

# Energetische Überarbeitung von Gebäuden im Bestand: BlowerDoor- Prüfungen und Infrarot- Thermografie als Entscheidungshilfen für Sanierungsmaßnahmen

Karlhans SCHWARZ, Beratender Ingenieur, Ingenieurbüro Schwarz, Owingen / Baden

**Kurzfassung.** Steigende Energiepreise zwingen auch behördliche Betreiber von größeren Gebäuden über energetische Verbesserungen nachzudenken, denn den auf die Bürger umzulegenden Kosten sind allmählich Grenzen gesetzt.

Verlockende Fördermaßnahmen und Kredite geben weitere Anstöße zur Ausführung von Arbeiten, die langfristig dem Erhalt und dem wirtschaftlichen Betrieb der Gebäude dienen.

Wirkungsvolle Maßnahmen sind sorgfältig zu planen und in bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit hin zu überprüfen. Diese ist nur dann seriös möglich, wenn vorher eine solide Analyse der bestehenden Bausubstanz erfolgt ist.

Neben einer sorgfältigen Aufnahme des Bestandes in Hinblick auf alte Baupläne, tatsächliche Ausführung und bauliche Veränderungen im Laufe der Zeit, einer Erfassung der technischen Gebäudeausrüstung, bieten die Prüfung der Luftdichtheit und eine thermografische Inspektion die Möglichkeit, Schwachstellen zu lokalisieren, zu bewerten und über deren Beseitigung zu befinden.

Hier werden BlowerDoor- Verfahren und thermografische Inspektion weniger zu Meßzwecken, als vielmehr zur Visualisierung und als Grundlage zur Erarbeitung von Konzepten und Lösungen eingesetzt.

Die Untersuchungsergebnisse von BlowerDoor Test und thermografischer Inspektion an einem Altenpflegeheim, einem Verwaltungsgebäude und einer Sporthalle werden vorgestellt.

## Inhalt

1. Vorwort
2. Aufgabenstellung
3. Prüfungen BlowerDoor und Thermografie
4. Ergebnisse, Feststellungen, Bilder
5. Schlüsse und Zusammenfassung

## **1. Vorwort**

Eine kleine Stadt mit etlichen HiTec-Betrieben hat nach und nach in den Jahren zwischen 1960 und 2001 ein ansehnliches, zeitgemäßes Gemeindezentrum erschaffen. Begonnen wurde mit einem Kindergarten. Es folgte eine Gemeindehalle für Veranstaltungen und zur Nutzung für Vereine. Dann entstand ein Schulzentrum: Zunächst eine Realschule in zwei Ausbaustufen, später eine neue Grund- und Hauptschule. Mit der Erstellung der Grundschule wurde 1971 ein neues, großes und architektonisch gut gestaltetes Rathaus erbaut. 1979 wurde eine beneidenswert großzügige und funktionell gut durchdachte Sporthalle erstellt. 1989 entstand ein komplexes Altenzentrum mit mehreren Gebäuden unterschiedlicher Funktionen. Als vorläufig letztes Bauwerk entstand 2001 ein Jugendhaus.

Entwicklungsgeschichtlich ist nachzuvollziehen, wie mit der Ansiedlung von HiTec-Unternehmen und der Zuwanderung qualifizierter Arbeitnehmer der Bedarf an zunächst Kindergarten, Schulen, Verwaltung und nicht zuletzt auch an Altenversorgung wächst.

Das Wärmeversorgungskonzept sah zuerst eine zentrale Versorgung der Einheiten durch eine Heizzentrale in der Realschule vor. Ein Kohlebunker zeugt davon, daß Kohle zur Herstellzeit der Gebäude noch "In" war, oder zumindest alternativ zu Öl eingesetzt werden konnte. Heute wird die Wärme in der Grundlast mit Gas erzeugt und in der Spitzenlast mit Öl ergänzt.

Mit dem Bau des Altenzentrums wurde dort eine weitere Heizzentrale geschaffen. Das Dach der Sporthalle bot sich zur Nutzung von Solarwärme an. Durch eine "kleine" Vernetzung der Warmwasserversorgung wurden die Möglichkeiten besser nutzbar.

Relativ bald stellte sich heraus, daß die Anlage in der bestehenden Form nicht so wie erwünscht betriebsfähig war. Ausgerechnet dann, wenn die Schule und Sporthalle während der Schulferien nicht benutzt wurden, produzierte die Solaranlage Wärme in einer nicht abführbaren Menge. Die Speicher stellten sich als zu klein heraus, eine Regelung der Vernetzung war unmöglich.

Ein paar Jahre später wurde das Altenzentrum erstmals wärmetechnisch überarbeitet. Die Außenwände wurden mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen. Trotzdem stellte sich der erwartete Energiespareffekt nicht ein.

## **2. Aufgabenstellung**

Daraus wurde die folgende Aufgabe formuliert:

"Die Gebäude .... weisen aufgrund ihres Alters sowohl in der Bautechnik als auch in der Anlagentechnik hinsichtlich der energetischen Bewertung erhebliche Defizite auf. Es soll daher ein ganzheitliches und innovatives Nahwärmeversorgungskonzept (NWVK) erarbeitet werden.

Um die Wärmeversorgung wirtschaftlicher zu gestalten sind die wesentlichen Bereiche der nicht nutzbaren Wärmeenergie

- mangelnder Wärmeschutz
- undichte Gebäudehülle
- überalterte raumluftechnische Anlagen ohne Wärmerückgewinnung

energetisch zu untersuchen und geeignete Maßnahmen zur Sanierung vorzuschlagen."

