

bauphysiktagung **2012**



bauphysiktagung 2012

Institut für Hochbau
Technische Universität Graz, Österreich
15. November 2012

Verlag der Technischen Universität Graz
www.ub.tugraz/Verlag
ISBN: 978-3-85125-237-8 (eBook)
ISBN: 978-3-85125-214-9 (print)
DOI: 10.3217/978-3-85125-237-8

Grafik: plusminus design
Konzept und Organisation: DI Susanne Bruner-Lienhart

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Vorwort

Sehr geehrte Tagungsteilnehmerin!

Sehr geehrter Tagungsteilnehmer!

Es freut mich, Sie zur sechsten Bauphysiktagung an der TU Graz begrüßen zu können.

Durch die EU-weiten Zielvorgaben bilden Energieoptimierung und –effizienz nach wie vor einen aktuellen und spannenden Themenschwerpunkt. Dabei sollte uns bewusst sein, dass dem in rechtem Maß auch Bestandsgebäude unterzuordnen sind. Denn neu bauen auf der grünen Wiese mag zwar reizvoll sein – es gibt aber Nachhaltigeres. Und was wäre eine Bauphysiktagung ohne den Schall- und Brandschutz? Da aber der Feuchtigkeitsschutz sowohl materialtechnologisch und leider auch im Zusammenhang mit Schimmelpilzen einen wesentlichen Stellenwert einnimmt, hören Sie auch interessante Vorträge zu diesen Themen.

Abgerundet wird die Tagung mit Erkenntnissen über historische und moderne Baustoffe, sowie die Klimaforschung und natürlich – der Architektur.

Peter Kautsch

Inhaltsverzeichnis

Anforderungen der Energiewende auf die Ertüchtigung und das Wohnen im Baubestand	8
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht	
Wie innovativ ist der Vorbeugende Brandschutz in Mitteleuropa?	22
Dir. DI Dr. Arthur Eisenbeiss	
Weiterbauen als Strategie	34
Univ.-Prof. Arch. DI Hans Gangoly	
Energieeffizienz am Baudenkmal - die Richtlinie des Bundesdenkmalamtes in der Umsetzung	46
HR Arch. DI Dr. Johannes Sima, Dipl.-Ing. Hanna Liebich	
Die Bedeutung der Gebäude bei der Energiewende. Eine Potenzialstudie	56
Dipl.-Ing. Johann Reiß	
Kapillaraktive Innendämmsysteme – eine moderne Technologie und ihre Anwendung	72
Dr.-Ing. Rudolf Plagge	
Innendämmung, Holzbalkenköpfe und Kastenfenster in der Sanierung	88
Arch. DI Dr.techn. Michael Grobbauer, Dipl.-Ing. Ulrich Ruisinger	
Alteration von historischen und modernen Baustoffen – Mineralogie und stabile Isotope	110
Univ.-Prof. Dipl.-Min. Dr.rer.nat. Martin Dietzel	
Klimagerecht Sanieren – Makroökonomische Bewertung im Vergleich	122
Univ.-Prof. Mag. Dr.rer.soc.oec. Karl Steininger	
Schallschutz in Europa – Stand und Entwicklung	132
Dipl.-Ing. Heinz Ferk	
Schimmelpilze in Innenräumen und an Bauteiloberflächen - to kill or not to kill?	146
Prof. Dr. Katja Sterflinger-Gleixner	

Anforderungen der Energiewende auf die Ertüchtigung und das Wohnen im Baubestand



Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart
Direktor
Stuttgart
harald.garrecht@iwb.uni-stuttgart.de

1. Einsparpotenziale im Baubestand und Bestandsanalyse

Am 30. Juni 2011 beschloss der Bundestag mit großer Mehrheit das „13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes“, das die Beendigung der Kernenergienutzung und Beschleunigung der Energiewende regelt. Die *Energiewende* stellt an die Gesellschaft große Herausforderungen, schließlich gilt es, eine nachhaltige Energieversorgung in den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität zu realisieren. Notwendigerweise muss die benötigte Energie künftig umweltfreundlich, kostengünstig und sicher bereitgestellt werden. Dieses Ziel lässt sich erreichen durch:

- Effizienz, d.h. eine bessere Nutzung von Energie
- Suffizient, d.h. eine Einsparung an Energie
- Verwendung erneuerbarer Energien, d.h. Nutzung regenerativer Quellen wie Windkraft, Fotovoltaik, Biomasse etc.
- Ergänzungsmaßnahmen, d.h. Speichertechnik, Netzausbau, Smart Grids etc.

Bereits im Vorfeld hat die EU 2007 eine Strategie für Europa 2020 verabschiedet, mit der bis zum Jahr 2020 20 % der Treibhausgase reduziert, der Anteil an erneuerbaren Energien um 20 % erhöht und der Energieverbrauch um 20 % verringert werden soll. Als die EU in 2010 die Fortschritte ihrer Mitgliedsländer bis Ende 2009 überprüfte, musste sie feststellen, dass die angestrebten 20 % Energieverbrauch nicht bis 2020 eingespart werden können, wenn die Umsetzung nicht beschleunigt wird. Im Bausektor wurde sowohl für Wohn- wie auch Nichtwohngebäude beobachtet, dass die Eigentümer noch nicht von den Vorteilen einer energetischen Ertüchtigung und Modernisierung ihrer Bestandsbauten überzeugt sind. Auch fehlt es an Beispielen, die verdeutlichen, dass sich auch geringe Investitionen energetisch und wirtschaftlich lohnen. Ferner wurde offenbar, dass es in den EU-Mitgliedsländern an spezialisierten Baufachleuten fehlt.

Als Folge wurde im März 2011 von der Europäischen Kommission ein Aktionsplan verabschiedet [1], mit dem sich durch Sanierung und intelligente Zähler rasch größere Einsparungen erzielen lassen sollen. Hierbei kommt der öffentlichen Hand eine

Vorbildfunktion zu, indem sie nur noch energieeffiziente Gebäude, Produkte und Dienstleistungen nutzen soll. Parallel soll die öffentliche Hand jährlich mindestens 3 % ihrer Gesamtgebäudefläche energetisch sanieren. Erhebliche Energieeinsparungen soll die Richtlinie aber auch im privaten Bereich bewirken, insbesondere auch dadurch, dass Verbraucher durch einen einfachen und kostenlosen Zugang zu Echtzeit- und historischen Energieverbrauchsdaten ihren individuellen Verbrauch jederzeit einsehen können.

