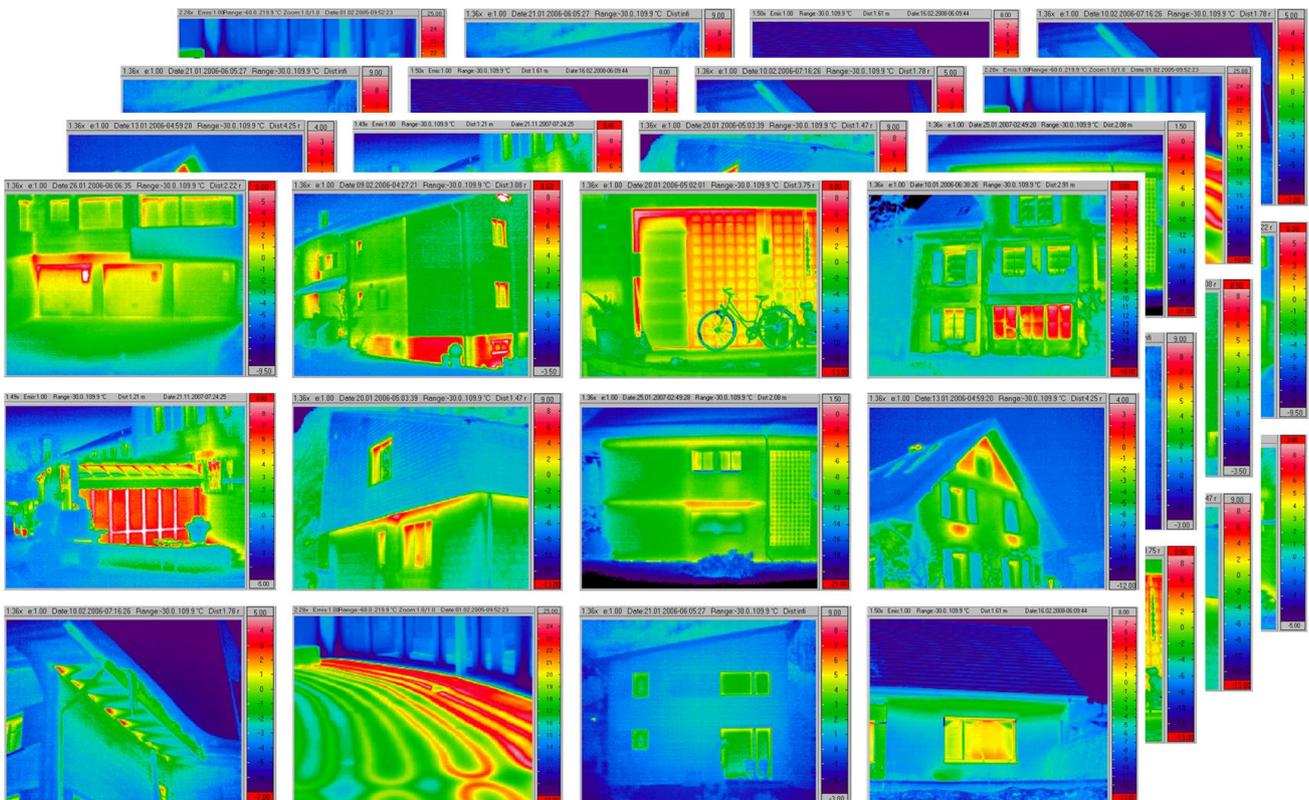


# Infrarotaufnahmen von Gebäuden



von Christoph Tanner

**Erläuterungen und Hintergründe zu den am meisten beobachteten Problemstellen bei Wärmebildern von Gebäude-Aussenaufnahmen**



# Infrarotaufnahmen von Gebäuden

---

von Christoph Tanner

---

**Erläuterungen und Hintergründe zu den am meisten beobachteten  
Problemstellen bei Wärmebildern von Gebäude-Aussenaufnahmen**

---

## Dank

Ein besonderer Dank gilt all jenen, die in irgendeiner Form am Zustandekommen dieser Broschüre beigetragen haben:

QC-Expert AG (Bildquelle)

Thermografie und Blower-Door Verband Schweiz

Empa Dübendorf

Hochschule Luzern

energieschweiz

## **Impressum:**

Autor: Christoph Tanner, dipl. Arch. HTL/FH  
Mitglied Thermografie und Blower-Door Verband Schweiz (theCH)

- |   |             |
|---|-------------|
| 1. Auflage 31.03.2009, für Empa IR-Tagung | 100 / d     |
| 2. ergänzter Nachdruck, Mai 2009          | 200 / d     |
| 3. Neubearbeitung 30.11.2009, für theCH   | 1000 / d    |
| 4. Freigabe als pdf, 05.12.2018           | theCH / bct |

© Copyright by theCH / bct

Druck und Vervielfältigung sind nur für die nichtkommerzielle Verwendung gestattet.

## **Anmerkungen zur pdf-Freigabe dieser Dokumentation**

9 Jahre nach der letzten Überarbeitung dieser Broschüre wurde vom Thermografie und Blower-Door Verband Schweiz (theCH) und dem Autor beschlossen, diese Dokumentation nicht mehr nachzudrucken. Dafür wird sie in fast unveränderter, alter Form, als pdf für die nichtkommerzielle Nutzung frei zur Verfügung gestellt. Natürlich haben sich seither diverse in der Dokumentation erwähnten Normen und Richtlinien geändert, und gewisse Aussagen zur Bildqualität oder zu IR-Kameras sind nicht mehr aktuell. Aber der überwiegende Teil des Inhalts basiert auf energetischen und bauphysikalischen Aussagen, die grundlegend sind für die Bauthermografie. Damit hat die Broschüre auch in der alten Fassung einen zeitlosen, hohen Nutzen. Sogar das Vorwort ist aus heutiger Sicht noch aktuell. Erkennbar ist die Freeware nur am neuen Verbandslogo, dem neuen theCH-Verbandsnamen, dem Impressum und einigen, kleinen Korrekturen. Nach der Freigabe von „QualiThermo“ im Jahr 2014 hat auch dieser neue Service Public den Zweck, den Interessierten aufzuzeigen, wie vielfältig, hilfreich und „feinfühlig“ die Bauthermografie sein kann. Wer dabei erkennt, wie wichtig all die Randbedingungen sind, merkt schnell, dass bauphysikalische Grundlagen notwendig sind, wenn hochwertige IR-Aufnahmen und korrekte Bildinterpretationen entstehen sollen. Garanten dafür sind die versierten Thermografen des theCH.

5. Dezember 2018, Christoph Tanner, Winterthur

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort	Erkenntnisse aus den Jahren 2005 bis 2009 .....	5
Kapitel	1.1 Garagen / Autounterstand .....	6
	2.1 Kellereingänge / Kellerfenster .....	7
	2.2 Kellergeschosse / Gebäudesockel .....	8
	3.1 Hauseingänge / Glasbausteine .....	9
	3.2 Hauseingänge / Undichte Türfugen.....	10
	3.3 Hauseingänge / Windfang.....	11
	4.1 Fenster / Wärmeverluste von alten und neuen Fenstern.....	12
	4.2 Fenster / U-Werte von Gläsern und Rahmen .....	13
	4.3 Fenster / Spiegelungen / Undichte Fugen .....	14
	4.4 Fenster / Offene Fenster / Richtig Lüften .....	15
	4.5 Fenster / Rollladenkasten / Fenstersturz.....	16
	4.6 Fenster / Geschlossene (Roll)Läden / Fensterleibungen.....	17
	5.1 Wintergärten .....	18
	6.1 Aussenwände / Ohne und mit Wärmedämmung .....	19
	6.2 Aussenwände / Hinterlüftete Fassaden.....	20
	6.3 Aussenwände / Riegelkonstruktionen .....	21
	6.4 Aussenwände / Bruchsteinmauerwerk .....	22
	6.5 Aussenwände / Betonfassaden.....	23
	6.6 Aussenwände / Temperaturunterschiede.....	24
	7.1 Wärmebrücken / Heizkörpernischen .....	25
	7.2 Wärmebrücken / Gebäudeecken.....	26
	7.3 Wärmebrücken / Deckenstirnen.....	27
	7.4 Wärmebrücken / Balkonplatten .....	28
	7.5 Wärmebrücken / Punktuelle Wärmebrücken .....	29
	8.1 Haustechnische Installationen.....	30
	9.1 Steildächer / Dachflächen 1 .....	31
	9.2 Steildächer / Dachflächen 2 .....	32
	9.3 Steildächer / Estrich- und Dachgeschosse.....	33
	10.1 Luftleckagen / Vordach-Wand .....	31
	10.2 Luftleckagen / Bauteilübergänge / Innenraumbeispiel .....	35
	10.3 Luftleckagen bei neueren Bauten.....	36
	11.1 Neue Gebäude mit wenig Wärmeverlusten .....	37
	12.1 Spezielle Effekte: Unterkühlungen .....	38
	12.2 Spezielle Effekte: Feuchtigkeit und Nässe.....	39
	12.3 Spezielle Effekte: Unbeheizte Zonen und Gebäude .....	40
	13.1 IR-Innenaufnahmen .....	41
	14.1 Beispiele weiterer Thermografieanwendungen 1 .....	42
	14.2 Beispiele weiterer Thermografieanwendungen 2.....	43
<i>Anhang</i>	<i>1 - 17.....</i>	<i>45</i>



## Vorwort

Die rasante technische Entwicklung bei den Infrarotkameras zu handlichen und kostengünstigen Geräten hat im Bereich der Gebäudethermografie zu einem regelrechten Boom geführt. Die Erstellung von thermografischen Bildern ist heute wesentlich einfacher geworden. Eine korrekte Auswertung, Darstellung und Interpretation der IR-Bilder setzen jedoch immer noch ein solides bauphysikalisches Grundwissen und detaillierte Konstruktionskenntnisse voraus. Für eine seriöse Auftragsabwicklung, bei der die vielschichtigen Randbedingungen einbezogen werden, ist ein relativ grosser Zeitaufwand erforderlich. Diese Dokumentation mit vielen IR-Musterbildern von Gebäuden gibt einen Einblick in die Problematik und Komplexität der Materie. Es werden Interpretationen zu typischen Problemfällen aus der Praxis gezeigt und es wird daraus ersichtlich, wo die Grenzen und die Möglichkeiten von energetischen Beurteilungen liegen. Damit wird im Prinzip die Forderung in der Norm EN 13187 (1998) erfüllt, welche für Beurteilungen von IR-Bildern den Beizug von Referenz-Thermogrammen verlangt.

30. November 2009

Thomas Frank, Empa Dübendorf

## Erkenntnisse aus den Jahren 2005 bis 2009

Die vorliegende Dokumentation steht mit der 3. Auflage dem Thermografie Verband Schweiz zur Verfügung. Sie wurde überarbeitet, erweitert und so umgestaltet, dass sie für alle Thermografieanwender und Energieexperten als neutrales Verbandsdokument genutzt werden kann.

Seit über 20 Jahren befasse ich mich mit der Thermografie. Anfänglich im Rahmen der Empa Abteilung Bauphysik, seit 2005 für den Empa Spin-off QC-Expert AG. Erst in diesen letzten 5 Jahren ist es dank den neuen IR-Systemen überhaupt möglich geworden, die Gebäudethermografie kommerziell anzubieten. Mittelweile konnte ich Hunderte von Gebäuden aufnehmen und erstellte eine einzigartige IR-Bildersammlung die dokumentiert, wo die Gebäudehüllen von Wohnbauten die wesentlichen Energieverluste oder wärmetechnische Schwachstellen haben.

Für die IR-Bilddarstellung wurde ein auf Erfahrung beruhendes, spezielles Auswerteverfahren entwickelt (QualiThermo<sup>®</sup>), aus dem eine nachvollziehbare Skalierung des Temperatur-Farbkeils resultiert. Ziel dieser Bildgestaltung ist es, die Intensität von spezifischen Schwachstellen - auch bei unterschiedlichen Aussen- oder Innentemperaturen - immer etwa gleich darzustellen, damit sich IR-Bilder von verschiedenen Objekten besser miteinander vergleichen lassen.

Dieses Auswerteverfahren wird im Rahmen eines BFE-Forschungsprojektes noch weiter entwickelt. Der Projektabschluss ist für 2010 geplant. Die vorliegende Dokumentation enthält jedoch auch ältere IR-Bilder, die noch nicht nach diesem Verfahren ausgewertet wurden. Aber auch bei diesen wurde das Ziel verfolgt, eine Skalierung zu wählen die möglichst vergleichbare IR-Bilder ergibt.

Hinweise zur „Meteo-Vorgeschichte“ bzw. zur Entwicklung von Lufttemperatur, Strahlung, Feuchtigkeit usw. können je nach Baukonstruktion und Fragestellung für die Interpretation der IR-Bilder sehr wichtig sein. In der vorliegenden Dokumentation werden zu den gezeigten IR-Bildern aus Platzgründen nicht auch noch alle Meteo-Daten aufgeführt. Sie sind aber archiviert und stehen bei besonderem Bedarf zur Verfügung. Ausführliche Informationen zu den Meteo-Daten siehe Anhang 9 + 10. Anmerkung: Die meisten IR-Bilder wurden mit einer IR-Kamera Typ nec TH7700 aufgenommen.

Weitere Infos zur Thermografie sind auf der Homepage des Verbandes zu finden ([www.theCH.ch](http://www.theCH.ch)).

30. November 2009

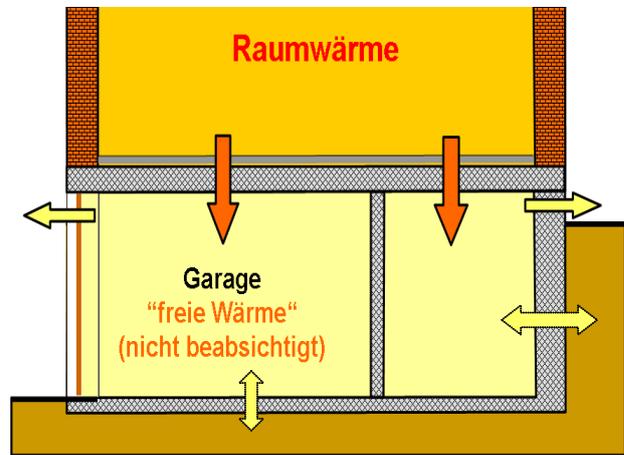
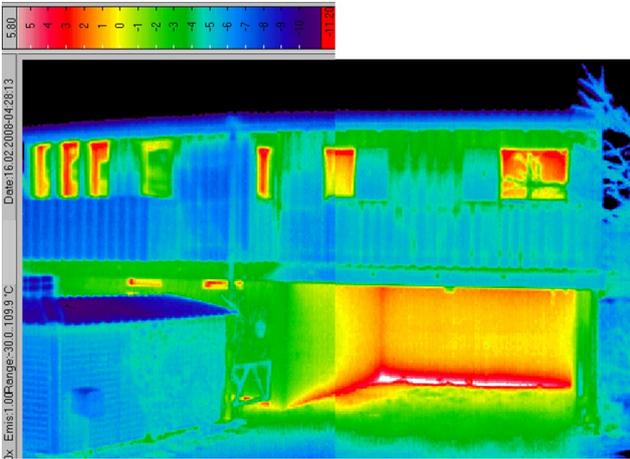
Christoph Tanner, Winterthur

## Kapitel 1.1 Garagen / Autounterstand



### Beheizte und unbeheizte Garagen

Garagen aktiv heizen oder temperieren ist im Kanton ZH verboten. Deshalb sind Garagentore auch nicht wärmedämmend und haben keine speziellen Fugendichtungen. Werden sie trotzdem beheizt oder temperiert, sind beim Tor meist hohe Temperaturen erkennbar, vor allem durch Warmluftaustritte im oberen Torbereich. Im IR-Bild links sind solche unterschiedlichen Wärmeverluste gut erkennbar. Eine mögliche Ursache ist hier aber auch das Entweichen von „freier Wärme“ durch ein noch warmes Auto.



**Grafik Mitte rechts:** In vielen Fällen sieht man am Garagentor, wie sog. „freie Wärme“ entweicht. Diese Wärme gelangt unbeabsichtigt vom Wohnraum durch den wenig oder gar nicht gedämmten Fussboden in die Kellerräume und in die Garage. Dort entweicht sie letztlich durchs Garagentor ins Freie oder durch die Kellerwände ins Erdreich. Bei sehr kalten Aussentemperaturen und gut gedämmten Kellerdecken (nur wenig „freie Wärme“ von den beheizten Räumen) kann aber auch umgekehrt die Wärme vom Erdreich in die Kellerräume abgeben werden.

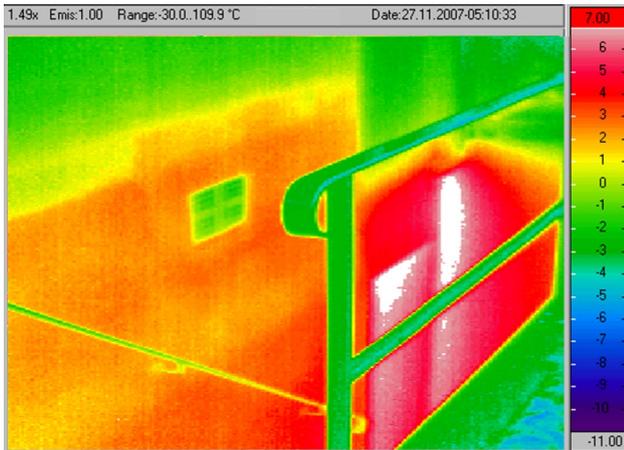
**IR-Bild Mitte:** Ein Autounterstand zeigt grosse Wärmeverluste und enorm hohe Temperaturen beim Bodenanschluss. Welches die genauen Ursachen dafür sind, ergibt sich oft erst beim Augenschein im Gebäude, bei dem speziell auch auf das Heizungskonzept geachtet werden muss.



### Unbeheizte Garage

Bei kalten Aussentemperaturen kann nicht immer schlüssig beantwortet werden, ob eine Garage temperiert (= wenig beheizt) ist oder ob sich „freie Wärme“ zeigt (Restwärme von: Autos, Gebäudekeller, Erdwärme etc.). Im IR-Bild links ist es jedoch eindeutig: Hier ist keine Wärmequelle vorhanden. Die wärmere Zone unter dem Vordach ist ein Strahlungsschatten (vgl. Kap. 12.1). Wäre die Garage teilweise oder ganz im Erdreich, so wären etwas höhere Temperaturen am Tor zu erkennen.

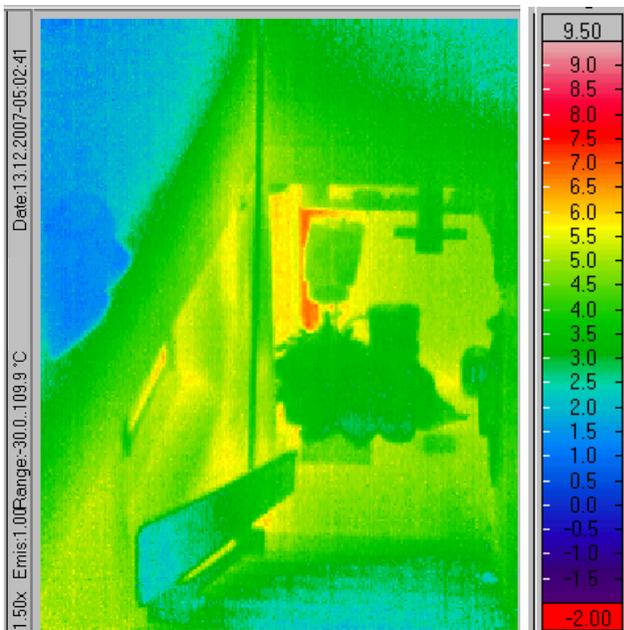
## Kapitel 2.1 Kellereingänge / Kellerfenster



### Grosse Wärmeverluste beim Kellerabgang

Die Kellertür im IR-Bild links zeigt sehr grosse Wärmeverluste. Das erkennt man daran, dass die Temperaturen höher sind, als die Maximaldarstellung der vorgegebenen Farbskalierung.

Kellertüren sind meist keine dämmtechnisch optimierten Türen und haben deshalb wie hier oft sehr grosse Wärmeverluste. Auch die Kellerwand links der Tür zeigt grosse Wärmeverluste (Ursachen siehe folgendes Kapitel „Kellergeschosse / Gebäudesockel“).

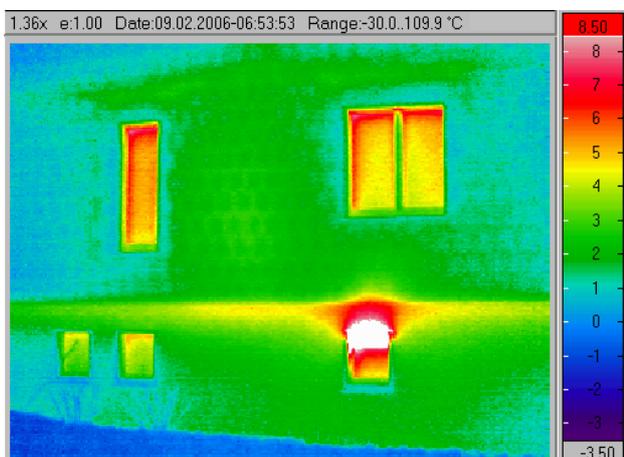


### Geringe Wärmeverluste beim Kellerabgang

Der Kellerabgang und die Kellertür im IR-Bild links zeigen normale bzw. leicht erhöhte Temperaturen gegenüber der Lufttemperatur.

**Wände gegen Erdreich** Diese Wände sind normalerweise aus Beton und zeigen meist erhöhte Temperaturen. Die Ursache liegt u. a. bei der Erdwärme, die in der kalten Jahreszeit Energie an den gut wärmeleitenden Beton abgibt und so die äusseren Oberflächen warm hält, in der Regel deutlich über der nächtlichen Lufttemperatur. Kurzfristige, extreme Kälteperioden verstärken die Auswirkungen der Erdwärme und erschweren die Interpretation bei Gebäudesockeln und Kellerwänden.

Optimale IR-Aufnahmen ergeben sich bei tagelang gleichmässigen Temperaturen.

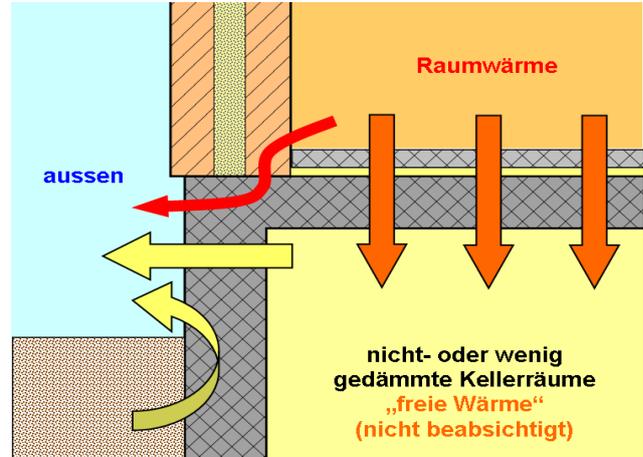


### Offene Kellerfenster

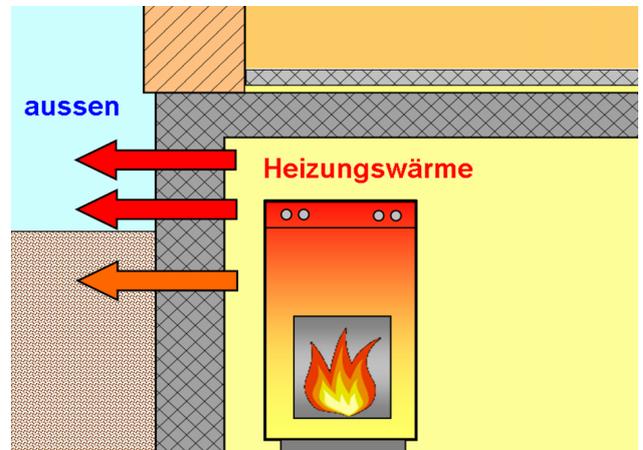
Offene Kellerfenster sind ein heikles Thema: Je nach Situation muss deren Stellung (offen / zu) individuell abgeklärt werden:

- Schimmelpilze an den Kellerwänden oder muffiger Geruch: Winter offen, Sommer zu.
- Energieverluste: Winter geschlossen, Sommer nicht relevant.
- Luftdichtigkeit der Gebäudehülle: immer geschlossen.
- Luftzufuhr für Heizung: Immer offen, inkl. Sommer, wenn das Warmwasser mit der Heizung erzeugt wird.
- Radon (gefährliches Gas aus dem Boden): Immer offen.

## Kapitel 2.2 Kellergeschosse / Gebäudesockel



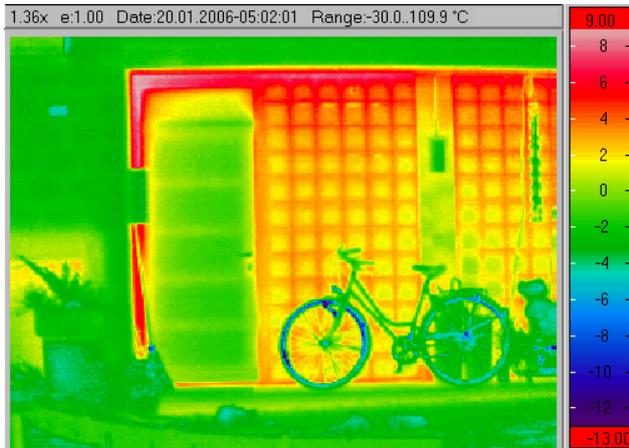
„Heisse“ Kellerwand IR-Bild oben: Oft sind starke Wärmequellen wie Heizung, Boiler, Waschmaschine, Tumbler etc. im Keller platziert. Aber auch mancher Hobbyraum soll nicht kalt bleiben. Da Kellerwände bei älteren Gebäuden meist aus Beton sind - ohne irgendeine Wärmedämmung - ergeben sich dort hohe Energieverluste. Auch „freie Wärme“, die vom Wohnraum durch den wenig oder gar nicht gedämmten Fussboden in den Keller gelangt, entweicht letztlich durch die Kellerwände ins Freie oder ins Erdreich. Verluste ins Erdreich können sehr gross sein, was aber mit IR-Bildern von aussen nur bedingt zu erkennen ist. Sind die Kellerwände auch noch feucht, so erhöht das den Wärmeabfluss zusätzlich. Bei Kellerwänden / Gebäudesockeln ist es schwierig, von aussen zu erkennen, ob sie feucht sind oder ob eine Wärmequelle erhöhte Temp. erzeugt (vgl. Kap. 12.2).



### Wärmequelle an der Aussenwand

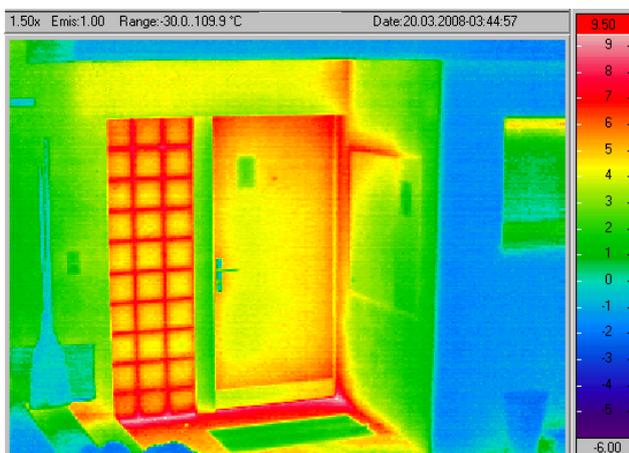
IR-Bild Mitte: Detailaufnahme vom IR-Bild oben. Sichtbar sind sehr grosse örtliche Wärmeverluste durch die Wand. Ursache: Hinter der Wand steht ein alter Heizkessel mit hohen Wärmeverlusten, der die ungedämmte Aussenwand stark erwärmt. Das gleiche Phänomen zeigt sich auch bei den ungedämmten Heizkörpern im Wohnbereich (vgl. Kap. 7.1).  
 IR-Bild links: Gleiche Ursache: Hier entweicht die Wärme primär ins Erdreich, sichtbar ist nur noch der oberste Teil des Gebäudesockels.

## Kapitel 3.1 Hauseingänge / Glasbausteine



### Wärmeverluste durch Glasbausteine

IR-Bild links: Hohe Verluste durch die Glasbausteine, mässiger Wärmeverlust durch die Tür. Einfache Glasbausteine sind 8 bis 10 cm dick und erzeugen erhebliche Wärmeverluste. Die Fugen sind meist einfache Mörtellagen und bilden damit meterweise zusätzliche, linienförmige Wärmebrücken. Wände mit Glasbausteinen, die in den 70er bis 90er Jahren eingebaut wurden, weisen U-Werte von 3 bis 3.5 W/m<sup>2</sup>·K auf (vgl. mit den Fensterbewertungen in Kap. 4.2).



IR-Bild Mitte: Nicht nur die Glasbausteine, sondern auch die Eingangstür zeigt hier grosse Wärmeverluste.

Die höchsten Temperaturen sind am Boden, im Bereich der Türschwelle. Wahrscheinliche Ursache: Durchlaufender Betonboden (= Wärmebrücke). Für die genaue Ursachenerhebung sind die konstruktiven Details vor Ort zu überprüfen, wenn möglich unter Bezug der Konstruktionspläne.

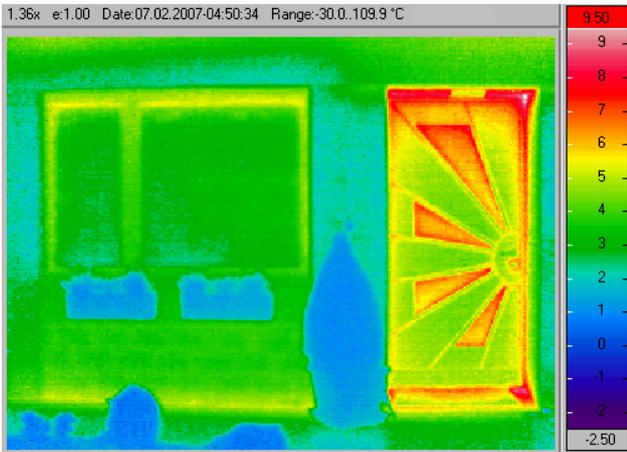
Oft ist es schwierig, bei älteren Gebäuden für alle Wärmebrücken ökonomische Sanierungslösungen zu finden.



