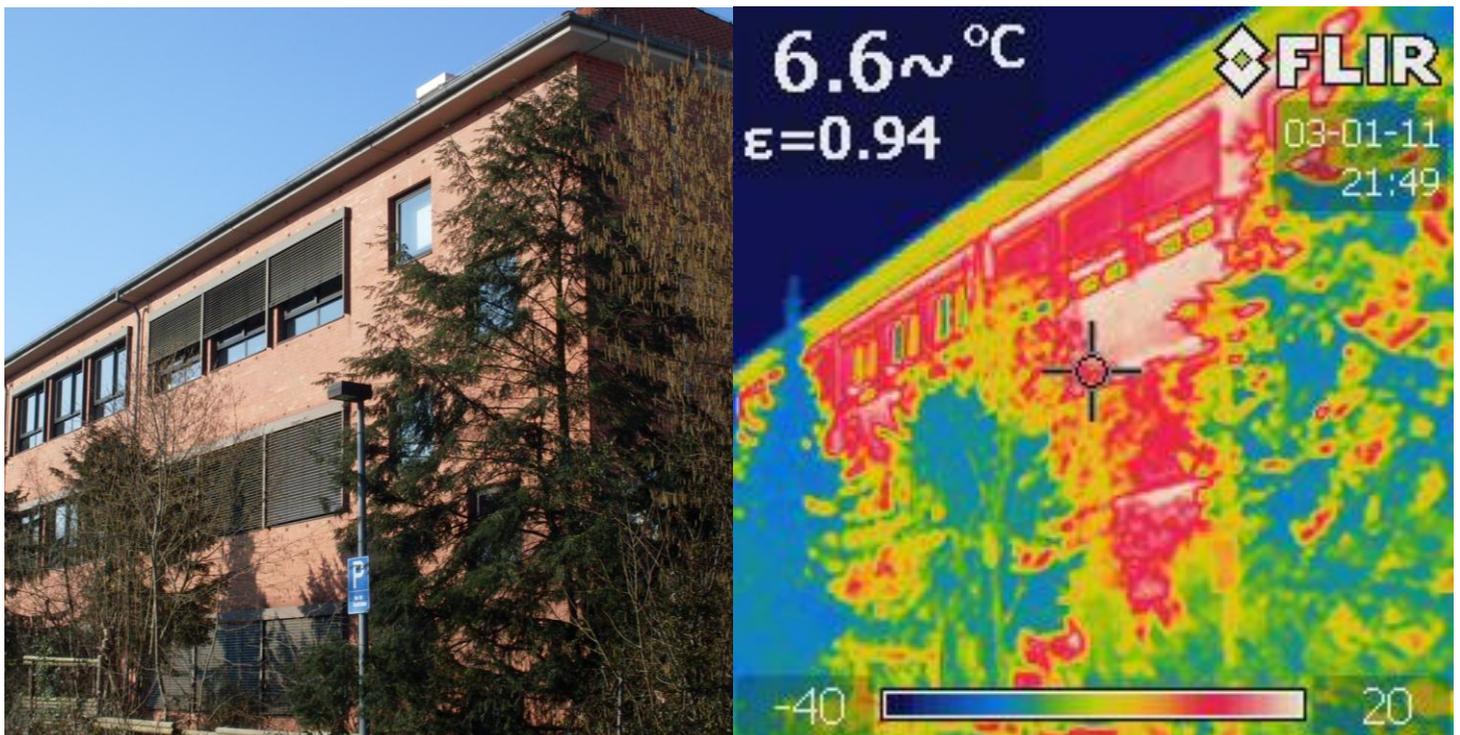


Gebäudeuntersuchungen mit einer Infrarot-Kamera



Kristel Boeijink (15)

Wettbewerb „Jugend forscht“

2015

Arbeitsgemeinschaft „Jugend forscht“

des Christian-Gymnasiums Hermannsburg

Leitung: StD Thomas Biedermann

Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Infrarot-Strahlung	3
2.1 Was ist Wärme?.....	3
2.2 Was ist Infrarot-Strahlung?.....	3
2.3 Wärmetransport	3
2.4 Abstrahlung von Wärme durch Oberflächen (Wärmestrahler)	4
3. Funktion einer Infrarot-Kamera	4
3.1 Bolometer-Prinzip	4
3.2 Darstellung der Temperaturen durch Falschfarben	4
4. Untersuchung des Schulgebäudes 2012.....	5
4.1 Rahmenbedingungen	5
4.2 Welche Stellen wurden untersucht?.....	5
4.3 Besonderheiten	5
5. Untersuchung des Schulgebäudes 2014.....	5
5.1 Rahmenbedingungen	5
5.2 Welche Stellen wurden untersucht?.....	6
5.3 Vergleichbarkeit	6
6. Auswertung	7
7. Danksagung.....	12
8. Quellen.....	12