Der erste Punkt ist durch eine thermografische Inspektion zu erfüllen. Der zweite Punkt ist Aufgabe für eine BlowerDoor Untersuchung. Der dritte Punkt umfaßt eine Analyse der gesamten thermischen Anlagentechnik.

Thermografische Untersuchungen von außen alleine geben nur sehr begrenzt Aufschluß über den Zustand der Gebäudehülle.

Nichtwohngebäude bereiten wegen großer Glasfassaden einer Thermografie noch häufiger Probleme als Wohngebäude. Eine Luftdichtheitsprüfung im Zusammenhang mit der thermografischen Lecksuche und gleichzeitiger erweiterter Inneninspektion läßt die nachhaltigsten Ergebnisse erwarten.

Die Untersuchungen der Punkte 1 und 2 wurden von uns vorgenommen. Die Untersuchungen der Anlagentechnik und die Erarbeitung eines ganzheitlichen Wärmeversorgungskonzeptes wurden von einem anderen Ingenieurbüro ausgeführt.

### **3. Durchführung der Prüfungen Thermografie und BlowerDoor**

Die Außenthermografien bereiteten wenig Schwierigkeiten. Sie wurden nach Mitternacht unter nahezu idealen Wetterbedingungen bei Windstille, klarem Himmel und Lufttemperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt durchgeführt. Die Heizperiode begann bereits lange vorher, so daß die Baukörper gut und so weit wie möglich durchgeheizt waren.

Innenthmografien und BlowerDoor – Prüfungen wurden unter den gegebenen Bedingungen nach Möglichkeit außerhalb der Betriebszeiten ausgeführt. Es wurde darauf geachtet, daß die Gebäude auf die zum Betrieb üblichen Temperaturen beheizt waren.

Die Gebäudekomplexe der Altenpflege können weitestgehend als umfangreiche Wohnanlage mit verschiedenen Eigenschaften eingestuft werden.

Die Untersuchung wurde in 4 Stufen durchgeführt:

#### *3.1.1 Pflegestationen mit großer Glashalle*

Die Prüfung erfolgte tagsüber voll im Nutzungszustand: Alle Türen und Fenster waren wie üblich geöffnet oder geschlossen. Eine Messung in Anlehnung an DIN EN 13829 war nicht im entferntesten möglich, da zu viele Fenster geöffnet waren und ständig durch eine unkontrollierbare Anzahl von Personen betätigt wurde. Dies entspricht dem zu erfassenden und zu beschreibenden Normalzustand.

### *3.1.2 Vermessung einer Service-Abteilung*

Im Erdgeschoß eines Pflegegebäudes befindet sich eine Abteilung, die lufttechnisch abgetrennt und nach den Vorgaben der DIN EN 13829 unter kontrollierbaren Voraussetzungen vermessen werden konnte. Hier befinden sich ein Teil der Verwaltung, die Wäscherei mit Bügelei und eine kleine Werkstatt. Diese Messung soll als Referenzmessung für den Zustand der Bausubstanz angesehen werden.

### *3.1.3 Begegnungsstätte*

Der Bereich der sog. Begegnungsstätte mit einem Speiseraum, einer kleinen Küche und mehreren kleineren Versammlungsräumen ist ebenfalls lufttechnisch vom Gesamtkomplex unabhängig prüfbar.

### *3.1.4 Altenwohnung*

Für ältere Bewohner, die noch mehr oder weniger betreut eigenständig wohnen können, gibt es unabhängig vom Pflegebereich ein Wohnheim. Dort wurde ebenfalls repräsentativ eine Wohnung vermessen, die vier Außenwände besitzt.

Das Rathaus stellt eine Zwischenstufe zwischen Wohn- und Funktionsgebäude dar. Die Unterteilung in einzelne relativ kleine und mittlere Einheiten für die Verwaltungsaufgaben, die wie Wohnräume belüftet und beheizt werden müssen, entspricht eher einer Wohnnutzung. Die Nutzung des Foyers als Ausstellungsraum sowie einiger anderer Räumlichkeiten mit Öffentlichkeitszutritt haben mehr den Charakter eines Nichtwohngebäudes.

Die Schulen, die Sporthalle, die Gemeindehalle, der Kindergarten und das Jugendhaus stellen typische mehr oder weniger beheizte Nichtwohngebäude dar. Der Betrieb erfolgt meistens während des Tages bis in die Nachtstunden, während an den Wochenenden kein Betrieb stattfindet.

Daß bei den sehr großen Volumina der meisten Einheiten kein für eine Messung hinreichender Druckaufbau zu erzielen sein würde, war von vorneherein zu erwarten. Es war auch klar, daß nicht die Ermittlung der exakten Luftwechselrate in diesem Fall Ziel der Messungen sein sollte. Vielmehr kam es darauf an, thermische Schwachstellen der Gebäudehülle aufzuspüren, sowohl, was die Luftdichtheit als auch großflächige Wärmebrücken betrifft.

Eine der wichtigsten Arbeiten war und ist noch die überzeugende Aufarbeitung der Untersuchungsergebnisse und die logische Darstellung vor den Gremien, die die Mittel für die durchzuführenden Arbeiten zu genehmigen haben. Mit dem Wert  $n_{50}$  können nur wenige Mitglieder eines Gemeinderates etwas anfangen. Wohl aber kann sie jemand unter einem 10 Quadratmeter messenden Loch in einer Gebäudehülle etwas vorstellen. Daß dort schon bei einem natürlichen Gebäudedruck von wenigen Pascal in der Stunde bis zu 10 Tonnen oder mehr teuer erwärmte Luft in die Umgebung verschwinden, ist schon viel plakativer. Die bunten Bilder der Thermogramme unterstützen die Überzeugungsarbeit.