IR-Bild unten: Glasbausteine die Licht in ein Treppenhaus bringen. Im Gegensatz zu den hohen äusseren Oberflächentemperaturen zeigen sich innen entsprechend tiefe Oberflächentemperaturen. Dies kann je nach Innenraumklima (Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit) auch zu Schimmelpilzbildung führen, meist beginnend bei den unteren Mörtelfugen und in den Ecken.

Zum Fenster im IR-Bild links: Altes Fenster, 2-IV (ohne Wärmeschutzglas).

## Kapitel 3.2 Hauseingänge / Undichte Türfugen

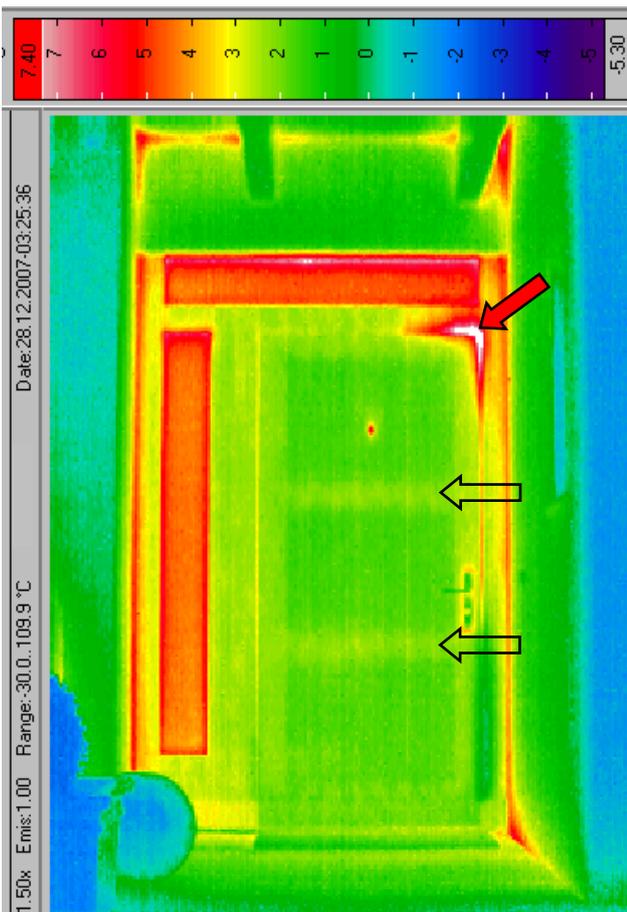


### Glaseinlagen bei Eingangstüren

Bei vielen Gebäuden ist der Hauseingang ein energetischer Schwachpunkt. Besonders die in der Tür oder im Nebenflügel eingebauten Gläser weisen bei weitem nicht immer den Wärmeschutz der heutigen Standardgläser auf.

Die IR-Bilder links zeigen deutlich erhöhte Temperaturen bei den eingesetzten Isoliergläsern. Die Ursache ist auch in der speziellen Glasform zu finden: Die konstruktionsbedingten Wärmebrücken der Glasränder (Glasrandverbund) summieren sich zu hohen Wärmeverlusten auf, da bei diesen Scheibenformen viel Glasrandanteil vorhanden ist.

Das IR-Bild oben zeigt schön den Unterschied: Links der Tür ist ein Fenster mit Wärmeschutzglas nach heutigem Standard eingesetzt.



### Undichte Türfugen

Das Türblatt im IR-Bild links entspricht einem üblichen, älteren Wärmedämmstandard.

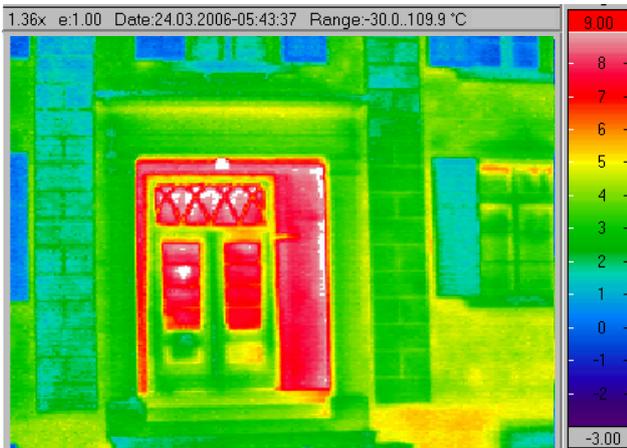
⇨ Im IR-Bild zeichnen sich schwach die inneren Konstruktionshölzer des Türblattes ab.

⇨ Sind wie hier bei den Türändern und / oder Ecken partiell deutlich höhere Temperaturen ersichtlich, so sind das Warmluftaustritte durch undichte Fugen. Überprüfung der Dichtungen: empfohlen!

Achtung: Undichte Fugen können aber auch unten am Türblatt sein. Diese sind mit IR-Bildern von aussen meist nicht ersichtlich, da dort nicht Warmluft ausströmt, sondern Kaltluft eintritt. Weitere Infos zur Visualisierung von Kaltlufteintritten: siehe Innenaufnahmen Kap. 10.2

Zur Verglasung neben- sowie über der Tür: Wenig dämmende, alte Isolierverglasung.

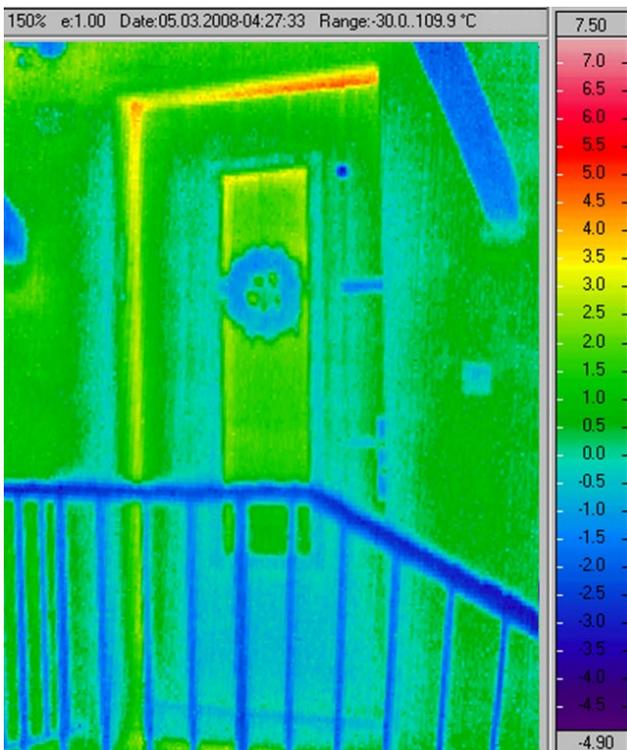
## Kapitel 3.3 Hauseingänge / Windfang



### Hauseingänge mit Windfang

Es gibt verschiedene Arten von Hauseingängen mit unterschiedlichen Windfangkonzepten:

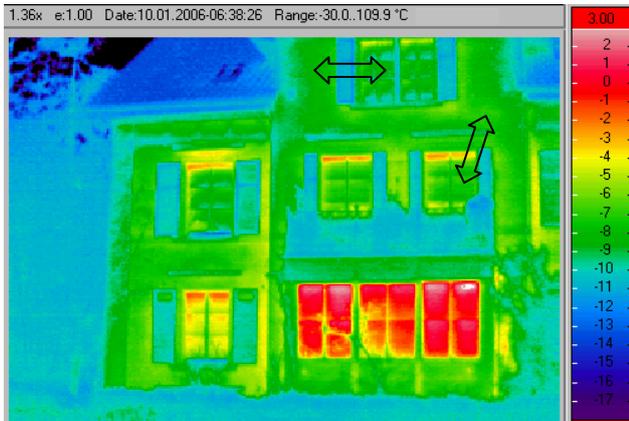
Im IR-Bild links ist hinter der Haustür ein beheizter Raum mit normalen, evtl. sogar erhöhten Raumtemperaturen. In diesem Fall sollte die Tür gut gedämmt sein und vor allem auch dichte Abschlussfugen haben (wegen den Warmluftverlusten). Das IR-Bild zeigt jedoch eine alte, ungedämmte Tür mit Einfachverglasung, was entsprechend grosse Wärmeverluste ergibt.



### Der Windfang wirkt wie ein Wintergarten

IR-Bild links: Ist wie hier hinter der Haustür ein unbeheizter, vom Wohnbereich abgetrennter Windfang, so übernimmt dieser eine wärmetechnische Pufferfunktion, gleich wie bei einem Wintergarten. Damit ist die äussere Oberflächentemperatur der Haustür deutlich geringer und damit die Wärmeverluste kleiner, auch wenn die Tür alt ist und nicht speziell gut dämmend wirkt.

## Kapitel 4.1 Fenster / Wärmeverluste von alten und neuen Fenstern



### Alte und neue Fenster

Die IR-Bilder 1 und 2 zeigen mit rot und gelb alte DV- und IV-Scheiben. Bei den grünen Gläsern im Obergeschoss von IR-Bild 1 handelt es sich jedoch um neue Wärmeschutzgläser (WS). Fenster sind gegenüber den Wänden fast immer eine wärmetechnische Schwachstelle. Werden aber neue Fenster (hier im OG) bei alten, ungedämmten Wänden eingesetzt, so ergeben sich ähnliche Dämmwerte und damit ähnliche Oberflächentemperaturen (  $\longleftrightarrow$  ).



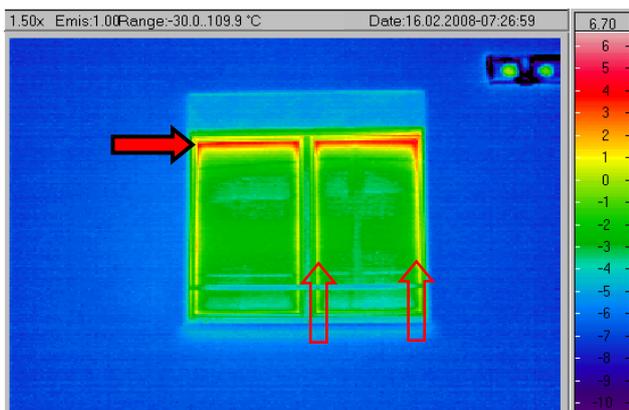
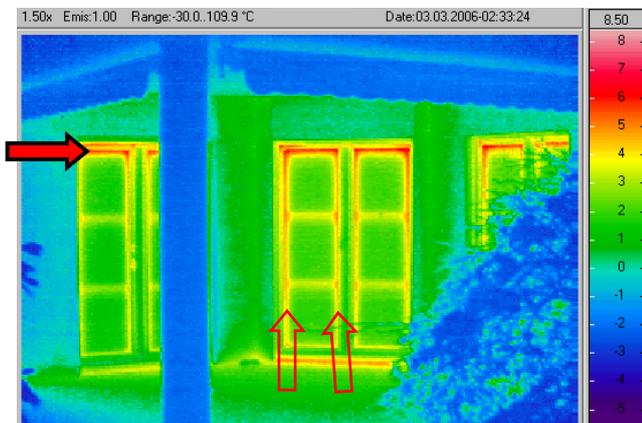
Auch die IR-Bilder 3 und 4 (unten) zeigen neue Fenster. Dort ist knapp erkennbar, dass die  $\rightarrow$  rotgelben Linien primär vom Glasrandverbund stammen. Mit mehr Distanz verschwindet diese Information und es zeigt sich nur noch eine erhöhte Rahmentemperatur. (Distanz-Effekt: vgl. Anhang 7).

Alte Fenster haben die grössten Wärmeverluste beim Glas und bei den Fugen. Bei neuen Fenstern mit WS-Glas sind die schwächsten Stellen der Glasrandverbund und der Fensterrahmen. Diese beiden linienförmigen Elemente liegen so nahe zusammen, bzw. ineinander, dass sie mit der geometrischen Auflösung der IR-Kamera meist nicht mehr genügend unterschieden werden können. Vor allem bei Glasrändern mit Aluminium zeigen sich wegen der guten Wärmeleitung von Alu höhere Temperaturen als dies vom Rahmen her erwartet wird.

### Erhöhte Temperaturen oben am Fenster

$\rightarrow$  Zeigen sich im oberen Bereich der Fenster (beim Sturz) erhöhte Temperaturen, so ist das eine physikalisch natürliche Erscheinung, die bei jedem Objekt etwas unterschiedlich ist, da folgende Ursachen verschieden stark auftreten:

1. Auf der Innenseite sind die Temperaturen wegen der Temperaturschichtung im Raum oben ebenfalls höher als unten.
2. Im Gegensatz zum Kaltluftabfall auf der Glas-Innenseite gibt es aussen auf der Glasoberfläche eher aufsteigende Warmluft.
3. Der Fenstersturz schützt (wie ein Vordach) den oberen Fensterbereich vor Abstrahlung bzw. Unterkühlung und kann sich auch noch im obersten Glasbereich spiegeln (vgl. Kap. 4.3).



## Kapitel 4.2 Fenster / U-Werte von Gläsern und Rahmen

Glasart	Dämmwert $U_g$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
Einfachverglasung (EV) 1 Glasscheibe	ca. 6.0
EV mit zusätzlichem Vorfenster	ca. 3.0
Doppelverglasung (DV) 2 Glasscheiben, Flügel aufschraubbar	2.6 bis 2.8
Isolierverglasung 2-fach (2-IV) 2 Gläser, 1 Luftzwischenraum Verwendung ab ca. 1960	ca. 2.8
Isolierverglasung 3-fach (3-IV) 3 Gläser, 2 Luftzwischenräume Verwendung ab ca. 1975	1.8 bis 2.1
Wärmeschutzgläser (2-IV-WS) 2 Gläser, mit Argonfüllung und 1 IR-Beschichtung Verwendung ab ca. 1990 (= heutige Standardgläser)	1.1 bis 1.6
Wärmeschutzgläser (3-IV-WS) 3 Gläser, mit Argonfüllung und 2 IR-Beschichtungen	0.6 bis 0.8
Spezialgläser	< 0.6

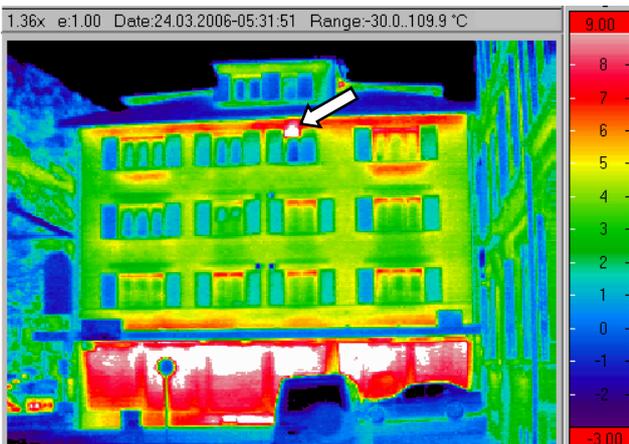
**Achtung:** Der Wärmeverlust eines ganzen Fensters ( $U_w$ ) besteht aus den 3 Teilwärmeverlusten

- Glasfläche (mit  $U_g$ )
- Rahmen (mit  $U_f$ )
- sowie dem linearen Wärmeverlust des Glasrandanteils ( $\psi$ -Wert).

### Vorsicht bei Fensterbeurteilungen!

Unterschiedliche Fenstertemperaturen bedeuten nicht zwingend verschiedene Fensterqualitäten: Unterschiedliche Raumtemperaturen (z.B. wärmere Badezimmer), unter den Fenstern liegende Heizquellen, zugezogene Vorhänge oder Spiegelungen im Glas können auch gleiche Fensterqualitäten unterschiedlich erscheinen lassen. Für gesicherte Aussagen zu Fenstern sind deshalb in der Regel Hintergrundinformationen notwendig.

So oder so ist immer auch zu beachten, dass je nach Bildarstellung und Aufnahmedistanz erhebliche Unterschiede entstehen können (vgl. Anhang 4 und 7).



### Übersicht zu Wärmeverlusten bei Fenstern

Die Tabellen zeigen in einfach reduzierter Form die Dämmwerte ( $U$ -Werte) von verschiedenen Gläsern und Fensterrahmen.

Mit IR-Aufnahmen können keine klaren Zuweisungen gemacht werden, aber bei guten Aufnahmebedingungen (Meteo und Raumtemperaturen) ist meist erkennbar, ob es sich um alte Einfachverglasungen bzw. alte DV- oder IV-Gläser handelt (  ) oder ob neuere Wärmeschutzgläser vorhanden sind. (  ).

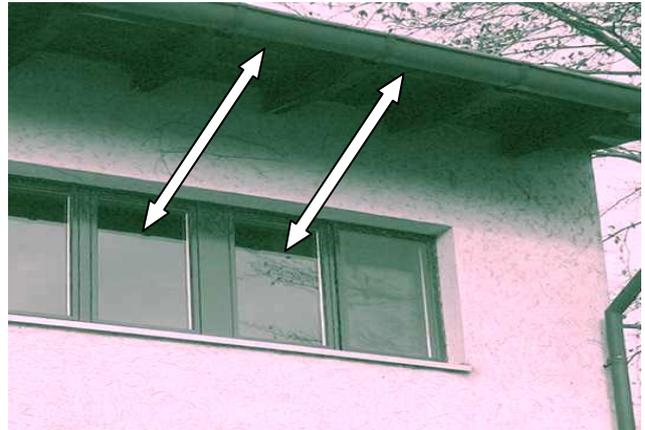
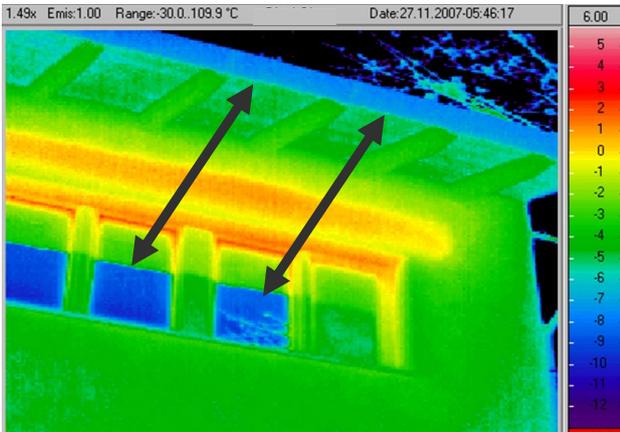
Rahmenart	Dämmwert $U_f$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
handelsübliche Holzrahmen (Rahmendicke = ca. 54 bis 70 mm)	1.3 bis 1.8
handelsübliche Holz-Metallrahmen (Rahmendicke = ca. 60 bis 80 mm)	1.4 bis 1.8
handelsübliche Kunststoffrahmen (Rahmendicke = ca. 58 bis 74 mm)	1.2 bis 1.8

**Anmerkung:** Es ist bekannt, dass es vom Raumklima her kritisch wird (→ Feuchtekonzentration mit erhöhtem Schimmelpilzrisiko), wenn neue, dichte Fenster in alte Gebäude mit ungedämmten Wänden eingebaut werden. In diesen Fällen sind unbedingt flankierende Massnahmen vorzusehen! Weitere Informationen dazu: Siehe Kap. 4.4 „Richtig Lüften“.

### Schaufenster mit Einfachverglasung

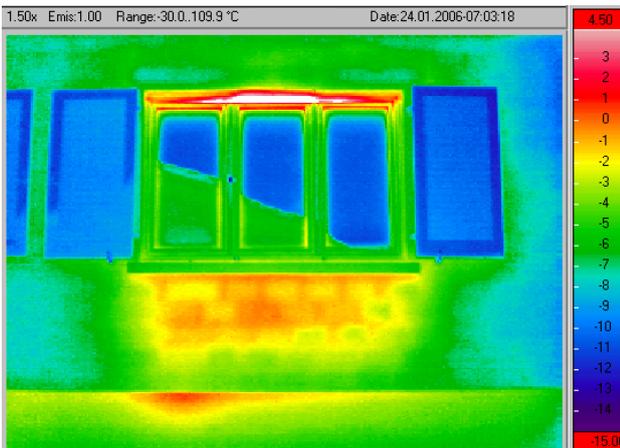
Schaufenster haben oft noch Einfachverglasung und damit 5 bis 6-fach höhere Energieverluste als heutige 2-IV-WS-Gläser. Dazu wird raumseitig meist besonders stark geheizt (das kann auch durch intensive Beleuchtung erfolgen), so dass die Wärmeverluste sehr hoch werden. Im IR-Bild links sind diese hohen Temperaturen nicht mehr innerhalb des Farbkeils. Die Farbe Weiss ist damit gleichbedeutend mit Alarm! ( ⇨ störende Strassenlampe im Vordergrund).

## Kapitel 4.3 Fenster / Spiegelungen / Undichte Fugen



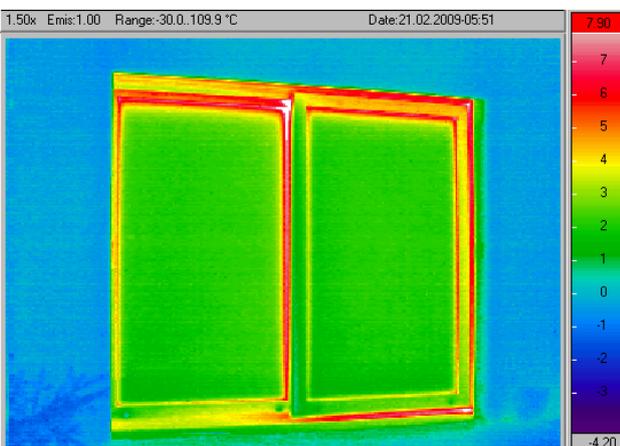
### Spiegelungen in den Fenstergläsern

Bei hoch liegenden Fenstern können sich im oberen Glasbereich der „warme“ Dachvorsprung und/oder der Fenstersturz spiegeln. Das ist bei Tag auch von Auge aus erkennbar (Foto oben). Darunter spiegelt sich hier im Glas der „kalte“ Himmel, was sehr stark in Erscheinung tritt.



Auch im IR-Bild links spiegelt sich der Himmel. Darunter erscheint jedoch ein bewaldeter Berghang. Zum Vergleich: IR-Bild 1 in Kap. 7.1 zeigt das gleiche Fenster, mit anderem Standort, so dass sich nur noch der Berghang mit seiner Umgebungstemperatur spiegelt. Für Fensterbeurteilungen sind Himmelsreflexionen ungünstig. Spiegelungen sind je nach Material und Betrachtungswinkel sehr unterschiedlich. Bei Gläsern können sie meist gut erkannt werden (weitere Informationen dazu siehe Anhang 6).

**Undichte Fugen** Beim IR-Bild links sind am oberen Fensterrahmen örtlich hohe Temperaturen erkennbar. Der Grund liegt bei einer undichten Fuge mit Warmluftaustritten. Undichte Fugen können aber auch unten am Fenster sein. Dort sind sie jedoch meist nicht sichtbar, weil dort nicht Warmluft ausströmt, sondern Kaltluft eintritt. Weiteres zu undichten Fensterfugen: siehe Kap. 10.3



### Hebeschiebetüren

IR-Bild links: Bei Hebeschiebetüren ist bekannt, dass sie oft nicht genügend luftdicht sind. Sind bei Windlage Zugserscheinungen spürbar, so ist eine Kontrolle / Verbesserung der Dichtung sinnvoll.

## Kapitel 4.4 Fenster / Offene Fenster / Richtig Lüften



### Offenes Fenster in Kippstellung

IR-Bild links: Durch das gekippte Fenster entweicht warme Luft.  $\Rightarrow$  Sie steigt und erwärmt oben auch noch ein wenig das grosse Vordach. Ständig geöffnete Fenster (z.B. in Kippstellung) verschwenden viel Energie durch Lüftungswärmeverluste. Eine Berechnung (Quelle: energieschweiz) ergibt, dass ein ständig gekipptes Fenster während der ganzen Wintersaison einen zusätzlichen Heizölverbrauch von ca. 200 Litern ergibt. Also: Lüftungsmerkbblätter beachten und richtig lüften (vgl. folgender Text).



### Richtig Lüften

Das SIA Merkblatt 2023 beschreibt „richtig lüften“ bei reiner Fensterlüftung folgendermassen: 4 - 6 Stosslüftungen pro Tag. Bei einseitiger Lüftung 10 - 15 Minuten lang, bei Querlüftung 3 - 5 Minuten lang. Dadurch entweicht nur wenig Energie und es gelangt viel Frischluft in die Räume. Ungenügendes Lüften kann zu Schadstoffkonzentrationen und Feuchteproblemen (Schimmelpilz) führen.

IR-Bild Mitte: Hinter den Jalousieläden ist der linke Fensterflügel in Kippstellung. Das Foto unten zeigt eine solche Situation mit offenen Läden. Wie sinnvoll und notwendig es ist, dass in Winternächten die Schlafzimmerfenster offen sind, ist ein heikles Thema. Vorschriften dazu gibt es nicht, jedoch sind viele Bewohner erfahrungsgemäss nicht orientiert, wie, wo und wie lange man richtig lüftet.

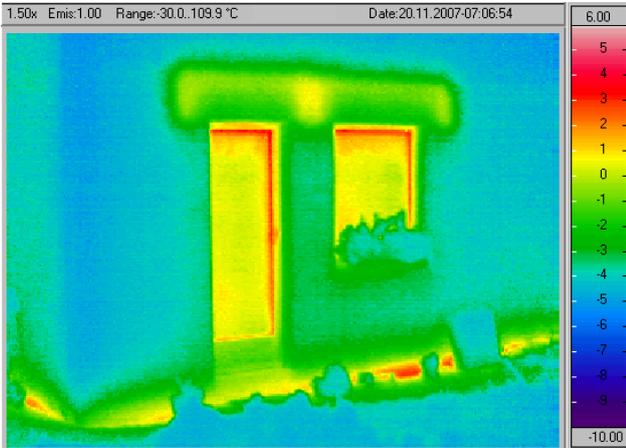


### Kontrolle der Luftfeuchtigkeit

Wird in dichten Gebäuden zu wenig gelüftet so steigt die Luftfeuchtigkeit an. Eine Luftfeuchtigkeit von 30 - 50 % wird als ideal angesehen, ab 60 % und spätestens, wenn der untere Rand der Fensterscheiben im Innenraum Kondensaturspuren zeigt, sollte gelüftet werden.

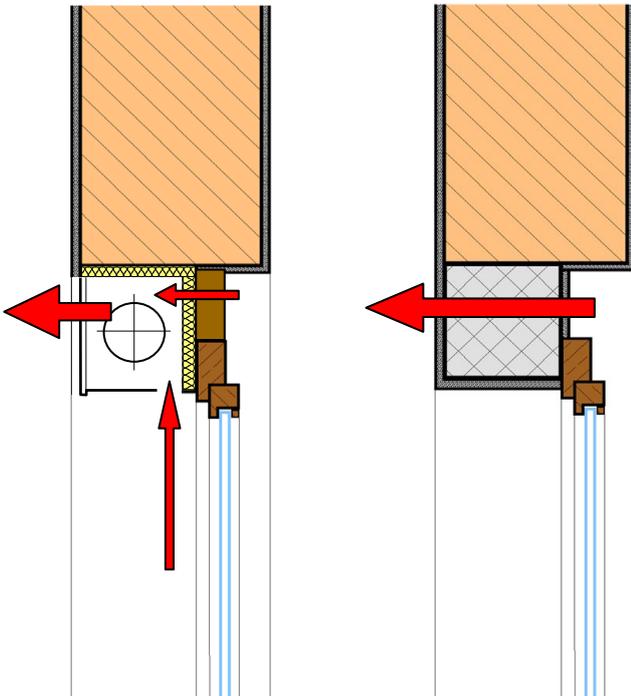
Energieeffiziente neue Wohnbauten (z.B. MINERGIE) haben kontrollierte Wohnungslüftungen. Integriert ist dort eine Wärmerückgewinnung (WRG). Dabei wird die Wärme der verbrauchten Raumluft an die einströmende Frischluft übergeben.

## Kapitel 4.5 Fenster / Rollladenkasten / Fenstersturz



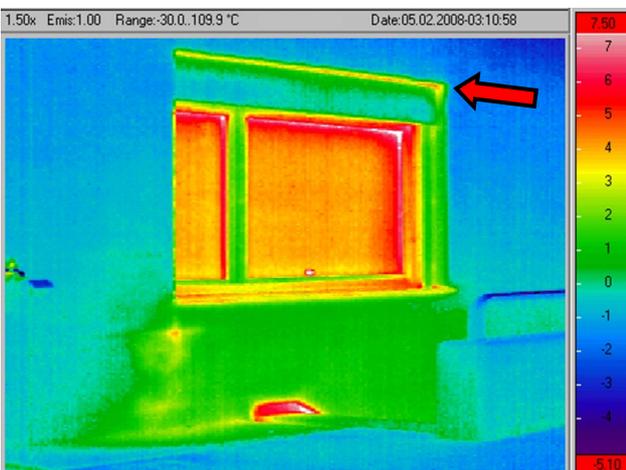
### Rollladenkasten

IR-Bild links: Rollladenkasten sind auf IR-Bildern oft gut erkennbar. Einerseits sind sie wärmetechnisch meist etwas weniger gut gedämmt als die normale Aussenwand, andererseits staut sich darin die aufsteigende Abwärme der Fenster (vgl. Kap. 4.1: erhöhte Temperaturen oben am Fenster).



Grafiken links: Manchmal gibt es unterschiedliche Ursachen für ein fast identisches Erscheinungsbild:

Grafik links: Ein Rollladensturz (vgl. Text oben).  
Grafik rechts: Eine Wärmebrücke, verursacht durch einen ungedämmten (Beton-) Sturz über dem Fenster.



