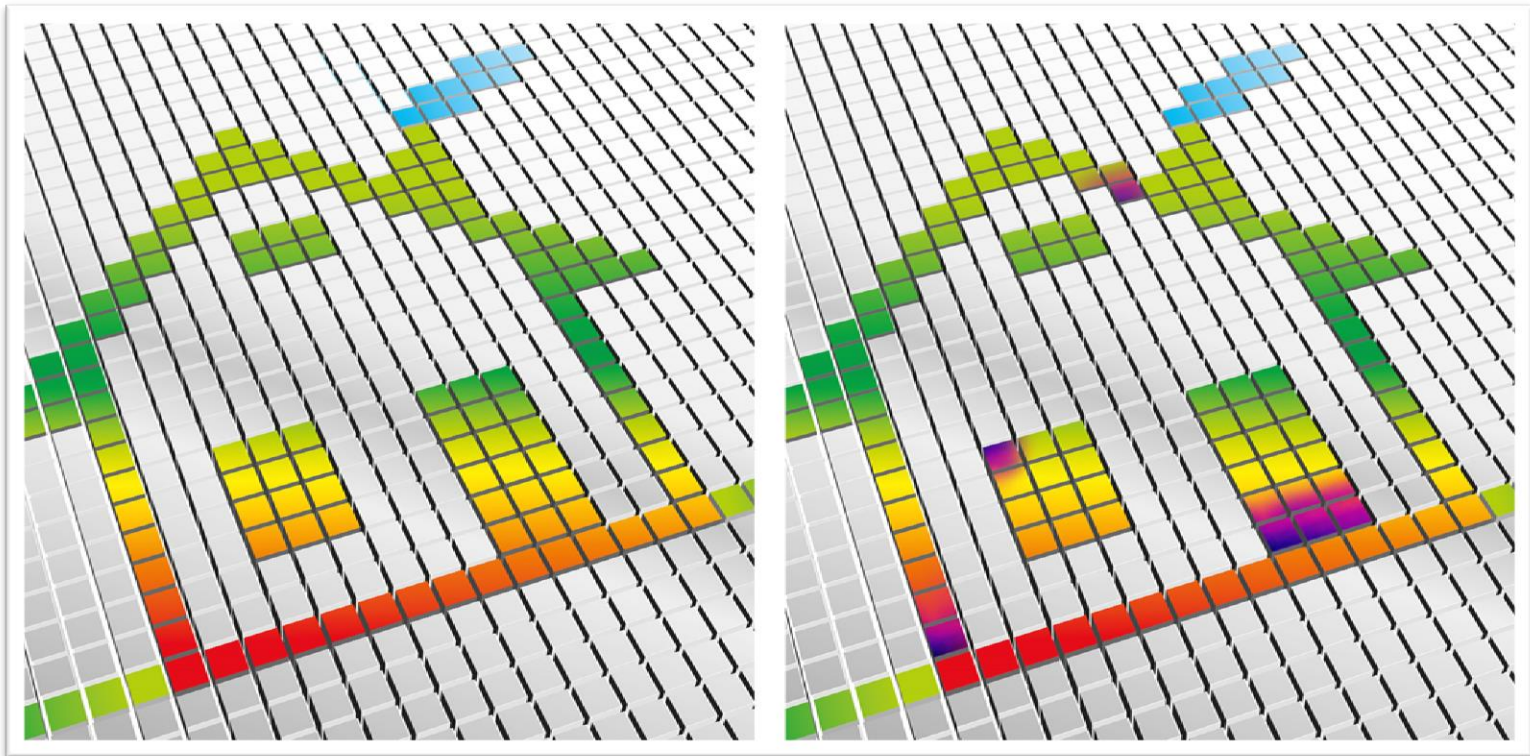


„Ich sehe was, das Du nicht siehst ...“

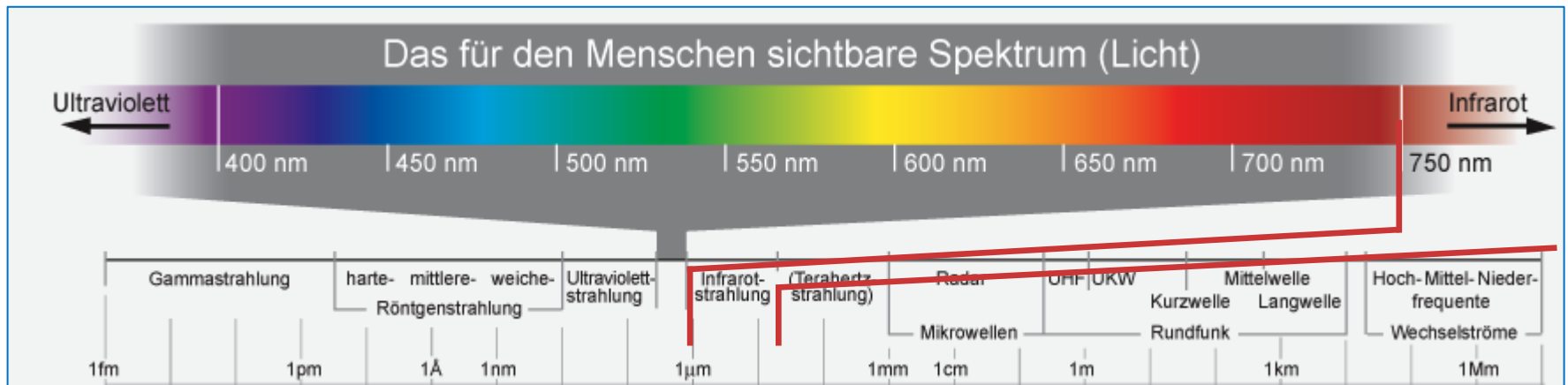


Leckageortung mittels Thermografie

Was ist Thermografie?

Die Thermografie ist ein bildgebendes Verfahren zur Visualisierung der Oberflächentemperatur von Objekten, d.h. die abgestrahlte Wärmeenergie eines Körpers.

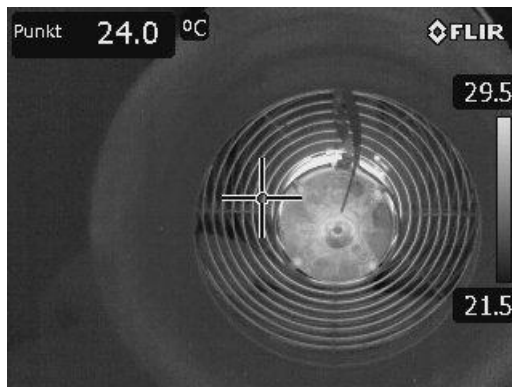
Jeder Körper, der wärmer als der absolute Nullpunkt (0 Kelvin = $-273,15^{\circ}\text{C}$) ist, strahlt elektromagnetische Wellen unterschiedlicher Wellenlänge, sogenannte Infrarotstrahlung, aus. Diese kann durch das menschliche Auge nicht wahrgenommen werden.



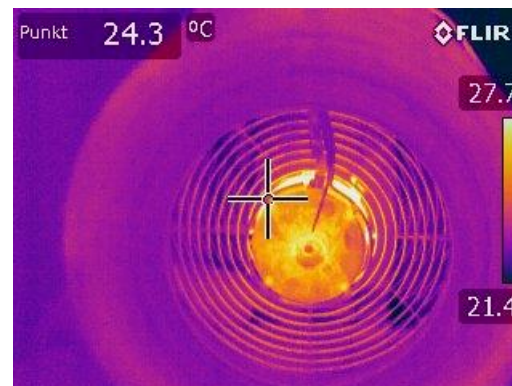
Visualisierung von Infrarotstrahlung

