$).

Thermischer Leitwert L und linearer thermischer Leitwert L^{2D}

Der thermische Leitwert L ist der Wärmestrom durch ein Bauteil bezogen auf die anliegende Temperaturdifferenz. Er wird verwendet, um unabhängig von der anliegenden Temperaturdifferenz Aussagen über die thermische Leistungsfähigkeit eines Bauteils machen zu können.

$$L = \frac{\Phi}{\Delta\theta} \quad (2.6)$$

Es ist:

- Φ der Wärmestrom durch das Bauteil unter stationären Bedingungen und
- $\Delta\theta$ die Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenklima.

Betrachtet man kein dreidimensionales Bauteil, sondern einen Bauteilquerschnitt, so wird mit dem linearen thermischen Leitwert L^{2D} gearbeitet. Mit L^{2D} wird die thermische Leistungsfähigkeit eines Bauteilquerschnittes unabhängig von der anliegenden Temperaturdifferenz beschrieben.

$$L^{2D} = \frac{\frac{\Phi}{d}}{\Delta\theta} = \frac{\Phi}{d \cdot \Delta\theta} \quad (2.7)$$

Es ist:

- Φ / d der Wärmestrom pro Bauteilquerschnitt unter stationären Bedingungen und
- $\Delta\theta$ die Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenklima.

Setzt man die umgeformte Gleichung 2.5 in die Gleichungen 2.6 und 2.7 ein und berücksichtigt, dass die Bauteilfläche A die Abmessungen $d \cdot b$ hat, so ergibt sich:

$$L = U \cdot A \quad (2.8)$$

$$L^{2D} = U \cdot b \quad (2.9)$$

Es ist:

- U der in der Fläche bzw. im Querschnitt konstante Wärmedurchgangskoeffizient U ,
- A die betrachtete Bauteilfläche und
- b die Breite des betrachteten Bauteilquerschnittes.

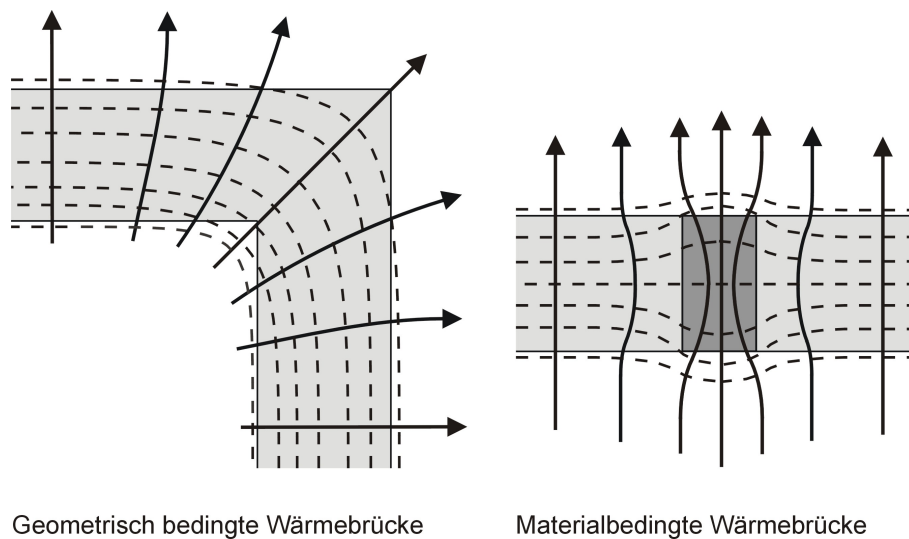


Abbildung 2.3: Grundtypen von Wärmebrücken mit Isothermen (gestrichelt) und Wärmestromlinien (Pfeile).

2.1.3 Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Schwachstellen der Gebäudehülle, in denen örtlich begrenzt ein größerer Wärmestrom als im übrigen Bereich des Bauteils auftritt und Wärmequerleitungen im Bauteil entstehen. Dort verringern sich die raumseitigen Oberflächentemperaturen, und das Risiko der Schimmelpilz- und Tauwasserbildung steigt an.

Nach der Ursache werden Wärmebrücken unterschieden in geometrisch bedingte und materialbedingte Wärmebrücken (siehe Abbildung 2.3). In der Praxis überlagern sich häufig verschiedene Wärmebrückeneinflüsse. Die Auswirkungen von sich überlagernden Wärmebrücken müssen im Einzelfall rechnerisch ermittelt werden.^c

Das typische Beispiel für eine geometrisch bedingte Wärmebrücke ist eine Gebäudeecke bei sonst homogenem Wandaufbau, zum Beispiel aus Mauerwerk. Hier kommt es zu verstärktem Wärmeabfluss, weil die wärmeabgebende Außenoberfläche größer ist als die ihr entsprechende wärmeaufnehmende Innenoberfläche.

Materialbedingte Wärmebrücken treten bei Skelettkonstruktionen und in den Anschlussbereichen verschiedener Bauteile auf, beispielsweise beim Anschluss von Decke und Außenwand. Der Wärmebrückeneffekt ist besonders groß, wenn Bauteile aus Materialien mit relativ hoher Wärmeleitfähigkeit die wärmeübertragende Gebäudehüllfläche direkt durchstoßen, wie dies beispielsweise bei einer auskragenden Balkonplatte aus Normalbeton der Fall ist.

Die Abbildung 2.3 veranschaulicht schematisch den Abfall der Oberflächentemperaturen und die Konzentration des Wärmestromes im Bereich von Wärmebrücken: die Linien gleicher Temperatur – Isothermen – sind gestrichelt; die Wärmestromlinien verlaufen jeweils senkrecht zu

c. Für die Überlagerung zweier gleichartiger Wärmebrücken bei zwei Sperrtür-Aussteifungsprofilen siehe Abbildung 5.12 auf Seite 96. Die Überlagerung von zwei unterschiedlich gearteten Wärmebrücken ist in Abbildung 7.2 auf Seite 114 exemplarisch dargestellt.

den Isothermen und sind im Bereich der Wärmebrücken entsprechend verzerrt.

Zusätzlich unterscheidet man zwischen linien- und punktförmigen Wärmebrücken. Ihre quantitative Erfassung erfolgt über die längen- bzw. punktbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten Ψ bzw. χ . Die Wärmebrückenverluste werden bei linienförmigen Wärmebrücken pro laufendem Meter und bei punktförmigen Wärmebrücken je Wärmebrücke, bezogen auf 1 K Temperaturdifferenz, angegeben (siehe auch Abschnitt 4.4 auf Seite 60). Linienförmige Wärmebrücken treten zum Beispiel bei Skelettbauten oder bei Decke-Wand-Anschlussbereichen auf. Punktförmige Wärmebrücken entstehen einerseits aus der Überlagerung zweier linienförmiger Wärmebrücken und andererseits zum Beispiel durch punktuelle Befestigungselemente, die eine Dämmschicht durchdringen.

2.1.4 Oberflächentemperaturen

Für die Beurteilung der thermischen Leistungsfähigkeit einer Konstruktion sind neben der Höhe der Wärmeverluste auch die Oberflächentemperaturen der raumseitigen Oberflächen relevant. Sie haben einerseits Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit der Innenräume und beeinflussen andererseits das Risiko der Schimmelpilz- und Tauwasserbildung (siehe auch Abschnitt 2.2.3).

Zur Berechnung von Oberflächentemperaturen hat sich die Verwendung des Temperaturfaktors f (auch $f_{R_{si}}$) durchgesetzt. Durch seine allgemeine Definition kann mit ihm unabhängig von bestimmten Innen- und Außenlufttemperaturen gearbeitet werden.

$$f = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (2.10)$$

Es ist:

- θ_{si} die raumseitige Oberflächentemperatur,
- θ_i die Raumlufttemperatur und
- θ_e die Außenlufttemperatur.

Der Wert des Temperaturfaktors bewegt sich zwischen 0 und 1. Bei einem Temperaturfaktor von $f=1$ stimmt die raumseitige Oberflächentemperatur mit der Raumlufttemperatur überein. Bei $f=0$ entspricht die raumseitige Oberflächentemperatur der Außenlufttemperatur.

Durch Umstellung der Gleichung 2.10 kann die raumseitige Oberflächentemperatur für verschiedene Temperatur-Randbedingungen berechnet werden.

Bei der Berechnung der Temperaturfaktoren wird raumseitig nach DIN 4108-2 [14] der Wärmeübergangswiderstand $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ angesetzt.

2.2 Feuchteschutz

Für ein gesundes Raumklima und zur Vermeidung von Durchfeuchtungsschäden ist baulicher Feuchteschutz eine wichtige technische Voraussetzung. Ziel ist die Vermeidung bzw. Begren-

zung von Feuchte in Bauteilen und auf Bauteiloberflächen.

2.2.1 Relative Luftfeuchte

Das Gasgemisch Luft kann unterschiedliche Mengen von Wasserdampf enthalten, wobei die Wasserdampfmenge W in Abhängigkeit von der Lufttemperatur nach oben begrenzt ist; Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte. Wird die maximal mögliche Menge Wasserdampf – die Sättigungsmenge W_s – überschritten, so kondensiert ein Teil des Wasserdampfes und schlägt sich als Tauwasser nieder. Die Temperatur, bei der dies geschieht, wird als Taupunkttemperatur bezeichnet. Alternativ zur Wasserdampfmenge W kann auch der Wasserdampfdruck p angegeben werden. Dies ist der Anteil des Dampfdruckes am Gesamtdruck. Der bei einer bestimmten Temperatur maximal mögliche Wasserdampfgehalt der Luft wird entsprechend als (Wasserdampf-)Sättigungsdruck p_s bezeichnet. Werte für W_s bzw. p_s können für unterschiedliche Temperaturen aus Tabellen entnommen werden (DIN 4108-3 [15]).

Bezieht man die in der Luft enthaltene Wasserdampfmenge W auf die Sättigungsmenge W_s (beziehungsweise p auf p_s) so erhält man die relative Luftfeuchte φ :

$$\varphi = \frac{W}{W_s} = \frac{p}{p_s} \quad (2.11)$$

Die Angabe der relativen Luftfeuchte erfolgt entweder als Dezimalzahl oder in Prozent.

2.2.2 Feuchte auf Bauteil-Oberflächen

Gebäude müssen so konstruiert werden, dass Tauwasserschäden bei sachgemäßer Nutzung vermieden werden. Bei einem zeitgemäßen Wärmeschutzniveau der thermischen Hüllfläche und sachgemäßer Nutzung der Räume ist das Tauwasserrisiko relativ gering. In Räumen mit Wohn- bzw. Büronutzung besteht ein Tauwasserrisiko in der Regel nur im Winter während der Heizperiode, wenn feuchtwarme Raumluft mit kalten Flächen in Berührung kommt und der Wasserdampf dort kondensiert. Kritische Bereiche stellen besonders die Wärmebrücken dar. Sie sind deshalb schon bei der Planung so weit wie möglich zu minimieren.

2.2.3 Feuchte und Schimmelpilzbildung

In der natürlichen Umgebungsluft befinden sich in der Regel Sporen von Schimmelpilzen, deren Wachstum von der Umgebungsfeuchte, der Temperatur und dem Angebot an Luftsauerstoff und Nährstoffen abhängt. Im Wohnbereich haben die Feuchte und das Nährstoffangebot einen bedeutenden Einfluss auf das Pilzwachstum. [101]

Schimmelpilze brauchen zum Wachstum frei verfügbares Wasser. Bei porösen Baustoffen tritt bereits vor Erreichen des eigentlichen Taupunktes auf der Oberfläche in den Kapillaren eine Kondensation auf, die sog. Kapillarkondensation. Bereits ab 80 % relativer Luftfeuchte reicht dieser Wasserfilm in den Kapillaren als Nährboden für Pilzwachstum aus.

Weiterhin hängt das Wachstum der Schimmelpilze von dem Nährstoffpotential der Baustoffe sowie Oberflächenverschmutzungen ab. Tapeten und Anstriche können sich daher auf das Schimmelpilzwachstum förderlich auswirken, während glatte und leicht zu reinigende Flächen (zum Beispiel Türblatt oder -futter) nur selten vom Pilzwachstum betroffen sind. [65]

Zur Vermeidung von relativen Luftfeuchten über 80 % an der Bauteiloberfläche verlangt DIN 4108-2 [14], dass die raumseitigen Temperaturfaktoren f über 0,7 liegen. Mithilfe der Temperaturfaktoren kann das Risiko von Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung auf Bauteiloberflächen – zum Beispiel bei Wärmebrücken – quantitativ beschrieben werden (siehe Abschnitt 3.1 auf Seite 49).

2.2.4 Tauwasser innerhalb von Bauteilen durch Wasserdampfdiffusion

Im Winterhalbjahr enthält die Innenraumluft in der Regel deutlich mehr Feuchtigkeit als die Außenluft. Aus diesem Wasserdampfdruckgefälle resultiert die Wasserdampfdiffusion: Der Wasserdampf wandert von der warmen Raumseite durch das Bauteil zur kalten Außenseite. Die einzelnen Bauteilschichten setzen dieser Wasserdampfdiffusion jedoch spezifische Widerstände entgegen. Zur Beschreibung des Diffusionswiderstandes von Bau- oder Dämmstoffen dient die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ . Dieses ist das Verhältnis zwischen dem Diffusionswiderstand eines Baustoffes und dem von ruhender Luft. Richtwerte für die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ sind in DIN V 4108-4 [16] aufgeführt. Ein weiterer Kennwert, die (wasserdampf-)diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d (s_d -Wert), gibt an, wie dick eine ruhende Luftschicht wäre, die der Wasserdampfdiffusion einen ebenso starken Widerstand entgegengesetzt wie das Bauteil mit der Schichtdicke d .

$$s_d = \mu \cdot d \quad (2.12)$$

Ist ein Bauteil aus unterschiedlichen Bauteilschichten zusammengesetzt, ergibt sich der s_d -Wert des gesamten Bauteils aus der Addition der schichtspezifischen Einzelwerte:

$$s_d = s_{d1} + s_{d2} + \dots + s_{dn} \quad (2.13)$$

Kühlt sich der Wasserdampf auf dem Weg durch das Bauteil unter seine Taupunkttemperatur ab, entsteht Tauwasser. Wenn gewährleistet ist, dass die Konstruktion im Sommer wieder austrocknen kann, ist eine begrenzte Menge von Tauwasser im Bauteil zulässig. Darüber hinaus dürfen die betroffenen Baustoffe / Bauteile bei der Befeuchtung jedoch nicht geschädigt werden. Abhängig davon, ob die Schichten in der Lage sind, Wasser kapillar aufzunehmen, ist die maximal zulässige Tauwassermasse normativ begrenzt: 1,0 kg/m² bzw. 0,5 kg/m² (siehe DIN 4108-3 [15]). Bei Holz darf die massebezogene Stofffeuchte u sich nur um maximal 5 %, bei Holzwerkstoffen nur um maximal 3 % erhöhen.

Als allgemeine Regel gilt, dass in mehrschichtigen Außenbauteilen die Wasserdampfdiffusionsdichte von innen nach außen abnehmen soll. Die raumseitige Bauteilschicht, die die Funktion der Wasserdampfdichtung übernimmt, wird Dampfsperre bzw. Dampfbremse genannt (siehe

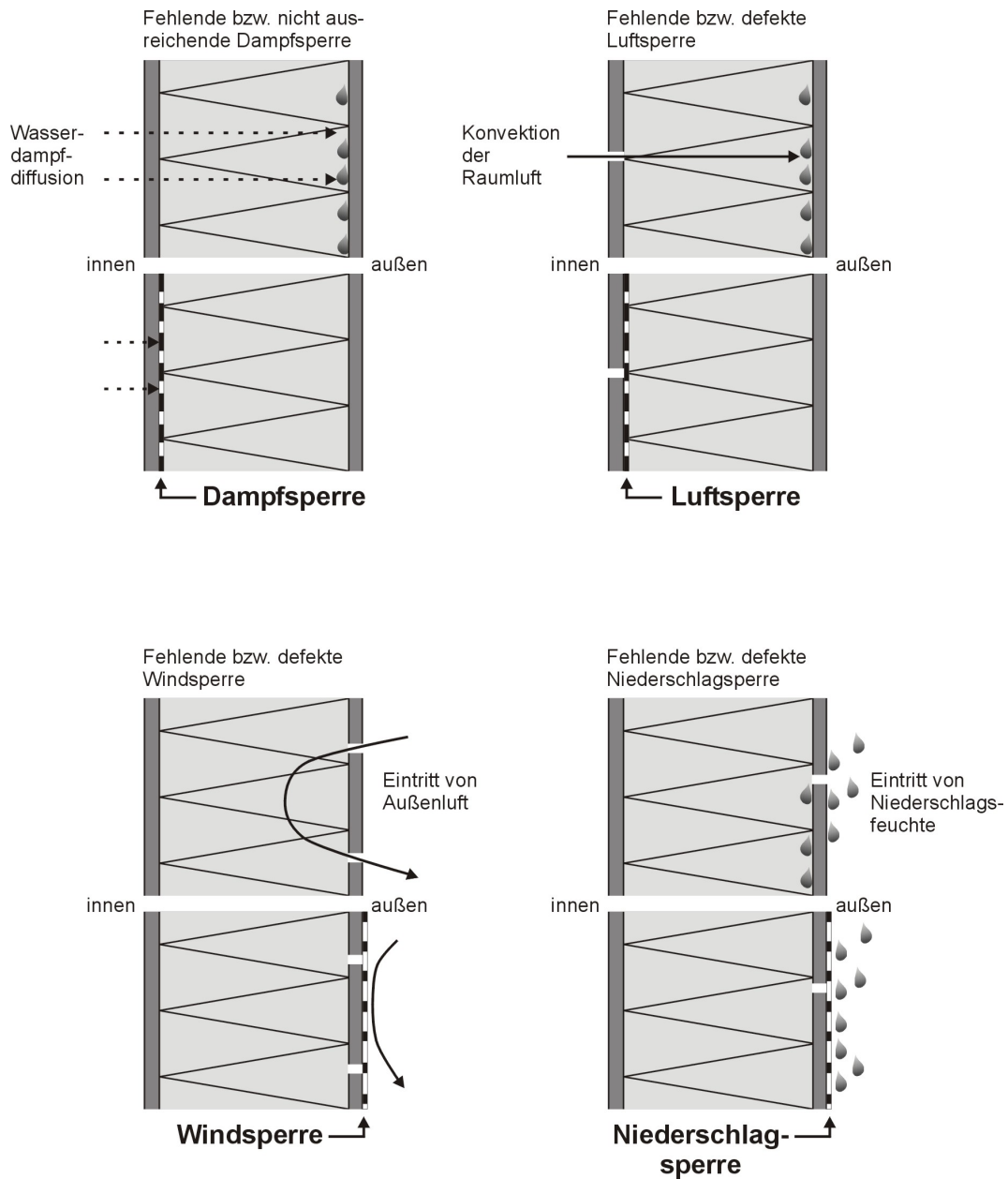


Abbildung 2.4: Schematische Übersicht zur Dampf-, Luft-, Wind- und Niederschlagsperre

auch Abbildung 2.4). In dieser Arbeit wird – unabhängig vom jeweiligen s_d -Wert dieser Schicht – der Begriff Dampfsperre verwendet.

2.2.5 Tauwasser innerhalb von Bauteilen durch Wasserdampfkonvektion

Liegen Undichtigkeiten in den raumseitigen Bauteilschichten vor, kann feuchtwarme Innenraumluft durch Konvektion in die Konstruktion einströmen und dort zu Tauwasserniederschlag führen. Auf die Notwendigkeit einer durchgehenden und fehlerfreien Luftdichtheitschicht (auch: Luftsperrschicht) wird in Abschnitt 2.3.1 näher eingegangen. Häufig übernimmt eine Bauteilschicht zugleich die Funktion der Dampf- und Luftsperrschicht.

2.2.6 Hygrothermische Formänderungen

Im Gegensatz zu den üblichen Innentüren befinden sich Außentüren in der Trennungsebene zwischen Innen- und Außenklima, die sich im jahreszeitlichen Rhythmus bezüglich Feuchtigkeit und Temperatur beide ändern. Dieses Differenzklima führt je nach den physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe und abhängig vom Türblattaufbau zu verschiedenen starken Formänderungen. Daher kann ein Türblatt auf Dauer nicht vollkommen formstabil sein. Bei Holztüren sind die Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe die wesentlichen Ursachen der Verformungen (siehe Abbildung 2.5), während die temperaturbedingte Verformung bei Holz- und Holzwerkstoffen eine untergeordnete Rolle spielt. Bei Metall- und Kunststofftüren dagegen ist die temperaturbedingte Formänderung entscheidend. Sie wirkt umgekehrt zur Formänderung bei Holztüren. Diese Verformungen können die Dichtheit der Türsysteme beeinträchtigen. Zur Aussteifung von Türblättern dienen integrierte Metallprofile oder in die Deckschicht flächig eingeleimte Aluminiumfolien. Die Formänderungen können auf diese Weise gemindert werden, ganz vermeiden lassen sie sich nicht.

Im Massivbau wirkt sich die hohe Baufeuchte problematisch auf die Formänderungen von Holztüren aus, da teilweise auch ein halbes Jahr nach dem Verputzen noch relativ hohe Feuchtigkeitswerte gemessen werden können.

2.2.7 Belastung durch Niederschlag

Niederschläge in Form von Regenwasser oder Flugschnee belasten die Bauteile, indem sie durch Undichtigkeiten, Spalten, Risse, fehlerhafte Stellen und Kapillarwirkung eindringen. Treten Niederschläge in Verbindung mit Wind auf, kommt es zur Schlagregenbeanspruchung. Sie richtet sich in ihrer Größe nach den regionalen Klima-Bedingungen und der lokalen Situation (Höhe des Gebäudes, Nachbarbebauung, Vegetation). In DIN 4108-3 [15] findet sich eine grafische Übersicht über die unterschiedliche Schlagregenbeanspruchung in Deutschland. Dort werden drei Beanspruchungsgruppen unterschieden:

- Gruppe I: geringe Beanspruchung
- Gruppe II: mittlere Beanspruchung
- Gruppe III: starke Beanspruchung

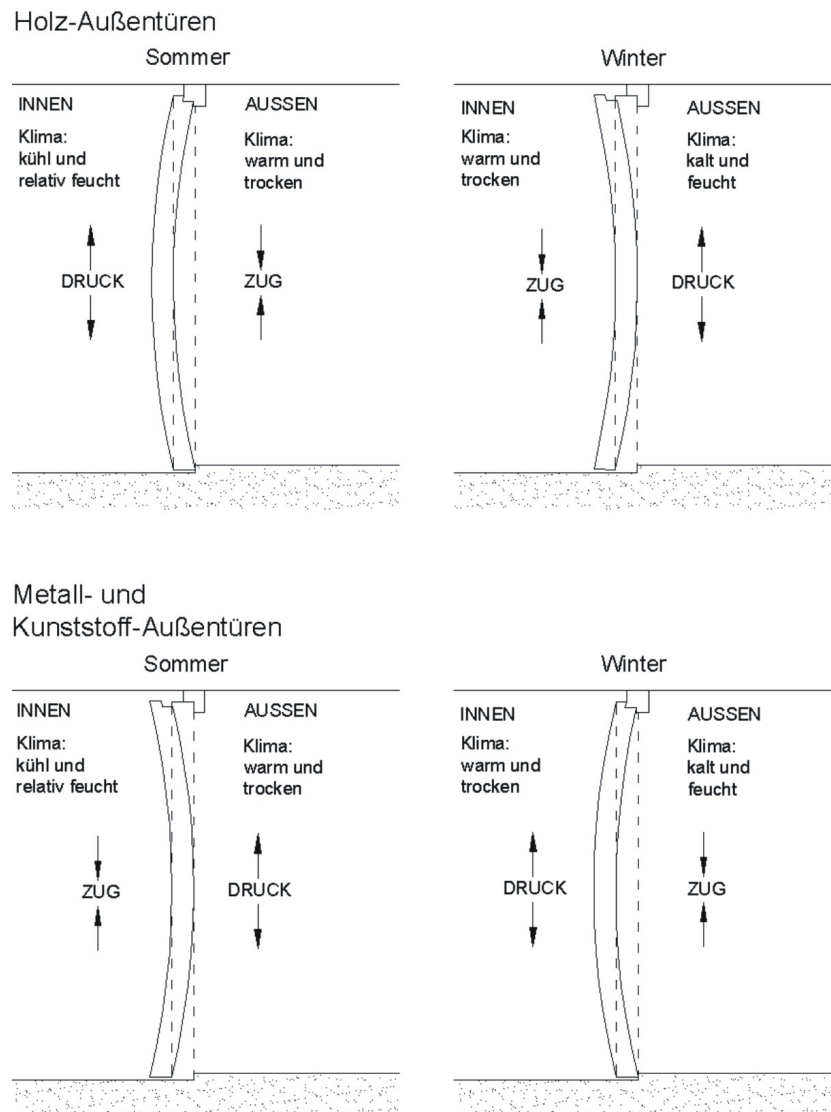


Abbildung 2.5: Schema typischer Verformungen bei Außentüren im Sommer und Winter (zum Teil nach [92]): Bei Holz und Holzwerkstoffen ist Feuchtigkeit die wesentliche Ursache der Verformung. Bei Metall- und Kunststofftüren sind die temperaturbedingten Formänderungen entscheidend.

Die am weitesten nach außen vorgelagerte Ebene der Wasserableitung bzw. die Wasserabreißkante wird als Niederschlagsperre oder Regensperre bezeichnet (siehe auch Abbildung 2.4 auf Seite 42).

2.3 Dichtigkeit der Gebäudehülle

Die Dichtigkeit der Gebäudehülle ist erforderlich, damit weder feuchtwarme Raumluft von innen noch kalte Außenluft von außen in die Bauteile eindringen kann. Der erste Fall wird mit der Luftdichtigkeit, der zweite mit der Winddichtigkeit beschrieben.

2.3.1 Luftdichtigkeit

Durch den Wind, der in Form von Luftdruckschwankungen auf die Gebäudehülle trifft, besteht zwischen dem Rauminneren und der Außenluft eine Druckdifferenz. Infolge dieser Druckdifferenz kann warme Raumluft durch undichte Fugen nach außen strömen und zu Wärmeverlusten führen. Neben diesen Wärmeverlusten kann auf diese Weise feuchtwarme Innenraumluft in die Baukonstruktion eindringen, dort zu flüssigem Wasser kondensieren und Bauschäden begünstigen. Größere Luftbewegungen aufgrund von Fugen bzw. Leckagen führen außerdem zu Komforteinbußen durch Zugluft. Die wärmeübertragende Umfassungsfläche muss daher dauerhaft luftundurchlässig abgedichtet sein.

Oft wird angenommen, dass undichte Fugen einem Mindestluftwechsel dienen können. Um jedoch auch an windstillen und milden Tagen den hygienisch notwendigen Luftwechsel durch Fugen sicherzustellen, müsste die Gebäudehülle so undicht sein, dass bei Wind bzw. bei tieferen Außentemperaturen massive Wärmeverluste und Komforteinbußen in Kauf genommen werden müssten. Zudem erfolgt eine Lüftung durch Fugen unkontrolliert und betrifft in der Regel nicht alle Räume gleichmäßig. [119]

Der durch Fugen verursachte Wärmeverlust ist auch schon bei sehr schmalen Fugen erheblich: Bei einer Fugenbreite von 1 mm beträgt der Lüftungswärmeverlust zwischen 0,5 und 2,5 W/(m K), abhängig von der anliegenden Druckdifferenz (siehe Abbildung 2.6). Damit werden erheblich höhere Werte als bei üblichen Wärmebrücken erreicht. Über Fugen kann durch Wasserdampfkonvektion daher deutlich mehr Wasser transportiert werden als bei der Wasserdampfdiffusion (siehe Abbildung 2.7 nach [104]), was zu entsprechend größeren Feuchteschäden führen kann.

Für alle Bauteile und Anschlüsse muss daher eine luftdichte Ebene eingeplant werden, die das gesamte Gebäude ohne Unterbrechungen umschließt. Häufig kann diese Luftdichtschicht (auch: Luftsperrschicht) zugleich die Funktion der Dampfsperre übernehmen (siehe auch Abbildung 2.4 auf Seite 42).

Mithilfe des so genannten ‚Blower-Door-Verfahrens‘ kann die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle bereits während der Bauphase geprüft werden. Diese Differenzdruckprüfung wird in DIN EN 13829 [38] beschrieben und entweder für ganze Gebäude oder Gebäudeteile durchgeführt. Die Räume werden einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa ausgesetzt. Der

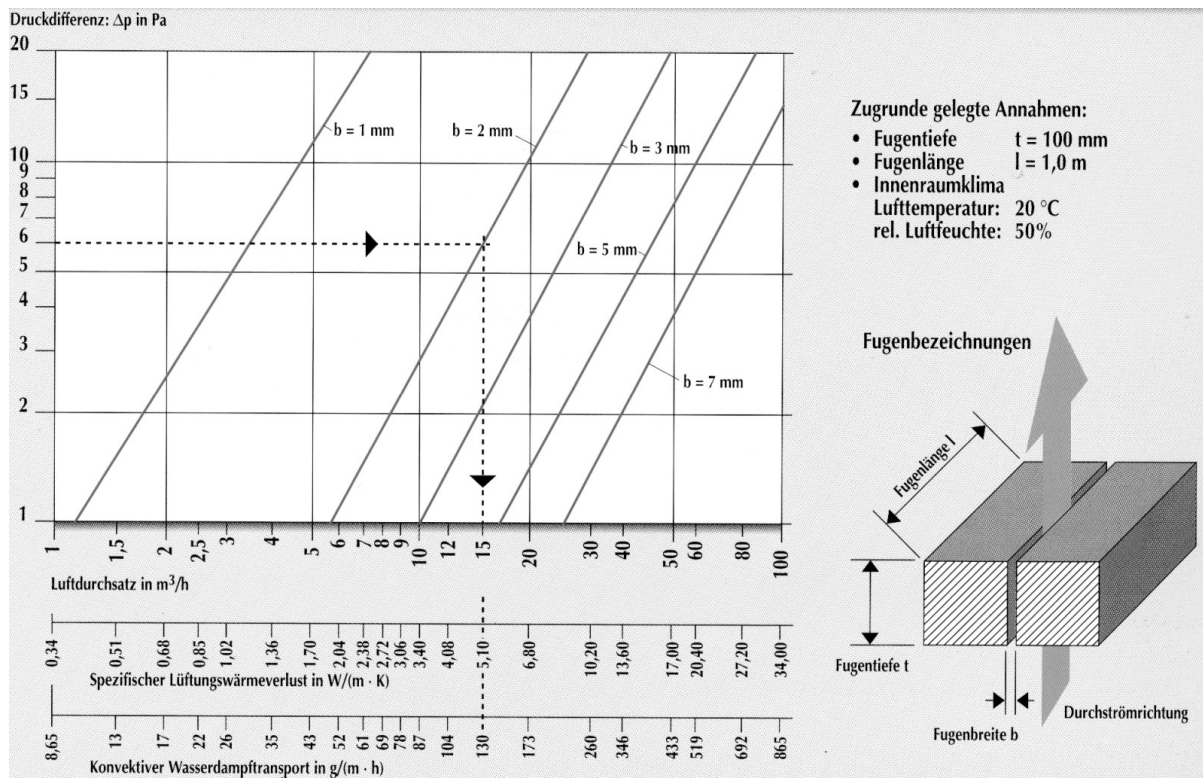


Abbildung 2.6: Diagramm zur Größenordnung der Lüftungswärmeverluste, des Luftdurchsatzes und des konvektiven Wasserdampftransportes durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle. Ablesbeispiel: Bei einer Druckdifferenz von 6 Pa und einer 2 mm breiten Fuge beträgt der spezifische Lüftungswärmeverlust 5,1 W/(m K). Per Konvektion wird auf diese Weise eine Wasserdampfmenge von 130 g/(m h) durch die Fuge transportiert [96].

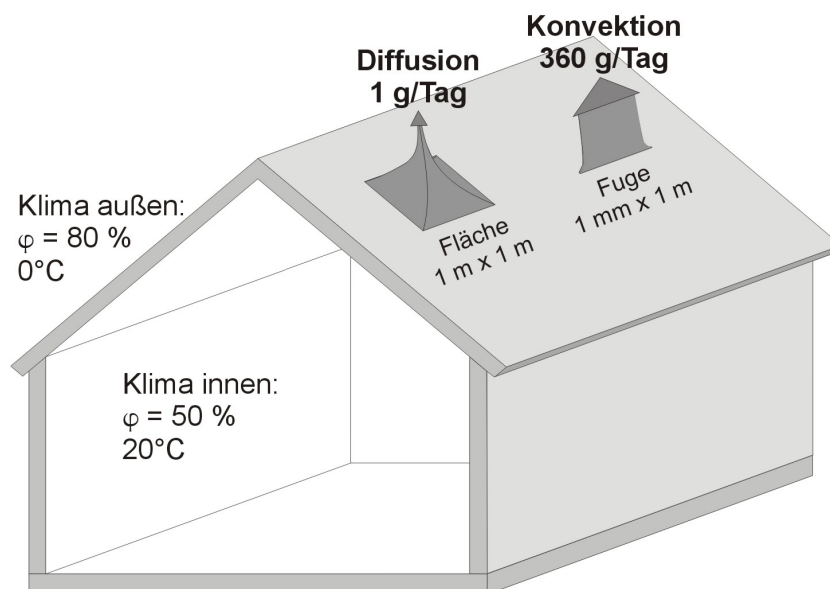


Abbildung 2.7: Vergleich der Wasserdampftransporte, die per Diffusion durch die Fläche bzw. per Konvektion durch undichte Fugen transportiert werden ($s_d = 10 \text{ m}$, Druckdifferenz 2 Pa)

auftretende Luftvolumenstrom (nach [38] auch: Leckagestrom) wird entweder bezogen auf das Innenraumvolumen oder auf die Netto-Grundfläche.

Luftdurchlässigkeit von Funktionsfugen

Funktionsbedingte Fugen bei Fenstern und Türen werden nach DIN EN 12207 [27] hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit bei Luftdruckdifferenzen klassifiziert. Im Zuge der Angleichung europäischer Normen wird bei der Klassifizierung in Zukunft nicht mehr der a -Wert nach DIN 18055 [42], sondern die Referenzdurchlässigkeit Q_{100} verwendet. Die bei einem bestimmten Prüfdruck gemessene Gesamtluftdurchlässigkeit Q wird dazu auf einen Referenz-Differenzdruck von 100 Pa umgerechnet. Die Referenzluftdurchlässigkeit wird entweder auf die Gesamtfläche oder auf die Fugenlänge bezogen.

Aus den Beanspruchungsgruppen A bis D werden die Klassen 0 bis 4. Während bei 0 keinerlei Anforderungen an die Dichtigkeit gestellt werden, wird für Klasse 4 die höchste Dichtigkeit gefordert. Die Anforderungen wurden gegenüber der alten Norm erheblich verschärft.

2.3.2 Winddichtigkeit

Bauteile müssen von außen winddicht ausgebildet sein, um Luftströmungen von außen in den Dämmstoff / Baustoff hinein und wieder nach draußen zu verhindern, da ein solcher Windangriff die Wirksamkeit von Wärmedämmschichten beeinträchtigen würde. Weiterhin soll ein Feuchteintrag über durchströmende Luft verhindert werden. Die Bauteilschicht, die die Aufgabe der Winddichtung übernimmt, wird Windsperre genannt (siehe Abbildung 2.4 auf Seite 42). Zur Erfüllung der genannten Aufgaben muss sie außenseitig vom Dämmstoff angeordnet sein.

Kapitel 3

Anforderungen und Vorgaben im Bereich Wärmeschutz

In diesem Kapitel wird dargelegt, welche Anforderungen bezüglich des Wärmeschutzes an Außentüren gestellt werden. Die Anforderungen werden unterschieden in die Bereiche Mindestwärmeschutz (Vermeidung von Schimmelpilzbildung und Tauwasserausfall), energiesparenden Wärmeschutz sowie Dichtheit der Gebäudehülle. Außerdem regeln verschiedene Normen die Randbedingungen der Berechnung von Wärmebrückenkoeffizienten.

3.1 Mindestwärmeschutz

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 [14] umfasst alle Maßnahmen, die ein hygienisches Raumklima sicherstellen.

Seit einer Novellierung der DIN 4108-2 im Juni 1999 werden Anforderungen bezüglich der Raumhygiene genannt: Zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung wird gefordert, dass der Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle der Konstruktion $f \geq 0,7$ beträgt. Von diesem Nachweis sind die bereits ausreichend gedämmten Konstruktionen in DIN 4108, Beiblatt 2 [12], ausgenommen. Für Fenster wird auf DIN EN ISO 13788 [36] verwiesen. Dort wird festgestellt, dass Tauwasserbildung auf der Innenseite von Fensterrahmen unerwünscht ist, da das Wasser besonders bei Holzrahmen Oberflächenschäden hervorrufen kann und vom Rahmen in angrenzende Bauteile laufen kann. Mit einem Temperaturfaktor von $f \geq 0,6$ wird bei einer Luftfeuchte von 50 % Tauwasserausfall auf den raumseitigen Oberflächen vermieden (DIN EN ISO 13788). Obwohl aus DIN 4108-2 dies nicht hervorgeht, ist davon auszugehen, dass dieses geringere Anforderungsniveau nicht nur für Fenster, sondern auch für Außentüren Gültigkeit hat.

Bei der Berechnung des Temperaturfaktors muss an der inneren Oberfläche mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ gerechnet werden (DIN 4108-2), während bei der Wärmestromberechnung normativ ein geringerer Wert zugrunde gelegt wird. Mit dem erhöhten Wärmeübergangswiderstand liegt man bei der Beurteilung der Schimmelpilz- und Tauwassergefahr auf der sicheren Seite und berücksichtigt auch die Bereiche, an denen die Luftzirkulation eingeschränkt ist^a, wie

a. Die europäische Norm DIN EN ISO 10211-1 [25] gibt noch weitergehende Empfehlungen: Für die obere Raumhälfte wird als Wärmeübergangswiderstand ebenfalls $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ empfohlen, für die untere Raumhälfte $R_{si} = 0,35 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Wenn der Wärmeübergang an Wandflächen durch Möbel o. Ä. behindert

beispielsweise in Ecken, am Glasrand oder an der Türschwelle.

3.2 Energiesparender Wärmeschutz

Der energiesparende Wärmeschutz behandelt über den Mindestwärmeschutz hinaus die Maßnahmen, die den Heizenergiebedarf senken.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) [58] – in Kraft seit Februar 2002 – ist ein ordnungspolitisches Instrument zur Minderung des Energieverbrauches im Gebäudebereich und macht bei neuen Gebäuden den Niedrigenergiehausstandard zur Regel.

In der EnEV werden im allgemeinen keine Bauteilwerte – beispielsweise in Form von maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten – genannt. Eine Ausnahme bildet die Änderung von Außenbauteilen bestehender Gebäude sowie die Errichtung von Gebäuden mit geringem Volumen ($\leq 100 \text{ m}^3$). Hier dürfen die neu eingebauten oder geänderten Bauteile der Gebäudehülle bestimmte Wärmedurchgangskoeffizienten nicht überschreiten. Für Außentüren liegt dieser Wert bei $U_D = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. In DIN 4108-2 [14] werden für Wände, Dächer u. a. Bauteile des Neubaus Kennwerte genannt. Für Außentüren wird dort lediglich gefordert, dass verglaste Türen mit Isolier- oder Doppelverglasung ausgeführt werden.

Die wesentlichen Anforderungen der EnEV werden bei Gebäuden mit normalen Innentemperaturen über den Jahres-Primärenergiebedarf formuliert. Zusätzlich wird eine Anforderung an den spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust gestellt.

Der Transmissionswärmeverlust wird bestimmt durch die Wärmedurchgangskoeffizienten U und die Wärmebrückenkoeffizienten der gesamten Gebäudehülle. Die Berücksichtigung der Wärmebrücken kann beim Monatsbilanzverfahren auf drei Arten erfolgen:

- a) Berücksichtigung durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche.
- b) Bei Anwendung der schematischen Anschlussgeometrien nach DIN 4108, Beiblatt 2 [12]^b: Berücksichtigung durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche.
- c) Durch genauen Nachweis der Wärmebrücken (EnEV [58]).

Sind die Wärmebrücken der Bauteile bereits bei der U -Wert-Bestimmung^c der Bauteile berücksichtigt worden, darf die wärmeübertragende Umfassungsfläche um die entsprechende Bauteilfläche gemindert werden [58].

wird, sollte $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{W}$ verwendet werden, bei Einbauschränken können noch höhere Werte erforderlich sein.

b. Außentüren werden in dieser Norm nur in Form einer Terrassentür behandelt.

c. Im Gegensatz zum früheren k -Wert enthält der U -Wert von Bauteilen oft bereits den Wärmeverlust über Wärmebrücken – zum Beispiel bei Fenstern mit U_W oder Türen mit U_D .

Der Inhalt dieses letzten Absatzes ist allerdings nicht eindeutig: Angenommen, es würden bei allen Bauteil-U-Werten bereits die Wärmebrücken berücksichtigt, so entfielen nach Variante a) der Aufschlag von ΔU_{WB} , ohne dass die Wärmebrücken der Bauteilanschlüsse in irgendeiner Weise berücksichtigt worden wären. Hierzu fehlen Hinweise in der EnEV.

3.3 Dichtigkeit der Gebäudehülle

Eine ausreichende Dichtigkeit der Gebäudehülle begrenzt die Lüftungswärmeverluste über Fugen und andere Undichtigkeiten. Zur Luftdurchlässigkeit nach DIN EN 12207 [27] bei Außentüren nennt die EnEV [58] – im Gegensatz zu Fenstern und Fenstertüren – keine Anforderungen. In DIN 4108-2 [14] wird für Außentüren ein Fugendurchlasskoeffizient von $a \leq 2,0 \text{ m}^3 / (\text{m h } \Delta p^{2/3})$ gefordert.

Beim Nachweis der Dichtigkeit des gesamten Gebäudes werden Undichtigkeiten der Außentüren – wie alle anderen der thermischen Hüllfläche – erfasst.

Da der Dichtigkeitsgrad eines Gebäudes bei der Energiebedarfsbilanzierung nach EnEV durch einen ‚Luftwechsel-Bonus‘ berücksichtigt werden kann, empfiehlt es sich, auch bei natürlich belüfteten Gebäuden eine Druck-Differenz-Prüfung (‚Blower-Door-Prüfung‘) durchzuführen. Liegen die Ergebnisse unter den Anforderungen der EnEV bzw. der DIN V 4108-7 [18], so darf die Luftwechselrate n in der Bilanz von 0,7 1/h auf 0,6 1/h reduziert werden. Beim Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage ist der Nachweis einer festgelegten Luftdichtheit obligatorisch.

Wird die ‚Blower-Door‘ bei der Druck-Differenz-Prüfung in den Rahmen der Außentür eingebaut, so werden Undichtigkeiten über die Funktionsfuge zwischen Blendrahmen und Türblatt nicht erfasst. Falls das Türelement herstellerseitig nicht auf Luftdichtheit geprüft wurde – wie bei handwerklich gefertigten Türen –, empfiehlt sich der Einbau der ‚Blower-Door‘ in zum Beispiel Terrassentüren, die bereits vom Hersteller einer stichprobenartigen Druck-Differenz-Prüfung unterzogen wurden.

3.4 Randbedingungen der Berechnung von Wärmebrückenkoeffizienten

Die Temperaturrendbedingungen, die Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches und die Wärmeübergangswiderstände sind normativ geregelt, da die Wahl der Randbedingungen einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse einer Berechnung hat. Die für diese Arbeit geltenden Randbedingungen sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Bei der Berechnung der Wärmebrückenkoeffizienten bildet der Bereich der Türschwelle einen Sonderfall, da er in direkter Nähe des Erdreiches liegt und die Temperaturverhältnisse somit von denen des Erdreiches beeinflusst werden. Für die Angabe von Wärmebrückenverlusten fehlen hier bislang festgelegte Randbedingungen der Berechnung und Modellbildung sowie eindeutige

Parameter	Wert	Quelle	Bemerkung
Innentemperatur	20 °C	DIN 4108-2 [14]	
Außentemperatur	-5 °C	DIN 4108-2	
Kellertemperatur	10 °C	DIN 4108-2	
Erreichtemperatur	10 °C	DIN 4108-2	
Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2,0 W/(m K)	DIN EN ISO 10211-1 [25], DIN EN ISO 10211-2 [26]	
R_{se}	0,04 m ² K/W	DIN EN ISO 6946 [21], E DIN EN ISO 10077-2 [24]	
R_{si}	0,25 m ² K/W	DIN 4108-2	Berechnung des Temperaturfaktors
R_{si}	0,10 m ² K/W 0,13 m ² K/W 0,17 m ² K/W	bzw. bzw. bzw. DIN EN ISO 6946	Berechnung von Wärmeströmen, Wert je nach Richtung des Wärmestroms (von unten nach oben, horizontal, von oben nach unten)
Bezugsflächen	Außenmaße	EnEV	
Genauigkeit	2 bzw. 3 Dezimalstellen	DIN EN ISO 6946	Wärmedurchlasswiderstände: in Zwischenrechnungen auf mindestens 3 Dezimalstellen, beim Endergebnis auf 2 Dezimalstellen gerundet

Tabelle 3.1: Normativ geregelte Randbedingungen der Berechnung von Wärmeströmen

Regelungen zum Rechenansatz bei unterkellerten Gebäuden. Im Abschnitt 4.6 auf Seite 68 wird daher eine Voruntersuchung beschrieben, in der die Berechnungsergebnisse bei unterschiedlichen Randbedingungen verglichen wurden und als Resultat ein Randbedingungsgefüge für die Berechnungen dieser Arbeit festgelegt wurde.

Kapitel 4

Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die thermischen Kennwerte bei Türen ermittelt wurden, für welche Konstruktionen die Berechnungen durchgeführt wurden und wie der Schwellenbereich aufgrund von Voruntersuchungen berechnet wurde.

4.1 Thermische Kennwerte

Für alle Komponenten des Türelementes und der Anschlussbereiche soll zum einen der zusätzliche Wärmeverlust durch Wärmebrücken und zum anderen die Gefahr von Schimmelpilz- bzw. Tauwasserbildung auf den raumseitigen Oberflächen ermittelt und gekennzeichnet werden. Die entsprechenden Größen – die Wärmebrückenkoeffizienten und die Temperaturfaktoren – werden allgemein als ‚thermische Kennwerte‘ bezeichnet.

Thermische Kennwerte können ermittelt werden durch Messung mit dem Heizkastenverfahren nach E DIN EN 12412-2 [30] sowie DIN EN ISO 12567-1 [33] oder durch numerische Berechnung nach DIN EN ISO 10211-1 [25] und DIN EN ISO 10211-2 [26]. Seit Einführung der europäischen Normen zur numerischen Berechnung 1995 stehen die Messung und die Berechnung gleichberechtigt nebeneinander. Die Temperaturfaktoren können nach DIN 4108-2 [14] nur über numerische Berechnungen ermittelt werden.

In dieser Arbeit wurden die Werte mit numerischen Berechnungsverfahren ermittelt, da einerseits die Ermittlung von Kennwerten am Prüfstand für die Anzahl der betrachteten Türen zeitaufwändiger gewesen wäre als die Berechnung, andererseits hätten nur die von den Herstellern angebotenen Rahmendicken und Ausbildungen (zum Beispiel Glaseinstand, Aussteifungsprofile) untersucht werden können. Die bei der Labormessung erhaltenen Werte gelten strenggenommen auch nur für die geprüften Flächenabmessungen und Rahmenanteile. Eine Übertragung auf andere Türgrößen führt besonders bei verändertem Rahmen- bzw. Verglasungsanteil zu großen Abweichungen vom tatsächlichen Wert [51]. Dies hätte keinen Vergleich zwischen unterschiedlichen Materialien und Konstruktionen zugelassen. Für die Berechnungen konnte dagegen eine Modellierung der Rahmen auf einheitliche Randbedingungen (Maße) erfolgen. Eine Ermittlung von Kennwerten für Aussteifungsmaßnahmen, den Beschlag, den Wandanschluss und den Schwellenbereich ist nur mit numerischen Verfahren möglich.

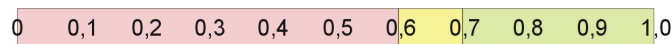


Abbildung 4.1: Zuordnung der farbigen Unterlegung in den Ergebnistabellen zu Werten des Temperaturfaktors f

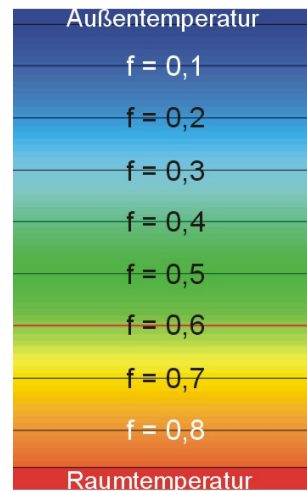


Abbildung 4.2: Zuordnung der Farben des Temperaturverlaufs zum Temperaturfaktor f bei den Isothermenkarten

Temperaturfaktor

Die Temperaturfaktoren werden erhalten, indem nach Durchführung der numerischen Berechnung die geringste Oberflächentemperatur auf der Innenraumseite des Bauteils ermittelt und der Wert in die Gleichung 2.10 auf Seite 39 eingesetzt wird.

In den Tabellen mit den thermischen Kennwerten wird durch die in Abbildung 4.1 dargestellte farbige Unterlegung markiert, welche Anforderungen bezüglich der raumseitigen Temperaturfaktoren f erfüllt werden.

Temperaturfaktoren unter 0,6 (rot unterlegt) erfüllen weder die Anforderung aus DIN 4108-2 noch aus DIN EN ISO 13788 [36], und es besteht bei diesen Konstruktionen die Gefahr von Feuchtigkeitskondensation auf den raumseitigen Oberflächen. Werte zwischen 0,6 und 0,7 (gelb unterlegt) erfüllen die Anforderung aus DIN EN ISO 13788: Es wird normativ von Tauwasserfreiheit ausgegangen. Ein Schimmelpilzrisiko besteht nur in der Laibung, zum Beispiel auf Tapeten, da Verschmutzungen hier zu einem Nährboden für das Pilzwachstum werden können. Temperaturfaktoren über 0,7 (grün unterlegt) entsprechen den gegenwärtigen normativen Vorgaben aus DIN 4108-2.

Die Temperaturverteilung in den dargestellten Querschnitten wird durch farbige Abstufung und zusätzlich durch Isothermen-Linien angegeben. Dabei werden keine Temperaturen in $^{\circ}\text{C}$, sondern die Temperaturfaktoren angegeben, damit unabhängig von den Temperaturrandbedingungen gearbeitet werden kann. Die Werte der Temperaturfaktoren f auf der Farbskala werden in Abbildung 4.2 angegeben. Die rote Isotherme markiert den Temperaturfaktor von 0,6.

Wärmebrückenkoeffizienten

Für die Ermittlung der Wärmebrückenkoeffizienten nach DIN EN ISO 10211-1 [25] wird pro Berechnung eine Wärmebrücke betrachtet. Grundsätzlich wird für diese Ermittlung die Differenz gebildet aus den Wärmeverlusten durch den gestörten und den ungestörten Bauteilquerschnitt. Wie diese Wärmeverluste ermittelt werden, wird in Abschnitt 4.3 beschrieben.

