

Das Blower-Door-Verfahren

Die Bedeutung der Luftdichtheit für energieeffiziente Gebäude

Holger Merkel bionic3 GmbH

EnEV § 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.

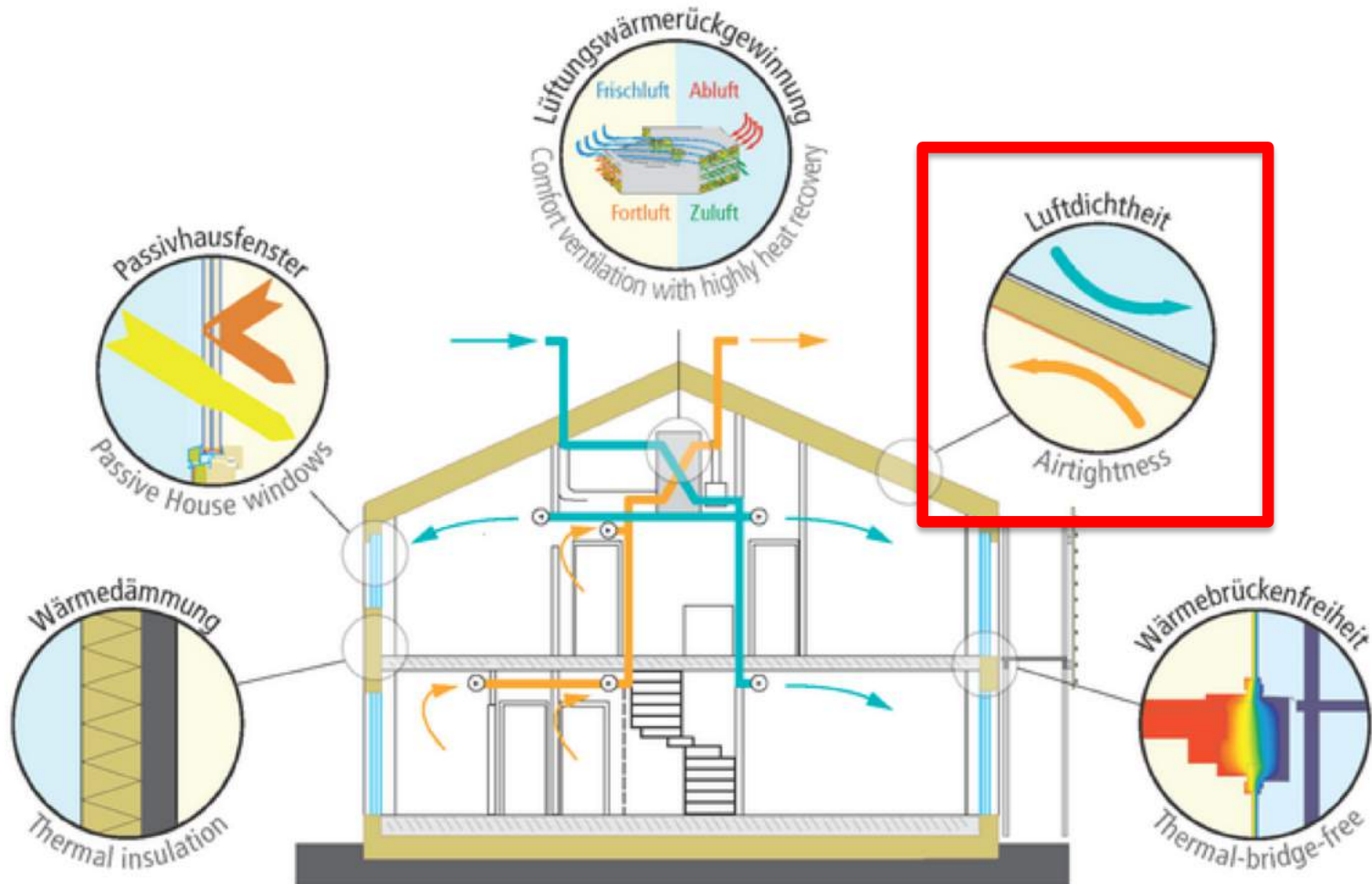
EnEV § 6 Dichtigkeit, Mindestluftwechsel

(2)

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

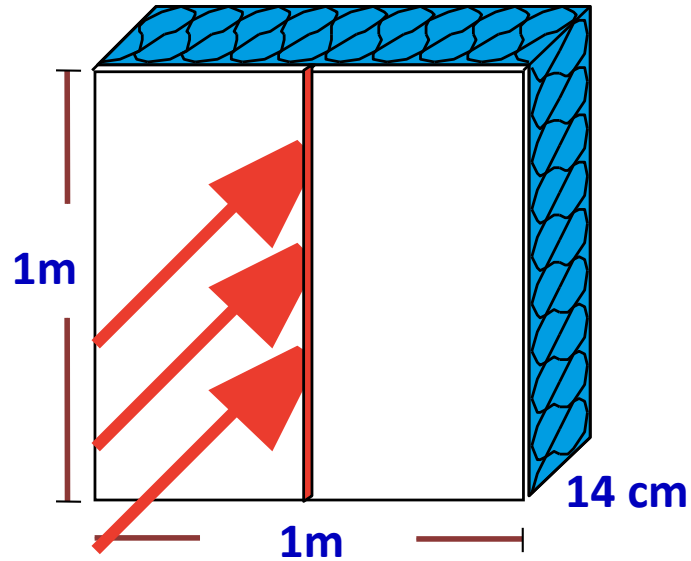
Grundsätze Passivhaus

Folgende Grundsätze gelten für den Bau von Passivhäusern:



Quelle: Passivhaus-Institut passiv.de

Wärmeverluste



Ohne Fuge: U-Wert = 0,3 W/m²k

Mit 1 mm Fuge: U-Wert = 1,44 W/m²k

Verschlechterung Faktor **4,8**

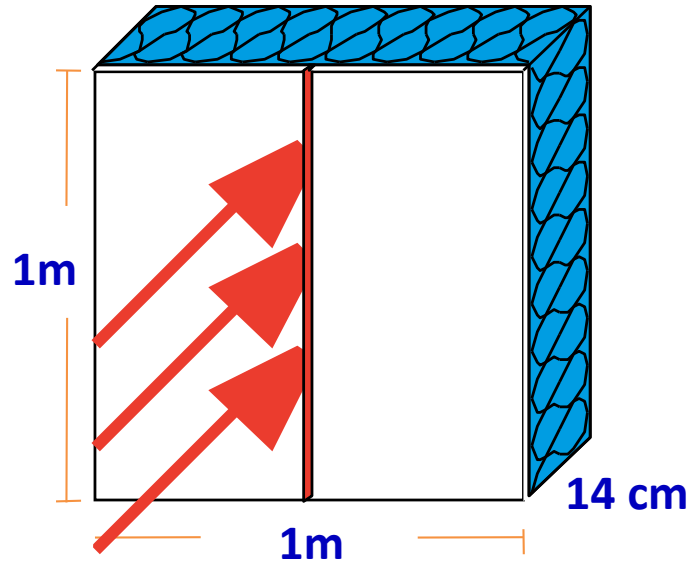
Versuchsaufbau
Dämmkonstruktion

Fuge in der Dampfbremse
(Luftdichtung).

