



*Dr.-Ing. Martin H. Spitzner
Abteilungsleiter Bauphysik &
Bauteile
Forschungsinstitut für
Wärmeschutz e.V. München
München, Gräfelfing*

Im Winter warm, im Sommer heiss? Wärmeschutz und Energieeinsparung

**Hot in winter, hot in summer?
Thermal insulation and energy
savings**

**Caldo in inverno, cocente in estate?
Protezione termica e risparmio
energetico**

Dokument in Deutsch

Im Winter warm, im Sommer heiss? Wärmeschutz und Energieeinsparung

1 Einleitung

Aufstockungen und Anbauten in Holzbauweise ermöglichen aufgrund ihrer typischerweise guten Wärmedämmung einen hohen thermischen Komfort im Winter, bei gleichzeitig relativ geringen Energiebedarf. Großzügige Fensterflächen helfen im Winter durch die eingefangene Solarenergie, Heizkosten zu sparen, müssen jedoch im Sommer effektiv verschattet werden, um die dann teilweise erwünschten solaren Energieeinträge zu reduzieren. Hinsichtlich der Vermeidung von Wärmebrücken, dem klimabedingten Feuchteschutz und der Sicherstellung der Luftdichtheit des neuen Gebäudeteils gelten die üblichen Anforderungen. Besondere Aufmerksamkeit ist in dieser Hinsicht den Anschlußstellen zwischen dem neuen und dem alten Gebäudeteil zu widmen.

Gerade durch Aufstockungen kann nicht nur der verfügbare Platz vergrößert werden. Besonders beim älteren Einfamilienhaus oder z.B. 70er-Jahre-Flachdachbungalow mit sehr wenig Wärmedämmung im ursprünglichen Dachaufbau beeinflusst eine Aufstockung mit modernem, zukunftsweisendem Wärmeschutz der neuen Bauteile den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes, bei größerer Wohnfläche, günstig. Im Zusammenhang mit der Aufstockung sollte überlegt werden, ob nicht auch gleich Dämm-Maßnahmen am restlichen, alten Gebäudekörper durchgeführt werden. Vor allem sollte geprüft werden, ob nicht der finanzielle Mehraufwand für die zusätzliche Wärmedämmung des alten Baukörpers im Zusammenhang mit der Aufstockung geringer ausfällt als bei einer späteren, separaten Wärmedämmung des Gebäudes, weil einige Kosten für die Aufstockung ohnehin anfallen (z.B. Gerüst, Nacharbeiten der Anschlußpunkte zwischen altem und neuem Baukörper; ggf. Aufmauern von Giebelwand und Kniestock etc.). Bei Anbauten mit ihrem üblicherweise geringeren Eingriff in den bestehenden Baukörper werden häufig solche „Kosten-Synergieeffekte“ kaum erzielbar sein.

2 Energieeinsparung im europäischen Kontext

Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden ergeben sich heute, neben dem Komfortbedürfnis der Bewohner, vor allem aus dem Bestreben, den nationalen Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen zu vermindern. Der Gebäudebereich trägt etwa mit einem Drittel zum Gesamt-CO₂-Ausstoß bei und ist damit ein wichtiger Sektor hinsichtlich Energieeinsparung und Emissionsverminderung. Ein Reduktionsziel allein mit baulichen Maßnahmen erreichen zu wollen, wäre der fachlich falsche Ansatz. Die Einbeziehung der Heizungsanlage in die Energiebilanz wird damit zum notwendigen Schritt. Zur Berücksichtigung unterschiedlicher Vorketten bei der Energieumwandlung und beim Transport des jeweiligen Energieträgers muss der Jahresheizenergiebedarf weiter primärenergetisch bewertet werden. In der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie wird im Sinne einer ganzheitlicheren Betrachtung gefordert, in der nationalen Umsetzung neben Heizen und Kühlen auch den Energiebedarf für Lüften und Beleuchten zu berücksichtigen. Die Energieeffizienz für Gebäude ist mit einem „Energiepaß“ zu dokumentieren. Die Regelungen sollen zum 04.01.2006 in den Mitgliedsstaaten der EU eingeführt werden. Der Bearbeitungsstand der nationalen Regelungen ist EU-weit sehr unterschiedlich. Vermutlich dürfte sich der Einführungsstermin in etlichen Staaten nach hinten verschieben.

3 Aspekte des winterlichen Wärmeschutzes

3.1 Wärmeschutztechnische Berücksichtigung von unbeheizten Anbauten

Für Anbauten, bei denen es sich um untergeordnete, weder direkt noch indirekt über Raumverbund beheizte Räume handelt, z.B. Schuppen, Lagerräume, Garagen etc., bietet ISO 6946 [i] ein vereinfachtes Verfahren an, den temperaturdifferenz- und damit wärmedurchgangsvermindernden Einfluß solcher Anbauten im U-Wert der Grenzflächen zwischen dem beheizten Bereich und dem Anbau zu berücksichtigen. Das Verfahren wird derzeit im Normenausschuß überarbeitet. Vorgeschlagen ist ein einfacher pragmatischer Ansatz, mit pauschal festgelegtem Luftwechsel im Anbau und pauschalen U-Werten der Außenbauteile des Anbaus. Dieser Ansatz ist für einfache Anbauten passend. Handelt es sich um höherwertig ausgebildete, unbeheizte Anbauten wie z.B. Kellerersatzräume, empfiehlt es sich eher, den energiebedarfsmindernen Einfluß nach dem genaueren Verfahren der ISO 13789 [ii] zu berücksichtigen.

Das vorliegende Referat bezieht sich im folgenden Text auf wohn- oder bürobenutzte Anbauten und Aufstockungen; unbeheizte Anbauten werden nicht weiter berücksichtigt.