Auf diese Weise können sie ihren Energieverbrauch künftig besser steuern. Auch soll die Abrechnung der Energiekosten zukünftig auf den tatsächlichen Verbrauchsdaten beruhen.

Das Bundeskabinett hat daraufhin am 31.08.2011 den zweiten Nationalen Energieeffizienz- Aktionsplan beschlossen und inzwischen den Bericht an die EU-Kommission übermittelt [2]. Hierin wird angeführt, dass Deutschland das Energieeinsparziel der EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen erreichen wird. So ist vorgesehen, dass bis zum Jahr 2016 ein Endenergieeinsparwert von insgesamt neun Prozent (gemessen am jährlichen Durchschnittsverbrauch im Zeitraum 2001 bis 2005) umgesetzt wird.

Die in Deutschland bevorstehende Novellierung der EnEV soll helfen, die Ziele der EU umzusetzen [3]. So verpflichtet die EU-Richtlinie ab dem Jahr 2021, Neubauten nur als *Niedrigstenergiegebäude* zuzulassen. Öffentliche Gebäude müssen bereits ab 2019 diesen künftigen Energiestandard erfüllen. Das Energiekonzept der Bundesregierung nutzt den Begriff des *klimaneutralen Gebäudes*, das dem EU-Ziel Niedrigstenergiegebäude sehr nahe kommt. Zu beachten ist aber, dass die Energieeinsparverordnung entsprechend des Gebotes des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) nur wirtschaftliche Maßnahmen fordern kann.

Die Bestandsgebäude stellen den wichtigsten Handlungsbereich der Energiewende dar. Um die Klimaziele zu erreichen muss die Sanierungsquote von unter 1 % auf mindestens 2 % angehoben werden. Hierzu muss der Modernisierungstau bei Heizungssystemen ebenso abgebaut werden, wie der Marktanteil von Wärmesystemen auf Basis Erneuerbarer Energien gesteigert werden muss. Außerdem muss der Ausbau von Wärmenetzen zur Raumwärmeversorgung vorangetrieben werden, um die Energiewende in Deutschland zu realisieren.

Hierzu soll der Novellierungsvorschlag für die EnEV 2012/2013 voraussichtlich zum Januar 2014 in Kraft treten. Neben einer Verschärfung beim Neubau wird dem Vollzug beim Gebäudebestand (Energieausweise) große Bedeutung beigemessen. Wann das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich novelliert wird, ist noch offen. Auch wird aktuell über die Zusammenführung des EEWärmeG [4] und der EnEV diskutiert, die im Energiekonzept der Bundesregierung konkretisiert werden dürfte.

Grundsätzlich ist bekannt, dass das Energiesparpotenzial im Gebäudebestand der BRD gewaltig ist. So findet sich in etwa 70 Prozent der Gebäude, die vor 1979 errichtet wurden, keine Wärmedämmung, bei 20 Prozent ist sie unzureichend. In ähnlich schlechtem Zustand befinden sich die Heizungsanlagen in deutschen Kellern. Von 19,5 Millionen Heizungsanlagen im Bestand sind rund 14,7 Millionen Gas- und Ölkesselanlagen veraltet. 75 Prozent der Heizungsanlagen entsprechen folglich nicht

dem Stand der Technik, so dass im Gebäudebestand erhebliche Potenziale schlummern, die genutzt werden müssen, soll die Energiewende tatsächlich gelingen.

Eine besondere Verantwortung kommt der Immobilienwirtschaft und den Kommunen zu, da sie die Mehrzahl der rund 4,8 Millionen Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude in Deutschland betreiben, die etwa 60 Prozent des Energieverbrauchs der Gebäude insgesamt und etwa 23 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland ausmachen. Eine Verdopplung der Sanierungsquote ist aber nicht nur unter energie- und klimapolitischen Gesichtspunkten notwendig, sondern sie kann sich auch wirtschaftlich attraktiv darstellen. Schließlich führt die energetische Sanierung zu geringeren Energiekosten, höherem Wohnkomfort und einer nachhaltigen Steigerung des Immobilienwertes, so dass eine gute Energiebilanz auch immer stärker zu einem Vermietungs- und Kaufargument werden wird. Folglich verschaffen sich Eigentümer, die auf Energieeffizienz setzen, schon heute Vorteile auf dem hartumkämpften Immobilienmarkt [5].

2. Einsparpotenziale im Baubestand und Bestandsanalyse

Schätzungen der Wohnungswirtschaft zufolge lässt sich alleine durch nachträgliche Wärmedämmmaßnahmen und eine Verbesserung der Fenster im Baubestand der Energieverbrauch in den nächsten 20 bis 30 Jahren um etwa 40 % reduzieren [6]. Für die im Bundesverband deutscher Wohnungsunternehmen (GdW) organisierten Unternehmen mit ihren etwa 6,7 Millionen Wohnungen wären somit Einsparungen von circa 12 Millionen Tonnen CO₂ realisierbar. Würden zudem die Heizanlagen saniert und der Anteil regenerativer Energien, z.B. durch die Nutzung solarer Energien, die CO₂-Reduktion im Gebäudebestand sogar auf über 50 % erhöhen. Die Umwelt könnte damit um fast 15 Millionen Tonnen CO₂ entlastet werden.

Zur Erreichung dieser CO₂-Minderungen wären Investitionen in Höhe von etwa 15 Milliarden Euro über einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren aufzubringen, die somit auch wichtige Impulse zur Stärkung der Bauwirtschaft leisten können.

Um den Baubestand erfolgreich bewirtschaften zu können, ist eine umfassende Kenntnis der in der Liegenschaft befindlichen Wohngebäude erforderlich. Die Erfassung von Bestandsdaten stellt daher eine zwingende Grundlage im Vorfeld angedachter Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden dar.

