

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

### **Teil 2: Hygrothermische Bauteilsimulation**

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 2: Hygrothermic simulation of building components.** 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 energetic quality of window connections on the one hand and the durability of marketable systems on the other hand.

## **1 Einleitung**

Im ersten Teil der vorliegenden Untersuchung wurden marktgängige Abdichtungssysteme für Bauanschlussfugen Fenster / Wand thermisch Bewertet sowie die Luftdichtigkeit unter baupraktischen Einflüssen untersucht. Aufgrund fehlender Festlegungen innerhalb der entsprechenden Normung wurde hierzu ein Prüfverfahren entwickelt. Um die infolge Temperaturwechsel hervorgerufenen Bewegungen der Bauanschlussfuge nachbilden zu können wurden die Prüflinge in mehreren Messzyklen mit einer zuvor definierten Verformung belastet. Im Anschluss hieran wurde die Luftdurchlässigkeit der Anschlussfugen in Anlehnung an gültige Normung geprüft.

Im Vordergrund der Untersuchung stand dabei die Bewertung der Dauerhaftigkeit der Abdichtungssysteme, um die energetische Qualität der Gebäudehülle auch langfristig gewährleisten zu können. Es zeigte sich, dass marktgängige Systeme weitestgehend als dauerhaft bezeichnet werden können. Einzig Systeme auf Basis von Polyurethan wichen hiervon ab. Nach Aufbringung mehrerer Lastzyklen wurde hier die Luftdichtheit deutlich beeinträchtigt. Um die dauerhafte Funktionstüchtigkeit derartiger Abdichtungssysteme gewährleisten zu können, wurde daher empfohlen die Systeme raumseitig stets durch diffusionsoffene Dichtung, wie beispielsweise Folienbändern, zu ergänzen.

Für eine abschließende Bewertung der Dauerhaftigkeit der Konstruktion wurden nachfolgend hygrothermische Berechnungen mit dem Programmsystem WUFI [12] durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse geben so Aufschluss über das hygri- und thermische Verhalten der eingesetzten Materialien, sodass die Gefährdung durch klimabedingte Feuchtigkeit analysiert werden kann.

## 2 Hygrothermische Bauteilsimulationen

### 2.1 Allgemeine Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Der klimabedingte Feuchteschutz soll verhindern, dass unter Einwirkung des Außen- und Innenklimas in der Konstruktion Feuchteschäden auftreten.

Im Gegensatz zur rein stationären, diffusionstechnischen Berechnung eines Bauteils nach DIN 4108-3 [3] können mit dem thermischen und hygri- und thermischen Simulationsprogramm WUFI der Fraunhofer Gesellschaft -Institut für Bauphysik- auch instationäre, sorptive und kapillarleitende Prozesse berücksichtigt werden.

Hierdurch ist es möglich, das Bauteil in bauphysikalischer Sicht genauer zu erfassen und Feuchteprozesse auch visuell durch eine Filmdarstellung nachzuvollziehen.

Als Randbedingungen der Berechnung werden hierbei die meteorologischen Daten wie Temperatur, Strahlung, Regen/Schlagregen, relative Luftfeuchte nach eigenen Angaben oder nach Testreferenzjahren auf das Bauteil bezogen.

Die Raumklimadaten, Temperatur und relative Feuchte, werden auf das Bauteil aufgebracht und die Feuchteentwicklung im Bauteil während einer oder mehrerer Jahresperioden dargestellt.

Bei der Berechnung des Wärmetransports berücksichtigt WUFI [12] folgende Transportmechanismen:

- Wärmeleitung
- Enthalpieströme durch Dampfdiffusion mit Phasenwechsel,
- kurzwellige Sonnenstrahlung,
- langwellige nächtliche Abstrahlung (nur bei TRY-Klimadaten).

Bei der Berechnung des Dampftransports berücksichtigt WUFI folgende Transportmechanismen:

- Dampfdiffusion
- Oberflächendiffusion
- Lösungsdiffusion.

Bei der Berechnung des Flüssigtransports berücksichtigt WUFI folgende Transportmechanismen:

- Kapillarleitung,
- Oberflächendiffusion.

Die durch Schwerkraft bedingten Sickerströmungen, hydraulische Strömungen aufgrund von Gesamtdruckunterschieden, elektrokinetische und osmotische Effekte sowie die durch Luftströmung verursachten konvektiven Dampftransporte werden nicht erfasst.

