

türen nicht berücksichtigt, können aber danach zur Feststellung des U-Wertes gemessen werden. Weitere Informationen zum Thema siehe Kapitel 13. Die Verwendbarkeit des geregelten Bauproduktes »Außentür« ergibt sich aus der Übereinstimmung mit den bekannt gemachten technischen Regeln der Bauregelliste. Türen (Haustüren oder Laubengangtüren) unterliegen den nachfolgend in der Bauregelliste B, Teil 1, aufgeführten Normen:

- Ifd. Nr. 1.6.8 »Fenster und Außentüren ohne Eigenschaften bezüglich Feuerschutz und/oder Rauchdichtheit«
Norm: EN 14351-1:2016-12

Weitere Informationen zum Thema siehe Kapitel 11.

12.4 Berechnung des U-Wertes von Haustüren

Die Berechnung des U-Wertes erfolgt nach DIN EN ISO 10077. Die DIN EN ISO 10077 besteht aus zwei Teilen: DIN EN ISO 10077-1:2020-10 bzw. DIN EN ISO 10077-2:2018-01.

Teil 1 der DIN EN ISO 10077 legt Verfahren zur Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern und Türen fest, sofern diese aus einer Verglasung bzw. opaken (= nicht transparenten) Füllungen in einem Rahmen bestehen. Abschlüsse, z.B. Fensterläden oder Rollläden, können berücksichtigt werden. Die Berechnungsformeln können mit Werten aus dem Anhang der DIN EN ISO 10077-1 angewendet werden. Der errechnete U_D -Wert ist relativ ungenau. Allerdings kann man ihn schnell und kostengünstig errechnen. Genauere Ergebnisse erhält man, wenn man in den Formeln der DIN EN ISO 10077-1 Berechnungsergebnisse für die einzelnen Komponenten der Türe gemäß DIN EN ISO 10077-2 verwendet. Die oben genannten Verfahren werden in diesem Kapitel später detaillierter beschrieben.

Die Bauregelliste A, Teil 1, in der Fassung 2014/2 hat dies berücksichtigt und legt in der Anlage 6.3 für die Berechnung des U_D -Wertes die DIN EN ISO 10077-1 fest.

Nachfolgend werden einige häufig für die Berechnung von U-Werten von Haustüren benötigte Werkstoffkennwerte aus DIN EN ISO 10077-2 aufgeführt: Für U-Wert-Berechnungen wird i.d.R. die Wärmeleitzahl $\lambda = 0,030 \text{ W/(mK)}$ für Dämmstoffe wie mine-

Windgeschwindigkeit [m/s]	R _{se} [(m²K)/W]
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

Tab. 12.4 Werte von R_{se} für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten nach DIN EN ISO 6946 [Quelle: DIN EN ISO 6946:2018-3]

Dicke der Luftschicht [mm]	Wärmedurchlasswiderstand in [(m²K)/W] Richtung des Wärmestroms		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Anmerkung: Zwischenwerte können mittels linearer Interpolation ermittelt werden

Tab. 12.5 Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten nach DIN EN ISO 6946 [Quelle: DIN EN ISO 6946]

Wärmeübergangswiderstand [m² K/W]	Richtung des Wärmestroms		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R _{si}	0,10	0,13	0,17
R _{se}	0,04	0,04	0,04

Tab. 12.6 Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten bei horizontalem Wärmestrom nach DIN EN ISO 6946 [Quelle: DIN EN ISO 6946]

ralische und pflanzliche Faserdämmstoffe oder Polystyrol- und Polyurethan-Hartschaum verwendet. Liegt ein Nachweis für eine Klassifizierung eines bestimmten Wärmedämmstoffes in einer Wärmeleitfähigkeitsgruppe vor, dann kann die Wärmeleitzahl λ entnommen werden.

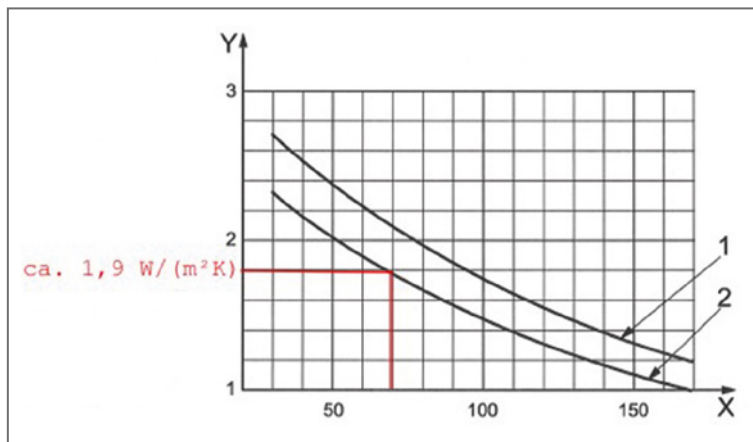


Abb. 12.2 Wärmedurchgangskoeffizienten für Holzrahmen [Quelle: DIN EN ISO 10077-1, ergänzt durch den Autor]

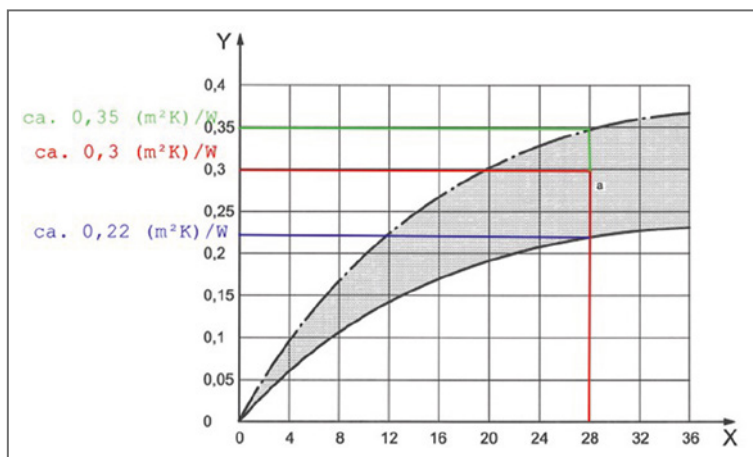


Abb. 12.3 R_f -Werte für Metallrahmen mit wärmetechnischer Trennung [Quelle: DIN EN ISO 10077-1, ergänzt durch den Autor]

X kleinster Abstand d zwischen gegenüberliegenden Metallprofilen, in mm
Y Wärmedurchlasswiderstand R_f des Rahmens in $\text{m}^2 \text{K/W}$

12.4.1 Berechnung nach DIN EN ISO 6946

Laut Anwendungsbereich ist DIN EN ISO 6946 nicht anwendbar für die Berechnung von Fenstern und Türen und anderen verglasten Einheiten. Sie dient zur Berechnung von Bauwerksteilen wie Wände, Böden, Dächer etc.

Bei den Angaben zu den Wärmeübergangswiderständen unterscheidet die DIN EN ISO 6946 hinsichtlich der Richtung des Wärmestroms (aufwärts, horizontal, abwärts), d. h. die Tabellenwerte erfahren eine Dreiteilung (Tabelle 1 und Tabelle 2 der zitierten Norm). Der äußere Wärmeübergangswiderstand (mit R_{SE} bezeichnet) ist zudem in Abhängigkeit der Windstärke tabellarisch angegeben (Tabelle A2 der zitierten Norm).

Ebenfalls im Anhang der Norm finden sich Angaben zu Korrekturen des Wärmedurchgangskoeffizienten hinsichtlich Luftspalten im Bauteil und mechanischen Befestigungselementen, die die Bauteilschichten durchdringen. Diese Korrekturfaktoren (ΔU) zielen indes

auf Wand-, Decken und Dachelemente ab, bewegen sich im 1/100 Bereich und finden bei Türelementen keine Anwendung.

12.4.2 Berechnung nach DIN EN ISO 10077

Die Normenreihe DIN EN ISO 10077 besteht aus zwei Teilen. Teil 1 beinhaltet das vereinfachte Verfahren für komplette Fenster- und Türelemente. Teil 2 enthält Angaben zum numerischen Verfahren für Rahmenprofile von Fenstern und Türen.

Die wesentlichsten Neuerungen gegenüber früheren Normen (z. B. zu DIN 4108-5) sind detailliertere Berechnungsverfahren (insbesondere Teil 2 der DIN EN ISO 10077).

Die Berechnungsverfahren der DIN EN ISO 10077-1 geben Korrekturfaktoren für definierte Rahmenbedingungen vor. Dies führt dazu, dass die Wärmedurchgangskoeffizienten höhere, d. h. schlechtere Werte ergeben als diejenigen Koeffizienten, deren Werte

Rahmenmaterial	Rahmentyp			U _f [W/(m²K)]
Polyurethan	Mit Metallkern Dicke von PUR ≥ 5 mm			2,8
PVC-Hohlprofile	Zwei Hohlkammern	außenseitig	raumseitig	2,2
	Drei Hohlkammern	außenseitig	raumseitig	2,0

Tab. 12.7 Wärmedurchgangskoeffizienten von Kunststoffrahmen mit Metallaussteifungen [Quelle: DIN EN ISO 10077]

aus der numerischen Berechnung nach DIN EN ISO 10077-2 einfließen.

DIN EN ISO 10077-1 enthält eine Reihe von Tabellen, aus denen z. B. die U_w -Werte für Fenster mit 30% Rahmenanteil und 20% Rahmenanteil in Abhängigkeit des errechneten Rahmen-U-Wertes und des Glas-U-Wertes direkt abgelesen werden können (Anhang F der Norm). Für Außentüren sind solche Tabellen in der Norm nicht enthalten.

Für Außentüren sind die Formeln aus Punkt 5.4 der DIN EN ISO 10077-1 anzuwenden. Eine Reihe von Tabellen und Diagrammen aus den Anhängen B bis E der DIN EN ISO 10077-1 enthalten die erforderlichen Werte zur Anwendung der zutreffenden Formel aus Punkt 5.4 der genannten Norm.

