

Untersuchung der Dauerhaftigkeit von Gebäudeluftdichtheitskonzepten

Dipl.-Ing. Søren Peper
Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, D-64283 Darmstadt
Tel.: 0049-(0) 6151 / 826 99-0, Fax -11
e-mail: mail@passiv.de, www.passiv.de

1 Zusammenfassung

Eine ausgezeichnete Luftdichtheit der Gebäudehülle ist eine der Ecksäulen der erfolgreichen Passivhausarchitektur. Nur so kann das Konzept für energiesparende Häuser mit hohem Komfort realisiert werden und Bauschäden vorgebeugt werden. Es ist seit langem belegt, dass eine luftdichte Bauweise bei entsprechender Planung als Serienausführung möglich ist und keine „Bastleraufgabe“ darstellt. In der Vergangenheit wurden häufig noch handwerklich aufwendige und bezgl. der Dauerhaftigkeit fragwürdige Luftdichtheitsmaßnahmen realisiert.

Zur Dauerhaftigkeit verschiedener Luftdichtheitskonzepte wurden bisher nur wenig wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt und publiziert. Immer wieder wird kritisch hinterfragt, ob denn der Aufwand für die erhöhte Luftdichtheit gerechtfertigt sei und ob der Luftdichtheitskennwert nicht nur eine Momentaufnahme bei Fertigstellung der Gebäudehülle darstellt.

Das Passivhaus Institut führte Drucktest-Nachmessungen im Rahmen des IEA TASK 28 (Sustainable Solar Housing) durch. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Insgesamt wurden 17 Messungen zur Dauerhaftigkeit der Luftdichtheit von verschiedenen Projekten durchgeführt. Untersucht wurden Passivhäuser in ganz unterschiedlicher Bauweisen: Massivbau, Holzleichtbau, Mischbau und Massivbauten mit Betonschalungssteinen. Die Messungen zeigen - unabhängig von der Bauweise - sehr gute Ergebnisse und damit eine gute dauerhafte Beständigkeit der Luftdichtheitsmaßnahmen. Dabei gab es nur eine Ausnahme, welche die Notwendigkeit eines klaren und umsetzbaren Luftdichtheitskonzeptes noch unterstreicht.

2 Luftdichtheitskonzepte

Im Rahmen des Projektes „IEA Task 28“ wurden Nachmessungen zur Luftdichtheit an unterschiedlichen Passivhaus Objekten durchgeführt. Ziel war es dabei, Passivhäuser in unterschiedlichen Bauweisen zu untersuchen, welche bereits möglichst einige Jahre bewohnt sind. Für die Beurteilung mussten Messprotokolle der Abnahmemessungen nach Fertigstellung der Gebäude vorliegen. Ebenso waren die Luftdichtheitsplanungen mit Detailzeichnungen notwendig. Diese wurden meist

von den jeweiligen Architekten zur Verfügung gestellt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die überprüften Gebäude und die jeweilige Bauweise.

Tabelle 1: Passivhäuser, bei denen die Nachmessungen durchgeführt wurden und deren Bauweise

#	Passivhaus-Projekt	Bauweise	Gemessenen Wohneinheiten
1	Reihenhäuser Darmstadt Kranichstein	Massivbau	2
2	Einfamilienhäuser Bretten	Holzleichtbau	2
3	Siedlung Lindlar/Hohkeppel	Holzleichtbau (Kraftschlüssig)	5
4	Einfamilienhäuser Stegaurach/Mühlendorf und Bamberg	Holzleichtbau	2
5	Reihenhäuser Hannover-Kronsberg	Mischbau	4
6	Reihenhäuser Rheinmünster und Bühl	Betonschalungsstein (Massiv)	2

