

## **Passivhaustauglichkeit von Fensteranschlüssen entsprechend ift-Richtlinie WA-15/2 – Bauanschlussfugen**

### **Teil 1: Bewertung der energetischen Qualität und Dauerhaftigkeit**

Prof. Dr.-Ing. H.-P- Leimer; J. Schneider BEng

BBS INSTITUT- Forschungs- und Materialprüfinstitut für angewandte Bauphysik und Werkstoffe des Bauwesens - Wolfenbüttel

Jedes Gebäude verfügt über eine Vielzahl unterschiedlicher Bauanschlussfugen. In Anbetracht der geforderten energetischen Qualität der Gebäudehülle müssen diese Bauanschlussfugen dauerhaft luftdicht hergestellt werden und über entsprechende wärmetechnische Eigenschaften verfügen, um die Einflussnahme auf das energetische Verhalten des Gebäudes zu reduzieren. Gerade die energetische Optimierung von Bauteilanschlüssen bzw. Wärmebrücken wurde in den letzten Jahren daher stark thematisiert. Die Bewertung und Untersuchung der Dauerhaftigkeit von Abdichtungssystemen hingegen hat noch keinen Einzug in die aktuelle Normung erhalten. Die hier vorgestellte Untersuchung beschäftigt sich daher mit der Bewertung der energetischen Qualität von Fensteranschlüssen einerseits sowie der Dauerhaftigkeit von marktgängigen Systemen andererseits.

**Passive house suitability of window connections according to ift-guideline WA-15/2 –component connections, Part 1: Evaluation of the energetic quality and durability.** Each building has a variety of different component connections. In view of the required energetic quality of the building envelope component connections shall be durably airtight and have appropriate thermal properties to reduce the influence on the energy behavior of the building. Especially the energy optimization of component connections or thermal bridges was discussed in recent years. The evaluation and study of the durability of caulking systems, has't entered the current standards yet. Therefore the presented study refer to the evaluation of the energetically quality of window connections on the one hand and the durability of marketable systems on the other hand.

## **1 Einleitung**

Angesichts der stetig steigenden Anforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle erhält die Planung der konstruktiven Details einen beständig wachsenden Stellenwert. Dabei rückt vornehmlich die wärmetechnische Verbesserung von Anschlusspunkten in den Vordergrund, um die Transmissionsverluste für Wärmebrücken weitestgehend egalisieren zu können.

Mit der Reduzierung der Transmissionswärmeverluste über die Gebäudehülle gewinnen hingegen die Lüftungswärmeverluste über Lüftung und Undichtigkeiten, innerhalb einer energetischen Bilanzierung des Gebäudes, an Einfluss hinzu. In der Praxis wird den Lüftungswärmeverlusten mit Hilfe von Lüftungsanlagen entgegnet. So macht der Einsatz von Lüftungsanlagen zur kontrollierten Lüftung schließlich die Umsetzung von Passivhäuser, Nullenergiehäuser und Plusenergiehäusern überhaupt erst möglich. Mit der Reduzierung der Wärmeverluste infolge unkontrollierter Lüftung wächst hingegen die Einflussnahme der Luftströmungen durch Gebäudeundichtigkeiten.

Zukünftig wird es daher notwendig sein nicht allein die Anschlusspunkte eines Gebäudes wärmetechnisch zu optimieren, sondern ebenfalls die Bauanschlussfugen energetisch genauer zu betrachten. Hierbei darf jedoch nicht einzig die Luftdichtigkeit der Abdichtungssysteme unter Laborbedingungen von Relevanz sein. Vielmehr muss in diesem Zusammenhang die Dauerhaftigkeit von entsprechenden Systemen unter baupraktischen Einflüssen an Wichtigkeit gewinnen.

Innerhalb der aktuellen Normung hat die Luftdichtigkeit der Bauanschlussfugen einen vergleichsweise geringen Stellenwert. Vielmehr wird hier verpasst entsprechende Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der Abdichtungssysteme zu definieren.

Im Zuge einer Studie zur Untersuchung der Passivhaustauglichkeit von Fensteranschlüssen und ihren Systemen im Rahmen eines Forschungsauftrages<sup>1</sup> wurden daher numerische Berechnungen zur Beurteilung des Temperatur- und Feuchteverhaltens im Bereich des Bauteilanschlusses Wand / Fenster durchgeführt und die Dauerhaftigkeit dieser Systeme untersucht.

Es wurden zwei unterschiedliche Wandaufbauten sowie drei Einbauebenen und zwei Bauweisen in Kombination mit drei Abdichtungssystemen wärmetechnisch untersucht (vergleiche Tabelle 1).

Tabelle 1 Variantenmatrix

Wandaufbau	Einbauebene	Wärmespeichermasse	Systemanschluss
WDVS	Fassadenbündigen Fenstern	Schwere Bauweise (Stahlbeton)	Vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband
Vorsatzschale mit Kerndämmung	Halbvorgesetzten Fenstern	mittelschwere Bauweise (Porenbeton)	feuchteadaptives Folienband
	Vorgesetzten Fenstern		Elastische Dichtstoffe

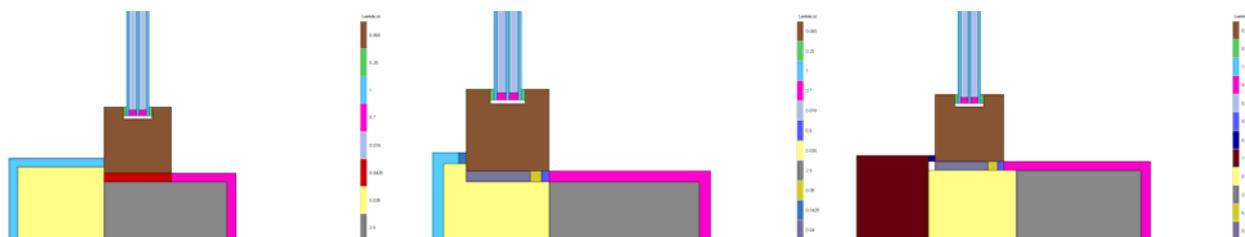


Abbildung 1 Zweidimensionales Berechnungsmodell – Beispiele unterschiedlicher Einbauvarianten