Eine Thermografiekamera verwandelt diese „unsichtbare“ Infrarotstrahlung in elektrische Impulse, um daraus ein Bild in Graustufen zu erstellen. Im Original- bzw. Graustufenbild sind hellere Bereiche wärmer als die dunkleren Bereiche.

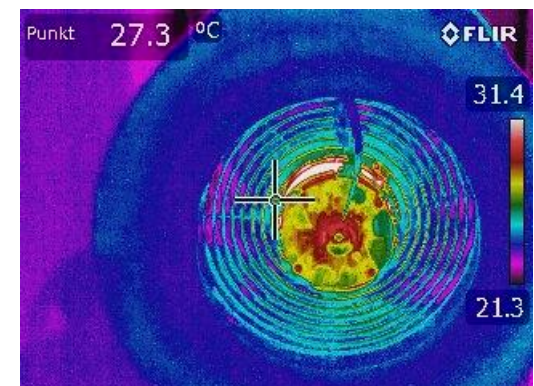
Diese Bilder werden dann häufig mit Falschfarben dargestellt. Die Farbzuordnung wird nachträglich eingefügt. Sie dient der besseren Darstellung, um feine Nuancen deutlich unterscheidbar zu machen.



Thermogramm (Grau)



Thermogramm mit Falschfarben
(Eisen)



Thermogramm mit Falschfarben
(Regenbogen)

Emissionsgrad ϵ

Die Wärmestrahlung eines Körpers wird im Idealfall mit einem Emissionsgrad von $\epsilon = 1$ ausgestrahlt, man spricht in diesem Fall auch von einem Schwarzen Strahler.