3.2 Wärmebrücken

3.2.1 längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

Mit zunehmender thermischer Qualität der Gebäudehülle steigt der Einfluß von Wärmebrücken auf den Gesamtenergiebedarf der Gebäudehülle an. Bei ungenügender Beachtung dieses Punktes in der Planung und Ausführung eines Gebäudes können die Wärmebrückenverluste bis zu 20% der Gesamt-Wärmeverluste ausmachen. Mittlerweile wird diese Thematik in der Planerschaft stärker als bisher gewürdigt. Bei Sanierungsmaßnahmen ist es nicht immer möglich, energetische Wärmebrückeneinflüsse so zu vermeiden wie im Neubau. Bei der Bewertung von geplanten Wärmebrückenlösungen muß gewürdigt werden, was unter den gegebenen Umständen bestenfalls mit vertretbarem Aufwand erreichbar ist. Oft wird es aber dennoch möglich sein, notfalls durch entsprechende Zusatz-Dämmschichten im Bereich von Bauteilanschlüssen, einen ausreichenden Wärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken sicherzustellen. Dabei können Darstellungen in Wärmebrückenkatalogen oder auch die grafischen Darstellungen in DIN 4108 Beiblatt 2 „...Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele“ [iii] als Anregung genommen werden, um für die gegebene Situation eigene Lösungen zu entwickeln.

3.2.2 Mindest-Innenoberflächentemperatur; Oberflächenkondensat

Neben dem örtlich erhöhten Wärmetransport kann es an Wärmebrücken zu abgesenkten Temperaturen der Innenoberflächen kommen und in der Folge zu Tauwasserausfall und Schimmelbildung. Deshalb sind Wärmebrücken auch aus Sicht des Baurechts zu vermeiden. Im Bereich von Wärmebrücken ist die Einhaltung einer Mindest-Temperatur der Innenoberfläche an der kältesten Stelle unter den relevanten Randbedingungen erforderlich, um Oberflächenkondensat und Schimmelbildung zu vermeiden. In Deutschland wird dies in der Norm DIN 4108-2:2003-07 geregelt, die im Baurecht verankert ist. Wärmebrücken sind in der Planung so zu vermeiden, daß unter den Normrandbedingungen 20 °C / 50 % r.F. innen, -5 °C außen, $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ beim (zweidimensionalen) rechnerischen Nachweis eine Temperatur von 12,6°C an der kältesten Stelle der Innenoberfläche eingehalten wird. Die Bauausführung ist entsprechend vorzunehmen. Auch diese Anforderung gilt für neue Gebäude bzw. neue Bauteile. Nach Ansicht des Verfassers ist bei Sanierungsmaßnahmen zu fordern, daß Wärmebrücken soweit vermieden werden, daß diese hygienische Mindestanforderung ebenfalls eingehalten ist, sofern dies mit vertretbarem Aufwand erreichbar ist.

3.2.3 Kennwerte und Berechnung von Wärmebrücken

Längenbezogene Wärmebrücken wie z.B. Fensterlaibungen, Decken- und Wandeinbindungen, Traufanschluß, Ortgang etc. werden charakterisiert durch den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ (früher auch: Wärmebrückenverlustkoeffizient), Einheit $W/(m \cdot K)$. Die Dimension „m“ im Nenner steht für die Länge der Wärmebrücke. Punktuelle Wärmebrücken durch Befestigungsteile, die die Wärmedämmung durchdringen, z.B. Befestigungspunkte für vorgehängte Balkone, werden im allgemeinen energetisch nicht berücksichtigt. Sie können aber durch den Normbezug auf internationale bzw. europäische Berechnungsnormen ebenfalls Eingang in die Berechnung des Energiebedarfs finden. Der zusätzliche Wärmeverlust durch punktuelle Wärmebrücken wird angegeben als χ in W/K . Die Berechnung von längenbezogenen (zweidimensionalen) und punktförmigen (dreidimensionalen) Wärmebrücken erfolgt nach den Festlegungen zu Randbedingungen, Modellabmessungen und Berechnungsverfahren in ISO 10211-1 und -2 [iv]. Die zwei Normteile werden im Zuge der derzeit laufenden Überarbeitung zu einem einzigen Normteil zusammengefaßt und inhaltlich gestrafft. Üblicherweise werden als längenbezogene Wärmebrücken die Stoßstellen zwischen benachbarten Bauteilen angesehen. Bauteilintegrierte Wärmebrücken wie z.B. der Ständerbereich in Leichtbaukonstruktionen werden üblicherweise nicht als Wärmebrücken berücksichtigt, sondern in den U-Wert der Bauteilfläche eingerechnet. Dafür gibt ISO 6946 ein (für den Praktiker durchaus aufwendiges) vereinfachtes Verfahren zur Berechnung des U-Werts zusammengesetzter Bauteile an [i]. Genauer ist auch hier die zweidimensionale Berechnung nach ISO 10211. Die früher übliche Vorgehensweise der flächenanteiligen Mittelung der U-Werte von Gefach und Ständerbereich kann zu Ergebnissen führen, die etwas zu günstig sind, kann also auf der „unsicheren“ Seite liegen. Als Wärmebrücken-katalog ist die internationale Norm ISO 14683 gedacht [v]. Allerdings sind die dort behandelten Wärmebrücken ausgeprägter, d.h. die Wärmebrückenvermeidung weniger gut, als dies im deutschsprachigen Raum üblich ist, so daß hier die Bedeutung dieser Norm für die Berechnung von neuen oder sanierten Gebäuden oder Gebäudebereichen begrenzt ist. Deutlich passender zum aktuellen Baugeschehen sind die in Wärmebrücken-katalogen zahlreicher Hersteller, Verbände und anderer Autoren veröffentlichten Konstruktionen, ψ -Werte und Oberflächentemperaturen.

3.3 Wasserdampfdiffusion und Tauwasser im Inneren von Bauteilen

Unter Wasserdampfdiffusion ist der Feuchtetransport durch ein Bauteil aufgrund unterschiedlicher Wasserdampfkonzentrationen, d.h. unterschiedlicher Wasserdampfteildrücke, zu beiden Seiten des Bauteils zu verstehen. Unterschiedliche Wasserdampfteildrücke entstehen durch verschiedene klimatische Bedingungen. So erfolgt z.B. im Winter durch eine gegenüber dem Außenklima höhere Wasserdampfkonzentration im beheizten Innenraum eine Wasserdampfdiffusion von innen nach außen. Im Sommer hingegen wird Feuchtigkeit, die sich aus irgendwelchen Gründen innerhalb der Dachkonstruktion befindet, durch die Aufheizung des Daches von außen durch die Sonne nach innen getrieben. Bei einem raumseitig ausreichend diffusionsoffenem Aufbau kann sie nach innen verdunsten; anderenfalls fällt sie als Tauwasser an der nach innen diffusionshemmenden Schicht aus.

