

Bauphysik am Dach

Grundlagen und Anwendungsbeispiele

Autor: Dipl.-Ing. Markus Friedrich, 15732 Eichwalde

Stand: Juli 2021

© Copyright Markus Friedrich Datentechnik
Inhaberin Lisa Friedrich
Bahnhofstraße 74
D - 15732 Eichwalde bei Berlin

Tel. 030 / 6670235 - 0
E-Mail info@friedrich-datentechnik.de

www.friedrich-datentechnik.de

Alle Rechte sind geschützt.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Autors.

Grundlagen

Einleitung

Der Begriff Bauphysik deckt heutzutage ein weites Feld ab. Von der Wärmebedarfsberechnung über Wärmebrücken und Feuchtenachweise bis hin zu Spezialgebieten wie Schallschutz. Vereinzelt werden auch Bereiche aus der Statik, Heizungsanlagen, Kühlanlagen, Brandschutz u.a. mit einbezogen. Dieses Gebiet komplett abzuhandeln, würde den hier zur Verfügung stehenden Rahmen sicherlich sprengen. Deshalb habe ich mich darauf beschränkt, die für Dachhandwerker wesentlichen Bereiche U-Wert-Berechnung und Feuchtenachweis im Bauteilverfahren näher zu erläutern.

Das Bauteilverfahren

Für Neubauten regelt das Gebäudeenergiegesetz (ehemals Energieeinsparverordnung EnEV) die Anforderungen an den Wärmebedarf von Wohn- und Nutzgebäuden. Das Gebäude wird hierbei als Ganzes betrachtet. Schlechte Wärmedämmung kann durch den Einsatz regenerativer Energien kompensiert werden, ein hochwertig gedämmtes Dach kann trotz mäßig dämmender Wände das Klassenziel der GEG sichern. Solange gewisse Mindestgrenzen eingehalten werden, zählt nur das Gesamtergebnis.

Im Sanierungsfall ist dieses Energiebilanz-Verfahren meist weder verpflichtend noch anwendbar. Hier greift das Bauteilverfahren, d.h. die Mindestanforderungen müssen nur für das zu sanierende Bauteil erfüllt werden. Für Dacharbeiten gilt: bei Steildach-Umdeckungen darf der U-Wert (früher k-Wert) von 0.24, bei Abdichtungssanierungen der U-Wert von 0.20 nicht überschritten werden.

Wie aber errechnet sich der U-Wert? Am einfachsten erläutert sich das Verfahren am Beispiel eines nicht belüfteten Flachdaches, früher Warmdach genannt.

U-Wert-Berechnung

Ein typisches Warmdach besteht, von unten nach oben gesehen, aus den Schichten Betondecke, Dampfsperre, Dämmschicht und ein oder mehreren Abdichtungslagen.

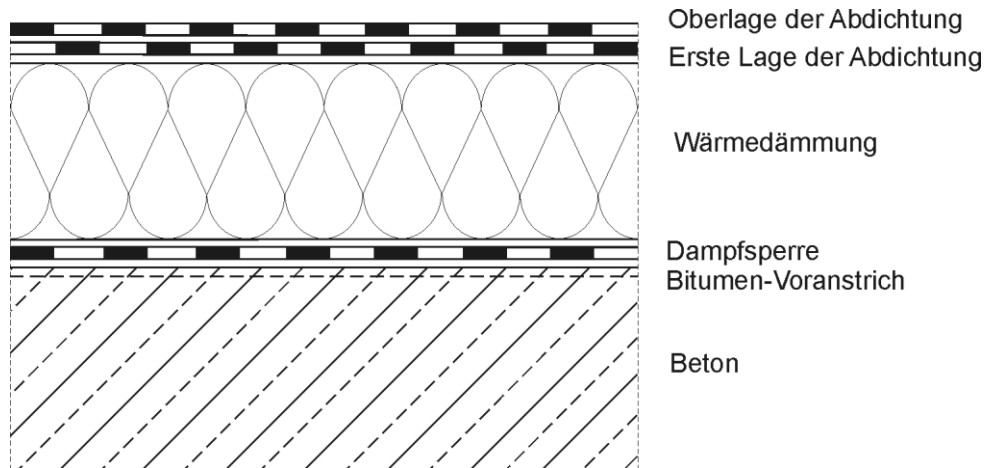


Abbildung 1: Warmdachaufbau

Jede Schicht setzt der Wärmewanderung einen Widerstand entgegen. Dieser Widerstand wächst mit der Dicke des Bauteils und sinkt mit dessen Wärmeleitfähigkeit.

Formel: $R = d / \lambda$
mit

$R =$ Wärmedurchlasswiderstand (R wie Resistance, engl. Widerstand).
Einheit: $(m^2 \cdot K) / W$.

$d =$ Dicke in Meter

$\lambda =$ Wärmeleitfähigkeit (z.B. 0,040 für Polystyrol der WLG 040) in $W / (m \cdot K)$

Der Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand des Warmdaches ergibt sich als Summe der Einzelwiderstände. In unserem Falle eines 2-lagig abgedichteten Warmdaches lautet die Formel für den Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand

$$R_{ges} = R_{Betondecke} + R_{Dampfsperre} + R_{Dämmung} + R_{Abdichtungslage-1} + R_{Abdichtungslage-2}$$

Für die Berechnung müssen nun die Dicken d und die Wärmeleitfähigkeitszahlen λ der einzelnen Schichten eingesetzt werden. Die Dicken ergeben sich aus der Konstruktion, die Wärmeleitfähigkeitszahlen entnimmt man der DIN 4108 Teil 4 oder den Datenblättern der verwendeten Produkte. Doch Vorsicht: die Abdichtungslagen dürfen nach DIN 4108 Teil 2, Punkt 5.3.3 nicht mitgerechnet werden!

