

14:30 - 15:00 **Wer misst, misst Mist... Drift von IR-Kameras** **Christoph Tanner**



Christoph Tanner, Arch. HTL / FH, Winterthur
Vizepräsident Thermografie Verband Schweiz
Leitung der Fachgruppe Blower-Door

Haupt-Projektpartner von Baucheck-Tanner



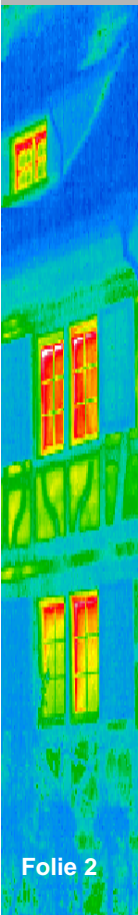
Lucerne University of Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE LUZERN

Folie 1



Christoph Tanner
Irchelstrasse 28, CH-8400 Winterthur

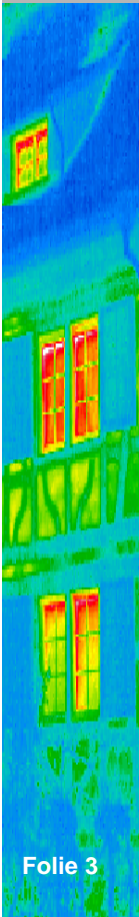
IR-Tagung, Dübendorf, 12.3.2015



14:30 - 15:00 **Wer misst, misst Mist... Drift von IR-Kameras** **Christoph Tanner**

- **Wer misst, misst Mist**
- **Messfehler und Definitionen**
- **Praxistest**
- **Möglichkeiten und Grenzen der Bauthermografie**

Folie 2



Wer misst, misst Mist

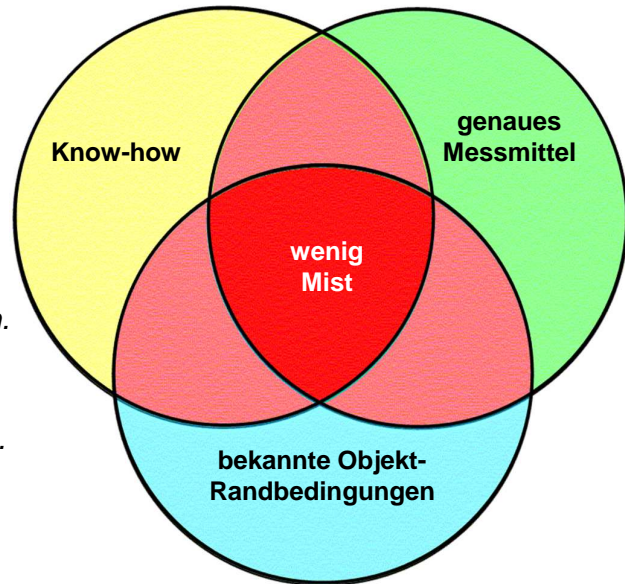
„Wer misst, misst Mist“

Dieser altbekannte Satz ist zwar kein guter Einstieg, um Akquisition für Wärmebilder zu betreiben, aber er mahnt immer wieder - speziell bei komplizierten Messmethoden - vorsichtig zu sein und sich genau zu überlegen, warum, wie und womit etwas gemessen wird.

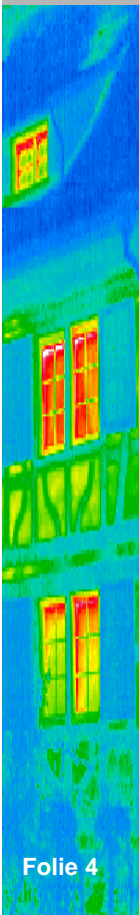
*Wer mit 3 Faktoren misst,
produziert nur wenig Mist.*

*Misst man nur mit 2 Faktoren,
fliegt der Mist schon um die Ohren.*

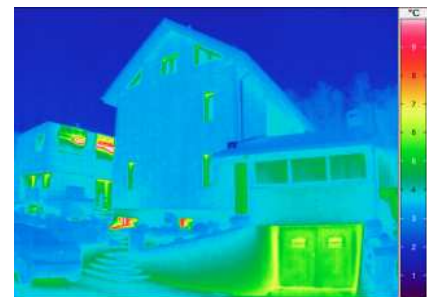
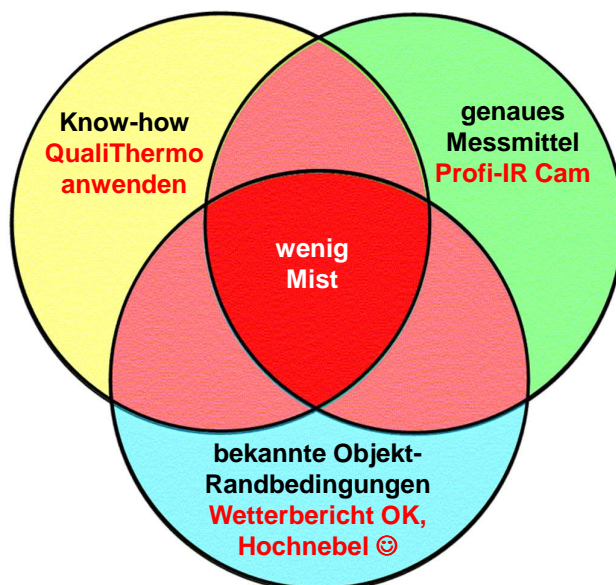
*Wer vor der 1 er-Challenge ist,
der dann besser gar nicht misst ☹.*



