

Luftdicht Bauen

Notwendiger Luftaustausch und Luftdichtigkeit
ein Widerspruch ??

Eindeutig JEIN !

Wo liegen die Vorteile eines luftdichten Bauwerks ?
Womit kann (und muss) man die Nachteile umkehren ?

Ein kleiner Exkurs in die Bauphysik



Luftdicht Bauen

Werner Scherer

Dipl.Ing.FH , Dipl.Phys.

Moselufer 7 54338 Schweich-Issel
tel 0162 6063682 mail@wernerscherer.de

Energieberatung - Dichtigkeitsprüfung DIN13829
Verkehrswert - Schallschutz



ENERGIEEFFIZIENZ-
EXPERTE
für Förderprogramme des Bundes

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Gesetzliche Grundlage

Was ist die „Luftdichtigkeitsebene“

Nach welcher Norm wird geprüft ?

Wie wird geprüft ?

Welche Grenzwerte gelten ?

Luftdichtigkeit erfüllt = Fehlerfreiheit ?

Aufspüren von Undichtigkeiten

Bedeutsamkeit von Leckagen

Kritische Stellen an der Gebäudehülle



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:

Energie- und Kostenersparnis

Durch eine undichte Gebäudehülle geht im Laufe eines Jahres Wärmeenergie in großen Mengen verloren.

Ein Beispiel:

150 m^2 Wohnfläche x $2,5 \text{ m}$ lichte Höhe x Mindestluftwechsel ($= 0,5 \text{ h}^{-1}$) = $188 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$

Um diesen Luftstrom um 1° zu erwärmen bracht es eine Leistung von 68 Watt

In einer Heizperiode Klimaaufzeichnung Deutscher Wetterdienst für Trier → Mitte 10 – Ende 04

Ergibt (rund) 4600 kWh (entspricht ~ 460 ltr Heizöl)



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:



Schutz vor Bauschäden

Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte Luft
Beim Durchströmen einer Leckstelle wird der Taupunkt überschritten,
Wasser fällt aus



	Taupunkt in Grad Celsius bei einer Raum-Luftfeuchte von ...					
Raumtemperatur	40%	50%	60%	70%	80%	90%
24°C	9,6°C	12,9°C	15,8°C	18,2°C	20,3°C	22,3°C
22°C	7,8°C	11,1°C	13,9°C	16,3°C	18,4°C	20,3°C
20°C	6,0°C	9,3°C	12,0°C	14,4°C	16,4°C	18,3°C
18°C	4,2°C	7,4°C	10,1°C	12,5°C	14,5°C	16,3°C
16°C	2,4°C	5,6°C	8,2°C	10,5°C	12,6°C	14,4°C
14°C	0,6°C	3,7°C	6,4°C	8,6°C	10,6°C	12,4°C
12°C	-1°C	1,9°C	4,5°C	6,7°C	8,7°C	10,4°C
10°C	-2,6°C	0,1°C	2,6°C	4,8°C	6,7°C	8,4°C

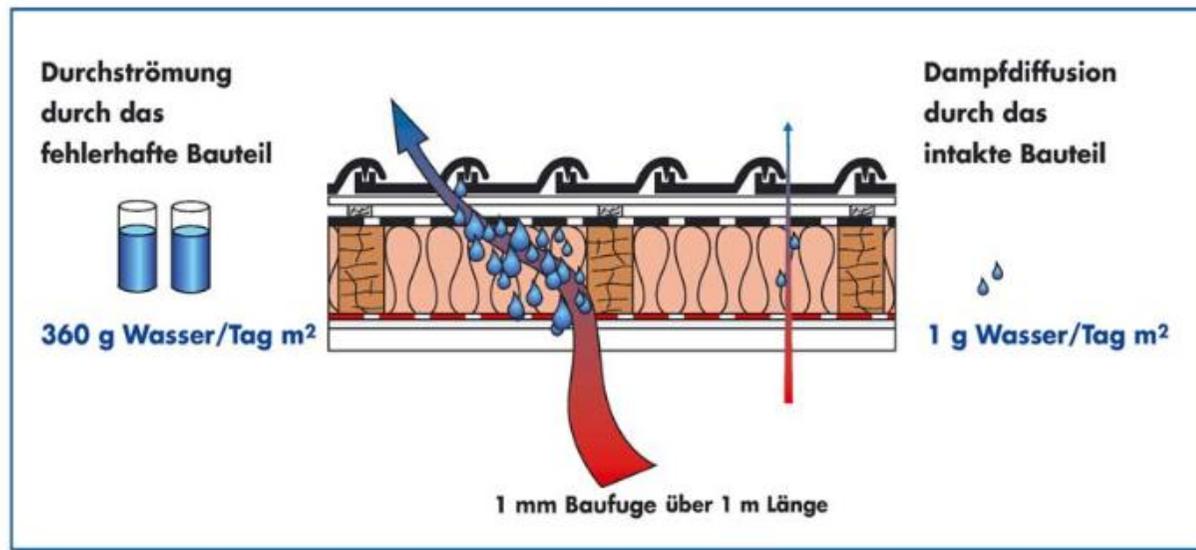
Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:

Schutz vor Bauschäden



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

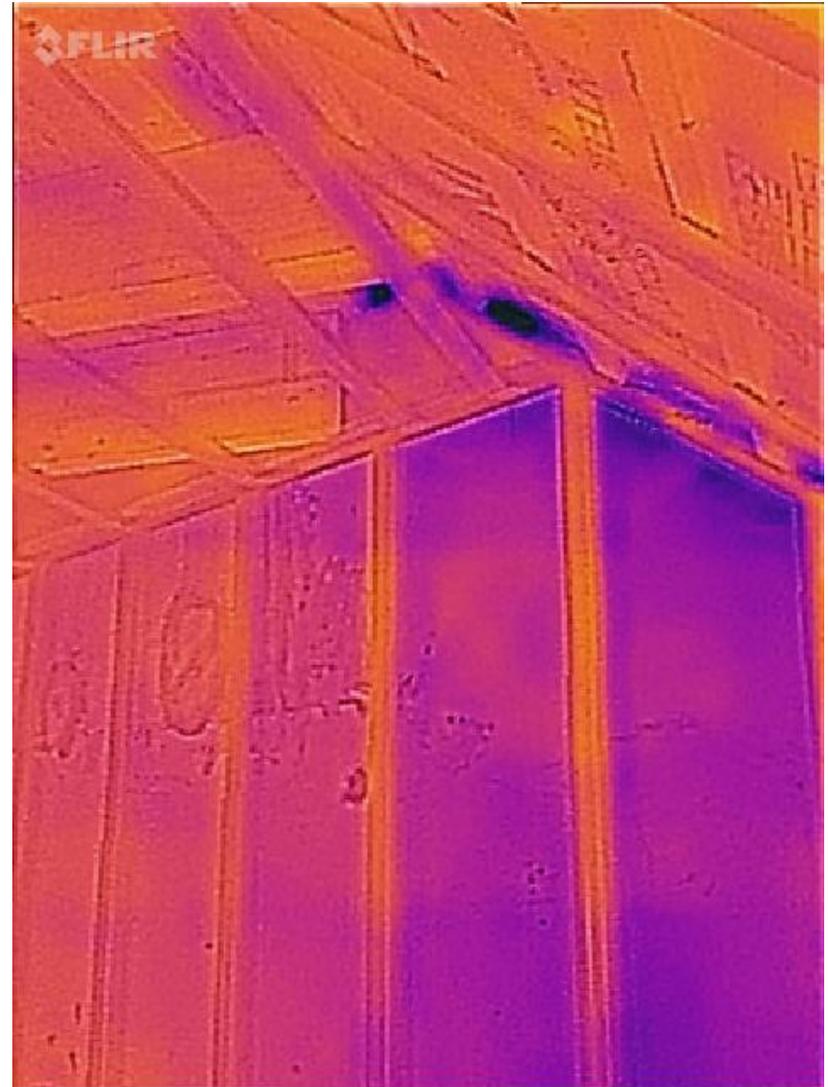
Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:

Wohnklima / Schadstoffe

Schimmelpilze in der Konstruktion / Dämmlage gelangen durch Winddruck über die Fehlstellen der luftdichten Ebene in den Wohnraum.

Fasern der Dämmung, Staub, Pollen, Rauch, Gerüche, etc.. ebenso.



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:

Wohnklima / Schadstoffe

Schimmelpilze in der Konstruktion / Dämmlage gelangen durch Winddruck über die Fehlstellen der luftdichten Ebene in den Wohnraum.

Fasern der Dämmung, Staub, Pollen, Rauch, Gerüche, etc.. ebenso.

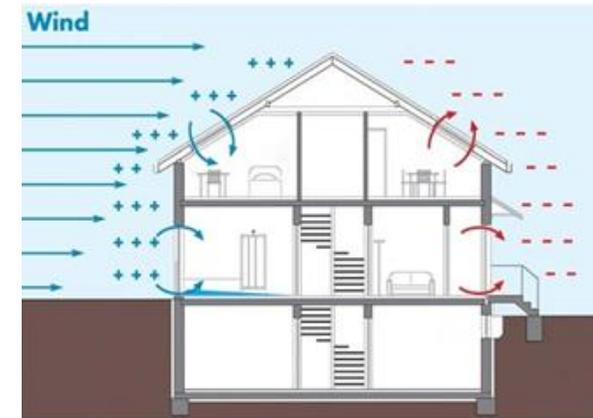


Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:



Zugluftvermeidung

Luftbewegungen mit Geschwindigkeiten $> 0,1 - 0,15$ m/s sind deutlich spürbar und werden als unangenehm empfunden

(ggf. Ausnahme im Sommer in unklimatisierten Räumen)



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:



Brandschutz

In einem luftdichten Gebäude breiten sich Brände langsamer aus, als in einem Gebäude, in dem über Undichtigkeiten mehr Sauerstoff zugeführt wird



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Weshalb luftdicht bauen ?