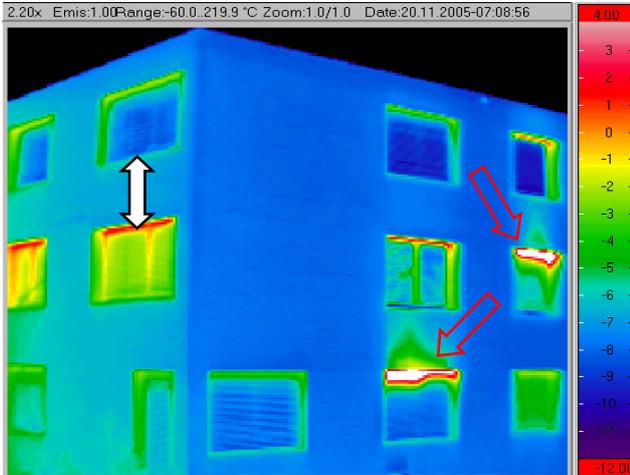
### Altes Fenster mit Rollladenkasten

Im IR-Bild links sind 2 Phänomene überlagert:  
1. Das alte DV-Fenster zeigt die Situation wie bei der Grafik Mitte links.

2. Da jedoch der Himmel klar ist, kann die dünne, leichte Blende sehr viel Energie abstrahlen und wird dadurch kalt (vgl. Thema Unterkühlungen, Kap. 12.1). Lediglich am oberen Rand der Blende dringt bei einem Spalt (  ) etwas warme Luft nach aussen und erwärmt dort die Oberflächen.

(Im Weiteren zu erkennen: Wärmeverluste der Heizkörpernische, vgl. Kap. 7.1).

## Kapitel 4.6 Fenster / geschlossene (Roll)Läden / Fensterleibungen



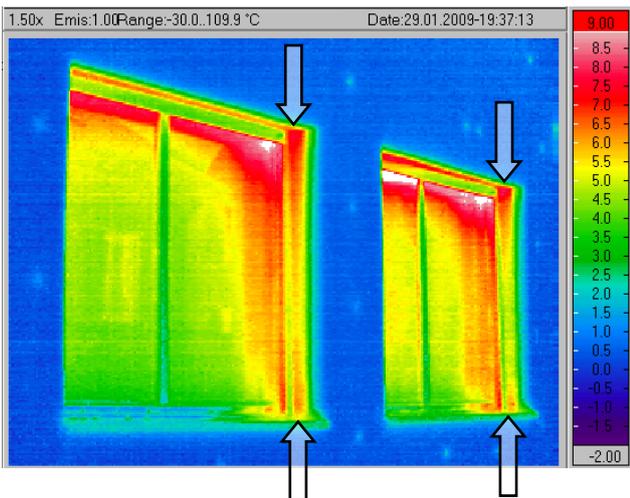
### Läden schliessen = weniger Energieverluste

Im IR-Bild links sind die Rolllädenkasten nicht mehr erkennbar. Gut ersichtlich ist jedoch, dass die geschlossenen Rollläden eine erhebliche Verbesserung des Wärmeschutzes bewirken. Rolllädenhersteller sprechen von Energieeinsparungen von bis zu 20 %.

Bei neuen Wärmeschutzverglasungen ist das absolut gesehen natürlich wesentlich weniger, als bei alten DV oder IV-Verglasungen.

So oder so: Geschlossene Roll- oder Jalousieläden verbessern den nächtlichen Wärmeschutz (vgl.  $\leftrightarrow$ ), sofern dahinter nicht die Fenster zwecks lüften offen stehen.  $\rightarrow$  Siehe

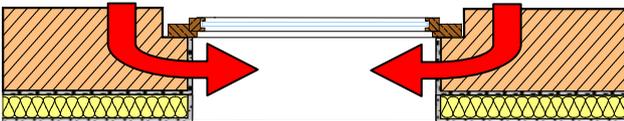
Beispiele auf der rechten IR-Bildseite.



### Fensterleibungen

IR-Bild links: Wird bei einer Sanierung eine Aussenwärmedämmung angebracht, so bleiben oft die  $\rightarrow$  Fensterleibungen wenig oder nicht gedämmt, weil dafür der notwendige Platz fehlt. Das ergibt eine klassische Wärmebrücke (Siehe erläuternde Grafik unten).

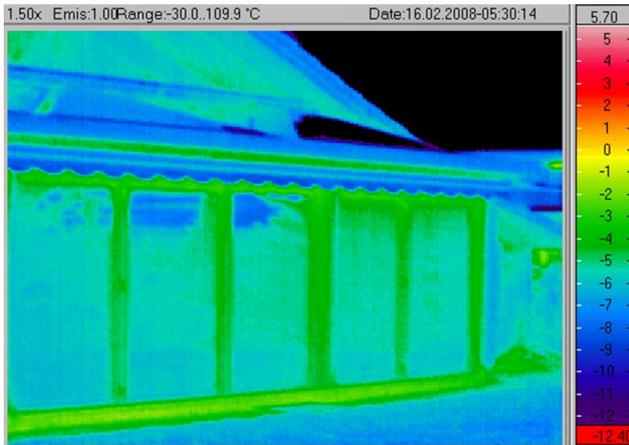
IR-Bild links auch erkennbar: Die Dämmstoffdübel der Wärmedämmung (vgl. Kap. 7.5) sowie Spiegelungen in den Gläsern und Warmluftaustritte am oberen Fensterfalz.



Grafik links: Grundriss-Grafik mit Darstellung der Wärmebrücken bei den Fensterleibungen.

Das Gleiche gilt für ungedämmte Fassadenansätze, Beispiel siehe Kap. 7.4.

## Kapitel 5.1 Wintergärten



### Für Wintergärten gibt es 3 Konzepte

#### 1. Der echte Wintergarten

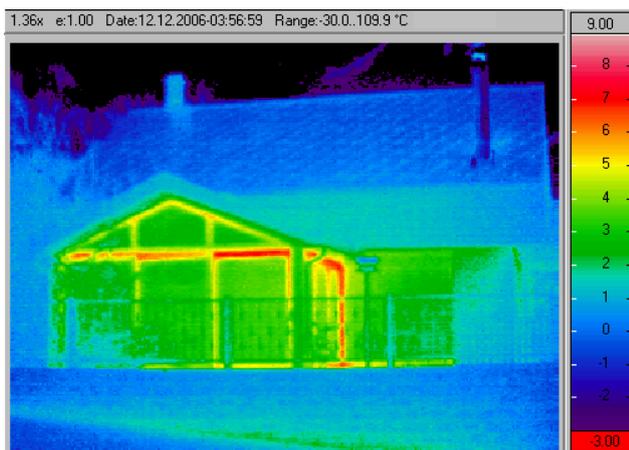
Er hat keine Heizung und bekommt nur Abwärme vom Hauptgebäude sowie Einstrahlung von der Sonne. Er dient als thermischer Pufferraum. Es gibt keine wärmetechnischen Anforderungen.

#### 2. Verglaste, temperierte Bereiche

Die Heizung hat hier nur Frostschutzfunktion (max. 10 °C). Es gibt keine Wärmedämmvorschriften, aber der Bereich wird für die Ausnutzungsziffer mitgezählt.

**3. Beheizte Wintergärten (= Wohnraumerweiterung)** Hier gelten die normalen Vorschriften für Wohnräume, auch bei den Fenstern.

*Zu beachten: die lokalen Bauvorschriften!*

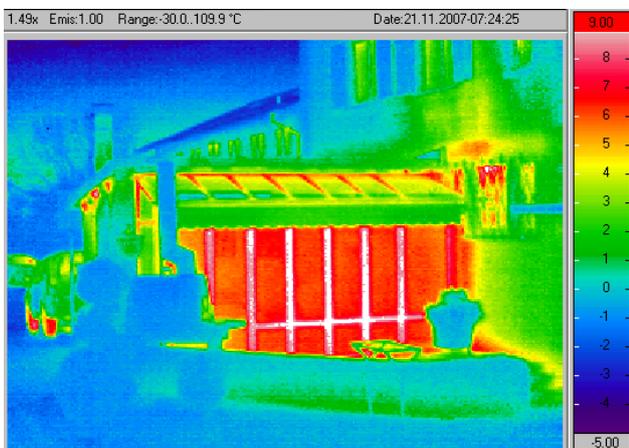


#### 1. Beispiel, IR-Bild oben

Unbeheizter Wintergarten. Lediglich „freie Wärme“ (Abwärme vom Hauptgebäude und Bodenwärme) führen zu leicht erhöhten Temperaturen bei den Fensterrahmen. Gutes Beispiel.

#### 2. Beispiel, IR-Bild Mitte

Temperierter Wintergarten. Die grossen Glaschiebetüren entsprechen nicht den normalen wärmetechnischen Ansprüchen für Wohnräume (das müssen Sie hier auch nicht). Deshalb entweicht hier relativ viel Warmluft (bzw. temperierte Luft bis ca. 10 °C) über die undichten Fugen.



#### 3. Beispiel, IR-Bild unten

Ein Wintergarten, der als unbeheizter thermischer Pufferraum geplant wurde (vgl. oben: Punkt 1). Dieser Wintergarten muss vom Konzept her keine gut dämmenden Fenster haben. Der Energieverlust ist hier aber extrem gross, weil der Wintergarten entgegen diesem Planungskonzept voll beheizt wird (im schlimmsten Fall noch mit Elektroheizung).

## Kapitel 6.1 Aussenwände / Ohne und mit Wärmedämmung



### Ungedämmte und gedämmte Aussenwand

Das Bild links zeigt den Unterschied: Der grüne Fassadenbereich (links) ist ohne -, der blaue Bereich mit einer verputzten Aussenwärmedämmung (AWD) versehen.

Heutige Dämmstärken: Mit konventioneller AWD bis 20 cm (oder mehr).

Im AWD Bereich wurden auch die Fenster erneuert. Damit zeigt sich im IR-Bild sehr schön, wie neue Fenster (hier ein Standardmodell mit 2-fach Wärmeschutzglas) etwa die gleichen Oberflächentemperaturen wie alte Wände erreichen. Fenster haben generell weniger Wärmedämmpotenzial als Wände (vgl. Kap. 4.2).



### Nicht saniert / saniert, Beispiel DEFH

Das Beispiel links zeigt die analoge Situation wie oben an einem Doppel-EFH.

Allerdings: Beim noch nicht sanierten Haus links wurden im OG die Fenster erneuert.

Sie erscheinen gleich wie die neuen Fenster im EG des rechten Hausteils.

Werden die Jalousieläden geschlossen, kann mit IR-Bildern nur noch erkannt werden, ob dahinter das Fenster offen ist oder nicht.



### Altes und neues EFH

Diese beiden EFH stehen nicht nebeneinander, repräsentieren aber ebenfalls sehr gut die unterschiedlichen Oberflächentemperaturen und damit die Energieverluste von alten und neuen Gebäuden.



### Ohne und mit wärmender Jacke

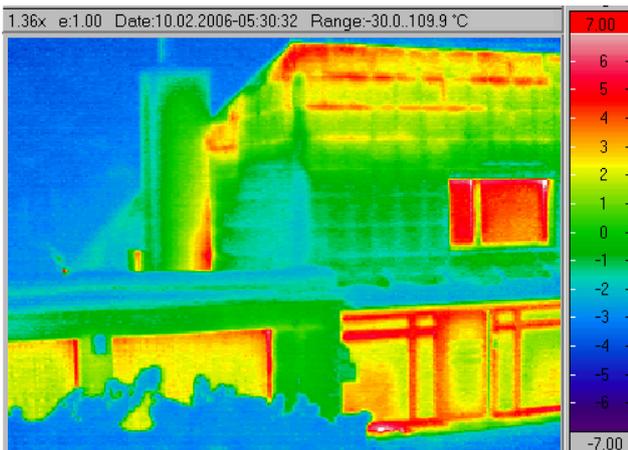
Nicht anders sieht es beim Mensch aus. Bei kalten Temperaturen verliert Mann im T-Shirt viel mehr Wärme, als mit der gut wärmedämmenden Jacke.

## Kapitel 6.2 Aussenwände / Hinterlüftete Fassaden



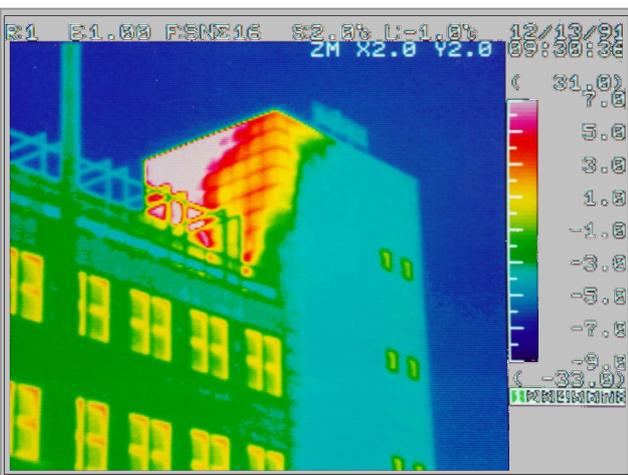
### Hinterlüftete Fassaden (HF)

IR-Bild links: Eine im Erdgeschoss nur wenig gedämmte Aussenwand (Mauerwerk). Das OG ist mit einer HF (mit Eternit) versehen und erscheint im IR-Bild kalt. Bei solchen HF kann nicht alles Gewünschte erkannt werden. Konstruktionsbedingt sind die Wärmebrücken der tragenden (und evtl. dämmenden) Wand nicht erkennbar, da die äussere Bekleidung von Aussenluft hinterströmt wird und daher kalt ist. Hat die Wand jedoch Leckstellen, bei denen warme Innenluft nach aussen strömt, so sind diese trotzdem erkennbar (siehe Bild Mitte). Bildet die Unterkonstruktion der HF starke Wärmebrücken, so können auch diese erkannt werden (siehe Kap. 7.5).



### Warmluft in hinterlüfteten Fassaden

Diverse Infrarot-Fachleute kommunizieren, dass bei HF Thermografieaufnahmen überflüssig sind. Differenziert betrachtet stimmt diese Aussage nur für die Transmissionsverluste. Das IR-Bild (Mitte) zeigt deutlich, dass Wärmebilder von HF sehr sinnvoll sein können. Bei diesem Gebäude mit Pultdach tritt enorm viel Warmluft durch die undichte Wand, steigt im Hinterlüftungsspalt empor und staut sich unter dem Dachfirst. Hier muss unbedingt gehandelt werden!

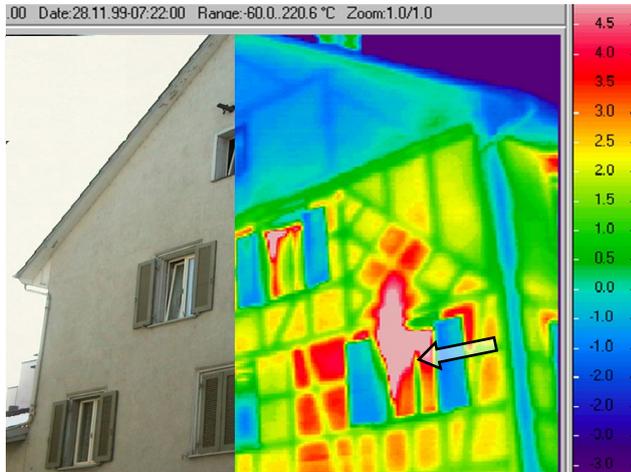


### Unsichtbarer Baumangel

IR-Bild links: Hinterlüftete Fassade mit Keramikplatten. Beim Anschluss des Flachdaches an den Turm rechts ist eine Aussparung, die zu einem Heizleitungsschacht im Gebäudeinnern führt. Als die Fassade montiert wurde, hat man vergessen, diese Aussparung zu verschliessen.

Das IR-Bild zeigt, wie enorme Warmluftmengen durch diese Aussparung in den Hinterlüftungsraum strömen und von dort nach oben wegziehen. Von Auge aus ist nichts zu erkennen!

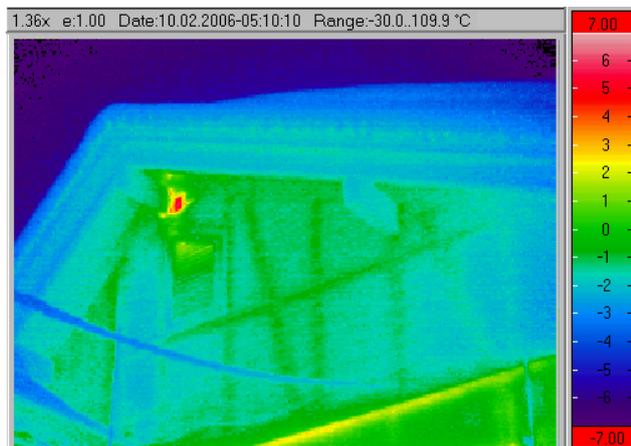
## Kapitel 6.3 Aussenwände / Riegelkonstruktionen



### „Thermischer Blick“ unter den Putz

Bild links: Halb Foto - halb IR-Bild. Ein alter Fachwerkbau aus Holz, der später einmal aufgestockt und dann noch verputzt wurde. Weil Holz besser wärmedämmend wirkt als die Ausmauerung, sind die unterschiedlichen Oberflächentemperaturen im IR-Bild gut erkennbar.

⇒ Durch ein offenes Fenster strömt hier nach oben viel Warmluft weg. Das Dachgeschoss ist unbeheizt und erscheint deshalb kalt und blau (vgl. auch Kap. 9.3).



### Wände, Pfosten- / Riegelkonstruktionen:

Umgekehrt als im Fall oben ist es, wenn der Holzriegel mit Dämmstoff ausgefacht ist. Dann zeichnen sich die weniger gut dämmenden Holzpfosten im IR-Bild mit wärmeren Oberflächen ab (Bild links). Solche Strukturen könnten bei Bedarf mit veränderten Einstellungen (höhere Empfindlichkeit) noch wesentlich besser dargestellt werden.

Weiteres Beispiel mit verdeckten Sparren: Siehe Kap. 10.2 (Innenraumaufnahme).

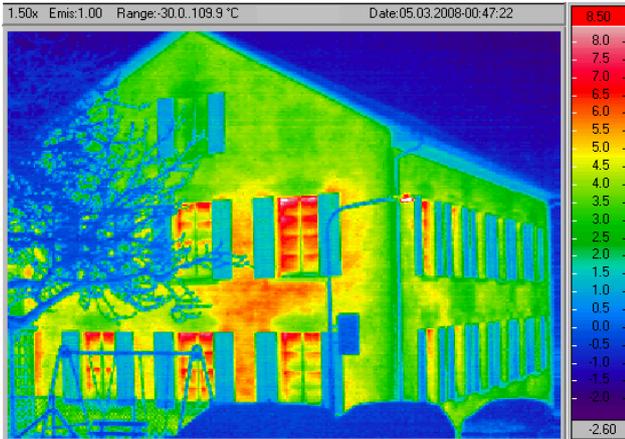


### Riegelkonstruktionen wärmedämmt:

Das IR-Bild links zeigt ein saniertes Riegelhaus. Die Aussenwärmedämmung wurde nur bis an die Riegel, aber nicht darüber hinweg geführt. Aus der Nähe ist das natürlich auch optisch gut zu erkennen.

Thermisch ergibt sich damit die gleiche Situation wie im IR-Bild Mitte: Der Riegel ist wärmer als die ausgefachte und wärmedämmte Mittelzone.

## Kapitel 6.4 Aussenwände / Bruchsteinmauerwerk



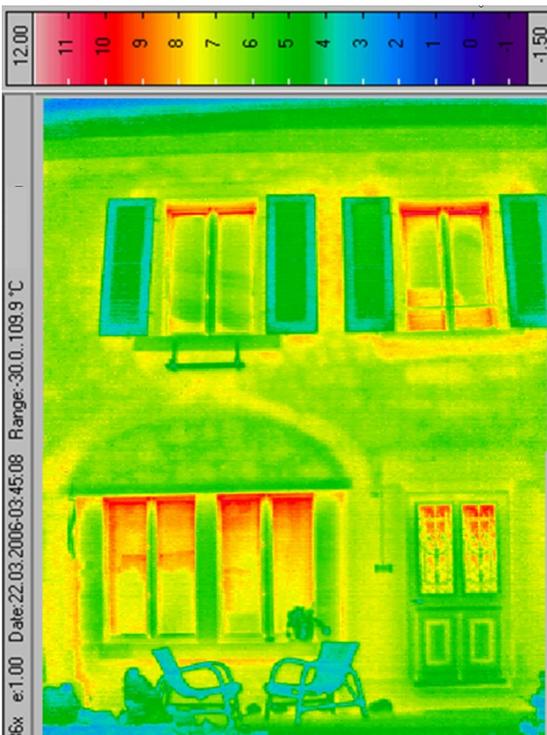
### Bruchsteinmauerwerk 1

Infrarot-Aufnahmen sind keine „Röntgenblicke“. Sie können aber auf Grund der thermischen Vorgänge im Innern verraten, was im Untergrund verborgen ist, da sich Unregelmässigkeiten auch auf die Oberflächentemperatur auswirken. Im IR-Bild links ist eine gefleckte Struktur sichtbar, was typisch ist für ein altes, verputztes Bruchsteinmauerwerk. Gut erkennbar ist auch die konzentrierte Warmzone in der Fassadenmitte, was so bei Einzelraumheizung in Erscheinung tritt. Das Dachgeschoss ist unbeheizt, bekommt aber „freie Wärme“ vom Obergeschoss (vgl. Grafik in Kap. 9.1).



### Bruchsteinmauerwerk 2

Ähnliches Beispiel wie oben. Auch hier zeigt die fleckige Struktur, dass es sich um Bruchsteinmauerwerk handelt. Im Gegensatz zum IR-Bild oben ist hier das Dachgeschoss beheizt. Beim mittleren Fenster rechts ist hinter den geschlossenen Jalousieläden das Fenster offen.

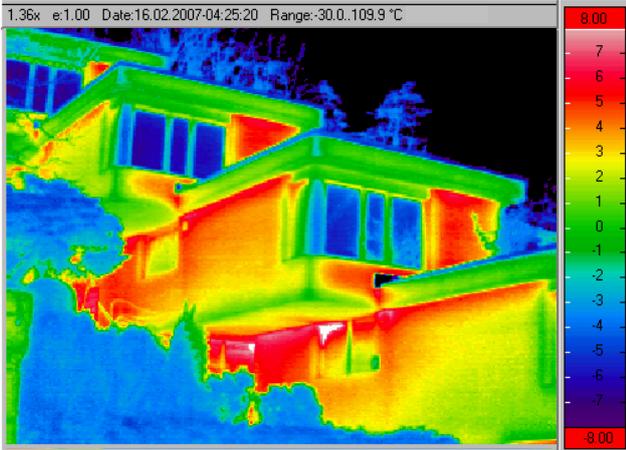


### Bruchsteinmauerwerk 3

IR-Bilder finden nicht nur für wärmetechnische, Zwecke Anwendung. Wie im Text zum Bruchsteinmauerwerk 1 erläutert, zeigen sich auch innere Baustrukturen, was vor allem bei historischer Bausubstanz interessant sein kann. Im IR-Bild links ist zu erkennen, dass da, wo jetzt die beiden Fenster im EG sind, früher einmal ein grosses Tor mit einem gewölbten Sturz vorhanden war. Die Fenster sind wahrscheinlich vor 1990 eingesetzt worden, da sie noch nicht mit Wärmeschutzgläsern ausgerüstet sind.

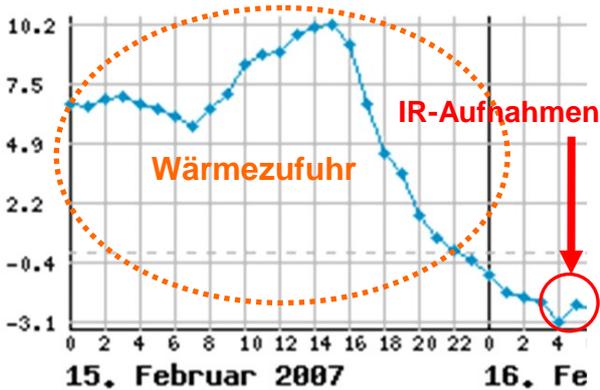
Weitere Beispiele mit verborgenen Strukturen siehe Kap. 6.3

## Kapitel 6.5 Aussenwände / Betonfassaden



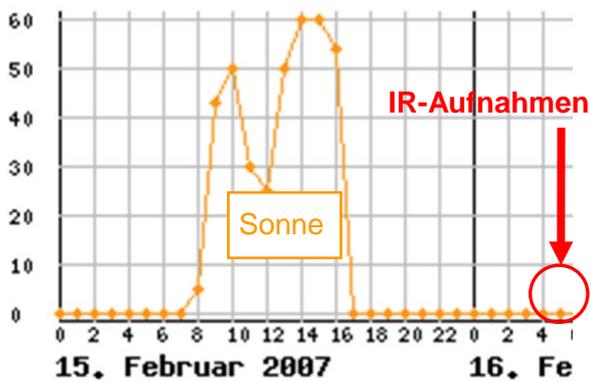
### Vorsicht bei Betonfassaden!

IR-Bild links: Terrassenhaussiedlung mit Betonfassaden und wenig Innenwärmedämmung. Bei solchen Konstruktionen sind energetische Interpretationen zu IR-Bildern sehr heikel. Grund: Hier wirkt sich je nach Fassadenexposition und Temperatur-Vorgeschichte das Wärmespeichervermögen des Betons extrem stark aus. Deshalb ist es in solchen Fällen besonders wichtig, dass die Meteodaten der letzten 24 h vor den Aufnahmen (für diesen Fall speziell die Temperatur und die Sonnenstrahlung) deklariert werden. Die beiden Grafiken unten zeigen, dass hier die Betonkonstruktion noch viel Wärme des Vortages beinhaltet.



Temperatur [°C] / Zeit - Diagramm

Datenquelle: [www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)



Sonnenscheindauer [min.] / Zeit - Diagramm

Grafik 6.5 + 6.6

### Erläuterung zur Temperaturentwicklung

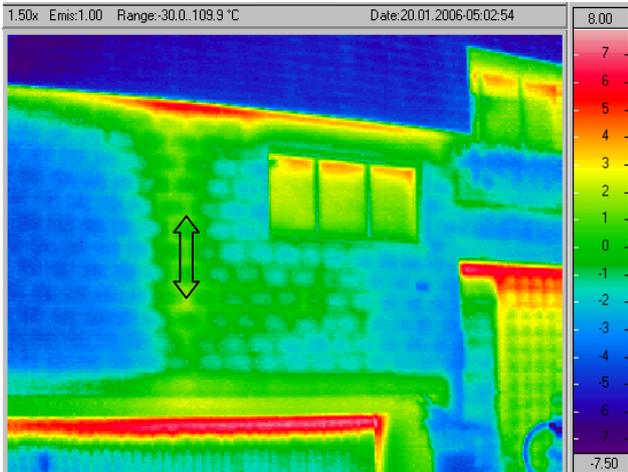
Die Grafiken links erklären, warum Betonbauteile für Infrarotaufnahmen problematisch sind. Die hohen Temperaturen und die Sonnenstrahlung am Tag vor den Aufnahmen heizten den Beton stark auf. Dieser konnte die Wärme gut speichern und zeigt deshalb auch morgens um 04:25 Uhr noch entsprechend hohe Temperaturen.

Eine gleich gut dämmende Konstruktion (mit gleichem U-Wert), aber leichteren Baumaterialien, würde sich im IR-Bild oben sehr viel kühler präsentieren.

Das Beispiel zeigt sehr deutlich, dass eine fehlerfreie Interpretation von IR-Aufnahmen oft nur mit entsprechenden Konstruktionskenntnissen und vergangenen Wetterdaten möglich ist.

Aber nicht nur die Temperaturgeschichte des Vortages, sondern auch diejenige unmittelbar vor den IR-Aufnahmen ist enorm wichtig, wenn man quantitative Aussagen aus den IR-Bildern ableiten will.

## Kapitel 6.6 Aussenwände / Temperaturunterschiede



### 2-Schalen-Backsteinmauerwerk

Das IR-Bild links zeigt ein Zweischalenmauerwerk (12 / 5 / 12). Die Struktur der einzelnen Backsteine im Mauerwerk ist gut zu erkennen. Bei gut gedämmten Wänden ist dies selten der Fall.

Zudem erkennt man im IR-Bild links des Fensters  $\longleftrightarrow$  eine senkrechte, warme Zone. Hier liegt eine wenig- oder ungedämmte Heizleitung in der Aussenwand.

(weiteres Bsp.: siehe Kap. 8.1, IR-Bild 1)



### Unterschiedliche Aussenwand-Temperaturen

Achtung: Unterschiedliche Oberflächentemperaturen bedeuten nicht immer verschiedene Dämmqualitäten!

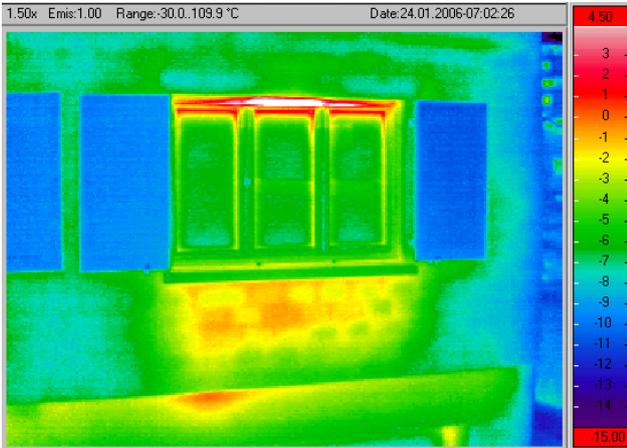
Sind in gewissen Räumen die Raumtemperaturen höher und/oder hat es direkt an den Aussenwänden Heizquellen, so ergeben sich - auch bei gleicher Wandkonstruktion - örtlich höhere, äussere Oberflächentemperaturen und damit grössere Wärmeverluste. Dasselbe gilt, wenn Einrichtungsgegenstände / Möbel sehr nahe an die Aussenwand gestellt werden. Das wirkt wie eine zusätzliche Wärmedämmung und es herrscht dann, vor allem bei ungedämmten Wänden, akutes Schimmelpilzrisiko!



