

Einführung und Anmerkungen für die Lehrkraft

Im Folgenden finden Sie einen möglichen Projektauftrag für den Bau und die Vermessung eines Wärmehauses. Dieses Projekt bietet sich nach der Unterrichtseinheit und dem darauffolgenden Übertrag auf die Gebäudedämmung sehr gut an. Hierbei können die behandelten Themen vertieft und angewendet werden und gleichzeitig entsteht ein tolles und anschauliches Produkt. Der zeitliche Aufwand kann je nach genauer Aufgabenstellung stark differenziert werden. Im unten stehenden Beispiel sollen die Schülerinnen und Schüler (SuS) in (Klein-) Gruppen jeweils ein Wärmehaus bauen, was durchaus 10 bis 30 Unterrichtsstunden dauern kann. Differenzieren kann man die Zeitdauer beispielsweise darüber, ob die Dämmmaterialien und Baumaterialien von der Lehrkraft zur Verfügung gestellt werden oder selbst besorgt werden müssen. Eine weitere Entscheidung, welche die Lehrkraft im Vorhinein treffen muss ist, wie die Aufheizung des Wärmehauses erfolgen soll und ob die dafür benötigten Materialien zur Verfügung gestellt werden sollen. Für den folgenden Projektauftrag werden die Materialien für eine Wasser-Bodenheizung von der Lehrkraft gestellt und diese dann von den SuS selbstständig aufgebaut. Natürlich kann die Wahl der Heizung den SuS auch selbst überlassen werden.

Soll das Projekt in einem kürzeren Zeitraum durchgeführt werden, wäre beispielsweise denkbar, dass die ganze Klasse ein Wärmehaus baut und somit Kleingruppen einzelne Wände planen und realisieren. Ein schöner Nebeneffekt dieser Projektplanung ist die Notwendigkeit der Kommunikation zwischen den einzelnen Gruppen. Unter dem Beispiel-Projektauftrag finden Sie auch noch eine mögliche Anleitung mit Hintergrundinformationen für die Vermessung eines beispielhaften Wärmehauses. Für noch tiefergehende Informationen finden Sie in einem gesonderten Dokument eine wissenschaftliche Arbeit zu diesem Thema auf der Homepage von Science on Stage¹.

¹ www.science-on-stage.de/zusatzmaterialien-winterjacke

Projektauftrag

Bau und Vermessung eines Warmehauses

Projektauftrag:

1. Entwerft, konstruiert und baut ein Warmehaus mit unterschiedlichen Wandaufbauten, welches mit einer Wasser-Bodenheizung beheizt wird.
2. Vermisst die unterschiedlichen Wandaufbauten mithilfe einer Wärmebildkamera und/oder Thermometern und bestimmt die Wärmedurchgangskoeffizienten U als auch die Wärmeleitfähigkeit λ der Wände. Vergleicht eure gemessenen Werte mit Literaturwerten.

Lastenheft

Bau des Warmehauses	
F	Skizzen und Vorüberlegungen (welche Wandaufbauten mit welchen Dämmmaterialien und warum) für das Warmehaus.
F	Warmehaus bestehend aus Wänden mit vier unterschiedlichen Dämmmaterialien und/oder Wandaufbauten.
F	Stabiler Zusammenbau der Wände auf einem tragfähigen und stabilen (biegt sich nicht durch und kann gut transportiert werden) Fundament.
F	Sattel- oder Flachdach für das Warmehaus, welches abnehmbar und gut gedämmt ist.
F	Wasser-Bodenheizung funktionsfähig und sinnvoll installiert.
F	Präsentation mit Bildern des Warmehauses.
W	Wandaufbauten mit integrierten Fenstern oder Türen.
W	Ökologische und ökonomische Betrachtung der verwendeten Dämmmaterialien.
W	Kurzer Film über das Warmehaus.
Vermessung des Warmehauses	
F	Vermessung der unterschiedlichen Wandaufbauten beim Aufheizen und nach zweistündigem Aufheizen und konstanter Innen- und Außentemperatur mit den Temperaturfühlern und/oder der Wärmebildkamera.
F	Zusammenführen der Messerwerte in einem Excel-Dokument.
F	Darstellung des Temperaturverlaufs in einem Diagramm.
F	Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U und der Wärmeleitfähigkeit λ mithilfe der gemessenen Temperaturwerte.
W	Vermessung der eingefügten Türen und Fenster.
W	Untersuchung des Warmehauses hinsichtlich von Wärmebrücken mithilfe der Wärmebildkamera.
W	Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten U und der Wärmeleitfähigkeit λ mithilfe von Literaturwerten bzw. Simulationsprogrammen. Vergleich und Diskussion der Literaturwerte und der praktisch bestimmten Werte.
Protokoll	
F	Pflichtenheft am PC geschrieben - pro Gruppe eins.
W	Zusätzliche Dokumentation der Vorgehensweise anhand von Bildern.