Luftdichtheit ist ein Qualitätskriterium. Es gibt viele gute Gründe, luftdicht zu bauen:



Schallschutz

Risse und Fugen beeinträchtigen die Schallschutzqualität von Bauteilen und Bauteilverbindungen



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Kennen Sie das Märchen von den atmenden Wänden?

Immer wieder begegnet einem die Meinung, die Wände eines Hauses müssten atmen.

Diese Meinung ist falsch, sie hat sich aber offenbar in den Köpfen festgesetzt und wird ggf. Durch Werbung und unfachmännische Beratung propagiert.

Es gibt keine "atmende Wand"

Zufuhr von Sauerstoff, Feuchtigkeitsausbringung über die verbrauchte Luft und Reduktion von CO₂ und Schadstoffen in der Wohnluft ist ausschließlich die Aufgabe der Lüftung

"Ein Atmen der Wände im Sinne einer Lüfterneuerung der Innenräume findet nicht statt."

DIN4108-1969

Wohl wahr ist, dass je nach Schichtenaufbau, unterschiedliche Diffusionseigenschaften vorliegen (siehe sd-Wert)

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Gesetzliche Grundlage

Gesetzliche Grundlage ist die Energieeinsparungsverordnung (EnEV)

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)*

vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519); letzte Änderung vom 24. Oktober 2014 (BGBl. I S. 1789)

Rechtslage

Häuser müssen heute mit einer **luftundurchlässigen Schicht** versehen werden. Das schreibt die Energieeinsparverordnung vor. Für den Grad der Luftdichtheit gelten vorgegebene verbindliche Grenzwerte, die eingehalten werden müssen. Der Bauherr kann beim Ersteller des Hauses ggf. Nachbesserung fordern.

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Gesetzliche Grundlage

§ 6

Dichtheit, Mindestluftwechsel

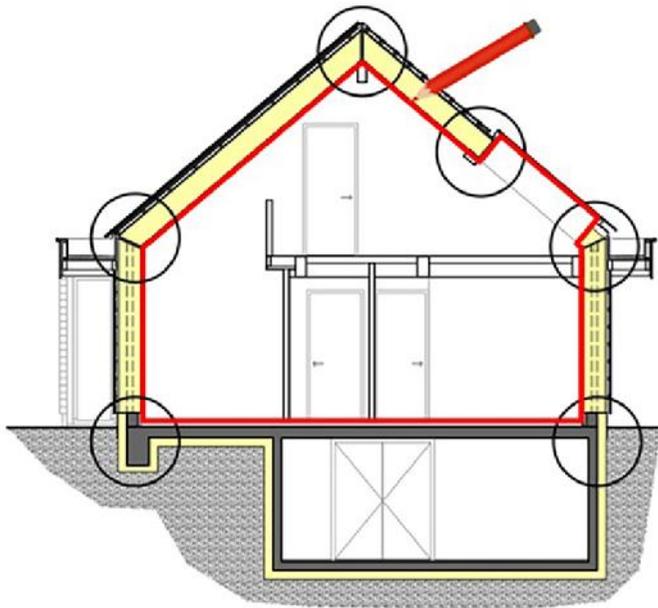
(1) Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend den anerkannten Regeln der Technik abgedichtet ist. Wird die Dichtheit nach Satz 1 überprüft, kann der Nachweis der Luftdichtheit bei der nach § 3 Absatz 3 und § 4 Absatz 3 erforderlichen Berechnung berücksichtigt werden, wenn die Anforderungen nach Anlage 4 eingehalten sind.

(2) Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist.

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Luftdichtigkeitsebene



Die Luftdichtigkeitsebene ist die Außengrenze des beheizten und belüfteten Gebäudeteils

Arbeitshilfe:

Geschlossene Umrandung ohne abgesetzten Stift im Schnitt und Grundriss(en) bildet die Luftdichtigkeitsebene

Das Volumen als Bezugsgröße für die normative Dichtigkeit wird durch die Luftdichtigkeitsebene definiert

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Prüfnorm

Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 13829

Die Norm beschreibt das „Differenzdruck-Messverfahren“
Mit all seinen Durchführungsbestimmungen, sowie den
Inhalt eines Zertifikats über die Luftdichtigkeit.

