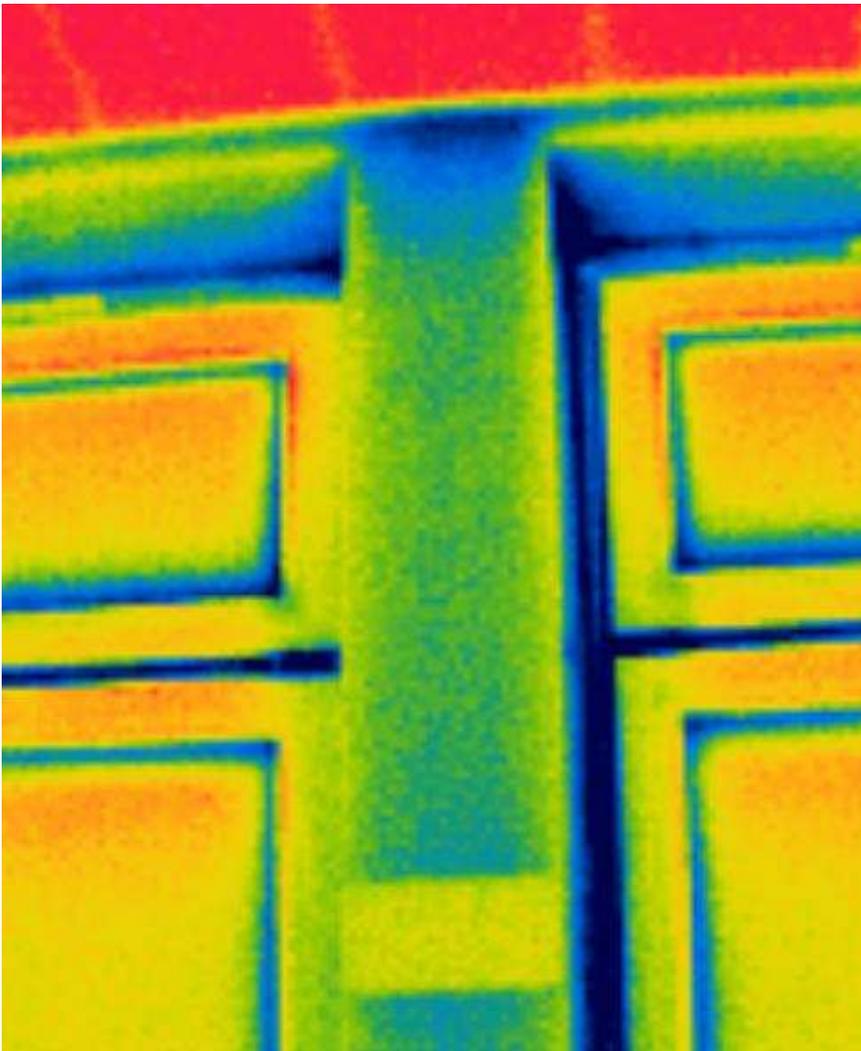


Thermografische Untersuchungen



Friederike Fürst (15) und Simon Haase(14)
Arbeitsgemeinschaft des
Christian-Gymnasiums Hermannsburg
Leitung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Fragestellung	3
Vorüberlegungen	4
Wärmestrahlung	4
Wärmeleitung	4
Reflexion von Wärmestrahlung	4
Funktionsweise der Infrarotkamera.....	5
Messungen am Gebäude.....	6
Auswertung	9
Fehlerquellen.....	10
Messungen an der Wärmebox	10
Messmethode.....	11
Messgerät	12
Auswertung	12
Fazit.....	13
Danksagung.....	14
Quellen	14

Einleitung

Wärmeisolation interessiert die Menschen bereits seit Tausenden von Jahren. Schon die Steinzeitmenschen benutzten Wärmedämmung in Form von Tierfellen, um ihren Körper warm zu halten und so zu überleben. Die Vorgehensweise verbesserte sich im Laufe der Zeit stark – statt der einfachen Felle haben wir heute hochentwickelte Thermokleidung - dass es möglich ist, zum Nordpol zu reisen, ohne die Kälte wirklich zu spüren.

Um im normalen Alltag nicht ständig den Körper in einer dicken Dämmschicht aus Jacken oder anderer Kleidung hüllen zu müssen, hat der Mensch geheizte Wohn- oder Arbeitsumgebungen geschaffen.

Um hierbei nicht unnötig viel Energie aufwenden zu müssen, wird die Außenhülle dieser Räumlichkeiten gedämmt. Wissenschaftliche Errungenschaften werden heute vor allem im Hausbau angewandt. Hinsichtlich der Tatsache, dass nicht alle Baustoffe gleich gut dämmen, können dort Fehler unterlaufen, die zu einer Wärmebrücke führen. Wärmebrücken können durch Baumängel hervorgerufen werden. Die Baustoffe wollen wir in unseren Versuchen auf die Probe stellen. Außerdem war es notwendig auch auf die Baumängel einzugehen. Dies haben wir exemplarisch an unserer Schule getestet.

Jeder Gegenstand hat eine Temperatur und sendet deshalb Strahlung aus. Diese Strahlung nennt man Infrarotstrahlung. Sie kann sowohl mit herkömmlichen Ohrthermometern gemessen werden als auch mit einer Infrarotkamera. Die Strahlung wird kurzwelliger, wenn der Körper wärmer wird. Infrarotkameras sind in der Lage, langwellige Wärmestrahlen zu erkennen und die Wellenlänge zu messen.