Die Berechnungsformel lautet somit:

$$R_{\text{ges}} = R_{\text{Betondecke}} + R_{\text{Dampfsperre}} + R_{\text{Dämmung}}$$

Rechenwerte:

d_{Beton}	= 0,16 m (gewählt)	λ_{Beton}	= 2,10 W / (m * K)
$d_{\text{Dampfsperre}}$	= 0,004 m	λ_{Bitumen}	= 0,17 W / (m * K)
$d_{\text{Dämmung}}$	= 0,18 m	$\lambda_{\text{EPS 040}}$	= 0,04 W / (m * K)

Es ergibt sich folgender Rechenweg:

$$\begin{aligned} R_{\text{ges}} &= (d_{\text{Beton}} / \lambda_{\text{Beton}}) + (d_{\text{Dampfsperre}} / \lambda_{\text{Dampfsperre}}) + (d_{\text{Dämmung}} / \lambda_{\text{Dämmung}}) \\ &= (0,16 / 2,1) + (0,004 / 0,17) + (0,18 / 0,04) \\ &= 0,0762 + 0,0235 + 4,5 \\ &= \mathbf{4,5992} \text{ [m}^2 \text{ K / W]} \end{aligned}$$

Nur mit dem Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand R_{ges} ist das Bauteil jedoch noch nicht komplett berechnet. Es fehlen noch die Wärmeübergangswiderstände, also die Werte, welche den Temperatursprung an Bauteiloberflächen beschreiben.

Hintergrundwissen Wärmeübergangswiderstand:

Am Übergang von Raumluft zur Betondecke wird die Betondecke erwärmt. Einen Teil der Wärmeenergie strahlt die Decke wieder in den Raum zurück, so dass die Betondecke immer kälter bleibt als die Raumluft. Die Folge ist ein Temperatursprung von typ. ca. 0,5 bis 1° C. Dieser Effekt existiert auch an der Dachoberfläche, ist dort aufgrund stärkerer Luftbewegung (Wind verbessert den Wärmeaustausch Luft zu Dachoberfläche) und anderer Effekte jedoch geringer. Sinngemäß gilt das auch für Wände und Bodendecken.

Die Werte für die Wärmeübergangswiderstände R_{si} (= innen) und R_{se} (= außen) finden sich in DIN EN 6946 Kapitel 6.8 Tabelle 7.

Richtung des Wärmestromes			
	aufwärts	horizontal	abwärts
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabelle 1: Wärmeübergangswiderstände nach DIN EN ISO 6946

Im Falle unseres Warmdaches sind $R_{\text{si}} = 0,1$ und $R_{\text{se}} = 0,04$. Der Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand wird damit zu

$$R_{\text{ges}} = 4,5992 + 0,1 + 0,04 = \mathbf{4,7392} \text{ [m}^2 \text{ K / W]}$$

Gesucht war jedoch nicht der Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand, sondern der U-Wert. Dieser ergibt sich aus dem Kehrwert des Gesamt-Wärmedurchlasswiderstandes, gerundet auf 2 Nachkommastellen:

$$U = 1 / R_{\text{ges}} = 1 / 4,7392 = \mathbf{0,22} \text{ [W / m}^2 \text{K]}$$

Die Bedingungen der Energieeinsparverordnung nach einem U-Wert $\leq 0,20$ wäre damit nicht erfüllt.

Leider sind nicht alle Bauteile so einfach aufgebaut wie ein eben gedämmtes Warmdach. Und selbst dieses birgt noch die ein oder andere Überraschung. Für den Fall, dass sich zwischen den Dämmplatten Fugen > 5 mm befinden und/oder das Dach mechanisch befestigt wurde, muss eine Korrekturrechnung nach DIN EN ISO 6946 Anhang F.2 und F.3 erfolgen. Für Umkehrdächer existieren Korrekturverfahren zur Kompensation der vom Regen abgeleiteten Wärmemenge.

Gefälledächer können nicht mit dem vorgenannten Verfahren berechnet werden, da der Wärmeverlust an den dünnen Platten überproportional groß ist. Ein pulfförmig ausgebildetes Gefälledach verdeutlicht den Effekt:

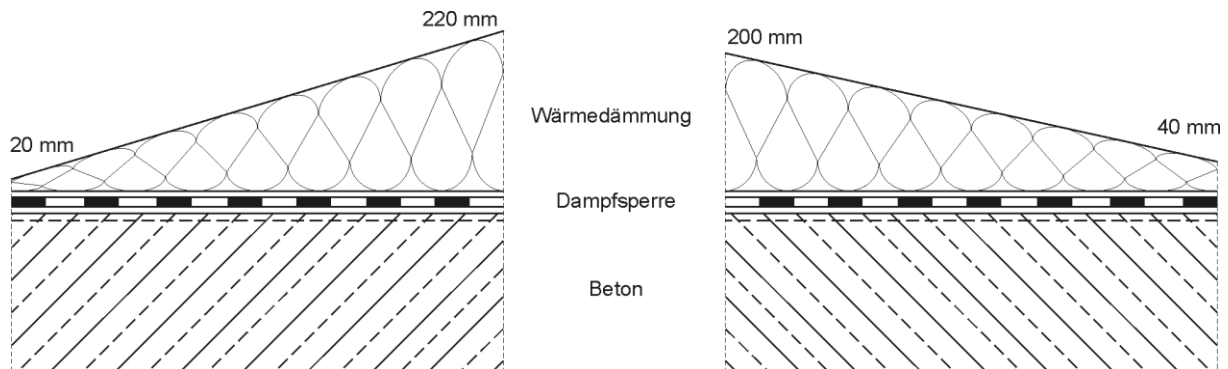


Abbildung 2: Gefälledämmung

Dach links: Anfangsdicke = 20 mm, Enddicke = 220 mm -> mittlere Dicke = 120 mm

Dach rechts: Anfangsdicke = 40 mm, Enddicke = 200 mm -> mittlere Dicke = 120 mm

Beide Dächer besitzen die gleiche mittlere Dämmstoffdicke und es befindet sich auf beiden Dächern auch dieselbe Menge Dämmstoff. Dennoch dämmt das Dach links schlechter als das Dach rechts, da es an der dünnsten Stelle mit 20 mm Dämmung nur halb so gut (20 mm <-> 40 mm) und an der dicksten nur um 10 % besser dämmt (220 mm <-> 200 mm).

