



Luftdichte Gebäudehülle

**Qualitätssicherung durch
Blower-Door Messung**



Luftdichte Gebäudehülle – Qualitätssicherung durch Blower-Door Messung

Qualitätssicherung im Bauwesen wird im Bezug auf höhere technische und bauliche Anforderungen ein immer wichtigeres Thema. Ein wesentliches Kriterium zur Vermeidung von Bauschäden und zur Energieeinsparung ist die bereits seit 1996 in der DIN 4108-7 geforderte luftdichte Bauweise. Um z.B. Komforteinbußen durch Zugerscheinungen und damit einhergehende Heizwärmeverluste zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Luftdichtheit der Gebäudehülle mit einem Blower-Door-Test nachzuweisen. Diese Luftdichtheitsmessung gibt einen Nachweis über den Luftdichtheitsgrad sowie über die Art und Lage von Leckagen.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV)

Seit Einführung der Energieeinsparverordnung werden Bautechnik und Haustechnik gemeinsam betrachtet. Dies mündet darin, dass für Neubauten Anforderungen an den maximal zulässigen Primärenergiebedarf gestellt werden.

In den Rechengang gehen ein:

- Transmissionswärmeverluste,
- Lüftungswärmeverluste,
- Solare und interne Gewinne,
- Anlagenaufwand für Warmwasserbereitung, Lüftung und Heizung und
- Primärenergieaufwand.

Häufig wird im Nachhinein festgestellt, dass die errechneten Werte im EnEV-Nachweis trotz eingehaltener Dämmstoffstärken nicht erreicht werden. Nicht selten ist der Grund in mangelnder Luft- und Winddichtheit zu suchen.

Den Lüftungswärmeverlusten kommt daher eine steigende Bedeutung zu. Sind diese bei einem Gebäude im Bestand noch mit rund 13 Prozent an den gesamten Verlusten beteiligt, so beträgt der Anteil bei einem Haus, welches nach der Energieeinsparverordnung gebaut wird, schon 26 Prozent. Dies ist ein Grund, der Vermeidung von Lüftungswärmeverlusten gesteigerte Auf-

merksamkeit zu widmen. Wird nun angestrebt ein Gebäude möglichst luftdicht zu errichten, so kommt einzelnen Undichtigkeiten nicht nur aus der Sicht der Energieeinsparung, sondern auch aus bauphysikalischen Gründen besondere Bedeutung zu.

Dringt Feuchtigkeit in Bauteile ein, kann das zu Bauschäden führen. In mehrschichtigen Bauteilen, wie dem Dach, kann die eindringende Feuchtigkeit häufig nicht schnell genug entweichen. Wenn zudem die Dämmung durchfeuchtet wird, verliert sie ihre Dämmwirkung. Zusätzlich kann Schimmelpilz entstehen, der das Bauteil nachhaltig schädigt. Bei der unten abgebildeten Grafik wird ein übliches Dachbauteil unter Berücksichtigung des Wasserdampftransports durch Diffusion und Konvektion betrachtet. Es wird deutlich, dass der Feuchteintrag in das Bauteil durch Konvektion – hier 360 g pro Tag und m^2 – gegenüber dem durch Diffusion erheblich höher sein kann.

Luftdichtung: Sie verhindert Strömungen von innen nach außen und erzeugt die Dichtheit des Gebäudes. Sie liegt auf der warmen Seite der Konstruktion und ist zusätzlich Dampfbremse und Dampfsperre.

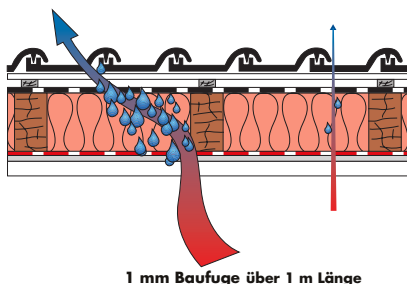
Winddichtung: Sie verhindert Luftströmung von außen in den Baustoff hinein. Sie liegt im äußeren Bereich der Konstruktion und verhindert eine Auskühlung und Durchfeuchtung der Dämmung von außen.

Wasserdampftransport durch ein Bauteil auf Grund von Diffusion und Konvektion

Durchströmung durch das fehlerhafte Bauteil



360 g Wasser/Tag m^2



1 mm Baufuge über 1 m Länge

Dampfdiffusion durch das intakte Bauteil



1 g Wasser/Tag m^2



Die Gründe für eine luftdichte Bauweise ergeben sich auch aus dem Bedürfnis nach einer schadensfreien Bauweise.