Die Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl μ gibt an, um welchen Faktor der Wasserdampf-Diffusionswiderstand des betrachteten Materials größer ist als der einer gleichdicken, ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur. μ ist somit eine dimensionslose Verhältniszahl. Der tatsächliche Diffusionswiderstand, den ein Bauteil der Wasserdampfdiffusion entgegensetzt, ergibt sich aus seinem μ -Wert und seiner Dicke, und wird als wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d = \mu \cdot d$ angegeben.

Im Inneren von Bauteilen ist eine Tauwasserbildung unschädlich, wenn der Wärmeschutz und die Standsicherheit der Bauteile durch Erhöhung des Feuchtegehaltes der Bau- und Dämmstoffe nicht gefährdet werden und die im Winter ausgefallene Feuchtigkeit im Sommer wieder austrocknet. Für Deutschland definiert DIN 4108-3 [vi] die zu verwendenden Randbedingungen und Nachweisverfahren für den rechnerischen Nachweis der Tauwassersicherheit der Konstruktion. Auf europäischer Ebene steht dafür die EN 13788 zu Verfügung [vii], allerdings mit für deutsche Klimaverhältnisse unpassenden Randbedingungen. Üblicherweise wird für den Nachweis das sogenannte Glaser-Verfahren mit konstanten Blockklimata für die festgelegten Tau- und die Verdunstungsperioden verwendet. Andere, genauere Verfahren sind zulässig. Außerdem findet man in DIN 4108-3 Bauteile aufgelistet, die ohne weiteren Nachweis zulässig sind, weil sie im Klimabereich Deutschland bekanntermaßen die Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz erfüllen, siehe [vi].

3.4 Luftdichtheit und Lüftungswärmebedarf

Der Lüftungswärmebedarf kann bei gut gedämmten Neubauten zwischen 30 und 50% der gesamten Wärmeverluste betragen. Ähnlich wie bei den Wärmebrücken gilt auch hier, daß der prozentuale Anteil der Lüftungswärmeverluste mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäudehüllfläche ansteigt. Dementsprechend ist darauf zu achten, daß die Gebäudehülle möglichst wenig „ungeplante“ Undichtheiten enthält, durch die ein unkontrollierbarer Luftwechsel stattfindet. Die Abfuhr von Feuchte und Geruchsstoffen aus den Aufenthaltsräumen muß durch geplante Lüftungsmaßnahmen erfolgen (d.h. entweder Fensterlüftung, oder Außenluftdurchlässe, oder Lüftungs- oder Klimaanlage). Keinesfalls dürfen die ungeplanten Undichtheiten der Gebäudehülle als „Lüftungsoption“ angesehen werden. Lüftungsanlagen (ohne und mit Wärmerückgewinnung) können die Lüftungswärmeverluste reduzieren bei gleichzeitiger Sicherstellung einer guten Raumluftqualität.

Im Zusammenhang mit der Luftdichtheit ist das vorrangige Ziel nicht die Energieeinsparung, sondern der Schutz des Gebäudes vor Kondensatbildung im Bauteilinneren und vor Bauschäden. Durch undichte Stellen der Außenhaut des Gebäudes könnte warme, feuchte Raumluft nach außen strömen und zum Tauwasserausfall an kalten Stellen innerhalb der Konstruktion führen. Je nach Größe und Form der Undichtheit und der anliegenden Druckdifferenz können auf diese Weise große Mengen Feuchtigkeit in den Wand- oder Dachaufbau transportiert werden und dort entsprechende Bauschäden verursachen. Deshalb ist eine ausreichend gegen Luftdurchströmung geschützte Ausbildung der Außenbauteile und deren Anschlüsse an benachbarte Bauteile und Einbauten wichtig. Besonders hinzuweisen ist im Zusammenhang mit der Luftdichtheit z.B. auf folgende Detailpunkte: alle Bauteilanschlüsse im Dach- und Fensterbereich, alle Durchdringungen im Dach, nicht abgedeckelte Mauerkronen bei Lochsteinen, innenseitig unverputzte Bereiche hinter abgehängten Decken und Spülkästen etc., Ständerwände und vorgesetzte Innenschalen.

Auch für die Fugestelle zwischen dem bestehenden Gebäude und der neuen Aufstockung bzw. dem neu errichteten Anbau ist die Luftdichtheit dauerhaft sicherzustellen. Dabei kommen prinzipiell dieselben Ausführungsmöglichkeiten wie bei vergleichbaren Fugen im restlichen Gebäude in Betracht. Hierzu wird auf national verfügbare Regelwerk (z.B. [viii], Ausführungsempfehlungen von Verbänden und Herstellerunterlagen verwiesen.

Hingewiesen wird in diesem Zusammenhang auf ein zur Zeit im Hause des Verfassers bearbeitetes Forschungsvorhaben, in dem die Dauerhaltbarkeit von Klebebändern und Klebemassen zur Herstellung der Luftdichtheit unter Laborbedingungen und im tatsächlich eingebautem Zustand getestet wird. Ziel ist es, Kriterien zu formulieren, mit denen die

Dauertauglichkeit der Verbindungsmittel charakterisiert werden kann. Die Ergebnisse werden im Laufe des nächsten Jahres veröffentlicht werden.

3.5 Diffusion und/oder Luftströmung durch Fehlstellen in der diffusionshemmenden Schicht?

Bei vielen Dach- und Wandkonstruktionen werden die Funktionen „Luftdichtung“ und „ausreichender raumseitiger Wasserdampf-Diffusionswiderstand“ durch dieselbe Bauteilschicht erbracht, z.B. durch eine auf der Innenseite der Wärmedämmung verlegte Folie. Für die Luftdichtheit müssen die Stöße zwischen den Folienbahnen und die Anschlüsse an angrenzende Bauteile und Durchdringungen dauerhaft luftdicht verklebt oder anderweitig abgedichtet sein. Bei richtig bemessenem s_d -Wert der Folie ist dadurch „automatisch“ eine ausreichende Diffusionsdichtheit für die gesamte Fläche sichergestellt. Wenn die Luftdichtheit eingehalten ist, stellt sich also bei etlichen Konstruktionen die Frage nach Fehlstellen der dampfdiffusionshemmenden Schicht gar nicht mehr. Anders stellt sich die Situation bei Konstruktionen mit getrennten Funktionsebenen dar, d.h. wenn „Luftdichtheit“ und „ausreichender Diffusionswiderstand“ durch zwei voneinander unabhängige Baustoffschichten erbracht werden.