Randbedingungen:
Innentemperatur +20° C
Außentemperatur -10° C

Messung:
Institut für Bauphysik, Stuttgart
Quelle: DBZ 12/89, Seite 1639ff

Feuchteintrag durch Konvektion



Ohne Fuge: **0,5 g Wasser/m² x 24h**
(Diffusion)

Mit 1 mm Fuge: **800 g Wasser/m x 24h**
(Konvektion)

Feuchteerhöhung Faktor **1600**

Versuchsaufbau
Dämmkonstruktion

Innenseitige Dampfbremse
 s_d -Wert = 30 m
Fuge in der Dampfbremse
(Luftdichtung)

Randbedingungen:
Innentemperatur +20° C
Außentemperatur -10° C

Messung:
Institut für Bauphysik, Stuttgart
Quelle: DBZ 12/89, Seite 1639ff

Regelwerke

DIN 4108-7:2011-01

DIN V 18599

DIN-EN 13829

EN ISO 9972

DIBT Staffel 11

FLiB-Beiblatt

Anforderungen DIN 4108-7

Anforderungen in 4108-7 geregelt
Verfahren A Höchstwerte

- bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
- bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

Verweis auf EnEV und auf DIN EN 13829

Blowerdoor



n_{50} = Luftwechselrate bei 50 Pa

Definition DIN EN 13829

volumenbezogener Leckagestrom bei der
Bezugsdruckdifferenz

Leckagestrom bei der Bezugsdruckdifferenz
über der Gebäudehülle, dividiert durch das
Innenvolumen

ANMERKUNG Üblicherweise bei 50 Pa.

Luftdichtheitsmessung

EnEV

Anlage 4 (zu § 6 Absatz 1) Anforderungen an die Dichtheit des gesamten Gebäudes

Wird bei Anwendung des § 6 Absatz 1 Satz 2 eine Überprüfung der Anforderungen nach § 6 Absatz 1 **Satz 1** durchgeführt, darf der nach DIN EN 13829: 2001-02 **mit dem dort beschriebenen Verfahren B** bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa gemessene Volumenstrom - **bezogen auf das beheizte oder gekühlte Luftvolumen** - **folgende Werte** nicht überschreiten:

- bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen $3,0 \text{ h}^{-1}$ und
- bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen $1,5 \text{ h}^{-1}$

EnEV-Nachweis

Allgemeine Daten zum Projekt

Bezeichnung:
Aktenzeichen:

Objektadresse
Kundenadresse
Planeradresse

Projektbilder:

Maße: Bauzustand/allg.Gebäudeparameter | Nutzung | Klima | Verbrauch | Vereinfachungen/bes.Einstellungen

Luftdichtheit geprüft
 Denkmal
 Sicht-Fachwerk
 öffentliches Gebäude (gem. EEWärmeG)

Gebäudeschwere:
Anbausituation:
Lage:
Kubatur:
Ausstattung:

Luftwechsel n50: **A** 1/h
Personen: **A**
Grundwassertiefe: **A** m fließend
 Massivdecke

Ist-Zustand: **A**

EnEV 2014
DIN 4108-6/4701-10

Effizienzklasse: **A+**

23 kWh/m²

Op:

KW:

H:

EEWärmeG
100%
200%

Luft

inf min:

Sommer

EnEV-Nachweis

Allgemeine Daten zum Projekt

Bezeichnung:
Aktenzeichen:

Objektadresse
Kundenadresse
Planeradresse

Projektbilder:

Maße: Bauzustand/allg. Gebäudeparameter | Nutzung | Klima | Verbrauch | Vereinfachungen/bes. Einstellungen

Luftdichtheit geprüft
 Denkmal
 Sicht-Fachwerk
 öffentliches Gebäude (gem. EEWärmeG)

Gebäudeschwere:
Anbausituation:
Lage:
Kubatur:
Ausstattung:

Luftwechsel n50: 1/h
Personen:
Grundwassertiefe: m fließend
 Massivdecke

Ist-Zustand

EnEV 2014
DIN 4108-6/4701-10

Effizienzklasse **A+**
21 kWh/m²

Op: 72,8
50,6

KfW: 40 55 70
10,27

HfV: 0,40
0,36

EEWärmeG
100%
200%

Luft
Inf min: 65,1
169,1

Sommer

Große Gebäude

Zitat DIN 4108-7 2011-01

„Bei Gebäuden oder Gebäudeteilen mit einem **Innenvolumen von mehr als 1500m³** wird zur Beurteilung der Gebäudehülle zusätzlich die **Luftdurchlässigkeit q₅₀ nach DIN-EN 13829:2001-02** herangezogen. Sie darf den Wert von **3,0 m³/(h x m²)** nicht überschreiten“

Große Gebäude

EnEV

Abweichend von Satz 1 darf bei Wohngebäuden, deren Jahres-Primärenergiebedarf nach Anlage 1 Nummer 2.1.1 berechnet wird und deren Luftvolumen 1 500 m³ übersteigt, sowie bei Nichtwohngebäuden, deren Luftvolumen aller konditionierten Zonen nach DIN V 18599-1: 2011-12 insgesamt 1 500 m³ übersteigt, der nach DIN EN 13829: 2001-02 mit dem dort beschriebenen Verfahren B bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa gemessene Volumenstrom – bezogen auf die Hüllfläche des Gebäudes – folgende Werte nicht überschreiten:

- bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen 4,5 m·h⁻¹ und
- bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen 2,5 m·h⁻¹

Anforderungen



normal bilanziert,
aber in 2
Abschnitten

nach 18599
bilanziert mit
4 Eingängen.
Nur teilweise
Luftverbund

A/V-Verhältnis

Hüllfläche ca. 610 m²
Volumen ca. 730 m³

= 0,84



A/V-Verhältnis

Hüllfläche ca. 29.000 m²
Volumen ca. 145.000 m³

= 0,2



5.2.1 Allgemeines

Die vorliegende Norm beschreibt zwei Arten der Messung, **abhängig von deren Ziel**. Für beide Arten sind unterschiedliche Vorbereitungen notwendig:

Verfahren A (Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand)

Der Zustand der Gebäudehülle sollte dem Zustand während der Jahreszeit entsprechen, in der Heizungs- oder Klimaanlage benutzt werden.

Verfahren B (Prüfung der Gebäudehülle)

Alle absichtlich vorhandenen Öffnungen in der Gebäudehülle werden entsprechend 5.2.2 und 5.2.3 geschlossen oder abgedichtet.

Luftdichtheitsmessung

EnEV 2014 fordert:
Verfahren B Prüfung der Gebäudehülle

Verfahren A und B unterscheiden sich nur durch die
Gebäudepräparation, nicht durch den Messzeitpunkt!

5.1.3 Messzeitpunkt

Die Messung kann erst stattfinden, nachdem die Hülle des zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudeteils fertiggestellt ist.

ANMERKUNG Durch eine vorgezogene Luftdurchlässigkeitsmessung der eigentlichen Luftdichtungsschicht können Undichtigkeiten oft einfacher nachgebessert werden als nach Fertigstellung des Gebäudes.

Der Luftdichtheitstest nach EnEV ist für das fertig gestellte Gebäude durchzuführen. Eine zusätzliche Messung im Bauzustand (z.B. Rohbau) ist als Teil der Qualitätssicherung zu empfehlen. Für eine Luftdichtheitsprüfung nach EnEV ist das **Verfahren B (Prüfung der Gebäudehülle) nach DIN EN 13829** anzuwenden.

Der Luftdichtheitstest nach EnEV ist für das bei der Bilanzierung betrachtete Gesamtgebäude durchzuführen.

Dabei kann gemäß DIN EN13829 abschnittsweise vorgegangen und als Messergebnis für das Gesamtgebäude ein Mittelwert aus den Einzelmessungen gebildet werden. Ein einzelnes Messergebnis muss dabei nicht dem geforderten Wert entsprechen.

Minneapolis Blowerdoor Model 4

Gebläseleistung
mit offenem Gebläse:
 $\approx 7200\text{m}^3 @ 50 \text{ Pa}$



Messgerät DG-700

Das DG-700 besitzt **zwei Differenzdruckkanäle**, die zur Aufnahme von Druckdifferenzen (Gebäudedruckdifferenz bzw. Gebläsedruckdifferenz) genutzt werden können.