1. Einleitung

Energiesparen ist zu einem wichtigen Thema geworden. Es wird überall an effektiven Methoden gearbeitet, sie funktionsfähiger zu machen, auszuarbeiten, und dann auch auf den Markt zu bringen. Abgesehen von einfachen Sachen, wie den Fernseher auszuschalten, anstatt nur auf Energiesparmodus, oder Energiesparlampen zu verwenden, sorgt auch eine gute Wärmeisolierung eines Gebäudes für das Einsparen von Energie. Viel Energie wird, vor allem im Winter, für das Heizen verwendet. Eine verbesserte Wärmeisolation des Gebäudes würde diesen Teil des Energieverbrauchs senken.

Deshalb werden viele alte Häuser renoviert und eine neue effektivere Wärmedämmung wird eingebaut, Fenster werden gewechselt, aus Einfachverglasung wird Zweifach- oder sogar Dreifachverglasung, um diese Quellen des Wärmeverlustes zu verringern. Außerdem verhindert eine gute Isolation, dass die Wände eine Temperatur unterhalb des Taupunktes erreichen. Eine Untersuchung des Gebäudes soll Auskunft darüber geben in wie weit die Renovierung die Isolation verbessert hat.

2. Infrarot-Strahlung

2.1 Was ist Wärme?

Die Wärme ist eine Energieform. Die Wärmeenergie (thermische Energie) wird Joule gemessen. Die Temperatur eines Körpers ist ein Maß für seine Wärmeenergie.

2.2 Was ist Infrarot-Strahlung?

Infrarot-Strahlung ist die für das menschliche Auge nicht sichtbare elektromagnetische Strahlung. Es ist langwelliger als das für uns sichtbare Licht (Wellenlänge von sichtbarem Licht: 390 nm bis 770 nm; Wellenlänge von IR-Strahlung: 770 nm bis 0,3 mm).

2.3 Wärmetransport

Bei dem Wärmetransport unterscheidet man zwischen Wärmeleitung und Wärmestrahlung. Als Wärmeleitung bezeichnet man den Wärmefluss zwischen unterschiedlichen Stoffen. Dabei wird die Wärmeenergie immer von dem Wärmeren zu dem Kälteren übertragen, dabei wird in der Regel ein Teil der Energie auch an die Umgebung abgegeben. Wärmeleitung wird zum Beispiel beim Kochen verwendet. Der Topf leitet die Wärmeenergie von der Herdplatte an das Wasser weiter und erhitzt es. Die Wärmestrahlung ist die Aussendung von Wärmeenergie in Form von elektromagnetischen Wellen. Die Wärmestrahlung (IR-Strahlung) spürt man zum Beispiel an einem Kamin oder in der Nähe anderer heißer Körper.

Aufnahmen mit einer Infrarot-Kamera messen nicht nur die direkte Wärmestrahlung, sondern auch die vom Körper reflektierte Umgebungsstrahlung. Ist der Körper transparent, können dabei auch Anteile der durch ihn hindurchtretenden Strahlung mit gemessen werden.

Auf Abbildung 1 kann man deutlich die von der Sonne aufgeheizten Holzlatten erkennen. Diese haben die Infrarotstrahlung absorbiert und sich so aufgeheizt.

2.4 Abstrahlung von Wärme durch Oberflächen (Wärmestrahler)

Ein Körper ist ein Wärmestrahler, wenn seine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt ($0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$) liegt. Die Eigenschaft einer Oberfläche, Wärme zu reflektieren, wird durch den sogenannten Emissionsgrad beschrieben. Dieser hat einen Wert zwischen 0 und 1.