Einige der untersuchten Projekte wurden bereits in [Peper 2000] und [Peper 2002] mit den Nachmessergebnissen kurz vorgestellt. Eine Projektübersicht mit Angabe der jeweilige luftdichten Ebene zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Angaben zur luftdichten Ebene und Gebäudeansichten der untersuchten Projekte aus Tabelle 1 (AW = Außenwand, EG-B = EG-Fußboden, DA = Dach, AHW = Stoßweise abgeklebte Holzwerkstoffplatten)

#	Luftdichte Ebene	Gebäude Ansichten
1	<p><u>AW:</u> Innenputz <u>EG-B:</u> Beton <u>Dach:</u> PE-Folie</p>	
2	<p>Haus 1: <u>AW:</u> PE-Folie / Beton <u>Dach:</u> PE-Folie <u>EG-B:</u> Beton Haus 2: <u>AW:</u> AHW <u>Dach:</u> AHW <u>EG-B:</u> Beton</p>	
3	<p><u>AW:</u> Holzwerkstoffplatten kraftschlüssig verklebt <u>Dach:</u> Holzwerkstoffplatten kraftschlüssig verklebt <u>EG-B:</u> Beton</p>	
4	<p><u>AW:</u> AHW <u>Dach:</u> AHW <u>EG-B:</u> AHW</p>	
5	<p><u>AW:</u> PE-Folie <u>Dach:</u> PE-Folie <u>EG-B:</u> Beton</p>	
6	<p><u>AW:</u> Innenputz <u>Dach:</u> PE-Folie <u>EG-B:</u> Beton</p>	

Da in diesem Beitrag nicht für jedes Gebäude im Detail das Luftdichtheitskonzept inkl. der jeweiligen Anschlüsse beschrieben werden kann, wird dies exemplarisch für die beiden untersuchten Objekte in Bamberg und Stegaurach/Mühlendorf des Architekturbüros Trykowski dargestellt. Die beiden Einzelhäuser wurden im August 1998 fertiggestellt. Es handelt sich um reine Holzhäuser mit ganz unterschiedlichen Grundrissen und Gebäudeformen. Beide Häuser sind mit Erdgeschoss-Fußböden als Holzkonstruktionen über einem Luftraum ausgestattet (keine Unterkellerung). Die Wände bestehen aus in der Werkhalle des Fachbetriebes vorgefertigten Elementen. Beide Häuser sind mit Unterdachentlüftern für den Druckausgleich im Abwasserstrang ausgerüstet.

Bei beiden Passivhäusern ist das Luftdichtheitskonzept durchgängig mit verklebten Holzwerkstoffplatten realisiert worden. Die luftdichte Ebene verläuft konsequent in der zweischaligen Wand unterhalb der Installationsebene. Jede der Holzhartfaserplatten ist an den Stößen zur nächsten Platte in Dach, Wand und Fußboden mit Spezialklebeband auf Acryldispersion-Basis verklebt worden. Die luftdichte Ebene in der Fläche besteht damit rundherum aus den verklebten Hartfaserplatten. Auch die Übergänge zwischen den Flächen-Bauteilen (Wand an Dach, Wand an Fußboden, Wand an Wand) sind auf diese Weise ausgeführt. Zum luftdichten Verbinden in den Ecken wurde ein Butylkautschukband eingesetzt. Die Fenster und Türen sind umlaufend mit einer reisfesten Polypropylen-Folie (Breite: 20 cm) ausgestattet. Diese ist mit einem Butylkautschuk-Klebeband am Fenster bzw. an der Tür und mit Acryldispersions-Klebeband an den OSB-Platten der Wandflächen komplett verklebt. Die Durchführungen der Elektrokabel, Wasser- und Abwasserleitungen wurden mit Dichtkragen aus Klebeband hergestellt. Diese Dichtkragen wurden direkt auf die Holzwerkstoffplatten aufgeklebt.

Die Übersicht über die Anschlüsse der Luftdichtheitsebenen zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Luftdichte Anschlüsse der beiden Passivhaus-Projekte in Holzleichtbau im Raum Bamberg.