Folie 3



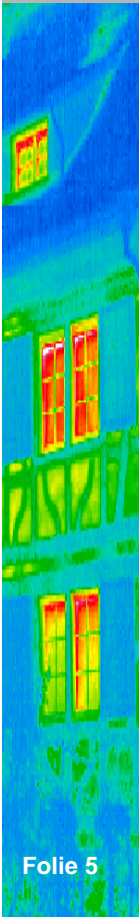
Wer misst, misst Mist



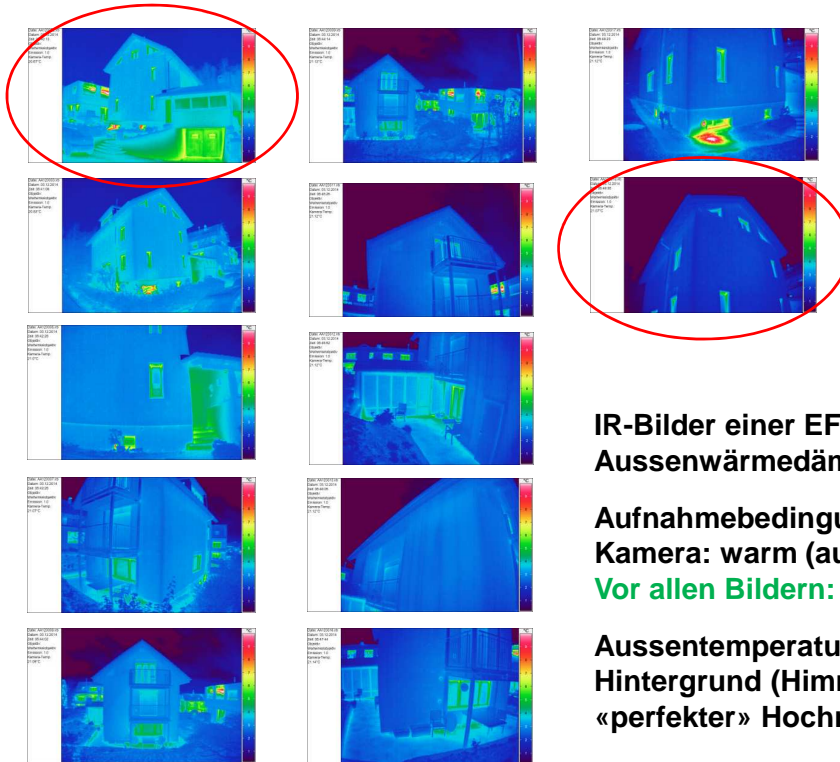
- gestochen scharfes Bild (640 x 480)
- Temperaturdifferenzen bis 0.03 Kelvin ersichtlich!
- perfekte Meteo-Bedingungen
- **Aufgabe mit Bravour gelöst ?**

Folie 4

Wer misst, misst Mist



Folie 5



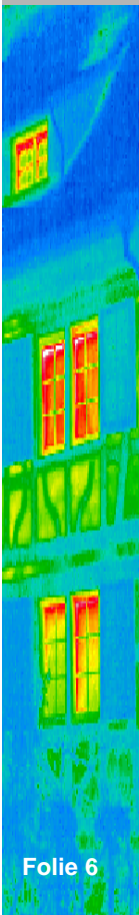
IR-Bilder einer EFH-Sanierung mit Aussenwärmemedämmung ($U = 0.2$).

Aufnahmebedingungen: Ideal
 Kamera: warm (aus Haus / Auto)

Vor allen Bildern: Abgleich Nuc! ✓

Ausstemperatur: ca. 3 °C
 Hintergrund (Himmel): ca. 0 °C
 «perfekter» Hochnebel

Wer misst, misst Mist



Folie 6

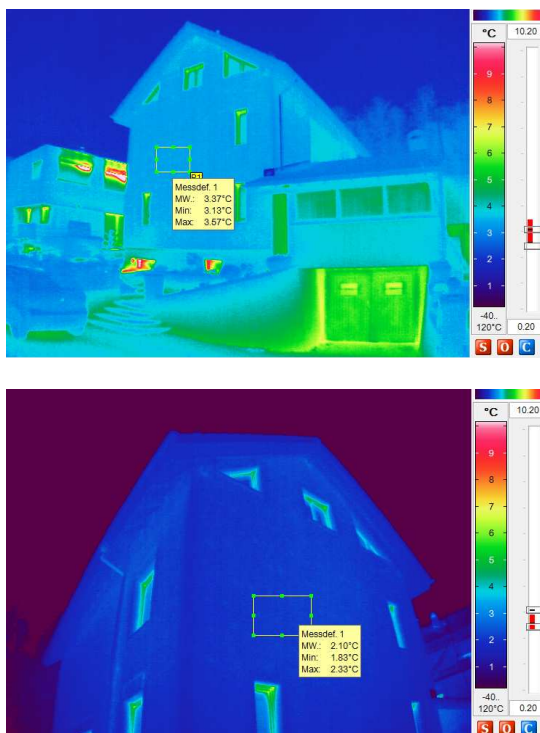


Bild 1: Mittelwert Fassade:

3.4 °C

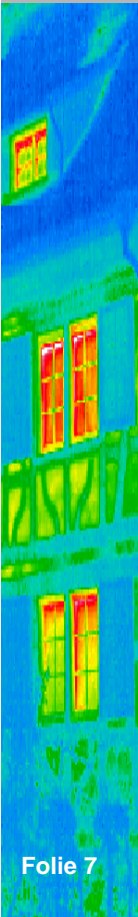
Zeit 05:40 h

1.3 K Drift
 (Abweichung) in 8.5 Min.

Bild 12: Mittelwert Fassade:

2.1 °C

Zeit 05:48 h



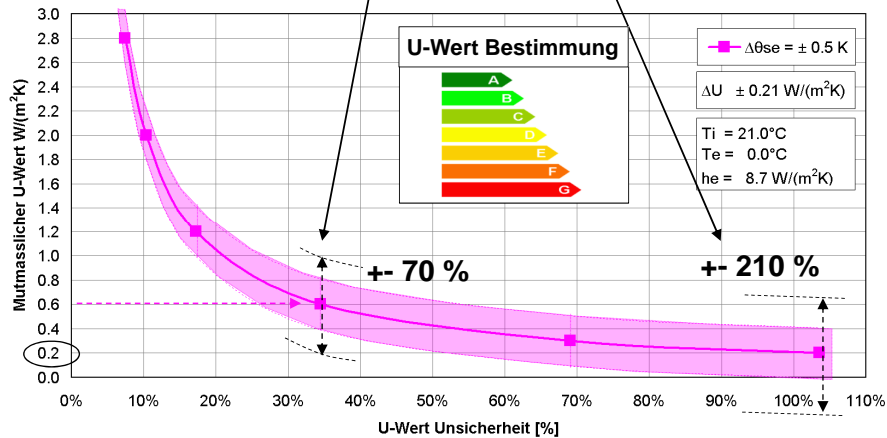
Wer misst, misst Mist

Aus dem BFE Projekt: Fehler bei 1 Kelvin...

$\pm 0.3 \text{ K}$ für ausgezeichnete Aufnahmebedingungen

$\pm 0.5 \text{ K}$ für gute Aufnahmebedingungen

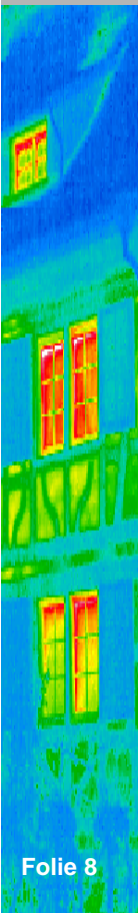
$\pm 1.0 \text{ K}$ für mässige Aufnahmebedingungen



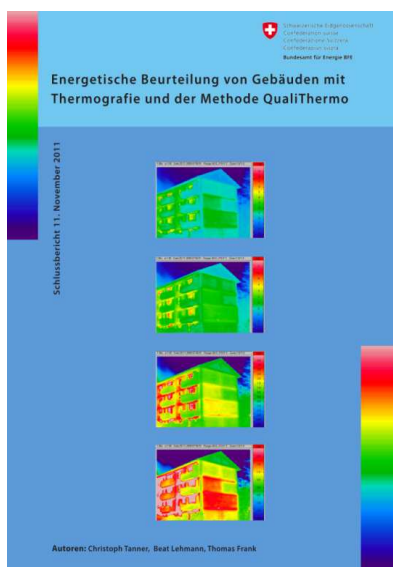
Genauigkeit einer U-Wert-Bestimmung mit der Toleranzgrenze $\pm 0.5 \text{ K}$

Grundsätzlich lässt sich daraus erkennen, dass die Aussage umso viel unsicherer wird, je besser ein Bauteil gedämmt ist und je unstabiler die Meteobedingungen vor- und während den Aufnahmen sind.

