

Passivhäuser in Holzbauweise, Planungshinweise

Dr. Berthold Kaufmann
Passivhaus Institut
Rheinstr. 44/46, D-64283 Darmstadt

Dipl. Ing. Helmut Zeitter
Ingenieurbüro Wagner Zeitter
Adolfsallee 57, D-65185 Wiesbaden

1 Einführung

Das Passivhauskonzept ist auf die Minimierung der Wärmeverluste und auf die möglichst effektive Nutzung von solaren Wärmegewinnen angelegt. Aus Platzgründen können in diesem Beitrag die allgemein grundlegenden Aspekte nicht behandelt werden. Es sei dazu auf den Beitrag 'Qualitätssicherung + Passivhaus' in diesem Tagungsband und auf die weiterführende Literatur in [Kaufmann2002] verwiesen.

Aus den Heizwärmebilanzen gemäß Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP), die inzwischen von zahlreichen bisher gebauten Passivhäusern vorliegen, ergeben sich folgende Erfahrungswerte für die Bauteileigenschaften: Die U-Werte für opake Bauteile der Gebäudehülle sollten normalerweise kleiner als $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sein, anzustreben sind U-Werte von etwa $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Konstruktive Wärmebrücken müssen soweit wie möglich vermieden werden. Für Fenster und Türen im Passivhaus sollte im Regelfall U_w bzw. $U_D \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sein.

Eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad $\geq 75\%$) ist für das Passivhaus unabdingbar. Eine luftdichte Gebäudehülle ($n_{50} \leq 0,6 \text{ } 1/\text{h}$) ist neben der bauphysikalischen Robustheit des Wandaufbaus für die richtige Funktion der Wärmerückgewinnung unerlässlich.

2 Hoher Dämmstandard

Ein erhöhter Dämmstandard bei den Bauteilen der Hüllfläche verringert nicht nur den Heizwärmeverbrauch eines Hauses. Für den Bewohner viel wichtiger ist der 'fühlbare Zusatznutzen', d.h. die spürbar höheren Oberflächentemperaturen aller Umschließungsflächen eines Raumes. Dadurch steigt die Behaglichkeit und es sinkt die Anfälligkeit für Tauwasser an Innenoberflächen. Es entsteht ein angenehm gleichmäßiges Raumklima ohne kalte Ecken. 'Kalte Füße' gehören im Passivhaus der Vergangenheit an.

Beim Passivhaus ($U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) sind die Wand-Innentemperaturen so weit erhöht, dass sie sich auch im Auslegungsfall kaum mehr von der mittleren Raumtemperatur (hier 20°C) unterscheiden. Selbst am Fenster ($U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) sinkt die mittlere Temperatur an der Innenoberfläche nicht mehr unter 17°C , ohne dass dort noch ein Heizkörper notwendig wäre. In diesem Zusammenhang ist die Rolle der 'passiven' Maßnahme Wärmedämmung besonders augenfällig: Ist die Hülle gut gedämmt, so stellen sich im Innenraum ohne weiteres Zutun angenehme Oberflächentemperaturen ein. Schlecht gedämmte Woh-



nungen kann man hingegen mit keinem vertretbaren Aufwand gleichmäßig erwärmen, es sei denn, alle Bauteiloberflächen können getrennt beheizt werden.

	<p>System Kölner Holzhaus (Architekt Robert Laur). Die hohe Dämmstärke wurde mit einer zweischaligen Wand realisiert: tragende Ebene mit Ständern 6 cm x 12 cm, davor hängende Dämmebene, die von Doppel-T-Trägern getragen wird. Die luftdichte Ebene wird von der mittleren Beplankung gebildet. $U=0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.</p>
	<p>Boxträger, Beplankung außen mit diffusionsoffener Holzwerkstoff-Platte, hinterlüftete Plattenfassade. Beplankung innen mit Holzwerkstoff-Platte als luftdichte Ebene und Gipswerkstoff-Platte, $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$</p>
	<p>Boxträger, Putzträgerplatte/Putz außen, Beplankung innen mit Holzwerkstoff-Platte als luftdichte Ebene, und gedämmter Installationsebene, innen mit Gipswerkstoff-Platte beplankt. $U = 0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.</p>
	<p>Doppel-T-Träger mit Stegen aus Holzwerkstoff-Platte, Beplankung außen mit diffusionsoffener Holzwerkstoff-Platte, hinterlüftete Fassade aus Vollholzprofilen. Innenbeplankung mit Holzwerkstoff-Platte als luftdichte Ebene und Gipswerkstoff-Platte, $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$</p>