Abb. 3: DG-700

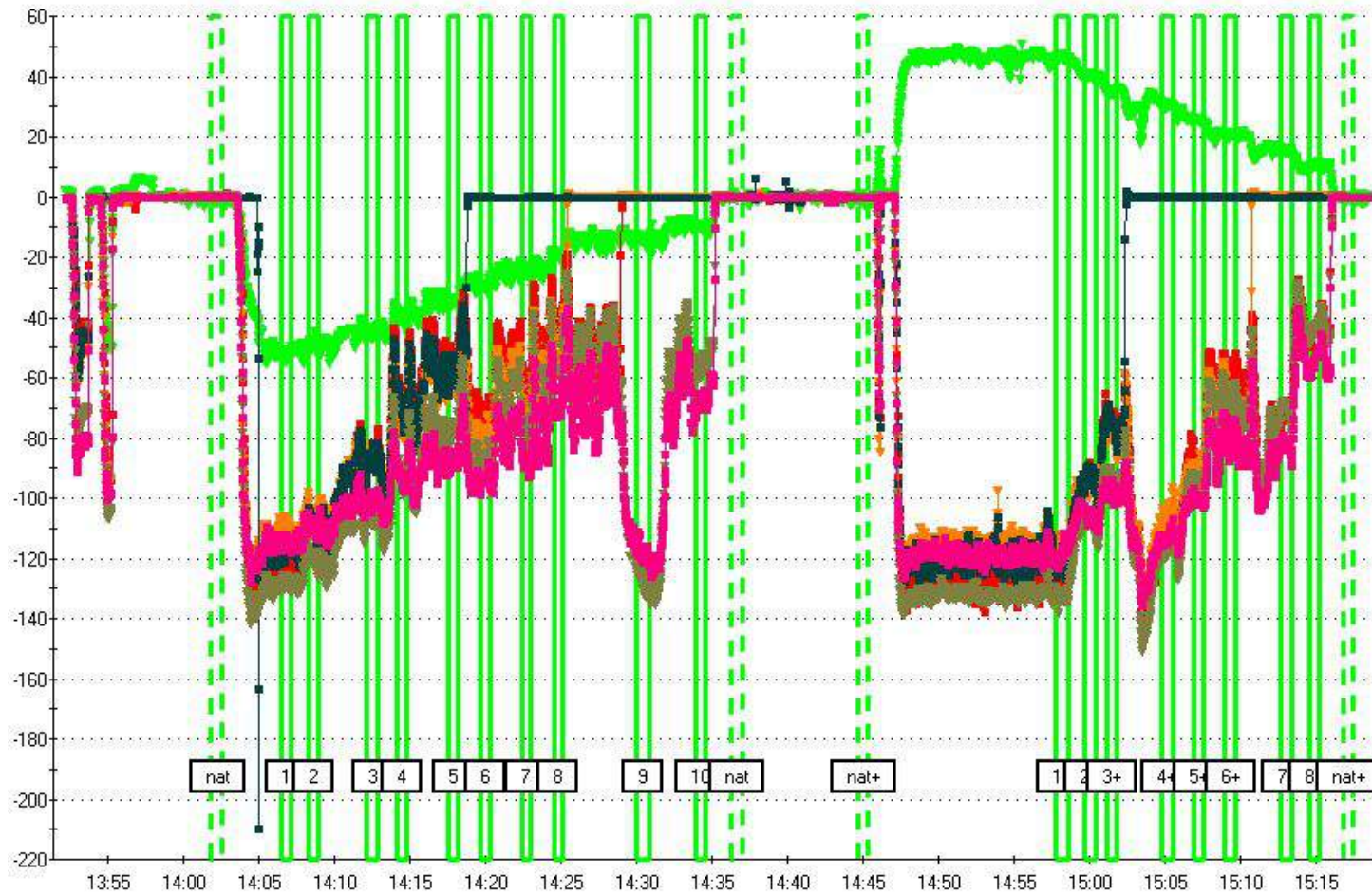
Durch den Anschluss eines **Mehrfach-Klinkenverteilers** an das DG-700 können bis zu sechs Ventilatoren parallel geregelt werden.