Entsprechend sind die Unternehmen der Wohnungswirtschaft bestrebt, Portfolio-Analysen zur Strategieentwicklung ihrer Immobilienbestände vorzunehmen. Diese sollen Auskunft darüber geben, mit welchen Maßnahmen die verschiedenen Objekte wirtschaftlich sinnvoll saniert werden können. Die Bewertung der Wohnungsbestände unterliegt dabei verschiedensten Kriterien, so z.B. neben dem Zustand des Gebäudes auch dem Standort, den Ausstattungsmerkmalen des betrachteten Objektes, der Höhe der Mieteinnahmen etc. Die Summe aller Informationen bildet dann die Basis der Entscheidungsfindung, ob und in welchem Umfang Investitionen zur Energieeffizienzsteigerung einer Immobilie unter ökonomischen und ökologischen Aspekten zu tätigen sind.

Ergänzend der Analyse und Bewertung, inwieweit mit den geplanten Maßnahmenkonzepten die gewünschte Energieeffizienzsteigerung zielsicher erreicht werden kann, sind zudem Untersuchungen erforderlich, in denen der Stellenwert des zu ertüchtigenden Gebäudes mit den Energiekennwerten vergleichbarer Immobilien ermittelt wird. Liegenschaftsverwaltungen, Wohnungsunternehmen etc. sind dabei i. A. bestrebt, die Gesamtheit aller ihrer Gebäude zu analysieren, um diese untereinander vergleichen und ranken zu können. Diese Form des Benchmarkings erlaubt den Unternehmen, die energetische Qualität des Gebäudebestands zuverlässig einzuschätzen.

Üblicherweise werden die Gebäude in Energieverbrauchsklassen eingeordnet, die eine grobe Orientierung der Gebäudeenergieeffizienz erlauben und die Informationen darüber geben, inwieweit ein dringender Handlungsbedarf hinsichtlich einer energetischen Sanierung und Modernisierung besteht. Der Gebäudebestand wird zumeist in drei Energieverbrauchsklassen eingeteilt:

Klasse 1: kaum Handlungsbedarf

Klasse 2: Untersuchungsbedarf, um zu ermitteln, ob Sanierung energetisch sinnvoll und wirtschaftlich ist

Klasse 3: dringender Handlungsbedarf – Betriebskostensenkung und Energieeinsparung gut zu realisieren

Mit dieser ersten Grobanalyse können somit wichtige Aussagen zum Energieeinsparpotenzial und zu den CO₂-Minderungspotenzialen gegeben werden.

3. Planung von Maßnahmen zur energetischen Sanierung und anlagentechnischen Modernisierung sowie Contracting

Im Anschluss an die Bestandsanalyse schließt sich die Planungs- und Realisierungsphase an. Jegliche Sanierungsmaßnahmen müssen einer technischen und wirtschaftlichen Bewertung unterzogen werden [9]. Dies gilt für wärmetechnische Verbesserungen an der Gebäudehülle gleichermaßen wie für Modernisierungen der haustechnischen Systeme von Heizungs- und Lüftungsanlage. Neben der Überprüfung der technischen Machbarkeit ist auch die Wirtschaftlichkeit einer jeden Maßnahme darzustellen. Zudem ist zu überprüfen, inwieweit eine Maßnahme finanziell gefördert werden kann.

Wird die Heizungsanlage des Bestandsgebäudes erneuert bzw. modernisiert, fallen zumeist hohe Investitionskosten an. Um die entstehenden Kapitalkosten zu begrenzen, werden vielfach von diversen Dienstleistern Wärmelieferungen in Form von Contractingmodellen angeboten. Gerade bei hohen Finanzierungskosten können derartige Modelle eine interessante Alternative bieten, da der Contractor die anlagentechnischen Systeme nicht nur plant, baut und finanziert, sondern i. A. auch deren Betrieb verantwortlich übernimmt. Schließlich verkauft der Contractor ausschließlich die von seinen Anlagenkomponenten erzeugte Raumwärme, Warmwasser und ggf. elektrische Energie. Grundsätzlich besteht seitens des Betreibers somit ein kommerzielles Interesse an einer energieeffizienten Betriebsführung, die einen schadstoffminimierten Anlagenbetrieb sicherstellt. Im Zuge der Vertragsgestaltung ist jedoch zu prüfen, inwieweit sich für den Eigentümer des Gebäudes ein Eigen- oder Fremdbetrieb der anlagentechnischen Systeme nicht doch günstiger gestalten kann.

Auch hier können die mit der Analyse des energetischen Gebäudeverhaltens ermittelten Kennwerte zum Energiebedarf genutzt werden, um die Kostenbestandteile des Wärmepreises für die Entscheidungsfindung herauszuarbeiten.

4. Controlling und Kommunikation

Das Gebäudemanagement umfasst neben der Bestandsanalyse, der Planung und der Realisierung von baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen auch die anschließende Kontrolle der Betriebsführung, um Aussagen darüber zu erhalten, inwieweit die vorgegebenen Energieeffizienz- und CO₂-Minderungsziele nach Abschluss der Sanierung und Modernisierung erreicht werden können. Hierzu empfiehlt sich ein Energie-Controlling, das die Energieumsätze wie auch die Betriebszustände der verschiedenen Anlagenkomponenten analysiert. Hierzu werden im Zuge der Planung Messgrößen festgelegt, die über entsprechende Sensoren und Zähler manuell abgelesen oder vollautomatisch mittels entsprechender rechnergestützter Elektronik ausgelesen, gespeichert und aufbereitet werden können. Insbesondere mit der komfortableren und leistungsfähigeren elektronischen Variante lassen sich so Anomalien und Trendänderungen unverzüglich erkennen und visualisieren, um im Bedarfsfall geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Auch wenn gegenwärtig das Energie-Controlling noch vielfach händisch und eine Bewertung meist zeitversetzt erfolgt, so nimmt der Trend des Energie-Controllings mittels moderner Gebäudeinformationssysteme stetig zu und die Erkenntnisse aus der on-line Bewertung der Messdaten fließen unmittelbar in die Handlungsweisen des Gebäudebetriebs ein. Auch für den Fall, dass die Wärmelieferung mittels Energie-Contracting erfolgt, sollte ein Energie-Controlling vorgesehen werden. Für diesen Fall müssen entsprechende Vereinbarungen mit dem Contractor getroffen werden. Schließlich bietet das Controlling dem Wärmelieferanten einen Überblick über die tatsächlichen Verbräuche und eine Kontrolle der vorgegebenen Soll- und Istwerte des Anlagenbetriebs. Anlagentechnische Parametrierungen können somit einem steten Optimierungsprozess unterworfen werden. Der Wirkungsgrad anlagentechnischer Komponenten kann auf diese Weise fortlaufend verbessert werden.