Zur Berechnung von Gefälledämmdächern sollten Sie auf jeden Fall die Hilfe von Experten in Anspruch nehmen.

U-Wert-Berechnung Sparrendach

Ein mit Dachziegeln gedecktes Steildach unterscheidet sich in 2 wesentlichen Punkten vom Warmdach. Zum einen existieren unterschiedliche Schichtenfolgen innerhalb des Bauteils (Sparren <-> Gefach) und zum anderen befindet sich eine Belüftungsebene im Bauteil.

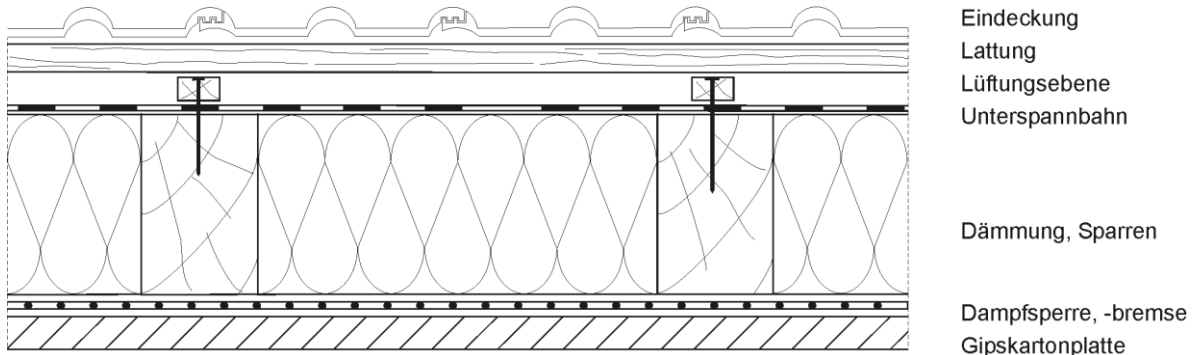


Abbildung 3: Sparrendach

Da die Belüftungsebene von Außenluft durchströmt wird, ist die Temperatur unterhalb und oberhalb der Eindeckung identisch. Ohne Temperaturgefälle können Baustoffe jedoch nicht dämmen. Der U-Wert berechnet sich folglich nur aus den Schichten Gipskartonplatte bis Unterspannbahn.

Der eigentlich interessante Aspekt des Sparrendachs ist die Aufteilung des Wärmestromes zwischen Sparren und Gefach. Könnte man früher den Wärmestrom proportional der Flächenanteile auf Sparren und Gefach verteilen, so ist dies seit Einführung der DIN EN ISO 6946 im Rahmen der EnEV nicht mehr möglich. Hintergrund: Die Wärmeenergie entweicht nicht nur auf direktem Wege von innen nach außen. Ein Teil der Wärmeenergie im Gefach nimmt die „Abkürzung“ über den Sparren, so dass der Sparren überproportional stark in die Berechnung eingeht. Unglücklicherweise ist selbst das vereinfachte Rechenverfahren nach DIN EN ISO 6946 noch recht kompliziert, da hierbei der Wärmedurchgang sowohl senkrecht nach außen als auch quer dazu ermittelt und die Zwischenergebnisse aufwendig verrechnet werden.

Eine Musterberechnung soll das Problem verdeutlichen.

1. Schritt: Wärmedurchlasswiderstand Gefach

$$R_{\text{Gefach, ges}} = R_{\text{si}} + R_{\text{Gipskarton}} + R_{\text{Dampfbremse}} + R_{\text{Dämmung}} + R_{\text{Unterspannbahn}} + R_{\text{se}}$$

$d_{\text{Gipskartonplatte}} = 0,0125 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Gipskarton}} = 0,25 \text{ W / (m * K)}$
$d_{\text{Dampfbremse}} = 0,0002 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Polyethylen}} = \text{ohne (siehe DIN EN 4108-4, Kap. 4 Tab. 1)}$
$d_{\text{Dämmung}} = 0,18 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Mifa 040}} = 0,04 \text{ W / (m * K)}$
$d_{\text{Unterspannung}} = 0,0004 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Bitumen}} = 0,17 \text{ W / (m * K)}$

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Gefach}} &= (d_{\text{GKP}} / \lambda_{\text{GKP}}) & + (d_{\text{Db}} / \lambda_{\text{Db}}) & + (d_{\text{Mifa}} / \lambda_{\text{Mifa}}) & + (d_{\text{Usp}} / \lambda_{\text{Usp}}) \\
 &= (0,0125 / 0,25) & + 0 & + (0,18 / 0,04) & + (0,0004 / 0,17) \\
 &= 0,05 & + 0 & + 4,5 & + 0,0024 \\
 &= \mathbf{4,5524 \text{ [m}^2 \text{ K / W]}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Gefach, ges}} &= R_{\text{si}} + R_{\text{Gefach}} + R_{\text{se}} \\
 &= 0,1 + \mathbf{4,5524} + 0,04 \\
 &= \mathbf{4,6924 \text{ [m}^2 \text{ K / W]}}
 \end{aligned}$$

$$U_{\text{Gefach, ges}} = 1 / 4,6924 = \mathbf{0,213 \text{ [W / m}^2 \text{K]}}$$

Anmerkung: Der U-Wert muss normalerweise auf zwei Nachkommastellen gerundet werden. Aus didaktischen Gründen werden wir hier die Werte mit drei Nachkommastellen angeben.