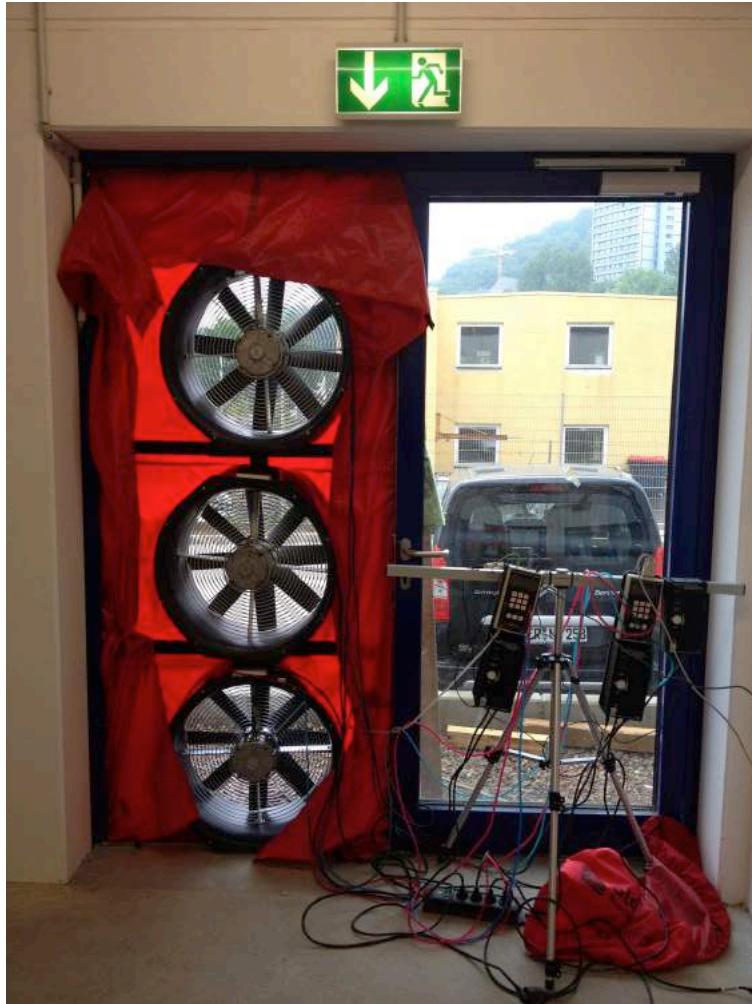
Abb. 4:
Mehrfach-Klinkenverteiler

Quelle: blowerdoor GmbH

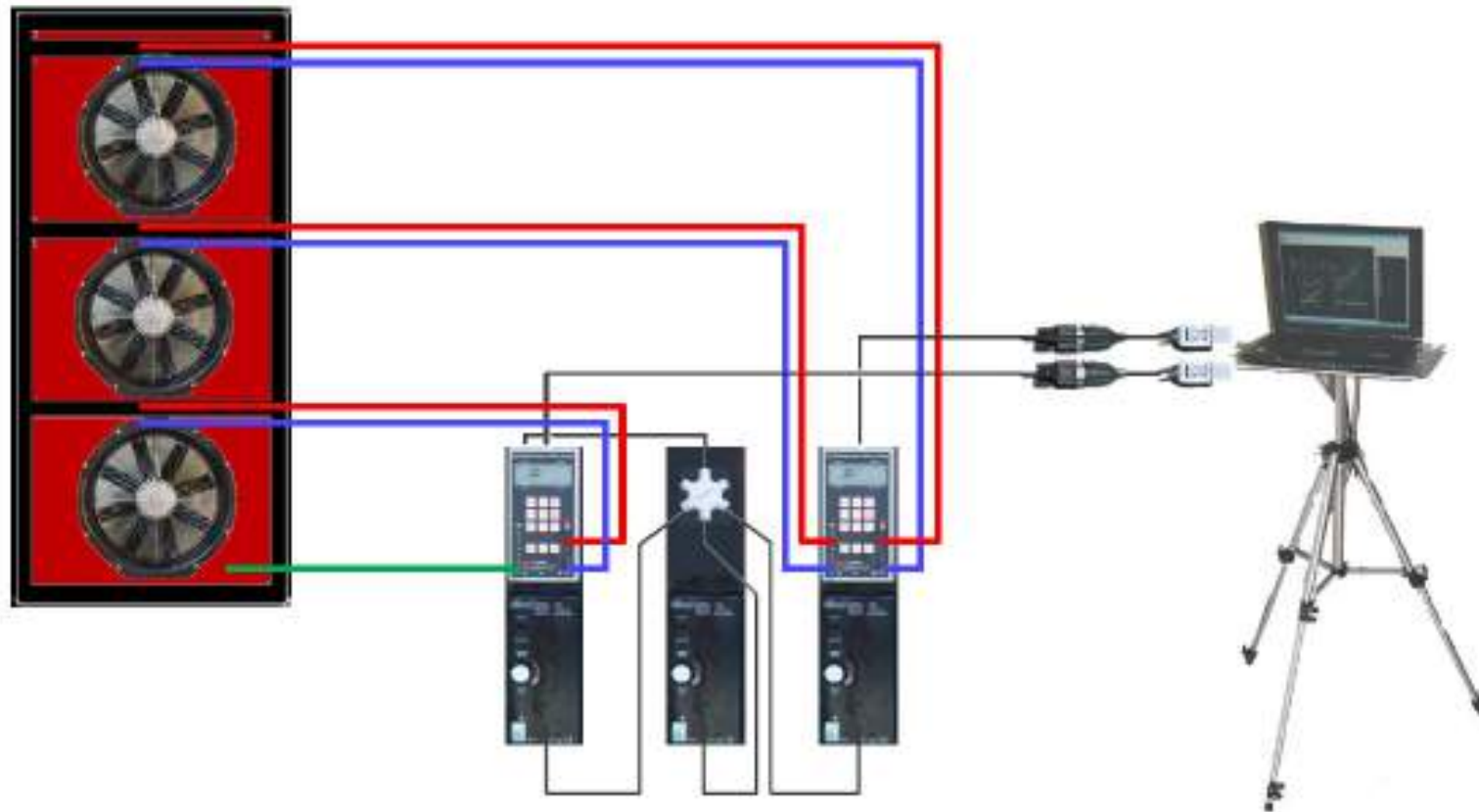
Software TECLOG 3



Einbausituationen

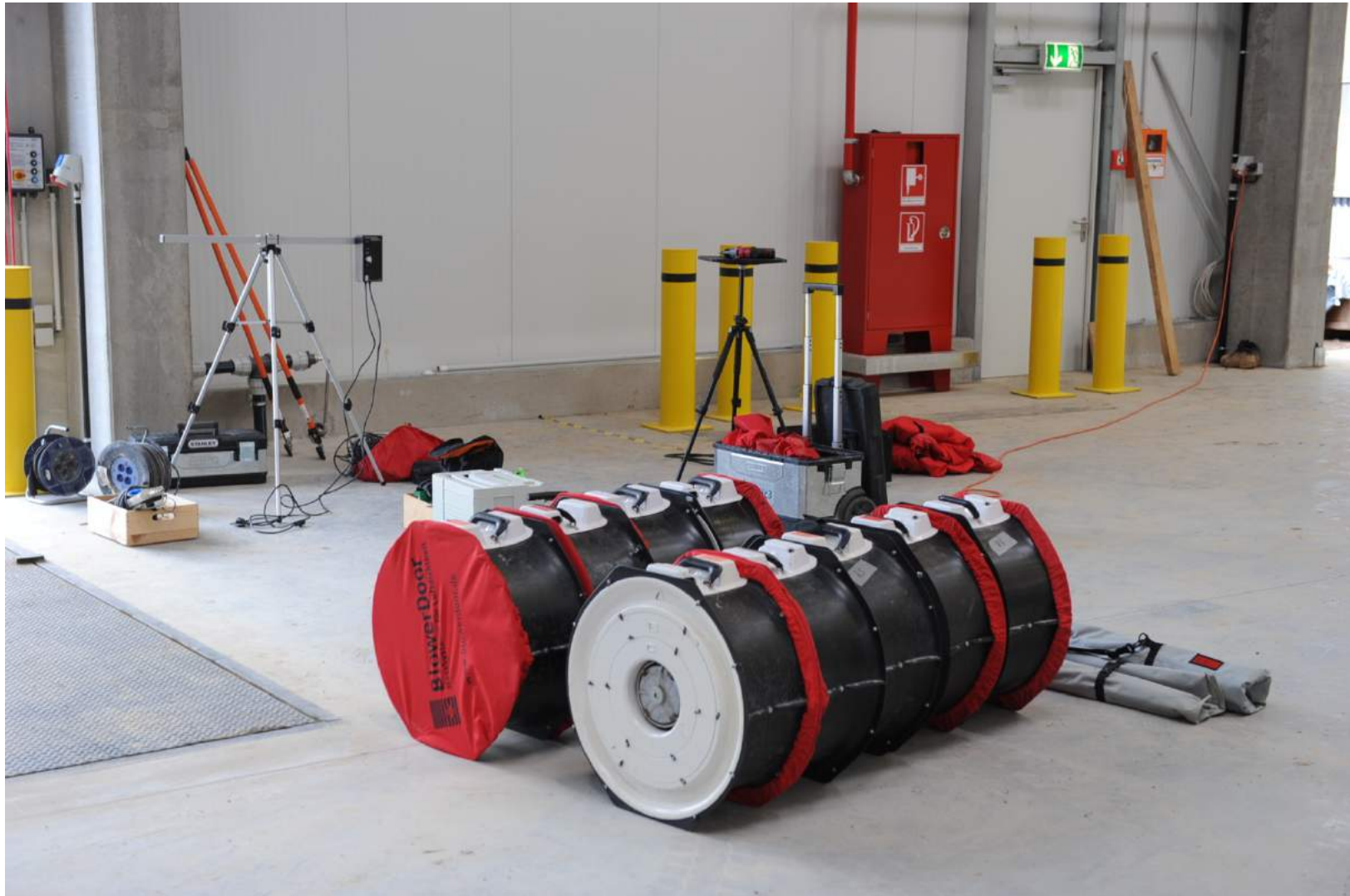


Aufbau 3 Gebläse

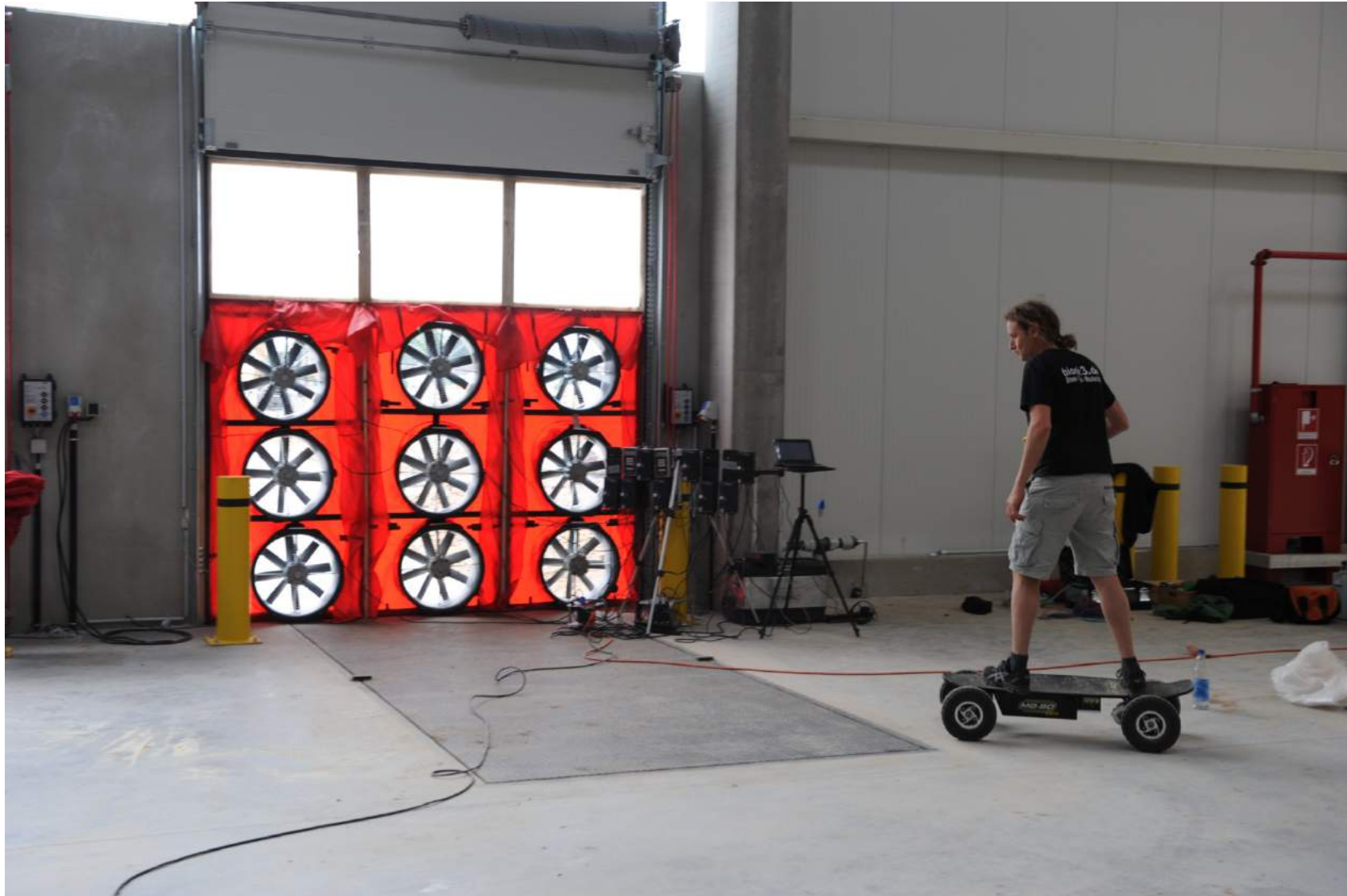


Quelle: blowerdoor GmbH

Messung großer Gebäude



Messung großer Gebäude



Einbau in getrennten Türen



Einbau in getrennten Türen



Einbau in getrennten Türen



**Vorsicht bei internen
Leckagen!**



Leckagesuche

DIN EN 13829

5.3 Verfahrensschritte

5.3.1 Vorausgehende Prüfung

Ungefähr bei der höchsten für die Messung vorgesehenen Druckdifferenz ist die gesamte Gebäudehülle auf große Leckagen und fehlerhafte provisorische Abdichtungen zu untersuchen. Wenn solche Leckagen gefunden werden, sind sie genau zu protokollieren.