Je größer der Emissionsgrad ist, desto größer ist das Verhältnis zwischen emittierter und reflektierter Wärmestrahlung, das heißt, dass er immer weniger Wärmestrahlung reflektiert. So ist der Emissionsgrad bei einer rauen schwarzen Oberfläche viel größer als bei einer glatten hellen Oberfläche. Wenn der Emissionsgrad bei 1 liegt, bedeutet das, dass diese Oberfläche gar keine Wärmestrahlung reflektiert.



Abb. 1: aufgeheizte Holzlatten

3. Funktion einer Infrarot-Kamera

3.1 Bolometer-Prinzip

Die Wärmebildkamera nutzt das Bolometer-Prinzip um die Infrarot-Strahlung zu einem Bild zu verarbeiten. Das heißt, dass Temperatursensoren die Wärmestrahlung, die von den Oberflächen ausgeht, für eine bestimmte Zeitspanne absorbieren, sich so aufheizen und die thermische Energie schließlich in ein elektrisches Signal umwandeln. Mittels dieses Signals wird dann für jeden Bildpunkt eine Temperatur berechnet.

3.2 Darstellung der Temperaturen durch Falschfarben

Um es für einen Betrachter übersichtlicher zu machen, wird jeder Pixelwert in eine Farbe umgerechnet, um dessen Temperatur darzustellen. Daraus entsteht ein Falschfarbenbild, das heißt: jede Farbe steht für einen Wert (und entspricht keinesfalls der ursprünglichen Farbe eines Gegenstandes im sichtbaren Licht).

Die Farbenpalette kann man unterschiedlich anpassen, je nachdem, was man mit den gemessenen Werten vorhat. Möchte man spezielle Bilder zum Beispiel genauer auf ihre tiefste und höchste Temperatur untersuchen, eignen sich die Regenbogenfarben dazu sehr gut. Die Farbe, die einem bestimmten Wert zugeordnet wird, kann man beliebig auswählen, das heißt, dass eine Farbe nicht auf immer auf die gleiche Temperatur festgelegt ist.

Hier ein Beispiel für die verstellbare Temperaturskala.
Diese zeigen jeweils das gleiche Objekt, allerdings wurde die Temperaturdarstellung durch Auswahl einer anderen Farbpalette geändert. Die gemessenen Temperaturen sind also identisch, werden aber durch andere Farben dargestellt.

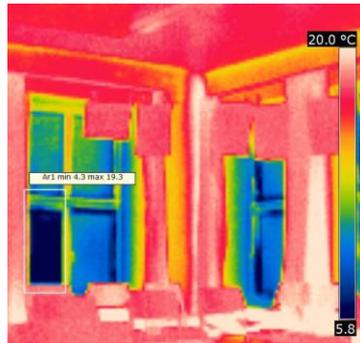


Abb. 2: Klassenraum mit geänderter Farbpalette

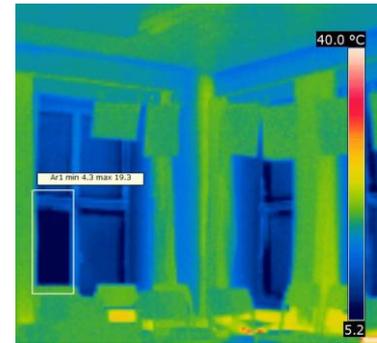


Abb. 3: Klassenraum mit geänderter Farbpalette

4. Untersuchung des Schulgebäudes 2012

4.1 Rahmenbedingungen

Die Untersuchungen fanden bei einer Außentemperatur von -15°C und einer Innentemperatur von 20°C statt. Außerdem weisen „aufgeheizte Holzlatten“ darauf, dass an dem Tag, an dem die Aufnahmen gemacht wurden, die Sonne geschienen hat.

4.2 Welche Stellen wurden untersucht?

Untersucht wurden Stellen am Schulgebäude, die im Alltag durch zum Beispiel Luftzug oder schneller Temperaturänderung auffielen, und die, die einen möglichen Vergleich darstellten.

4.3 Besonderheiten

Aufgefallen sind bei den Aufnahmen vor allem Fenster (-rahmen), Türen und Ecken. Diese sprangen im Altbau, dem ältesten Gebäudeteil, deutlich heraus, da dort veraltete Fensterrahmen vorhanden waren und man sogar noch auf Einfachverglasung trifft. Die Einfachverglasung findet man auch noch im Keller.

Außerdem wies die Decke der Pausenhalle erhebliche Mängel auf.