(F = Forderung, W = Wunsch)

Hinweis: Teilt die zu erledigenden Aufgaben sinnvoll untereinander auf!

Ergänzung: Mögliches Vorgehen bei der Vermessung eines beispielhaften Wärmehauses mit zusätzlichen Hintergrundinformationen

Die Wärmedämmung eines Hauses ist ein ganz entscheidender Punkt für den Energieverbrauch im Privathaushalt. Um eine behagliche Situation in einem Haus zu schaffen, benötigen wir eine Temperatur von ca. 21 °C. Diese bekommen wir im Winter durch Heizen und im Sommer eventuell durch Kühlung.

Nach der Statistik von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) und dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (siehe Abbildung 1) fielen 2012 in Deutschland 29 % des gesamten Energieverbrauchs auf die Raumwärme.

Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2012 (insgesamt 8.998 PJ)

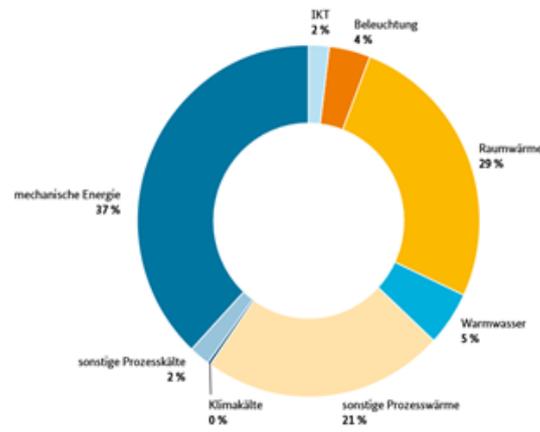


Abbildung 1: Statistik der AGEB und der BDEW zum Energieverbrauch in Deutschland 2012 (www.bmwi.de)

Hier liegt also viel Potential zur Verbesserung durch eine geeignete Wärmedämmung.

Denn je schlechter die Wärmedämmung ist, desto höher ist der Wärmestrom durch die Wand. Dabei muss die Wärme, die nach außen hin abgegeben wird, innen durch eine Heizung oder ähnliches zugeführt werden.

Ziel dieses Versuchs ist es, verschiedene Wandaufbauten mit unterschiedlichen Dämmmaterialien, Hinterlüftung und nachträglicher Dämmung auf ihre Qualität zu untersuchen und zu vergleichen. Es werden für jeden Aufbau die Wärmedurchgangskoeffizienten U und die Wärmeleitfähigkeiten λ bestimmt. Um diese gesuchten Werte errechnet zu können, müssen die Außentemperatur, die Innentemperatur, die Wandinnentemperatur sowie die Wandaußentemperaturen gemessen werden. Die ersten drei genannten Temperaturen werden mithilfe von Messfühlern und einer LabVIEW Programmierung ermittelt. Die Ermittlung der Außenwandtemperaturen dagegen wird mithilfe einer Wärmebildkamera durchgeführt. Dies ist eine in der Bauthermografie übliche Methode, um den U -Wert eines bestehenden Gebäudes zu ermitteln. Hierzu wurden von unterschiedlichen Herstellern Kombi-Geräte entwickelt, an denen sich sowohl Messfühler für die Innentemperatur und die Wandtemperatur sowie die Außentemperatur befinden und gleichzeitig auch die Außenwandtemperatur mithilfe einer Wärmebildkamera aufgenommen wird. Warum wird hierbei überhaupt eine Wärmebildkamera verwendet und nicht einfach mit einem Temperaturfühler gemessen? Mit einem Temperaturfühler kann nur die Temperatur an einer ganz bestimmten Stelle gemessen werden. Über ein Wärmebild können jedoch Aussagen bezüglich der Temperatur über eine ganze Wand bzw. bestimmte Ausschnitte einer Wand gemacht werden und damit ist es viel aussagekräftiger. Zusätzlich können mit einem Wärmebild sehr schnell Schwachstellen einer Dämmung (Wärmebrücken) erkannt werden.