Darauf aufbauend wird zur Zeit für die einzelnen Gebäude ein Maßnahmenkatalog erarbeitet, um wirksame wärmetechnische Verbesserungen vorzuschlagen. Je nach der Haushaltslage wird man sich dann eine Maßnahme nach der anderen herausgreifen.

Anlagentechnik und Bausubstanz müssen dabei gemeinsam berücksichtigt werden. Im Endeffekt werden sich nach und nach Verbesserungen einstellen und am Etat der Betriebskosten bemerkbar werden.

### 3.2 Vermessung der Altenpflegestationen

Als Beispiel sei die Untersuchung der Altenpflegestationen kurz dargestellt:



Bild 1:

Ansicht des Pflegekomplexes



Bild 2:

Einbau der BlowerDoor-Meßvorrichtung in eine Tür nach Osten in der untersten Ebene der die beiden Pflegeetage verbindenden großen Glashalle

Aus der natürlichen Thermik des Baus ist als natürliche Druckdifferenz im Ruhezustand zu erwarten: (Abschätzung)

(Gesetz von Gay-Lussac mit der Berücksichtigung der Temperatur)

$$\text{Massendifferenz} = ((V_0 - V_0 \cdot (1 + T / 273)) \cdot 1,293) = 1810 \text{ kg}$$

Volumen = ca. 14000 cbm                      Grundfläche  $A_g = 1800 \text{ m}^2$   
gLuft = 1,293 kg/cbm                      dT = Temperaturdifferenz = 25 °C

Auftriebskraft  $\geq 1810 \text{ kg} * 10,2 \text{ N/kg} = 18464 \text{ N}$

Bei einer überbauten Grundfläche von 1800 m<sup>2</sup> ergibt dies eine Druckdifferenz von ca. 10 Pa ! Vorzeichen negativ, da Auftrieb nach oben.

Dieses würde für eine vollkommen dichte Gebäudehülle zu erwarten sein.

Gemessen wurde jedoch eine Ruhe-Druckdifferenz (bei geschlossenem Gebläse) von nur – 1 Pa.

Das Wetter war zum Meßzeitpunkt extrem ruhig, so daß kein Staudruck aus Wind berücksichtigt werden mußte.

Somit konnte man davon ausgehen, daß die fehlenden –9 Pa dem Druckabfall aus thermisch angetriebenen Luftstrom durch das Gebäude zuzuordnen waren. Das Gebläse kam also lediglich als kleine antreibende Zusatzkraft zur Wirkung. Entsprechend war beim Betrieb nur eine sehr kleine Wirkung bei Unterdruck zu verzeichnen. Ein Überdruck ließ sich nicht so erzeugen, daß eine eindeutige Wirkung nachweisbar wurde.

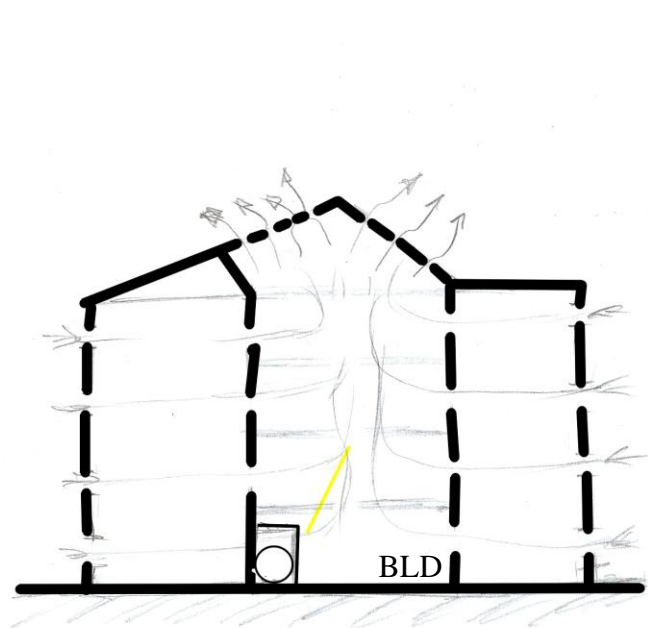


Bild 3:

Strömungsverhältnisse im Gebäudekomplex

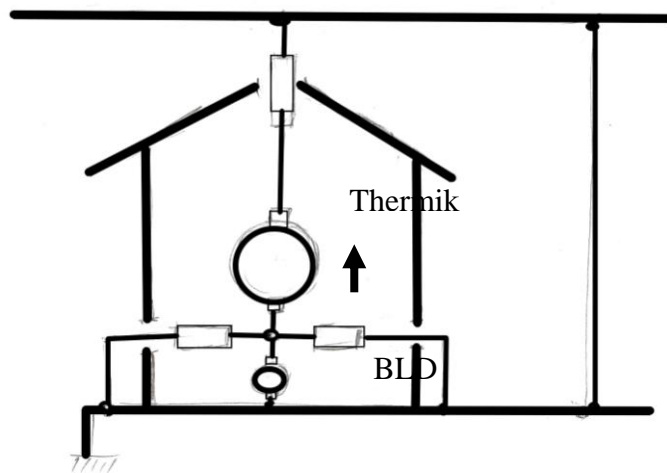


Bild 4:  
Elektrotechnisches Äquivalent

Um eine Abschätzung der Luftwechselrate zu erhalten wurde der Gebläsedruck von Hand in drei Stufen eingestellt und die Volumenströme und Gebäudedrücke ebenfalls von Hand registriert. Damit konnte zumindest eine Tendenz ermittelt werden.