Ein „Vergleichsfoto“ für all die fotografierten Ecken im Altbau, das im Neubau gemacht wurde, zeigte überraschenderweise ebenfalls schlecht isolierte Stellen.

5. Untersuchung des Schulgebäudes 2014

5.1 Rahmenbedingungen

Die Aufnahmen wurden bei einer Außentemperatur von 4°C und einer Innentemperatur von 20°C gemacht.

5.2 Welche Stellen wurden untersucht?

Untersucht wurden vor allem renovierte Stellen an der Schule, von denen es auch ein Bild aus der Zeit vor der Renovierung gibt. Neu eingebaute Fenster, Türen, das renovierte Dach, aber auch dort, wo das auffällige „Vergleichsfoto“ im Neubau gemacht worden war.

5.3 Vergleichbarkeit

Um die Abbildungen vergleichen zu können, muss die Temperaturskala so eingestellt sein, dass die Farben vergleichbar werden. Die Werte, die an ausgewählten Stellen gemessen wurden, müssen umgerechnet werden. Mit der Rechnung erhält man den Wert, der bei gleicher Dämmung, aber anderer Außentemperatur, herauskommen müsste. Wenn der Wert, der auf den neuen Aufnahmen gemessen wurde, über oder unter dem errechneten Wert liegt, hat sich von der Wärmeisolation her etwas geändert.

Bei Aufnahmen, die Innen gemacht wurden, sollte der gemessene Wert über dem errechneten liegen, da das bedeutet, dass weniger Kälte in das Gebäude eindringt. Bei Aufnahmen von Außen, sollte der Wert unter dem errechneten liegen, denn das bedeutet, dass weniger Wärme austritt.

Für die Rechnung verwendet man folgende Gleichung (diese gilt allerdings nur bei identischer Wärmeisolation):

$$\frac{\text{Innentemperatur}_{2012} - \text{gemessenerWert}_{2012}}{\text{Innentemperatur}_{2012} - \text{Außentemperatur}_{2012}} = \frac{\text{Innentemperatur}_{2014} - \text{gemessenerWert}_{2014}}{\text{Innentemperatur}_{2014} - \text{Außentemperatur}_{2014}}$$

$$\frac{20 - y}{20 - (-15)} = \frac{20 - x}{20 - 4}$$

(In dieser Gleichung stellt y den 2012 gemessenen Wert dar, und x den, der bei einer Außentemperatur von 4°C und gleicher Wärmeisolation herauskommen würde.)

Das bedeutet:

$$20 - \frac{320 - 16y}{20 - (-15)} = x$$

ist die Rechnung für den Vergleichswert.

6. Auswertung

Die Auswertung der Abbildungen erfolgte in dem Programm FLIR QuickReport.