Die Norm ist „gemeinfrei“, d.h. sie kann kostenfrei
erworben, kopiert und weitergegeben werden.

Daneben existiert die ISO 9972, die einige, teils
gravierende Unterschiede zu DIN EN 13829 aufweist.

DEUTSCHE NORM		Februar 2001
	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert) Deutsche Fassung EN 13829:2000	DIN EN 13829
ICS 91.120.10 Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified); German version EN 13829:2000 Performance thermique des bâtiments – Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments – Méthode de pressurisation par ventilateur (ISO 9972:1996, modifiée); Version allemande EN 13829:2000		
Die Europäische Norm EN 13829:2000 hat den Status einer Deutschen Norm.		

**Die aktuelle EnEV (2014) schreibt explizit die
Anwendung der DIN EN 13829-2001-02 vor
(Anlage 4 der EnEV)**

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Prüfnorm, Unterschiede DIN EN 13829 zu ISO 9972

verwendete Formelzeichen

Größe	ISO 9972 (2015)	EN 13829 (2001)
Leckagestrom bei 50 Pa	q_{50}	\dot{V}_{50}
Luftdurchlässigkeit (Gebäudehülle) bei 50 Pa	q_{E50}	q_{50}
Spezifischer Leckagestrom (Grundfläche) bei 50 Pa (nach EN 13829: <i>nettogrundflächenbezogener Leckagestrom</i>)	q_{F50}	w_{50}
Luftwechselrate bei 50 Pa		n_{50}

Berechnung des Innenvolumens

ISO 9972 Gesamtinnenmaße



DIN EN 1389 Nettovolumen (ohne Decken und Innenwände)

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Prüfnorm, Unterschiede DIN EN 13829 zu ISO 9972

ISO 9972

Genauigkeit Messtechnik

Druckmessgerät

+/- 1 Pa im Bereich 0 – 60 Pa

Thermometer

+/- 0,5 K

Din EN 13829

+/- 2 Pa im Bereich 0 – 100 Pa

+/- 1 K

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Prüfnorm, Unterschiede DIN EN 13829 zu ISO 9972

ISO 9972

Gebäudevorbereitung

Verfahren 1:

Nutzungszustand

Öffnungen für freie Lüftung geschlossen
ventilatorgestützte Lüftung abgedichtet

Verfahren 2:

Prüfung Gebäudehülle

absichtlich vorhandene Öffnungen verschlossen

Verfahren 3:

Zweckbestimmte Prüfung

nationale Normung, Zweck der Messung bestimmt
das verschließen von Öffnungen

Din EN 13829

Verfahren A:

Nutzungszustand

Verfahren B:

Gebäudehüllenprüfung

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Prüfnorm, Unterschiede DIN EN 13829 zu ISO 9972

ISO 9972

Kleinste Druckdifferenz

10 +/- 3 Pa oder das 5-fache der natürliche Druckdifferenz

(höherer Wert zählt)

Din EN 13829

10 Pa bzw. 5-facher Wert der natürlichen Druckdifferenz, größere der Beträge des positiven und negativen Mittelwertes
(höherer Wert zählt)

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Prüfnorm, Unterschiede DIN EN 13829 zu ISO 9972

ISO 9972

Qualität Messreihe

Bestimmtheitsmaß $r^2 > 0,98$

Strömungsexponent zwischen 0,5 und 1

Neue abgeleitete Größen

Din EN 13829

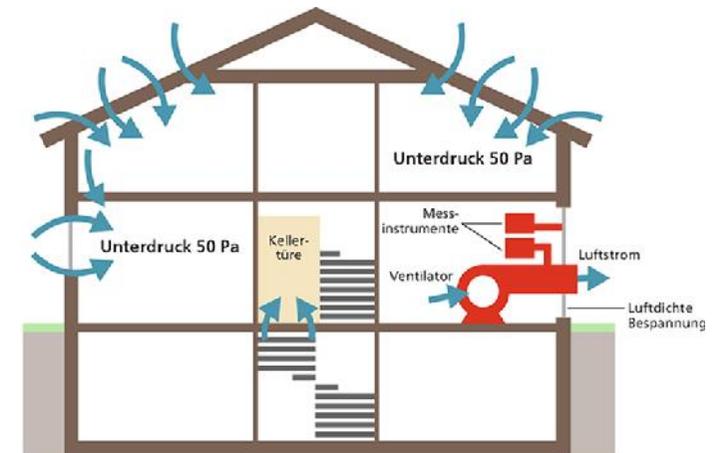
Größe	Symbol	Einheit
Effektive Leckagefläche	ELA_{pr}	m^2
Spezifische effektive Leckagefläche (Hülle)	ELA_{Epr}	m^2/m^2
Spezifische effektive Leckagefläche (Grundfläche)	ELA_{Fpr}	m^2/m^2

