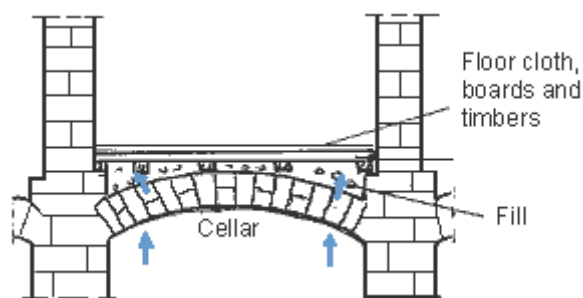


## Die Tauwasserbildung und die Durchfeuchtung der Bauteile bei älteren massiven Gebäuden Teil 1

Die künftigen Bauaktivitäten verlagern sich immer mehr in den Bereich der Modernisierung und Erhaltung der vorhandenen Bausubstanz. Daher wird bei diesem Beitrag bei der Betrachtung der Feuchtigkeitsproblematik der Schwerpunkt auf ältere Gebäude mit Ziegelmauerwerk gesetzt. Im Verlauf ihrer Standzeit traten unterschiedliche Feuchteinflüsse auf. Die dabei auftretenden Feuchtigkeitstransportprozesse, wie die Wasserdampfdiffusion oder kapillare Wasserleitung werden durch den Feuchtegrad, die Feuchteverteilung in der jeweiligen Baustoffstruktur, dem Sorptionsverhalten sowie von den Schichtgrenzen innerhalb der massiven Konstruktion bestimmt.

In allen kapillarporösen Bauwerksteilen stellt sich allmählich ein praktischer und rechnerischer Feuchtegehalt als Durchschnittswert ein. Maßgebend sind die klimatischen Gegebenheiten und die Zellstruktur des Stoffes. Zu den Feuchtigkeitstransportprozessen im Mauerwerk und ihre Speicherung in den unterschiedlichen Baustoffstrukturen gibt es zahlreiche Publikationen, die sowohl Untersuchungen aber auch Berechnungsmethoden des gekoppelten Wärme- und Feuchte-transportes in den Bauteilen zum Inhalt haben.[1, 2, 3, 4, 5] Bei der gespeicherten Feuchtigkeit in einer Außenwand handelt es sich um einen ständig veränderlichen Prozess. Es ist daher schwierig, den durchschnittlichen Feuchtegehalt anzugeben. Die außenklimatischen Bedingungen, wie Standort an der Küste oder im Binnenland, die Beanspruchung durch Schlagregen sowie die Jahreszeit wirken hier entscheidend ein, sodass bei gleichem Mauerwerk eines Gebäudes je Ausrichtung vollkommen unterschiedliche Feuchteverteilungen vorliegen können und sich so zusätzlich auf das Wärmeverhalten des Gebäudes auswirken.

Trifft ein Wasser-Dampf-Gemisch (Luft) auf eine weniger warme Bauteiloberfläche auf und die Taupunkttemperatur der Luft wird unterschritten, so bildet sich auf einer glatten Oberfläche ein dünner Feuchtigkeitsfilm oder Wassertropfen. Da sich während der Standzeit der Gebäude ständig die Nutzung ändert, sollte die Innenscheibe der Fenster als kühlste Fläche erhalten werden. [6] Hier kann sich sichtbar Kondensat ansammeln, ohne größere Schäden zu verursachen. Gerade dieser wichtige Gesichtspunkt wird bei der Sanierung der älteren Gebäude nicht beachtet. Durch den Austausch der Kastenfenster durch Isolierverglasung mit einem U-Wert  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  und besser verlagert sich die kühlste Oberfläche in die Innenecken und über den Fußboden der Außenwände, siehe Beispiel Bild 2. Eigene Messungen der Oberflächentemperaturen an verschiedenen Außenwänden zeigen, dass die Temperatur über dem Fußboden circa  $3 \text{ K}$  niedriger als  $1 \text{ m}$  höher ist. Grundlage für die Bewertung einer Konstruktion sind daher die Temperaturen im Wandwinkel und des Wandabschnitts über den Fußboden. Diese punktuelle Außenwanddecke wird durch einen Wärmedurchgangskoeffizienten  $X$  charakterisiert. Zur Ermittlung des  $X$ -Wertes ist eine 3-D-Berechnung des zu beurteilenden Anschlusses sowie eine 2-D-Berechnung für die linearen Wärmebrücken der Bauteilflächen, die sich dreidimensional treffen erforderlich. Ebenso wie der  $\Psi$ -Wert (linearer Wärmedurchgangskoeffizient), welcher den zusätzlichen Wärmestrom im Bereich einer Wärmebrücke im Vergleich zum ungestörten Bauteil angibt, besitzt diese Größe nicht immer Aussagekraft. [7] Die Berechnungen dienen dem wärmetechnischen Nachweis, um zusätzliche Verluste an Außenwandwinkeln zu erfassen. [8, 9, 10]



**Bild 1:** Die Feuchtigkeit aus dem Keller und die kühle Oberfläche des Holzfußbodens führen zur Feuchteerhöhung der Dielung.