In der Realität weicht dieser Emissionsgrad ϵ teilweise sehr stark ab, das muss bei der Anwendung einer Thermografiekamera berücksichtigt werden. Auf glänzenden und somit stark reflektierenden Metallflächen kann ϵ sogar bis unter 0,1 sinken. Aber bei den üblicherweise verwendeten Baumaterialien kann man einen Wert für ϵ von ungefähr 0,9 ansetzen. Der Emissionsgrad von Beton liegt beispielsweise bei $\epsilon = 0,93$; der von Holz bei $\epsilon = 0,94$.

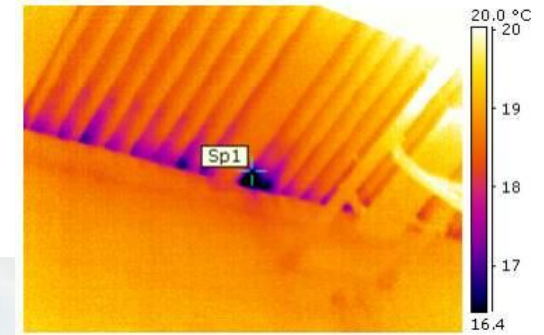
Emissionsgradtabelle

Die folgende Tabelle dient als Richtlinie zur Einstellung des Emissionsgrades bei der Infrarot-Messung. Sie gibt den Emissionsgrad ϵ einiger gängiger Materialien an. Da sich der Emissionsgrad mit der Temperatur und der Oberflächenbeschaffenheit ändert, sollten die hier aufgeführten Werte nur als Richtangaben für die Messung von Temperaturverhältnissen oder -differenzen betrachtet werden. Um den Absolutwert der Temperatur zu messen, sollte der Emissionsgrad des Materials exakt bestimmt werden.

Material (Materialtemperatur)	Emissionsgrad
Aluminium, walzblank (170 °C)	0,04
Aluminium, nicht oxidiert (25 °C)	0,02
Aluminium, nicht oxidiert (100 °C)	0,20
Aluminium, stark oxidiert (83 °C)	0,09
Aluminium, hochpoliert (100 °C)	0,09
Baumwolle (20 °C)	0,77
Beton (25 °C)	0,93
Blei (40 °C)	0,43
Blei, oxidiert (40 °C)	0,43
Blei, grau oxidiert (40 °C)	0,28
Chrom (40 °C)	0,97
Chrom, poliert (150 °C)	0,24
Eis, glatt (0 °C)	0,80
Eisen, abgeschmirgelt (20 °C)	0,77
Eisen mit Gießhaut (100 °C)	0,90
Eisen mit Walzhaut (20 °C)	0,94
Gips (20 °C)	0,45
Glas (90 °C)	
Granit (20 °C)	
Gummi, hart (23 °C)	0,94
Gummi, weich, grau (23 °C)	0,89
Gusseisen, oxidiert (200 °C)	0,64
Holz (70 °C)	0,94
Kork (20 °C)	0,94
Kükkörper, schwarz, eloxiert (50 °C)	0,70
Kupfer, leicht angelöteten (20 °C)	0,98
Kupfer, oxidiert (130 °C)	0,94
Kupfer, poliert (40 °C)	0,76
Kupfer, gewalzt (40 °C)	0,03
Kunststoffe: PE, PP, PVC (20 °C)	0,64
Lack, blau auf Aluminium-Folie (40 °C)	0,94
Lack, schwarz, matt (80 °C)	0,78
Lack, gelb, 2 Schichten auf Aluminium-Folie (40 °C)	0,97
Lack, weiß (80 °C)	0,79
Marmor, weiß (40 °C)	0,95
Mauerwerk (40 °C)	0,95
Messing, oxidiert (200 °C)	0,95
Ölfarben (alle Farben) (80 °C)	0,92-0,98
Papier (20 °C)	0,61
Porzellan (20 °C)	0,97
Sandstein (40 °C)	0,92
Stahl, wärmebehand. Oberfläche (200 °C)	0,67
Stahl, oxidiert (200 °C)	0,52
Stahl, kalt gewalzt (93 °C)	0,79
Ton, gebrannt (70 °C)	0,75-0,85
Transformatorlack (70 °C)	0,91
Ziegelstein, Mörtel, Putz (20 °C)	0,94
Zink, oxidiert	0,83
	0,1

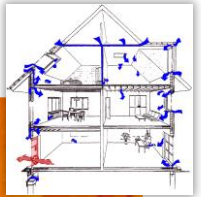
Abb.: ϵ -Tabelle von testo

Einsatzmöglichkeiten der Thermografie



Bei der Messung großer Gebäude ist Thermografie ein sehr gutes Hilfsmittel. Möchte man höher gelegene Bauteile auf Leckagen untersuchen, muss sonst meist ein Hubsteiger oder eine Leiter zur Hilfe genommen werden.