Fragestellung

Wir haben es uns in dieser Jugend forscht-Arbeit zur Aufgabe gemacht, Wärmebrücken und schlecht isolierte Flächen der Gebäudehülle in unserer Schule zu lokalisieren. Unsere Schule besteht aus verschiedenen Bauabschnitten und erschien uns daher besonders geeignet. Nachdem wir einige Tests durchgeführt hatten, haben wir weiterführend einige der beim Bau verwendeten Materialienarten auf ihre Isolation hin geprüft.

Vorüberlegungen

Wärmestrahlung

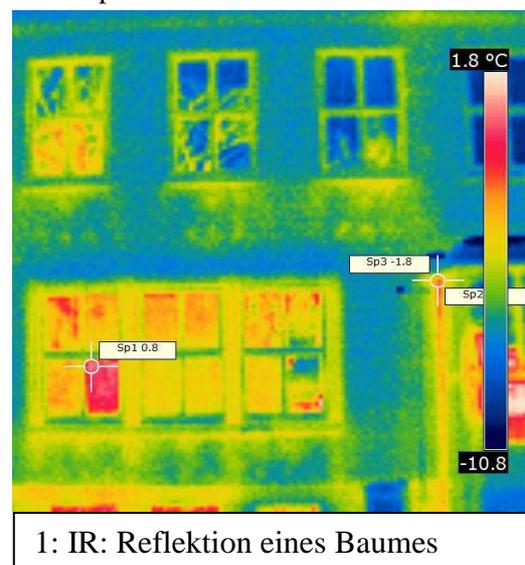
Jeder Körper gibt eine Strahlung im infraroten Bereich ab: Die Wärmestrahlung. Sie ist langwelliger als das sichtbare Licht und wird kürzer, je wärmer der Körper ist. Sie hat eine Wellenlänge im Bereich von 1 bis 15 μm . Diese Strahlung kann vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden. Trifft diese Strahlung auf einen Körper, wird ein Teil der Strahlung aufgenommen (absorbiert) und in Wärme umgewandelt, ein Teil reflektiert und ein Teil wird durchgelassen. Dies ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit und der Schichtdicke. Raue oder dunkle Körper reflektieren weniger Strahlung als helle oder glatte. Ein Unterschied zur Wärmeleitung ist, dass sich Wärmestrahlung auch im Vakuum ausbreiten kann.

Wärmeleitung

Wärmeleitung ist eine weitere Form der Wärmeübertragung. Die Wärme wird durch ein Medium in ein anderes Medium übertragen. Dies kann allerdings nur Temperaturen ausgleichen und keine Unterschiede schaffen. Der Effekt der Wärmeleitung tritt zum Beispiel auch bei einem Löffel in einer Teetasse auf. Die Wärme des Tees überträgt sich auf den Löffel und dieser wird warm. Dies nennt man Wärmeübergang. Dieser Prozess der Wärmeleitung kann auch über mehrere Stoffe gehen, zum Beispiel von der Luft außerhalb eines Hauses über die Wand auf die Luft innerhalb des Hauses. Dies nennt man dann Wärmedurchgang. Besser als Stoffe wie Beton, Glas, Luft oder Stoffe mit Lufteinschlüssen wie Styropor® oder Glaswolle die aufgrund dieser Eigenschaft auch im Bau als Dämmmaterialien eingesetzt werden, leiten Metalle wie Gold, Silber, Kupfer oder auch Wolfram. Die Wärmeleitung hat aber auch Vorteile: Ein Beispiel sind Kochtöpfe. Sie nehmen die Wärme der Heizplatte auf und geben sie an den Inhalt weiter.

Reflexion von Wärmestrahlung

Bei den Messungen von Infrarotstrahlung ist die Tatsache zu beachten, dass auch sie reflektiert werden kann. Ähnlich wie bei einem Spiegel wird die Wärmestrahlung, die zum Beispiel auf eine Glasscheibe trifft, zurückgeworfen und kann Messungen auf ebenen, glänzenden Flächen verfälschen. Wie viel von der Infrarotstrahlung reflektiert wird, hängt von der

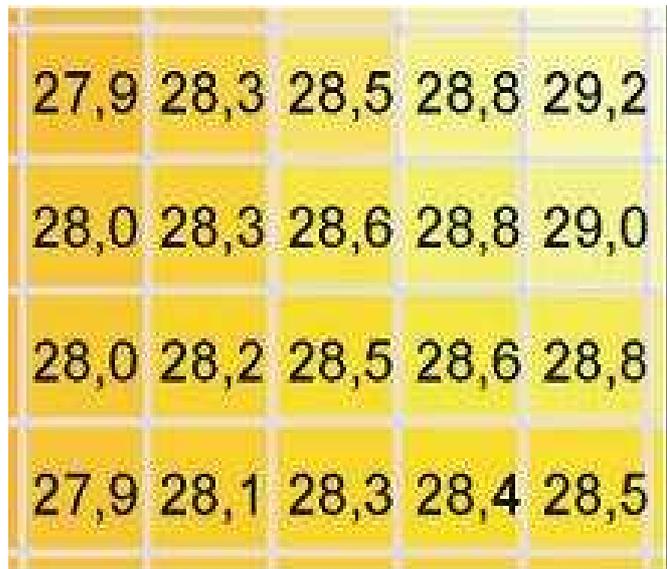


1: IR: Reflexion eines Baumes

Oberflächenbeschaffenheit (wie Farbe oder Struktur) ab. Wenn also ein Mensch vor einer Glasscheibe steht, die mithilfe einer Infrarotkamera vermessen werden soll, kann es sein, dass die Wärmestrahlung, die dieser Mensch abgibt, auf dem Bild der Glasscheibe wieder zu sehen ist. Anstatt der Temperatur der Scheibe erhält man so allerdings die Körpertemperatur des Menschen. Wenn Wärmestrahlung reflektiert wird, hängt -wie auch bei einer Reflexion von sichtbarem Licht - vom jeweiligen Einfallswinkel ab.

