

Martin Krus, Oswald Silberhorn,  
Ralf Kilian, Matthias Kratzmeier

# Innovative Innendämmung im Denkmalschutz

## Energetische Sanierung des Augsburger Landesamtes für Finanzen – Simulation und messtechnische Begleitung

Anlässlich der Generalsanierung mit Um- und Ausbau des ehemaligen Landesamtes für Finanzen in Augsburg wurden Maßnahmen zur energetischen Sanierung des teilweise bis zu 500 Jahre alten denkmalgeschützten Gebäudes ergriffen. Im Fokus der energetischen Sanierung standen die Erneuerung der Heizanlage, der Ausbau und die Dämmung der Dachgeschosse und Gauben, die Dämmung der Außenwände und der Austausch der Fenster inklusive Sonnenschutz. Vor der Sanierung lag der Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes bei ca. 160 kWh/(m<sup>2</sup>a), nach der Sanierung konnte dieser auf rechnerische 97 kWh/(m<sup>2</sup>a) gesenkt werden. Die Sanierung der denkmalgeschützten Bereiche musste substanzschonend erfolgen, sodass wegen der zu erhaltenden Außenansicht in Teilen des Gebäudes nur eine Innendämmung infrage kam. Um dem innovativen Gedanken der Sanierung, besonders im Hinblick auf weitere ähnliche Sanierungsprojekte des öffentlichen Bauherrn gerecht zu werden, wurden drei unterschiedliche Systeme der Innendämmung verbaut. Vorab wurden über hygrothermische Berechnungen alle typischen Problemstellungen bei Innendämmmaßnahmen untersucht, um Schäden durch die Sanierungsmaßnahmen auszuschließen. Der Bauablauf wurde dokumentiert und es wurde beschlossen, in den Folgejahren das Projekt messtechnisch zu verfolgen. Die verbauten Innenwand-Dämmsysteme werden zusammen mit den ausgewerteten Messdaten kurz vorgestellt.

### 1 Objektbeschreibung

Das ehemalige fürstbischöfliche Kastenamt in der Peutingstraße 25 in Augsburg wurde vom Bauherrn – Freistaat Bayern vertreten durch das Bayerische Staatsministerium der Finanzen – für die Nutzung für das Landesamt für Finanzen instandgesetzt.



Abb. 1: Ansicht des Landesamtes für Finanzen in Augsburg

Besonderes Augenmerk richteten das Staatliche Bauamt Augsburg (Projektleitung) und die beteiligten Planer bei der Sanierung von Anfang an auf die energetische Sanierung des unter Denkmalschutz stehenden Gebäudes, erbaut um 1492. Um den Spagat zwischen Klimaschutz und Denkmalschutz bewältigen zu können, wurde hier in einem Pilotprojekt ein Energiekonzept erarbeitet, das bezüglich der energetischen Sanierung der Gebäudehülle neben der üblichen energetischen Verbesserung der Fenster und der Dämmung der obersten Geschossdecke drei verschiedene Systeme von Innendämmung an den Innenseiten der Außenwände vorsah. Da die Bestandsfenster aus den 1950er-Jahren stammten und von untergeordnetem historischem Wert waren, wurde in diesem Fall ein Austausch gegen Fenster mit besserem Dämmstandard durchgeführt.

### Beschreibung der energetischen Maßnahmen

Für die energetische Optimierung und die Modernisierung des zu untersuchenden Objektes wurden nachfolgende Sanierungsmaßnahmen definiert und im Rahmen der Planung auf ihre energetische sowie wirtschaftliche Effektivität hin untersucht:

Tab. 1: Gebäudedaten

Bezeichnung	Kurzzeichen	Wert	Einheit
Grundrisssmaße	l/b	75/14,50	[m]
Geschosshöhe	h <sub>g</sub> (Mittelwert)	3,0	[m]
Anzahl der Geschosse	n	4	[-]
beheiztes Volumen (Bruttovolumen)	V <sub>e</sub>	13 933	[m <sup>3</sup> ]
belüftetes Volumen (Nettovolumen)	V	9 732	[m <sup>3</sup> ]
Nettogrundfläche	A <sub>N</sub>	3 180,40	[m <sup>2</sup> ]
Wärmeübertragende Hüllfläche	A	3 813,90	[m <sup>2</sup> ]
Berücksichtigung der Wärmebrücken	WP	0,10/0,15	[W/(m <sup>2</sup> K)]

- ▀ Austausch der Fenster mit  $U_w = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,
- ▀ Austausch der Türen mit  $U_T = 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,
- ▀ Dämmung der Außenwände auf der Südseite im Nordtrakt sowie im kompletten Südtrakt mit 10 cm Polystyrol WLG 032,
- ▀ Innenwanddämmung der Außenwände auf der Nord- und Ostseite des Ostraktes EG mit 8 cm Dämmputz WLG 080,
- ▀ Innenwanddämmung der Außenwände auf der Nord- und Ostseite des Ostraktes 1. OG mit 8 cm Calciumsilikatplatten (CaSi) WLG 059,
- ▀ Innenwanddämmung der Außenwände auf der Nord- und Ostseite des Ostraktes 2. OG mit 8 cm Zellulose WLG 052,
- ▀ Dämmung der Kellerdecke (kellerseitig) mit 10 cm PUR WLG 035,
- ▀ Holzbalkendecke ü. 2. OG Nord/Osttrakt mit 10 cm PS-Platten WLG 035,
- ▀ Holzbalkendecke ü. DG Südtrakt mit 22 cm Mineralwolle WLG 040,
- ▀ Rückbau der Abseitenwände im Dachgeschoss und Dämmung der Dachflächen mit 22 cm WLG 035,
- ▀ Einbau einer Lüftungsanlage im Keller und EDV-Raum 1. OG (wärmetechnisch nicht wirksam).

## 2 Hygrothermische Berechnungen der verschiedenen Innendämmmaßnahmen

Im Vorfeld wurden die geplanten Maßnahmen für zwei der drei eingesetzten Systeme – Calcium-Silikatplatten und Zellulose-Dämmung – mittels hygrothermischer Gebäudesimulation rechnerisch beurteilt, um mögliche Probleme in der Konstruktion bei der Ausführung von vornherein auszuschließen. Da der Dämmputz ein deutlich niedrigeres Dämmvermögen und da-

mit geringeren Einfluss auf den Feuchtehaushalt aufweist, wurde er nicht in die Berechnungen einbezogen. Besonders kritisch ist im vorliegenden Gebäude die Einbindung der Balken der Geschossdecken in die Außenwände zu betrachten.