Die kontinuierliche Erfassung von Messwerten führt im Laufe der fortschreitenden Anlagenlaufzeiten zu umfassenden Datensätzen, die nicht nur eine Dokumentation des Energieverbrauchs ermöglichen, sondern auch Prognosen über Trends und Statistiken erlauben. Eine wesentliche Forderung des Controllings stellt dabei die ständige Pflege und Aktualisierung der abzulegenden Messdaten dar. Vielfach werden hierzu Messdienste mit der Durchführung des Controllings beauftragt, die dann bei der Modernisierung der anlagentechnischen Komponenten eine moderne Gebäudeleittechnik vorsehen, die nicht nur der kontinuierlichen Verbrauchserfassung nutzt, sondern die auch erlaubt, energieeffiziente Regelstrategien zur Minderung des Energiebedarfs umzusetzen. Zudem lassen sich mit derartigen Systemen Störungen im Anlagenbetrieb frühzeitig erkennen und rasch beheben.

Werden mit den baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen Energieeffizienzsteigerungen erzielt, sind die Nutzer hierüber zu informieren. Die Informationsweitergabe sollte den Anforderungen der Nutzer gerecht erfolgen. Hierzu bedarf es einer zielgruppenorientierten Aufbereitung der Messdaten. Mittels geeigneter Visualisierungstools können die Bedürfnisse der Betreiber aber auch die Interessen der Eigentümer, der Nutzer wie auch der Öffentlichkeit erfüllt werden. In der Wohnungswirtschaft werden die Ergebnisse des Controllings vielfach auch zur Veröffentlichung in Mieterzeitungen und Broschüren genutzt.

5. Potentiale des Energiemanagements am Beispiel eines energetisch sanierten und modernisierten Gebäudekomplexes mit 375 Wohnungen

In den Jahren 2000 und 2001 führte die Volkswohnung GmbH Karlsruhe an einem Wohnkomplex im Stadtteil Oberreut mit 375 Wohneinheiten (erbaut 1970/71) eine umfassende energetische Sanierung und Modernisierung durch. Mit Maßnahmen zur nachträglichen Wärmedämmung der Fassaden und mit dem Einbau neuer Fenster konnte der Gebäudekomplex dem Niedrigenergiehausstandard zugeführt werden [7]. Als weitere Maßnahme wurden die Lüftungstechnischen Einrichtungen saniert und eine kontrollierbare Lüftung eingebaut. Auch die Heizungszentrale wurde modernisiert. Dabei konnte die installierte Leistung zur Wärmeerzeugung nahezu halbiert werden. Durch den Einsatz zweier BHKW mit einer elektrischen Leistung von insgesamt 240 kW_{el} konnte darüber hinaus der Brennstoffverbrauch unter Berücksichtigung der Gutschrift für den erzeugten Strom um rund drei Viertel und die CO₂-Emission um rund zwei Drittel gesenkt werden. Die Gesamtkosten (Kostengruppen 300 und 400) lagen bei rund 9,5 Mio. €.

Die baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen umfassten:

- Erneuerung der vorgehängten Fassade und Anbringen von 16 cm Wärmedämmung
- Wärmedämmung Kellerdecke; 10 cm
- Wärmedämmung Flachdach; 10 cm
- Neue Fenster mit Wärmeschutzverglasung; $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 0,57$
- Austausch der Wohnungseingangstüren
- Reinigung und Erneuerung Wohnungslüftung (Grundlüftung mit Sicherstellung eines definierten Strömungszustandes und Einstellbarkeit durch die Mieter), nachträgliche Brandschutz- und Schallschutzmaßnahmen
- Einbau neuer frequenz geregelter Dach-Abluftventilatoren (Δ -p-Regelung)
- Neue Heizungsanlage für Lastspitzen (Erdgas-NT-Kessel 1.150 kW_{th}) mit BHKW (2 x 120 kW_{el} bzw. 2 x 200 kW_{th})
- zentrale Leittechnik in der Heizzentrale
- drehzahl geregelte Pumpen
- Erneuerung der Warmwasserbereitung
- Einbau neuer Thermostatventile
- Sanierung der Tiefgaragen
- Neugestaltung der Freiflächen

Alle bautechnischen Maßnahmen der energetischen Sanierung sind zur Übersicht in Tabelle 1 zusammengestellt.

Einer der drei 7- bzw. 12-geschossigen Wohnblöcke mit 147 Wohneinheiten wurde im Rahmen eines EnSan-Forschungsvorhabens darüber hinaus mit Einzelraumregelungen zur Heizwärme- und Lüftungsregelung ausgestattet. Das Vorhaben wurde in enger Zusammenarbeit der Auftrag gebenden Wohnungsgesellschaft, der Volkswohnung Karlsruhe GmbH, mit Architekten, TGA-Planern, begleitenden Wissenschaftlern und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik und der Hochschule Karlsruhe –Technik und Wirtschaft konzipiert. Neben den bau- und anlagentechnischen Maßnahmen wurden in 76 Wohnungen Systeme zur Einzelraumregelung zweier verschiedener Hersteller installiert. Mit dem Vorhaben sollten praktische Erfahrungen bei der ganzheitlichen Sanierung von Großwohnbauten gesammelt und im Detail dokumentiert werden. Untersucht werden sollte die energetische Wirkung verschiedener Einzelraumregelungssystemen und der bedarfsabhängigen Wohnraumbelüftung. Die Akzeptanz eines neuen Lüftungs- und Regelungssystems durch die Bewohner und der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Erfolg der Energieeinsparung waren ebenfalls wesentlicher Gegenstand der Forschungen.