Gründe, die für luftdichtes Bauen sprechen:

- Bauschadensvermeidung – Sicherheit für den Planer – Vermeidung von Bauschäden durch konstruktiv richtig ausgeführte Details
- Vermeidung von Komforteinbußen durch Zugerscheinungen
- Weitere Verringerung des Heizenergiebedarfs – Vermeidung unnötiger Lüftungswärmeverluste
- Voraussetzung für den optimalen Betrieb von Lüftungsanlagen
- Höhere Luftqualität – geruchsbelastete Luft kann nicht eindringen
- Schutz vor Materialeintrag, z.B. vor Dämmstofffasern, die durch Luftundichtigkeiten in den Innenraum eindringen können
- Verbesserter Schallschutz (in durchströmten Leckagen kann sich auch Schall ausbreiten)

Dem Bedürfnis nach Verbesserung der Luftdichtheit trägt auch das Nachweisverfahren der Energieeinsparverordnung Rechnung. Wird für ein Gebäude ein Luftdichtheitstest vorgesehen, so können die Lüftungswärmeverluste rechnerisch um rund 15 Prozent verringert werden.

Hintergrund für diesen Bonus ist, dass der Ordnungsgeber Anreize für die Durchführung von Luftdichtheitstests schaffen will. Weiterhin steckt die Annahme dahinter, dass bei Gebäuden, für die ein Test in der Planung bereits angekündigt wird, eine luftdichtere Bauausführung zu erwarten ist.

Durch die Einführung dieser Guttschrift für die Durchführung und das Bestehen von Luftdichtheitstest ergibt sich gegenüber der früheren Wärmeschutzverordnung eine neue Qualität des Nachweises. Im Wärmeschutznachweis wurden früher Dämmstärken und ähnliches festgelegt und nach diesen Vorgaben wurde der Bau umgesetzt. Beim Luftdichtheitstest plant man diesen zwar ein, doch ob er bestanden wird, ist nicht nur Sache der Planung sondern auch Sache der Bauausführung. Wird der Test nicht bestanden, obwohl die Guttschrift bei der Berechnung wahrgenommen wurde, so kann das zu einem Problem werden, da die Grenzwerte der EnEV eventuell nicht mehr einzuhalten sind. Wird der Bonus wahrgenommen, sollte man sicher sein, dass der Test auch bestanden wird.

Analysen in Baugebieten, in denen in den letzten Jahren Blower-Door-Messungen durchgeführt wurden, zeigen allerdings, dass der Test in der Praxis überwiegend bestanden wird.

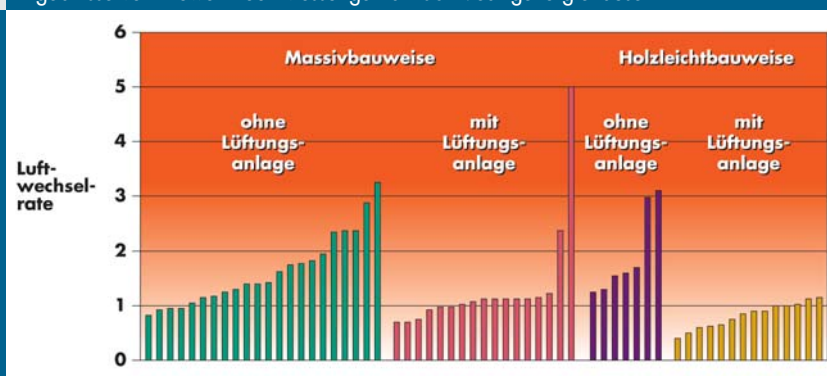
Wann ist ein Blower-Door-Test bestanden?

Die EnEV formuliert im Anhang 4 die Anforderungen:

„Wird eine Überprüfung der Anforderungen nach §5, Abs. 1 durchgeführt, so darf der nach DIN EN 13829 bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa gemessene Volumenstrom – bezogen auf das beheizte Luftvolumen – bei Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen $3,0 \text{ h}^{-1}$ und bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen $1,5 \text{ h}^{-1}$ nicht überschreiten.“

Die unterschiedlichen Anforderungen ergeben sich aus der Notwendigkeit, dass bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen eine möglichst dichte Bauweise anzustreben ist. Der Luftaustausch soll hier nur über die dafür vorgesehenen Öffnungen der Anlage erfolgen und nicht über undefinierte Öffnungen an der Anlage vorbei. Damit die Luft das Gebäude nicht unkontrolliert verlässt – unabhängig ob mit oder ohne Lüftungsanlage – ist eine detaillierte Planung Voraussetzung.