Gebäudeplan mit den Standorten der Fotos

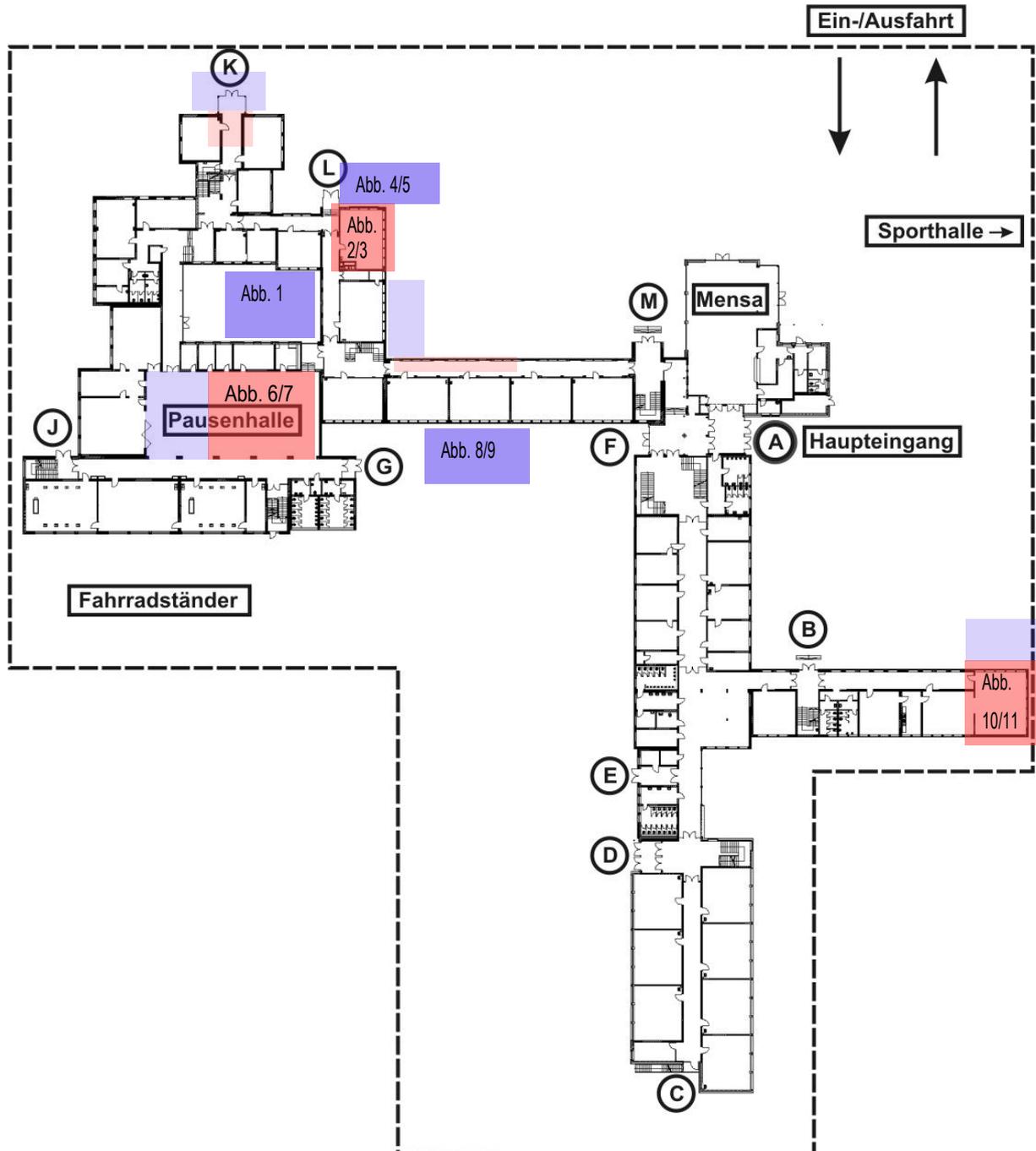


Tabelle zum Vergleich der Messwerte

Ort/Stelle im Schulgebäude	Genauere Angaben	Wert 2012 in °C	Vergleichswert in °C	Wert 2014 in °C	Bemerkungen
1: Über Bete und Arbeite (außen)	Fenster, Ecke rechts oben	7,6	14,3	12,1	
	Tür, Ecke oben rechts	5,5	13,4	10,9	
2: Multimedia, Erdkunde, Klassen, Heizungsräume (außen)	Erdgeschoss, Klassenraum, Fensterbank bei Heizung	8,6	14,8	8,3	
	Heizungsraum, Keller, Fenster	8,3	14,7	-0,3	Starke Abweichung der Innentemperatur möglich Wert -0,3 passt nicht. Vermutlich Reflektion. (schlechte Isolation der Decke)
	1 Stock, Erdkunde, bei Heizung, Ecken unter Fensterbank	7,5	14,3	7,9	
3: Lehrerzimmer (innen)	Zimmerecke	12,7	16,7	14,2	In der Nähe befindet sich eine Heizung (Taupunkt!)
4: Lehrerzimmer (außen)	Unterer Rand an Wand	-4,4	8,8	4,1	
	Rand unter	-3			

	Erdoberfläche				
5: Kunst und Klassen (außen)	1 Stock, Heizung unter Fensterbank	28,6	23,9	6,8	
	Keller	25,6	22,6	8,3	
6: Klasse neben Eingang L (außen)	Einfachverglasung	0,8	11,2	6,2	
	Zweifachverglasung	-2,2	9,9	6,2	Verbesserung: alte Zweifachverglasung zu neuer Zweifachverglasung
7: Hofgarten (außen)	1 Stock	22,8	21,3	6,7	
	Erdgeschoss	23,7	21,7	8,0	
	(Holzlatten)	30,8			Durch Sonne aufgeheizt
8: Gang, 0.70 bis 0.75, Fenster (innen)	Ecke Glas	5,4	13,3	10,9	
	Ecke Fensterrahmen	4,5	12,9	11,0	
9: Klasse neben Eingang L (außen)	Erdgeschoss, zwischen Fensterrahmen	-3,1	9,4	7,1	
	Erdgeschoss, unter Fensterbank	-3	9,5	7,1	
	Kellerfenster	0,5	11,1	9,9	
10: Eingang L, Klassen (außen)	Linke Ecke neben Eingang L oben	-1,8	10	7,5	
	Linke Ecke neben Eingang L unten			7,8	
11: Dach,	Ecke	1,9	11,7	11,5	Geringe