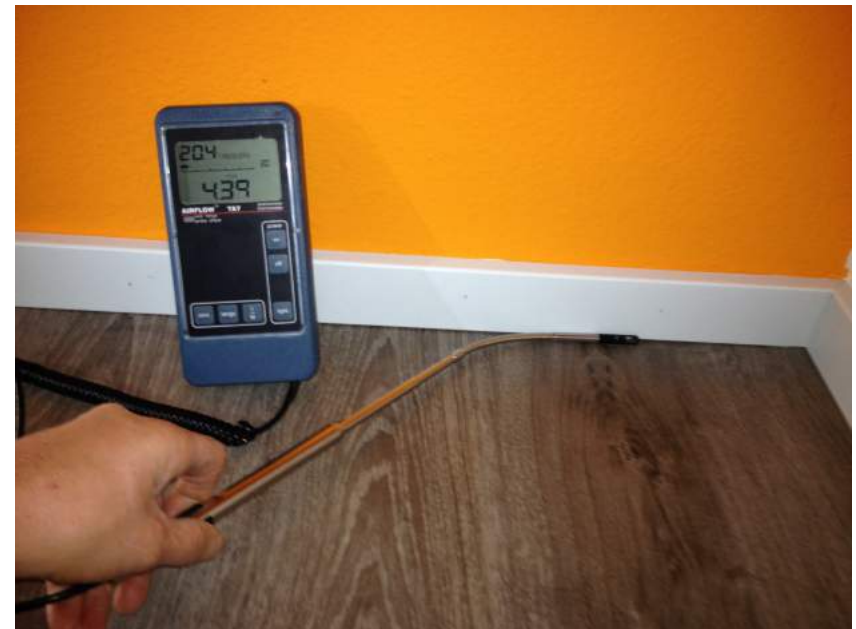
Leckagen bei Wohnhäusern



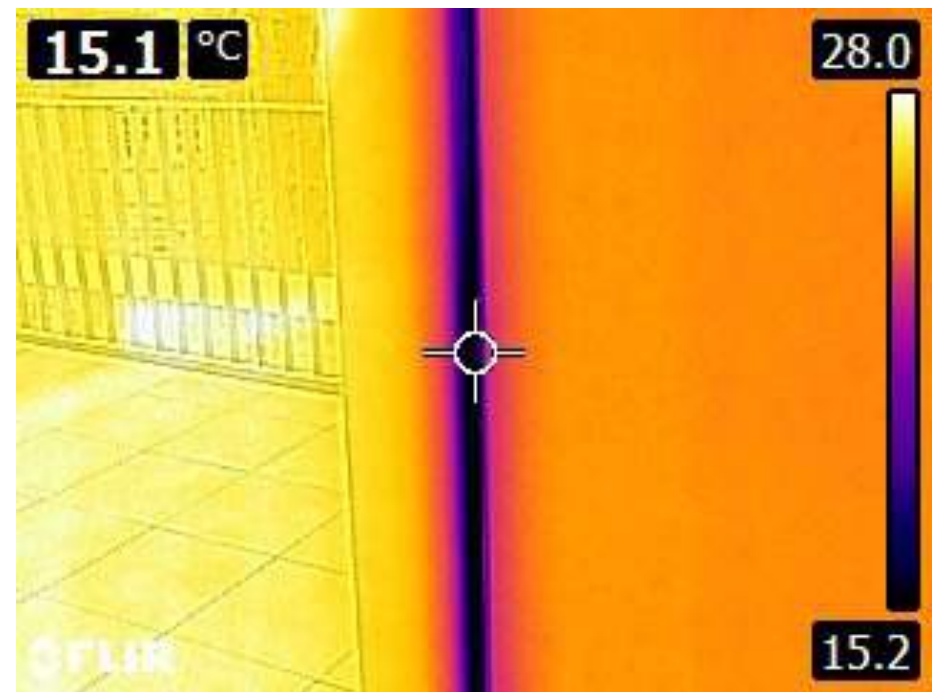
Leckagen bei Wohnhäusern



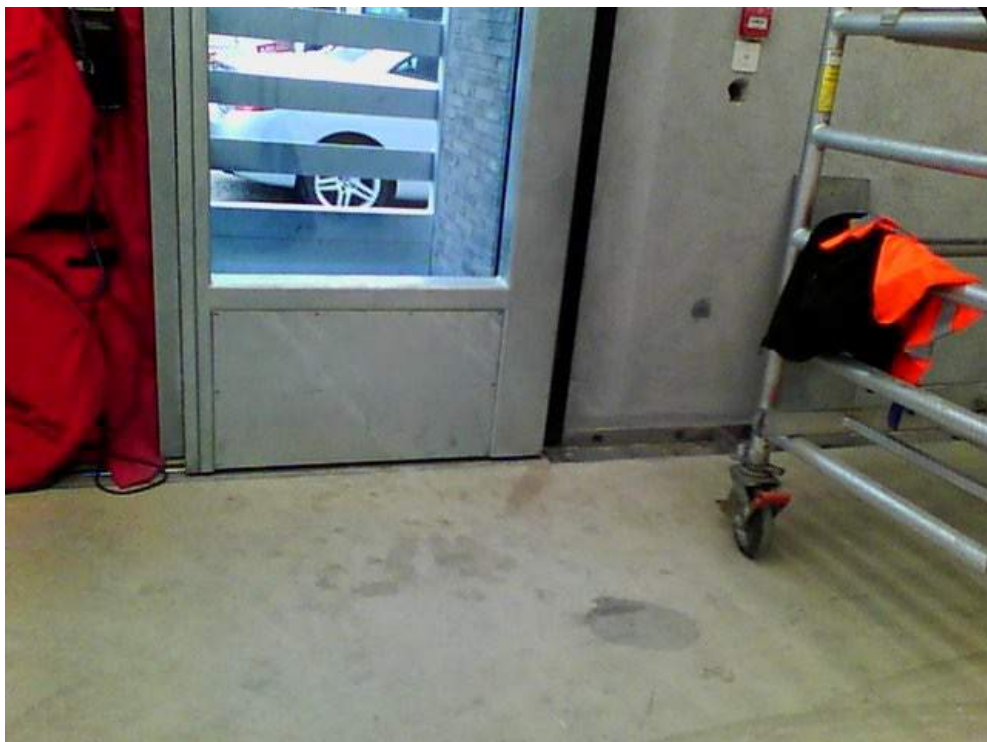
Leckagen bei Wohnhäusern



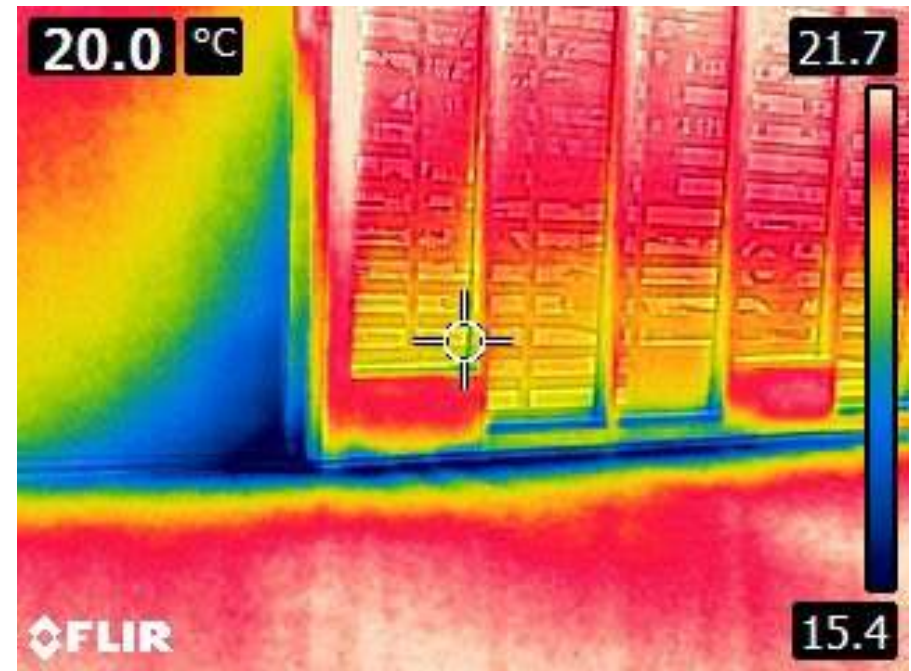
Thermographiegestützte Leckagesuche



Thermographiegestützte Leckagesuche



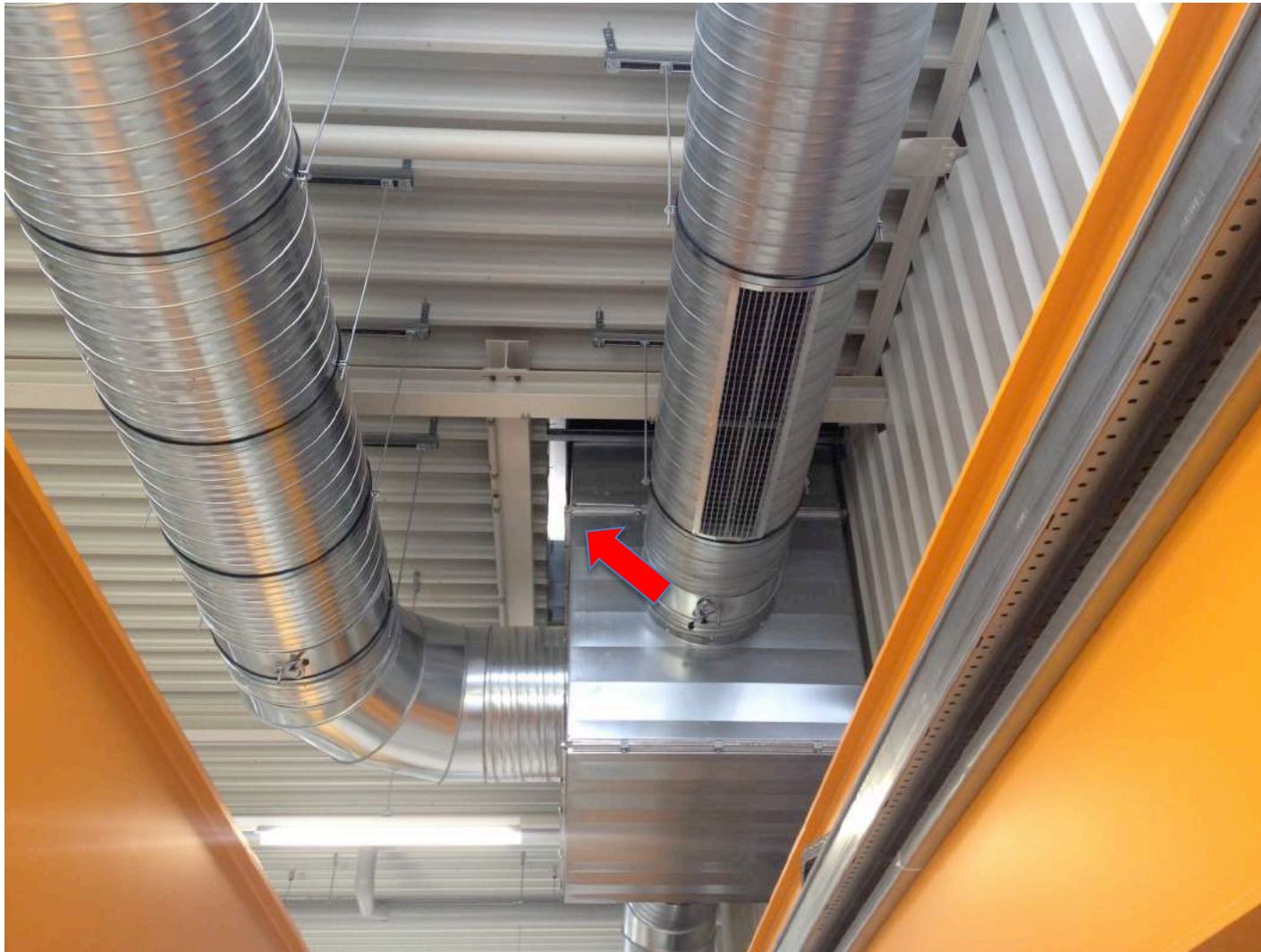
Thermographiegestützte Leckagesuche



Leckagesuche



Leckagen bei großen Gebäuden

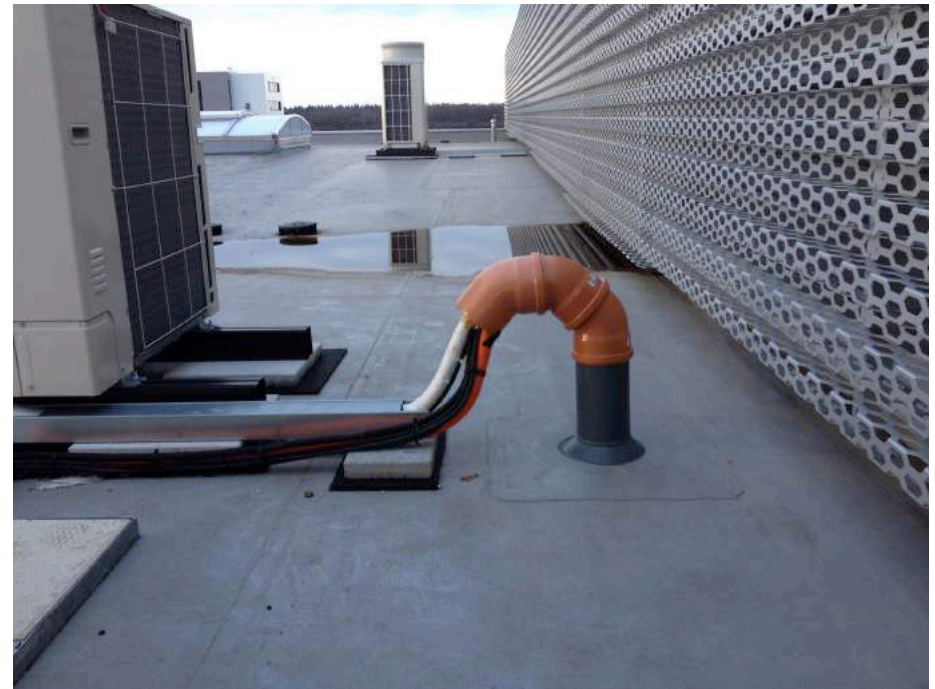


Leckagen bei großen Gebäuden



Leckagen bei großen Gebäuden

Leitungsführungen



Äquivalente Leckagefläche

Abgelesener Volumenstrom : 2 \approx abgeschätzte Gesamtleckage

(Fläche einer runden, scharfkantigen Öffnung
in einer dünnen Platte)

A/V-Verhältnis

$\frac{\text{Hüllfläche ca. } 29.000 \text{ m}^2}{\text{Volumen ca. } 145.000 \text{ m}^3}$

= 0,2

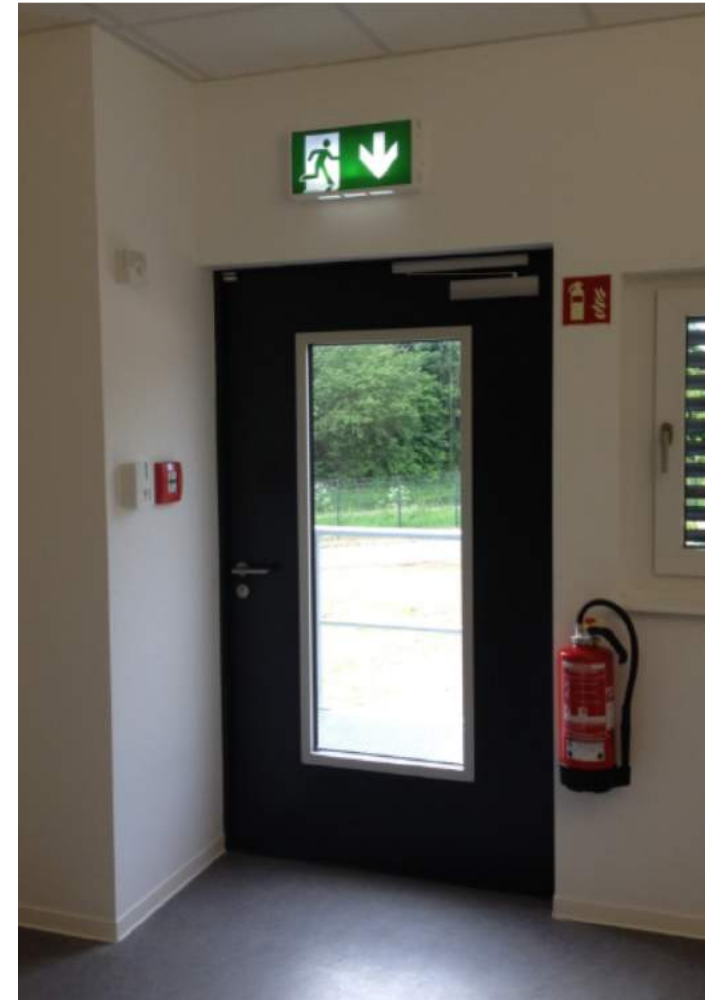


Zulässiger Volumenstrom: 130.000 m^3
18 Gebläse