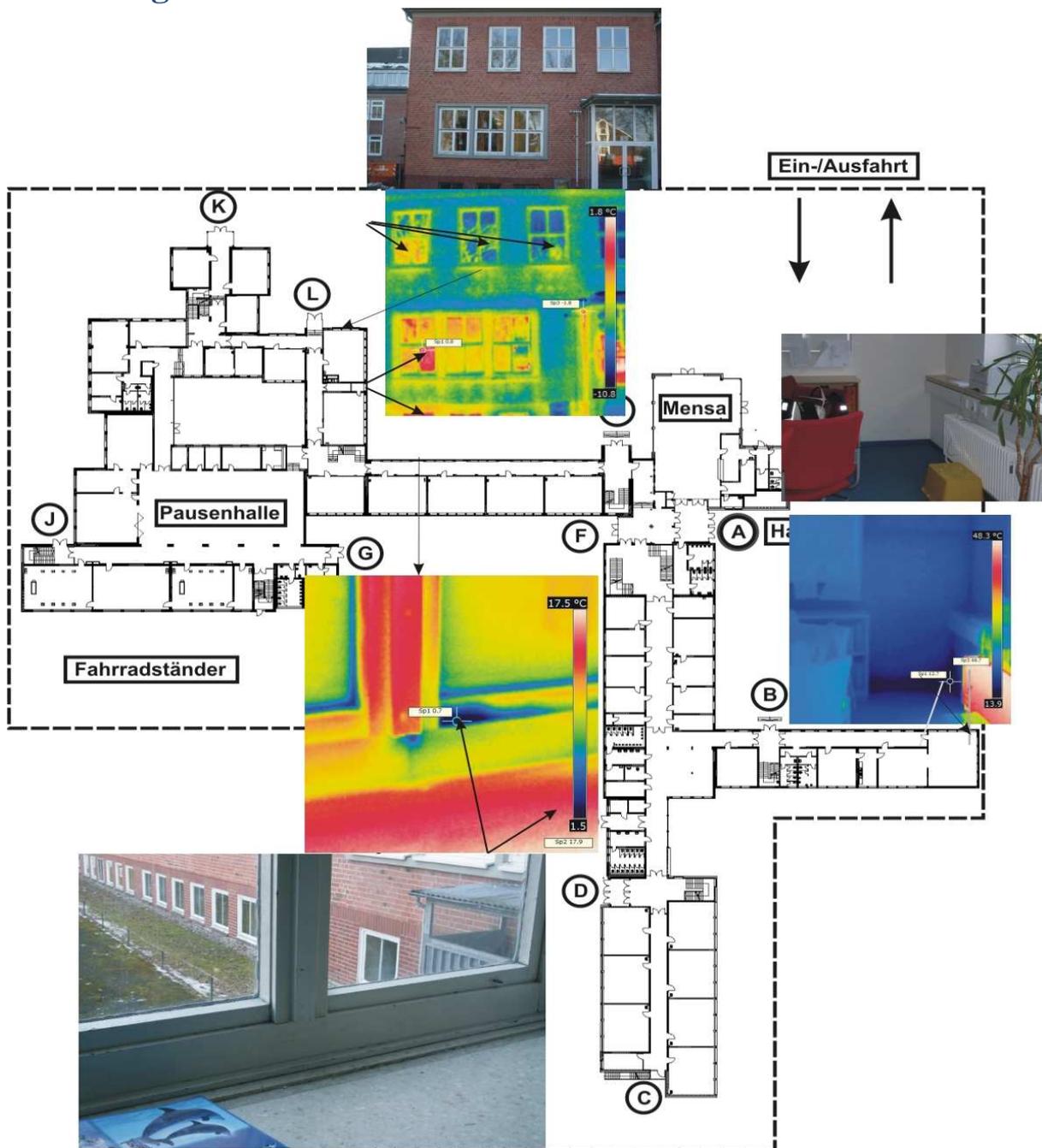
Funktionsweise der Infrarotkamera

Die Infrarotkamera oder auch Wärmebildkamera kann das langwelligere Licht der Infrarotstrahlung aufnehmen. Sie erkennt nicht die Temperatur, sondern die Intensität der Strahlung. Für jedes einzelne Pixel wird die Temperatur gemessen und die Farbe des Pixels entsprechend des Wertes ausgerechnet. Jedes Pixel auf dem Bild hat somit die gleiche Funktion wie ein Thermometer. Je nach Wahl der Voreinstellungen, bzw. der Art der Umrechnung, können die Ergebnisse in unterschiedlichen Helligkeitsstufen oder Farbkonstellationen dargestellt werden. Da ein Mensch Farben besser unterscheiden kann als Helligkeiten, wurde diese Art der Darstellung gewählt.