2. Schritt: Wärmedurchlasswiderstand Sparren

$$R_{\text{Sparren,ges}} = R_{\text{si}} + R_{\text{Gipskarton}} + R_{\text{Dampfbremse}} + R_{\text{Sparren}} + R_{\text{Unterspannbahn}} + R_{\text{se}}$$

$d_{\text{Gipskartonplatte}} = 0,0125 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Gipskarton}} = 0,25 \text{ W / (m * K)}$
$d_{\text{Dampfbremse}} = 0,0002 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Polyethylen}} = \text{ohne (siehe DIN EN 4108-4, Kap. 4 Tab. 1)}$
$d_{\text{Sparren}} = 0,18 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Fichte}} = 0,13 \text{ W / (m * K)}$
$d_{\text{Unterspannung}} = 0,0004 \text{ m}$	$\lambda_{\text{Bitumen}} = 0,17 \text{ W / (m * K)}$

$$\begin{aligned} R_{\text{Sparren}} &= (d_{\text{GKP}} / \lambda_{\text{GKP}}) && + (d_{\text{Db}} / \lambda_{\text{Db}}) && + (d_{\text{Fichte}} / \lambda_{\text{Fichte}}) + (d_{\text{Usp}} / \lambda_{\text{Usp}}) \\ &= (0,0125 / 0,25) && + 0 && + (0,18 / 0,13) + (0,0004 / 0,17) \\ &= 0,05 && + 0 && + 1,3846 + 0,0024 \\ &= \mathbf{1,437} \text{ [m}^2 \text{ K / W]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{Sparren,ges}} &= R_{\text{si}} + R_{\text{Sparren}} + R_{\text{se}} \\ &= 0,1 + \mathbf{1,437} + 0,04 \\ &= \mathbf{1,577} \text{ [m}^2 \text{ K / W]} \end{aligned}$$

$$U_{\text{Sparren,ges}} = 1 / 1,578 = \mathbf{0,634} \text{ [W / m}^2 \text{K]}$$

3. Schritt: Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand errechnen

Bei einer Sparrenbreite von 10 cm (1/8 Flächenanteil) und einer Gefachbreite von 70 cm (7/8 Flächenanteil) müsste sich im vereinfachten Verfahren ein U-Wert von

$$U_{\text{gesamt}} = 1 / [R_{\text{si}} + [(7/8 * R_{\text{Gefach}}) + (1/8 * R_{\text{Sparren}})] + R_{\text{se}}]$$

$$U_{\text{gesamt}} = 1 / [0,1 + [(7/8 * \mathbf{4,5524}) + (1/8 * \mathbf{1,437})] + 0,04] = \mathbf{0,232}$$

ergeben*. Die Berechnung nach DIN EN ISO 6946 ergibt jedoch nur einen U-Wert von **0,268**, d.h. die thermische Querleitung verschlechtert das Ergebnis um ca. 15%.

Doch Vorsicht: der Unterschied kann deutlich größer werden, insbesondere wenn die relativen Unterschiede im U-Wert größer sind.

Anmerkung: Der U-Wert muss normalerweise auf zwei Nachkommastellen gerundet werden. Aus didaktischen Gründen werden wir hier die Werte mit drei Nachkommastellen angeben.

Feuchtenachweis

Sobald ein Handwerker ein Bauteil wärmetechnisch verändert, ist er verpflichtet die U-Wert-Vorgaben des GEG (früher EnEV) einzuhalten. Das ist sicherlich bekannt. Weit weniger bekannt ist die Verpflichtung ein trockenes Bauteil zu erstellen. Sie resultiert aus der Musterbauordnung des Bundes (§3, Abs. 1: Anlagen sind so zu errichten ..., dass ... Leben, Gesundheit...nicht gefährdet werden) und den Landesbauordnungen (u.a. rechtliche Verankerung div. Normen). Anforderungen, die spätestens dann verletzt werden, wenn das Bauteil anfängt zu schimmeln!

Der Nachweis zur Schimmelfreiheit gelingt indirekt über den Nachweis ein trockenes Bauteil zu erstellen. Dachhandwerkern bieten sich hierfür 2 Verfahren an:

1. Vereinfachter Nachweis entsprechend den Fachregeln des Deutschen Dachdeckerhandwerks, siehe Merkblatt „Wärmeschutz bei Dächern“, Kapitel 3.
2. Tauwasserberechnung nach DIN 4108 Teil 3 (Glaserverfahren)

Das für beide Verfahren nötige Grundwissen möchte ich nachfolgend vermitteln.

Feuchtwanderung

Abgesehen von Einregenstellen und Rohrbruch kennt die Bauphysik 2 Formen des Feuchteintrages in Bauteile: Diffusion und Konvektion. Diffusion ist die Wanderung von Gasen, hier feuchte Luft, durch feste Stoffe. Konvektion ist Luftströmung, hier angereichert mit Wasserdampf. Beispielhaft ausgedrückt: wenn die Wassermoleküle sich durch die Gipskartonplatte zwängen ist es Diffusion; strömt die feuchte Luft durch Fugen in der Nut- und Federschalung ist es Konvektion. Konvektion hat hierbei die Eigenschaft ein Vielfaches an Feuchte in das Bauteil zu transportieren als es durch Diffusion möglich ist. Daher ist eine perfekte Luftdichtheitsschicht die wichtigste Forderung im Feuchteschutz.

Die **Luftdichtheitsschicht** kann durch raumseitigen Putz auf Mauerwerk, Gipskarton- oder Holzwerkstoffplatten mit dauerhaft dichter Verfugung o.ä. ausgebildet werden. Kann die Dichtheit der Fugen nicht dauerhaft sichergestellt werden, empfiehlt sich eine Kunststoffolie o.vgl. zwischen raumseitigen Platten und der Dämmstoffebene.