Variante: WDVS an fassadenbündigen Fenstern mit System vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband (links)

<sup>1</sup> Firma Hanno Werk GmbH & Co. KG, Hanno-Ring 5, 30880 Laatzen

Variante: WDVS an vorgesetzten Fenstern mit System feuchteadaptives Folienband (mitte)

Variante: Vorsatzschale mit Kerndämmung an vorgesetzten Fenstern mit System Elastische Dichtstoffe (rechts)

Zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Bauanschlussfugen an Fenstern wurden weiterhin in Anlehnung an DIN 18542 [6] und DIN EN 12114 [8] Prüfungen der Luftdurchlässigkeit durchgeführt. Hierbei wurden in definierten Messzyklen wiederholt Verformungen aufgebracht um die Fugenbewegungen am realen Bauteil nachzuempfinden.

Im vorliegenden Fall werden vier Ausführungen auf ihre Luftdurchlässigkeit untersucht:

- PU basierten Volumen Kleber
- Vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband
- Vorkomprimiertes Dichtband
- diffusionsoffenesFolienband.

Die untersuchten Systeme basieren auf baupraktisch üblichen Materialien und Systemen mit Modifizierungen zur Dichtigkeit im Gebäudeanschlussbereich von Fenstern. Grundlage der Studie bildeten hierbei die ift-Richtlinie WA-15/2 vom Februar 2011 [1].

## 2 Wärmetechnische Anforderungen

Die ift-Richtlinie WA15/2 [1] regelt die Passivhaustauglichkeit von Fenstern, Außentüren und Fassaden. Hierzu werden in Bezug auf Fenster maximale Wärmedurchgangskoeffizienten und Mindestanforderungen an Temperaturfaktoren definiert.

Für einflügelige Fenster ist der Wärmedurchgangskoeffizient auf maximal

$$U_w \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

zu begrenzen. Hierbei sind die Rahmenprofile und Abstandhaltersysteme so zu wählen, dass die Anforderung an den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters  $U_w$  mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung von  $U_g = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  erfüllt wird. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung selbst jedoch wird zu maximal

$$U_g < 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

definiert. Des Weiteren darf nach [1] unter Berücksichtigung des Baukörperanschlusses ein Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters von

$$U_{w,\text{Einbau}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

nicht überschritten werden. Hieraus ergibt sich für die Wärmebrücke des Bauteilanschlusses Wand / Fenster ein maximal zulässiger Korrekturwert der Wärmebrücke

$$\Delta U_{WB} \leq 0,05 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

Temperaturfaktoren charakterisieren die wärmetechnische Güte von Bauteilen. Mit Hilfe der Berechnung von Temperaturfaktoren nach DIN EN ISO 10211 [14] werden gewöhnlich die Oberflächentemperaturen im Bereich von Wärmebrücken in Bezug auf die Tauwasserbildung und das Schimmelpilzwachstum bewertet. Die DIN 4108-2 [3] definiert hierzu die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken. Nach [3] ist ein Temperaturfaktor  $f_{Rsi} \geq 0,70$  an der ungünstigsten Stelle einer Wärmebrücke zu gewährleisten.

Die ift-Richtlinie WA 15/2 [1] nutzt Temperaturfaktoren zur Gewährleistung einer möglichst hohen energetischen Güte, um den Anforderungen eines Passivhauses gerecht zu werden, und zur Sicherstellung der Behaglichkeit im Bereich der Fenster. Entsprechend [1] ist ein Temperaturfaktor an Baukörperanschlüssen und Paneel- bzw. Glasrandbereich von mindestens

$$f_{Rsi} \geq 0,73$$

einzuhalten. Zu gleich ist aus Gründen der Behaglichkeit am Rahmenprofil ein Temperaturfaktor im Mittel von mindestens

$$f_{Rsi} \geq 0,88$$

nachzuweisen.

### 3 Ergebnisse und Bewertung der wärmetechnischen Untersuchung

Auf der Grundlage der Berechnungsvorgaben zur normativen Bestimmung von Kenngrößen (siehe DIN EN ISO 10211 [14]) wurde mit Hilfe einer 2-dimensionalen Wärmebrückenuntersuchung [23] die Temperaturfaktoren sowie die Wärmedurchgangskoeffizienten unter Berücksichtigung des Baukörperanschluss berechnet.

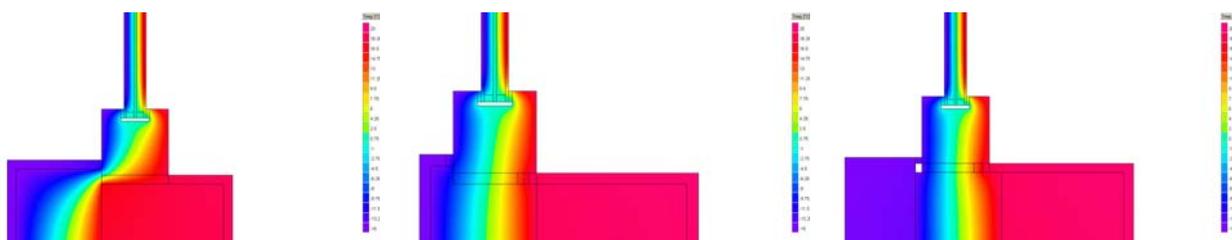


Abbildung 2 Zweidimensionales Temperaturfeld mit Angabe der niedrigsten Temperatur am Baukörperanschluss - Beispiele