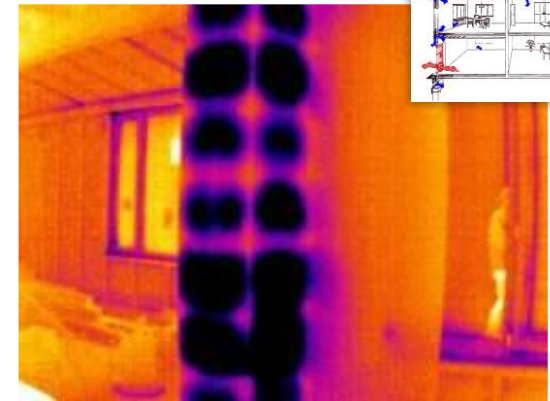
Thermografie und Differenzdruck: Ein Beispiel



Normalbild



Thermogramm



Thermogramm bei Unterdruck

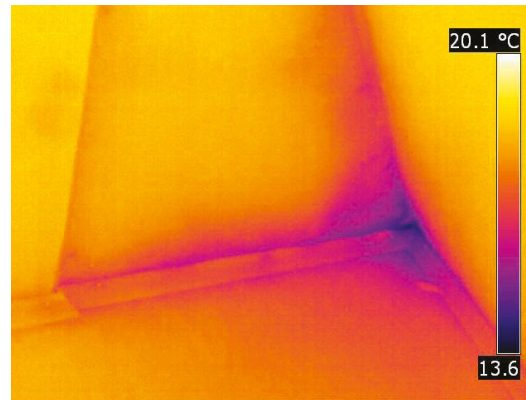


Erst bei 50 Pascal Differenzdruck wird deutlich, dass dieser aus Einkornbeton-Formsteinen gemauerte Schornstein durchströmt wird. Mit der Kombination aus BlowerDoor und Thermografie erkennt man schnell, dass dieser Schornstein verputzt werden sollte.

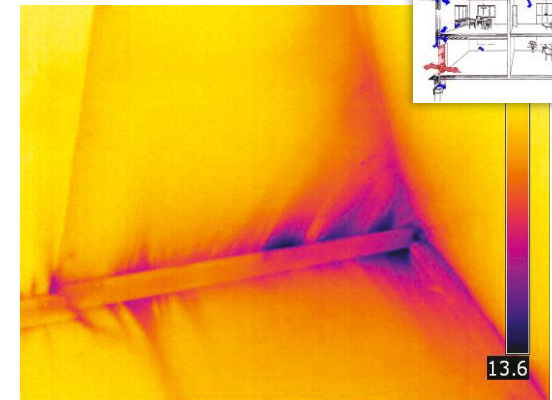
Thermografie und Differenzdruck: Noch ein Beispiel