Für die rechnerische Untersuchung von gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportvorgängen wird am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP das erprobte, zweidimensionale Simulations-Programm WUFI-2D@ verwendet, das auch die Beurteilung von Ecken, einbindenden Wänden und Deckenbalken ermöglicht. Bisherige Beschreibungen des Feuchtetransportverhaltens von Baustoffen mithilfe dieses Verfahrens haben eine gute Übereinstimmung zwischen rechnerischer Aussage und praktischer Untersuchung am Objekt ergeben [1] bis [7].

Durch derartige rechnerische zweidimensionale Untersuchungen sollen die Einsatzmöglichkeiten für die Innendämmsysteme beurteilt werden. Voraussetzung für die Berechnungen ist die Kenntnis aller notwendigen hygrothermischen Kennwerte. Diese können z.B. für den Innen- und Außenputz der WUFI-Materialdatenbank entnommen werden. Für das Ziegelmauerwerk wurden sie experimentell bestimmt, da es bei Ziegeln diesbezüglich eine sehr große Variationsbreite der hygrothermischen Kennwerte gibt.

Mit den Berechnungen wird die durch den Einsatz von Innendämmungen hervorgerufene Wärmebrückenbildung im Wand- bzw. Deckenanschlussbereich betrachtet und in Abhängigkeit von den eingesetzten Materialien in Hinblick auf die Feuchte- und Schimmelpilzproblematik bewertet. Dabei werden vergleichend Berechnungen an einem Wandaufbau ohne Innendämmung und mit Calcium-

silikatplatten (CaSi-Platten) sowie an einem System mit Zellulose-Aufspritzdämmung durchgeführt. Als Klimadaten von Augsburg (Testreferenzjahr) verwendet. Da das Gebäude nicht freistehend, sondern in die Innenstadt eingebunden ist, wird in der Realität ein etwas unkritischeres Verhalten als berechnet vorliegen. Für das Innenklima dienen Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtelast. Als Wärmeübergangskoeffizienten wird innenseitig von  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$  und außenseitig von  $17 \text{ W/m}^2\text{K}$  ausgegangen. Die Berechnungen werden für einen Zeitraum von zwei bzw. drei Jahren in Schritten durchgeführt.

Die rechnerischen Untersuchungen werden mit den beiden Dämmstoffsystemen durchgeführt, wobei im Falle der Zelloosedämmung, die nass appliziert wird, zusätzlich der Einfluss der Baufeuchte zu Beginn der Simulation besondere Berücksichtigung findet. Ausgegangen wird von einer maximalen Dämmstoffdicke von 8 cm. Für den Fall, dass feuchtetechnische Probleme auftreten, kann die Dämmstoffdicke so weit reduziert werden, dass ein sicherer Zustand erreicht wird.

### 2.1 Untersuchte Fragestellungen

Folgende kritische Punkte der Konstruktion werden mittels der zweidimensionalen Simulationen untersucht:

- ▀ Einbindung der Zwischenwände in die Außenwand: Hierbei steht als Fragestellung das Schimmelpilzrisiko im Übergangsbereich Innenwand bzw. Innendecke im Vordergrund. Gegebenenfalls muss an diesen Stellen mithilfe von Dämmkeilen das Schadensrisiko reduziert werden.
- ▀ Einfluss der Innendämmung auf den Feuchtehaushalt der Außenwand

und das Frostschadensrisiko: Hierzu wird der zeitliche Verlauf des Feuchtegehaltes an der Außenseite vor und nach der Dämmmaßnahme berechnet. Als Kriterium für das Frostschadensrisiko dient die Anzahl der Frostdurchgänge bei Feuchten oberhalb 90 % Sättigung.

- Schimmelpilzrisiko in der Fensterlaibung: An dieser Stelle sind nur Dämmstoffstärken von 2 cm möglich.
- Als besonders sensibler Bereich wird der Einfluss auf den Feuchtehaushalt der in die Außenwand eingebundenen Balken der Geschossdecken untersucht. Als Schadenskriterium werden die Zeiten herangezogen, bei denen die Holzfeuchte oberhalb 15 °C über 20 M.-% liegt.

Abb. 2 zeigt die implementierten Wandaufbauten (mit und ohne Innendämmung) sowie die zur Beantwortung der Fragestellungen betrachteten Monitorpositionen. Abb. 3 zeigt die implementierte Einbindung des Deckenbalkens (mit und ohne Innendämmung) sowie die zur Beantwortung der Fragestellungen betrachteten Monitorpositionen.

Das Schimmelpilzwachstum wird nach dem von Sedlbauer [8] entwickelten biohygrothermischen Modell und dem Isoplethensystem für Wachstumsbedingungen von Schimmelpilzen beurteilt. Die Beurteilung des Schimmelpilzrisikos zwischen Wandkonstruktion und Innendämmung und an den als kritisch eingestuften Stellen (Monitorpositionen) erfolgt anhand der berechneten Oberflächenfeuchten und -temperaturen mit dem biohygrothermischen Modell WUFI-Bio® [8], [9]. Das Isoplethensystem zeigt, dass selbst für biologisch gut verwertbare Bauprodukte eine relative Feuchte von mindestens 75 % r.F. vorliegen muss. Daher werden in der Auswertung nur solche Bereiche mit dem biohygrothermischen Modell untersucht, bei denen im Jahresverlauf eine höhere Feuchte an der Gebäudeinnenoberfläche vorliegt.

## 2.2 Ergebnisse

### Einbindung der Zwischenwände in die Außenwand

Abb. 4 zeigt die berechneten Oberflächenfeuchten und -temperaturen im Anschlussbereich zwischen dem Innenputz der Innenwand und der Außenwand vor und nach der Dämmmaßnahme. Die Ergebnisse für die Dämmung mit Zellulose sind nahezu identisch mit denen bei Verwendung der Calciumsilikatplatten, weshalb hier auf eine gesonderte Darstellung verzichtet wird.