Variante: WDVS an fassadenbündigen Fenstern mit System vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband (links)

Variante: WDVS an vorgesetzten Fenstern mit System feuchteadaptives Folienband (mitte)

Variante: Vorsatzschale mit Kerndämmung an vorgesetzten Fenstern mit System Elastische Dichtstoffe (rechts)

Tabelle 2 Exemplarische Wärmedurchgangskoeffizienten unter Berücksichtigung des Baukörperanschlusses

Konstruktionen	Systemanschluss	$\Sigma q_i$ [W/m]	$L_{2D}$ [W/(m·K)]	$\Psi$ [W/(m·K)]	$\Delta U_{WB}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Anforderung
Vorsatzschale mit Kerndämmung an vorgesetzten Fenstern	vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband	22,226	0,6350	0,0020	0,006	erfüllt
	feuchteadaptives Folienband	22,215	0,6347	0,0017	0,005	erfüllt
	Elastische Dichtstoffe	22,291	0,6369	0,0039	0,012	erfüllt
WDVS an vorgesetzten Fenstern	vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband	22,306	0,6373	0,0043	0,013	erfüllt
	feuchteadaptives Folienband	22,294	0,6370	0,0040	0,012	erfüllt
	Elastische Dichtstoffe	22,295	0,6370	0,0040	0,012	erfüllt
WDVS an fassadenbündigen Fenstern	vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband	24,276	0,6936	0,0605	0,180	nicht erfüllt <sup>2</sup>
	feuchteadaptives Folienband	24,284	0,6938	0,0608	0,181	nicht erfüllt <sup>2</sup>
	Elastische Dichtstoffe	24,922	0,7121	0,0791	0,236	nicht erfüllt <sup>2</sup>

Die Berechnungen zeigen, dass die ermittelten Temperaturfaktoren aller Varianten am Bauteilanschluss die Anforderungen an die Passivhaustauglichkeit gemäß ift-Richtlinie, unabhängig der gewählten Wandkonstruktion, erfüllen können. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass die energetische Güte von Bauanschlüssen zwischen Fenster und Außenwand im wesentlichen von der Einbau-Ebene der Fenster abhängig ist.

<sup>2</sup> Der Nachweis wird hier aus konstruktiven Gründen nicht erbracht. Fassadenbündig eingebaute Fenster sind im Allgemeinen nicht passivhaustauglich.

Fassadenbündig eingebaute Fenster verhalten sich thermisch ungünstig, sodass die Anforderungen der ift-Richtlinie WA-15/2 [1] nicht erfüllt werden können. Die Ergebnisse machen deutlich, dass hierfür nicht die untersuchten Systeme der Bauanschlussfugen ursächlich sind. Vielmehr ist dies als ein grundsätzliches Problem zu verstehen, dass bereits hinlänglich bekannt ist. Im Allgemeinen werden Fenster für Passivhäuser halbvorgesetzt oder vorgesetzt eingebaut. Hierbei befinden sich die Fenster innerhalb der Dämmebene, sodass Wärmebrückeneffekte verringert werden können und infolgedessen eine möglichst hohe energetische Güte der Konstruktion gewährleistet werden kann.

Bei Einbausituationen der Fenster in der Lage der Dämmebene, wie im Passivhausbereich allgemein gefordert, erfüllen alle untersuchten Fugenabdichtungssysteme die Anforderungen der ift-Richtlinie WA-15/2 [1].

## **4 Anforderungen und Klassifizierung der Luftdurchlässigkeit**

### **4.1 Allgemein**

Im Allgemeinen sind Bauanschlussfugen von Fenstern Schlagregendicht und Luftdicht herzustellen, um das Eindringen von Feuchtigkeit in die Konstruktion zu verhindern. Hierbei unterliegen die Anschlussfugen aufgrund der temperaturbedingten Längenänderung des Baukörpers und der Fensterprofile stetigen Verformungen. Um die dauerhafte Funktion der Abdichtung zu gewährleisten, werden daher abhängig der Ausführung und Elementlänge unterschiedliche Mindestfugenbreiten definiert. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass die zulässige Gesamtverformung des eingesetzten Dichtstoffes stets größer der Summe der zu erwartenden Fugenbewegungen ist. Allgemeingültige Anforderungen an die Luftdichtheit von Bauanschlussfugen von Fenstern werden jedoch nicht definiert.

### **4.2 Luftdichtheit von Fenstern**

Die Luftdurchlässigkeit von Fenstern und Türen wird gemäß DIN EN 1026 [7] stets an einem vollständigem Element geprüft. Die Prüfung erfolgt hierbei in unterschiedlichen Stufen der Druckdifferenz von 50 Pa bis 600 Pa in einer Prüfkammer. Anschließend werden die Prüfkörper anhand der gemessenen Luftdurchlässigkeit nach DIN EN 12207 [9] bezogen auf die Gesamtfläche [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ] oder die Fugenlänge [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ ] klassifiziert.

Im Zuge der Messungen gemäß DIN EN 1026 [7] werden nur die Luftvolumenströme durch die Elementfugen zwischen Flügel, Blendrahmen und Glasfalz erfasst, Luftvolumenströme durch Bauanschlussfugen bleiben unberücksichtigt. Des Weiteren können die Anforderungen werkseitig hergestellter Bauteile nicht für vor Ort hergestellte Bauteile wie Bauanschlussfugen herangezogen werden. Somit kann die Klassifizierung nach [9] lediglich als Vergleichsgröße für Bauanschlussfugen von Fenstern und Türen dienen.