Normalbild



Thermogramm



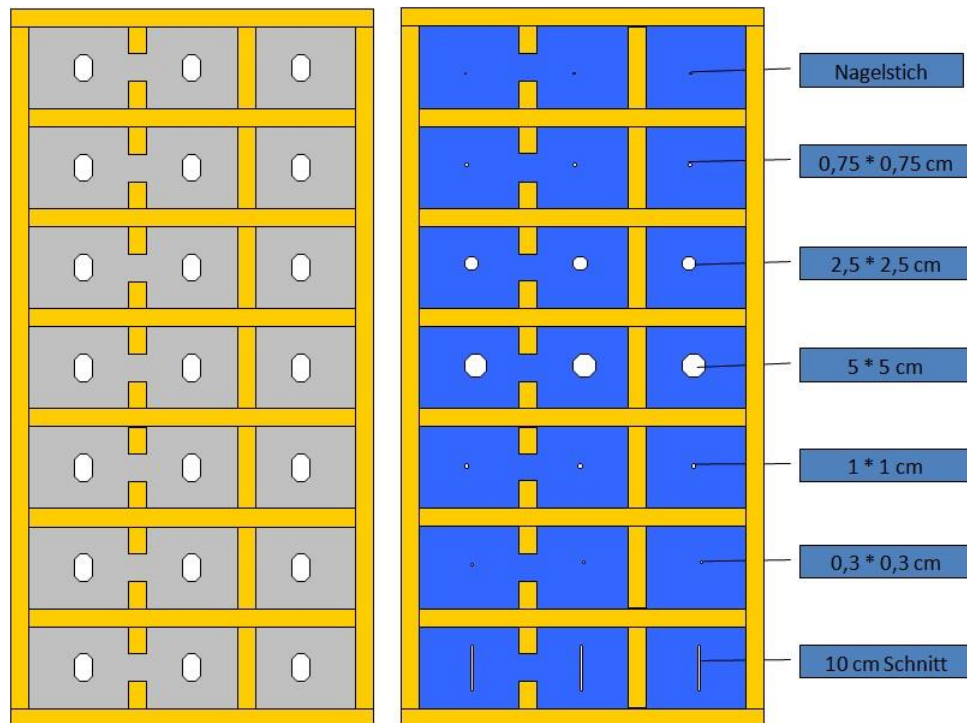
Thermogramm bei Unterdruck



Bei Unterdruck ist hier die für Luftströme typische Fahnenbildung zu erkennen. Die kältere Luft von außen kühlt die Bauteile in der Nähe der Leckage ab und macht die vorhandene Leckage dadurch klar erkennbar.

Thermografie und BlowerDoor:

Da steckt noch mehr drin – von der Idee zum Versuchsaufbau

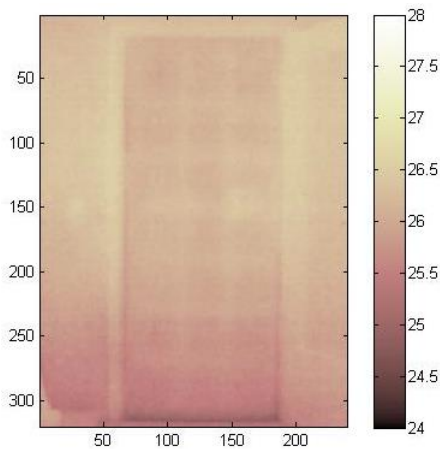


Mit Unterstützung eines BlowerDoor MessSystems kann man bessere und aussagekräftigere Thermogramme der Gebäudehülle erstellen und weitere Analysen ziehen. Aus diesem Grund hat Hermann Kaubitzsch von der BGK Infrarotservice GmbH den folgenden Versuchsaufbau entwickelt:

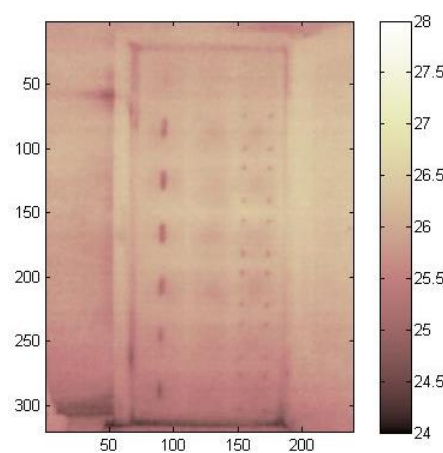
Er hat verschiedenste Leckageformen und -größen in einer luftdichten Ebene simuliert; vom einfachen Nagelstich bis zu einem 10 cm langen Schnitt.