Länger anhaltende Tauwasserniederschläge können zu Feuchteschäden führen, die einmal zur Herauslösung gebundener Salze in den Baustoffen führen, aber auch eine Schimmelpilzbildung verursachen und günstige Wachstumsbedingungen für Holz zerstörende Pilze und Insekten bieten. Besonders betroffen sind hier Lagerhölzer und die Dielung über einer Kappe im Erdgeschoss (siehe

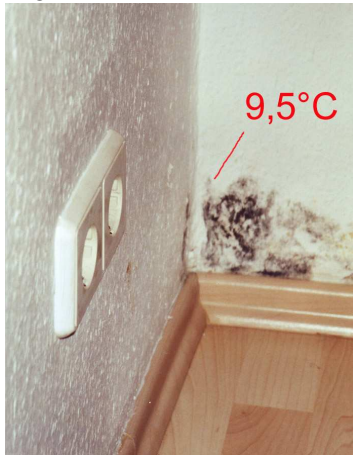
Bild1), die Balkenköpfe im Außenmauerwerk und Fachwerkkonstruktionen. Wobei für eine biologische Schädigung langfristig bereits niedrigere Feuchten im Mauerwerk ausreichen.

Es tritt aber auch Tauwasser an Baustoffen mit außerordentlich großem Wärmespeichervermögen auf, wie zum Beispiel bei Schwerbeton. Das liegt in diesem Fall nicht an der fehlenden Wärmedämmeigenschaft, sondern an einen großen Wärmeeindringkoeffizienten  $b$  und die geglättete Betonoberfläche nimmt keine Feuchtigkeit auf. In diesem Fall ist eine diffusionsoffene Beschichtung anzubringen, zum Beispiel eine Raufasertapete oder Kork. Diffusionsdichte Beschichtungen, wie zum Beispiel Styroporplatten für die Zimmerdecken, verstärken diesen Effekt, sodass dann zwischen den Fugen der Platten eine starke Tauwasserbildung entsteht und durch eine Schimmelpilzbildung gekennzeichnet wird.

Der Feuchteschutz nach DIN 4108-07 ist darauf gerichtet, Schäden an Bauteilen zu vermeiden sowie einer Beeinträchtigung des Wärmeschutzes entgegenzuwirken. Dazu ist

- die Tauwassermenge im Bauteilinneren zu begrenzt,
- eine kritische Oberflächenfeuchte und
- das Eindringen von Schlagregen zu vermeiden.

Befindet sich Wasser an der Bauteiloberfläche, so kann dieses durch den jeweiligen Baustoff kapillar oder auch durch Diffusion aufgenommen werden. Dabei wird die Richtung der Diffusion von dem Konzentrationsgefälle der absoluten Luftfeuchte bestimmt. Sie ist nicht abhängig von der Richtung des Wärmestroms, sie kann dieser entgegengesetzt gerichtet sein. Der Wärmestrom folgt dem Temperaturgefälle und der Dampfdruck dem Dampfdruckgefälle. Im Winter ist die absolute Feuchtigkeit der kalten Außenluft geringer, daher sind der Wärme- und der Dampfstrom nach außen gerichtet.[10, 11] „In Baustoffen mit freiem Wasser in den Poren kann dabei der Wasserdampfdiffusionsstrom ins Freie erheblich größer sein als die pro Zeiteinheit an der Innenwandoberfläche absorbierten Wassermengen.“ Der Wasserdampfdiffusionsprozess entzieht so den Schimmelpilzen das für das Wachstum erforderliche freie Wasser. „Die publizierten Ergebnisse der Laboruntersuchungen widerlegen nicht die Annahme, dass Schimmelpilzbildung auf der raumseitigen Oberfläche der Außenbauteile von Wohnungen in erster Linie von Tauwasserniederschäden herrührt. Ob Wasser aus einem Sorptionsvorgang für das Wachstum von Schimmelpilzen auf Bauteiloberflächen verantwortlich sein kann, ist ungeklärt.“ Es gibt bisher keine Angaben, ob sich die Laborergebnisse auf die realen Verhältnisse in Wohnungen übertragen lassen.



[12] Ein Beispiel stellt das Bild 2 dar, wo eine Tauwasser- und Schimmelpilzbildung im Wandeck auf der Raufasertapete erfolgte. Hier liegt nicht nur eine niedrige Oberflächentemperatur vor, sondern der Wassertransportprozess wird durch die Dispersionsfarbe auf der Tapete und eventuell auch durch die Farbbeschichtung auf der Außenseite behindert. Die Feuchteerhöhung erfolgt aber auch am Auflager des Streichbalkens der Holzbalkendecke, die meist eine höheren Schädigung durch Holz zerstörende Insekten oder Pilze haben.

