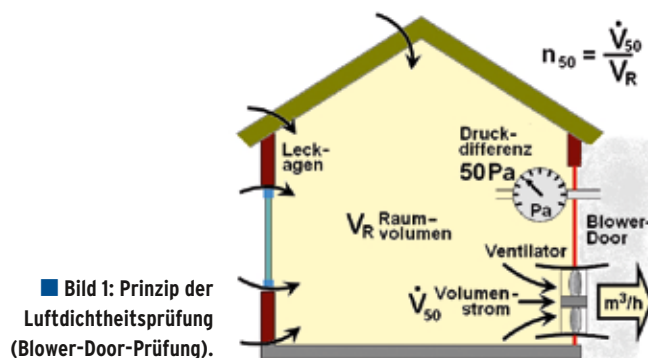


# Analyseverfahren für den Bestand richtig nutzen

## Sinn und Unsinn von Blower-Door- und Thermografie-Untersuchungen

Prof. Dr. Franz Feldmeier\*

Blower-Door-Test und Thermografie sind inzwischen probate Verfahren zur energetischen Beurteilung der Luftdichtheit sowie zur Untersuchung von Schwachstellen des Gebäude-Wärmeschutzes. Insbesondere Thermogramme liefern spektakuläre Bilder, deren richtige Interpretation jedoch viel Erfahrung und die Kenntnis der physikalischen Grundlagen erfordert. Der Beitrag beschäftigt sich mit diesen Grundlagen und zeigt sinnvolle Einsatzmöglichkeiten und Kombinationen der beiden Verfahren auf.



Ähnlich wie die Entwicklung der „a-Wert-Prüfung“ – also der Fugendurchlasskoeffizient nach DIN 18055, bzw. der aktuellen DIN EN 12207 die Konstruktion von Fenstern beeinflusste, so hat die „Blower-Door-Prüfung“ nach DIN EN 13829 eine Entwicklung zu dichteren, energiesparenden Gebäuden erst ermöglicht. Heute ist die „Blower-Door-Prüfung“ ein preiswertes Standardverfahren. Anforderungen an den „n<sub>50</sub>-Wert“ finden sich bereits seit 2002 in der Energieeinsparverordnung.

Demgegenüber wird die Bauthermografie erst in den letzten Jahren vor allem wegen der jetzt kostengünstigeren Thermografiekameras als universelles Analyseverfahren

zunehmend verwendet. Meist beeindruckt die farbige Darstellung und die Schlussfolgerungen erscheinen auch dem Laien offensichtlich. Manchmal werden aus Thermogrammen sogar Aussagen über U-Werte abgeleitet. Eine seriöse Auswertung der IR-Bilder erfordert jedoch Erfahrung und eine detaillierte Kenntnis des Verfahrens. So müssen die physikalischen Grundlagen und Grenzen dieser zweifelsfrei nützlichen Messtechnik immer berücksichtigt werden.



■ Bild 2: Fotografie und Thermografie.

### Luftdichtheit prüfen

Die Prüfung der Luftdichtheit ist ein robustes Messverfahren, bei welchem in die Gebäudehülle ein Ventilator eingebaut und so im Gebäude ein Unterdruck bzw. Überdruck erzeugt wird. Das Grundprinzip entspricht der „a-Wert“-Prüfung beim Fenster. Der zur Erzeugung von 50 Pa Druckdifferenz erforderliche Volumenstrom wird auf das Gebäudevolumen bezogen und als „n<sub>50</sub>-Wert“ bezeichnet. Heute übliche Anforderungen liegen zwischen 0,6 h<sup>-1</sup> (Passivhaus) und 3 h<sup>-1</sup>. Das Verfahren kann auch auf einzelne Räume oder Raumgruppen und im Altbau angewandt werden.