3.5.1 Beispiel: Wasserdampfdiffusion durch einen mangelhaften Randanschluß der Dampfbremse

Für einen konkreten Fall mit getrennten Funktionsebenen wird in [ix] der Einfluß von undichten Randanschlüssen auf das Feuchteverhalten einer Dachkonstruktion dargestellt. Zu beurteilen war ein Dachaufbau mit hinterlüfteter Zwischensparrendämmung unter einem Unterdach aus Sparschalung und diffusionsoffener Unterspannbahn und einer Ziegeleindeckung. Auf der Innenseite der Dämmung war eine Dampfbremsefolie angeordnet; die Bahnenstöße in der Fläche waren verklebt. Am Randanschluß der Folie an das angrenzende Mauerwerk war die Folie versehentlich nur nach oben umgeschlagen worden; sie wurde von der Mineralwolleddämmung zwar an die Wand angedrückt, war aber nicht eingeputzt oder anderweitig abgedichtet worden. Als raumseitige Innenschale war eine Beplankung mit Gipskartonplatten mit verspachtelten Stößen und hinterklebten Randfugen ausgeführt worden. Die Beplankung stellte eine funktionsfähige luftdichte Schicht dar.

Bei dem vorgefundenen, außenseitig sehr diffusionsoffenen Dach (Summe der s_d -Werte der äußeren Schichten im Bereich einiger Zentimeter) ist die Diffusion von Wasserdampf durch den nicht sachgemäßen Randanschluß der Dampfbremse unbedenklich. Dabei stellt der nicht sachgemäße Randanschluß zwar eine nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechende Bauausführung dar und ist deshalb grundsätzlich mangelhaft. Allerdings ist die Konstruktion nach Ansicht des Verfassers voll brauchbar, in ihrer Funktionsfähigkeit nicht beeinträchtigt („geringfügige Beeinträchtigung“ nach *Oswald*) und deshalb in ihrem Feuchteverhalten einer regelgerechten Leistung praktisch gleichwertig. Feuchteschäden sind nicht zu erwarten; ein Nachbessern der Konstruktion ist nicht erforderlich. Dieser Sachverhalt ist nach Ansicht des Verfassers bei der Beurteilung möglicher Gewährleistungsansprüche bzw. Nachbesserungsforderungen zu berücksichtigen. Dies gilt natürlich nur für den Fall eines nicht planmäßigen Abweichens von den Regeln der Technik – eine von vorneherein so beabsichtigte Ausführung unter Ausnutzung der „Robustheit“ des Dachaufbaus wäre in aller Entschiedenheit abzulehnen! Hätten die äußeren Schichten des Daches zusammengenommen einen s_d -Wert deutlich über einigen Zentimetern oder wäre es ein unbelüftetes Dach, wäre bei den beschriebenen Randspalten ein Tauwasserausfall innerhalb der Konstruktion zu erwarten. Selbst wenn dieser im Einzelfall noch im zulässigen Bereich läge, wäre eine Nachbesserung der Konstruktion erforderlich.

Generell ist eine Wasserdampfdiffusion durch undichte Anschlußstellen der Dampfbremse um so kritischer, je größer die undichte Stelle ist und je weniger diffusionsoffen die äußeren Schichten des Außenbauteils sind. Häufig sind einzelne Fehlstellen in der Dampfbremse ohne Schadensfolge, wenn sie nur zu einer örtlich erhöhten Diffusion von Wasserdampf führen, nicht aber zu einem konvektiven Feuchteintrag in die Konstruktion, d.h. wenn die

Luftdichtheit der Konstruktion anderweitig gegeben ist. Ist dies nicht der Fall und kommt es zu einem Einströmen von feuchter Raumluft in das Bauteil, werden häufig Feuchteschäden die Folge sein.

3.6 Setzungsverhalten loser Dämmstoffe

Für den Einbau von losen Wärmedämmstoffen in Hohlräume von Wänden aus Holzbaustoffen kann das Setzungsverhalten des Wärmedämmstoffs ein Problem darstellen. Durch den Transport und die Montage von Wandtafeln sowie Stoßbelastungen im eingebauten Zustand während der Nutzung durch zuschlagende Türen oder Fenster sind die Dämmstoffe Erschütterungen ausgesetzt, die ein Setzen verursachen können. Dadurch entstehen Hohlräume, die Wärmebrücken darstellen, zu erhöhten Wärmeverlusten und erniedrigten Innenoberflächentemperaturen führen und deshalb nicht zulässig sind. Da eine nachträgliche Verfüllung entstandener Hohlräume bei Holztafel- oder Holzrahmenkonstruktionen ohne Beschädigung des Bauteils nicht möglich ist, können auf den Hersteller derartiger Wandelemente oder den Bauunternehmer erhebliche Schadensersatzansprüche zukommen.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens [x] wurden Wandelemente, die mit Dämmstoffen gefüllt waren, an der Praxis orientierten Belastungen ausgesetzt (Stoßbeanspruchung in Wandebene und rechtwinklig zur Wandfläche, verursacht durch Erschütterungen während des Transportes von Fertigelementen auf der Straße; Stoßbeanspruchung rechtwinklig zur Wandebene, entsprechend der Beanspruchung z.B. durch Zufallen von Fenstern und Türen). Die relevanten Dämmstoffeigenschaften wurden ermittelt. Die Untersuchungen erfaßten lose Wärmedämmungen aus Zellulosefasern, Holzfasern, Hobelspänen und Perlit, sowie Vliesbahnen aus Flachs- und Polyesterfasern und Glaswolle-Dämmstoff. Um die Erschütterungen der Wand zu simulieren, die das Zufallen einer Haustür erzeugt, wurde ein Pendelschlagprüfstand entwickelt und gebaut. Die Prüfung entspricht einer Belastung in der Praxis von z.B. 10 Schlägen pro Tag über eine Dauer von 9 Jahren. Einige Wandelemente wurden der zusätzlichen Belastung eines ca. 8-stündigen Transportes mit einem LKW über Autobahnen und Landstraßen ausgesetzt, wie sie für Wandelemente im Fertighausbau zutrifft.