### **4.3 Luftdichtheit von Außenwandfugen**

Die Anforderungen an Außenwandfugen werden abhängig der gewählten Abdichtung in den Normen

- DIN 18540 [5]: Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen

- DIN 18542 [6]: Abdichten von Außenwandfugen mit imprägnierten Fugendichtungsbändern aus Schaumkunststoff

definiert. Hierbei werden lediglich in DIN 18542 [6] Anforderungen an die Luftdichtheit gestellt. Die Luftdurchlässigkeit wird gemäß DIN EN 12114 [8] mit mindestens sieben Druckstufen und einem maximalen Prüfdruck von 600 Pa ermittelt, wobei die Probenkörper drei Längsfugen mit einer Länge von jeweils 1 m enthalten. Die Klassifizierung erfolgt durch Regression der längenbezogene Fugendurchlässigkeit [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ ] anhand eines Fugendurchlasskoeffizienten [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}(\text{daPa})^n)$ ].

#### 4.4 Rückschlüsse

Die zuvor dargestellten Prüfverfahren zur Klassifizierung der Luftdichtheit lassen keine oder nur geringe Rückschlüsse auf die Luftdurchlässigkeit von Bauanschlussfugen unter baupraktischen Einflüssen zu. Darüber hinaus ist die Dauerhaftigkeit dieser Anschlüsse kein Gestand der definierten Prüfungen. Daher ist es erforderlich zunächst ein mögliches Prüfscenario zu entwickeln und die Systeme entsprechend zu untersuchen.

## 5 Versuchsaufbau

### 5.1 Allgemein

Je Ausführung werden drei Prüfkörper in Anlehnung an DIN 18542 [6] geprüft. Die Probenmuster weichen hierbei in Form und Geometrie von der DIN 18542 [6] ab, wodurch eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den Ergebnissen einer normgerechten Prüfanordnung nach [6] nur eingeschränkt möglich ist. Im vorliegenden Fall beträgt die Probenlänge bspw. lediglich 240 mm, wohingegen die DIN 18542 [6] eine Gesamtprobenlänge von 3000 mm vorgibt. Hierdurch nehmen z.B. die Einflüsse aus dem Randverbund zu, womit die Ergebnisse negativ beeinflusst werden.

Die Muster werden in einem Prüfrahmens eingebaut, konditioniert und in eine Zug- / Dehnungsmaschine (INSTRON 4502; INSTRON Deutschland GmbH) eingespannt. Zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Abdichtung wird mit Hilfe des Prüfgerätes wiederholt eine Verformung aufgebracht. Die Luftdurchlässigkeit wird in einem Luftdurchlässigkeitsprüfer (Luftdurchlässigkeitsprüfer L14; Materialprüfmaschinen Karl Schröder KG) vor und nach den Lastgängen sowie mit minimaler und maximaler Verformung gemessen. Hierzu werden die Undichtigkeiten vor jeder Messung verklebt.

### 5.2 Versuchsrahmen

Die Versuchsrahmen wurden aus Sperrholz hergestellt. Die Rückseite ist hierbei für die Luftdichtheitsmessungen geschlitzt sowie mit Langlöchern versehen. An der Unterseite wurde ein Kalksandstein (DF) mit Dichtkleber eingeklebt. Ein Vollholz wird mit Hilfe von Zylinderkopfschrauben M5 und Flügelmuttern an den Langlöchern der Rückseite des Prüfrahmens befestigt (vgl. Abbildung 3). Der Kalksandstein und das Vollholz stellen hierbei die Fugenflanken dar. Nach Einspannen des Rahmens in der Zug- / Dehnungsmaschine ist es dank der Langlöcher

schließlich möglich der Abdichtung Verformungen aufzubringen. Aufgrund der gewählten Konstruktion mit Langlöchern werden Fugenbreiten von 7...38 mm ermöglicht.

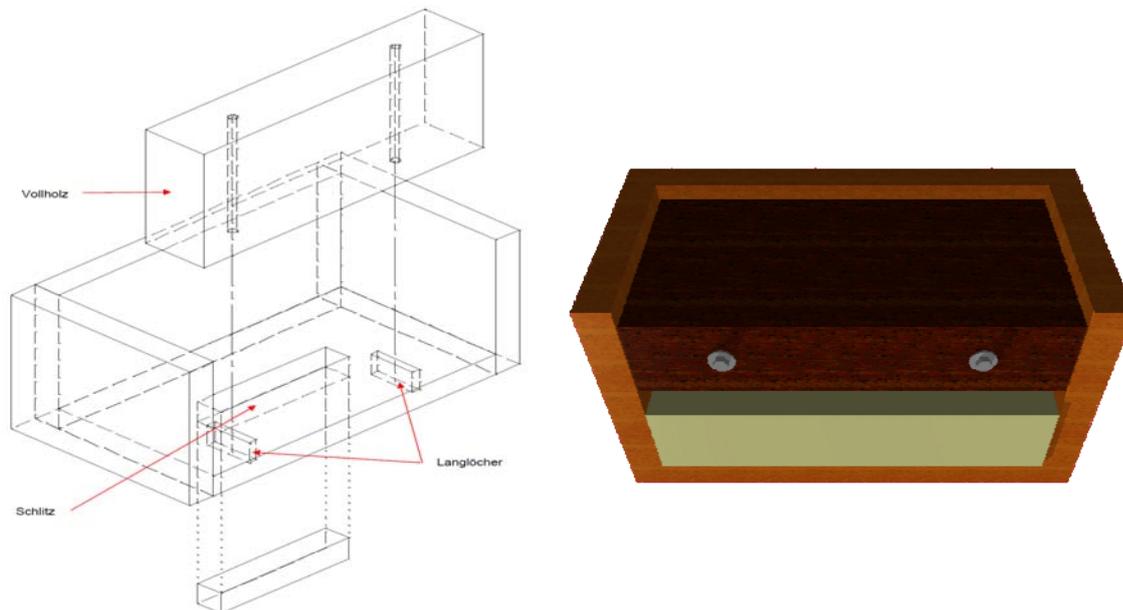


Abbildung 3 Schematische Darstellung (links) und dreidimensionale Darstellung (rechts) des Versuchsrahmens