Man erkennt deutlich, dass die Dämmmaßnahme im vorliegenden Fall nicht zu einer Absenkung der Oberflächenchentemperatur im Anschlussbereich zwischen Innenputz

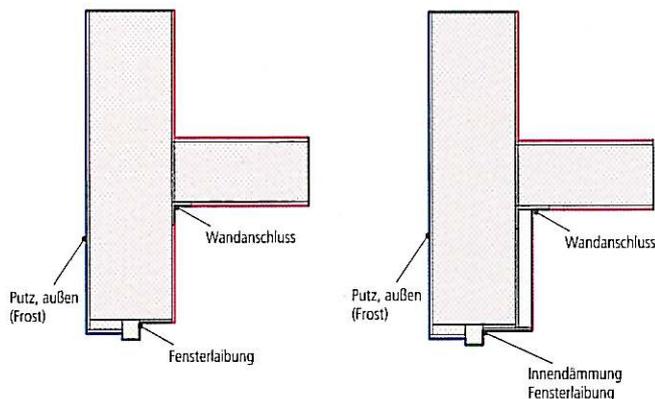


Abb. 2: Wandanschluss ohne Innendämmung mit den Monitorpositionen der WUFI®-2D-Rechnung (links) und mit 8 cm Innendämmung (CaSi bzw. Zellulose) und 0,5 cm Gips-Innenputz (rechts)

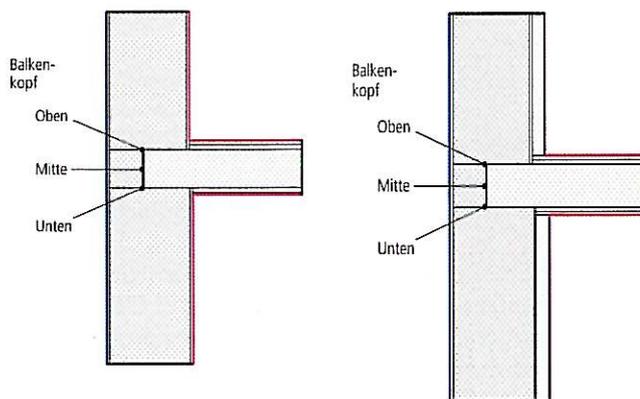


Abb. 3: Einbindung des Deckenbalkens mit den Monitorpositionen der WUFI®-2D-Rechnung ohne Innendämmung (links) und mit 8 cm Innendämmung (CaSi bzw. Zellulose) und 0,5 cm Gips-Innenputz (rechts)

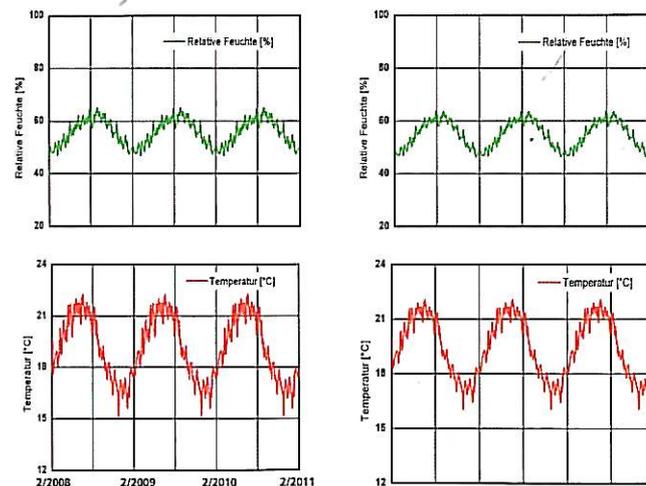


Abb. 4: Berechnete Oberflächenfeuchten (oben) und -temperaturen (unten) im Anschlussbereich zwischen dem Innenputz der Innenwand und der Außenwand vor (links) und nach (rechts) der Dämmmaßnahme

der Innenwand und der Außenwand geführt hat. Im Winter ergeben sich sogar leicht höhere Temperaturen. Die Oberflächenfeuchten sind an dieser Stelle in beiden Fällen nahezu gleich. Sie liegen stets unterhalb von 65 % rel. Luftfeuchte, sodass Schimmelpilzwachstum auszuschließen

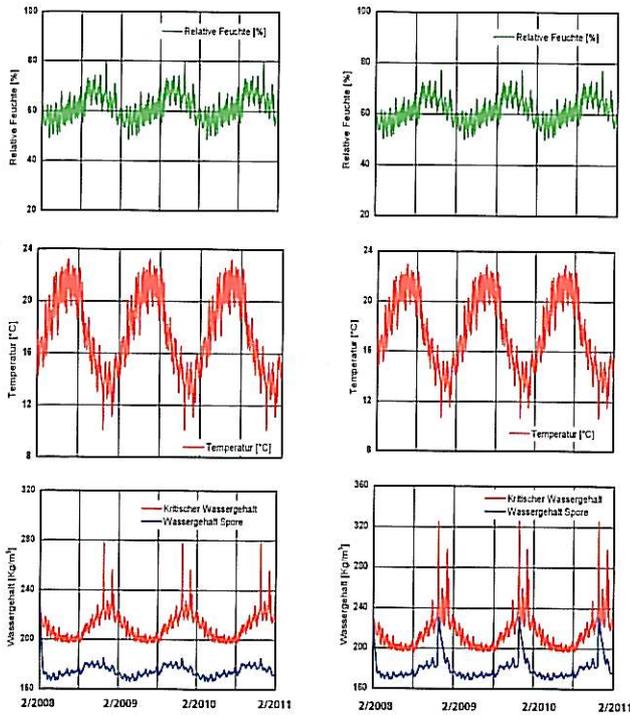


Abb. 5: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte (oben) und der Temperatur (mittig) in der Fensterlaibung für die Ausgangssituation ohne Dämmung (links) und mit CaSi-Dämmung (rechts). Die relative Feuchte liegt teilweise oberhalb von 75 % und damit im Wachstumsbereich für Mikroorganismen (Schimmel). Die Auswertung mit WUFI@-Bio (unten) zeigt, dass die Bedingungen in beiden Fällen trotzdem unkritisch sind. Der Wassergehalt (dunkelblau) liegt immer unter dem kritischen Wassergehalt (rot).

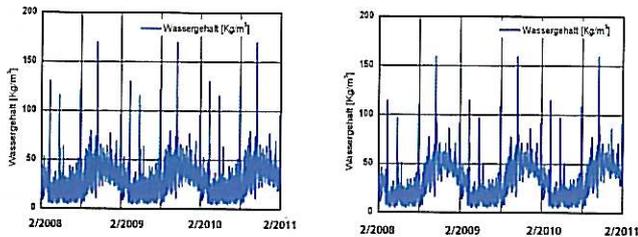


Abb. 6: Berechneter Verlauf des Wassergehaltes des Außenputzes für die Ausgangssituation ohne Innendämmung (links) und die mit CaSi-Dämmung bzw. Zellulose-Aufspritzdämmung (rechts)

ist. Eine Berechnung des Schimmelpilzrisikos mit WUFI@-Bio erübrigt sich hier.