Folie 7



Wer misst, misst Mist



Für die Bestimmung der Lufttemperatur soll nicht ein externes, genaues Messgerät beigezogen werden, sondern die Lufttemperatur ist mittels IR-Kamera zu messen (= „IR-Lufttemperatur“)!

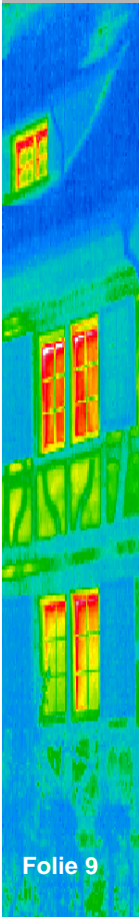
Dies ist notwendig, denn es soll ja die genaue Differenz zwischen der Bauteil-Oberflächentemperatur (aus der IR-Aufnahme) und der Lufttemperatur (eben mit IR gemessen) ermittelt werden.

Dies wird nur dann genügend genau, wenn für beide Temperaturmessungen das gleiche Messmittel eingesetzt wird (ein systematischer Messfehler hebt sich so auf).

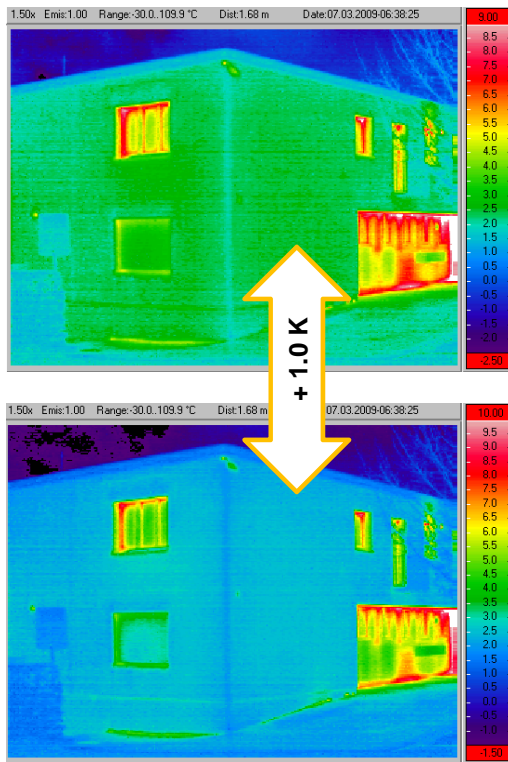
Ein starker Drift wurde bei diesen Untersuchungen (noch) nicht erkannt und war deshalb kein Thema.

Folie 8

Wer misst, misst Mist

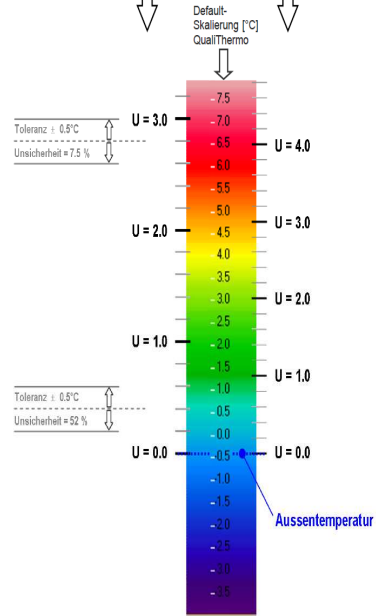


Folie 9



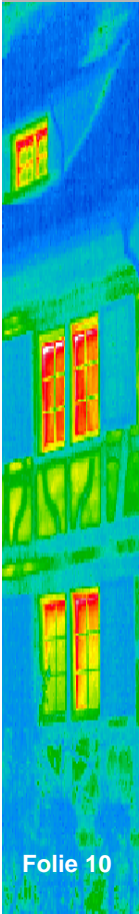
U-Wert [W/m²K] Zuordnung für Wände mit:
 $h_i = 7.7$ [W/m²K] (= Normübergang)
 $h_o = 8.7$ [W/m²K] (= typischer Wert bei idealen Messbedingungen)

U-Wert [W/m²K] Zuordnung mit:
 $h_i = 7.7$ [W/m²K] (= Normübergang)
 $h_o = 12.7$ [W/m²K] (= typischer Wert bei guten Messbedingungen)



Wer misst, misst Mist

Möglicher Interpretationsschlüssel zu IR-Bildern,
 die mit QualiThermo dargestellt werden.