Hintergrundwissen zur Wärmebildkamera:

Eine Wärmebildkamera ist ein bildgebendes, berührungsloses Messinstrument der Thermografie, mit dessen Hilfe die für den Menschen nicht sichtbare Infrarotstrahlung ($\lambda = 3 \mu\text{m}$ bis $5 \mu\text{m}$ und $8 \mu\text{m} - 14 \mu\text{m}$) erfasst und dargestellt werden kann.

Diese Infrarotstrahlung wird durch Molekülschwingungen von jedem Körper ausgestrahlt, der eine Temperatur größer als 0 K besitzt, wobei deren Frequenz von der Temperatur des Körpers abhängig ist. Diese Frequenz wird also von den Sensoren in der Wärmebildkamera detektiert und als digitales Signal an einen kleinen Computer in der Kamera weitergeleitet, der daraus ein farbiges Bild, abhängig von den erfassten Temperaturen, generiert.

Wie bereits oben erwähnt, ist die Wärmebildkamera inzwischen ein sehr wichtiges Gerät zur Untersuchung von Gebäuden bezüglich Wärmebrücken und eventueller Baufehler. Jedoch müssen einige Aspekte wie die Wetterlage und die Außentemperatur bei einer Messung berücksichtigt werden. Bei Regen oder Schnee ist eine Messung beispielsweise überhaupt nicht möglich bzw. die Messwerte nicht zuverlässig auswertbar.

Wichtig für die Messung mit einer Wärmebildkamera im Labor sind folgende Aspekte:

1. Fremdstrahlung vermeiden
2. Temperatur von innen und außen muss mind. 10 Kelvin betragen und es muss eine konstante Außentemperatur vorliegen
3. die reflektierte Temperatur muss richtig eingestellt werden
4. der Emissionsgrad muss richtig eingestellt werden
5. der Abstand vom Objekt muss richtig eingestellt werden

Was ist der Emissionsgrad?

Der Emissionsgrad, auch Emissivität genannt, gibt das Verhältnis zwischen der abgegebenen Strahlungsintensität eines realen Körpers und der Strahlungsintensität eines idealen schwarzen Körpers bei gleicher Temperatur an. Der Emissionsgrad kann Werte von null bis eins annehmen.

Ein idealer schwarzer Körper stellt in der Thermografie ein ideales Modell dar, welches zur Erkenntnisgewinnung und Überprüfung von Gesetzmäßigkeiten dient. Aufgrund der Gesetzmäßigkeiten des schwarzen, idealen Körpers lässt sich dann auf das Verhalten des realen Körpers schließen.

Ein idealer schwarzer Körper zeichnet sich aus, indem er im Vergleich von allen Körpern, die dieselbe Temperatur haben, die größtmögliche Strahlungsintensität aufweist. Was bedeutet, dass er genauso viel Strahlung emittiert, wie er zuvor absorbiert hat.

Bei einem realen Körper dagegen treten zusätzlich zu dem Absorptionsvorgang auch noch Transmissions- und Reflexionsprozesse auf.

Mit folgender Gleichung wird der Emissionsgrad berechnet:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{M_{real}}{M_{schwarzer\ Körper}} \quad (1)$$

mit:

ε : Emissionsgrad des realen Körpers
 M_{real} : Strahlungsemission realer Körper
 $M_{schwarzer\ Körper}$: Strahlungsemission schwarzer Körper

Hintergründe zur Wärmedämmung:

Grundlagen des Wärmetransports

Ein System, in dem unterschiedliche Temperaturniveaus vorliegen, ist stets bestrebt, dieses Temperaturgefälle auszugleichen. Dabei findet der Wärmeübergang immer vom Zustand der höheren Temperatur zum Zustand einer niedrigeren Temperatur statt.