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Wie wird geprüft, Prüfablauf

- Gebäudevorbereitung, entsprechend gewähltem Verfahren
- Aufbau der Druckerzeugungseinrichtung, der Messvorrichtungen, etc. , vorzugsweise vorhandene Öffnung wie Fenster oder Tür
- Grundsätzliche Überprüfung der Dichtigkeit bei Prüfdruck (50 Pa), dabei Leckageortung mit geeignetem Gerät, Bestimmung der Ausdehnung und des Durchlasses aufgefundenener Leckagen.
- Bestimmung der natürlichen Druckdifferenz vor Aufnahme der Messreihen
- Aufnahme Messreihen bei Über- und Unterdruck, vorzugsweise in 10 Pa-Schritten, mindestens bei Prüfdruck, besser bis 2-fachem Prüfdruck
- Bestimmung der natürlichen Druckdifferenz nach Aufnahme der Messreihen
- Auswertung der Messergebnisse und Ausstellung des Zertifikats



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Prüfablauf, Gebäudevorbereitung

Vorbereitung des Gebäudes

- Aussentüren/Fenster/Dachflächenfenster geschlossen (A+B)
- Türen zu unbeheizten Kellern oder Räumen geschlossen (A+B)
- Luken, Bodentreppen geschlossen (A+B)
- Innentüren im beheizten Volumen geöffnet (A+B)
- Abwasserrohre abgedichtet bzw. Siphons mit Wasser gefüllt (A+B)
- Rohrbelüfter der Abwasserleitung ausgebaut und abgedichtet (A+B)
- Asche aus offenen Feuerstätten entfernt (A+B)
- Mechanische Lüftungs- und Klimaanlage ausgeschaltet (A+B)
- Zu- und Abluftdurchlässe abgedichtet (A+B)
- Lüftungsrohre am Ventilator abgedichtet (A+B)
- offener Kamin: Kaminabzugskl. geschl. und Asche entfernt (A+B)
- geschl. Kamin: Zuluftöffnung geschlossen (A+B)
- Abluftdurchlässe verschlossen (A)
- Zu- und Abluftdurchlässe verschlossen (A)
- Abluftdurchlässe abgedichtet (B)
- Dunstabzugshaube abgedichtet (B)
- Briefkastenschlitz abgedichtet (B)
- Schornsteinhinterlüftung abgedichtet (B)

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Wie wird geprüft, Prüfablauf



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

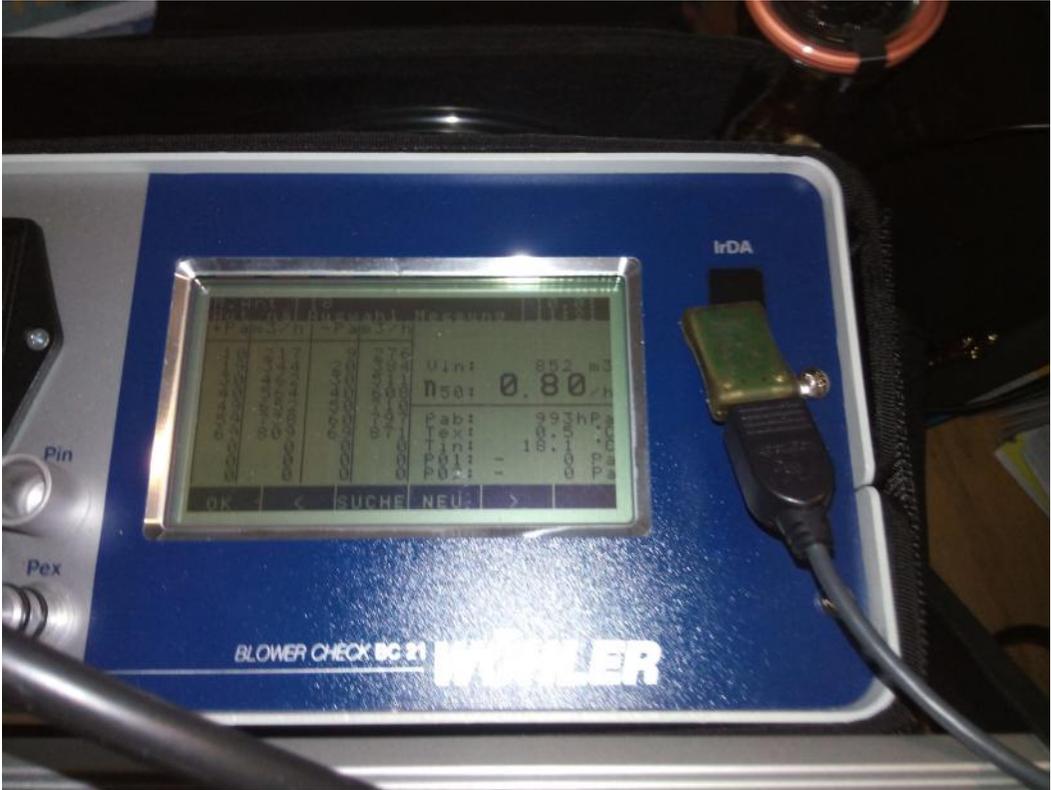
Wie wird geprüft, Prüfablauf



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Wie wird geprüft, Prüfablauf



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Welche Grenzwerte gelten ?

