

Auszug aus meiner persönlichen Energie-Fibel:

Der U-Wert

Keine Angst, du musst kein Physiker sein um dieses Kapitel zu verstehen. Hast du bis heute immer einen großen Bogen um Formeln gemacht? In diesem Kapitel wirst du sie zu schätzen lernen.

Der U-Wert ist eine Maßzahl für die Qualität eines Baumaterials. Und zwar für die Qualität des Hindernisses oder des Widerstands, den dieses Bauteil der Wärme entgegensetzt. Auch bei Baumaterialien gilt: Je kleiner der U-Wert ist, desto besser dämmt das Material oder desto größer ist der Widerstand, auf den die Wärme bei ihrer Wanderung von Warm nach Kalt trifft. Oder einfach gesagt: je kleiner der U-Wert, desto besser die Dämmung.

Um nun mit diesem U-Wert rechnen zu können, brauchen wir eine Maßeinheit. Energie drücken wir in diesem Buch immer in Watt (W) oder Kilowatt ($1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$) aus (Umrechnungstabelle). Nette Menschen in weißen Kitteln testen unermüdlich Baumaterialien auf ihre Dämm-Qualität. Danach sagen sie uns, wie viel Energie durch einen Quadratmeter eines Baumaterials bei einem Grad Temperaturunterschied zwischen innen und außen wandert. Im Kapitel „Wohin wandert die Wärme“ hast Du gelernt, dass die Stärke des Wärmeflusses auch vom Temperaturunterschied abhängt. Also werden wir einen Parameter brauchen, der die Differenz zwischen Außentemperatur (AT) und Innentemperatur (IT) ausdrückt. Und dann müssen wir noch wissen wie groß die Fläche ist, welche das Innere eines Gebäudes von der Außenluft trennt. Wenn wir also die Breite mal der Höhe unserer Wand rechnen, bekommen wir die Quadratmeter (m^2). Aus diesen 3 Zutaten mixen wir nun eine Kennzahl: den U-Wert.

Energieverlust (Watt) x Fläche (Quadratmeter) x Temperaturunterschied (Kelvin) = $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

Und was macht dieses ominöse „K“ in dieser Maßeinheit? Keine Panik. Das wollen halt die Physiker so haben. Eine bestimmte Temperatur wird in Grad Celsius angegeben. Z. B. Innentemperatur 20°C und Außentemperatur 0°C . Die Temperaturdifferenz wird dann in Kelvin (K) angegeben. In diesem Beispiel also 20 Kelvin Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Wir würden einfach 20 Grad Temperaturunterschied sagen. Die Physiker machen hier halt einen Unterschied. Wir denken nicht weiter darüber nach und akzeptieren das einfach.

Beispiel:

Eine 30 cm dicke Ziegelmauer hat einen U-Wert von $0,54 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. D. h. bei einem Grad Temperaturunterschied zwischen innen und außen wandern durch einen Quadratmeter dieser Ziegelmauer 0,54 W Energie. Wenn die Wand 100 m^2 groß ist und ein Temperaturunterschied zwischen innen und außen von 20 Kelvin herrscht, wandern 1080 W durch diese Wand. Die Quadratmeter (m^2) und die Kelvin (K) kürzen sich weg, indem ich den U-Wert mit ihnen multipliziere. (Exkurs: Wie rechne ich mit Formeln? Beispiel kWh/a)

Ziegelmauer U-Wert:	$0,54 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
Fläche der Mauer:	100 m^2
Temperaturunterschied:	20 Kelvin

Energieverlust	= U-Wert x Fläche x Temperaturunterschied
	= $\text{W}/\text{m}^2\text{K} \times \text{m}^2 \times \text{K}$

$$\begin{aligned}
 &= 0,54 \text{ W/m}^2\text{K} \times 100 \text{ m}^2 \times 20 \text{ K} \\
 &= 1080 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Nehmen wir mal an, die Temperatur bleibt unverändert.

Nach einer Stunde sind dann 1.080 Wh (Wattstunden oder 1,08 kWh) durch diese Wand verloren gegangen.

Nach einem Tag (24 h) sind es 25.920 Wh oder rund 26 kWh (Kilowattstunden).