### 5.3 Prüfbedingungen

#### 5.3.1 Konditionierung

Nach erfolgtem Einbau der Abdichtung in die Prüfraumen werden die Prüfkörper 14 Tage unter Laborbedingungen konditioniert. Die Raumlufttemperatur beträgt hierbei  $23\text{ °C} \pm 1\text{ K}$  und die relative Luftfeuchte  $50\% \text{ r.F.} \pm 3\%$ .

#### 5.3.2 Druckdifferenzen

Gemäß DIN 18542 [6] und DIN EN 12114 [8] sind zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit die Druckdifferenzen stufenweise zu erhöhen. Die maximale Druckdifferenz wird in Anlehnung an DIN 18542 auf 600 Pa festgelegt. Die Messung erfolgte schließlich in den in Druckstufen 100 Pa, 125 Pa, 175 Pa, 250 Pa, 325 Pa, 400 Pa, 500 Pa, 600 Pa.

#### 5.3.3 Fugenbreite

Als Ausgangsfugenbreite wurde eine Fugenbreite von 15 mm gewählt. Nach Definition der Mindestfugenbreite in [5], [6], [18], [19] ist dies bei Verwendung von Dichtstoffen zur Abdichtung der Anschlussfugen für Fensterprofile aus PVC-U und einer Elementlänge bis 2,50 m zulässig.

### 5.3.4 Verformung

Die auf die Bauanschlussfuge wirkenden Verformungen sind

- Temperaturdehnung des Fensterprofils
- Temperaturdehnungen der Baustoffe
- Quell- und Schwinddehnung des Fensterprofils
- Quell- und Schwinddehnungen der Baustoffe
- Durchbiegung der Bauteile.

In [20] wurden die auf den Anschluss der Fenster wirkenden Verformungen ausführlich dargestellt und untersucht. Es zeigte sich, dass die Verformungen infolge Quellen und Schwinds als vernachlässigbar gering eingestuft werden können. So werden die Fugenbewegungen maßgeblich von den auftretenden Temperaturdifferenzen beeinflusst. Nach [20] beträgt die Summe der Fugenbewegungen daher

$$\Delta b = \frac{2}{3} \cdot l_F \cdot \Delta T \cdot (\alpha_{TF} - \alpha_{TB}) + f$$

mit  $\Delta b$  : Summe aller Fugenbewegungen

$l_F$  : Fensterprofillänge

$\Delta T$  : größte Temperaturdifferenz zwischen Einbau und extremer Fensterprofiltemperatur

$\alpha_{TF}$  : Wärmedehnzahl des Fensterprofils

$\alpha_{TB}$  : Wärmedehnzahl des Baukörpers

$f$  : Durchbiegung von Trägern oder Decken im Bereich von Fenstern

Unterschiedliche Wärmedehnzahlen für Fensterprofile und Baukörper können Tabelle 5 entnommen werden. Demnach weist Polyvinylchlorid (PVC) mit 0,07 mm/(m·K) die größte Temperaturdehnung auf. Hieraus ergibt sich nach [20] für ein Standardfenster mit einer Profillänge von 2,18 m eine maximale Fugenbewegung  $\Delta b = 4,3...6,5$  mm.

Tabelle 3 Wärmedehnzahlen von Bau- und Fensterwerkstoffen

Baustoff	Wärmedehnzahl [mm/(m·K)]	Quelle	Fensterwerkstoff	Wärmedehnzahl [mm/(m·K)]	Quelle
Mauerziegel	0,006	[20]	Aluminium	0,023...0,024	[21]
Kalksandstein	0,009	[20]	Holz	0,003...0,005	[21]

Bimsbetonstein	0,011	[20]	PVC-U	0,070	[20]
Gasbetonstein	0,008	[20]			
Stahlbeton	0,011	[20]			

Die Untersuchungen in [20] stammen jedoch bereits aus 1977, sodass in einer Reihe von Veröffentlichung die Anwendung auf moderne Fensterrahmenprofile angezweifelt werden kann. Hauptargument der Kritiker ist hierbei die energetische Qualität heutiger Fensterprofile. Infolge der geringeren Wärmeleitung der Fensterprofile hat sich das wärmetechnische Verhalten der Profile maßgeblich verändert wodurch sich die Mitteltemperatur entsprechend [20] anders darstellt.

Daher wurden eigene Berechnungen mit dem Programmsystem WUFI [24] durchgeführt. Hierbei wurde ein Sechs-Kammern-Profil aus Polyvinylchlorid stark vereinfacht abgebildet und die Absorption der kurzwelligigen Strahlung ( $\alpha_s = 0,2; 0,4; 0,6$ ) variiert. Für das Außenklima wurde das mittlere Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes TRY3 mit der Referenzstation Hannover-Langenhagen aus dem Jahr 2004 gewählt. Extremwetterereignisse bleiben hierbei unberücksichtigt. Das Innenklima wurde anhand einer Sinusfunktion mit einer Jahresmitteltemperatur von 21 °C, einer Temperaturamplitude von 1 K und dem wärmsten Tag am 03.06. abgebildet.