Abbildung 1: Regelaufbauten von verschiedenen Holzrahmenbau-Konstruktionen. Verschiedene Fassaden und Innenplankungen sind möglich. Die innere Beplankung aus Holzwerkstoff-Platten bildet die luftdichte Ebene und gleichzeitig die Dampfbremse. In der Fläche ist keine zusätzliche Folie notwendig. Die Platten werden an den Stößen mit geeignetem Klebeband, Folienstreifen oder Baupappenstreifen verklebt.

Typ	Holzanteil in der Dämmschicht (d = 360 mm)	Rastermaß [cm]	λ_{Steg} [W/(mK)]	U-Wert [W/(m ² K)]
Gefach zwischen Ständern *)	0% *)	-	-	0,11 *)
Brettschichtholz-Träger 60 mm	9,6 %	62,5	0,13	0,13
Doppel-T-Träger	3,6 %	62,5	0,29	0,12
Box-Träger	6,2 %	62,5	0,2	0,12
doppelschaliger Aufbau	10,3 %	62,5/ 83,3	0,25	0,12
Massivholz-Wand mit WDVS	0% (d = 280 mm)	-	-	0,12

Tabelle 1: U-Werte verschiedener Wandaufbauten nach Abbildung 1. Der Holzanteil innerhalb der Dämmschicht von 360 mm und die anzusetzende Wärmeleitfähigkeit λ_{Steg} der Holzwerkstoffe in der Dämmschicht ist angegeben. Um die U-Werte miteinander vergleichen zu können, wurde die Dämmwirkung einer Installationsschicht nicht berücksichtigt. *) Der U-Wert des Gefachs zwischen den Ständern ist hypothetisch und nur als Vergleich angegeben.

Der prinzipielle Aufbau von Wand und Dach ist beim Passivhaus nicht anders als bei einem Niedrig-Energie-Haus. Beim Passivhaus ist es allerdings von besonderer Bedeutung, die Wärmebrückenwirkung des statisch notwendigen Holzanteils in der Wand- und Dachkonstruktion zu reduzieren. Der Holzbau hat hier einige konstruktive Vorteile: Die Hohlräume zwischen den statisch tragenden Ständern stehen ganz für die Aufnahme der wärmedämmenden Materialien zur Verfügung.

Die größere Dämmstärke beim Passivhaus kann entweder durch eine zweite dämmende Schicht vor der tragenden Ebene realisiert werden, sogenannte zweischalige Bauweise, oder sie kann durch geeignet gewählte Wandsysteme mit speziellen Trägern besonders leicht und kostengünstig hergestellt werden. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Wandkonstruktionen beispielhaft dargestellt. Die Eigenschaften der verschiedenen Wandaufbauten sind in Tabelle 1 gegenübergestellt.

3 Wärmebrückenfreies Konstruieren

Die **Vermeidung von Wärmebrücken** stellt nach den Erfahrungen im Passivhausbau eine der wirtschaftlichsten technischen Maßnahmen zur Verbesserung der Energie-Effizienz dar. Auch hier sind Schutz der Bausubstanz und verbesserte Behaglichkeit offensichtlich.

Der Wärmeverlust über eine Wärmebrücke wird mit einem 'Wärmebrückenverlustkoeffizienten' berechnet. Multipliziert man den Wärmedurchgangskoeffizient U [W/(m²K)] des Bauteils mit seiner Fläche A [m²] (im PHPP immer Außenmaß verwenden!) und der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ [K], so erhält man nur den Regelwärmeverlust dieser Fläche. Summiert man die Wärmeverluste aller Flächen so erhält man den tatsächlichen Wärmeverlust des Gebäudes nur näherungsweise, ohne die Verluste der Wärmebrücken. Denn Materialwechsel oder eine nicht ebene Geometrie der Gebäudehülle sind im Regelwärmeverlust nicht berücksichtigt.