4.2 Numerische Rechenverfahren

Mit dem Begriff ‚numerische Rechenverfahren‘ werden Näherungsverfahren für unbekannte Funktionen zusammengefasst. Das Gegenteil bilden die analytischen Verfahren, bei denen zwar exakt gerechnet werden kann, jedoch meist nur bei einer sehr idealisierten und vereinfachten Betrachtung. Beispielsweise kann der Wärmedurchgang durch ein Bauteil mit den Gleichungen 2.2 (Seite 35) bis 2.4 berechnet werden. Es wird allerdings vereinfachend davon ausgegangen, dass die Wärmeströme nur senkrecht zur Oberfläche verlaufen.

Bei zusammengesetzten Bauteilen und Wärmebrücken kann auf analytische Weise kein Ergebnis ermittelt werden. Hier kommen numerische Rechenverfahren zum Einsatz, die nur Näherungslösungen erlauben, aber auf komplexe Geometrien anwendbar sind.

4.2.1 Grundlage der Finite-Elemente-Methode für Temperaturfeldberechnungen

Die Methode der Finiten Elemente (FEM) ist ein mathematisches Modell zur Beschreibung von physikalischen Vorgängen. Sie beruht auf einer Zerlegung des betrachteten Querschnittes in sehr kleine Teilbereiche – meist Rechtecke bzw. Quader. Jedem Element wird der entsprechende Baustoff mit seinen bauphysikalischen Eigenschaften, beispielsweise der Wärmeleitfähigkeit oder dem Wärmeübergangskoeffizienten, zugeordnet.

Die stationäre Wärmeleitung wird mit einer Differentialgleichung beschrieben, die das Verhalten des Baustoffes an differentiell kleinen Teilen der Struktur beschreibt. Die rechnerische Simulation zielt auf die Bestimmung der charakteristischen Funktion, bei Temperaturfeldberechnungen ist dies die Funktion der Temperatur. Durch Ableitung der Funktion nach den Koordinaten können weitere Größen, wie zum Beispiel die Wärmestromdichte, ermittelt werden.

Unter Berücksichtigung der Temperatur-Randbedingungen und der wärmetechnischen Kennwerte jedes Elementes wird die Differentialgleichung jeder Zelle einzeln gelöst und das Finite-Element-Problem wiederum mit einem Lösungsverfahren berechnet. Hierfür kommen eine Reihe von Lösungsverfahren, die im Bereich der numerischen Mathematik entwickelt wurden, in Frage. Bei iterativen Verfahren, von denen eines von der zur Berechnung eingesetzten Software verwendet wird (siehe Abschnitt 4.2.2), wird der Berechnungsprozess in mehrere gleichartige Abschnitte (Iterationen) unterteilt. Innerhalb jeder Iteration wird die gleiche Berechnung durchgeführt, wobei die Ausgabedaten der vorigen Rechnung als Eingabedaten der nächsten Berechnung verwendet werden. Mit jeder weiteren Iteration erfolgt eine Annäherung an das exakte Ergebnis. [68, 112]

4.2.2 Verwendete Software

Für die numerische Berechnung der Wärmeströme werden u. a. folgende Programme angeboten:

- ANSYS-Temperaturfeldberechnungen, ANSYS Inc. Global Headquarters, Canonsburg [45]
- WIS der Energy Research Group, University College Dublin [116]
- FRAME von Enermodal Engineering, Colorado [61]
- THERM von Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) [88]
- WinIso 2D und 3D von Sommer Informatik GmbH, Rosenheim [112]

An der Danmarks Tekniske Universitet Lyngby wurde bei einem Vergleich dieser Rechenprogramme für den Fenster- und Rahmenbereich (außer ANSYS) festgestellt, dass eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse erzielt werden konnte und dass daher alle untersuchten Programme für die Berechnung von Energiekennwerten von Rahmen und Verglasungen empfohlen werden können [57].

Im Vergleich der (Demonstrations-)Programme überwogen für diese Arbeit die Vorzüge von WinIso, da es den wesentlichen Vorteil aufweist, dass in CAD erstellte Schnittzeichnungen über einen dxf-Konverter und eine dxf-Schnittstelle importiert werden können. Dies erleichtert die Modellbildung bei komplexen Querschnitten erheblich.

Die Berechnungen dieser Arbeit wurden daher mit den Programmen WinIso 2D und 3D durchgeführt. Das Lösungsverfahren des FEM-Problems ist bei WinIso ein abgewandeltes Gauß-Seidel-Verfahren. Dies ist ein klassisches Iterationsverfahren zur Lösung von Differentialgleichungen [112, 113].

Für die Modellbildung kann auf eine umfangreiche Materialdatenbank nach DIN V 4108-4 [16] zugegriffen werden. Die Eingabe weiterer Materialien ist – genau wie das Ändern der Randbedingungen – über eine Schnittstelle möglich.

Mit dem verwendeten Programm WinIso sind die in DIN EN ISO 10211-1, DIN EN ISO 10211-2 und E DIN EN ISO 10077-2 beschriebenen Berechnungen möglich und die in DIN EN ISO 10211-1 verlangten Validierungen durchgeführt worden [112].

4.2.3 Vorbereitung der Querschnitte zur Berechnung

Da die numerische Berechnung nur rechteckige Elemente betrachtet, musste vor der Berechnung eine Anpassung des betrachteten Ausschnittes erfolgen. Alle Schrägen und Rundungen innerhalb des Querschnittes wurden durch feine Abtreppungen ersetzt, die zunächst der Feldgröße des orthogonalen Gitters entsprechen. Wurden die Querschnitte aus dem CAD-Programm (AutoCAD R 2000) importiert, so mussten alle Schraffuren und andere CAD-spezifische Texturen entfernt werden.

Bei der Festlegung der Größe des betrachteten Ausschnittes wurde nach DIN EN ISO 10211-1

ein ausreichender Abstand zur – zentral gelegenen – Wärmebrücke eingehalten. Die äußere Begrenzung muss dafür außerhalb des Einflussbereiches der Wärmebrücke liegen. Dies wird daran erkannt, dass dort die Isothermen wieder parallel verlaufen (siehe Abbildung 2.3 auf Seite 38).

4.2.4 Genauigkeit der Berechnung

Die Genauigkeit der Berechnung hängt wesentlich von der Feinheit des gewählten orthogonalen Gitters ab. Die Erfahrung zeigt, dass Abstände von minimal 1 mm für die meisten Probleme ausreichen und noch handhabbar sind. Die Feinheit des Gitters kann bei der Software WinIso jederzeit erhöht werden. Gerade in Bereichen, in denen Baustoffe sehr unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit unmittelbar nebeneinander liegen (beispielsweise Metall und Holz), bewirkt das Einfügen weiterer Gitternetzlinien eine höhere Genauigkeit der Berechnung. Das Gitternetz jedes betrachteten Querschnittes wurde daher bei der Berechnung soweit verfeinert, bis der Querschnitt ausreichend fein aufgeteilt war. Ob die Teilung ausreicht, wurde geprüft nach DIN EN ISO 10211-1 [25]: Bei weiterer Feinteilung mit doppelt so vielen Teilungen darf sich das Rechenergebnis nur noch um weniger als 2 % ändern.

4.2.5 Ausgabe der Berechnungsergebnisse

Das Programm WinIso liefert als Resultat der Berechnungen zunächst den Wärmestrom Φ durch den betrachteten Bauteilausschnitt. Zusätzlich kann die Temperatur jeder einzelnen Zelle abgefragt werden. Hierüber erfolgte die Angabe der Oberflächentemperaturen und die Berechnung der Temperaturfaktoren.

4.3 Linearisierung der Wärmebrücken

Für die Berechnung mit numerischen Verfahren wird das Bauteil in ungestörte Flächen aufgeteilt, für die U-Werte ermittelt werden. Alle Querleitungen, die dort auftreten, wo sich ungestörte Flächen berühren oder wo andere Störungen des Bauteilquerschnittes vorliegen, werden als Wärmebrücken erfasst. Die Querleitungen in dem Bereich einer Wärmebrücke werden jeweils einer Linie zugeordnet und in Form des so genannten linienbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten Ψ angegeben (siehe auch Abbildung 4.5 auf Seite 63).

Die Wärmeverluste über die Gebäudehülle können dann in Form des thermischen Leitwertes L_{Ges} wie folgt angegeben werden^a:

$$L_{Ges} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^n \psi_k \cdot l_k + \sum_{j=1}^n \chi_j \quad (4.1)$$

a. In DIN EN ISO 14683 [41] wird statt L_{Ges} die Bezeichnung L_D verwendet. Der Index D hat in dieser Arbeit jedoch bereits eine andere Verwendung: Tür (von engl. door), so dass hier L_{Ges} verwendet wird.

Diese Formel setzt sich zusammen aus:

- U_i dem Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils i der Gebäudehülle
 - A_i der Fläche des Bauteils i der Gebäudehülle
 - Ψ_k dem längenbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten der Wärmebrücke k
 - l_k der Länge l der zweidimensionalen Wärmebrücke k
 - χ_j dem punktbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten der Wärmebrücke j
- nach: DIN EN ISO 14683 [41], DIN EN ISO 13789 [37]

Der Einfluss punktbezogener Wärmebrückenkoeffizienten χ , die durch Überschneidung linienförmiger Wärmebrücken entstehen, wurde nach DIN EN ISO 14683 vernachlässigt. Dann entfällt der letzte Summand der Gleichung. Traten allerdings signifikante punktförmige Wärmebrücken auf, so erfolgte eine Berechnung nach DIN EN ISO 10211-1 [25].

Verglaste Rahmentüren

Für verglaste Rahmentüren (Bauart wie Fenster) existiert in DIN EN ISO 10077-1 [23] ein vereinfachtes Verfahren zur U-Wert-Ermittlung, mit dem man ähnlich wie mit Wärmebrückenkatalogen arbeitet. Unter der Voraussetzung, dass der Rahmenanteil 20 % oder 30 % beträgt und die Verglasung mit Alu- oder Stahlabstandhaltern ausgeführt wird, kann der U_D -Wert aus Tabellen ermittelt werden. Da diese Einschränkungen groß und die Tabellenwerte sehr ungenau sind, wurden auch für diese Türen – wie für alle anderen – die im Folgenden beschriebenen Berechnungen durchgeführt.

4.4 Durchgeführte Berechnungen

4.4.1 Linienbezogene und punktbezogene Wärmebrückenkoeffizienten

Zur Ermittlung des linearen Wärmebrückenkoeffizienten wurde eine zweidimensionale numerische Berechnung nach DIN EN ISO 10211-2 [26] durchgeführt, in der die Wärmebrücke (hier zwischen Türrahmen und Wandsystem) und die angrenzenden Querschnitte betrachtet werden, siehe Abbildung 4.3.

Die Differenz aus dem linearen thermischen Leitwert L_{Ges}^{2D} des gesamten betrachteten Querschnittes der Länge l und dem Wärmedurchgang durch die einzelnen ungestörten Regelflächen ΣL_i^{2D} (siehe Abbildung 4.4) ist der Wärmeverlust über die Wärmebrücke:

$$\psi = L_{Ges}^{2D} - \sum_{i=1}^n L_i^{2D} \quad (4.2)$$

Für den Fall, dass der Wärmedurchgangskoeffizient U über die Breite b des Bauteils konstant ist, kann Gleichung 4.2 vereinfacht werden zu (DIN EN ISO 14683 [41])^b:

b. In DIN EN ISO 14683 [41] wird anstelle von b mit l gearbeitet. Zur Unterscheidung von der Länge l der linienförmigen Wärmebrücke wird hier b verwendet.

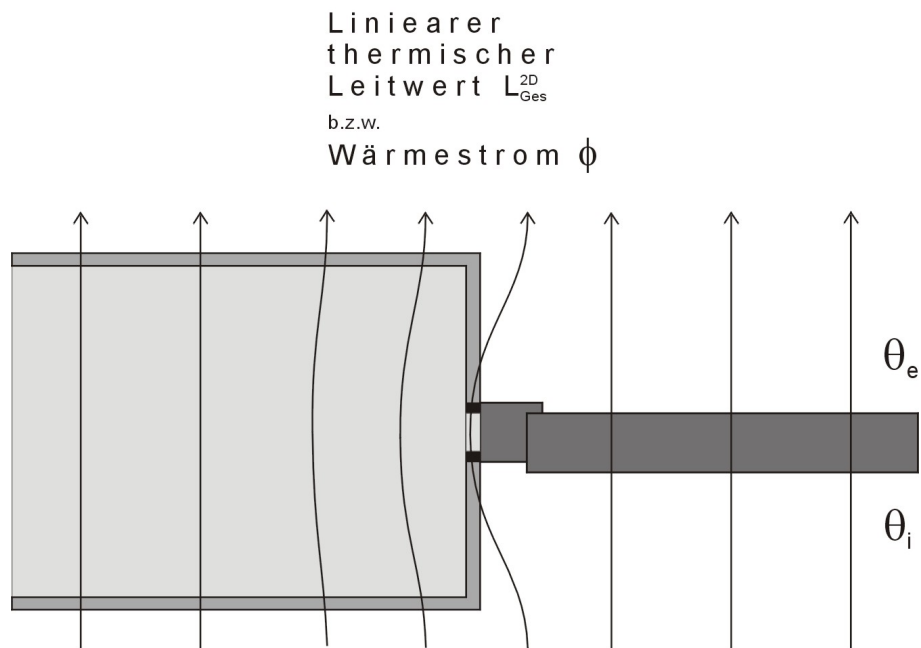


Abbildung 4.3: Erster Schritt bei der Ermittlung der Wärmebrücke Ψ im Anschlussbereich: Mithilfe einer numerischen Berechnung wird der Wärmestrom durch den Bauteilquerschnitt ermittelt und als gesamter linearer thermischer Leitwert L_{Ges}^{2D} angegeben.

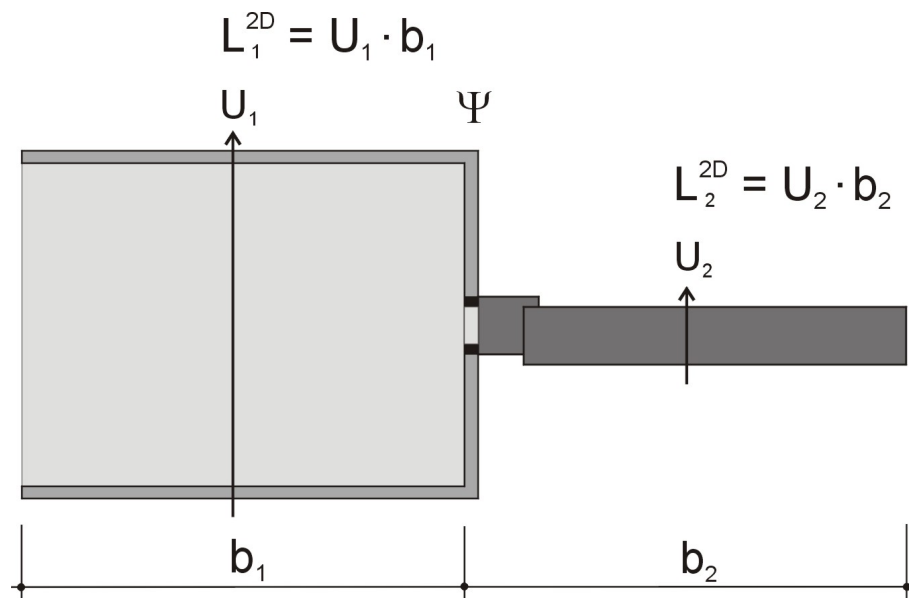


Abbildung 4.4: Zweiter Schritt bei der Ermittlung von Ψ im Anschlussbereich: Berechnung der linearen thermischen Leitwerte (L_1^{2D} und L_2^{2D}) durch die ungestörten Regelflächen.

$$\psi = L_{Ges}^{2D} - \sum_{i=1}^n U_i \cdot b_i \quad (4.3)$$

Die Werte der linearen Wärmedurchgangskoeffizienten sind abhängig davon, ob Innen- oder Außenabmessungen – zum Beispiel bei der Betrachtung der Wandflächen – zugrunde gelegt werden. In der Vergangenheit ist beides verwendet worden, wobei die Werte untereinander nicht direkt vergleichbar sind. Nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) [58] (Anhang 1, Absatz 1.3.1) wird die Verwendung von Außenmaßen nach DIN EN ISO 13789 [37], Anhang B, verlangt. Bei Öffnungen werden die lichten Rohbauöffnungen verwendet, wie in Abbildung 4.5 dargestellt.

Bei punktförmigen Wärmebrücken wird eine numerische Berechnung mit Wärmebrücke (gestörtes Bauteil) und eine andere ohne Wärmebrücke (ungestörtes Bauteil) durchgeführt. Die Differenz der thermischen Leitwerte ist der punktbezogene Wärmebrückenkoeffizient χ :

$$\chi = L_g - L_u = \frac{\Phi_g}{\Delta\theta} - \frac{\Phi_u}{\Delta\theta} = \frac{\Phi_g - \Phi_u}{\Delta\theta} \quad (4.4)$$

Mit:

- L_g thermischer Leitwert des gestörten Bauteils
- L_u thermischer Leitwert des ungestörten Bauteils
- Φ_g Wärmestrom durch das gestörte Bauteil
- Φ_u Wärmestrom durch das ungestörte Bauteil
- $\Delta\theta$ anliegende Temperaturdifferenz

4.4.2 Wärmedurchgangskoeffizient einer Tür U_D

Unter Einbeziehung aller Wärmebrückeneinflüsse einer Tür berechnet sich der Wärmedurchgangskoeffizient der Tür U_D nach folgender Gleichung:

$$U_D = \frac{\sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_k \cdot l_k + \sum \chi_j}{\sum A_i} \quad (4.5)$$

Mit:

- U_i Wärmedurchgangskoeffizient des Flächenelementes i
- A_i Fläche des Elementes i
- ψ_k linienbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke k
- l_k Länge der Wärmebrücke k
- χ_j punktbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke j

Für $\sum U_i \cdot A_i$ geht bei verglasten Türen zum einen der Bereich des Rahmens mit $\sum U_F \cdot A_F$ und zum anderen der Bereich der Verglasung mit $\sum U_G \cdot A_G$ ein. Hinzu kommen mit $\sum \psi_k \cdot l_k$ die linienförmigen Wärmebrücken für den Glasrandbereich, Aussteifungsprofile, Beschlagelemente o. Ä. Punktförmige Wärmebrücken wurden nur bei den Befestigungselementen für den Baukörperanschluss berechnet.

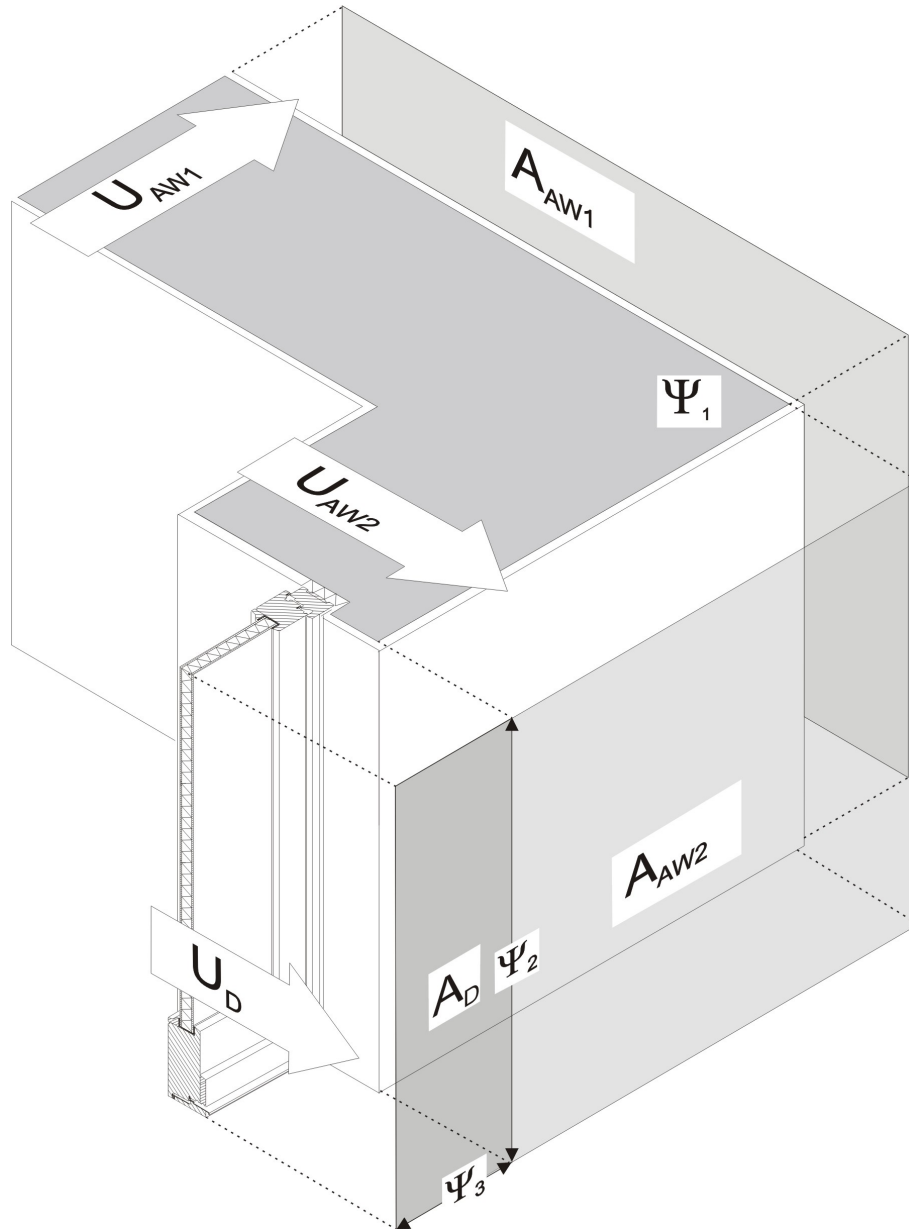


Abbildung 4.5: Veranschaulichung der energetischen Kenngrößen und des Außenmaßbezuges der Flächen: Bei der Angabe von Wand- und Türflächen werden die Rohbauaußenmaße des Baukörpers verwendet. Ist die Tür über einen Innenanschlag am Baukörper befestigt, reduziert die Verwendung von Außenmaßen rechnerisch die Türfläche.

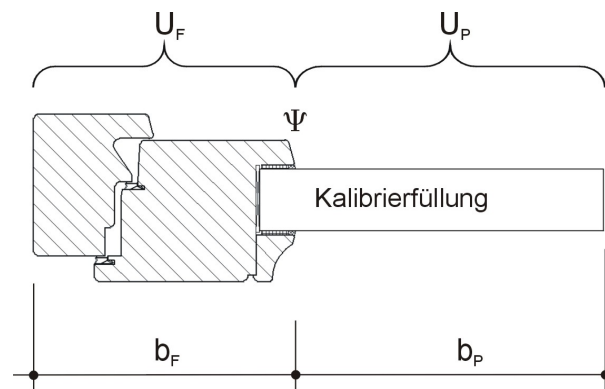


Abbildung 4.6: Schema zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmen nach E DIN EN ISO 10077-2 mit einer Kalibrierfüllung

4.4.3 Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens U_F

Wird U_F mit numerischen Methoden berechnet, so muss nach E DIN EN ISO 10077-2 [24] das Rahmenprofil durch eine Kalibrierfüllung ergänzt werden, deren Wärmeleitfähigkeit den Wert von $\lambda = 0,04 \text{ W/(m K)}$ nicht überschreiten darf. Sie ist höchstens 15 mm tief in den Rahmen eingesetzt. Die sichtbare Länge der Kalibrierfüllung beträgt $l_P = 190 \text{ mm}$, die Dicke muss der vorgesehenen Dicke der Verglasung entsprechen, siehe auch Abbildung 4.6. Der lineare thermische Leitwert L^{2D} wird numerisch berechnet nach Gleichung 2.7 auf Seite 37. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens U_F ergibt sich nach E DIN EN ISO 10077-2 [24]:

$$U_F = \frac{L^{2D} - U_P \cdot b_P}{b_F} \quad (4.6)$$

Hierbei ist:

- U_P der Wärmedurchgangskoeffizient der Kalibrierfüllung,
- b_P die sichtbare Breite der Kalibrierfüllung und
- b_F die Breite des Rahmenprofils.

Die Wärmebrücke zwischen Rahmenprofil und Kalibrierfüllung geht dabei normativ in U_P ein.

4.4.4 Wärmebrücke Glasrandbereich

Der Ψ -Wert des Glasrandbereiches beschreibt den Wärmeverlust, der sich aus der Überlagerung von Rahmen, Glasabstandhalter und Verglasung ergibt. Im informativen Anhang E von DIN EN ISO 10077-1 [23] kann die Größe des Ψ -Wertes für Aluminium- und Stahlabstandhalter in Tabelle E.1 (je nach Rahmen- und Verglasungsart) abgelesen werden. Liegen Randbedingungen vor, die nicht in dieser Tabelle aufgeführt sind, muss eine numerische Berechnung durchgeführt und der Ψ -Wert wie folgt ermittelt werden (E DIN EN ISO 10077-2 [24]):

$$\Psi = L^{2D} - U_F \cdot b_F - U_G \cdot b_G \quad (4.7)$$

Der Ψ -Wert für den Übergangsbereich Füllung-Rahmen berechnet sich auf die gleiche Weise, nur ist dann $b_G = b_P$ und $U_G = U_P$.

4.4.5 Wärmebrückeneinfluss ΔU_D auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der Tür

Die Größenordnung der zusätzlichen Wärmeverluste durch die Wärmebrücken wird auf eine festgelegte Türgröße bezogen (siehe Abschnitt 4.5.2 auf der nächsten Seite). Aus der Länge l der bei dieser Türgröße auftretenden Wärmebrücken Ψ_i kann die notwendige Korrektur des U_D -Wertes ΔU_D wie folgt berechnet werden:

$$\Delta U_D = \frac{1}{A_D} \cdot \sum_{i=a}^n \Psi_i \cdot l_i \quad (4.8)$$

Bei punktförmigen Wärmebrücken gilt:

$$\Delta U_D = \frac{1}{A_D} \cdot \sum_{i=a}^n \chi_j \quad (4.9)$$

Hierbei ist:

- A_D die gesamte Türfläche,
- Ψ_i der linienbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke i ,
- l_i die Länge des linienbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_i ,
- χ_j der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke j .

4.5 Untersuchte Außentüren

4.5.1 Auswahl der betrachteten Türkonstruktionen

Nach einer umfangreichen Sichtung der am Markt angebotenen Türkonstruktionen wurden jeweils für die unterschiedlichen Türmaterialien typische Konstruktionen ausgewählt. Es wurden jeweils zwei Varianten einer Türkonstruktion betrachtet: eine übliche und eine thermisch optimierte Konstruktion.

Die erste Türblattstärke wurde entsprechend den am Markt angebotenen Türstärken auf 68 mm festgelegt. Die Konstruktionen entsprechen typischen Haustürkonstruktionen verschiedener Hersteller.

Zur Darstellung des Optimierungspotentials, das in den Türkonstruktionen liegt, wurde eine Rahmendicke von 120 mm gewählt. Mit dieser Dicke ist ein Wert verwendet worden, der wohl auch in Zukunft nur in sehr seltenen Fällen überschritten wird, da bei dieser Dicke mit jeder

Rahmenkonstruktion sehr gute Kennwerte erreicht und auch bei Fenstern^c keine dickeren Rahmen angeboten werden. Die Rahmenkonstruktionen mit 120 mm Dicke sind als Außentüren nicht auf dem Markt erhältlich. Es wurden daher auf der Grundlage von existierenden Rahmenkonstruktionen aus dem Tür- und Fensterbereich (auch Passivhausfenster) thermisch optimierte Türsysteme modelliert. Beispielsweise wurde eine Passivhausfensterkonstruktion aus Aluminium so skaliert, dass eine Rahmendicke von 120 mm erreicht wurde; das Verhältnis von Kammerbreite zur Breite der thermischen Trennung blieb dabei konstant. Bei Holzprofilen im Sandwichaufbau wurde das Verhältnis von Dämmstoffdicke zur Dicke des Holzes bei Kanteln verschiedener Hersteller verglichen, ein typisches Verhältnis von Holz zu Dämmung gewählt und auf die Rahmendicke von 120 mm übertragen. Weiterhin wurden die zum Einsatz kommenden Dämmstoffe mit sehr niedriger Wärmeleitfähigkeit angesetzt.

Mit den Kennwerten dieser optimierten Konstruktionen ist es möglich, sich einen Eindruck von der Bandbreite der thermischen Leistungsfähigkeit sowie dem Optimierungspotential, das die einzelnen Türkonstruktionen beinhalten, zu verschaffen.

4.5.2 Maße der untersuchten Türen

Nur bei gleichen Abmessungen ist ein Vergleich zwischen den Kennwerten verschiedener Konstruktionen möglich. Die ausgewählten Türkonstruktionen wurden daher so modelliert, dass alle Türen die gleiche Rahmendicke (68 mm und 120 mm) sowie den gleichen Glaseinstand (15 mm) haben. Alle untersuchten Türen wurden auf eine Gesamtbreite des Flügel- und Blendrahmens von 15 cm skaliert, und die Türfläche (Türblatt und Türrahmen) wurde auf 1 m × 2 m festgelegt. Als Rahmenfläche ergibt sich damit $A_F = 0,845 \text{ m}^2$ und als Glas- bzw. Füllungsfläche A_G bzw. $A_P = 1,155 \text{ m}^2$; das entspricht einem Rahmenanteil von 42 %. Von dieser Fläche bzw. diesen Flächenanteilen wird bei allen Angaben, die sich auf eine bestimmte Türgröße beziehen, zum Beispiel ΔU und U_D , ausgegangen.

4.5.3 Verwendete Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

In DIN V 4108-4 [16] werden Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für eine Vielzahl von Baustoffen angegeben, darüber hinaus werden Werte für die Wärmeleitfähigkeit in den folgenden Normen genannt: DIN EN 673 [1], E DIN EN ISO 10077-2[24], DIN EN 12524 [32] und DIN EN ISO 10211-1 [25]. Die Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die den Berechnungen zugrunde liegenden Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Sind die Wärmeleitfähigkeiten der Baustoffe noch nicht genormt, wie bei dem statisch belastbaren PU-Recyclat Purenit und Steinen sehr niedriger Wärmeleitfähigkeit, werden die Quellen in der Tabelle angegeben.

Die Wärmeleitfähigkeit von Holz (Vollholz oder Massivholzplatten nach DIN EN 12775 [34]) wird in Abhängigkeit von der Rohdichte angegeben. Dabei unterscheiden sich die in den Normen festgelegten Werte, wie in Abbildung 4.7 dargestellt. Es wurden für die Berechnungen die Werte aus DIN V 4108-4 verwendet, wie in Tabelle 4.1 angegeben. Nadelholz wird in der Norm mit einer Rohdichte von $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ angenommen, dieser Wert wird von den meisten

c. Die Herstellung der Türrahmenprofile erfolgt oft an den gleichen Produktionseinrichtungen wie die der Fenster.

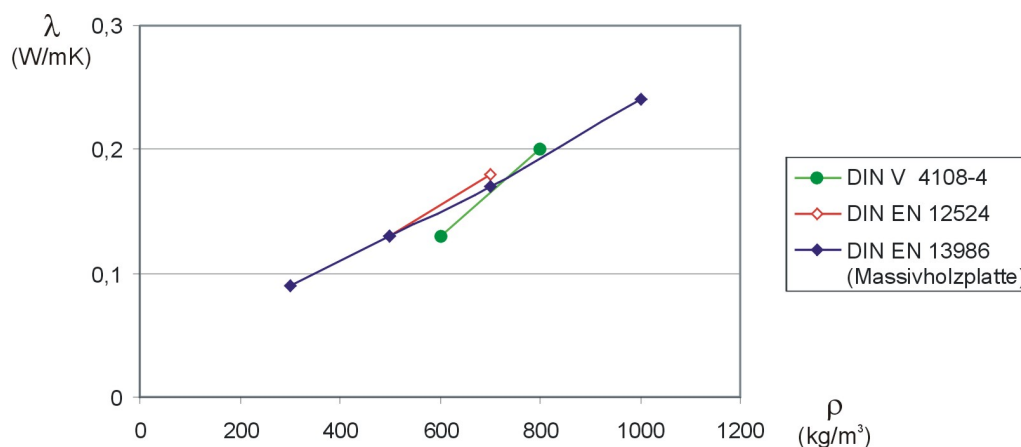


Abbildung 4.7: Wärmeleitfähigkeit von Holz: normativ geregelte Werte

Nadelhölzern jedoch deutlich unterschritten. Da die entsprechende Wärmeleitfähigkeit mit $\lambda = 0,13 \text{ W/(m K)}$ allerdings die gleiche ist, die in DIN EN 12524 für Holz der Rohdichte $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ angenommen wird, ist der Wert akzeptabel. Eine Neubestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Holz findet zur Zeit an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft statt.

Um den konvektiven Anteil der Wärmeübertragung zu berücksichtigen, wurde für eingeschlossene Luftschichten nach E DIN EN ISO 10077-2 [24] je nach Schichtdicke mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit gerechnet.

Material	λ_R in W/(m K)	Quelle
Aluminium	200	DIN V 4108-4 [16]
Argon	0,016	DIN EN 673 [1]
Außenputz (Kalkzementputz)	0,87	DIN V 4108-4
Baustahl	50	DIN V 4108-4
Butyl	0,24	E DIN EN ISO 10077-2 [24]
Edelstahl	15	DIN V 4108-4
Erdreich	2,0	DIN EN ISO 10211-1 [25]
Faserhartplatte	0,170	DIN V 4108-4 [16]
Floatglas	1,0	DIN V 4108-4
Gipsbauplatte	0,25	DIN V 4108-4
Hart-PVC	0,17	E DIN EN ISO 10077-2
Holzfaserdämmplatte	0,045	DIN V 4108-4
Holzfaserhartplatte	0,17	DIN V 4108-4
$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$		
Innenputz (Gipsputz)	0,35	DIN V 4108-4
Kalksandstein	0,99	DIN V 4108-4
Kalksandstein	0,50	DIN V 4108-4

Fortsetzung auf der nächsten Seite →

Material	λ_R in W/(m K)	Quelle
Kork	0,045	DIN V 4108-4
Krypton	0,009	DIN EN 673
Laubholz $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	0,20	DIN V 4108-4
Luftschicht (unbelüftet)	äquivalente Wärmeleitfähigkeit je nach Schichtdicke zur Berücksichtigung der Konvektion	E DIN EN ISO 10077-2
Massivholzplatte $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$	0,13	E DIN EN 13986 [39]
Mineralwolle 040	0,040	DIN V 4108-4
Monolithischer Systemstein	0,10	[60, 90]
Nadelholz $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$	0,13	DIN V 4108-4
OSB-Platte	0,13	DIN EN 12524 [32]
Polystyrol	0,040	DIN V 4108-4
Polysulfid	0,40	E DIN EN ISO 10077-2
Porenbeton-Planstein	0,21	DIN V 4108-4
Purenit	0,075	[97]
PUR-Hartschaum 025	0,025	DIN V 4108-4
PUR-Hartschaum 040	0,040	DIN V 4108-4
Silikon	0,35	E DIN EN ISO 10077-2
Spanplatte (Flachpress-) $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$	0,13	DIN V 4108-4
Spanplatte (Strangpress-) $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$	0,17	DIN V 4108-4
Sperrholz $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	0,15	DIN V 4108-4
Vormauerziegel	1,2	DIN V 4108-4
Vormauerziegel	0,96	DIN V 4108-4
XPS (Extrudierter Polystyrolschaum)	0,040	DIN V 4108-4
Zementestrich	1,4	DIN V 4108-4

← Beginn auf der vorherigen Seite

Tabelle 4.1: Verwendete Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit.

4.6 Voruntersuchung zum Berechnungsverfahren bei erdreichberührenden Bauteilen

Allgemeine Regelungen zur Wärmebrückenberechnung erdreichberührender Bauteile – und dazu gehört der Bereich der Türschwelle – liegen nur für nichtunterkellerte Gebäude vor (DIN EN ISO 13370 [35]). Daher erfolgt die Wärmebrückenberechnung ausschließlich für diesen Fall.

Zwar nennt DIN EN ISO 13370 das Vorgehen für die Berechnung erdreichberührender Bauteile

bei nichtunterkellerten Gebäuden, gibt aber nicht ausreichend Informationen über die zu verwendenden Randbedingungen (Lage der Schnittkanten, anliegende Temperaturdifferenz an der Grundplatte u. a.). Diese Randbedingungen, die Variationsmöglichkeiten und ihre Auswirkung auf das Resultat der Berechnung wurden umfassend untersucht. Die untersuchten Aspekte, die Ergebnisse und die Wahl der Randbedingungen für die Berechnungen dieser Arbeit werden im Folgenden wiedergegeben. Ziel war die Festlegung von Randbedingungen für die Berechnungen dieser Arbeit.

Für die Untersuchung wurde ein Sockelanschluss an eine Außenwand gewählt, da die Schwelensituation mit den zusätzlichen Bauteilen Tür und Türschwelle den Querschnitt komplexer macht und weitere Einflussgrößen in die Betrachtung hineinbringen würde.

4.6.1 Temperaturverteilung im Erdreich

Um die realen Verhältnisse bestmöglich zu simulieren, wird für das Erdreich normativ keine einheitliche Temperatur angesetzt, sondern es wird in einem bestimmten Abstand von der Grundplatte eine Erdreichschicht mit 10 °C modelliert. Zwischen dieser Schicht und dem Gebäude werden die Temperaturen durch die Größe der Gebäudegrundfläche und das Wärmedämmniveau der Bodenplatte bestimmt (siehe Abbildung 4.8). Auf diese Weise ist die Bodentemperatur – wie in der Realität – bei einem Gebäude mit kleiner Grundfläche und guter Bodenplattendämmung deutlich niedriger als bei einem Gebäude mit schlecht gedämmter Bodenplatte und einer großen Grundfläche.

Die Wärmeströme durch die Grundplatte und im Sockelbereich erfolgen nicht nur senkrecht durch die Bauteilfläche wie bei ungestörten Wand- oder Dachflächen, sondern auch quer in der Bodenplatte. Der Anteil der Wärmequerleitung, der dabei auftritt, wird dadurch verursacht, dass die Wärme nicht nur an das Erdreich abgegeben wird, sondern über das Erdreich auch an die Außenluft weitergeleitet wird. Dadurch kommt es im Erdreich zu einem Temperaturgefälle, siehe Abbildung 4.8. An den weiter unter dem Gebäude liegenden Bereichen der Bodenplatte stellen sich mit beispielsweise 12 °C höhere Temperaturen ein als am Rande der Bodenplatte nahe dem Streifenfundament (4 °C).

Diese gebäudeabhängige Temperaturverteilung führt bei exemplarischen Betrachtungen zu Schwierigkeiten bei der Berechnung thermischer Kennwerte, da die berechneten Werte unabhängig von konkreten Gebäudedaten vergleichbar sein sollen.

4.6.2 Wärmebrücke Sockelanschluss

Betrachtet man den Sockelanschluss bei nichtunterkellerten Gebäuden, so wird die Wärmebrücke zwischen Grundplatte und Außenwand folgendermaßen berechnet:

$$\psi = L_{Ges}^{2D} - L_{Boden}^{2D} - L_{AW}^{2D} \quad (4.10)$$

Vom gesamten linearen thermischen Leitwert wird der lineare thermische Leitwert der Bodenplatte und der Außenwand abgezogen.

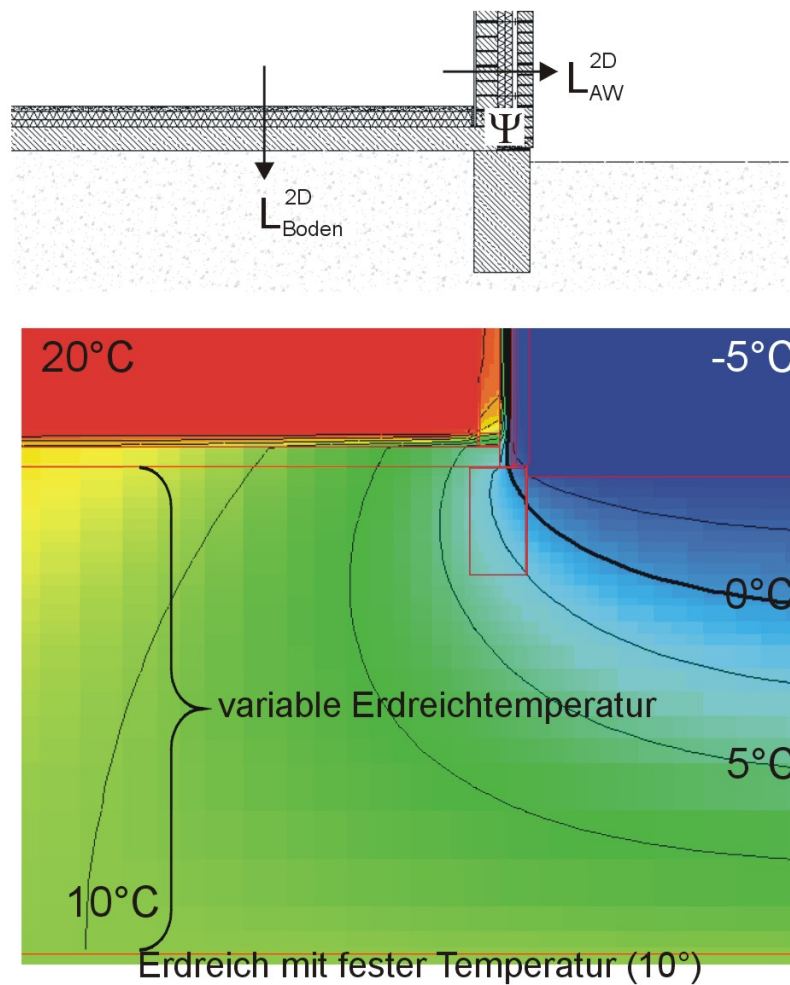


Abbildung 4.8: Temperaturgefälle an der Bodenplatte: Durch die Einwirkung der Außentemperatur auf die Bodentemperaturen kommt es unter der Grundplatte zu einem Temperaturgefälle von der Mitte des Gebäudes ($12\text{ }^{\circ}\text{C}$) hin zum Streifenfundament ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Der lineare thermische Leitwert L^{2D} kann entweder nach DIN EN ISO 13370 [35] über den auf die Temperaturdifferenz bezogenen Wärmestrom Φ oder nach DIN EN ISO 14683 [41] über das Produkt aus U-Wert und der Bauteillänge berechnet werden. Dabei ist allerdings eine Vielzahl von Variationen möglich, die die Größe des Ergebnisses erheblich beeinflussen. Normativ ungerichtet ist

1. die Ermittlung von L_{Ges}^{2D}
2. die Ermittlung von L_{Boden}^{2D}
3. die Ermittlung von L_{AW}^{2D}
4. die Wahl der Schnittebenen im Erdreich sowie
5. die Wahl der Schnittebenen innerhalb des Gebäudes und außerhalb.

Diese Variationen werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

4.6.3 Variation der Randdaten

Es bieten sich im Einzelnen die folgenden Variationen an (siehe auch die Abbildungen 4.9 und 4.10):

1. Ermittlung des gesamten linearen thermischen Leitwertes L_{Ges}^{2D} :

Der lineare thermische Leitwert L_{Ges}^{2D} berechnet sich aus der Summe der Wärmeströme durch Bodenplatte, Wand und dem Anschlussbereich am Sockel des Gebäudes und wird laut DIN EN ISO 13370 [35] auf die anliegende Temperaturdifferenz bezogen. Hier ist der Text in der Norm unklar, da die Temperaturdifferenz für die Bodenplatte an jedem Punkt unterschiedlich ist: In der Mitte des Gebäudes sind dies zum Beispiel $\Delta\theta_1 = 5 \text{ K}$, am Streifenfundament $\Delta\theta_2 = 15 \text{ K}$ und an der Außenwand $\Delta\theta_3 = 25 \text{ K}$. Da bei der Berechnung der Wärmeströme horizontal und abwärts normativ unterschiedliche Wärmeübergangswiderstände angesetzt werden müssen,^d könnte zumindest für diese beiden Bereiche getrennt ein Bezug auf die jeweils anliegende Temperaturdifferenz benutzt werden.

Die beiden Möglichkeiten der Betrachtung sind unter Fall 1a) und 1b) beschrieben.

- a) Numerische Berechnung von Φ_{Ges} (siehe Abbildung 4.9, Nr. 1), Bestimmung von $\Delta\theta$ als mittlere Temperaturdifferenz von 17,5 K $\rightarrow L_{\text{Ges}}^{2D} = \frac{\Phi_{0,17} + \Phi_{0,13}}{17,5 \text{ K}}$

Nachteil: Die Berechnung erfolgt unter der Annahme, dass der Wärmestrom sich gleichmäßig auf die Wand und den Boden aufteilt. Dies führt dazu, dass bei unterschiedlichen Schenkellängen (Boden und Wand) für dieselbe Wärmebrücke sehr unterschiedliche Werte erreicht werden können – eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichen Betrachtungsausschnitten ist also nicht gegeben.

- b) Φ_{Ges} wird anteilig auf die jeweils anliegenden Temperaturdifferenzen bezogen. Hierfür wird Φ_{Ges} aufgeteilt in $\Phi_{0,17}$ für den Wärmestrom durch die Bodenplatte (mit einem Wärmeübergangswiderstand von $R_{\text{si}} = 0,17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$) und $\Phi_{0,13}$ für den Wärmestrom durch die Wand ($R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$) $\rightarrow L_{\text{Ges}}^{2D} = \frac{\Phi_{0,17}}{10 \text{ K}} + \frac{\Phi_{0,13}}{25 \text{ K}}$
Diese Variante wurde für diese Arbeit entwickelt, da sie – unabhängig von dem betrachteten Ausschnitt – zu reproduzierbaren Ergebnissen führt (siehe Abschnitt 4.6.5).

2. Ermittlung des linearen thermischen Leitwertes der Bodenplatte L_{Boden}^{2D} :

- Ermittlung über $U \cdot b$ nach DIN EN ISO 14683^e [41].

Nachteil: Die Wärmequerleitungen in der Bodenplatte werden der Wärmebrücke Sockel zugeordnet. Ihr Anteil – und damit die Größe von L_{Boden}^{2D} – hängt dabei von der Schenkellänge Bodenplatte ab (siehe Abbildung 4.9, Nr. 2 a+b), die normativ nicht festgelegt ist.

Weiterhin kann der U-Wert des Bodens inklusive der Erdreichschicht mit variabler Temperatur oder ohne das Erdreich ermittelt werden.

d. abwärts: $R_{\text{si}} = 0,17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ und horizontal $R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ nach DIN EN ISO 6946 [21]

e. In dieser Norm wird anstelle von b mit l gearbeitet. Zur Unterscheidung der Länge l der linienförmigen Wärmebrücke wird hier b verwendet.

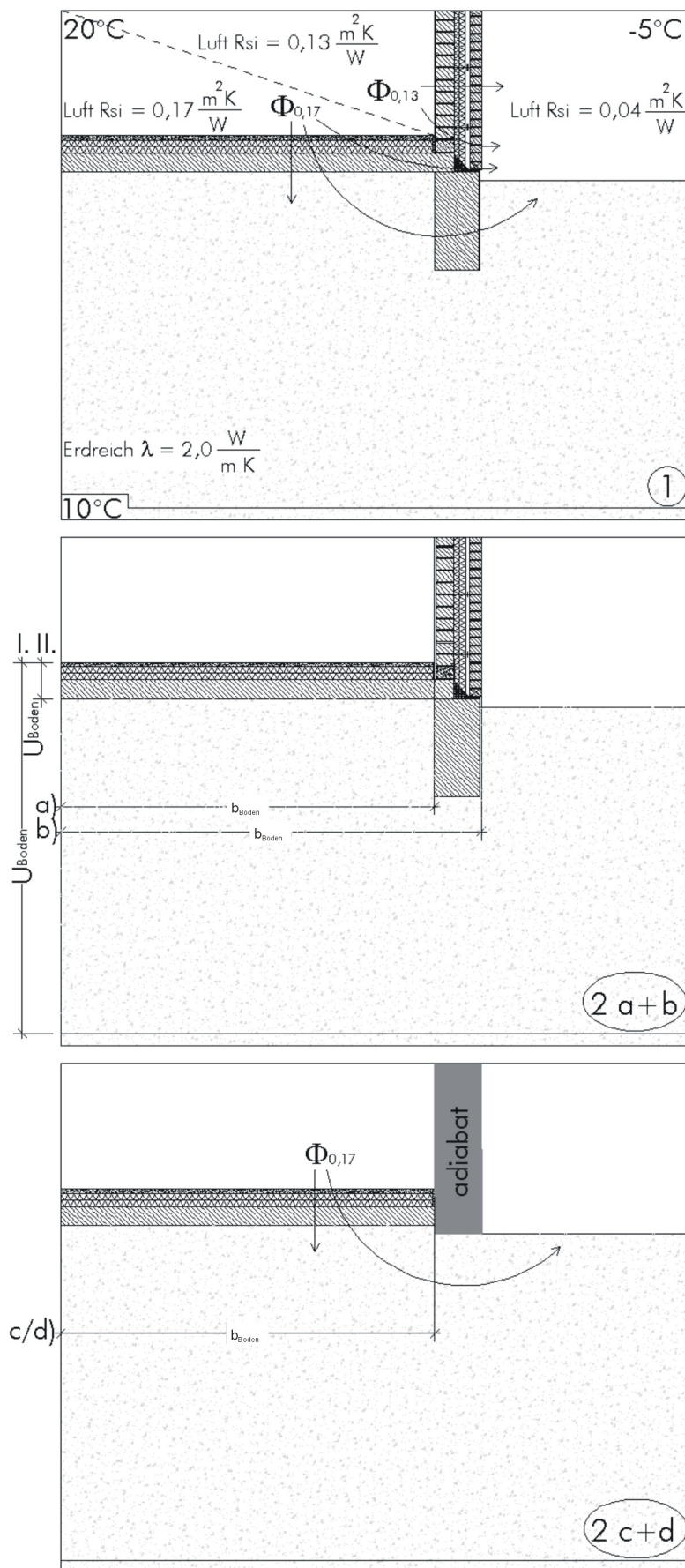


Abbildung 4.9: Normativ unregelte Randbedingungen bei der Berechnung erdreichberührender Bauteile: Varianten für Nr. 1 und 2

- a) b_{Boden} mit Innenmaßen
 - I. U_{Boden} inklusive der Erdreichschichten darunter (4,2 m)
 - II. U_{Boden} nur U-Wert Bodenplatte
- b) b_{Boden} mit Außenmaßen
 - I. U_{Boden} inklusive der Erdreichschichten darunter (4,2 m)
 - II. U_{Boden} nur U-Wert Bodenplatte

- Ermittlung nach DIN EN ISO 13370, Anhang A, mit adiabater Begrenzung in Außenwandbreite: $\frac{\Phi_{0,17}}{10K}$. Die Querleitungen der Bodenplatte werden nicht der Wärmebrücke Sockel zugeordnet (siehe Abbildung 4.9 Nr. 2 c+d). Die Größe der Wärmebrücke ist damit unabhängig von der Gebäudegröße bzw. dem betrachteten Ausschnitt.