Aus dem Diagramm in Anhang D kann in Abhängigkeit der Dicke des Holzrahmens, unterschieden nach Hartholz und Weichholz, der U_f -Wert direkt abgelesen werden (Abb. 12.2). Die ermittelten Werte aus diesem Diagramm, die auf einer großen Anzahl von Messwerten beruhen, sind etwas schlechter (= höher) als bei herkömmlichen eindimensionalen Berechnungsmethoden, da die Einflüsse der abgewinkelten Flächen sowie die Wärmeübergangswiderstände der angrenzenden Luftschicht (außen/innen) bereits berücksichtigt sind.

So ergibt sich für ein 70 mm starkes Profil ein U_f -Wert von ca. 1,9 W/(m²K) (Abb. 12.2).

Der U_f -Wert von Metallrahmen kann mit Hilfe von Gleichung (4) berechnet werden. Hierzu ist aus einem Diagramm in Anhang D der Norm (Abb. 12.3) der R_f -Wert in Abhängigkeit des Abstandes der Metallprofile abzulesen.

Hinweis: Für Metallrahmen ohne thermische Trennung ist $R_f = 0$ zu setzen.

Ebenfalls aus Anhang D kann in Abhängigkeit der Hohlkammerzahl bzw. eines vorhandenen Metallkerns der U_f -Wert von Kunststoffrahmen abgelesen werden (Tab. 12.7).

Zum Beispiel hat ein Rahmen aus Polyurethan mit Metallkern einen U_f -Wert von 2,8 W/(m²K)

Hinweis: Profile mit mehr als drei Kammern sind nicht erfasst. Diese sind zu berechnen, wobei eine Berechnung bezüglich besserer U-Werte generell zu empfehlen ist.

Berechnung nach DIN EN ISO 10077-1

Im Gegensatz zur DIN EN ISO 6946 gilt dieser Normteil speziell für Fenster und Türen mit Verglasungen oder opaken Füllungen und insbesondere auch für die Berechnung bei Systemen wie Kastenfenstern, Kastentüren (Korridortüren) und Verbundfenstern.

Die zur Berechnung benötigten Flächen (Fläche des Rahmens, Fläche der Ausfachung/Füllung etc.) sind klar definiert. Auch finden sich Angaben über Korrekturfaktoren, z. B. über den Einfluss des Randbereiches von Verglasungen (Wärmebrücken durch eingebrachte Abstandshalter).

Hierfür wird in der Norm der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(mK)] eingeführt, der die wärmetechnische Wechselwirkung zwischen Rahmen und Verglasung berücksichtigt. Typische Werte hierfür finden sich im Anhang E der zitierten Norm (Tab. 12.8 und 12.9).

Ein detailliertes Berechnungsverfahren für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ findet sich in DIN EN ISO 10077-2.

Zudem finden sich in den informativen Anhängen (A bis H) der DIN EN ISO 10077-1 zahlreiche Tabellen und Diagramme, aus denen man Werte ablesen kann, die zur Berechnung des U-Wertes notwendig sind.

Rahmenwerkstoff	Zweischeiben- oder Dreischeiben-Isolierverglasung, unbeschichteter Glas-, Luft- oder Gaszwischenraum ψ in [W/(mK)]	Zweischeiben ^{a)} - oder Dreischeiben ^{b)} -Isolierverglasung mit niedrigem Emissionsgrad, Luft- oder Gaszwischenraum ψ in [W/(mK)]
Holz- und PVC-Rahmen	0,06	0,08
Metallrahmen mit wärmetechnischer Trennung	0,08	0,11
Metallrahmen ohne wärmetechnischer Trennung	0,02	0,05

a) mit einer beschichteten Scheibe bei Zweischeibenverglasung
b) mit zwei beschichteten Scheiben bei Dreischeibenverglasung

Tab. 12.8 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Glas-Rahmen-Verbundbereiches für Abstandshalter aus Aluminium und Stahl [Quelle: DIN EN ISO 10077-1]

Rahmenwerkstoff	Zweischeiben- oder Dreischeiben-Isolierverglasung, unbeschichteter Glas-, Luft- oder Gaszwischenraum ψ in [W/(mK)]	Zweischeiben ^{a)} - oder Dreischeiben ^{b)} -Isolierverglasung mit niedrigem Emissionsgrad, Luft- oder Gaszwischenraum ψ in [W/(mK)]
Holz- und PVC-Rahmen	0,05	0,06
Metallrahmen mit wärmetechnischer Trennung	0,06	0,08
Metallrahmen ohne wärmetechnischer Trennung	0,01	0,04

a) mit einer beschichteten Scheibe bei Zweischeibenverglasung
b) mit zwei beschichteten Scheiben bei Dreischeibenverglasung

Tab. 12.9 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Glas-Rahmen-Verbundbereiches für wärmetechnisch verbesserte Abstandshalter [Quelle: DIN EN ISO 10077-1]

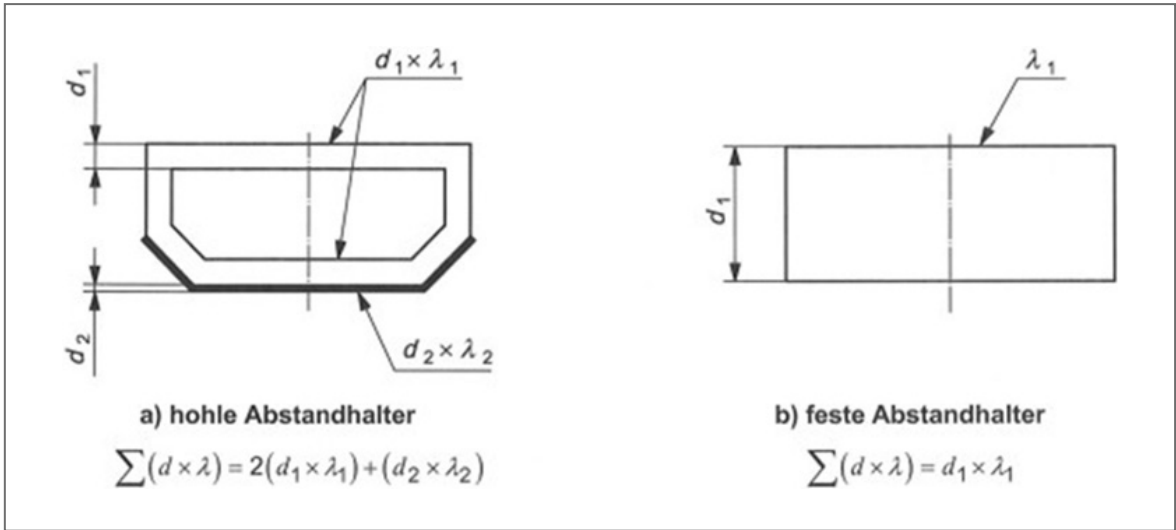


Abb. 12.4 Wärmetechnisch verbesserte Abstandshalter [Quelle: DIN EN ISO 10077-1]

Zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten sind folgende Gleichungen angegeben:

Türen mit Isolierverglasung

$$U_D = \frac{\sum A_g \times U_g + \sum A_f \times U_f + \sum l_g \times \psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

Gleichung (2)

Türen mit Isolierverglasung und opaken Füllungen

$$U_D = \frac{\sum A_g \times U_g + \sum A_p \times U_p + \sum A_f \times U_f + \sum l_g \times \psi_g + \sum l_p \times \psi_p}{\sum A_g + \sum A_f + \sum A_p}$$

Gleichung (3)

- U_D

Wärmedurchgangskoeffizient der Tür
(D = door) in [W/(m²K)]
- U_g

Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
(g = glass) in [W/(m²K)]
- U_f

Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens
(f = frame) in [W/(m²K)]
- U_p

Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung
(p = paneel) in [W/(m²K)]
- A_g

Fläche der Verglasung (g = glas) in [m²]
- A_f

Fläche des Rahmens (f = frame) in [m²]
- A_p

Fläche der opaken Füllung (p = paneel) in [m²]
- l_g

Länge (sichtbarer Umfang) der Verglasung in [m]
- l_p

Länge (sichtbarer Umfang) der opaken Füllung
in [m]
- ψ_g

längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
der Verglasung in [W/(mK)]
- ψ_p

längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
der opaken Füllung in [W/(mK)]

Vakuumglas ist in den Normen bisher nicht mit Werten berücksichtigt.

Hinweis: Wärmetechnisch verbesserte Abstandshalter sind durch folgendes Merkmal zu erkennen:

$$\sum (d \times \lambda) \leq 0,007$$

- d

Dicke der Wand mit dem Abstandhalter in m
- λ

die Wärmeleitfähigkeit des Materials des
Abstandshalters in W/(mK)

Die Gesamtsumme bezieht sich auf alle Wärmeströme parallel zur Hauptwärmestromrichtung. Die Dicke d wird senkrecht zur Hauptwärmestromrichtung gemessen. Die Werte zur Wärmeleitfähigkeit von Abstandshaltern sollten DIN EN ISO 10456 oder DIN EN ISO 10077-2 entnommen werden.

Anmerkung: Eine silberne oder schwarze Farbe lässt keine Schlüsse auf die Art des Abstandshalters zu.

Beispiel 1: Rahmentür mit Isolierverglasung, Rahmen aus Holz:

Dicke Blendrahmen D = 80 mm = 0,080 m

Dicke Türfriese D = 80 mm = 0,080 m

Dicke Isolierverglasung D = 20 mm = 0,020 m

Als Berechnungsgrundlage werden die Abmessungen in Abbildung 12.5 zugrunde gelegt. Blendrahmen (feststehender Rahmen) sowie die Türfriese (beweglicher Rahmen) bestehen aus Kiefer (Weichholz) mit einer Dicke von 80 mm für den Blendrahmen, bzw. 80 mm für die Türfriese.

Bei der Isolierverglasung handelt es sich um ein 4/12/4-Zweischeibenisolierglas mit einer beschichteten Scheibe und Argon-Gasfüllung im Luftzwischenraum (LZR).