Bei konstruktiven Wärmebrücken, wie z.B. auskragende Balkonplatten (lineare Wärmebrücke, Ψ_a [W/(mK)]) oder die Dämmschicht durchdringende Metallanker (punktuelle Wärmebrücke χ [W/K]), ist der entstehende Fehler leicht einzusehen, hier geht zusätzlich Wärme verloren. Generell sollten konstruktive Wärmebrücken beim Passivhaus soweit wie möglich vermieden oder jedenfalls auf einen vernachlässigbaren Wert begrenzt werden. Das Grundprinzip hierfür ist das **'wärmebrückenfreie Konstruieren'**. Als Kriterium hierfür hat sich die Anforderung $\Psi_a \leq 0,01$ W/(mK) bewährt. Erreicht man durch günstige Auswahl der konstruktiven Details, dass jeder Wärmebrückenverlustkoeffizient höchstens diesen Wert annimmt, so wird die Summe der zusätzlichen Wärmebrückenterme gegenüber dem Regelwärmeverlust in der Regel vernachlässigbar klein oder sogar negativ. Hat man erst eine Sammlung von Anschlussdetails, die das Kriterium 'wärmebrückenfrei' erfüllen, so kann man sich bei ausschließlicher Verwendung dieser Details in einem Gebäude auf die Berechnung der Regelwärmeverluste beschränken. Ein pauschaler Zuschlag auf den U-Wert (ΔU_{WB}) kann unter diesen Umständen mit 'Null' angesetzt werden.

Rein **geometrische Wärmebrücken**, Abbildung 3, sind meist unproblematisch. Sie entstehen, wenn Außenbauteile mit unterschiedlicher Orientierung aneinanderstoßen und sich deshalb das Außenmaß vom Innenmaß unterscheidet, zum Beispiel an einer Hauskante, am Traufanschluss, am Ortgang und am First.

Werden geometrische Anschlüsse mit zusätzlichen **konstruktiven Durchdringungen** belastet, so müssen diese Details ggf. mit einer zweidimensionalen Berechnung bewertet werden. Diese Lösungen müssen ausdrücklich kritisch bewertet werden, sie sind nicht nur teuer, sondern auch thermisch ungünstig konzipiert und können deshalb für das Passivhaus nicht empfohlen werden. Eine Lösung für diesen Konflikt wurde schon mit den Regelaufbauten in Abbildung 1 vorgeschlagen. Der Wandaufbau wird formal in eine statisch tragende Ebene und eine außenliegende Dämmebene aufgetrennt.

Die Abbildung 2 zeigt den Planungsgrundsatz für solche Konstruktionen: Es ist die **'Regel vom breiten Stift'**. Man bedient sich dazu maßstäblicher Zeichnungen der Gebäudehülle (Grundrisse und Schnitte). Für ein Passivhaus verwendet man nun einen Zeichenstift, dessen Breite einem Wärmedurchgangswiderstand von $R = 6$ m²K/W entspricht. Für einen Dämmstoff mit $\lambda = 0,04$ W/(mK) sind dies 24 cm maßstäblicher Breite. Wenn es nun gelingt, die Außenhülle des Gebäudes in dieser vollen Breite innerhalb des Dämmstoffes unterbrechungsfrei zu durchfahren – graue Dämmebene in Abbildung 2 – kann man sicher sein, dass die so getesteten Details das Kriterium der Wärmebrückenfreiheit erfüllen.

Immer, wenn man mit der 'Regel vom breiten Stift' auf Anschlüsse oder Durchdringungen trifft, bei denen die Erfüllung der Regel nicht offensichtlich ist, empfiehlt sich eine genauere Betrachtung. Das wird meist eine numerische zweidimensionale Wärmebrückenberechnung für das betreffende Detail sein. Diese Anschlüsse müssen auch in der Detailplanung besonders berücksichtigt werden, um die baupraktische Ausführbarkeit sicherzustellen. Die planerischen Vorgaben müssen die Anforderungen nach Wärmebrückenfreiheit und Luftdichtheit präzise beschreiben. Der Fensteranschluss ist hierfür ein wichtiges Beispiel.