Die thermografisch ermittelten Leckagen waren jedoch typisch und konnten gut zugeordnet werden. Es war aber auch von vorneherein klar, daß die aufgespürten Leckstellen eher der Wirkung der Gebäudethermik zugeschrieben werden müssen, als der Wirkung des Gebläses. Mithin sind sie fortwährend vorhanden. Dementsprechend fanden sich auch in dem oberen Geschoß weniger offensichtliche Leckagen.

Thermografisch konnten auch Fehler im Dachbereich aufgespürt und nachgewiesen werden. Diese Fehlstellen sind dann nicht der Wirkung des Gebläses zuzuordnen sondern auf Mängel der Dämmung. Sie sollten in jedem Fall invasiv durch Öffnen der Fehlstellen weiter untersucht werden.

### 3.3 Vermessung eines Verwaltungsgebäudes

Das Rathaus konnte lufttechnisch als eine Einheit erfaßt werden. Das Volumen betrug nur 1/3 von dem des Altenpflegekomplexes. Ferner war es möglich, das ganze Gebäude außerhalb der Betriebszeiten – sehr früh an einem Sonntagvormittag – zu vermessen. Nach der Abdichtung von wenigen vorher bekannten Schwachstellen und Stilllegung der Lüftungsanlage konnten sowohl bei Unterdruck als auch bei Überdruck jeweils 10 Pa erzielt werden. Damit kann nahezu von der Erfassung des Nutzungszustandes ausgegangen werden. Das Meßergebnis der Luftwechselrate von 7,1 /h ist also recht zuverlässig.

### 3.4 Vermessung einer Sporthalle

Die Sporthalle war das Gebäude, an welchem trotz Abkleben einiger Türen zu Nebenräumen kein nennenswerter Gebäudedruck aufgebaut werden konnte. Die Meßwerte wurden nur aus den Durchsatzwerten des Gebläses abgeleitet und stellen daher nur äußerst vage Abschätzungen dar. Für den Aufbau des natürlichen Gebäudedrucks gelten ähnliche Größenordnungen, wie für das Altenpflegeheim. Es konnte jedoch bei Überdruck und

Unterdruck jeweils nur exakt der gleiche Druck gemessen werden. Daraus läßt sich vermuten, dass es sich um einen Staudruckeffekt aus einer äußeren Luftbewegung handelte.

Die Innenthermografie zeigt allerdings, wo und welche Gebäudeteile großflächig undicht sind. Ferner zeigten sich einige sehr massive und durch die Lage im Dachbereich auch sehr wirksame Wärmebrücken. Diese Wärmebrücken wurden auch schon deutlich bei den Außenthermografien erkannt.

## **4. Ergebnisse, Feststellungen, Bilder**

### *4.1 Ergebnisse*

Die Auswertung der BlowerDoor-Messungen erfolgte mit dem Programm Tectite Express und dem Excel-Arbeitsblatt von EUZ – Springe.

Während Tectite Express auch bei den extrem geringen Drücken sowohl für die Grafik als auch für die Luftwechselrate anschauliche Werte darstellte, erschienen in dem Excel-Datenblatt völlig unrealistische Werte. Ursache für ist ein Strömungskoeffizient, der in Tectite fest vorgegeben ist, während er im Excel- Blatt aus mehreren Daten errechnet wird. Erst bei Druckdifferenzen über ca. 10 Pa nähern sich die Werte so weit aneinander an, daß die Ergebnisse vergleichbar werden. Eine Diskussion der Programme steht aber hier nicht zur Debatte, aber eine pauschale Aussage ist ebenfalls wichtig.

Ebenso sind Meßergebnisse aus den Thermografien zu beurteilen: Die abgelesenen Temperaturen werden von sehr vielen Parametern beeinflusst und dürfen nicht als absolute Werte angesehen und verwendet werden. Ausschlaggebend sind die Aussagen der bunten Bilder, die einen Zustand umschreiben und auf Fehler der Bausubstanz, der Anlagentechnik oder der Betriebsphilosophie der Immobilie hinweisen.

Sowohl BlowerDoor als auch Thermografie werden also hier weniger als messende, sondern vielmehr als beschreibende Verfahren eingesetzt. Entsprechend sind die Feststellungen daraus zu verwenden.

### *4.2 Feststellungen*

In den Bereichen, in denen eindeutige Meßergebnisse zu erzielen waren, konnte man feststellen, daß die Bausubstanz weitestgehend den Anforderungen entsprach. Offensichtliche Defekte an einzelnen Funktionselementen wie Fenster, Oberlichter und Türen sind mit geringem Aufwand behebbar.

Anders bei den meisten Großimmobilien. Dort erwiesen sich Luft-(un)-dichtheit und großflächige Glasfassaden als die wesentlichen Energiefresser.

Der Altenpflegekomplex ist z.B. mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen. Von den substantiell guten Fenstern stehen auch nachts und im tiefsten Winter nahezu die Hälfte offen oder sind gekippt. Auch in Funktionsräume wie Sanitärräumen, Waschräumen und Desinfektionsräumen stehen ständig die Fenster offen. Die Luft – insbesondere im oberen Stockwerk - wurde auch von uns während der Messungen als unangenehm stickig empfunden. Hier muß dringend die Lüftungsanlage neu definiert und überarbeitet werden.