Der konvektive Wärme- und Wasserdampftransport durch Luftströmungen kann durch Definition von Feuchte- bzw. Wärmequellen vereinfacht berücksichtigt werden. Hierbei besteht die Schwierigkeit die eingetragene Wärme- oder Wasserdampfmenge dynamisch für jeden Zeitschritt der Simulation zu bestimmen.

## 2.2 Berechnungsmodell

### 2.2.1 Meteorologische Daten

Die Berechnungen im Jahresverlauf erfolgen auf der Grundlage eines so genannten Testreferenzjahres [11]. Testreferenzjahre (TRY) sind Datensätze ausgewählter meteorologischer Elemente für jede Stunde eines Jahres und beinhalten basierend auf einer 30jährigen Langzeitstatistik (1988 bis 2007) die typischen jahreszeitlichen Witterungsverläufe einer bestimmten Region. Im vorliegenden Fall wird das Testreferenzjahr 10 der Klimaregion „südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m“ mit der Repräsentanzstation Hof verwendet.

### 2.2.2 Innenklima

Das Innenklima wurde vereinfacht mittels einer Sinuskurve gemäß [6] beschrieben, wobei eine normale Feuchtebelastung angesetzt wurde.

Tabelle 1 Innenklima – sinusförmiger Verlauf

Parameter	Temperatur [C°]	relative Feuchte [%]
Mittelwert	21	50
Amplitude	1	10
Min / Max	20 / 22	60 / 40
Zeitpunkt des Maximums	03.06.	16.08.

### 2.2.3 Wärme- und Feuchtequellen

Die in die Bauteilanschlussfuge eingebrachte Feuchte- bzw. Wärmemenge ist im wesentlichen von der Luftdurchlässigkeit bzw. Undichtigkeiten der Konstruktion sowie dem Druckunterschied von innen nach außen abhängig. Entsprechend [8] ergibt sich der Luftvolumenstrom  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] zu

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p} \quad (1)$$

mit  $C_d$  : Widerstandsbeiwert [ - ]

$A$  : Durchlässigkeitsfläche [m<sup>2</sup>]

$\rho$  : mittlere Rohdichte der Luft [kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta p$  : Druckdifferenz von innen nach außen [Pa]

Auf Grundlage der ermittelten Werte nach [1] ist es möglich die äquivalente Durchlässigkeitsfläche  $A_L$  [m<sup>2</sup>] nach DIN EN 12114 [4] zu ermitteln. Hierbei stellt die äquivalente Durchlässigkeitsfläche die Fläche einer scharfkantigen Öffnung mit einem Widerstandsbeiwert von 1,0 bei dem gemessenen Prüfdruck dar. Die äquivalente Durchlässigkeitsfläche  $A_L$  wird somit der Durchlässigkeitsfläche  $A$  in Formel (1) gleichgesetzt und ein Widerstandsbeiwert  $C_d$  von 1,0 angesetzt. Hierbei ist die Durchlässigkeitsfläche abhängig der vorherrschenden Druckdifferenz nach Formel (2) zu ermitteln.

$$A_L = C \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2}} \cdot \Delta p^{(n-0,5)} \tag{2}$$

mit  $C$  : Luftvolumenstromkoeffizient [m<sup>3</sup>/(s·Pa<sup>n</sup>)]

$n$  : Leckageexponent [ - ]

Dabei werden der Luftvolumenstromkoeffizient und der Leckageexponent nach [4] anhand linearer Regression aus den Messwerten abgeleitet.

Für die hier durchgeführten Simulationsrechnungen wurden die Messwerte gemäß [1] nach 100 Lastgängen gewählt. Dies liegt darin begründet, dass die Dichtigkeit der Systeme mit Vorkomprimierten Dichtbändern nach dem „Sicher-Seite-Prinzip“ einerseits (die genannten Systeme weisen bei 100 Lastgängen die höchste Luftdurchlässigkeit auf), das Aufreißen des Polyurethan basierten Volumenklebers andererseits nicht überbewertet wird. Die äquivalente Durchlässigkeitsfläche aller Systeme bei einer Druckdifferenz von 10 Pa ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Äquivalente Durchlässigkeitsfläche nach 100 Lastgängen