### Thermografie-Grundlagen

Thermografie und Fotografie basieren beide auf dem Nachweis elektromagnetischer Strahlung, allerdings nutzen sie unterschiedliche Wellenlängenbereiche. Die Fotografie registriert – wie auch unsere Augen – das von einer Oberfläche reflektierte Licht – also die sichtbare Strahlung im Wellenlängenbereich von 0,38 bis 0,78 µm. Als Strahlungsquelle dienen dabei die Sonne mit einer Temperatur von ca. 6000 °C oder künstliche Lichtquellen. Die Reflexion des Lichtes ist stark von Material, Oberflächenstruktur und Wellenlänge abhängig. Oberflächen, welche das Licht diffus reflektieren, erscheinen weiß bzw. bei direkter Reflexion „spiegelnd“. Oberflächen erscheinen „schwarz“, wenn sie die Strahlung nicht reflektieren, sondern absorbieren. Ober-

\*) Prof. Dr. Franz Feldmeier, Hochschule Rosenheim

flächen mit wellenlängenabhängiger Absorption erscheinen farbig und so entsteht das uns bekannte „Aussehen“ der Welt.

Demgegenüber nutzt die Thermografie für uns unsichtbare Infrarotstrahlung im Wellenlängenbereich von 1 bis 100  $\mu\text{m}$ . Diese Strahlung ist allgegenwärtig, da die Oberflächen unserer Umgebung und auch wir selbst Infrarotstrahlung aussenden (emittieren). Die Intensität der emit-

tierten Strahlung („IR-Helligkeit“) hängt im Wesentlichen von der Temperatur der Oberfläche ab und kann somit zur Bestimmung der Oberflächentemperatur oder zum Auffinden von Personen bei völliger Dunkelheit verwendet werden. Diese Tatsache machte die Thermografie für militärische Anwendungen interessant und hat eine zivile Nutzung lange Zeit behindert.

Kernstück jedes Thermografiesystems ist der Infrarot-

Strahlungssensor. In der Bau-thermografie kommen heute vor allem preiswerte ungekühlte uFPA (Mikrobolometer Fokal Plane Array) zur Anwendung. Auf die Messtechnik soll hier aber nicht weiter eingegangen werden.

#### **IR-Strahlungsintensität und Bauteiltemperatur**

Im Bauwesen liegen die Temperaturen im Bereich  $-10^\circ\text{C}$  bis  $+50^\circ\text{C}$  oder bei ca. 300 K. Der größte Teil der IR-

Strahlung wird daher bei einer Wellenlänge um 10  $\mu\text{m}$  abgegeben. Glücklicherweise ist gerade im Bereich 8 bis 14  $\mu\text{m}$  die Luft recht gut durchsichtig, sodass im Allgemeinen keine Korrektur erforderlich ist. Außerdem sind alle Baustoffe in diesem Bereich undurchsichtig, sodass es genügt, die Oberfläche mit nur einer Zahl, z. B. dem Emissionsgrad, zu kennzeichnen.

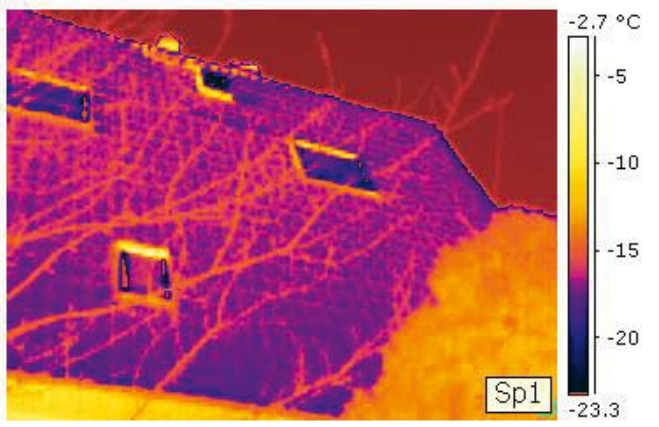
Die meisten Bauteiloberflächen bieten für die Ther-

