

Josef Egle, Dipl.-Ing. (FH)



Von der IHK für München und Oberbayern öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Holzhausbau; rechnergestützte Konstruktion und Fertigung (CAD-CAM-CIM) im Holzbau;

Luftdichtheit und Gebäudethermografie

Bauaufsichtlich anerkannte Überwachungs- und Zertifizierungsstelle nach Landesbauordnung (BAY34)

Fremdüberwachungsstelle für die RAL-Gütegemeinschaften RAL-GZ 402, RAL-GZ 422, RAL-GZ 425, RAL-GZ 429

Mitglied Normenausschuss DIN 68800-2; Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau

Immobilienbewerter (IHK)

Birkenweg 2a, D - 83278 Traunstein

Tel. +49 (0) 861 / 90 96 142, Fax +49 (0) 861 / 90 96 143, www.egle-gutachten.com

Merkblatt Bauphysikalische Untersuchungen

Stand 09/2020

Luftdichtheit und Gebäudethermografie

1. Luftdichtheit von Gebäuden

1.1 Bauphysik und Technik

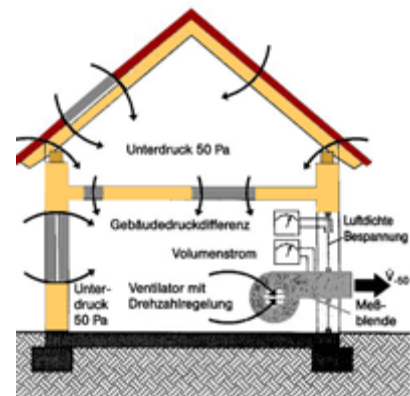
Treibhauseffekt, knapper werdende Energieressourcen und steigende Energiekosten sind die Gründe für energiesparendes Bauen und Senkung des Heizenergiebedarfs im Neubau und Gebäudebestand. Ein wichtiges Kriterium hierbei ist eine luftdichte Gebäudehülle. Sie trägt ganz wesentlich zur Vermeidung



von Zugluft, Bauschäden und unnötigen Wärmeverlusten bei. Mit dem Blower Door Messsystem kann weitgehend unabhängig von Jahreszeiten und Temperaturdifferenzen das Luftdichtheitsverhalten von Gebäuden reproduzierbar und ohne Eingriffe in die Bausubstanz gemessen werden. In eine Außenöffnung (Fenster, Glastüre) werden ein verstellbarer Vorhang und ein manuell oder elektronisch regelbares Gebläse eingesetzt. Die Prüfeinrichtung besteht weiterhin

aus Messeinrichtungen für das Fördervolumen des Gebläses (in m³ pro Stunde) und der bestehenden Druckdifferenz zwischen außen und innen (in Pascal). Alle weiteren Fenster und

Außentüren werden geschlossen, die Innentüren zu den absichtlich beheizten Räumen bleiben geöffnet. Nach Eichung der Messeinrichtung wird das Gebläse zur Herstellung eines Gebäudeunter- oder Überdruckes in Betrieb genommen. Nach DIN EN 13829, DIN 4108-7 und EnEV (ab 12/2020 GEG) ist das Fördervolumen bei



einer konstanten Druckdifferenz von 50 Pascal zu bestimmen. Bleibt die Druckdifferenz konstant, so sind die Luftmengen, die einerseits durch das Gebläse gefördert und andererseits durch bauliche Fugen und Undichtigkeiten nachströmen, gleich groß. Es werden Messreihen mit mehreren unterschiedlichen Druckdifferenzen durchgeführt, sodann erfolgt eine exakte mathematische Bestimmung des Fördervolumens für 50 Pascal Druckdifferenz. Das ermittelte Fördervolumen in m³ pro Stunde bei 50 Pascal Druckdifferenz wird in Beziehung gebracht mit dem Raumluftvolumen des beheizten Gebäudeteiles (alternativ Nettogrundfläche). Der formelmäßige Zusammenhang lautet:

$$n_{50} = V_{50} / V_{RL}$$

n_{50} : Gesamtluftdichtheitswert in 1/ h

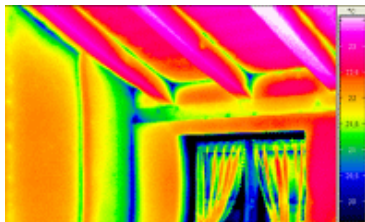
V_{50} : Luftfördermenge Gebläse im m³/h