System	Äquivalente Durchlässigkeitsfläche bei 10 Pa gemäß [4]	
	Fugenbreite 15 mm	Fugenbreite 18 mm
1	0,0860	0,8091
2	0,1029	0,1576
3	0,1435	0,1064
4	0,0193	0,0202

Des Weiteren wird das Dehnungsverhalten des Fensterrahmenprofils vereinfacht anhand der Messwerte für die Fugenausgangsbreite (15 mm) und die Fugenbreite nach Dehnung (18 mm) abgebildet. Hierbei wird die äquivalente Durchlässigkeitsfläche bei der Ermittlung der Luftvolumenströme nach Formel (1) abhängig der Monatsmitteltemperatur variiert. Innerhalb der drei wärmsten Monate wird demnach die äquivalente Durchlässigkeitsfläche entsprechend der Fugenausgangsbreite von 15 mm und innerhalb der drei kältesten Monate die äquivalente Durchlässigkeitsfläche bei einer Fugenbreite von 18 mm angesetzt. Die übrige Zeit des Jahres wird ein Mittelwert der Durchlässigkeitsflächen herangezogen.

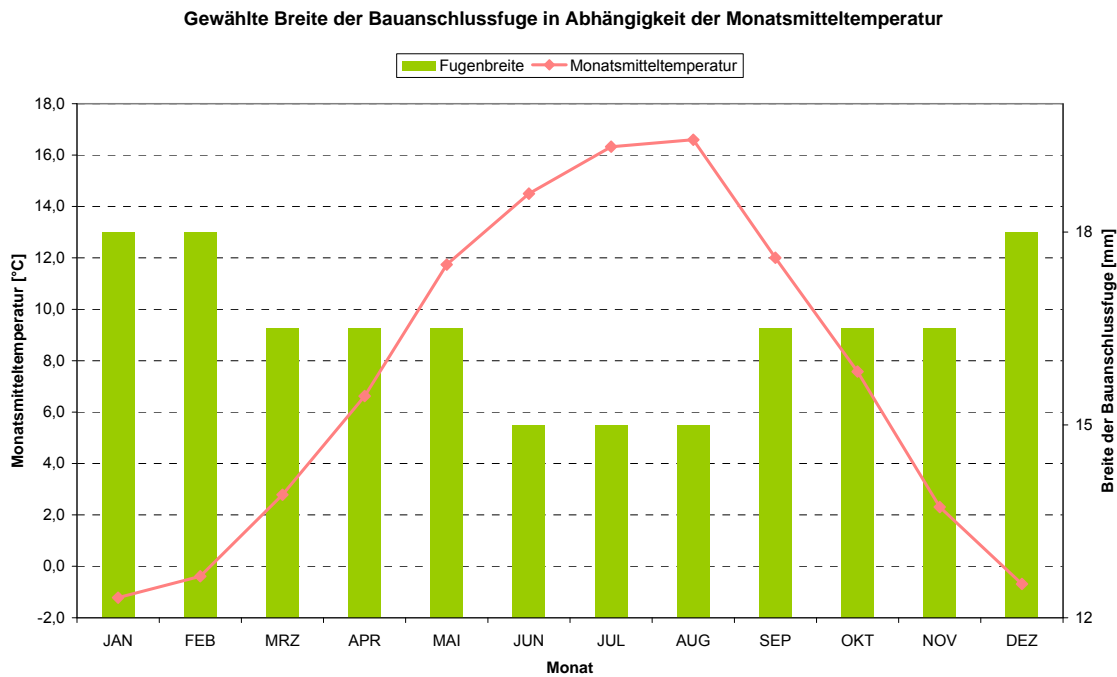


Abbildung 1 Darstellung der gewählten Fugenbreite in Abhängigkeit der Temperatur

Bei der in Formel (1) dargestellten Druckdifferenz handelt es sich um die Summe der Druckdifferenzen aus Temperaturunterschieden, Winddruck und erzwungener Druckunterschiede. Der bedingt durch den Temperaturunterschied von innen nach außen vorhandene Dichteunterschied der Luft, hat einen Druckunterschied zur Folge. Gemäß [8] kann der Druckunterschied nach folgender Formel ermittelt werden:

$$p_s = -\rho_0 \cdot g \cdot 273,15 \cdot \Delta h \cdot \left( \frac{1}{\Theta_e} - \frac{1}{\Theta_i} \right) \quad (3)$$

mit  $\rho_0$  : Dichte der Luft bei 273,15 K = 1,2920 kg/m<sup>3</sup>

$g$  : Erdbeschleunigung = 9,80665 m/s<sup>2</sup>

$\Delta h$  : Höhendifferenz der Ein- und Ausströmöffnung [m]