Thermografie und BlowerDoor: Die ersten Versuchsergebnisse

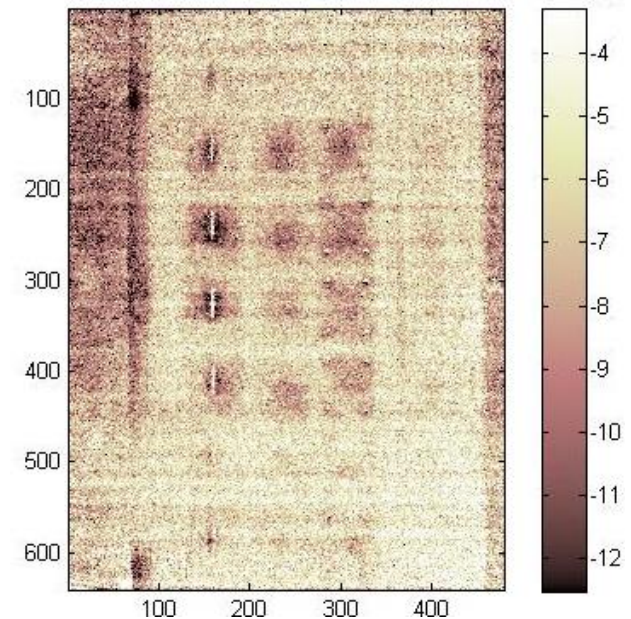
Start-Thermogramm



End-Thermogramm nach Unterdruck



Sequenzanalyse

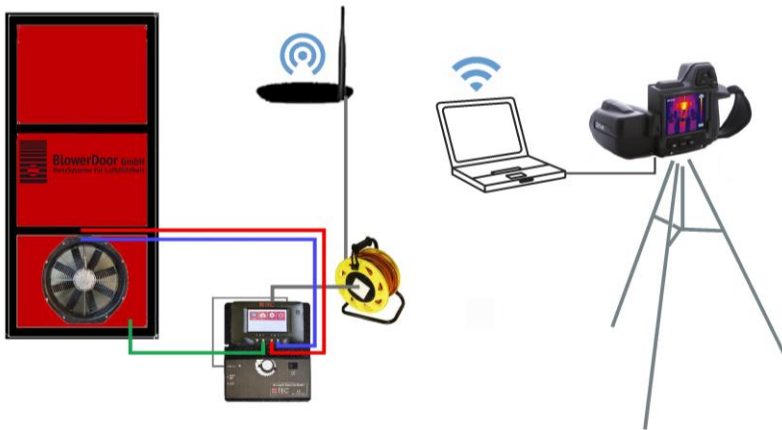


Auf diesen Bildern des ersten Versuchs lässt sich sehr gut erkennen, dass die kleinen Leckagen erst mit der Durchströmung bei Unterdruck sichtbar werden.

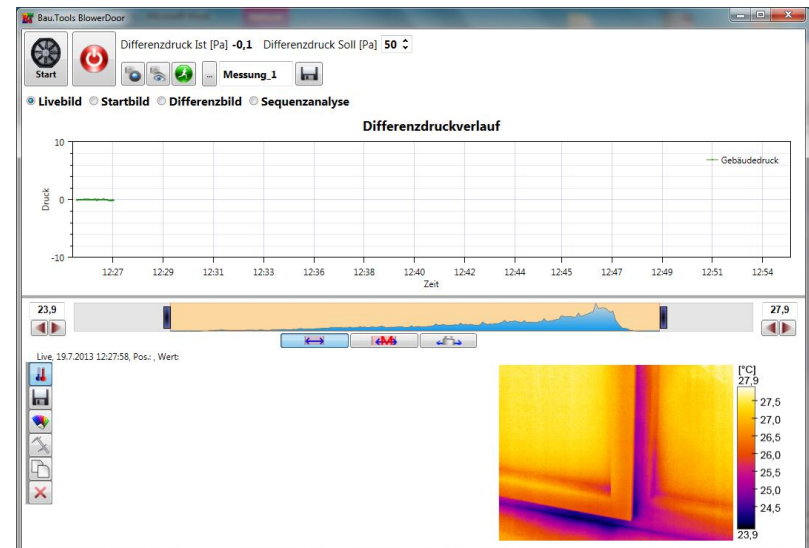
Werden aber nun mehrere Thermogramme bei Unterdruck hintereinander aufgenommen, kann man diese Bildsequenz genauer analysieren. Es werden ausschließlich die Temperaturveränderungen durch die Einströmungen betrachtet.

Thermografie und BlowerDoor: Die Software Bau.Tools BlowerDoor

Es folgte die Entwicklung der Software Bau.Tools BlowerDoor. Im Zusammenspiel von Minneapolis BlowerDoor MessSystem und einer FLIR-Thermografiekamera wird i.d.R. bei Unterdruck eine Reihe von Thermogrammen von einer Oberfläche aufgenommen.