**Bild 2:** Schimmelpilzbildung als Folge einer Tauwasserbildung an einer Gebäudeaußenecke. Raumlufttemperatur  $17,6^{\circ}\text{C}$  bei einer relativen Luftfeuchte von 53 %.

Bereits die DIN 4108-5 (1981) lies im Punkt 11.2.4. als Alternative zum Glaser-Verfahren das Berechnungsverfahren mit Monatsmittelwerten nach JENISCH zu. Dieses Verfahren wurde weiterentwickelt und ist in der DIN EN ISO 13788 (2001) aufgenommen und gilt als teilweiser Ersatz für die DIN 4108-3 (2001). Es gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten der Dampfdiffusion. Es wird mit Monatsmittelwerten gerechnet und eine Feuchtebilanz für einen Jahreszyklus aufgestellt. Mit dieser Berechnung treten innerhalb mehrschichtiger Außenwandkonstruktionen beheizter Gebäude geringere Tauwassermengen auf. [13] Diese günstigeren bauphysikalischen Werte in Bezug der rechnerischen

Tauwasserbildung und der Verdunstungsmenge resultieren aus dem gegenwärtigen etwas höheren Jahrestemperaturverlauf. Es ist jedoch zu beachten, dass ein Gebäude nicht nur 20 Jahre steht, sondern mehrere Jahrhunderte alt werden kann. Vergleicht man nur die letzten 150 Jahre, so werden größere Differenzen der durchschnittlichen Jahrestemperatur deutlich. [14] Nach Abklingen der gegenwärtigen höheren Sonnenaktivitäten [15, 16, 17] können durchaus in den nächsten Jahren wieder niedrigere Jahrestemperaturen vorliegen. Konstruktionen, die unter heutigen durchschnittlichen Jahrestemperaturen tauwasserfrei berechnet werden, können dann versagen. Eine Berechnung und bauseitige Umsetzung auf der Grundlage der gegenwärtigen Erhöhung der Jahrestemperatur ist daher als sehr bedenklich zu werten. Theoretisch berechnete wasserfreie Konstruktionen müssen daher nicht über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes gelten.

Die Auswertung eigener Untersuchungen älterer Mehrfamilienhäuser, vorwiegend aus der Gründerzeit, zeigen bei 4477 Deckenbalkenköpfen einen durchschnittlichen Schädigungsgrad von 23,8 % durch Holz zerstörende Insekten und Pilze. Dabei wurden sehr unterschiedliche Schädigungsgrade festgestellt, die im Zusammenhang mit der Feuchte im Wandquerschnitt standen. Die Auswertung erfolgte nach Himmelsrichtung und der Stärke der Außenwand. In den unteren Etagen liegt die höchste Schädigung vor. Damit kann die bisherige Auffassung, dass die Balkenköpfe im schmalen Mauerwerk eine größere Schädigung haben, nicht bestätigt werden. Die Auswertung zeigt, dass bereits eine geringe Erhöhung der Holzfeuchte von 1,4 % durchschnittlich die Schädigung an den Balkenköpfen um 4 % auf 25 % ansteigt. Das entspricht einem Anstieg der relativen Luftfeuchte von 7 %. Ebenso liegt eine Schädigung der tragenden Holzkonstruktion auf der südlichen Fassade niedriger und beträgt circa 60 % gegenüber den auf der Nordseite. Durch Anobien wurden auf der südlichen Fassade 131 und auf der nördlichen Fassade 212 Deckenbalken geschädigt. Damit wird der positive Einfluss auf die Trocknung des Mauerwerkes und der Balkenköpfe durch die Solarstrahlung deutlich. Die Fassaden hatten mehrheitlich noch den ursprünglichen hydraulischen Kalkaußenputz oder eine Klinkerfassade. Aber auch bei der Klinkerfassade konnte eine deutlich höhere Schädigung festgestellt werden, die etwa um 50 % höher als bei einer verputzten Fassade ist. Um die mögliche Schädigung an den Balkenköpfen zu vermeiden, muss somit ein diffusionsoffener Schichtaufbau der Außenwand vorliegen. Die Larven der Holz zerstörenden Insekten, zum Beispiel *Anobium punctatum*, haben noch Fraßaktivitäten bei einer Holzfeuchte von 8 bis 10 %, die eng an die Temperatur gekoppelt sind. Bei niedrigen Temperaturen liegt keine beziehungsweise geringe Fraßaktivität durch Anobien vor. Bei einem nachträglich angebrachten Wärmeverbundsystem werden günstigere Lebensbedingungen für Holz zerstörende Insekten geboten. Durch die zusätzlichen Grenzschichten oder gar Sperrschichten kommt es zur geringen Erhöhung der durchschnittlichen Feuchte im Wandquerschnitt. Die durchschnittliche Temperatur wird erhöht und damit günstigere Temperaturbereiche für das Wachstum der Insekten über das gesamte Jahr geboten. Ebenso wird der positive Trocknungseffekt durch die Solarstrahlung vollständig unterbunden. Bei einer nachträglichen energetischen Sanierung von Gebäuden mit tragenden Holzkonstruktionen sind die feuchtetechnischen Veränderungen zu berücksichtigen. Eine zulässige Feuchteerhöhung im Wandquerschnitt, wie sie in der DIN 4108 als Bedingung genannt wird, ist für ein älteres Mehrfamilienhaus mit Holzbalkendecken nicht tolerierbar und widerspricht den Regeln der Baukunst.