- c) b_{Boden} mit Innenmaßen
- d) b_{Boden} mit Außenmaßen

In beiden Fällen wird die adiabate Fläche in Wanddicke ausgebildet.

3. Ermittlung des linearen thermischen Leitwertes der Außenwand L_{AW}^{2D} :

Da keine Querleitungen wie bei der Sockelplatte vorliegen, erfolgt die Ermittlung über $U \cdot b$ nach DIN EN ISO 14683 (siehe Abbildung 4.10, Nr. 3). Variiert werden kann nur die Höhe der Wand b_{AW} :

- a) Verwendung von Außenmaßen wie bei Gebäudeecken u. Ä.: b_{AW} geht bis Unterkante Bodenplatte
- b) nach DIN EN ISO 13370, Schema in Anhang A: b geht bis zur Oberfläche Erdgeschossboden.

Hier ist ein Widerspruch in den Regelwerken.

4. Wahl der Schnittebene im Erdreich:

Die Dicke des Erdreiches zwischen der Bodenplatte und der Erdreichschicht mit fester Temperatur muss entweder gebäudespezifisch gewählt oder auf 10 m festgelegt werden (siehe Abbildung 4.10, Nr. 4). Bei dem gebäudespezifischen Maß ist eine Vergleichbarkeit von Wärmebrücken unmöglich, und die 10 m Bodendicke führen zu einer unrealistisch tiefen Frostgrenze im Erdreich. Hier fehlt eine realistische Festlegung unabhängig von der Gebäudegröße.

- a) Nach DIN EN ISO 10211-2 [26] bestehen zwei Möglichkeiten: Sind die Gebäude Maße bekannt, so ist die 2,5fache Gebäudebreite anzunehmen. Wird eine nicht-gebäudespezifische Berechnung durchgeführt, so sind 10 m zu verwenden. Bei 10 m Dicke läge die Frostgrenze in einer unrealistischen Tiefe von 3,4 m (mit -5°C Außenluft, 10°C Erdreich nach DIN 4108-2 [14]).
- b) Die DIN EN ISO 13370 geht von gebäudespezifischen Werten aus: 2,5fache Gebäudebreite.

5. Wahl der Schnittebenen innerhalb des Gebäudes und außerhalb

Für die Wahl der Schnittebenen bei der Modellbildung kommen die folgenden Möglichkeiten in Frage (siehe auch Abbildung 4.10, Nr. 5):

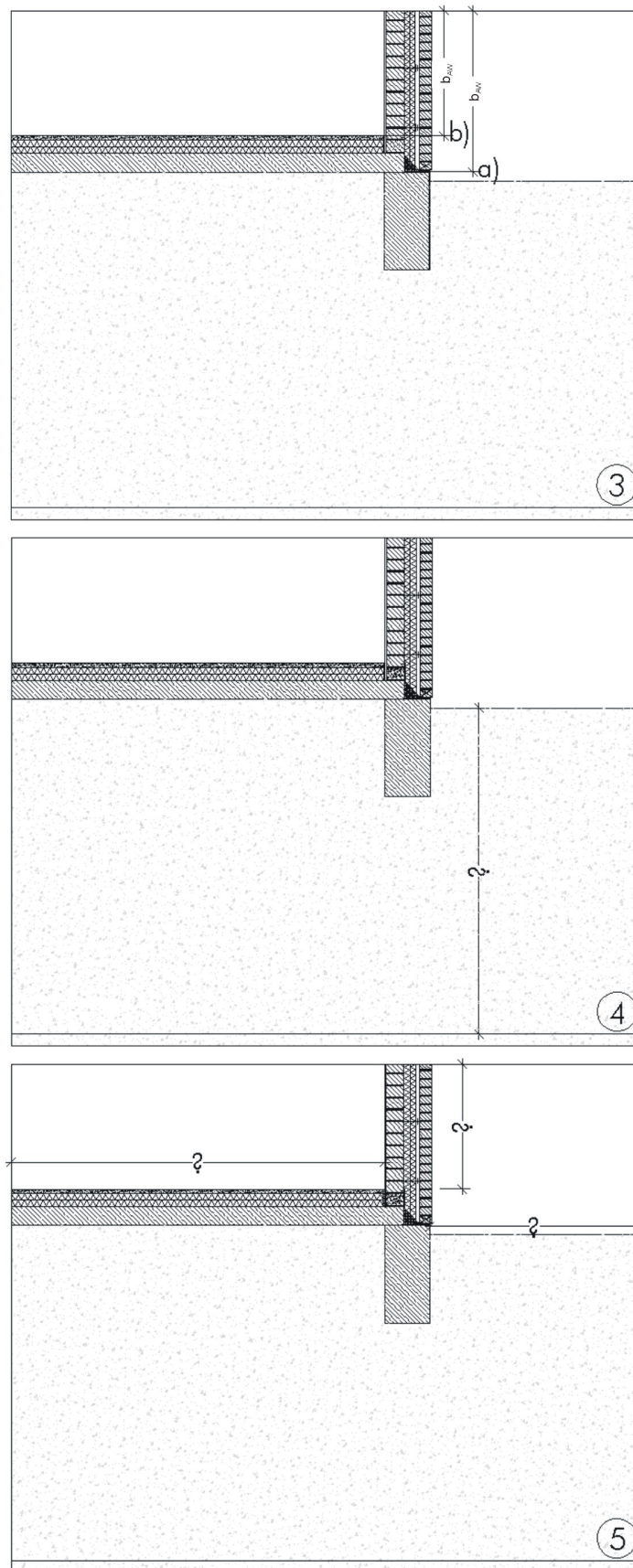


Abbildung 4.10: Normativ unregelte Randbedingungen bei der Berechnung erdreichberührender Bauteile: Varianten für Nr. 3 bis 5

- a) Nach DIN EN ISO 10211-2 bestehen wieder zwei Möglichkeiten: Sind die Gebäudemaße bekannt, so ist für die Länge der Bodenplatte die 0,5fache, für das Erdreich außerhalb des Gebäudes die 2,5fache Gebäudebreite zu wählen. Wird eine nicht-gebäudespezifische Berechnung durchgeführt, so sind 4 m Bodenplatte und 10 m Erdreich außerhalb des Gebäudes anzunehmen.
- b) Die DIN EN ISO 13370 geht von gebäudespezifischen Werten aus: bei der Bodenplatte die 0,5fache und bei der Breite des Erdreiches außerhalb die 2,5fache Gebäudebreite.

Sollte bei der Berechnung von L_{Ges}^{2D} mit der mittleren Temperaturdifferenz von 17,5 K gerechnet werden (Fall 1 a), so muss die verwendete Schenkellänge allgemeingültig festgelegt werden, da andernfalls der Wert der Wärmebrücke durch die Schenkellängen Wand und Boden beeinflusst wird.

Gleiches gilt für den Fall, dass die Querleitungen der Bodenplatte der Wärmebrücke ‚Sockel‘ zugeordnet werden (Fall 2 a) oder b): auch dann müsste die Schenkellänge Boden einheitlich festgelegt werden, da andernfalls der Wert der Wärmebrücke durch die Schenkellänge beeinflusst wird.

4.6.4 Einfluss des Bedingungsgefüges

Die Größe der Wärmebrückenkoeffizienten Ψ des Sockelbereiches verändert sich in Abhängigkeit von den gewählten Randbedingungen. Um die Schwankungsbreite der Ψ -Werte abschätzen zu können, sind 12 Sockelanschlüsse berechnet worden.^f Die Varianten bei den Randdaten sind zu 14 plausiblen Bedingungsgefügen a bis n kombiniert worden (siehe die Tabelle in Abbildung 4.11). Die Ψ -Werte der berechneten Sockelanschlüsse sind in Abbildung 4.11 dargestellt. Zu erkennen ist, wie deutlich die Größe der Wärmebrückenkoeffizienten von der Wahl der Bedingungsgefüge abhängt. Mit dem Bedingungsgefüge k werden die höchsten Werte erreicht, zum Beispiel $\Psi = 0,49 \text{ W}/(\text{m K})$, das Bedingungsgefüge h führt beim gleichen Anschluss zu einem Wert von $\Psi = -0,20 \text{ W}/(\text{m K})$.

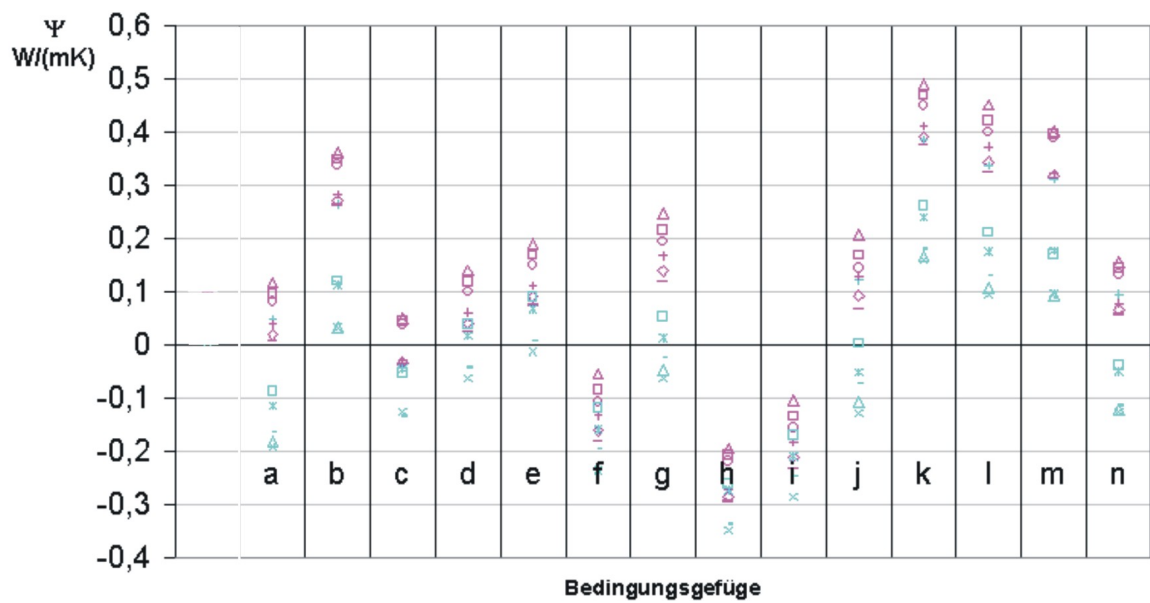
Für die Erdreichdicke und die Schnittebenen bei der Modellbildung (Nr. 4 und 5) wurden durchgängig die in Abbildung 4.12 dargestellten Maße verwendet. Sie sind zum Teil an Maße angelehnt, die für den Wärmebrückenkatalog [78] verwendet werden.

4.6.5 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Es wurde an mehreren Sockelanschlüssen untersucht, ob die Ψ -Werte mit den jeweiligen Bedingungsgefügen reproduzierbar sind, wenn der Betrachtungsausschnitt geändert wird. Für den Vergleich von

- 4 m Bodenplatte und 1 m Wand
- 2 m Bodenplatte und 1 m Wand

f. Diese Sockelanschlüsse sind aus dem Massivbau mit einem Wärmedämmverbundsystem. Variiert wurde bei den Berechnungen die Wanddicke $d = 200 \dots 250 \dots 300 \text{ mm}$ und die Wärmeleitfähigkeit des Kimmsteins $\lambda = 0,33 \dots 0,99 \text{ W}/(\text{m K})$.



	Variante	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
L2D-Gesamt	1.a	x					x	x	x	x	x				x
	1.b		x	x	x	x						x	x	x	
L2D-Boden	2.l.b	x	x								x		x		
	2.l.a							x				x		x	x
	2.d			x	x				x	x					
	2.c					x	x								
L2D-Wand	3.a	x	x	x					x					x	x
	3.b				x	x	x	x		x	x	x	x		

Abbildung 4.11: Größenordnung der Wärmebrückenkoeffizienten von Sockelanschlüssen. Deutlich wird die große Abhängigkeit der Ergebnisse von der Wahl der Randbedingungsgefüge. Die Varianten 1a, 1b usw. sind in Abschnitt 4.6.3 beschrieben.

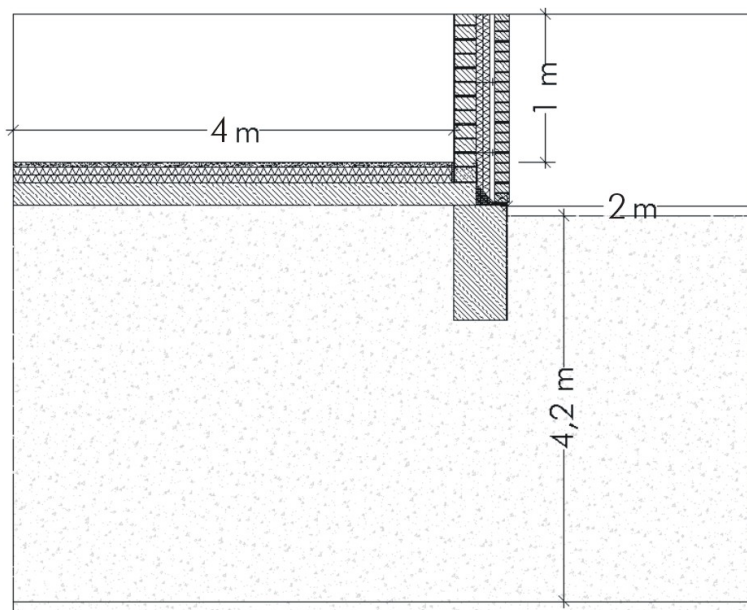


Abbildung 4.12: Abmessungen bei der Modellbildung (zum Teil in Anlehnung an [78]).

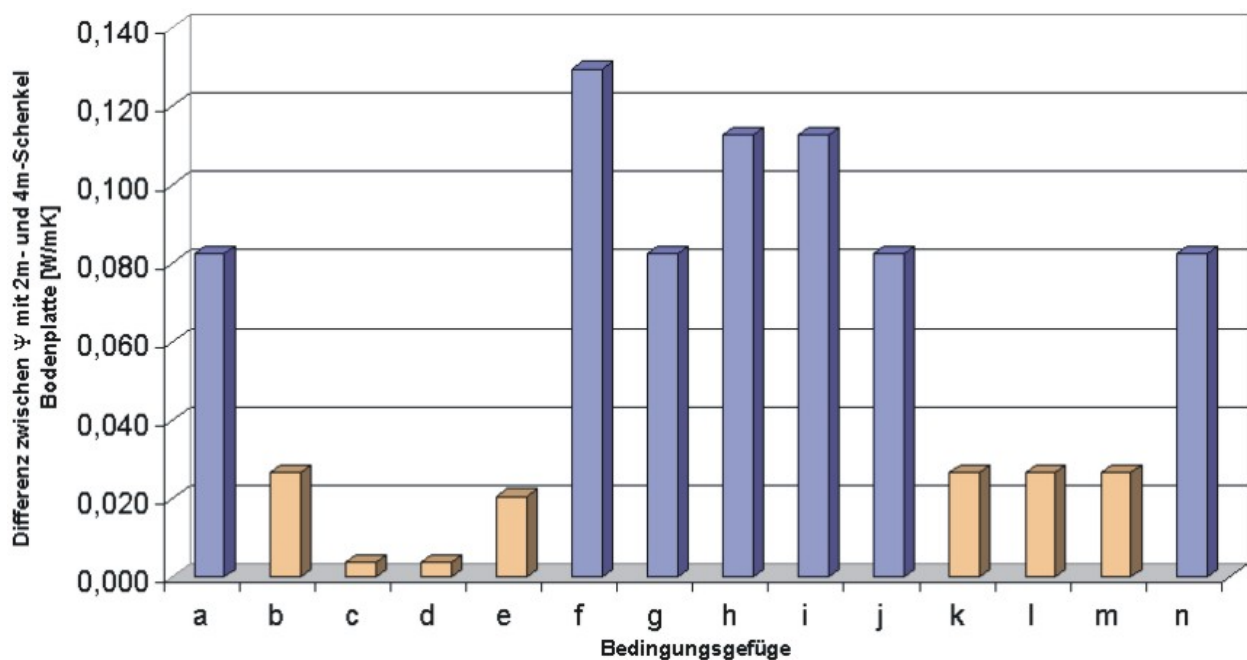


Abbildung 4.13: Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichem Betrachtungsausschnitt. Angegeben ist die Differenz zwischen den Ψ -Werten bei 2 m und 4 m Schenkellänge Bodenplatte. Die roten Säulen markieren die Bedingungsgefüge, bei denen der gesamte lineare thermische Leitwert nach der für diese Arbeit entwickelten Variante 1b) berechnet wurde, bei den blauen Säulen wurde mit 1a) gerechnet. Deutlich zu erkennen ist, dass mit Variante 1b) eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichem Betrachtungsausschnitt sehr viel besser gegeben ist.

bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen ist das Ergebnis in Abbildung 4.13 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass besonders bei den Bedingungsgefügen, die L_{Ges}^{2D} nach der Variante Nr. 1 a) berechnen (blaue Säulen), große Differenzen zwischen den Ergebnissen auftreten, während bei der Berechnung nach Variante Nr. 1 b) (rote Säulen) sehr viel geringere Differenzen vorliegen. Dies zeigt, dass man bei Variante 1 a) durch die Wahl des betrachteten Ausschnittes den Ψ -Wert beeinflussen kann. Zur Vergleichbarkeit unterschiedlicher Sockel- oder Schwellensituationen trägt dies nicht bei. Nur sehr geringfügige Unterschiede zwischen den errechneten Ψ -Werten – und damit die zuverlässigsten Ergebnisse – erreichen die Bedingungsgefüge c und d, bei denen die für diese Arbeit entwickelte Variante Nr. 1 b) und zusätzlich 2 d) verwendet wird.

4.6.6 Ausgewähltes Bedingungsgefüge

Aus den beschriebenen Untersuchungen ergibt sich die Notwendigkeit, bei der Angabe von Ψ -Werten im Sockelbereich genau anzuführen, mit welchen Randbedingungen gerechnet wurde. Für diese Arbeit wurden die Berechnungen mit dem Bedingungsgefüge d durchgeführt, da die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bestmöglich gewährleistet ist und da – im Gegensatz zu Bedingungsgefüge c – die Festlegung der Höhe der Wand (bzw. Tür) nach normativen Vorgaben erfolgt.

Das Bedingungsgefüge d beinhaltet:

- Für L_{Ges}^{2D} wird der Wärmestrom Φ_{Ges} anteilig auf die an den Bauteilflächen jeweils anliegenden Temperaturdifferenzen bezogen (Fall Nr. 1 b)).
- L_{Boden}^{2D} wird nach Anhang A von DIN EN ISO 13370 [35] ermittelt. So werden die Querleitungen der Bodenplatte nicht der Wärmebrücke Sockel zugeordnet. Bei der Bodenplatte werden Außenmaße verwendet (Fall Nr. 2 d)).
- L_{AW}^{2D} wurde ermittelt nach DIN EN ISO 13789 [37], Absatz 4.2: Die Höhe der Wand b_{AW} wird gemessen bis zur Oberkante der Innenoberfläche des Erdgeschossbodens (Fall Nr. 3 b)).
- Für die Schnittebenen bei der Modellbildung (Nr. 4 und 5) wurden durchgängig die in Abbildung 4.12 auf Seite 76 dargestellten Maße verwendet.

Kapitel 5

Thermische Leistungsfähigkeit von Türblatt und Türrahmen

In diesem Kapitel werden zu untersuchende Außentürkonstruktionen sowie Aussteifungsmaßnahmen vorgestellt und ihre thermischen Kennwerte berechnet und ausgewiesen.

Im Aufbau werden die Türblätter unterschieden in Rahmentüren und Sperrtüren. Die Marktanteile der verschiedenen Türmaterialien werden in Abbildung 5.1 dargestellt. Eine ökologische Bewertung von Rahmenmaterialien am Beispiel von Fenstern wird in [50] vorgenommen.

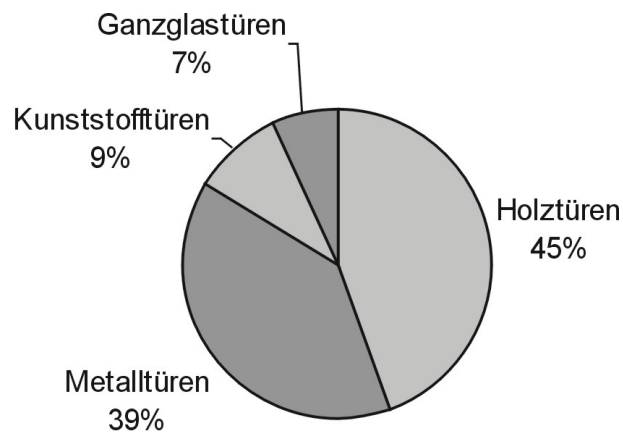


Abbildung 5.1: Marktanteile von Außentüren (1999): Differenzierung nach dem Rahmenmaterial [118]

5.1 Rahmentüren

Diese Türsysteme werden allgemein nach ihren Materialien in Holz-, Metall- und Kunststoffrahmentüren unterschieden. Es werden auch Materialkombinationen, wie beispielsweise Holz-Aluminium-Systeme und Sandwichkonstruktionen bei Holzrahmen, angeboten.

Für Rahmentüren werden häufig Profile verwendet, die auf Profilen aus dem Fensterbau basieren. Bei Fenstern ist die Entwicklung neuer Rahmenkonstruktionen bereits weiter fortgeschrit-

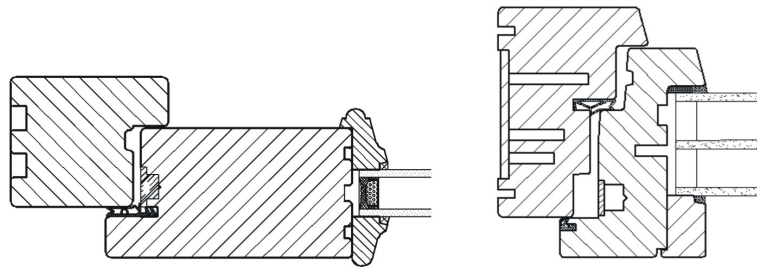


Abbildung 5.2: Vollholzrahmen: links von [89], rechts eine Rahmenkonstruktion mit eingeschlossenen Luftkammern für Fenster oder Fenstertüren von [110].

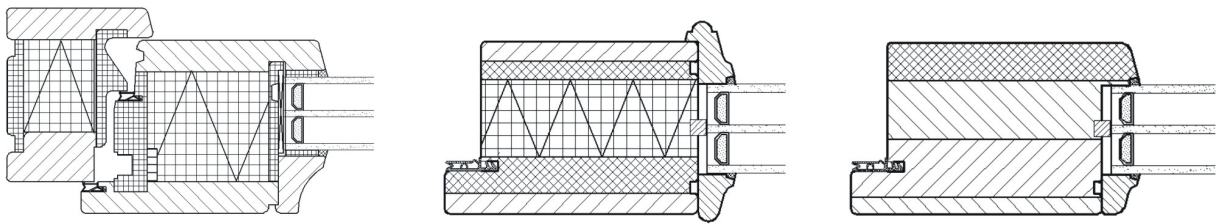


Abbildung 5.3: Holzrahmen mit Sandwichaufbau (links [59], Mitte [97]) und rechts mit Außendämmung [74]

ten als im Außentürbereich, daher werden in dieser Arbeit auch Rahmensysteme, die bisher nur für Fenster und Fenstertüren angeboten werden, betrachtet.

5.1.1 Holzrahmentüren

Bei Holzrahmentüren handelt es sich um einfache monolithische Konstruktionen, oft aus handwerklicher Fertigung. Anstelle von Vollholzkanteln werden meist lamellierte Kanteln verwendet, wobei die Leimfugen nicht der direkten Witterung ausgesetzt sein dürfen. Zur Herstellung und Konstruktion von Holztüren siehe beispielsweise [53, 94, 92].

Wird Vollholz als Rahmenmaterial verwendet, so ist eine Verbesserung des U_F -Wertes über eine Erhöhung der Rahmendicke oder über eingeschlossene Luftkammern möglich. Letztere werden als Fensterrahmen von [110] angeboten (siehe Abbildung 5.2).

Um günstigere U_F -Werte zu erreichen, werden auch Kanteln aus Materialkombinationen hergestellt, zum Beispiel Holz mit PUR-Schaum, Purenit^a, Kork o. Ä.

Bisher ist [59] der einzige Anbieter einer Haustür aus Sandwichprofilen. Sandwich-Rahmenkanteln mit Korkdämmung werden für den Fensterbereich von [121] hergestellt. Von [74] wird eine Rahmenkantel angeboten, die an der Außenseite eine PUR-Dämmschicht besitzt (siehe Abbildung 5.3).

Eine Kombination von Aluminium und Holz erfolgt, um die Außenoberfläche des Rahmens

a. PUR-Recyclat von [97]: Dieser Werkstoff ist mechanisch hochbelastbar und unempfindlich gegen Feuchtigkeit, Chemikalien und Temperaturschwankungen. In Kombination mit PUR-Schaum und Holz wird er als vorgefertigte Sandwich-Kantel für Fenster und Haustüren angeboten.

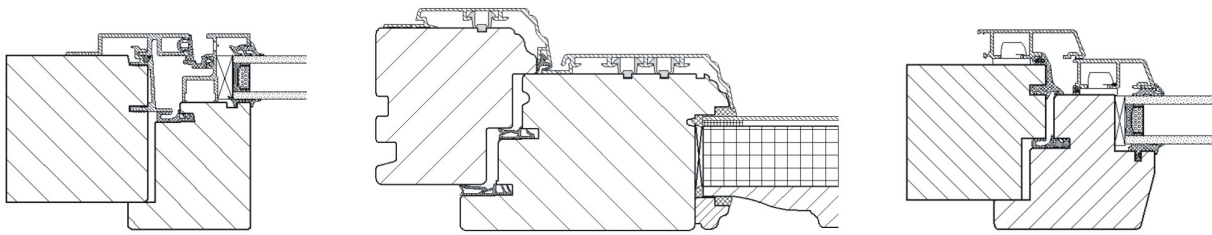


Abbildung 5.4: Holzrahmen mit Aluminium als Wetterschutz: links ein Fensterrahmen von [44], Mitte Haustür von [111] und rechts ein weiterer Rahmen aus dem Fensterbereich von [54]

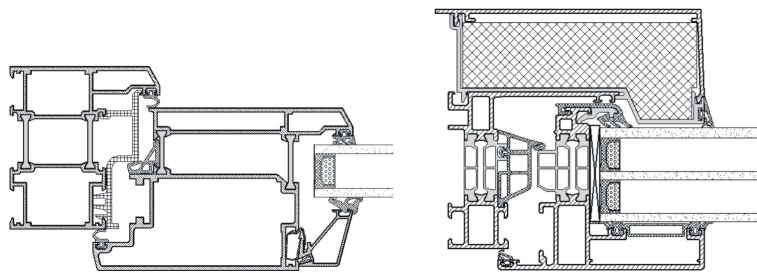


Abbildung 5.5: Links eine Aluminium-Haustür von [120] und rechts eine Rahmenkonstruktion aus dem Fensterbau von [122]

vor Witterungseinflüssen zu schützen. Da ein Nachstreichen nicht erforderlich ist, kann der Wartungsaufwand mit dieser Maßnahme minimiert werden. Bei den Holz-Aluminium-Rahmen gibt es zum einen die Möglichkeit, die Verglasung bzw. die Füllung in die Ebene des Aluminiums einzubauen, wie dies im Fensterbereich beispielsweise [44] anbietet (Abbildung 5.4 links), oder zum anderen die Füllung/Verglasung in der Ebene des Holzes anzuordnen. Letzteres ist häufiger zu finden und wird zum Beispiel von [111] auch als Haustür angeboten (siehe Abbildung 5.4 Mitte).

5.1.2 Aluminiumrahmentüren

Da Aluminium als Werkstoff eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt, enthalten die heutigen Außentüren aus Aluminium eine thermische Trennung – meist in Form von Kunststoffstegen. Die thermische Leistungsfähigkeit des Rahmens wird wesentlich durch die Dicke dieser thermischen Trennung bestimmt. Im Fensterbau gibt es von [122] ein Rahmensystem, das mit zwei thermischen Trennungen arbeitet, von denen eine mit PUR-Schaum ausgefüllt ist (Abbildung 5.5 rechts).

5.1.3 Stahlrahmentüren

Stahlrahmentüren werden überwiegend im Objektbau eingesetzt. Die Wärmeleitfähigkeit von Stahl ist zwar deutlich geringer als die von Aluminium, trotzdem hängt auch hier der U_F -Wert fast ausschließlich von der Breite der thermischen Trennung ab. Diese kann entweder – wie bei den Aluminium-Türen – aus Kunststoffstegen oder aber aus einem massiven Wärmedämmblock (PUR-Schaum) bestehen (siehe Abbildung 5.6).

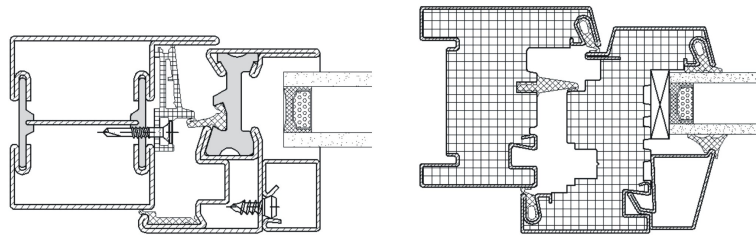


Abbildung 5.6: Stahlrahmen: links mit Kunststoffstegen als thermische Trennung [102] und rechts mit Wärmedämmblock [80]

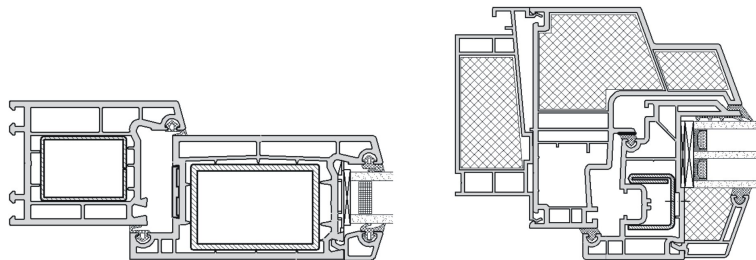


Abbildung 5.7: Kunststoffrahmen: links eine Außentür von [117] und rechts ein thermisch optimierter Fensterrahmen von [84]

5.1.4 Kunststoffrahmentüren

Kunststoffrahmentüren bestehen aus Kunststoffprofilen, die mit Stahlprofilen ausgesteift sind (Abbildung 5.7), da der Kunststoff allein die auftretenden Kräfte nicht aufnehmen kann. Die hohe Wärmeleitfähigkeit des Stahls mindert – ohne weitere Maßnahmen – die thermische Leistungsfähigkeit. Zur Kompensation werden häufig zusätzliche Kunststoffkammern angeordnet. Diese Profile werden nach der Anzahl der Kunststoffkammern, die zwischen den Metallprofilen und der Türaußen- bzw. Türinnenseite liegen, benannt: beispielsweise 2-Kammer- oder 3-Kammer-Profile wie in Abbildung 5.7 links. Im Bereich der Kunststoffrahmenprofile hat es eine Reihe von interessanten Entwicklungen – allerdings bisher lediglich im Fensterbau – hin zu thermisch günstigeren Profilen gegeben. Dabei wird nicht nur die Anzahl der Kammern erhöht, sondern außenliegende Kammern verbreitert und mit Dämmstoff ausgefüllt, beispielsweise bei [100] oder [84] (siehe Abbildung 5.7 rechts).

5.1.5 Verglasung

Bei verglasten Türen wird der Einfluss des Glasrandbereiches auf die Wärmeverluste mit dem linienförmigen Wärmebrückenkoeffizienten Ψ beschrieben. Bei Fenstern werden den Transmissionswärmeverlusten noch die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung gegenübergestellt. Da Außentüren jedoch überwiegend auf der Nordseite der Gebäude untergebracht und oft verschattet sind, sind die möglichen solaren Wärmegewinne in der Regel gering und werden in dieser Arbeit daher nicht betrachtet.

5.1.6 Betrachtete Konstruktionen

Es wurden die unten aufgeführten Rahmentüren (Kürzel: RT) mit der Dicke 68 mm und 120 mm betrachtet. Zur einfachen Benennung werden Kürzel verwendet, beispielsweise RT-9-120. Dies ist die Kunststoffrahmentür (9) in der Dicke 120 mm. Eine Angabe wie RT-X-120 bezieht sich auf alle 120 mm dicken Rahmentüren, RT-9 steht für den 68 mm sowie den 120 mm Kunststoffrahmen.

- **RT-1:** Vollholzrahmen aus Nadelholz (nach DIN V 4108-4 [16]: Rohdichte 600 kg/m^3)
- **RT-2:** Vollholzrahmen mit Luftkammern
- **RT-3:** Holzrahmen mit außenliegender Dämmung
- **RT-4:** Holz-Sandwichkante
- **RT-5:** Holz-Aluminium-Kante, Verglasung bzw. Füllung im Holz liegend
- **RT-6:** Holz-Aluminium-Kante, Verglasung bzw. Füllung im Aluminium liegend^b
- **RT-7:** Aluminiumprofil mit thermischer Trennung aus Kunststoffstegen (bei RT-7-120 aus Kunststoff und Wärmedämmschicht)
- **RT-8:** Stahlprofil mit thermischer Trennung aus Kunststoff (bei RT-8-120 mit Wärmedämmblock)
- **RT-9:** Kunststoffprofil mit metallischer Aussteifung (bei RT-9-120 zusätzlich mit Wärmedämmschicht)

Für diese Türrahmenkonstruktionen werden zunächst die U_F -Werte angegeben. Es werden außerdem U_D -Werte bei festgelegten Verglasungen angegeben. Für die 68 mm Rahmentür wird eine 2-Scheiben-Isolierverglasung und für die 120 mm Rahmentür eine thermisch leistungsfähigere 3-Scheiben-Isolierverglasung gewählt. Die gewählten Verglasungen sind folgendermaßen aufgebaut (siehe Abbildung 5.8):

- Verglasung bei RT-X-68: 2-Scheiben-Isolierverglasung: Gesamtdicke 24 mm, außen- und raumseitig 4 mm Floatglas, im Glaszwischenraum Argonfüllung und raumseitig 4 mm Floatglas mit einer Emissivität von $e = 0,05$, Glasabstandhalter aus Aluminium ($\Psi = 0,061 \text{ W/(m K)}$), $U_G = 1,13 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, f-Wert in der Fläche 0,73
- Verglasung bei RT-X-120: 3-Scheiben-Isolierverglasung: Gesamtdicke 36 mm, außen- und raumseitig je 4 mm Floatglas mit einer Emissivität von $e = 0,05$, im Glaszwischenraum ($2 \cdot 16 \text{ mm}$) Kryptonfüllung und in der Mitte 4 mm Floatglas, Glasabstandhalter aus Aluminium ($\Psi = 0,058 \text{ W/(m K)}$), $U_G = 0,56 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, f-Wert in der Fläche 0,85

Auch bei den Füllungen wurden je nach Rahmendicke unterschiedliche Sandwichfüllungen bei der Berechnung des U_D -wertes zugrunde gelegt, siehe Abbildung 5.9. Bei den 68 mm dicken

b. Da diese Konstruktion thermisch sehr ungünstig ist, wurde sie bei der Betrachtung des 120 mm Profils nicht berücksichtigt. Eine thermische Optimierung dieser Konstruktion würde wie RT-5-120 ausgeführt sein.

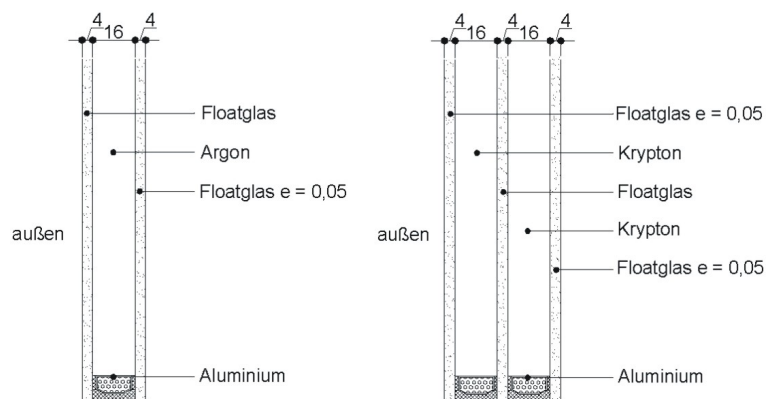


Abbildung 5.8: Verwendete Verglasungen zur Berechnung der thermischen Kennwerte von Rahmentüren

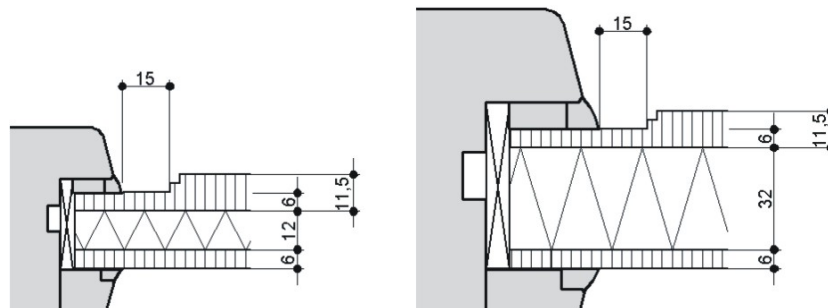


Abbildung 5.9: Verwendete Füllungen zur Berechnung der thermischen Kennwerte von Rahmentüren

Rahmentüren wurde mit $U_P = 1,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ gerechnet bei einem f-Wert in der Fläche von 0,62. Bei 120 mm Rahmentüren beträgt der Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung $U_P = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, bei einem f-Wert in der Fläche von 0,85.

5.1.7 Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse

Die thermischen Kennwerte der betrachteten Rahmentüren können den Tabellen 5.1 und 5.2 entnommen werden. Die in der zweiten und dritten Spalte angegebenen flächengemittelten U_D -Werte enthalten noch nicht die Einflüsse von eventuellen Aussteifungsmaßnahmen, Beschlag u. Ä. Diese sind nach Gleichung 4.5 auf Seite 62 zu berücksichtigen. Die Wärmebrückenkoeffizienten für die Aussteifungsmaßnahmen werden in Abschnitt 5.4 und für Beschlag in Kapitel 6 ermittelt.

Die Holzrahmen RT-1 bis -6 sind bei der Berechnung als Holz nach DIN V 4108-4 [16] (Rohdichte $\rho = 600 \text{ kg}/\text{m}^3$) angesetzt worden, siehe Abschnitt 4.5.3 auf Seite 67. Wenn Holz mit anderer Rohdichte, z. B. $\rho = 800 \text{ kg}/\text{m}^3$, verwendet wird, muss nach DIN V 4108-4 eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit angesetzt werden, und die U-Werte liegen in der Folge um 35-40 % höher: beispielsweise 2,0 statt 1,5 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ oder 1,35 statt 1,0 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Die reine Vollholzkante kann – ohne zum Verbundwerkstoff zu werden – durch schmale Luft-

Rahmentüren (68 mm)

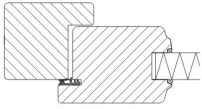
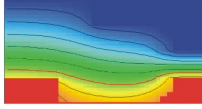
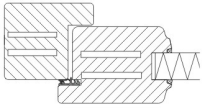
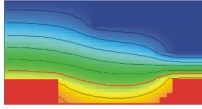
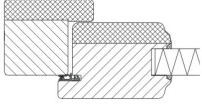
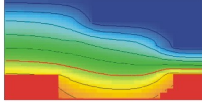
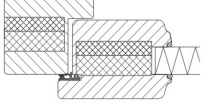
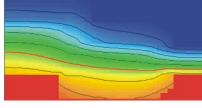
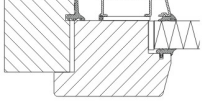
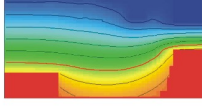
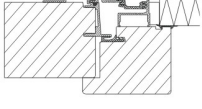
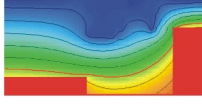
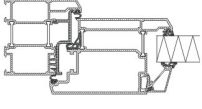
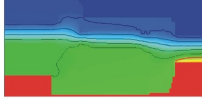
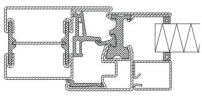
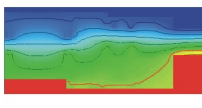
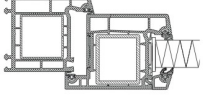
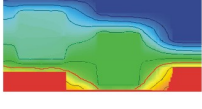
			Türdicke 68 mm					
			U_F (W/(m ² K))	$U_{D,G}$ (W/(m ² K))	$U_{D,P}$ (W/(m ² K))	f_F	f_G	f_P
RT-1-68			1,52	1,44	1,65	0,66	0,55	0,69
RT-2-68			1,36	1,37	1,58	0,68	0,55	0,71
RT-3-68			1,12	1,27	1,48	0,74	0,59	0,73
RT-4-68			1,16	1,28	1,50	0,72	0,56	0,72
RT-5-68			1,48	1,42	1,64	0,68	0,52	0,71
RT-6-68			2,10	1,68	1,90	0,47	0,42	0,65
RT-7-68			3,12	2,16	2,34	0,49	0,51	0,51
RT-8-68			2,61	1,94	2,12	0,53	0,53	0,60
RT-9-68			1,96	1,62	1,84	0,57	0,54	0,72

Tabelle 5.1: Thermische Kennwerte für Rahmentüren (Dicke 68 mm): In der ersten Spalte sind die Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_F angegeben, rechts daneben der flächengemittelte U_D -Wert mit Verglasung ($U_{D,G}$) bzw. mit Füllung ($U_{D,P}$). Die Angabe der Temperaturfaktoren erfolgt für den Bereich der niedrigsten Oberflächentemperatur auf der Rahmenoberfläche.

Eine vergrößerte Darstellung der Konstruktionszeichnungen und der Isothermenkarten befindet sich auf Seite 163 und 164 im Anhang.

kammern^c im mittleren Rahmenbereich thermisch aufgewertet werden. Die thermische Verbesserung des Rahmens durch eingebrachte Luftkammern bringt eine Senkung des U_F -Wertes um ca. 10 % und hat den Vorteil, dass kein Werkstoffverbund, sondern lediglich Vollholz verwendet wird.

Die Temperaturfaktoren auf dem Rahmen (f_F) liegen bei den Holzkonstruktionen oberhalb des Anforderungswertes von 0,6.

Die Ausbildung einer Rahmenkante im Werkstoffverbund RT-3 und -4 (Holz und Dämmstoff bzw. Purenit) bewirkt eine deutlichere Absenkung des U_F -Wertes von ca. 25 %. Die Anordnung des Dämmstoffes an der Außenseite hat den Vorteil, dass durch die Überdämmung des Glasrandbereiches an der Raumseite günstigere Oberflächentemperaturen erreicht werden.

Bei den Sandwich-Konstruktionen RT-4 liegt die Dämmschicht des Rahmens in der gleichen Ebene wie die der Verglasung bzw. Füllung, daher ist der Isothermenverlauf bei dieser Konstruktion wenig gestört. Da jedoch der Glasrandbereich von Holz überdeckt wird, und nicht – wie bei AD – von Dämmung, sind die Oberflächentemperaturen niedriger als bei der außen gedämmten Konstruktion.

Bei den 68 mm dicken Holz-Aluminium-Rahmen besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Rahmenkonstruktionen RT-5 und RT-6: Dort, wo bei RT-6 die Verglasung bzw. Füllung im Aluminium angeordnet ist, wird der Isothermenverlauf deutlich abgeknickt. Dies hat eine starke Erhöhung des U_F -Wertes zur Folge (2,0 im Vergleich zu 1,5 W/(m² K)), da an dieser Stelle ein hoher Anteil von Wärmequerleitung vorliegt. Der Temperaturfaktor von RT-5-68 liegt deutlich über dem geforderten Wert von 0,6. Auf RT-6-68 ist dagegen normativ mit Tauwasserausfall zu rechnen.

Da die Konstruktionsweise der Holz-Aluminium-Rahmen RT-5 und -6 auf Vollholzkanteln beruht, sind diese Kanteln in einem Teil des Rahmens dicker als 68 mm bzw. 120 mm.^d Die vom Aluminium eingeschlossene Luftschicht bewirkt eine gewisse Dämmung, so dass der U_F -Wert geringfügig höher ausfällt als bei der Vollholzkante RT-1.

Bei den Metallrahmen RT-7 und -8 erfolgt die Dämmung wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit des Metalls fast ausschließlich im Bereich der thermischen Trennung, daher sind die Art, Breite und Anzahl dieser thermischen Trennungen bei der wärmetechnischen Betrachtung von Interesse. Bei den am Markt angebotenen Metalltürrahmen RT-7-68 und RT-8-68 liegen die Oberflächentemperaturen unter $f = 0,6$.

Bei Kunststoffrahmen RT-9 sind die Anzahl und Breite der metallenen Aussteifungsprofile für die Beeinträchtigung der thermischen Leistungsfähigkeit relevant, da ihre Wärmeleitfähigkeit um ein Vielfaches höher ist als die des Kunststoffes. Weiterhin wesentlich sind die Anzahl und Breite der Kunststoffkammern, die außen- oder raumseitig vor den Metallprofilen liegen. Bei Kunststoffrahmen sind konstruktionsbedingt günstige Oberflächentemperaturen im Glasrandbereich zu erreichen, da das Metall des Glasrandes von einer luft- oder dämmstoffgefüllten

c. Der Wärmedurchlasswiderstand der Luftkammern ergibt sich – wie bei den anderen Luftschichten – in Abhängigkeit von der Kammergröße nach E DIN EN ISO 10077-2 [24]. Auf diese Weise wird Konvektion in der Luftkammer berücksichtigt.

d. Dies entspricht auch der Definition der Rahmendicke in DIN EN ISO 10077-1 [23].

Rahmentüren (120 mm)

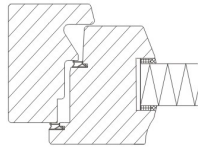
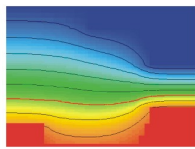
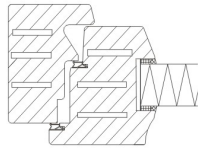
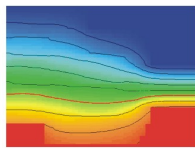
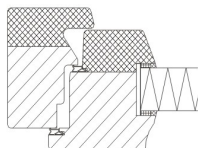
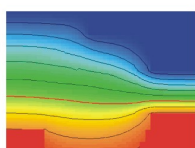
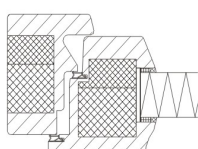
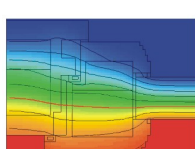
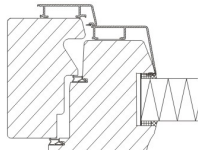
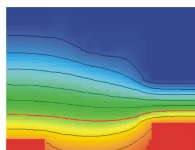
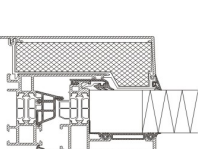
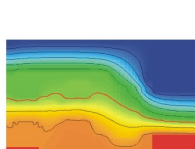
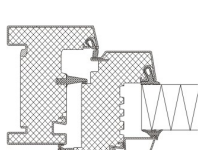
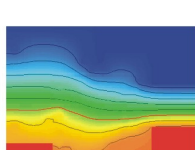
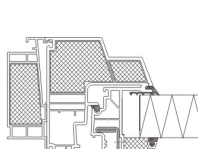
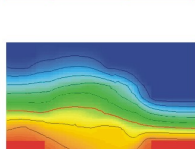
			Türdicke 120 mm					
			U_F (W/(m ² K))	$U_{D,G}$ (W/(m ² K))	$U_{D,P}$ (W/(m ² K))	f_F	f_G	f_P
RT-1-120			1,00	0,88	0,80	0,77	0,65	0,81
RT-2-120			0,91	0,85	0,76	0,78	0,66	0,81
RT-3-120			0,72	0,77	0,68	0,84	0,69	0,84
RT-4-120			0,73	0,77	0,68	0,82	0,67	0,84
RT-5-120			1,02	0,89	0,80	0,75	0,67	0,81
RT-7-120			0,92	0,90	0,77	0,80	0,78	0,83
RT-8-120			1,11	0,98	0,85	0,77	0,75	0,83
RT-9-120			0,74	0,77	0,69	0,84	0,71	0,86

Tabelle 5.2: Thermische Kennwerte für Rahmentüren (Dicke 120 mm): In der ersten Spalte sind die Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_F angegeben, rechts daneben der flächengemittelte U_D -Wert mit Verglasung ($U_{D,G}$) bzw. mit Füllung ($U_{D,P}$). Die Angabe der Temperaturfaktoren erfolgt für den Bereich der niedrigsten Oberflächentemperatur auf der Rahmenoberfläche. Eine vergrößerte Darstellung der Konstruktionszeichnungen und der Isothermenkarten befindet sich auf Seite 165 und 166 im Anhang.

Kunststoffkammer überdämmt wird. Hier ist das gleiche Prinzip wirksam wie bei der außen gedämmten Holzkantel.

Bei der Kunststoffaußentür RT-9-68 wird – wie bei den Metalltüren – im Rahmenbereich der kritische f -Wert von 0,6 unterschritten. Dies liegt in der breiten Metallaussteifung begründet, die außen nur durch eine dünne luftgefüllte Kammer überdämmt wird.

Im Glasrandbereich ist bei allen 68 mm dicken Rahmenkonstruktionen mit Tauwasser zu rechnen, sofern nicht auf thermisch günstigere Glasabstandhalter ausgewichen oder ein tieferer Glaseinstand gewählt wird.

Da bei den Konstruktionen RT-1 bis -5 bei einer größeren Türrahmendicke der Grundaufbau der Rahmenkantel gleich bleibt, ist das Verbesserungspotential für die U -Werte begrenzt. Bei den Metall- und Kunststoffrahmentüren (RT-7 bis RT-9) ist dagegen der Aufbau der Profile mit der Anzahl und Breite der thermischen Trennungen wesentlich, so dass bei entsprechender Konstruktion und dickerem Türblatt sehr viel größere Verbesserungspotentiale erreicht werden können. Die Temperaturfaktoren liegen durch die Überdämmung des Glasrandes besonders hoch.

Sollen die thermischen Kennwerte von Türen ermittelt werden, die eine andere Türdicke aufweisen als 68 oder 120 mm, so kann zur groben Abschätzung bei der Mehrzahl der Türkonstruktionen zwischen 68 mm und 120 mm mit Interpolation gearbeitet werden. Soweit der prinzipielle Aufbau identisch ist, besteht diese Möglichkeit bei Vollholzrahmen, Holz-Aluminiumrahmen, außengedämmten Rahmen sowie Sandwichrahmen, da bei diesen Konstruktionen die Funktion des U -Wertes eine stetige Funktion der Rahmendicke ist. Dies ist nicht der Fall bei den Metall- und Kunststofftüren, da bei ihnen die thermische Leistungsfähigkeit von der Art und Breite der Dämmschicht (bzw. thermischen Trennung) und den Metallelementen abhängt. Die Angabe der thermischen Kennwerte ist in dem Fall lediglich ein Maß für die Optimierungsmöglichkeit der Konstruktionen; eine Interpolation der Zwischenwerte ist nicht vertretbar. In Abbildung 5.10 sind die Zwischenwerte für Holzrahmen zu finden.