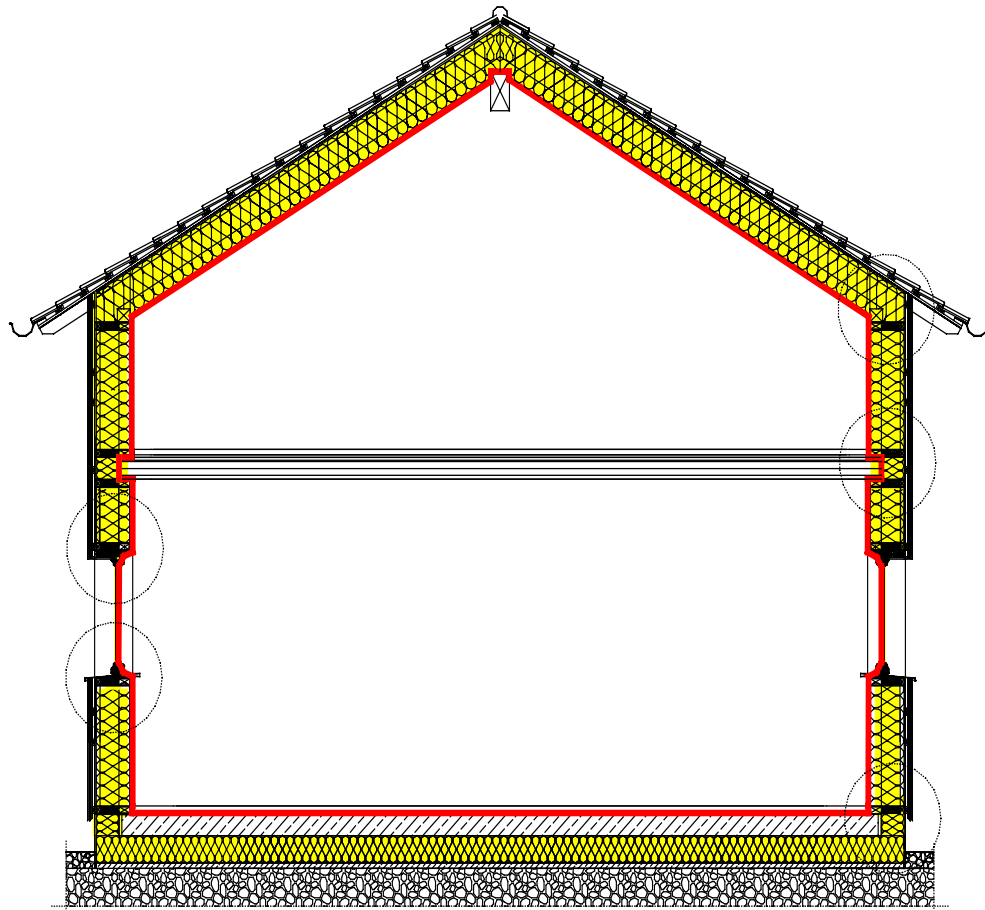
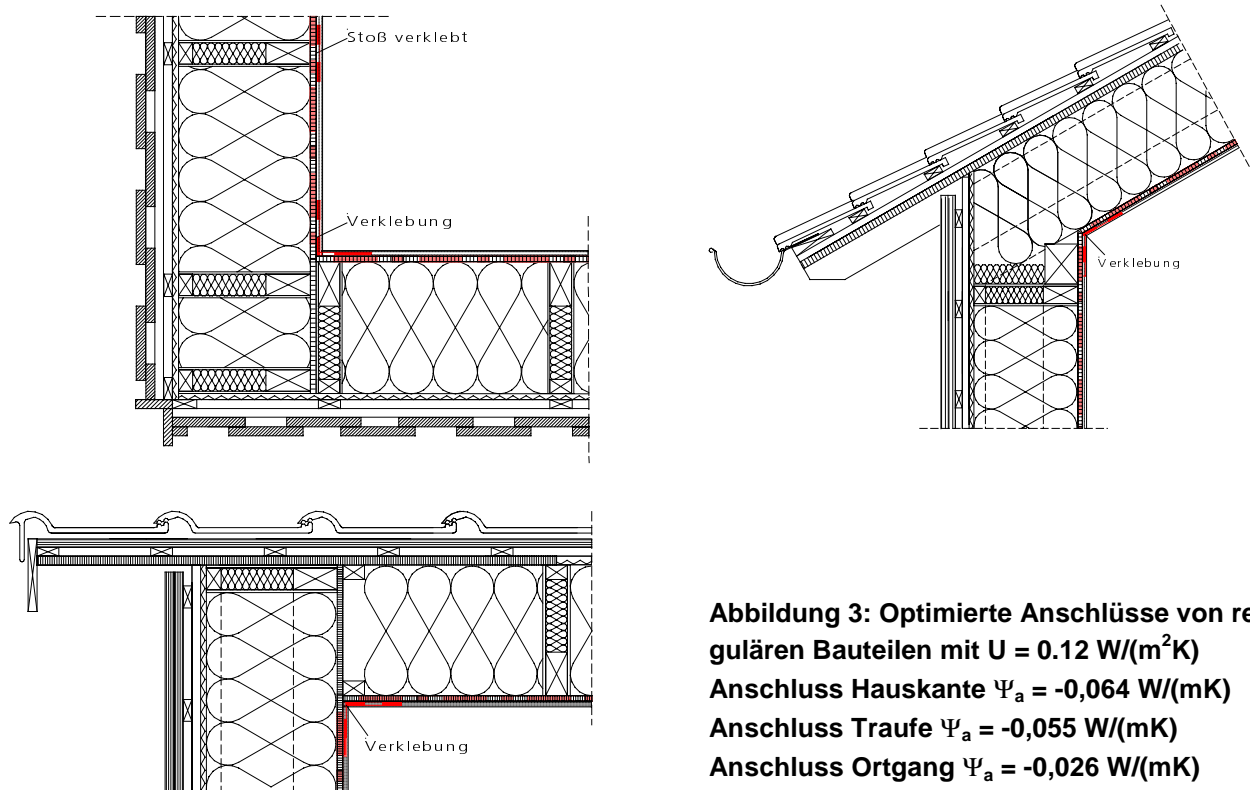