Gebäude mit natürlicher Lüftung (Fensterlüftung):	$n_{50} \text{ 3 [h}^{-1}\text{]}$
Gebäude mit raumlüfttechnischen Anlagen / auch Abluftanlagen: (Insbesondere bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist eine deutliche Unterschreitung des oben angegebenen Grenzwertes sinnvoll (DIN 4108-7).)	$n_{50} \text{ 1,5 [h}^{-1}\text{]}$
Anzustreben auf Grund energetischer Gesichtspunkte:	$n_{50} \text{ 1 [h}^{-1}\text{]}$
Für Passivhäuser: (Nach Kriterien des Passivhausinstituts Darmstadt, Dr. Wolfgang Feist)	$n_{50} \text{ 0,6 [h}^{-1}\text{]}$

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Anforderungen an Luftdichtigkeit erfüllt = Fehlerfreiheit ??

Eine bestandene Luftdichtheitsprüfung garantiert nicht die fehlerfreie Anbringung der luftdichtheitsgebenden Schicht !

Zwar erklären unvermeidbare Strömungswege den Luftbedarf zur Erzeugung des Differenzdruckes, dennoch können Fehler in der luftdichtheitsgebenden Schicht dazu beitragen.

Eine Untersuchung der Verdachtsstellen ist in jedem Fall ratsam.

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Aufspüren von Undichtigkeiten

Für die Visualisierung und ggf. Quantifizierung von Leckstellen stehen viele Hilfsmittel zur Verfügung:

Rauch/Dampf-Erzeuger



Anemometer



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Aufspüren von Undichtigkeiten

Für die Visualisierung und ggf. Quantifizierung von Leckstellen stehen viele Hilfsmittel zur Verfügung:

Rauchstift

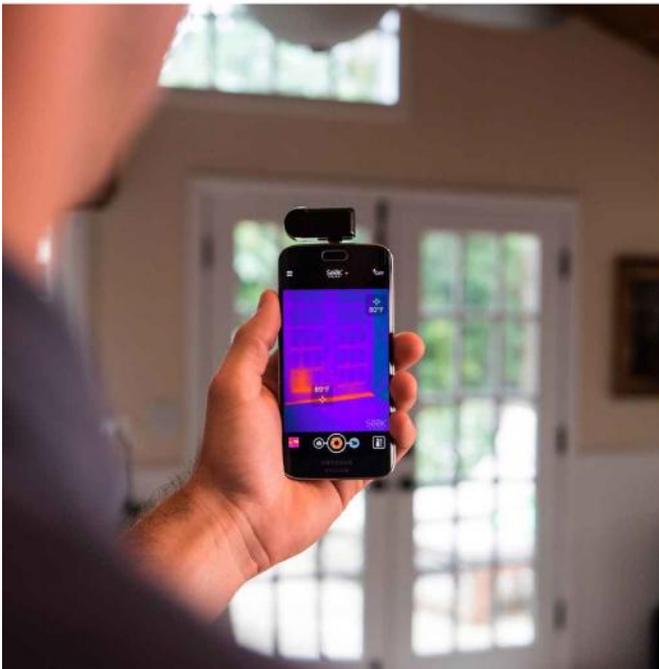


Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Aufspüren von Undichtigkeiten

