

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin

Fachbereich 1  
Ingenieurwissenschaften - Energie und Information  
Regenerative Energien (B)

### **U-Wert Bestimmung vom 12.05.2023**

*Betreuer: Konstantin Thurow*

*Gruppe: 5*

Name	Matrikelnummer
Johannes Tadeus Ranisch	578182
Markus Jablonka	580234
Niels Feuerherdt	577669
Katharina Jacob	578522
Lukas Aust	574051

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Versuchsziele</b>	<b>1</b>
<b>2 Versuchsbeschreibung</b>	<b>2</b>
<b>3 Vorbereitungsfragen</b>	<b>2</b>
3.1 Erläutern sie die Begriffe Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmeübergangswiderstand, Wärmeleitfähigkeit und Wärmestrahlung . . . . .	2
3.2 Skizzieren sie den Temperaturverlauf und den Wärmestrom durch eine mehrschichtige Wand. Der Wärmestrom verläuft in Richtung des Temperaturgefälles.	3
3.3 Was sagt der Wärmedurchgangskoeffizient aus? . . . . .	3
3.4 Wie sollte eine Wand beschaffen sein, damit Temperaturschwankungen auf der Außenseite sich innen möglichst wenig auswirken? . . . . .	4
3.5 Berechnen Sie den Gesamtwärmedurchgangswiderstand für die gegebenen mehrschichtigen Wände (Messreihe 2 Wandaufbau 1 und 2) mit Tabellenwerten aus der einschlägigen Literatur . . . . .	4
3.6 Überlegen Sie, warum es zu Unterschieden zwischen Ihren nach Norm und nach Messungen berechneten U-Werten kommen kann. . . . .	5
<b>4 Versuchsdurchführung</b>	<b>5</b>
<b>5 Auswertung</b>	<b>5</b>
5.1 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeiten und des Wärmedurchgangskoeffizienten für Polystyrol(1,84 cm), Holz (1,22 cm, 2,24 cm) und Glas(0,5 cm) . . . . .	5
5.2 Berechnen Sie Wärmedurchlasswiderstand R für den zweiten Wandaufbau der 2. Messreihe . . . . .	6
5.3 Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten für beide mehrschichtige Wände und Vergleich mit theoretischen Werten . . . . .	7
<b>6 Quellen</b>	<b>9</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>10</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Animation des Versuchsaufbaus [Versuchsanleitung]	1
2	Skizzen der Temperaturverläufe und Wärmeströme verschiedener Wände	3

## Tabellenverzeichnis

1	Berechnete Werte Für die Wärmestromdichte $\dot{q}$ , den Wärmedurchgangskoeffizienten U und die Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	6
---	---	---

## Abkürzungsverzeichnis

PV	Photovoltaik
WR	Wechselrichter
LR	Laderegler
MPP	Maximum Power Point

## 1 Versuchsziele

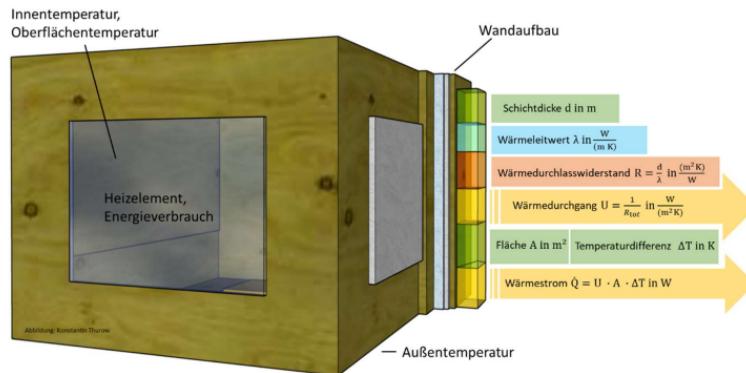


Abbildung 1: Animation des Versuchsaufbaus [Versuchsanleitung]

Mit Blick auf die Ziele der Bundesregierung den Endenergieverbrauch bis 2030 um 24% zu senken gewinnt Energieeffizienz im Bausektor mit rasanter Geschwindigkeit an Relevanz. Die Effizienzklassen für Neubauten legen den Fokus auf Dämmungen und können so in den nächsten Jahrzehnten viel Gas und Kohle einsparen. Dieser Versuch soll ein Versändnis für Dämmstoffe und die Klassifikation dieser durch den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) schaffen. Der Versauchsaufbau besteht aus einem Modellhaus (Abbildung 1) austauschbaren Wänden , einem abnehmbaren Dach und einer Glühlampe als Wärmequelle. Ziel ist es aus den aufgenommenen Temperaturdifferenzen in der Auswertung die Wärmeleitfähigkeit und den Wärmedurchgang der einzelnen Materialien zu bestimmen.