Luftdichtheit kann nicht berechnet werden, sie ist durch sorgfältige Planung und fachgerechte Montage sicherzustellen. Die Prüfung erfolgt mittels Blower-Door-Test.

Zusätzlich zur Luftdichtigkeitsschicht raumseits der Dämmung kann auch eine **Winddichtigkeitsschicht** eingebaut werden. Diese befindet sich außerhalb der Dämmebene und soll das Einströmen kalter Außenluft in die Dämmung verhindern. Besonders nützlich ist die Winddichtigkeitsschicht bei belüfteten Konstruktionen mit Faserdämmstoffen. Die typische Winddichtigkeitsschicht besteht aus einer nahtverklebten Unterspannbahn.

Neben eindringendem Wasser, eingebauter Feuchte (Mörtel, feuchtes Bauholz...) und Wärmebrücken ist eine mangelhafte Luftdichtheitsschicht der Hauptschimmelverursacher. Schäden, die auf **Diffusion** zurückzuführen sind, können als Seltenheit bewertet werden. Manch ein Experte ist sogar der Meinung, dass Feuchteschäden durch Diffusion an belüfteten Steildächern in der Praxis nicht auftreten würden.

Dennoch ist Diffusion im Feuchtenachweis ein Pflichtkapitel. Und im Gegensatz zur Luftdichtheit kann Diffusion auch berechnet werden.

Feuchtenachweis nach DIN 4108 Teil 3 (Glaserverfahren)

Das Glaserverfahren ist ein bilanzierendes Verfahren. Hierbei wird ermittelt wie viel Feuchte in der Tauperiode (= Winter) in das Bauteil eindringt und wie viel Feuchte in der Verdunstungsperiode (= Sommer) verdunsten kann. Ist die Verdunstungsmenge größer als die Tauwassermenge, so trocknet das Bauteil im Sommer aus und es kann sich über die Jahre kein Tauwasser ansammeln. Zusätzlich darf die eindiffundierte Feuchtemenge bestimmte Obergrenzen nicht übersteigen, siehe Tabelle 2.

Holz	5 % Massengehalt
Holzwerkstoffe	3 % Massengehalt
bei Tauwasserabfall an kapillar nicht wasseraufnahmefähiger Schicht:	0.50 kg / m ²
ansonsten:	1.00 kg / m ²

Tabelle 2: Obergrenze Tauwasser je Tauperiode

Eine Feuchtebilanz muss natürlich nur erstellt werden, wenn auch Feuchte in Form von Tauwasser ausfällt. Wie aber kommt es dazu?

Luft kann nur eine bestimmte Menge an Wasserdampf aufnehmen. Diese Wasseraufnahmekapazität ist abhängig von der Lufttemperatur. Warme Luft kann mehr, kalte Luft weniger Feuchtigkeit aufnehmen. Fällt die Lufttemperatur, so sinkt die Fähigkeit den Wasserdampf in der Luft zu halten. Wird die kritische Temperatur unterschritten, gibt die Luft den Wasserdampf in Form flüssigen Wassers ab. Man spricht von Tauwasserausfall.

Für die feuchtetechnische Untersuchung müssen eine ganze Reihe von Berechnungen durchgeführt werden. Zu Beginn erstellt man ein Glaserdiagramm. Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

- 1.) Ermittlung der Oberflächentemperaturen aller Bauteilschichten.
Hinweis: der Temperaturabfall ist proportional dem Wärmewiderstand.
Raumtemperatur = 20 °C, Außentemperatur = -10 °C.
- 2.) Berechnung des temperaturabhängigen Dampfsättigungsdruckes je Schicht
- 3.) Berechnung des Dampfteildruckes je Schicht
- 4.) sd-Werte der einzelnen Bauteilschichten berechnen ($sd = \mu \cdot \text{Dicke}$).
 μ ist die Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl. Sie beschreibt um wievielfach mehr ein Stoff die Wasserdampfdiffusion behindert als Luft. Folglich ist $\mu_{\text{Luft}} = 1$. Die μ -Werte entnimmt man DIN 4108 Teil 4 bzw. dem Produktdatenblatt.
- 5.) Dampfsättigungsdruck und Dampfteildruck über den sd-Werten auftragen.

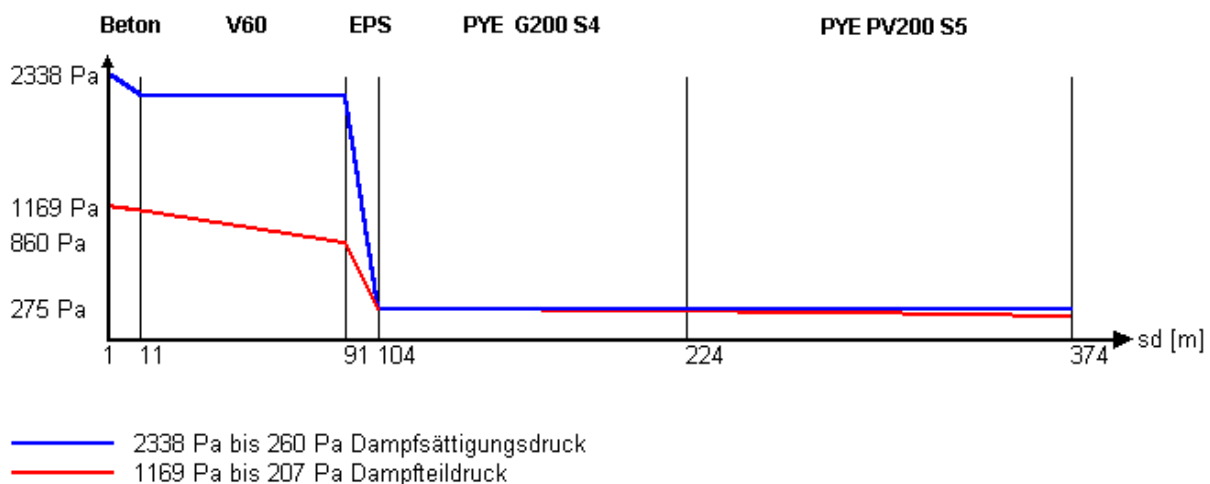


Abbildung 4: Glaserdiagramm Warmdach

Verläuft die blaue Dampfsättigungsdruckkurve stets oberhalb der roten Dampfteildruckkurve, ist die Konstruktion frei von Tauwasser.