2: Pixel der IR-Kamera

Messungen am Gebäude



3: Plan unserer Schule

Auf **Bild 1** erkennt man ein einfach verglastes Fenster von außen fotografiert, das einen sehr hohen Wärmedurchgang hat, also sehr schlecht isoliert. Außerdem kann man deutlich einen Baum in den oberen Fenstern erkennen, der sich hinter dem Fotografen befindet. Dies lässt sich mit der Reflexion (siehe: Reflexion von Wärmestrahlung) erklären. An den Pfeilen unten kann man schlechte Isolation nachweisen.

Auf **Bild 2** sieht man ein sehr altes, von innen fotografiertes, Fenster, durch das die Kälte von außerhalb in den Klassenraum eindringt. Dies zeigt sich durch die Temperaturunterschiede zwischen Wand und Fenster.

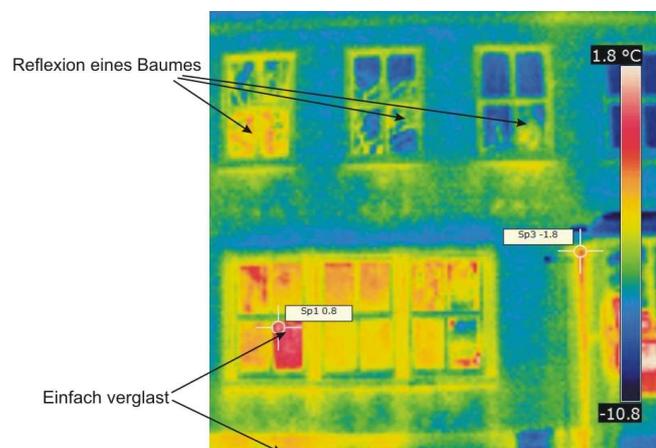
Auf **Bild 3** ist eine Ecke eines Raumes abgebildet. Sie ist um ein paar Grad kälter als der Rest des Raumes, obwohl die Heizung in unmittelbarer Nähe ist. Grund hierfür ist eine schlechte Isolation.



4: Schule von oben

Messungen

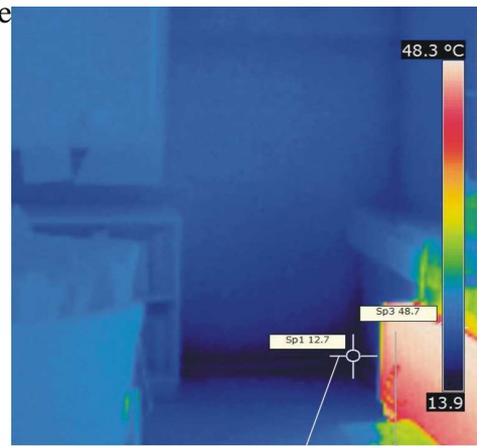
Unsere Messungen machten wir in ausgewählten Bereichen, die uns in unserem Schulalltag durch Zugluft oder zu fühlende Temperatur-änderung aufgefallen waren. Außerdem gibt es in unserer Schule verschieden alte Gebäudeteile. Im älteren Gebäudekomplex findet man noch Räume, deren Fenster sich nie komplett schließen lassen und wo sogar ein Luftspalt zu sehen ist.



und Simon Haase

Um Vergleiche von vermutlich besser isolierten Räumen zu erhalten, wählten wir einige, die vor ein paar Jahren renoviert worden sind sowie unseren Neubau, der erst letztes Jahr fertig gestellt wurde. Eine besondere Stelle, die, im Bezug auf Wärmeisolierung unser Interesse weckte, war die Pausenhalle. An regnerischen Tagen kann es dort durchaus passieren, dass es durch die Decke regnet. Also vermuteten wir dort eine undichte Stelle, die durch die Infrarotkamera deutlich zu erkennen sein würde.

Zunächst fertigten wir einen Lageplan von unserer Schule an, in welchem wir die Räume und Flure markierten, die



Schlecht gedämmte Ecke Heizung voll aufgedreht

5: IR: Lehrerzimmer

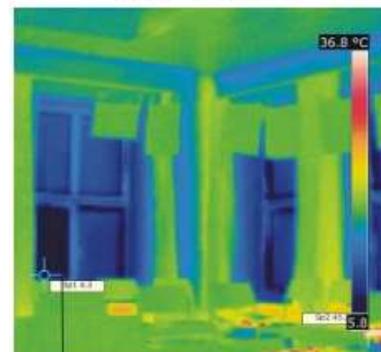
wir sowohl von außen als auch von innen mit der Infrarotkamera fotografieren wollten. Bei jedem Punkt, den wir fotografierten, gingen wir mit dem gleichen Verfahren vor. Wenn wir in einem Raum ankamen, den wir zuvor markiert hatten, warfen wir als erstes einen Blick auf die Fenster, ob wir dort etwas Interessantes finden konnten. Das war zum Beispiel ein Spalt im Fensterrahmen, oder eine Stelle, an welcher wir einen leichten Windzug spüren konnten. Danach machten wir von den auffälligen Stellen Bilder mit der Infrarotkamera, die auf einem Stativ befestigt war. Von außen gingen wir weniger detailliert vor und machten lediglich großflächigere Aufnahmen. Anschließend machten wir jeweils als Vergleichsbild ein Bild mit der Digitalkamera. Dies hatte den Zweck, dass wir immer genau wissen, welcher Raum auf dem Infrarotbild zu sehen ist, da durch die Falschfarbendarstellung der Infrarotkamera die Räume im Nachhinein oft nicht eindeutig identifiziert werden können. Zusätzlich haben wir in den Räumen (diese betrug 20°C) und außerhalb der Schule (diese betrug -15°C) die Temperatur mit einem einfachen Thermometer gemessen, um besser einschätzen zu können, wie groß die Temperaturdifferenzen wirklich sind. Für die Aufnahmen wählen wir bewusst einen Tag, an dem die Außentemperatur sehr niedrig war, um aussagekräftigere Bilder zu bekommen. Wenn man eine Außenaufnahme vornimmt, erkennt man bei niedrigen Außentemperaturen die warme ausströmende Luft einer undichten Stelle sofort. Ebenso ist es bei Innenaufnahmen, da die durch mögliche undichte Stellen eindringende Luft von außerhalb deutlich kälter ist und so auf Infrarotbildern auf einen Blick erkennbar ist. Um die Auswertung zu erleichtern, trugen wir die Raumnummer, die dazugehörigen Nummern der Infrarotbilder und die Nummern der Digitalbilder in eine handschriftliche Tabelle ein.