Aus Erfahrungswerten und bisherigen Vorlesungsveranstaltungen lässt sich vermuten, dass einige der Materialien Wärme besser leiten als andere. Während Polyesterol, oftmals auch als Dämmstoff genutzt, eine schlechte Wärmeleitfähigkeit aufweisen wird, leitet das Floatglas Wärme wahrscheinlich am besten und hat so auch den größten U-wert. Erwartbar ist außerdem, dass die U-werte in der zweiten Messung geringer sein werden als in der ersten da das Schichtholz durch eine Dämmung ergänzt wurde.

## 2 Versuchsbeschreibung

### 3 Vorbereitungsfragen

#### 3.1 Erläutern sie die Begriffe Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmeübergangswiderstand, Wärmeleitfähigkeit und Wärmestrahlung

- Wärmedurchgang ist der Wärmeübergang von einem Fluid durch eine Wand auf ein anderes Fluid und wird durch den Wärmedurchgangskoeffizienten beschrieben. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist ein stoffspezifischer Wert und wird nach Gleichung 1 berechnet.

$$u = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^N \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad (1)$$

- Der Wärmeübergangswiderstand  $R_s$  beschreibt die Wärmeübertragung zwischen einem Festkörper und einem Fluid. Er ist als der Kehrwert der Wärmeübergangskoeffizienten definiert.
- Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  ist die Stoffeigenschaft eines Materials einen Wärmestrom zu leiten. Sie gibt Aussage darüber wie sich Wärme in einem Stoff ausbreitet und ist auch stoffspezifisch.
- Wärmestrahlung ist eine Art der Wärmeübertragung durch elektromagnetische Wellen im infraroten Bereich.

**3.2 Skizzieren sie den Temperaturverlauf und den Wärmestrom durch eine mehrschichtige Wand. Der Wärmestrom verläuft in Richtung des Temperaturgefälles.**

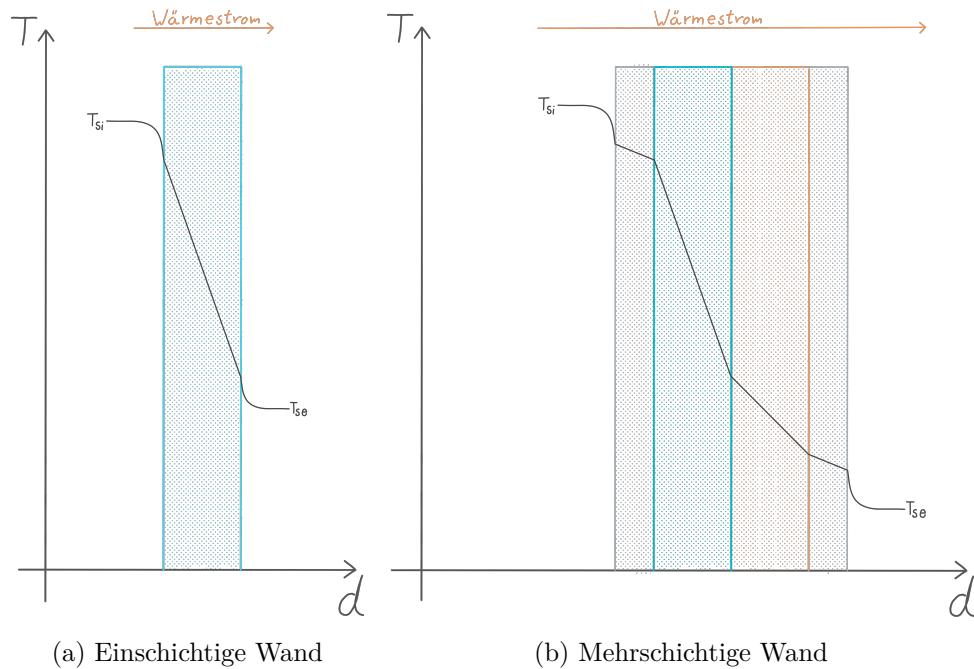


Abbildung 2: Skizzen der Temperaturverläufe und Wärmeströme verschiedener Wände

**3.3 Was sagt der Wärmedurchgangskoeffizient aus?**

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  ist eine Kennzahl, die den Wärmedurchgang durch einen Bauteil oder eine Bauteilschicht beschreibt. Er gibt an, wie viel Wärme pro Zeiteinheit und pro Fläche durch das Bauteil hindurchgeht, wenn ein Temperaturunterschied zwischen den beiden Seiten des Bauteils herrscht. Der  $U$ -Wert wird in der Einheit

$$\frac{W}{m^2 \cdot K}$$

angegeben. Je niedriger der  $U$ -Wert ist, desto besser ist die Wärmedämmung des Bauteils. Ein niedriger  $U$ -Wert bedeutet, dass weniger Wärmeenergie verloren geht und das Bauteil effizienter dämmt. Der  $U$ -Wert berücksichtigt verschiedene Faktoren wie die Materialien, die Dicke der Bauteilschichten, eventuelle Luftspalten und Wärmebrücken. Er wird verwendet, um den Energieverbrauch von Gebäuden zu berechnen, die Effizienz von Wärmedämmmaßnahmen zu bewerten und den Wärmeschutz von Bauteilen zu beurteilen.