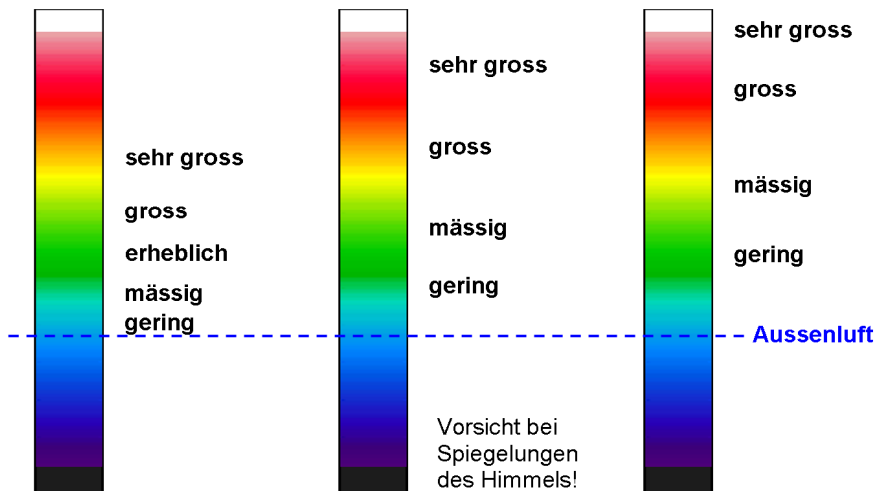


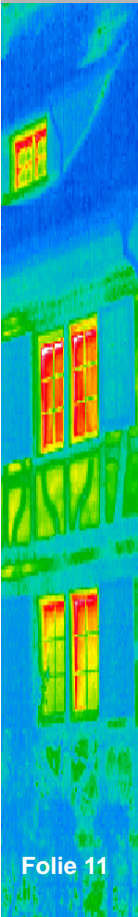
Folie 10

Wärmeverlust
 Aussenwände

Wärmeverlust
 Fenster / Gläser

Wärmebrücken
 Luftdurchritte



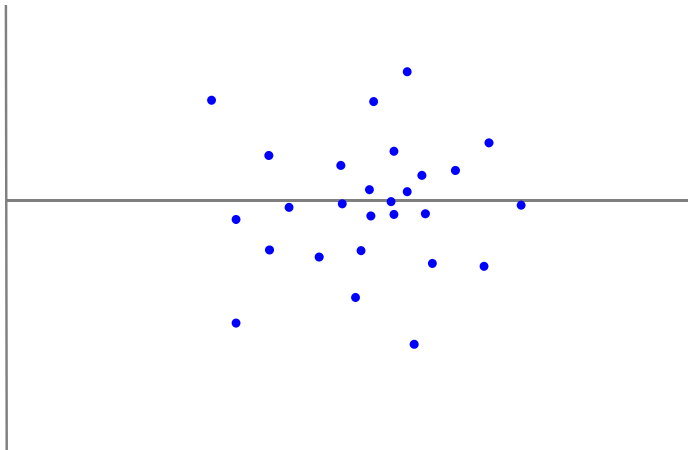


Messfehler und Definitionen

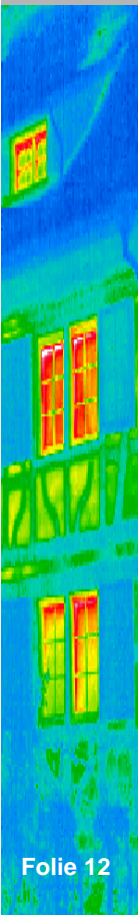
Der Standardfehler / Die Streuung:

Unter Streuung versteht man zufällige Messabweichungen bei aufeinander folgenden Messungen. Beispiel: 100 Gewehrschüsse

Die Messunsicherheit kann hier über die **Standardabweichung** definiert werden.



Folie 11

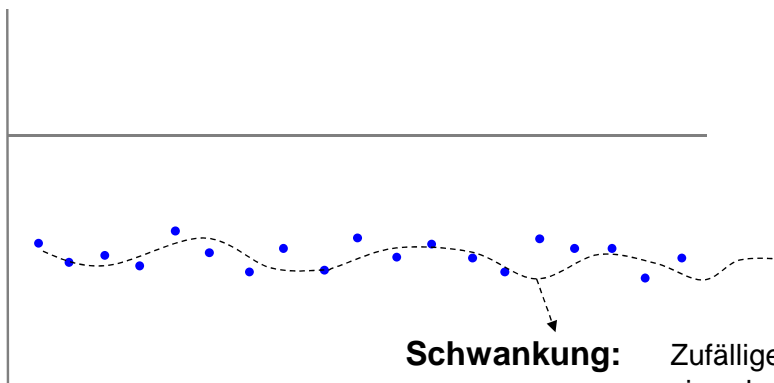


Messfehler und Definitionen

Offset:

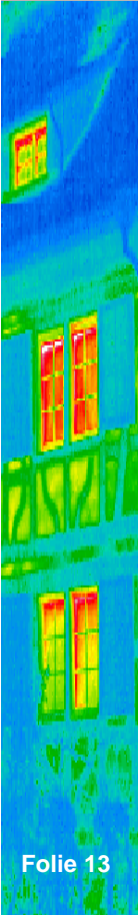
Systematische, **zeitlich mehr oder weniger konstante Abweichung**, die eine Verschiebung nach einer Seite bewirkt, was einen in der Tendenz stets zu hohen oder stets zu niedrigen Messwert ergibt. Beispiel: Tachometerangabe beim Auto. Ein Offset ist mit einer Wiederholungsmessung nicht erkennbar.

Die Messunsicherheit ($\pm nn\%$) setzt sich aus dem Offset und der Schwankung zusammen. **Ein bekannter Offset kann korrigiert werden!**



Schwankung: Zufällige Messabweichungen, sie schwanken innerhalb einer gewissen Bandbreite.

Folie 12



Messfehler und Definitionen

Drift:

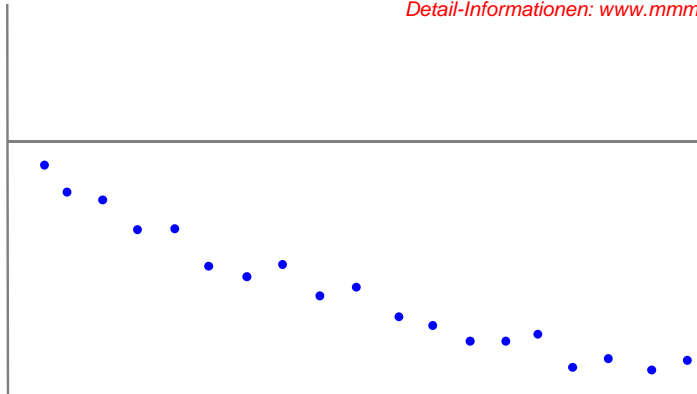
Ein zeitlich ansteigender / abfallender Messfehler wird als Drift (oder Trend) bezeichnet. Ein Drift ist durch Wiederholungsmessungen relativ leicht aufzudecken und geht oft auf unerkannte Temperatureinflüsse zurück.

Beispiel: Bildserie mit Infrarotkamera

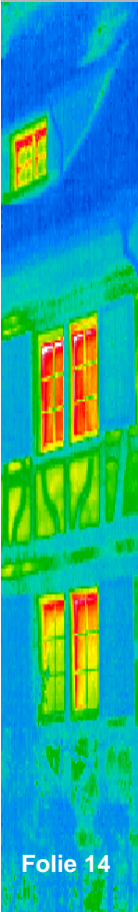
Ein Drift führt zu einer Messunsicherheit, die mit der Zeit zunimmt.

Ohne Messzeitangaben ist eine aktuelle Abweichung nicht korrigierbar!

Detail-Informationen: www.mmm.ethz.ch/dok01/d0000604.pdf



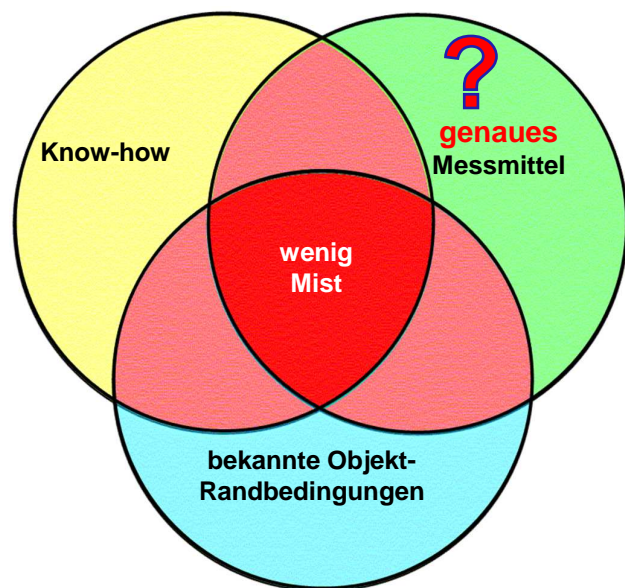
Folie 13



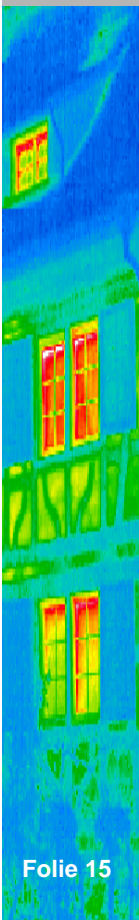
Messfehler und Definitionen



Spezifikationen?