Wegen der großen Leckagen sind die Lüftungsanlagen nicht wirksam. Wärmerückgewinnungssysteme sind nicht vorhanden.

In dem Verwaltungsgebäude stellte sich als wesentlich heraus, daß in nahezu allen Fenstern die Dichtungen fehlten. Auffällige Wärmebrücken zeigten sich nur an den Rahmen einer großflächigen Verglasung und im Bereich der damals üblichen Heizungsrisen unter den Fenstern.

#### *4.3 Bilder*

Die folgenden Bilder (Anhang ) verdeutlichen die Untersuchungsergebnisse.

(Bilder: 12 Stück)

Als ebenso wichtiges Ergebnis hat sich gezeigt, daß vielen Mitbürgern und Mitarbeitern in den Betrieben "energiebewußtes" Denken und Handeln bezüglich ihrer Betriebsräume fremd ist. Schulung und Sensibilisierung für die einfachen bauphysikalischen Vorgänge – hier Bereich Wärme - gehören ebenso in die betriebliche Fortbildung, wie Sicherheitsverhalten und "Erste Hilfe". Daß insbesondere über das Wochenende im Winter z.B. sämtliche Fenster in einer Schule geschlossen sein müssen, sollte für alle Beteiligten selbstverständlich sein.

### **5. Schlüsse und Zusammenfassung**

BlowerDoor – Untersuchungen zusammen mit Thermografie erweisen sich selbst bei derartigen Großprojekten als ein äußerst wirksames Mittel zur Untersuchung der Gebäudehülle. Insbesondere bei Nichtwohngebäuden, wo früher selten auf Wärmebilanz und Luftdichtheit geachtet wurde, geben sie heute Aufschluß über den tatsächlichen Bestand. Daraus lassen sich wertvolle Hinweise auf die wirksamsten Maßnahmen zur Verbesserung und für naheliegende Reparaturen ableiten. Exakte Meßwerte dürfen aber zunächst nicht das Ziel der Untersuchung sein. Bei einer "Sanierung" im wahrsten Sinne des Wortes sollte aber die Messung der Luftdichtheit vorgeschrieben und als Bauabnahmeprüfung in das Pflichtenheft aufgenommen werden. In diesem Fall muß allerdings ein Satz leistungsfähiger Gebläse bereitgestellt werden, um die notwendigen Drücke zu realisieren. Als Bauverantwortlicher einer Gemeinde darf man diese Forderung und die Durchsetzung nicht scheuen. Unabhängige, zertifizierte Dienstleister sind auch für solche Aufgaben gerüstet.

## Anlage zum Vortrag DGzFP/ Bilder



Bild 1:  
Offen stehende Fenster und voll aufgedrehte Heizkörper sind in Altenheimen häufig die Ursache Nr.1 für enorme Energiekosten.  
Die einwandfreie Ausführung des WDVS ist gut zu erkennen.

---



Bild 2:  
Defekte (verbogene) Fluchttüre aus Aluminium. Der Spalt ist mehr als 2 cm geöffnet, die verbogene Türe ist sogar im IR gut zu erkennen. Diese Türe ist kein Einzelfall.

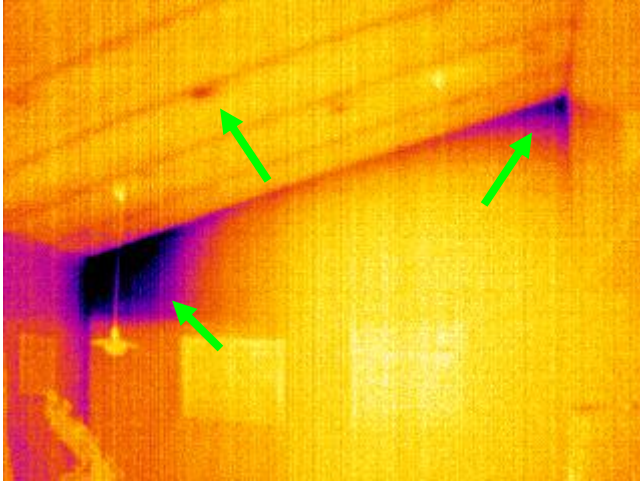


Bild 3  
Kondensatprobleme in der Dachkonstruktion.  
Hier sind dringend weitere, invasive Untersuchungen erforderlich.