Ergebnisse von Blower-Door-Messungen an 60 Niedrigenergiehäusern





Das Luftdichtheitskonzept

Luftdichtheit wird nicht erst auf der Baustelle geschaffen. Bei jedem normalen Bauvorhaben muss bereits in der frühen Planungsphase ein Luftdichtheitskonzept entwickelt werden.

Wie sieht ein Luftdichtheitskonzept aus?

Der Planer hat sich mit seinen Plänen – zum Beispiel im Maßstab 1:100 – hinzusetzen, nimmt einen von der Planfarbe abweichenden Stift und versucht die luftdichte Begrenzung des beheizten Volumens mit dem Stift entlangzufahren. An jeder Stelle seiner Reise um das luftdichte Volumen herum ist zu klären, wo innerhalb der Konstruktion und mit welchen Materialien die Luftdichtheit erreicht wird.

Bei einer massiven Außenwand wird dies in aller Regel auf der Innenseite der Wand mit dem Innenputz erreicht. Bei einer Holzkonstruktion hingegen kann bei mehrschaliger Bauweise die luftdichte Ebene auch innerhalb dieser Wand liegen. Hierdurch entsteht dann der Vorteil, dass die gesamte Sanitär- und Elektroinstallation innerhalb der dem Innenraum zugewandten Schicht vor die Luftdichtung gelegt werden kann.

Kritisch zu bewerten sind in aller Regel die Bauteilanschlüsse zwischen unterschiedlichen Materialien. Wechselt man beim Massivbau von der Wand zum Steildach, so muss der luftdichte Anschluss zwischen Putz und Dampfbremsschicht bewerkstelligt werden.

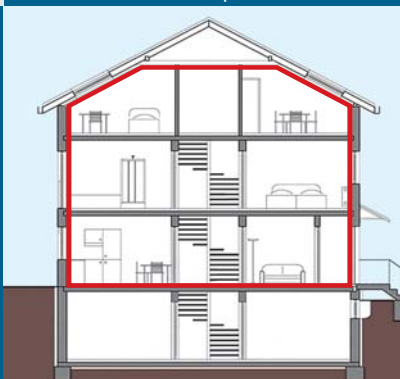
Für alle diese problematischen Stellen sollte der Planer ein Luftdichtungskonzept entwickeln. Dieses Konzept ist später in die Ausschreibung aufzunehmen, so dass sich die ausführenden Firmen darauf einstellen können. In jedem Fall sollte der Hinweis auf die beabsichtigte Blower-Door-Messung in die Vorbemerkungen aufgenommen werden. Zusätzlich sind die An-

schlusspunkte in der Ausführungsplanung zu zeichnen. Die Lösung muss so gestaltet sein, dass der Handwerker auf der Baustelle das Konzept möglichst selbstständig umsetzen kann. Wichtig ist, dass der Handwerker durch die Erläuterung vor Ort die Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit für die Umsetzung des Konzepts erkennt.

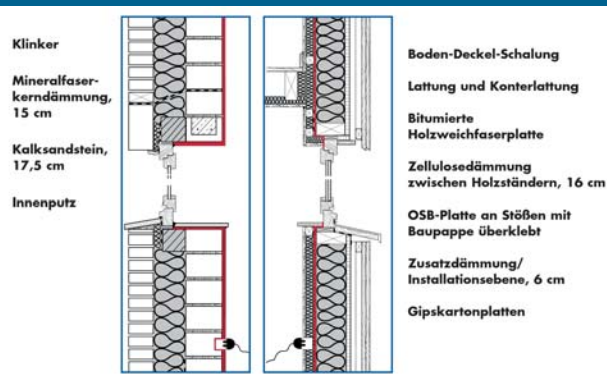
Empfehlenswert, und im Bereich der Holzbaugewerke (Zimmereien) schon Praxis, ist die Überprüfung des eigenen Gewerkes durch den ausführenden Handwerker. Diese Selbstkontrolle verhindert später aufwendige Nachbesserungen. Speziell für Handwerker bieten verschiedene Firmen bereits kostengünstige Blower-Door-Geräte an.