Auswertung

Die Infrarotbilder, die wir von der Schule gemacht haben, werteten wir mit der Software „Flir Quick Report“ aus. Sie ist in der Lage, die Temperatur jedes Pixels, die von der Infrarotkamera gemessen worden ist, einzeln zu bestimmen. Diese Werte werden dann in ein Falschfarbenbild umgewandelt. Das bedeutet, das Programm rechnet jedem der Pixel passend zu dem Wert einen Farbton aus. Dadurch entstehen Bilder, die anders als bei einer Digitalkamera lediglich die Temperaturen verbildlichen. Je nachdem, welchen Anspruch man an die Bilder hat, ist es möglich, eine passende Farbpalette auszuwählen. Möchte man einen Verlauf der Temperatur darstellen, kann man eine Palette wählen, die nur aus Graustufen besteht. Ist es das Ziel, Temperaturen klar voneinander abgegrenzt darzustellen, verwendet man die voreingestellte Palette mit Regenbogenfarben. Sind die Unterschiede zwischen den Werten nur gering, kann man außerdem den Messbereich verkleinern, um geringe Unterschiede deutlich zu machen. Interessante Bereiche kann man hiermit leicht erkennen, da sie farblich sehr markant dargestellt werden. Bei der Standard Farbpalette (Regenbogenfarben), die wir bei unseren Auswertungen nutzten, wäre dies bei sehr niedrigen Temperaturen ein dunkles Blau und bei sehr hohen Temperaturen Weiß.

Bei der Auswertung gingen wir wie folgt vor: zunächst öffneten wir eines der Bilder mit Hilfe von Flir Quick Report. Wie oben angemerkt fielen uns bei manchen Bildern sofort farblich markante Stellen auf, da sie entweder heller (wärmer) oder dunkler (kälter) als das Umfeld waren. Diese versahen wir mit Messpunkten, welche die Temperatur auf genau diesem Punkt anzeigen. Mit dieser Methode haben wir wichtige Punkte gekennzeichnet und die Werte in eine Excel- Tabelle eintragen. Wir trugen abhängig von dem Bild entweder die Höchst- oder die Tiefsttemperatur ein, die auf dem Bild gemessen wurde. War auf dem Infrarotbild eine Außenaufnahme zu erkennen, war der Höchstwert am Interessantesten, da man so erkennen kann, wo durch eine schlecht isolierte Stelle warme Luft aus den Innenräumen nach außen dringt. Hingegen bei den Innenaufnahmen war der niedrigste Wert interessant, da eine sehr

Von Innen



Von Außen



6: IR: Vergleich innen /
außen

kalte Stelle darauf hinweist, dass kalte Luft von außen in den Innenraum eindringt.

Fehlerquellen

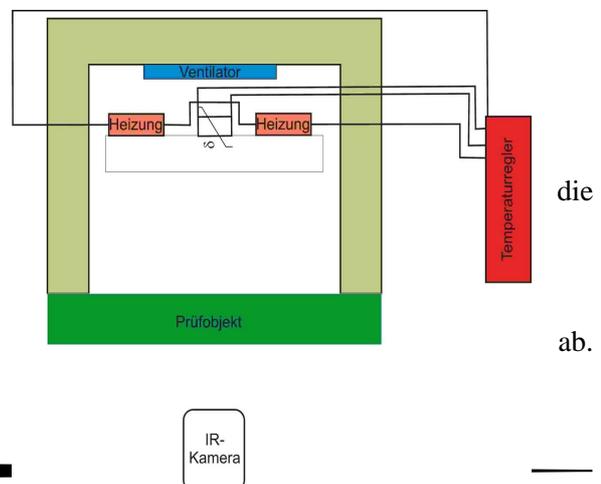
Wie wir bei den Vorüberlegungen bereits angemerkt haben, kann es passieren, dass zum Beispiel von Glasscheiben die Infrarotstrahlung reflektiert wird. Dies ist insofern ein Problem, als dass bei der Auswertung beachtet werden muss, dass die Werte die gemessen wurden, unter Umständen nicht der Temperatur des Gegenstandes entsprechen. Stattdessen könnte es zum Beispiel der Wert einer umstehenden Person sein. Außerdem ist zu beachten, dass sich bei starker Sonneneinstrahlung Wände, Metalle oder Ähnliches aufheizen und so ein viel höherer Wert messbar ist, als es eigentlich vorhanden sind. Also kann man dann nicht erfahren, ob eine Wärmebrücke vorhanden ist, oder nicht. Eine weitere Fehlerquelle könnte die Palettenauswahl sein, da man diese mit Hilfe der Software „Flir Quick Report“ je nach den Bedingungen, die man an die Auswertung stellt, selbst einstellen kann. So ist zum Beispiel eine Palette, die sehr feine Temperaturunterschiede erkennbar machen kann für unsere Zwecke nicht sinnvoll. Außerdem ist der **Zusammenhang von Farben und Temperatur** manuell einstellbar. Es kann so passieren, dass die optische Beurteilung des Bildes nicht mehr mit den tatsächlichen Werten übereinstimmen. Eigentlich interessante Stellen fallen dann nicht mehr so stark auf, weil eingestellt wurde, dass beispielsweise bis 10°C alle Bereiche in der Farbe orange dargestellt werden sollen.