Bei Zellulosefasern, Holzfasern und Hobelspänen wurden keine unzulässigen Setzungen festgestellt. Einschränkend muß gesagt werden, daß die Einbaurohdichten der Zellulosefaserdämmungen über denen lagen, die in den bauaufsichtlichen Zulassungen angegeben sind. Dies konnte erst nach Abschluß der Untersuchungen festgestellt werden. Beim Holzfaser-Dämmstoff ist anzumerken, daß nach Abschluß des Einblasvorgangs der obere Teil der Wand im Bereich der oberen Einblasöffnung von Hand nachgestopft werden muß, um die vollständige Füllung des Gefachs sicherzustellen. Die mit losen Holzspänen gefüllten Gefache waren mit zwei stehenden Bögen aus Hartfaserstreifen in drei ungefähr gleich große Abschnitte unterteilt. Dadurch wird der Druck des im Gefach oben liegenden Dämmstoffs auf die weiter unten liegenden Bereiche von den Hartfaserbögen aufgenommen und der Einfluß des Eigengewichts des Dämmstoffes als Ursache für Setzungen beseitigt. Die Schüttung aus geblähtem Perlit zeigte nach der Pendelschlag-Prüfung eine Setzung von 98 mm unterhalb des oberen Querriegels. An den Vliesbahnen aus Flachs- und Polyesterfasern und am Glaswolle-Dämmstoff traten keine Setzungen auf. Die gefundenen Erkenntnisse können als Basis für die Formulierung setzungsrelevanter Anforderungen an Wärmedämmstoffe für Holzständerbauweise dienen. Deren Einhaltung wurde für einige auf dem Markt befindliche Dämmstoffe nachgewiesen und kann bei Produktmodifikationen oder Neuentwicklungen überprüft werden [x] [xi].

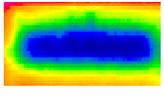
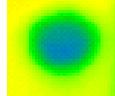
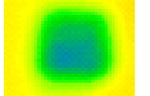
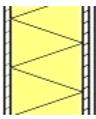
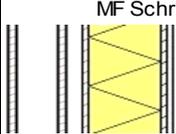
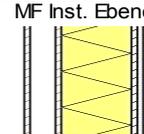
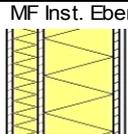
3.7 Auswirkung von Hohlräumen in der Wärmedämmung von Holzständerwänden

In einem Folgevorhaben wurden experimentell die Auswirkungen von Hohlräumen in der Hauptdämmebene von Holzrahmenkonstruktionen ermittelt [xii]. Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) einer Wandkonstruktion wird davon ausgegangen, dass der Dämmstoff raumausfüllend in die Wand eingebracht ist. In der Baupraxis zeigt es sich jedoch häufig, dass in der Dämmebene Hohlräume vorhanden sind. Diese können z.B. durch nicht sachgerechtes Einblasen oder Einfüllen von losen Dämmstoffen oder durch nicht ausreichend sorgfältiges Einpassen mattenförmiger Dämmstoffe in die Gefache entstehen. Hohlräume können aber auch durch eine Volumenverminderung (Setzung) des Dämmstoffes infolge Erschütterungen entstehen. Werden Fehlstellen in der Wärmedämmung entdeckt, stellt sich die Frage, ob sie unzulässige Wärmebrücken darstellen und demzufolge als Mangel anzusehen sind oder ob ihr Einfluss vernachlässigbar ist. Einen Mangel stellen Hohlräume dar, wenn sie dauerhaft Schäden am Bauteil verursachen. Ziel der Untersuchungen waren Aussagen zur fehlerstellen nahen Absenkung der raumseitigen Wandoberflächentemperatur und des feuchtetechnischen Verhaltens von Holzständerwänden in Abhängigkeit von der Größe der Fehlstelle in der Wärmedämmung.

Mit einer Thermokamera und Thermoelementen wurden die niedrigsten Oberflächentemperaturen der Wandoberfläche und im Falle der Wände mit Installationsebene die Oberflächentemperaturen der inneren Beplankung der Wand (zwischen Installationsebene und Haupt-Dämmschicht der Wand) über den Fehlstellen in der Wärmedämmung experimentell ermittelt und in Abhängigkeit von der Hohlraumgröße in Diagrammen aufgetragen. Aus diesen Diagrammen wurden die Fehlstellenabmessungen bestimmt, bei denen an der diffusionshemmenden Schicht die kritische Oberflächentemperatur von 12,6 °C erreicht wird. Die folgende Tabelle stellt einen Auszug der kritischen Abmessungen der Hohlräume für die untersuchten Wandsituationen zusammen [xii] [xi]. Die Überschreitung der gefundenen kritische Abmessungen ist als Mangel zu bewerten.

Die kritischen Abmessungen der Fehlstellen für den Wandaufbau mit Installationsebene sind deutlich kleiner als für den Wandaufbau ohne Installationsebene. Durch die gedämmte Installationsebene wird eine gute Dämmung noch vor der dampfsperrenden Schicht erzielt. Dies hat zur Folge, dass die Temperatur an der dampfsperrenden Schicht auch bei ungestörten Verhältnissen auf 14°C abfällt. Bis zur Temperatur von 12,6°C liegt hier nur eine Differenz von 1,4 K vor, die durch kleine Hohlräume in der Wärmedämmung bereits erreicht wird. Es ist also bei Anbringung einer wärmegeprägten Installationsebene auf eine möglichst gute Abdichtung der Öffnungen zu achten, um einen Feuchteeintrag insbesondere durch Wasserdampfkonvektion zu unterbinden. Bei Konstruktionen mit ungedämmter Installationsebene hingegen wird die Oberflächentemperatur von 12,6 °C erst durch etwas größere Hohlräume erreicht. Die Ursache ist die um 6,8 K höhere Temperatur auf der dampfsperrenden Schicht bei ungestörter Wärmedämmung.