5.2 Sperrtüren

Sperrtüren bestehen aus einem umlaufenden Holzrahmen aus Kanthölzern bzw. lamellierten Rahmenkanteln. Die Deckplatten aus Holzwerkstoff sind mit dem Rahmen und der Einlage durch Verleimung verbunden. Die Aussteifung des hölzernen Rahmens übernimmt oft ein integriertes Metallprofil.

Sperrtüren werden handwerklich hergestellt oder bestehen aus industriell vorgefertigten Elementen in Standardmaßen, die nach Bedarf kürzbar sind und gegebenenfalls mit Lichtauschnitten versehen werden können. Die Einlagen der Sperrtüren bestimmen in erheblichem Maße die thermische Leistungsfähigkeit des Türblattes.

Es wird unterschieden in [76, 92]:

- Homogene Türblätter: Das Türblatt ist nahezu homogen aufgebaut, indem Einlagen

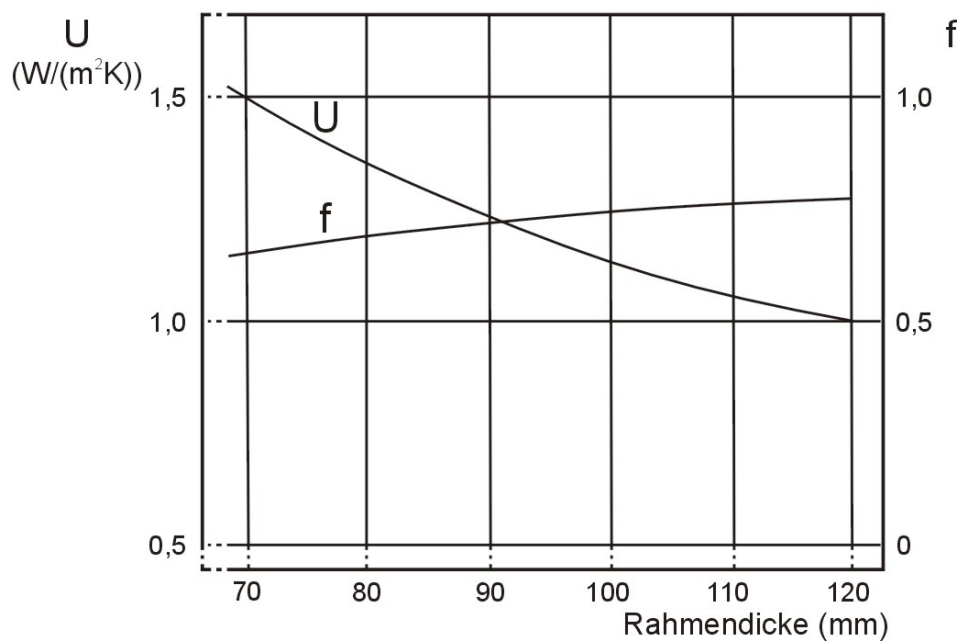


Abbildung 5.10: Thermische Kennwerte von Holzrahmen: Zur Abschätzung der thermischen Kennwerte von Türen mit einer Dicke zwischen 68 mm und 120 mm kann mit Interpolation gearbeitet werden.

aus Vollspan-, Röhrenspan-, Stabsperrholz- oder Massivholzplatten^e verwendet werden, Abbildung 5.11, a. Das mittlere Schalldämmmaß dieser Türen zeigt eine gute Abhängigkeit zum Flächengewicht.

- Hohlraumtürblätter: Als Einlage dienen Röhrenspan-, Vollspan- oder Vollholzstege. Die Hohlräume können ausgefüllt werden, wie in Abbildung 5.11, b.
- Sandwichkonstruktionen: Die Einlage besteht aus mehreren Schichten von Dämmplatten (siehe Abbildung 5.11, c und d).

Auch aus Aluminium werden glatte Türkonstruktionen hergestellt, zum Beispiel von [49]. Diese Tür wird hier bei den Sperrtüren betrachtet. Sie weist im Rahmenbereich eine schmale thermische Trennung auf und ist in der Fläche mit Dämmstoff ausgeschäumt (siehe Abbildung 5.11 e).

5.2.1 Betrachtete Konstruktionen

Die untersuchten Sperrtüren (Kürzel: ST) sind geordnet nach sinkendem Wärmedurchgangskoeffizienten U_P und sind dargestellt in Abbildung 5.3:

- **ST-1:** Holzrahmen^f mit Strangpressspan- und Faserhartplatteneinlage
- **ST-2:** Holzrahmen mit Massivholzplatten-Einlage

e. nach DIN EN 12775 [34]

f. Der Holzrahmen ist in der Regel lamelliert. Dies spielt für die Berechnungen jedoch keine Rolle.

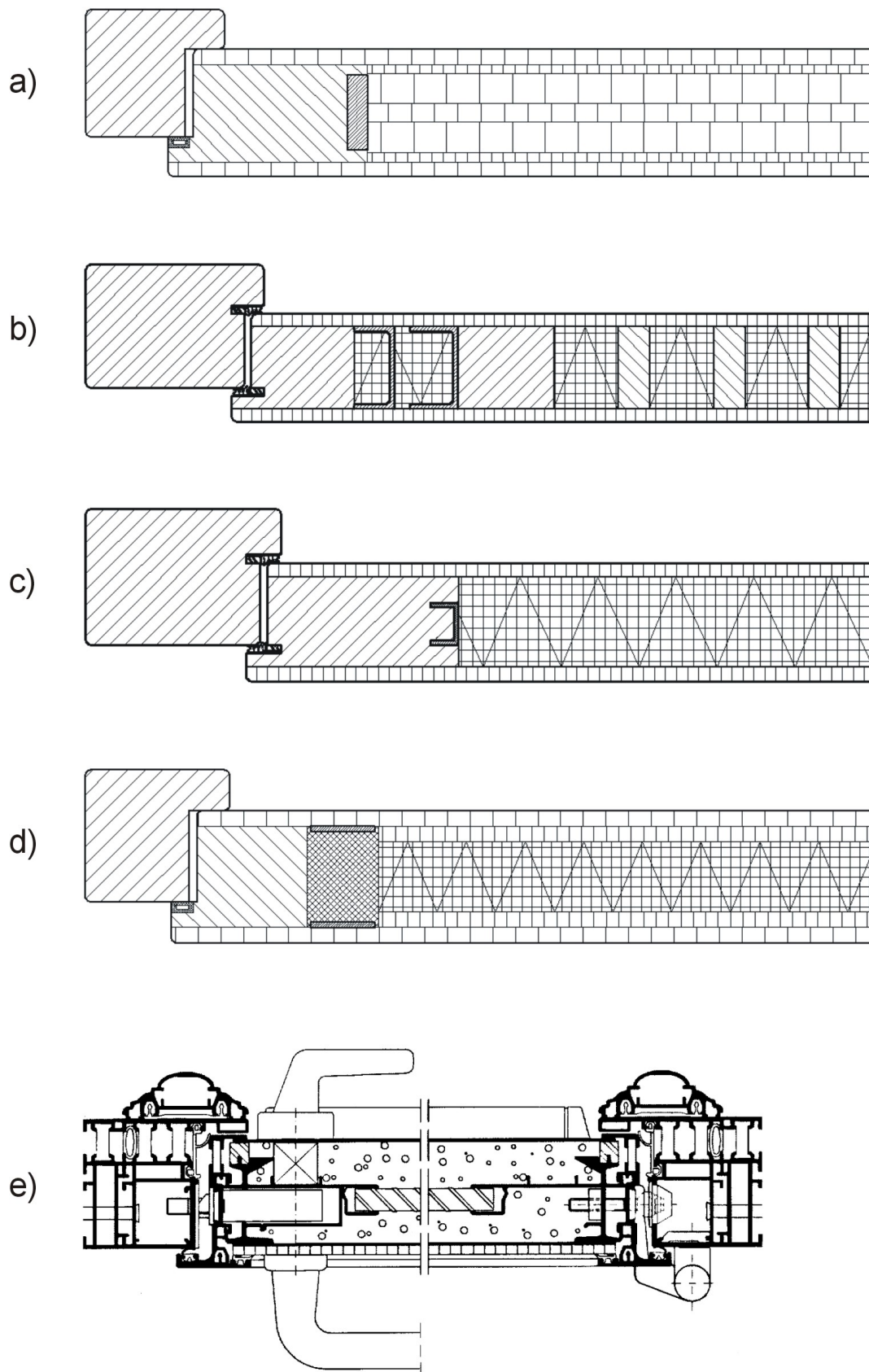


Abbildung 5.11: Sperrtüren mit Aussteifungsprofilen: a) Homogenes Türblatt mit Spanplatten-, Massivholzplatten- oder Stabsperrholzeinlage, b) Hohlraumtürblatt mit Vollholzstegen, c) und d) Sandwichkonstruktion mit Dämmstoffeinlage und e) glatte Aluminiumtür [49], deren Türblatt in der Fläche mit Dämmstoff ausgeschäumt ist.

- **ST-3:** Holzrahmen mit Holzstegen und Holzfaserdämmstreifen in den Zwischenräumen
- **ST-4:** Holzrahmen mit Holzfaserdämmplatten- oder Korkeinlage
- **ST-5:** Holzrahmen mit PUR-Schaum-Einlage
- **ST-6:** Aluminiumtür mit thermischer Trennung im Rahmen, Fläche ausgeschäumt mit PUR-Schaum

Steht der Schallschutz der Außentür im Vordergrund, werden gerne Türen mit einem hohen Flächengewicht verwendet. Als Einlagen werden dann Holzwerkstoffe wie OSB (Oriented-Structural-Board), Spanplatten, Faserhartplatten oder Sperrholz mit entsprechend höheren Wärmeleitfähigkeiten und in der Folge niedrigen U_P -Werten verwendet. In diese Türblattkonstruktionen können in der Regel ohne weitere Maßnahmen verglaste Lichtausschnitte eingefügt werden. Bei Dämmstoffeinlagen dagegen werden Holzleisten eingesetzt, an denen die Glashalteleisten befestigt werden können. Bei der Berechnung des U_D -Wertes werden solche Lichtausschnitte berücksichtigt, indem die Glasfläche und der U_G -Wert sowie die Wärmebrücke im Glasrandbereich mit ihrer Länge erfasst und zu den restlichen Kennwerten hinzugefügt werden (siehe Gleichung 4.5 auf Seite 62). Dafür muss der Ψ -Wert des Übergangs zwischen Tür und Verglasung bekannt sein. Als Anhaltswert kann $\Psi = 0,06 \text{ W}/(\text{m K})$ verwendet werden, siehe auch Abschnitt 5.1.6 auf Seite 83.

Bei den 120 mm dicken Sperrtüren wurde im Blendrahmen eine Sandwichkante gewählt.

5.2.2 Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse

Die thermischen Kennwerte der Sperrtüren sind in Tabelle 5.3 dargestellt.

Für Türdicken zwischen 68 mm und 120 mm darf wie bei den Rahmentüren interpoliert werden (siehe Abbildung 5.10 auf Seite 89).

Als Rahmenmaterial der Sperrtüren wurde nach DIN V 4108-4 [16] bei der Berechnung Holz mit der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m K})$ angesetzt (siehe auch Abschnitt 4.5.3 auf Seite 67). Wird eine Holzart mit höherer Rohdichte verwendet, z. B. $\rho = 800 \text{ kg}/\text{m}^3$ mit $\lambda = 0,20 \text{ W}/(\text{m K})$, so verschlechtert sich der U_F -Wert von 1,5 auf 2,0 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ erheblich.

Die Temperaturfaktoren des Rahmenbereiches weisen bei dem Rahmenaufbau aus Holz kaum Unterschiede auf, solange der einfache Aufbau verwendet wird. Wird im Blendrahmen eine Sandwichkonstruktion eingesetzt (ST-5), so fallen der U_F -Wert und die Temperaturfaktoren günstiger aus.

Bei den Sperrtüreinlagen steigt mit aufsteigender Nummerierung die thermische Leistungsfähigkeit: Bei der Einlage aus Sperrholz und harten Faserplatten wird aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit mit $U_P = 1,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ein relativ hoher Wärmedurchgangskoeffizient erreicht. Wird anstelle der Holzwerkstoffe eine Massivholzplatteneinlage verwendet, so ergibt sich ein etwas günstigerer U-Wert mit $U_P = 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Durch Kombination von Holzstegen und Holzfaserdämmstreifen wird mit $U_P = 0,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ein deutlich verbesserter Wärmedurchgangskoeffizient erreicht. Eine weitere Steigerung der thermischen Leistungsfähigkeit ist mit

Sperrtüren

	Türdicke 68 mm					Türdicke 120 mm				
	U_P (W/(m ² K))	U_F (W/(m ² K))	U_D (W/(m ² K))	f_P	f_F	U_P (W/(m ² K))	U_F (W/(m ² K))	U_D (W/(m ² K))	f_P	f_F
ST-1	1,56	1,51	1,54	0,67	0,63	1,00	0,88	0,94	0,77	0,77
ST-2	1,44	1,49	1,46	0,69	0,63	0,91	0,95	0,93	0,78	0,72
ST-3	0,93	1,51	1,18	0,76	0,63	0,57	0,88	0,70	0,85	0,77
ST-4	0,70	1,51	1,05	0,84	0,63	0,41	0,88	0,61	0,90	0,77
ST-5	0,43	1,45	0,86	0,90	0,65	0,24	0,88	0,52	0,94	0,77
ST-6	0,40	2,77	1,40	0,90	0,52	0,23	1,55	0,78	0,89	0,73

Tabelle 5.3: Thermische Kennwerte von Sperrtüren (links Türdicke 68 mm, rechts 120 mm): In der ersten Spalte ist der Wärmedurchgangskoeffizient der Ausfachung U_P angegeben, rechts daneben der U-Wert des Rahmens U_F . Mit U_D ist wieder rechts daneben der flächengemittelte U-Wert der betrachteten Türen angegeben. Die Ablesung der Temperaturfaktoren erfolgte bei f_P auf der Türfläche und bei f_F an den Schließkanten.

Eine vergrößerte Darstellung der Konstruktionszeichnungen und der Isothermenkarten befindet sich auf Seite 167 im Anhang.

Dämmstoffeinlagen möglich. Hier kommen zum Beispiel Holzfaserdämmplatte oder Kork infrage (ST-4) mit einem U_P -Wert von $0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Wird als Einlage PUR-Schaum verwendet, könnte der U_P -Wert auf $0,43 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ gesenkt werden.

Die Aluminiumtür weist in der Fläche einen sehr niedrigen U_P -Wert von $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ auf. Da im Rahmenbereich allerdings nur eine schmale thermische Trennung eingebracht wurde, ist der U_F -Wert mit $2,77 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ sehr ungünstig. An dieser Stelle kann es aufgrund der niedrigen Oberflächentemperaturen im Winter häufig zu einer Feuchtigkeitskondensation kommen und, falls die Oberfläche – wie vom Hersteller angeboten – mit Echtholz furnier beklebt ist, rasch zu Schäden an der Oberfläche führen.

Während bei ST-1 bis ST-5 bei einer Zunahme der Türdicke der Wärmedurchgangskoeffizient proportional sinkt, liegt im Rahmenbereich der Aluminiumtür ein großes Optimierungspotential; durch das Einfügen einer zweiten thermischen Trennung kann die thermische Leistungsfähigkeit derart verbessert werden, dass ein Temperaturfaktor von $f = 0,73$ erreicht wird.

5.3 Aussteifungsmaßnahmen (Profile u. a.)

Die thermischen Auswirkungen der Aussteifungsmaßnahmen werden in der Regel nicht von den Herstellern angegeben. Der Fehlbetrag zum U_D -Wert ist jedoch teilweise so groß und die Oberflächentemperaturen in diesem Bereich so ungünstig, dass eine nähere Betrachtung sinnvoll erscheint.

Zur Aussteifung von Türblättern werden Metallprofile oder flächig eingeleimte Aluschichten verwendet. Die Profile können unterschiedlich ausgebildet sein: Üblich ist die Verwendung von Flacheisen, von U-, Doppel-T- oder Rechteckrohrprofilen (siehe Abbildung 5.11 und Tabelle 5.4). Wichtig ist, dass die Profile kraftschlüssig mit den Deckplatten und dem Rahmen verbunden sind. [92] Auch mit dünnen Aluminiumschichten, die in die beiden Decklagen schubfest eingeklebt sind, ist eine Aussteifung möglich. Hierdurch entsteht gleichzeitig eine Dampfsperrewirkung, die die Feuchteaufnahme des Türblattes herabsetzt und so die hygrometrischen Verformungen reduziert.

5.3.1 Betrachtete Konstruktionen

Da mit steigender Rahmendicke zunehmend auf Aussteifungsprofile verzichtet werden kann, ist die thermische Auswirkung der Aussteifungsprofile nur für 68 mm dicke Türen betrachtet worden.

Die Höhe der Wärmebrücke durch das Aussteifungsprofil Ψ_{AP} ist abhängig von der thermischen Leistungsfähigkeit des Materials, das die Wärmebrücke umgibt. Daher wird der Ψ_{AP} -Wert bei einem U_D -Wert von $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})^g$ und von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ berechnet.

Betrachtet werden die Aussteifungsmaßnahmen (siehe Abbildung 5.4):

g. Ein U_D -Wert in dieser Höhe kann beispielsweise bei Laubholzrahmen mit schweren Einlagen vorkommen.

- **AP-1:** Rechteckprofil
- **AP-2:** U- bzw. C-Profil
- **AP-3:** Quadratisches Profil, vom Holz eingeschlossen
- **AP-4:** Flachstahl, senkrecht zur Türoberfläche
- **AP-5:** zwei Flachstähle, parallel zur Türoberfläche, Holz als thermische Trennung, z. B. von [115]
- **AP-6:** zwei Flachstähle, parallel zur Türoberfläche, PU-Schaum als thermische Trennung, z. B. von [46]
- **A-7:** zwei 0,4 mm dünne Aluminiumschichten in die Deckschichten geklebt

Die Aussteifungsprofile sind geordnet nach abnehmender Wärmebrückenwirkung Ψ_{AP} .

5.3.2 Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse

In der Tabelle 5.4 wird die ermittelte Wärmebrückenwirkung der Aussteifungsmaßnahmen angegeben. Deutlich zu erkennen sind die sehr niedrigen Oberflächentemperaturen im Bereich dieser Wärmebrücken. Aus den Wärmebrückenkoeffizienten Ψ_{AP} und der Länge der Wärmebrücke ergeben sich deutliche Aufschläge auf den U_D -Wert (siehe Gleichung 4.8 auf Seite 65). Produktinformationen der Türenhersteller vernachlässigen diese Wärmebrücke in der Regel.

Ob die Metallprofile AP-1, AP-2 und AP-3 mit Luft oder Dämmstoff ausgefüllt oder (bei AP-2) direkt ins Holz eingeleimt sind, wirkt sich nicht auf das Ergebnis aus, da die Wärmeleitung primär über das Metall erfolgt.

Um die thermische Auswirkung der eingeleimten Aluminiumfolien mit den anderen Wärmebrücken vergleichen zu können, wird ein ‚gleichwertiger‘ Ψ -Wert ermittelt, der zu dem gleichen Wärmeverlust wie die Aluminiumschichten führt. So ist ein leichter Vergleich mit den Profilen möglich, und man sieht, dass diese Maßnahme zu geringen Wärmeverlusten führt. Die f -Werte liegen mit 0,64 bzw. 0,84 vergleichsweise hoch.

Es ist üblich, auf der Schloss-Seite zwei Profile einzuleimen. Ab einem Abstand von 6 cm sind diese wie zwei Wärmebrücken zu behandeln. Liegen sie dichter, so führt die Überlagerung der beiden gleichartigen Wärmebrücken insgesamt zu einem etwas geringen Ψ -Wert (siehe Abbildung 5.12). Die Oberflächentemperaturen sinken in diesem Fall.

Die Auswirkung der Umgebung der Wärmebrücke auf den Ψ -Wert wird deutlich beim Vergleich der Temperaturfaktoren bei $U_D = 2,0$ und $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Der Ψ_{AP} -Wert liegt bei einem U_D -Wert von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ geringfügig höher als beim U_D -Wert von $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, da die Störung (Durchdringung der wärmedämmenden Schicht) sich bei dem besser gedämmten Türblatt deutlicher auswirkt.

Die Wärmebrücke durch AP-5 ist deutlich geringer als die vorhergehenden Varianten, da das Metall in diesem Fall eine thermische Trennung aufweist. Ist diese thermische Trennung nicht aus Holz, sondern wie bei AP-6 mit Dämmstoff ausgefüllt, so kann nicht mehr von einer

Aussteifungsprofile

Isothermen bei $U_D = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

	$U_D = 2,0$ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$		$U_D = 0,8$ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	
	Ψ_{AP} ($\text{W}/(\text{mK})$)	f_{AP}	Ψ_{AP} ($\text{W}/(\text{mK})$)	f_{AP}
AP-1	0,098	0,42	0,111	0,44
AP-2	0,090	0,44	0,102	0,46
AP-3	0,038	0,55	0,042	0,61
AP-4	0,035	0,52	0,038	0,61
AP-5	0,008	0,56	0,008	0,71
AP-6	-0,011	0,69	-0,017	0,76
A-7	0,024	0,64	0,014	0,84

Tabelle 5.4: Thermische Kennwerte von Aussteifungsprofilen bei Sperrtüren: Die Berechnung erfolgte in zwei verschiedenen Türblättern (Dicke 68 mm) mit unterschiedlichen U_D -Werten. Eine vergrößerte Darstellung der Konstruktionszeichnungen und der Isothermenkarten befindet sich auf Seite 168 im Anhang.

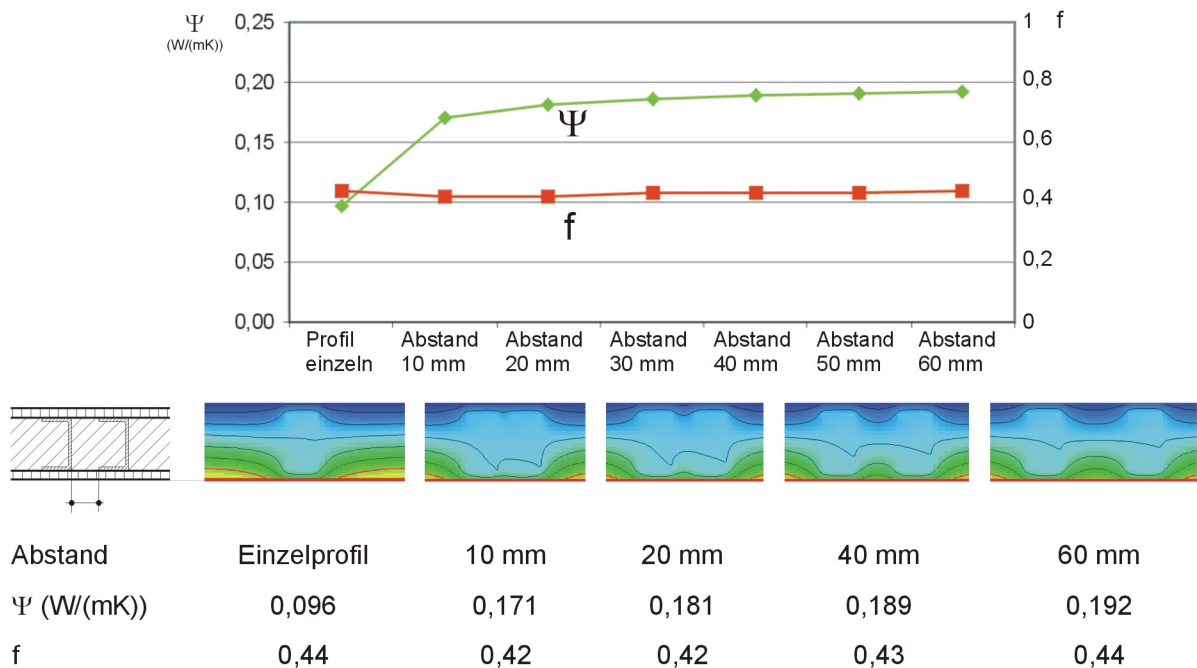


Abbildung 5.12: Überlagerung von zwei gleichartigen Wärmebrücken am Beispiel AP-2: Ab einem Profilabstand von 60 mm kann die Störung rechnerisch wie zwei Wärmebrücken behandelt werden.

Wärmebrücke im eigentlichen Sinne gesprochen werden, da der Ψ_{AP} -Wert negativ ist. An dieser Stelle ist der Wärmestrom also geringer als in dem ungestörten Querschnitt. Da die Aussteifung bei A-7 durch flächige Aluminiumschichten erfolgt, wird – wie oben erwähnt – nur ein gleichwertiger Ψ -Wert angegeben. Hier – wie auch bei AP-6 – ist der Wärmeverlust durch die Aussteifungsmaßnahme bei $U_D = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ etwas größer als bei $U_D = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, da die dämmend wirksame Schicht im Bereich der Aussteifungsmaßnahme durchläuft und das Metall bei $U_D = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ von einem Material geringerer Wärmeleitfähigkeit überdeckt wird.

Kapitel 6

Thermische Auswirkungen von Türbeschlägen

Zu den Türbeschlägen gehören die Elemente, die der Funktionsweise der Tür einschließlich des Einbruchschutzes dienen. Dies sind insbesondere die Türbänder, der Schlosskasten, Türschilder, Drücker, Schloss-Stulp, Schließplatte, Zusatzriegel und Bandsicherungen bzw. einzeln angeordnete Sicherungsbolzen (auch: Tresorbolzen), siehe Abbildung 6.1. Die genannten Sicherungsmaßnahmen können untereinander vielfältig kombiniert werden.

6.1 Elemente des Beschlags

Bei der Einbruchhemmung^a werden nach DIN V ENV 1627 [11] sechs Widerstandsklassen unterschieden: WK 1 bis WK 6. Eine einzustufende Türeinheit wird dafür einer dynamischen und statischen Belastungsprüfung sowie einer manuellen Einbruchprüfung unterzogen. Dabei variieren je nach Widerstandsklasse die verwendeten Werkzeugsätze und die geforderte Widerstandszeit (von 3 bis 20 Minuten). Bei Türen mit Verglasung ist außerdem die Größe der lichten Öffnung als Durchstiegsmöglichkeit relevant. [11]

Für die Untersuchung der Auswirkung von Beschlägen auf die thermische Leistungsfähigkeit von Türen werden in dieser Arbeit drei Klassen von Einbruchhemmung unterschieden, die den Merkmalen der Widerstandsklassen 1 bis 3 nach europäischer Normung entsprechen [73, 11]. Die Widerstandsklasse 4 erfordert bereits Sonderlösungen wie Alarmanlagen o. Ä. und WK 5 und 6 sind für die Verwendung in Hochsicherheitsbereichen (Waffenlager, Atomkraftwerke u. a.) konzipiert. Daher werden die Klassen WK 4 bis 6 in dieser Arbeit nicht betrachtet.

Es wird im Folgenden unterschieden zwischen (siehe Abbildung 6.2):

- **Einfache Einbruchhemmung:** Das Türblatt wird von zwei Bändern gehalten und auf der Schloss-Seite durch ein einfaches Schloss verriegelt.
- **Mittlere Einbruchhemmung:** Das Türblatt wird von drei Bändern mit Sicherungsbolzen gehalten und auf der Schloss-Seite neben dem Schloss durch zwei Zusatzriegel gesichert.

a. Das Wort Einbruchschutz wird in der Regel nicht mehr verwendet, da keine Maßnahme auf Dauer vor einem Einbruch schützen kann, sondern Einbrecher lediglich bei der Durchführung ihrer Tat gehemmt werden können.

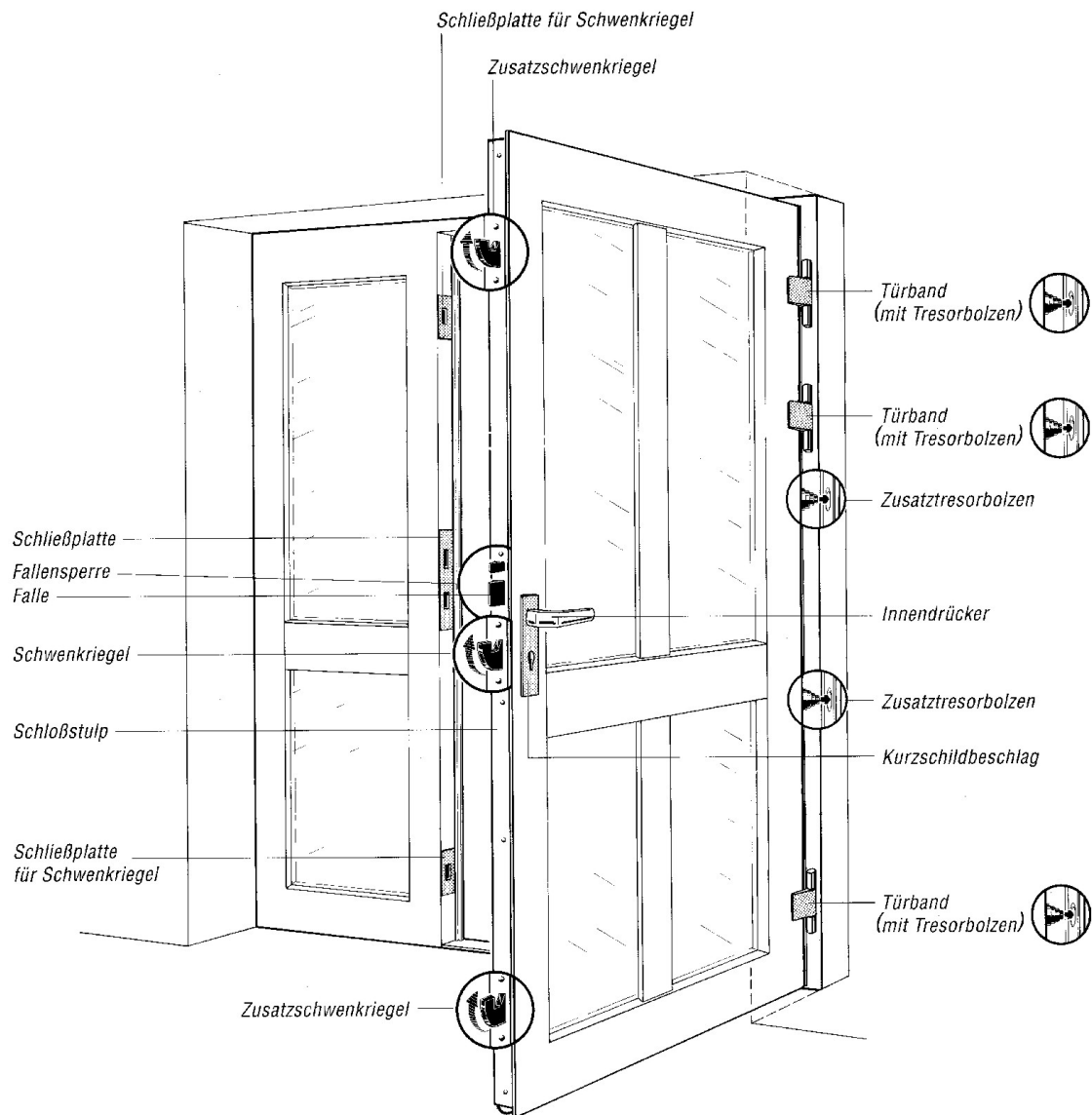


Abbildung 6.1: Übersicht über die Türbeschläge, nach [49]

- **Gute Einbruchhemmung:** Das Türblatt wird von drei Bändern mit Sicherungsbolzen gehalten und hat an der Bandseite zwei zusätzliche Sicherungsbolzen. Auf der Schloss-Seite sind neben dem Schloss vier Zusatzriegel angebracht. Die Schließplatte im Stulp geht über die gesamte seitliche Falzlänge.

6.2 Betrachtete Elemente des Beschlags

Zur Berechnung der thermischen Auswirkung des Beschlags werden folgende Elemente zunächst einzeln betrachtet (siehe Abbildung 6.2 auf der nächsten Seite):

- Schlosskasten, Profilzylinder, Wechselstift u. a. (siehe Abbildung 6.3)
- Türband
- Türband mit Sicherungsbolzen
- Schloss-Stulp
- Zusatzriegel^b
- Zusatz-Sicherungsbolzen (auf der Bandseite)
- Schloss-Stulp mit durchlaufender Schließplatte

Für jedes dieser Elemente wird die Wärmebrückenwirkung jeweils in Form des linienbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten Ψ_B angegeben.^c

Die berechneten Ψ_B -Werte werden kombiniert zu den schon genannten drei Klassen unterschiedlicher Einbruchhemmung in Abbildung 6.2.

Da die thermische Auswirkung des Beschlags von der Türkonstruktion abhängt, in die er eingebaut ist, werden für die Untersuchung fünf Gruppen von Türrahmenkonstruktionen unterschieden, innerhalb derer die Wärmebrückenwirkung der Beschlagelemente vergleichbar ist.

Die unterschiedenen Rahmengruppen sind:

- **VH (Vollholz):** In diese Gruppe gehören die Rahmentüren aus Vollholz (RT-1) und aus Holz-Aluminium-Profilen (RT-5 und -6) sowie die meisten Sperrtüren (ST-1 bis -4).

b. Eine Mehrfachverriegelung, wie sie durch Zusatzriegel erfolgt, verbessert im verschlossenen Zustand die Fugen- und Schlagregendichtheit der Tür durch einen über die Fugenlänge gleichmäßigen Anpressdruck. Um eine einwandfreie Funktion zu gewährleisten, müssen die hygroskopischen Verformungen der Tür möglichst gering gehalten werden. Besonders bei sehr biegesteifen Türen können Probleme auftreten, wenn das Stehvermögen nicht ausreichend ist. [86]

c. Die Angabe der Wärmebrückenwirkung ist beim Türband oder bei den Sicherungsbolzen theoretisch auch in Form des punktbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten möglich. Eine 3D-Berechnung ist für diese Elemente jedoch nicht durchführbar, da mit WinIso 3D nur einfache Geometrien betrachtet werden können. Die maximale Knotenzahl des Programmes ist sehr begrenzt, und es kann keine ausreichende Feinteilung des Modells vorgenommen werden. In Vergleichsrechnungen wurden daher Bedingungen der Modellbildung ermittelt, unter denen das Ergebnis der 2D-Berechnung zu gleichen Ergebnissen kommt wie eine 3D-Berechnung.

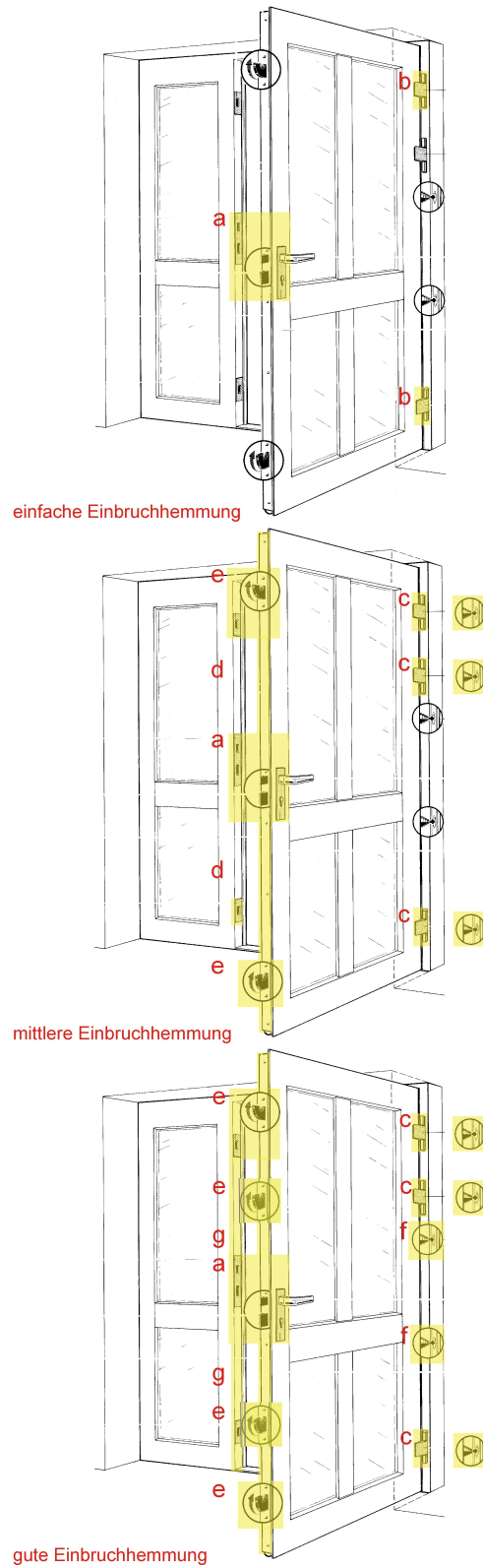
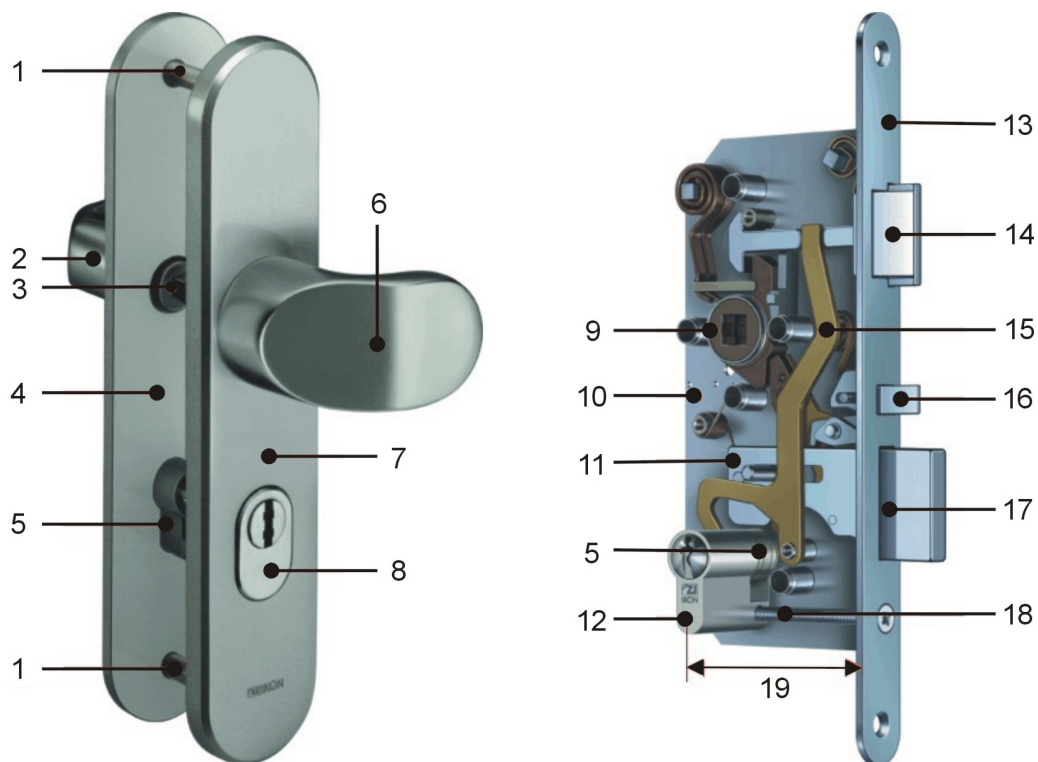


Abbildung 6.2: Übersicht über die Beschlagelemente für einfache, mittlere und gute Einbruchhemmung



- 1 Befestigungsschraube
- 2 Drücker
- 3 Wechselstift
- 4 Innenschild
- 5 Profilzylinder
- 6 Winkelknopf
- 7 Außenschild
- 8 Zylinderabdeckung
- 9 Drückernuss
- 10 Schlosskasten

- 11 Tourstift
- 12 Schließbart des Zylinders
- 13 Stulp
- 14 Falle
- 15 Wechsel
- 16 Riegelauslöser-Falle
- 17 Riegel
- 18 Stulpschraube
- 19 Dornmaß

Abbildung 6.3: Bezeichnungen: Schutzbeschlag und Drückerschloss mit Profilzylinder nach [91]

- **KD** (Kerndämmung): Zur Gruppe KD zählen die Rahmenprofile im Sandwich-Aufbau (RT-4) und mit Luftkammern (RT-2) sowie Sperrtüren mit Sandwich-Aufbau im Rahmen (ST-5).
- **AD** (Außendämmung): Zu dieser Gruppe gehören außengedämmte Türkonstruktionen wie RT-3.
- **ME-I** (Metall-I): Die Gruppe ME-I umfasst Metallhohlprofile mit thermischer Trennung durch Kunststoffstege wie bei den Aluminium- und Stahltüren RT-7 und RT-8-68 sowie ST-6.
- **ME-II** (Metall-II): Zur Gruppe ME-II zählen Metallprofile mit Wärmedämmblock, bei denen das Metallprofil nur an der Außen- und Innenseite des Rahmens liegt wie bei RT-8-120.

- **KU** (Kunststoff): Zu dieser Gruppe gehören Kunststoffhohlprofile mit metallischen Aussteifungsprofilen wie RT-9.

Bei der Türdicke werden wieder 68 und 120 mm unterschieden, und bei der Modellbildung wurden systemspezifische Beschläge verwendet.

6.3 Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse

In den Tabellen 6.1 und 6.2 sind die ermittelten linearen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_B für die einzelnen Beschlagelemente und die unterschiedlichen Rahmengruppen aufgeführt. Die beiden Spalten ganz rechts geben die niedrigsten Temperaturfaktoren auf dem Beschlag (f_{B1}) und auf dem Rahmen unmittelbar neben dem Beschlag (f_{B2}) an. An dieser Stelle ist der Temperaturfaktor auf der Rahmenoberfläche am geringsten.

Ein Vergleich der Komponenten a bis g zeigt, dass die Wärmebrücke am Schlosskasten (a) die weitaus größte ist, da an dieser Stelle sowohl der Profilzylinder als auch der Wechselstift durch den gesamten Querschnitt laufen und zu einem starken Wärmestrom durch das Metall führen. Es folgen mit deutlich geringeren Ψ_B -Werten die Bänder mit und ohne Sicherungsbolzen (b und c), dann die Zusatzriegel (e), die Zusatz-Sicherungsbolzen (f) und der Schloss-Stulp mit durchlaufender Schließplatte (g). Am geringsten ist die Auswirkung des einfachen Schloss-Stulpes (d).

Bei den Rahmengruppen VH und KD liegt das meiste Metall^d im Bereich der wärmedämmenden Schicht (bei VH ist dies der gesamte Querschnitt), während bei AD dieses Metall außen überdämmt wird. Die Wärmebrückenwirkung ist daher bei AD nicht so groß wie bei VH, was sich an niedrigeren Ψ_B -Werten und höheren Temperaturfaktoren zeigt. Eine Ausnahme bildet hierbei das Beschlagelement a (Schlosskasten, Wechselstift usw.), bei dem keine Überdämmung wirksam ist, da das Metall komplett von außen nach innen durchgeht. Hier fällt die Wärmebrücke beim VH am geringsten aus, da der U-Wert des VH-Rahmens schlechter ist als die U-Werte von KD und AD und eine durchgehende Wärmebrücke hier keine so große Störung darstellt wie bei KD und AD.

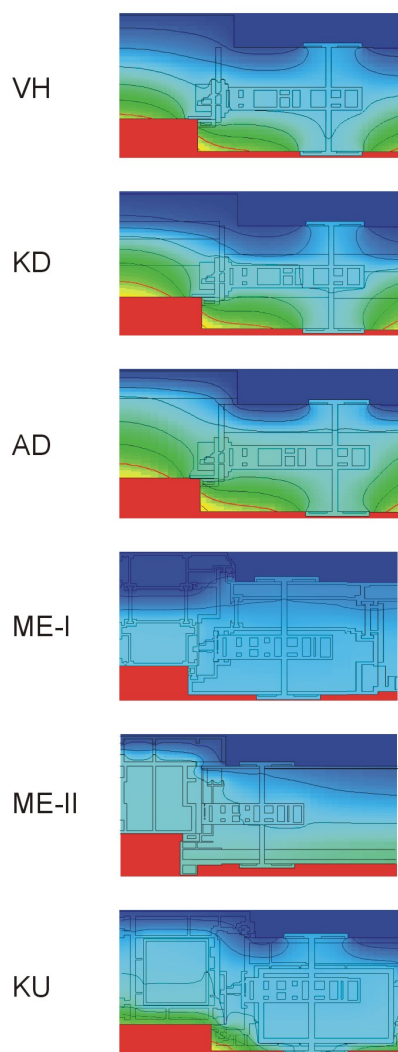
Bei ME-I-68 liegt der Beschlag fast komplett auf der Innenseite der thermischen Trennung, so dass die Wärmebrücke hier relativ gering ausfällt. Bei ME-I-120 dagegen geht das Metall in die thermische Trennung hinein und führt zu größeren Wärmebrückenverlusten.

Beim Profil ME-II liegt ein anderes Konstruktionsprinzip als bei ME-I vor: Statt einer oder zwei schmalen thermischen Trennungen liegt hier ein Dämmblock über fast die gesamte Rahmendicke vor. Wegen des relativ geringen U-Wertes im Rahmen wirkt sich die Wärmebrücke des Beschlags recht deutlich aus – stärker als beispielsweise bei Vollholz. Negative Ψ_B -Werte in der Tabelle entstehen dadurch, dass Teile des Aluminium-Rahmens durch den Stahl des Beschlags ersetzt werden und damit an den Stellen eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit vorliegt.

Je dicker der Türrahmen ist, desto weniger weit durch den Rahmen hindurch gehen die Beschlagkomponenten (Ausnahme: Wechselstift und Profilzylinder). So wird das Metall des Be-

d. Schließleiste, Schließplatte, Schlosskasten, Zusatzriegel, Sicherungsbolzen

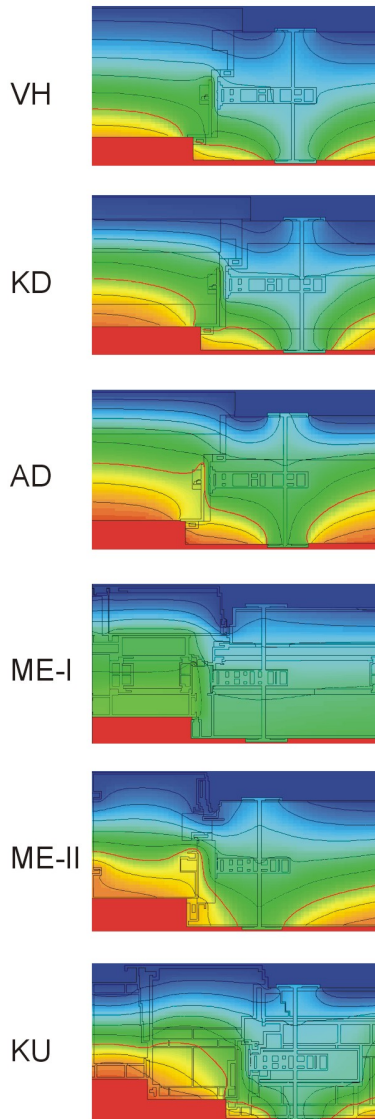
Beschlag (68 mm)



Wärmebrücke Ψ_B der Beschlagkomponenten (W/(mK))							Minimaler Temperaturfaktor		
a	b	c	d	e	f	g	Beschlag f_{B1}	Rahmen f_{B2}	
VH	0,297	0,083	0,109	0,006	0,046	0,018	0,036	0,31	0,39
KD	0,338	0,044	0,079	0,004	0,041	0,023	0,034	0,32	0,41
AD	0,306	0,037	0,046	0,001	0,019	0,009	0,018	0,35	0,44
ME-I	0,336	0,060	0,052	0,000	-0,002	-0,005	0,032	0,27	0,28
ME-II	0,632	0,063	0,065	0,004	0,002	-0,001	-0,001	0,36	0,37
KU	0,233	0,104	0,108	0,003	0,004	0,010	-0,001	0,30	0,34

Tabelle 6.1: Thermische Auswirkungen der Beschlagkomponenten a bis g (Türdicke 68 mm). Links neben der Tabelle sind der Querschnitt und die Isothermen vom Element a dargestellt.

Beschlag (120 mm)



	Wärmebrücke Ψ_B der Beschlagkomponenten (W/(mK))							Minimaler Temperaturfaktor	
	a	b	c	d	e	f	g	Beschlag	Rahmen
								f_{B1}	f_{B2}
VH	0,285	0,051	0,058	0,004	0,030	0,007	0,022	0,35	0,45
KD	0,312	0,021	0,028	0,005	0,020	0,008	0,019	0,37	0,46
AD	0,312	0,018	0,022	0,002	0,012	0,003	0,010	0,40	0,48
ME-I	0,780	0,007	0,065	0,004	0,018	0,055	0,015	0,43	0,43
ME-II	0,441	0,034	0,044	0,003	0,008	0,010	0,017	0,43	0,44
KU	0,314	0,023	0,023	0,001	0,005	0,003	0,006	0,39	0,47

Tabelle 6.2: Thermische Auswirkungen der Beschlagkomponenten a bis g (Türdicke 120 mm). Links neben der Tabelle sind der Querschnitt und die Isothermen vom Element a dargestellt.

schlags besser eingeschlossen bzw. überdämmt, die Wärmebrücken fallen geringer aus und die Temperaturfaktoren steigen. Trotzdem sind die Temperaturfaktoren der Beschlagelemente auch bei einer Dicke von 120 mm mit Werten zwischen 0,35 und 0,48 sehr niedrig, so dass sich schon bei relativ geringer Luftfeuchtigkeit im Innenraum auf der Oberfläche der Tür im Bereich des Beschlags Feuchtigkeit niederschlagen kann.

6.3.1 Wärmebrückeneinfluss ΔU

Um einschätzen zu können, wie groß der zusätzliche Wärmeverlust durch die Beschlagelemente ist, wird der Wärmebrückeneinfluss ΔU ermittelt (nach Gleichung 4.8 auf Seite 65), der angibt, wie sich der Wärmedurchgangskoeffizient der Tür U_D durch den Beschlag aus einer der drei betrachteten Gruppen erhöht. In die Gleichung gehen die ermittelten Werte für Ψ_B mit der jeweiligen Länge der Wärmebrücke ein. Die ΔU_D -Werte sind in den Abbildungen 6.4 und 6.5 dargestellt.

Die Wärmebrücke von Beschlagelement a (Schlosskasten) macht bei einfacher Einbruchhemmung mit durchschnittlich 89 % den wesentlichen Teil des Wärmebrückeneinflusses aus. Bei der mittleren und guten Einbruchhemmung kommt der Wärmebrückeneinfluss der anderen Beschlagkomponenten – beispielsweise der Zusatzverriegelung und Sicherungsbolzen – hinzu. Bei der mittleren Einbruchhemmung beträgt der Anteil von Beschlagelement a nur 72 % und bei der guten Einbruchhemmung 65 %.