Folie 14



Folie 15

Messfehler und Definitionen

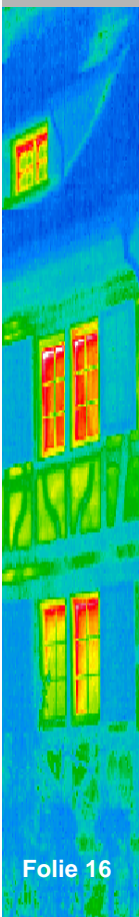
• Detektortyp	ungekühltes Mikrobolometer-Focal-Plane-Array
• Detektorformat	(640 x 480) Infrarot-Pixel
• Resolution Enhancement	(1.280 x 960) Infrarot-Pixel (MicroScan), optomechanische Präzisionsbaugruppe, wahlweise zuschaltbar, für Dauerbetrieb konzipiert
• Spektralbereich	(7,5 ... 14) μm
• Infrarot-Bildfrequenz	50/60 Hz
• Temperaturmessbereich	(-40 ... 1.200) $^{\circ}\text{C}$, optional > 2.000 $^{\circ}\text{C}$
• thermische Auflösung @ 30 $^{\circ}\text{C}$	besser als 0,03 K - LowNoise Detektor
• Bilddarstellung	automatische Kontrastoptimierung
• Messgenauigkeit	$\pm 1,5 \text{ K}$ (0 ... 100) $^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ (<0 bzw. >100) $^{\circ}\text{C}$
• Kalibrierbereichswechsel	motorisch, automatisch oder manuell
• Fokussierung	motorisch, automatisch oder manuell, feinstufig einstellbar

1 : 100

Aus dem Manual: ... der Detektor wird mittels Pelter-Element thermisch hochgenau stabilisiert und ist somit von der Umgebungstemperatur unabhängig ...

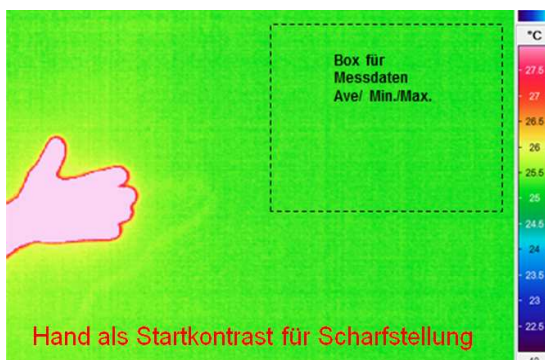
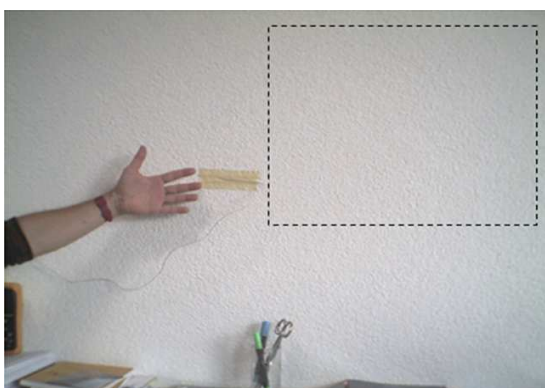
Im Kalibrierschein: *Keinerlei Hinweis auf den Zeitpunkt (nach Einschalten) der Kalibrierdaten! Lediglich die Umgebungstemperatur wird ausgewiesen (20 $^{\circ}\text{C}$).*

Mit diesen Angaben geht man von Offset-Messunsicherheiten aus, die durch den Einsatz von Oberflächenfühlern korrigiert werden können.



Folie 16

Praxistest

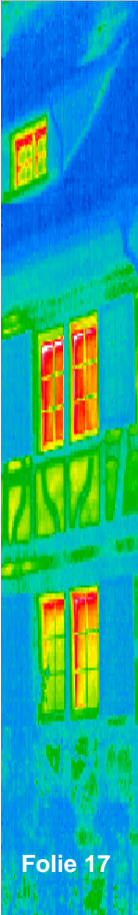


Hand als Startkontrast für Scharfstellung

Drift-Test 1:

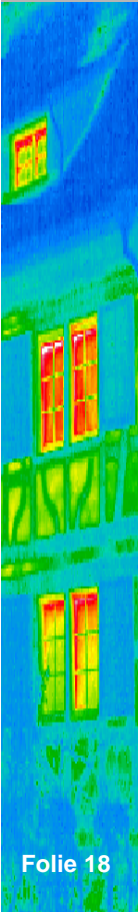
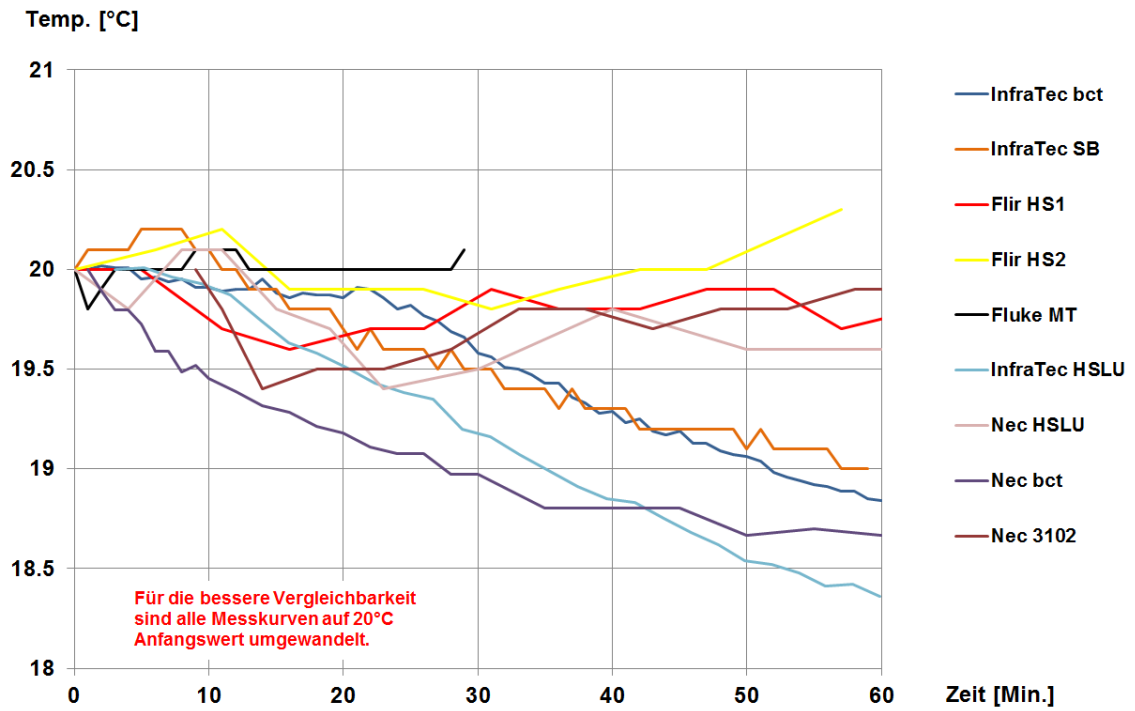
Versuch **warm-warm** / 29.07.2014
Veränderungen durch Einschalten