1. Schritt: Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Einzelkomponenten Blendrahmen U_{f1} und Türfries U_{f2} (aus Abb. 12.2 für Weichholz entnommen):

$$\Rightarrow U_{f1} = 1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Rightarrow U_{f2} = 1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Isolierverglasung anhand Tabelle C2 im Anhang zu DIN EN ISO 10077-1

$$\Rightarrow U_g = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

2. Schritt: Bestimmung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten
Aus Tabelle 12.8

$$\Rightarrow \psi = 0,06 \text{ W/(mK)}$$

3. Schritt: Bestimmung der Länge (sichtbarer Umfang) der Verglasung

$$l_g = 1,725 \text{ m} + 1,725 \text{ m} + 0,486 \text{ m} + 0,486 \text{ m}$$

$$l_g = 4,42 \text{ m}$$

4. Schritt: Berechnung der Teilflächen

In diesem Fall:

$$A_f = 0,257 \times 2,1 + 0,257 \times 2,1 + 0,257 \times 0,486 + 0,257 \times 0,486 = 1,329 \text{ m}^2$$

$$A_g = 1,725 \times 0,486 = 0,838 \text{ m}^2$$

5. Schritt: Einsetzen der Werte in Gleichung (3)

$$U_D = \frac{0,838 \times 1,3 + 1,329 \times 1,7 + 4,42 \times 0,06}{0,838 + 1,329} = 1,72 = 1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

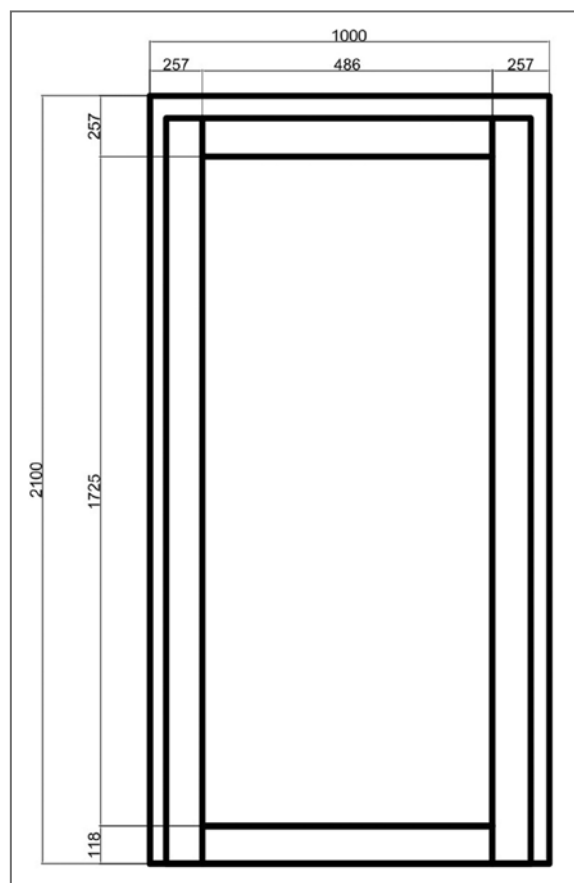


Abb. 12.5 Skizze des Berechnungsbeispiels

R_f [(m²K)/W]	U_f [W/(m²K)]	U_D [W/(m²K)]	U_g [W/(m²K)]
0,35	1,736	1,791	1,8
0,3	1,901	1,893	1,9
0,22	2,242	2,102	2,1

Tab. 12.10 Vergleich der Ergebnisse

Beispiel 2: Rahmentür mit Isolierverglasung, Rahmen aus thermisch getrennten Aluminiumprofilen
Dicke Blendrahmen $D = 80\text{ mm} = 0,080\text{ m}$
Dicke Türfriese $D = 80\text{ mm} = 0,080\text{ m}$
Dicke Isolierverglasung $D = 20\text{ mm} = 0,020\text{ m}$
kleinster Abstand d zwischen gegenüberliegenden Metallprofilen 28 mm (= Länge thermische Trennung von Aluminiumschale zu Aluminiumschale)
Als Berechnungsgrundlage werden die Abmessungen in Abbildung 12.5 zugrunde gelegt. Blendrahmen (feststehender Rahmen) sowie die Türfriese (bewegliche Rahmen) bestehen aus Aluminium mit thermischer Trennung mit einer Dicke von 80 mm für den Blendrahmen, bzw. 80 mm für die Türfriese.

Bei der Isolierverglasung handelt es sich um ein 4/12/4-Zweischeibenisolierverglasung mit einer beschichteten Scheibe und Argon-Gasfüllung im Luftzwischenraum (LZR).

1. Schritt: Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten (U -Werte) der Einzelkomponenten
Wärmedurchlasswiderstand der Metallprofile (aus Abb. 12.3 entnommen):

$$R_f = 0,3\text{ m}^2\text{ K/W}$$

Blendrahmen U_{f1} und Türfriese U_{f2} (Berechnung):

$$U_f = \frac{1}{R_{si} \times A_{fi} + R_f + R_{se} \times A_{fe}} \quad \text{Gleichung (4)}$$

U_f Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens ($f = \text{frame}$) in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

R_{si} raumseitiger Wärmeübergangskoeffizient in $[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$

R_{se} außenseitiger Wärmeübergangskoeffizient in $[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$

R_f Wärmedurchlasswiderstand des Rahmens in $[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$

A_{fe} Fläche des Rahmens außen in $[\text{m}^2]$

A_{fi} Fläche des Rahmens innen in $[\text{m}^2]$

$$A_{fi} = 1,329\text{ m}^2; A_{fe} \text{ aus Beispiel 1}$$

In diesem Beispiel $A_{fe} = A_{fi}$, R_{si} und R_{se} aus Tab. 12.6

$$U_f = \frac{1}{0,13 \times 1,329 + 0,3 + 0,04 \times 1,329}$$

$$U_f = 1,901\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Isolierverglasung anhand Tabelle C2 im Anhang zu DIN EN ISO 10077-1

$$\Rightarrow U_g = 1,3\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

2. Schritt: Bestimmung des längebezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten

Aus Tabelle 12.8

$$\Rightarrow \psi = 0,11\text{ W}/(\text{mK})$$

3. Schritt: Bestimmung der Länge (sichtbarer Umfang) der Verglasung

$$l_g = 1,725\text{ m} + 1,725\text{ m} + 0,486\text{ m} + 0,486\text{ m}$$

$$l_g = 4,42\text{ m}$$

4. Schritt: Berechnung der Teilflächen

In diesem Fall:

$$A_f = A_{fi} = 1,329\text{ m}^2$$

$$A_g = 1,725 \times 0,486 = 0,838\text{ m}^2$$

5. Schritt: Einsetzen der Werte in Gleichung (3)

$$U_D = \frac{0,838 \times 1,3 + 1,329 \times 1,901 + 4,42 \times 0,11}{1,329 + 0,838} = 1,893 = 1,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Bei Verwendung des gleichen Abstandes ist in Abbildung 12.2 ersichtlich, dass es eine Ober- und eine Untergrenze für den Wärmedurchlasswiderstand der Metallprofile (R_f) gibt. Bei Verwendung des oberen Grenzwertes ist der U_D - und U_F -Wert niedriger. Bei Verwendung des unteren Grenzwertes ist der U_D - und U_F -Wert höher (Tab. 12.10). Es steht dem Anwender frei, den Wärmedurchlasswiderstand R_f aus dem Bereich zwischen Ober- und Untergrenze zu wählen.

Beispiel 3: Rahmentür mit Isolierverglasung, Rahmen aus PVC:

Dicke Blendrahmen $D = 80 \text{ mm} = 0,080 \text{ m}$

Dicke Türfrieze $D = 80 \text{ mm} = 0,080 \text{ m}$

Dicke Isolierverglasung $D = 20 \text{ mm} = 0,020 \text{ m}$

Als Berechnungsgrundlage werden die Abmessungen in Abbildung 12.5 zugrunde gelegt. Blendrahmen (feststehender Rahmen) sowie die Türfrieze (bewegliche Rahmen) bestehen aus PVC mit drei Hohlkammern ohne Metallkern. Die Dicke der Profile beträgt 80 mm für den Blendrahmen, bzw. 80 mm für die Türfrieze.

Bei der Isolierverglasung handelt es sich um ein 4/12/4-Zweischeibenisoliertglas mit einer beschichteten Scheibe und Argon-Gasfüllung im Luftzwischenraum (LZR).

1. Schritt: Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Einzelkomponenten

Blendrahmen U_{f1} und Türfrieze U_{f2} (aus Tab. 12.7 entnommen):

$$\Rightarrow U_{f1} = 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Rightarrow U_{f2} = 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Isolierverglasung anhand Tabelle C2 im Anhang zu DIN EN ISO 10077-1

$$\Rightarrow U_g = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

2. Schritt: Bestimmung des längebezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten

Aus Tabelle 12.8

$$\Rightarrow \psi = 0,06 \text{ W/(mK)}$$

3. Schritt: Bestimmung der Länge (sichtbarer Umfang) der Verglasung

$$l_g = 1,725 \text{ m} + 1,725 \text{ m} + 0,486 \text{ m} + 0,486 \text{ m}$$

$$l_g = 4,42 \text{ m}$$

4. Schritt: Berechnung der Teilflächen

In diesem Fall:

$$A_f = 0,257 \times 2,1 + 0,257 \times 2,1 + 0,257 \times 0,486 + 0,257 \times 0,486 = 1,329 \text{ m}^2$$

$$A_g = 1,725 \times 0,486 = 0,838 \text{ m}^2$$

5. Schritt: Einsetzen der Werte in Gleichung (3)

$$U_D = \frac{0,838 \times 1,3 + 1,329 \times 2,0 + 4,42 \times 0,06}{1,329 + 0,838} = 1,91 = 1,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Diese Haustüre erfüllt laut dieser Rechenmethode die Anforderung der EnEV von $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht.

Hinweis: Ergebnisse werden auf zwei wertanzeigende Stellen gerundet angegeben. Die Null vor dem Komma ist nicht wertanzeigend.