Pausenhalle, Fenster (innen)					Verschlechterung der Wärmedämmung
12: Bete und Arbeite (innen)	Ecke oben links	4,0	12,7	10,3	Andere Temperatur Verhältnisse können durch Veränderte Heizmethode erklärt werden.
	Ecke oben rechts	2,2			
	Ecke unten rechts	3,2			
	Ecke unten links	3,4	12,4	8,5	
13: Bete und Arbeite (außen)	Oberer Rand	0,7	11,2	6,8	
	Links neben Eingang	-3,7	9,2	6,9	
14: Dach der Pausenhalle (außen)	Rand einer `Belichtung`	-4,6	8,8	3,0	

Bei den Fenstern, die ein großes „Wärmeleck“ aufweisen, hat die Renovierung eine deutliche Verbesserung der Isolation hervor gebracht.

Zu 6: Ein gutes Beispiel hierfür ist die ehemalige Einfachverglasung. In einem Klassenraum im „Altbau“ fand sich 2012 ein solches Fenster, das in der

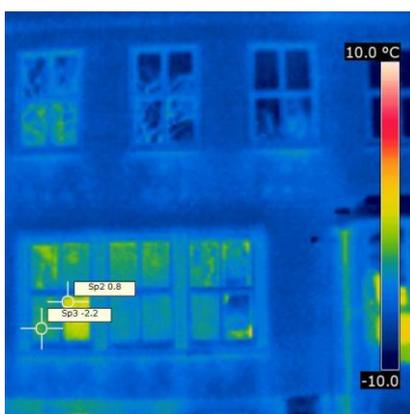


Abb. 4: alte Zweifach- und Einfachverglasung

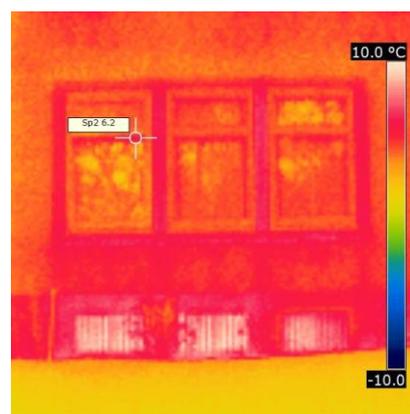


Abb. 5: neue Zweifachverglasung

linken Abbildung als „gelbes Fenster“ zu erkennen ist. Es ist also wärmer als die anderen Fenster. Die Fenster daneben waren bereits zweifachverglast. Die neuen Fenster (2014) sind ebenfalls zweifachverglast, weisen allerdings eine noch bessere Wärmeisolierung auf, was deutlich an den Vergleichswerten und denen von 2014 in der Tabelle erkennen kann.

Zu 11 (und 14): Das Dach der großen Pausenhalle unserer Schule wies vor der Renovierung noch große Mängel auf. An regnerischen Tagen tropfte es durch die Decke. Auf den Bildern, die auf dem Dach aufgenommen worden waren, zeigte sich eine deutliche Verbesserung der Isolation. Genauere