Äquivalente Leckagefläche



$130.000 \text{ m}^3 / 2 = 65.000 \text{ cm}^2 =$
3 offene Türen



Äquivalente Leckagefläche



$$164.000 \text{ m}^3 / 2 = 82.000 \text{ cm}^2 =$$

1 offenes Rolltor und immer noch Grenzwert eingehalten

Differenzdruck-Messreihe

- Ermittlung der natürlichen Druckdifferenz vor und nach der Messreihe
- mind. 5 Messpunkte
- Abstand nicht mehr als 10 Pa
- größte Druckdifferenz mind. 50 Pa
- Bei Gebäuden $>4000 \text{ m}^3$ mind. 25 Pa
(Vermerk im Prüfbericht)
- kleinste 10 Pa oder 5x natürliche Druckdifferenz

Zur Erfüllung der Norm genügt **eine** Messreihe!

Zitat DIN-EN 13829

5.3.4. b

„Große Gebäude (größer als ein Volumen von etwa 4000m^3)“

„...stellt sich oft heraus, dass eine Druckdifferenz von 50 Pa nicht erreicht werden kann.“

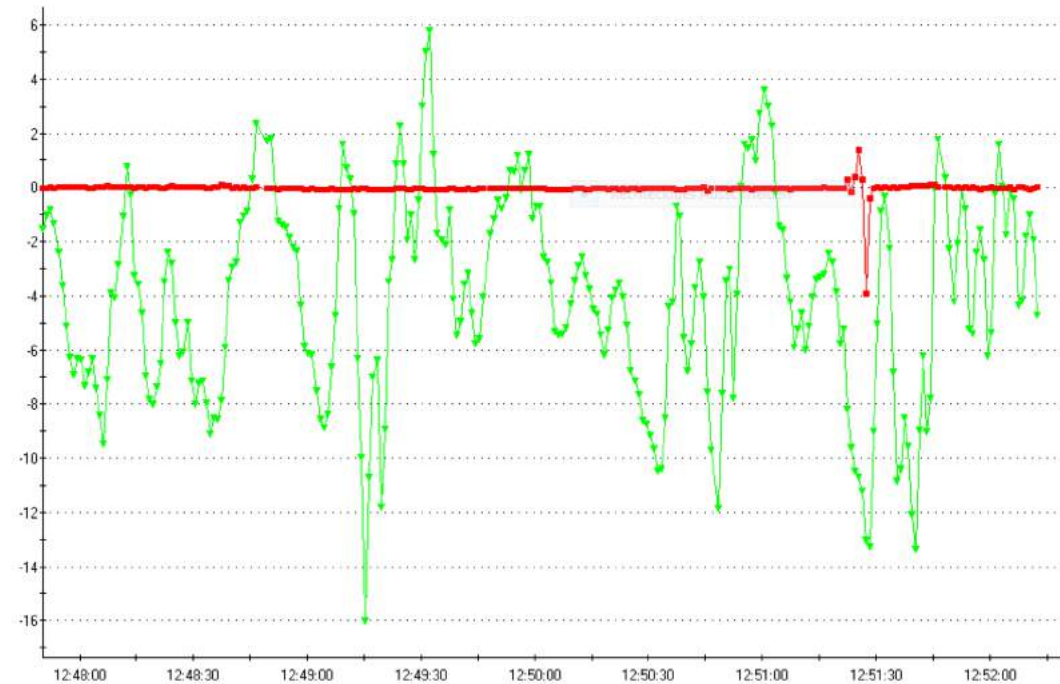
„In solchen Fällen ist die Messung ungültig, es sei denn, es wird eine Druckdifferenz von mindestens 25 Pa erreicht.“