Die oben aufgeführte Methode kann unter Anwendung der DIN EN ISO 10077-1 durch den Anwender selbstständig genutzt werden. Eine notifizierte Prüfstelle ist hierfür nicht nötig. Für Wohnungseingangstüren, die auf einen offenen Laubengang führen, ist das Berechnungsprinzip gleich.

Für Wohnungseingangstüren, die in ein geschlossenes Treppenhaus oder einen geschlossenen Laubengang führen, kann das Verfahren nicht angewandt werden. Hierzu sind Berechnungen nach DIN EN ISO 10077-2 notwendig.

Berechnung nach DIN EN ISO 10077-2

Diese Norm definiert ein sehr detailliertes numerisches Berechnungsverfahren (zweidimensional, d.h. horizontal und vertikal) der Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmenprofilen für Fenster und Türen. Die Norm beinhaltet unter Rahmen: Flügelrahmen, Schiebeflügel, Pfosten, Kämpfer und Gittersysteme (Sprossen).

Dabei wird versucht, das Rahmenprofil in möglichst viele Einzelbestandteile (Rahmen, Füllungsrandbereich, stark belüftete Hohlräume, nicht belüftete Hohlräume etc.) zu zerlegen und getrennt zu berechnen.

Berechnungswerte, die im informativen Anhang von Teil 1 der Norm aus Diagrammen bzw. Tabellen zu entnehmen sind, können in Teil 2 fallspezifisch genauer berechnet werden. Teil 2 der DIN ISO 10077 findet daher vor allem dann Anwendung, wenn exakte Berechnungswerte gefordert werden bzw. wenn Rahmenprofile in Sonderkonstruktionen vorliegen. Auch ist in Ausgabe DIN EN ISO 10077-2 eine noch genauere Berechnung der U-Werte durch Verwendung von holzartspezifischen Wärmeleitfähigkeiten möglich. Die Verwendung der holzartspezifischen Wärmeleit-

fähigkeit ist keine Pflicht. Es können weiterhin die »allgemeineren« Wärmeleitfähigkeiten von Hartholz und Weichholz in Anhang A, Tabelle A.1, verwendet werden.

Berechnungsbeispiele finden sich im normativen Anhang der Norm. Die geforderten komplexen Berechnungen können nur noch mit Computerhilfe (»Finite-Elemente-Programme«) ausgeführt werden.

Fazit: Momentan kann der Wärmedurchgangskoeffizient von Türen auf verschiedene Arten berechnet werden. Diese unterschiedlichen Berechnungsmethoden führen leider zu unterschiedlich genauen Ergebnissen. Es empfiehlt sich, bei Angabe des U_D -Wertes in Angeboten stets das Berechnungsverfahren anzugeben.

Beispiel 1: Außentür mit Dämmkern und Stabilisator
1. Schritt: Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten U_f und U_p

b_f Ansichtsbreite (= Breite des Rahmens); auf diese Ansichtsbreite bezogen wird der U_f -Wert bestimmt. Die Ansichtsbreite setzt sich zusammen aus Stock bzw. Schwelle, Einleimer, Türblattrahmen und ggf. Stabilisator

2. Schritt: Berechnung der Teilflächen
Maße:

Außenmaße $B \times H$ 1,0 × 2,1 m
Einlage $b \times h$ 0,5 × 1,725 m
 $l_{f1} = 2,1$ m (Länge Schloss- bzw. Bandseite)
 $l_{f2} = 0,5$ m (Länge oben bzw. unten)

$$A_{f1} = 2 \times b_{f1} \times l_{f1} + b_{f2} \times l_{f2}$$

$$A_{f1} = 2 \times 0,257 \text{ m} \times 2,1 \text{ m} + 0,257 \times 0,5 \text{ m} = 1,2 \text{ m}^2$$

$$A_{f2} = b_{f2} \times l_{f2}$$

$$A_{f2} = 0,118 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,059 \text{ m}^2$$

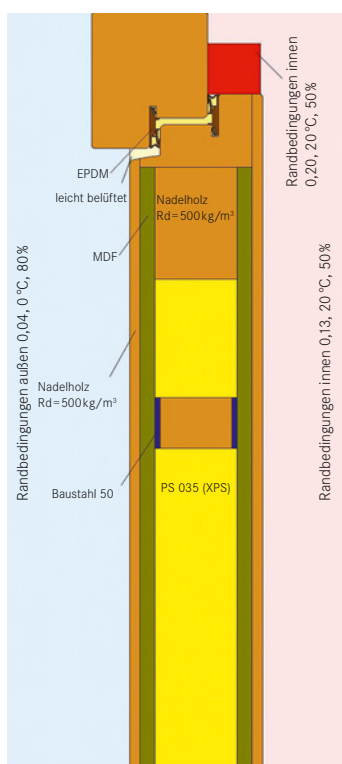


Abb. 12.6 Schnitt oben, Schlossseite und Bandseite –
 $U_f = 1,142 \text{ W/m}^2\text{K} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $b_{f1} = 257 \text{ mm}$,
 $U_p = 0,551 \text{ W/m}^2\text{K}$

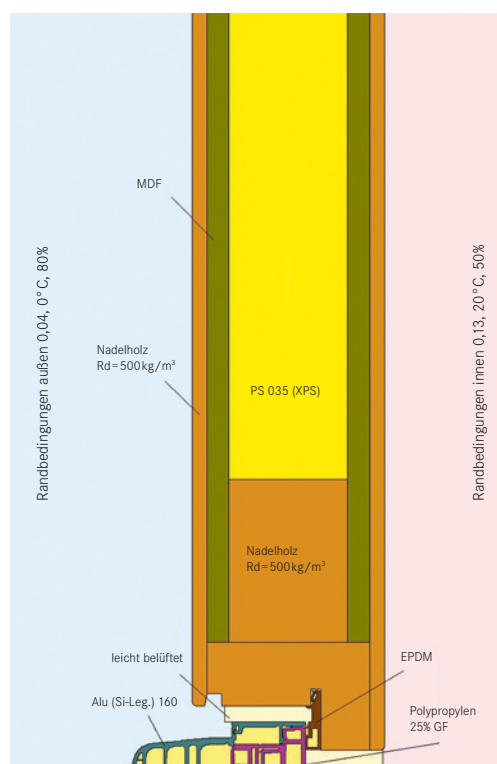


Abb. 12.7 Schnitt unten, Bodenschwelle –
 $U_f = 1,699 \text{ W/m}^2\text{K} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $b_{f2} = 118 \text{ mm}$,
 $U_p = 0,551 \text{ W/m}^2\text{K}$

$A_p = 0,5 \times 1,725 \text{ m} = 0,86 \text{ m}^2$

3. Schritt: Einsetzen der Werte in Gleichung (5)

$$U_D = \frac{\sum A_p \times U_p + \sum A_f \times U_f}{\sum A_p + \sum A_f} \quad \text{Gleichung (5)}$$

U_D

Wärmedurchgangskoeffizient der Tür
(D = door) in [W/(m²K)]

U_f

Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens
(f = frame) in [W/(m²K)]

U_p

Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung
(p = paneel) in [W/(m²K)]

A_f

Fläche des Rahmens (f = frame) in [m²]

A_p

Fläche der opaken Füllung (p = paneel) in [m²]

$$U_D = \frac{0,86 \times 0,551 + 1,2 \times 1,142 + 0,059 \times 1,699}{0,86 + 1,2 + 0,059} = 0,917 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$= 0,92 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Beispiel 2: Wohnungseingangstür aus Holz und Holzwerkstoffen

1. Schritt: Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten U_f und U_p
- b_f Ansichtsbreite (= Breite des Rahmens); auf diese Ansichtsbreite bezogen wird der U_f -Wert bestimmt. Die Ansichtsbreite setzt sich zusammen aus Stock bzw. Schwelle, Einleimer, Rahmen, Türblattrahmen und ggf. Stabilisator.

Bei der Berechnung von Wohnungseingangstüren, auf deren Außenseite ein Treppenhaus liegt, ist der Wärmeübergangswiderstand anders anzusetzen als bei Außentüren. Für die Ecken ist ein Wärmeübergangswiderstand von 0,20 (m²K)/W, für alle anderen Außenflächen ein Wärmeübergangswiderstand von 0,13 (m²K)/W zu verwenden.

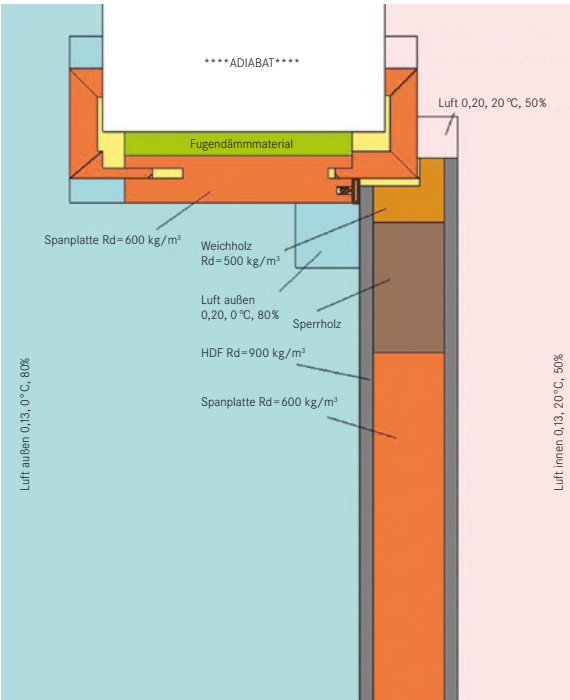


Abb. 12.8 Schnitt oben, Schlossseite und Bandseite – $U_f = 1,101 \text{ W/m}^2\text{K} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $b_{f1} = 161 \text{ mm}$, $U_p = 1,799 \text{ W/m}^2\text{K}$