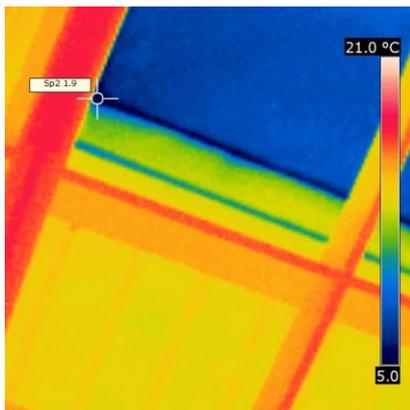


Abb. 6: altes Dachfenster in der Pausenhalle

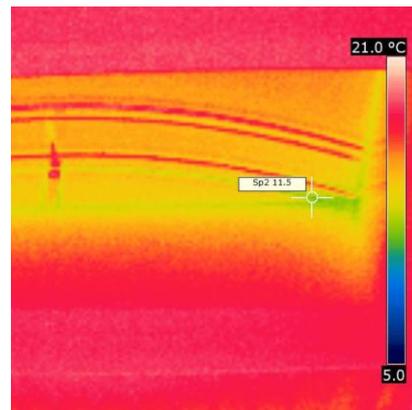


Abb. 7: neues Dachfenster in der Pausenhalle

Aufnahmen eines Fensters von innen lassen aber vermuten, dass sich die Wärmeisolation an den Rändern dieses Fensters nicht wesentlich verbessert hat. An den Ecken und dort wo es von den Kuppeln zum eigentlichen Dach übergeht, erkennt man Schwachstellen.

Zu 5: Auf Bildern einer Außenwand zeigt sich, dass es große Probleme dabei gab, die Wärme der Heizungen, die innen unter den Fensterbänken montiert sind, drinnen zu behalten. Dieses Problem wurde



Abb. 8: Außenwand Klassenräume

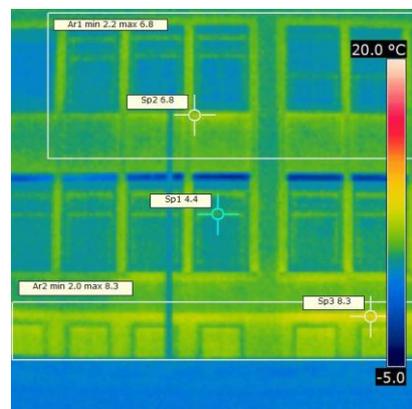


Abb. 9: Außenwand Klassenräume

behoben. Allerdings zeigt sich auf den Bildern deutlich die schlechte Isolation der Decke des Kellers.

Zu 3: In der Ecke des Lehrerzimmers zeigt sich keine große Änderung in der Isolation. Hier wird aber der Taupunkt interessant, da in dieser Zimmerecke eine Temperatur von 14,2°C herrscht.



Abb. 10: Raumecke

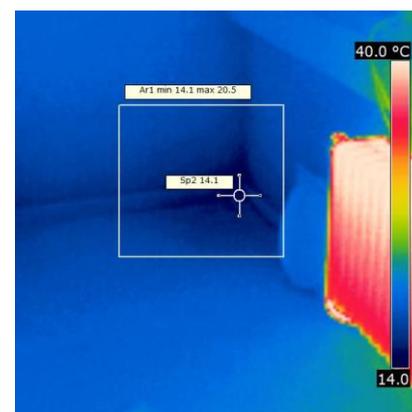


Abb. 11: Raumecke

Der Taupunkt bezeichnet die Temperatur bei der die Luftfeuchtigkeit anfängt zu kondensieren. Dies kann für Schimmel sorgen.

Dieser Vergleich verdeutlicht die Besserung der Wärmedämmung, die durch eine Renovierung an dem Schulgebäude hervorgebracht wurde. Gleichzeitig zeigt sie, wie sich die Dämmung weiter entwickelt hat.

Natürlich fallen auf den Aufnahmen auch schwache Stellen auf, die nicht auch renoviert wurden, wie der Keller, der auf den Aufnahmen zu 5 und 6 herauspringt. Hier wurde die Dämmung der Wände noch nicht verbessert und es sind auch noch alte Fenster in Verwendung. Dies ist aber ein „Leck“, das mit der Zeit auch renoviert und ausgebessert wird und so kann man sagen, dass die Renovierung die Schule bei ihrem Plan, Energie zu sparen, ein Stück weiter gebracht hat.

7. Danksagung

Ich möchte Thomas Biedermann ganz herzlich für all die Informationen, seine Unterstützung und Ratschläge danken. Auch möchte ich Friederike Fürst für ihre Erklärungen zur Infrarot-Kamera und dem Auswertungsprogramm danken.

8. Quellen

- [1] Friederike Fürst, Simon Haase: „Thermografische Untersuchungen“, Jugend-forscht-Arbeit 2012 (www.jufo-hermannsburg.de/pdfs/2012-thermographie.pdf)
- [2] Flir: Benutzerhandbuch Flir bXX series.pdf
- [3] Flir: Benutzerhandbuch Flir Quick Report.pdf