## Kombination legt Mängel offen

### Kombinierte Thermografie und Blower-Door-Untersuchung im Bestand

Das nachfolgende Beispiel aus der Energieberater-Praxis der Ingenieurgemeinschaft Bau, Energie und Umwelt GmbH zeigt, wie sich die beiden Verfahren ergänzen, um Schwachstellen in der Gebäudedichtheit aufzufinden. Bei dem untersuchten Objekt handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1956. Das Gebäude ist unter-

bäudeinneren wurden durchschnittlich 20°C gemessen, sodass ausreichend große Temperaturdifferenzen für die Thermografie zur Verfügung standen. Zunächst wurden Thermogramme sowohl von außen als auch von innen erstellt, um die Ausgangssituation zu dokumentieren. Die Außenthermografie dient hierbei im Wesentlichen zur Untersuchung der Baukonstruktion und zur Überprüfung offensichtlicher Mängel.

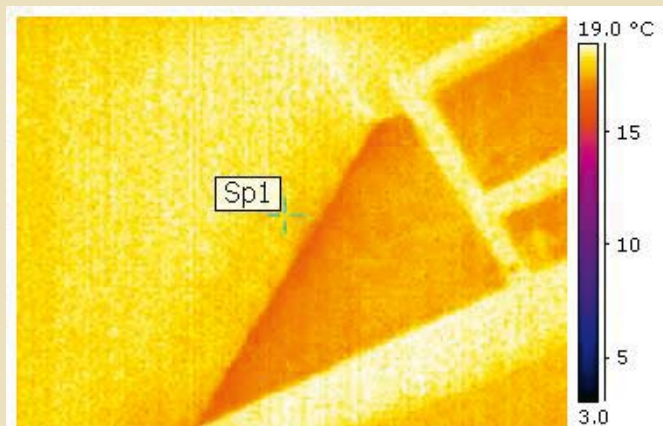


■ Das Süddach des Gebäudes zeigt im Thermogramm eine gleichmäßige Oberflächentemperatur, es sind zunächst keine Mängel zu erkennen.

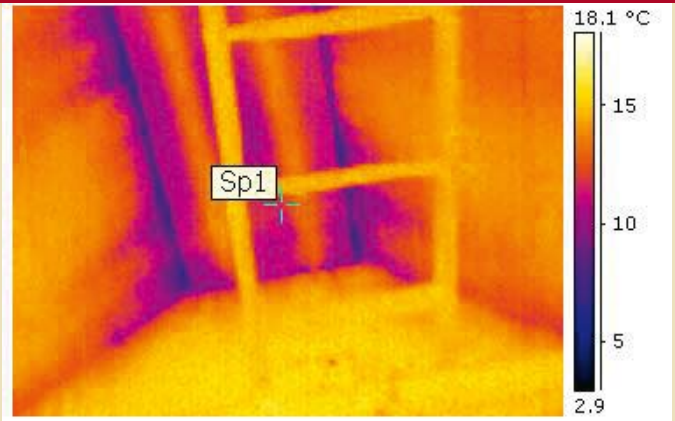
kellert, die Wände wurden in massiver Bauweise erstellt. Über dem Erdgeschoss befindet sich eine Holzbalkendecke. Das Dach wurde bereits 1992 mittels Zwischensparrendämmung energetisch saniert. Zusätzlich wurde sogar noch eine Aufsparrendämmung realisiert. Die Eigentümer hatten jedoch auch nach dieser Dämmmaßnahme Energieverbräuche, die unverhältnismäßig hoch waren und wollten dies im Rahmen der Energieberatung überprüfen lassen.

Am Tag der Messung war es windstill, die Außentemperatur betrug -2°C, im Ge-

Die Innenthermografie wird im Anschluss durchgeführt, um gefährdete bzw. undichte Stellen im Gebäude zu orten. Diese Bereiche werden anschließend unter Einsatz der Blower-Door bei Unterdruck im Gebäude erneut thermo-



■ Die Innenthermografie des Firstes unter Normaldruck zeigt ebenfalls keine gravierenden Schwachstellen.



■ Der gleiche Bereich unter dem First bei 50 Pa Unterdruck im Gebäude. Mithilfe des Blower-Door-Tests werden die Mängel sichtbar.

grafiert, um durch den Vergleich der Thermogramme eindeutig feststellen zu können, ob und in welchem Ausmaß Undichtigkeiten tatsächlich vorhanden sind.