V_{RL} : Raumluftvolumen beheizter Gebäudeteil in m³

Rechenbeispiel:

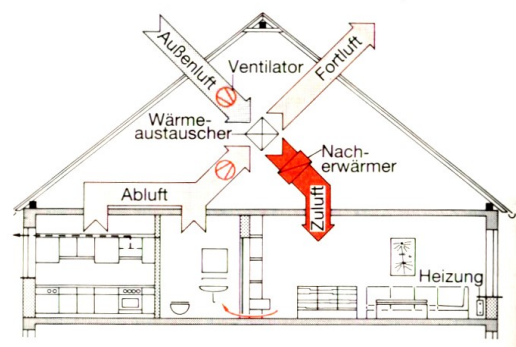
Als Fördervolumen wurden $1050 \text{ m}^3/\text{h}$ mit Blower Door ermittelt. Das Gebäudenvolumen beträgt 700 m^3 . Der n_{50} -Wert liegt somit bei $1050 / 700 = 1,5 \text{ 1/h}$.

Neben der Beurteilung des Gesamtluftdichtheitsverhaltens von Gebäuden kann Blower Door auch zur Ermittlung von Einzelleckagen verwendet werden. Bei laufendem Gebläse können Luftströme durch Außenbauteile mittels Rauchstäbchen, Nebelgeneratoren, Luftgeschwindigkeitsmessern (Thermo-Anemometer) oder Infrarot-Thermografie aufgespürt werden. Einzelleckagen gewinnen mit zunehmend hohen Dämmstandards in unseren Gebäuden stark an Bedeutung. Neben erhöhtem Energiebedarf sind insbesondere Bauschäden durch Konvektion (= unplanmäßiges Eindringen warmer, feuchtebeladener Raumluft in ausgekühlte Außenzonen) zu beachten. Reifansätze, Schimmelpilzbildung oder gar die vorzeitige strukturelle Schädigung von Bauteilen können die Folge sein. Normierte oder gesetzlich definierte Grenzwerte für Einzelleckagen existieren gegenwärtig nicht. Es liegt in hohem Maße an den Fachkenntnissen und Erfahrungen des Messenden, solche Werte aus physikalischer und baupraktischer Sicht korrekt zu bewerten. Für die sachgerechte Beurteilung von Einzelleckagen im Hinblick auf Energieverluste oder Konvektionsschäden sind neben der gemessenen Luftgeschwindigkeit unter anderem auch Leckagequerschnitte, Schichtenfolgen und geometrische Lage im Bauteil zu bewerten.



Bei Neubauten sollten Leckagen konsequent schon während der Bauphase aufgespürt werden. Die Kosten zur Beseitigung unplanmäßiger oder schädlicher Undichtigkeiten in diesem Stadium liegen im Regelfall bei einem Bruchteil des Betrages, der im Falle von Reklamationen nach Fertigstellung des Bauwerkes aufzuwenden ist.

Gesamtluftdichtheitsverhalten und Einzelleckagen gewinnen bei der Verwendung von raumlufttechnischen Anlagen in Verbindung mit Wärmerückgewinnung besondere Bedeutung. Das Wirkungsprinzip der Wärmerückgewinnung liegt in der planmäßigen Zufuhr von Außenluft durch einen Kreuzwärmetauscher. Der verbrauchten (warmen) Abluft wird hier Wärme entzogen und der Frischluft zugeführt. Gelangen größere Mengen kalter Außenluft durch unplanmäßige Fugen in die Innenräume, wird der Wirkungsgrad der gesamten Anlage unvermeidlich reduziert.