Übrigens: In einem Einfamilienhaus gibt es etwa 150 bis 300 Meter Anschlussfugen. Bleibt zu klären, wer im Falle der Überschreitung des geforderten n_{50} -Wertes die Kosten für die Nachbesserung oder ggf. für die weitere Messung trägt. Wird alles korrekt gebaut, dann lassen sich „Lösungen“ wie auf dem obigen Foto, bei denen die Dampfbremsschicht „unverklebt herum schlackert“, vermeiden.

Das Luftdichtheitskonzept



Luftdichtheit im Wandaufbau





Der Blower-Door-Test

Um die luftdichte Bauweise nachweisen zu können, wird eine so genannte Blower-Door-Messung durchgeführt.

Wie sieht eine Blower-Door-Messung aus?

Für die Messung wird in eine Öffnung – meist in eine Tür oder in ein Fenster des zu messenden Gebäudes – ein Gebläse luftdicht eingebaut und mit Hilfe dieses Gebläses in dem Gebäude ein Unter- oder ein Überdruck erzeugt. Mit der Messeinrichtung (s. Bild unten) wird dann ermittelt, welche Luftmenge bei einem Druckunterschied von 50 Pascal zwischen innen und außen durch den Ventilator transportiert wird. Diese Luftmenge ist gleich der Luftmenge, die bei Unterdruck durch Leckagen in das Gebäude nachströmt. Diese Leckage-Luftmenge wird dann ins Verhältnis zum Raumluftvolumen gesetzt und es kann festgestellt werden, ob die Grenzwerte der EnEV eingehalten werden. Es kann sinnvoll sein, zwei Messungen durchzuführen, da Leckagen bei Sog oder Druck konstruktionsbedingt ihren Querschnitt ändern können, was zu abweichenden Messergebnissen führt.

Wann kann gemessen werden?

Die Messung sollte zu einem Zeitpunkt stattfinden, zu dem Nachbesserungen noch ohne große Probleme machbar sind. Provisorische Abdichtungen, die zu diesem Zeitpunkt noch nötig sind, können das Ergebnis leicht verfälschen und sind somit im Protokoll zu vermerken.

Bauliche Voraussetzungen

- Massive Außenwände sind innenseitig verputzt
- Leichtbauwände und das Dach sind innenseitig mit der Luftdichtheitsebene versehen
- Alle Außenfenster und Türen sind eingebaut
- Bauteildurchbrüche sind abgedichtet
- Abgas-, Sanitär- und Lüftungsöffnungen sind abgedichtet
- Luftdichte Anschlüsse zwischen verschiedenen Bauteilen sind hergestellt.
- Stromanschluss (230/400 V) muss vorhanden sein

Für die Durchführung der Messung müssen alle Öffnungen in der Außenhülle (Türen, Fenster, Kamin) geschlossen werden. Die Innentüren werden geöffnet. Lüftungs-, Klima- und Heizungsanlagen sind auszuschalten. Noch nicht mit Wasser gefüllte Siphons sind zu füllen. Außerdem ist es von Vorteil, dass ein Ansprechpartner (Hausmeister, Architekt, Bauleiter, Bauherr) bei der Messung anwesend ist.

Wie müssen die Grenzwerte bewertet werden?

Die $3,0 \text{ h}^{-1}$ bedeuten, dass in einer Stunde bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pascal dreimal das beheizte Luftvolumen des Gebäudes durch Undichtigkeiten ausgetauscht werden darf. Das nebenstehende Rechenbeispiel verdeutlicht die Ermittlung der Luftwechselrate.

Beispielrechnung

Einfamilienhaus mit $V_L = 500 \text{ m}^3$ beheiztem Volumen und ohne Lüftungsanlage. Der bei der Blower-Door-Messung bei 50 Pascal Druckdifferenz gemessene Volumenstrom \dot{V}_{50} beträgt $900 \text{ m}^3/\text{h}$.

Volumenbezogene Luftdurchlässigkeit (n_{50} -Wert):

$$n_{50} = \dot{V}_{50} / V_L$$

$$n_{50} = 900 \text{ m}^3/\text{h} / 500 \text{ m}^3 = 1,8 \text{ h}^{-1}$$

Der Blower-Door-Test ist bestanden.

Wäre das Gebäude mit einer Lüftungsanlage ausgestattet, müssten die Luftundichtigkeiten bis zum Erreichen des geforderten Grenzwertes von $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ nachgebessert werden.