Wärmebildkamera

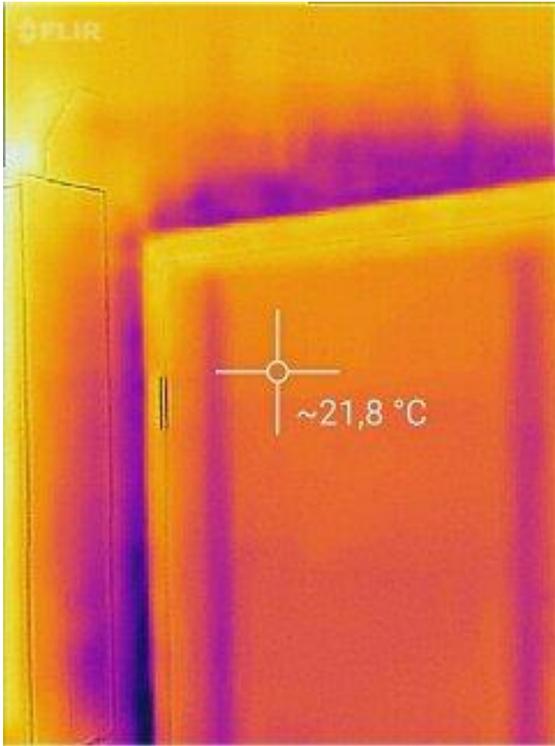
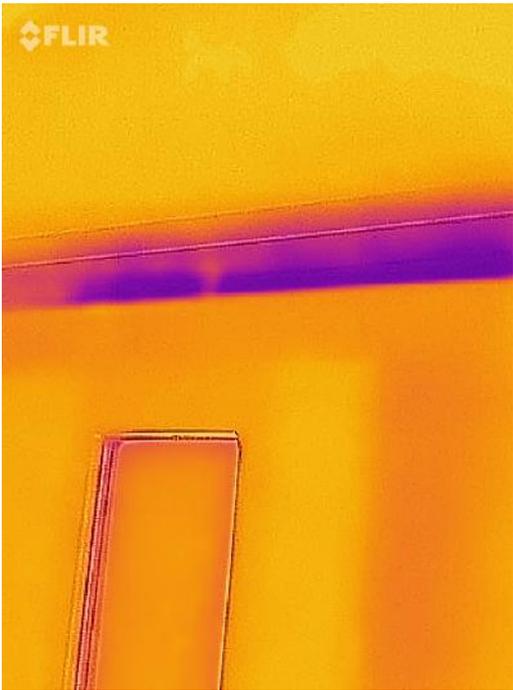


Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Aufspüren von Undichtigkeiten

Thermoscans

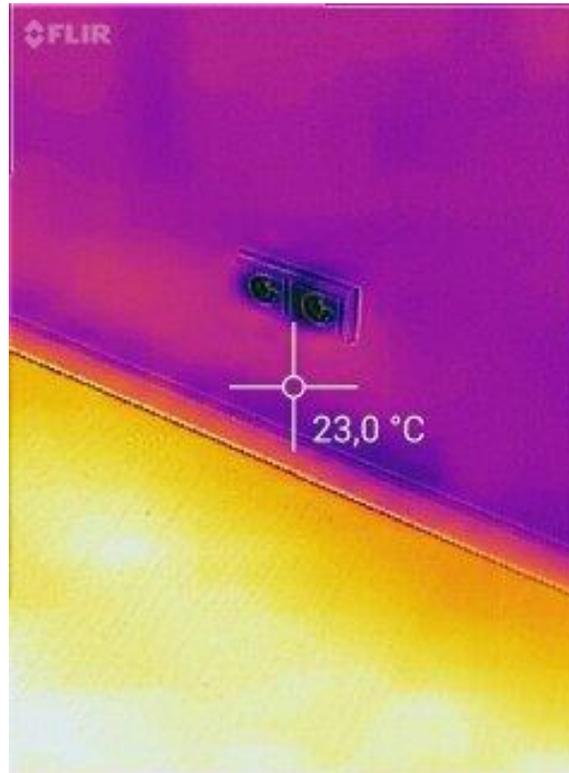


Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Aufspüren von Undichtigkeiten

Thermoscans



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Aufspüren von Undichtigkeiten

Thermoscans



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Zertifikat

Messdaten											
Unterdruck	9	19	29	40	49	59	69	0	0	0	Pa
Volumenstrom	474	767	992	1175	1349	1565	1754	0	0	0	m ³ /h
Überdruck	9	19	29	39	50	60	69	0	0	0	Pa
Volumenstrom	436	679	907	1071	1215	1362	1491	0	0	0	m ³ /h

Natürliche Druckdifferenzen		
vorher		
dP0,1 +	0	Pa
dP0,1 -	-2	Pa
dP0,1	-2	Pa
nachher		
dP0,2 +	0	Pa
dP0,2 -	-1	Pa
dP0,2	-1	Pa

Ergebnisse	Unterdruck	Überdruck
Strömungskoeff.:	135,73	103,19
VB (95%)	119,61 154,02	92,52 115,08
Strömungsexponent	0,59	0,64
VB (95%)	0,55 0,62	0,61 0,67
Leckagekoeff.:	136,87	101,94
VB (95%)	120,62 155,32	91,40 113,69
Leckagevolumenstr.	1356	1258
VB (95%)	1314 1399	1231 1286