Tab. 1: Zusammenstellung der baulichen Maßnahmen zur energetischen Sanierung

Bauteil	Fläche EnSan- Gebäude m ²	Konstruktion Ausgangs- zustand	Ausgang s- U-Wert W/(m ² K)	Anfor- derung WSchVO 95 W/(m ² K)	Wert nach Sanierung W/(m ² K)
Fassade	5.770	1,5 cm Innenputz 24 cm Ziegel 2,5 cm Glaswolle hinterlüftete Eternit-Vorhang- fassade	0,77	0,40	0,22 (16 cm WD WLG 035)
Fenster / Balkontüre	1.270	Holzschalung mit zwischenliegend er WD (d = 3,5 cm)	1,10	0,40	0,21
Fenster	1.740	2-Scheiben Verbundfenster mit Holzrahmen	2,50 (g = 0,80)	1,80	1,30 (g=0,57)
Flachdach	1.450	12 cm Betontrag- schale, 4 cm WD	0,86	0,30	0,24 (16 cm WD)
Kellerdecke	1.400	12 cm Betondecke mit Trittschalldämm ung und Zementestrich,	1,08	0,50	0,32 (10 cm WD)

		05 cm PVC-Belag			
Rechnerische Heizkennzahl			120 kWh/(m ² a)		56 kWh/(m ² a)

Die nachfolgenden Maßnahmen sollten daher eingesetzt und in ihrer Akzeptanz und Wirkung im Hinblick auf die Energieeinsparmöglichkeiten untersucht werden:

- Einzelraumregelung mit den Systemen Honeywell Centra und System Dr. Riedel für 60 der 147 WE
- volumenstromgeregelte Dachventilatoren
- Installation eines Messsystems zur energetischen Bilanzierung von insgesamt 60 WE sowie der Heizzentrale
- Entwicklung und Realisierung von 24 „Visualisierungskomponenten“ zur Rückmeldung des Energieverbrauchs an die Mieter und zur Untersuchung der Beeinflussbarkeit des Nutzerverhaltens
- Ankopplung eines zentralen Auswerterechners an die Gebäudeleittechnik und die dezentralen Messsysteme zur detaillierten Auswertung aller Messergebnisse [8]
- Begleituntersuchungen zum Mieterverhalten und zur Akzeptanz der Modernisierungsmaßnahmen.

Vor der Sanierung zeigten die Wohnhochhäuser erhebliche Mängel. So war die Gebäudehülle unzureichend gedämmt, die Fenster und Wohnungseingangstüren undicht. Die mechanische Entlüftung in Bädern, WC und Küchen erfolgte über zeitgesteuerte Dachventilatoren und konnte durch die Mieter nicht beeinflusst werden.

Tab. 2: Eckwerte des Wärmebedarfs vor und nach der Sanierung (umgerechnet auf EnSan-Wohnblock, 147 WE; der gesamte Erdgaseinsatz in der Heizzentrale für alle 375 WE lag vor der Sanierung bei 4.560 MWh_{PE}/a)

	vor Sanierung		nach Sanierung	
	kWh/(m ² a)	MWh/a	kWh/(m ² a)	MWh/a
Brennstoffeinsatz	182	1.790	105	1.033
Kesselwirkungsgrad	85 %		88 %	
Wärmeerzeugung	154	1.521	93	909
Verteilungsverluste	5 %		7 %	
Wärmebedarf	146	1.445	86	846

Brauchwarmwasser- erwärmung	26	256	26	256
Heizwärmebedarf	120	1.190	60	590

Mit der Sanierung der Gebäudehülle und der Modernisierung der Heizungs- und Lüftungstechnik sollte der Heizwärmebedarf in der gesamten Wohnanlage von 120 auf 56 kWh/(m²a) reduziert werden. Die zwei BHKW-Module sollten hierbei 80 % des gesamten Wärmebedarfs abdecken. Bei der Sanierung der vorhandenen Lüftung wurden permanent betriebene Geräte mit einer Konstantdrucksteuerung und mit Sockelschalldämpfern getauscht. Die Wohnungen erhielten Abluftventile mit veränderbaren Luftmengen in Küche, Bad und WC. Die Frischluftzufuhr wurde über regelbare Außenluftdurchlässe mit Sturmsicherung in den Fenstern realisiert. Im gesamten Gebäudekomplex wurden neue Thermostatventile installiert. Die Wohnungen in zwei Gebäuden wurden mit zwei verschiedenartigen Einzelraumregelungssystemen ausgestattet. Im Flur befindet sich ein wandmontiertes Zentralgerät mit dem alle Komponenten kommunizieren. Die Nutzer können hier raumweise die Raumsolltemperaturen zeitlich frei vorgeben. Um die energetische Wirkung der einzelnen Maßnahmen feststellen zu können, wurden in 24 ausgewählten Wohnungen insgesamt 1200 Sensoren installiert, mit denen die raumklimatischen Verhältnisse in allen Räumen, die Wärmeabgabe aller Heizkörper, die Stellung aller Fenster, der Abluftventile und der Zuluftöffnungsklappen erfasst werden können. Für die Aufnahme aller Sensordaten wurde ein neues funkbasiertes Messkonzept entwickelt. Die Auswahl der mit der Sensorik ausgestatteten Wohnungen erfolgte entsprechend der vertikalen Wärmeverteilung des Heizsystems so, dass die Wärmeabgabe aller an einem Vertikalstrang angeschlossenen Heizkörper bilanziert werden konnte [10].

Tab. 2 gibt einen Überblick über den Heizwärme- und Wärmebedarf der Warmwasseraufbereitung für den Zustand vor und nach der Sanierung wieder. Durch die gleichzeitige Strom- und Wärmeerzeugung des BHKW wird in der Heizzentrale zunächst mehr Brennstoff eingesetzt als bei reiner Wärmeerzeugung im Kessel.

Allerdings muss der vom BHKW erzeugte Strom nicht mehr in konventionellen Kraftwerken erzeugt werden, so dass in der Energiebilanzierung eine Stromgutschrift vom Brennstoffbedarf in der Heizzentrale abgezogen werden kann, deren Höhe von der Stromkennzahl des BHKWs sowie vom Wirkungsgrad des Vergleichskraftwerk abhängt.