1.2 Normen und Vorschriften

Eine absolute Luftdichtheit von Bauteilen und Materialien im Bauwesen ist weder technisch sinnvoll noch wirtschaftlich herstellbar. Mindestanforderungen hingegen an die Luftdichtheitswirkung von Außenbauteilen und Gebäuden gelten seit DIN V 4108-7:1996-11 (Vornorm) als Stand der Technik und wurden mit Veröffentlichung im Bundesanzeiger vom 31.07.1998 in Verbindung mit der damals geltenden Wärmeschutzverordnung 1995 zur sogenannten anerkannten Regel der Technik.

Die einzuhaltenden Grenzwerte sind in DIN 4108-7:2011-01 Punkt 4 definiert. Der gemessene Luftstrom darf bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa (=Pascal) bezogen auf das Nettovolumen der absichtlich beheizten Gebäudezonen

- bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen (Fensterlüftung) den Wert 3,0 1/h nicht überschreiten
- und bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen den Wert 1,5 1/h nicht überschreiten.

Strengere Vorgaben als nach DIN 4108-7 können im Vertragswerk zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vereinbart werden. Insbesondere bei der Verwendung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist eine deutliche Unterschreitung des oben angegebenen Grenzwertes zu empfehlen, z.B. 1,0 1/h. Nach den Kriterien des Passivhausinstitutes, Darmstadt, soll für Passivhäuser, die per Definition mit einer Lüftungsanlage auch zu Heizzwecken ausgestattet sind, ein Wert von 0,6 1/h nicht überschritten werden.

Die Einhaltung der Anforderungen für das Gesamtluftdichtheitsverhalten von Gebäuden schließt lokale Fehlstellen, die zu Feuchteschäden aufgrund von Konvektion führen können, nicht aus.

Die Messverfahren zur Ermittlung des Luftdichtheitsverhaltens von Gebäuden sind in DIN EN 13829:2001-04 bzw. in der DIN EN ISO 9972:2015-12 geregelt.

Für neu zu errichtende Gebäude in der BRD sind bei der Neuerrichtung von Wohngebäuden Prüfungen mit Blower Door bindend, wenn raumluftechnische Anlagen eingesetzt werden. Wird eine Blowerdoor-Prüfung bei Gebäuden mit Fensterlüftung erfolgreich durchgeführt, dürfen die rechnerischen Lüftungswärmeverluste entsprechend reduziert werden. Dies führt rechnerisch auch zu Einsparungen beim End- und Primärenergiebedarf.

Zu beachten ist hierbei auch die „Lüftungsnorm“ DIN 1946 in der jeweils geltenden Fassung. Für alle neu errichteten Wohngebäude, auch solche mit Fensterlüftung, ist ein sogenanntes Lüftungskonzept zu erstellen. Um Schäden im Gebäudeinneren durch Tauwasser bzw. Schimmelpilzansiedlungen zu vermei-

den, muss eine benutzerunabhängige Grundlüftung stets vorhanden sein. Je nach Gebäudestandort und -höhe, weiterhin Größe der Wohneinheit wird ermittelt, ob für diese Lüftungsstufe die Luftdurchlässigkeit des Gebäudes ausreichend ist oder zusätzliche Lüftungsmaßnahmen ergriffen werden müssen. Insbesondere bei Gebäuden, die mit Fensterlüftung ausgestattet werden sollen, kann ein Widerspruch auftreten zwischen möglichst luftdichter Gebäudehülle und den Anforderungen dieser Lüftungsnorm.