- temperaturstabiler Raum
- massive Innenwand
- keine Wärmequellen in der Nähe
- keine Sonnenstrahlung
- Oberflächenfühler zur Überprüfung
- Bilder ab fixem Punkt (Stativ)
- Reflexion der Oberfläche beachten
- Messintervalle (ideal bei ca. 1 Min.)
- **Vor jeder Aufnahme muss ein Abgleich (shutter / nuc) erfolgen!**



Folie 17

Praxistest



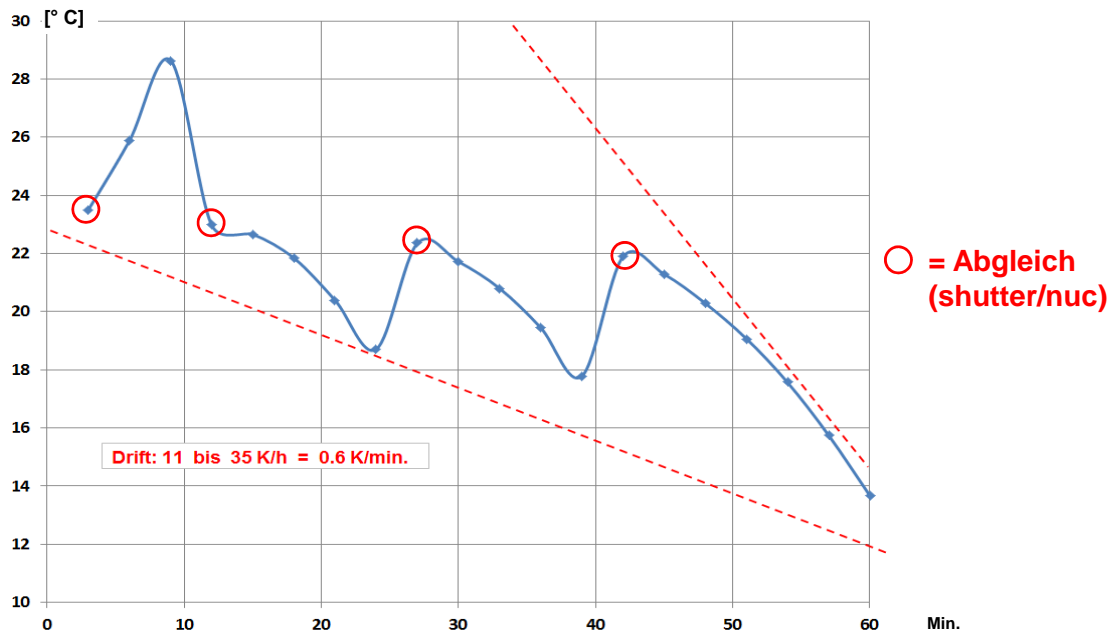
Folie 18

Praxistest

Drift-Test 2:

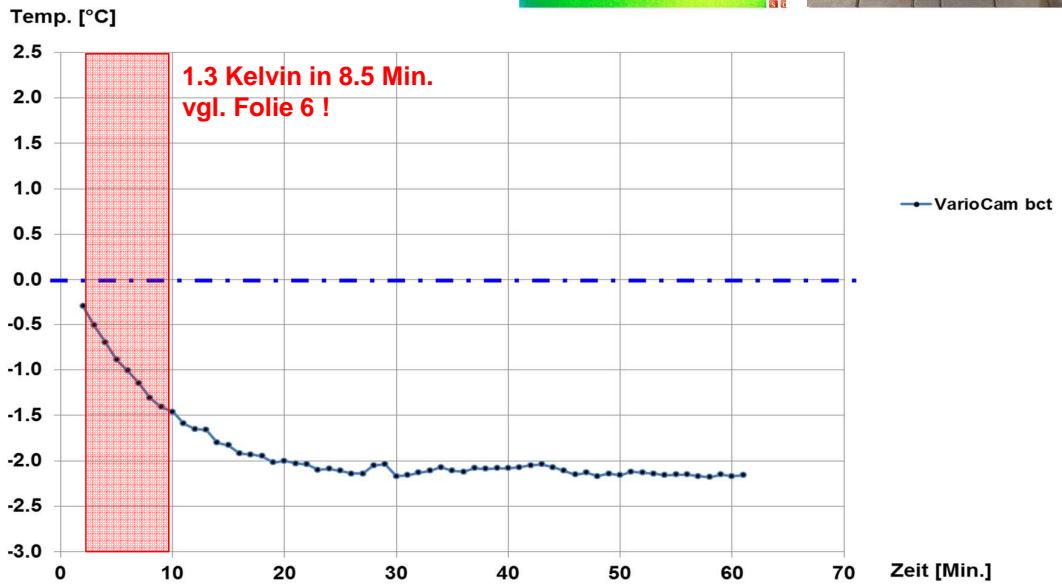
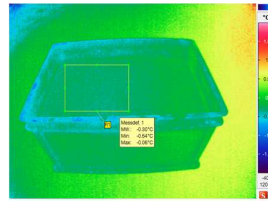
Versuch **warm-warm** / 30.07.2014

Veränderungen durch Einschalten, **ohne Abgleich** (shutter / nuc) !