$\Rightarrow$  Im Bildbeispiel links (IR-Bild Mitte und Foto unten) ist ohne Zusatzinformationen nicht klar, was der Hauptgrund für die höhere Temperatur im 1. OG ist. Entweder sind die Räume dort höher beheizt, oder in den anderen Wohnungen sind Innenraumdämmungen angebracht worden.

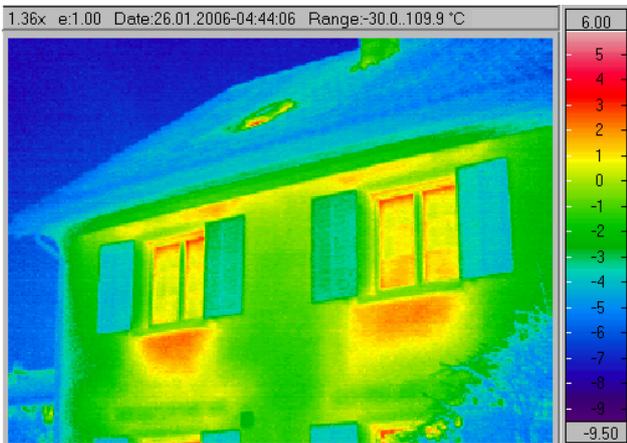
So oder so: Das IR-Bild zeigt, wo die höchsten Temperaturen - und damit die grössten Wärmeverluste sind.

## Kapitel 7.1 Wärmebrücken / Heizkörpernischen



### Ungedämmte Heizkörpernischen 1

Eine typische Wärmebrücke unter dem Fenster. Grund: Bei der Radiatorennische ist die Aussenwand dünner als im Normalquerschnitt und vielfach nicht gedämmt. Ist der Heizkörper auch noch aktiv, ergibt sich eine stark erhöhte innere Wärmezufuhr auf diesen Wandbereich, was zu den erheblichen, lokalen Wärmeverlusten führt. Im IR-Bild links werden damit sogar die einzelnen Backsteine unter dem Fassadenputz sichtbar. Analoges Phänomen bei den Kellerwänden: siehe Kap. 2.2.

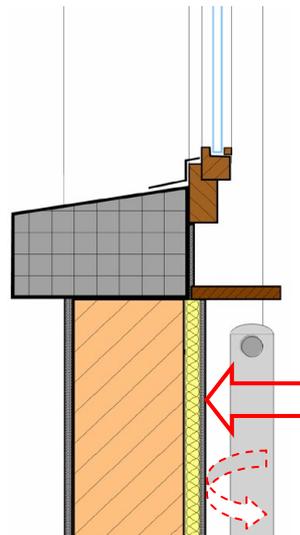
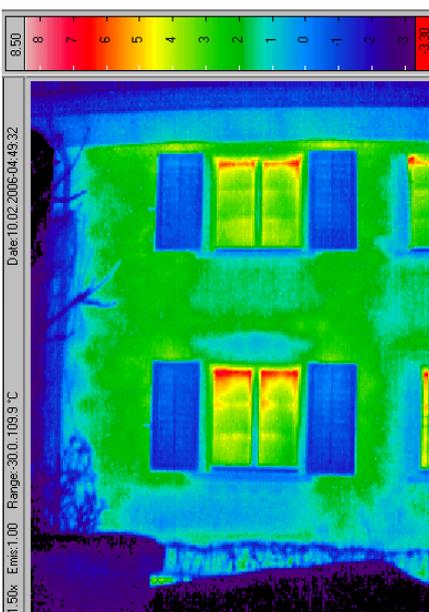


### Ungedämmte Heizkörpernischen 2

IR-Bild links: Gleiche Ursache wie oben.

### Gedämmte Heizkörpernischen

IR-Bild unten: Hier zeigen sich die Heizkörpernischen (und auch der Fenstersturz) eher kalt. Grund: Zwischen Heizkörper und Wand wurde eine Wärmedämmung angebracht (vgl. Grafik unten). Ob der Heizkörper zum Zeitpunkt der IR-Aufnahme aktiv war, kann jedoch nicht mit Sicherheit gesagt werden. Tatsache ist jedoch,



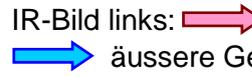
dass bei der Heizkörpernische infolge Wärmedämmung weniger Wärme abfließt, als im Normalquerschnitt der Wand.

Besonders effizient ist eine Wärmedämmung hinter dem Heizkörper, wenn sie auch die Wärmestrahlung reflektiert.

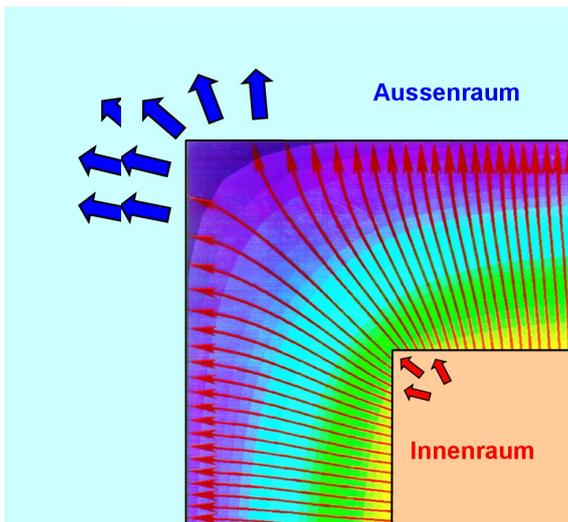
## Kapitel 7.2 Wärmebrücken / Gebäudeecken



### Gebäudeecken

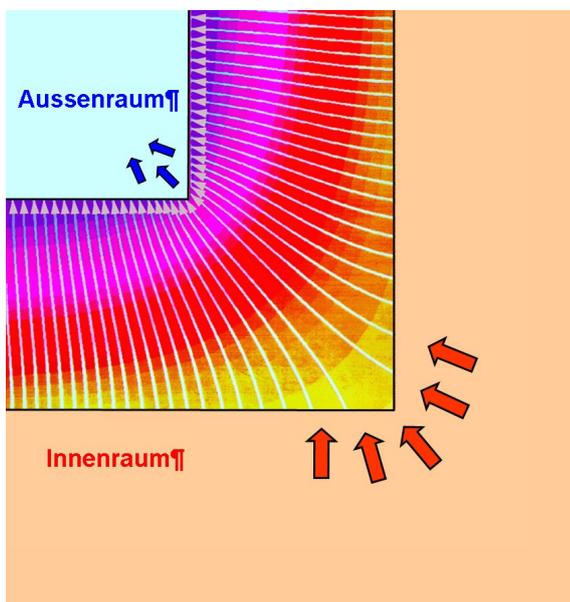
IR-Bild links:  Innere- und äussere Gebäudeecke (= linienförmige Wärmebrücken). Die Ursachen erläutern die Grafiken unten.

Im IR-Bild links ist der  äusserste Teil der Aussenwand **eine Flügelwand** die nicht mehr im thermischen Gefälle steht (beidseitig Aussenklima), da hinter der Wand ein offener Sitzplatz ist. Hier gibt es praktisch keine Energieverluste mehr und die Wand hat im äussersten Bereich nahezu Aussenlufttemperatur.



### Äussere Gebäudeecke (Grundriss)

Hier steht einer kleinen Wärme-Eintrittsfläche eine grosse Austrittsfläche gegenüber. Die Wärme „fließt“ von warm nach kalt (rote Pfeillinien = Wärmefluss). Quer dazu (farbig): Isothermen (= Linien mit gleicher Temperatur). Im Gegensatz zu einer üblichen Wärmebrücke, die von aussen her warm erscheint, zeigt sich eine äussere Gebäudeecke im IR-Aussenbild kalt. Die Isothermen zeigen, dass aber auch die innere Eckentemperatur kalt ist. Es gilt: Je weniger die Wand gedämmt ist, desto kälter die inneren Ecken, womit das Schimmelpilzrisiko steigt. Eine IR-Innenaufnahme einer Gebäudeecke siehe Kap. 13.1.



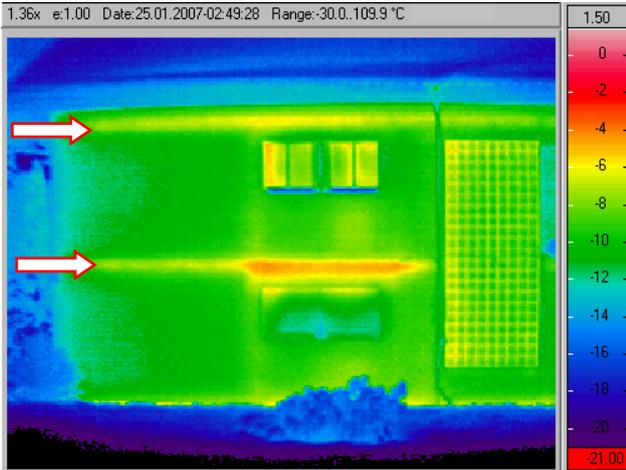
### Schimmelpilzrisiko in den Aussenecken

Von aussen lässt sich mit IR-Aufnahmen das Risiko kaum abschätzen. Nur der Vergleich mit der mittleren Wand-Oberflächentemperatur gibt minimale Hinweise. Für eindeutige Informationen braucht es Innenaufnahmen und normalerweise Temperatur- und Feuchtemessungen über längere Zeiteinheiten.

### Innere Gebäudeecke (Grundriss)

Hier ist es umgekehrt. Dieser Ecke wird von innen, über viel Oberfläche, viel Wärme zugeführt. Das ergibt auch aussen hohe Temperaturen. Je weniger eine Wand gedämmt ist, desto stärker zeigen sich diese Erscheinungen. Solche Ecken haben kein Schimmelpilzrisiko.

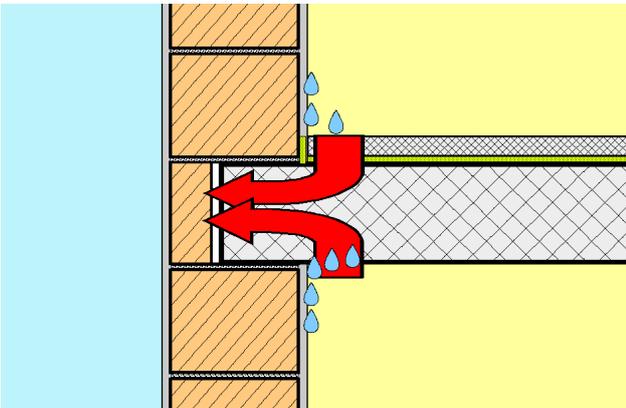
## Kapitel 7.3 Wärmebrücken / Deckenstirnen



### Auflager der Betondecken

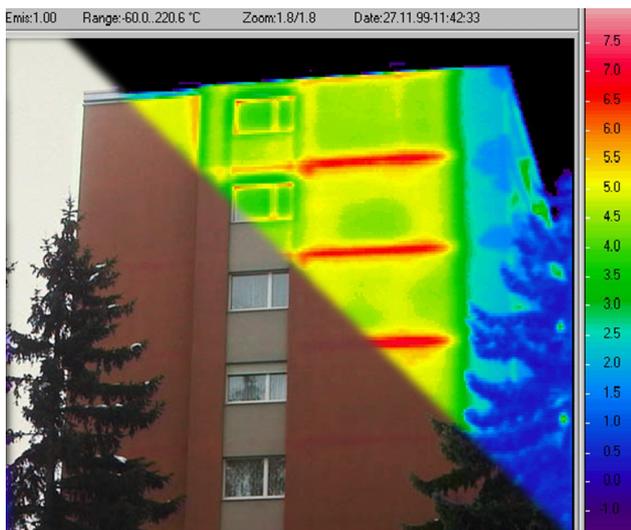
IR-Bild links:  Klassische, linienförmige Wärmebrücken.

Die Ursache erläutert die Grafik unten.



Grafik links: Schnitt durch eine Aussenwand, mit dem Auflager der Betondecke (ungedämmte Konstruktion).

Der gut wärmeleitende Beton - er leitet Wärme ca. 5 x besser als Backstein - bringt viel Raumwärme an die äussere Wandoberfläche. Umgekehrt kühlen durch den hohen Wärmefluss die innen liegenden Flächen ab, was bei kritischer (hoher) Raumlufffeuchtigkeit zu Schimmelpilzbildung oder zu Kondensat führen kann. Dies geschieht meist zuerst in den Gebäudedecken, weil dort die Oberflächentemperaturen noch tiefer sind (vgl. Grafiken Kap. 7.2).



IR-Bild links: halb Foto - halb IR-Bild.

Paradebeispiel der oben beschriebenen Wärmebrücken.

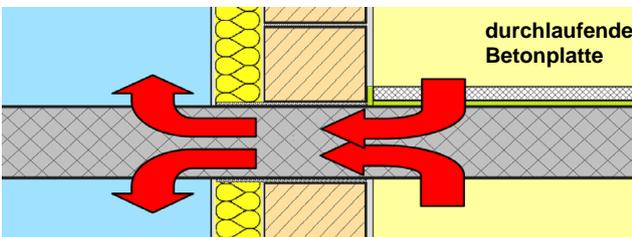
## Kapitel 7.4 Wärmebrücken / Balkonplatten



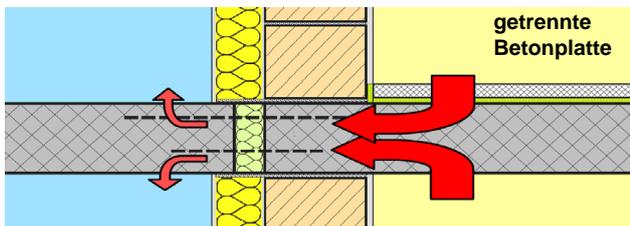
### Ausragende Balkonplatten

Das IR-Bild links zeigt die thermische Auswirkung einer Balkon-Kragplatte, die vollständig und ohne flankierende Dämmung die Aussenwand durchdringt (⇨).

Wandaufbau: Alte Backsteinwand, die mit einer verputzten Aussenwärmedämmung versehen ist, genau der Grafik unten entsprechend.



Grafik links: Schnitt einer durchlaufenden Balkon-Kragplatte. Hier spielt es keine grosse Rolle, ob die Aussenwand (bereits) gedämmt ist oder nicht, die Wärmeverluste sind so oder so gross. Analog der Situation bei der Grafik in Kap. 7.3 besteht hier auf der Innenseite Kondensations- und Schimmelpilzgefahr.



Grafik 7.12: Viel kleiner ist der Wärmeverlust bei thermisch getrennten Anschlüssen, bei denen die Verbindung meist mit (Edel-) Stahlelementen ausgeführt wird.

Nur wenn der Balkon als separates Element vor die Fassade gestellt wird, gibt es in diesem Bereich gar keine Wärmebrücken mehr.

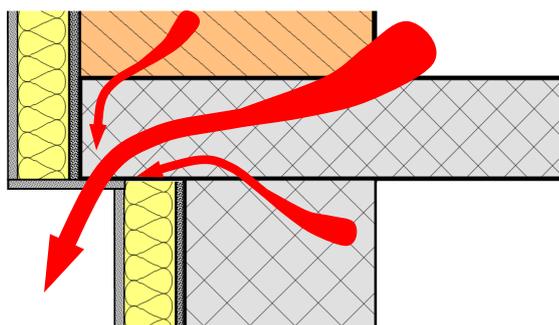


### Starke Wärmebrücke beim Fassadenabsatz

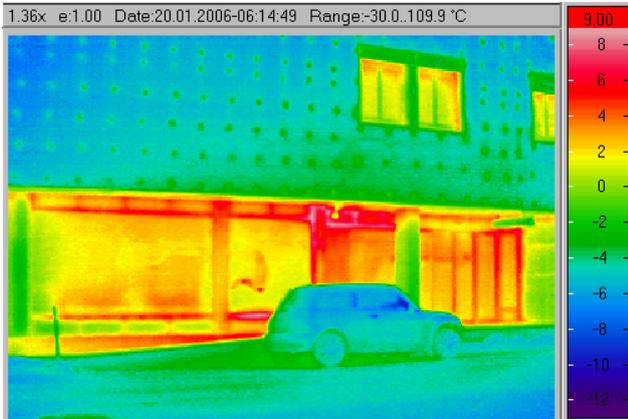
Das IR-Bild links und die Grafik unten zeigen eine ähnliche Situation wie oben.

Hier wurde beim Fassadenabsatz zum Gebäudesockel die schmale Untersicht nicht mitgedämmt. Durch diesen dünnen ungedämmten Streifen fliesst in der Folge besonders viel Wärme ab. Grund: Die ganze Tragwand wird durch die äussere Wärmedämmung auf relativ hohe Temperaturen erwärmt, was den lokalen Wärmefluss bei der Schwachstelle umso mehr erhöht.

Das Gleiche gilt für die ungedämmten Fensterleibungen. Siehe Kap. 4.6.



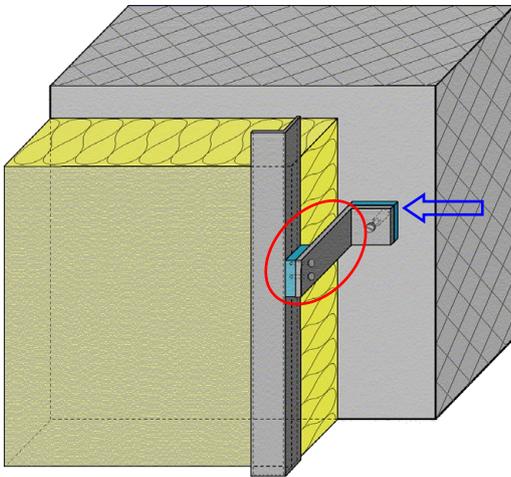
## Kapitel 7.5 Wärmebrücken / Punktuelle Wärmebrücken



### Klassische punktuelle Wärmebrücken (pWB)

IR-Bild links: Hinterlüftete Fassade (HF) mit vorgehängten Eternitplatten. Da, wo die Unterkonstruktion (= Befestigungssystem für die Bekleidungsplatten) die Wärmedämmung durchdringt, entsteht eine Wärmebrücke, die sich punktuell und gut sichtbar auf den Fassadeplatten abzeichnet. Erläuternde Grafik siehe unten.

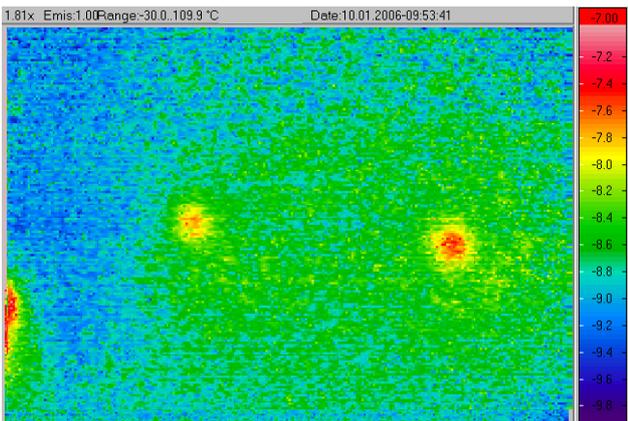
Zudem: Erhebliche Wärmeverluste bei den Schaufenstern im Erdgeschoss.



Grafik links: 3-D Schnittzeichnung durch eine Aussenwand mit HF. (Zeichnung ohne Bekleidungsplatten!).

Die Bekleidungsplatten (z.B. Eternit) werden auf einer Unterkonstruktion befestigt (hier die senkrechten Aluprofile), die mittels Metallkonsolen im Tragwerk verankert werden.

Diese Metallkonsolen durchdringen den Wärmedämmstoff und bilden damit punktuelle Wärmebrücken. Je nach Material, Querschnitt und thermischer Trennung (⇨ beim Tragwerk), kann durch solche Wärmebrücken ein Zusatzwärmeverlust von bis zu 60 % gegenüber der „Normalwand“ entstehen.



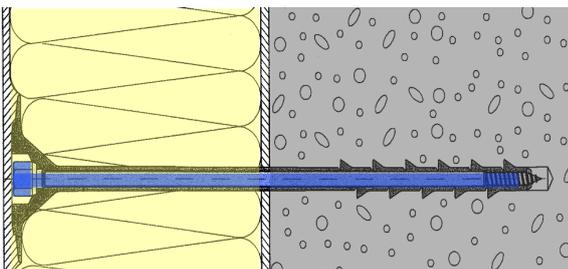
IR-Bild links: IR-Detailaufnahme einer Fassadenoberfläche mit verputzter Aussenwärmedämmung. (Bildausschnitt ca. 100 x 80 cm). Die Punkte sind von Auge aus nicht erkennbar.

Die Ursache zeigt die Grafik unten:

Wird der Dämmstoff mit Dübeln (oft mit Stahlkern) im Untergrund befestigt, so entsteht durch die Stahlschrauben lokal ein stark erhöhter Wärmefluss. Das ergibt an der äusseren Oberfläche punktuell eine erhöhte Temperatur und damit ein fast gleiches IR-Bild wie im Bsp. oben bei den hinterlüfteten Fassaden. Insgesamt sind solche Energieverluste jedoch nur bei Niedrigenergiegebäuden relevant.

Oft störend wirkt hingegen, wenn sich mit der Zeit auf dem Putz die Dübelstellen farblich abzeichnen (vgl. Bild in Anhang 11).

Weitere Beispiele solcher Dübelabzeichnungen: IR-Bild 2 in Kap. 4.6 und IR-Bild 3 in Anhang 3.



## Kapitel 8.1 Haustechnische Installationen



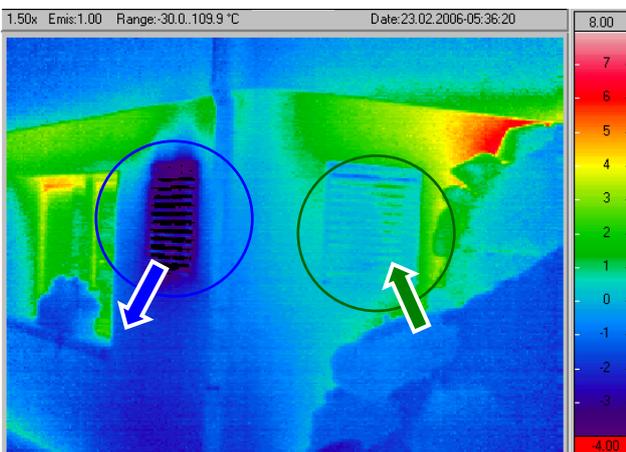
### Heizleitung in Aussenwand

IR-Bild links: In dieser ungedämmten Aussenwand führt eine nicht oder wenig gedämmte Heizleitung zum Obergeschoss.

Es ist deutlich erkennbar, dass die Leitung direkt zum Radiator unter dem OG-Fenster führt.

Zur Radiatorennische: vgl. Erläuterungen in Kap. 7.1.

Ähnliches Bild mit Leitung: siehe Kap. 6.6

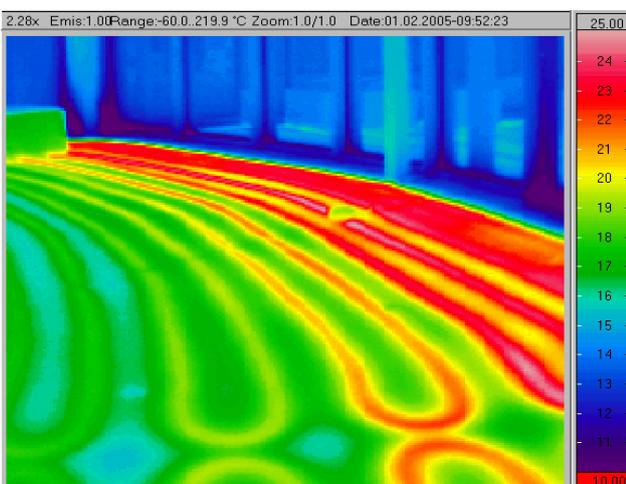


### Öffnungen für Lufteintritt und Luftaustritt einer Wärmepumpe

IR-Bild links: Hier stehen nicht irgendwelche Wärmeverluste der Gebäudehülle im Vordergrund. Dieses Wärmebild zeigt besonders deutlich die Lufteintrittsöffnung (Kreis rechts) und die Luftaustrittsöffnung (Kreis links) einer Wärmepumpe eines Einfamilienhauses.

Die Wärmepumpe entzieht der Aussenluft Energie, und bläst deshalb Abluft nach aussen, die kälter ist als die angesaugte Luft.

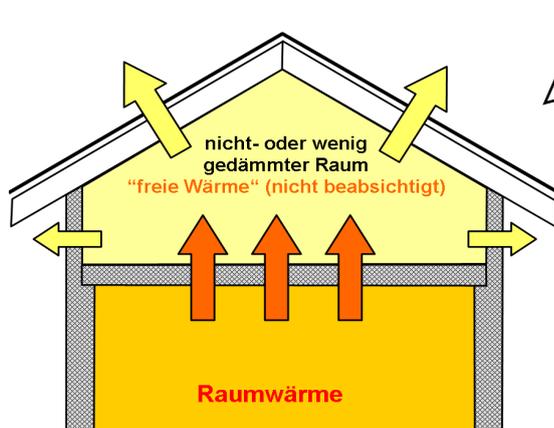
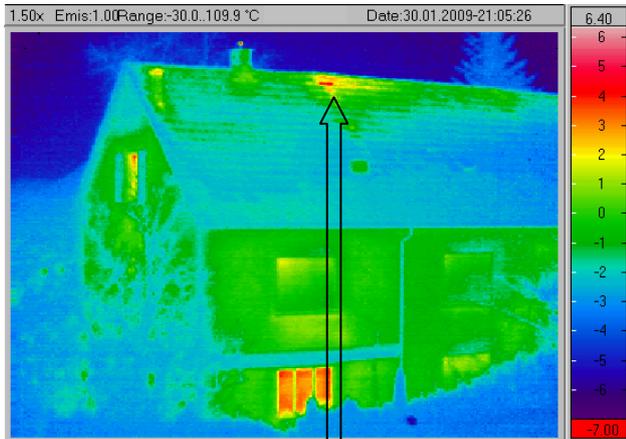
(Vorsicht beim bestimmen der Temperaturen auf den Metallgittern: Bei Metall kann der  $\epsilon$ -Wert extrem tief sein, vgl. Anhang 6).



### Leitungen einer Bodenheizung

IR-Bild links: Aus einer Thermografie-Innenanwendung: Bei freiem Boden können Lage, Funktion und ggf. Leckstellen in der Bodenheizung ermittelt werden. Typisch im Bild: Verdichtete Rohranordnung bei den Fensterfronten. Weil gegen die Fenster mehr Wärme gebraucht wird, sind die Rohre dort enger verlegt. Ja nach Tiefenlage können sie dann aber nicht mehr einzeln erkannt werden.

## Kapitel 9.1 Steildächer / Dachflächen 1



### Undichte, kaum gedämmte Dachfläche

Für Steildächer gilt das selbe, wie für hinterlüfteten Fassaden: Wärmebrücken in der tragenden und dämmenden Konstruktion sind von aussen meist nicht erkennbar, da die äussere Schicht (z.B. Ziegel) von kalter Aussenluft hinterströmt wird. Daher hat sie eigentlich Aussen-temperatur oder wird durch die Abstrahlung zum Himmel sogar noch unterkühlt. Gibt es im Dach jedoch starke Warmluftaustritte durch *Luftleckagen*, so sind diese trotzdem erkennbar, da dort sehr viel Wärme abfliessen kann, was die Oberflächentemperaturen stark erhöht und den Schnee sehr schnell schmelzen lässt.

Die Grafik unten zeigt schematisch die Situation von den Bildern oben. Aber: Im Innenraum können zwei Varianten zu dieser Situation führen:

1. Das Dachgeschoss ist unbenützt / unbeheizt, bekommt jedoch durch den ungedämmten Dachboden viel Raumwärme von den darunter liegenden Wohnräumen. Die Wärme im Dachgeschoss ist dann „freie Wärme“ die schliesslich durch das ebenfalls ungedämmte Dach und die Giebelwände ins Freie entweicht.
2. Variante: Der Dachspitz ist eine bewohnte und beheizte Zone, die Dachfläche ist aber ungenügend luftdicht und/oder gedämmt.

Massnahmen: Im 1. Fall wäre der Dachboden zu dämmen /dichten, im 2. Fall die Dachfläche.

Dachflächen sind exponierter als andere Bauteile und „sehen“ viel Himmel. Dadurch sind sie dem Strahlungsaustausch mit dem kalten Himmel viel mehr ausgesetzt als die Fassaden und unterkühlen sich gegenüber der Lufttemperatur schnell und stark (vgl. auch Kapitel 12.1).

Sind die Dach-Temperaturen im **Wärmebild homogen**, kann daraus abgeleitet werden, dass wahrscheinlich keine wesentlichen dämmtechnischen Mängel und konzentrierte Warmluftaustritte vorhanden sind. Eine gewisse Unsicherheit dieser Aussage bleibt aber immer vorhanden.

Sind die **Dächer vollständig mit Schnee bedeckt**, so ist das generell ein gutes (energetisches) Zeichen, Interpretationen von IR-Bildern sind dann jedoch nicht möglich. Nach einiger Zeit oder einigen Sonnentagen wird dann als Erstes der Dachfirst schneefrei - auch ohne Leckstellen. Weiteres Beispiel siehe Anhang 11.