Der Schädigungsgrad an den Holzbalkenköpfen im Außenmauerwerk hängt stark von der Feuchte im Wandquerschnitt ab. Die Normen gehen von der Annahme konstanter Stoffeigenschaften, einer abgetrockneten Einbaufeuchte sowie von einer Feuchtigkeitseinwirkung über das Innen- und Außenklima aus. *„Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit in DIN 1048 Teil 4 berücksichtigen durchschnittliche Ausgleichfeuchten.“*[6]

Thermische und hygri-sche Simulationsrechnungen zur Ermittlung der Feuchteverteilung in Bauteilen unter natürlichen Randbedingungen auf der Grundlage des Glaserverfahrens sind kritisch zu bewerten. In einem Untersuchungsbericht warnt HAUSER mit folgendem Hinweis *„Der in Ansatz gebrachte Wassertransport in den Bauteilen berücksichtigt allein die Wasserbewegung infolge von Diffusion. Andere Transportphänomene, die wie die Kapillarleitung den Feuchtetransport dominieren können, bleiben unberücksichtigt. Auch die von den Materialeigenschaften abhängige Wasserspeicherfähigkeit wird nicht in Ansatz gebracht. Deshalb ist es mit dem Nachweisverfahren nicht möglich, Rückschlüsse auf die sich in Bauteilen ansammelnde Wassermenge zu ziehen und realistische Wassergehalte zu ermitteln.“*[18] EICHLER/ARNDT schrieben hierzu *„Enthält die berechnete Konstruktion Schichten aus Ziegeln, Gips, Mörtelputz, Leichtbeton, Holzbeton, Holz oder andere feuchteleitfähigen Stoffen, so*

*können kapillare Wassertransporte eine negative Feuchtebilanz in das Gegenteil verkehren, unter ungünstigen Radbedingungen aber auch noch kritischer machen. . . Wasserbewegungen entziehen sich jedoch einer Berechnung, man kann nur ihre Tendenz zu erkennen suchen und ihre Auswirkung abschätzen.“ [10]*

Mit den Berechnungsverfahren für Wärme- und Feuchtetransportprozesse können gegenwärtig keine ausreichenden Rückschlüsse auf realistische Wassergehalte im Wandquerschnitt gezogen werden, die Schlussfolgerungen auf eine höhere Gefährdung der Balkenköpfe durch Holz zerstörende Insekten als Folge einer Tauwasserbildung zu lassen.

Prof. RNDr. Jaroslav Římal Dr.Sc. und Dipl.-Ing.oec., Ing. Peter Rauch

Literatur:

- [1] Kießl, Kurt; Kapillare und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen. Rechnerische Erfassung und bauphysikalische Anwendung, Dissertation, Universität Gesamthochschule Essen 1983
- [2] Häupl, Peter; Stopp, Horst; Feuchtetransport in Baustoffen und Bauwerksteilen Dissertation, Technische Universität Dresden 1987
- [3] Pedersen, C.R.; Combined heat and moisture transfer in building construction, Dissertation Technische Universität Dänemark, Lyngby 1998
- [4] Künzel, Hartwig M.; Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, Dissertation 1994 , Universität Stuttgart
- [5] Bednar, T.; Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden –Weiterentwicklung der Meß- und Rechenverfahren, Dissertation 2000, Technische Universität Wien
- [6] Mehlhorn, Gerhard; Der Ingenieurbau, Grundwissen, Bauphysik Brandschutz 1996 Berlin Ernst & Sohn, S. 46, 57, 78, 85, 90, 91
- [7] Willems, Wolfgang; Schild, Kai; Wärmebrücke: Berechnung – Bilanzierung –Vermeidung S.488-490 in: Bauphysik Kalender 2007, Ernst & Sohn
- [8] Jaroslav Římal, Marcus Hermes; Die energiesparende Gebäudehülle, GFF 12/2006, S. 28ff
- [9] Königwinter, Peters; Wärmebrücken im Mauerwerksbau beachten, Baumarkt 10/99 S. 10-15
- [10] Eichler, Friedrich; Arndt, Horst; Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz 1989, Bauverlag Berlin S. 92-102, 223
- [11] Arendt, Claus; Seele, Jörg; Feuchte und Salze in Gebäude, Verlagsanstalt Alexander Koch; 2000, S. 12-16, 51
- [12] Jenisch, Richard; Stohrer, Martin; Tauwasserschäden 2. Aufl. 2001, Fraunhofer IRB-Verlag, S. 26-27
- [13] Weise, Manfred; ‚Bauphysik und Klimawandel‘; Änderungen im Holzschutz, Vortrag auf der 14. Quedlinburger Holzbautagung 27.-28.3.2008, S. 6-9
- [14] Artur B. Robinson; Noha E. Robinson, Willie, Soon; Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide, Journal of American Physicians and Surgeons (2007)12, 79-90
- [15] Chabibullo Abdussamatow; Mars gibt Hinweise auf künftige Kaltzeit auf der Erde, Russische Informations- und Nachrichtenagentur RIA NOVOSTI 10. Oktober 2007  
<http://de.rian.ru/science/20071010/83356266.html>
- [16] Usoskin, Ilya G. , S. K. Solanki, M. Schüssler, K. Mursula, K. Alanko (2003) A Millenium Scale Sunspot Reconstruction: Evidence For an Unusually Active Sun Since the 1940’s.- Phys.Rev.Lett. 91 (2003) 211101
- [17] Lassen, K. Solar Activity and Climate - Long-term Variations in Solar Activity and their Apparent Effect on the Earth's Climate.- Danish Meteorological Institute, Solar-Terrestrial Physics Division, Lyngbyvej,100, DK-2100 Copenhagen (2), Denmark.
- [18] Hauser, Gerd: Forschungsvorhaben „Auswirkungen der neuen europäischen Norm EN ISO 13788 „Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren“ auf Konstruktion und Holzschutz von Außenbauteilen in Holzbauart“, Ingenieurbüro

## Die Tauwasserbildung und die Durchfeuchtung der Bauteile bei massiven Gebäuden Teil 2

Auch an der Außenfassade kommt es zu einer Kondenswasserbildung, die neben den anorganischen Ablagerungen auch die Besiedlung von Bakterien und Schimmelpilze sowie Algen begünstigt. Dies hängt von den Feuchtigkeitsverhältnissen ab. Gelegentlich treten auch Flechtenlager auf Naturstein und Horizontalflächen auf. Vorausgesetzt, dass keine Aussalzung im fortgeschrittenen Grad besteht. [1]

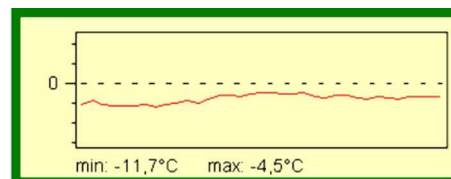
Durch die Temperaturdifferenz zwischen der höheren Lufttemperatur und der niedrigeren Oberflächentemperatur kommt es an der Fassadenoberfläche zur Kondensatbildung. Bei einer wärmegeämmten Fassade fehlt der Wärmefluss von innen an die Fassade. Die so entstehende Abkühlung und Kondensatbildung kommt auch an der Holzschalung, Faserzementschindel, verputzte Außendämmung und auch an der Glasfassade vor.

Durch nächtliche Abstrahlung bei klarem Himmel unterkühlt sich die Wandfläche und kann einige Grad niedriger sein, als die der umgebenden Luft. Die Abkühlung der Oberflächen erfolgt sowohl im Sommer als auch im Winter, wobei im Sommer durch die höhere Tagestemperatur schnell ein Ausgleich erfolgt. Dieses Beispiel zeigt eine Aufnahme einer wärmegeämmten Fensterfassade (Bild 1), die gegen 8 Uhr (kurz vor Sonnenaufgang) bei einer Außentemperatur von ca.  $-3$  bis  $-4^{\circ}\text{C}$  aufgenommen wurde. Die Isotherme LIO1 im Bild 2 zeigt eine Oberflächentemperatur von  $-12^{\circ}\text{C}$  auf der Dämmung und  $-4^{\circ}\text{C}$  auf der äußeren Fensterfläche.