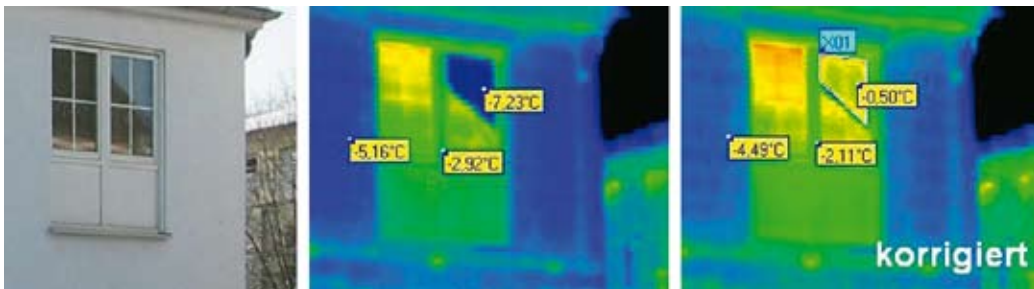
So wurden bei der Außenthermografie des Gebäudes weder an der Wand noch am Dach gravierende Auffälligkeiten festgestellt. Exemplarisch ist die Infrarot-Aufnahme des Daches in zu sehen.

Auch die Innenthermografie des Firstes bei Normaldruck zeigt zunächst keine Schwachstellen. Es ist eine gleichmäßige Oberflächentemperatur vorhanden, sodass thermisch alles in Ordnung zu sein scheint. Würde man die Beratung auf die reine Thermografie der Dachflächen von Außen und in-

nen stützen, so käme man hier zum falschen Ergebnis. Denn erst nachdem mit der Blower-Door ein Unterdruck im Gebäude erzeugt wurde, kamen die Mängel zum Vorschein. Über den First wird kalte Luft angesaugt. An der Decke ist die Unterkonstruktion der Gipskartonplatten als warme Linien zu erkennen. Die Decke wird also von kalter Außenluft durchströmt. Aus der Fuge zwischen Gipskartonplatte und holzverkleideter Decke strömt Kaltluft in den Raum, was deutlich an den blau und violett gefärbten Luftfahnen zu erkennen ist. Hier strömt die kalte Außenluft über die Wandoberflächen und kühlt diese ab.

Während im Winter bei Auftrieb im Gebäude warme Raumluft durch Leckagen nach außen strömt, kehrt sich die Situation im Sommer um. Die dann kühlere Raumluft ist schwerer als die Außenluft und fließt durch Öffnungen im unteren Teil des Gebäudes ab. Durch die Dachleckagen strömt warme Luft in das Gebäudeinnere.

@ Internetinformationen:  
[www.ingbeu.de](http://www.ingbeu.de)



■ Bild 3: Außenthermografie, Oberflächentemperatur der Wand und eines Fensters; Mitte: scheinbare Temperatur; rechts: nach Korrektur des Emissionsgrades und der Störstrahlung.

mografie günstige Eigenschaften: einen großen Emissionsgrad um 0,9 und geringe diffuse Reflexion. Setzt man den Emissionsgrad gleich 1, so erhält man die „scheinbare“ Temperatur (EN 13187). In vielen Fällen ist diese Annahme für eine qualitative oder vergleichende Auswertung bereits ausreichend.

Bei quantitativen Angaben der Temperatur sind der Emissionsgrad und die Störstrahlung zu berücksichtigen. Die bei der Kamera ankommende Strahlung setzt sich nämlich aus der von der Oberfläche emittierten Strahlung und der von der Oberfläche reflektierten Umgebungstrahlung (Störstrahlung) zusammen.

Eine genaue quantitative Angabe der Temperatur erfordert immer die Kenntnis des tatsächlichen Emissionsgrades und der Umgebungsbedingungen. Tabellenwerte sind hier im Allgemeinen nicht ausreichend. Bild 3 zeigt die Thermografie eines Fensters von außen. Die scheinbare Temperatur weicht um bis zu 7K von der tatsächlichen Temperatur ab.