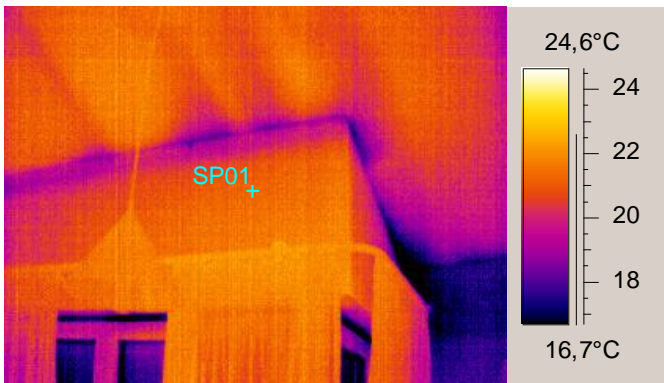
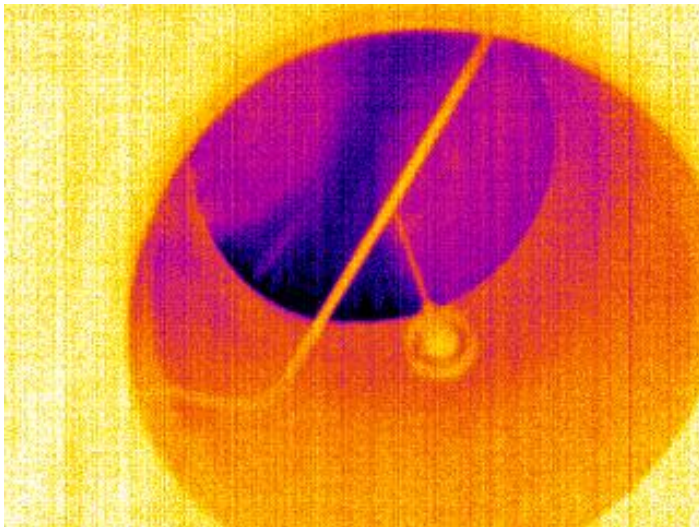
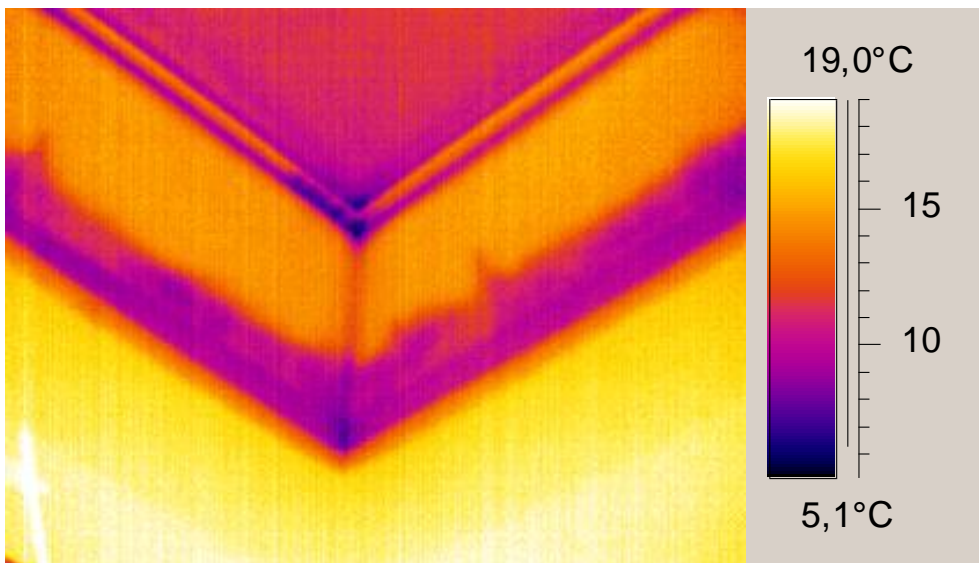


Bild 4:  
Pflegezimmer im DG.  
Wie gezeigt sind die Unregelmäßigkeiten nicht der Wirkung der BlowerDoor zuzuschreiben. Die Dämmung ist defekt und wahrscheinlich durchfeuchtet.



**Bild 5:**  
Defekte Oberlichter: Die Kombination von Materialien mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten arbeiten im Laufe der Zeit die besten Dichtungen auf. Der Luftzug war sogar bei den kleinen Drücken gut hörbar!



**Bild 6:**  
Der Metallrahmen des Oberlichtes ist Angriffspunkt für Kondensfeuchte. Korrosionsschäden sind die Folge. Und ein bißchen Farbe kaschiert nur die Schäden.

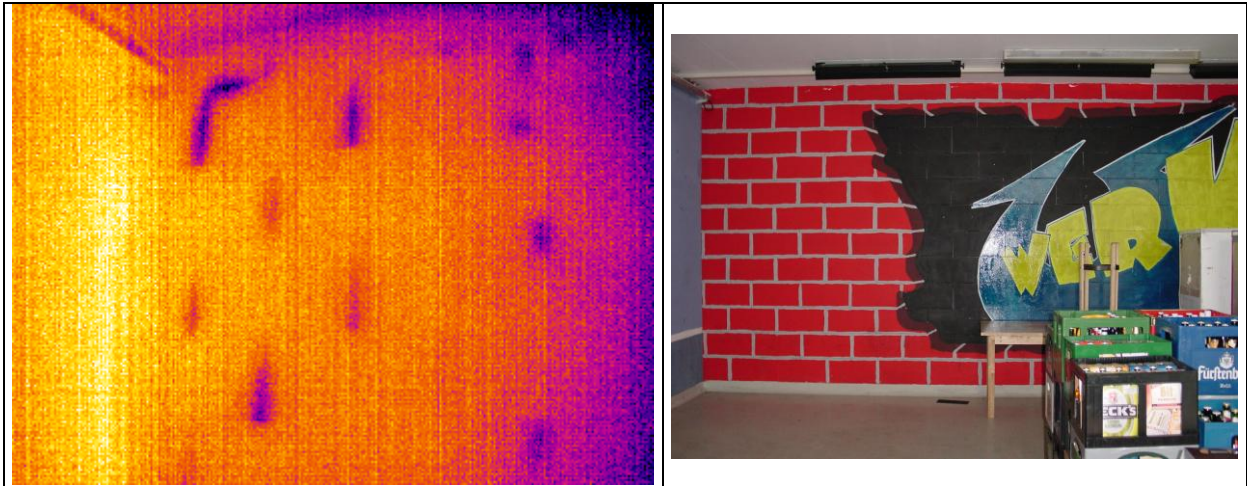


Bild 7:  
 Aus gestalterischen Gründen wurde diese Wand nicht verputzt. Die Thermografie zeigt, warum der Raum im Winter ungemütlich, vielleicht aber raucherfreundlich ist.