Es wird zwischen drei Arten des Wärmetransports unterschieden, der Wärmeleitung, der Wärmeströmung und der Wärmestrahlung, aus deren Anteilen sich dann der Gesamtwärmestrom ergibt.

$$\dot{Q}_{Gesamt} = \dot{Q}_{Leitung} + \dot{Q}_{Strömung} + \dot{Q}_{Strahlung} \quad (2)$$

Betrachtet man alleine die Wärmeübertragung in der Wand, handelt es sich hauptsächlich um die Wärmeleitung. Mit dieser können Werkstoffe als gute oder schlechte Dämmstoffe qualifiziert werden.

Gemessen wird in diesem Versuch, wenn sich ein stationärer Zustand eingestellt hat, was bedeutet, dass die Temperaturen konstant bleiben.

In Abbildung 2 ist ein mehrschichtiger Wandaufbau mit dessen Temperaturverlauf zu sehen. Der Temperaturverlauf ist innerhalb eines Materials linear und dabei für dieses charakteristisch. Wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, fließt durch den gesamten Aufbau derselbe Wärmestrom, welcher durch Gleichung (3) definiert ist:

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta z} \quad (3)$$

mit:

\dot{Q} : Wärmestrom
 λ : Wellenlänge [μm]
 A : Strömungsquerschnitt
 ΔT : absolute Temperatur T [K] = 273,15 + θ [°C]
 Δz : Wandstärke

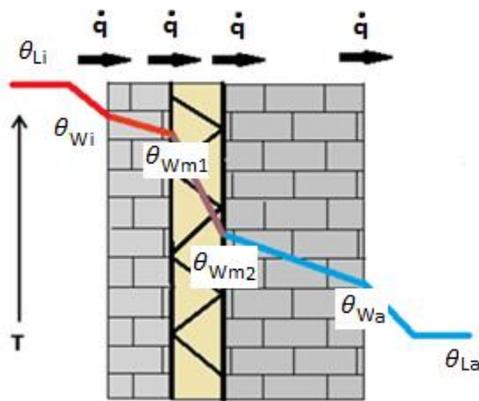


Abbildung 2: Orts-Temperatur-Diagramm durch eine dreischichtige Wand mit Innendämmung

Erklärung der Abkürzungen:

θ_{Li} : Lufttemperatur innen

θ_{Wi} : Wandoberflächentemperatur innen

$\theta_{Wm1/2}$: Temperatur zwischen Mauerwerk und Dämmung

θ_{Wa} : Wandoberflächentemperatur außen

θ_{La} : Lufttemperatur außen

Wärmedurchgangskoeffizient U

Der Wärmedurchgangskoeffizient U ist ein Maß des Wärmedurchgangs durch ein Material oder ein Bauteil, welches aus mehreren verschiedenen Materialien aufgebaut ist.

Dieser Wärmedurchgang basiert auf der Wärmeleitung durch die Materialschichten und den Wärmeübergang an der Grenzfläche zwischen Wandoberfläche und Luft. Mit dieser Größe wird angegeben, wie viel Energie durch 1 m^2 eines Bauteils bei einer Temperaturdifferenz von 1 K von innen nach außen abgegeben wird. Es ergibt sich also die Einheit $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ für den Wärmedurchgangskoeffizienten U.

Häufig ist auch die Rede vom Wärmedurchlasswiderstand R, der direkt mit dem Wärmedurchgangskoeffizient U verknüpft ist, denn es gilt:

$$U = \frac{1}{R_{\text{Gesamt}}} \quad (4)$$

Der Wärmedurchlasswiderstand einer Wand R_W wird mithilfe der Materialdicke d und der Wärmeleitfähigkeit λ eines Materials berechnet:

$$R_W = \frac{d}{\lambda} \quad (5)$$

Die Temperatursprünge an den Übergangstellen Luft-Wand dagegen werden als Wärmeübergangskoeffizienten innen R_i bzw. außen R_a bezeichnet:

$$R_i = \frac{1}{h_i} \quad \text{bzw.} \quad R_a = \frac{1}{h_a} \quad (6 \text{ und } 7)$$

Da diese mit in die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten eingehen, ergibt sich für einen einschichtigen Wandaufbau folgende Gleichung:

$$U = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_W} + \frac{1}{R_a} \quad (8)$$