$\Theta_e$  : Lufttemperatur außen [°C]

$\Theta_i$  : Lufttemperatur innen [°C]

Dahingegen wird der durch Windereignisse induzierte Druckunterschied nach [8] entsprechend Formel (4) ermittelt. Hierbei ist zu beachten, dass abhängig der Anströmverhältnisse der Fassade lokal entweder Winddruck oder -sog anzutreffen ist.

$$p_w = \frac{\rho}{2} \cdot c_p \cdot v^2 \quad (4)$$

mit  $c_p$  : Winddruckbeiwert [ - ]

$v$  : Windgeschwindigkeit [m/s]

Die exakte Bestimmung der Winddruckbeiwerte, mittels Strömungssimulation oder Untersuchung des Modells in Windkanälen, ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Es stehen jedoch Näherungslösungen zur Verfügung, die entweder auf vereinfachten Rechenverfahren oder Tabellenwerten beruhen. Die Winddruckbeiwerte werden im vorliegenden Fall den Tabellen aus [10] entnommen. Hierbei ist der Winddruckbeiwert von der Anströmrichtung abhängig und reicht für ein freistehendes und annähernd quadratisches Gebäude mit geringer Höhe von -0,5 bis 0,7 [ - ].

Erzwungene Druckdifferenzen wie sie infolge der Nutzung von raumluftechnische Anlagen entstehen werden hier nicht erfasst.

Dies ermöglicht, abhängig der vorherrschenden klimatischen Verhältnisse, für jeden Zeitschritt der Simulation den induzierten Luftvolumenstrom in die Bauanschlussfuge zu ermitteln. In WUFI [12] werden die Luftvolumenströme schließlich vereinfacht als Luftwechselquelle angenommen. Hierzu sind die ermittelten Volumenströme mit Hilfe des Volumens der Bauanschlussfuge umzurechnen.

### 2.3 Varianten

Es werden im vorliegenden Fall vier marktübliche Ausführungen der Bauanschlussfuge Fenster/Wand untersucht. Nachfolgend werden die vier gewählten Systeme kurz erläutert.

#### **System 1:** PU basierten Volumenkleber ohne zusätzliche Verklebung

Die Bauanschlussfuge wird mit auf Polyurethan basierenden Volumenkleber ausgeschäumt. Entsprechend der Herstellerangaben sind keine weiteren Maßnahmen zum Schutz der Bauanschlussfuge notwendig.

#### **System 2:** PU basierten Volumenkleber mit diffusionsoffenem Folienband

Die Bauanschlussfuge wird mit einem PU basierten Volumenkleber ausgeschäumt und anschließend außen- und raumseitig mit einem diffusionsoffenen Folienband verklebt. Somit ist die Luftdurchlässigkeit des Folienbandes für den eingetragenen Luftvolumenstrom maßgeblich.

#### **System 3:** Vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband

Die Bauanschlussfuge wird einzig durch feuchteadaptive und vorkomprimierte Dichtband abgedichtet. Weitere Verklebung mit Folienbändern ist entsprechend der Herstellerangaben nicht vorgesehen.

#### **System 4:** Vorkomprimiertes Dichtband + Diffusionsoffenes Folienband

Die Bauanschlussfuge wird außenseitig mit Hilfe eines vorkomprimierten Dichtbandes und raumseitig mit dem diffusionsoffenen Folienbandes abgedichtet. Aus wärmetechnischen Gründen wird der sich zwischen den Abdichtungsebenen bildende Hohlraum mit einem mineralischen Dämmstoff WLG035 ausge-

füllt. Abhängig der vorherrschenden Druckverhältnisse ist entweder das Fugendichtungsband oder das Folienband für den eingetragenen Luftvolumenstrom maßgeblich.