Tabelle 1: kritische Abmessungen von Hohlräumen in der Wärmedämmung für eine Temperatur von 12,6 °C an der Wandoberfläche (Zeilen 1 und 2) bzw. der inneren Beplankung der Wand zwischen Installationsebene und Haupt-Dämmschicht [xii].

		linienförmige Fehlstellen		punktförmige Fehlstellen	
		horizontal	vertikal	rund	quadratisch
					
kritische					
		Höhe	Breite	Durchmesser	Kantenlänge
Temperatur bedingung	Konstruktionsart	$h_{krit.}$ cm	$b_{krit.}$ cm	$d_{krit.}$ cm	$a_{krit.}$ cm
20 / -5	 <p>MF</p> <p>Von innen: 1 OSB 15mm 2 MF-040 160mm 3 DWD 15mm 4 GF 12,5mm</p>	9	6	11	12
20 / -5	 <p>MF Schrank</p> <p>Von innen: 1 Schrank 2 OSB 15mm 3 MF-040 160mm 4 DWD 15mm 5 GF 12,5mm</p>	7	5	8	8
20 / -5	 <p>MF Inst. Ebene unged.</p> <p>Von innen: 1 OSB 15mm 2 Luft 60mm 3 OSB 15mm 4 MF-040 160mm 5 DWD 15mm 6 GF 12,5mm</p>	6	3	7	6
20 / -5	 <p>MF Inst. Ebene ged.</p> <p>Von innen: 1 OSB 15mm 2 MF-040 60mm 3 OSB 15mm 4 MF-040 160mm 5 DWD 15mm 6 GF 12,5mm</p>	2	1	3	3

4 Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes

Das sommerliche Temperaturverhalten eines nicht klimatisierten Raumes wird maßgeblich von den Haupteinflussfaktoren Außenklima, Sonneneinstrahlung und Nutzereinfluss bestimmt, d.h. konkret von der Fensterfläche und -orientierung, dem Gesamtenergiedurchlaßgrad der Fenster inklusive Sonnenschutz, dem Lüftungsverhalten der Nutzer, der Steuerung von Verschattungseinrichtungen und dem Wärmespeichervermögen des betrachteten Raumes (bzw. der raumseitigen Bauteilschichten). Es kommt zu einem Spannungsfeld zwischen dem Wunsch nach hohen winterlichen Solargewinnen und guter Belichtung auf der einen Seite – dafür wären möglichst großzügige Verglasungen anzustreben – und der Erfordernis eines angenehmen Raumklimas im Sommer, wofür eher kleinere Verglasungsflächen vorteilhaft wären. Die Bauart des Gebäudes und andere Einflussfaktoren wie z.B. verfügbare Nachtlüftung verschieben den Gleichgewichtspunkt zwischen beiden Gegenpolen mehr in die eine oder die andere Richtung. Dies verdeutlicht die Chancen für effektiven Sonnenschutz: Ermöglichung von großen Glasflächen und entsprechend hohen winterlichen Solargewinnen durch guten, effektiven Sonnenschutz im Sommer. Bei Leichtbauten kommt dem effektiven Sonnenschutz und einer ausreichenden Nachtlüftung eine besondere Bedeutung zu, um Überhitzungserscheinungen zu vermeiden; vorteilhaft kann auch die Bereitstellung zusätzlicher Speichermassen im Raum sein.

4.1 Temperaturamplitudenverhältnis TAV und Phasenverschiebung φ versus empfundener Raumtemperatur

Für einige Dämmstoffe wird mit dem Argument geworben, sie würden die thermische Behaglichkeit im Sommer in den damit gedämmten Häusern bzw. Räumen sehr verbessern. Das Maß für das resultierende, thermische Behaglichkeitsempfinden eines Nutzers in einem Aufenthaltsraum ist die empfundene Temperatur ϑ_E . Sie stellt den Mittelwert aus der Raumlufftemperatur und dem Mittelwert der flächenanteilig gewichteten Innenoberflächentemperaturen dar und repräsentiert besser als die Raumlufftemperatur alleine das thermische Empfinden des Nutzers. Der alleinige Bezug auf das Temperaturamplitudenverhältnis TAV und die Phasenverschiebung φ zwischen den Temperaturmaxima an der Außen- und der Innenoberfläche, die bei einzelnen Außenbauteilen auftreten, ist zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes von Gebäuden nicht sinnvoll. TAV und φ als Größen beruhen auf jeweils festliegenden Randbedingungen (adiabater Abschluß auf der Innenseite; sinusförmige aufgeprägte Temperatur auf der Außenoberfläche), die nicht den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechen; sie beziehen sich ausschließlich auf ein Bauteil und berücksichtigen in keiner Weise den Einfluß des restlichen Gebäudes, des Nutzerverhaltens etc. Für das thermische Behaglichkeitsempfinden einer Person in einem Gebäude sind nicht in erster Linie die abstrakten Größen TAV und φ von Bedeutung, sondern der Unterschied zwischen Außenlufttemperatur und Raumtemperatur und der Tagesgang beider Größen relativ zueinander, wie sie sich in dem Zusammenspiel von Gebäudeeigenschaften, Außenklima, Sonnenstrahlung und Nutzerverhalten „tatsächlich“ ergeben.