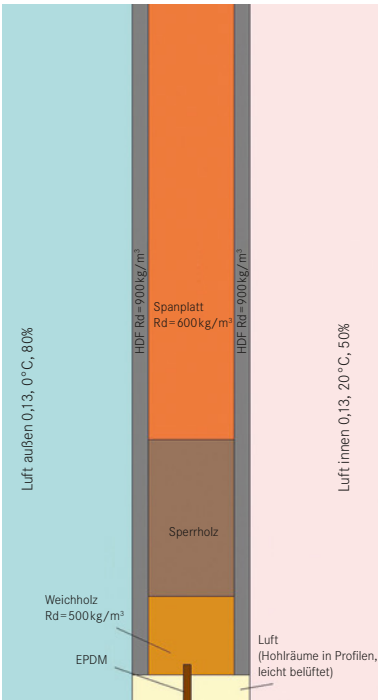


Abb. 12.9 Schnitt unten – $U_f = 1,834 \text{ W/m}^2\text{K} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $b_{f2} = 100 \text{ mm}$, $U_p = 1,799 \text{ W/m}^2\text{K}$

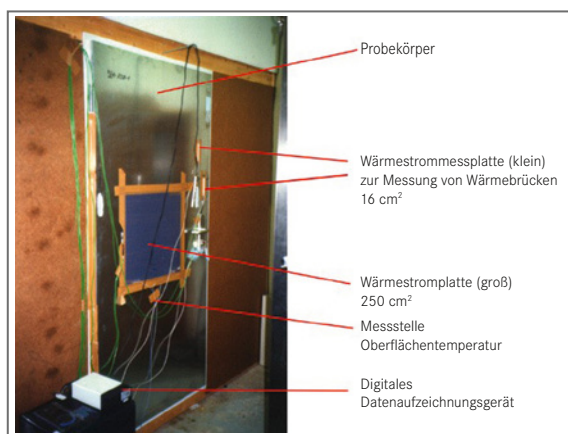


Abb. 12.10 Messung mittels Wärmestrom-Messplatten

2. Schritt: Berechnung der Teilflächen

Maße:

Außenmaße $B \times H$ 1,0 × 2,1 mEinlage $b \times h$ 0,678 × 1,839 m $l_{f1} = 2,1$ m (Länge Schloss- bzw. Bandseite) $l_{f2} = 0,678$ m (Länge oben bzw. unten)

$$A_{f1} = 2 \times b_{f1} \times l_{f1} + b_{f2} \times l_{f2}$$

$$A_{f1} = 2 \times 0,161 \text{ m} \times 2,1 \text{ m} + 0,161 \times 0,678 \text{ m} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$A_{f2} = b_{f2} \times l_{f2}$$

$$A_{f2} = 0,100 \text{ m} \times 0,678 \text{ m} = 0,0678 \text{ m}^2$$

$$A_p = 0,678 \times 1,839 \text{ m} = 1,246 \text{ m}^2$$

3. Schritt: Einsetzen der Werte in Gleichung (6)

$$U_D = \frac{\sum A_p \times U_p + \sum A_f \times U_f}{\sum A_p + \sum A_f} \quad \text{Gleichung (6)}$$

U_D Wärmedurchgangskoeffizient der Tür
(D = door) in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

U_f Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens
(f = frame) in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

U_p Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung
(p = paneel) in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

A_f Fläche des Rahmens (f = frame) in $[\text{m}^2]$

A_p Fläche der opaken Füllung (p = paneel) in $[\text{m}^2]$

$$U_D = \frac{1,246 \times 1,799 + 1,101 \times 0,785 + 0,0678 \times 1,834}{1,246 + 0,785 + 0,0678} = 1,539 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$= 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

12.5 Messung des U-Wertes

12.5.1 Messung ganzer Elemente

Für die messtechnische Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von Türen bzw. deren Bestandteilen stehen mehrere Verfahren zur Auswahl. Im Einzelnen handelt es sich dabei um

- DIN EN ISO 12567-1 »Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern und Türen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 1: Komplette Fenster und Türen«
Im Fachjargon wird der Heizkasten mit der englischen Übersetzung »Hot Box« bezeichnet.

Diese Norm legt ein Verfahren zur Messung des Wärmedurchgangskoeffizienten an betriebsfertigen Tür- oder Fensterelementen fest. Bei der Messung werden die Einflüsse aller im Probekörper enthaltenen Komponenten berücksichtigt. Die Messung umfasst nicht Einflüsse außerhalb des Probekörperumfanges, wie z. B. den Einfluss der Sonneneinstrahlung. Bei hygroskopischen Werkstoffen wie z. B. Holz wird der momentane prozentuale Feuchtezustand nicht berücksichtigt.

- DIN EN 12939:2001-02 »Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät – Dicke Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand«.

Diese Norm legt ein Verfahren zur Messung des Wärmedurchlasswiderstandes mit dem Platten- oder Wärmestrommessplattengerät fest. Dieses Verfahren gilt für Produkte mit größeren Dicken (> 100 mm).

12.5.2 Messung des U_g -Wertes

Mittlerweile sind Geräte zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung (U_g) verfügbar. Diese Geräte sind zur Überprüfung des U_g -Wertes z. B. vor Ort, im Wareneingang oder zur Qualitätskontrolle geeignet. Vor ihrem Einsatz ist auf die Messtoleranzen und den angegebenen Einsatzbereich zu achten. Die derzeit erhältlichen Geräte ermitteln die U_g -Werte von Zwei- und Dreifachverglasungen innerhalb eines bestimmten Messbereiches. Außerhalb

- Fortsetzung von vorheriger Seite -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Re- gion	Referenzort	Heizgrenztemperaturen, in °C							
		19		15		12		10	
		Jahresbilanzierung		Heizperiodenbilanzierung					
		t _a d	G _{t19/19} Kd	t _{HP} d	G _{t19/15} Kd	t _{HP} d	G _{t19/12} Kd	tt _{HP} d	G _{t19/10} Kd
		Deutschland	330	3 700	275	3 600	220	3 300	185
11	Freudenstadt	352,8	4 532	317,9	4 457	271,3	4 207	237,7	3 942
	Nürnberg	330,6	3 817	276,2	3 707	229,1	3 456	198,9	3 222
	Stuttgart	334,9	3 776	278,6	3 659	228,4	3 390	197,4	3 147
	Würzburg	329,5	3 699	274,1	3 587	222,8	3 312	193,1	3 079
12	Frankfurt/M.	325,1	3 495	265,6	3 374	215,2	3 107	187,6	2 892
	Mannheim	317,5	3 305	254,6	3 181	206,3	2 924	179,1	2 711
	Saarbrücken	337,1	3 728	282,5	3 614	230,9	3 334	198	3 077
13	Freiburg	311,7	3 178	249,1	3 060	199,6	2 796	169,3	2 560
	Konstanz	331,9	3 700	273,1	3 584	226,1	3 331	197,3	3 106
14	München	339,0	4 063	288,1	3 958	240,1	3 699	207,9	3 446
	Passau	337,9	4 075	284,4	3 965	236,6	3 705	205	3 458
15	Garmisch-P.	353,5	4 496	307	4 394	259	4 136	226,2	3 878
	Oberstdorf	357,7	4 699	317	4 610	269,3	4 351	238,5	4 109

Tab. 12.11 Mittlere jährliche Heiztage und Heizgradtagzahlen [Quelle: DIN V 4108-6:2004-03]

Lufttemperatur [°C]	-15	-10	-5	0	3	5	10	13	15	18	20	23	25	28
max. Wasser in Luft [g/m³]	1,4	2,1	3,25	4,85	5,85	6,80	9,41	11,36	12,84	15,39	17,32	20,60	23,07	27,26

Tab. 12.12 Wassermenge in der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur

Je schlechter die Dämmung der zu tausenden Fenster und Außentüren ist, desto größer ist die Einsparmöglichkeit.

In den aufgeführten Beispielen ist also beim Tausch einer Haustür von 2 m² Fläche eine Einsparung von ca. 23,13 EUR bzw. 26,71 EUR im Jahr möglich.

12.8 Tauwasserbildung

In den letzten Jahren konnte ein Anstieg der Probleme mit Tauwasser und seinen Folgen beobachtet werden. Diese Probleme treten nicht nur in Bestandsgebäuden

auf, sondern auch in renovierten Gebäuden sowie in Neubauten.

Relativ neu ist das Auftreten von Tauwasser auf der Außenseite von Glasscheiben. Dies liegt am hohen Temperaturunterschied zwischen der inneren Scheibe und der äußeren Scheibe. Insbesondere durch die hohe Dämmwirkung moderner, hoch wärmege-dämmter Isolierglasscheiben ist die äußere Scheibe im Herbst, Winter und Frühjahr relativ kalt. Dadurch ist insbesondere am Morgen oft ein Tauwasserausfall an der Oberfläche der äußeren Scheibe zu beobachten. Dies ist bereits bei einem U_g-Wert ab 1,1 W/(m²K) zu beobachten (vergleichbar mit dem Morgentau auf einer Wiese). Tauwasser auf der Außenoberfläche

Temperatur °C	Taupunkttemperatur °C bei einer relativen Luftfeuchte %													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,3	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,7	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	13,4
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

Tab. 12.13 Taupunkttemperatur der Luft in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit [Quelle: DIN 4108-3:2014-11, Seite 75]

der Isoliergläser stellt keinen Reklamationsgrund dar. Früher trat dieses Problem nicht auf, da die äußere Scheibe durch den Wärmestrom von innen über den Taupunkt aufgeheizt wurde.

Auch der Fenster- und Türentausch in Altbauten kann zu Tauwasser führen. Zum Beispiel werden in Altbauten häufig neue Fenster und Haustüren eingebaut. Dies kann die Oberflächentemperatur der umgebenden Wände ändern. Die Folge ist Tauwasserbildung und ggf. Wasseraufnahme der Wände. Die häufig nicht geänderten Lüftungsgewohnheiten nach dem Austausch der Fenster verstärken durch die erhöhte Luftdichtheit moderner Fenster und Türen die Tauwasserbildung.

Tauwasser kann aber auch auf der Außenseite von Gebäuden auftreten. Durch die hohe Dämmwirkung moderner Hauswände bzw. nachträglich gedämmter Altbauten sinkt die Temperatur der Außenoberfläche der Mauern. Früher war dies nicht so häufig der Fall, da die Außenflächen wie beim Isolierglas meist durch den Wärmestrom von innen über den Taupunkt aufgeheizt wurden.