### 3 Ergebnisse

Das Auswertungskriterium der hygrothermischen Simulationsrechnungen ist der Feuchtigkeitsgehalt in der Bauanschlussfuge. Hierbei wird der volumenbezogene Feuchtigkeitsgehalt in Volumen-% angegeben, da die divergierenden Trockenrohdichten der eingesetzten Materialien eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse in Masse-% erschweren würden. Im Zuge der Auswertung der Berechnungsergebnisse wird die Fugenbreite vereinfacht als konstant angesetzt.

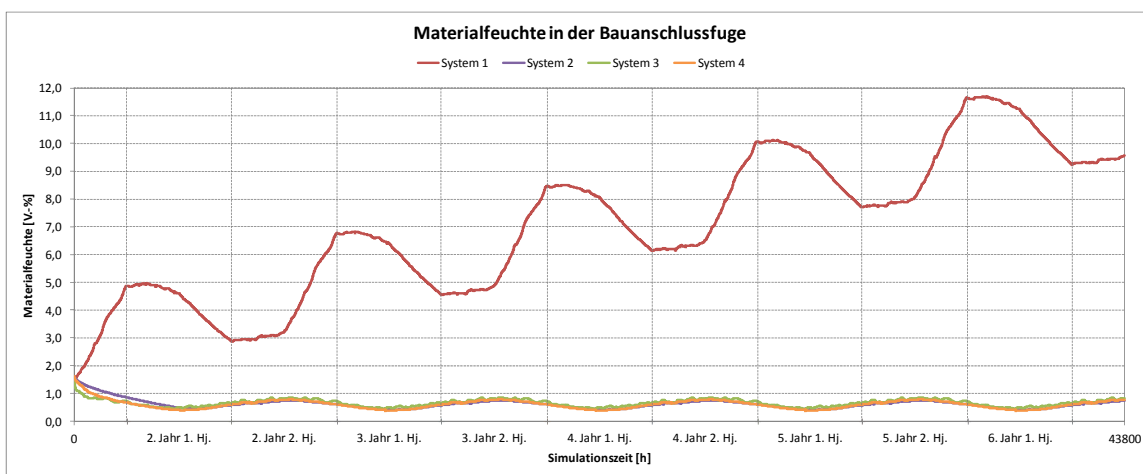
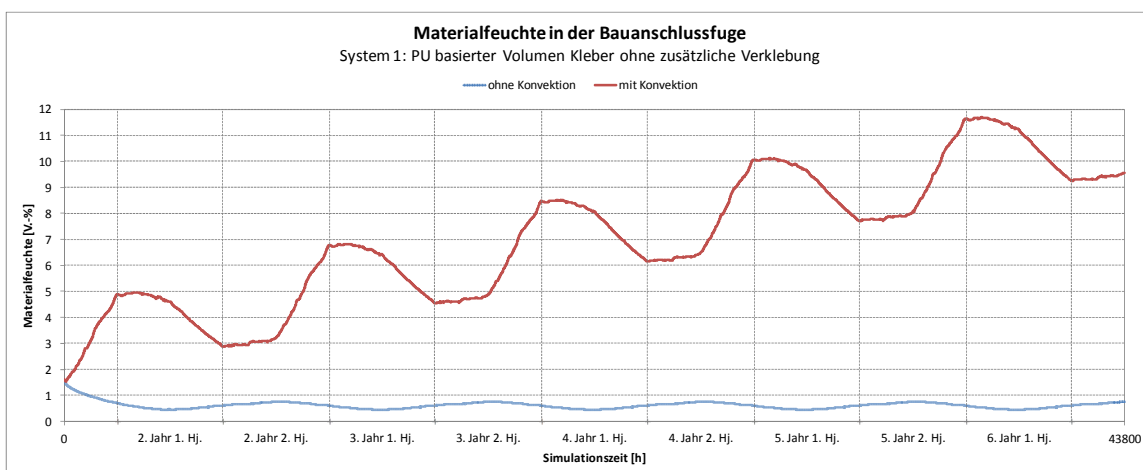


Abbildung 2 Volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt aller Systeme über die Simulationszeit 5 Jahre