Stoss von/gegen	Bodenplatte	Flügelrahmen	Blendrahmen	AW Leichtbau	Dach
Dach				Acryldispersion-Klebeband, Ecken mit Butyl-Kautschuk	Acryldispersion-Klebeband (Firstfette mit PP-Folie und Abklebung)
AW Leichtbau	OSB-Platten verklebt mit Acryldispersion-Klebeband		Butyl-Kautschuk Klebeband, PP-Folie und Acryldispersion-Klebeband	Acryldispersion-Klebeband	
Blendrahmen	Butyl-Kautschuk Klebeband, PP-Folie und Acryldispersion-Klebeband	Lippendichtung			
Flügelrahmen		Lippendichtung			
Bodenplatte	Acryldispersion-Klebeband				

Das Detail der luftdichten Verbindung zwischen Wand und Fensterrahmen wurde mit einer Verklebung einer Dampfbremssfolie zwischen Blendrahmen und OSB Platte des Wandelementes realisiert. Dies stellt eine klassische Lösung im Holzleichtbau dar.

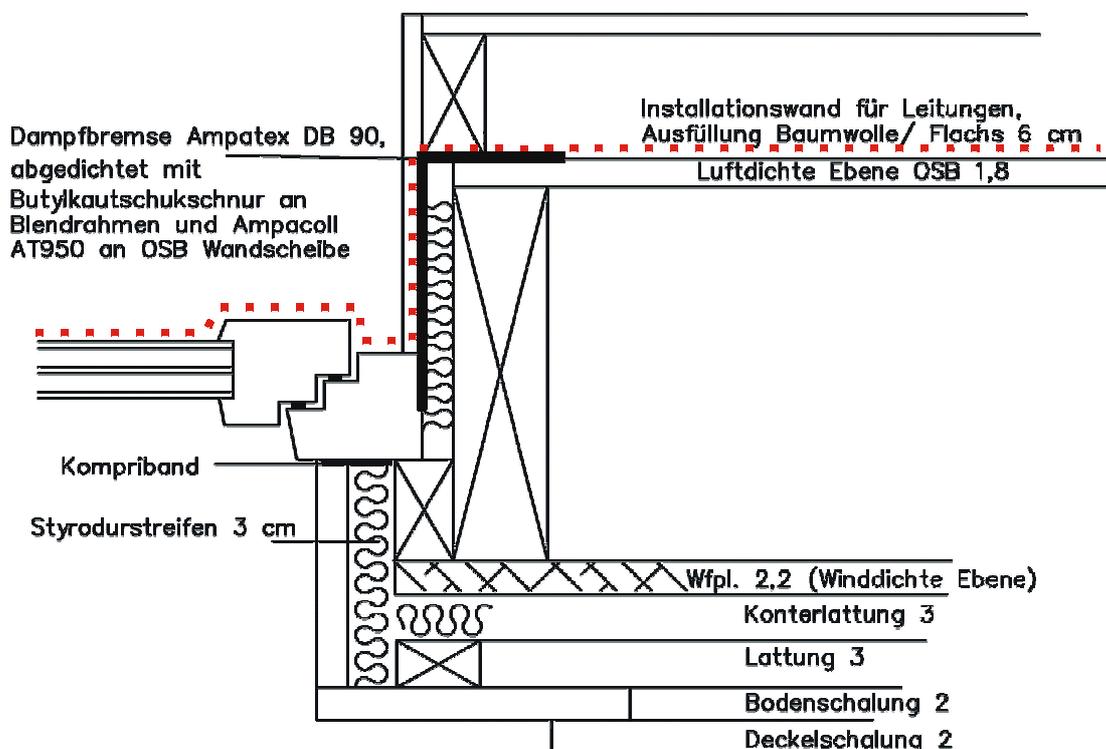


Abbildung 1: Details Luftdichtheit am Fensteranschluss mit Angabe der luftdichten Ebene als Punktlinie (Nach: Ingenieurbüro Trykowski)

3 Nachmessungen

Insgesamt wurden damit 17 Blower Door Nachmessungen an acht Standorten in fünf unterschiedlichen Bauweisen durchgeführt. Die Nachmessungen sind alle mit einer Blower Door der Firma Minneapolis „Modell 4“ durchgeführt worden.