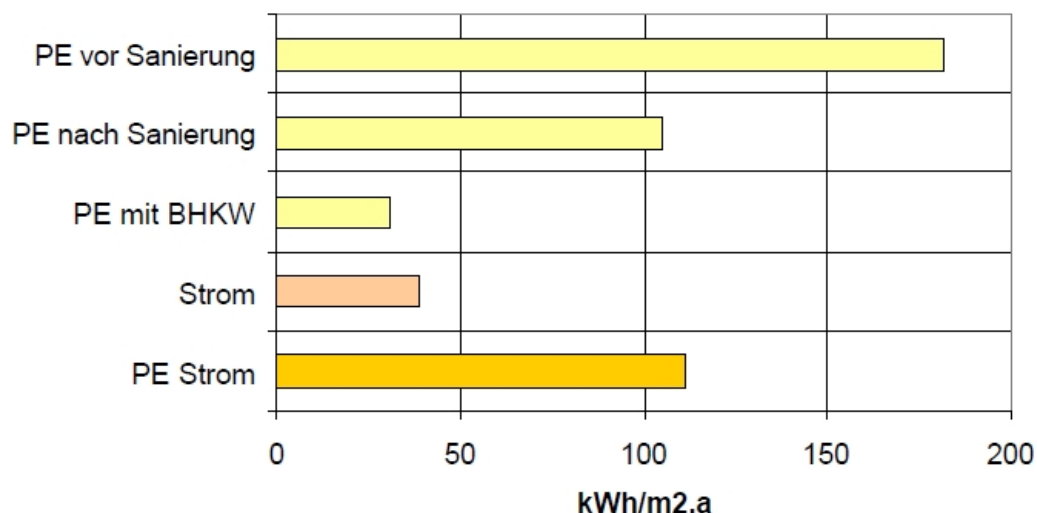


Abb. 1: Spezifischer Brennstoffeinsatz ($\text{kWh}_{PE}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) für die Bereitstellung von Heizenergie und Brauchwarmwasser bzw. Haushaltsstrom (2.600 kWh_{el} pro Haushalt) bzw. zum Vergleich der Stromverbrauch ($\text{kWh}_{el}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)

Alle Informationen zur Beheizung, zur Lüftung und zum Nutzerverhalten wurden über zwei Heizperioden mit einem neuartigen funkbasierten Messkonzept erfasst und von einem zentralen Rechner aufbereitet, um eine detaillierte Energiebilanz zu erstellen. Die Daten wurden in 18 Wohnungen in aufbereiteter Form on-line an die Mieter zurückgegeben, um diese zu informieren und sie in Richtung energieeffizientes Verhalten zu beeinflussen. Das Vorhaben wurde sozialwissenschaftlich begleitet, um Rückschlüsse auf die Einflussmöglichkeiten auf Mieter und deren Akzeptanz für moderne Techniken im Gebäude ziehen zu können.

Die im Vorfeld der Projektrealisierung durchgeführten Modellrechnungen zeigten eine potenzielle Reduzierung des Heizenergieverbrauchs um ca. 45 %, die auch nach der Sanierung im Betrieb über das ergänzende Energie-Monitoring nachgewiesen werden konnten. Im „Forschungsblock“, vgl. Abb. 2, wurde zudem der Einzelraumregelung und der Informationsrückkopplung an die Mieter untersucht. Die Auswertung des Monitorings verdeutlichte dabei, dass mit den beiden eingebauten automatischen Einzelraumregelungen Einsparungen von 32 % (System Dr. Riedel) bzw. 21 % (System Honeywell) erzielt werden konnten.