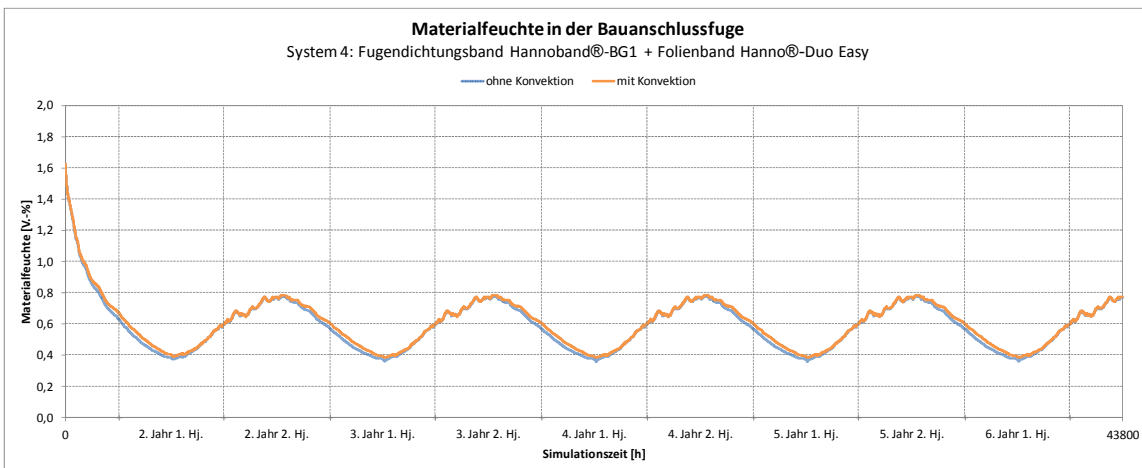
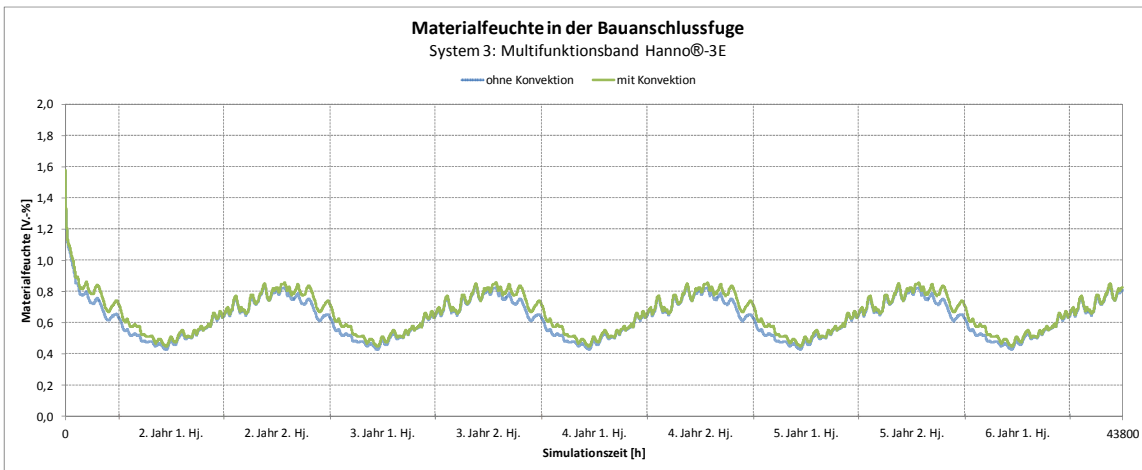
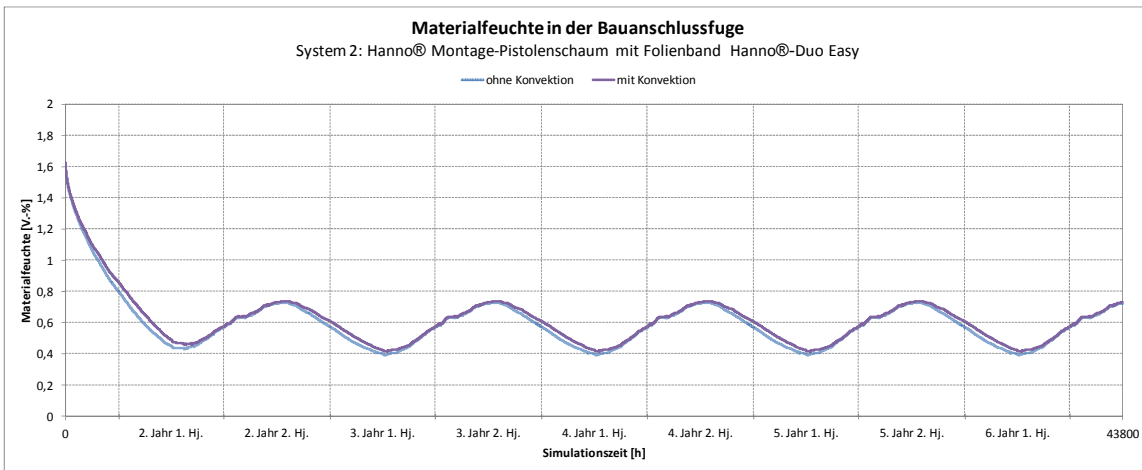