### 3.4 Wie sollte eine Wand beschaffen sein, damit Temperaturschwankungen auf der Außenseite sich innen möglichst wenig auswirken?

Die Physikalisch simpelste Lösung ist es die Wand massiver zu machen, wodurch die Trägheit des Systems erhöht wird. bei einer hohen Trägheit verhält sich das System wie ein Tiefpassfilter, langsame Temperaturschwankungen sind auf der Innenseite jedoch immer noch merkbar. Die bessere Lösung ist es, die Wandkomposition zu verändern und eine bessere Dämzung einzubauen. Das kann durch Mehrschichten und/oder interne Luftschichten erzielt werden. Dies hat den Effekt, dass die Innentemperaturen besser gehalten werden und leichter geregelt werden können.

### 3.5 Berechnen Sie den Gesamtwärmedurchgangswiderstand für die gegebenen mehrschichtigen Wände (Messreihe 2 Wandaufbau 1 und 2) mit Tabellenwerten aus der einschlägigen Literatur

- Grundlegende Gleichung zur Berechnung ist Gleichung 1

- 

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

und

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

sind gegebene Werte

- lambda-Werte für die Baustoffe immer den schlechtesten Wert angenommen (siehe Excel) aus entsprechenden Normen
- lambda-Werte für Holz [1, S.20] und Luft [1, S. 15] aus DIN EN ISO 10456:2010-05
- lambda-Wert für XPS [2, S.23] aus DIN 4108-4:2020-11

- 

$$U_{Wand1} = 1,6362 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- 

$$U_{Wand2} = 1,3311 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### 3.6 Überlegen Sie, warum es zu Unterschieden zwischen Ihren nach Norm und nach Messungen berechneten U-Werten kommen kann.

## 4 Versuchsdurchführung

## 5 Auswertung

### 5.1 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeiten und des Wärmedurchgangskoeffizienten für Polystyrol(1,84 cm), Holz (1,22 cm, 2,24 cm) und Glas(0,5 cm)

Zunächst wird die Formel für die Wärmestromdichte benötigt. Diese lautet wie folgt:

$$\dot{q} = \frac{Q}{A} = h_i \cdot (T_{Li} - T_{Wi}) \quad (2)$$

Der Wärmeübergangskoeffizient  $h_i$  kann mithilfe des Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  aus DIN4108-4 ( $R_{si} = 0,13m^2$ ) bestimmt werden.

$$h_i = \frac{1}{R_{si}} = \frac{1}{0,13m^2 \cdot K \cdot W^{-1}} \quad (3)$$

Unter der Annahme, dass die Wärmestromdichte von innen nach außen konstant ist, ist der innere Wärmestrom gleich dem gesamten Wärmestrom. Dank diesem Umstand lässt sich der U-Wert mithilfe von 3 gemessenen Temperaturen berechnen.

$$\frac{T_{Li} - T_{Wi}}{R_{si}} = U \cdot T_{Li} - T_{La} \quad (4)$$

nach U umgestellt ergibt sich:

$$U = \frac{T_{Li} - T_{Wi}}{R_{si} \cdot (T_{Li} - T_{La})} \quad (5)$$

Der Wärmeübergangskoeffizient für außen  $h_e$  lässt sich mithilfe des spezifischen Wärmestroms bestimmen. Dabei ist  $R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$  (siehe DIN4108-4)

$$h_e = \frac{q}{T_{Wa} - T_{La}} \quad \text{mit} \quad R_{se} = \frac{1}{h_e} \quad (6)$$

Anschließend lässt sich die Wärmeleitfähigkeit wie folgt berechnen:

$$\lambda = \frac{\dot{q} \cdot d}{(T_{Wi} - T_{Wa})} \quad (7)$$

In Tabelle 1 sind dabei die berechneten Werte dargestellt. Dabei ist zu

Tabelle 1: Berechnete Werte Für die Wärmestromdichte  $\dot{q}$ , den Wärmedurchgangskoeffizienten U und die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$