In DIN 4108-2 findet sich unter Punkt 6.2 ein Hinweis zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung. Die dort gestellte Forderung lautet: Der Temperaturfaktor f_{Rsi} darf an den ungünstigsten Stellen den Wert von 0,7 nicht überschreiten und eine Oberflächentemperatur von 12,6 °C nicht unterschreiten. Durch Einhaltung dieser Mindestanforderung wird gewährleistet, dass

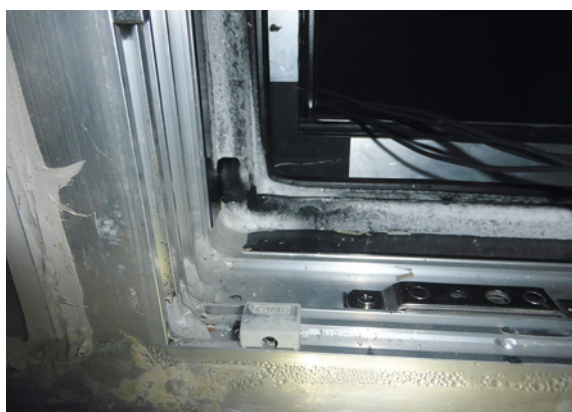


Abb. 12.13 Eisbildung nach Tauwasserausfall an einem Fenster aus thermisch getrennten Aluminiumprofilen [Quelle: PfB Rosenheim]

eine ausreichende Oberflächentemperatur herrscht, um Tauwasserbildung bei der Klimabedingung (außen -5°C , innen 20°C , rel. Luftfeuchtigkeit (RLF) von 50%) zu vermeiden.

Bei niedrigeren Außentemperaturen und höherer RLF steigt das Risiko der Tauwasserbildung. Vor allem die RLF spielt für die Tauwasserbildung eine große Rolle. Die Vorgaben aus DIN 4108-2 entsprechen daher nicht in jedem Fall der Realität, da es in bestimmten Gegenden und Jahreszeiten auch länger kälter als -5°C wird und die RLF auch höher als 50% sein kann.

12.8.1 Wie bildet sich Tauwasser?

Luft besitzt die Eigenschaft, Feuchtigkeit aufzunehmen. Das Aufnahmevermögen ist direkt von der Lufttemperatur abhängig: Warme Luft kann große Mengen Wasser aufnehmen, kalte Luft dagegen nur geringe Mengen (Tab. 12.12). Bei Abkühlung warmer Luft wird bei Erreichen des Sättigungsgrades die Feuchtigkeit als Tauwasser ausgeschieden.

Der Kondensataustritt (Wasserdampf-Niederschlag) wird an kalten Oberflächen als Tauwasser sichtbar und kann zu Schimmelbildung und somit zu Bauschä-

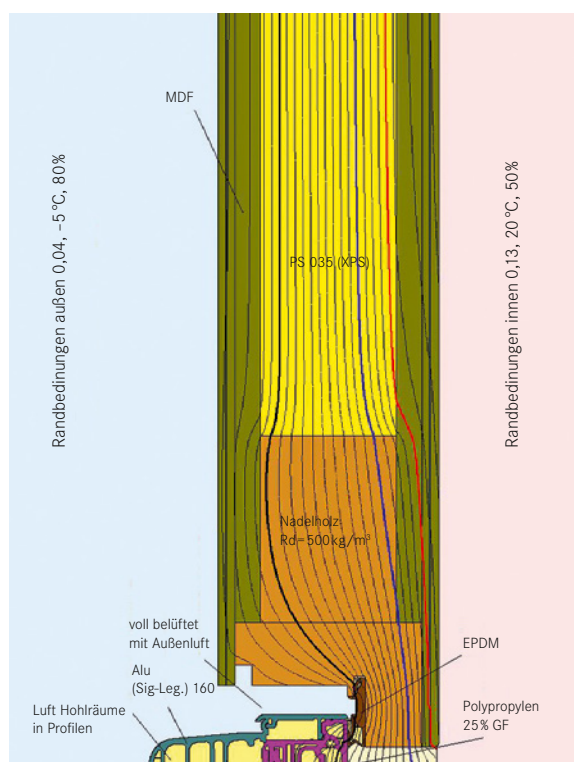


Abb. 12.14 Berechnung der Isothermenverläufe an einer Türe mit thermisch getrennter Schwelle. Die Decklagen sind mit einer Aluminiumdampfsperre 0,15 mm ausgeführt. Rote Linie 12°C Isotherme, blaue Linie 10°C Isotherme

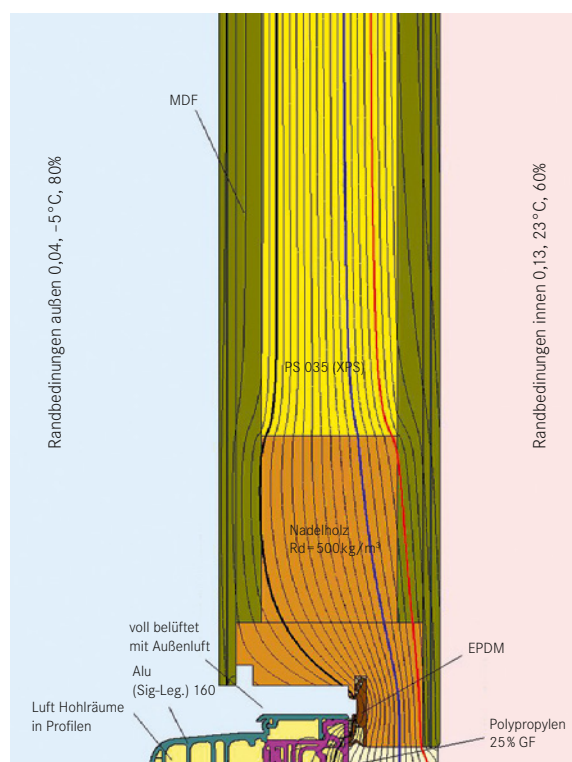


Abb. 12.15 Berechnung der Isothermenverläufe einer Türe mit thermisch getrennter Schwelle, die Decklagen sind mit einer Aluminiumdampfsperre 0,15 mm ausgeführt. Rote Linie 14°C Isotherme, blau 10°C Isotherme, dicke schwarze Linie 0°C Isotherme

den führen. Bei entsprechenden Umgebungsbedingungen kann das Kondensat (Tauwasser) auch gefrieren (Abb. 12.13).

Tauwasser tritt immer dann auf, wenn die Oberflächentemperatur auf die Taupunkttemperatur der umgebenden Luft absinkt. Beziehungsweise die das Türblatt umgebende Lufthülle gesättigt wird. Dadurch steigt in der Grenzzone die relative Luftfeuchte über den Sättigungszustand (= 100%).

Diese Oberflächentemperatur (Taupunkttemperatur), bei der es zum Kondensataustritt kommt, ist in Abhängigkeit vom vorliegenden Raumklima (Lufttemperatur + relative Luftfeuchtigkeit) aus Tabelle 12.12 zu entnehmen. Der Effekt der Tauwasserbildung ist bei isolierverglasten Außentüren im Bereich der Glasecken jeweils unten quer oder am Profilzylinder und ggf. am Schutzbeschlag zu beobachten. Begründet wird dies dadurch, dass im Randbereich des Isolierglases sowie am Schließzylinder und Schutzbeschlag eine geringere bzw. keine Wärmedämmung vorliegt.

Beispiel: Berechnung der Isothermenverläufe

Der Taupunkt bei 20 °C und 50% relativer Luftfeuchte liegt für das Beispiel aus Abbildung 12.14 bei 9,3 °C (siehe auch Tab. 12.13). Ein Tauwasserausfall tritt im Beispiel zwischen der blauen Isotherme und der Schwellenkante auf.

Der Taupunkt bei 23 °C und 60% relativer Luftfeuchte liegt für das Beispiel aus Abbildung 12.15 bei 14,8 °C (siehe auch Tab. 12.13). Ein Tauwasserausfall tritt im Beispiel zwischen der roten Isotherme und der Schwellenkante auf.

Der Taupunkt für 20 °C und 50% relative Luftfeuchte liegt für das Beispiel aus Abbildung 12.14 bei 9,3 °C (siehe auch Tab. 12.13). Im Beispiel tritt ein Tauwasserausfall zwischen der blauen Isotherme und der Schwellenkante auf.

Der Taupunkt bei 23 °C und 70% relativer Luftfeuchte liegt für das Beispiel aus Abbildung 12.17 bei 13,9 °C (siehe auch Tab. 12.13). Ein Tauwasserausfall tritt im Beispiel zwischen der roten Isotherme und der Schwellenkante auf. In Abbildung 12.20 ist zu erken-

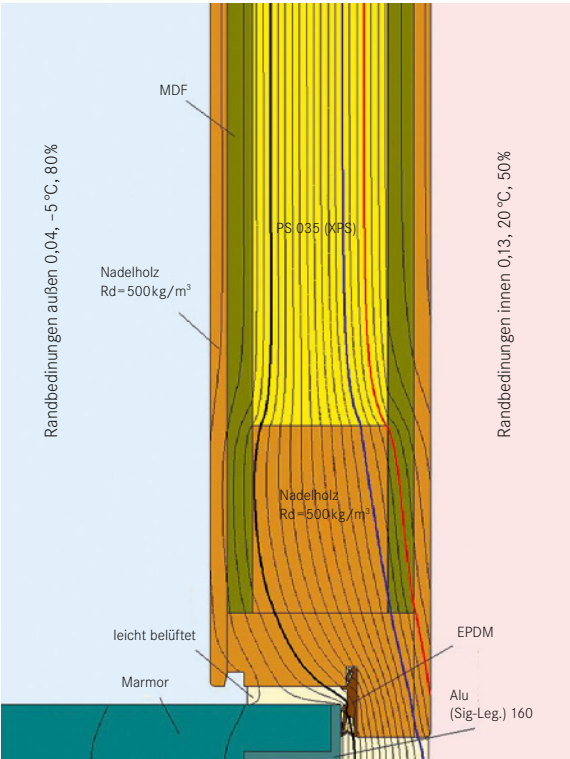


Abb. 12.16 Berechnung der Isothermenverläufe bei einer Tür. Die Winkelschwelle ist in Aluminium ausgeführt. Rote Linie 12 °C Isotherme, blaue Linie 10 °C Isotherme, dicke schwarze Linie 0 °C Isotherme