Abbildung 3 Volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt der einzelnen Systeme über die Simulationszeit 5 Jahre



Tabelle 3 Änderung des Feuchtigkeitsgehalts während der Simulationszeit ohne Konvektion

Ausführung der Bauanschlussfuge	Volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt über die Simulationszeit					
	01.10.2013	01.10.2014	01.10.2015	01.10.2016	01.10.2017	01.10.2018
System 1	1,61	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
System 2	1,63	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
System 3	1,57	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
System 4	1,62	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabelle 4 Änderung des Feuchtigkeitsgehalts während der Simulationszeit mit Konvektion

Ausführung der Bauanschlussfuge	Volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt über die Simulationszeit					
	01.10.2013	01.10.2014	01.10.2015	01.10.2016	01.10.2017	01.10.2018
System 1	1,61	3,21	4,86	6,46	8,02	9,57
System 2	1,63	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
System 3	1,57	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
System 4	1,62	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabelle 5 Extremwerte des volumenbezogenen Feuchtigkeitsgehalts ohne Konvektion

Ausführung der Bauanschlussfuge	Volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt über die Simulationszeit		
	Minimal	arithmetisches Mittel	Maximal
System 1	0,44	0,62	1,61
System 2	0,39	0,59	1,63
System 3	0,43	0,63	1,57
System 4	0,37	0,59	1,63

Tabelle 6 Extremwerte des volumenbezogenen Feuchtigkeitsgehalts mit Konvektion

Ausführung der Bauanschlussfuge	Volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt über die Simulationszeit		
	Minimal	arithmetisches Mittel	Maximal
System 1	1,55	7,03	11,69
System 2	0,41	0,61	1,63
System 3	0,45	0,66	1,58
System 4	0,38	0,60	1,63

## 4 Zusammenfassung

Ergänzend zu den vorangegangenen Untersuchungen des thermischen Verhaltens sowie der Luftdichtheit der ausgewählten Abdichtungssysteme für Bauanschlussfugen Fenster / Wand, wurden hygrothermische Bauteilsimulationen durchgeführt. Hierbei fließen die Erkenntnisse der zuvor durchgeführten Messungen direkt in die Simulationsrechnungen ein. Dies ermöglicht schließlich eine ganzheitliche Bewertung der Dauerhaftigkeit derartiger Systeme.

Die Ergebnisse der geführten Berechnungen stellen eine direkte Analogie zu den vorherigen Messergebnissen des ersten Teils der Untersuchung her. So kann die Dauerhaftigkeit marktgängiger Abdichtungssysteme weitestgehend auch in Bezug auf klimabedingte Feuchtigkeit sichergestellt werden. Bedingt durch die erhöhte Luftdurchlässigkeit infolge der aufgetragenen Verformung weichen die Ergebnisse auf Polyurethan basierender Systeme von den übrigen Ergebnissen ab. So scheint sich die infolge klimabedingter Belastung in das Bauteil eingetragene Feuchtigkeit zu kumulieren. Daher muss die Dauerhaftigkeit dieser System ohne ergänzende Maßnahmen weiterhin angezweifelt werden. Diese Aussage muss jedoch dahingehen relativiert werden, dass

1. Polyurethane geschlossenzellige Dämmstoffe darstellen
2. die Luftkonvektion innerhalb der verwendeten Berechnungsmodelle nur stark vereinfacht abgebildet werden kann
3. die Luftkonvektion infolge zusätzlicher raumseitiger Maßnahmen bedeutend reduziert werden kann.