### Fensterlaibung

Der Bereich der Fensterlaibung weist im Winter tiefere Temperaturen (bis zu 10°C ohne Innendämmung) und damit höhere relative Luftfeuchten (bis zu 80 % r.F.) auf, wie aus Abb. 5 für die ungedämmte Variante und für die mit CaSi gedämmte Fensterlaibung ersichtlich ist. Die Auswertung mit WUFI@-Bio zeigt, dass auch für biologisch gut verwertbare Substrate trotzdem kein Risiko für Schimmelpilzbildung vorliegt (Abb. 5 unten). Für die Zellulosedämm-

ung ergibt sich nahezu das gleiche Ergebnis. Auch hier führt die Dämmmaßnahme nicht zu einer Erhöhung des Schimmelpilzwachstumsrisikos.

### Frostschaden Risikoabschätzung

Der Feuchtegehalt im Außenputz liegt ohne Innendämmung zwischen nahezu 0 und 170 kg/m<sup>3</sup> (siehe Abb. 6 links). Als Kriterium für das Frostschadensrisiko dient die Anzahl der Frostdurchgänge bei Feuchten oberhalb 90 % Sättigung. Dies entspricht bei einem Sättigungswassergehalt von 250 kg/m<sup>3</sup> einem Wert von 225 kg/m<sup>3</sup>. Die maximalen Wassergehalte liegen deutlich darunter. Daher bestand vor dem Umbau kein Frostisiko, was auch an der guten Erhaltung der Fassade abzulesen ist.

Nach der Dämmmaßnahme ergibt sich für beide Dämmstoffarten nahezu das gleiche Ergebnis, weshalb in Abb. 6 rechts stellvertretend nur das Ergebnis für eine CaSi-Innendämmung aufgeführt ist. Im Vergleich zur Ausgangssituation hat sich der Wassergehalt im Außenputz nur geringfügig auf einen maximalen Wassergehalt von 165 kg/m<sup>3</sup> geändert. Entgegen der Erwartung findet sogar eine geringe Senkung der Maximalwerte statt. Auch hier wird zu keinem Zeitpunkt ein kritischer Wert erreicht.

### Schadensrisiko am Deckenbalkenkopf

Nachdem sich bei den durchgeführten Berechnungen gezeigt hat, dass bei Betrachtung des Deckenbalkens die mittlere Stelle (Balkenkopf Mitte) die kritischste ist und die beiden anderen Stellen generell keine große Abweichung zeigen, wird auf die grafische Darstellung und weitere Auswertung der unteren und oberen Position verzichtet.

Vor der Dämmmaßnahme ist erwartungsgemäß die Einbindung des Deckenbalkens feuchtechnisch unkritisch. Ausgehend vom angenommenen Anfangszustand entsprechend einer Ausgleichsfeuchte bei 80 % r.F. steigt im Balkenkopf durch die Feuchteumverteilung der Wassergehalt zunächst etwas an und erreicht Maximalwerte von knapp unter 20 M.-%, fällt dann aber auf Werte unterhalb von 17 M.-% ab (siehe Abb. 7 oben).

Durch die Innendämmung mit Calciumsilikat ergibt sich längerfristig (im eingeschwungenen Zustand) ein etwas höherer Wassergehalt, der aber stets unterhalb von 20 M.-% liegt (siehe Abb. 7 Mitte). Eine Bauteilgefährdung ist somit nicht gegeben.

Bei der Innendämmung mit Zellulose-Aufspritzdämmung ergibt sich aufgrund der Anfangsfeuchte bei der Applikation eine höhere Materialfeuchte im Balkenkopf. Hier

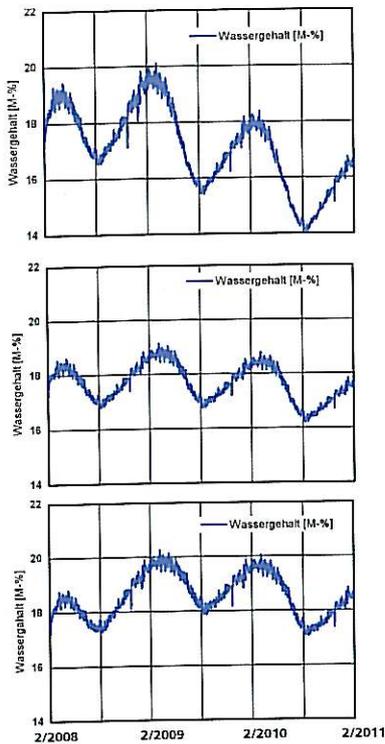


Abb. 7: Berechneter Verlauf des massebezogenen Wassergehaltes in der Mitte des Balkenkopfes vor der energetischen Sanierung (oben) und nach einer Innendämmung mit 8 cm CaSi-Dämmung (mittig) und mit 8 cm Zelloosedämmung (unten)

werden in den ersten zwei Jahren die 20 M.-% kurzzeitig überschritten (Abb. 7 unten), langfristig ergibt sich aber ein Wassergehaltsverlauf vergleichbar dem bei Calciumsilikatdämmung.

#### Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten

Bei einer Wanddicke von 54 cm ergibt sich für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Wand vor der Sanierungsmaßnahme unter Zugrundelegung eines typischen, dem Wandaufbau entsprechenden Wärmeleitkoeffizienten von 0,6 W/mK ein Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup>K. Legt man den gemessenen Wärmeleitkoeffizienten von 0,47 W/mK zugrunde, verbessert sich dieser

Wert auf 0,74 W/m<sup>2</sup>K; beide Werte liegen somit deutlich besser als beim alten Mindestwärmeschutz.

Unter Annahme des ungünstigeren Wärmeleitkoeffizienten von 0,6 W/mK für die Wand ergibt sich nach Applikation einer Innendämmung mit einer Dicke von 8 cm bei Verwendung einer Calciumsilikatplatte mit einem Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten von 0,07 W/mK ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,44 W/m<sup>2</sup>K. Bei Verwendung der Zellulose-Aufspritzdämmung verbessert sich dieser Wert aufgrund des geringeren Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten von 0,05 W/mK auf 0,36 W/m<sup>2</sup>K und beim Dämmputz mit seinem höheren Wärmeleitfähigkeits-

koeffizienten von 0,08 W/mK auf 0,47 W/m<sup>2</sup>K.

### 3 Umsetzung der Maßnahmen

Alle drei Innendämmsysteme wurden mit einer Dicke von 8 cm ausgeführt, wobei deren Dicke wegen der Unebenheiten der Wand stellenweise geringfügig abweicht.