Nach einem Jahr wären es 9.461 kWh. Multipliziere ich also die Energiemenge (Watt oder Kilowatt), die durch meine Hülle ins Freie wandert mit der Zeit, bekomme ich den Energieverlust oder den Heizwärmebedarf (Wattstunden oder Kilowattstunden), den meine Heizung liefern muss. Ein modernes Einfamilienhaus verliert derzeit (2013) weniger als 10.000 kWh im Jahr durch seine Hülle. Diese Hülle ist allerdings ca. 450 m² groß und besteht aus Wand, Boden, Dach, Fenster und Türen.

Nun hat es nicht das ganze Jahr über 0°C außen. Damit wir also den Jahresverlust dieser Wand berechnen können, brauchen wir noch ein paar zusätzliche Informationen.

Jetzt musst du deine grauen Zellen ein bisschen anstrengen. Zuerst müssen wir wissen, wo diese Wand steht, weil in Lech am Arlberg ist es kälter als in Hamburg. Dann brauchen wir die Heizgradtage (HGT) oder die Heizgradstunden (G_t) für unseren Standort. Die finde ich für fast jeden Standort im Internet. Wenn mein Ort nicht dabei ist, nehme ich den Nachbarort. Die Heizgradtage für Lech sind 4.700 Kd/a (Kelvin x Tage pro Jahr) und für Hamburg 3.688 Kd/a. Die Heizgradstunden für Lech betragen 112,8 kWh/a (Kilokelvinstunden pro Jahr) und für Hamburg 88,51 kWh. Mach dir keinen Kopf wegen den Einheiten. Entweder du nimmst sie hin wie sie sind oder du lernst im nächsten Abschnitt wo sie herkommen.

Was du aber wissen musst ist, was in diesen Zahlen verpackt ist. Berechnen tun sie die Meteorologen für uns. Ganz grob gesagt rechnen sie jeden Tag die Differenz der Norminnentemperatur (20°C) und der Tagesmittel-Außentemperatur. Alle diese Temperaturdifferenzen zählen sie dann zusammen. Das machen sie natürlich nur für die Tage an denen man heizen muss. Heraus kommt dann die Summe der täglichen Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen in der Heizperiode (ca. zwischen Oktober und März).

Jetzt setzen wir in unserem Beispiel mit der 100 m² großen Ziegelmauer anstelle der 20 K x 24 h x 365 d unsere Heizgradtage ein, damit wir wissen, wie viel Energie unsere Ziegelmauer übers Jahr gesehen verliert, oder genauer gesagt über die Heizsaison.

$$\begin{aligned}
 \text{Energieverlust Lech} &= \text{U-Wert} \times \text{Fläche} \times \text{Heizgradtage} \\
 &= 0,54 \text{ W/m}^2\text{K} \times 100 \text{ m}^2 \times 4.700 \text{ Kd/a} \\
 &= 253.800 \text{ Wd/a}
 \end{aligned}$$

Was um alles in der Welt sind jetzt aber wieder Wd/a. Naja, das kommt halt heraus, wenn ich die Einheiten miteinander multipliziere. Die m² und die K kürzen sich weg und was bleibt sind Wd/a. Was müssen wir also tun um Wh/a zu bekommen? Wir multiplizieren die Wd/a mit 24 Stunden pro Tag. Und weil das eine etwas unhandlich große Zahl wird, dividieren wir das Ganze durch 1.000 und bekommen kWh/a (Kilowattstunden pro Jahr).

$$\text{Energieverlust Lech} = \frac{253.800 \text{ Wd/a} \times 24 \text{ h/d}}{1.000 \text{ (k)}} = 6.091 \text{ kWh/a}$$

Das ist aber ganz schön kompliziert haben die Energie-Experten gesagt. Und weil die Meteorologen nette Menschen sind, haben sie die Heizgradstunden für uns erfunden. Sie haben dafür die Heizgradtage (HGT) genommen, mit 24 h multipliziert und durch 1.000 (k) dividiert. Unsere fertige Formel lautet jetzt also:

$$\begin{aligned} \text{Energieverlust} &= \text{U-Wert} \times \text{Fläche} \times \text{Heizgradstunden} \\ &= \text{W/m}^2\text{K} \times \text{m}^2 \times \text{kKh/a} \\ &= \text{kWh/a} \end{aligned}$$

Jetzt kannst Du den Energieverlust der gleichen Wand in Hamburg ausrechnen. Das Ergebnis lautet: 4.780 kWh/a

Wie berechnet man die Heizgradtage (HGT) bzw. die Gradtagzahl (GTZ) und die Heizgradstunden (Gt) (nur für Ambitionierte)