## Kapitel 9.2 Steildächer / Dachflächen 2

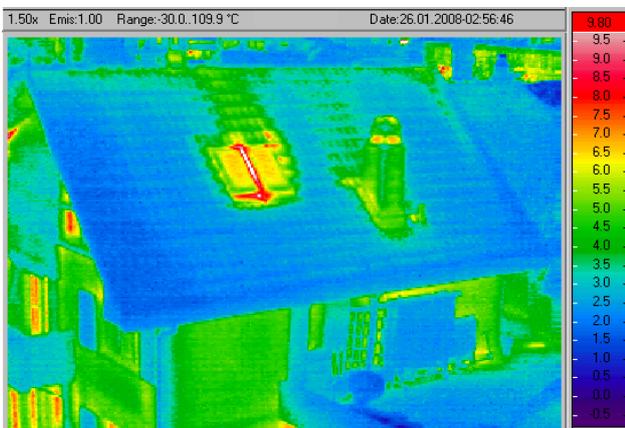


### Vorsicht bei Dachflächen!

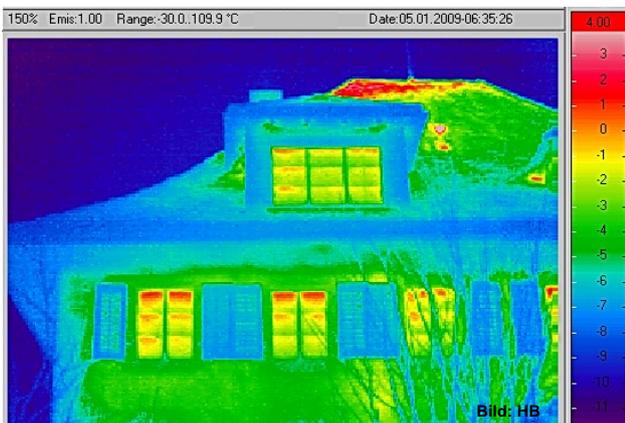
Das IR-Bild oben zeigt inhomogene Temperaturen auf der Dachfläche. Wärmeverluste?

Hier ist bei der Interpretation Vorsicht geboten, denn bei solchen Patchwork-Mustern handelt es sich meist weder um Warmluftaustritte noch um mangelhafte Dachdämmung. Das Phänomen ist kein Gebäudeproblem sondern entsteht bei der Unterkühlung, bzw. bei der lokalen Vereisung auf dem Dachbelag. Moos und Schmutzpartikel vereisen schneller, als die reine Ziegeloberfläche womit auch unterschiedliche Oberflächentemperaturen entstehen.

Zu oberst am Dachfirst ist eine Stelle mit erheblichem Warmluftaustritt zu erkennen.



Unregelmässige Temperaturen im Bereich der Dachflächen richtig zu deuten kann sehr schwierig sein. Oft empfiehlt es sich, eine genauere Abklärung vorzunehmen, sei es mit IR-Innenaufnahmen oder/und unter Zuhilfenahme einer BlowerDoor-Anlage für eine Luftdurchlässigkeitsmessung (vgl. Anhang 13 +14). Im IR-Bild links sind die Fugen eines Dachfensters stark undicht. Aber nicht nur durch die Fugen, sondern auch durch die Anschlüsse (beim Rahmen) strömt Warmluft weg und gelangt in den Belüftungsraum unter den Ziegeln.



IR-Bild links: Am Dachfirst sind starke Warmluftaustritte konzentriert. Hier muss gehandelt werden!

Im Gegensatz zum IR-Bild oben ist hier der grün-gelbe Patchwork-Bereich auf der Dachfläche energetisch relevant: Hier drückt die Warmluft durch die ganze Dachfläche nach aussen. Infolge Thermik ist der Druck und damit die Strömung am First am grössten, womit sich dieser Bereich am stärksten aufwärmt.

## Kapitel 9.3 Steildächer / Estrich- und Dachgeschosse



### Ungedämmte Giebelwand

IR-Bild links: Grosse Energieverluste durch die Giebelwand bei diesem Dachfirst.

Ursache: Das Dachgeschoss wurde hier nachträglich ausgebaut und ist nun beheizter Wohnraum. Das Dach wurde dabei wärmegeklämt, die Giebelwand, die meist dünner ist als die untere Aussenwand jedoch nicht. Gut erkennbar sind auch die Wärmeverluste bei den Radiatorennischen im Geschoss darunter (Erläuterungen dazu in Kap. 7.1).



### Unbeheiztes Dachgeschoss

IR-Bild links: Dieses Gebäude hat ein unbeheiztes, kaltes Dachgeschoss, da die Giebelwand unter dem Dachfirst praktisch Aussen-temperatur hat. Das IR-Bild ist typisch für die Situation mit gut gedämmtem Dachboden, wo praktisch keine Raumwärme von unten in den Dachbereich fliesst (nicht wie in der Grafik im Kap. 9.1 !). Allerdings: Ähnliche Bilder können sich ergeben, wenn der Dachspitz mittels offenen Dachfenstern voll durchlüftet ist. Dann wird auch bei wenig gedämmtem Dachboden die Wärme sofort vom Winde verweht.



### Grosse Warmluftverluste durch undichte Anschlüsse. Hier muss gehandelt werden!

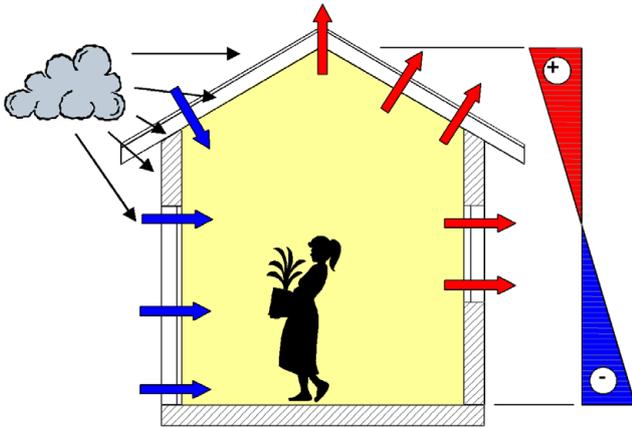
Beim Ausbau dieses Dachraumes wurde gefuscht, oder es war schlicht kein Fachwissen über die Luftdurchlässigkeitsproblematik vorhanden. (sehr ähnlich: IR-Bild 1, Kap. 10.2) Zur Dachfläche beim Anbau vorne:

Siehe Kommentar zu IR-Bild 1, Kap. 9.2

### Zum Thema Flachdächer:

Flachdächer können in der Regel vom Boden aus nicht aufgenommen werden. Aussagen zu solchen IR-Bildern sind zudem noch schwieriger als bei Steildächern, da auch die Substratschicht oft Wasser oder im Winter Eis beinhaltet. Zwar ist es möglich, mittels IR-Aufnahmen Feuchtigkeit in gewissen Flachdachkonstruktionen zu erkennen, aber auch dafür braucht es ganz spezielle Meteorbedingungen. Flachdächer sollten unterhalten werden und periodisch vom Spezialisten auf Dichtigkeit überprüft werden (z.B. mit einer Neutronensonde).

## Kapitel 10.1 Luftleckagen / Vordach-Wand



### Warmluftverluste durch Luftleckagen

Grafik links: Mögliche Luftleckagen in der Gebäudehülle im Benutzerzustand.

Hauptsächlicher Antrieb für solche Warmluftverluste und Kaltlufteintritte sind der Kamineffekt (warme Luft steigt → Druck) und starke Windanströmungen. Das kann dann auch zu unangenehmen Zuglufterscheinungen in den Wohnräumen führen.

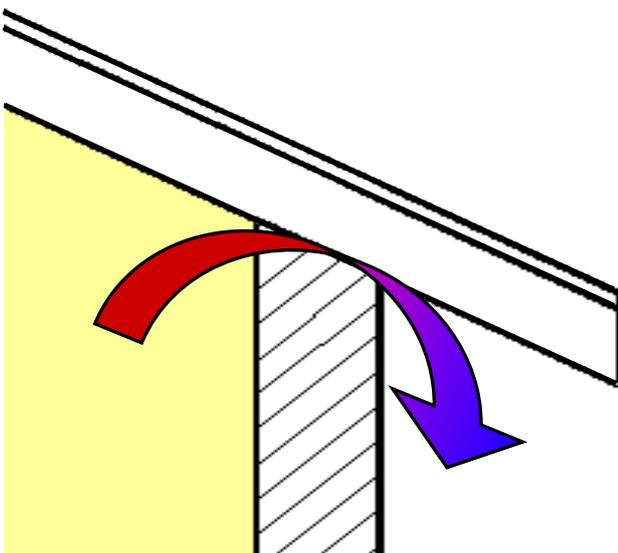
Durch die entweichende Warmluft ergeben sich einerseits (grosse) Energieverluste und andererseits besteht je nach Situation ein erhebliches Bauschadenrisiko durch Kondensat (vor allem im Dachbereich, vgl. Foto unten).



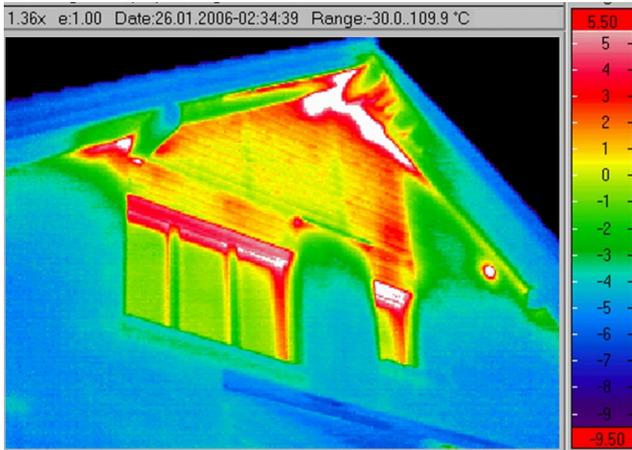
Aber nicht nur die Temperaturen und der Wind, beeinflussen diese Warmluftverluste, sondern auch die Art und die Lage der Leckstellen sowie die Raumgeometrie und das Benutzerverhalten. Wenn die ausströmende, warmfeuchte Innenluft auf dem Weg nach aussen irgendwo in der Konstruktion kondensiert, so besteht ein erhebliches Risiko für Bauschäden.

### Problemstelle: Übergang Dach-Wand

Das IR-Bild links zeigt solche Warmluftaustritte in erheblichem Mass zwischen den Sparren beim Vordach. Die Grafik und das Foto unten zeigen dieselbe Problematik an einem Vordach ohne sichtbare Sparren. Das Holz der Vordach-Untersicht bleibt durch die kondensierenden Warmluftaustritte ständig feucht, vergraut und beginnt schliesslich zu faulen. Hier muss gehandelt werden!



## Kapitel 10.2 Luftleckagen / Bauteilübergänge / Innenraumbeispiel



IR-Bild links: **Grosse Warmluftverluste** durch undichte Anschlüsse.

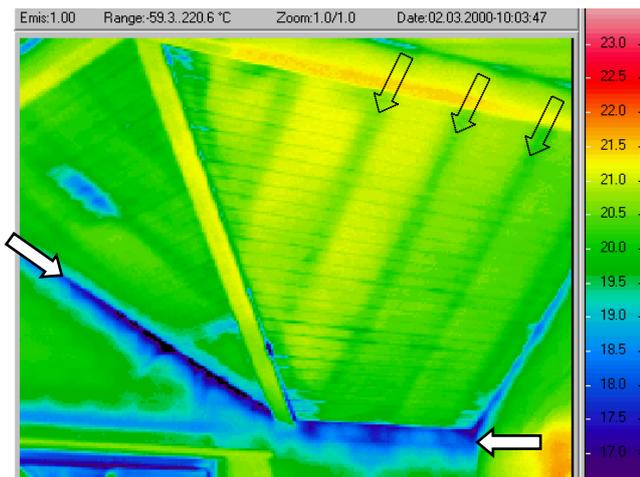
Hier muss gehandelt werden!

Immer wieder sind vor allem bei Bauteilübergängen sowie bei An- und Abschlüssen von Wänden und Dächern solche Leckstellen zu finden.

Mit IR-Bildern von aussen erkennt man primär Leckstellen mit Warmluftaustritten, da sich dort eine erhöhte Oberflächentemperatur zeigt. Wegen dem Kamineffekt (warme Luft steigt → Druck) liegen die intensivsten Warmluftaustritte im oberen Gebäudebereich (Dach). Es gilt: Je grösser die Raumhöhen und die Temperaturdifferenzen, desto grösser der Druck bei den Leckstellen.



IR-Innenaufnahmen zeigen im Gegensatz dazu die Kaltlufteintritte, die hauptsächlich im unteren Gebäudebereich liegen. Die Bilanz ist einfach: Genau soviel Warmluft wie irgendwo wegströmt, muss durch Kaltluft nachfliessen. Detaillierte Angaben über die Quantität und die Lage aller Leckstellen erhält man nur mit dem BlowerDoor Messverfahren mit Leckortung. (vgl. Anhang 13 + 14).



### Die Kaltlufteintritte auf der Innenseite

IR-Innenaufnahme. Hier zeigen sich mit Hilfe einer BlowerDoor-Anlage, die im Dachzimmer einen Unterdruck von 50 Pascal erzeugt, diverse Kaltlufteintritte (⇐⇒).

Ein exakter Nachweis aller Leckstellen ist im Dachbereich nur mit IR-Innenaufnahmen mittels Subtraktionsverfahren möglich (Erläuterungen dazu siehe Anhang 14).

Zu beachten im IR-Bild links: Unter dem Täfer ist die Lage der Sparren erkennbar (⇐⇒). Ältere Studien besagen, dass bei einzelnen EFH aus den 60er Jahren bis zur Hälfte der Heizenergie durch austretende Warmluft verloren geht. Verschiedene Regelwerke (Norm SIA 180 und auch MINERGIE) setzen deshalb Grenzwerte für die Lüftdurchlässigkeit fest.

## Kapitel 10.3 Luftleckagen bei neueren Bauten



### Leckstellen bei Tür und Fensterfugen

Bei neueren Gebäuden, vor allem bei Niedrigenergiehäusern, wird besonders gut auf eine luftdichte Konstruktion geachtet.

Mit Hilfe von IR-Bildern oder/und BlowerDoor Tests zeigen sich aber trotzdem immer wieder Fehlstellen, die behoben werden müssen.

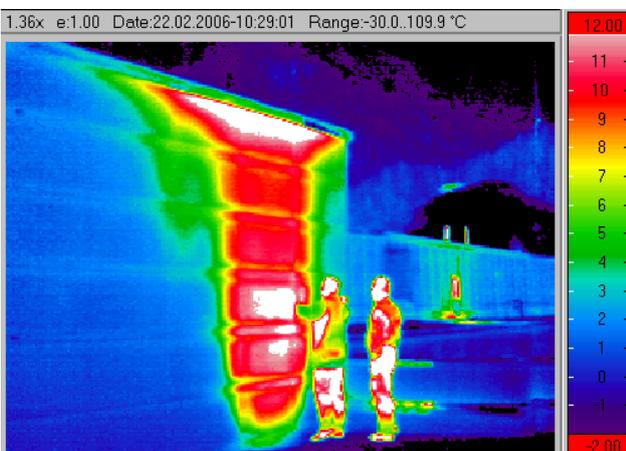
IR-Bild links: Bei diesen Fenstern schliessen die Motoren der automatischen Fensterlüftung die Flügel nicht richtig. Ähnlich kann es auch aussehen, wenn die Flügel nicht justiert sind oder die Fensterdichtungen zerquetscht sind. Erst IR-Detailaufnahmen und eine Besichtigung vor Ort können solche Ursachen klären.



### (Fast) alles perfekt 1

Das IR-Bild links zeigt eine undichte Türfuge und links davon eine warme Lampe bei einem MINERGIE-Gebäude.

Das Ziel von Wärmebildern bei Neubauten ist meist eine „optische“ Qualitätskontrolle, denn mit Wärmebildern können Kleinigkeiten erkannt werden, die bei einer normalen Kontrolle übersehen werden. IR-Bilder von Neubauten können mit der heutigen IR-Technik extrem fein aufgelöst werden (vgl. Anhang 3). So ist es durchaus möglich, auch bei sehr gut gedämmten Gebäuden Hinweise auf mögliche Material- oder Verarbeitungsmängel zu bekommen.



Links: Extremes Beispiel einer Schadenerkennung durch Thermografie. Das Bild zeigt eine hinterlüftete Betonfassade. Bei der Montage der Betonelemente war man offensichtlich sehr beschäftigt und hat deshalb vergessen, eine fenstergrosse Aussparung zu einem Installationsraum (im Warmbereich!) zu verschliessen! Vor der Fassade stehen zwei ahnungslose Betriebsangehörige, sie können nichts davon erkennen . . .

Weitere Beispiele zu hinterlüfteten Fassaden siehe Kap. 6.2

## Kapitel 11.1 Neue Gebäude mit wenig Wärmeverlusten



### Geringe Wärmeverluste

Neubauten müssen heute wärmetechnisch wesentlich höhere Anforderungen erfüllen als früher. Damit liegen die Oberflächentemperaturen von gut gedämmten Fassaden nahe bei der Aussenluft-Temperatur.

**Bei Neubauten und Sanierungen kann mit Wärmebildern nicht mehr erkannt werden, ob eine Aussenwand gut oder sehr gut gedämmt ist !** (vgl. auch Info in Anhang 16).



### (Fast) alles perfekt

Auch bei diesem Mehrfamilienhaus lässt das IR-Bild links den Schluss zu, dass die Dämmqualität von den Wänden und den Fenstern gut ist. Lediglich bei einem Fensterflügel ist dank des IR-Bildes eine Schwachstelle zu erkennen. Möglich ist jedoch auch, dass der Flügel nicht richtig geschlossen wurde, was immer wieder vorkommt, wenn die Fenster nicht richtig justiert sind.



### IR-Bild unten: **Kein Mangel erkennbar**

Die IR-Bilder auf dieser Seite zeigen, dass auch bei neuen Gebäuden der thermische Schwachpunkt grundsätzlich bei den Fenstern liegt, da ihr Dämmpotenzial geringer ist, als dasjenige der Wände.

Allerdings muss dabei gleich auch erwähnt werden, dass die sonnenorientierten Fenster auch erhebliche Energiegewinne bringen (vgl. Info Anhang 15).

## Kapitel 12.1 Spezielle Effekte: Unterkühlungen



### Stark unterkühlte Dachfläche

Die Meteo-Bedingungen vor- und während den IR-Aufnahmen prägen die Oberflächentemperaturen von Gebäuden ganz wesentlich. Sie sind deshalb genau zu erfassen und zu dokumentieren (vgl. Anhang 9 + 10, Meteo).

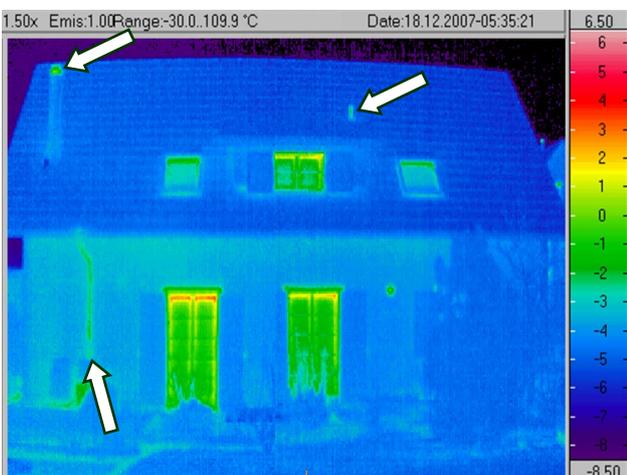
IR-Bild links: Diese Dachfläche hat sich wegen starker Abstrahlung zum kalten, klaren Nachthimmel gegenüber der Lufttemperatur um ca. 5 K unterkühlt. Je mehr kalten Himmel eine Oberfläche „sieht“, desto stärker kann sie sich unterkühlen. Deshalb sind Fassaden (senkrecht) jeweils weniger unterkühlt als Dächer. Das gleiche gilt auch für die Front- und Seitenscheiben bei Autos: Am schnellsten und stärksten vereist die geneigte Frontscheibe.

Oberflächen die keinen Himmel „sehen“ sind demzufolge deutlich wärmer. Das IR-Bild oben zeigt eine solche Zone  unter dem Vordach. Man nennt dies auch Strahlungsschatten (weiteres Bsp. dazu: siehe IR-Bild 3, Kap. 1.1).



Das IR-Bild links zeigt das gleiche Phänomen unter einem Balkon. Auch bei vertieften Hauseingängen, in Gebäudenischen und beim Fenstersturz etc. sind deshalb die Temperaturen meist etwas erhöht. Das erschwert zwar die Bildinterpretationen etwas, die effektiven wärmetechnischen Schwachstellen sind aber trotzdem erkennbar.

Ein Strahlungsschatten kann auch bei Hochnebel entstehen. Je grösser der Unterschied zwischen der Luft- und der Wolkentemperatur, desto stärker der Strahlungsschatten.

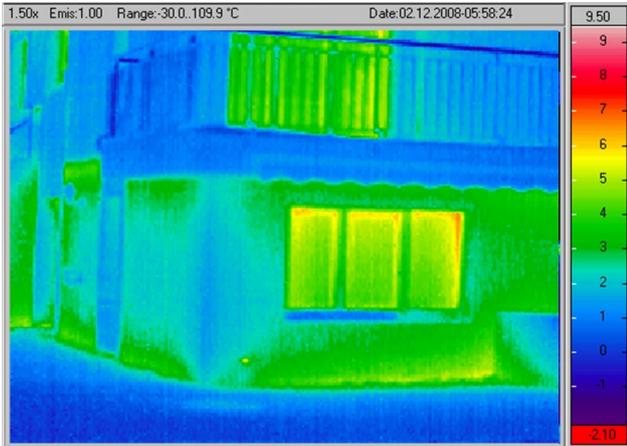


### Ideale Aufnahmebedingungen

IR-Bild links: Ein gut gedämmtes, neues EFH. Ein Idealfall, der Strahlungsaustausch ist gering und das Dach ist nur minimal unterkühlt. Die thermischen Schwachstellen zeigen sich hier praktisch „fehlerfrei“.

 Durch Dunstrohre (Entlüftung der Kanalisation) und Dachwasserabläufe entweicht bei kaltem Wetter warmes Kanalgas, das vorher durchs Erdreich aufgewärmt wurde.

## Kapitel 12.2 Spezielle Effekte: Feuchtigkeit und Nässe



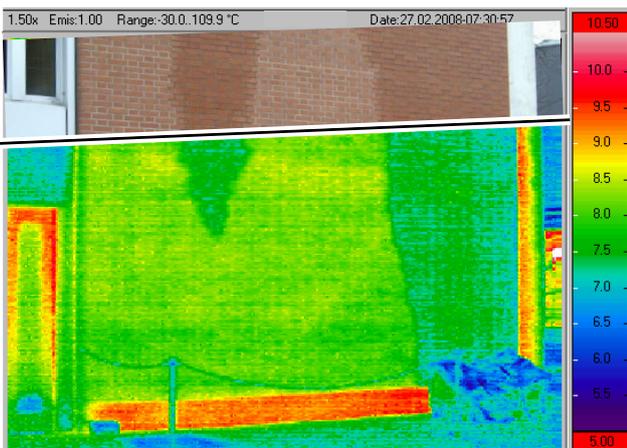
### Aufsteigende Feuchtigkeit im Sockelbereich

Die häufigsten Gründe für erhöhte Temperaturen am Gebäudesockel sind in Kap. 2.2 erläutert. Ist ein Bauteil im Innern feucht (z.B. der Backstein oder die Wärmedämmung) so erhöht das den Wärmefluss. Das zeigt sich im IR-Bild von aussen gleich wie eine Wärmebrücke, womit diese Stellen erhöhte Temperaturen haben. Bei Gebäudesockeln ist es oft schwierig zu erkennen, ob neben den in Kap. 2.2 beschriebenen Einfüssen auch noch Feuchtigkeit mit im Spiel ist.



### Feuchtigkeit zwischen den Mauerschalen

Im Bild links konnte bei den Fensteranschlüssen Feuchtigkeit ins 2-Schalenmauerwerk eindringen. Ob nur die Backsteine oder/und auch der Dämmstoff feucht wurde, kann auf Grund der IR-Bilder nicht beurteilt werden. Deutlich erkennbar sind aber die betroffenen Bereiche (grüne Flecken).

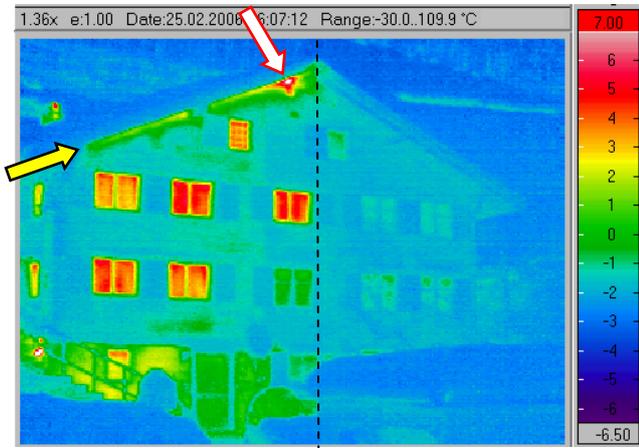


### Feuchtigkeit auf der Oberfläche

Wird eine Fassade verregnet, so dringt das Wasser normalerweise nicht ins Mauerwerk ein. Es bleibt als Oberflächenfeuchte / Nässe liegen und trocknet später wieder ab. Bezüglich Wärmedämmung hat diese Feuchtigkeit keine relevante Wirkung.

Das IR-Bild links zeigt eine Backstein-Hochhausfassade mit einem herunter laufenden Wasserfilm (oberer Teil = Foto, unterer Teil = IR-Bild). Dieses Oberflächenwasser ist kühler als die trockene Wandoberfläche. Grund: Einerseits kühlt Regenwasser meist die Fassade ab und andererseits erzeugt verdunstendes Wasser eine Kühlwirkung.

## Kapitel 12.3 Spezielle Effekte: unbeheizte Zonen und Gebäude

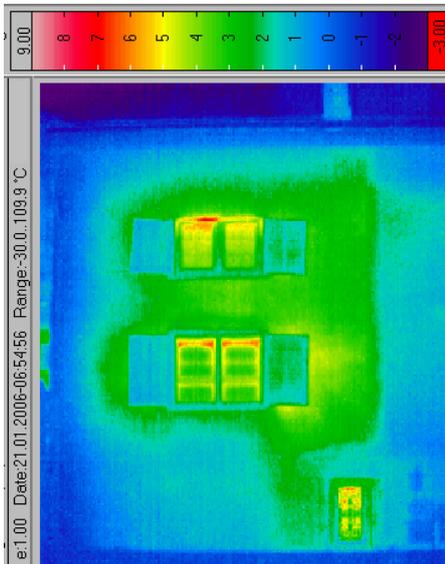


### Beheizt / unbeheizt

Das IR-Bild links zeigt ein 2-Familienhaus. Der rechte Gebäudeteil ist unbewohnt und unbeheizt, womit sich keine Wärmeverluste ergeben. Der linke, bewohnte und beheizte Teil zeigt aber, dass das Gebäude mässig bis gut gedämmte Wände hat, jedoch alte Fenster.

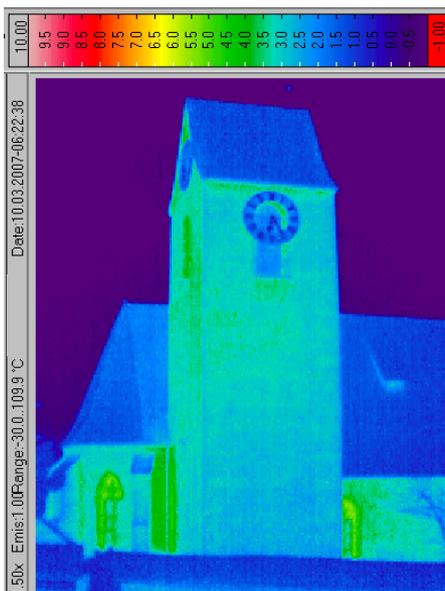
Im oberen Bereich des Daches zeigt sich eine erhebliche Leckstelle mit Warmluftaustritt.

Es ist gut ersichtlich, dass der ganze Anschlussbereich Wand-Dach erhöhte Wärmeverluste hat (vgl. Thema Luftleckagen, Kap. 10).



### Beheizte Einzelzone

IR-Bild links: Viele alte Gebäude haben noch Einzelraumheizungen (z.B. einen Kachelofen). Dieser erwärmt nur eine bestimmte Zone im Gebäude, und die umliegenden Räume werden nur indirekt erwärmt, analog einem Wintergarten oder Windfang (weiteres Beispiel siehe Kap. 6.4).



### Unbeheizte Gebäude

IR-Bild links: Auch bei unbeheizten oder nur zeitweise beheizten Gebäuden (Ferienhäuser, Kirchen, Festhallen etc.) gibt es mit Thermografie etwas zu sehen:

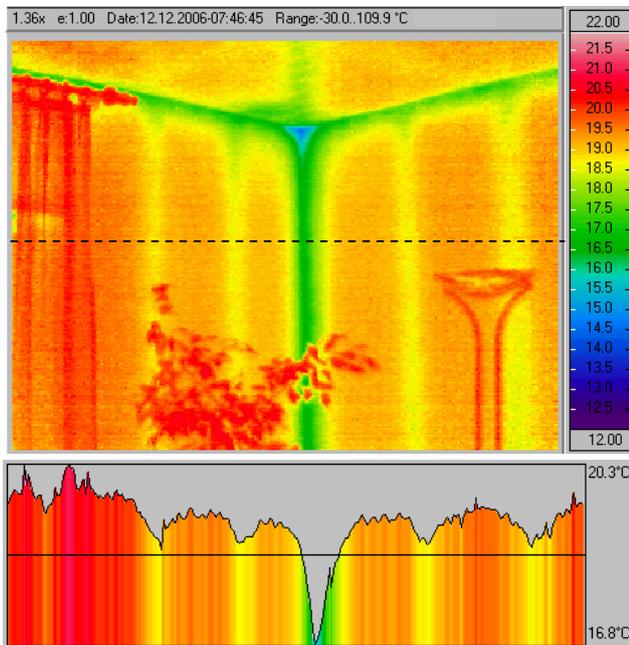
In solchen Gebäuden erwärmt einerseits die Erdwärme in minimalem Rahmen die untersten Gebäudebereiche und andererseits stellt sich im Raum eine mittlere Temperatur ein, bzw. wird die nächtliche Abkühlung der Aussenluft nicht sofort auf den Innenraum übertragen. Somit sind mit IR-Bildern von aussen minimal erhöhte Temperaturwerte bei den Fenstern erkennbar. Vom Aussehen her analog einem extrem guten Wärmeschutzfenster. Wesentlich ist jedoch immer auch die Frage, wie viel Restwärme von einem früheren Anlass im Innenraum noch vorhanden ist.