Für einen wie oben gezeigten dreischichtigen Wandaufbau gilt folgende Gleichung:

$$U = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{W1}} + \frac{1}{R_{W2}} + \frac{1}{R_{W3}} + \frac{1}{R_a} \quad (9)$$

Es ergibt sich also für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten folgender Wärmestrom:

$$\dot{q} = U \cdot (\theta_{Li} - \theta_{La}) \quad (10)$$

Durch Einsetzen des Wärmeübergangskoeffizienten h_a in die Gleichung des Wärmestroms ergibt sich dann:

$$U = h_a \frac{(\theta_{Wa} - \theta_{La})}{(\theta_{Li} - \theta_{La})} \quad (11)$$

Wärmeleitfähigkeit λ von Dämmstoffen

Die Wärmeleitfähigkeit λ ist eine Stoffgröße und beschreibt, wie viel Energie in Form von Wärme, die durch ein Material pro Sekunde bei einer Materialdicke von einem Meter bei einem Temperaturunterschied von einem Kelvin hindurchgeht. Es ergibt sich hierbei die Einheit für die Wärmeleitfähigkeit λ von $\frac{J}{smK}$ oder auch $\frac{W}{mK}$.

Da bei der Wärmeleitfähigkeit alleine das Material betrachtet wird, ergibt sich ein Wärmestrom von:

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{d} (\theta_{Wi} - \theta_{Wa}) \quad (12)$$

Aufgelöst nach der Wärmeleitfähigkeit λ ergibt sich:

$$\lambda = \frac{d \cdot \dot{q}}{(\theta_{Wi} - \theta_{Wa})} \quad (13)$$

Setzt man nun den Wärmestrom für den äußeren Wärmeübergang ein ergibt sich:

$$\lambda = h_a \frac{(\theta_{Wa} - \theta_{La})}{(\theta_{Wi} - \theta_{Wa})} d \quad (14)$$

Im Bauwesen wird ein möglichst kleiner Wert für λ angestrebt, da dies bedeutet, dass möglichst wenig Wärme über die Wände entweicht, also ein geringer Wärmestrom durch die Wände hindurch vorliegt.

Nach der DIN EN ISO 6946 werden die erfahrungsgemäß durchschnittlichen Werte für die Wärmeübergangskoeffizienten zwischen Wand und Luft angegeben. Diese sind in der unten stehenden Abbildung 3 zusammengetragen.

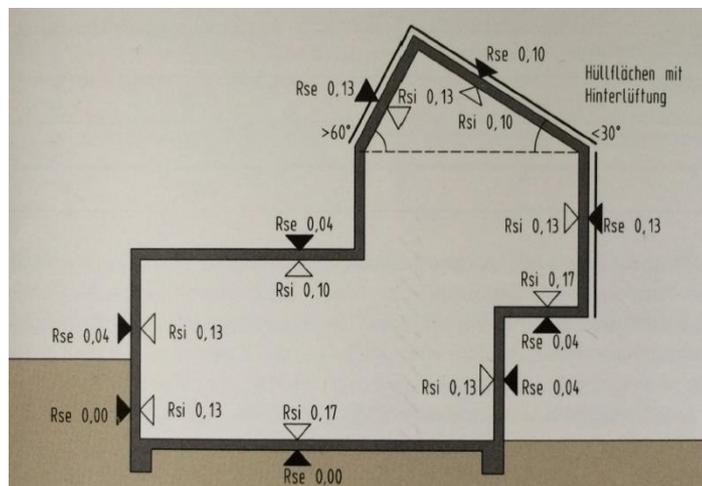


Abbildung 3: Übersicht der konventionellen Wärmeübergangswiderstände nach DIN EN ISO 6946 (Bogusch und Duzia 2012, S. 35).

Für den Versuch wird also ein Wärmeübergangskoeffizient von $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen, da die Messung in einem Gebäude stattfindet.