Ziel der durchgeführten Berechnungen war die Ermittlung der äußeren und inneren Oberflächentemperaturen im Verlauf eines Jahres zur Bestimmung der mittleren Profiltemperatur und deren Schwankungen. Anhand der mittleren Profiltemperatur wurden schließlich die Wärmedehnungen ermittelt. Es ergibt sich für ein Fensterrahmenprofil mit einer Wärmedehnzahl von 0,07 mm/(m·K), einer Elementlänge von 2,50 m und einer dunklen Oberfläche ( $\alpha_s = 0,6$ ) eine mittlere Verformung von 5,8 mm. Demzufolge ergibt sich eine mittlere Fugenbewegung von 2,9 mm.

Für den Versuchsaufbau wurde eine Fugenbewegung von 3,0 mm gewählt.

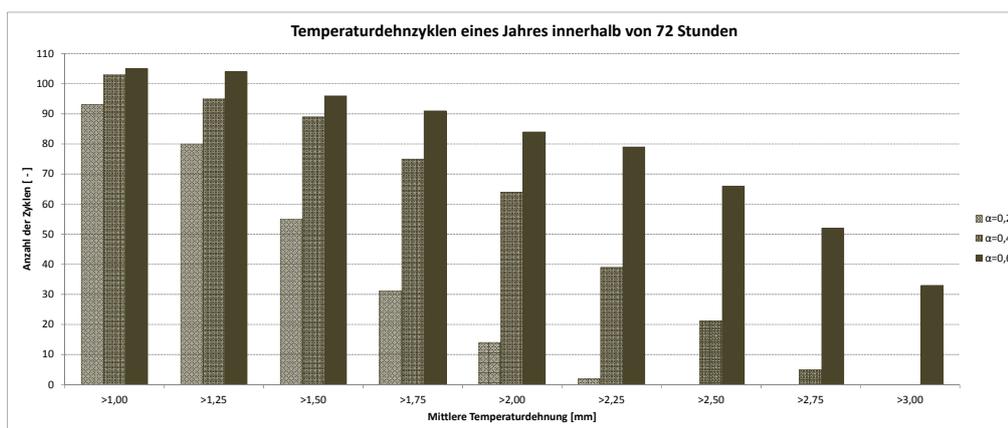


Abbildung 4 Ermittelte Temperaturdehnzyklen eine Jahres

### 5.3.5 Anzahl der Lastgänge

Wie in Abschnitt 5.1 erläutert soll zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit die Verformung wiederholt aufgebracht werden. Daher wurden die Berechnungsergebnisse der mittleren Profiltemperatur (vgl. Abschnitt 5.3.4) bezüglich der auftretenden Temperaturdehnzyklen analysiert. Eine Übersicht der Ergebnisse kann Abbildung 4 entnommen werden. Für den Versuchsaufbau wurde die Lastgänge der Verformung für den Messzyklus 1 zu 100 Lastgängen, für den Messzyklus 2 zu 100 Lastgängen und für den Messzyklus 3 zu 300 Lastgängen gewählt. Hieraus ergeben sich in der Summe 500 Lastgänge, denen jede Probe ausgesetzt wird.

## 6 Ergebnisse und Bewertung der Luftdurchlässigkeit

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt anhand der ermittelten Fugendurchlasskoeffizienten in Anlehnung an DIN 18542 [6]. Der Fugendurchlasskoeffizienten wird für jeden Messzyklus bei **Ausgangsfugenbreite** (15 mm) und **mit aufgebrachter Verformung** (18 mm) ermittelt. Die Probenmuster weichen hierbei in Form und Geometrie von der DIN 18542 [6] ab, wodurch eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den Ergebnissen einer normgerechten Prüfanordnung nach DIN 18542 [6] nur eingeschränkt möglich ist. Im vorliegenden Fall beträgt die Probenlänge lediglich 240 mm, wohingegen die DIN 18542 [6] eine Gesamtprobenlänge von 3000 mm vorgibt. Hierdurch nehmen z.B. die Einflüsse aus dem Randverbund zu, womit die Ergebnisse negativ beeinflusst werden können.

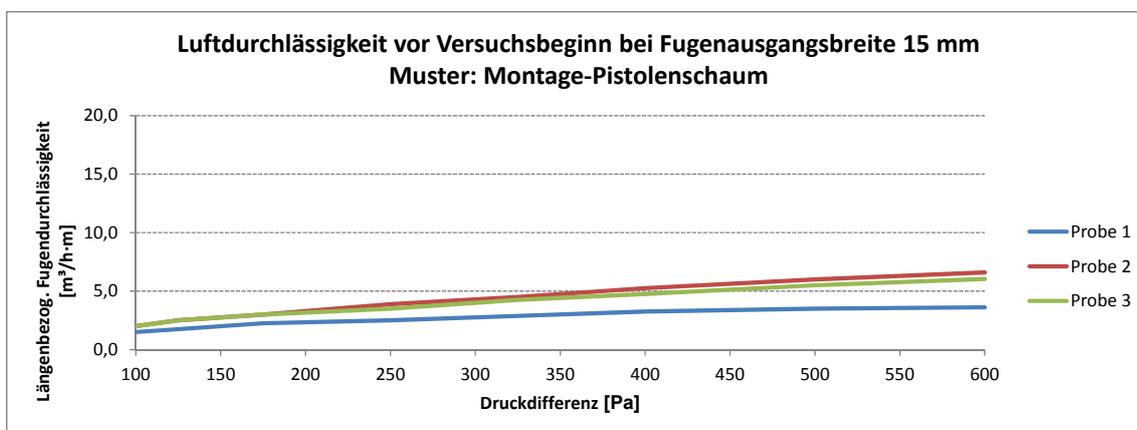


Abbildung 5 Luftdurchlässigkeit bei Ausgangsfugenbreite **bei Beginn** am Beispiel PU basierten Volumen Kleber