Im Allgemeinen kann man sagen, dass der Grenzwert bei Gebäuden ohne Lüftungsanlagen recht großzügig festgesetzt ist. Auch der strengere Grenzwert für Gebäude mit Lüftungsanlagen lässt sich durchaus mit üblichen bautechnischen Mitteln erreichen – und sogar deutlich unterschreiten.

Messeinrichtung für den Blower-Door-Test





Rechtliche Grundlagen

Die Rahmenbedingungen für die Durchführung der Messung sind in der DIN EN 13829 deutlich geregelt. Für die Abnahme nach EnEV ist das dort genannte Verfahren A – Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand – durchzuführen.

Verfahren A: Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand (Messung sollte in dem Zustand entsprechend der Jahreszeit erfolgen, in der Klima- oder Heizanlage genutzt werden).

Verfahren B: Prüfung der Gebäudehülle (alle absichtlich vorhandenen Öffnungen werden geschlossen)

Zur Dokumentation ist ein Protokoll zu erstellen, für das in der DIN EN 13829 die Mindestinhalte formuliert sind.

Für Planer, aber auch Ausführende, die sich mit dem Thema Luftdichtheit beschäftigen wollen oder müssen, ist die DIN 4108-7 im Zusammenhang mit der EnEV überarbeitet worden. In dieser DIN finden sich einerseits nochmals die Grenzwerte; andererseits sind viele Beispieldetails für luftdichte Konstruktionen abgebildet, die den Interessierten sicherlich helfen können. Weitere Hilfestellung bekommen Planer und Ausführende durch den Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen (www.FLIB.de), der sich einerseits für eine Qualitätssicherung bei der Durchführung von Messungen einsetzt, andererseits aber auch für Aufklärung zum Thema Luftdichtheit im Bauwesen sorgt.

Die Leckage-Ortung

Ist erst einmal ermittelt, ob der Grenzwert der EnEV eingehalten wird, so wird in einem zweiten Schritt versucht, diejenigen Punkte zu finden, wo Luft durch Undichtigkeit bei Unterdruck ins Gebäude strömt. Hierzu kann man ein so genanntes Thermoanemometer verwenden, welches die einströmende Luftgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde misst. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, Undichtigkeiten durch Rauch sichtbar zu machen. Dazu wird das ganze Gebäude bei der Überdruckmessung z.B. mit Theaternebel verräucht. Eventuelle Undichtigkeiten können durch den nach außen entweichenden Rauch lokalisiert werden.

Die Leckageortung kann auch durch eine Thermographiekamera unterstützt werden. Da bei einströmender kalter Außenluft auch die Oberflächen des Bauteils auskühlen, kann dies mit der Wärmebildkamera sichtbar gemacht werden. Das ist vor allem bei Leckagen hilfreich, die dem Messteam nicht direkt zugänglich sind.

Das beste aller Messinstrumente ist aber immer noch der Finger. Fährt man mit dem Finger entlang der Fugen, kann man im Allgemeinen jede Luftbewegung spüren.

Sind die Leckagen geortet, so ist für jeden einzelnen Punkt zu überlegen, ob es notwendig ist, diese Leckage zu beseitigen oder ob sie hinnehmbar ist. Weiter ist dann – möglichst gemeinsam mit den Handwerkern – die Art der Nachbesserung zu besprechen und zu beschließen.

Hier finden sich am häufigsten Leckagen:

- nicht verputztes Mauerwerk z.B. hinter Vorwandinstallationen und unter Fensterbänken
- Fensteranschlüsse
- Anschluss Massivwand/Steildach
- Anschluss Dachflächenfenster/Steildach
- Anschluss Fuß- und Mittelpfetten, sowie Kehlbalken bei komplett ausgebautem Dach
- Installationsdurchbrüche z.B. Heizungs- und Wasserrohre, Installationschächte, Schornstein
- Rollladenkästen (Gurtdurchführung)
- Undichte Raumabschlüsse (Kellertüren im Flurbereich, Spitzbodenluke, Abseitenwände) zu den unbeheizten Räumen

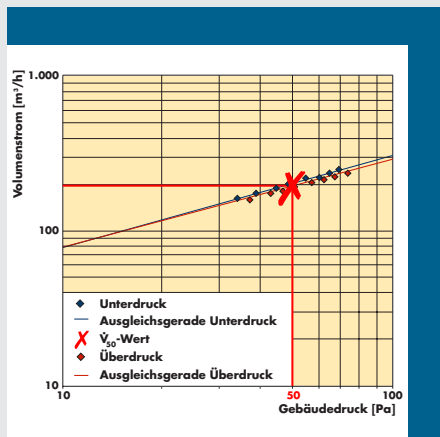
Leckage-Ortung mit dem Thermoanemometer



Der Prüfbericht

Am Ende einer jeden Messung steht ein Prüfbericht, der dem Eigentümer des Gebäudes klar und deutlich Auskunft über die Luftdichtheitsqualität des Gebäudes gibt.