Will man Bildabschnitte von Innenaufnahmen und Außenaufnahmen vergleichen, muss man genau darauf achten, dass man wirklich einen möglichst deckungsgleichen Bereich hat und die zugehörigen Bilder nicht verwechselt. Dies kann allerdings leicht passieren, da die Falschfarbendarstellung oft eine Verwechslung mit ähnlich aussehenden Bildern durch die fehlenden Konturen verursacht.

Messungen an der Wärmebox

Aufbau der Wärmebox

Die Wärmebox besteht aus einer Heizplatte mit externer Temperaturregelung, und einem Gehäuse aus Holz. Dieses ist von außen mit Styrodur gedämmt und von innen mattschwarz lackiert um Reflektion des Holzes zu mindern. Die vordere Seite der Kammer ist mit einem abnehmbaren Deckel versehen. Er schließt die Kammer luftdicht. In der Mitte des Deckels gibt es eine weitere



rechteckige Öffnung, die keilförmig eingepasst ist. Diese kann ebenfalls durch einen Deckel geschlossen werden. Die Heizplatte ist mit ein paar Zentimetern Abstand an der Rückwand des Holzgehäuses montiert. Sie besteht aus Kupferblech, welches mattschwarz lackiert ist, um ebenfalls Reflektionen auszuschließen. Auf ihrer Rückseite befinden sich 4 Hochlastwiderstände. Je nachdem wie stark, der durch die Widerstände Strom ist, ändert sich die Temperatur der Platte. Außerdem befindet sich auf der Rückseite des Kupferblechs ein Temperatursensor, der mit der Temperatursteuerung verbunden eine genaue Temperatureinstellung und das Halten dieser Temperatur ermöglicht. Die Temperatursteuerung ist das



8: Foto Wärmebox

Herzstück der Wärmebox. Sie ermöglicht gleichbleibende Verhältnisse während der verschiedenen Versuchsanordnungen mit unterschiedlichen Baustoffen. Die Temperatur lässt sich an einem Potentiometer einstellen. Die gewünschte Temperatur wird mit der aktuellen Temperatur verglichen und die Regelung steuert die Hochlastwiderstände nach. Die Regelung ist auf ein halbes Grad genau. Wir haben zusätzlich zur Wärmeleitung die Möglichkeit, durch Öffnen des gesamten Deckels den Durchlass von Wärmestrahlung zu messen. Wir haben uns allerdings vorerst auf die Wärmeleitung konzentriert.

Messmethode

Für die Messungen gibt es einige wichtige Parameter. Der wichtigste ist die Kammertemperatur. Sie ist voreingestellt und liegt bei unsern Versuchen bei 35°C. Ein weiterer wichtiger Parameter ist das Material. Die von uns verwendeten Materialien sind:

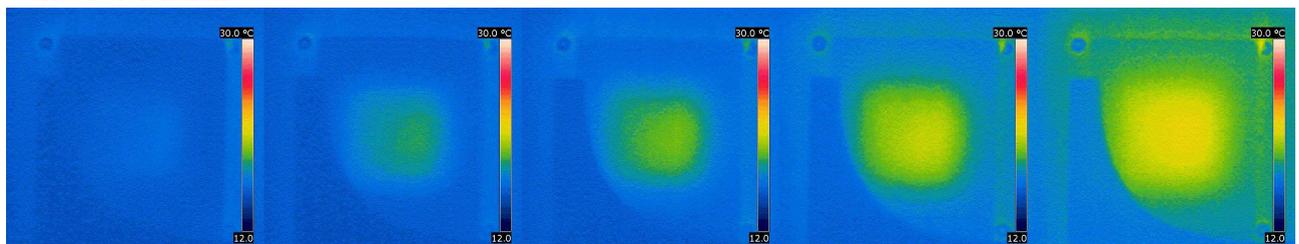
Werkstoff	Dicke	Zusatzinformationen
Holz	0,4 cm Sperrholz	
Holz	1,0 cm Sperrholz	
Holz	1,8 cm Natur	
Rigips	1,2 cm	
Styropor®	1,8 cm	Grobporig
Styropor®	3,0 cm	Grobporig
Glas	Float 0,4 cm	
Glas	Float 0,6 cm	
Glas	Verbund 0,6 cm	
Glas	Doppel Iso 2,4 cm	Scheibendicke: je 0,4 cm; Scheibenzwischenraum: je 1,6

		cm;
Glas	Dreifach Iso 3,6 cm	Scheibendicke: je 0,4 cm; Scheibenzwischenraum: je 1,2 cm;