Die Heizgradtage setzen sich zusammen aus den Heiztagen und der Temperaturdifferenz zwischen Norminnentemperatur (20°C) und mittlerer Außentemperatur. Die Einheit lautet Kd/a: Kelvin x Tage pro Jahr). Heiztage sind jene Tage, an denen die Heizung läuft. Da das aber in jedem Haus ein bisschen anders ist, haben die Normungsinstitute eine Temperatur von 12°C festgelegt. Es gibt auch Abweichungen von diesen 12°C. Diese Details kannst Du den jeweiligen Richtlinien der Länder entnehmen (OIB in Österreich, VDI in Deutschland, usw.). Wir definieren also einen Tag mit einer Durchschnittstemperatur unter 12°C als Heiztag.

Als nächstes interessieren uns die Temperaturdifferenzen zwischen Innen (IT) und Außen (AT) an allen Heiztagen. Diese Temperaturdifferenzen summieren wir einfach auf und erhalten die Heizgradtage (HGT).

Beispiel:

Innentemperatur: 20°C

Datum	Tagesmittel in Grad Celsius	Differenz IT – AT in Kelvin
1.1.2012	2	18
2.1.2012	5	15
3.1.2012	10	10
4.1.2012	13	0*
5.1.2012	14	0*
6.1.2012	8	12
usw.		
31.1.2012	-5	25
Summe	HGT	421 Kd/Jänner

* Die Tagesmitteltemperatur liegt über der Heizgrenztemperatur. Somit ist dieser Tag kein Heiztag.

In diesem Beispiel haben wir die Heizgradtage für den Monat Jänner errechnet. Wenn wir das für jeden Monat machen, erhalten wir die Heizgradtage pro Jahr.

Als Ergebnis unserer Berechnung des Energieverlusts möchten wir gerne kWh/a (Kilowattstunden pro Jahr) bekommen. Aus diesem Grund wird die Gradtagzahl mit 24 h multipliziert und durch 1.000 dividiert. Dadurch bekommen wir die Heizgradstunden (G_T).

Wo kommt der U-Wert her

(nur für Ambitionierte)

Im Kapitel U-Wert habe ich gesagt: der U-Wert ist eine Maßzahl für die Qualität des Widerstands, den ein Bauteil der Wärme entgegensetzt. Genaugenommen ist das nicht die ganze Wahrheit. Der U-Wert ist nämlich auch schon aus zwei anderen Faktoren berechnet worden:

- Lambda-Wert (λ)
- Dicke des Materials in Meter (d)

Und dieser Lambda-Wert ist der eigentliche Indikator für die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes. Er gibt an, welche Wärmemenge in einer Sekunde durch einen Baustoff von 1 Meter Dicke bei einem Temperaturunterschied von 1 Kelvin an den beiden Enden (erst dann entsteht ein Wärmestrom) strömt (Thomas Königstein). Die Einheit lautet W/mK (Watt pro 1 Meter Schichtdicke bei 1 Kelvin Temperaturunterschied).

Typische Lambda-Werte

Material	Lambda W/mK
Styropor	0,04
Holz	0,13
Ziegel porosiert	0,18

Du ahnst wahrscheinlich schon, wie wir aus dem Lambda-Wert einen U-Wert basteln können. Wir müssen das 1 Meter dicke Material durch unsere tatsächliche Schichtdicke ersetzen. Hier müssen wir jetzt einen kleinen Umweg nehmen.

In den seltensten Fällen haben wir es bei unseren Bauteilen mit nur einem Baumaterial zutun. Sogar eine einfache Ziegelmauer ist meistens innen und außen verputzt. Damit ich jetzt die Lambda-Werte und die unterschiedlichen Schichtstärken zusammenrechnen kann brauche ich einen Zwischenschritt auf dem Weg zum gesamten U-Wert des Bauteils: den Widerstandswert (R).