Abbildung 2: zur Veranschaulichung der 'Regel vom breiten Stiff' und der luftdichten Gebäudehülle.

Auskragende Balkone, deren tragende Konstruktion die Dämmschicht durchdringt, sind aus wärmetechnischer Sicht nicht mehr Stand der Technik. Balkone können bei Neubauten in aller Regel selbsttragend vor der Fassade aufgestellt werden, so dass sie lediglich mit dünnen, thermisch getrennten Ankern am Gebäude fixiert werden müssen. Für **Vordächer, Geländer, Lampen** und andere auskragende Fassadenelemente gibt es Spezialdübel und Konsolen aus Glasfaserverbundmaterialien und druckfesten Dämmstoffen die eine Dämmschicht durchdringen dürfen und dennoch keine nennenswerte Wärmebrücke bilden. Der Holzbau (Holz-Ständer-Konstruktion) hat hier einen bedeutenden konstruktiven Vorteil, denn die Dämmschicht wird in aller Regel von einer Bepunktung abgeschlossen, welche ihrerseits die Befestigung von leichten Bauteilen zulässt, ohne die Dämmschicht zusätzlich durchdringen zu müssen. Schwerere Geländer, Vordächer und Markisen müssen auf bzw. vor einem statisch ausreichend dimensionierten Wand-Träger befestigt werden, was bei den üblichen Rastermaßen kein Problem sein dürfte.

Beim **Bauteil Fenster** wurden in den letzten Jahren entscheidende Qualitätsverbesserungen erreicht. Hochwertige Fenster sind für das Passivhaus eine wichtige Voraussetzung. Um einen Gesamt- U_w -Wert dieser sogenannten 'Warmfenster' von weniger als $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu erreichen, kommt es vor allem auf einen sachgerechten Einbau an: Auch dies stellt für den Holzbau kein Problem dar, erfordert aber eine stringente Planung, damit die Wärmebrücke an dieser Stelle minimiert wird, Abbildung 5.

Gerade das hochwärmedämmende Fenster trägt entscheidend zur besseren Behaglichkeit bei, weil es gelingt, die mittleren Oberflächentemperaturen über 17° C zu halten. Dadurch wird die Art der Wärmezufuhr im Raum zweitrangig: Es kommt nicht mehr darauf an, wo und wie im Raum die noch erforderliche geringe Heizwärme zugeführt wird. Selbst der Zeitpunkt ist im Passivhaus unkritisch: auch mehrere Stunden Heizungsunterbrechung werden praktisch nicht bemerkt.



4 Luftdichte Gebäudehülle

Auch die Luftdichtheit der Gebäudehülle reduziert die Anfälligkeit für Bauschäden. Nachdem Luftdichtheit anfangs als 'Problem' für den Holzbau angesehen worden war, zeigen heute herausragende Beispiele, dass n_{50} -Werte um $0,3 \frac{1}{h}$ reproduzierbar und dauerhaft erreicht werden können.