#### Innenwanddämmung Erdgeschoss mit Dämmputz

Im Erdgeschoss (Osttrakt) des Gebäudes wurde ein mineralischer Dämmputz eingebaut. Der Putz besteht aus Kalk und Perliten und soll einen natürlichen, alkalischen Schutz vor Schim-

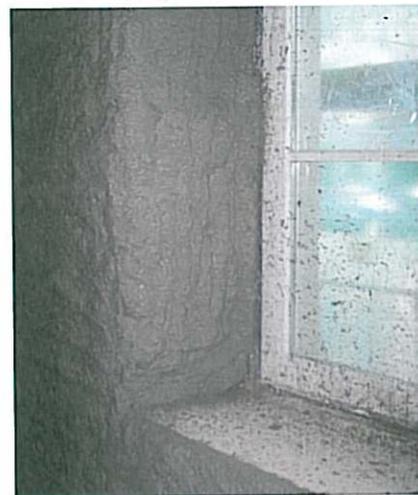


Abb. 8: Fotografische Aufnahmen während der Applikation des Dämmputzes

melbefall und Feuchtigkeit bilden. Perlit ist ein Mineral, ein ›Stein‹ ähnlich dem Basalt, Granit usw. und besteht annähernd zu 70 % aus Siliziumdioxid. Bei der schockartigen Erhitzung des zu Sand gemahlene Materials bei ca. 1000 °C verdampft das Wasser (ca. 5 Gew.-%), dabei vergrößert sich das Sandkorn bis zum 20-Fachen seines Ausgangsvolumens. Durch diesen Prozess wird das Perlit sehr leicht und weist eine offenporige Struktur auf. Als Hauptanwendungsgebiet wird Perlit als Grundstoff für Schüttungen und als leichter Zuschlagstoff für Mörtel und Putze eingesetzt.

Technische Daten des Dämmputzes:  
Brandschutzklasse nach DIN 4102: A1

Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ -Wert):

0,08 W/(mK)

Dampfdiffusionswiderstand ( $\mu$ -Wert): 6

Trockenrohdichte: 300 kg/m<sup>3</sup>

Elastizitätsmodul: 2000 N/mm<sup>2</sup>

Druckfestigkeit: 1,6 – 3 N/mm<sup>2</sup>

Wasseraufnahmekoeffizient:

>3 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0,5</sup>.

### Innenwanddämmung Obergeschoss mit Calciumsilikat-Klimaplatten

Im 1. OG (Osttrakt) des Gebäudes wurden Calciumsilikat-Klimaplatten eingebaut. Calciumsilikat ist ein Werkstoff auf mineralischer Basis. Der Grundstoff zur Herstellung der Platten ist Sand und Kalk, welcher durch Aufschlännen in Wasser zu

einer Vorstufe des Calciumsilicates reagiert. Durch das Erhitzen unter großem Druck in einem Autoklaven entsteht eine feinporige, offene Struktur. Die Calciumsilikatkristalle bilden ein mikroporöses Gerüst, das durch Mikroporen und Luft eine hohe Kapillarität im Werkstoff erzeugt. Dadurch sind die Klimaplatten diffusionsoffen, kapillaraktiv, Wärme dämmend, schimmelhemmend und nicht brennbar. Ein weiterer Vorteil der Platten ist die selbst tragende Eigenschaft und die hohe Druckfestigkeit im Vergleich zu anderen Dämmstoffen. Hauptanwendungsbereiche von Calciumsilikatplatten sind Sanierungen von feuchtem Mauerwerk und der Einsatz als Innendämmung zur Bekämpfung von Schimmel.

Technische Daten der Calciumsilikatplatte: Brandschutzklasse nach DIN 4102: A1

Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ -Wert):

0,065 W/(mK)

Dampfdiffusionswiderstand ( $\mu$ -Wert): 6

Trockenrohdichte: 200 bis 240 kg/m<sup>3</sup>.

### Innenwanddämmung Obergeschoss mit Zellulose-Aufspritzdämmung

Im 2. OG (Osttrakt) wurde als Dämmmaßnahme eine Zelloschicht ohne Dampfsperre aufgetragen und verputzt. Dabei wurde innovative Technik mit einer neuartigen Zellulose-Fördermaschine eingesetzt. Diese ermöglicht es im Gegensatz zu den am Markt befindlichen Geräten, die Zelluloseflocken weitestgehend kontinuierlich und pulsationsfrei zu fördern. Parallel dazu wurde eine weiterentwickelte Aufspritztechnik angewendet, die es erlaubt, einen weitgehend homogenen Dämmkörper mit rund 8 cm Dicke aufzuspritzen. Die aufgespritzte Zellulosedämmung erfüllt die für Wärmedämmverbundsys-



Abb. 9: Fotografische Aufnahmen während der Applikation der Calciumsilikatplatten

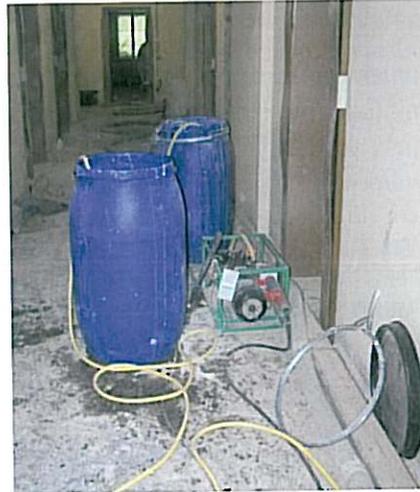


Abb. 10: Fotografische Aufnahmen während der Applikation der Zellulosedämmung

teme wichtigen Anforderungen an die Zugfestigkeit, wie sie beispielsweise an Mineralwolle-Dämmplatten gestellt werden. Der auf den speziellen Putzgrund abgestimmte neuartige Innenputz zeichnet sich insbesondere durch einen äußerst geringen Wasserdampf-widerstand aus. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um den Austrocknungsprozess der Zellulosedämmung in der Verdunstungsperiode zu unterstützen. Durch die Kombination dieser beiden Neuentwicklungen wurde ein Innendämmsystem eingesetzt, das infolge der besonderen Materialeigenschaften unter bestimmten Umständen die Verwendung einer Dampfsperre überflüssig macht. Das Dämmmaterial besteht im Wesentlichen aus Altpapierresten, die grob aufgefasert und vermischt mit Boraten das Material unempfindlich gegenüber Ungeziefer,

Schimmelpilz und Verrottung machen. Technische Daten der Zellulosedämmung:  
 Brandschutzklasse nach DIN 4102:  
 100 mm / B  
 Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ -Wert):  
 0,052 W/(mK) (Messwert)  
 Dampfdiffusionswiderstand ( $\mu$ -Wert):  
 2,4  
 Trockenrohichte: 93 kg/m<sup>3</sup>  
 Spezifische Wärmekapazität:  
 2 005 J/(kgK).