2. Infrarot-Thermografie

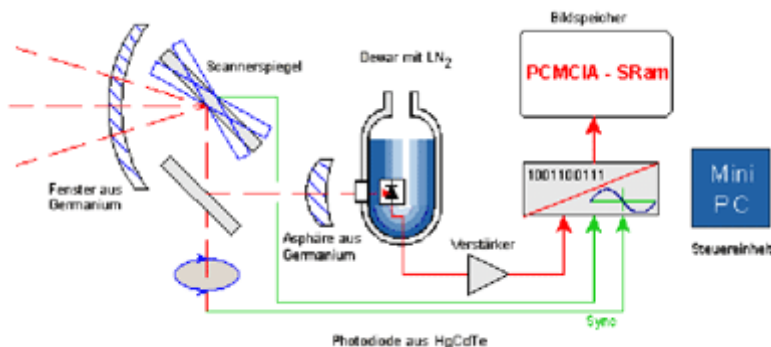
2.1 Physik und Technik

Die Infrarot-Thermografie ist eine berührungslose, bilderzeugende Temperaturmess-Methode. Sie stellt damit eine technisch hoch stehende, zugleich wichtige Unterstützung dar für die zerstörungsfreie Ortung und Quantifizierung von thermischen Schwachstellen und Störungen. In einer Infrarot-Kamera wird die an einem Sensor auftreffende Wärmestrahlung in elektronische Informationen (Thermogramm) gewandelt. Im Ergebnis kann die Temperaturverteilung an untersuchten Oberflächen wiedergegeben und vermessen werden. Die IR-Thermografie beruht auf der physikalischen Tatsache, dass jede Oberfläche, die über dem absoluten Nullwert (0 Kelvin oder -273 Grad Celsius) liegt, eine elektromagnetische Strahlung aussendet. Diese Strahlung befindet sich überwiegend jenseits des sichtbaren Lichtspektrums und kann deshalb vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden.

Die Leistung der Wärmestrahlung ist nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz wie folgt definiert:

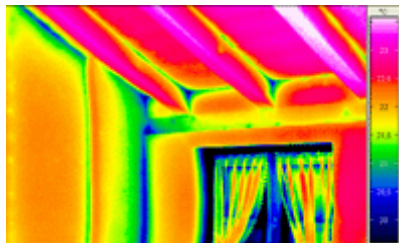
$P = \sigma \epsilon AT^4$	P Strahlungsleistung, σ Strahlungskonstante = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ϵ Emissionsgrad der strahlenden Fläche A strahlende Oberfläche des Körpers T_1 Temperatur des Strahlers
----------------------------	--

Die Temperatur fließt in der 4-fachen Potenz in die Strahlungsleistung ein. Entscheidend für die Güte von IR-Kameras ist daher unter anderem die Temperaturdifferenz zwischen der zu messenden Oberfläche



und dem Sensor in der Kamera selbst. Sehr hochwertige Scanner-systeme verwenden Kühleinrichtungen für den Sensor. Mit Flüssig-Stickstoff oder integrierten Stirling-Einheiten wird der Sensor auf ca. minus 250 bis 260 Grad Celsius

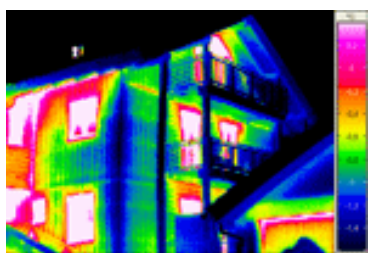
abgekühlt. In den letzten Jahren werden verstärkt auch ungekühlte Systeme, so genannte FPAs eingesetzt (focal plane arrays). Für eine Reihe von Anwendungen im Bauwesen ist die hierbei zu erzielende Genauigkeit zwar gegenüber gekühlten Systemen geringer, jedoch ausreichend. FPAs sind leichter und ermöglichen



ein besseres Handling, auch liegen die Beschaffungskosten deutlich niedriger als bei gekühlten Systemen. EGLE ENGINEERING setzt aufgrund des Anspruchs an möglichst genaue Untersuchungen und Auswertungen sehr hochwertige IR-Kameras ein.

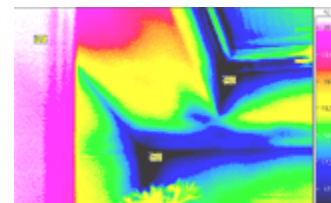
2.2 Anwendungsbereiche

2.2.1 Wärmebrücken



Mit der IR-Thermografie können Wärmebrücken berührungslos visualisiert und somit Schwachstellen aufgedeckt werden. Hierdurch ist eine wertvolle, zerstörungsfreie Beurteilung von Baukonstruktionen im Neubaubereich und im Gebäudebestand, möglich. So ist häufig strittig, ob Feuchteschäden wie z.B. Schimmelpilzbeläge in Innenräumen durch mangelhafte Konstruktion oder durch das