4.2 Charakterisierung des sommerlichen Temperaturverhaltens

Für die empfundene Raumtemperatur wird üblicherweise ein „Soll“-Grenzwert ϑ_G von 26°C vorgegeben, siehe z.B. [xiii], dessen Überschreitung als thermisch nicht mehr angenehm betrachtet wird. In den technischen Regelwerken (Arbeitsstättenrichtlinien, Normen) und in Gerichtsurteilen wird eine unterschiedliche zulässige Überschreitungsdauer dieses Grenzwerts festgelegt, weshalb der Wert hier als „Soll“-Grenzwert bezeichnet wird. Dieser „Soll“-Grenzwert ist aufgrund der Gewöhnung des Menschen an das übliche Temperaturniveau der betrachteten Region anzupassen. Für einen gegebenen Wert für ϑ_G kann das sommerliche Temperaturverhalten anhand folgender Berechnungsergebnisse beurteilt werden ([xiv])

- maximal während des Jahres erreichte, empfundene Raumtemperatur;
- Tagesgang der empfundenen Raumtemperatur ϑ_E z.B. während einer heißen Sommerwoche;
- Überschreitungsdauer t_G in Stunden sowie Anzahl n_G der Tage pro Jahr, an denen die empfundene Raumtemperatur den Wert ϑ_G überschreitet;
- maximale Überschreitung $\Delta\vartheta_{G,max}$ des Werts ϑ_G durch die empfundene Raumtemperatur im Jahresverlauf;
- Übertemperaturgradstunden Gt_G , d.h. die Aufsummation des Produkts aus der Überschreitung $\Delta\vartheta_{26}$ und der Dauer der Überschreitung. Dabei werden nur positive Differenzen zwischen der aktuellen Temperatur und dem Soll-Grenzwert berücksichtigt. Die Summation erfolgt mit denselben Zeitschritten Δt_G wie die durchgeführte Simulationsrechnung über das ganze Jahr.

4.3 Beispiel wohngenutztes Dachgeschoß – Einfluß der Wärmespeicherung des Dämmstoffs

Im Folgenden werden beispielhaft diesbezügliche Berechnungsergebnisse zum sommerlichen Temperaturverhalten eines Aufenthaltsraumes im Dachgeschoß eines Wohnhauses für die heißeste Sommerwoche des Jahres vergleichend dargestellt [xv] [xvi]. Die Ergebnisse von Simulationsrechnungen sind aufgrund notwendiger Vereinfachungen bei der Modellerstellung für den Relativvergleich der berechneten Daten untereinander uneingeschränkt und für absolute Vergleiche eingeschränkt einsetzbar. Aus der Grafik ist ersichtlich, wie die Temperatur der Außenluft (und das solare Strahlungsangebot; nicht dargestellt) im Verlauf der Woche zunehmen, um am 5. Tag ein Maximum zu erreichen. Diesem prinzipiellen Verlauf folgt auch die empfundene Raumtemperatur, aber mit deutlich niedrigeren Spitzenwerten tagsüber und deutlich höherer Werten nachts. Die höchsten Raumtemperaturen werden, trotz einer geringeren Außenlufttemperatur, nicht am fünften, sondern am letzten Tag der Woche erreicht. Grund hierfür ist das hohe Strahlungsangebot dieses Tages im Zusammenspiel mit den noch von den vorherigen Tagen „aufgeladenen“ Speichermassen der berücksichtigten Bauteile. Liegen die empfundenen Raumtemperaturen unter dem hier angesetzten Grenzwert von 26 °C und tagsüber deutlich unter der Außenlufttemperatur, kann das Raumklima als thermisch angenehm bezeichnet werden. Die thermische Behaglichkeit im Sommer wird in allen dargestellten Fällen erreicht durch einen effektiven Sonnenschutz des Dachflächenfensters in Verbindung mit der Speicherfähigkeit der massiven Bauteile (sofern vorhanden) und einer erhöhten Nachtlüftung, nicht jedoch durch die Art des eingesetzten Dämmstoffes. Auffällig sind die sehr geringen Unterschiede der empfundenen Raumtemperatur zwischen den geprüften Dachaufbauten, trotz teilweise deutlich divergierender Werte für das Temperaturamplitudenverhältnis und die Phasenverschiebung der untersuchten Dachvarianten. Daraus kann gefolgert werden, daß zumindest bei massiven Wänden und Decken die Wahl des Dämmstoffes im Steildach nur einen nahezu vernachlässigbaren Einfluß auf die sich ergebende Raumtemperatur hat. Der Einfluß von Fensterfläche, Verschattung, erhöhter Nachtlüftung und innerer Abwärme ist von größerer Bedeutung für die sommerliche Behaglichkeit als das Wärmespeichervermögen der verwendeten Dämmstoffe. Vor allem an einem nach Süden orientierten, großen Dachflächenfenster ist ein Sonnenschutz unbedingt erforderlich; die während eines Tages pro Quadratmeter auf die Dachfläche zugestrahlte Solarenergie beträgt etwa das Doppelte der Energie, die auf die senkrechte Südfassade einfällt!