#### 4 Messtechnische Untersuchungen

Vor Applikation der Innendämmung wurde für jedes der ausgewählten Dämmsysteme je ein Messfühler zur Erfassung der Temperatur und der relativen Luftfeuchte an der Außenwand, also hinter der Innendämmung,

angebracht. Die Messdaten werden auf einem Logger abgespeichert, so dass über den gesamten Messzeitraum ein kontinuierlicher Verlauf der Feuchte und der Temperatur vorliegt. Zusätzlich werden die Außentemperatur und -feuchte miterfasst.

In Abb. 11 sind die hinter den Dämmungen gemessenen Temperaturen im Vergleich zur Außentemperatur dargestellt. Leider sind von Mitte September 2008 bis Ende Februar 2009 keine Messdaten aufgezeichnet worden und im Winter 2009 auf 2010 ist der Außenfühler ausgefallen. Es liegen aber immerhin für zwei Winterzeiträume für eine Bewertung ausreichende Messergebnisse vor. Während außerhalb der Heizperiode die hinter den Dämmungen gemessenen Temperaturverläufe relativ nahe beieinander liegen und sich im Wesent-

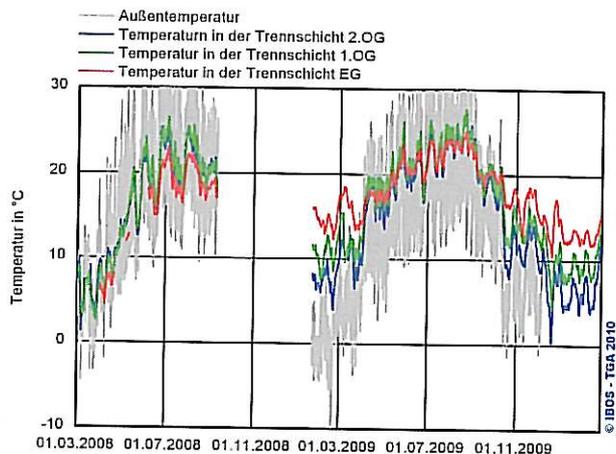


Abb. 11: Verlauf der gemessenen Außentemperatur sowie der Temperatur hinter der Innendämmung aus Dämmputz (rote Linie), Calciumsilikatplatte (grüne Linie) und Zelluloseaufspritzdämmung (blaue Linie)

lichen nur in der Schwankungsbreite unterscheiden, ist in der Heizperiode eine klare Reihenfolge erkennbar. Bei der Innendämmung mit Dämmputz ergeben sich die höchsten Temperaturen und bei der Dämmung mit Zellulose die niedrigsten. Die Temperaturen hinter der Calciumsilikatplatte liegen dazwischen. Dies deckt sich gut mit den angegebenen Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen Dämmmaterialien bzw. mit den daraus resultierenden Wärmewiderständen der jeweils 8 cm dicken Innendämmung. Je höher der Wärmedurchlasswiderstand der Innendämmung, desto niedriger ist die Temperatur der Wandoberfläche dahinter.

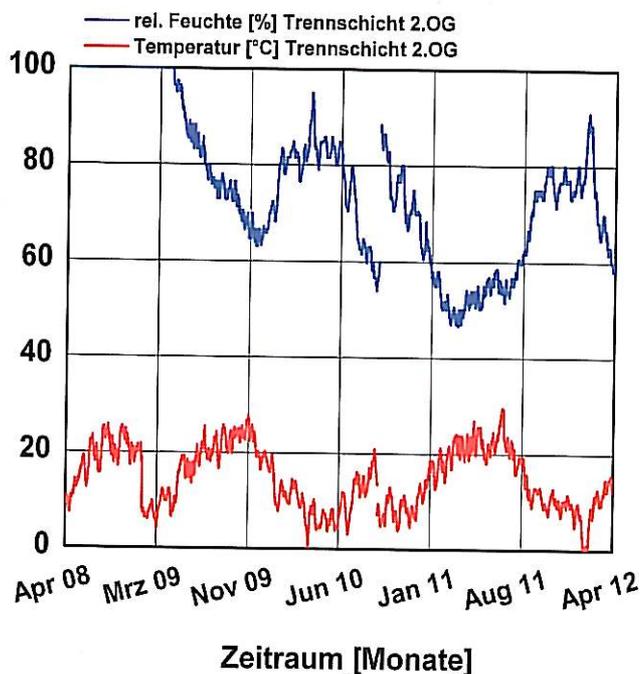


Abb. 13: Verlauf der gemessenen Temperatur (rote Linie) und Luftfeuchte (blaue Linie) hinter der Innendämmung aus Zellulose

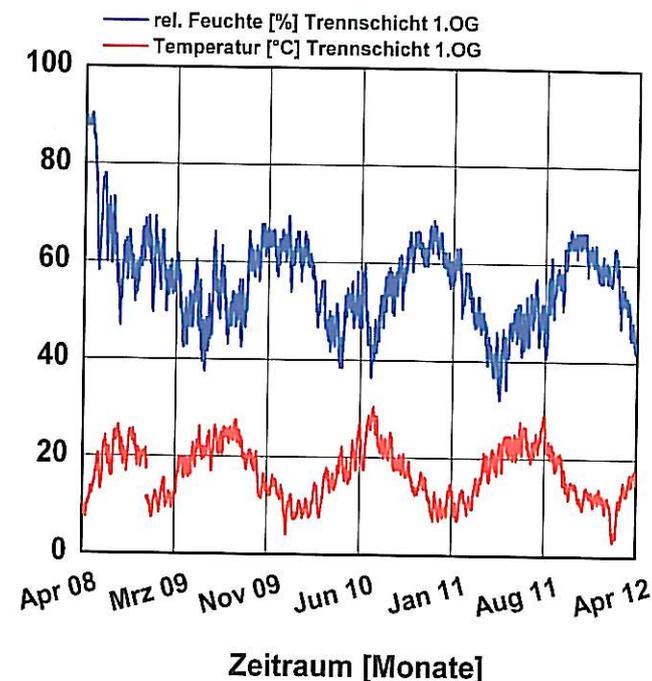


Abb. 12: Verlauf der gemessenen Temperatur (rote Linie) und Luftfeuchte (blaue Linie) hinter der Innendämmung aus Calciumsilikatplatten

Abb. 12 zeigt zusammen mit der Temperatur den Verlauf der gemessenen Luftfeuchte hinter der Dämmung aus Calciumsilikat. Ausgehend von 100 % r.F. aufgrund der beim Ankleben der Platten eingebrachten Feuchte sinkt die Luftfeuchte schnell auf Werte von unter 80 % ab. Nach einem Vierteljahr werden zu keinem Zeitpunkt mehr Luftfeuchten oberhalb von 70 % gemessen.