Sinkt der Dampfsättigungsdruck (blau) unter den Dampfteildruck (rot) fällt Tauwasser aus. Dabei zieht die blaue Kurve die rote nach unten, da ein höherer Dampfteildruck als der Sättigungsdruck nicht möglich ist. Die Differenz rot zu blau „produziert“ letztendlich das Tauwasser. Im oben dargestellten Glaserdiagramm ist dies im Bereich der EPS-Dämmung (sd 91 -> 104) der Fall.

ACHTUNG:

Das Glaserverfahren darf nicht bei schlaufenförmig um den Sparren verlegter Luftdichtheitsschicht angewendet werden. Laut DIN 4108-3 ist hierfür eine Simulation der wärme- und feuchtetechnischen Prozesse erforderlich.

Auf die explizite Berechnung der sd-Werte, der Dampfdrücke und der maximalen Tauwassermenge habe ich aufgrund der komplexen Formeln bewusst verzichtet. Hierfür existieren EDV-Programme wie MF Bauphysik. Markus Friedrich Datentechnik stellt MF Bauphysik allen Anwendern von MF Dach, MF DachDesigner, MF Flachdach, MF Steildach und der Fachregel-CD des ZVDH kostenlos zur Verfügung. Auch die Meisterschüler an den Dachdecker- und Spenglerschulen in Augsburg, Berlin, Bielefeld, Dortmund, Eslohe, Großräschen, Lübeck, Mayen, München, Münster, St. Andreasberg und Waldkirchen können MF Bauphysik kostenlos nutzen.

Anwendungsbeispiele

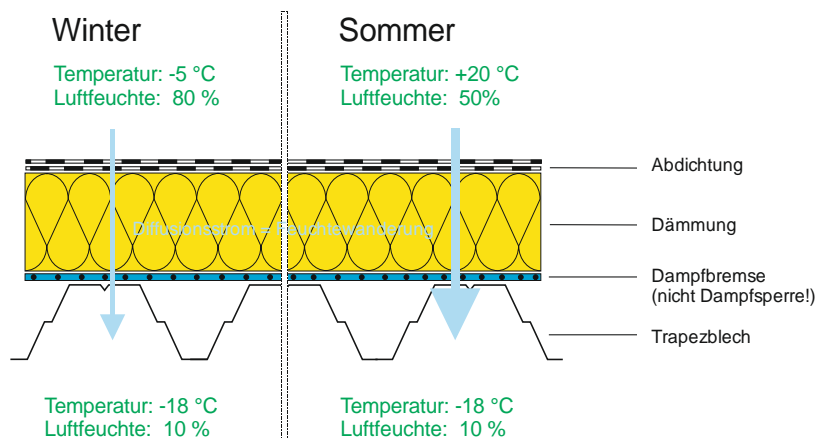
Einleitung

Für die Erstellung bauphysikalischer Berechnungen genügt es nicht immer die Formeln zur Berechnung des U-Wertes zu kennen und den Feuchtenachweis nach Glaser zu führen. Sonderfälle wie Kühlhäuser, Gefälledächer, feuchtes Bauholz u.a. zwingen uns, die schematischen Berechnungswege zu verlassen. Einige typische Sonderfälle möchte ich hier erläutern und diskutieren.

Kühlhaus

Die U-Wert-Berechnung für Kühlhäuser ist in der Regel einfach, achten doch deren Konstrukteure auf die Vermeidung von Wärmebrücken, Luftundichtigkeiten und sonstige Problemfälle. Der Dach- und Wandaufbau ist meist eine unbelüftete Konstruktion und kann folglich wie das Warmdach in Teil 1 „Bauphysik - Basiswissen für Dachhandwerker“, Seite 1 bis 3, gerechnet werden.

Interessant ist beim Kühlhaus der Feuchtenachweis, da das bilanzierende Verfahren nach DIN 4108 Teil 3 nicht anwendbar ist. Die Feuchtebilanz nach DIN 4108 setzt voraus, dass im Winter Feuchtigkeit in das Bauteil hineindiffundiert und im Sommer eine mindestens ebenso große Menge wieder herausdiffundiert. Für Wohnhäuser setzt man voraus, dass es im Winter im Haus warm (20 °C) und draußen kalt (-5° C) ist. Das Wärmegefälle bestimmt die Richtung der Feuchtwanderung (Diffusionsstrom) und treibt die Feuchte der Raumluft in Wand und Decke. Im Sommer ist es über dem Dach wärmer (20° C) als innen (12 °C), was das Austrocknen zurück ins Gebäudeinnere verursacht. An der Fassade herrschen innen wie außen 12° C, weshalb das Ausdiffundieren der Feuchtigkeit ausschließlich von Feuchteunterschieden getrieben wird und nach innen und außen erfolgt.



Klimabedingungen + Diffusionsstromrichtung am Kühlhaus

Diese Norm-Bedingungen gelten für Kühlhäuser nicht. In einem Kühlhaus ist es sowohl im Sommer als auch im Winter kälter als außen. Daher wandert die Feuchte immer nur von außen nach innen. Auch wenn dieser Diffusionsstrom im Sommer stärker ist als im Winter, die Richtung (nach innen) bleibt immer dieselbe. Ein Zurückdiffundieren = Austrocknen findet nicht statt! Das Bilanzverfahren nach DIN 4108 Teil 3 kann nicht angewendet werden.