An den jeweiligen Messterminen wurde nach einer kurzen Sichtkontrolle des Gebäudes die Luftfördereinrichtung nach Möglichkeit in die gleiche Tür eingebaut wie bei der Erstmessung. Dies erhöht die Vergleichbarkeit der beiden jeweiligen Messungen. Zur Vorbereitung der Messung wurden alle Fenster und Türen in der Außenhülle geschlossen und die Lüftungsanlage wurde möglichst außen- und fortluftseitig mittels Luftblasen oder Klebeband abgedichtet. Anschließend wurde mit der Luftfördereinrichtung ein Unterdruck von 50 Pa aufgebaut und eine detaillierte Leckagesuche im gesamten Gebäude durchgeführt. Die in den Protokollen der Erstmessungen beschriebenen Leckagen wurden dabei insbesondere überprüft. Die Leckagen wurden jeweils dokumentiert. Im Anschluss daran konnten die eigentlichen Über- und Unterdruckmessungen nach [DIN EN 13829] durchgeführt werden.

Für die beiden oben exemplarisch beschriebene Passivhäuser im Raum Bamberg (Holzleichtbau) wurden die folgenden kleineren Restleckagen festgestellt:

- Anschluss Fenster bzw. Festverglasung an Fußboden/Laibung,
- Anschluss Fensterbank an Wandelement,
- Anschluss Festverglasung im Dach an Dachelement
- Haustürdichtung,
- einige Glasleisten der Fenster
- Beschädigung der Gipsverkleidungsplatte in der Laibung (Küche).
- einige Lichtschalter/Steckdosen/Kabeldurchführungen,
- wenige Anschlußfugen zwischen Flächenbauteilen (Wand/Geschossdecke und Wand/Dach und Dach/Dach),
- Haustürdichtung sowie
- geringe Leckagen an Rohrdurchführungen für Regen- und Hauptwasserleitungen.



Abbildung 2: Kleine Beispielleckagen an der Kabeldurchführung im Leerrohr (Links: Stegaurach/ Mühlendorf) und in der Laibung beim Anschluss Festverglasung an den Fußboden/ Bodenaufbau (Rechts: Bamberg).

Bei den Erstmessungen lagen beide Gebäude mit $n_{50} = 0,47$ und $0,57 \text{ h}^{-1}$ unterhalb des Passivhaus-Grenzwertes für die Luftdichtheit von $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ [Sachs 1998]. Bei Gebäude 1 handelt es sich um das erste Passivhaus welches der Architekt geplant hat. Bei Planung von Gebäude 2 flossen gesammelte Erfahrungen auch in Punkto Luftdichtheit mit ein. Die Fehlergrößen bei den beiden Erstmessungen sind in den Messprotokollen mit sehr unterschiedlich Größen angegeben. Vermutlich sind unterschiedliche Windstärken während der Messungen die Ursache dafür.

Die Ergebnisse der beiden Nachmessung mit $n_{50} = 0,64$ und $0,43 \text{ h}^{-1}$ zeigen bei Haus 1 einen leicht erhöhten Wert und bei Haus 2 etwas geringeren Messwert gegenüber den Erstmessungen. Die Messgenauigkeit, bzw. der Fehlerbalken in Abbildung 3 relativiert diese Aussagen allerdings: Aufgrund der Fehler resultieren ähnliche Ergebnisse wie bei den Erstmessungen, es gibt keine nennenswerten Veränderungen. Beide Ergebnisse verdeutlichen die gute Luftdichtheit der Wohngebäude und zeigen, dass das Luftdichtheitskonzept der Planer schlüssig und dauerhaft ist. Bei den gewählten Verklebungen und Sicherungen ist nicht mit einer Verschlechterung zu rechnen. Der Hersteller der in den Objekten eingesetzten Verbindungsprodukten gibt eine Herstellergarantie von 10 Jahren. Es von einer deutlich längeren Lebensdauer der fachgerechten Verklebungen auszugehen.