## Kapitel 13.1 IR-Innenaufnahmen

Werden IR-Innenaufnahmen gemacht, so zeigt sich das Gegenteil von Aussenaufnahmen: Wenig gedämmte Bauteile und Wärmebrücken haben kühle Oberflächentemperaturen (im IR-Bild meist blau dargestellt), während die gut gedämmten Bereiche warm sind und nahezu Innentemperatur haben (im IR-Bild meist rot-orange dargestellt).

Treten tiefe innere Oberflächentemperaturen und/oder eine erhöhte Raumlufffeuchtigkeit zusammen auf, so besteht je nach Intensität und Dauer dieses Zustandes ein Risiko für Schimmelpilzbildung oder sogar Kondensat.

Aber auch auf den thermischen Komfort haben tiefe Oberflächen-Temperaturen einen Einfluss: Bei gleicher Raumluff-Temperatur (z.B. 21 °C) fühlen sich Personen in Räumen mit kalten Oberflächen wegen erhöhter Körperabstrahlung weniger wohl. Folge: es wird mehr geheizt womit der Energieverbrauch zusätzlich steigt.



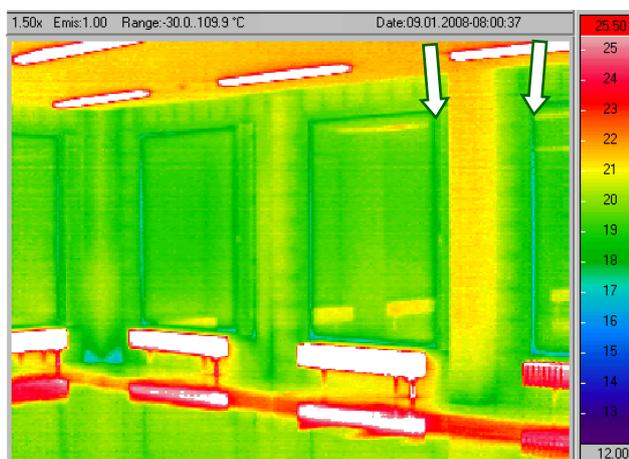
### Aussenecke von innen

IR-Bild links: Aussenecke. Erläuterungen dazu siehe Kapitel 7.2.

Bei Innenaufnahmen zeigt sich das Gegenteil von Aussenaufnahmen. Wärmetechnische Schwachpunkte sind kalt und zeigen sich auf dem IR-Bild im Grün-Blaubereich.

Innenaufnahmen sind eine ideale-, je nach Fragestellung manchmal notwendige Ergänzung zu Aussenaufnahmen.

Schnittgrafik (Histogramm) zum Bild oben. Die Auswerte-Software kann aus jedem IR-Bild beliebige Temperaturdarstellungen generieren. Hier sind die Temperaturen von der schwarzen gestrichelten Linie im IR-Bild oben als Diagramm dargestellt. Der Temperaturabfall in der Ecke kann so noch besser erfasst werden.

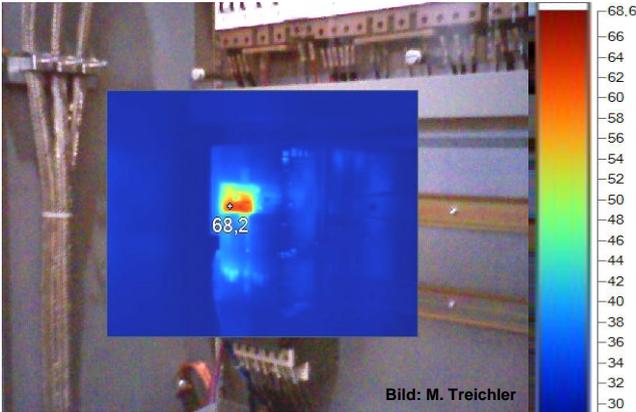


### Fenster von innen

IR-Bild links: Eine Innenaufnahme in einem neuen Bürogebäude mit grossen Fenstern. Auffallend sind die warmen Konvektoren unter den Fenstern und die Deckenlampen. Deutlich erkennbar: Der spiegelnde Bodenbelag. Die Fenster sind sehr gut wärmedämmend,  der Glasrandverbund, eine konstruktive Wärmebrücke, zeigt sich hier nur geringfügig.

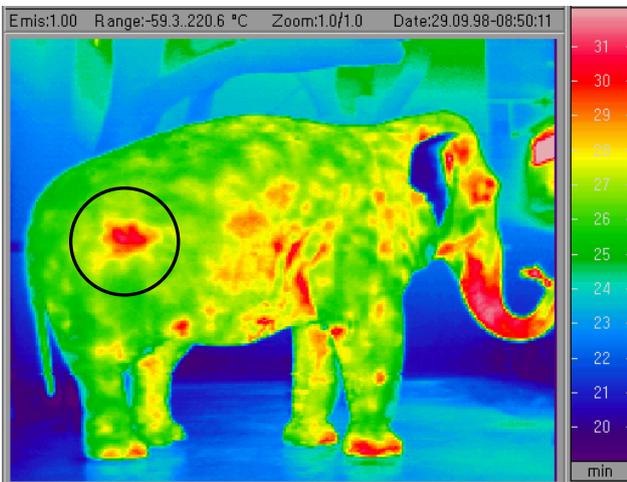
Weitere Bsp. von Innenaufnahmen:  
 IR-Bild 3 in Kap. 8.1 (haustechnische Install.)  
 IR-Bild 3 in Kap. 10.2 (Luftleckagen)

## Kapitel 14.1 Beispiele weiterer Thermografieanwendungen 1



### Elektro-Thermografie

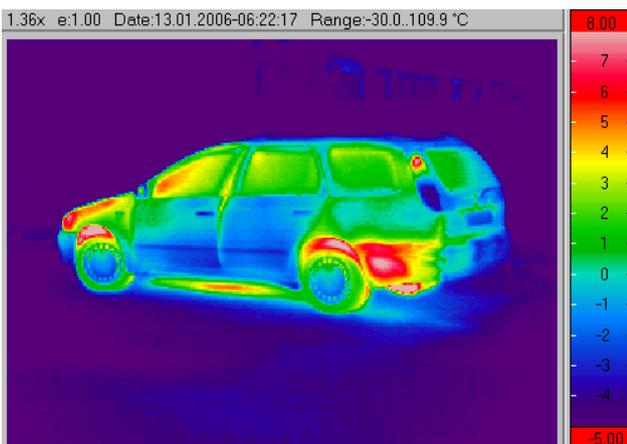
Temperaturen von über 65 °C an einer Schalteroberfläche. Der angeschlossene Verbraucher ist im Standby-Betrieb. Die Temperatur dürfte sich bei zunehmender Last im Betrieb der Maschine noch erhöhen. Dies führt voraussichtlich zu gefährlichen und ausserhalb der Norm (NIN 2010) liegenden Temperaturen für im Betrieb berührbare, nicht leitende Teile.



### Veterinär-Thermografie

Im Zoo Zürich konnte 1998 bei der Elefantenkuh „Chukha“ eine Hüftgelenkentzündung, die mit einer lokalen Zunahme der Wärme einhergeht, visualisiert werden.

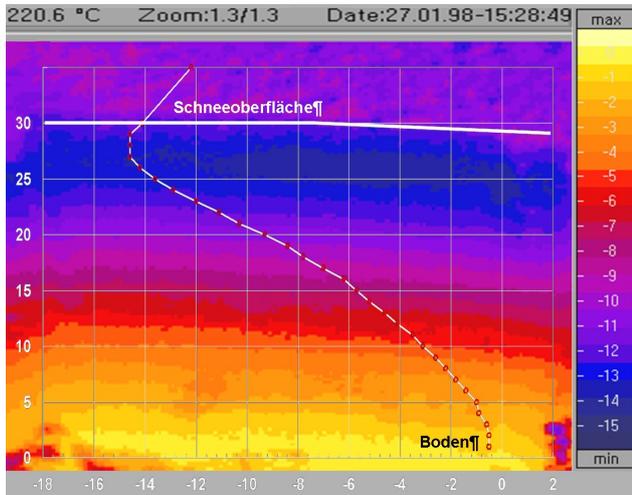
In einem Veterinär-Projekt wurde darauf hin der therapeutische Effekt von Muschelextrakten auf die Gelenksfunktion untersucht.



### Industrie-Thermografie, Fahrzeuge

Auch bei Fahrzeugen können mit IR-Bildern interessante Erkenntnisse gewonnen werden. Bei Zügen z.B. werden systematische Kontrollen von Rädern durchgeführt.

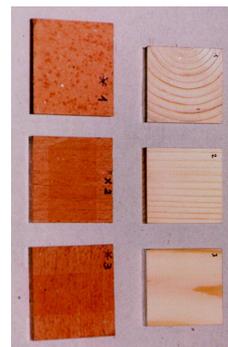
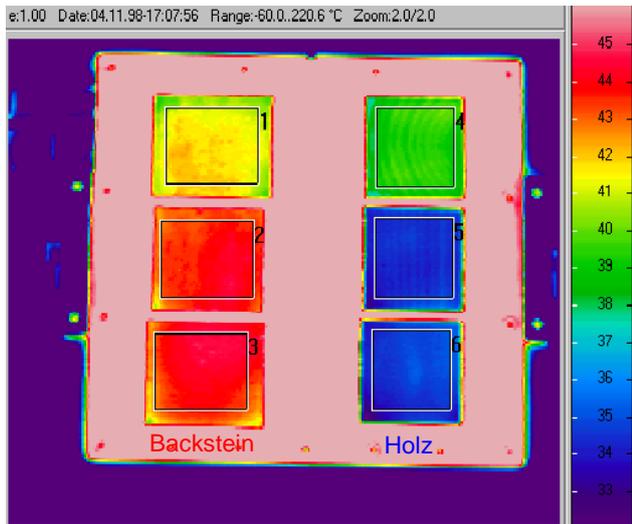
## Kapitel 14.2 Beispiele weiterer Thermografieanwendungen 2



### Querschnitt durch Schneedecke

Eine Kombinationsgrafik aus der Schneeforschung: Das IR-Bild links zeigt ein frisch abgestochenes Schneeprofil (Querschnitt durch eine 30 cm dicke Schneedecke).

Man erkennt, dass die Schneedecke wie eine Isolationsschicht wirkt. Die Lufttemperatur (oben, violett) ist im kalten Minusbereich, während die Bodenoberfläche unter der Schneedecke infolge Erdwärme im 0°C-Bereich liegt (gelb).



Backstein Holz

Nr.	Min.	Max.	Mwt.
1	40.4	42.4	41.6
2	42.7	44.7	43.7
3	42.5	44.9	44.0
4	38.5	40.2	39.3
5	33.7	35.1	34.3
6	33.1	35.2	34.6

### Bauforschung / Materialprüfung

Empa Projekt "λ-anisotrop": Je drei Prüfkörper aus Backstein und Holz (ca. 6 x 6 cm), sind mit genau gleicher Dicke so präpariert, dass sie die x-, y- und z-Richtung des Materials repräsentieren.

Im IR-Bild liegen die Proben auf einer Heizplatte (ca. 50 °C) und haben noch eine einheitlich schwarze Oberflächenbeschichtung (→ gleicher Emissionswert). Da die Wärmeleitfähigkeit λ nicht in jeder Materialrichtung gleich ist, ergeben sich auf den Prüfkörpern unterschiedliche Temperaturen.



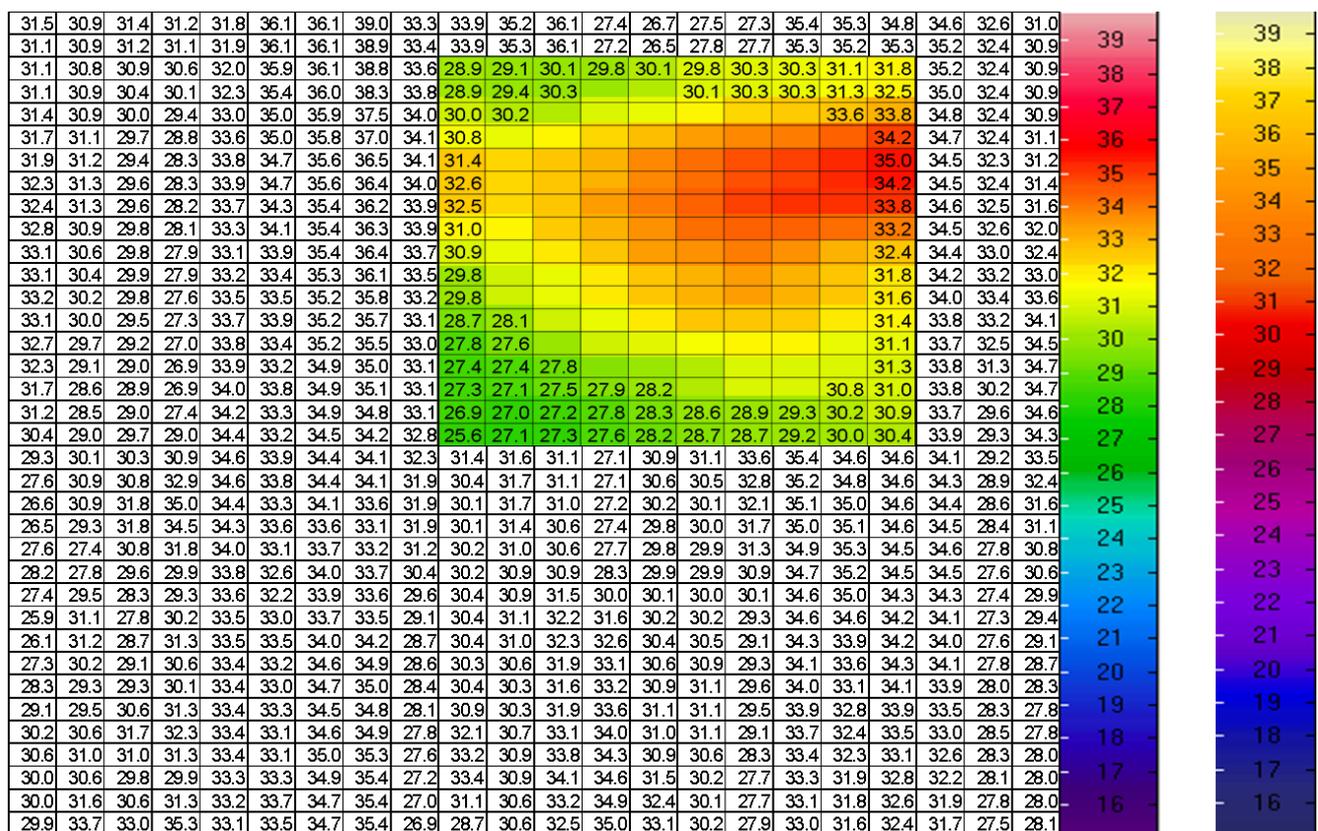
## **Inhaltsverzeichnis Anhang 1 - 17**

Anhang	1	Wie entsteht ein Infrarotbild.....	46
	2	Die unterschiedlichen Farbkeile .....	47
	3	Die Einstellung der Temperaturskala.....	48
	4	Auswirkungen der Temperaturskalierung .....	49
	5	Durchsichtig und undurchsichtig.....	50
	6	Spiegelungen ( $\epsilon$ -Werte von Oberflächen).....	51
	7	Distanz-Effekt / Messfleckgrösse .....	52
	8	Physikalisches zur Infrarotstrahlung.....	53
	9	Meteo 1: Temperaturprofile in Aussenwänden .....	54
	10	Meteo 2: Temperaturentwicklung und Unterkühlungen .....	55
	11	Die „natürliche Wärmebildkamera“ .....	56
	12	Beispiele von heutigen mobilen IR-Kameras .....	57
	13	Die Luftdurchlässigkeitsmessung .....	58
	14	Lecksuche mit IR und Unterdruck (IR-Innenaufnahmen).....	59
	15	Energieverluste eines typischen Einfamilienhauses .....	60
	16	Unsicherheiten bei der energetischen Bewertung von Bauteilen.....	61
	17	Thermografie Verband Schweiz (theCH).....	62

## Anhang 1 Wie entsteht ein Infrarotbild

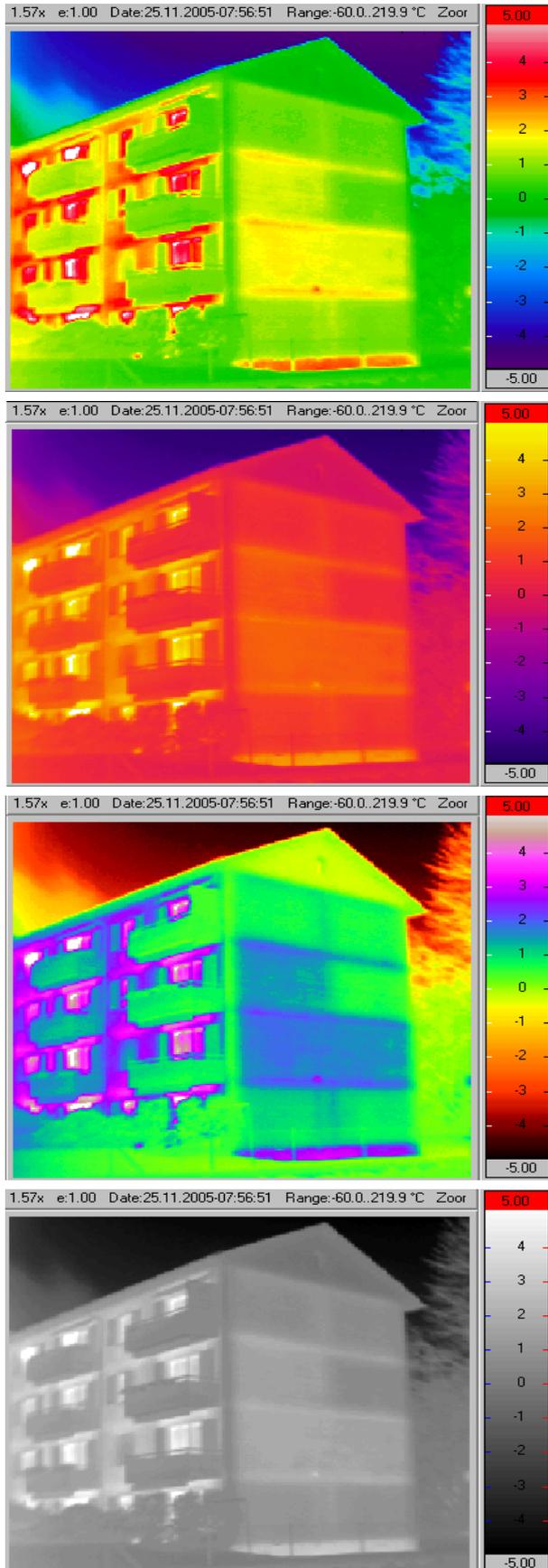
Ein IR-Bild ist eine Darstellung von Oberflächentemperaturen. Dafür wird die Wärmeabstrahlung eines Objektes, die dem menschlichen Auge verborgen bleibt, im IR-Bereich gemessen und in eine Temperaturmatrix umgerechnet. Die im Baubereich verwendeten IR-Kameras arbeiten im Wellenlängenbereich 8 - 14 µm und erfassen normalerweise min. 320 x 240 Bildpunkte. Jedem dieser Messpunkte wird via Rechenprozess - der Temperatur entsprechend - eine bestimmte Farbe zugeordnet. Diese Zuordnung kann aber beliebig verändert werden, sei es durch einen anderen Farbkeil oder durch unterschiedliche Temperaturskalierungen. Damit lässt sich die gleiche Aufnahme optisch völlig unterschiedlich darstellen (vgl. folgende Anhänge).

Wesentlich für IR-Aufnahmen von Gebäuden ist, dass die zu betrachtende Konstruktion einer Temperaturdifferenz ausgesetzt ist (zwischen innen und aussen in der Regel > 15 °C), denn nur mit einem genügend grossen Wärmeabfluss ergeben sich unterschiedliche Oberflächentemperaturen. Aber nicht nur die Temperaturdifferenz, sondern auch weitere Faktoren wie die Materialien der Konstruktion (z.B. Wand) oder das „Luftpolster“ an der Oberfläche, der sog. „Wärmeübergangswiderstand“ [R<sub>se</sub>] (vgl. Anhang 9) spielen eine wichtige Rolle beim Interpretieren von Wärmebildern.



Grafik oben: So entsteht ein IR-Bild: Jedem gemessenen Temperaturpunkt wird eine Farbe zugeordnet. Die Farbteilung und die Spreizung der Skalierung (= Empfindlichkeit) ist beliebig wählbar.

## Anhang 2 Die unterschiedlichen Farbkeile



Bildserie links: Mit der immer gleichen **IR-Aufnahme** wurden hier 4 verschiedene **IR-Bilder** erzeugt, indem 4 unterschiedliche Farbkeile eingesetzt wurden. Die Skalierung (Spannweite der angezeigten Temperaturen) ist bei allen 4 gleich.

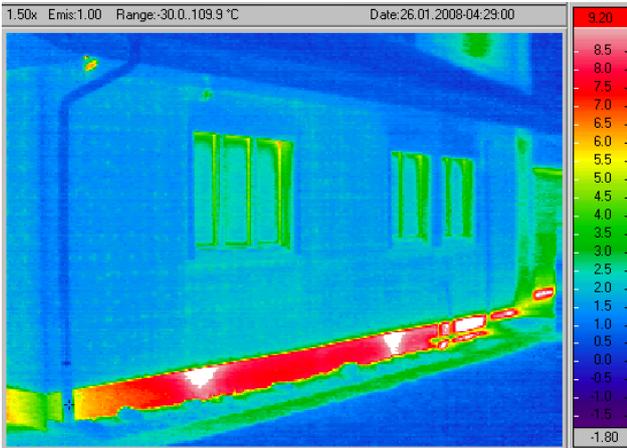
Je nach Anzahl und Lage der Farbübergänge im Farbkeil, kann bereits mit der Farbkeilwahl eine höhere oder tiefere Empfindlichkeit des IR-Bildes erreicht werden. Die Auswertungs-Software bietet meist eine Vielzahl von Farbkeildefinitionen an.

Welche Auswirkung die Veränderung der Skalierung hat (= Definition des Maximal- und Minimalwertes oben und unten im Farbkeil) zeigt Anhang 3.

Bei Berichterstattungen zu IR-Gebäudeaufnahmen sind eine Deklaration der Bildeinstellungen (Farbkeil mit Temperaturzuordnungen und Aufnahmezeit) sowie Informationen zu den klimatischen Randbedingungen und deren Entwicklung eine unbedingte Notwendigkeit.

Wer quasi-quantitative Aussagen von IR-Bildern ableitet („es ist gut gedämmt - es ist mangelhaft“ etc.) braucht weitere Zusatzinformationen von der Baukonstruktion und Erfahrungswerte von vergleichbaren Objekten (z.B. mit dieser Dokumentation) sowie eine nachvollziehbare Auswertungsmethode.

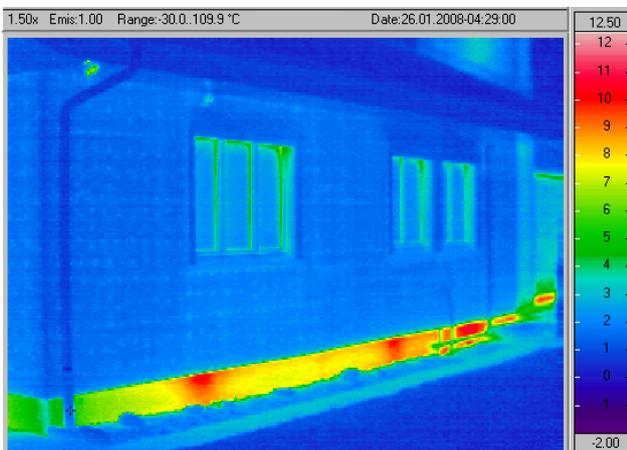
### Anhang 3 Die Einstellung der Temperaturskala



#### Normalskalierung

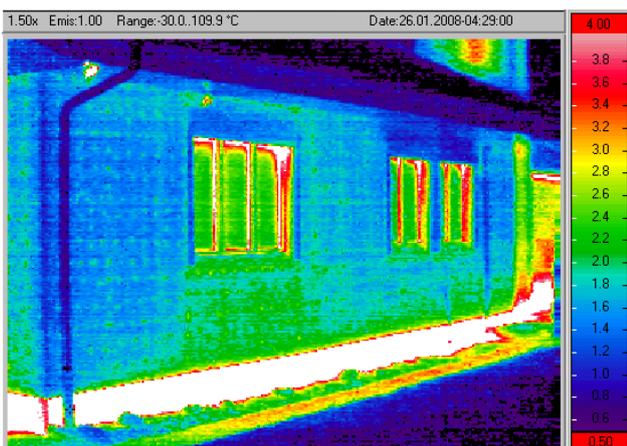
IR-Bild links: Dieses EFH wurde mit einer verputzten Aussenwärmedämmung und neuen Fenstern energetisch saniert. Der Gebäudesockel zeigt aber sehr grosse Wärmeverluste, da er nicht gedämmt wurde, obwohl das Kellergeschoss voll beheizt ist. (vgl. Kellergeschosse, Kap. 2.2).

Die Sockeltemperatur ist hier stellenweise so hoch, dass sie mit den normalen Einstellungen der Auswertemethode QualiThermo® nicht mehr dargestellt wird (= weiss).



#### Erweiterte Temperaturskala

IR-Bild links: Gleiche IR-Aufnahme wie oben. Mit der erweiterten Skalierung können die Maximaltemperaturen am Sockel erfasst werden. Nachteil: Das Bild suggeriert geringere Wärmeverluste.



#### Eingeschränkte Temperaturskala = erhöhte Empfindlichkeit (Sensitivity)

IR-Bild links: Gleiche IR-Aufnahme wie oben. Mit der eingeschränkten Skalierung fällt der Gebäudesockel vollends aus dem Farbkeil. Dafür werden nun Details der Wandkonstruktion erkennbar: Die feine Punktstruktur zeigt die Lage der Dämmstoffdübel an, selbst wenn sie hier nur aus Kunststoff sind (weiter Bsp. von solchen Dübeln: siehe Kap. 7.5).

Nachteil: Das Bild vermittelt nicht mehr den Eindruck, dass die Fenster gut sind. Speziell bei der Betrachtung der Rahmen könnten falsche Schlüsse gezogen werden.

Für die Gebäudethermografie ist eine zielorientierte Skalierung sehr wichtig, da es unsinnig ist, Kleinigkeiten problematisch darzustellen. Deshalb sollten für energetische Betrachtungen alle IR-Aussenbilder eines Gebäudes mit einer fixen Skalierung dargestellt werden!

Sind auch nicht energetische Fragestellungen gegeben (z.B. wo sind die verputzten Holzriegel), so können dafür zusätzliche IR-Bilder mit höherer Empfindlichkeit abgebildet werden.

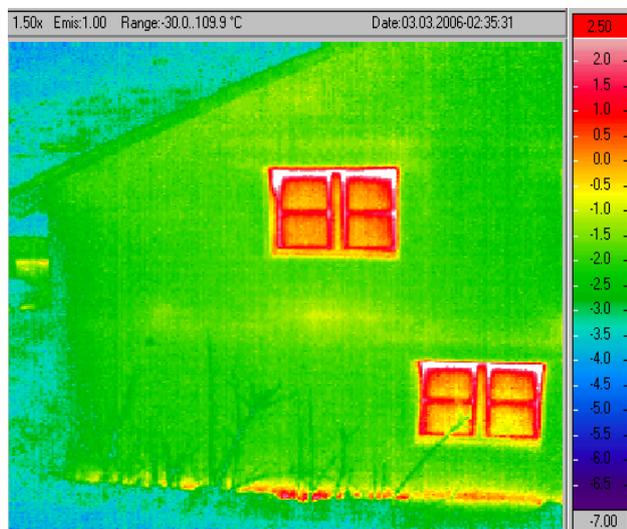
## Anhang 4 Auswirkungen der Temperaturskalierung

Für eine Umwandlung einer IR-Aufnahme in ein IR-Bild (= Wärmebild oder Thermogramm) muss nicht nur der Farbkeil, sondern auch die Skalierung innerhalb des Farbkeils vorgegeben werden. Wer IR-Aufnahmen auswertet und Wärmebilder erstellt, muss für eine optimale Darstellung in jedem Fall berücksichtigen, welches Ziel ein Wärmebild hat. Es ist kontraproduktiv, wenn mit übertriebenen Empfindlichkeits-Einstellungen aus Mücken Elefanten gemacht werden und umgekehrt.



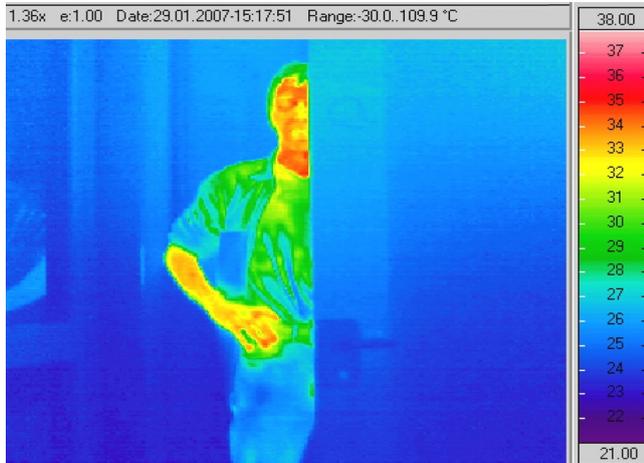
### IR-Bild 1 und 2:

Gleiche IR-Aufnahme, dargestellt mit unterschiedlicher Skalierung. Mit der Vorgabe einer maximalen und minimalen Temperatur oben und unten auf dem Farbkeil wird die Empfindlichkeit (Sensitivity) definiert. Es lassen sich damit so enge Grenzen setzen, dass Temperaturunterschiede im Bereich von Zehntelgraden sichtbar werden. Aber: was über und unter diesen gesetzten Grenzen ist, kann logischerweise nicht mehr angezeigt werden, auch wenn im Hintergrund die Information vorhanden ist. Meist werden die Temperaturwerte ausserhalb des Farbkeils deshalb mit weiss (zu warm) und schwarz (zu kalt) angezeigt.