Wichtig ist außerdem die Messzeit. Ins Gewicht fällt weiterhin die Außentemperatur, die bei unseren Versuchen 16°C betrug. Es gibt verschiedene Messmethoden, um die Wärmeleitung des Stoffes zu messen. Die eine konzentriert sich darauf, den Temperaturverlauf an einer Stelle darzustellen. Diese Methode zeigt den Wärmetransport durch den Stoff. Die andere Methode besteht darin, eine Temperatur, die etwas über der, an der Wärmebox eingestellten Temperatur liegt, zu wählen und diese dann nach außen hin zu verfolgen. Dadurch kann man Fehler in der Produktion oder Sprünge im Glas feststellen. Diese werden sichtbar, wenn dort die Temperatur früher den gewählten Wert erreicht.

Messgerät

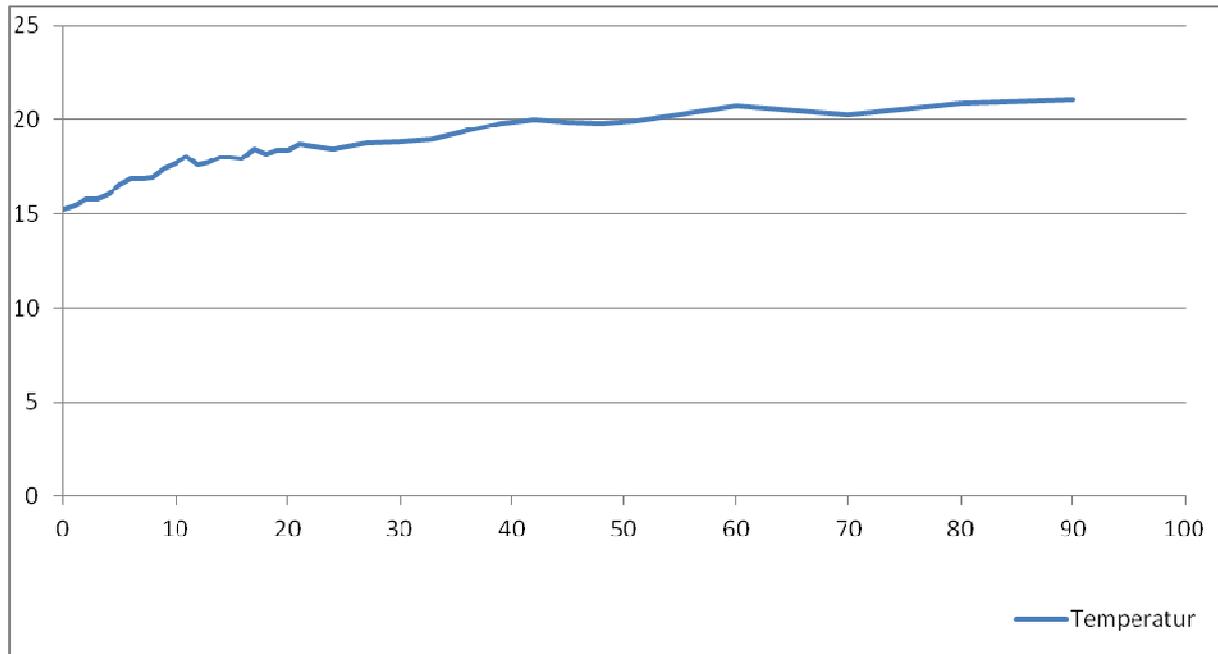
Wir hatten verschiedene Möglichkeiten, unsere Messungen durchzuführen. Die Erste Möglichkeit war ein Ohrthermometer. Dies hat allerdings den Nachteil, dass es nur den Wert an einer Stelle aufnimmt und die Auswertung erschwert hätte. Die zweite Möglichkeit war eine IR-Kamera. Sie hat den Vorteil, dass sie die Werte sowohl **visuell** als auch tabellarisch darstellt. Die tabellarische Darstellung ermöglicht es, alle Messungen zu vergleichen und diese Graphisch darzustellen. Es wird außerdem der Verlauf ersichtlich.



9: Verlauf Bei Rigips

Auswertung

Die Auswertung haben wir graphisch vorgenommen. Ein geeigneter Messpunkt wurde gewählt und dieser über einen Zeitraum verglichen. Dieser Verlauf wurde graphisch dargestellt und verglichen. Die Graphen wurden zusammengeführt und es ergab sich folgender Verlauf, dargestellt am Beispiel Rigips:



10: Verlauf der Temperatur bei Rigips

Aus verschiedenen Messreihen ergab sich folgendes Ranking:

Glas	Dreifach Iso 3,6 cm
Styropor®	3,0 cm
Glas	Doppel Iso 2,4 cm
Styropor®	1,8 cm
Holz	1,8 cm Natur
Holz	1,0 cm Sperrholz
Glas	Verbund 0,6 cm
Rigips	1,2 cm
Glas	Float 0,6 cm
Glas	Float 0,4 cm
Holz	0,4 cm Sperrholz

Kriterium für dieses Ranking war die Temperaturerhöhung: je geringer, desto besser.