Es ist daher zu erwarten, dass sich das Feuchteverhalten der Systeme im Detail anders darstellt als hier festgestellt und des Weiteren keine Gefährdung in Bezug auf klimabedingte Feuchteschäden für die Gesamtkonstruktion besteht.

Aus energetischer Sicht nimmt hingegen die Wärmeleitfähigkeit der Materialien mit zunehmenden Wassergehalt zu, sodass langfristig gegebenenfalls eine Neubewertung der Bauanschlussfuge mit PU basierten Systemen erforderlich wird. Darüber hinaus haben die Messergebnisse des ersten Teils dieser Untersuchung gezeigt, dass die Anforderungen an die Luftdichtheit im Bereich der Bauanschlussfugen bei Verwendung derartiger Systeme nicht dauerhaft erbracht werden können.

Hiervon abweichend weisen vorkomprimierte Dichtungsbänder sowie selbstklebende Folienbänder kaum eine Abhängigkeit zwischen der Luftdichtheit und der hier aufgetragenen Verformung auf. Auch Polyurethan basierte Dichtungssysteme die raumseitig mit zusätzlichen Maßnahmen ergänzt werden, können als dauerhaft angesehen werden.

Die Ergebnisse sind hierbei natürlich stets in Relation zu der aufgetragenen Verformung zu betrachten. Dabei stellt die hier verwendete Fugenbewegung ein „Worst-Case-Szenario“ für Fenster üblicher Größe dar. Eine allgemeine Ableitung der Erkenntnisse ist aufgrund fehlender Information des realen Verformungsverhaltens von modernen Fensterrahmen nur in gewissen Grenzen möglich. Dabei sind die vorhandene Fugenbreite (hier  $d_{\text{Fuge}} = 15 \text{ mm}$ ), Geometrie des zu betrachtenden Fenster (hier  $l_{\text{Profil,max}} = 2,18 \text{ m}$ ) sowie die Farbgebung und Oberflächenbeschaffenheit des Fensterrahmen (hier  $\alpha_S = 0,60$ ) mit einzubeziehen.

## 5 Literatur

- [1] Passivhaustauglichkeit von Fensteranschlüssen entsprechend ift-Richtlinie WA-15/2 – Bauanschlussfugen - Teil 1: Energetische Bewertung
- [2] Passivhaustauglichkeit von Fensteranschlüssen entsprechend ift-Richtlinie WA-15/2 – Bauanschlussfugen - Teil 2: Luftdurchlässigkeit
- [3] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und Ausführung, 07/2001
- [4] DIN EN 12114: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Luftdurchlässigkeit von Bauteilen – Laborprüfverfahren, 04/2000
- [5] WTA-Merkblatt 6-1-01/D: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen, 05/2002
- [6] WTA-Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchteschutztechnischer Prozesse, 05/2002
- [7] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, 07/2007
- [8] Air Infiltration Calculation Techniques – An Application Guid, AIVC, 06/1986
- [9] Effekte der Luftströmung auf das hygrothermische Verhalten von leichten Umfassungskonstruktionen, John Grunewald und Andreas Nicolai, Bauphysik 29 (2007) Heft 1 Seite 48-54
- [10] Numerical Data for Air Infiltration & Natural Ventilation Calculations, AIVC, 1998
- [11] Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse (TRY), Deutscher Wetterdienst (DWD), 2011
- [12] WUFI 4.2: Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen; IBP Fraunhofer Institut für Bauphysik
- [13] Technisches Merkblatt Montage-Pistolenschäum, Hanno-Werk Gmbh & Co. KG, 08/2009
- [14] Vorkomprimiertes, feuchteadaptives Dichtband; hier Technisches Merkblatt Hannoband®-3E, Hanno-Werk Gmbh & Co. KG, 13.10.2011
- [15] Vorkomprimiertes Dichtband; hier Technisches Merkblatt Hannoband®-BG1, Hanno-Werk Gmbh & Co. KG, 22.10.2010
- [16] Diffusionsoffenes Folienband; hier Technisches Merkblatt Folienband Hanno®-Duo Easy & Duo Easy+, Hanno-Werk Gmbh & Co. KG, 19.02.2013

- [17] PU basierter Volumenkleber, hier Technisches Datenblatt ClearoPAG® 167 Volumen-Aerosol-Klebstoff, ClearoPAG GmbH, k.A.