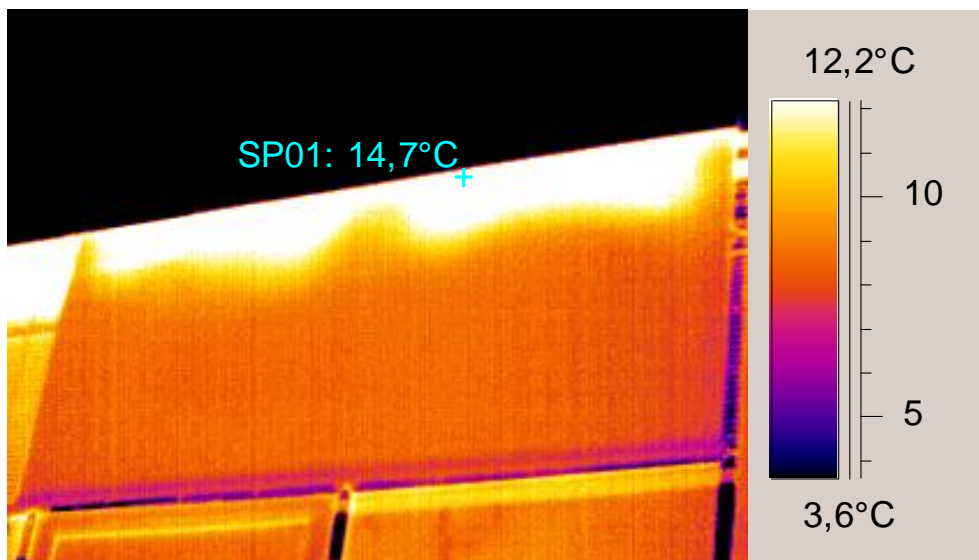


Bild 8: ((1108-74))  
 Gymnastiksaal bei Nacht, von außen und hinter einer Markise....Frische Luft kostet Geld.