Versuchsaufbau:

Der Versuchsaufbau besteht aus 4 unterschiedlichen Wandaufbauten, wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Diese sind in ein Fundament mit Estrich eingegossen und werden für die Messung entweder mit einem gedämmten Flachdach oder einem gedämmten Giebeldach verschlossen. In der Ziegelwand befindet sich zusätzlich ein Fenster. Außerdem kann eine hinterlüftete Fassade vor der Wand 3 und eine nachträgliche Styropordämmung von 5cm Dicke vor der Wand 4 angebracht werden. Beheizt wird das Thermohaus über eine Fußboden-Wasserheizung. Die eigentliche Heizungsapparatur befindet sich außerhalb des Thermohauses in einem extra Heizhäuschen. Das Wasser wird über einen Tauchsieder auf 45 °C erhitzt und mithilfe eines Thermostates geregelt. Mithilfe einer kleinen Wasserpumpe wird dann das warme Wasser durch einen im Thermohaus verlegten Schlauch gepumpt und dabei eine Raumtemperatur von 32 °C erreicht.



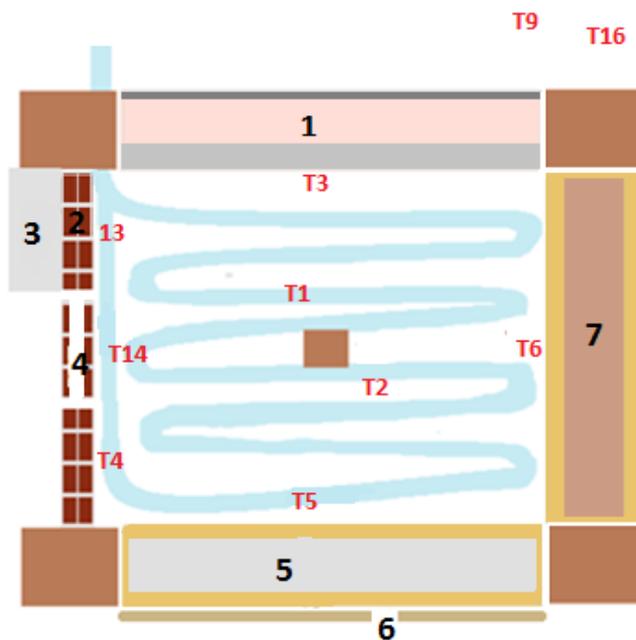
Abbildung 4: Thermohaus-Aufbau von oben mit Fußbodenheizung

Wand 1: Betonwand mit Resol-Hartschaum-Dämmplatte StarTherm XS 022

Wand 2: Ziegelsteinwand mit Fenster und nachträglicher Dämmung aus expandiertem Polystyrol (EPS)

Wand 3: Holzwand mit Holzrahmenbauweise gedämmt mit EPS

Wand 4: Holzwand mit Holzrahmenbauweise gedämmt mit Holzfaserplatten



1: Estrich/Feinbeton der Firma Baunit (Betonwand: 3cm Dicke); Dämmstoff StarTherm XS022 (Dicke: 7cm); Kleber StarContact (Dicke 7 mm); Nanopor Top (Dünnschichtdeckputz Dicke 2mm)

2: Mauerziegel (Größe: 24x11x6mm)

3: nachträgliche Dämmung aus expandiertem Polystyrol (EPS) (Dicke: 5 cm)

4: Fensterrahmen aus Holz; Plexiglas (2 mm dick) als Doppelverglasung, Abstand 7 mm

5: Fichte innen und außen 1,5 cm, Dämmung EPS (Dicke 7 cm)

6: Fichte innen und außen 1,5 cm, Dämmung Holzfaserdämmplatte (Dicke 7 cm)

Versuchsvorbereitung:

Das Thermohaus ist fertig aufgebaut, lediglich die Styropordämmung an der Ziegelwand und die Vorhangfassade an der Styroporwand müssen nach Bedarf montiert werden, außerdem kann zwischen dem Flachdach und dem Satteldach entschieden werden. Vor dem Fenster ist ein Vorhang angebracht, damit eine zuverlässige Messung möglich ist. Es wird ca. 10 Stunden vor der ersten Messung begonnen, das Thermohaus mithilfe einer Zeitschaltuhr und der Wasserheizung aufzuheizen, sodass dieses bis dahin einen stationären Zustand erreicht hat.