Nutzerverhalten verursacht werden. Den Untersuchungen mittels Thermografie folgen in der Regel rechnerische Überprüfungen. Bauliche und stoffliche Wärmebrücken sind in der Baupraxis nicht vollständig zu vermeiden. Nach DIN 4108-2:2013-02 darf im Bereich von Wärmebrücken der Temperaturfaktor f_{Rsi} den Wert 0,7 nicht unterschreiten:

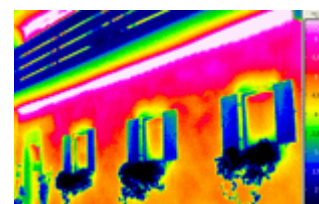


$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

θ_{si} die raumseitige Oberflächentemp.
 θ_i die Innenlufttemperatur
 θ_e die Außenlufttemperatur

Neben der Gefahr baulicher Schäden kann der Anteil von Wärmebrücken am Gesamtenergieverlust von Gebäuden ebenfalls rechnerisch abgeschätzt werden.

Im Gebäudebestand wird vielfach stark erhöhter Heizenergiebedarf reklamiert. Vor der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen ist eine A-B-C-Analyse des Gebäudes mit Thermografie zu empfehlen. Nur hiermit ist eine Klassifizierung der auftretenden Wärmeverluste unter Berücksichtigung der

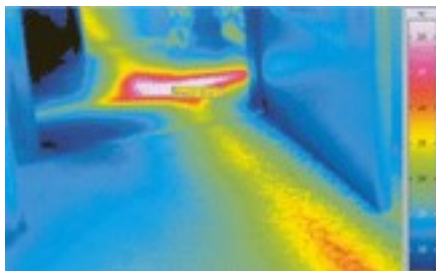


anteiligen Bauteilflächen bezüglich des Gesamtenergiebedarfes objektiv, sicher und reproduzierbar möglich. Erfahrungen zeigen, dass in vielen Fällen der Anteil signifikanter Schwachstellen weniger als 30% der Gesamtfläche der Gebäudehülle beträgt. Zugleich kann durch gezielte Sanierung dieser Bereiche der Heizenergiebedarf um 50-70% gesenkt werden.

2.2.2 Luftundichtigkeiten

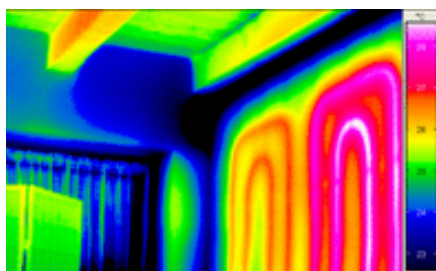
In Kombination mit dem BlowerDoor-Messverfahren können Luftleckagen gezielt geortet werden. Zunächst werden Thermografieaufnahmen von fraglichen Bauteilflächen entweder von der Außen- oder Innenseite oder hintereinander angefertigt. Danach wird ein Gebäudeunterdruck bzw. -Überdruck erzeugt. Die sich einstellenden Temperaturunterschiede ermöglichen Rückschlüsse auf Lage und Intensität von Luftleckagen.

2.2.3 Durchfeuchtungen und Lecks

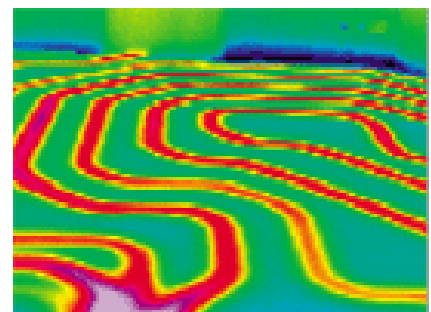


Die Wärmeleitfähigkeit in $W / m K$ von Baustoffen wird in der Literatur im Regelfall für den trockenen Einbauzustand angegeben. Im Falle einer Befeuchtung von Baustoffen gelangt Wasser in vorhandene Lufträume und Poren, die Wärmeleitfähigkeit steigt hierdurch an. Mit Hilfe der IR-Thermografie können die von Durchfeuchtungen oder Leckagen stammenden Temperaturdifferenzen an Bauteiloberflächen und somit indirekt die durchfeuchteten Bauteilzonen ermittelt werden.