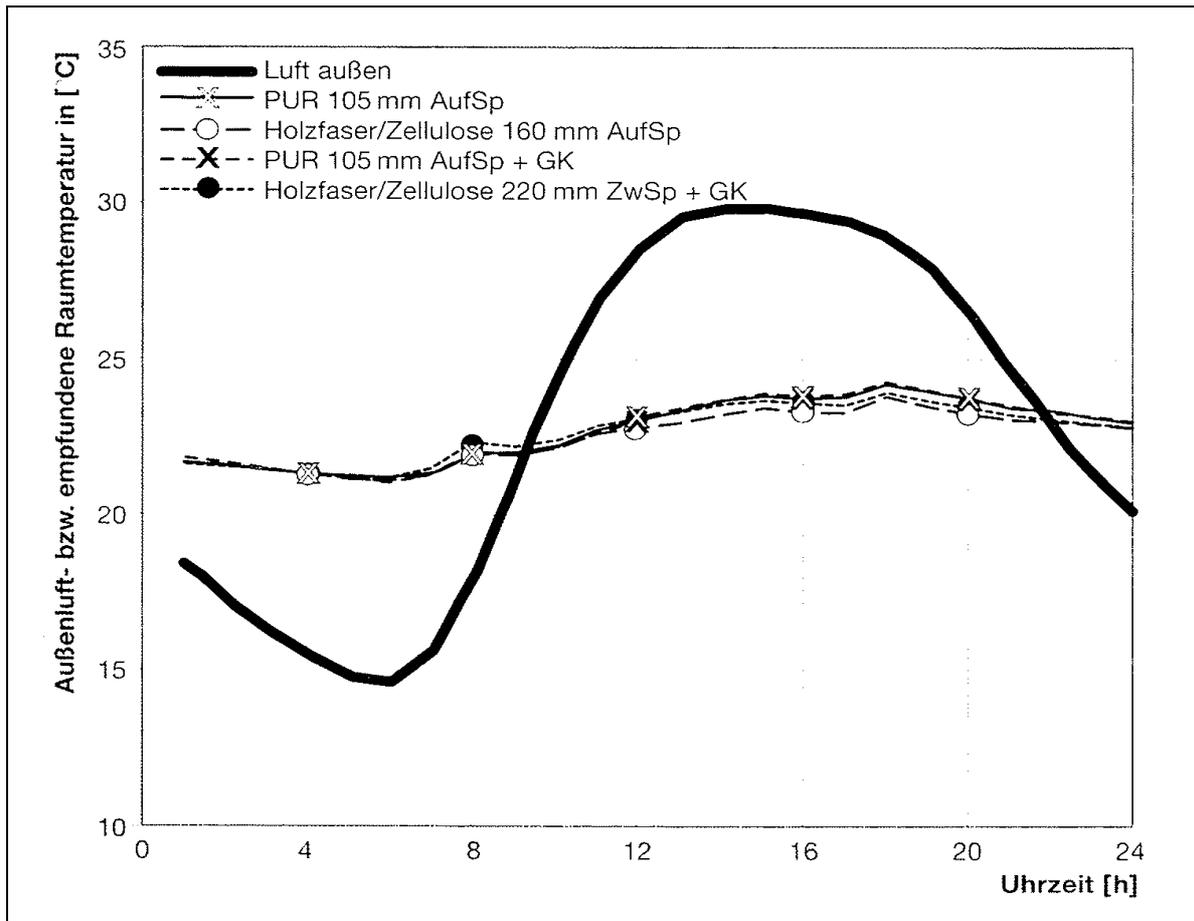


Abbildung 1: Vergleich der empfundenen Raumtemperatur in einem 15 m² großen Aufenthaltsraum im ausgebauten Dachgeschoß (Beispiel). Angaben: konventionelles Sparrendach; Außenwände und Innenwände massiv aufgemauert; Decke nach unten Stahlbeton mit schwimmendem Estrich und Teppichbelag; Dachfläche nach Süden orientiert; groß dimensioniertes Fensterelement; Fensterflächenanteil 20% der Dachfläche bzw. 23% der Grundfläche des Raumes; Dachneigung 30°. Aus [xvi].

5 Zusammenfassung

Die Verminderung von Wärmebrückeneffekten, die Berücksichtigung des klimabedingten Feuchteschutzes und die Sicherstellung einer ausreichend luftdichten Ausführung, für die Bauteilflächen und alle Bauteilanschlüsse, hilft, Bauschäden zu vermeiden und den Wert des (neuen) Gebäudeteils zu erhalten. Die Kombination aus einer guten Wärmedämmung, einer effektiven Sonnenschutzvorrichtung im Sommer und einer angemessenen Lüftung ermöglicht bei Anbauten und Aufstockungen in Holzbauweise einen hohen winterlichen und sommerlichen thermischen Komfort bei geringem Energiebedarf für Heizen + Kühlen.

6 Literatur

- [i] ISO 6946:1996-08 mit ISO 6946 AMD 1:2003-05: Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren; mit Änderung 1.
- [ii] ISO 13789:1999-09: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren.
- [iii] DIN 4108 Beiblatt 2:2004-01: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele
- [iv] ISO 10211-1: 1995-08: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren; und: ISO 10211-2:2001-03: Wärmebrücken im Hochbau - Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken
- [v] ISO 14683:1999-06: Wärmebrücken im Hochbau - Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient - Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte
- [vi] DIN 4108-3:2001-07 mit DIN 4108-3 Berichtigung 1:2002-04: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung; mit Berichtigung 1
- [vii] ISO 13788:2001-07: Wärme- und feuchtechnisches Verhalten von Bauteilen - Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren
- [viii] DIN 4108-7:2001-08: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- [ix] Spitzner, M. H.: Flankenübertragung und Fehlstellen bei Dampfsperren – wann liegt ein ernsthafter Mangel vor? In: Oswald R. (Hrsg.), Leckstellen in Bauteilen, Wärme – Feuchte – Luft – Schall; Tagungsband Aachener Bau-Sachverständigentage 2003; S. 41-54. Wiesbaden: Vieweg 2003
- [x] Cammerer J.: Erarbeitung von Prüfmethode zur Beurteilung des Setzungsverhaltens von losen Dämmstoffen. Schlußbericht des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e.V. München, an das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie – Innovationsberatungsstelle Südbayern; Mai 2001
- [xi] Cammerer J., Spitzner, M. H., Treiber G., Schmitt H., Heinz G.: Settling and acceptable size of gaps in loose-fill thermal insulation in walls. In: Carmeliet J., Hens H., Vermeir G. (Hrsg.), Research in Building Physics; Proceedings of the 2nd International Conference on Building Physics 14.-18.09.2003, Leuven, Belgien; S. 545-553. Lisse/NL: A.A.Balkema 2003
- [xii] Cammerer J., Treiber G.: Untersuchungen zur Auswirkung von Hohlräumen in der Wärmedämmung von Holzständerkonstruktionen. Schlußbericht des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e.V. München, Projektnummer 9170/1.11 - IBS/e – 42977/01 des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie – Innovationsberatungsstelle Südbayern; Juni 2004
- [xiii] DIN 4108-2:2003-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [xiv] Hauser G., Otto F.: Holzspäne: Dämmstoff mit hoher Wärmespeicherfähigkeit für den sommerlichen Wärmeschutz. Bauen mit Holz 8/99, S. 34-40
- [xv] Spitzner M. H.: Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau. Untersuchungsbericht des FIW München, unveröffentlicht. Weitgehend wiedergegeben in: Endres E., Kindermann P.: Sommerlicher Wärmeschutz – Die wichtigsten Einflußfaktoren. Stuttgart: IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. 2000. (Informationsbroschüre).
- [xvi] Endres E., Kindermann P.: Sommerlicher Wärmeschutz – Die wichtigsten Einflußfaktoren. Stuttgart: IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. 2000. (Informationsbroschüre)