Versuchsdurchführung nach Einstellen des stationären Zustands:

1. Beginnen Sie mit der ersten Messung z. B. an der Betonwand.
2. Kalibrieren Sie die Kamera und geben Sie die Werte für die Außentemperatur, die reflektierte Temperatur und den Emissionsgrad über das Menü der Kamera ein.
3. Jetzt kann die eigentliche Messung beginnen. Die Messung pro Wand beträgt 5 Minuten. Nehmen Sie während dieser Zeit alle 10 s ein Wärmebild auf und notieren den gemessenen Wert.
4. Wiederholen Sie diese Messung für jede Wand, das Fenster und gegebenenfalls für die zusätzliche Dämmung an der Ziegelwand.
5. Untersuchen Sie das Thermohaus auf Wärmebrücken und machen Sie Bilder mit der Wärmebildkamera davon.

Zu 2. Kalibrierung der Kamera auf die Umgebungstemperatur laut Anleitung:

Hierzu wird die auf einem Karton aufgeklebte Alufolie benötigt. Diese wurde zunächst zusammengeknüllt, danach wieder glatt gestreift und auf einem Karton befestigt.

Dieser Aufbau wird nun an einer Wand des Häuschens platziert und der Emissionsgrad im Menü unter **Messtaste** → **Parameter** → **Emissionsgrad der Kamera auf 1,0** gestellt. Die Temperatur der Alufolie wird gemessen, notiert und im Menü der Kamera unter **Messtaste** → **Parameter** → **Reflektierte Temperatur** eingetragen.

Dann muss noch der Abstand vom Objekt eingegeben werden. Um den Abstand während der gesamten Messung gleich zu halten, wurde eine Konstruktion gebaut, die einen Abstandhalter darstellt, in welchen die Wärmebildkamera eingesetzt werden kann.

Bei der Messung der unterschiedlichen Wandaufbauten müssen die unterschiedlichen Emissionsgrade eingestellt werden.

Oberfläche	Emissionsgrad
Gipsputz	0,93
Ziegel	0,94
Fichte	0,91
Styropor	0,93
Plexiglas	0,97

Versuchsauswertung:

Importieren Sie die Messwerte aus der Textdatei in Tabellenkalkulationsprogramm (bspw. Excel).

1. Ermitteln Sie die Innentemperatur, die Außentemperaturen und die Wandinnentemperaturen (darin auch die Innentemperatur des Fensters) sowie die Temperaturen zwischen den vorgehängten Dämmungen, indem Sie die aus LabVIEW erhaltenen Messwerte ermitteln.
2. Berechnen Sie den Mittelwert der gemessenen Temperaturen mit der Wärmebildkamera für jede Wand.
3. Berechnen Sie mithilfe der ermittelten Werte sowohl den Wärmedurchgangskoeffizienten U als auch die Wärmeleitfähigkeit λ für jede Wand sowie das Fenster und stellen Sie diese Werte vergleichend in einer Tabelle dar. Diskutieren Sie die Ergebnisse. (Hinweis: Die beiden Holzwände besitzen nahezu denselben U -Wert. Wenn die Messung also samt Hinterlüftung durchgeführt wird, kann durch den Vergleich der beiden Messwerte für die Holzwand mit Holzfaserdämmung und der Styropordämmung samt Hinterlüftung der Effekt einer Hinterlüftung untersucht werden.)
4. Errechnen Sie für die Betonwand den theoretischen Wärmedurchgangskoeffizienten mit den gegebenen Wärmeleitfähigkeiten.

λ -Wert Beton: 2 W/mK (2400 Dichte, DIN NORM)

λ -Wert StarTherm XS022: 0,021 W/mK (laut Hersteller)

λ -Wert Nanopor Top: 0,7 W/mK

λ -Wert Star Contact XS: 0,82 W/mK

5. Errechnen Sie die Oberflächentemperaturen der einzelnen Schichten und skizzieren Sie den Temperaturverlauf in einem Orts-Temperatur-Diagramm (siehe Abbildung 2).
6. Recherchieren Sie, was Wärmebrücken sind und wo sie üblicherweise auftreten. Wann ist das Vorhandensein von Wärmebrücken als kritisch für die Bausubstanz zu beachten?
7. Wo sind an dem Thermohaus Wärmebrücken sichtbar und welche Maßnahmen wären zu ergreifen, um diese zu beseitigen?