Eine konsequent luftdichte Hülle des Gebäudes ist eine wesentliche Anforderung des Passivhaus-Konzeptes. Der Grenzwert für die Luftdichtheit liegt für das Passivhaus bei $n_{50} \leq 0,6 \frac{1}{h}$. Die Erfahrung zeigt, dass nur so die Lüftungswärmeverluste klein genug gehalten werden können. Die weitverbreitete Meinung, dass durch Fugen in Wänden und Fenstern eine ausreichende Belüftung einer Wohnung sichergestellt werden kann oder gar sichergestellt werden muss, ist irrig. Fugenlüftung ist bei Windstille ungenügend, weil der Luftaustausch zu gering ist, oder aber es zieht schon bei mäßigem Wind sehr unangenehm.

Der bei weitem wichtigste Grundsatz bei der Planung und Erstellung einer luftdichten Gebäudehülle besteht in einer frühzeitigen klaren Festlegung der luftdichten Ebene. Es muss

genau eine dichte Hüllfläche rund um das ganze Gebäude führen. Zwei halbwegs dichte Hüllen sind zusammen ebenfalls nur halbwegs dicht. Die luftdichte Hülle muss man auf den Schnittzeichnungen mit einem Stift jeweils ohne Abzusetzen umfahren können, vgl. Abbildung 2. Dabei ist es unbedingt notwendig, bei der Planung schon an die baupraktische Ausführung zu denken. Dreidimensionale Details sind besonders zu berücksichtigen. Durchdringungen sind möglichst zu vermeiden, ansonsten sind sie sorgfältig zu planen, präzise auszuschreiben und die Ausführung ist zu kontrollieren.

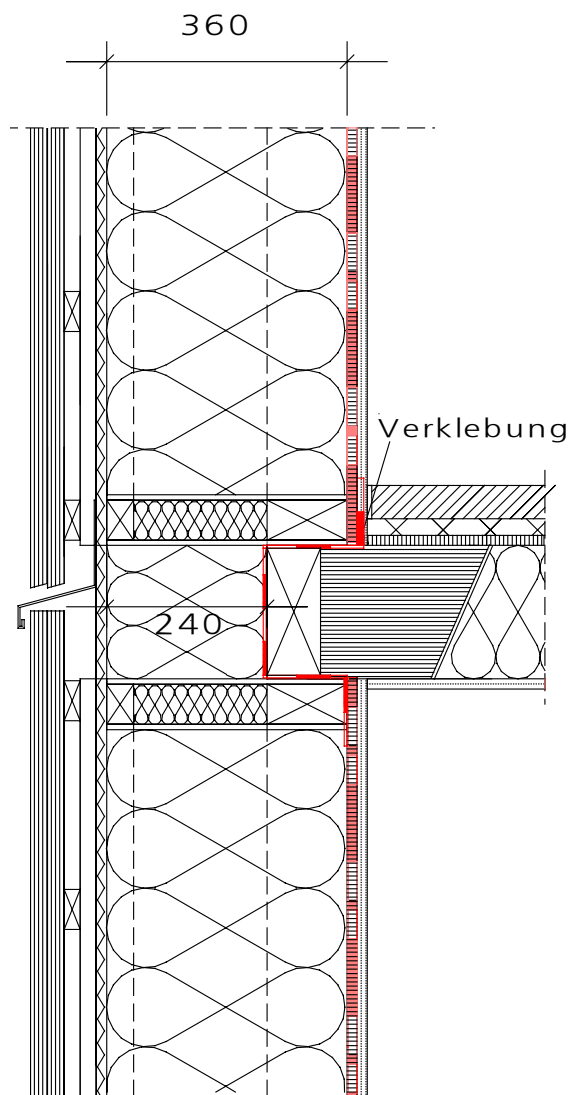


Abbildung 4: Anschluss Geschoßdecke an Außenwand, optimiert mit der Regel vom breiten Stift:

$$U_{\text{Wand}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\Psi_a = 0,009 \text{ W}/(\text{mK})$$