**Bild 1:** Oberflächentemperatur einer wärmegeämmten Fassaden. Bei einer Lufttemperatur von circa  $-4^{\circ}\text{C}$ , 8 Uhr



**Bild 2:** Isotherme LIO1 zum Bild 2, die eine Oberflächentemperatur liegt zwischen  $-4$  bis  $-12^{\circ}\text{C}$



GROCHAL untersuchte wärmegeämmte Fassaden. Untersuchungen und Auswertungen zeigen, dass bei der Erhöhung der Dämmstoffstärken bei gleicher Konstruktion sich die Kondensationsperiode und damit das Bewuchsrisiko erhöht. Ebenso wurde bei einem Massivmauerwerk mit U-Wert  $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$  in der Zeit von 20.11.91 bis 29.4.1992 eine Unterkühlung der Oberfläche mit 546 Stunden und bei einer Massivmauer mit Wärmedämmung und gleichem U-Wert mit 1586 Stunden ermittelt.[2] Der Unterschied kommt durch die wenig Wärme speichernde verputzte Außenwärmedämmung gegenüber der massiven Wand zustande.[3] Die gleiche Aussage vertritt auch KÜNZEL. [4]

In der Tabelle 1 wurden ausgewählte Oberflächentemperaturen an verschiedenen Wandoberflächen zusammengestellt. Bei allen Objekten liegt die Infrarottemperatur unterhalb der Lufttemperatur. Besonders niedrig sind diese beim frei stehenden Objekt 3, welches aus circa 80 cm dicken Lehmwänden besteht. Interessant ist, dass die Fassade mit dem Wärmeverbundsystem (Objekt 2) eine kleinere Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Außenluft hat, als die beiden massiven Wandkonstruktionen der Objekte 1 und 3.

Zur Thermografie vertritt MEHLHORN die Meinung, dass verwertbare Aussagen nur bei günstigen Bedingungen möglich sind. Daher ist die Messung vor Sonnenaufgang bei Windstille nach einer Reihe trüber Tage bei möglichst tiefer Außentemperatur und gleichmäßiger Beheizung aller Räume hinter

der Fassade vorzunehmen. Diese Bedingungen liegen nur selten vor, daher ist auch eine gewisse Skepsis gegenüber quantitativen Ausdeutungen angesagt. [5] Die Thermografie kann nur mit Einschränkung zu Bewertung des Wärmeschutzes von Gebäuden herangezogen werden. [6]

Die Bewertung der Tauwasserbildung bei einem Gebäude auf der Grundlage der Messungen der Temperaturstrahlung birgt noch viele Unsicherheiten. Dies ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass viele Einflussfaktoren nicht ausreichend genau erfasst werden und ihre Wechselwirkung ungenügend bekannt sind. Ebenso lässt die Messgenauigkeit der Hand-Infrarotthermometer mit einer Genauigkeit von  $\pm 2^\circ\text{C}$  sehr zu wünschen übrig. Ein praktischer Vergleich verschiedenen Hand-Infrarotthermometern bestätigte diese Abweichungen. IR-Temperaturmessung können daher nur zur Trendbestimmung dienen.

Bei allen Außenwänden in der Tabelle 1 konnten keine Schädigungen durch eine Tauwasserbildung festgestellt werden. Eine Kondenswasserbildung auf einer kühlen Bauteiloberfläche führt nicht automatisch zu einer Algenbildung oder Schimmelpilzbildung. Hier ist auch das Sorptionsvermögen der Randschicht der massiven Wandkonstruktion, der ungehinderte Feuchtetransport und die zügige Abtrocknung von entscheidender Bedeutung. Wärmeverbundsysteme mit ihrer dünnen Putzschicht können nur ungenügend Feuchtigkeit aufnehmen, sodass sich die Feuchtigkeit mehrheitlich als Feuchtfilm auf der Oberfläche niederschlägt und nur durch die angrenzende Luft wieder aufgenommen und abgeführt werden kann. Ebenso entstehen durch die Dämmstoffschichten Grenzschichten oder gar Sperrschichten, die einen Feuchtetransport behindern.

Tabelle 1: Zusammenstellung ausgewählter Messergebnisse von Oberflächentemperaturen

Objekte / Himmelsrichtung	Datum	Urzeit	Wetter	IR-Temperatur	Temperatur mit Kontaktthermometer	Lufttemperatur
1 Süd	30.12.07	18.30	leicht bedeckt	-6,0		3,0
2 Nord	31.12.07	14.30	stark bewölkt	0,0		3,0
		23.00	stark bewölkt	-2,5		2,0
3 Südwest	29.12.07	09.00	wolkenlos	-9,5		1,0
	02.01.08	12.00	stark bewölkt	-7,5		-0,8
4 Nordwest	21.01.08	10.30	leicht bewölkt	2,5	4,4	3,3
	31.01.08	08.00	wolkenlos	-2,0	1,4	0,9
		12.30	bewölkt	-2,0	4,1	4,7
		14.30	bewölkt	1,0	4,4	4,7
		20.00	stark bewölkt	-1,0	3,7	3,8

Erläuterung zur Tabelle:

Objekt 1: Doppelhaushälfte mit 2 Wohnungen und ausgebauten Dachgeschoss, Großmiltzer Str. in Miltitz, 36,5 Ziegelwand, Messhöhe 1,5 m über Geländeoberfläche, Himmelsrichtung Nord

Objekt 2: Mehrfamilienhaus Viertelsweg in Leipzig, massive Außenwand aus Leichtbeton-Ziegelsplitt (zirka 30 cm) und 8 cm Wärmedämmverbundsystem, Messhöhe II. Obergeschoss, Himmelsrichtung Nord

Objekt 3: 1. Wohngebäude Bucksdorffstraße in Leipzig, circa 70 cm Stampflehmwand, Messhöhe 1,5 m über Geländeoberfläche, Himmelsrichtung Südwest

Objekt 4: 2. Wohngebäude Bucksdorffstraße in Leipzig, circa 70 cm Stampflehmwand, Messhöhe 1,5 m über Geländeoberfläche, Himmelsrichtung Nordwest

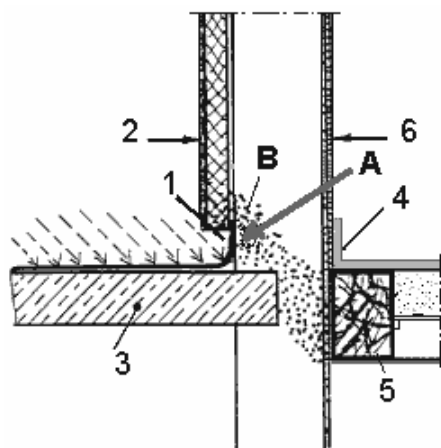
Untersuchungen der Transportvorgänge zeigen, dass der kapillare Feuchtetransport über die Schichtgrenze, Putz und Mauerwerk, behindert wird. KRUS, KÜNZEL, KIEßL vermuten, "dass die Poren des Mauersteins in einer schmalen Schichtgrenze durch Kristallbildung von Salzen aus dem Putz, verstopfen". [7] Dabei handelt es sich um eine Widerstandsschicht von 1 mm, der abhängig von der Materialkombination ist. Diese verringert den Flüssigtransportkoeffizienten um einen Faktor von 200 bis 2000.

Der Wasserdampfdiffusionswiderstand  $\mu$  drückt nur aus, wie viel Wasserdampf im Verhältnis zur Luft in einem Baustoff diffundiert. Es ist keine Größe, die die Diffusionsfähigkeit von Wasser beschreibt.

Das Wasser hat nach Wasserstoff, Helium, Methan und Ammoniak eine relativ kleine Molekülmasse und findet so einen Weg durch mineralische Stoffe.[8] Das Wasserdampfmolekül mit einem Radius von 0,14-0,16 nm ist wesentlich kleiner als ein Luftmolekül mit 0,2-0,28 nm. Daher sind luftdichte Baustoffschichten nicht auch gleichzeitig Dampfdicht.[9] Das Wassermolekül mit 0,28 nm [10] ist aber wiederum relativ so groß, dass zum Beispiel der Zementputz eine sperrende Wirkung hat, obwohl der Wasserdampf bei  $\mu = 20$  relativ gut durchgeht. [8] Diese Eigenschaften sind auch beim Kunststoff-Zement-Putz oder bei der Dispersionsfarbe zubeachten.

Werden die gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportprozesse durch Sperrschichten behindert, so kann die eingedrungene Feuchte aus dem Wandquerschnitt nicht ausreichend abgeführt oder auch aufgenommen werden. Hier soll ein Beispiel genannt werden, wo sowohl bei der Veröffentlichung und auch im Fachvortrag die eigentlichen Probleme nicht richtig erkannt wurden. Man ging davon aus, dass der fugendichte Anschluss der Abdichtung der massiven nicht fachgerecht ausgeführt wurde. [11] In der Zeichnung sind auch noch zwei Wärmebrücken erkennbar. Das ist die einkragende Stahlbetonplatte und die fehlende Dämmung bis in die horizontale Fläche. Die äußere Fassadenschicht, die Schichtgrenze zwischen massiver Wand und Wärmedämmverbundsystem (Styroporplatten) sowie die an der Wand hochgezogene Feuchtesperre stellen Sperrschichten auf der Außenseite dar und behindern so den nach außen gerichteten Feuchtetransport. Es kommt zwangsläufig zum Feuchtstau auf der Außenseite der Konstruktion mit entsprechender Rückkopplung nach innen. Die Abtrocknung kann nur noch nach innen und damit entgegen dem Wärmestrom erfolgen. Aber auch hier wurde eine Sperrschicht aus Bodenfliesen und einer Fliesenkannte ausgeführt. Damit war eine Abtrocknung auch nach innen nicht möglich (siehe Bild 3). Damit es zu keinen Feuchtigkeitsschäden kommt, darf bei einer Thermohaut (4 bis 8 cm Kunststoffplatten) die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $2,5 \text{ aus } \mu \cdot d$  (Baustoffdicke) nur wenig überschreiten. Dies gilt für Putz und Farbbeschichtung. Besser sind mineralische Putze mit Leichtzuschlägen, wie Perlite.[5] Damit sich zwischen Dämmung und Außenputz kein Tauwasser bildet, darf der Putz keinen zu großen Diffusionswiderstand aufweisen. Bei hinterlüfteten Fassaden, wo der Luftraum mindestens 2 cm beträgt, kann der durch die Wand diffundierende Wasserdampf an die Außenluft abgegeben werden.[12]