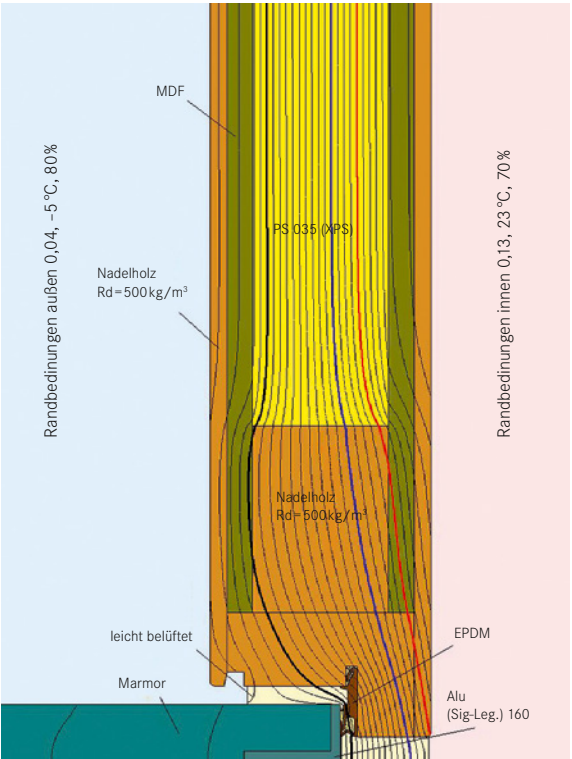


Abb. 12.17 Berechnung der Isothermenverläufe bei einer Tür. Die Winkelschwelle ist in Aluminium ausgeführt. Rote Linie 14 °C Isotherme, blaue Linie 10 °C Isotherme, dicke schwarze Linie 0 °C Isotherme

nen, dass die Temperatur und Luftfeuchte außerhalb des Behaglichkeitsklimas (Abb. 12.21) liegen. Viele Menschen empfinden dieses Klima als unangenehm feucht.

Eine Luftfeuchte von 70% ist v. a. nach der Bauphase in Gebäuden nicht ungewöhnlich. Die in der ersten Zeit aus dem Gebäude austretende Feuchtigkeit aus der Bauphase kombiniert mit nicht ausreichender Lüftung können Schäden am Gebäude verursachen.

Der Tauwasserausfall in den Beispielen tritt auf, solange die entsprechenden Bedingungen mit 23 °C und 70% bzw. 20 °C und 50% relativer Luftfeuchte herrschen. Zu beachten ist auch, dass sich der Taupunkt abhängig von Temperatur und relativer Luftfeuchte verschiebt. So kann es auch dazu kommen, dass bei baugleichen Konstruktionen in unterschiedlichen Räumen in einem Raum Tauwasser auftritt, im anderen Raum aber nicht.

Zu beachten ist immer, dass der Tauwasserausfall von der Außentemperatur, der relativen Luftfeuchte und der Innentemperatur abhängig ist. Eine ansonsten

tauwasserfreie Konstruktion kann also unter entsprechenden Bedingungen Tauwasserausfall aufweisen.

Der Taupunkt für 20 °C und 50% relative Luftfeuchte liegt für das Beispiel aus Abbildung 12.18 bei 9,3 °C (siehe auch Tab. 12.13). Ein Tauwasserausfall tritt im Beispiel zwischen der blauen Isotherme und der Schwellenkante auf.

Die Tauwassergefahr kann hier durch Verwendung einer thermisch getrennten Schwelle, Reduzierung des Luftspalts über der Schwelle auf < 10 mm sowie eine zusätzliche Dichtung (Abb. 12.19) stark vermindert werden. Durch die Verkleinerung des Luftspaltes kann eine für die Berechnung günstigere Luft verwendet werden.

Durch Versetzen der thermisch getrennten Schwelle weiter nach innen wird in Abbildung 12.20 die Tauwassergefahr auf der Innenseite behoben. Die 10 °C-Isotherme verläuft komplett hinter der ersten Dichtungsebene.

Anhand der Abbildungen 12.14–12.20 ist ersichtlich, welche Bauteile und Konstruktionen ein höheres Tau-

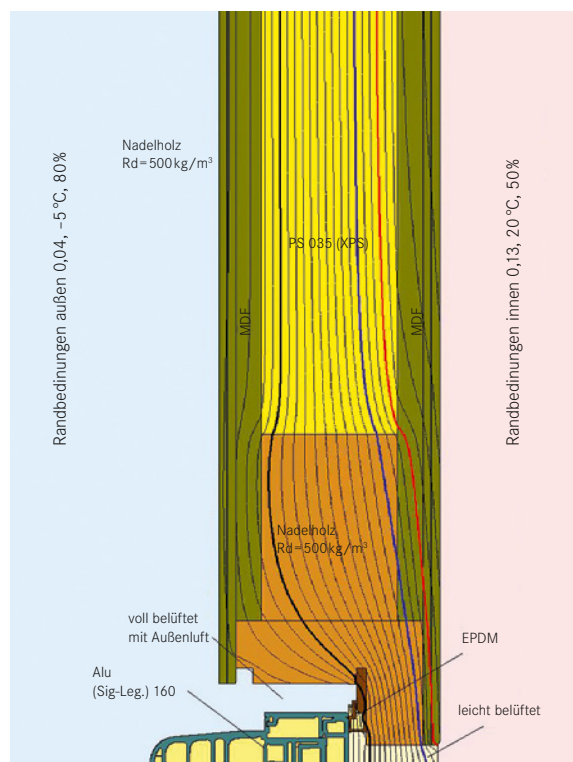


Abb. 12.18 Berechnung der Isothermenverläufe bei einer Tür mit nicht thermisch getrennter Schwelle. Die Decklagen ist mit einer Aluminiumdampfsperre 0,15 mm versehen. Rote Linie 12 °C Isotherme, blaue Linie 10 °C Isotherme, dicke schwarze Linie 0 °C Isotherme

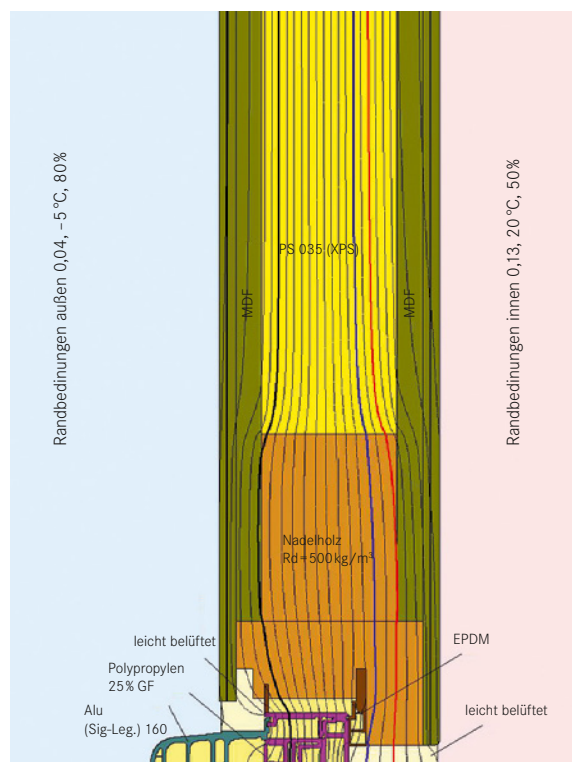


Abb. 12.19 Berechnung der Isothermenverläufe bei einer Tür mit thermisch getrennter Schwelle, zusätzlicher Dichtung und reduziertem Luftspalt über der Schwelle, Decklagen mit Aluminiumdampfsperre 0,15 mm. Rote Linie 12 °C Isotherme, blaue Linie 10 °C Isotherme, dicke schwarze Linie 0 °C Isotherme

wasserrisiko bilden als andere. Nicht thermisch getrennte Schwellen bzw. Winkelschwellen erhöhen das Tauwasserrisiko. Thermisch getrennte Schwellen, ein Versetzen der Schwelle nach innen und zusätzliche Dichtungen helfen, das Tauwasserrisiko zu mindern.

12.8.2 Ursachen und Folgen von Tauwasserausfall

Es gibt folgende Ursachen für Tauwasserbildung:

- Zu dichte Fenster- und Türelemente bei gleichzeitig hoher Raumluftfeuchte (über 60% RLF), verursacht durch die anwesenden Menschen und Tiere bei zu geringer Lüftung
- lokale Wärmebrücken, wie z.B. Türblattarmierungen (siehe insbesondere Kapitel 8 und 18), Randverbund bei Isoliergläsern, Beschläge im Falzbereich (außerhalb der Dichtungsebene), Metallschwellen etc.