Beim Vergleich der ΔU -Werte in den unterschiedlichen Rahmengruppen muss auch das Verhältnis dieser ΔU -Werte zum U_D -Wert der gesamten Tür beachtet werden. Bewirkt beispielsweise der Beschlag bei der Rahmengruppe ME-I nur relativ geringe Wärmebrückenverluste, so ist dies mit einem ohnehin sehr hohen U_D -Wert kombiniert. Damit diese Relation sichtbar wird, ist in den Abbildungen 6.4 und 6.5 unten rechts der Bereich zu sehen, in dem die U_D -Werte der untersuchten Türen liegen. Die farbigen Säulen entsprechen den Säulen in den Hauptdiagrammen, der grau markierte Bereich gibt die Spanne der U_D -Werte in den Rahmengruppen an.

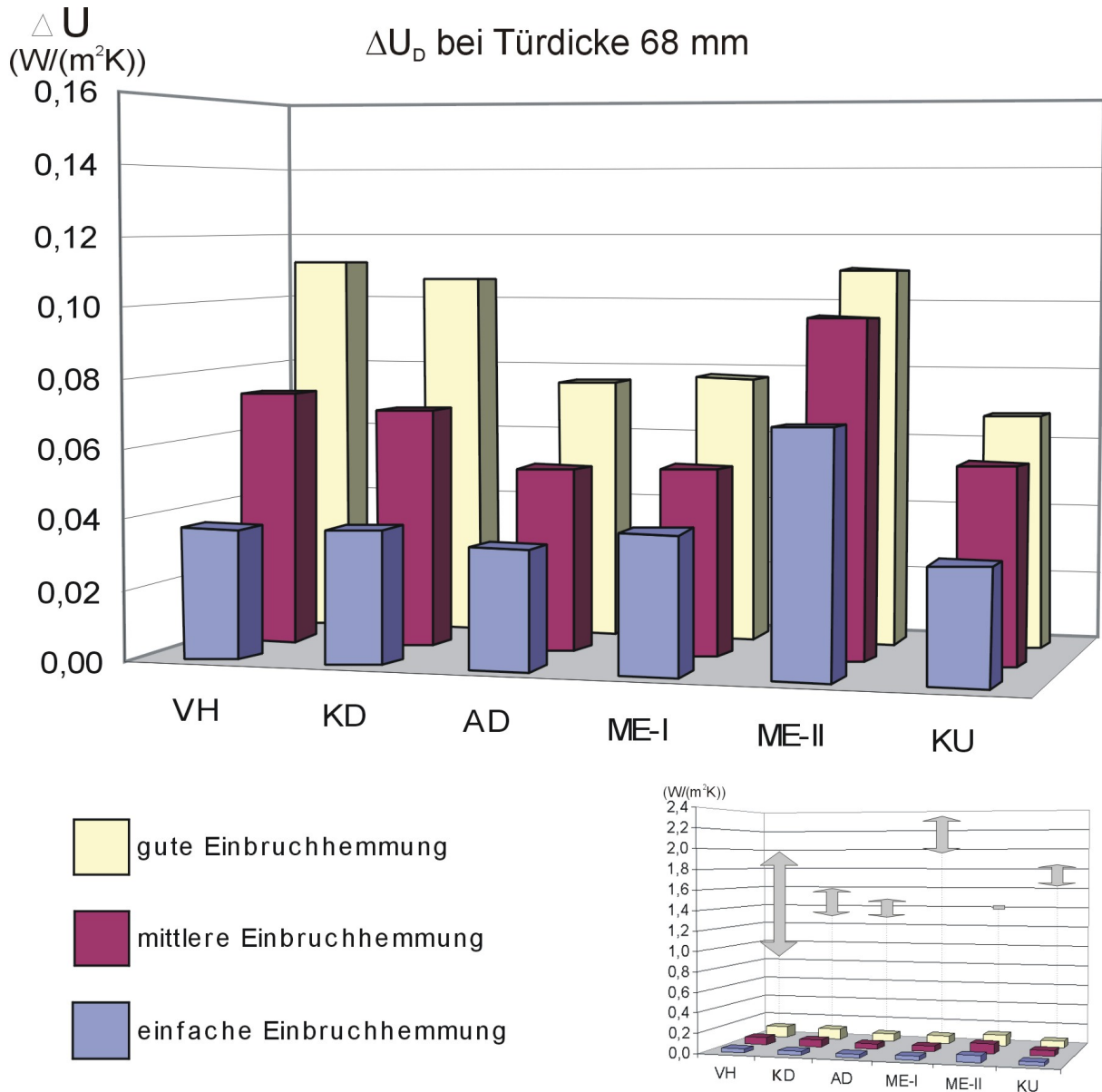


Abbildung 6.4: Wärmebrückeneinfluss des Beschlags ΔU (68 mm): Angabe von ΔU im großen Diagramm. Kleines Diagramm: Berechnete ΔU -Werte in Relation zu den U_D -Werten der betrachteten Türen (graue Pfeile).

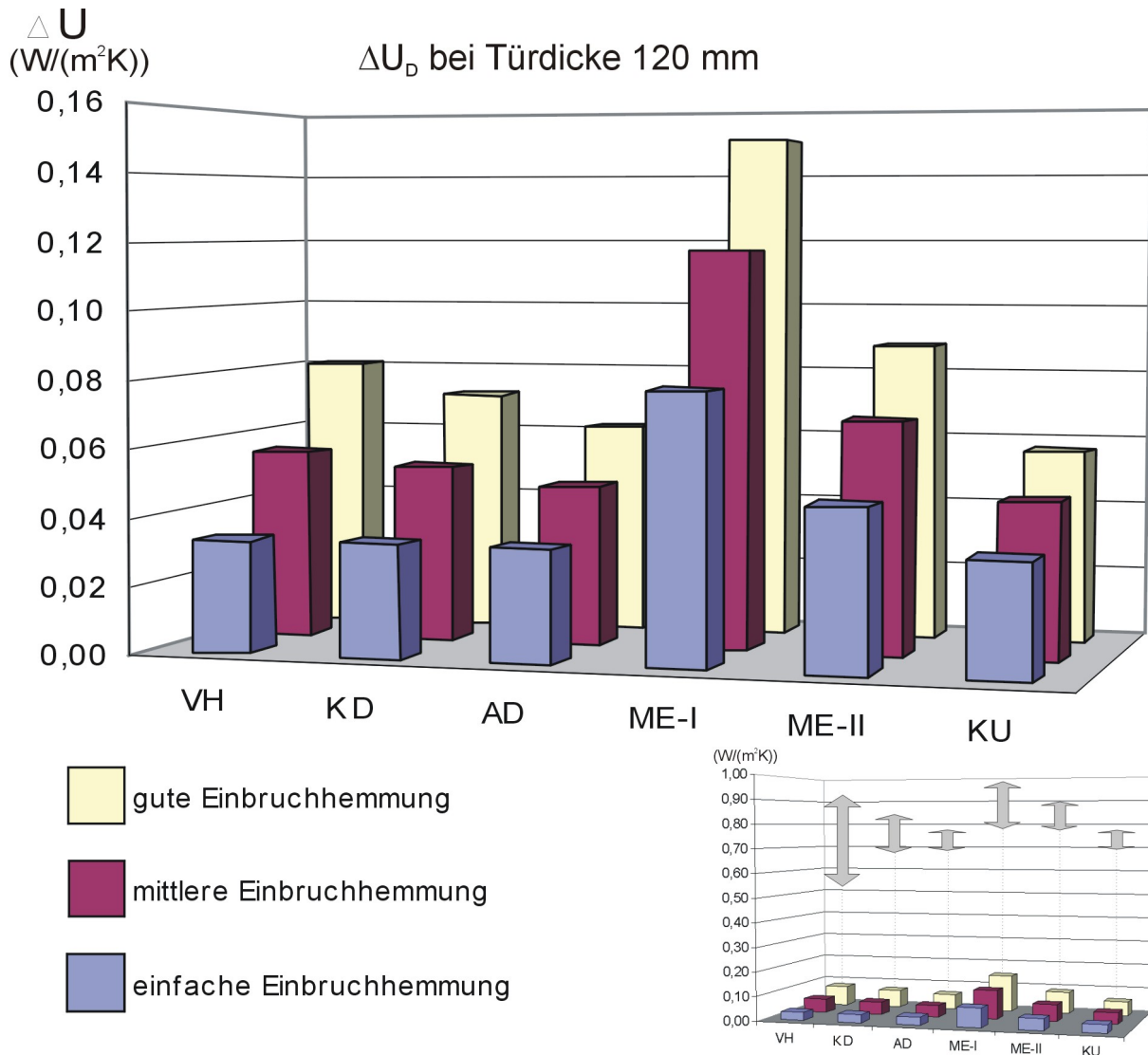


Abbildung 6.5: Wärmebrückeneinfluss des Beschlags ΔU (120 mm): Angabe von ΔU im großen Diagramm. Kleines Diagramm: Berechnete ΔU -Werte in Relation zu den U_D -Werten der betrachteten Türen (graue Pfeile).

Kapitel 7

Thermische Auswirkungen des Wandanschlusses

7.1 Einbau der Außentür in das Wandsystem

Der Einbau der Außentür erfolgt häufig in den Rohbau, es sind zu diesem Zeitpunkt weder die Wände verputzt, noch ist der Fußboden verlegt. Das Türelement muss in der Rohbauöffnung verankert werden. Die Verankerung nimmt die Kräfte durch das Eigengewicht der Tür, aus Öffnungs- und Schließbewegungen des Türflügels, des Windes und der mechanischen Beanspruchungen auf. Die Anschlussfuge zwischen Türrahmen und Wandsystem muss wind- und schlagregendicht ausgeführt werden. Wird das Türelement später eingebaut, können vorher Montagezargen eingeputzt werden. [94]

Die Rohbauöffnung wird seitlich durch die Laibungen, oben durch den Sturz und unten durch den Rohfußboden begrenzt.^a Der Sturz der Wandöffnung wird in der Regel wie die seitlichen Laibungen ausgebildet. Die Laibung und der Sturz können mit Innenanschlag (sehr selten Außenanschlag) ausgebildet sein^b. Im Gegensatz zur Vergangenheit haben monolithisch gemauerte Wandöffnungen in vielen Fällen keinen Anschlag mehr, da das Mauerwerk heute meist aus großformatigen Steinen erstellt wird und für die Ausbildung eines Anschlages Sonderformsteine nötig sind. Beim Holzbau kann die äußere Beplankung, beispielsweise eine diffusionsoffene Wandplatte, als Anschlag dienen. [48]

Im Anschlag lässt sich das Türelement gut einsetzen, befestigen und abdichten. Ist kein Anschlag vorhanden, wird der Türrahmen stumpf in die Laibung eingesetzt, dabei ist die Lage der Tür innerhalb des Wandquerschnittes frei wählbar.

Unterschieden werden kann nach der Einbaulage:

- Einbaulage außen
- Einbaulage mittig
- Einbaulage innen, d. h. raumseitig in der Laibung.

a. Die Ausbildung der Türschwelle und ihre thermische Auswirkung wird in Kapitel 8 behandelt.

b. Ein Innenanschlag führt wegen des Außenmaßbezugs der Wandflächen zu rechnerisch größeren Wärmebrückenkoeffizienten, siehe Seite 147.

Während bei Fenstern die Einbaulage innen selten ist, da in diesem Fall in der Laibung kein Platz für eine Fensterbank bliebe, kann diese Einbaulage bei Türen sehr sinnvoll sein. Außerdem führt sie zu höheren Oberflächentemperaturen.

Bei der Bestimmung der Breite des Türrahmens muss die Dicke einer Laibungsdämmung bzw. die Breite der Blendrahmenüberdämmung und gegebenenfalls der Anschlag berücksichtigt werden.

Als nichttragende Bauteile dürfen Türrahmen keine Kräfte aus dem Baukörper aufnehmen, da dies zu Verformungen des Türrahmens und Funktionsstörungen der Tür führen könnte. Daher wird zwischen Türrahmen und Baukörper eine Bewegungsfuge eingeplant, die Formänderungen des Baukörpers ermöglicht, ohne das Türelement zu belasten. Formänderungen des Türelementes müssen ebenfalls zwängungsfrei möglich sein.

Für den Wandanschluss werden zwei Bereiche betrachtet: zunächst die Befestigungselemente und anschließend die Anschlussgeometrie. Beide Einflüsse überlagern sich im Anschlussbereich. Die Auswirkung der Befestigungsmittel als Wärmebrücken ist jeweils berechnet worden als Wärmebrückenkoeffizient, der sich zusätzlich zur Wärmebrücke der Anschlussgeometrie ergibt. Daher erfolgt die Angabe von f -Werten in Form von Differenzbeträgen Δf an den Temperaturfaktoren der Anschlussgeometrie.

7.2 Befestigungselemente

7.2.1 Betrachtete Befestigungselemente

Im Hinblick auf Formänderungen des Baukörpers und der Ausbauelemente (hier Türen) müssen die Befestigungselemente in Richtung der Türebene verschiebbar oder federnd ausgebildet sein. Der Maximalabstand zwischen den Befestigungselementen beträgt 80 cm [94]. Auf der Höhe der Bänder und des Schlosses sollten weitere Befestigungselemente angeordnet sein.

Eine Übersicht über Befestigungselemente für Außentüren ist in Abbildung 7.1 dargestellt. Die Befestigung des Rahmens in einer anschlaglosen Laibung kann mit Rahmendübeln oder Flachmetallankern erfolgen. Von [63] gibt es einen thermisch getrennten Flachmetallanker. Der Türrahmen kann auch in gesonderte und vorher montierte Montagerahmen oder -zargen (aus Holz, Holzwerkstoffen, Metall o. Ä.) eingesetzt werden.

In einer Voruntersuchung wurde festgestellt, dass die Wärmebrückenwirkung der Befestigungsmittel bei einer Variation der Einbaulage in der Laibung (außen, mittig, raumseitig) nahezu unverändert bleibt. Im Folgenden wird der Fall der mittigen Einbaulage dargestellt. Die Werte sind auf eine äußere bzw. raumseitige Einbaulage in der Laibung übertragbar.

7.2.2 Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse

Angegeben ist die Auswirkung des Befestigungsmittels auf den Temperaturfaktor in der Laibung Δf sowie die punkt- oder linienbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten χ und Ψ . Die

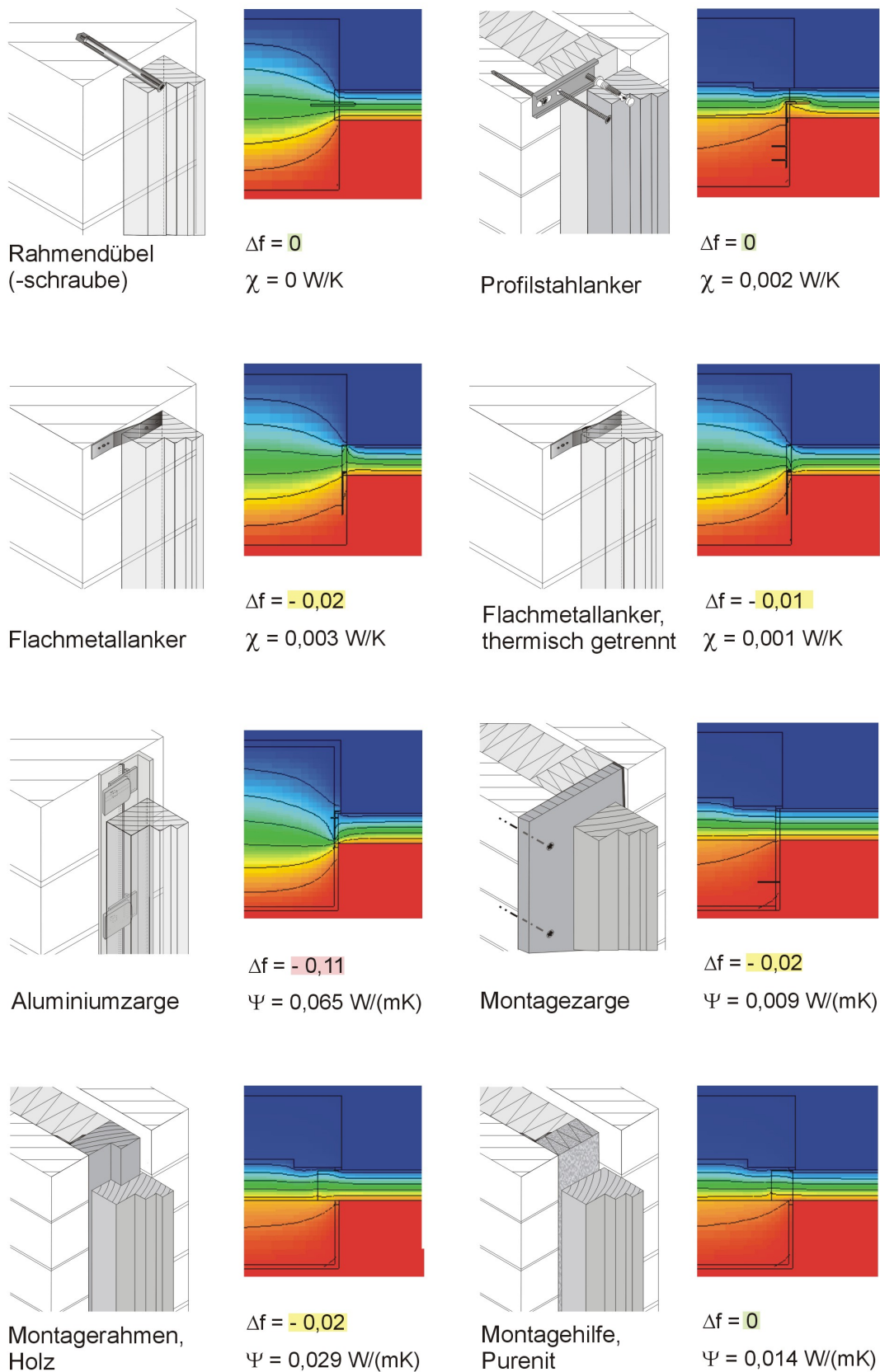


Abbildung 7.1: Befestigung der Tür am Baukörper: Angegeben ist der linien- bzw. punktbezogene Wärmebrückenkoeffizient Ψ bzw. χ und die Auswirkung auf den Temperaturfaktor in der Laibung (Δf).

punktbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten χ wurden mit einer dreidimensionalen Berechnung ermittelt.

Zu erkennen ist, dass bei den Rahmendübeln und -schrauben keine Wärmebrückenwirkung auftritt, da diese Befestigungsmittel parallel zu den Isothermen liegen. Die thermische Beeinträchtigung durch Flachmetallanker und Profilstahlanker ist auch ohne thermische Trennung sehr gering. Die Auswirkung dieser beiden Befestigungsmittel ist nur deshalb ungleich, weil sie mit unterschiedlicher Breite an den Rahmen anschließen: Wegen der am Profilenende angeordneten Schraube zur Rahmenbefestigung geht bei dem Profilanker das Metall nur bis ca. zur Mitte des Rahmenprofils. Die Flachmetallanker werden dagegen üblicherweise so angeordnet, dass das Metall über die gesamte Rahmendicke verläuft und damit eine größere Wärmebrücke bewirkt. Würde auch hier das Metall nur bis zur Mitte der Rahmendicke verlaufen wie beim Profilanker, würde die Wärmebrückenwirkung und die Senkung der Oberflächentemperaturen entsprechend ausfallen.

Die Einbauzarge aus Aluminium bildet dagegen eine sehr große Wärmebrücke und senkt die Oberflächentemperaturen in der Laibung mit $\Delta f = -0,11$ erheblich. Ist die Montagezarge oder der Montagerahmen aus Holz bzw. Purenit, so ist die Beeinträchtigung des Temperaturfaktors gering. Die Wärmebrückenwirkung ist bei ihnen etwas höher als bei den punktuellen Befestigungen, da die Dämmschicht auf der gesamten Länge des Anschlusses ersetzt wird.

7.3 Anschlussgeometrie

Beim Wandanschluss von Türen liegt eine geometrisch bedingte Wärmebrücke vor, da sich der Querschnitt der Gebäudehülle an dieser Stelle verjüngt. Die Größe dieser Wärmebrücke und die jeweiligen Temperaturfaktoren hängen von der Einbaulage der Tür in der Laibung ab.

7.3.1 Betrachtete Wandsysteme

Für die Ermittlung der thermischen Kennwerte wurden die vier typischen Wandsysteme mit jeweils unterschiedlichen Anschlussausbildungen betrachtet:

- Monolithisches Wandsystem
- Wandsystem aus dem Holzständerbau
- Außengedämmtes Wandsystem (zum Beispiel mit Wärmedämmverbundsystem)
- Zweischaliges Wandsystem aus dem Massivbau

Bei jedem Wandsystem wurden schematische Anschlussgeometrien betrachtet, bei denen auf Details der Befestigung und Abdichtung verzichtet wurde. Es werden lediglich die für die thermischen Berechnungen relevanten Schichten abgebildet: eine hinterlüftete Fassade, wie sie beispielsweise beim Holzständersystem geplant sein könnte, ist nicht gezeichnet worden, da die Elemente außerhalb der belüfteten Schicht nach DIN EN ISO 6946 [21] nicht in die Berechnung eingehen.

Die Kennwerte sind berechnet worden für den seitlichen Baukörperanschluss von Türen. Sie sind wegen der gleichen Geometrie aber auch auf seitliche Fensteranschlüsse übertragbar. Wenn der Sturz ähnlich der Laibung ausgebildet ist, sind die Kennwerte auch darauf übertragbar. Im Sturzbereich überlagert sich die Wärmebrücke des Türanschlusses mit der einer Deckeneinbindung, wenn der Abstand der Wärmebrücken unter 60 cm liegt. Die Auswirkung dieser Wärmebrückenüberlagerung ist exemplarisch in Abbildung 7.2 dargestellt.

Es werden zunächst für jedes Wandsystem drei bzw. vier Anschlussausbildungen bei üblicher thermischer Leistungsfähigkeit durchgerechnet und jeweils die Ψ - und f -Werte angegeben (siehe linke Spalte der Tabellen 7.1 und 7.2). In den drei rechten Spalten der Tabelle ist abzulesen, wie sich die Ψ - und f -Werte bei unterschiedlichen Szenarien ändern.

Die Szenarien sehen folgendermaßen aus:

- Das Wandsystem wird thermisch günstiger ausgebildet bei unverändertem U-Wert des Türrahmens.
- Der Türrahmen wird thermisch günstiger ausgebildet, das Wandsystem entspricht dem der Ausgangslage.
- Sowohl das Wandsystem als auch der Türrahmen werden thermisch günstiger ausgebildet.

Das Vorgehen mit den drei Szenarien wurde gewählt, um zu zeigen, wie geänderte Randbedingungen die Ψ - bzw. f -Werte beeinflussen. In der Praxis wird die thermische Qualität des Wandsystemes meist bereits festgelegt sein, so dass lediglich die Einbaulage, eine eventuelle Überdämmung des Blendrahmens und der Wärmedurchgangskoeffizient des Türrahmens noch beeinflusst werden können.

7.3.1.1 Wandsysteme der Ausgangslage

Für die Ausgangslage wurden folgende Wandaufbauten verwendet:

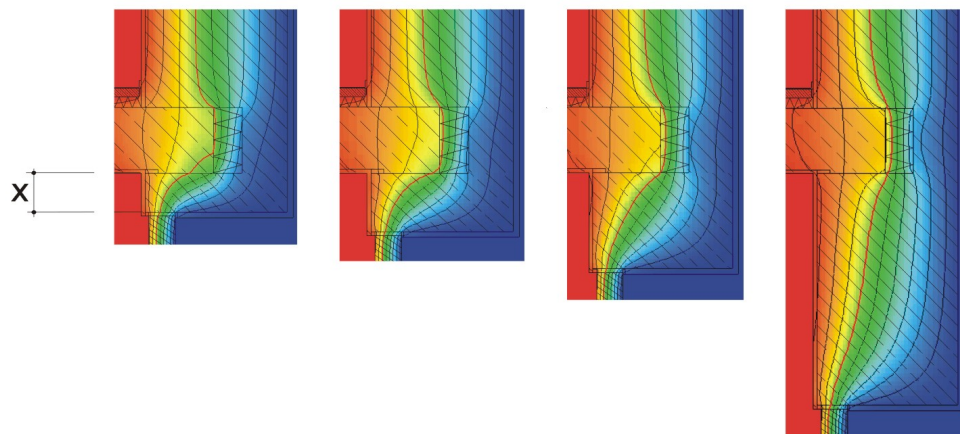
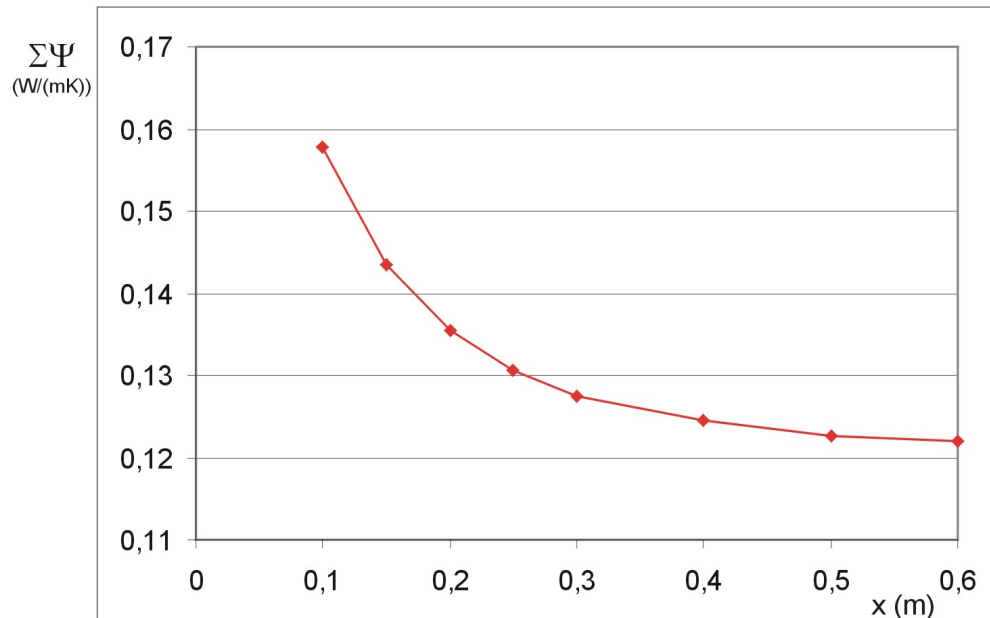
Monolithisches Wandsystem

Es wurde ein monolithischer Wandaufbau ohne Anschlag gewählt, bei dem die folgenden Varianten betrachtet wurden.

- I. äußere,
- II. mittige und
- III. innere, d. h. raumseitige Einbaulage in der Laibung.

Wandaufbau:

- Innenputz
- Porenbeton-Plansteine o. Ä. 365 mm ($\lambda = 0,21 \text{ W}/(\text{m K})$)



Abstand x	0,10 m	0,15 m	0,25 m	0,60 m
$\Sigma\Psi$ (W/(mK))	0,158	0,143	0,131	0,122

Abbildung 7.2: Überlagerung von zwei unterschiedlichen Wärmebrücken im Sturzbereich (Geschosdeckeneinbindung und Türsturz): Ist der Abstand der Wärmebrücken geringer als 60 cm, so führt die Überlagerung der beiden Wärmebrücken in der Summe zu größeren Wärmebrückenverlusten, da die Auslenkung der Isothermen noch ausgeprägter ist und damit der Anteil der Querleitung steigt. Bei einer geschosshohen Tür müsste eine äußere Laibungsdämmung vorgesehen werden. In diesem Fall beträgt der Ψ -Wert 0,078 W/(m K).

- Außenputz

Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,51 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Holzständerwandsystem

Das Anschlussbeispiel aus dem Holzbau ist ein zweischaliges Holzständerwandsystem mit raumseitiger Installationsschale ohne Anschlag. Es wurden die thermischen Kennwerte bestimmt für

- I. äußere,
- II. mittige und
- III. innere, d. h. raumseitige Einbaulage in der Laibung.

Wandaufbau von innen:

- Gipsfaserplatte
- 40 mm Dämmung ($\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m K})$)
- OSB-Platte
- 100 mm Dämmung ($\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m K})$)
- diffusionsoffene Holzfaserplatte

Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Außengedämmtes Wandsystem

Zu den Wandsystemen mit äußerer Dämmung werden Tragstrukturen mit Wärmedämmverbundsystemen gezählt, aber auch außengedämmte Systeme mit belüfteter vorgehängter Fassade, beispielsweise aus Holz, Naturstein oder Metall. In den Beispielen wurde die Variante Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem gewählt.

Bei außengedämmten Wandsystemen sind die folgenden Anschlussausbildungen möglich:

- I. Einbau bündig mit dem Mauerwerk, ohne Blendrahmenüberdämmung.
- II. Einbau bündig mit dem Mauerwerk, mit Blendrahmenüberdämmung.
- III. Einbau mittig im Mauerwerk mit außenseitiger Laibungsdämmung
- IV. Einbau in der Dämmebene, mit ausgeklinkter Dämmplatte, die den Rahmen um einige Zentimeter überdämmt.

Wandaufbau:

- Innenputz
- tragende Kalksandsteinwand 175 mm ($\lambda = 0,99 \text{ W}/(\text{m K})$)

- 100 mm Dämmung ($\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m K})$)
- Außenputz

Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Die Überdämmung des Rahmens beträgt:

- I. 0 mm
- II. 20 mm + 15 mm Putz
- III. 20 mm + 15 mm Putz
- IV. 35 mm + 15 mm Putz

Zweischaliges Wandsystem (Massivbau)

Unter die zweischaligen Wandsysteme des Massivbaus fällt das zweischalige Mauerwerk sowie zweischalige Wandsysteme, bei denen die tragende Wand aus Beton erstellt wurde. In den Beispielen wird von zweischaligem Mauerwerk ausgegangen. Türen werden – wie Fenster – grundsätzlich an der Hintermauerschale befestigt [48].

Folgende Anschlussausbildungen werden betrachtet:

- I. Einbaulage in der Dämmschichtebene mit 30 mm Anschlag. Dies entspricht bezüglich der Geometrie der Anschlussempfehlung nach DIN 4108, Beiblatt 2 [12], Variante 1^c.
- II. Einbau in der Hintermauerwerkebene mit 10 mm Anschlag bei einer Anschlussfuge von 30 mm zwischen Rahmen und Hintermauerwerk und einer Anschlussfuge von ebenfalls 30 mm zwischen Rahmen und Vormauerschale. Dies entspricht bezüglich der Geometrie der Anschlussempfehlung nach DIN 4108, Beiblatt 2, Variante 2.
- III. Einbau in der Hintermauerwerkebene mit 70 mm Anschlag bei einer Anschlussfuge Rahmen–Hintermauerwerk 10 mm. Dies entspricht bezüglich der Anschlussempfehlung nach [87].

Wandaufbau:

- Innenputz
- tragende Kalksandsteinwand 175 mm ($\lambda = 0,99 \text{ W}/(\text{m K})$)
- 100 mm Dämmung ($\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m K})$)
- 10 mm Luftschicht

c. Bei einer Dämmschichtdicke, die deutlich über der Türrahmendicke liegt, kann die Laibung entweder von außen beispielsweise durch einen Viertelstein geschlossen oder der Rahmen über eine Montagezarge o. Ä. soweit in die Dämmebene gestellt werden, dass der Anschlag an die Vormauerschale möglich ist. Da die Wärmebrücke im Anschlussbereich primär von der Reduzierung der Dämmschichtdicke zwischen Wand und Türsystem beeinflusst wird, ist bei ungestört durchgeführter Dämmung in diesem Fall die Lage des Rahmens nicht wesentlich.

- Verblendmauerwerk (Ziegel)

Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

7.3.1.2 Wandsysteme für die geänderten Szenarien

Für die geänderten Szenarien wurden die oben genannten Wandsysteme folgendermaßen modifiziert:

- **Monolithisches Wandsystem**

Verwendung von Steinen der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,10 \text{ W}/(\text{m K})^d$ bei unveränderter Wanddicke. Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

- **Außengedämmtes Wandsystem**

Erhöhung der Dicke der Dämmung auf 160 mm. Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

- **Zweischaliges Wandsystem (Massivbau)**

Erhöhung der Dicke der Dämmung von 100 mm auf 140 mm und Verwendung von Steinen niedrigerer Wärmeleitfähigkeit ($\lambda_{\text{Ziegel}} = 0,96 \text{ W}/(\text{m K})$ und $\lambda_{\text{KS}} = 0,50 \text{ W}/(\text{m K})$). Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

- **Holzständerwandsystem**

Vergrößerung der vorhandenen Dämmstoffdicke von 40 mm + 100 mm auf 40 mm + 160 mm durch Verwendung von Ständern 60 mm · 160 mm. Daraus ergibt sich $U_{AW} = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

7.3.2 Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse

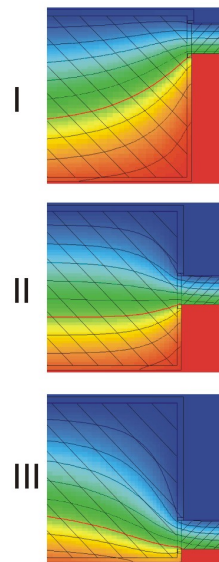
In den Tabellen 7.1 und 7.2 kann abgelesen werden, wie sich die Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ und die Temperaturfaktoren f bei den gewählten Szenarien verändern.

Zu erkennen ist, dass die thermische Qualität der Wand nur einen geringen Einfluss auf die Oberflächentemperaturen in der Laibung hat, während ein thermisch günstigerer Türrahmen durchgängig zu einer deutlichen Erhöhung der Temperaturfaktoren führt.

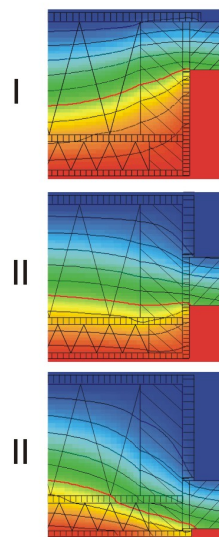
Monolithisches Wandsystem und Holzständerwandsystem

Das monolithische und das Holzständerwandsystem verhalten sich prinzipiell bei der Betrachtung der Ψ -Werte ähnlich, da in beiden Fällen über den gesamten Wandquerschnitt ein gleichmäßiger Temperaturabfall stattfindet. Dass die Entwicklung der Ψ -Werte bei den drei Szenarien dennoch unterschiedlich ausfällt, liegt daran, dass die Verbesserung des Wandsystems im einen Fall (Monolithisch) durch Minderung der Wärmeleitfähigkeit bei gleicher Wanddicke erreicht wird, im anderen Fall (Holzständerwandsystem) durch Vergrößerung der Wanddicke bei unveränderter Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes.

d. Zum Beispiel von [60, 90].

Monolithisches
Wandsystem

Ausgangslage: $U_{AW} = 0,51 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_F = 2,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem thermisch günstiger: $U_{AW} = 0,26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Türrahmen thermisch günstiger: $U_F = 0,93 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem und Türrahmen thermisch günstiger	
Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f
0,073	0,53	0,032	0,57	0,091	0,72	0,048	0,75
0,034	0,56	0,010	0,59	0,054	0,76	0,029	0,78
0,074	0,60	0,034	0,61	0,088	0,79	0,048	0,81

Holzständer-
wandsystem

Ausgangslage: $U_{AW} = 0,29 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_F = 2,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem thermisch günstiger: $U_{AW} = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Türrahmen thermisch günstiger: $U_F = 0,93 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem und Türrahmen thermisch günstiger	
Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f
0,008	0,59	0,018	0,61	0,021	0,77	0,034	0,77
0,002	0,61	0,008	0,63	0,013	0,80	0,021	0,80
0,010	0,63	0,021	0,64	0,021	0,81	0,035	0,81

Tabelle 7.1: Thermische Kennwerte von Türanschlüssen an monolithisches Mauerwerk und an Holzständerwandsysteme, differenziert nach der Geometrie.

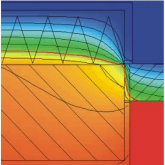
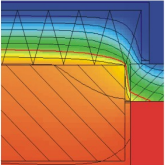
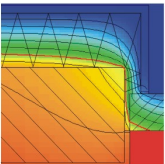
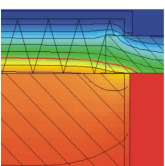
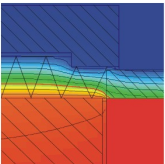
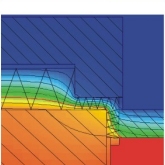
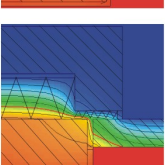
Außen- gedämmtes Wandsystem		Ausgangslage: $U_{AW} = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_F = 2,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem ther- misch günstiger: $U_{AW} = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Türrahmen ther- misch günstiger: $U_F = 0,93 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem und Türrahmen ther- misch günstiger			
		Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f		
I		0,063	0,65	0,077	0,65	0,056	0,84	0,067	0,85		
		0,008	0,69	0,021	0,75	0,022	0,87	0,035	0,88		
		0,041	0,69	0,052	0,69	0,057	0,86	0,067	0,87		
		0,018	0,65	0,024	0,66	0,016	0,83	0,021	0,84		
Zweischaliges Wandsystem (Massivbau)		Ausgangslage: $U_{AW} = 0,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_F = 2,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem ther- misch günstiger: $U_{AW} = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Türrahmen ther- misch günstiger: $U_F = 0,93 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		Wandsystem und Türrahmen ther- misch günstiger			
		Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f	Ψ (W/(mK))	f		
		I		0,073	0,62	0,084	0,64	0,032	0,83	0,043	0,83
				0,105	0,62	0,106	0,64	0,090	0,82	0,088	0,82
	0,136		0,76	0,160	0,74	0,092	0,86	0,094	0,86		

Tabelle 7.2: Thermische Kennwerte von Türanschlüssen bei außengedämmten und zweischaligen Wandsystemen, differenziert nach der Geometrie.

Bei dem monolithischen Wandsystem bietet sich zur Minimierung des Ψ -Wertes die mittige Einbaulage (II) an. Die Oberflächentemperaturen sind am günstigsten bei innerer Einbaulage.

Auch beim Holzständerwandsystem sind die geringsten Wärmeverluste bei mittiger Einbaulage zu erreichen. Die günstigsten Oberflächentemperaturen stellen sich bei innerer Einbaulage ein.

Außengedämmtes Wandsystem

Bei dem außengedämmten Wandsystem sorgt eine Überdämmung des Blendrahmens – ebenso wie eine außenseitige Laibungsdämmung – für höhere Oberflächentemperaturen im Anschlussbereich. Je weiter der Blendrahmen überdämmt wird, desto schmaler wird er allerdings in der Außenansicht. Dies hat auch gestalterische Auswirkungen auf die Fassade.

Die Höhe der Wärmebrückenverluste ist bei Variante I und III des außengedämmten Wandsystems recht ähnlich, hat aber unterschiedliche Ursachen: Bei I ist dies die kurzfristige Unterbrechung zwischen Dämmung und Rahmen, an der die Isothermen sehr stark eingeschnürt werden. Bei Variante III wird im Gegensatz zu II die Dämmschicht in der Laibung auf den Rahmen geführt, dies bewirkt jedoch ein deutliches Abknicken der Isothermen und führt zu Querleitungen in diesem Bereich. Die Wärmebrückenverluste sind bei III größer als bei II. Durch die außenseitige Laibungsdämmung sind die Temperaturfaktoren bei III etwas günstiger als bei IV. Bei Variante II + IV ist die Höhe der Wärmebrücken am geringsten, da der Verlauf der Dämmung zwischen Wand und Tür nur wenig abgeknickt ist. Bei Variante IV sind die Oberflächentemperaturen nicht ganz so günstig wie bei den anderen Anschlussgeometrien, da keine Überdämmung des Anschlussbereiches über das Mauerwerk hinaus erfolgt.

Zweischaliges Wandsystem (Massivbau)

Bei dem zweischaligen Wandsystem führt Variante I zu relativ geringen Wärmebrückenverlusten, da die Dämmschicht ungestört in den Türrahmen übergeht. Die Variante II aus DIN 4108, Beiblatt 2 [12], ist von der Anschlussausbildung problematisch, da große Abstände zwischen Rahmen und Vormauerschale gedichtet werden müssen. Diese Probleme treten bei Variante III nicht auf, dort sind allerdings die Wärmebrückenverluste wegen des Außenmaßbezugs der Wandflächen größer. Die Oberflächentemperaturen sind bei Variante III mit Abstand am günstigsten, da die Unterbrechung der Dämmschicht durch den Anschlag sehr viel kürzer ist.

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass thermisch ungünstige Befestigungsmittel zu einem weiteren Abfall der Temperaturfaktoren führen (siehe Abbildung 7.1).

Kapitel 8

Thermische Auswirkung des Türschwellerbereiches

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Schwellenbereiches beschrieben, verschiedene Türschwellerprofile vorgestellt sowie die berechneten thermischen Kennwerte für den Schwellenbereich angegeben.

8.1 Einbau der Schwelle

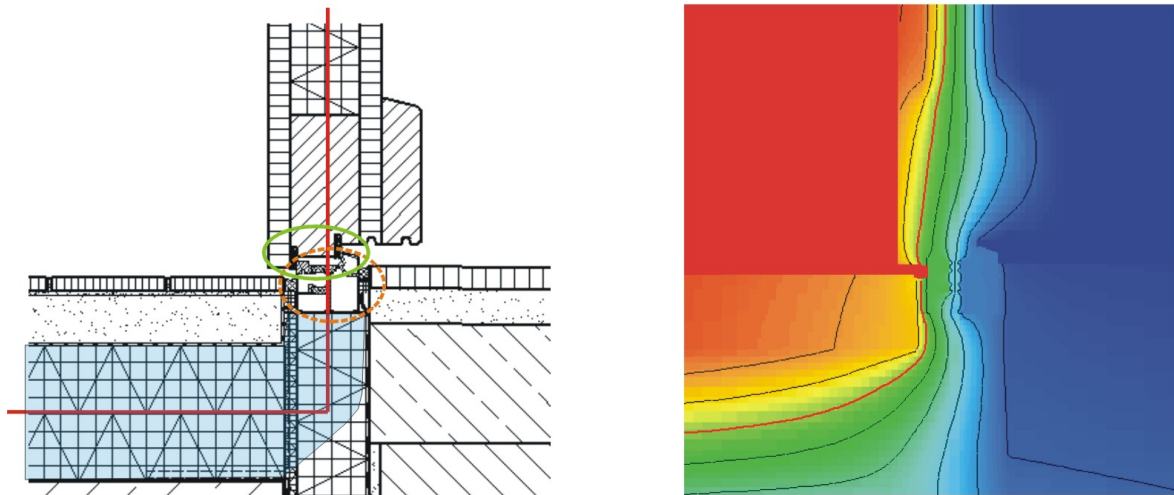
Zum Zeitpunkt des Einbaus der Außentür sind in der Regel weder der Roh- noch der fertige Oberboden vorhanden. Daher muss die Höhe des Fertigfußbodens festgelegt und durch Übertragung, z. B. vom Meterriss, eingemessen werden. Die unteren Enden des Türrahmens können in den Estrich und Boden eingestellt werden. An ihnen ist die Türschwelle befestigt, die den Fußbodenaufbau innen und außen trennt. Die Anschlussfugen müssen dicht ausgebildet werden. Durch eine thermische Trennung des Fußbodens werden die Wärmebrückenverluste der Schwelle und auch eine Übertragung von Trittschall geringer. Der Fußbodenbelag muss im Bereich des Türrahmens passend zum Rahmenprofil angearbeitet werden.

Bei Altbausanierungen trifft man häufig auf durchgehende Böden. Hier ist keine thermische Trennung zwischen Innen- und Außenklima gegeben. In diesen Fällen können als Kompromiss spezielle Bodenschienen – genauso wie der Türrahmen – auf den fertigen Boden aufgesetzt werden. Beim Einbau des Türelementes und beim Abdichten der Anschlussfugen muss sehr sorgfältig gearbeitet werden. [94]

8.2 Überlagerung von Wärmebrücken

Die Anschlussgeometrie im Schwellenbereich stellt sich noch komplexer dar als bei dem seitlichen Baukörperanschluss an das Wandsystem, da sich die folgenden Wärmebrückenursachen überlagern (siehe Abbildung 8.1):

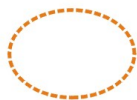
- Abknickung der Gebäudehülle von der Bodenplatte oder Kellerdecke zum Wandsystem bzw. zur Tür: geometrisch bedingte Wärmebrücke.



Abknickung der Gebäudehülle zwischen Boden und Tür



Reduzierung der Dämmschichtdicke zwischen Boden und Tür



Unterbrechung der Dämmung durch das Schwellenprofil



Unterbrechung der Dämmung durch die Dichtprofile

Abbildung 8.1: Überlagerung verschiedener Wärmebrücken im Schwellenbereich

- Reduzierung der Dämmschichtdicke zwischen Bodenplatte und Tür: geometrisch bedingte Wärmebrücke.
- Unterbrechung der Dämmschicht durch das Schwellenprofil: Materialbedingte Wärmebrücke.
- Unterbrechung der Dämmschicht durch die Dichtprofile: Materialbedingte und geometrisch bedingte Wärmebrücke.

Die Bereiche können nicht getrennt betrachtet werden, da einzelne Wärmebrückenverluste nicht addiert werden können, um die gesamte Wärmebrückenwirkung an einer Stelle zu ermitteln. Durch Variation einzelner Parameter bei der Ermittlung der Kennwerte kann der Einfluss der einzelnen Wärmebrückenursachen erkannt werden.

Bei der numerischen Berechnung werden folgende Parameter variiert:

- Material der Türschwelle bzw. Ausführung des Türschwellenprofils
- Breite des Dämmstreifens zwischen Außenbereich und Innenboden
- Anzahl der Dichtebenen an der Schwelle

8.3 Materialtechnische Alternativen der Türschwelle

Die Türschwelle wurde in der Vergangenheit häufig durch eine Metallwinkelschiene gebildet, die jedoch nur eine minimale thermische Trennung vom Innen- zum Außenklima ermöglichte. Eine effiziente Trennung kann nur mit breiteren Profilen erfolgen. In Abbildung 8.2 werden konfektionierte Türschwellen dargestellt, die das Einfügen einer Dämmschicht zwischen Innen- und Außenboden ermöglichen.

Holzschwellen sind als Teile des Blendrahmens ausgebildet und haben in der Regel die gleiche Dicke. Bei ihnen können die Dichtungsebenen des Blendrahmens ohne Versatz auch im Schwellenbereich durchlaufen. Das Einfügen einer Dämmschicht zwischen Innen- und Außenboden lässt sich mit Holzschwellen einfach realisieren.

Aus dem Bereich der Kunststofftüren kommen Metallprofile mit Kunststoffüberzug, diese Profile werden aber auch bei Holz- und Aluminiumtüren verwendet, zum Beispiel von [111]. Hier wirken der Kunststoff bzw. eingeschlossene Luftkammern als thermische Trennung.

Bei Aluminiumprofilen wird erst in jüngerer Zeit eine thermische Trennung, meist in Form von Kunststoffstegen, eingefügt.

Für die Ermittlung der thermischen Kennwerte wurden die folgenden Fälle untersucht:

- Holzschwelle
- Holzschwelle im Sandwichtaufbau
- Metallprofil mit Kunststoffüberzug

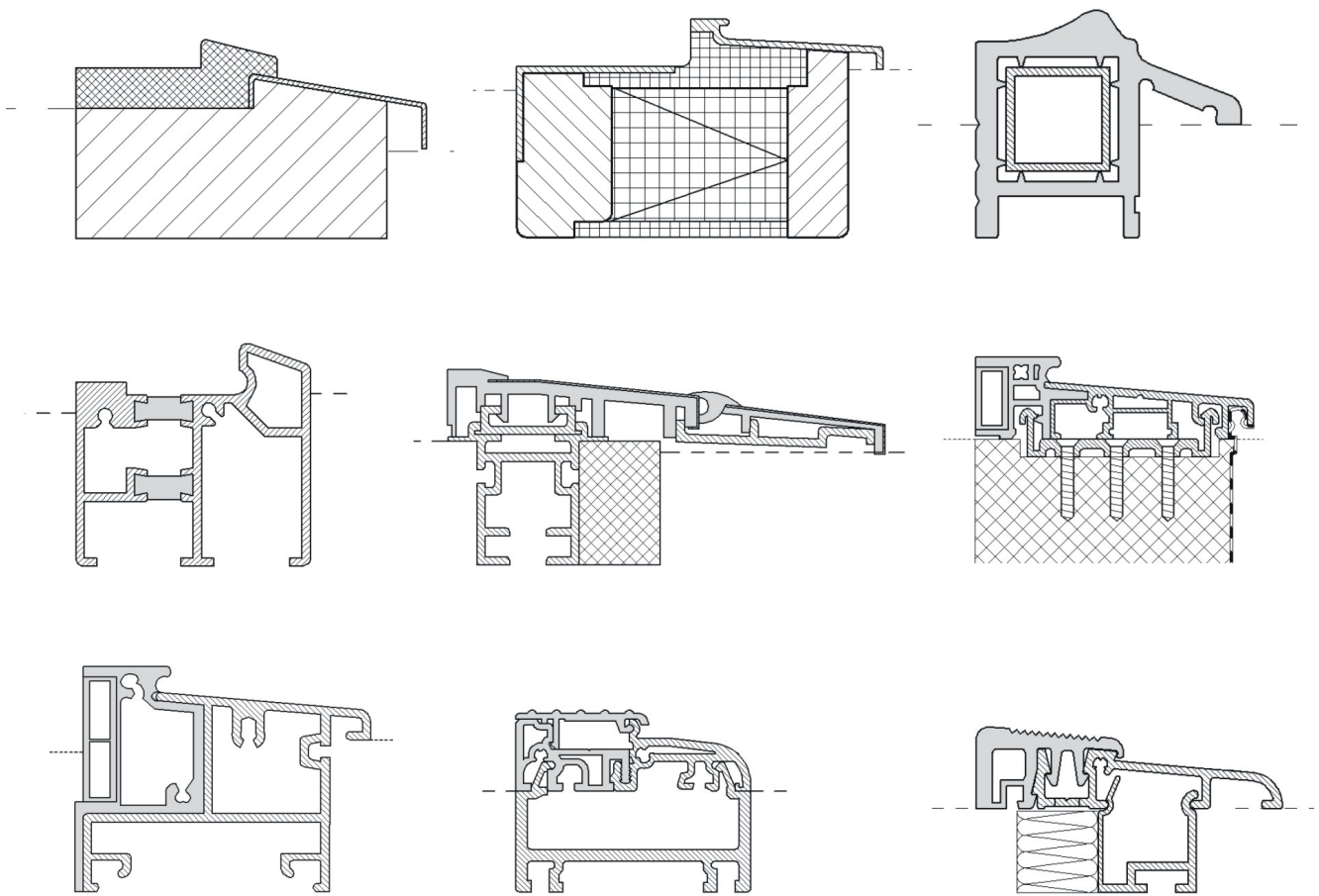


Abbildung 8.2: Schematische Darstellung unterschiedlicher konfektionierter Türschwellen und -profile. Von oben links nach unten rechts: Holzschwelle mit Kunststoffabdeckung, PU-gedämmte Holzschwelle, Metallprofil mit Kunststoffüberzug und verschiedene thermisch getrennte Metallprofile [85, 59, 111, 100, 49, 114, 72, 47, 69].