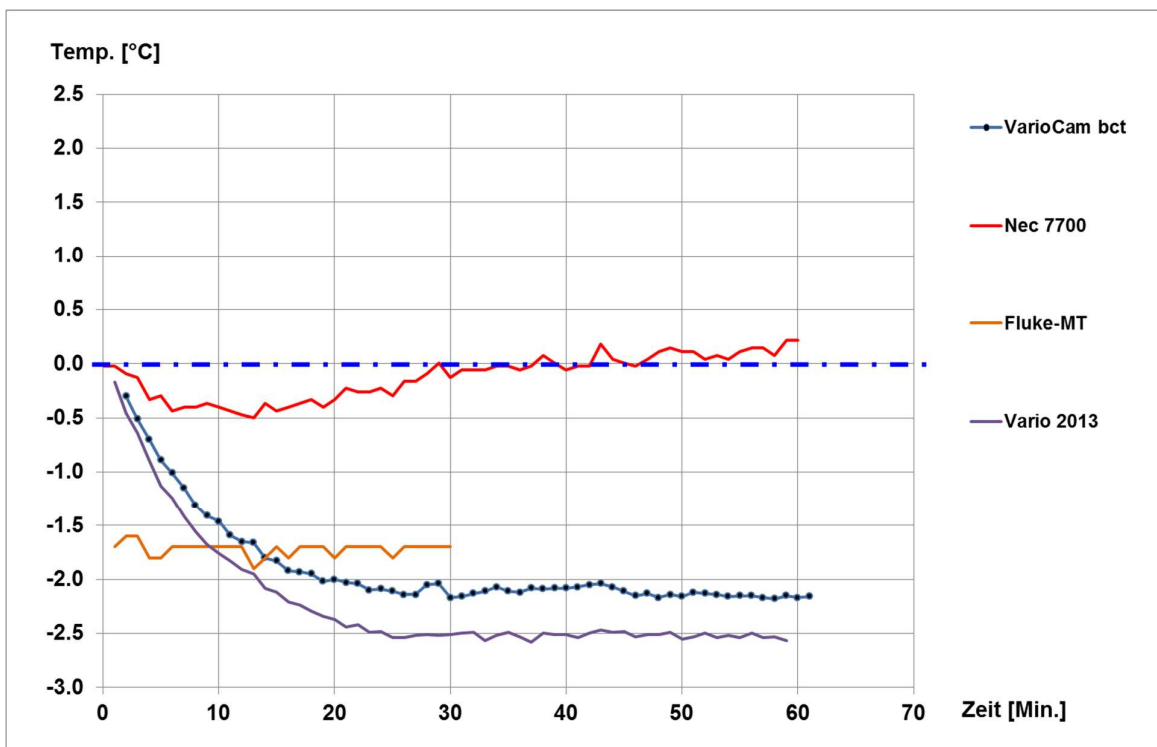
Praxistest

Drift-Test 3:
Versuch warm-kalt / 15.02.2015
Objekt: Schneewasser (= 0 °C)
Kamera hat vor Test 21 °C
Aussentemperatur: 1 °C, + Nebel

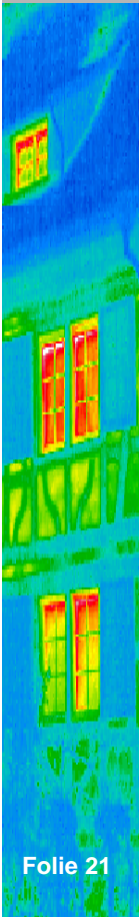


Folie 19

Praxistest



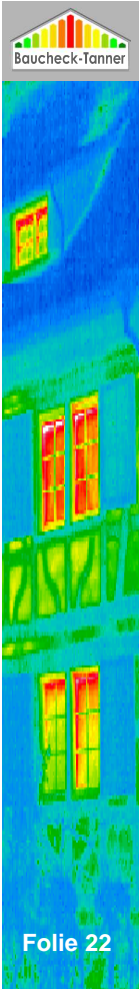
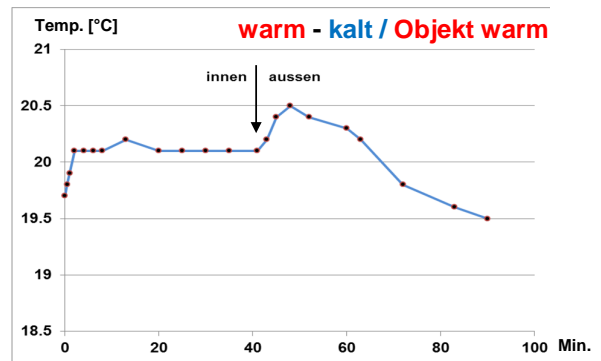
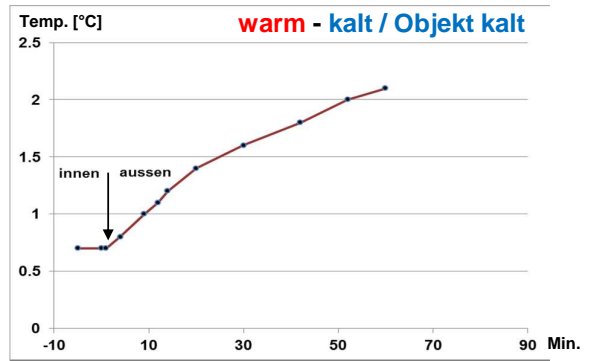
Folie 20



Folie 21

Praxistest

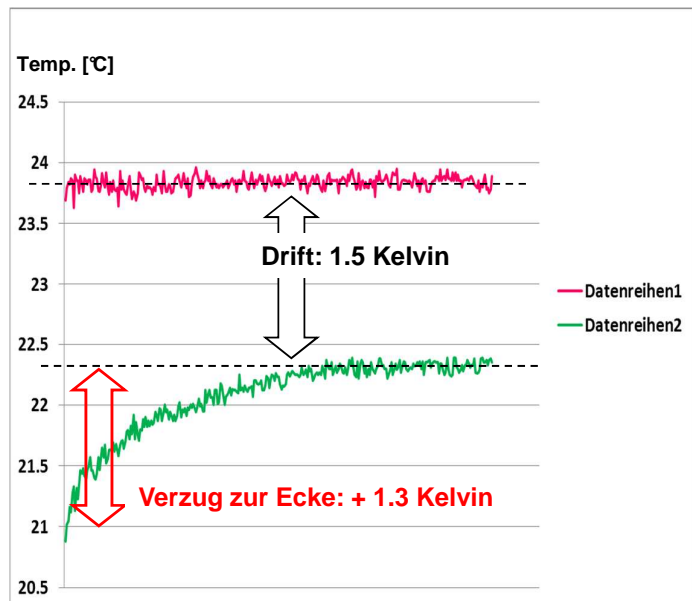
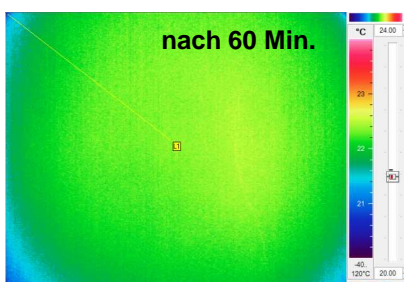
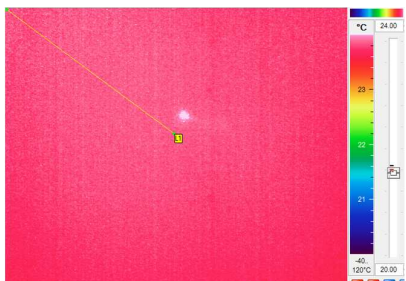
Drift-Test 4:
 Analoge Versuch mit KEITHLEY
 Messgerät für Thermoelemente
 (Typ T)