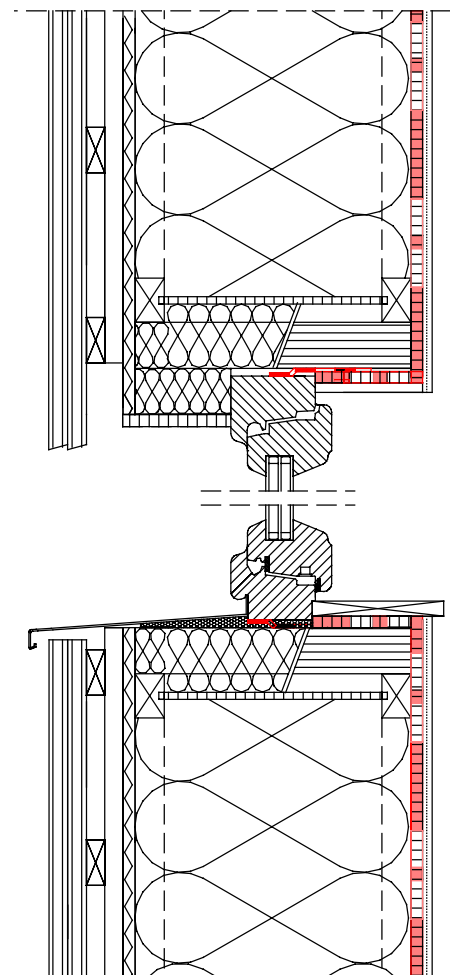


Abbildung 5: Anschluss Fenster (Einbauwärmebrücke)

$$U_f = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), \Psi_{\text{einbau}} = 0,025 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$U_{\text{W,eingebaut}} = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Die luftdichte Schicht wird normalerweise raumseitig angeordnet, so kann sie zugleich als Dampfbremse fungieren. In den Beispielen in Abbildung 1 übernimmt jeweils die innenliegende Holzwerkstoff-Platte diese Aufgabe. Nach dem Grundsatz: **innen dicht und außen dämmend**, aber diffusionsoffen, ist ein solcher Aufbau bauphysikalisch einwandfrei. Dies



entbindet jedoch nicht von einer genauen Betrachtung des Feuchtetransports, sowohl in der Fläche als auch an den Anschluss-Details. Auch für Schallschutz und Brandschutz ist die Dichtheit bedeutsam: 'Wo Luft geht, geht auch Schall'. Fugen ermöglichen außerdem Rauchströmungen im Brandfall.

Bauteilanschlüsse, Abbildung 3 bis Abbildung 5 werden in der Regel mit Spezialklebebändern verklebt oder formschlüssig verbunden. Bei allen Verklebungen, die nicht formschlüssig z. B. durch eine Anpressleiste unterstützt werden, gilt generell: die Standzeit des Klebstoffs und die Beschaffenheit der Oberflächen bei der Verarbeitung entscheidet über die Lebensdauer der luftdichten Schicht. Verklebungen mit Paketklebeband halten gerade eben 'bis nach dem Drucktest' und sind daher für diesen Zweck definitiv ungeeignet. Die Klebemittelindustrie hat inzwischen zahlreiche Produkte, deren Standzeit als gut bezeichnet werden kann.

Ein Drucktest mit der 'Blower-Door'-Methode ist für Passivhäuser ein zentrales Mittel der Qualitätssicherung ($n_{50} \leq 0,6 \text{ 1/h}$). Die Prüfung der Gebäudehülle auf Luftdichtheit sollte möglichst frühzeitig nach dem Einbau der Fenster und Türen stattfinden. Eine innenliegende luftdichte Schicht ist dabei vorteilhaft, weil sie gut zugänglich ist und ggf. nachgebessert werden kann. Der Innenausbau, d.h. das Anbringen einer Installationsebene bzw. einer Beplankung sollte aus diesem Grund erst nach dem Drucktest stattfinden.

Der Drucktest wird von vielen Holzbaufirmen inzwischen als Serviceleistung inklusive angeboten, weil damit aufwändige spätere Nacharbeiten vermieden werden können. Trotzdem sollte die Endabnahme möglichst von einem unabhängigen Gutachter durchgeführt werden. Dies ist auch im Hinblick auf die Gewährleistung der zugesicherten Eigenschaften des Gewerks 'luftdichte Hülle' dringend anzuraten und dient zur Abgrenzung von nachfolgenden Gewerken.

5 Literatur

Der vorliegende Beitrag ist ein Auszug aus einer Schrift für den Informationsdienst Holz, die am Passivhaus Institut im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, DGfH, München entstanden ist. Hier konnten aus Platzgründen nur einige Aspekte dargestellt werden. Die Broschüre mit zahlreichen weiterführenden Literaturhinweisen kann kostenfrei bei der DGfH in München bezogen werden:

[Kaufmann2002] Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M.: **Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen**, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 3, Folge 10, DGfH, München, Oktober 2002.