- Aluminiumprofil ohne thermische Trennung
- Aluminiumprofil mit 10 mm thermischer Trennung
- Aluminiumprofil mit 20 mm thermischer Trennung

Aluminiumschwellen mit 20 mm thermischer Trennung sind bisher auf dem Markt nicht zu finden, werden aber trotzdem untersucht, da im Rahmenbereich diese Breite möglich ist und sie eine weitere Verbesserung der Kennwerte bewirkt.

8.4 Betrachtete Schwellenausbildungen

Außer dem Material der Türschwelle wurde die Breite der Dämmung unter dem Schwellenprofil variiert: 10 mm, 60 mm und 100 mm. Eine Breite von 10 mm ist bei Metallwinkelschienen die

maximal mögliche Dämmstoffbreite. Die 60 mm entsprechen der empfohlenen Dämmschichtbreite aus DIN 4108, Beiblatt 2 [12], die um die gesamte Gebäudehülle laufen soll, um u. a. in den Anschlussbereichen ausreichend hohe Temperaturfaktoren zu erhalten. Die Breite von 100 mm wurde als obere Grenze gewählt, da eine Voruntersuchung zeigte, dass bei Breiten über 100 mm keine wesentliche energetische Verbesserung mehr möglich ist.

Es wurde bei der Berechnung angenommen, dass die Dämmschicht außen nur durch ein Blech o. Ä. von dem Außenklima getrennt ist. Wird der Außenboden zum Beispiel in Beton ausgeführt, so stellen sich im Bereich vor der Dämmschicht nahezu Außentemperaturen ein. Die Ergebnisse sind daher auf diesen Fall übertragbar.

Eine weitere Variation war die Anzahl der Dichtebenen im Türschwellenbereich. Bei zwei Dichtebenen wurde zwischen den Dichtungen ein Abstand von 25 mm angenommen.

Die Berechnungen wurden für eine nichtunterkellerte Anschluss-Situation durchgeführt, da die Modellbildung und der Berechnungsansatz für die erdreichberührenden Bauteile unterkellertes Gebäude normativ ungerichtet ist (siehe Abschnitt 4.6.1).

Es wurden folgende Wärmedurchgangskoeffizienten der Bodenplatte und der Tür angenommen: $U_{\text{Boden}} = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ und $U_{\text{D}} = 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

8.5 Berechnung der thermischen Kennwerte: Ergebnisse

Die thermischen Kennwerte sind in Tabelle 8.1 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass insgesamt die Temperaturfaktoren im Schwellenbereich relativ niedrig und die Wärmebrückenverluste sehr hoch sind.

Bei der minimalen thermischen Trennung von 10 mm, die bei der Mehrzahl der Gebäude im Bestand noch unterschritten wird, kommt es sehr häufig zu Tauwasserausfall und im Winter zu Vereisungen. Schäden in der Bausubstanz können die Folge sein.

Das Einfügen eines breiteren Dämmstreifens unter der Türschwelle als einzige Maßnahme führt nicht zu deutlich günstigeren Kennwerten. Erst mit einer zweiten Dichtebene an der Türschwelle ist eine Anhebung der f-Werte und eine Reduzierung der Wärmebrückenverluste möglich.

Bei den Holzschwellen liegt keine gravierende Unterbrechung der thermischen Trennung vor, so dass bei steigender Dämmbreite ein sinkender Wärmebrückenkoeffizient und steigende Oberflächentemperaturen festzustellen sind.

Das Metallprofil ohne thermische Trennung stellt dagegen eine derart große Störung der Wärmedämmung dar, dass trotz steigender Breite der Dämmung der Wärmebrückenkoeffizient steigt. Die Oberflächentemperaturen sinken sogar leicht, da mit zunehmender Profilbreite der Anteil des in der Außenluft liegenden Metalls größer wird und der außenliegende wärmeabgebende Bereich größer ist als der Bereich, der innen die Raumwärme aufnimmt.

Bei Aluminiumschwellen werden ab einer Breite der thermischen Trennung von 10 mm Temperaturfaktoren über 0,6 erreicht, sofern zwei Dichtebenen vorliegen. Wichtig ist, dass diese

Türschwelle

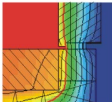
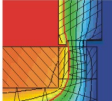
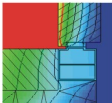
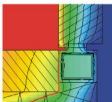
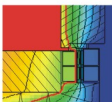
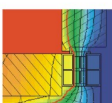
		Breite des Dämmstreifens im Boden									
		10 mm		60 mm		100 mm					
		1 Dichtebene		2 Dichtebenen		1 Dichtebene		2 Dichtebenen			
		Ψ	f	Ψ	f	Ψ	f	Ψ	f		
		(W/(mK))		(W/(mK))		(W/(mK))		(W/(mK))			
Holzschwelle		0,97	0,22	0,58	0,31	0,44	0,61	0,54	0,32	0,40	0,62
Holzschwelle (Sandwich)		-	-	0,52	0,34	0,39	0,62	0,48	0,35	0,35	0,64
Aluminiumprofil, ohne therm. Trennung		1,45	0,23	1,61	0,20	1,47	0,23	1,66	0,18	1,55	0,24
Stahlprofil mit Kunststoffüberzug		0,98	0,25	0,86	0,29	0,71	0,52	0,77	0,30	0,58	0,60
Aluminiumprofil, 10 mm therm. Trennung		-	-	1,06	0,40	0,73	0,60	0,97	0,40	0,74	0,60
Aluminiumprofil, 20 mm therm. Trennung		-	-	0,83	0,42	0,60	0,65	0,81	0,42	0,60	0,65

Tabelle 8.1: Thermische Kennwerte des Schwellenbereiches bei einem nichtunterkellerten Gebäude. Die Isothermenkarten entsprechen der Situation 60 mm Dämmung und 2 Dichtebenen. Eine vergrößerte Darstellung der Isothermenkarten befindet sich auf Seite 169 im Anhang.

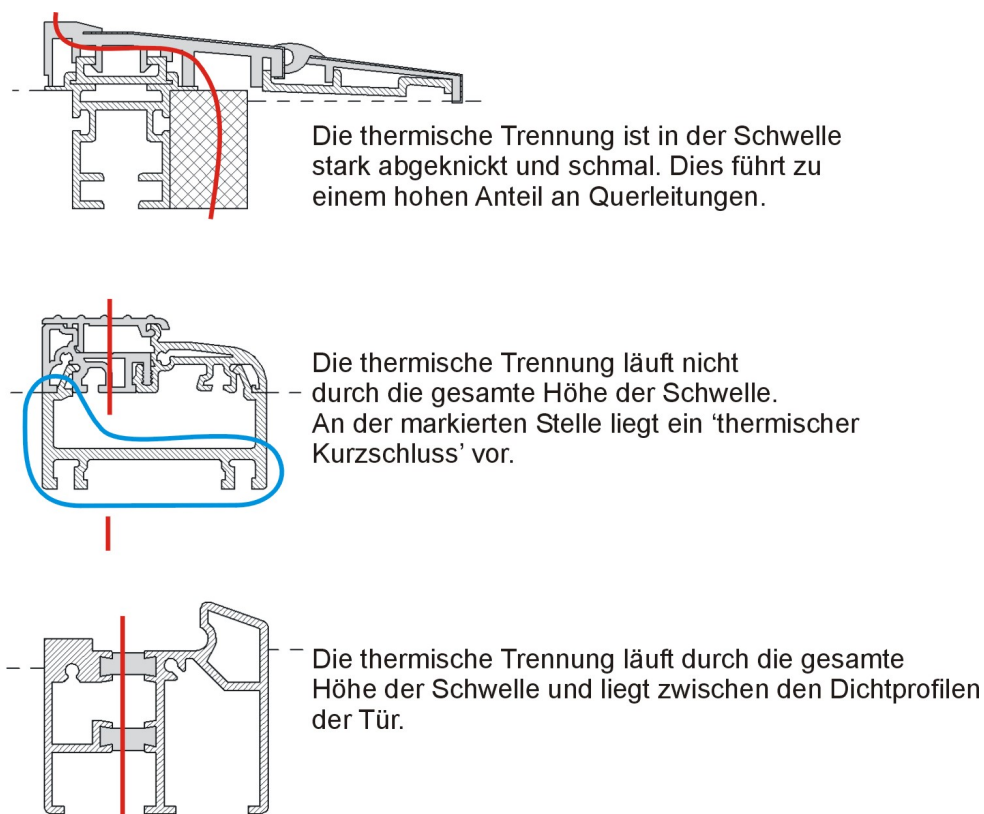


Abbildung 8.3: Zur thermischen Trennung bei Aluminiumprofilen

Kunststoffstege an der Stelle liegen, an der die Dichtprofile auflaufen, damit eine ununterbrochene thermische Trennung durch den Anschluss geht. Außerdem muss die thermische Trennung über die gesamte Schwellenhöhe durchgeführt sein (siehe Abbildung 8.3).

Läuft das Schwellenholz im Holzbau unter der Eingangstür durch, so wird die Breite der auf der Bodenplatte liegenden Dämmung an dieser Stelle etwas reduziert. Dies mindert den Ψ -Wert um ca. $0,01 \text{ W}/(\text{m K})$.

Bei breiteren Türen sind je nach Türschwelleprofil eine oder mehrere Laschen zur Unterstützung erforderlich. Der punktförmige Wärmebrückenkoeffizient durch diese Maßnahme beträgt $\chi = 0,007 \text{ W}/\text{K}$. Auch durch Auflage auf einen statisch belastbaren Dämmblock kann eine Unterstützung der Türschwelle geschehen. In dem Fall kommt es zu keiner Wärmebrücke.

Es konnte festgestellt werden, dass die Oberflächentemperaturen an der Schwelle derart stark von der geometrisch bedingten und materialbedingten Wärmebrücke der Schwelle und der Türdichtung beeinflusst sind, dass sich auch bei unterkellerten Gebäuden die gleichen Temperaturfaktoren im Anschlussbereich einstellen.

Kapitel 9

Maßnahmen zur thermischen Optimierung

In diesem Kapitel werden zunächst die – sich zum Teil widersprechenden – Anforderungen an Außentüren dargestellt. Im Anschluss daran wird ein Konzept der thermischen Optimierung vorgestellt, mit dessen Hilfe bereits bei der Planung Wärmebrücken minimiert und die Oberflächentemperaturen damit im akzeptablen Bereich gehalten werden. Anhand von Maßnahmenkatalogen werden die Aspekte zusammengefasst, die bei der Planung zu berücksichtigen sind. Am Ende des Kapitels wird eine exemplarische Einbausituation einer Außentür im Holzbau dargestellt.

9.1 Anforderungsgefüge Außentür

An das System Außentür werden eine Vielzahl von Anforderungen gestellt. Dies sind neben dem Bereich der Gestaltung insbesondere die folgenden Bereiche (siehe auch Abbildung 9.1):

- **Dichtheit:**
Die Gebäudehülle ist so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig – entsprechend dem Stand der Technik – abgedichtet ist. Die Fugendurchlässigkeit von Funktionsfugen (zum Beispiel bei Fenstern und Türen) muss festgelegten Anforderungen genügen (Energieeinsparverordnung (EnEV) [58]).
Zum Bereich Dichtheit gehört auch – über den Bereich des Wärmeschutzes hinaus – die Schlagregendichtheit sowie die ausreichende Wasserdampfdiffusionsdichtheit des Türelementes und der Anschlüsse.
- **Schallschutz:**
Bei einer Grundrissgestaltung ohne Windfang liegt zum Teil unmittelbar hinter der Haustür ein Aufenthaltsraum. In diesem Fall sollte die Außentür ausreichenden Schallschutz bieten.
- **Energiesparender Wärmeschutz:**
Der Heizenergiebedarf eines Gebäudes ist nach den Anforderungen der EnEV zu begrenzen; dies schließt die Außentür ein.

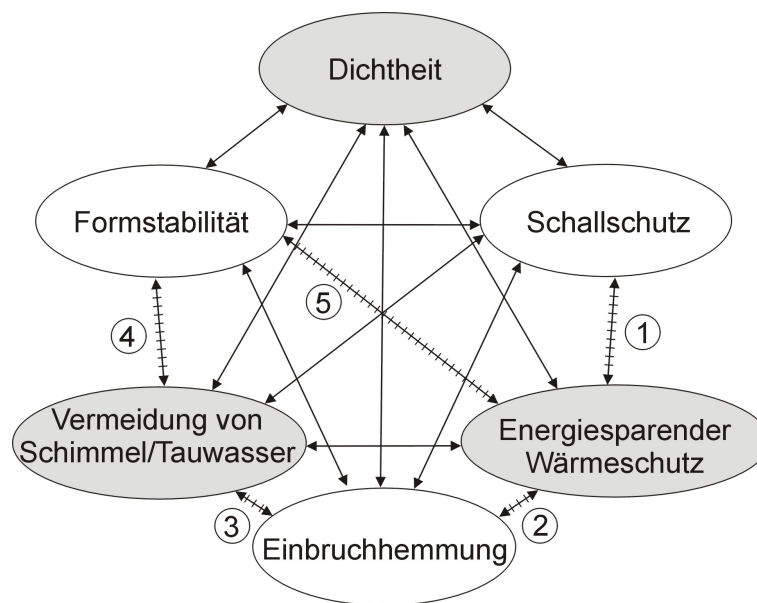


Abbildung 9.1: Anforderungsgefüge des Außentürsystems. Grau unterlegt sind die Anforderungen, die sich aus der Energieeinsparverordnung und begleitenden Normen ergeben. Widersprüche zwischen den Anforderungen sind mit durchgestrichenen Pfeilen markiert.

- **Einbruchhemmung:**

Da ein großer Teil der Einbrüche^a über Außentüren erfolgt, ist eine Haustür mit Mehrfachverriegelung, Schutzbeschlägen und evtl. auch zusätzlichem Sicherungsbolzen zum Schutz des Eigentums sinnvoll.

- **Vermeidung von Schimmelpilzen und Tauwasserbildung:**

Unter Zugrundelegung üblicher Nutzung muss an jeder Stelle der Innenoberfläche bei ausreichender Beheizung und Lüftung ein hygienisches Raumklima sichergestellt werden. Dies beinhaltet, dass Tauwasserfreiheit auch in Ecken gegeben ist sowie das Risiko der Schimmelpilzbildung verringert wird (EnEV, DIN 4108-2 [14], DIN EN ISO 13788 [36]).

- **Formstabilität:**

Die Formstabilität ist entscheidend für die Dichtigkeit des Gebäudes sowie für die Wärme- und Schalldämmung (Reduzierung des Fugenschalldämmmaßes). Der Grenzwert der Verformung liegt nach der Differenzklimaprüfung der RAL Güte- und Prüfbestimmungen bei 4,5 mm^b [98]. Im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit von Lippendichtungen sollte ein Wert von 3,5 mm jedoch nicht überschritten werden [92].

Weggelassen wurde hier die Anforderung des Feuereschutzes, da der Einsatz von Feuereschutztüren in der Regel nur bei Gebäuden besonderer Art und Nutzung gefordert wird, beispielsweise bei Krankenhäusern oder Verwaltungsgebäuden [109]. Diese Türen trennen meist jedoch nur einen unbeheizten Treppenraum vom Außenklima und gehören daher nicht zum Fokus dieser

a. 20–35 % nach [92]

b. Messung der Verformung nach DIN EN 952 [6].

Arbeit.

Grau unterlegt sind in der Abbildung die Anforderungen, die sich aus der Energieeinsparverordnung und begleitenden Normen ergeben. Mit durchgestrichenen Pfeilen sind die Stellen markiert, an denen Widersprüche zwischen den Anforderungen bestehen (Nr. 1 bis 5):

1. Die Verbesserung des Schallschutzes über die Erhöhung des Flächengewichtes der Tür durch zum Beispiel Faserhart- oder Spanplatteneinlagen steht den Wärmedämmmaßnahmen entgegen. Wird dagegen das Flächengewicht mit einer speziellen Schalldämmmatte erhöht, verbleibt Platz für Dämmschichten. Ein mehrschaliger Aufbau des Türblattes ist sowohl für den Wärme- als auch für den Schallschutz günstig.
2. Die Widerstandsfähigkeit einer Tür gegen statische oder dynamische Belastung (zum Beispiel Schulterwurf oder Gegentreten des Täters) ist bei Dämmstoffeinlagen relativ gering. Eingeschäumte oder eingeleimte Filigrangitter oder Metallfolien (beispielsweise von [114]) als Durchbruchhemmung verbessern die Einbruchhemmung bei nur geringer thermischer Beeinträchtigung.
3. Metallische Komponenten des Beschlags lassen sich nur bedingt vermeiden. In diesen Bereichen sinken die raumseitigen Oberflächentemperaturen aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit der Metalle. Eine außenseitig angeordnete Dämmschicht reduziert die thermischen Auswirkungen.
4. Die Aussteifungsprofile senken die Oberflächentemperaturen zum Teil erheblich. Thermisch günstigere Aussteifungsmaßnahmen mindern die Problematik erheblich.
5. Die Wärmebrücken an den Aussteifungsprofilen führen zu zusätzlichen Wärmeverlusten. Thermisch günstigere Aussteifungsmaßnahmen mindern auch hier die Probleme.

In den nächsten Abschnitten werden Möglichkeiten beschrieben, wie bei gutem Wärmeschutz auch die Aspekte Schallschutz, Formstabilität und Einbruchhemmung Berücksichtigung finden.

9.2 Konzept der thermischen Optimierung

9.2.1 Dichtheitskonzept von Schmid

Für die Beschreibung des Dichtheitskonzeptes von Gebäuden wird in der Literatur z. T. das Ebenenmodell von Schmid verwendet. Es unterscheidet bei der Abdichtung:

- Ebene 1: Trennung von Raum- und Außenklima (luftdicht)
- Ebene 2: Funktionsbereich (dieser Bereich muss vom Raumklima getrennt und dauerhaft trocken sein)
- Ebene 3: Wetterschutz (Schutz vor Eintritt von Regenwasser)

(zitiert nach [107])

Diese Funktionsebenen müssen das Gebäude lückenlos umschließen und auch in den Anschlussbereichen ungestört umlaufen.

9.2.2 Erweiterung des Konzeptes von Schmid um den Bereich der Wärmedämmung

Der Bereich zwischen Ebene 1 und 3 wird bei dem Ebenenmodell von Schmid als ‚Funktionsbereich‘ nicht näher ausgeführt. Dieser Bereich kann u. a. den Schallschutz, Brandschutz oder eben die Wärmedämmung übernehmen. Das Modell von Schmid wird daher für diese Arbeit erweitert um die Wärmedämmung im Funktionsbereich, die zur thermischen Optimierung erforderlich ist (siehe Abbildung 9.2). Außerdem werden hinsichtlich der Dichtheit die in Kapitel 2 beschriebenen Begriffe Dampf-, Luft-, Wind- und Niederschlagsperre verwendet (siehe auch Abbildung 2.4 auf Seite 42).

Die raumseitig gelegene Luft- und Dampfsperre hat einen relativ hohen Diffusionswiderstand und verhindert bzw. begrenzt den Feuchteintritt in das Bauteil aufgrund von Konvektion und Dampfdiffusion. Die außenseitig der Bauteile gelegene Windsperre hat einen entsprechend geringeren Diffusionswiderstand und verhindert Luftströmungen von außen in den Dämmstoff hinein und wieder nach draußen, um die Wirksamkeit des Dämmstoffes zu gewährleisten. Die Niederschlagsperre ist die am weitesten nach außen vorgelagerte Ebene der Wasserableitung. Zu den verschiedenen Dichtheitsbegriffen siehe auch die schematische Darstellung in Abbildung 2.4 auf Seite 42. Werden die Wetterschutzfunktionen der Niederschlag- und Windsperre von einer Schicht übernommen, so ist dieses System einstufig. Von einem zweistufigen System wird gesprochen, wenn die Niederschlagsperre räumlich von der Windsperre getrennt ist.

Die Wärmedämmung in dem Hüllenmodell kann durch Dämmstoffe erfolgen oder durch Bauteilschichten, die zwar nicht zu den Dämmstoffen zählen, aber aufgrund ihrer relativ niedrigen Wärmeleitfähigkeit eine Wärmedämmung bewirken, wie beispielsweise Holz. An Stelle des Begriffs ‚Wärmedämmung‘ kann daher auch von der ‚wärmedämmend wirksamen Schicht‘ gesprochen werden.

Die Lage der Wärmedämmung außen vor den statischen und anderen Funktionen gewährleistet höhere Temperaturen im Bauteil und mindert damit die Gefahr des Tauwasserausfalls im Querschnitt. Daher sollte bei Alternativen die äußere der mittig oder raumseitig angeordneten Dämmschicht vorgezogen werden.

Wesentlich ist, dass die Wärmedämmung ohne große Abknickungen, ohne Einschnürungen oder Durchdringungen möglichst das gesamte beheizte Gebäudevolumen einschließlich der Anschlussbereiche umschließt.

Für den betrachteten Bereich der Außentür bedeutet dies, dass innerhalb des Türrahmens und Türblattes und in den Anschlussbereichen zur Verglasung bzw. zur Füllung sowie zum Baukörper eine möglichst ungestörte Wärmedämmschicht verlaufen muss. Jede Abknickung, Unterbrechung und Einschnürung der Wärmedämmung führt zu erhöhten Wärmequerleitungen und Wärmebrückenverlusten sowie verminderten Oberflächentemperaturen (siehe Abbildung 9.3). Die Funktion der Wärmedämmung muss nicht zwingend von einem Dämmstoff übernommen werden, sondern kann beispielsweise bei Holztüren durch das Holz und bei Me-

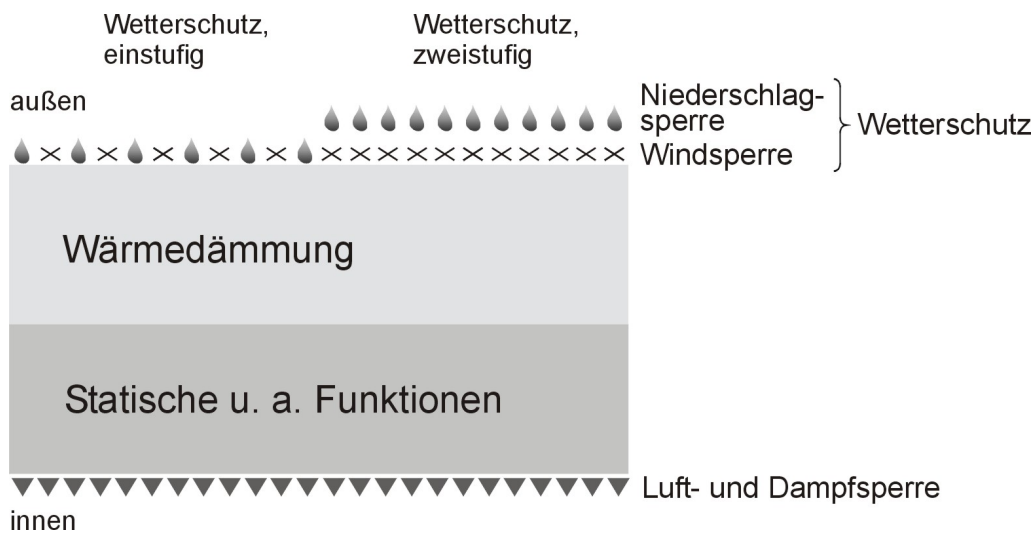


Abbildung 9.2: Hüllenmodell zur thermischen Optimierung: Die Wärmedämmung muss lückenlos um das gesamte Gebäude herumgeführt werden, so wie auch die Luft-, Dampf-, Wind- und Niederschlagsperre das Gebäude umschließen.

taltüren durch die thermische Trennung in Form von Kunststoffstegen erfolgen.

Die in der Abbildung 9.2 aufgeführten Funktionen können zusammen von einer Bauteilschicht übernommen werden, wie zum Beispiel bei einem lackierten Vollholzrahmen. Oft werden die Funktionen jedoch von verschiedenen Bauteilschichten übernommen:

- Bei Holz-Aluminium-Rahmen übernimmt das Aluminium den Wetterschutz und das Holz die übrigen Funktionen.
- Bei Metallrahmen gewährleisten die Kunststoffstege zwischen den Metallschalen die thermische Trennung, während der Wetterschutz sowie die Luft- und Dampfsperre durch die Metallschalen übernommen werden.

9.3 Maßnahmen Außentür

Es folgen zunächst in Form eines Maßnahmenkataloges die Aspekte, mit denen bereits in der Planung Schwachstellen vermieden werden können. Im Anschluss werden einzelne Aspekte näher ausgeführt.

9.3.1 Maßnahmenkatalog

- Der Wärmedurchgangskoeffizient für Außentüren muss nach DIN EN ISO 10077-1 [23] und E DIN EN ISO 10077-2 [24] (siehe Abschnitt 4.4 auf Seite 60) berechnet oder mittels des Heizkastenverfahrens DIN EN ISO 12567-1 [33] bestimmt werden. Je niedriger der Wärmedurchgangskoeffizient liegt, desto seltener sind Probleme durch Tauwasserausfall und desto höher ist das Wärmedämmniveau der Tür. Zur

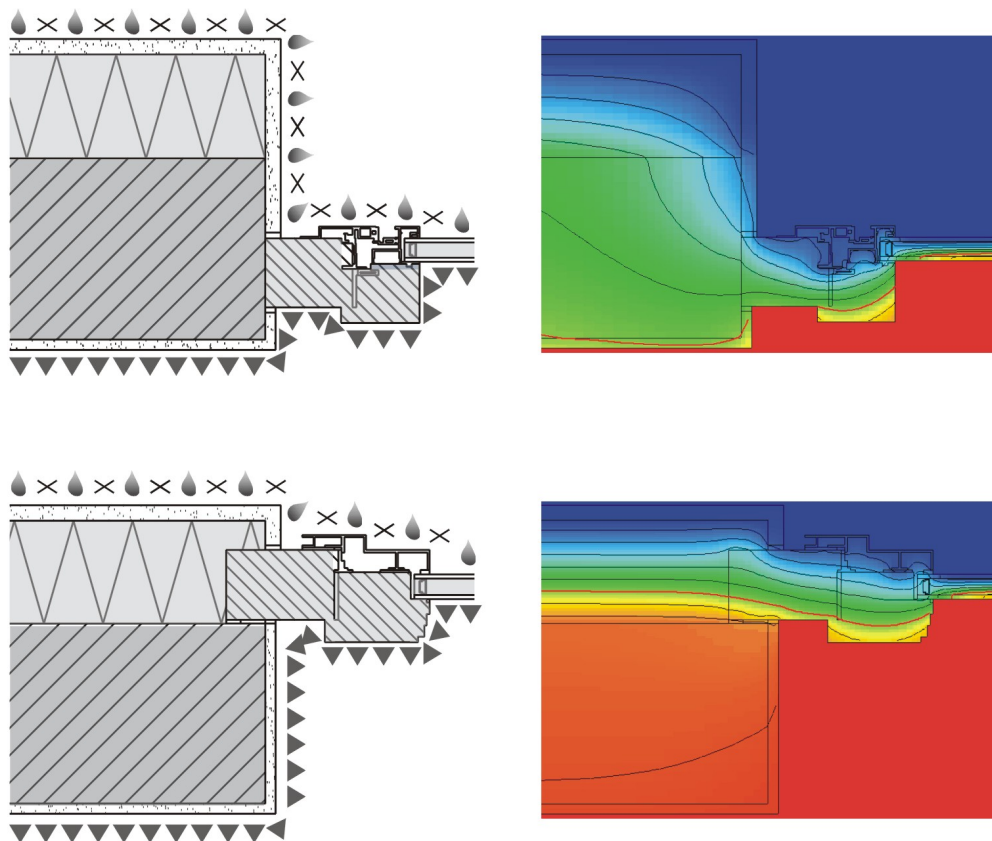


Abbildung 9.3: Tür-Wand-Anschluss: oben eine thermisch ungünstige Ausführung mit unterbrochener und versetzter Wärmedämmung (zwischen Wand und Türrahmen und zwischen dem Holz des Türrahmens und Verglasung) und unten thermisch günstiger mit durchgeführter Wärmedämmung. Deutlich zu sehen ist dies im Isothermenverlauf und bei den raumseitigen Oberflächentemperaturen.

Abschätzung der f - und U -Werte können die Tabellen 5.1 auf Seite 85, 5.2 auf Seite 87 sowie 5.3 auf Seite 92 herangezogen werden. Die Möglichkeit der Interpolation zwischen den betrachteten Türdicken wird in der Abbildung 5.10 auf Seite 89 exemplarisch dargestellt.

- Wahl einer energiesparenden Verglasung: Bei einer üblichen Außentürorientierung zur Nord-West-, Nord- oder Nord-Ost-Seite des Gebäudes sind solare Warmegewinne der Verglasung (und damit der g -Wert) nicht sehr relevant. So kann die Auswahl der Verglasung primär nach dem Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung U_G geschehen.
- Wahl einer energiesparenden Füllung bzw. Einlage mit niedriger Wärmeleitfähigkeit. Die niedrigsten Werte werden zur Zeit mit Vakuumpanelen (beispielsweise von [108]) erreicht: Bei einer Bautiefe von 26 mm wird ein Wärmedurchgangskoeffizient von $0,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ erzielt.
- Zur Verringerung der Wärmebrücke des Glasrandbereiches kann der Glaseinstand erhöht oder thermisch günstige Glasabstandhalter verwendet werden (siehe Abschnitt 9.3.2).

- Die Dichtheit im Glasrandbereich bzw. zwischen Rahmen und Füllung muss durch geeignete Dichtprofile bzw. eine Versiegelung sichergestellt werden.
- Durch einen ausreichend hohen raumseitigen Wasserdampfdiffusionswiderstand (Dampfsperre) muss Tauwasserbildung im Bauteil, die durch Erhöhung der Stoff-Feuchte zu Materialschäden oder zur Beeinträchtigung der Funktionssicherheit führen kann, vermieden werden. Der rechnerische Tauwassernachweis ist nach DIN 4108-3, Anhang A [15], durchzuführen. Für Außentüren, die ausschließlich aus wasserdampfdiffusionsdichten Elementen gefertigt werden, ist kein Tauwassernachweis erforderlich [15].

Die Dampfsperre kann durch geeignete Oberflächenbeschichtung, Einleimung von dünnen Aluminiumfolien in die Deckschichten oder durch Einlage einer geeigneten Folie (beispielsweise in Sperrtüren) gebildet werden.

- In Abhängigkeit von der Türgröße und der Türkonstruktion müssen bei Holztüren geeignete Aussteifungsmaßnahmen gewählt werden, siehe Abschnitt 9.3.3.
- Sofern gefordert, muss zur Gewährleistung einer ausreichenden Formstabilität eine Differenzklimaprüfung nach DIN EN 1121 [10] durchgeführt und die Ergebnisse nach DIN EN 12219 [29] angegeben werden.
- Die Wärmebrückenwirkung der Aussteifungsmaßnahmen ist zu minimieren. Dies kann geschehen durch Kombination der Aussteifungsmaßnahmen mit thermischer Trennung, zum Beispiel in der Art von AP-5, AP-6 oder A-7 auf Seite 95.
- Zur Vermeidung der Wärmebrückenverluste ist die günstigste Lage der Wärmedämmung außen, da so bei Türen die Elemente des Beschlags, die Aussteifungsprofile und bei Verglasungen auch der Glasrand überdämmt werden. Liegt die Wärmedämmung mittig im Türrahmen, so unterbrechen die genannten Elemente die Dämmebene, und es entstehen größere Wärmebrücken als bei einer Außendämmung.

Eine Außendämmung des Türbereiches ist möglich beispielsweise durch eine wärmegeämmte Aufdopplung, für die Sandwichplatten verwendet werden, wie sie auch für Türfüllungen zum Einsatz kommen (auch als Sanierungsmaßnahme, siehe Abschnitt 9.3.4).

- Zur Verringerung der Wärmebrücke des Schlosskastens kann eine thermische Trennung im Schlossbereich durch Einsatz eines Halb-Schließzylinders (zum Beispiel Automatikschloss von [67]) und eines nicht durchgeführten Wechselstiftes (Scherenwechselstift) erfolgen (siehe Abschnitt 9.3.5). Durch beide Maßnahmen zusammen kann die Wärmebrücke im Schlossbereich um ca. 25 % gesenkt und der f-Wert um knapp 0,10 erhöht werden.
- Bei Wärmebrücken durch Aussteifungsprofile kann der Temperaturfaktor durch Querleitung der Wärme aus angrenzenden Oberflächen über das Anforderungsniveau gehoben werden (siehe Abschnitt 9.3.6, auch Sanierungsmaßnahme).
- Zum Schutz des Türbereiches vor direktem Witterungseinfluss durch Schlagregen oder Sonneneinstrahlung sollte ein Vordach oder besser ein Vorraum eingeplant werden

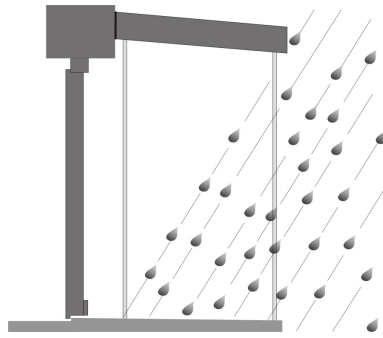


Abbildung 9.4: Schlagregen- und Sonnenschutz des Türbereiches durch ein Vordach.

(siehe Abbildung 9.4).

- Bei direkter Sonneneinstrahlung sollte berücksichtigt werden, dass die Farbgebung die Oberflächentemperaturen beeinflusst. An dunkelfarbenen Außenoberflächen konnten an windstillen Tagen Erwärmungen auf bis zu 80 °C festgestellt werden. Die Folgen sind Formänderungen und bei Holztüren gegebenenfalls Rissbildungen bzw. Harzaustritt. Helle Oberflächen und bewegliche Vorsatzschalen mindern die Belastungen. [92, 109]
- Ist die Tür nicht ausreichend vor Witterungseinflüssen geschützt, muss die Prüfung der Schlagregendichtheit nach DIN EN 1027 [8] durchgeführt und die Ergebnisse nach DIN EN 12208 [28] angegeben werden. [40]
- Die außenseitige Türoberfläche (ggf. auch die Aufdopplung) ist so auszubilden, dass Niederschlagswasser rasch abgeführt wird. Zur Ausbildung von Stößen und Fugen bei Holztüren siehe zum Beispiel [94].
- Bei der Fuge zwischen Blend- und Flügelrahmen ist eine ausreichende Fugendichtheit nur mit mindestens zwei umlaufenden Dichtungsebenen möglich. Zur Dichtung im Falzbereich siehe Abschnitt 9.3.7.
- Die Prüfung der Luftdurchlässigkeit (Luftdichtheit) des Gesamtelementes muss nach DIN EN 1026 [7] erfolgen, und die Ergebnisse müssen nach DIN EN 12207 [27] angegeben werden.
- Bei erhöhten Anforderungen an den Schallschutz kann das Flächengewicht der Tür durch Bleimatten statt durch Faserhart- oder Spanplatten erhöht werden. So verbleibt Platz für Dämmschichten (siehe Abschnitt 9.3.4).

9.3.2 Reduzierung der Wärmebrücke im Glasrandbereich

Liegt die Verglasung tiefer im Rahmenprofil, so überdeckt bzw. überdämmt das Rahmenmaterial den wärmetechnisch problematischen Glasabstandhalter der Verglasung. Durch Erhöhung dieses Glaseinstandes von 15 auf 30 mm können die Wärmebrückenverluste um 45 % reduziert werden. Der Temperaturfaktor steigt von 0,59 auf 0,68 (siehe Abbildung 9.5).

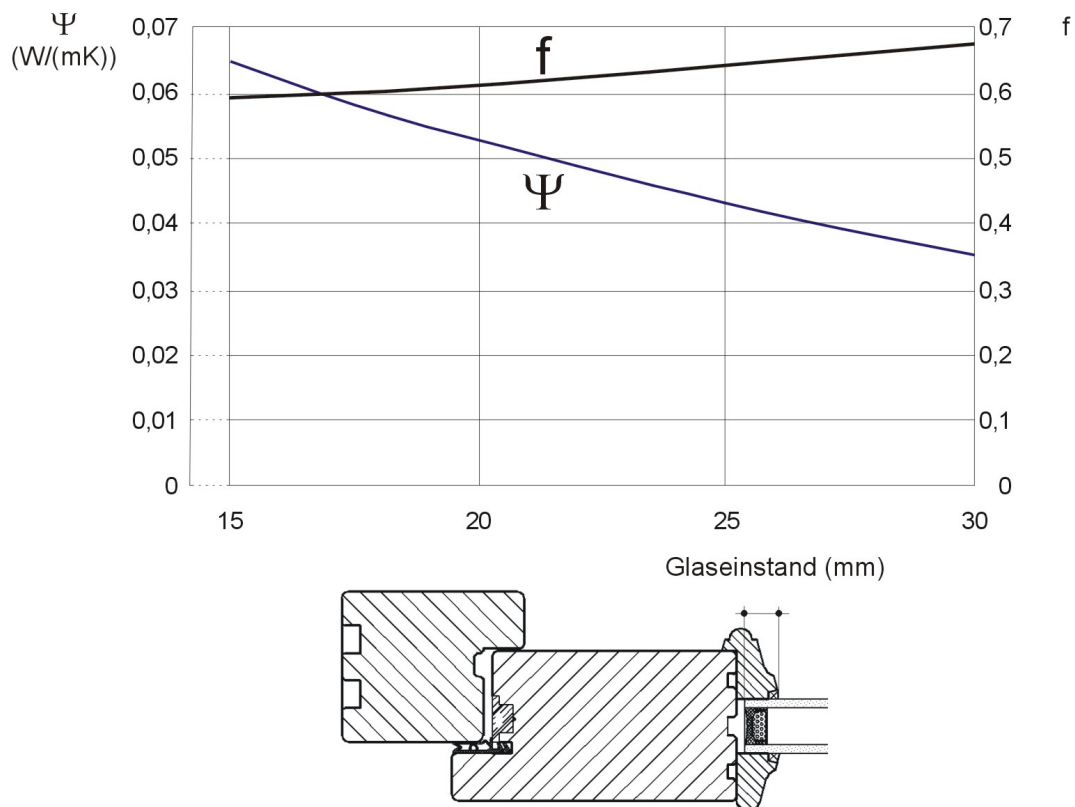


Abbildung 9.5: Auswirkung des Glaseinstandes auf die Wärmebrücke und den Temperaturfaktor im Glasrandbereich (Randbedingung: Vollholzrahmen und 2fach-Verglasung mit Aluminium-Abstandhalter)

Auch durch den Einsatz thermisch verbesserter Glasabstandhalter kann die Wärmebrückenwirkung im Glasrandbereich reduziert und damit die Oberflächentemperaturen erhöht werden. Diese Glasabstandhalter werden inzwischen von verschiedenen Firmen angeboten (siehe Tabelle 9.1).

9.3.3 Formstabilität des Türblattes

Die hygrothermischen Verformungen des Türblattes müssen durch konstruktive Maßnahmen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Für Holztüren kommen beispielsweise in Frage:

- Erhöhung der Türblattdicke
Eine Verdopplung der Türblattdicke hat ungefähr eine Halbierung der Verformung zur Folge. [92]
- Verwendung von Dampfsperren
Dampfsperren setzen die Feuchtigkeitsaufnahme herab und führen so zu geringeren Spannungen. Wegen der guten Verarbeitbarkeit und des hohen Diffusionswiderstandes eignet sich Aluminiumfolie (Dicke 0,1 bis 0,5 mm) besonders gut. Es ist darauf zu

Hersteller	Material	Materialstärke (mm)	Ψ (W/(m K))
Diverse	Aluminium	0,35	0,058
Lingemann	Edelstahl	0,18	0,040
Glas Trösch	Edelstahl	0,015	0,038
Swisspacer	Aluminium	0,03	0,037
Thermix	Edelstahl	0,10	0,030
SwisspacerV	Edelstahl	0,025	0,024
GFK-Werk	GFK	-	0,022

Tabelle 9.1: Thermischer Vergleich unterschiedlicher Glasabstandhalter bei einem Glaseinstand von 26 mm und 3fach Verglasung [81]

achten, dass die Folie so dimensioniert ist, dass sie zwar die Feuchtigkeit abhält, aber nicht bei Temperatureinwirkung so starke Maßänderungen aufweist, dass das Türblatt durch die Aluminiumfolie verformt wird. Bei Türblättern von ca. 50 mm Dicke wird eine 0,2 mm dicke Aluminiumfolie empfohlen, bei ca. 80 mm Dicke sind auch Folienstärken bis 0,5 mm möglich. [92]

Wichtig ist, dass die Dampfsperre auf der Warmseite und möglichst in oberflächen-nahen Schichten eingebaut wird, zum Beispiel direkt unter dem Deckfurnier. Da die Warmseite im Winter innen, aber im Sommer außen ist, empfiehlt [92], die Dampfsperre beidseitig einzubauen.

- Einbau von Aussteifungsprofilen

Aussteifungsprofile nehmen die beim Verformungsvorgang auftretenden Spannungen auf, sie können die Verformungen allerdings nie ganz verhindern.

Es werden meist Profile in Form von Flach-, Doppel-T-, U- oder Rechteckstählen verwendet, die einseitig längs auf der Schloss-Seite, beidseitig längs oder vierseitig als Rahmen eingebaut werden. Wesentlich ist, dass die Armierungen formschlüssig mit den Deckplatten bzw. dem Rahmen verbunden sind, um die Verformungen zu reduzieren.

Das Einbringen einer Metallaussteifung mit der gleichen Biegesteifigkeit wie der Massivholzrahmen führt zu einer Reduzierung der hygrothermischen Verformung um 50 %, während eine weitere Verdopplung der Biegesteifigkeit der Aussteifung eine Reduzierung der Verformung von ca. 65 % zur Folge hat. Daran ist zu erkennen, dass eine effektive Aussteifung bereits mit verhältnismäßig schwachen Aussteifungsprofilen erreicht werden kann – sofern sie formschlüssig mit dem Holz verbunden sind. [86]

- Verwendung quellungs- bzw. schwindungsarmer Werkstoffe, wie zum Beispiel lamellierter Friese, Stab- bzw. Stäbchensperrholz und Sperrholz.
- Aufdopplung bzw. Vorsatzschale (siehe Abschnitt 9.3.4 auf der nächsten Seite).

Eine Dimensionierungsempfehlung für Holztürrahmen mit und ohne Aussteifungsprofilen zeigt Abbildung 9.6.

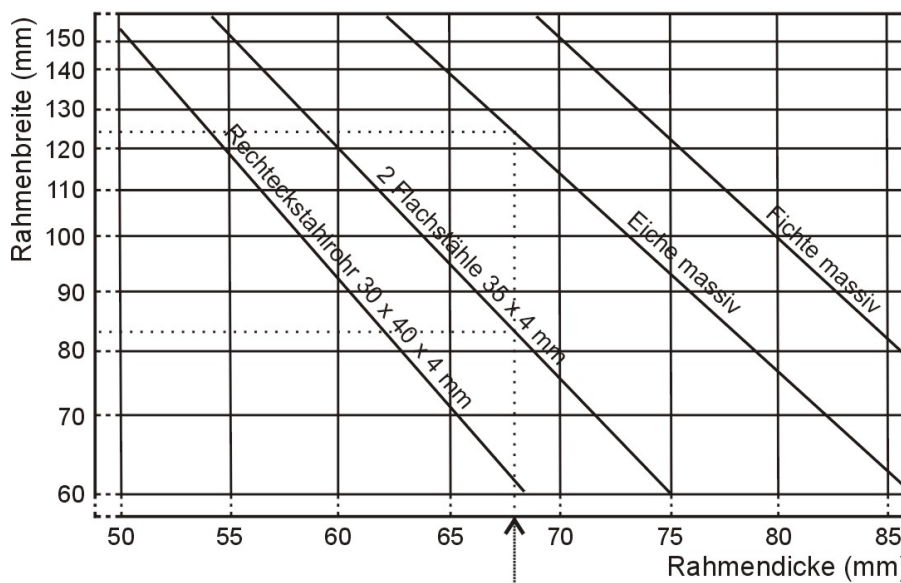


Abbildung 9.6: Dimensionierungsempfehlung für Holztürrahmen nach [92]: Vereinfachte Berechnung bei einer zulässigen Verformung von 3,5 mm. Ablesebeispiel: Bei einer Türblattdicke von 68 mm reicht bei Aussteifung mit 2 Flachstähen (in der Art von AP-4) eine Rahmenbreite von 85 mm aus. Bei einem Eiche-Vollholzrahmen ist eine Breite von 125 mm erforderlich.

9.3.4 Aufdopplung (Vorsatzschale)

Bei einer Aufdopplung wird einem Basistürblatt (Sperrtür- oder Rahmenkonstruktion) eine Vorsatzschale gleitend aufgesetzt. Die Vorteile sind – neben der leichteren Austauschbarkeit und der größeren Gestaltungsfreiheit – die bessere Wärmedämmung und der geringere Verzug des Basistürblattes, da die direkte intensive Belastung von der Schale aufgefangen wird [92, 94]. Bei dünnen Türblättern mit Massivholzplatteneinlage kann beispielsweise eine Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten von $U_D = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ auf $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ erzielt werden^c, so dass diese Möglichkeit besonders im Sanierungsbereich von Interesse sein kann. Je günstiger die Türblätter allerdings thermisch ausgebildet sind, desto geringer ist die Auswirkung dieser Maßnahme auf den U_D -Wert: Bei Sperrtüren mit Dämmstoffeinlage ist nur noch eine Verbesserung von $\Delta U = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ möglich.^d

Besonders wirksam ist eine Aufdopplung, wenn die Vorsatzschale einen hohen Wärmedurchgangswiderstand aufweist (gedämmte Sandwichplatten, wie sie auch für Türfüllungen zum Einsatz kommen) und so eine außenseitig durchgehende Dämmschicht ermöglicht wird. Diese Maßnahme verbessert die Oberflächentemperaturen in Problembereichen erheblich, beispielsweise kann bei dem Aussteifungsprofil AP-1 auf diese Weise der Temperaturfaktor von 0,42 über den Grenzwert 0,6 auf 0,65 erhöht werden (siehe Abbildung 9.7).

c. Dicke des Türblattes 68 mm + 20 mm Aufdopplung

d. Dicke des Türblattes 68 mm + 20 mm Aufdopplung

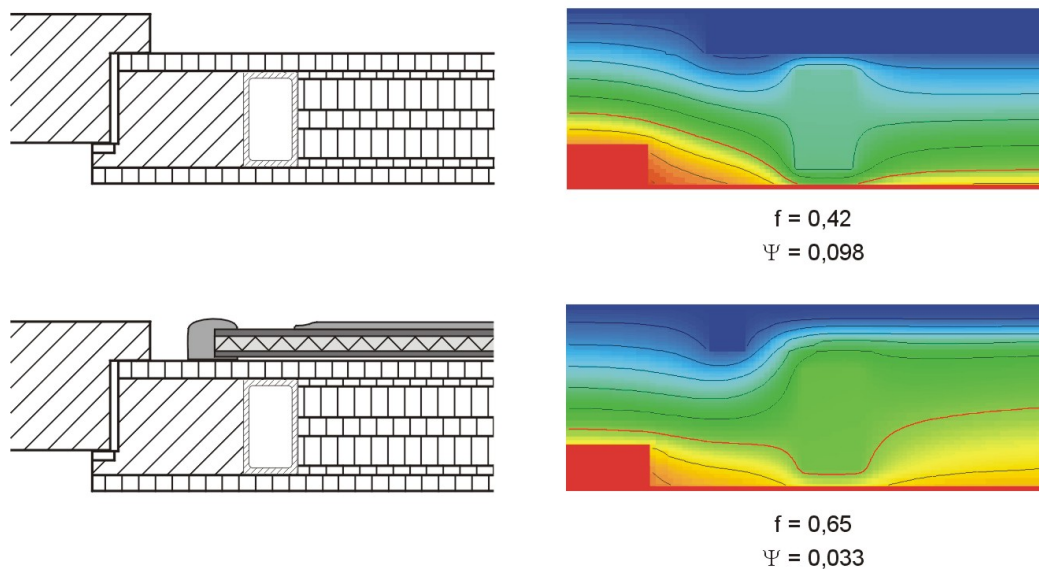


Abbildung 9.7: Schema einer Sperrtür mit vorgesetzter wärmedämmender Aufdopplung: Das metallische Aussteifungsprofil wird außen überdämmt.

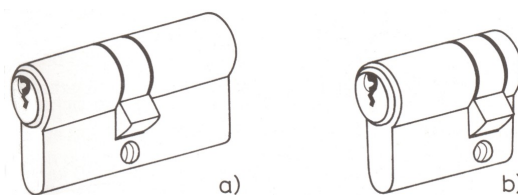


Abbildung 9.8: Bauformen von Schließzylindern: a) Doppelzylinder mit zwei Schließseiten, b) Halbzylinder mit nur einer Schließseite [62]. Mit dem Halbzylinder ist eine thermische Trennung im Schlossbereich möglich.

9.3.5 Thermische Trennung im Schlossbereich

Im Zuge der Entwicklung von elektrischen Türöffnern (bzw. -schließern) gibt es beispielsweise von [67] Systeme, die mit einem Halbzylinder auskommen (siehe Abbildung 9.8), da das Öffnen der Tür von außen wie bei Garagentoren oder Autotüren erfolgt.

Der äußere Türgriff hat meist keine Funktion zur Betätigung der Falle, daher ist es nicht notwendig, dass der Wechselstift durch das gesamte Türblatt durchgeführt wird. Hier kann ein Scherenwechselstift eingesetzt werden, für den das Türblatt nur einseitig gebohrt wird. Er wird von der Innenseite der Tür durch die Nuss des Schlosses gesteckt. Ein Klappmechanismus verhakt sich hinter dem Schloss [94], wie in Abbildung 9.9 dargestellt. Die Türblattdicke beeinflusst dabei die mögliche Breite der thermischen Trennung.

Durch einen Verzicht auf den durchgehenden Schließzylinder und den durchlaufenden Wechselstift kann die Wärmebrücke im Schlossbereich um ca. 25 % gesenkt werden. Die raumseitigen Temperaturfaktoren können um knapp 0,10 erhöht werden.

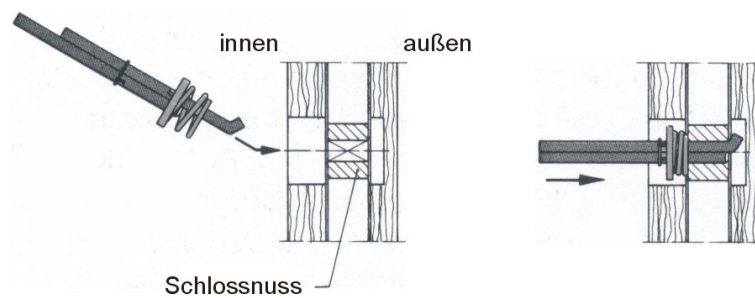


Abbildung 9.9: Schema der Montage eines Scherenwechselstiftes in eine einseitig gebohrte Tür nach [94]. Mit dieser Ausführung des Wechselstiftes ist eine weitere thermische Trennung im Schlossbereich möglich.