Der „Standard-Prüfbericht“ hat die Form eines Protokolls und enthält die im untenstehenden Kasten aufgeführten Punkte.



Inhalte des Prüfberichtes

- Angaben zum untersuchten Objekt (Gebäudebeschreibung, Verfahrensart A oder B) und zum Prüfer
- Verweis auf die Norm, sowie eventuelle Abweichungen davon
- Eingesetzte Messtechnik
- Art der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage
- Nachvollziehbare Berechnung des beheizten Volumens und der Nettogrundfläche
- Zustand aller Öffnungen in der Gebäudehülle
- Beschreibung temporär abgedichteter Öffnungen
- Rahmenbedingungen der Untersuchung (Innen- und Außentemperatur, natürliche Druckdifferenz)
- Die Messwerte bei Über- und/oder Unterdruck
- Leckagekurve
- Messergebnis – n_{50} -Wert mit Bewertung

Der erweiterte Prüfbericht dokumentiert sowohl bildlich als auch schriftlich die gefundenen Leckagen und nimmt für jede Leckage eine Bewertung vor. Diese Art des Prüfberichtes ist zum Beispiel im Rahmen von Beweissicherungsverfahren erforderlich. Der Prüfbericht sollte allen Beteiligten zur Verfügung gestellt werden.

Um eine gute Luftdichtheit des Gebäudes zu gewährleisten, sollte eine Luftdichtheitsmessung durchgeführt werden, da diese Vorteile für alle am Bau Beteiligten hat. Der Planer kann somit nachweisen, dass das Gebäude entsprechend den Anforderungen luftdicht gebaut ist. Bauschäden durch Luftundichtigkeiten werden weitestgehend vermieden. Die Handwerker wissen, dass ein Luftdichtheitsmessung durchgeführt wird und achten besonders auf die Ausführung der Details. Somit muss seltener nachgebessert werden.

Der Bauherr erhält ein Gebäude, das entsprechend dem Stand der Technik die Anforderungen an die Luftdichtheit erfüllt. Er kann damit rechnen, dass keine Komfortverluste durch Undichtigkeiten auftreten und die Heizkosten dem Wärmeschutz des Hauses entsprechen.

Empfehlungen

Entwurfsplanung

- Lage der luftdichten Hülle festlegen
- Durchdringungen der Luftdichtheitsebene vermeiden
- Länge der Anschlüsse minimieren
- Ausführungsplanung zu der Geschlossenheit der luftdichten Hülle überprüfen
- Materialien für die Luftdichtheitsebene und Anschlüsse festlegen
- Anschlüsse im Detail zeichnen und Arbeitsanweisung formulieren
- Dauerhaftigkeit der Anschlüsse und Materialien berücksichtigen

Ausschreibung

- Luftdichtheit als Vertragsbestandteil aufnehmen
- Ausschreibung von laufenden Metern Anschlüssen bzw. einzelnen Durchdringungen
- Materialien genau benennen

Objektüberwachung

- Luftdichtheitsmessung in den Bauablauf einplanen
- Verwendete Materialien überprüfen
- Sichtkontrolle der ausgeführten Anschlüsse und Durchdringungen

Energieagentur NRW

Die Energieagentur NRW wurde 1990 vom Land NRW gegründet. Sie gibt als unabhängige, neutrale und nicht-kommerzielle Anlaufstelle Hilfestellung in Sachen Energieeffizienz, zur rationellen Energieverwendung und zur wirtschaftlichen Nutzung unerschöpflicher Energiequellen – erstens durch Beratung, zweitens durch Angebote zur beruflichen Weiterbildung sowie drittens durch ihre Informations- und Öffentlichkeitsarbeit. Die Energieagentur NRW wird getragen vom Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes NRW.

Impressum

©Energieagentur NRW

REN Impuls-Programm „Bau und Energie“

Kasinostraße 19 – 21

42103 Wuppertal

Tel: 0202/24552-60

Fax: 0202/24552-99

E-mail: info@ea-nrw.de

Internet: www.ea-nrw.de