Widerstandswert $R = \text{Dicke des Materials in Meter (d)} / \text{Lambda-Wert } (\lambda)$

Im Fall unserer 30 cm dicken Ziegelmauer bedeutet das:

$$R = \frac{0,3 \text{ m}}{0,18 \text{ W/mK}}$$
$$R = 1,667 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Der Kehrwert dieses Widerstandswertes ergibt dann den U-Wert:

$$U\text{-Wert} = \frac{1}{R}$$
$$U\text{-Wert} = \frac{1}{1,667 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

$$U\text{-Wert} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ist unsere Ziegelmauer innen und außen verputzt, brauche ich noch den Lambda-Wert und die Schichtdicke für den Putz. Nehmen wir ihn mit 0,7 W/mK und 1 cm Dicke an. Kluge Köpfe haben darüber hinaus herausgefunden, dass die Wärme beim Übergang von der Luft in ein Bauteil und wieder aus dem Bauteil in die Luft ebenfalls einen kleinen Widerstand überwinden muss. Sie nannten ihn Wärmeübergangswiderstand innen und Wärmeübergangswiderstand außen. Um nun den U-Wert für diese verputzte Ziegelwand zu berechnen müssen wir alle Widerstände zusammen zählen.

Wärmeübergangswiderstand innen		$R = 0,130 \text{ m}^2\text{K/W}$
--------------------------------	--	-----------------------------------

Innenputz	$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,01 \text{ m}}{0,70 \text{ W/mK}}$	$R = 0,014 \text{ m}^2\text{K/W}$
-----------	--	-----------------------------------

Ziegel	$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,18 \text{ W/mK}}$	$R = 1,667 \text{ m}^2\text{K/W}$
--------	--	-----------------------------------

Außenputz	$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,01 \text{ m}}{0,70 \text{ W/mK}}$	$R = 0,014 \text{ m}^2\text{K/W}$
-----------	--	-----------------------------------

Wärmeübergangswiderstand außen		<u>$R = 0,040 \text{ m}^2\text{K/W}$</u>
--------------------------------	--	---

Wärmedurchgangswiderstand (Summe R)		$R_T = 1,865 \text{ m}^2\text{K/W}$
-------------------------------------	--	-------------------------------------

U-Wert = $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{1,865 \text{ m}^2\text{K/W}}$		$U = 0,536 \text{ W/m}^2\text{K}$
--	--	-----------------------------------

Exkurs: Wärmebrücken

Definition: Eine Wärmebrücke ist ein Teil der Gebäudehülle, wo mehr Wärme abfließt als bei den umgebenden Bauteilen.

Beispiel: Stell Dir eine Außenwand eines Gebäudes vor, das 1990 errichtet wurde. Sie besteht aus einer Ziegelwand mit einer dünnen Dämmung außen drauf. Ihr U-Wert beträgt 0,5 W/m²K. In dieser Wand ist ein Fenster. Der U-Wert der Glasscheibe beträgt 2,5 W/m²K. Der U-Wert gibt an, wie viel Energie durch einen Quadratmeter eines Bauteils fließt, wenn der Temperaturunterschied 1 Kelvin beträgt, es also außen 1°C kälter ist wie drinnen. Vergleichen wir nun den U-Wert der Wand mit dem U-Wert der Glasscheibe, dann stellen wir fest, dass durch die Glasscheibe fünf mal soviel Energie fließt wie durch die Wand. Das Fenster ist also in dieser Wand eine Wärmebrücke. Je höher der U-Wert eines Bauteils ist, desto mehr Energie fließt durch dieses Bauteil ins Freie, desto mehr Energie muss die Heizung in das Gebäude liefern und desto höher sind die Heizkosten.

Ein hoher U-Wert hat aber noch eine weitere sehr wichtige Konsequenz: Die Oberflächentemperatur des Bauteils mit dem hohen U-Wert ist geringer als die mit dem niedrigen U-Wert. Die Glasscheibe ist also kälter als die Wand. Das kennst du sicherlich aus eigener Erfahrung. Wenn es außen kalt ist, ist es nicht angenehm, in der Nähe von alten Glasscheiben zu sitzen. Warum das so ist erklärt die folgende Formel:

$$T_x = T_i - (U \times K \times R_{si})$$

T_x = Oberflächentemperatur eines Bauteils x

T_i = Raumlufttemperatur innen

U = U-Wert des Bauteils x

K = Temperaturunterschied zwischen T_i und der Außenluft in Kelvin

R_{si} = Wärmeübergangs-Widerstand des Bauteils x (siehe Tabelle XY im Anhang)

Beispiel: Wir befinden uns im Badezimmer des 1990 gebauten Hauses. Außen hat es -5°C , im Bad wohlige 25°C . Wie hoch ist die Oberflächentemperatur der Wand bzw. der Glasscheibe?

$$T_{\text{Wand}} = 25 - (0,5 \times 30 \times 0,13) = 23^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glas}} = 25 - (2,5 \times 30 \times 0,13) = 15^{\circ}\text{C}$$