**Bild 3.:** Die Durchfeuchtung (B) im Bereich der Balkonplatte (3) führte zu einem Befall des Holzbalkens (5) durch den Echten Hausschwamm (*Serpula lacrimans*). Das Originalbild wurde um die Details ergänzt.



- 1 ungünstige Fugenanbindung und Wärmebrücke,
- 2 Wärmedämmverbundsystem
- 4 Bodenfliesen (Keramik)
- 6 Gipskartonplatte (Trockenputz)
- A Wärmestrom und Feuchttestrom von innen nach außen
- B Feuchtigkeitsstau

Zum Schluss sollen noch Außenwandkonstruktionen gezeigt werden, wo optimale Bedingungen zum ungestörten Feuchtetransport vorliegen. Wurden die älteren Wohnhäuser hier in Vinnitsa (Ukraine) mit einer Wandstärke von 50 cm ohne Außenputz nur aus Ziegelsteinen erstellt, so werden heute die Wohnhäuser mit 9 bis 10 Etagen außen mit Kalksandsteinen und innen mit 3-Lochziegelsteinen erstellt (Bild 4 und 5).

**Bild 4:** Ältere Wohngebäude aus Ziegel in der Вул. Пирогова in Вінниця (Ukraine)



**Bild 5:** Hochhäuser in Ziegelbau, außen Kalksandstein, innen 3-Lochsteine in der Вул. Зодчих in Вінниця (Ukraine)



Autoren

Prof. RNDr. Jaroslav Římal Dr.Sc. und Dipl.-Ing.oec., Ing. Peter Rauch

Literatur:

- [1] Riedl, Harald, Hubacek, Hugo; Bauwerkszerstörung und Sanierung durch Mikroorganismen, Forschungsbericht Institut für angewandte Forschung und Produktmarketing Wien, 3/1988, S. 5 (Standort Deut. Bücherei 1988B7863)
- [2] Grochal, P.; Algen und Pilze an wärme gedämmten Fassaden, 3. Dahlberg – Kolloquium, Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, Verlag Bauwesen Berlin, 2001, S. 113
- [3] Raschle, Paul; St. Gallen, Schweiz, Algen und Schimmelpilze auf Fassaden, Vortrag auf der 11. Quedlinburger Holzbautagung am 1.4.2005, Seite 4/9
- [4] Künzel, Hartwig, M.; Krus, Martin; Sedlbauer, K.; Algen auf Außenwänden- Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung , 3. Dahlberg – Kolloquium, Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, Verlag Bauwesen Berlin, 2001, S. 75ff
- [5] Mehlhorn, Gerhard; Der Ingenieurbau, Grundwissen, Bauphysik Brandschutz 1996 Berlin Ernst & Sohn, S. 46, 57, 78, 85, 90, 91
- [6] [38] Fischer, Heinz-Martin; Jenisch, Richard; Stohrer, Martin; Homann Martin; Freymuth, Hanns; Richter Ekkehard, Häupl, Peter; Lehrbuch der Bauphysik, 6. Aufl. 2008, Vieweg & Teubner, S. 115, 151
- [7] Krus, Martin; Künzel, Hartwig M.; Kießl, Kurz; Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk -Messung und Berechnung, 1996, IRB Verlag S. 70
- [8] Oberrauch, Bernhard; Bauphysikalische Daten über Lehm, Wohnung + Gesundheit 9/92 –Nr. 64, S. 48
- [9] Arendt, Horst; Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis, 2. Aufl. 2002, Verlag für Bauwesen Berlin, S. 30, 37, 62, 138f, 284
- [10] Zürcher, Christoph, Frank Thomas; Bauphysik Bau und Energie, 2.Aufl. 2004, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, S. 53
- [11] Silz, Christof; Schwammsanierung im Schadensfall bs 2/97, S. 46f
- [12] Fischer, Heinz-Martin; Jenisch, Richard; Stohrer, Martin; Homann Martin; Freymuth, Hanns; Richter Ekkehard, Häupl, Peter; Lehrbuch der Bauphysik, 6. Aufl. 2008, Vieweg & Teubner, S. 115, 151