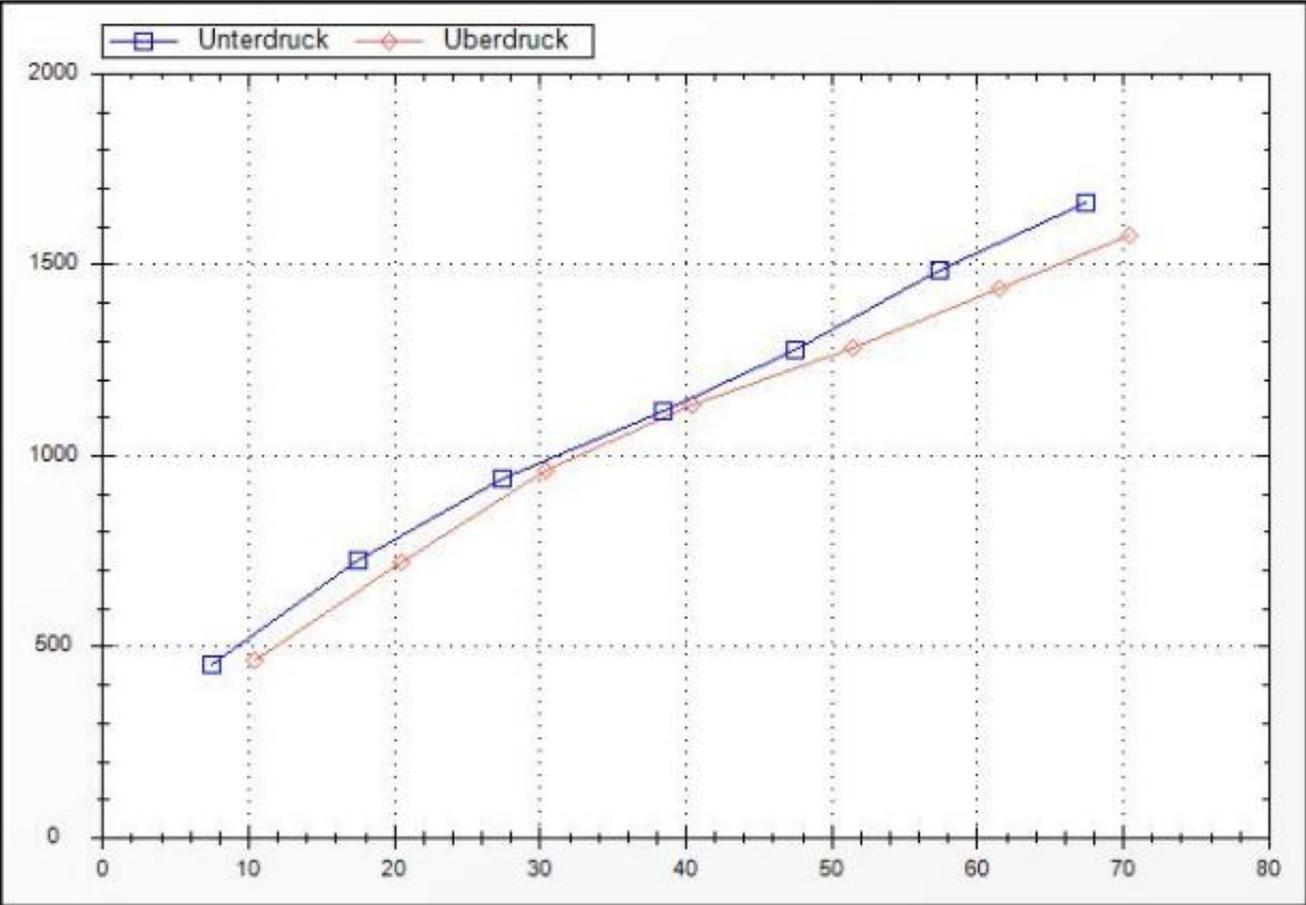
Umgebungsdaten		
Luftdruck	980	hPa
T - Außenluft	5,5	°C
T - Innenluft	20,2	°C

Kennwerte	Unterdr.	Überdr.	Mittel	
Volumen bez. Leckagestrom n50	1,2	1,1	1,2	1/h
Nettogrundfl. bez. Leckagestrom - w50	3,6	3,3	3,5	m ³ /h/m ²
Luftdurchlässigkeit q50	1,4	1,3	1,3	m ³ /h/m ²

Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Zertifikat



Luftdicht Bauen

Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Bedeutsamkeit von Leckagen

Fehlstellen in der luftdichtenden Ebene können Auswirkungen auf ganz unterschiedliche Bereiche haben:

Funktionsfähigkeit einer Lüftungsanlage

Energieverbrauch eines Gebäudes

Wohlbefinden der Nutzer

Feuchteschäden an der Konstruktion

„Wer einen für die Strömungsgeschwindigkeit oder gar den Dichtheitsnachweis für das Gesamtgebäude als einzigen Maßstab zum Beurteilen von Leckagen heranzieht, greift zu kurz“,