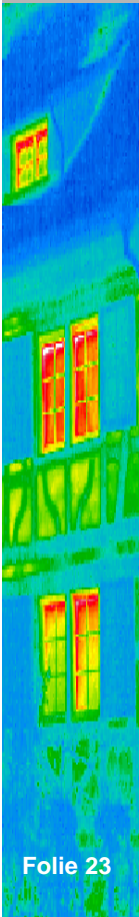
Folie 22

Praxistest

Drift-Test 5:
 Versuch **warm-warm** / 18.12.2013
 Objekt: Innenwand
Kamera hat vor Test 21 °C



Möglichkeiten und Grenzen der Bauthermografie

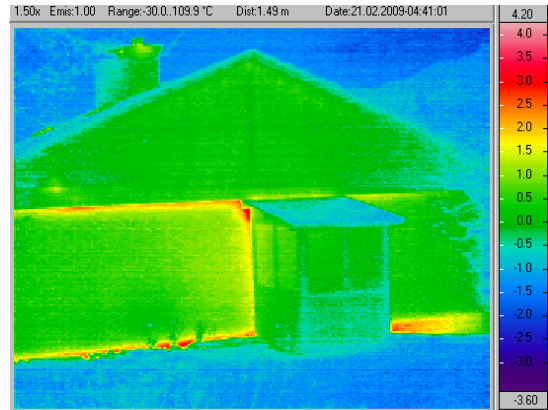


Folie 23



Einfach:

- Leckstellen erkennen
- Konstruktionshinweise finden
- Wärmebrücken erkennen
- Temperaturunterschiede finden



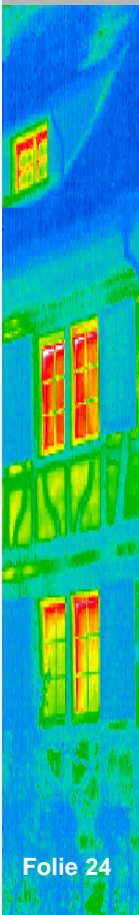
Schwierig, aufwändig, unsicher:

- Bewerten (= Quantifizieren !)
- Ist das Dargestellte gut oder schlecht ?

Genau das erwartet jeder Kunde, und es wird sorgenlos geboten . . .

Mit unstabiler IR-Kamera noch schwieriger - bis fast unmöglich!

Möglichkeiten und Grenzen der Bauthermografie



Folie 24



Bei der Entstehung von Schimmelpilzen spielt die Oberflächenfeuchte eine entscheidende Rolle.

Und damit auch die Oberflächentemperatur!

Können wir uns auf die Kondensat- und Schimmelberechnungen, der diversen Spezial-Software verlassen?

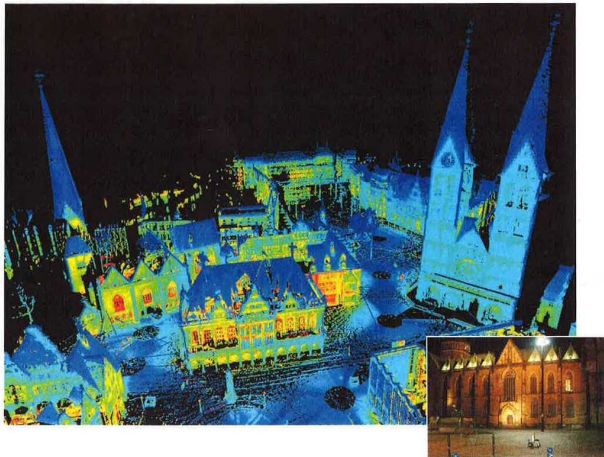
(Für Innenräume: 1 Kelvin falsche Oberflächentemperatur ergibt im kritischen Bereich ca. 5 % falsche Oberflächenfeuchte!)

Möglichkeiten und Grenzen der Bauthermografie

ISSN 1614-6123 | Jahrgang 8 | Heft 4 (August) 2012

Der Bau- sachverständige

Zeitschrift für Bauschäden, Grundstückswert und gutachterliche Tätigkeit



Folie 25

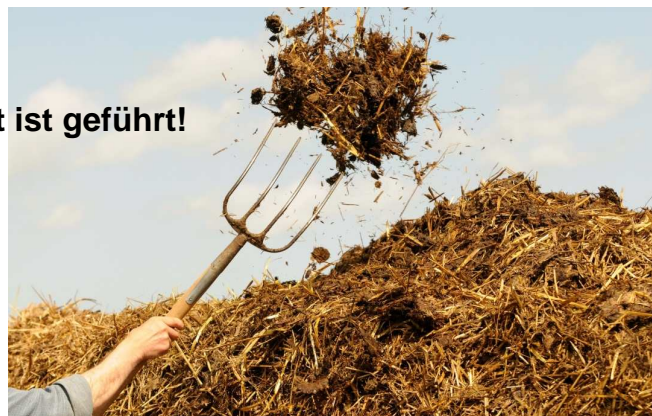
das an der Jacobs University entwickelte Verfahren »ThermalMapper« zur Erstellung von präzisen digitalen Modellen der Wärmeverteilungen und Wärmeflüssen, das hochauflösende Umgebungsscans mit thermografischen Umweltmessungen zu einem hochdifferenzierten thermografischen 3D-Modell verbindet. Hierbei erfasst ein mobiler Roboter seine Umgebung durch einen dreidimensionalen Laserscan – Innenräume, aber auch Gebäudefassaden oder ganze Straßenzüge. Gleichzeitig misst er die räumliche Verteilung der Wärmestrahlung im untersuchten Areal. Spezielle, von Jacobs-Forschern entwickelte Algorithmen errechnen dann das thermografische 3D-Modell quasi in Echtzeit.

»Mit den erhobenen Daten lassen sich virtuelle Rundgänge und Visualisierungen erzeugen, die Aufschluss über das Vorhandensein von Wärmebrücken geben und gleichzeitig Daten über ihre Form und Größe enthalten.

Dadurch sind alle relevanten Parameter des Modells bekannt, die für eine thermische Simulation und die automatische Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert, früher k-Wert) nötig sind«, sagt Andreas Nüchter, Professor of Computer Science an der Jacobs University und Leiter der Arbeitsgruppe Automation, die an dem Projekt ThermalMapper arbeitet.

Zusammenfassung

Der Mist ist geführt!



Verkaufen Sie den Mist nicht als Pralinen.

- ⇒ **Lernen Sie Ihre Kamera kennen: Machen Sie eigene Tests!**
- ⇒ **Fragen Sie Ihren Hersteller über das Driftverhalten aus.**
- ⇒ **Analysieren Sie Ihren Auftrag: Ist das Driften relevant oder nicht?**
- ⇒ **Wählen Sie den richtigen Kamera-Einschalt-Zeitpunkt.**

Folie 26