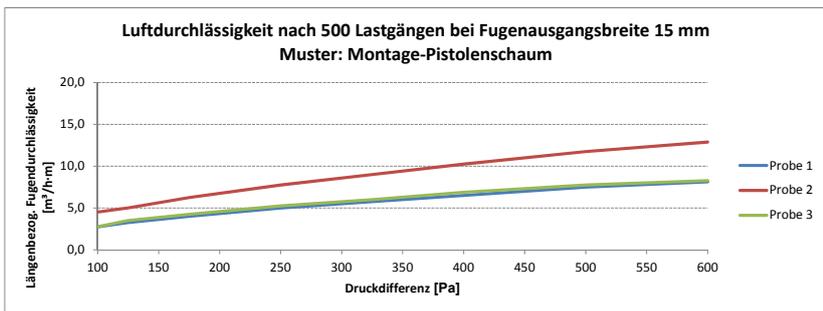


Abbildung 6 Luftdurchlässigkeit bei Ausgangsfugenbreite **nach 500 Lastgängen** am Beispiel PU basierten Volumen Kleber

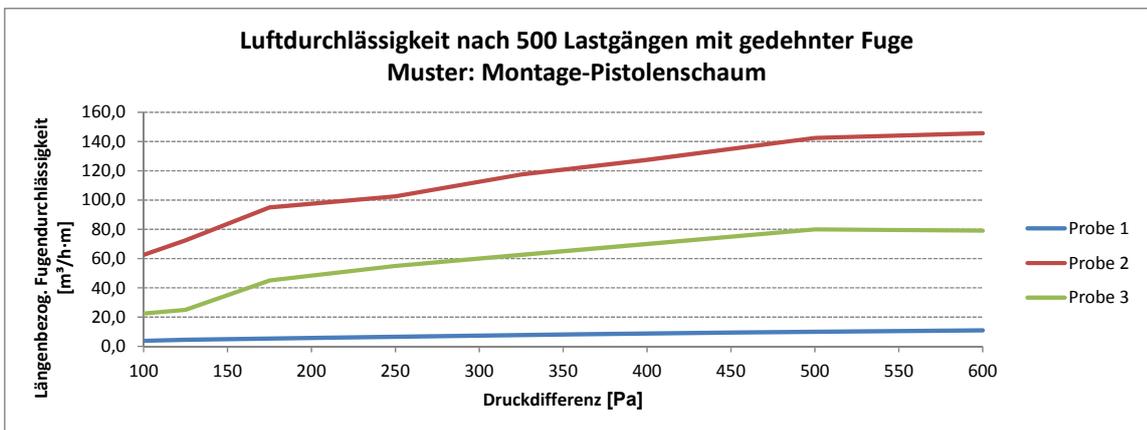


Abbildung 7 Luftdurchlässigkeit nach aufgebrachtener Verformung der Fuge **nach 500 Lastgängen** am Beispiel PU basierten Volumen Kleber

Tabelle 4 Ermittelte Fugendurchlasskoeffizient bei Ausgangsfugenbreite

Ausführung	Fugendurchlasskoeffizienten [m³/(h·m(daPa) <sup>n</sup> )]			
	vor Beginn	1. Messzyklus	2. Messzyklus	3. Messzyklus
PU basierten Volumen Kleber	0,12	0,13	0,14	0,20
Vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband	0,06	0,12	0,12	0,05
Vorkomprimiertes Dichtband	0,16	0,21	0,18	0,20
Diffusionsoffenes Folienband	0,03	0,03	0,03	0,04

Tabelle 5 Ermittelte Fugendurchlasskoeffizient nach aufgebrachter Verformung

Ausführung	Fugendurchlasskoeffizienten [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}(\text{daPa})^n)$ ]		
	1. Messzyklus	2. Messzyklus	3. Messzyklus
PU basierten Volumen Kleber	1,19	1,78	2,07
Vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband	0,16	0,13	0,11
Vorkomprimiertes Dichtband	0,16	0,11	0,10
Diffusionsoffenes Folienband	0,03	0,03	0,04

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anforderungen der DIN 18542 [6] an die Luftdichtheit unabhängig der Ausführung für alle Systeme, mit Ausnahme der PU basierten Volumen Kleber, erfüllt werden können.

Die Ausführung „PU basierten Volumen Kleber“ weicht deutlich von den übrigen Messergebnissen ab. Die Anforderungen an die Luftdichtheit nach [6] können hier lediglich bei der gewählten Ausgangsfugenbreite (15 mm) erfüllt werden. Mit aufgebrachter Verformung hingegen wird die Luftdurchlässigkeit erheblich erhöht, sodass die Anforderungen der genannten Normung nicht erfüllt werden können. Der Luftvolumenstrom durch die Fuge beträgt hier 517...5933% der übrigen Ausführungen. Daher ist bei Verwendung des „PU basierten Volumen Kleber“ für Bauanschlussfugen an Fenstern mit einem erhöhten Eintrag von Feuchtigkeit in die Konstruktion infolge Konvektion zurechnen. Darüber hinaus ist aus energetischer Sicht mit einer Zunahme der Wärmeverluste durch die Bauanschlussfuge zu rechnen.

Die Quantifizierung der im System anfallenden, ggf. eingetragenen Wassermengen sowie die Beurteilung des hieraus geänderten Feuchteverhaltens der Konstruktion wird im Rahmen eines weiteren Forschungsauftrages geführt (Teil 2: Thermisch-hygrische Bauteilsimulation).