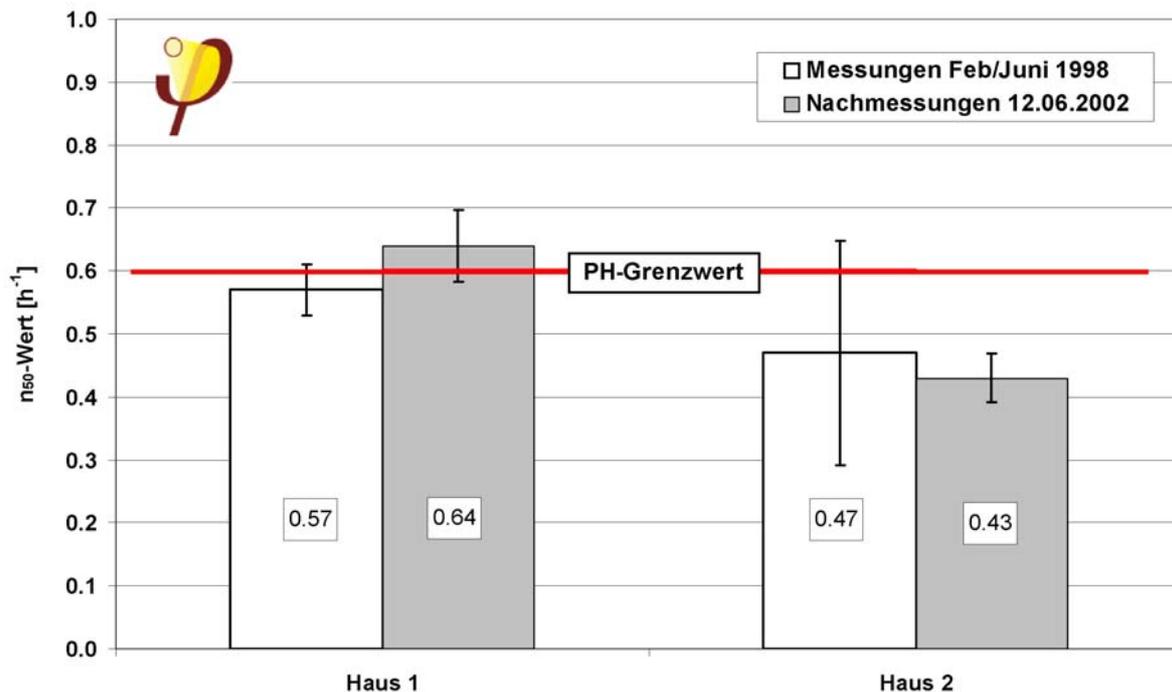


Abbildung 3: Vergleich der Drucktestmessergebnisse von Erst- und Nachmessungen nach über 4 Jahren bei den zwei Passivhäusern im Raum Bamberg. Die jeweiligen Balken geben die Fehlergrößen an.

4 Zusammenfassende Beurteilung Luftdichtheitskonzepte

Bei allen im Rahmen des Projektes untersuchten Gebäuden wurden - für die hohen Passivhausanforderungen - gute bis sehr gute Luftdichtheitswerte gemessen. Eine Ausnahme macht nur das Gebäude der laufenden Nr. 3, bei welchem die Hauptleckagen die Qualität der anderen Verbindungen überlagern: Bei der Abnahmemessungen waren die bei der Nachmessung festgestellten Hauptleckagen (z.B. an Durchführungen für Lüftungsrohre) noch temporär abgedichtet. Für dieses Objekt kann **keine** Aussage über die Langzeitstabilität der Verbindungen getroffen werden. Alle Ergebnisse der Nachmessungen von den übrigen 16 Objekten lagen unter bzw. eines knapp über dem Passivhaus-Grenzwert von $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Die geringe Überschreitung von Gebäude Nr. 10 ist allerdings unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit vernachlässigbar (siehe Ausführungen oben).