Fazit

Nach unseren Untersuchungen erkennt man deutlich, dass unsere Schule in einigen Teilen schlecht isoliert ist. Vor allem der Altbau zeigt erhebliche Mängel, besonders an den Fenstern. Dort sind im Innenraum bei einer Außentemperatur von -15°C Temperaturen unter 1°C messbar. Allerdings auch im neu renovierten Gebäudeteil sind im Bereich der Fensterrahmen vergleichbare Messwerte zu

finden. Die Werkstoffprüfung zeigt den Unterschied zwischen den Werkstoffen, was bei den Gläsern ganz besonders deutlich ausfällt.

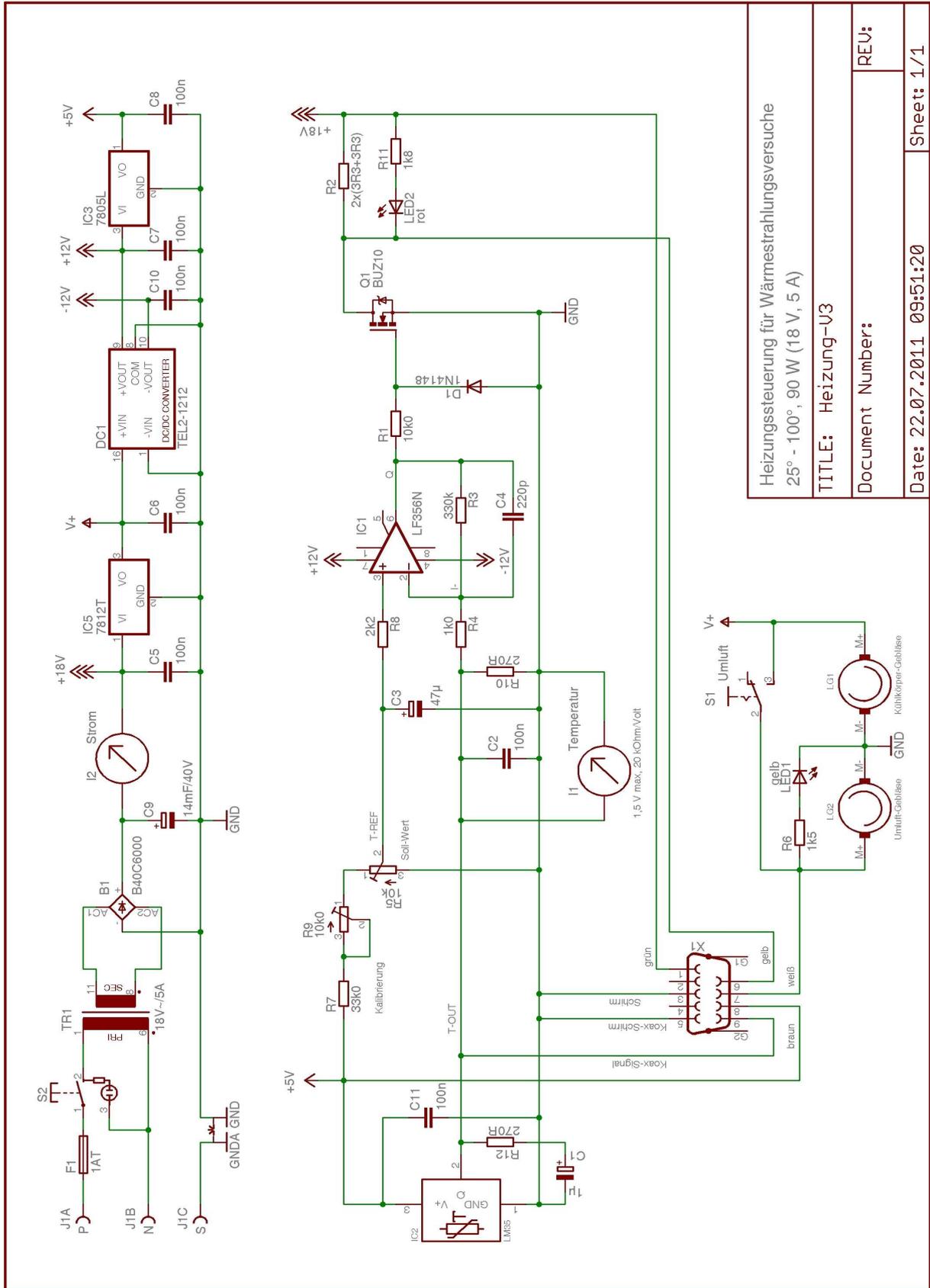
Danksagung

Wir möchten allen Danken, die uns bei unserem Projekt unterstützt haben. Besonders möchten wir Thomas Biedermann für seine guten Ratschläge und die tatkräftige Unterstützung danken. Außerdem wollen wir uns bei „Sanni“ Biedermann bedanken, die für das leibliche Wohl das ganze Jahr über gesorgt hat.

Quellen

- [1] <http://www.feuerwehr-pfuhl.de/Ausruestung/Bullard.htm>
- [2] <http://www.nettec.eu/internetmarketing/104-waermebildkamera/>
- [3] <http://www.datatec.de/Thermografie-Flir-Waermebildkamera-i50.htm>
- [4] http://m.schuelerlexikon.de/mobile_physik/Waermestrahlung.htm
- [5] http://m.schuelerlexikon.de/mobile_physik/Waermeleitung.htm
- [6] http://www.3-fach-iso.de/Gentner.dll/1320-marktuebersicht-1_MzM2MTM0.PDF

Anlage: Schaltplan der Wärmebox.



11: Schaltplan Wärmebox