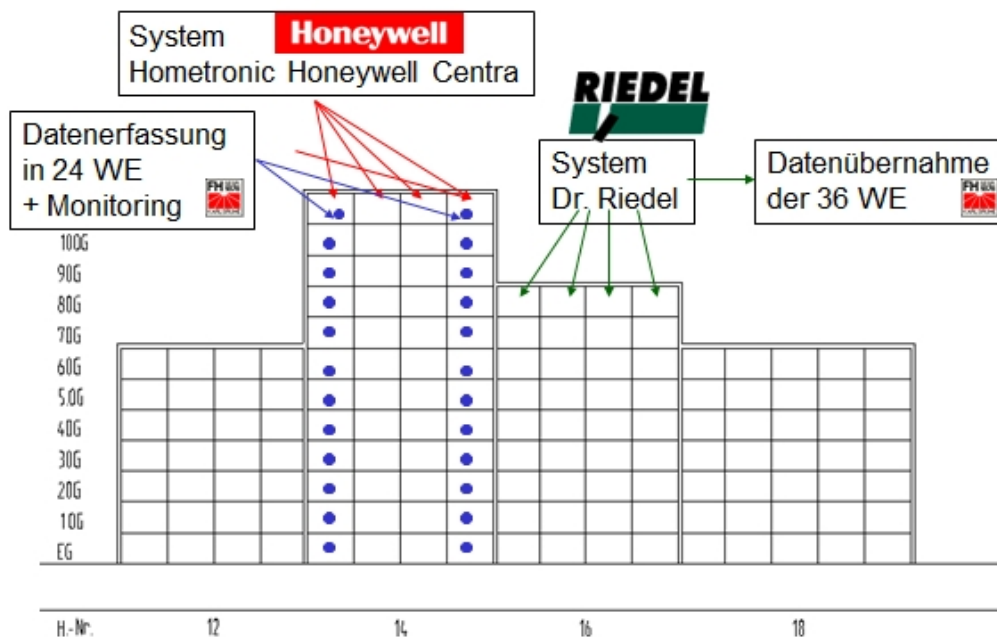


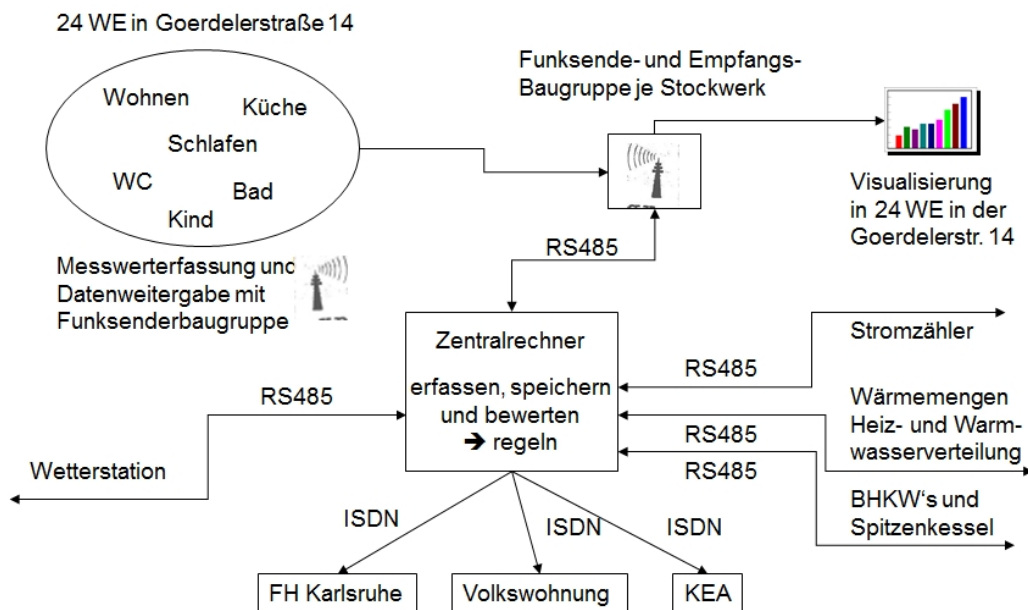
Abb. 2: EnSan-Wohnblock (147 WE): Lage der 24 Wohnungen mit detailliertem Messprogramm (•) im mittleren Gebäudesektor (12 Etagen), Wohnblock Goerdelerstraße 14

Im Zuge des ergänzenden Klima- und Energiemonitorings wurden zur detaillierten Erfassung der wohnungsbezogenen Daten in insgesamt 24 Wohnungen die nachfolgenden Einzelgrößen gemessen, gespeichert, visualisiert und im Weiteren analysiert und bewertet (vgl. Monitoringkonzept in Abb. 3):

- Wärmemenge pro WE für Heizung (Wärmemenge Steigstrang; Vor-/Rücklauf-temperatur)
- Wärmemenge pro WE für Warmwasser
- Stromverbrauch pro WE
- Raumtemperatur (raumweise)
- Luftfeuchte (raumweise)
- Stellung aller Abluftventile (Grund-/Bedarfs-lüftung)
- Stellung aller Zuluftklappen (auf/zu)
- Stellung aller Fensterflügel, Balkontür und Wohnungseingangstür (auf/zu; gedreht/gekippt).

Die Ergebnisse der Befragungen und die Messwerte in den Wohnungen zeigten jedoch, dass sich das Nutzerverhalten zwar durch die Informationen etwas verbessert hat, aber noch deutlich von einem wirklich energiebewussten Verhalten entfernt ist. Überdies bestehen erhebliche Unterschiede zwischen der Selbsteinschätzung und dem tatsächlichen Verhalten. Zwei wichtige Ursachen wurden hierfür im Rahmen des Vorhabens identifiziert: a) die Funktionsweise der neuen Lüftung, die oft nicht verstanden wurde und b) Akzeptanzhemmnisse oder einfach Trägheit, so dass die Möglichkeiten der automatischen Einzelraumregelung nicht optimal genutzt wurden. Ferner war die Rückkopplung durch die Auswirkung von energiesparendem Verhalten auf die Heizkosten zu gering (weitgehende Pauschalisierung) und zu spät (über eineinhalb Jahre nach Abschluss der Sanierungsarbeiten), so dass hiervon kein starker Anreiz zum Energiesparen ausgehen konnte. Dies betraf besonders die Warmwassernutzung, die in dieser Wohnanlage mehr als doppelt so hoch lag wie erwartet.

Der spezifische Brennstoffeinsatz in der Wohnanlage wurde durch die Maßnahmen von 161 kWh/m² auf 37 kWh/m² (Bezug auf beheizte Wohnfläche) reduziert, also um 77 %. Von allen durchgeführten Maßnahmen hatte das installierte BHKW den größten Einzeleffekt und trug mit 46 %-Punkten zu dieser Einsparung bei, während die Wärmeschutzmaßnahmen und die Verbesserung der Lüftung mit 31 %-Punkten



beitragen.

Abb. 3: Übersicht über das realisierte Messkonzept

Der Heizenergieverbrauch sank im Mittel über alle 375 Wohnungen von 100,5 (Mittelwert des temperaturbereinigten mittleren Heizenergieverbrauchs der letzten 5 Jahre vor der Sanierung) auf 55,5 kWh/m². Durch die Einzelraumregelungen in einem Teil der Wohnungen konnte dieser Wert auf 43 bzw. 37 kWh/m² reduziert werden, wobei durch optimale Nutzung sogar noch niedrigere Werte möglich wären.

Während der Einbau des BHKW eine enorm effiziente Klimaschutz-Maßnahme darstellt und unter den heutigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen als wirtschaftlich angesehen werden kann, sofern das BHKW optimal ausgelegt und betrieben wird, rechneten sich die übrigen Maßnahmen nicht bereits durch die eingesparten Energiekosten. Nur etwa ein Drittel der energiebedingten Mehrkosten des Vorhabens konnten im Untersuchungszeitraum durch die Minderkosten beim Gasverbrauch kompensiert werden. Dabei machten die energierelevanten Mehrkosten wiederum nur etwa ein Drittel der Gesamtkosten der Sanierung und Modernisierung in diesem Vorhaben aus. Dementsprechend kann auch die Mieterhöhung – die die Gesamtkosten berücksichtigt – durch die Heizkosteneinsparung nicht kompensiert werden: Für eine Wohnung mit 67 m² ergab die Erhöhung der Kaltmiete, die nach der Sanierung erfolgte, Mehrkosten von ca. 1.100 €/a, während die Minderung der Heizkosten bei einem Gaspreis im Jahr 2004 von 4,5 ct/kWh_{H₀} etwa 160 €/a ausmacht. Dennoch halten rund 75 % der Mieter, wie die abschließende Umfrage im Frühjahr 2004 ergab, die Mieterhöhung (von 3,30 auf 4,75 € pro m² und Monat, also für die Durchschnittswohnung von 67 m² eine Kaltmiete von 318 €) für ganz oder „teilweise“ gerechtfertigt, weil sowohl der Komfort in den Wohnungen als auch das erheblich verbesserte äußere Erscheinungsbild der Gebäude und des gesamten Wohnumfeldes eine erhebliche Aufwertung erfahren haben.