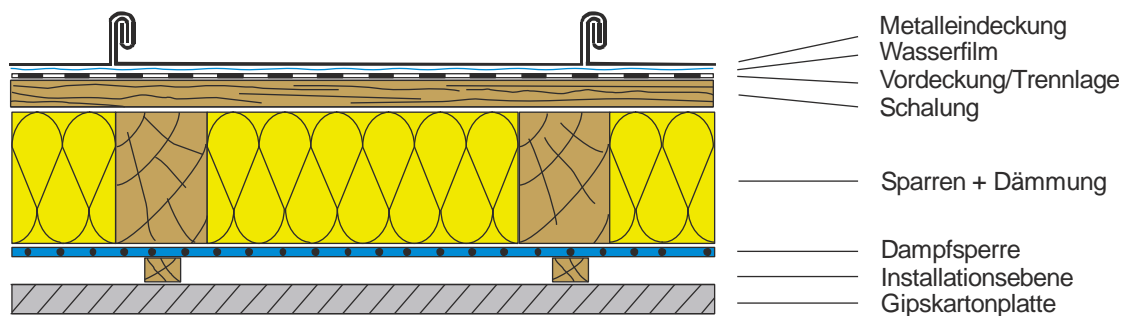
Aufgrund des stetig nach innen gerichteten Diffusionsstroms baut man Kühlhausdächer mit „umgekehrter“ Schichtenfolge: Außen die Dampfsperre, darunter die Dämmung und auf der Tragdecke bestenfalls eine Notabdichtung mit geringem sd-Wert.

Es gibt aber noch weitere Gründe dafür, dass die DIN 4108 an Kühlhäusern nicht anwendbar ist. Zum einen wird die Luft in Kühlhäusern künstlich getrocknet und zum anderen liegen die Temperaturen deutlich unterhalb der Klimabedingungen der DIN 4108. Letzteres ist insofern bedenklich, da in der DIN 4108 einige Kurvenfunktionen durch Geraden ersetzt wurden, welche nur innerhalb der gegebenen Klimabedingungen gültig bleiben.

Trick: Wählen Sie die Schichtenfolge so, dass kein Tauwasser ausfällt. Damit entfällt die Erstellung einer Feuchtebilanz und für die Eiszapfen an den Dachträgern müssen andere Schuldige gesucht werden.

Schimmel im Neubau-Dachstuhl

Neubauten mit flachgeneigtem Pultdach und Metalleindeckung leiden gerne unter Schimmelbefall im Bereich von Pfetten oder Traufbohlen. Typischerweise werden die Schäden erst 1 bis 2 Jahre nach Fertigstellung entdeckt, teilweise noch später. Was ist passiert?



Pultdach mit Metalleindeckung in Doppelstehfalztechnik

Für die Erstellung des Dachstuhls wurde regelkonformes Konstruktions-Vollholz (KVH) mit einer Holzfeuchte von 18 % eingebaut. Da die Ausgleichsfeuchte von Holz bei ca. 8 % liegt, werden im Laufe der Zeit 10 % Holzfeuchte an die Umgebung abgegeben. Bei modernen Sparrenmaßen von 8 x 20 cm, einer Konstruktionsbreite von 65 cm und einem Raumgewicht von ca. 430 kg/m³ für Fichte befinden sich $(0,08\text{m} \cdot 0,2\text{m} / 0,65\text{m}) \cdot 430 \text{ kg/m}^3 = 10,58 \text{ kg Holz} / \text{m}^2$ in der Konstruktion. Davon 10 % Feuchte ergibt 1,058 kg = ca. 1 Liter Wasser je m² Dachfläche. Addiert man die Schalung $(0,024\text{m} \cdot 430 \text{ kg/m}^3 = 10,32 \text{ kg/m}^2)$ und rundet wegen der Pfetten etc. auf, erhält man über 2 Liter Wasser je m² Dachfläche. Bei 150 m² Pultdachfläche sind dies 300 Liter!

Solange sich diese 300 Liter Wasser gleichmäßig innerhalb von Holz und Dämmung verteilen, muss noch kein Schaden auftreten. Das Problem entsteht meist im ersten Sommer nach Fertigstellung. Bei sommerlicher Hitze wird die Eindeckung stark erhitzt und unsere 300 Liter Wasser diffundieren nach innen Richtung Dampfsperre. Auf der Dampfsperre sammelt sich das Wasser, rinnt hinab und bildet vor der Pfette bzw. Traufbohle einen Wassersack. Schimmel ist ab jetzt nur noch eine Frage der Zeit.

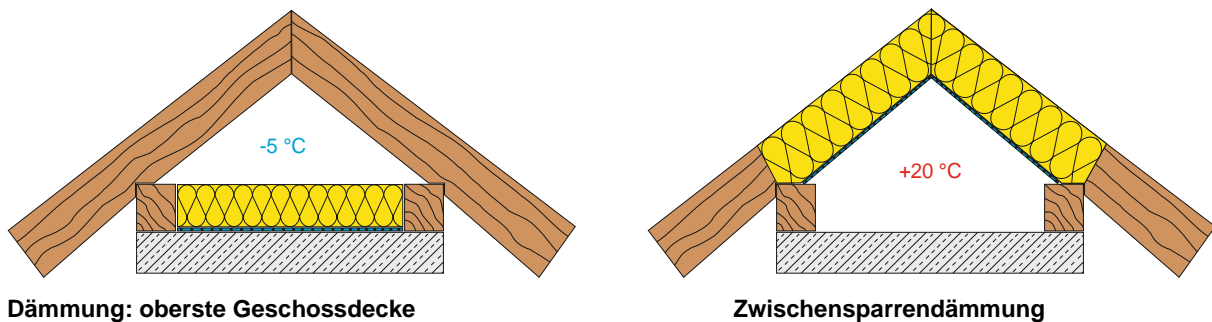
Metalldächer sind für diesen Effekt besonders anfällig, da die Feuchtigkeit zwischen Dampfsperre und Vordeckung wie in einem Sandwich eingesperrt wird. Außerdem haben Pultdächer eine relativ große Dachfläche je Traufelänge und die Schalung sammelt während der Bauphase das Regenwasser vollflächig ein. Auch die Hydrophobierung der Dämmung wurde in jüngster Zeit verbessert, was den Effekt verschlimmert, da das flüssige Wasser auf der Dampfsperre nicht „zurückgesaugt“ wird. Und die Wasserfilmbildung direkt unterhalb der Metalldeckung behindert im Winter und in kalten Nächten das „Ausdampfen“ ebenfalls, da flüssiges Wasser eine perfekte Dampfsperre darstellt.