Fast alle Veränderungen der Messergebnisse zwischen Abnahme- und Nachmessung liegen innerhalb der Messgenauigkeiten. Hier bilden nur die Gebäude Nr. 5 bis 9 die Ausnahmen, da dort **nach** der Abnahmemessung die gefundene Leckagen nachgebessert wurden. Dadurch hat sich die Luftdichtheit deutlich verbessert, was erst jetzt durch die Nachmessungen belegt werden konnte.

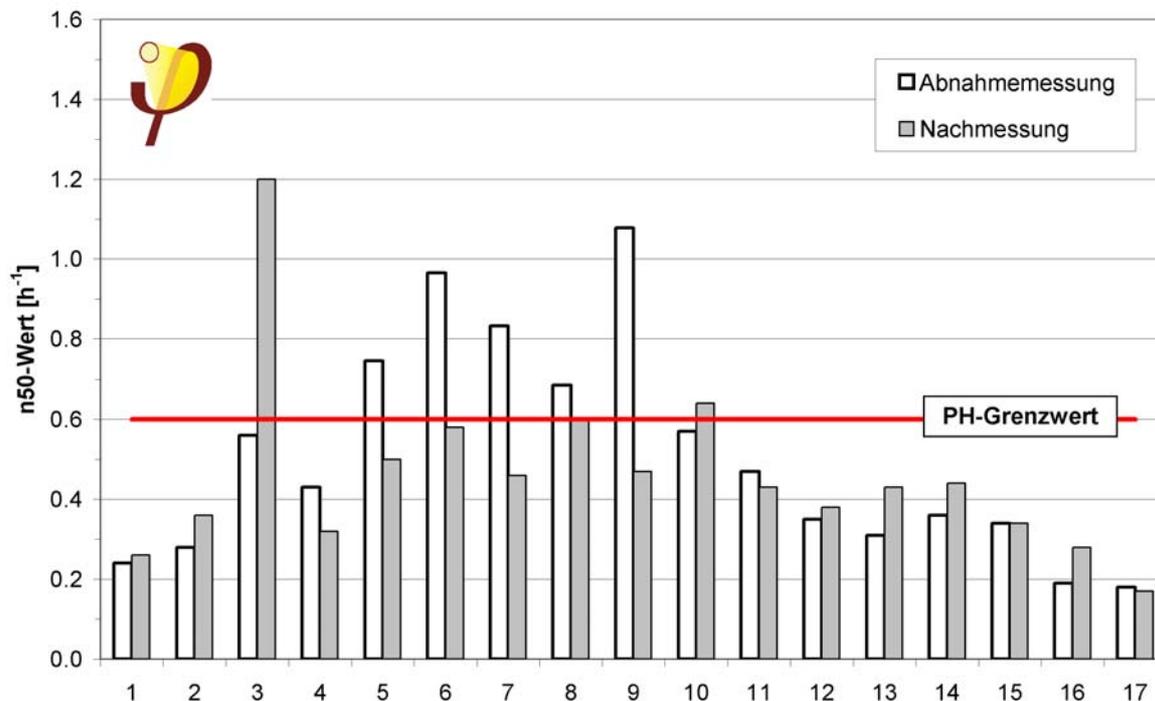


Abbildung 4: Übersicht über die Messergebnisse der Luftdichtheitsmessungen der 17 Untersuchten Gebäude (Abnahme- und Nachmessungen). Gebäude Nr. 3 kann nicht bewertet werden, da dort die Hauptleckagen die Qualität der anderen Verbindungen überlagern.