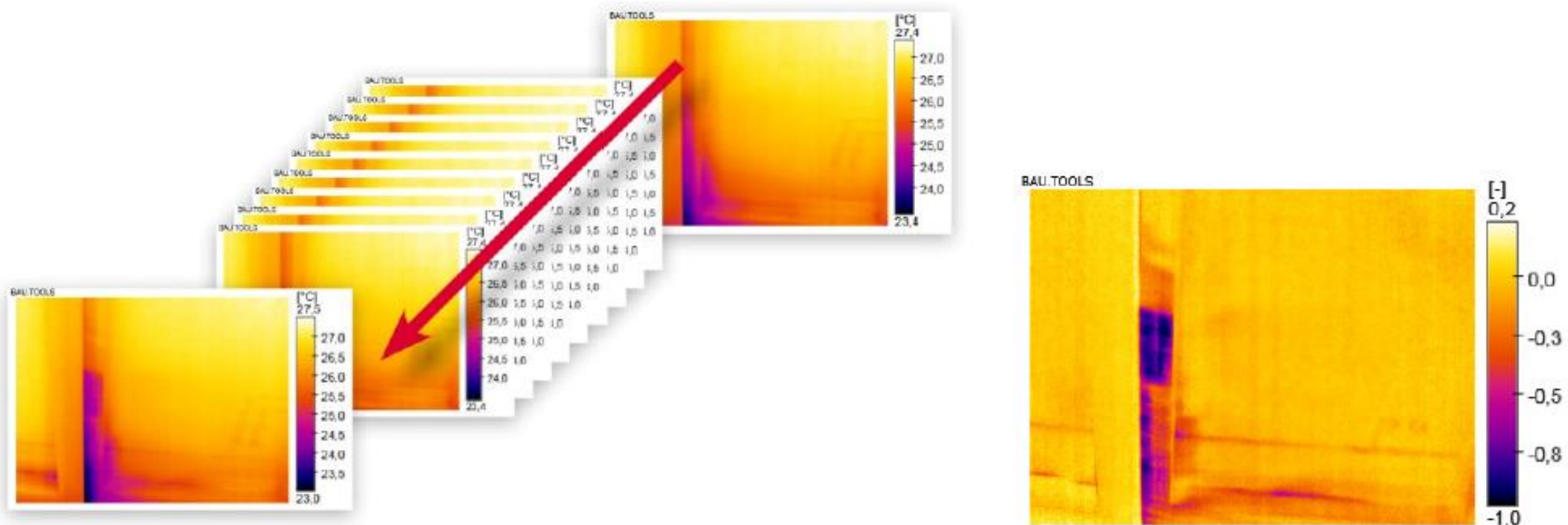


Das BlowerDoor MessSystem wird dazu mit einem Computer verbunden und dieser wiederum mit einer geeigneten FLIR Kamera auf einem festen Stativ.



Bau.Tools Software Programmoberfläche

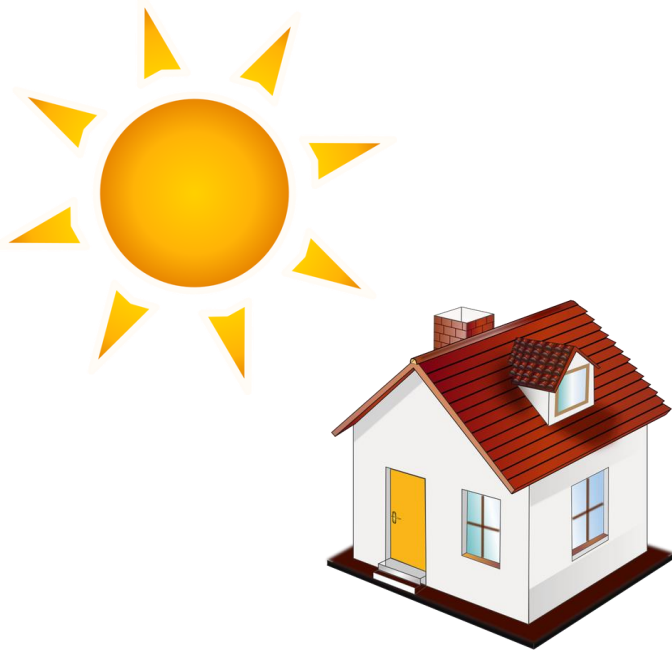
Funktionsweise der Software Bau.Tools BlowerDoor



Die Software Bau.Tools BlowerDoor nimmt 15 bis 30 Einzelthermogramme auf, während das BlowerDoor MessSystem für die Dauer von 30 bis 90 Sekunden einen Unterdruck erzeugt. Diese Bildsequenz wird durch die Software ausgewertet. Mit der Sequenzanalyse können bereits geringste Temperaturdifferenzen von 0,15 bis 0,4 K visualisiert werden. Das Verfahren ist weitgehend ganzjährig einsetzbar, da nur sehr geringe Temperaturdifferenzen erforderlich sind.

Beispiel Fensterfront

Als Beispiel für die Anwendung der Bau.Tools BlowerDoor Software wurde eine sonnenbeschienene Fensterfront ausgewählt. Eigentlich kann man hier keine zufriedenstellenden Ergebnisse mit der Thermografiekamera erwarten, wie auf diesem „Normal-Thermogramm“ zu sehen ist.