## 7 Zusammenfassung

Im Hinblick auf die energetische Optimierung von Gebäudehüllen zur Erlangung eines Passivhaus-, Nullenergiehaus- oder Plusenergiehaus-Standards werden die Bauteile zumeist lediglich im Bereich von Bauteilanschlüssen wärmetechnisch untersucht und verbessert. Mit zunehmender Reduzierung der Transmissionswärmeverluste und Lüftungswärmeverlust über unkontrollierte Lüftung nimmt jedoch die Relevanz von Lüftungswärmeverlusten über Gebäudeundichtigkeiten zu. Einerseits führen die unkontrollierten Luftströmungen zu einem direkten energetischen Verlust und andererseits kann die infolge Luftkonvektion in den Bereichen von Bauanschlussfugen eingetragene Feuchtigkeit die Dauerhaftigkeit der Konstruktion negativ beeinflussen.

Zur Bewertung der Dauerhaftigkeit der Abdichtungssysteme müssen darüber hinaus baupraktische Einflüsse berücksichtigt werden. So unterliegen Bauanschlussfugen, beispielsweise aufgrund von Temperaturwechseln, einer stetigen Verformung, welche die Dichtigkeit der Systeme beeinflussen kann. Den Auswirkungen der anzu-

treffenden Verformungen sollte daher zukünftig im Zuge der Planung Sorge getragen werden, um die energetische Qualität zum Beispiel eines Passivhauses langfristig gewährleisten zu können.

Im Zuge der vorliegenden Untersuchung wurde daher die Dauerhaftigkeit von Fensteranschlussfugen und ihren Abdichtungssystemen geprüft und bewertet. Aufgrund mangelnder normativer Bestimmungen war es hierfür notwendig zunächst ein Prüfverfahren zu entwickeln. Die hergestellten Prüflinge werden dabei in mehreren Messzyklen einer definierten Verformung unterzogen um die baupraktische Belastung der Bauanschlussfugen imitieren zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Dauerhaftigkeit von Bauanschlussfuge von Fenstern mit markgängigen Systemen zumeist gewährleistet werden kann. Einzig die Variante „PU basierter Volumenkleber“ weicht Aufbringung der Belastung hiervon ab. Für eine dauerhafte Funktionstüchtigkeit ist daher zu empfehlen, dass Polyurethan basierte Systeme im Bereich von Bauanschlussfugen raumseitig grundsätzlich beispielsweise durch diffusionsoffene Dichtungsbänder ergänzt werden.

## 8 Literatur

- [1] Ift-Richtlinie WA-15/2: Passivhaustauglichkeit von Fenstern, Außentüren und Fassaden; ift Rosenheim (Ausgabe 02/2011)
- [2] Ift-Richtlinie FE-05/2: Einsatzempfehlung für Fenster und Außentüren; ift Rosenheim (Ausgabe 08/2005)
- [3] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (Ausgabe 07/2003)
- [4] DIN 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchtetechnische Bemessungswerte (Ausgabe 06/2007)
- [5] DIN 18540: Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen (Ausgabe 12/2006)
- [6] DIN 18542: Abdichten von Außenwandfugen mit imprägnierten Fugendichtungsbändern aus Schaumkunststoff – Imprägnierte Fugendichtungsbänder – Anforderungen und Prüfung (Ausgabe 07/2009)
- [7] DIN EN 1026: Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Prüfverfahren (Ausgabe 09/2000)
- [8] DIN EN 12114: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Luftdurchlässigkeit von Bauteilen – Laborprüfverfahren (Ausgabe 04/2000)
- [9] DIN EN 12207: Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung (Ausgabe 06/2000)
- [10] DIN EN 15651: Fugendichtstoffe für nicht tragende Anwendungen in Gebäuden und Fußgängerwegen; Teil 1: Fugendichtstoffe für Fassadenelemente (Ausgabe 12/2012)
- [11] DIN EN ISO 10456: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte (Ausgabe 05/2010)
- [12] DIN EN ISO 6946: Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (Ausgabe 10/2003)
- [13] DIN EN ISO 14683: Wärmebrücken im Hochbau – Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient – Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte (Ausgabe 04/2008)
- [14] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen (Ausgabe 04/2008)
- [15] DIN EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Anschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten: Teil 1: Allgemeines (Ausgabe 05/2010)

- [16] DIN EN ISO 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Anschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten: Teil 2: Numerische Verfahren für Rahmen (Ausgabe 12/2003)
- [17] DIN EN ISO 10077-2 Entwurf: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Anschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten: Teil 2: Numerische Verfahren für Rahmen (Ausgabe 07/2009)
- [18] IVD-Merkblatt Nr. 9: Spritzbare Dichtstoffe in der Anschlussfuge für Fenster und Außentüren – Grundlagen für die Ausführung (Ausgabe 08/2012)
- [19] Leitfaden zur Montage von Fenstern und Außentüren; Gütegemeinschaft Fenster und Haustüren (Ausgabe 03/2010)
- [20] Anschluss der Fenster zum Baukörper – Untersuchung der verschiedenen Möglichkeiten des Anschlusses der Fensterelemente zum Baukörper; ift Rosenheim (Ausgabe 02/1977)
- [21] Wendehorst Baustoffkunde: Grundlagen – Baustoffe – Oberflächenschutz; Vieweg + Teubner Verlag; 27. Auflage (2011)
- [22] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) von 2007 mit Änderungen 2009
- [23] HEAT2, Version 7.0  
Computerprogramm zur Berechnung der zweidimensionalen Wärmeübertragung in Bauteilen, T. Blomberg, Universität Lund Schweden (08/2006)
- [24] WUFI 4.2: Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen; IBP Fraunhofer Institut für Bauphysik