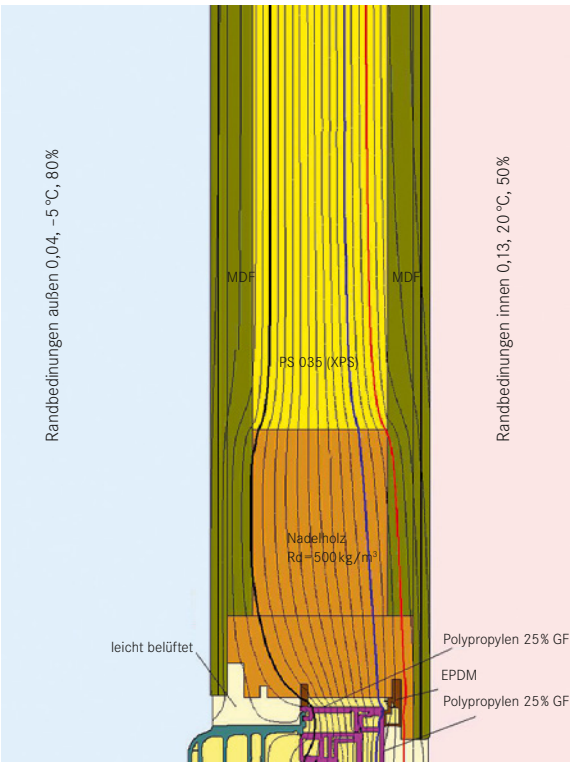


Abb. 12.20 Berechnung der Isothermenverläufe bei einer Tür mit thermisch getrennter Schwelle, zusätzlicher Dichtung und reduziertem Luftspalt über der Schwelle, Decklagen mit Aluminiumdampfsperre 0,15 mm. Rote Linie 12 °C Isotherme, blaue Linie 10 °C Isotherme, dicke schwarze Linie 0 °C Isotherme

Durchgeführte Aktion	Feuchtigkeitsabgabe an die umgebende Raumluft in g Wasser pro Stunde
Mensch mittelschwere Arbeit schwere Arbeit	120–200 g/h 200–300 g/h
Duschen	ca. 2 600 g/h
Kochen	600–1 500 g/h
Trocknen im Wäschetrockner	100–500 g/h

Tab. 12.14 Abgabe von Feuchtigkeit an die Raumluft

- unzureichende Dichtungsanlage, sodass feuchte, warme Luft in den Falzraum gelangen und dort kondensieren kann (relativ einfach feststellbar durch die sogenannte »Papierprobe« oder »Geldscheinprobe«, Abb. 11.25c)
- zu weit außen liegende Dichtungsebene, keine raumseitige Anschlagdichtung im Flügel. So kann der Warmluftstrom stärker an die außen liegende Dichtungsebene gelangen
- Klima- und Lüftungsanlagen, die mit Überdruck arbeiten. Durch den Überdruck kann feuchte, warme Luft in den Falzraum gelangen und die enthaltene Feuchtigkeit kondensieren
- starke Minus-Temperaturen (ab ca. -10 °C; je nach Konstruktion ab ca. -5 °C); ab ca. 40% rel. Luftfeuchtigkeit
- keine wärmegeprägten Metallzargen/Metallblendrahmen z. B. bei Wohnungseingangstüren und insbesondere bei Laubengangtüren mit Umfassungstahlzargen, bei denen nur das Türblatt ausgetauscht wurde
- nicht thermisch getrennte Bodenschwellen (Abb. 12.18).

Die Feuchteproduktion eines Haushaltes mit Kindern beträgt pro Tag ca. 12–15 l Wasser

Bei neuralgischen Bereichen wie Versiegelung, Beschläge und Dichtung führt das auftretende Tauwasser zu korrosiven Erscheinungen und ggf. zu Schimmelbildung. Daher muss es regelmäßig beseitigt werden (Pflege!).

Beispiel: Mithilfe von Tabelle 12.13 kann der Taupunkt abhängig von relativer Luftfeuchte und Temperatur ermittelt werden. Zum Beispiel schlägt sich bei einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50% an allen Oberflächen, die kühler

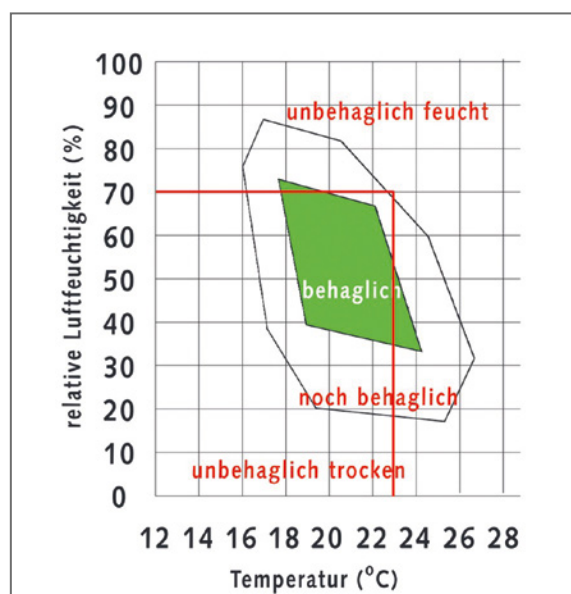


Abb. 12.21 Behaglichkeitsbereich [Quelle: »Wegweiser für eine gesunde Raumluft. Eine Information des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft«, 2009, ergänzt durch den Autor]

als ca. 9,3 °C sind, Wasserdampf nieder. Höhere Luftfeuchtigkeit bewirkt bereits bei relativ hohen Oberflächentemperaturen Tauwasserniederschlag.

Mit zunehmender relativer Luftfeuchte und Temperatur steigt der Taupunkt, das heißt Tauwasser tritt bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit früher auf. Bei einer Temperatur von 22 °C und einer relativen Luftfeuchte von 60% tritt Tauwasser bei 13,9 °C auf.

Die Oberflächentemperatur auf der Innenseite einer Außentür hängt ab von der Raumtemperatur, der Außentemperatur und dem U-Wert der Tür. Der U-Wert der Außentür ist daher an der am geringsten isolierten Stelle in einer Größenordnung zu halten, die die an dieser Stelle auftretende Oberflächentemperatur auf Werte oberhalb der Taupunkttemperatur steigen lässt. Große Bedeutung hat die relative Luftfeuchte auf der Innenseite der Tür.

Die Beachtung des Taupunktes ist vor allem bei Konstruktionen bedeutend, die mit metallischen Armierungen ausgeführt sind. Als Hilfe kann folgende Faustregel verwendet werden:

Geht man davon aus, dass die Armierung am Türblatt eine anteilige Fläche von 10% einnimmt, dann sollte das darüber liegende Holz bzw. der Holzwerkstoff je nach Wärmeleitfähigkeit eine Mindestdicke von 8 mm aufweisen.

Falls meistens die in DIN 4108, Teil 3, angegebenen Klimate von zwischen -10 °C/80% relative Luft-

feuchte für das Außenklima und +20 °C/50% relative Luftfeuchte für das Innenklima vorherrschen, genügt es, wenn der U-Wert an der am wenigsten isolierten Stelle bei 1,8 W/m²K liegt. Um ein »Abzeichnen« der Armierung durch Tauwasser zu verhindern, muss auch im Stahlbereich der U-Wert $\leq 1,8$ W/m²K betragen.

12.8.3 Verhinderung von Tauwasserbildung

Das Auftreten von Tauwasser kann durch eine Reihe von Maßnahmen wirkungsvoll verhindert werden. Zu nennen sind:

- in der Planung

Gebäude sollten hinsichtlich ihres Wärmeschutzes bzw. ihres Dämmkonzeptes ganzheitlich geplant werden. Der Trend geht im Zuge der Energieeinsparmaßnahmen zu immer dichteren Gebäuden, was den notwendigen Feuchteaustausch nach außen stark mindert. Je nach Gebäude und Nutzungsverhalten der Bewohner ist ggf. eine Lüftungsanlage notwendig.

Insbesondere bei Umbauten und Sanierungsarbeiten sollte sich der Planende diesbezüglich Gedanken machen. Hier sind Dämmung und Ausführung der Außenwand, Position des Fensters und die Montage zu berücksichtigen und zu bedenken. Moderne Computerprogramme bieten hier Abhilfe. Neuralgische Punkte, an denen es zu einem Tauwasserausfall kommen kann, können durch Isothermen-Berechnungsprogramme im Vorfeld (Planungsphase) bestimmt werden.

Allgemein gilt: Alle konstruktiven und technischen Wärmebrücken (Koppelemente, Gebäudeecken, Erker etc.) sind zu beachten. Siehe Beiblatt 2 zu DIN 4108 »Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiel«.

- in der Konstruktion

Durch gezielte konstruktive Präventionsmaßnahmen kann die Tauwasserbildung an Außentüren vermieden werden, z. B. durch das Vermeiden von Wärmebrücken. Praktisch kann dies bei normalem Wohnklima (20 °C, 50% RLF) durch thermisch getrennte Bauteile bei Fugen und Anschlüssen, Schwellen, Dichtungen, Türumrahmung etc. realisiert werden.

- in der Nutzung

Bewohnern muss die richtige Nutzung, insbesondere das »richtige Lüftungsverhalten«, nahegebracht

werden. Kurze Stoßlüftung (im Winter ca. 10 min/im Sommer ca. 20 min) und das Öffnen von Fenstern auf den gebäudegegeneüberliegenden Seiten (⇒ Durchzug) führt zu einem schnellen Luftaustausch in der Wohnung, wobei sich die Wände, Möbel etc. nicht abkühlen. Die eingeströmte Frischluft heizt sich deshalb schnell wieder auf. Die Forderung, während dieser kurzen Lüftungszeit die Heizung zu senken oder abzustellen, ist übertrieben.

Je niedriger die Außentemperatur, desto weniger Wasser befindet sich beim Öffnen der Fenster in der einströmenden Frischluft. Das bedeutet, dass die kalte trockene Luft schneller erwärmt wird als feuchte Luft.

Richtiges Lüften, regelmäßiges Entfernen von auftretendem Tauwasser und turnusmäßige Pflege

und Wartung garantieren eine lange Funktionalität und Lebensdauer der Türen und tragen zu einem gesunden Wohnklima (Abb. 12.21) bei. Ein gesundes Wohnklima liegt im sogenannten Behaglichkeitsbereich. Abhängig von persönlichen Vorlieben und der Nutzungsart des Raumes können sich die Behaglichkeitsbereiche verschiedener Räume unterscheiden. Ideal sind eine Luftfeuchtigkeit von 40–60% und eine Temperatur von 19–22 °C. Mit dieser Luftfeuchtigkeit und Temperatur liegt man in einem Bereich, den die meisten Menschen als angenehm empfinden (Abb. 12.21).

- Möbel nie direkt an Außenwände stellen, sondern einen Abstand von ca. 5 cm lassen; Sockel von Schränken etc. mit Bohrungen/Lüftungsgittern versehen (⇒ Luftzug/-strömung).