Zur Darstellung der Oberflächentemperatur wird die scheinbare Temperatur farbcodiert dargestellt. Üblich sind die Farbskalen „Regenbogen“ (blau-grün-gelb-rot)

sowie „Glühfarben“ (schwarz-rot-gelb-weiß). Die Temperaturgrenzen der Farbskala können frei gewählt werden, sodass gleiche Temperaturen ganz unterschiedlich erscheinen können.

**Probleme bei der Interpretation**

Die in Bild 4 dargestellte Gebäudeaußenkante stellt einen Bereich mit geringerer Oberflächentemperatur dar, aber ist dies ein Mangel oder gar ein Schaden? Die Thermografie und auch eine sorgfältig ermittelte Oberflächentemperatur gibt hierüber keine Auskunft. Erforderlich ist der Vergleich mit „ordnungsgemäß“ ausgeführten Gebäuden unter gleichen Bedingungen. DIN EN 13187 versucht diesen Weg zu gehen und gibt eine Reihe von „Referenz“-Thermogrammen, gültig für skandinavische Bauweise.

Besonders problematisch ist die Bewertung von äußeren Oberflächentemperaturen, da in der Realität immer instationäre Randbedingungen vorliegen und daher auch die Wärmekapazität wesentlich in die Bewertung eingeht. Noch problematischer

bis unmöglich ist eine Ermittlung von U-Werten aus den ermittelten Oberflächentemperaturen. Das in ISO 9869 „Wärmeschutz-Bauteile-Vorortmessung des Wärmedurchlasswiderstandes und des Wärmedurchgangskoeffizienten“ angegebene Vorgehen gilt nur für Wände mit geringer Wärmekapazität und ist daher baupraktisch nicht umsetzbar, es wird daher von europäischen Experten abgelehnt.

**Fazit**

Die Luftdichtheitsprüfung und die Gebäudethermografie sind zwischenzeitlich gut eingeführte Prüfmethode. Moderne Thermografiesysteme liefern immer eindrucksvolle bunte Bilder und verführen, diese als offensichtlichen „Beweis“ beispielsweise für mangelhafte Wärmedämmung anzusehen. Doch erfordern derartige Aussagen einen hohen Aufwand bei der Aufnahme der Thermogramme sowie Erfahrung und Sorgfalt bei der Auswertung. Dies gilt für Innenaufnahmen, aber insbesondere bei Aufnahmen von außen, da hier Umgebungseinflüsse eine große

Rolle spielen. Die Ermittlung eines Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) durch ein Thermogramm vor Ort ist praktisch unmöglich. Beachtet man jedoch Grundlagen und Einschränkungen, ist die Thermografie für viele bauphysikalische Fragestellungen die Methode der Wahl. Zusammen ergänzen sich beide Verfahren und richtig angewandt erlauben sie Analyse und Qualitätskontrolle im Neubau wie im Bestand. ■

**Literatur:**

- [1] ISO 9972:2006-05, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [2] DIN EN 13829:2001-02, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [3] DIN EN 13187:1999-05, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen – Infrarot-Verfahren (ISO 6781:1983, modifiziert; Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [4] ISO 6781:1983-12, Wärmeschutz; Qualitativer Nachweis von thermischen Unregelmäßigkeiten an Gebäudeaußenbauteilen; Infrarotverfahren; Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [5] ISO 9869:1994-08, Wärmeschutz – Bauteile – Vorortmessung des Wärmedurchlasswiderstandes und des Wärmedurchgangskoeffizienten; Berlin: Beuth Verlag GmbH

Bilder: Institut für Fenstertechnik e.V. (ift), Rosenheim

@ Internetinformationen:  
www.ift-rosenheim.de  
www.ingbeu.de



■ Bild 4 Innenthermografie, Oberflächentemperatur an der Gebäudeaußenkante vom Innenraum gesehen.