Für die Dauerhaftigkeit der Luftdichtheitskonzepte zeigt sich mit den Messungen ein sehr positives Bild. Die von den jeweiligen Planern und Architekten gewählten Konzepte und Verbindungen sind auf jeden Fall für den Zeitraum zwischen Abnahme- und Nachmessung als erfolgreich zu bewerten (Zeiträume von 1,4 bis 10,5 Jahren). Dabei sind alle Bauweisen gleichermaßen positiv einzustufen. Es hat sich gezeigt, dass nicht die Bauweisen, sondern vielmehr die Planungsqualität für die erfolgreiche Umsetzung der hohen Luftdichtheit entscheidend ist. Selbstredend muss natürlich die Planung am Objekt auch entsprechend sorgfältig umgesetzt werden. Eben genau an diesem Punkt zeigt sich dann auch, ob der Planer gut umsetzbare Konzepte erstellt hat.

Bei allen untersuchten Objekten ist nicht davon auszugehen, dass sich in den nächsten Jahren eine nennenswerte Verschlechterung der Luftdichtheit einstellen wird. Dafür liegen bei diesen Objekten Planungen und Ausführungen zugrunde, welche geeignete Produkte verwenden und diese nach Herstellervorgaben einsetzen. Die zu erwartenden Bewegungen von Elementen am Bau sind nach den jeweils verstrichenen Zeitabständen bereits eingetreten. Nach den vorliegenden Ergebnissen kann daher davon ausgegangen werden, dass die Luftdichtheit auch in der hier untersuchten Klasse von extrem luftdichten Gebäuden ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$) dauerhaft Bestand hat.

Tabelle 4: Übersicht über die nachgemessenen Gebäude und die Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Luftdichtheit im bewertbaren Zeitraum.

#	Bauweise	Luftdichte Ebene	Anzahl Objekte	Zeitdauer	Beurteilung
1	Massiv	Innenputz / PE-Folie / Beton	2	> 10,5 a	Dauerhaft
2	Holzbau	Stoßweise abgeklebte Holzwerkstoffplatten, PE-Folien, Beton	2	> 3,6	Nicht bewertbar
				> 2,8 a	Dauerhaft
3	Holzbau (kraftschlüssig)	Holzwerkstoffplatten kraftschlüssig verklebt, Beton	5	> 3,5 a	Dauerhaft
4	Holzbau	Holzwerkstoffplatten verklebt	2	> 4 und > 4,3 a	Dauerhaft
5	Mischbau	PE-Folie / Beton	4	> 3,1 a	Dauerhaft
6	Betonschalungsstein	Innenputz / PE-Folie / Beton	2	> 4,8 und > 1,4 a	Dauerhaft

5 Literatur

- [DIN EN 13829] DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Bestimmung der Luftdichtheit von Gebäuden. Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert), Deutsche Fassung EN 13829:2000., DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin, Februar 2001
- [Peper 2000] Peper, Søren: Luftdichtheit bei Passivhäusern – Erfahrungen aus über 200 realisierten Objekten; Tagungsband der 4. Passivhaustagung, Passivhaus Dienstleistung GmbH, Kassel und Darmstadt 2000.
- [Peper 2002] Peper, Søren: Luftdichte Passivhäuser – Erfahrungen, Probleme, Lösungen und Dauerhaftigkeit; Tagungsband der 6. Passivhaustagung, Fachhochschule beider Basel; Basel 2002.
- [Sachs 1998] Sachs, Harald: Ergebnisse der Luftdurchlässigkeitsmessungen. Drucktest-Protokolle der Passivhaus-Erstmessungen in Bamberg (18.02.1998) und Stegaurach (16.06.1998). Enertec Ingenieurbüro für Energietechnik, Würzburg, 1998