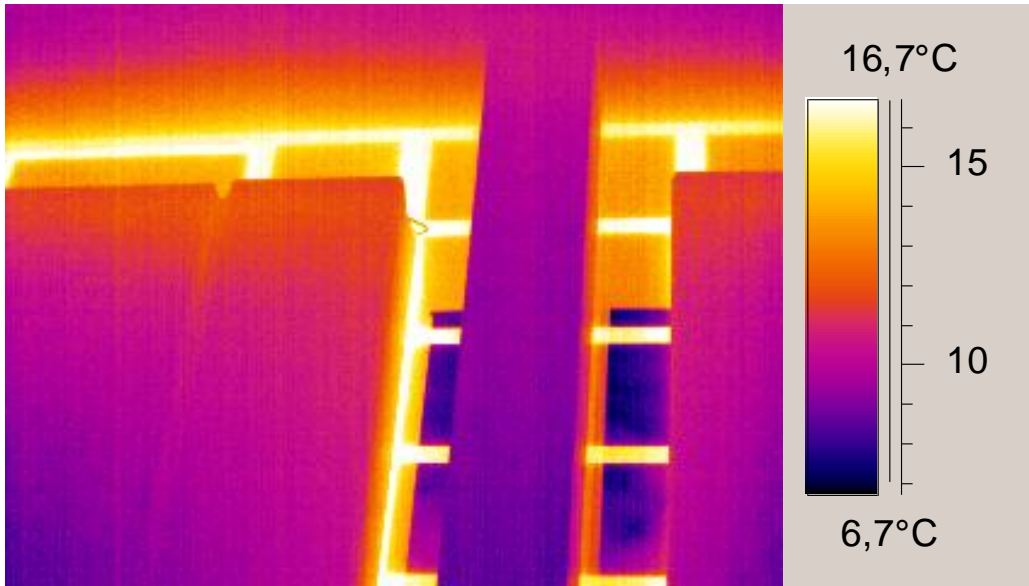


Bild 9:  
Rahmen der Fensteranlage als Wärmebrücken außen

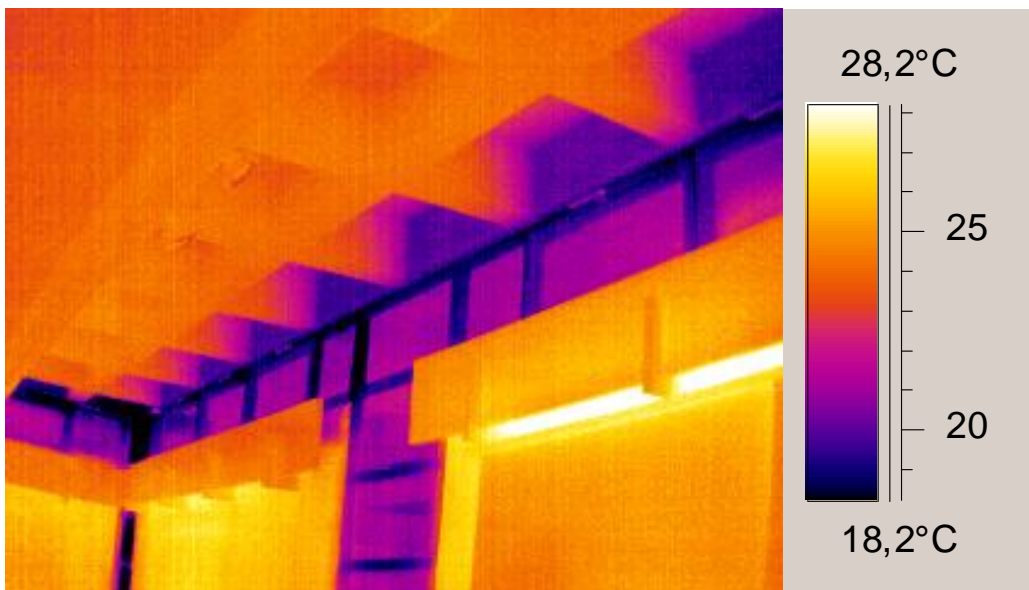
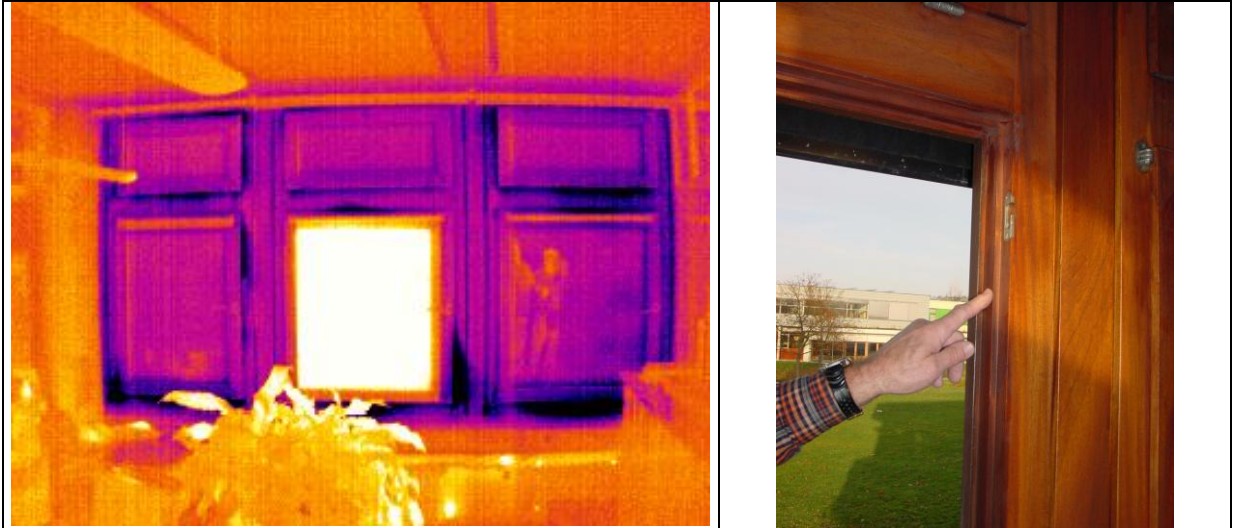
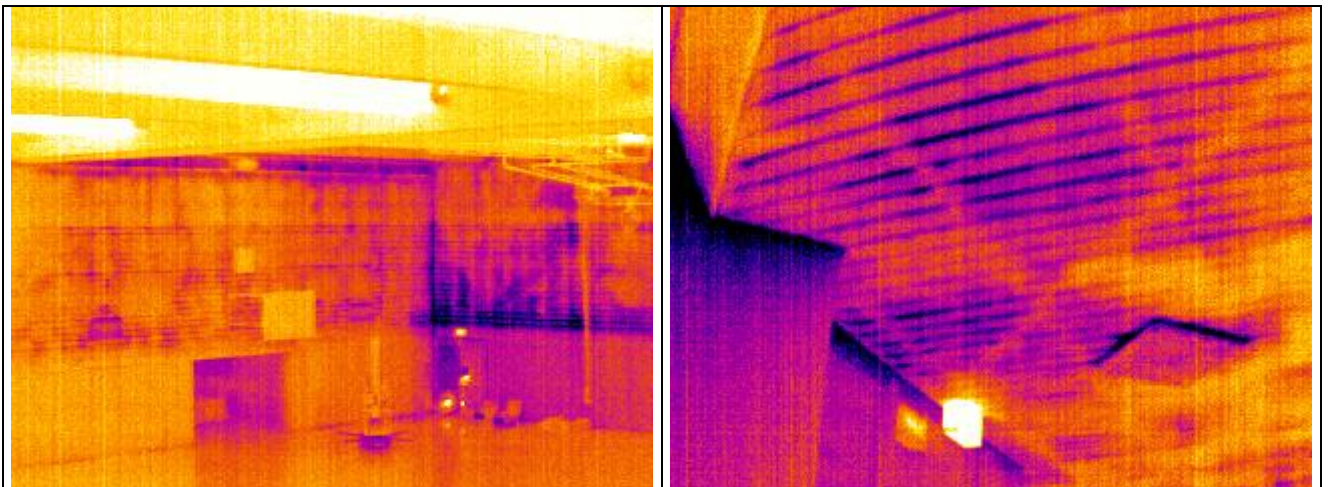


Bild 10:  
Rahmen der Fensteranlage als Wärmebrücken innen



**Bild 11:**  
Ca. 100 Fenster ohne Dichtungen: Mittels BlowerDoor und Thermografie nachweisbar und zweifelsfrei dokumentierbar.  
Die Nut für die Dichtung ist vorhanden, die Dichtung selbst fehlt.



**Bild 12:**  
Großformatige Undichtheiten: Nicht meßbar, aber selbst mit kleiner BlowerDoor nachweisbar!