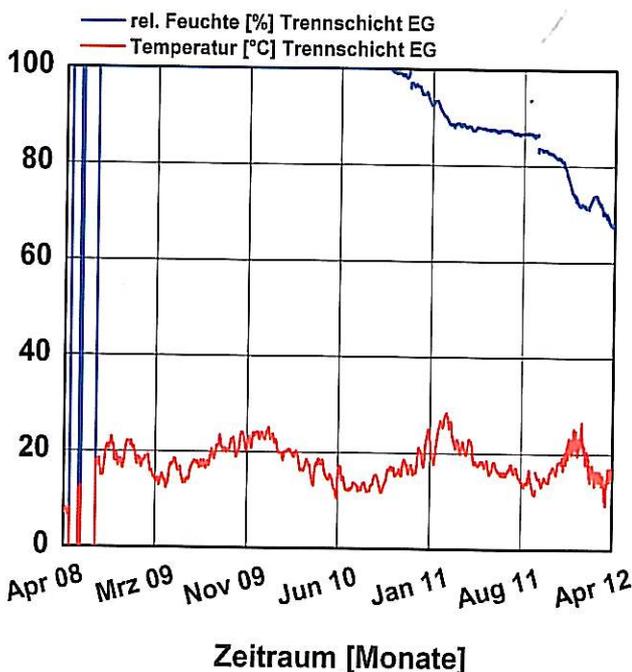


Abb. 14: Verlauf der gemessenen Temperatur (rote Linie) und Luftfeuchte (blaue Linie) hinter dem Dämmputz

Bei der Zellulose-Aufspritzdämmung ergibt sich ein völlig anderes Bild. Hier steigt die relative Luftfeuchte hinter der Dämmung sehr schnell auf 100 % an und bleibt etwa ein Jahr lang auf diesem Wert (siehe Abb. 13). Dies ist darin begründet, dass die Zellulose komplett durchfeuchtet aufgebracht wird. Diese großen Mengen an Wasser müssen dann erst wieder austrocknen. Da die Trocknung hauptsächlich nach innen erfolgt, ist die Stelle, an der gemessen wird, am längsten mit einer hohen Feuchte belastet. Im zweiten Sommer geht die Luftfeuchte bis auf ca. 65 % zurück. Im darauf folgenden Winter steigt sie aber auf Werte knapp oberhalb von 80 % und kurzfristig auf über 90 %. Zu diesem Zeitpunkt liegt aber auch die gemessene Temperatur auf einem sehr niedrigen Niveau. Im darauf folgenden Winter liegt die gemessene Luftfeuchte mit einer kurzen Überschreitung bereits immer unterhalb von 80 % r.F. und zeigt damit einen deutlichen Trend in der Trocknung. Im nächsten Winter wird eine weitere Absenkung der Luftfeuchte erwartet, so dass keine Schäden erwartet werden.

Der Luftfeuchte- und Temperaturfühler hinter dem Dämmputz scheint anfangs nicht zu funktionieren, was sich in den extrem schwankenden Messergebnissen der ersten Monate widerspiegelt (siehe Abb. 14). Hinter dem Dämmputz, der ebenfalls nass aufgebracht wird, bleibt die gemessene relative Luftfeuchte dann über ca. zwei Jahre auf 100 %. Anschließend sinkt sie kontinuierlich und erreicht im April 2012 ca. 70 %.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die energetische Sanierung des ehemaligen Landesamtes für Finanzen in Augsburg sollte auch genutzt werden,

um für weitere ähnliche Sanierungsprojekte des öffentlichen Bauherrn ein Beispiel für eine denkmalgerechte energetische Sanierung abzugeben. Neben der Erneuerung der Heizanlage und anderer Energie einsparender Maßnahmen wird hier insbesondere die Innendämmung, die aufgrund der erhaltenswerten Fassade bei diesem Gebäude eingesetzt wird, eingehend untersucht. Dabei wurden drei unterschiedliche Systeme der Innendämmung verbaut.

Vorab wurden über hygrothermische Berechnungen alle typischen Problemstellungen bei Innendämmmaßnahmen untersucht, um Schäden durch die Sanierungsmaßnahmen auszuschließen. Das Ziel der Maßnahmen, mithilfe einer Innendämmung im Ostbau des Landesamtes für Finanzen bei den Wänden einen Dämmstandard zu erreichen, der die Anforderungen der EnEV erfüllt, wird bei einer Dämmstoffdicke von 8 cm mit allen drei Innendämmungen erreicht, auch weil der Altbestand bereits einen überraschend guten Dämmstandard aufweist. Die Berechnungen zeigen, dass trotz Innendämmung in den Übergangsbereichen Außenwand/einbindende Innenwand, Außenwand/Fußboden sowie Außenwand/Decke bei angenommener normaler Wohnraumnutzung keine Probleme hinsichtlich erhöhter Oberflächenfeuchte und Schimmelpilzwachstum zu erwarten sind. Bei Büronutzung mit entsprechend niedrigerer Feuchtelast ist das Schadensrisiko weiter reduziert. Bei diesem Gebäude ist auch ein ausreichender Regenschutz vorhanden, so dass auch nach der Dämmmaßnahme außenseitig nicht mit Frostschäden zu rechnen ist.

Die Balkenköpfe der Deckeneinbindung in die Außenwände weisen

auch nach der Dämmmaßnahme das ganze Jahr über keine massebezogenen Feuchtegehalte oberhalb 20 % auf. Das Wachstum Holz zerstörender Pilze ist somit ausgeschlossen. Lediglich in den ersten zwei Jahren nach Applikation der Zellulose-Aufspritzdämmung findet dort aufgrund der Umverteilung der mit der Dämmung eingebrachten Baufeuchte für kurze Perioden eine Auffeuchtung auf etwas über 20 M.-% statt. Langfristig ergibt sich aber ein Wassergehaltsverlauf vergleichbar dem bei Calciumsilikatdämmung und die Konstruktion trocknet aus.