Auswirkungen am Beispiel der Fassadenbilder: Sind diese Fenster „gut“ oder „schlecht“? Wer solche Bewertungen machen will, sollte ein nachvollziehbares Beurteilungssystem haben. Die meisten IR-Bilder in dieser Dokumentation wurden mittels QualiThermo<sup>®</sup> ausgewertet. Diese Auswertungsmethode bietet einen begrenzten Schutz vor Fehlinterpretationen und ermöglicht, dass die IR-Bilder in ihrer optischen Erscheinung miteinander verglichen werden können. Weitere Beispiele unterschiedlicher Skalierung siehe Kapitel Anhang 3.

## Anhang 5 Durchsichtig und undurchsichtig



### Glastür: Durchsichtig oder nicht?

Glas ist für sichtbare, kurzwellige Strahlung fast vollständig durchlässig. Im langwelligen Infrarotbereich (8 bis 14  $\mu\text{m}$ ) ist es jedoch „dicht“ und absorbiert die IR-Strahlung. Allerdings reflektiert Glas die IR-Strahlung zu ca. 16 %, was auf IR-Bildern oft sichtbar ist. (Beispiele dazu siehe Anhang 6). Damit ist auch der Treibhauseffekt erklärt: Energieintensive, kurzwellige Sonnenstrahlung durchdringt das Glas und heizt die Raumboflächen auf. Diese Oberflächen strahlen nun nicht mehr wie die Sonne, sondern im langwelligen IR-Bereich und können damit Ihre Strahlungsenergie nicht mehr durchs Glas nach aussen abgeben.

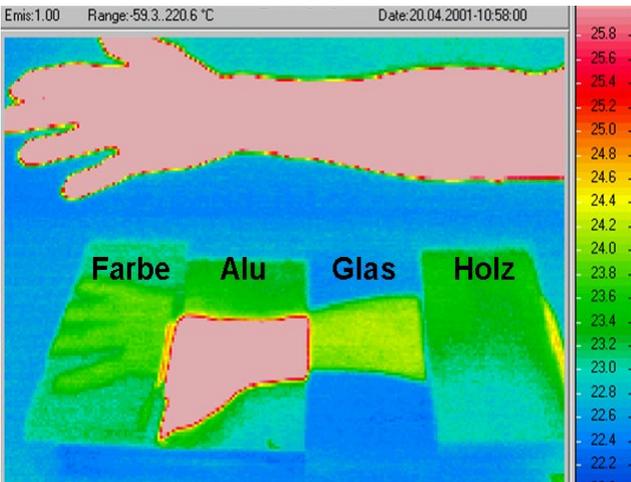
Im Strahlungsbereich 8 bis 14  $\mu\text{m}$  können IR-Bilder auch über grosse Distanzen gemacht werden, da in diesem Bereich die Luft praktisch durchsichtig ist («atmosphärisches Fenster»). Nur Wolken (Wasserdampf) und einige Gase wie z.B.  $\text{CO}_2$  beeinträchtigen den «IR-Durchblick».

Das erklärt nun auch den globalen Treibhauseffekt: Je mehr  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre ist, desto mehr heizt sich die Erde auf, weil die IR-Abstrahlung gegen den Weltraum immer kleiner wird.



Gerade umgekehrt verhält sich die Situation bei den meisten Kunststofffolien oder z.B. auch bei Rauch. Diese sind im optischen Bereich undurchsichtig, lassen aber die IR-Strahlung zum grossen Teil durch. Mit zunehmender Dicke der Kunststoffe wird jedoch auch der IR-Strahlungsdurchlass reduziert.

## Anhang 6 Spiegelungen ( $\epsilon$ -Werte von Oberflächen)



### Reflexionen und Abstrahlungsverhalten

Die Bilder links zeigen, dass die Abstrahlungseigenschaft ( $\epsilon$ -Wert) im IR-Bereich nicht bei allen Oberflächen gleich ist. In einem IR-Bild sind deshalb (gleiche!) Temperaturen von Farbe, Metall, Glas, Holz (im Bild v.l.n.r.) nur bedingt miteinander vergleichbar. Je tiefer der  $\epsilon$ -Wert, desto mehr reflektiert die Oberfläche, sodass eine IR-Aufnahme auch die Wärmestrahlung der Umgebung erfasst (im Bild oben durch den warmen Arm), was für den Betrachter eine verfälschte Oberflächentemperatur ergibt. Besonders stark reflektieren unbeschichtete Metalle. Temperaturdifferenzen innerhalb einer homogenen Oberfläche sind jedoch sehr genau.

Praxisbeispiele bezüglich Glas siehe Kap. 4.3

$\epsilon$ -Werte im Beispiel links:

Material (v.l.n.r.)	$\epsilon$ -Wert	IR-Spiegelung
schwarze Farbe	0,92	8 %
rohes Aluminium	0,05	95 %
Glas	0,84	16 %
Holz	0,95	5 %

Bei IR-Kameras kann der Emissionswert (sofern bekannt) und eine „Umgebungstemperatur“ vorgegeben werden. Damit wird die Messung einer bestimmten Oberflächentemperatur genauer. Da im Gebäudebereich jedoch meist viele verschiedene Materialien sichtbar sind und die Umgebungs- und Hintergrundtemperaturen stark unterschiedlich sind (vor allem bei Aussenaufnahmen!), wurde vom Autor bei fast allen IR-Aufnahmen bewusst die  $\epsilon$ -Grundeinstellung 1.00 gewählt. Für spezielle Fragestellungen sind auch nachträglich via Software  $\epsilon$ -Wert Korrekturen möglich.

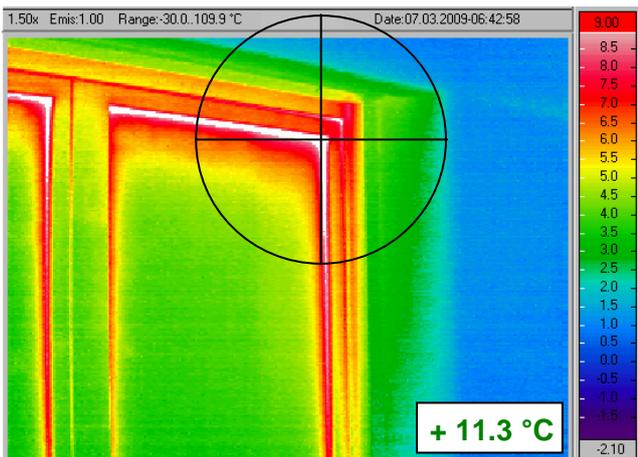
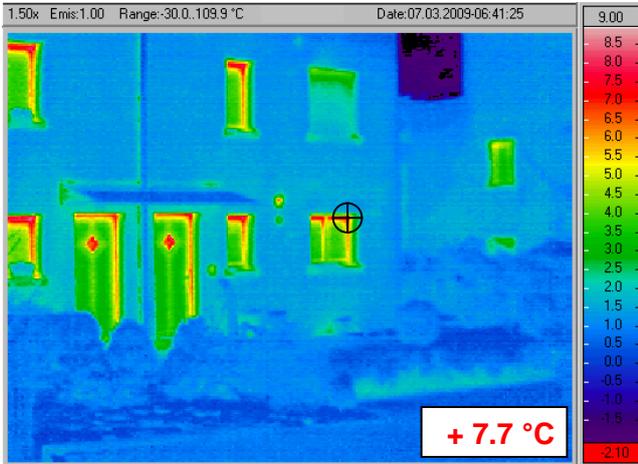
### Aufnahmewinkel

Achtung: Auch der Aufnahmewinkel zur Oberfläche verändert den  $\epsilon$ -Wert (Gesetz von Lambert). Je spitzer der Winkel, desto mehr Reflexion!

### Achtung bei der Gebäude-Thermografie:

Hat ein Gebäude Fassaden aus **Metall, poliertem Naturstein oder Glas**, so sind IR-Aufnahmen nicht ideal, da diese Materialien im Infrarotbereich spiegelnd wirken. Ist jedoch eine Oberfläche eloxiert, so hat sie einen hohen  $\epsilon$ -Wert und eignet sich sehr gut für IR-Aufnahmen.

## Anhang 7 Distanz-Effekt / Messfleckgrösse



Heutige Digitalkameras haben 10 und mehr Megapixel (= 10 Mio. Bildpunkte). Die Standard-Detektoren der professionellen IR-Kameras liefern uns jedoch erst 320 x 240 Bildpunkte (= ca. 77'000) oder eben 130 x weniger als die Digitalkameras. Zwar gibt es immer neuere und höher auflösende Chips (auch VGA), was aber entsprechend hohe Kosten verursacht. Die Auswirkung dieser doch eher beschränkten Pixelzahlen in einem IR-Bild ist bei der Interpretation von IR-Bildern nicht zu vernachlässigen. Die IR-Bilder links zeigen das am Beispiel des Fenster-Glasrandes.

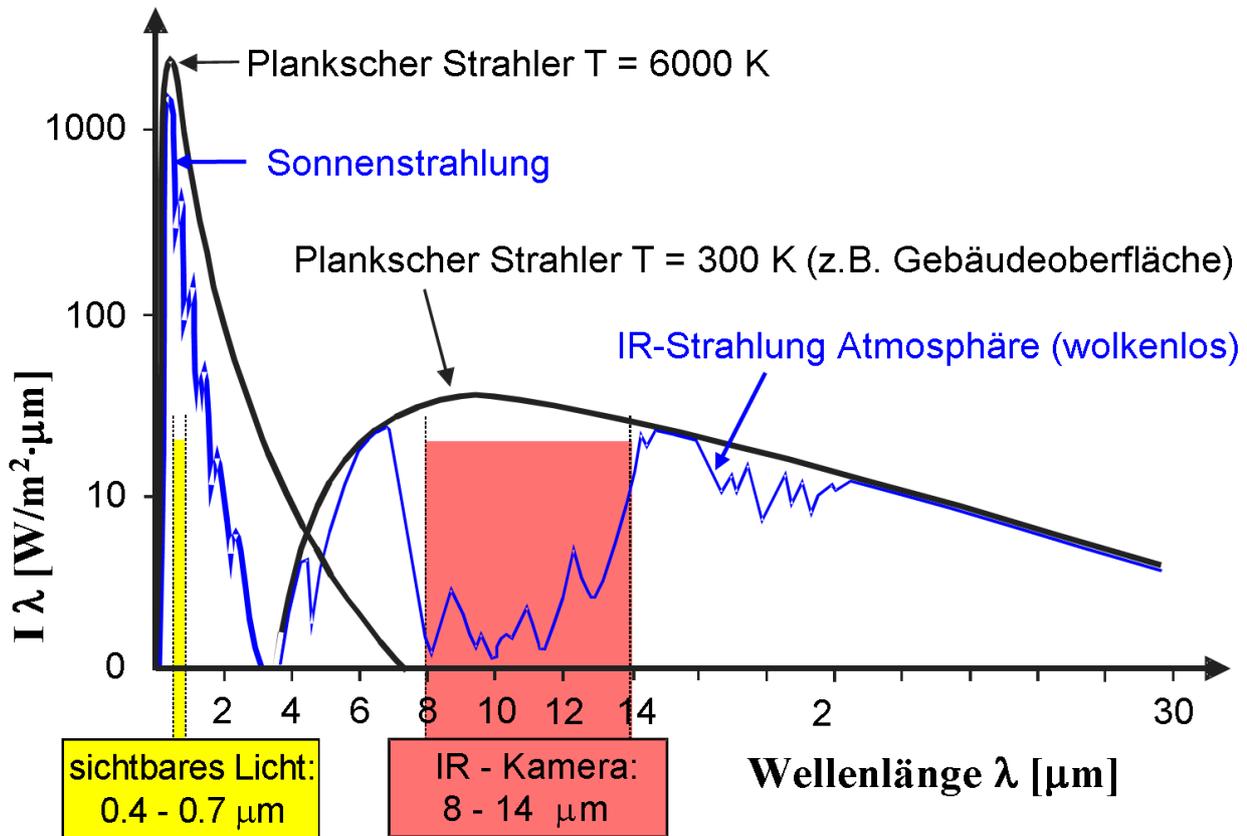
Werden von einem IR-Bild einzelne Temperaturpunkte abgelesen (von einem Pixel), so ist es wichtig zu wissen, wie gross die Objektfläche ist (Messfleckgrösse), welche die IR-Strahlung für dieses Pixel abgibt. Will man z.B. die höchste Temperatur am Glasrand genau bestimmen und hat eine zu grosse Distanz, bzw. eine zu grosse Messfleckgrösse, so entsteht eine Durchschnittstemperatur, die nicht mehr dem gesuchten Spitzenwert entspricht. Je grösser die Distanz zum Objekt, desto gedämpfter die einzelnen Pixelwerte.

IR-Bilder links: Gleiches Fenster, immer etwas näher aufgenommen. Mit der IR-Auswertesoftware kann der „HotSpot“ innerhalb des Kreises bestimmt werden. Da der „heisseste“ Temperaturpunkt beim Fenster in der oberen Glasrandecke liegt und eine sehr kleine Dimension hat, strahlt er im IR-Bild oben zusammen mit kühleren Umgebungstemperaturen auf das entsprechende IR-Pixel, was nicht zur gewünschten max. Temperatur führt.

Bild oben	Bild Mitte	Bild unten
1 Pixelfläche = 35 x 35 mm	1 Pixelfläche = 13 x 13 mm	1 Pixelfläche = 3 x 3 mm
$T_{HS} = + 7.7 \text{ °C}$	$T_{HS} = 9.4 \text{ °C}$	$T_{HS} = 11.3 \text{ °C}$

Die gleiche Problematik, die hier an den Wärmebrücken des Glasrandes aufgezeigt ist, gilt es bei verschiedenen weiteren Bauteilen wie z.B. Dämmstoffdübel, Fenster und Türfugen oder im Innenbereich bei Heizleitungen zu beachten.

## Anhang 8 Physikalisches zur Infrarotstrahlung



### Temperatur und Strahlung

Grafik oben

y-Achse: Maximale Strahlungsintensitäten  $I_\lambda$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$ ] von verschiedenen Strahlungsquellen in Abhängigkeit des Wellenlängenbereiches (x-Achse). Das sichtbare Licht (menschliches Auge) liegt im Wellenlängenbereich 0.4 - 0.7  $\mu\text{m}$  und damit mitten im Bereich der maximalen Intensität der Sonnenstrahlung. IR-Kameras für den Baubereich messen hingegen in der deutlich grösseren Bandbreite 8 - 14  $\mu\text{m}$ , womit die Zone der maximalen Strahlungsintensität von Oberflächen mit Umgebungstemperaturen (z.B. Gebäude -20 bis +30 °C) erfasst wird.

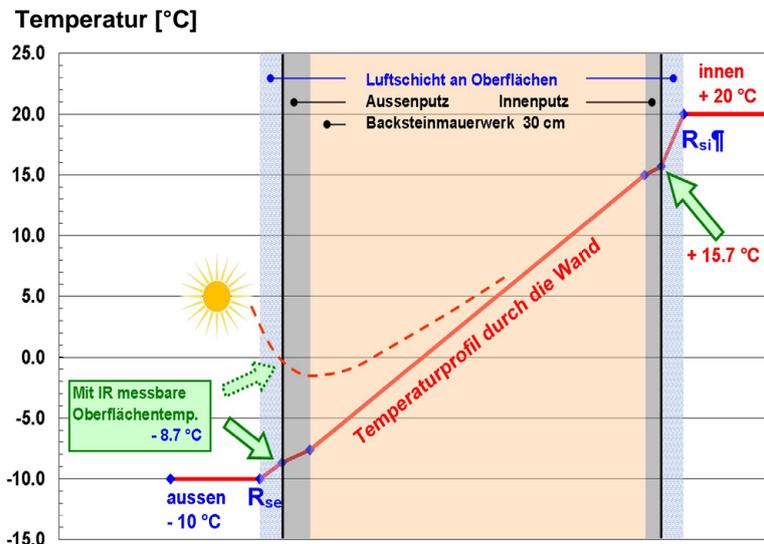
Die Sonne (ca. 6'000 K) strahlt hauptsächlich kurzwellig, während die Umgebungstemperatur (300 K = ca. + 27°C) im langwelligen IR-Bereich liegt. Die IR-Strahlung der Atmosphäre ist bei wolkenlosem Himmel sehr gering («atmosphärisches Fenster»). Das bewirkt z.B., dass in der Nacht, bei klarem Himmel, exponierte Oberflächen stark in den kalten Weltraum abstrahlen und sich deshalb gegenüber der Lufttemperatur um bis zu 6 °C unterkühlen können.

## Anhang 9 Meteo 1: Temperaturprofile in Aussenwänden

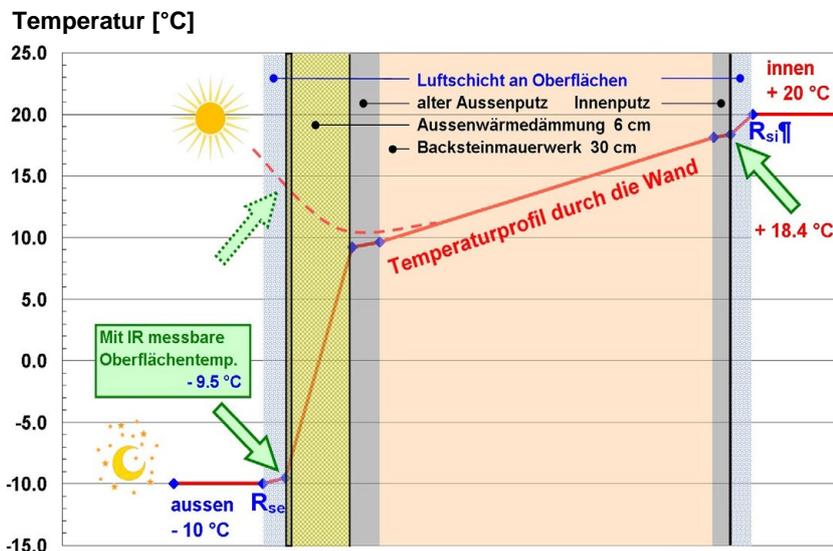
Je besser eine Wand wärmegeklämt ist, desto näher liegen die theoretischen Oberflächentemperaturen bei der entsprechenden Lufttemperatur (ausssen und innen, siehe Grafiken unten).

**Achtung:** Die einfachen theoretischen Berechnungen gehen meist von stationären Bedingungen aus. Das heisst von stabilen, gleich bleibenden Temperaturverhältnissen. In der Praxis ist das jedoch nie der Fall, denn die Gebäude sind ständig wechselnden Klimabedingungen wie Sonneneinstrahlung, Regen, Tag, Nacht, Sommer, Winter ausgesetzt, was die Temperaturen andauernd verändert. Das bedeutet auch, dass für verschiedene bauphysikalische Fragestellungen, bei denen die Temperaturen wesentlich sind, Langzeitmessungen notwendig sind.

IR-Aufnahmen sind Momentaufnahmen. Es ist deshalb wichtig, dass die wesentlichen Meteo-Bedingungen zum Zeitpunkt der IR-Aufnahmen - und auch Stunden zuvor - genau erfasst werden. Sie sind entscheidend für die Auswertung und Interpretation der Wärmebilder! Details dazu werden im folgenden Abschnitt erläutert. Anzumerken bleibt: Von einer IR-Aufnahme einer Aussenwand kann im Praxisfall kein genauer Wärmedurchgangswert (U-Wert) abgeleitet werden. Je besser die Wand geklämt ist, desto weniger. Für **gesicherte U-Wert Angaben** braucht es entweder stationäre Temperaturverhältnisse (Labor!) oder im praktischen Fall Wärmefluss-Langzeitmessungen.



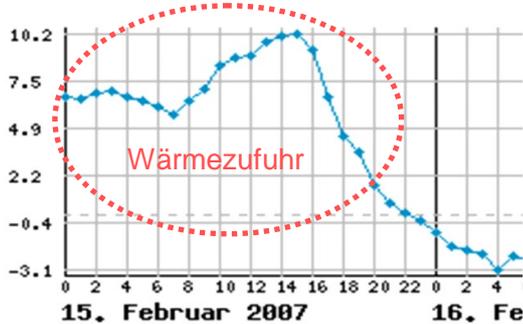
**Beispiel 1:** Querschnitt durch ein altes, verputztes Backsteinmauerwerk, Dicke ca. 30 cm, U-Wert (früher k-Wert) = ca. 1,1 W/m<sup>2</sup>·K. Bei IR-Aufnahmen entspricht der Übergangswiderstand aussen ( $R_{se}$ ) kaum je dem Normwert! Das ist ein wichtiger Grund, weshalb U-Wert-Ableitungen aus IR-Einzelbildern nur sehr bedingt sinnvoll sind.



**Beispiel 2:** Sanierung der Wand oben mit 6 cm Aussenwärmedämmung. Damit erfüllt sie mit U-Wert 0,4 W/m<sup>2</sup>·K gerade noch die Werte der Norm SIA 180 (1999). Heutige Dämmstärken liegen allerdings bei 10-20 cm (U-Werte ≤ 0.2 W/m<sup>2</sup>·K). Zu beachten: Die Unterschiede der Oberflächentemperaturen können zwischen Tag + Nacht sehr gross werden. Dies vor allem bei verputzten Aussenwärmedämmungen.

## Anhang 10 Meteo 2: Temperaturentwicklung und Unterkühlungen

Die „Vorgeschichte“ bzw. die Entwicklung von Lufttemperatur, Strahlung, Feuchtigkeit etc. ist für die Interpretation der IR-Bilder sehr wichtig. Dies trifft insbesondere für energetische Beurteilung von Gebäude-Aussenaufnahmen zu!



**Diagramm Temperatur [°C] / Zeit [h]**

Datenquelle: [www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)

### Grafik links

In der Nacht sinken normalerweise die Lufttemperaturen. Die Oberflächentemperaturen von schweren Bauteilen (z.B. aus Beton) bleiben in diesem Fall aber noch über eine längere Zeitspanne deutlich höher, als diejenigen von leichten Bauteilen (z.B. verputzte Aussenwärmeeisolation oder Holz). Ursache dafür ist die Speicherkapazität, durch welche die Wärme des Vortages oder die Erwärmung infolge Sonneneinstrahlung noch längere Zeit erhalten bleibt.

Ideale Bedingungen für IR-Aussenaufnahmen von Gebäuden sind kaltes, temperaturstabiles Wetter mit lang anhaltendem Nebel, Hochnebel, Bewölkung oder leichtem Niederschlag. Damit die Auswirkungen der Sonne, starker diffuser Strahlung oder der erhöhten Tagestemperaturen umgangen werden können, sollten IR-Aufnahmen am besten nur in der zweiten Nachthälfte erstellt werden.

### Abstrahlung / Unterkühlung

Ein wolkenloser Nachthimmel ist allerdings auch nicht ideal, da er im Winter Temperaturwerte von -40 bis -90°C hat. Nebel oder Hochnebel dagegen haben meist eine „Oberflächen“-Temperatur, die viel näher bei der Lufttemperatur liegt. Daraus folgt: Oberflächen, „die viel Himmel sehen“ (→ z.B. Dächer), können durch Abstrahlung viel Energie an den wolkenlosen, kalten Himmel (Welt-raum) abgeben und sich damit gegenüber der Lufttemperatur um bis zu 6 °C unterkühlen. Weitere Bsp. neben den Dächern sind der Raureif auf den Wiesen und Eis auf den Autoscheiben. Dies ist vor allem dann erstaunlich - oder im Strassenverkehr gefährlich - wenn die Lufttemperaturen noch über 0°C liegen. Sehr leichte Materialien wie Schnee und Gras erreichen zum Teil noch viel stärkere Unterkühlungen. Oberflächen jedoch, die „wenig oder keinen Himmel sehen“ oder vom Erdbreich stark nachgewärmt werden (z.B. Gartenmauern, Böden und Wände unter einem Vordach etc.), sind im Vergleich dazu eher „warm“ und können sich nicht unterkühlen. Bei idealen IR-Aufnahmebedingungen ist also der Temperaturunterschied zwischen Himmel und Luft möglichst klein und damit der Strahlungsaustausch gering. Beispiele von Unterkühlungen: Siehe Mustersammlung Kap. 12.1 Doch nicht nur Unterkühlungen wirken bei klarem, kaltem Nachthimmel störend. Auch die Himmels-Spiegelung im Fensterglas kann ein IR-Bild markant verändern (vgl. Beispiel in Kapitel 4.3). Ein kalter Nachthimmel ist aber gegenüber der direkten und indirekten Strahlungsenergie der Sonne immer noch das kleinere von zwei Übeln für IR-Aufnahmen von Gebäuden, weshalb wenn immer möglich Nachtaufnahmen gemacht werden sollten.

Da die genaue Lage und die Dauer von Bewölkung und Hochnebel oft nicht präzise prognostiziert werden können oder weil in einigen Regionen vielfach gar kein Hochnebel entsteht (Berggebiete), ergeben sich immer auch Fälle, in denen die erwähnten Strahlungsphänomene eintreten und die IR-Bilder beeinträchtigen. Aber auch auf diesen IR-Bildern können die wärmetechnischen Schwachstellen von Aussenwänden, Fenstern etc. immer noch gut erkannt werden. Dafür muss der Farbkeil dann je nach Temperaturen etwas angepasst werden (z.B. nach Methode QualiThermo<sup>®</sup>), womit die Bilder bezüglich Intensität der Schwachstellen immer noch angemessen mit den IR-Musterbildern in dieser Dokumentation verglichen werden können.

## Anhang 11 Die „natürliche Wärmebildkamera“



Bei frisch gefallenem Schnee kann auch ab und zu ein „**natürliches Wärmebild**“ beobachtet werden, weil je nach Abwärme des Untergrundes der Schnee auf dem Bauteil unterschiedlich schnell wegschmilzt.

Sind jedoch Dächer oder Terrassen längere Zeit mit Schnee bedeckt, so ist das generell ein energetisch gutes Zeichen. Weitere Beispiele siehe Kap.9.1.

Bautechnische Interpretationen von IR-Bildern, die vollflächig schneebedeckte Bauteile zeigen, sind nicht möglich, da sich die Oberflächentemperatur des Schnees primär nach den Meteorbedingungen richtet.



Das Beispiel links zeigt eine wärmegegedämmte Terrasse (darunter ist ein beheizter Wohnraum). Deutlich erkennbar sind hier auf der Schneefläche die Strukturen der Wärmedämmplatten, die bei den Plattenfugen offensichtlich eine starke Wärmebrückenwirkung haben.

Die Strukturen im Schnee stimmen nicht mit den Fugen der Zement-Gehwegplatten überein, womit klar ist, dass es sich um die Wärmedämmplatten handeln muss.



Blick auf eine Fassade mit verputzter Aussenwärmedämmung. Die Punktstruktur zeigt die Lage der Dämmstoffdübel, genau gleich wie die IR-Bilder im Kap. 7.5

Die Abzeichnungen hier entstanden, weil bei der punktuellen Wärmebrücke der Dübel keine Fassadenverschmutzung entstanden ist.

Es ist also quasi ein Negativ-Bild, bei dem die Punkte den alten Originalzustand zeigen, währenddem der Rest der Fassade von einem mehr oder weniger gleichmässigen Schmutz-, Algen- und/oder Pilzfilm dunkel überzogen wurde.

## Anhang 12 Beispiele von heutigen mobilen IR-Kameras

Für IR-Kameras welche im Baubereich eingesetzt werden empfiehlt der Thermografie Verband Schweiz in seinen QS-Richtlinien folgendes:

- Geometrische Auflösung: Kategorie 320 x 240 Pixel oder besser
- Thermische Auflösung 0.1 K oder besser
- Genauigkeit:  $\pm 2$  K oder  $\pm 2$  %
- Wellenlängenbereich: 8 - 14  $\mu\text{m}$

Diese Geräte haben meist ungekühlte UFPA Detektoren (Microbolometer).

### Bilder rechts:

Verschiedene Typen von heutigen IR-Kameras. Der Trend zu immer kleineren Geräten ist spürbar, wobei dann natürlich meist nicht allen Qualitätswünschen Rechnung getragen werden kann.

### Software

In den IR-Kameras werden die Aufnahmen als radiometrische Datenfiles abgelegt. Die Kameras haben aber auch gleich eine Software integriert, um aus den Daten ein Bild zu generieren, welches auf einem kleinen Display angezeigt wird. Zusätzlich hat jeder Anwender auch eine mehr oder weniger stark erweiterte Auswerte-Software auf dem PC. Diese Software ist leider proprietär, so dass IR-Datenfiles von anderen Kameraherstellern nicht gelesen werden können. Dies verhindert, dass die Bauthermografen auch im Bereich der Farbkeile eine Standardisierung erreichen (vgl. Anhang 1 + 2). Erst dann wären zusammen mit der standardisierten Skalierung alle IR-Gebäudeaufnahmen vollständig vergleichbar.

### Temperatur-Drift bei ungekühlten Kameras

Wird eine IR-Kamera mit UFPA Detektor einer Temperaturdifferenz ausgesetzt (z.B. im Winter nach draussen gehen), so verändert sich auch langsam die Temperatur des Kameragehäuses. Die Elektronik kann solche und weitere Effekte nicht sofort und vollständig ausgleichen, weshalb manchmal ein Drift entsteht (abgleiten der IR-Bildtemperaturen). Dadurch können die Temperaturen bei einer IR-Bildserie manchmal um 1- 2 Kelvin verschoben dargestellt werden, was vor allem bei Bildzusammensetzungen störend wirkt.