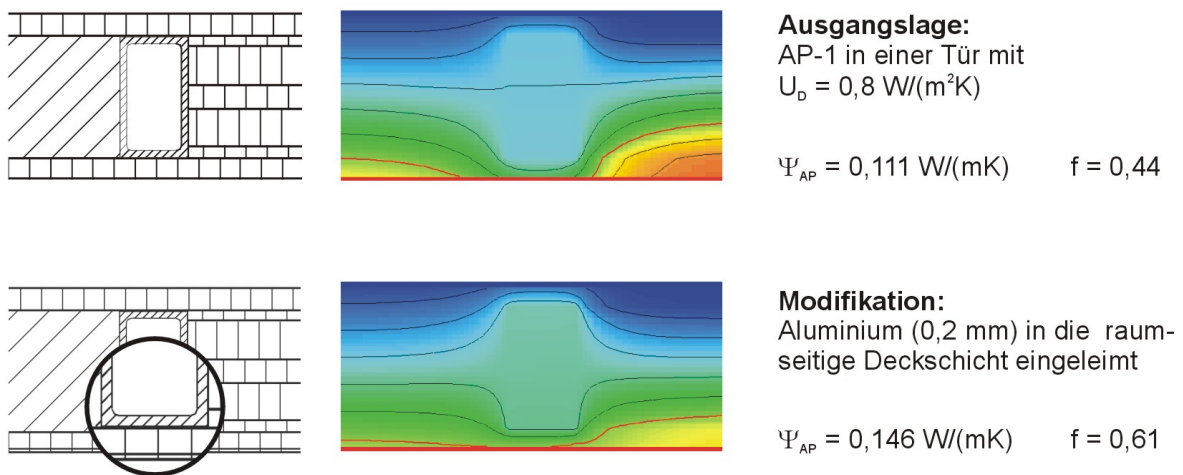


Abbildung 9.10: Querleitung der Wärme entlang der raumseitigen Oberfläche: Verbesserung der Oberflächentemperatur an den Aussteifungsprofilen der Spertüren.

9.3.6 Querleitung der Wärme entlang der raumseitigen Türoberfläche

Wird zusätzlich zu den aussteifenden Metallprofilen eine dünne Metallfolie (zum Beispiel 0,2 mm) als Dampfsperre in die Deckschichten eingeleimt, so sorgt die hohe Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums für eine Querverteilung der Oberflächenwärme (siehe Abbildung 9.10). Dies führt einerseits zu sehr gleichmäßigen Oberflächentemperaturen auf der gesamten Türfläche, andererseits vergrößert dieser Effekt die Wärmebrückenwirkung des Metallprofils. So kann im Bereich der Aussteifungsprofile ein f-Wert von 0,44 auf 0,61 verbessert werden. Der Ψ_{AP} -Wert verschlechtert sich in diesem Fall allerdings von 0,111 W/(m K) auf 0,146 W/(m K). Zwischen diesen beiden Effekten ist abzuwägen.

9.3.7 Dichtung im Falzbereich

Die Dichtprofile im Türfalz dienen zum einen dazu, den Wärmeverlust über undichte Fugen zu vermeiden, zum anderen sind sie für den Schallschutz und den Schlagregenschutz unverzicht-

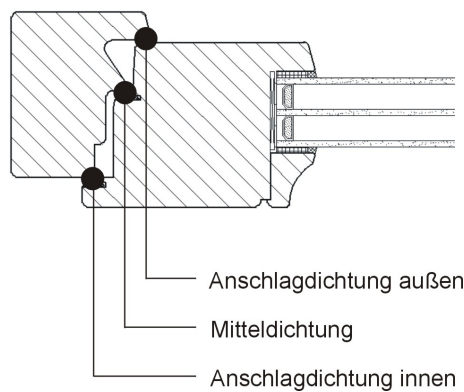


Abbildung 9.11: Mögliche Anordnung von Dichtungsebenen im Falz: Wegen der Lage des Schlosskastens sind Mitteldichtungen nur bei dickeren Türblättern möglich.

bar.

Daher sollten zwischen Türblatt und Blendrahmen mindestens zwei umlaufende Dichtungsebenen vorhanden sein. Jeder Versatz in den Dichtungsebenen kann zum Eintritt von Schlagregen, zu Lüftungswärmeverlusten bzw. Luftzugerscheinungen führen.[92]

Bei der Lage der Dichtungsebenen sind – wie in Abbildung 9.11 dargestellt – folgende Möglichkeiten denkbar:

- Anschlagdichtung außen
- Mitteldichtung
- Anschlagdichtung innen

Während sich im Fensterbau Mitteldichtungen durchgesetzt haben, liegt bei Außentüren in diesem Bereich in der Regel der Schlosskasten, so dass die Mitteldichtung weiter nach außen verlegt werden müsste. Dabei ist es allerdings oft nicht mehr möglich, den für den Falzbereich empfohlenen Mindestabstand von 20 mm zwischen (Wind-)Dichtung und Niederschlagsperre einzuhalten [92]. Mit der Kombination von Anschlagdichtungen innen und außen im Überschlag ist eine gute Trennung der Niederschlag- und Windsperre möglich. Erst bei deutlich dickeren Türblättern wird es möglich, trotz des Schlosskastens den Mindestabstand für die Mitteldichtung einzuhalten.

9.3.8 Wärme- sowie schalldämmende Türkonstruktion

Eine Verbesserung des Schallschutzes wird durch Erhöhung des Flächengewichtes des Türblattes erreicht, beispielsweise mit sandgefüllten Röhrenspanplatten oder durch Kombination von Spanplatten und Faserhartplatten als Einlage. Eine derartige Konstruktion führt wegen der relativ hohen Wärmeleitfähigkeit der Materialien im Vergleich zu Konstruktionen mit Dämmstoffeinlage, bei denen die Schalldämmung jedoch geringer ist, zu größeren Wärmeverlusten. Eine sowohl wärmetechnisch als auch vom Schallschutz her günstige Konstruktion bietet beispielsweise [71] an (siehe Abbildung 9.12).

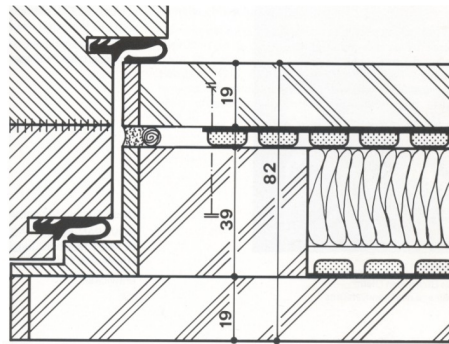


Abbildung 9.12: Schall- und wärmedämmende Tür von [71]: Das notwendige hohe Flächengewicht wird bei dieser Tür durch stahlschrotgefüllte Kunststoffwaben (auf einer Kunststoffträgermatte) erreicht. Darüber hinaus besteht die Tür aus zwei Schalen, die gleitend miteinander verbunden sind.

Das Türblatt besteht aus einer tragenden Rahmenkonstruktion, der eine zweite Schale außen vorgesetzt ist. Die Schalen sind gleitend miteinander verbunden. Für die Schalldämmung sorgen zwei eingebrachte Stahlschrotmatten. Durch diese Maßnahme verbleibt Raum für eine Wärmedämmschicht.

Bei dem 82 mm dicken Türblatt werden auf diese Weise die folgenden Werte erreicht: $U_P = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ bei einem Schalldämmmaß von $R_{W} = 51 \text{ dB}$. Zum Vergleich: Mit einem 68 mm dicken Türblatt mit einer Einlage aus fünf Strangpressspanplatten (genagelt) erreicht man ein Schalldämmmaß von ca. $R_{W} = 41 \text{ dB}$ bei $U_P = 1,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ [76].

9.4 Maßnahmen Wandanschluss

Zunächst werden in Form eines Maßnahmenkataloges die Aspekte genannt, mit denen bereits in der Planung Schwachstellen im Anschlussbereich vermieden werden können. Anschließend werden einzelne Aspekte näher ausgeführt.

9.4.1 Maßnahmenkatalog

- Im Anschlussbereich der Tür an das Wandsystem müssen alle Schichten des Hüllensmodells aus Abbildung 9.2 auf Seite 133 durchgeführt werden.
- Die Abdichtung der Anschlussfuge zwischen dem Türrahmen und dem Wandsystem ist ähnlich wie bei Fensteranschlüssen auszuführen (siehe Abschnitt 9.4.2).
- Die Einbaulage in der Laibung beeinflusst sowohl die Oberflächentemperaturen als auch die Wärmebrückenkoeffizienten im Laibungsbereich (siehe Abschnitt 9.4.3).
- Die thermische Leistungsfähigkeit des Türrahmens U_F beeinflusst die Oberflächentemperaturen der Laibung erheblich. Im Sanierungsbereich ist nachträglich eine äußere Laibungsdämmung bzw. eine Blendrahmenüberdämmung effektiv (siehe Abbildung 9.15).

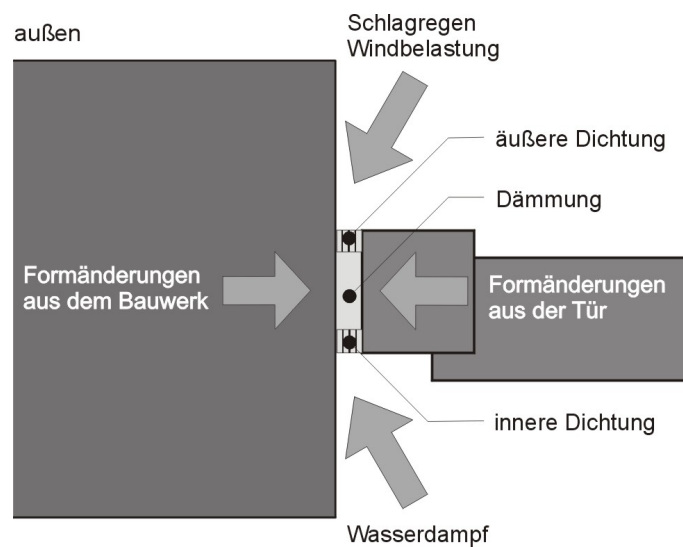


Abbildung 9.13: Belastungen der Baukörper-Anschluss-Fuge

- Wichtig ist die Berücksichtigung der thermischen Auswirkung von Befestigungsmitteln (siehe Tabelle 7.1 auf Seite 111): Eine Aluminium-Montagezarge ist beispielsweise thermisch sehr ungünstig und führt sowohl zu großen Wärmebrückenverlusten als auch zu niedrigen Temperaturfaktoren in der Laibung.
- Kritische Oberflächentemperaturen in der Laibung können im Sanierungsfall durch Querleitung der raumseitigen Oberflächenwärme, wie in Abschnitt 9.4.4 dargestellt, erhöht werden.

9.4.2 Dichtung der Anschlussfuge zwischen Tür und Wandsystem

Die Anschlussfuge zwischen dem Baukörper und dem Türelement muss raumseitig luft- und dampfdicht ausgebildet sein, um das Eindringen von feuchter Raumluft in die Fuge zu vermeiden. Außenseitig muss die Regen- und Winddichtheit sichergestellt werden bei einem – im Vergleich zur inneren Dichtung – niedrigen Dampfdiffusionswiderstand. So wird Feuchtigkeit in der Fuge vermieden. Der Raum zwischen den Dichtungen ist mit Dämmstoff aufzufüllen, um die lückenlose Durchführung der Wärmedämmung im Anschlussbereich zu gewährleisten. Zusätzlich muss die Fuge bauwerksbedingte Bewegungen aufnehmen können, ohne dass eine Schädigung der Dichtung auftritt. Die Belastung der Baukörper-Anschlussfuge zwischen Türrahmen und Wandsystem ist in Abbildung 9.13 dargestellt.

Da die Anschlussfuge Formänderungen ausgesetzt ist, sind die folgenden Punkte zur dauerhaften Funktionssicherheit wesentlich:

- geeignete Dichtstoffe (siehe Abbildung 9.14),
- gute Verklebung mit den Haftflächen und
- eine Abstimmung der Gesamtverformung des Dichtstoffes auf die Fugenbreite.

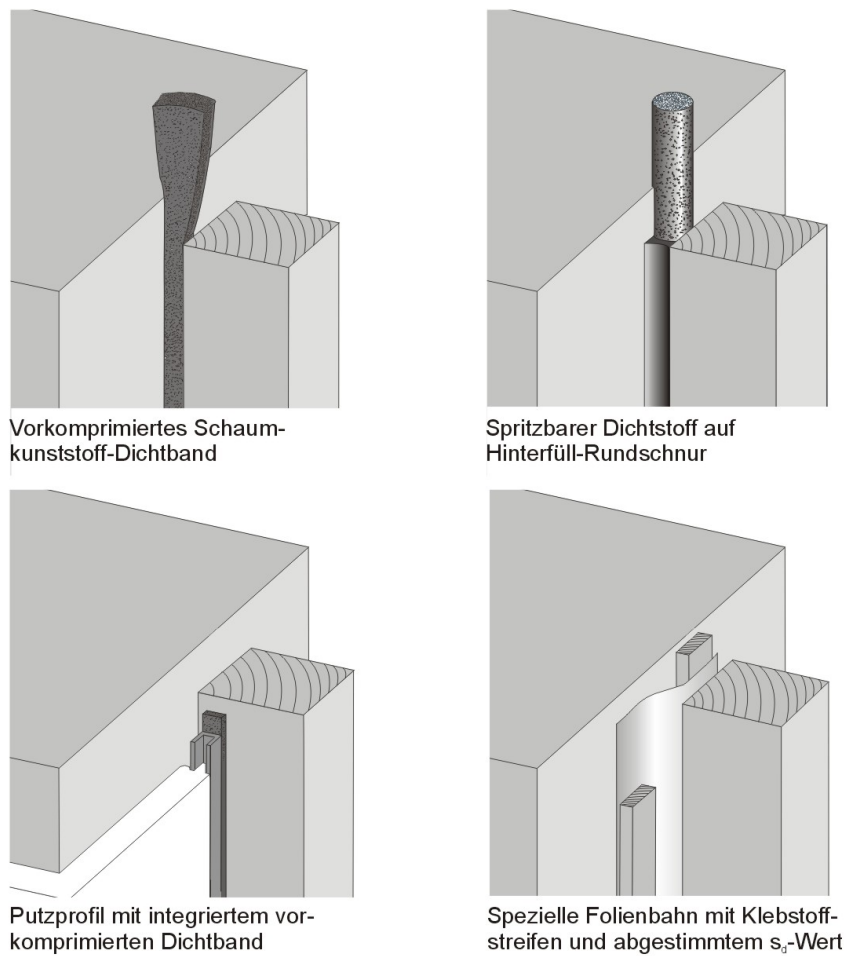


Abbildung 9.14: Abdichtungsmaßnahmen für die Fuge am Wandanschluss, nach [85]

Zur Auswahl und Verarbeitung von Dichtstoffen gibt [79] wichtige Hinweise. Konstruktionsempfehlungen für die Anschlussfuge sind beispielsweise in den folgenden Quellen zu finden: [18, 85, 99].

9.4.3 Geometrie des Wandanschlusses

- Monolithisches Wandsystem und Holzständerwandsystem
 - Ein Türereinbau mittig in der Laibung bewirkt den geringsten Wärmebrückenverlust, der raumseitige Einbau in der Laibung erzielt die günstigsten Oberflächentemperaturen.
 - Eine äußere Laibungsdämmung bzw. Überdämmung des Blendrahmens führt zu noch günstigeren Kennwerten (siehe Abbildung 9.15).
 - Ein Innenanschlag erleichtert die Befestigung und Abdichtung des Türelementes.
 - Im Holzbau kann ein Innenanschlag an einen Wärmedämmblock erfolgen, der eine Rahmenüberdämmung bewirkt und sehr günstige Oberflächentemperaturen

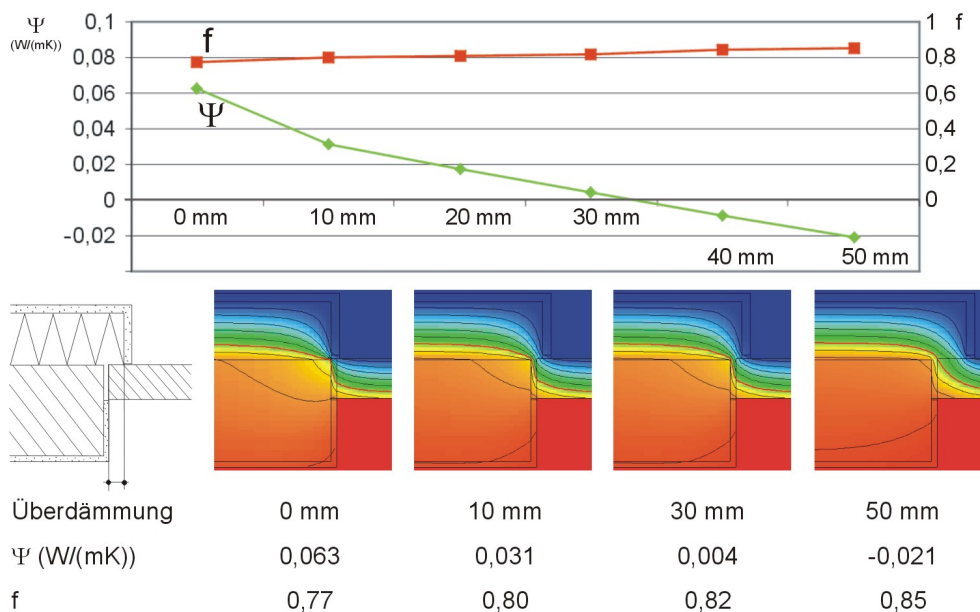


Abbildung 9.15: Auswirkung der Überdämmung des Blendrahmens bei $U_{AW} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ und $U_F = 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$: Bei einer Überdämmung des Blendrahmens von 35 mm ist der Wandanschluss wärmebrückenfrei.

zur Folge hat (siehe die Konstruktion in Abschnitt 9.6 auf Seite 150).

Im Massivbau führt ein Innenanschlag wegen des Außenmaßbezugs der Wandflächen zwar rechnerisch zu größeren Wärmebrückenverlusten, ist aber dennoch die thermisch günstigere Variante:

Bei gleichem Betrachtungsausschnitt ist der thermische Leitwert L^{2D} – und damit der tatsächliche Wärmeverlust – bei einer Lösung mit Anschlag geringer. Auch der Temperaturfaktor fällt bei einem Anschlag günstiger aus (siehe Abbildung 9.16).

- Außengedämmtes Wandsystem
 - Der Einbau einer Tür außenbündig mit dem Mauerwerk und bei Überdämmung des Blendrahmens führt zu sehr günstigen thermischen Kennwerten (siehe Abbildung 9.15). Auch ein Einbau in das Wärmedämmverbundsystem, entsprechend ausgeklinkt, ist möglich.
- Zweischaliges Wandsystem (Massivbau)
 - Rahmenmontage in der Ebene der Kerndämmung.

9.4.4 Querleitung der Wärme entlang der Laibungsfläche

Durch Querleitung der Oberflächenwärme lassen sich nachträglich kritische Oberflächentemperaturen im Laibungsbereich verbessern. Beispielsweise kann im Massivbau eine Tür laibung mit dem kritischen Temperaturfaktor $f = 0,57$ (bei $\Psi = 0,065 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) folgendermaßen verbessert werden:

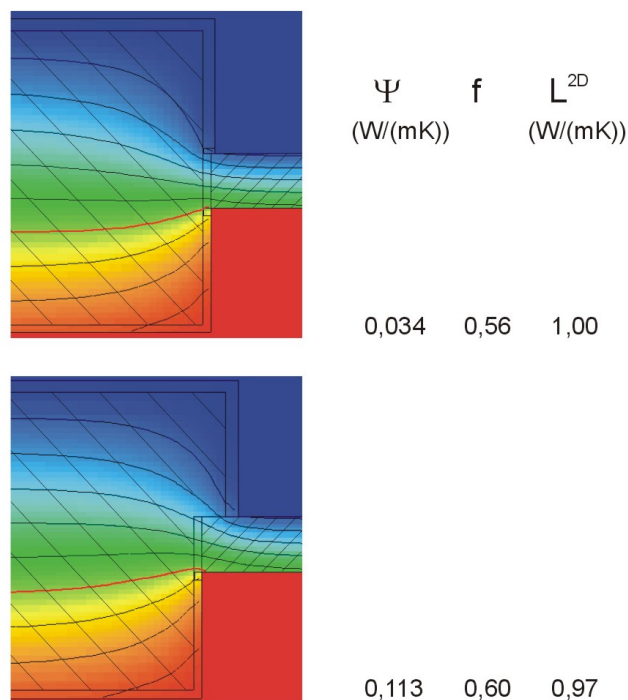


Abbildung 9.16: Thermische Auswirkung eines Innenanschlags (Massivbau): Wegen des Außenmaßbezugs der Flächen steigt der Ψ -Wert bei einem Innenanschlag, obwohl der Gesamtwärmeverlust niedriger und der Temperaturfaktor günstiger ausfällt.

- Einbauzarge aus Sperrholz mit einer eingeleimten Aluminiumfolie: $f = 0,61$ und $\Psi = 0,065 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.
- Aluminiumkaschierte Tapete auf Gipsputz: $f = 0,61$ und $\Psi = 0,069 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (siehe Abbildung 9.17).
- Metallischer Putzträger unter dem Innenputz: $f = 0,62$ und $\Psi = 0,072 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

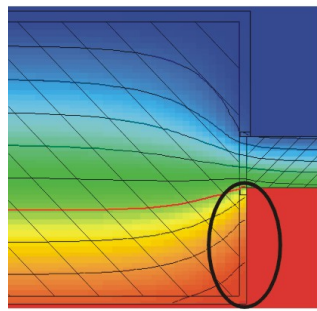
Die beschriebenen Maßnahmen sind für Nachbesserungen im Gebäudebestand geeignet; bei Neubauten macht eine gründliche Planung der Anschlüsse mit Minimierung der Wärmebrückenverluste derartige Maßnahmen entbehrlich.

9.5 Maßnahmen Türschwellenbereich

Im Maßnahmenkatalog werden zunächst die Aspekte genannt, mit denen bereits in der Planung Schwachstellen im Türschwellenbereich vermieden werden können. Anschließend werden einzelne Aspekte näher ausgeführt.

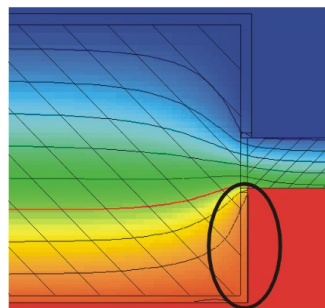
9.5.1 Maßnahmenkatalog

- Im Schwellenbereich müssen alle Schichten des Hüllenmodells in Abbildung 9.2 auf Seite 133 durchgeführt werden. Die Dichtung erfordert dabei besondere Beachtung



Ausgangslage:
Anschluss an monolithisches
Wandsystem

$$\Psi = 0,034 \text{ W/(mK)} \quad f = 0,56$$



Modifikation:
Aluminiumkaschierte Tapete
in der Laibung

$$\Psi = 0,069 \text{ W/(mK)} \quad f = 0,61$$

Abbildung 9.17: Wärmeleitprinzip: Verbesserung der Oberflächentemperatur im Anschlussbereich Türrahmen–Baukörper.

(siehe Abschnitt 9.5.2).

- Um Tauwasserbildung an der Schwelle zu vermeiden, muss der Temperaturfaktor über 0,6 liegen. Dies ist nur mit einer zweiten Dichtebene und mit einer geeigneten Schwelle (siehe Abschnitt 9.5.3) zu erreichen.
- Der Innenraumfußboden muss durch einen Dämmstreifen unterhalb des Schwellenprofils, der an die Bodenplattendämmung in voller Breite anschließt, von dem Außenbereich thermisch getrennt werden (siehe Abbildung 9.18).
- Ein Wetterschenkel sorgt im unteren Türbereich für die Trennung von Niederschlag- und Windsperre (siehe Abschnitt 9.5.4), indem Niederschlagsfeuchte an der äußeren Wassernase mit einigem Abstand von der Schwellendichtung abgeführt wird. Das Eindringen von Schlagregen durch den Falz wird auf diese Weise erschwert.
- Der Einbau des Türschwelenprofils muss so erfolgen, dass in den Falzbereich eingedrungene Feuchtigkeit nach außen abgeleitet wird.
- Damit Niederschlagswasser nicht über die Schwelle eindringen kann, muss der Bodenbelag außen ein deutliches Gefälle aufweisen oder in Form von Gitterrosten o. Ä. ausgebildet sein.

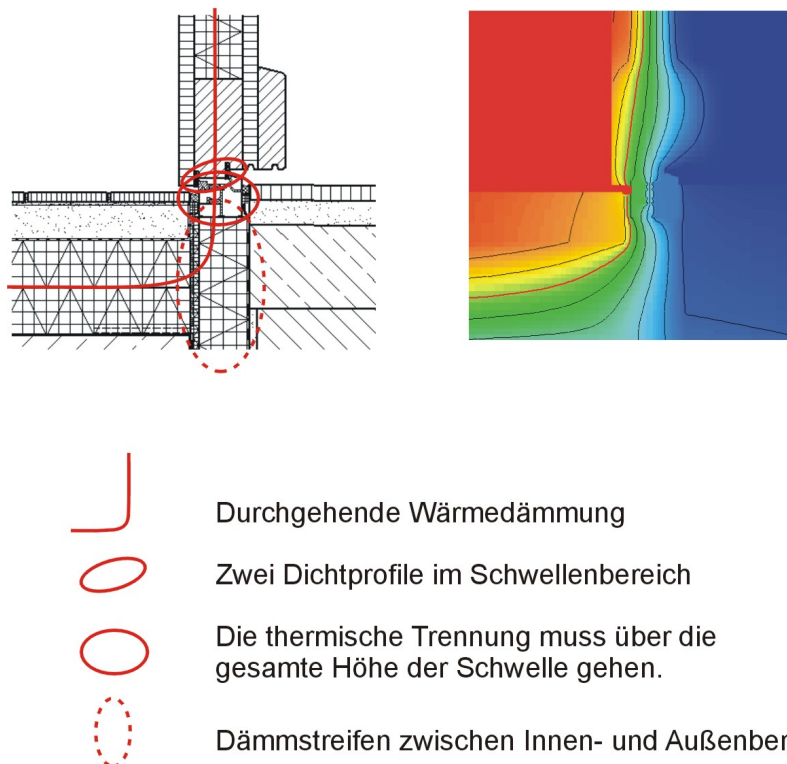


Abbildung 9.18: Durchgehende Dämmschicht bzw. thermische Trennung im Schwellenbereich.

9.5.2 Dichtung

Damit kein Versatz der Dichtebene in den unteren Ecken entsteht, müssen die Dichtprofile auch im Schwellenbereich umlaufen. Nur so kann eine ausreichende Luft- und Schlagregendichtheit erreicht werden.

Um im Schwellenbereich einen Temperaturfaktor von mindestens 0,6 zu erreichen, sind – kombiniert mit entsprechenden Schwellenprofilen – zwei Dichtebenen erforderlich. Je größer der Abstand zwischen ihnen ist, desto geringer sind die Wärmebrückenverluste an dieser Stelle.

Erfolgt ein schwellenloser Übergang vom Außen- in den Innenbereich, so wird in der Regel mit Absenk dichtungen gearbeitet. Hier kann keine umlaufende Dichtungsebene erreicht werden und die Leistungsfähigkeit ist systembedingt begrenzt. Ein Einsatz von Absenk dichtungen ist daher nur möglich, wenn die Außentür durch einen Vorraum o. Ä. vom Freiluftklima getrennt ist.

9.5.3 Türschwelle

Die thermische Leistungsfähigkeit des Schwellenholzes oder -profiles bestimmt den Wärmeverlust des Schwellenbereiches.

Bei Aluminiumschwellen muss die thermische Trennung über die gesamte Höhe der Schwelle gehen und zwischen den Dichtungen des Türblattes liegen. Anderenfalls wird die wirksame

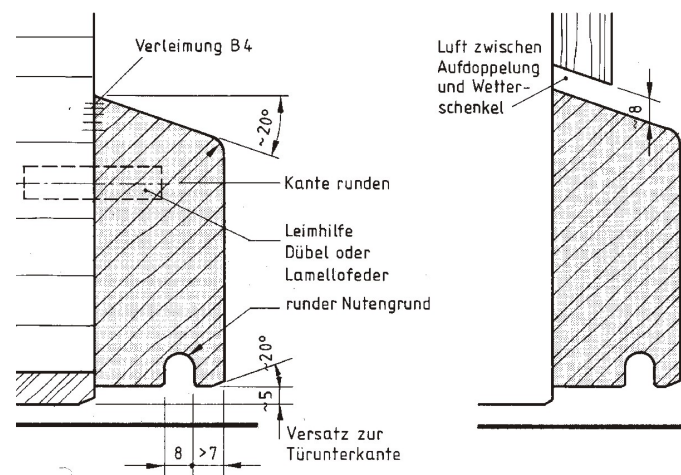


Abbildung 9.19: Ausbildung eines Wetterschenkels aus Holz [94]

Wärmedämmung an dieser Stelle unterbrochen (siehe Abbildung 9.18).

Die Breite des Schwellenprofils bestimmt die maximale Breite der Dämmung unterhalb der Schwelle. Mit mindestens 60 mm breiten Schwellen kann der Temperaturfaktor über den Anforderungswert von 0,6 gehoben werden, sofern bei Metallschwellen eine thermische Trennung vorliegt, siehe Abschnitt 8.5 auf Seite 125.

9.5.4 Wetterschenkel

Ein Wetterschenkel, in den eine Wasserabreißnut eingebracht ist, bietet Schutz vor Schlagregen im Schwellenbereich. Er wird von außen auf das Türblatt geleimt bzw. mit Abstand vor dem Türblatt montiert. Wetterschenkel sind oben ausreichend abzuschrägen. Weitere Hinweise zur Ausbildung und Befestigung von Holz-Wetterschenkeln zeigt Abbildung 9.19.

9.6 Konstruktionsbeispiel: Türanschluss im Holzbau

Zur Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen ist ein optimierter Türanschluss entwickelt worden, der in den Abbildungen 9.20 und 9.21 dargestellt wird. Es handelt sich um den Anschluss einer Rahmentür aus PU-gedämmten Holzprofilen von [59] an eine zweischalige Holzständerwandkonstruktion mit belüfteter Boden-Deckel-Schalung. Die thermischen Kennwerte sind in Tabelle 9.2 angegeben. In den Abbildungen sind die Isothermen in Schritten von 0,1 eingezeichnet. Die Isotherme, die den Temperaturfaktor von 0,6 kennzeichnet, hebt sich durch die größere Strichdicke hervor.

9.6.1 Wandsystem

Die Aussteifung des Wandsystems übernimmt eine OSB-Platte (Oriented Structural Board), die auch die Funktion der Luft- und Dampfsperre übernimmt. Dazu müssen die Stoßfugen

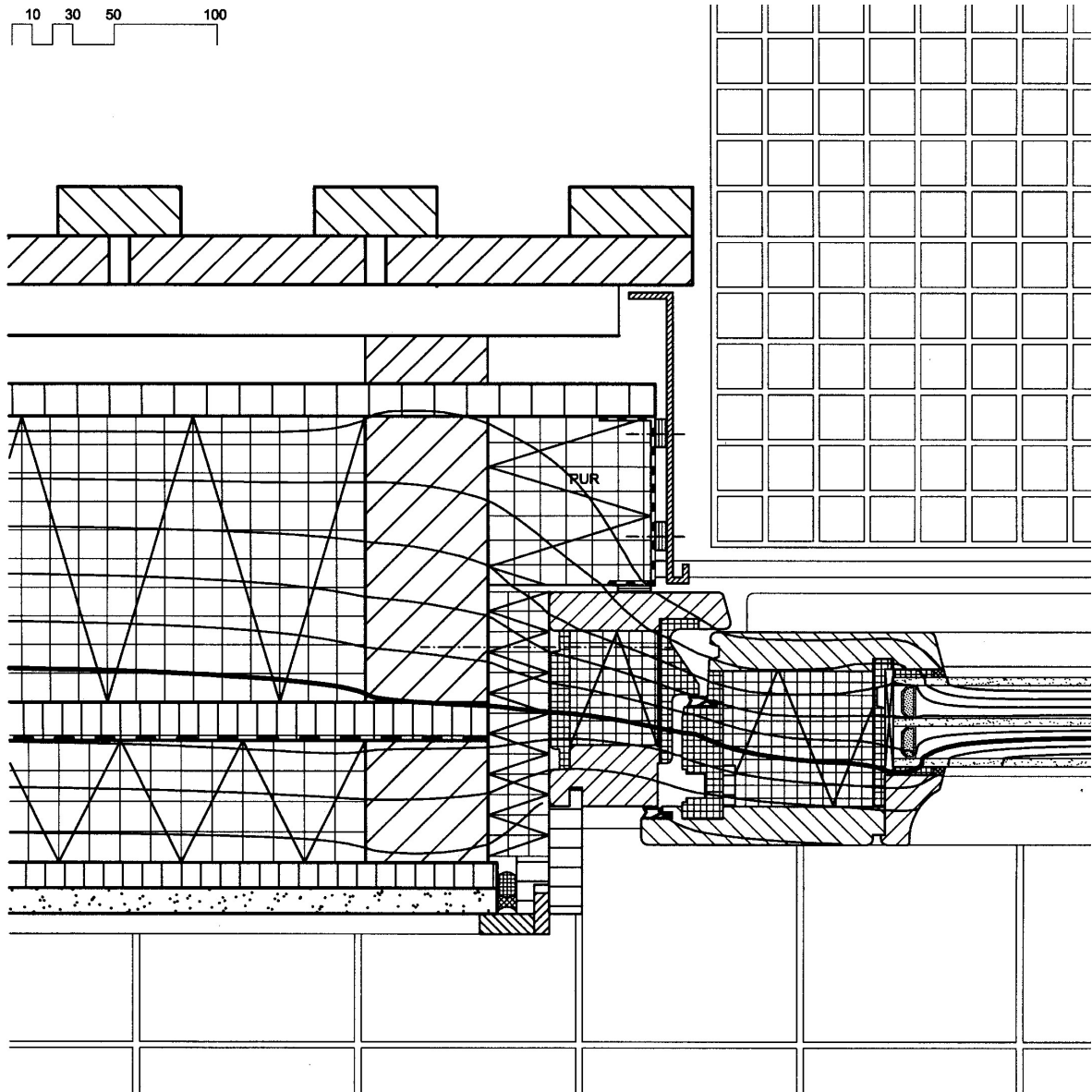


Abbildung 9.20: Türanschluss im Holzbau, Horizontalschnitt

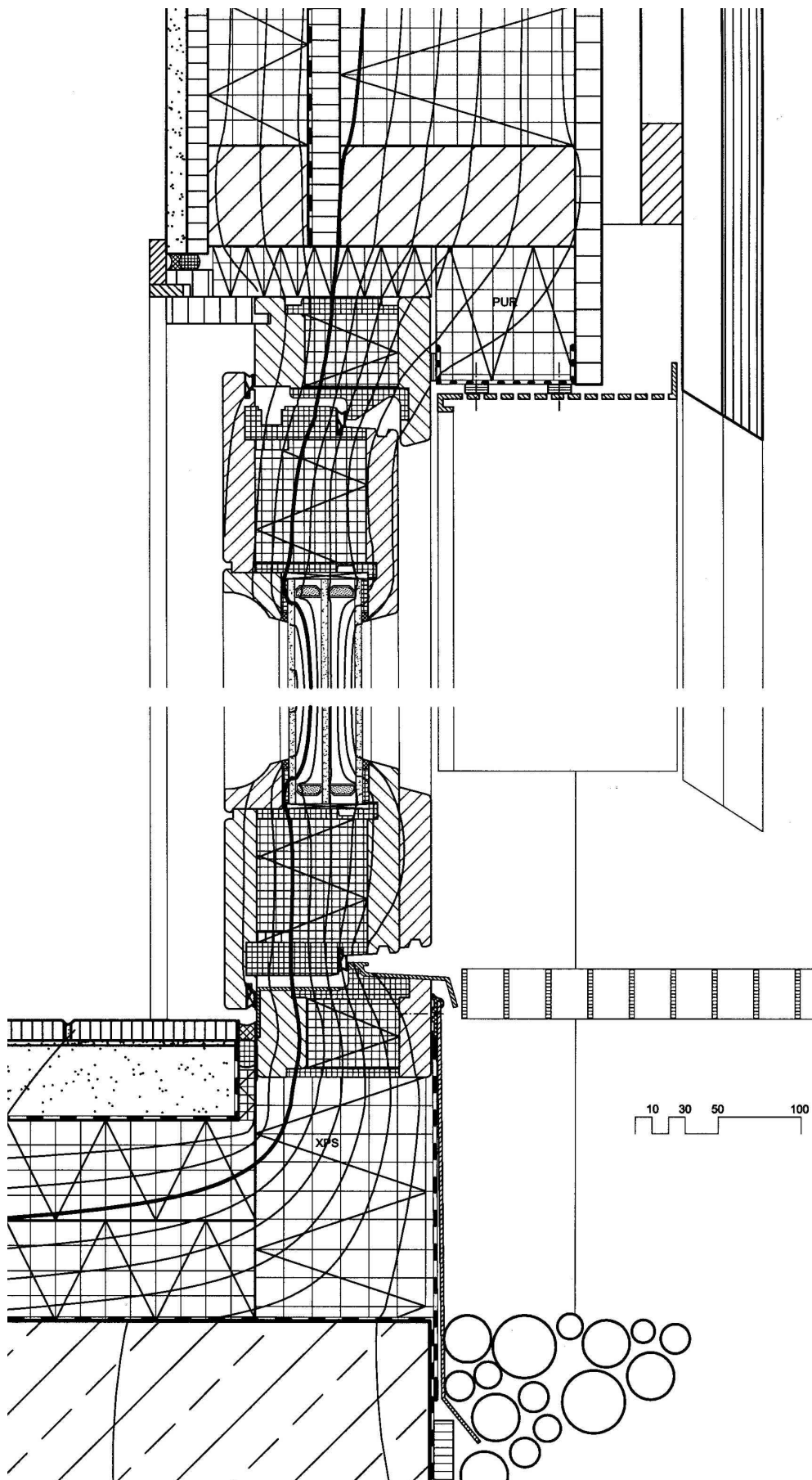


Abbildung 9.21: Türanschluss im Holzbau, Vertikalschnitt

Bezeichnung		Wert	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand	U_{AW}	0,22	W/(m ² K)
Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte	U_B	0,30	W/(m ² K)
Wärmedurchgangskoeffizient des Türrahmens	U_F	0,83	W/(m ² K)
Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung	U_G	0,56	W/(m ² K)
Wärmebrückenkoeffizient Wandanschluss	Ψ_1	-0,004	W/(m K)
Wärmebrückenkoeffizient Glasrand	Ψ_2	0,047	W/(m K)
Wärmebrückenkoeffizient Türschwelle	Ψ_3	0,309	W/(m K)
Temperaturfaktor Wandanschluss	f_1	0,84	
Temperaturfaktor Glasrand	f_2	0,70	
Temperaturfaktor Türschwelle	f_3	0,74	

Tabelle 9.2: Thermische Kennwerte des Türanschlusses im Holzbau

luftdicht abgeklebt werden. Raumseitig von der aussteifenden OSB-Platte verbleibt eine Installationsschale, die das Verlegen von Elektroinstallationen ermöglicht, ohne dass die Luft- und Dampfsperre durchdrungen wird. Außen dient eine diffusionsoffene Wandplatte mit Nut- und Federprofil (sog. DWD-Platte, beispielsweise von [66]) als Windsperre und zweite wasserableitende Schicht hinter der belüfteten Fassade. Die Platte ist ausreichend witterungsbeständig^e, um die Rohbaukonstruktion – insbesondere im Bauzustand – vor Feuchtigkeit zu schützen.

Die Abmessungen der Holzprofile und die erwünschten Dämmschichtdicken sind aufeinander abgestimmt: In der Installationsschale liegen 40 mm und zwischen den Ständern 160 mm mineralischer Faserdämmstoff.

9.6.2 Rahmentür

Wegen der Rahmendicke von 104 mm kann auf metallische Aussteifungsprofile verzichtet werden. Bei einer Wärmeleitfähigkeit des dämmenden Kerns von 0,075 W/(m K) wird ein U_F -Wert von 0,83 W/(m² K) erreicht. Die große Breite der Rahmendämmung kann Beschlagelemente ausreichend überdämmen und deren Wärmebrückenwirkung reduzieren. Die Dreifach-Isolierverglasung hat einen U_G -Wert von 0,56 W/(m² K). Da der Glasabstandhalter aus Edelstahl besteht und der Glaseinstand 25 mm beträgt, wird am Glasrand ein Wärmebrückenkoeffizient von 0,047 W/(m K) und ein Temperaturfaktor von 0,70 erreicht.

Der Tauwassernachweis für das Wandsystem und den Türaufbau nach DIN 4108-3, Anhang A [15], ergibt, dass kein Tauwasser in den Bauteilen verbleibt.

9.6.3 Anschlussbereich

Die Einbaulage der Tür ist mittig bis raumseitig im Wandquerschnitt mit einem Innenanschlag, der durch einen Wärmedämmblock hinter der DWD-Platte gebildet wird. Dies erleichtert die Befestigung und die äußere Abdichtung der Fuge. Die Montage des Türrahmens erfolgt nach Herstellervorgabe mit Rahmendübeln, die keine zusätzlichen Wärmebrückenverluste bewirken.

e. Freibewitterung im Winter zwei Wochen, im Sommer vier Wochen und länger nach [66].

Um das Material des Dämmblockes gegebenenfalls vor Feuchte zu schützen und den Anschluss der Windsperre zu gewährleisten, werden dreiseitig umlaufend diffusionsoffene Abdichtungsfolienstreifen (beispielsweise ‚Fensterfolie-außen‘ von [77]) auf der DWD-Platte und dem Dämmblock verklebt. Zwischen dem Türrahmen und dem Dämmblock kommt ein vorkomprimiertes Dichtband zum Einsatz.

Durch die Blendrahmenüberdämmung ergibt sich rechnerisch eine negative Wärmebrücke, da in die Berechnung der Wärmebrückenkoeffizienten die Wandfläche mit Außenmaßenbezug (Rohbaumaß bis zur Außenkante der Holzständer) eingeht. Durch den hohen Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens, die Blendrahmenüberdämmung und die raumseitige Einbaulage in der Laibung werden mit $f = 0,84$ sehr günstige Oberflächentemperaturen im Anschluss erreicht.

Raumseitig ist ein schmales luftdichtes Futter am Blendrahmen eingenetet und verleimt. Nach der Montage erfolgt die Abdichtung zur Innenwandbekleidung mit Hinterfüllschnur und spritzbarem Dichtstoff. Mit einer Abdeckleiste in L-Form, die in die Nut eingeschoben wird, ist der Ausgleich von Toleranzen möglich.

Über den Dämmblock wird außen ein Zinkblech (im Sturz ein Zinklochblech) befestigt, das die äußere Laibung bekleidet. Die Boden-Deckel-Schalung endet ca. 30 cm über dem Boden und ist an der Unterkante mit einer Tropfkante versehen.

9.6.4 Türschwellerbereich

Die Grundplatte ist im Türbereich ausgeklinkt, daher läuft auch das Schwellenholz (des Holzständerwandsystems) nicht unter der Türschwelle durch.

Die gedämmte Türschwelle hat den gleichen Aufbau und die gleiche Breite wie der Blendrahmen und ermöglicht zwei umlaufende Dichtebenen und eine große Dämmstoffdicke unterhalb der Schwelle. Die Dichtebenen im Türfalz sind so angeordnet, dass in den Falz eindringendes Niederschlagswasser herunterlaufen kann und vor der äußeren Dichtebene der Schwelle abgeführt wird.

Zur Vermeidung von Spritzwasser ist außen vor der Tür kein flächiges Steinmaterial, sondern ein feuerverzinkter Metallgitterrost angeordnet, der auf Betonelementen aufliegt. Durch eine vorgestellte Vordachkonstruktion kann der Eingangsbereich zusätzlich vor Witterungseinflüssen wie Schlagregenbelastung und direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

Unterhalb der Schwelle bildet ein Zinkblech die äußere Bekleidung. Es ist am unteren Ende abgeknickt. Die äußere Abdichtung am Sockel wird durch einen Anfüllschutz vor Beschädigung bewahrt.

Durch die gedämmte Türschwelle, die breite Dämmung darunter und den relativ großen Abstand der Dichtprofile (50 mm) ergeben sich auch im Schwellenbereich mit $f = 0,74$ sehr günstige Oberflächentemperaturen.

Kapitel 10

Zusammenfassung

Bei Ausbauelementen wie Türen verjüngt sich der Querschnitt der Gebäudehülle aufgrund der unterschiedlichen Dicke der Bauteile Wand und Türrahmen und bewirkt eine geometrisch bedingte Wärmebrücke. Hinzu kommen als weitere Wärmebrücken die Befestigungsmittel für die Verankerung des Türelementes am Baukörper sowie im Schwellenbereich das Türschwellerprofil. Zusätzlich erfordern Ausbauelemente konstruktiv bedingt Fugen.

Auch im Türelement selbst liegen Wärmebrücken – beispielsweise Aussteifungsprofile und Beschlagelemente – die zu niedrigen raumseitigen Oberflächentemperaturen führen. Unterschreiten die raumseitigen Oberflächentemperaturen die Taupunkttemperatur der Luft, so fällt Tauwasser aus und kann bei länger andauernder Befeuchtung zu Schäden führen.

Die thermische Leistungsfähigkeit von Außentürsystemen und ihre Beeinträchtigung wurden in der Arbeit nach den Bereichen

- Türkonstruktionen (Rahmentüren und Sperrtüren)
- Aussteifungsmaßnahmen
- Elemente des Türbeschlags
- Befestigungsmittel im Baukörperanschluss
- Einbaulage in der Laibung
- Türschwellerbereich

getrennt untersucht.

Die berechneten thermischen Kennwerte werden in Form der Wärmebrückenkoeffizienten Ψ bzw. χ und der Temperaturfaktoren f angegeben.

Durch die Untersuchung der thermischen Beeinträchtigung durch Türbeschläge, Aussteifungsprofile, Befestigungsmittel und der Türschwelle liegen erstmals Kennwerte für die Wärmebrückenwirkung dieser Elemente vor, die bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Außentüren in der Regel vernachlässigt werden. Diese Wärmebrückenwirkung ist zum Teil so erheblich, dass der Wärmedurchgang durch die Tür um mehr als die Hälfte unterschätzt wird, wenn nur mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten U_D nach DIN EN ISO 10077-1 [23]

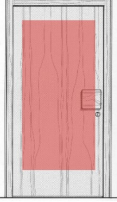
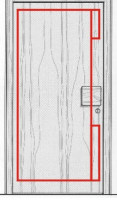


	U-Wert W/(m ² K)	Ψ-Wert W/(mK)	f-Wert
	0,23 ... 1,56	-	0,67 ... 0,89
	0,72 ... 3,12	-	0,49 ... 0,84
	$\Delta U =$ 0 ... 0,32	0 ... 0,11	0,42 ... 0,84
	$\Delta U =$ 0,03 ... 0,15	0 ... 0,78	0,27 ... 0,48
	-	0,02 ... 0,16	0,53 ... 0,88
	-	0 ... 0,07	$\Delta f =$ -0,11 ... 0
	-	0,35 ... 1,66	0,18 ... 0,65

Abbildung 10.1: Wärmebrückenwirkungen der betrachteten Außentürkomponenten: Angegeben ist die Spannweite der berechneten thermischen Kennwerte (Kapitel 5 bis 8).

gerechnet und die Wärmebrücke der Schwelle nicht beachtet wird. Bei einem Wohngebäude mit dem Wärmedämmstandard eines Niedrigenergiehauses kann dies bis zu 5 % der gesamten Transmissionswärmeverluste ausmachen. Dies verdeutlicht, dass bei der thermischen Optimierung von Gebäudeplanungen die Berücksichtigung aller thermisch relevanten Türkomponenten unverzichtbar ist.

Die Berechnung der Oberflächentemperaturen ergab, dass der Temperaturfaktor bei den üblichen Türkonstruktionen im Bereich der Wärmebrücken erheblich unter den Anforderungswert von 0,6 sinkt. Bei den am Markt angebotenen Metall- und Kunststofftüren gilt dies nicht nur für den Bereich der Wärmebrücken, sondern zum Teil auch für den ungestörten Rahmenbereich. Dies kann bei niedrigen Außentemperaturen und hoher Raumluftfeuchte zu einem Tauwasserausfall und bei längerer Befeuchtung gegebenenfalls zu Bauschäden führen.

Während für die Wärmebrückenberechnung im Türbereich eine (normative) Regelung zur Berechnung vorliegt, fehlen für die Wärmebrückenberechnung erdreichberührender Bauteile – und dazu gehört der Bereich der Türschwelle – bislang festgelegte Randbedingungen der Berechnung und Modellbildung sowie eindeutige Regelungen zum Rechenansatz bei unterkellerten Gebäuden. Anhand des Sockelanschlusses eines nicht unterkellerten Gebäudes wurden daher alternative Randbedingungen der Berechnung verglichen und auf ihre Reproduzierbarkeit bei unterschiedlichem Betrachtungsausschnitt geprüft. Da mit der bislang üblichen Berechnung des gesamten linearen thermischen Leitwertes eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht gewährleistet ist, wurde eine Methode entwickelt, mit der zum einen genauere Ergebnisse erreicht werden und zum anderen eine Reproduzierbarkeit der Werte sehr gut möglich ist.

Das Optimierungspotential, das in den einzelnen Türkonstruktionen liegt, wurde durch die Berechnung von Kennwerten für optimierte Konstruktionen verdeutlicht. In der Abbildung 10.1 ist dieses Spektrum zwischen den Standardkonstruktionen und optimierten Varianten dargestellt. Das größte Optimierungspotential ist bei den Türrahmen durch Einfügen von thermischen Trennungen bzw. Dämmschichten erreichbar: Bei Holztüren kann der U_F -Wert durch einen Sandwichtaufbau oder außengedämmte Systeme bei gleichbleibender Rahmendicke um mindestens 25 % gesenkt werden. Bei Metalltüren kann das Einfügen einer zweiten thermischen Trennung bei gleichzeitiger Erhöhung der Rahmendicke den U_F -Wert von über $3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ auf unter $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ absenken.

Da die thermische Leistungsfähigkeit nicht die einzige Anforderung ist, die bei der Planung von Außentüren zu berücksichtigen ist, wurden weitere Anforderungen wie Schallschutz und Formstabilität der thermischen Optimierung gegenübergestellt. Die sich zunächst widersprechenden Anforderungen lassen sich überwiegend in Einklang bringen; so kann beispielsweise durch die Wahl einer thermisch günstigen Aussteifungsmaßnahme der Wärmedurchgangskoeffizient U_D um bis zu $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ gesenkt werden.