Im Rahmen der Applikation der drei ganz unterschiedlichen Dämmstoffvarianten wurden zwischen Außenwand und Innendämmung auch Luftfeuchte- und Temperaturfühler angebracht und deren Messdaten kontinuierlich aufgezeichnet. Die Messungen belegen über die Absenkung der Außenwandtemperatur für alle drei Systeme erwartungsgemäß den verminderten Wärmeverlust nach der Dämmmaßnahme. Die Messungen bei Verwendung der Calciumsilikatplatten zeigen, dass kurz nach deren Anbringung bereits niedrige unkritische Feuchten vorliegen. Bei der Aufspritzzellulosedämmung ist aufgrund der damit verbundenen hohen Baufeuchte im ersten Messjahr eine dauerhaft hohe Luftfeuchte von um die 100 % gegeben. Diese liegt im anschließenden Winter bei ca. 80 % r.F. und sinkt im weiteren Verlauf so weit ab, dass im Winter die 80 % r.F. nur noch relativ kurzfristig überschritten werden. Ein eingeschwungener langfristiger Zustand ist aber noch nicht erreicht. Diese Messungen sollten deshalb für eine begründete abschließende Bewertung unbedingt weitergeführt werden. Beim Dämmputz er-

geben die Messungen nach anfänglichen Schwierigkeiten eine über zwei Jahre bei ca. 100 % r.F. liegende Luftfeuchte, die erst im weiteren Verlauf kontinuierlich auf 70 % r.F. absinkt.

Die Messungen bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse der Berechnungen. Alle drei Dämmsysteme trocknen langfristig aus und bleiben schadenfrei. Aufgrund der im Vergleich zu den anderen Systemen niedrigen eingebrachten Baufeuchte ist bei diesem Gebäude die Dämmung mit Calciumsilikatplatten vorzuziehen und wird deshalb für die weitere Sanierung ausgewählt.

Ein direkter Vergleich von Messung und Rechnung ist aber nicht möglich, da sich zum Einen die Berechnungsergebnisse auf andere Stellen beziehen als die Messung. Zum Anderen wurde bei den Berechnungen, um auf der sicheren Seite zu liegen, von Wohnraumnutzung mit entsprechender Feuchtelast ausgegangen. Während der Messungen wurden die Räume aber entweder als Lager oder als Büroraum genutzt. Um die Messungen als Validierung für die Berechnungen nutzen zu können und damit für ähnliche Fragestellungen in Bezug auf die Rechenergebnisse zusätzliche Sicherheit zu gewinnen, wäre es wünschenswert, in Zukunft bei entsprechenden musterhaften Lösungen auch die Raumklimabedingungen mit zu erfassen.

**Literatur**

[1] Holm, A.; Künzel, H.M.: Feuchte- und Temperaturbelastung von Mineralwollplatten in Wärmedämmverbundsystemen. wksb 43(1998), Nr. 41, S. 2–6  
 [2] Krus, M.; Künzel, H.M.: Vergleich experimenteller und rechnerischer Ergebnisse anhand des Austrocknungsverhaltens von Ziegelwänden. Internationales Symposium of CIB W67 Energy and Mass Flow in the Life Cycle of Buildings. Wien, 4. bis 10. August 1996, S. 493–498

[3] Krus, M.; Künzel, H.M.; Kießl, K.: Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1996 (Bauforschung für die Praxis; 25)  
 [4] Künzel, H.M.: Praktische Beurteilung des Feuchteverhaltens von Bauteilen durch moderne Rechenverfahren. Aedificatio Verlag, 1999 (WTA-Schriftenreihe; 18)  
 [5] Künzel, H.M.; Krus, M.: Beurteilung des Feuchteverhaltens von Natursteinfassaden durch Kombination von rechnerischen und experimentellen Untersuchungsmethoden. Internationale Zeitschrift für Bauintandsetzen 1(1995), Nr. 1, S. 5–19  
 [6] Künzel, H.M.; Kießl, K.; Krus, M.: Feuchtemigration und langfristige Feuchteverteilung in exponierten

Natursteinmauern. Internationale Zeitschrift für Bauintandsetzen 1(1995), Nr. 4, S. 267–279  
 [7] Künzel, H.M.; Kießl, K.: Feuchte- und Wärmeschutz von Sichtmauerwerk mit und ohne Fassadenhydrophobierung. Mauerwerksbau aktuell 98, S.D.50-D.56. Düsseldorf: Werner-Verlag, Düsseldorf 1998  
 [8] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart, 2001  
 [9] Sedlbauer, K.; Krus, M.: Schimmelpilze in Gebäuden. Biohygrothermische Berechnungen und Gegenmaßnahmen. Bauphysik-Kalender 2003. Berlin: Ernst und Sohn Verlag

**INFO/KONTAKT**



**Dr.-Ing. Martin Krus**

Gruppenleiter Feuchtemanagement, Abteilung Raumklima

E-Mail: martin.krus@ibp.fraunhofer.de  
 Tel.: 08024 643-258



**Dipl.-Ing. Oswald Silberhorn**

Dipl.-Ing. Versorgungstechnik; Energieberater nach § 21 EnEV; Verantwortlicher Sachverständiger BYIK; »Beratender Ingenieur« Technische Gebäude Ausrüstung; EnEV-Beratung und Qualitätssicherung; Mitglied der GfB – Gutachtergemeinschaft im Bauwesen; Vorsitzender des Augsburgener-Energieberater-Netzwerks



**Dipl.-Restaurator Ralf Kilian**

Gruppenleiter Denkmalpflege und Präventive Konservierung, Abteilung Raumklima

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
 Institutsteil Holzkirchen  
 Fraunhoferstraße 10  
 83626 Valley  
 Tel.: 08024 643-285  
 Fax: 08024 643-366  
 E-Mail: ralf.kilian@ibp.fraunhofer.de  
 www.ibp.fraunhofer.de



**M.Eng Dipl.-Ing. (FH) Matthias Kratzmeier**

Zertifizierter Fachingenieur Fassade; Energieberater nach § 21 EnEV

IBOS – TGA Ingenieurgesellschaft für Technische Gebäude Ausrüstung mbH  
 Oswald Silberhorn  
 Wolframstraße 19a  
 86161 Augsburg  
 Tel.: 0821 4540550  
 Fax: 0821 4540555  
 E-Mail: info@ibos-tga.de  
 Internet: www.ibos-tga.de