## Anhang 13 Die Luftdurchlässigkeitsmessung

Neben den Wärmeverlusten durch Dach, Wand und Fenster kann in einem Haus auch durch Warmluftaustritte bei Leckstellen viel Energie verloren gehen. Es gibt Gebäude, die bis zur Hälfte der Heizenergie dafür verbrauchen! Diese Warmluftverluste können teilweise auch mit IR-Aufnahmen von aussen visualisiert werden (vgl. Kap. 10).

Für heutige Neubauten gilt jedoch: Die Gebäudehülle soll möglichst dichte sein. Für gute und hygienisch einwandfreie Raumluft sind die Haustechnik und/oder der Benutzer (mit Lüften) zuständig.



### Negative Auswirkungen durch Luftleckstellen

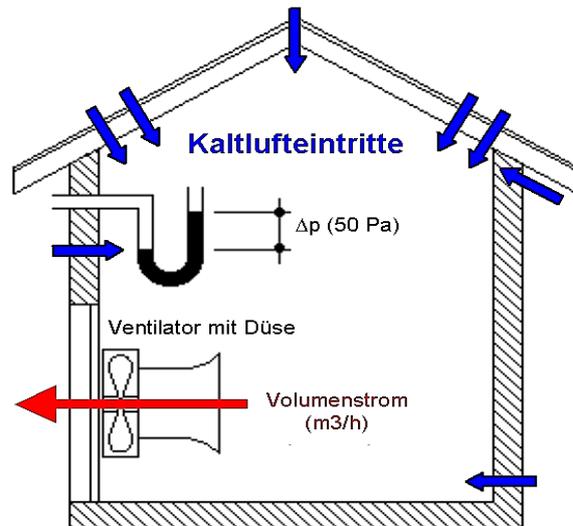
Wie viel Warmluft durch die Gebäudehülle entweichen kann ist messbar: Mit einem starken Ventilator, der in einem Türrahmen eingebaut wird (BlowerDoor), erzeugt man in der Messzone einen Differenzdruck (Unter- und/oder Überdruck). Aus verschiedenen Druckstufen wird dann rechnerisch die Luftvolumenstrom-Kennlinie ermittelt, auf der bei genau 50 Pascal Differenzdruck der Leck-Luftvolumenstrom  $V_{50}$  [ $m^3/h$ ] abgelesen wird.

Bei 50 Pa Unterdruck entspricht also der vom Ventilator ausgeblasene Luftvolumenstrom genau der Summe all der Luftströme, die irgendwo durch Leckstellen ins Gebäude eindringen. Wird dieser Wert [in  $m^3/h$ ] noch durch das beheizte Gebäudevolumen [ $m^3$ ] dividiert, so entsteht der  $n_{50}$ -Wert [ $h^{-1}$ ] (= Anzahl Luftwechsel pro Std., bei 50 Pa Differenzdruck). Diese Zahl kann mit anderen Gebäuden verglichen werden, und es wurden dafür in der Norm SIA 180 (1988) erstmals Grenzwerte festgesetzt. In der aktuellen Norm SIA 180 (Ausgabe 1999), definierte man dann einen gebäudehüllflächen bezogenen  $v_{a,4}$ -Wert [ $m^3/h \cdot m^2$ ] (bei Differenzdruck 4 Pa), für den wieder neue, gebäudespezifische Grenzwerte festgesetzt wurden. Der  $v_{a,4}$ -Wert ist jedoch umstritten und lässt sich nur bedingt mit dem alten, auch international anerkannten  $n_{50}$ -Wert vergleichen. Zudem steht er bezüglich verschiedener Definitionen im Widerspruch zur EN 13829.

Da auch MINERGIE-P Grenzwerte vorgeben will, wurde Anfang 2007 eine neue Mess-Richtlinie erarbeitet, die bezüglich Messanordnungen klare Standards setzt. Neu werden Messresultate als flächenbezogener  $q_{50}$ -Wert und als **standardisierter  $n_{50,st}$ -Wert** dargestellt. Siehe:

<http://www.minergie.ch/minergie-p.html> → „Richtlinie für Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P® und MINERGIE®-Bauten“ (RILUMI, neue Version: 2010).

Aufgrund der Messwerte  $n_{50,st}$  /  $n_{50}$  /  $v_{a,4}$  /  $q_{50}$  kann aber nur näherungsweise auf den natürlichen Aussenluftwechsel  $n_L$  und damit auf die Energieverluste geschlossen werden, denn dafür wären auch das Benutzerverhalten (lüften), Wetter (Wind etc.) und die Art der Leckverteilung (Kamineffekt) zu berücksichtigen.



Schema zu Messverfahren

## Anhang 14 Lecksuche mit IR und Unterdruck (IR-Innenaufnahmen)

Mit der Luftdichtheitsmessung (vgl. Anhang 13) bleibt die Frage offen, wo denn die Leckstellen in der Gebäudehülle genau sind. Diese Frage kann während dem Unterdruck von Hand, mit Rauch oder am "schönsten" mit IR-Bildern geklärt werden. Das Vorgehen mit IR ist einfach: Wird beim Unterdruck Kaltluft durch die Leckstellen in den Innenraum gesogen, so kühlen sich die Ränder bei den Leckstellen ab, was mit IR-Aufnahmen sofort erkannt werden kann. Damit die einströmende Kaltluft genügend kühlt, sollte sie min. 5 °C (5 K) kühler sein als die Innentemperatur. Das ist meist in der Nacht oder problemlos im Winter zu erreichen.

Werden normale IR-Aufnahmen während des beschriebenen Vorgehens gemacht, so gibt es verschiedene Problemstellen, bei denen eine eindeutige Aussage über Luftdurchtritte nicht möglich ist. So sind z.B. Fensteranschlüsse und Gebäudeecken immer etwas kühler (Wärmebrücken) und können in einer IR-Aufnahme gleich wirken, wie die Stellen, bei denen Kaltluft eintritt. Hier kann nur das IR-Subtraktionsverfahren eine sichere Differenzierung und Beweisführung liefern.



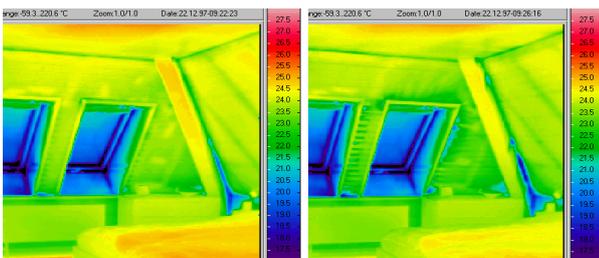
### Infrarot-Subtraktionsbilder

**Bild links:** Foto mit Dachraum und Dachfenster.

**Kleine Bilder:**

**Mitte links:** 1. IR-Normalbild, ohne Unterdruck aufgenommen.

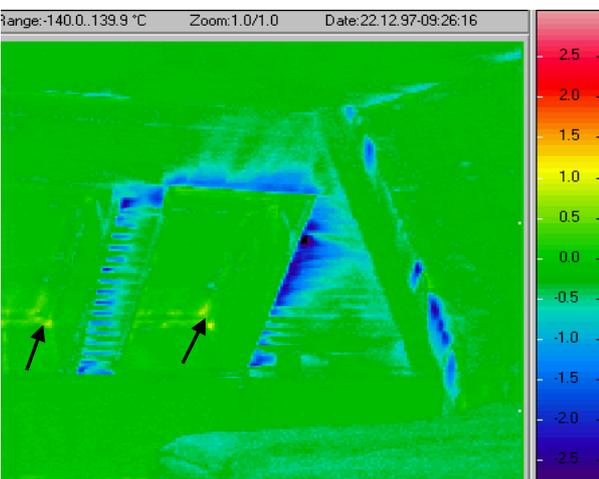
**Mitte Rechts:** 2. IR-Normalbild, aus genau gleicher Position aufgenommen, nachdem die BlowerDoor Anlage einige Minuten lang Unterdruck erzeugt hat (idealerweise ca. 50 Pa). Damit ist Kaltluft durch alle möglichen Leckstellen ins Gebäude geströmt und hat die inneren Oberflächen abgekühlt.



**Bild unten:** Für das IR-Subtraktionsbild kann nun der Computer Bild 1 von Bild 2 subtrahieren, da jedes Farbpixel im Hintergrund einen Temperatur-Zahlenwert hat (vgl. Anhang 1). Das Resultat ergibt ein neues IR-Bild (mit neuer Skalierung im Farbkeil), in dem alle Oberflächentemperaturen die gleich geblieben sind (auch Wärmebrücken!), wegfallen resp. auf Null subtrahiert werden (0°C ergibt mit der neuen Skalierung grün).

Veränderungen jedoch, erzeugt durch die Kaltluft-eintritte, werden klar ersichtlich dargestellt (im Bsp. blau).

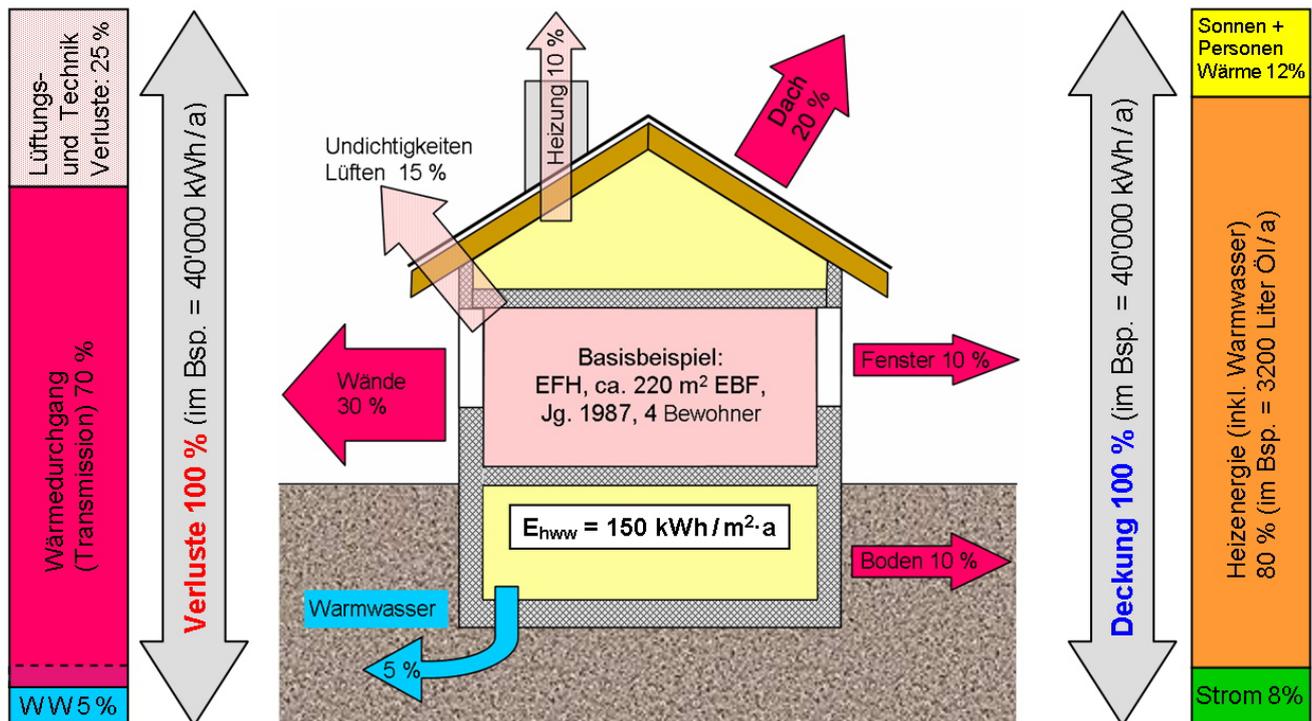
Erkenntnisse aus dem Beispiel: Die inneren Anschlüsse an die Futterahmen der Dachfenster sind undicht. Ebenso einige Stellen beim Gratsparren rechts. Die Fensterfugen der Dachfenster hingegen sind dicht ( → ).



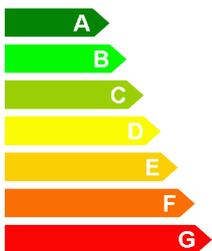
## Anhang 15 Energieverluste eines typischen Einfamilienhauses

Genau so viel Energie, wie insgesamt von einem Gebäude verloren geht, muss auch irgendwie ins Gebäude gelangen oder erzeugt werden. Ob der Eigentümer die Energie mit Öl, Gas, Holz, Strom oder Sonnenkollektoren usw. zuführt, hängt von ökologischen und ökonomischen Betrachtungen ab bzw. vom möglichen, verfügbaren Angebot.

Die Frage nach dem richtigen Energieträger wird aber auch beeinflusst von der benötigten Menge. Wer bereit ist, den Verbrauch durch Wärmedämmung/Sanierung zu senken, leistet einen wesentlichen ökologischen Beitrag, und mit steigenden Energiepreisen wird die Amortisationszeit immer kürzer. Zudem wird der Wohnkomfort verbessert, womit der Liegenschaftswert steigt.



Die Grafik oben zeigt die Energieverluste eines typischen, alten Einfamilienhauses mit Jahrgang 1987 und eher wenig Wärmedämmung. 100% entsprechen der insgesamt zugeführten Energie für Heizung, Warmwasser und Strom. Mit einem Flächenbezug dazu ergibt sich die Energiekennzahl.



**Energieetiketten:** Aus der Energiekennzahl kann die Energieetikette abgeleitet werden. Für Gebäude gibt es allerdings verschiedene Energieetiketten.

Beim GEAK (Details siehe [www.geak.ch](http://www.geak.ch)) werden primär die **Energiebedarfs-werte** auf Grund von Gebäudedaten ermittelt.

Eine andere Möglichkeit ist, die **Energieverbrauchswerte** auszuwerten (ÖL-Gas- Holzverbrauch etc.), was vor allem bei bestehenden Altbauten oft einfacher ist. Liegen beide Werte vor, stimmen sie oft nicht überein, da bei der Energiebedarfsermittlung eine Standardnutzung angenommen wird, die meist nicht mit dem praktischen Fall übereinstimmt.

IR-Bilder korrelieren eher mit den effektiven Energieverbrauchswerten. Bei einem Vergleich ist jedoch zu bedenken, dass die IR-Bilder nicht alle Wärmeverluste der Gebäudehülle erfassen können.

## Anhang 16 Unsicherheiten bei der energetischen Bewertung von Bauteilen

Die vorliegende Dokumentation beschreibt an verschiedenen Stellen, dass aus den IR-Bildern sehr unterschiedliche Informationen gewonnen werden können.

### Einfach ist:

- Leckstellen erkennen
- Konstruktionshinweise finden
- Wärmebrücken erkennen
- Temperaturunterschiede finden
- u.v.a

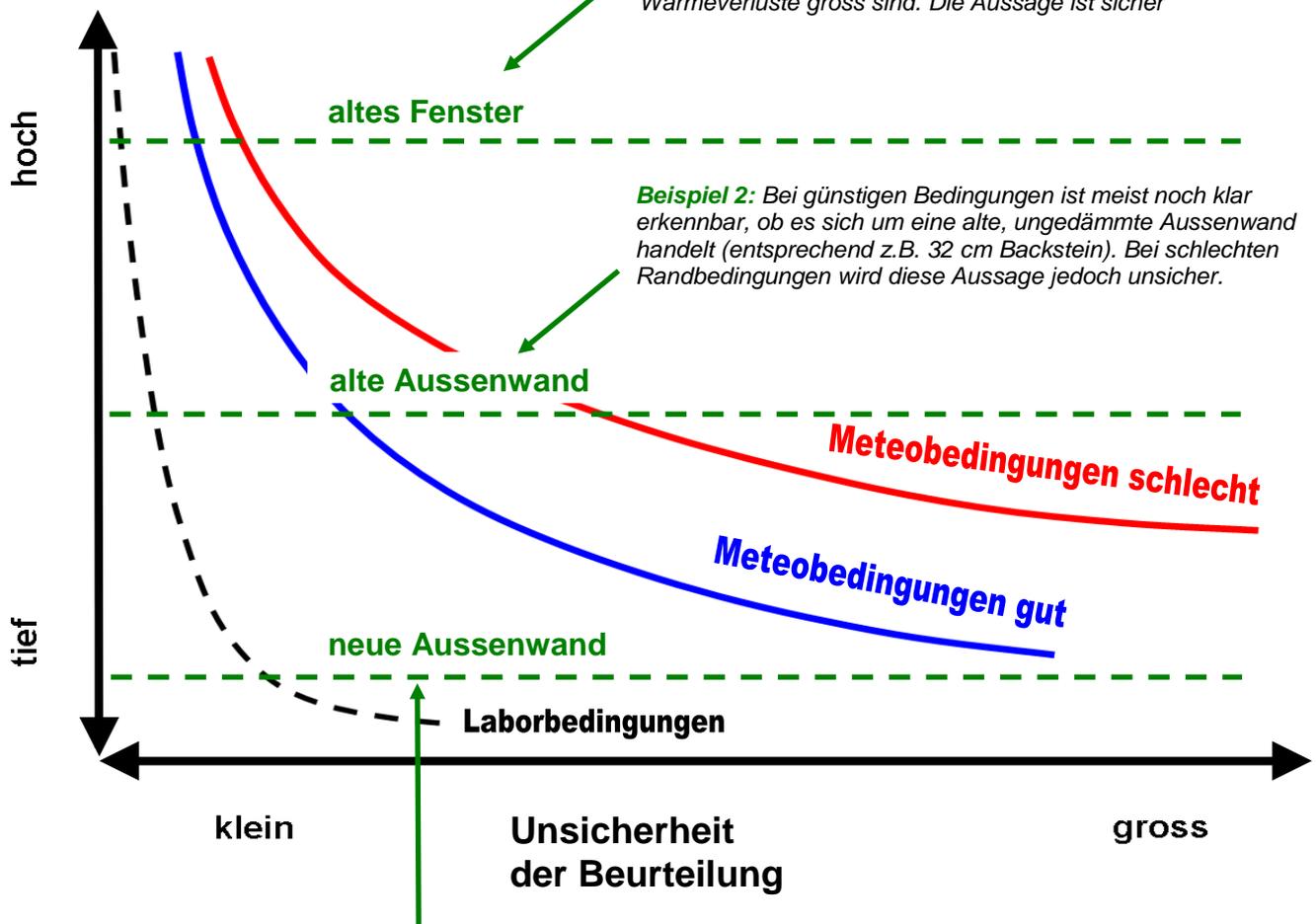
### Schwierig, aufwändig und unsicher ist:

- Die energetische Bewertung der Bauteile (= Quantifizieren, → U-Wert abschätzen)
- Ist das Bauteil gut oder schlecht?

*Genau das aber erwarten manche Kunden . . .*

Die folgende Grafik zeigt in groben Zügen, dass die Meteobedingungen bei den IR-Aufnahmen einen entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit einer energetischen Aussage/Bewertung haben. Aber auch noch weitere Parameter sind entscheidend, was in den verschiedenen Kapiteln dieser Dokumentation erläutert wird.

### Wärmeverluste Bauteil



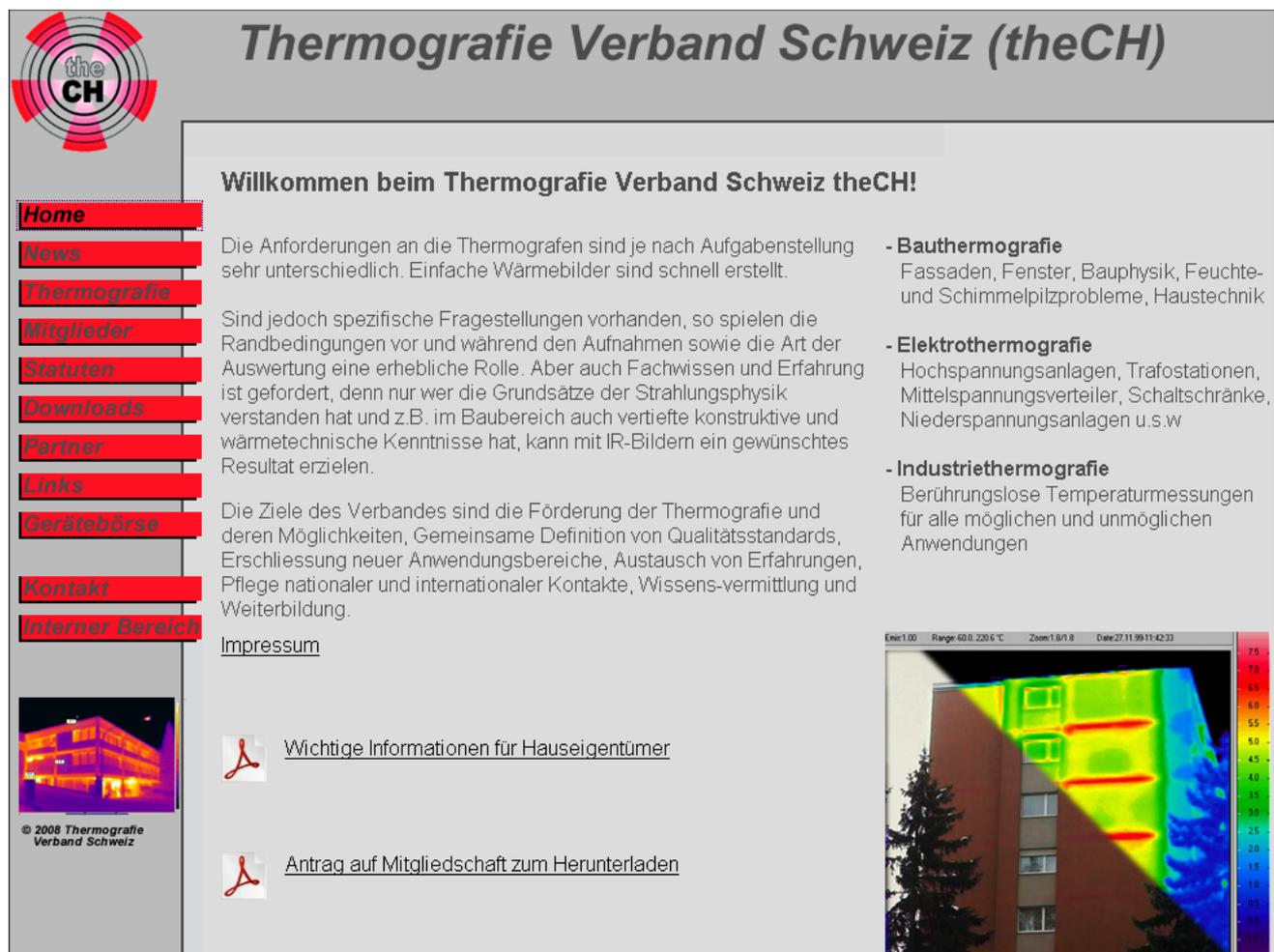
## Anhang 17 Thermografie Verband Schweiz (theCH)

Am 11.07.2007 wurde von 6 Mitgliedern aus der Industrie- und Dienstleistungsbranche in Neuhausen am Rheinflall der Thermografie Verband Schweiz (theCH) gegründet.

### Verbandsziele:

- Förderung der Thermografie und deren Möglichkeiten
- Gemeinsame Definition von Qualitätsstandards
- Erschliessung neuer Anwendungsbereiche
- Austausch von Erfahrungen
- Pflege nationaler und internationaler Kontakte
- Wissensvermittlung und Weiterbildung

Auszug / Abbild der Homepage [www.thech.ch](http://www.thech.ch)



The screenshot shows the homepage of theCH. At the top left is the theCH logo. The main header reads "Thermografie Verband Schweiz (theCH)". Below this is a navigation menu with red buttons for "Home", "News", "Thermografie", "Mitglieder", "Statuten", "Downloads", "Partner", "Links", "Gerätebörse", "Kontakt", and "Interner Bereich". The main content area is titled "Willkommen beim Thermografie Verband Schweiz theCH!". It contains three columns of text. The first column discusses the requirements for thermography and the role of experience. The second column lists the goals of the association. The third column lists three types of thermography: Bau-, Elektro-, and Industriethermografie. At the bottom left, there is a small image of a building at night with a thermography overlay and a copyright notice. At the bottom right, there is a larger thermography image of a building facade with a color scale on the right. The color scale ranges from 15 to 75 degrees Celsius. The thermography image shows a building facade with a color scale on the right. The color scale ranges from 15 to 75 degrees Celsius. The thermography image shows a building facade with a color scale on the right. The color scale ranges from 15 to 75 degrees Celsius.

**Willkommen beim Thermografie Verband Schweiz theCH!**

Die Anforderungen an die Thermografen sind je nach Aufgabenstellung sehr unterschiedlich. Einfache Wärmebilder sind schnell erstellt.

Sind jedoch spezifische Fragestellungen vorhanden, so spielen die Randbedingungen vor und während den Aufnahmen sowie die Art der Auswertung eine erhebliche Rolle. Aber auch Fachwissen und Erfahrung ist gefordert, denn nur wer die Grundsätze der Strahlungsphysik verstanden hat und z.B. im Baubereich auch vertiefte konstruktive und wärmetechnische Kenntnisse hat, kann mit IR-Bildern ein gewünschtes Resultat erzielen.

Die Ziele des Verbandes sind die Förderung der Thermografie und deren Möglichkeiten, Gemeinsame Definition von Qualitätsstandards, Erschliessung neuer Anwendungsbereiche, Austausch von Erfahrungen, Pflege nationaler und internationaler Kontakte, Wissens-vermittlung und Weiterbildung.

Impressum

**- Bauthermografie**  
Fassaden, Fenster, Bauphysik, Feuchte- und Schimmelpilzprobleme, Haustechnik

**- Elektrothermografie**  
Hochspannungsanlagen, Trafostationen, Mittelspannungsverteiler, Schaltschränke, Niederspannungsanlagen u.s.w

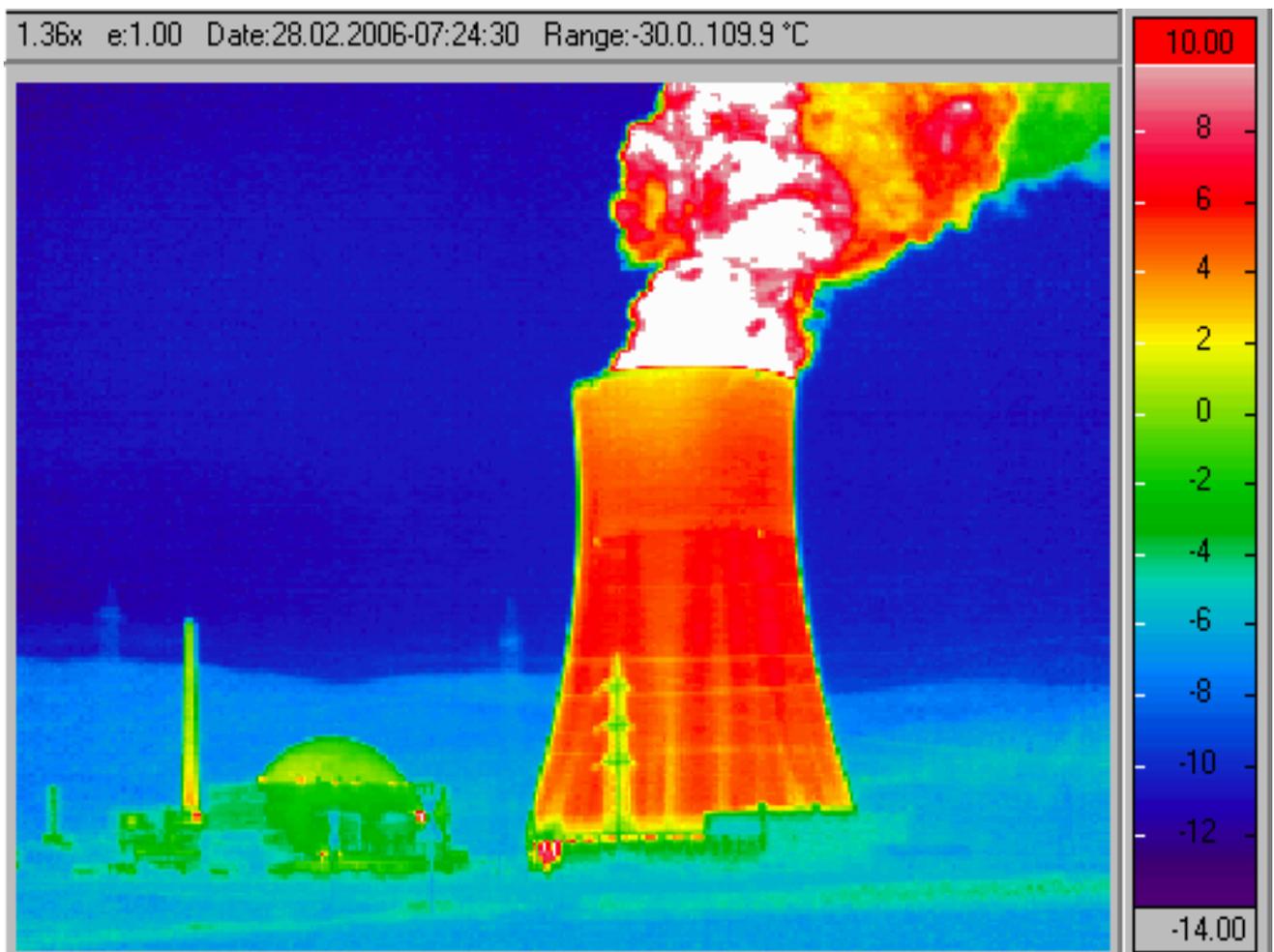
**- Industriethermografie**  
Berührungslose Temperaturmessungen für alle möglichen und unmöglichen Anwendungen

© 2008 Thermografie Verband Schweiz

Wichtige Informationen für Hauseigentümer

Antrag auf Mitgliedschaft zum Herunterladen

### Schlusspunkt:



Auch ein Kühlturm verliert Energie. . .

Ungefähr gleich viel kann eingespart werden, wenn man 80 Mio. m<sup>2</sup> altes Backsteinmauerwerk (ca. 9 x 9 km !) mit einer Wärmedämmung von 10 cm Dicke saniert.