Es wird sich also in der Nähe der Glasscheibe kalt anfühlen. Stell Dir vor, Du kommst gerade aus der Dusche. Musst du dir Sorgen machen, dein Nachbar könnte dich vielleicht in deiner Geburtstags-Garderobe beobachten? Nein, die Glasscheibe ist so freundlich sich zu beschlagen und in einer undurchsichtigen Milchglasoptik zu erscheinen. Moderne Glasscheiben kann ich unter Strom setzen und mit einem Schalter zwischen Klarsicht und Milchglas hin und her schalten. Diese Technik ist noch ziemlich teuer. Du bekommst sie vollautomatisch und zum Nulltarif. Na ja, ganz so toll ist das vielleicht doch nicht. Die Gummidichtungen deines Fensters schimmeln und dein Holzfenster verrottet. Du musst es ziemlich bald reparieren oder austauschen.

Warum beschlagen die Glasscheiben? Du kennst wahrscheinlich die Geschichte mit dem Taupunkt und der relativen Luftfeuchtigkeit. Wenn nicht, kannst Du es auf Seite XY beim Exkurs: Taupunkt nachlesen. Du hast jedenfalls beim Duschen die Luftfeuchtigkeit im Badezimmer erhöht. Diese feuchte Luft wird an der Glasscheibe abgekühlt und kann ihren Wasserdampf nicht mehr halten. Der Dampf wird wieder flüssig und legt sich an die kalte Scheibe an.

Das gleiche passiert auch, wenn die Wand von einem anderen Baumaterial unterbrochen wird. Man könnte zum Beispiel eine Betonscheibe durch die Wand stecken, um einen Balkon zu haben (Skizze). Jetzt hat so eine Stahlbetonscheibe mit 20 cm Dicke einen U-Wert von $4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wenn wir mit der obigen Formel wieder die innere Oberflächentemperatur ausrechnen, kommen wir auf nur noch 9°C . Da müssen wir nicht mal mehr duschen. Da genügt die normale Luftfeuchtigkeit eines Innenraums, dass der Wasserdampf an dieser Stelle kondensiert. Die Folge ist Schimmelbildung.

Warum entsteht Schimmel hinter einem Kasten, der an einer ungedämmten Außenwand steht? Ein Kasten oder ein Sofa steht jahrelang vor einer ungedämmten Außenwand. Eines Tages wird das Möbelstück zur Seite geschoben und - oh Schreck: die Wand dahinter ist mit Schimmel übersät. Warum das so ist, liegt wieder am Fließverhalten der Energie von Warm nach Kalt. Stellen wir uns die Wand mal wie einen Autobahnabschnitt vor. Wenn am Ende dieses Autobahnabschnitts eine Baustelle ist und nur eine Fahrbahn befahrbar ist, dann kommen durch die Baustelle weniger Autos durch wie durch die frei befahrbare Autobahn. Wenn viel Verkehr ist, kommt es zum Stau und zu zähfließendem Verkehr vor der Baustelle. Ist die Baustelle aber am Anfang des Autobahnabschnitts, lässt die Baustelle nur wenige Autos auf die folgende Strecke. Der Verkehr wird hinter der Baustelle flott und reibungslos ablaufen.

Ähnlich wie dem Verkehr geht es der Energie, die durch eine Wand fließt. Ein Dämmmaterial ist wie eine Baustelle. Sie behindert die Energie beim fließen. Ein Möbelstück ist nun wie eine Art Dämmung. Ein Polstersofa besteht aus einem Schaumgummikern und leitet Wärme sehr viel schlechter als eine Ziegelwand. Auch ein Kasten gefüllt mit Kleidern wirkt wie ein

Dämmolster. Der Stau ist also vor der Wand und die Energie kann nur langsam zur Wand fließen. Die ungedämmte Wand ist dann jedoch wie eine dreispurige Autobahn und die Energie rast davon. Durch die freie Wand, wo kein Kasten steht, rast die Energie zwar auch, aber es ist davor keine Baustelle in Form eines Kastens und die Energie kann ungehindert aus der Raumlufte nachströmen. Die Folge ist eine niedrigere Oberflächentemperatur hinter dem Kasten. Sinkt sie in die Nähe des Taupunkts beschlägt die Wand, weil Wasserdampf aus der Raumlufte an der kalten Wand kondensiert. Schimmel kann wachsen.