	Wärmestromdichte $\dot{q}$ in $\text{W}/\text{m}^2$	Wärmedurchgangskoeffizient (U) in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$
Polystyrol 1,84 cm	45,52	1,35	0,04
Holz 1,22 cm	114,48	3,40	0,15
Holz 2,24 cm	103,15	3,06	0,16
Glas 0,5 cm	122,31	3,63	0,06

erkennen, dass wie zu erwarten das Polystyrol die niedrigste Wämemestromdichte und Glas die höchste besitzt. Dabei sinkt sie auch je dicker das Holz ist. Der U-Wert verhält sich dabei genauso. Anders hingegen ist es bei der Wärmeleitfähigkeit. Hier ist zu erkennen, dass in unserem Fall das Glas einen Wärmewiderstand in einer Größenordnung wie das Polystyrol hat. Jedoch sind die Werte mit Literaturquellen zu vereinbaren. Wie zu erwarten sind die Werte beim Holz nicht Schichtdickenabhängig und sehr ähnlich.

Im Falle des Float Glases gibt es zum vergleich noch eine Messung mit einem professionelleren Aufbau. Dieser errechnet dabei für die Wärmestromdichte  $\dot{q}$  einen Wert von  $135,08 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  und kommt damit auf einen U-Wert von  $4,53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ . Dies ergibt eine Differenz von von etwa 10,5% für  $\dot{q}$  und eine Differenz von etwa 20% für den - Wert. Dabei ist es schwer den genauen Fehler unserer Messung zu bestimmen, da weder die Messungenauigkeit der beiden Aufbauten noch die Genauigkeit der Temperaturfühler bekannt sind. Alles in allem ist jedoch davon auszugehen, dass der professionelle Aufbau deutlich genauer ist. Somit kann man davon ausgehen, dass die  $\dot{q}$ - und U-Werte mehr als 10% vom tatsächlichen Wert abweichen können.

## 5.2 Berechnen Sie Wärmedurchlasswiderstand R für den zweiten Wandaufbau der 2. Messreihe

Der Wärmedurchlasswiderstand lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$R_{Durchlass} = \frac{1}{U} - R_{se} - R_{si} \quad (8)$$

Der zweite Wandaufbau der 2. Messreihe besteht aus drei Schichten, einer 1,22 cm dicken Schicht aus Holz, einer 1 cm Luft und einer 0,6 cm

dicken Polystyrolschicht. Zunächst wird der U-Wert der Wand mit Formel 5 berechnet. Als Nächstes müssen noch  $R_{si}$  und  $R_{se}$  (DIN4108-4) von  $U^{-1}$  abgezogen werden und wir erhalten den Durchlasswiderstand. Dabei ergibt sich für den Durchlasswiderstand  $0,174 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ .

### **5.3 Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten für beide mehrschichtige Wände und Vergleich mit theoretischen Werten**

Für die Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten beider mehrschichtigen Wände wurden die aufgenommenen Temperaturen gemittelt und dann entsprechend Gleichung 5 berechnet. Es ergaben sich folgende Werte:

$$U_{Wand1} = 2,5715 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U_{Wand2} = 2,9084 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Bei der Berechnung nach DIN-Norm wurden bereits die theoretischen Wärmedurchgangskoeffizienten berechnet.

$$U_{Wand1} = 1,6362 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U_{Wand2} = 1,3311 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Bei erster Betrachtung wird bei beiden Wänden ein relativ großer Unterschied zwischen den theoretischen und gemessenen Werten für den Wärmedurchgangskoeffizient deutlich.

Hierbei interessant ist, dass bei den theoretischen Werten die zweite Wand einen geringeren U-Wert hat und bei den gemessenen Werten ist der U-Wert der ersten Wand geringer. Die sinnvollste Erklärung hierfür ist, dass für die verwendeten Holz- und XPS-Platten angenommen wurde, dass sie nur unterschiedlich dick sind, aber aus dem exakt gleichen Material bestehen.

Bei Schichtholz, sowie XPS ist für die gewählte Wärmeleitfähigkeit entscheidend wie viel Luft im Feststoff ist, bzw. wie gut es komprimiert ist. So können wir mit dem ersten Blick nicht sicher sein, dass kein leicht abweichendes XPS oder Schichtholz bei den unterschiedlichen Aufbauten genutzt

wurde.

Die Abweichung zwischen Theorie und Messung kann ansonsten durch die Unterschiede in den Voraussetzungen des Versuches im Labor und den Voraussetzungen die für die DIN-Norm angenommen wurden erklärt werden.

## 6 Quellen

### Literatur

- [1] Din en iso 10456:2010-05. <https://www.nautos.de/RBV/search>.
- [2] Din 4108-4:2020-11. <https://www.nautos.de/RBV/search>.

## 7 Anhang