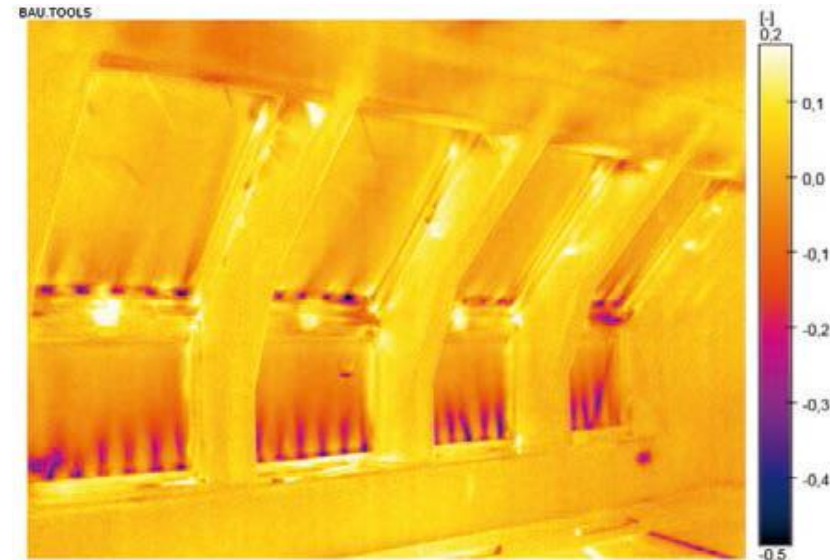
Thermogramm Fensterfront bei Sonneneinstrahlung

Beispiel Fensterfront

Auch nach Erzeugung von Unterdruck mit dem BlowerDoor MessSystem kann man kaum eine Veränderung im Thermogramm ausmachen. Erst durch die Sequenzanalyse mit der Bau.Tools Software werden die Veränderungen sichtbar. Die Leckagen sind nun klar erkennbar. Mit der Software Bau.Tools BlowerDoor werden also die Einsatzmöglichkeiten der Thermografiekamera für die Leckageortung enorm erhöht; die Kamera wird damit zum fast ganzjährig einsetzbaren Hilfsmittel.



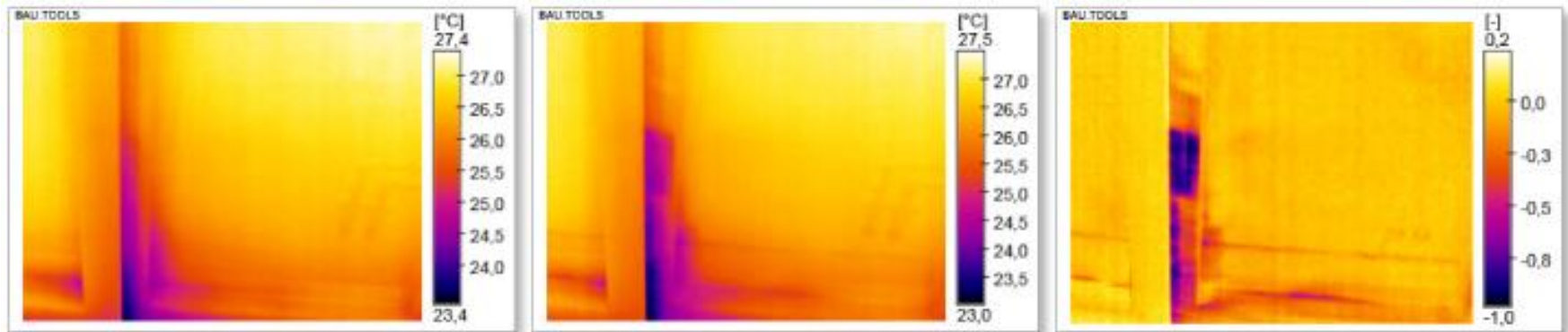
Thermogramm bei Unterdruck



Bau.Tools Sequenzanalyse

Weitere Beispiele

Hier sind zwei weitere Beispiele für die Bau.Tools Sequenzanalyse:



Leckage an der Funktionsfuge einer Terrassentür



Leckagen an Einbau-Deckenstrahlern (Downlights)

Literatur

- Bernhard, Frank (Hrsg.) : Handbuch der Technischen Temperaturmessung, 2014
- Fouad, Nabil A.; Richter, Torsten.: Leitfaden Thermografie im Bauwesen – Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung, 2012
- Wagner, Herbert: Thermografie – Sicher einsetzen bei der Energieberatung, Bauüberwachung und Schadensanalyse, 2011
- Barreira, Eva; Almeida, Ricardo : Infrared Thermography for Building Moisture Inspection, 2019
- **Links:**
- Hart, J. M.: A practical guide to infra-red thermography
Link: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_6460.pdf (English)
- FLIR Media: Thermografie für Bau-Anwendungen und erneuerbare Energien
Links: [Deutsch](#) / [English](#) / [Français](#) / [Italiano](#) / [Español](#)
- FLUKE: Thermography Principles; Link: [English](#)
- TESTO AG: Pocket Guide Thermografie; Links: [Deutsch](#) / [English](#)