Gegenmaßnahmen (geordnet von sinnvoll nach zynisch):

1. Wirklich trockenes Bauholz einbauen. Kosten für ein Messgerät ~ 39 €.
2. Dachstuhl schnellstmöglich einschalen und sofort Vordeckung aufbringen. Ist ein Dachstuhl mehrtägigem Regenwetter ausgesetzt, lässt sich die Katastrophe kaum noch vermeiden.
3. Diffusionsoffene Unterlagsbahn statt V13 auf der Schalung. Damit kann die Feuchte besser nach außen abdiffundieren. Noch besser ist eine Trennlage mit Wirrgelege, da hierbei kein Wasserfilm auf der Unterseite der Metalleindeckung entsteht, der die Diffusionsfähigkeit der dann durchfeuchteten Trennlage verringert.
Am sichersten: Belüfteter Dachaufbau mit Belüftungsebene zwischen Dämmung und Schalung.
4. Dampfbremse (sd < 10 m) statt Dampfsperre (sd > 100 m) einbauen, sofern Feuchtebilanz stimmt und sich kein Feuchtraum (Bad, Sauna, Waschküche) direkt unter dem Dach befindet.
Vorteil: Diese Dampfbremsen sind meist nicht perfekt wasserdicht, womit der Schaden früher erkannt wird. Ein kleines Bohrloch und 2 Putzeimer verhindern u.U. größere Folgeschäden.
5. Walm bzw. Satteldach statt Pultdach bauen, da die Dachhälften nur halb so groß sind und damit auch die Gesamtmenge Wasser je Traufbohle.

Dachbodendämmung

Die Frage nach der besten Einbausituation für Dämmung in nicht ausgebauten Dachböden ist so alt wie das Dämmen selbst. Manche sagen es muss die oberste Geschossdecke sein, andere plädieren für eine Zwischensparrendämmung. Ist der Dachraum für einen späteren Ausbau geeignet, ist die Zwischensparrendämmung die strategisch bessere Lösung. Doch welche ist bauphysikalisch sinnvoller?



Dämmung: oberste Geschossdecke

Zwischensparrendämmung

Das Hauptargument für das Dämmen der obersten Geschossdecke ist das geringere, beheizte Raumvolumen und daraus resultierend die kleinere Hülle. Das Verhältnis „Volumen zu Hüllfläche“ ist günstiger. Bei Massivdecken fehlen zudem die Deckenbalken. Deren Pendant, die Sparren, wirken bei der Zwischensparrendämmung wie „milde“ Wärmebrücken. Fehlende Balken bzw. Sparren führen zu geringeren Dämmstoffdicken und senken zusammen mit der einfachen Verlegung die Kosten. Meist kann auf luftdichten Decken die Dampfsperre mitsamt aller Anschlussprobleme entfallen.

Weitere Vorteile der Geschossdeckendämmung:

- kein teures Ausstiegsfenster mit Wärmeschutzverglasung notwendig
- bei fehlender Außenwanddämmung entfällt das Dämmen der Giebelwände
- Dachdurchdringungen bergen nicht die Gefahr einer Wärmebrücke

Soll der Dachraum begehbar sein oder zumindest als Lagerraum dienen, muss die Dämmung oberseitig einen Plattenbelag erhalten. Dieser ist i.d.R. nicht mehr diffusionsoffen und macht evtl. eine Dampfbremse erforderlich, was die Kosten gleich doppelt in die Höhe treibt.

Ist der Dachraum teilweise ausgebaut, müssen die Trennwände gesondert gedämmt werden und die Geschossdeckendämmung wird evtl. aufwändiger als eine Zwischensparrendämmung.

Die entscheidende Schwachstelle bei der Dämmung der obersten Geschossdecke bildet jedoch die Dachbodenlücke. Öffnet man diese im kalten Winter (Christbaumschmuck, Lichterketten, Schlittschuhe, Ski-Ausrüstung, Winterstiefel...), gelangt feuchtwarme Luft an die eiskalten Sparren, kondensiert und transportiert dabei Feuchtemengen in den Dachraum, die um ein Vielfaches über den nach DIN 4108 erlaubten Maximalmengen liegen. Anders gesagt: Wenn die Familie den Christbaum schmückt wird die Bauphysik zur Farce und der meist grünlich-graue Schimmel „belegt“ dies deutlich!

Resümee: Nur wenn der Dachboden niemals ausgebaut werden soll und die Nutzung als Lager sicher ausgeschlossen werden kann, ist an eine Dämmung der obersten Geschossdecke zu denken. Sobald der Bauherr eine trittsichere Dämmung wünscht, müssen die Alarmglocken läuten! Ansonsten ist die Dämmung der obersten Geschossdecke kostengünstiger und bauphysikalisch die bessere Lösung.

Bitte beachten:

Laut GEG §47 (1), Ausgabe Aug 2020, muss eine oberste, ungedämmte Geschossdecke oder der darüberliegende Dachstuhl gedämmt werden. Der Mindest-U-Wert von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ darf dabei nicht überschritten werden.