2.2.4 Konstruktionseinzelheiten



Für bauliche Veränderungen vorrangig im Gebäudebestand ist die Ermittlung verdeckt liegender Konstruktionseinzelheiten häufig von großer Bedeutung. Eine Vielzahl solcher Bestimmungen sind zerstörungsfrei mit Hilfe der IR-Thermografie möglich. So können in mehrschichtigen Außenbauteilen, die sich aus Materialien unterschiedlicher Wärmeleitung zusammensetzen, Felder und Gefache ermittelt werden (z.B. Tragkonstruktionen nicht sichtbare Dachstühle, Fachwerkkonstruktionen). Auch die Lage verdeckter Heizleitungen in Wänden oder Fußböden kann hiermit zerstörungsfrei erfasst und dokumentiert werden.



2.2.5 Baubegleitende Qualitätssicherung

Thermische Sanierungsmaßnahmen können während der Bauausführung auf ihre Wirksamkeit und mögliche verbleibende Schwachstellen oder Wärmebrücken untersucht werden (z.B. Wärmedämm-Verbundsysteme, Einbau neuer Glaselemente, Wärmeisolierung von Heizrohren und Kaminen). Erforderliche Nachbesserungen verursachen in diesem Stadium im Regelfall nur einen Bruchteil derjenigen Kosten, die erst nach Fertigstellung erkannt bzw. bemängelt werden. Neben Vermeidung von Bauschäden und Reduzierung notwendiger Nachbesserungskosten dient die baubegleitende Qualitätssicherung mit schriftlicher Fixierung der Ergebnisse in vielen Fällen einer einvernehmlichen und raschen Bauabnahme.

3. Dienstleistungsangebot Sachverständigenbüro Egle

Josef Egle ist seit 2003 von der IHK München und Oberbayern u.a. für die Fachgebiete "Luftdichtheit und Gebäudethermografie" öffentlich bestellt und vereidigt. Für Unternehmen, Bauherrn, Investoren, Versicherungen und Gerichte bietet das Sachverständigenbüro Egle folgende Dienstleistungen an:



3.1 Beratung

- Erarbeitung wärme- und feuchteschutztechnisch optimierte Detaillösungen und Baukonstruktionen während der Planungsphase
- Überprüfung Konformität mit gesetzlichen und normierten Anforderungen
- Überprüfung und Einarbeitung konstruktiv-technische Anforderungen für Förderprogramme bei Neubauten und im Gebäudebestand
- Beurteilung der Bausubstanz einschließlich Grob- und Feinanalysen als Grundlage für Umnutzungen, Renovierungen und Sanierungen
- Qualitätssicherung der Bauausführung durch regelmäßige Überwachung und Mitwirkung bei der Abnahme
- Durchführung und Mitwirkung Wissenstransfermaßnahmen in Form von Seminaren, Schulungen, Vorträgen und Vorlesungen

3.2 Durchführung Messungen

- Gesamtluftdichtheitsverhalten (BlowerDoor)
- Einzelleckage-Untersuchungen (BlowerDoor, Nebelgeneratoren, Thermoanemometer, IR-Thermografie)
- Wärmeschutzverhalten, Wärmebrücken (hoch auflösende IR-Thermografie)
- Taupunktermittlungen
- Zerstörungsfreie Ermittlung von verdeckt liegenden Konstruktionseinheiten (z.B. Fachwerke, Fußbodenheizung)
- Zerstörungsfreie Ermittlung von Baufeuchten, Holzfeuchten, Feuchteverteilungen

3.3 Gutachten

- Neutrale Gutachtenserstattung für Gerichte, Unternehmen, Privatpersonen und Versicherungen
- Schadensfeststellung, Erarbeitung von Sanierungsvorschlägen, Kostenschätzungen
- Überwachung der Sanierungsarbeiten

Traunstein, 17.09.2020

gez. Josef Egle