DIN EN 13829

5.1.4 Wetterbedingungen

Es ist unwahrscheinlich, dass eine zufriedenstellende natürliche Druckdifferenz erreicht wird, wenn das Produkt aus der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen in K und der Höhe der Gebäudehülle in m größer ist als $500 \text{ m} \cdot \text{K}$

Windeinfluss



Normative Voraussetzungen

Zitat DIN-EN 13829

5.2.2

„Der gesamte zu untersuchende Gebäudeteil muss so gestaltet werden, dass er sich bei Druckbeaufschlagung als eine Zone verhält“

„...dass die **Druckunterschiede innen in einem Bereich von weniger als 10%** der gemessenen Druckdifferenz zwischen innen und außen liegen.“

„Wenn große oder komplexe Gebäude untersucht werden, wird diese Bedingung zunehmend wichtig.“

Messung großer Gebäude

$$n_{50} = 0.4 \text{ h}^{-1}$$

jedoch nur 30 Pa
im obersten
Stockwerk

Messung
ungültig



Prüfbericht muss unter Anderem enthalten:

- Angaben, um das Objekt zu identifizieren
- Gemessene Teile des Gebäudes
- Erforderliche Gebäudemaße
- Zustand der Öffnungen in der Gebäudehülle
- Tabelle der erzeugten Druckdifferenzen und der zugehörigen Volumenströme
- Leckagekurve
- Prüfdatum
- n_{50} -Wert

Auftraggeber geben sich mit gesetzlichen Anforderungen immer weniger zufrieden und verlangen teilweise erheblich bessere Werte!

Test bestanden



Volumen 28,900 m³
Hüllfläche 8,900 m²
 $n_{50} = 0.14 \text{ h}^{-1}$

Passivhaus Bürogebäude Karlsruhe

Test bestanden



Passivhaus Bürogebäude Stutensee

Passivhaus Bürogebäude Karlsruhe

Lüftungsdaten

Passivhaus mit PHPP Version 9.1

TuP - Campus, Stuttensee / Klima: Mannheim / EBF: 2700 m² / Heizen: 10 kWh/(m²a) / Kühlen: 5 kWh/(m²a) / PER: 55 kWh/(m²a)

Energiebezugsfläche A_{EB}	m ²	2700	(Blatt Flächen)
Rechnerische Raumhöhe h	m	3,27	3,27
Raumluftvolumen Lüftung ($A_{EB} \cdot h$) = V_L	m ³	8835	(Blatt HeizJahr)

Lüftungstyp

bitte auswählen

1-Balancierte PH-Lüftung mit WRG

Infiltrationsluftwechsel

Windschutz-Koeffizienten e und f		
Koeffizient e für Abschirmungsklasse	mehrere Einwirkungs-seiten	eine Einwirkungs-seite
keine Abschirmung	0,10	0,03
mäßige Abschirmung	0,07	0,02
starke Abschirmung	0,04	0,01
Koeffizient f	15	20

		für Jahresbedarf:		für Heizlastfall:			
Windschutzkoeffizient e		0,07	0,18				
Windschutzkoeffizient f		15	15				
Luftwechsel bei Drucktest	n_{50}	1/h	0,60	0,60	Netto Luftvolumen für Drucktest V_{n50}	8835	m ³
					Luftdurchlässigkeit q_{50}	1,02	m ³ /(hm ²)
Abluftüberschuss		1/h	0,00	0,00			
Infiltrationsluftwechsel	$n_{L,Rest}$	1/h	0,042	0,105			

	15	15	Netto Luftvolumen für Drucktest V_{n50}	
1/h	0,60	0,60	8835	m ³

Luftdurchlässigkeit q_{50}	
1,02	m ³ /(hm ²)

Passivhaus Bürogebäude Karlsruhe

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr				Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt? ²
	Energiebezugsfläche m ²	2700,0				
Heizen	Heizwärmebedarf kWh/(m ² a)	10,00	≤	15	-	ja
	Heizlast W/m ²	10	≤	-	10	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m ² a)	5	≤	15	15	ja
	Kühllast W/m ²	8	≤	-	11	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C) %	-	≤	-	-	-
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg) %	0	≤	10	-	ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n ₅₀ 1/h	0,6	≤	0,6	-	ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf kWh/(m ² a)	130	≤	-	-	-
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf kWh/(m ² a)	55	≤	60	60	ja
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m ² a)	46	≥	-	-	

² leeres Feld: Daten fehlen; ∅: keine Anforderung

Passivhaus Bürogebäude Karlsruhe

Lüftungsdaten

Passivhaus mit PHPP Version 9.1

TuP - Campus, Stuttensee / Klima: Mannheim / EBF: 2700 m² / Heizen: 8 kWh/(m²a) / Kühlen: 5 kWh/(m²a) / PER: 55 kWh/(m²a)

Energiebezugsfläche A_{EB}	m ²	2700	(Blatt Flächen)
Rechnerische Raumhöhe h	m	3,27	
Raumluftvolumen Lüftung $(A_{EB} \cdot h) = V_L$	m ³	8835	(Blatt Heiz/Jahr)

Lüftungstyp

bitte auswählen

1-Balancierte PH-Lüftung mit WRG

Infiltrationsluftwechsel

Windschutz-Koeffizienten e und f		
Koeffizient e für Abschirmungsklasse	mehrere Einwirkungs-seiten	eine Einwirkungs-seite
keine Abschirmung	0,10	0,03
mäßige Abschirmung	0,07	0,02
starke Abschirmung	0,04	0,01
Koeffizient f	15	20

Windschutzkoeffizient e		für Jahresbedarf:	0,07	für Heizlastfall:	0,18	
Windschutzkoeffizient f			15		15	Netto Luftvolumen für Drucktest V_{n50}
Luftwechsel bei Drucktest n_{50}	1/h	0,08	0,08	8835	m ³	Luftdurchlässigkeit q_{50}
						0,14 m ³ /(hm ²)
Abluftüberschuss		für Jahresbedarf:	0,00	für Heizlastfall:	0,00	
Infiltrationsluftwechsel $n_{L,Rest}$	1/h	0,006	0,014			

	15	15	Netto Luftvolumen für Drucktest V_{n50}
1/h	0,08	0,08	8835 m ³

Luftdurchlässigkeit q_{50}
0,14 m ³ /(hm ²)

Passivhaus Bürogebäude Karlsruhe

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr		Energiebezugsfläche m ²		Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt? ²
		2700,0				
Heizen	Heizwärmebedarf kWh/(m ² a)	7,76	≤	15	-	ja
	Heizlast W/m ²	7	≤	-	10	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m ² a)	5	≤	15	15	ja
	Kühllast W/m ²	8	≤	-	11	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C) %	-	≤	-	-	-
	Häufigkeit überhörter Feuchte (> 12 g/kg) %	0	≤	10	-	ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n ₅₀ 1/h	0,1	≤	0,6	-	ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf kWh/(m ² a)	129	≤	-	-	-
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf kWh/(m ² a)	55	≤	60	60	ja
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m ² a)	46	≥	-	-	

² leeres Feld: Daten fehlen; -: keine Anforderung

bionic3.de

airtight-junkies.de

zieht-wie-hechtsupp.de