Zur thermischen Optimierung von Türsystemen wurde das Ebenenmodell von Schmid [107], das ein Dichtheitskonzept beschreibt, erweitert um eine Schicht der Wärmedämmung bzw. thermischen Trennung, die genau wie die Dichtebenen das gesamte Gebäude umhüllen muss^a. Wichtig ist, dass diese Wärmedämmung ohne große Abknickungen, ohne Einschnürungen oder Durchdringungen in den Flächen sowie in den Anschlussbereichen durchgeführt wird. Mit Hilfe

a. Dieses Modell ist auf die gesamte Gebäudehülle übertragbar.

dieses Hüllenmodells wird die Entwicklung thermisch günstiger Lösungen bei der Planung von Außentüren erleichtert.

Um schon bei der Planung von Türen möglichen Schwachstellen zu begegnen, wurde jeweils ein Maßnahmenkatalog für die Tür, den Wandanschluss und den Schwellenbereich erstellt. Auch Beispiele für die nachträgliche thermische Verbesserung von Türen werden genannt, beispielsweise die Möglichkeit, die Oberflächentemperatur im Laibungsbereich durch Wärmeleitung entlang der raumseitigen Wandoberfläche zu erhöhen oder das nachträgliche Anbringen einer wärmeisolierten Vorsatzschale, mit der die Wärmebrücken des Türblattes außen überdämmt werden und kritische Oberflächentemperaturen von beispielsweise 0,42 über das Anforderungsniveau von 0,6 gehoben werden können.

Das Konstruktionsbeispiel eines Türanschlusses im Holzbau demonstriert eine konkrete Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen.

Kapitel 11

Ausblick

Während der Erstellung dieser Arbeit ergaben sich einige Fragestellungen, die zwar nicht zum Ziel der Arbeit gehörten und daher nicht betrachtet wurden, aber für eine weitere Beschäftigung mit der Thematik beachtet werden sollten:

- **Auswirkung der durch Wärmedämmung erhöhten Temperaturdifferenz zwischen der Außen- und Innenoberfläche der Tür auf die Formstabilität**

Ein erhöhtes Wärmedämmniveau bei Außenbauteilen mindert die Oberflächentemperaturen auf der Außenseite und erhöht die Oberflächentemperaturen auf der Raumseite des Bauteiles (siehe Abbildung 11.1). Die Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen steigt dabei deutlich. Durch Messungen am Prüfstand sollte untersucht werden, ob die steigende Temperaturdifferenz die Formstabilität von Türen beeinträchtigt.

- **Vergleich zwischen dem Heizkastenverfahren und der numerischen Berechnung an einem kompletten Türelement**

Es wäre ein Vergleich zwischen den Resultaten des Heizkastenverfahrens und der

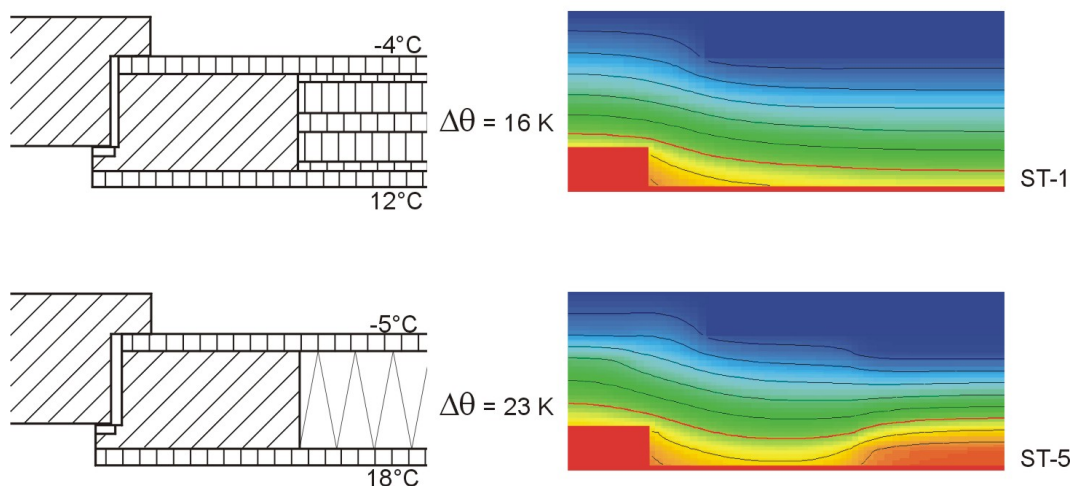


Abbildung 11.1: Zunehmende Temperaturdifferenz zwischen der Außen- und Innenoberfläche der Tür bei steigendem Wärmedämmniveau.

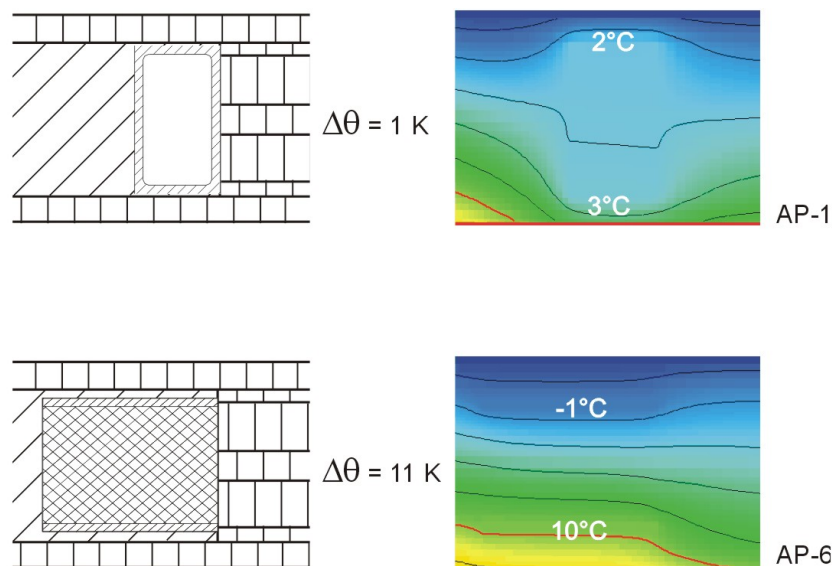


Abbildung 11.2: Größere Temperaturdifferenz bei thermisch getrennten Aussteifungsprofilen im Vergleich zu geschlossenen Profilen

numerischen Berechnung interessant, bei dem nicht nur – wie bei dem Verfahren aus E DIN EN 12412-2 [30] – die Berechnung eines Rahmenprofils mit Verglasung verglichen wird, sondern ein gesamtes Türelement, das eine Vielzahl von Störungen enthält (Aussteifungsprofile und Elemente des Beschlages, wie Bänder, Schlosskasten, Beschläge, Türdrücker, Zusatzverriegelungen u. a.). Zu untersuchen wäre, ob trotz der teilweisen Überlagerung der einzelnen Wärmebrücken gleiche Resultate bei der numerischen Berechnung und dem Heizkastenverfahren erzielt werden.

- **Einfluss der Holzfeuchte auf den Wärmeverlust der Außentür**

Es sollte eine Untersuchung der tatsächlichen Holzfeuchte, die sich in verschiedenen Bereichen der Außentür bei einer Klimadifferenz einstellt, durchgeführt werden.

Zu klären ist, welchen Einfluss eine erhöhte Holzfeuchte auf die Wärmeleitfähigkeit der Türmaterialien hat und wie dies den Wärmeverlust über die Außentür beeinflusst.

- **Untersuchung zur Querleitung der Oberflächenwärme**

In dieser Arbeit wurden zwei Maßnahmen beschrieben, mit denen die niedrige Oberflächentemperatur im Bereich von Wärmebrücken durch Querleitung der Oberflächenwärme aus angrenzenden Bereichen erhöht werden kann (Abschnitt 9.3.6 auf Seite 141 und Abschnitt 9.4.4 auf Seite 146). Interessant wäre eine weitere Untersuchung dieser Methode und die Erprobung in der Sanierungspraxis.

- **Prüfung der Formstabilität von thermisch getrennten Aussteifungsprofilen bei Differenzklima**

Wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit von Metall stellt sich in den herkömmlichen Aussteifungsprofilen eine nahezu gleiche Temperatur über den Profilquerschnitt ein. Bei den Aussteifungsprofilen AP-5 und AP-6 liegt zwischen den Profilelementen eine Wärmedämmung in Form von Holz oder Schaumkunststoff. Dies führt zu unter-

schiedlichen Temperaturen in den beiden Metallelementen (siehe Abbildung 11.2) und könnte zu temperaturbedingten Formänderungen der Profile und damit der Tür führen.

Eine Untersuchung der möglichen Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Formstabilität wäre wichtig, da diese Form der Aussteifung durch ihre geringe thermische Beeinträchtigung der Tür vorteilhaft ist. Würde allerdings bei diesen Aussteifungsprofilen bei größeren Temperaturdifferenzen statt der Aussteifung eine temperaturbedingte Verformung überwiegen, so wären diese Profile nicht zu empfehlen, da sie Undichtigkeiten im Falz und damit erhebliche Wärmeverluste begünstigen.

Da diese Form der Aussteifung noch sehr neu ist, konnten zu der Thematik keine Angaben, weder vom Hersteller der so ausgesteiften Türrahmen noch in der Literatur, gefunden werden.

Bei einer möglichen Bearbeitung dieser Fragestellungen werden die Ergebnisse dieser Arbeit von Nutzen sein.

Anhang A

Vergrößerte Isothermenkarten der Türen und des Schwellenbereiches

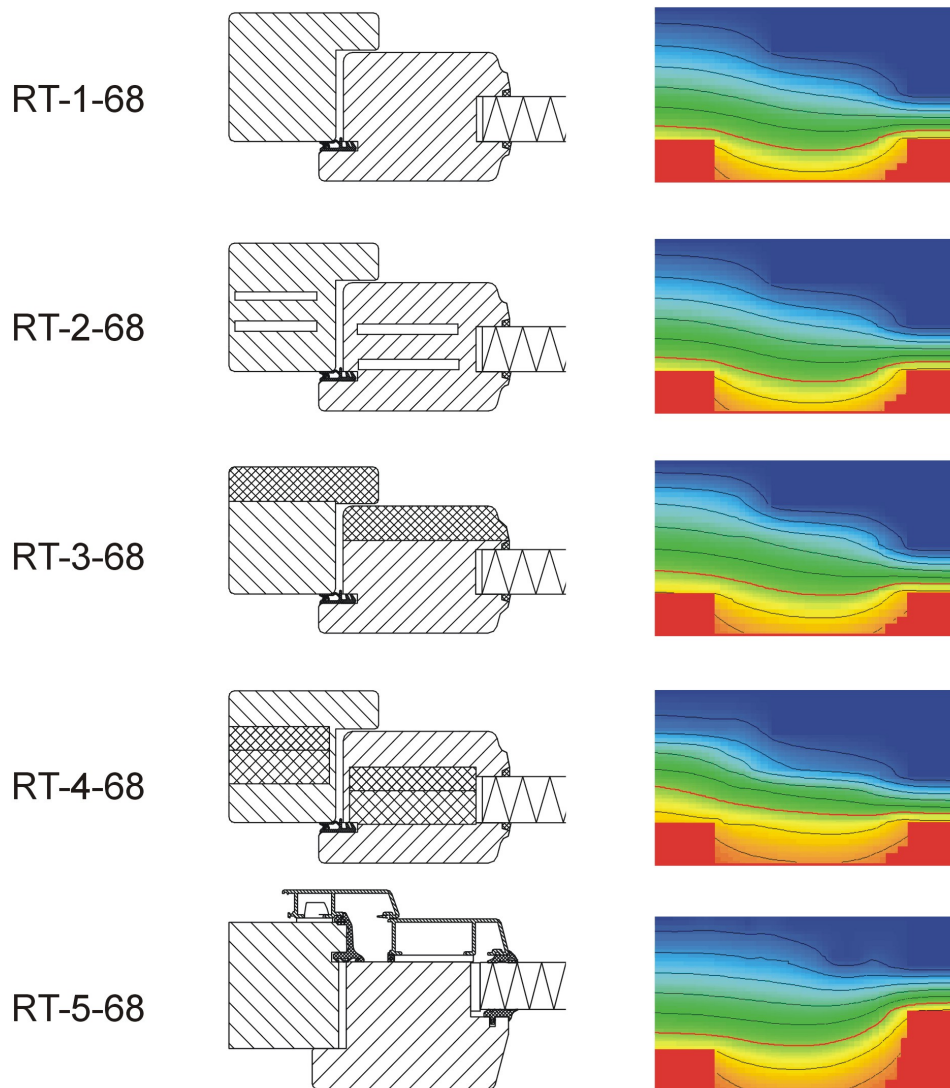


Abbildung A.1: Vergrößerte Isothermenkarten der 68 mm dicken Rahmentüren, Teil 1

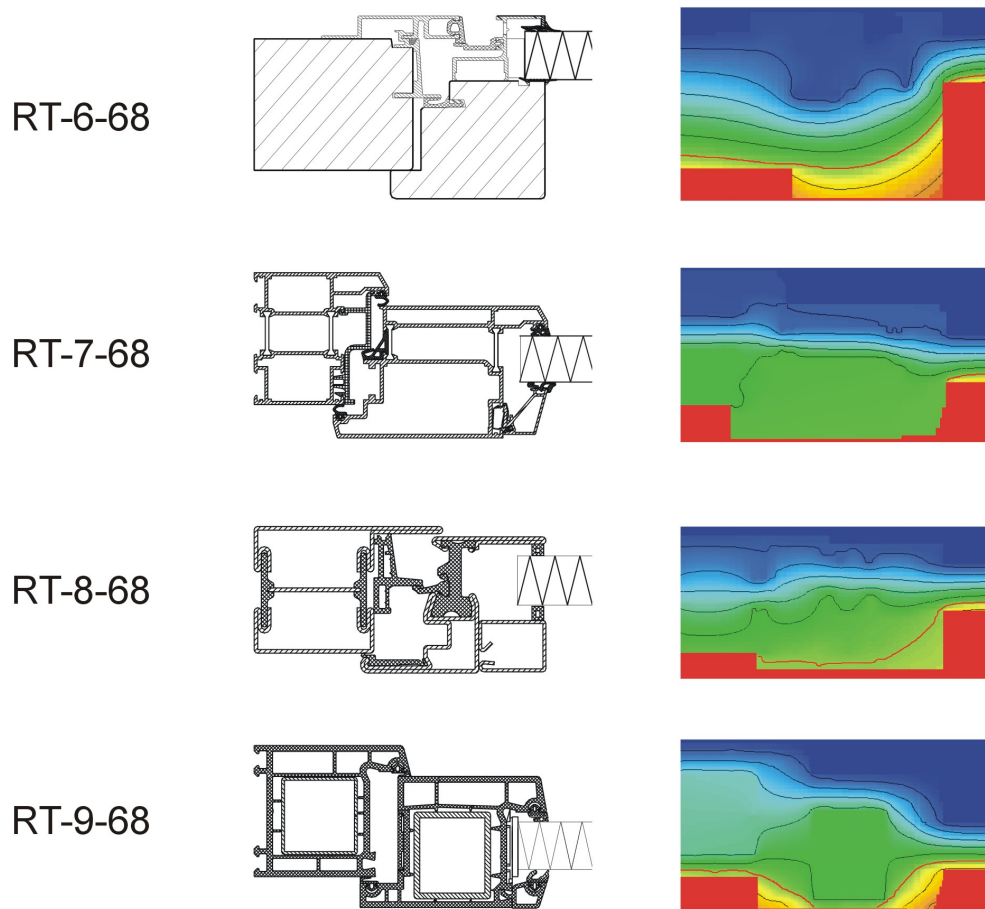


Abbildung A.2: Vergrößerte Isothermenkarten der 68 mm dicken Rahmentüren, Teil 2

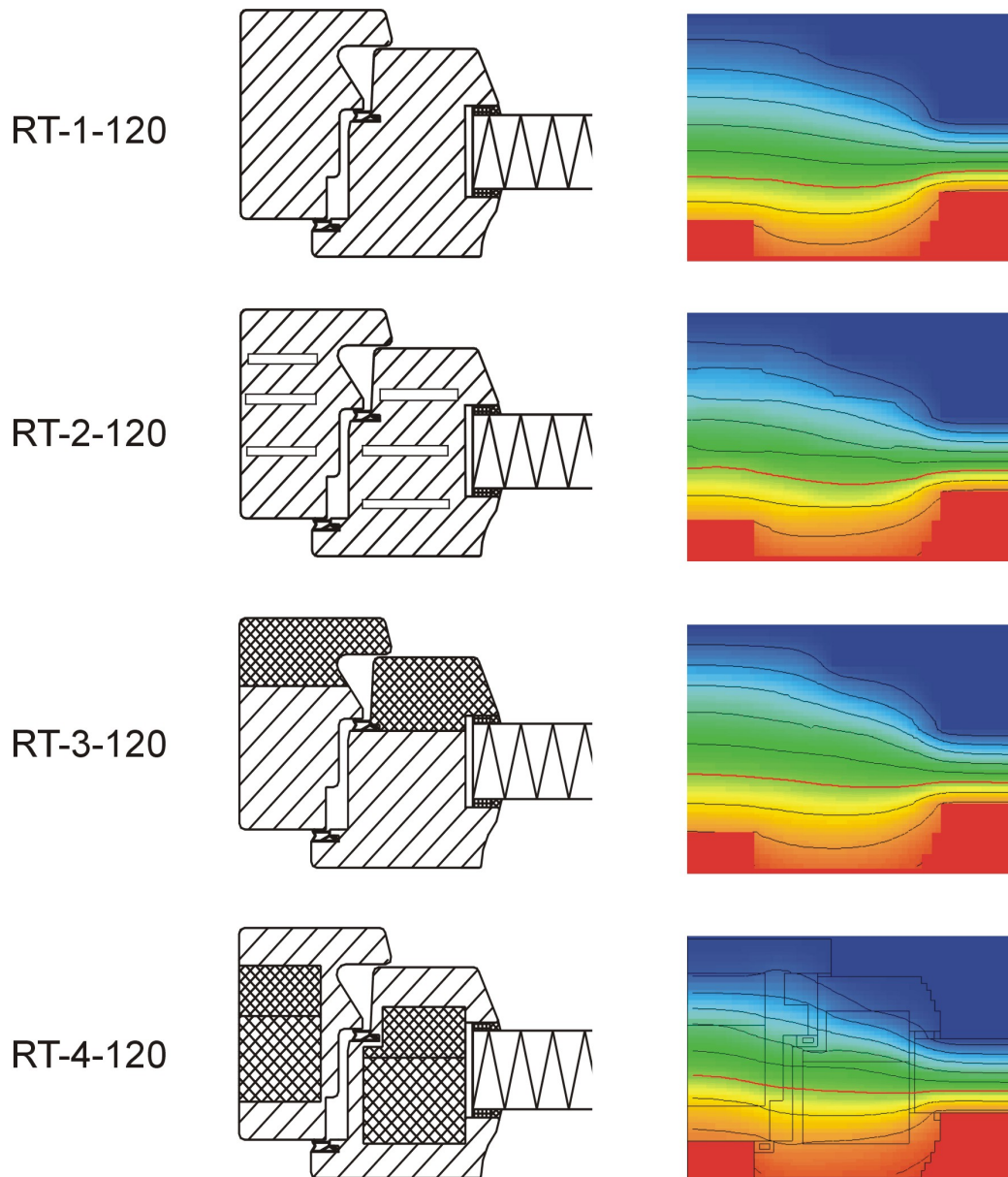


Abbildung A.3: Vergrößerte Isothermenkarten der 120 mm dicken Rahmentüren, Teil 1

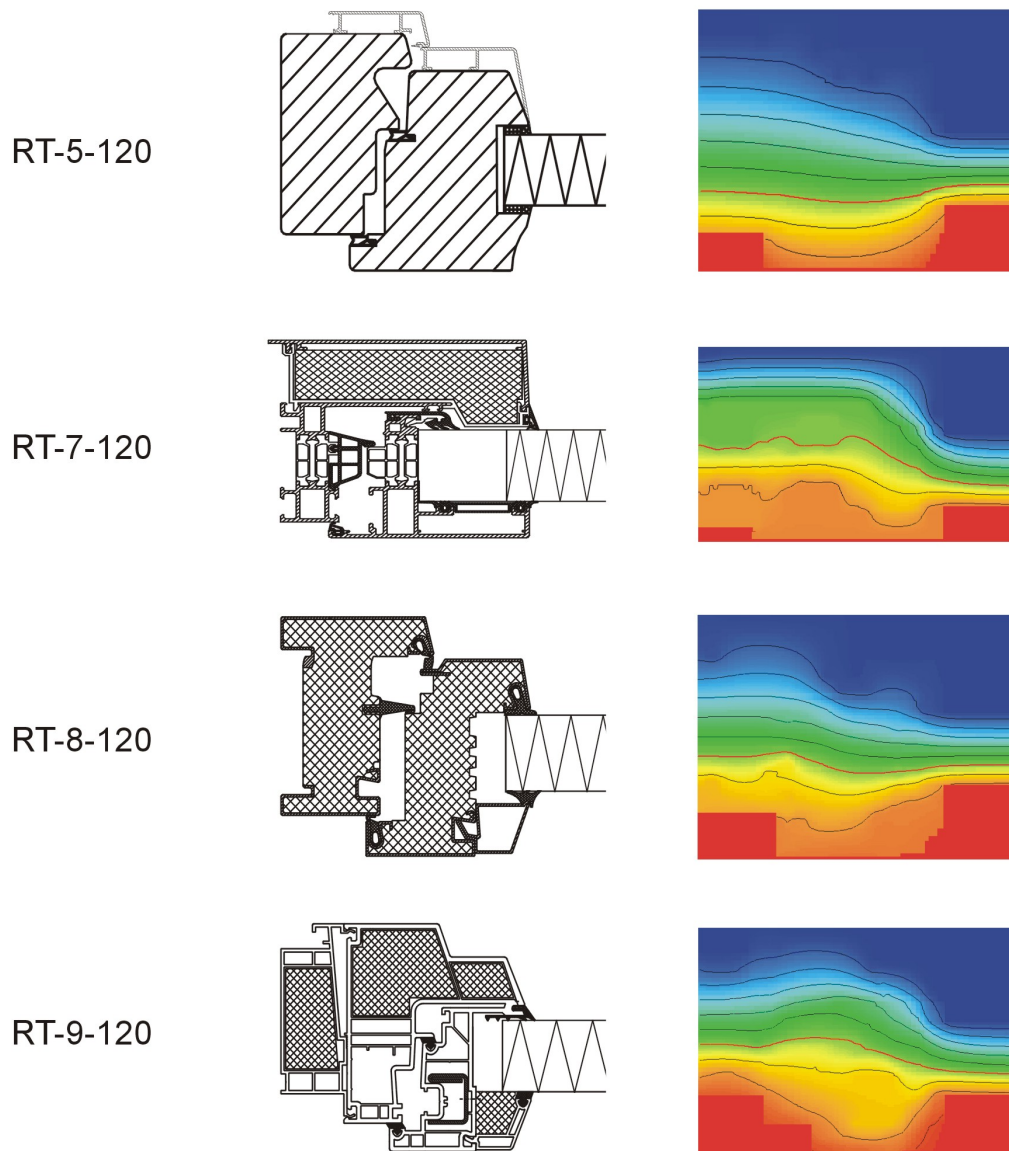


Abbildung A.4: Vergrößerte Isothermenkarten der 120 mm dicken Rahmentüren, Teil 2

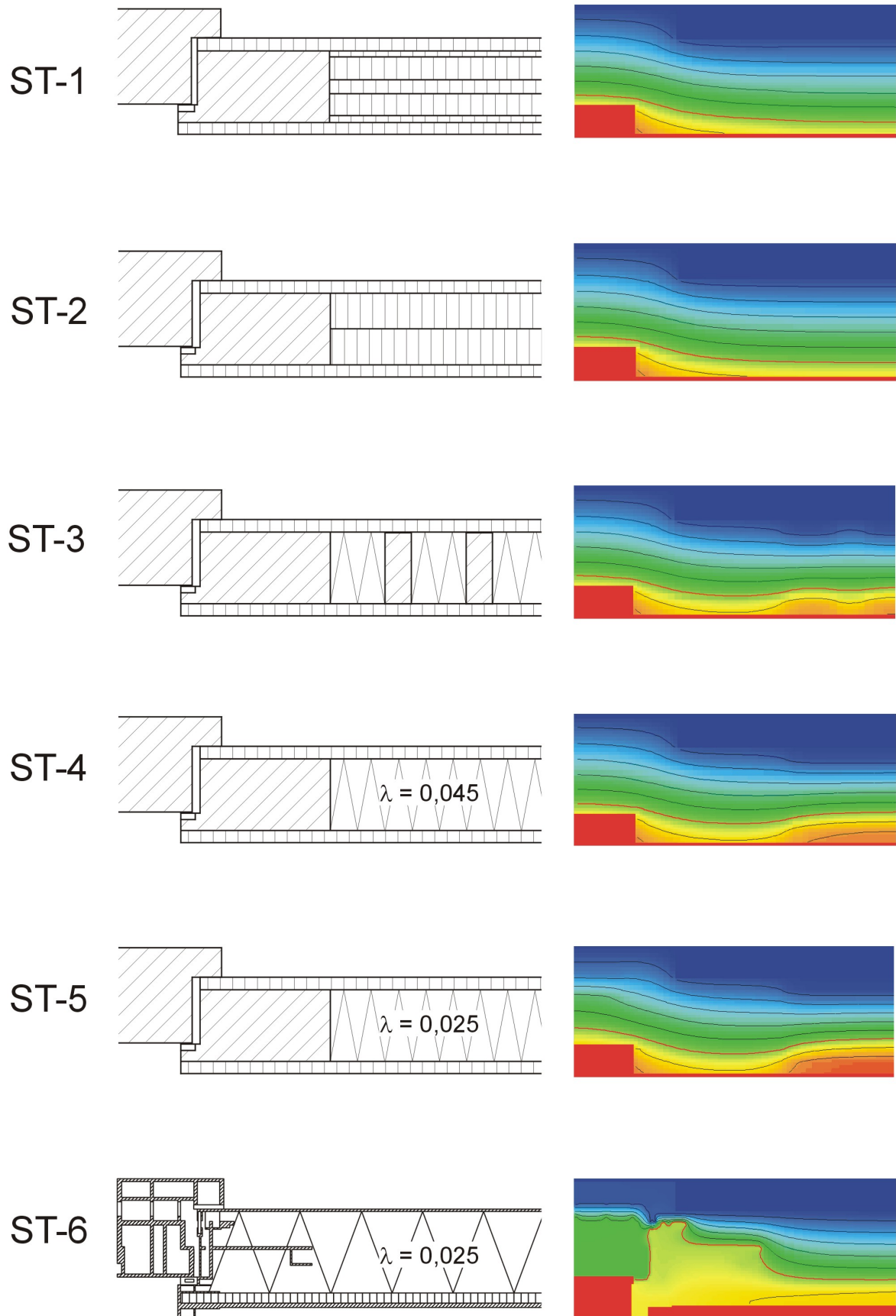


Abbildung A.5: Vergrößerte Isothermenkarten der Sperrtüren

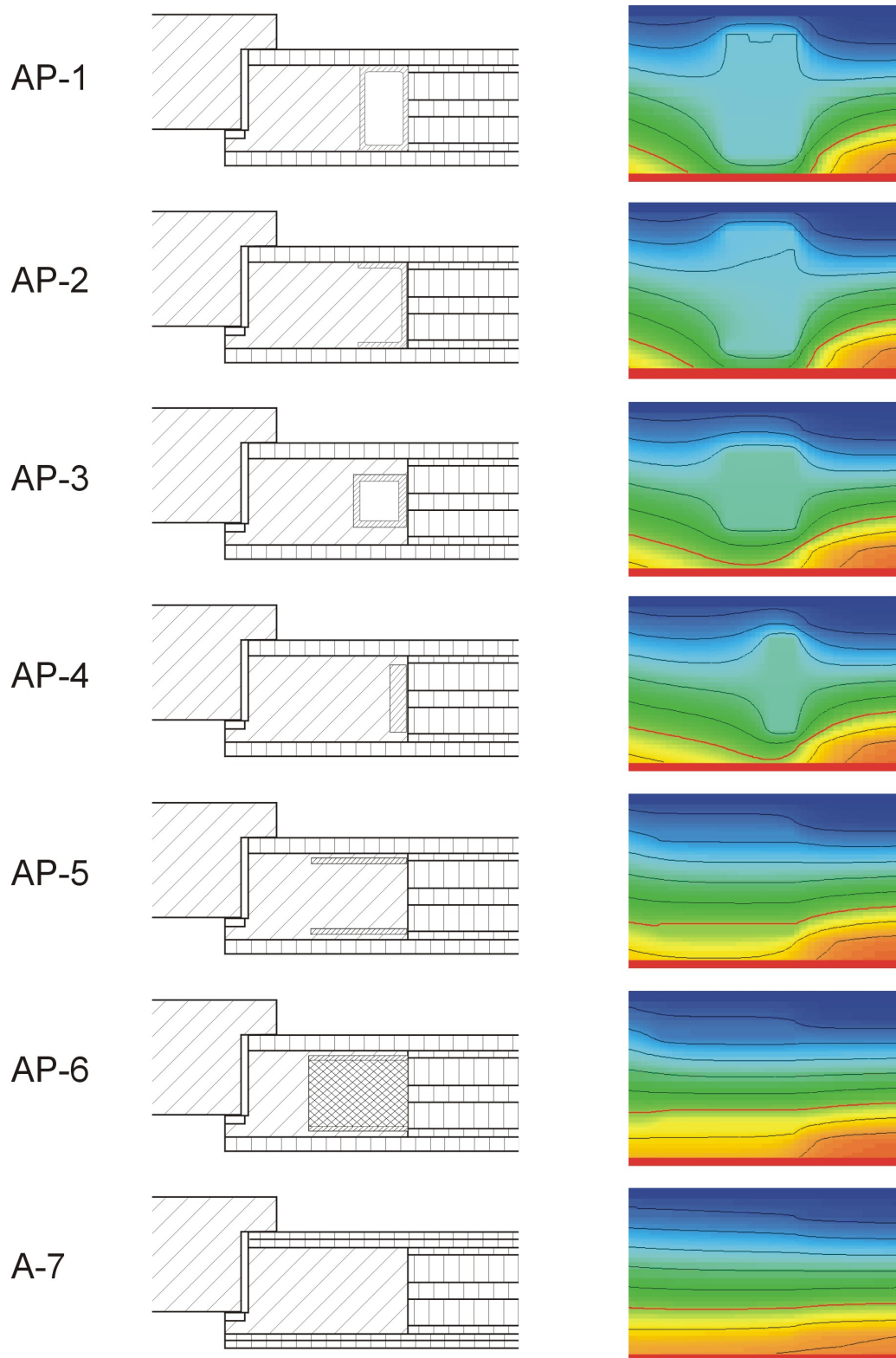
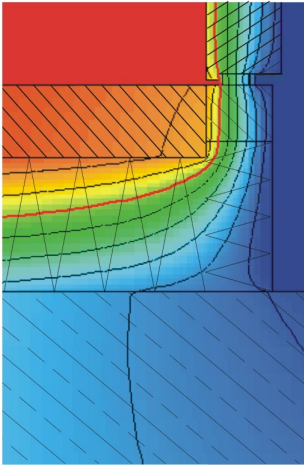
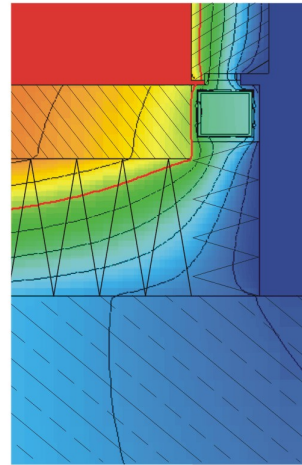


Abbildung A.6: Vergrößerte Isothermenkarten der Aussteifungsprofile

Holzschwelle

Stahlprofil
mit Kunststoffüberzug

Holzschwelle (Sandwich)

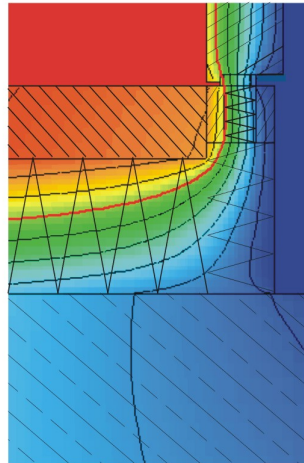
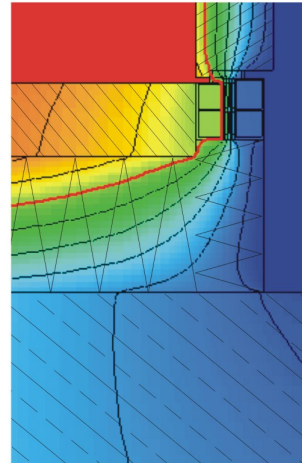
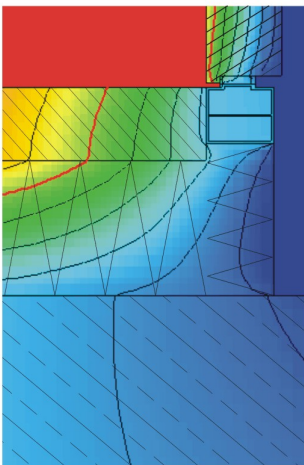
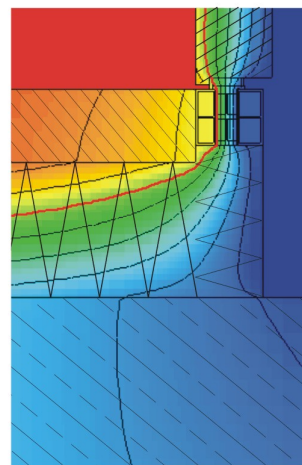
Aluminiumprofil,
10 mm therm. TrennungAluminiumprofil,
ohne therm. TrennungAluminiumprofil,
20 mm therm. Trennung

Abbildung A.7: Vergrößerte Isothermenkarten des Türschwellerbereiches

Quellenverzeichnis

Zunächst sind die verwendeten Normen aufgeführt, geordnet nach aufsteigender Nummer, anschließend sind die weiteren Quellen alphabetisch geordnet.

- [1] DIN EN 673: Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Berechnungsverfahren, 2001-01.
- [2] DIN EN 947: Drehflügeltüren – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen vertikale Belastung, 1999-05.
- [3] DIN EN 948: Drehflügeltüren – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen statische Verwindung, 1999-11.
- [4] DIN EN 949: Fenster, Türen, Dreh- und Rolläden, Vorhangfassaden – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Türen gegen Aufprall eines weichen und schweren Stoßkörpers, 1999-05 .
- [5] DIN EN 950: Türblätter – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen harten Stoß, 1999-11.
- [6] DIN EN 952: Türblätter – Allgemeine und lokale Ebenheit – Messverfahren, 1999-11.
- [7] DIN EN 1026: Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Prüfverfahren, 2000-09.
- [8] DIN EN 1027: Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Prüfverfahren, 2000-09.
- [9] DIN EN 1192: Türen – Klassifizierung der Festigkeitsanforderungen, 2000-06.
- [10] DIN EN 1121: Türen – Verhalten zwischen zwei unterschiedlichen Klimaten – Prüfverfahren, 2000-09.
- [11] DIN V ENV 1627: Fenster, Türen, Abschlüsse – Einbruchhemmung – Anforderungen und Klassifizierung, 1999-04.
- [12] DIN 4108, Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, 1998-08.
- [13] DIN 4108-1: Wärmeschutz im Hochbau – Größen und Einheiten, 1981-08.
- [14] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2001-03.

- [15] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung, 2001-07.
- [16] DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte, 1998-10.
- [17] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, 2000-11.
- [18] DIN V 4108-7: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7: Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen – Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, 1996-11.
- [19] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise, 1989-11.
- [20] DIN 4109, Beiblatt 2: Schallschutz im Hochbau – Hinweise für Planung und Ausführung – Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz – Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich, 1989-11.
- [21] DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, 1996-11.
- [22] DIN EN ISO 7345: Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen, 1996-01.
- [23] DIN EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren, 2000-11.
- [24] E DIN EN ISO 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen, 1999-02.
- [25] DIN EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren, 1995-11.
- [26] DIN EN ISO 10211-2: Wärmebrücken im Hochbau - Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken, 2001-06.
- [27] DIN EN 12207: Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung, 2000-06.
- [28] DIN EN 12208: Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Klassifizierung, 2000-06.
- [29] DIN EN 12219: Türen – Klimaeinflüsse – Anforderungen und Klassifizierung, 2000-06.
- [30] E DIN EN 12412-2: Fenster, Türen und Abschlüsse – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 2: Rahmen, 1998-01.
- [31] E DIN EN 12519: Türen und Fenster – Terminologie, 1996-11.
- [32] DIN EN 12524: Baustoffe und -produkte – Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte, 2000-07.

- [33] DIN EN ISO 12567-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern und Türen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 1: Komplette Fenster und Türen, 2001-02.
- [34] DIN EN 12775: Massivholzplatten – Klassifizierung und Terminologie, 2001-04.
- [35] DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren, 1998-12.
- [36] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren, 2001-11.
- [37] DIN EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren, 1999-10.
- [38] DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, 2001-02.
- [39] E DIN EN 13986: Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung, 2000-10.
- [40] DIN EN 14351: Fenster und Außentüren – Produktnorm, 2002-02.
- [41] DIN EN ISO 14683: Wärmebrücken im Hochbau – Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient – Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte, 1999-09.
- [42] DIN 18055: Fenster – Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung – Anforderungen und Prüfung, 1981-10.
- [43] DIN 68706-1: Sperrtüren – Begriffe, Vorzugsmaße, Konstruktionsmerkmale für Innentüren, 1980-01.
- [44] ALCO-Bauelemente Industrie- und Handelsges. m. b. H.: Fenstertechnik, Wien, 1998.
- [45] ANSYS Incorporate: ANSYS-Temperaturfeldberechnungen. ANSYS Incorporate Global Headquarters, Canonsburg, 1999.
- [46] Anton Plenk KG: Produktwerbung Haustür-Fries mit Hartschaumkern und Metallarmierung. Ruhpolding, 2001.
- [47] Bau- und kunststofftechnische Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH (bkv): Produktinformation Türschwelle Eifel, Wuppertal, 2001.
- [48] Belz, W. et al.: Mauerwerk-Atlas. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e.V. und Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, Bonn und München, 1999.
- [49] Biffar GmbH & Co. KG: Produktinformation Eingangskonzepte. In den Seewiesen, 67480 Edenkoben, 2001.

- [50] BINE-Informationdienst: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen. Fachinformationszentrum Karlsruhe, TÜV-Verlag, 2000.
- [51] Borsch-Laaks, R.: Neuer Trend am Markt: Niedrig-Energie-Fenster. In: Die neue Quadriga, 2001-03.
- [52] Borsch-Laaks, R.; Köhnke, E. U.; Winter, S.: Durchblick erwünscht – Die Optimierung beim Fensteranschluss hat viele Aspekte. In: Die neue Quadriga, 2001-03.
- [53] Brandt, H.: Holzhaustüren – Gestaltbild, Fertigungstechnik, Wirtschaftlichkeit. Expert-Verlag, Böblingen, 1993.
- [54] Bug Aluminiumtechnik: Produktinformation Fensterrahmen, 1999.
- [55] CEPHEUS: Für das Passivhaus geeignete Fenster. Fachinformation Passivhausinstitut, 1999-09
- [56] Colling, F.: Lernen aus Schäden im Holzbau – Ursachen, Vermeidung, Beispiele. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V., DGfH Innovations- und Service GmbH, München, 2000.
- [57] Danmarks Tekniske Universitet Lyngby: Ruder og vinduers energimæssige egenskaber – Detailjerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata. Lyngby (DK), 2001-03.
- [58] EnEV: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung), 2001-11.
- [59] Eurotec Pazen GmbH: Produktinformation Fenster und Türen. Zeltingen-Rachtig, 2001.
- [60] Fels-Werke GmbH: Produktinformation Hebel-Porenbeton, 2001.
- [61] FRAME (Bauphysik-Software): Enermodal Engineering, Colorado, USA, 1999.
- [62] Frick, Knöll: Baukonstruktionslehre 2. 31. Auflage, Verlag B. G. Teubner, Stuttgart, 2001.
- [63] Fuchs Metalltechnik GmbH: Produktinformation Therminator – Der optimale Befestigungsanker. A-Ybbsitz, 2001.
- [64] Geißler, A.; Hauser, G.: Luftdichtheit von Holzhäusern. In: Bauen mit Holz, S. 562-568, 1996-07.
- [65] Gertis, K.; Ehrhorn, H.; Reiß, J.: Klimawirkung und Schimmelpilzbildung bei sanierten Gebäuden. In: Bauphysik der Außenwände, Schlussbericht. Fraunhofer IRB Verlag, 2000.
- [66] Glunz AG: Produktinformation Agepan DWD-Holzfaserplatten. Meppen, 2002.
- [67] Gretsch-Unitas GmbH: Baubeschläge. Produkt- und Planungsunterlagen G-U-Security-Automatic. Ditzingen, 2002.
- [68] Groth, C.; Müller, G.: FEM für Praktiker – Temperaturfelder. Expert-Verlag, 1998.

- [69] Gutmann Werke GmbH: Produktinformation Thermisch getrennte Bodenschwelle für Haustüren, 2001.
- [70] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrückenatlas für den Holzbau. Bauverlag Berlin, 1992.
- [71] HAWA AG: Lärmschutz mit HawaphonTM, CH-8932 Mettmenstetten, 1992.
- [72] HAWIK Innovative Baubeschläge GmbH: Produktinformation Thermisch getrenntes Schwellenprofil, Nörvenich, 2000.
- [73] Holzforschung Austria: Einbruchhemmende Fenster und Türen aus Holz. Proholz Österreich, 1998
- [74] Holz-Schiller GmbH: Produktwerbung außengedämmte Holzkantel, Regen. 2001.
- [75] Höttges, K.: U-Wert-Berechnung von Bauteilen mit nebeneinanderliegenden Bereichen. In: Bauphysik 22/2000, Heft 2, S. 121-123, 2000.
- [76] Institut für Fenstertechnik e. V.: Wohnungseingangstüren. Rosenheim, 1983.
- [77] Illbruck Bau-Technik GmbH: Abdichtung beim Fenstereinbau – Die Dokumentation. Leverkusen, 1993. Außerdem: www.illbruck-abdichtungssysteme.de.
- [78] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH: Wärmebrücken-Katalog auf CD-ROM, 34225 Baunatal
- [79] Industrieverband Dichtstoffe: Merkblatt Nr. 9: Dichtstoffe in der Anschlussfuge für Fenster und Außentüren – Grundlagen für Planung und Ausführung. Düsseldorf, 1997.
- [80] Jansen AG: Produktinformation Janisol – Wärmegeämmte Profilsysteme für Türen, Fenster und Fassaden, CH-9463 Oberriet SG, 2001.
- [81] Kaufmann, B.; Schnieders, J.; Pfluger, R.: Passivhaus-Fenster. In: Tagungsband mit Beiträgen der Referenten der 6. Europäischen Passivhaustagung, Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, 2002.
- [82] Kalksandstein-Information GmbH + Co KG: Passivhäuser – Detailvorschläge. Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf, 2001.
- [83] Kehl, D.: Auf den Einbau kommt es an – Energetisch optimierte Fensteranschlüsse. In: Die neue Quadriga, 03-2001.
- [84] Kömmerling GmbH: Produktinformation Thermowin, 66954 Pirmasens, 2000.
- [85] Krüger, E.: Konstruktiver Wärmeschutz – Niedrigenergie-Hochbaukonstruktionen. Verlagsges. Müller, 2000.
- [86] Kuchler, A.; Schmid, J.; Sieberath, U.: Technische Anforderungen an Haustüren. In: Holz-Zentralblatt, V. 111 (52-53), Stuttgart, 1985.
- [87] KUKA GmbH (Kronsberg-Umwelt-Kommunikations-Agentur GmbH): Energieeinsparverordnung und mit geltende Normen – Eine Handreichung für Planende und Ausführende. 30539 Hannover, 2001.

- [88] LBNL: THERM (FEM-Bauphysik-Software): Building Technologies Program, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), 1999.
- [89] Leitz GmbH Spezialwerkzeuge für die maschinelle Holzbearbeitung: Produktinformation Werkzeuge für Holzhaustüren, Oberkochen, 2000.
- [90] LIAPLAN GmbH: Produktinformation Ultra 010, Breisach, 2001.
- [91] Mechatronic Systeme GmbH: Mechatronische Sicherheitssysteme, Berlin, 2002.
- [92] Müller, R.: Hauseingangstüren aus Holz – Planung, Konstruktion, Gestaltungsgrundsätze. Bauverlag, Wiesbaden, 1994.
- [93] Müller, R.: Türen-Normung und ihre Auswirkungen. In: Holz- und Kunststoffverarbeitung, V. 30 (6), Stuttgart, 1995.
- [94] Nutsch, W.: Haustüren in Holz – Entwurf und Konstruktion. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1988.
- [95] Oberacker, R.: Niedrigenergie- und Passivhaus-Fenster und die zukünftige Energie-Einspar-Verordnung. In: GFF – Zeitschrift für Glas, Fenster und Fassade, 02-2001.
- [96] Pohl, W.-H.; Horschler, S.; Pohl, R.: Synergiehaus – Luftdicht-Prima-Klima-Programm. PreussenElektra Aktiengesellschaft, Hannover, 1997.
- [97] Puren Schaumstoff GmbH: Informationsblätter Puren Dämmrahmen und Purenit, Überlingen/Bodensee, 2000.
- [98] RAL: Haustüren – Gütesicherung. RAL-GZ-996. Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, 1987.
- [99] RAL: Leitfaden zur Montage. RAL-Gütegemeinschaften Fenster und Haustüren, Frankfurt am Main, 1999.
- [100] REHAU AG + Co: Produktinformation Fenster Klima-Design, Erlangen, 2001.
- [101] Reichel, D.: Zur Zuluftsicherung von nahezu fugendichten Gebäuden mittels dezentraler Lüftungseinrichtungen. Dissertation an der Technischen Universität Dresden, 1999.
- [102] RP Technik GmbH: Produktinformation RP-Isogarant, Wickede, 2000.
- [103] Reitmayer, U.: Holztüren und Holztore. Verlag Julius Hoffmann, Stuttgart, 1970.
- [104] RWE Energie: Bau-Handbuch. Hrsg. RWE Energie AG, Essen, 1998.
- [105] Schild, E.; Oswald, R. u. A.: Schwachstellen – Schäden, Ursachen, Konstruktions- und Ausführungsempfehlungen – Teil 5: Fenster und Außentüren. Bauverlag, Wiesbaden, 1984.
- [106] Schild, E.; Oswald, R. u. A.: Bauschäden im Wohnungsbau – Ergebnisse einer Umfrage unter Bausachverständigen – Teil 10: Bauschäden an Fenstern und Türen. Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Dortmund, 1980.

- [107] Schmid, J.: Montage von Fenstern – Stand der Technik. Tagungsunterlagen des Jahreskongresses der Fensterverbände, Frankfurt, 1997.
- [108] Schüco International: Produktinformation Schüco VacuTherm Paneel, 2002.
- [109] Schumacher, R.: Schäden an Türen und Toren. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2001.
- [110] Sigg GmbH und Co KG: Produktinformation Holzfenster, A-Hörbranz, 2001.
- [111] Silber Fensterbau GmbH: Produktinformationen, A-Mistelbach, 2001.
- [112] Sommer-Informatik GmbH: Winlso 2D und Winlso 3D – Finite-Element-Programme. Handbuch zur Software (und Gespräch mit Herrn R. Steinert auf dem Kongress 'Bayern Innovativ' in Nürnberg), Rosenheim, 2001-11.
- [113] Technische Universität München: Forschungsbereich Mathematik, Gliederung der Numerischen Mathematik IV, 2002.
- [114] VARIOTEC GmbH und Co. KG: Produktinformation Thermosafe Haustür, Neumarkt/Oberpfalz, 2000.
- [115] VARIOTEC GmbH und Co. KG: Produktinformation Haustürfries, Neumarkt/Oberpfalz, 2001.
- [116] University College Dublin: WIS (Bauphysik-Software), Energy Research Group, School of Architecture, Dublin, Irland, 1999.
- [117] VEKA AG: Produktinformation Haustür-Konstruktionen, Sendenhorst, 1999.
- [118] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. (VFF): Der deutsche Markt für Außen Türen, 2000.
- [119] Werner, J.: Wohnungslüftung. In: Das Bauzentrum, Verlag 'Das Beispiel', 1994-05.
- [120] WICONA Bausysteme GmbH: Produktinformation Wicona-Haustür, Ulm, 2001.
- [121] Winter Holzbau GmbH: Produktinformation Ewitherm – Das Energiespar-Holzfenster mit dem Dämmkern aus Kork, Thedinghausen, 2001.
- [122] Woschko Winlite GmbH: Produktinformation Winplus, Weinsberg, 2000.

Lebenslauf

Zur Person

Britta Schacht, geb. Rhenius, geboren am 16. April 1972 in Hamburg, verheiratet

Bildungsweg

1978–1991	Grundschule und Gymnasium in Hamburg Leistungskurse: Mathematik und Physik
1991-1998	Studium der Holzwirtschaft an der Universität Hamburg
1998	Diplomarbeit in Schweden an der Staatlichen Prüfungs- und Forschungsanstalt: <i>Überprüfung verschiedener Verfahren der maschinellen Schnittholzsortierung zur Erkennung ausgewählter Holzfehler</i>
1998	Studienabschluss Diplom
seit April 2000	Promotionsstudium an der Universität Hamburg

Berufstätigkeit

seit Oktober 1998	Technische Universität Hamburg-Harburg: Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Arbeitsbereich Angewandte Bautechnik, Tätigkeit in der Forschung und Lehre
seit Oktober 2000	Autorenvertrag mit der Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln
seit April 2002	Lehrauftrag an der Universität Hamburg

Verbandstätigkeit in der Jugend- und Erwachsenenbildung

1995–2000	Vorsitzende eines Jugendverbandes mit 1800 Mitgliedern: Organisatorische und inhaltliche Leitung, Haushaltsplanung und Controlling, Fachaufsicht über vier Angestellte, Planung und Durchführung von Seminaren zur Aus- und Weiterbildung junger Erwachsener (15–30 Jahre)
-----------	--

Veröffentlichungen

Marelius, M.; Schacht, B.; Johansson, I.: *Crack generation in planed and painted wooden sidings*. Wood–Paint–Moisture 1995, Nordic Conference, Högskolan i Luleå, 1995.

Bernasconi, A.; Schacht, B.; Boström, L.: *Detection of severe timber defects by machine grading*. International Council for Building Research Studies and Documentation. Graz, 1999.

Schacht, B.: *Bauphysik*. In: Krüger, E. W. / Fisch, M. N.: *Energetische Gebäudeplanung*, Verlag Rudolf Müller, Köln, 2001.

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt worden ist, dass wörtlich oder inhaltlich aus anderen Quellen übernommene Stellen als solche kenntlich gemacht wurden und dass die Inanspruchnahme fremder Hilfen namentlich aufgeführt wurde.

Hamburg, 10. Juli 2002