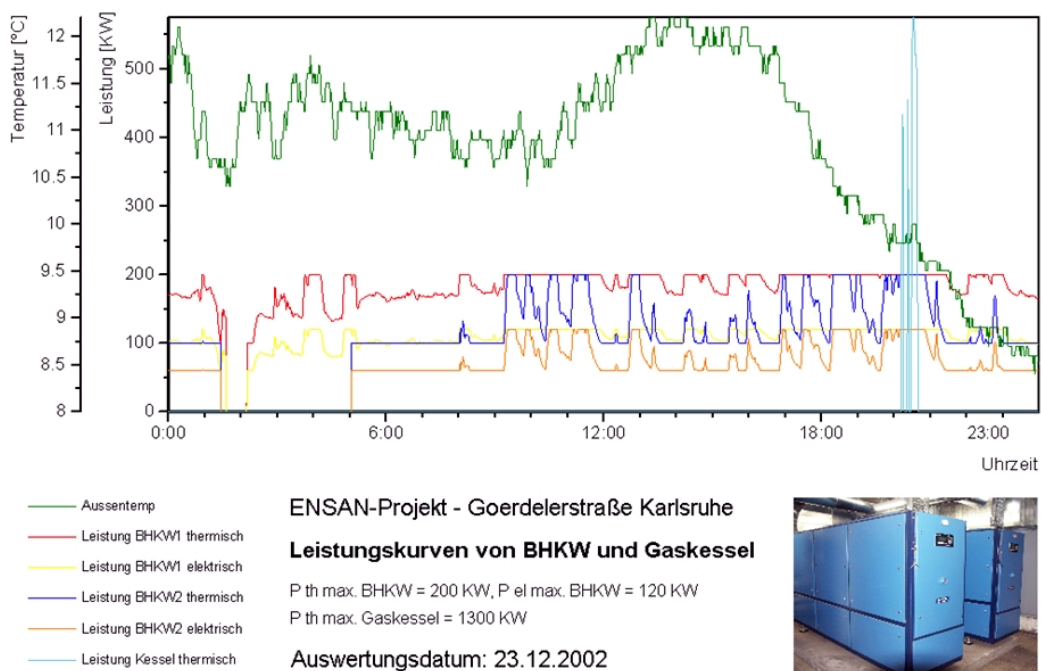


Abb. 4: Tagesganglinie der Leistungsbereitstellung am 23. Dezember 2002; das BHKW war noch im Probetrieb. Bei einer mittleren Außentemperatur von 9,5 °C nachts und etwa 11,5 °C tagsüber wird der Heiz- und WW-Bedarf abgesehen der Nachtstunden von 1 bis 5 Uhr von beiden BHKW-Modul gedeckt. Zudem wird nach 20 Uhr kurzzeitig der Spitzenkessel zur Deckung des Wärmebedarfs in Betrieb genommen.

Der durch die Bereitstellung von Warmwasser verursachte Energieverbrauch liegt nach der Sanierung fast so hoch wie der Energieverbrauch zur Beheizung. Hier und bei der Beeinflussung des Nutzerverhaltens sowie der regelmäßigen Qualitätsüberwachung des Anlagenbetriebes, die mit dem Einbau der modernen GLT ermöglicht wurde, aber i.a. selten praktiziert wird, liegen die wesentlichen noch bestehenden Einsparpotenziale, die sich durch eine Kombination von moderner Regelungs- und Kommunikationstechnik sowie durch eine geeignete (fortlaufende) Information an die Nutzer noch realisieren lassen. Kostensenkungen in der Technik und Erfahrungen mit „Good-Practice – Projekten“ von Wohnungsgesellschaften (und deren Dokumentation) können folglich einen wichtigen Beitrag leisten, z. B. im Zusammenhang mit dem Gebäudeenergiepass nach EnEV und EU-Richtlinie, Energie in Gebäuden einzusparen (vgl. Abb. 4). Da neben einer Verringerung des Energiebedarfs auf der Wärmeseite auch der Senkung des Haushaltsstromverbrauchs eine immer größere Bedeutung zukommt, gilt es in künftigen Vorhaben insbesondere das Potential der Stromeinsparung stärker zu berücksichtigen. So lag der Strombedarf eines 2-Personen-Haushalts in 2003 i.M. bei 2.350 kWh_e/a, entsprechend bei 35 kWh_e/m² oder 94,8 kWh/m² Primärenergie bzw. Jahreskosten von 400 €/a und übertraf damit die angefallenen Heizkosten. Jüngere Untersuchungen konnten zeigen, dass hier Einsparungen um 20 bis 30 % leicht möglich sind.

6. Zusammenfassung

Um die Ziele der Energiewende zu erreichen, kommt nicht nur der energetischen Optimierung des Neubaus in Richtung Effizienzhaus Plus, sondern auch der energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle und der Modernisierung der Anlagentechnik im Gebäudebestand eine wichtige Bedeutung zu. Bautechnische Maßnahmen lassen sich heute mit zahlreichen Planungshilfen in ihrer Wirkung optimieren und aus bauphysikalischer Sicht zuverlässig bewerten. Eine bislang untergeordnete Bedeutung wird bislang der kontinuierlichen Energieverbrauchserfassung zugemessen, die einerseits eine Schwachstellenanalyse ermöglicht und damit gezielt zur Verbesserungen der baulichen Maßnahmen und auch zur Optimierung des Betriebs der anlagentechnischen Komponenten genutzt werden kann. Die Dokumentation und Detailanalyse der aufgezeichneten Daten des Energie- und Anlagenmonitorings ermöglichen nicht zuletzt ein sorgfältiges Energiemanagement, mit dem auch die Erarbeitung und Festlegung einer Prioritätenliste für Maßnahmen erfolgen kann, die zu einer Verbesserung der Energieeffizienz eines Gebäudes nutzbar ist. Nicht zuletzt erlauben die verfügbaren Datenpunkte der Gebäudeleittechnik auch eine Optimierung des Betriebs der vielfach komplexen Anlagensysteme für die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Strom.

Am Beispiel eines großen Wohngebäudekomplexes mit 375 Wohneinheiten, das in den Jahren 1970/71 erbaut und in den Jahren 2000 bis 2001 umfassend saniert und modernisiert wurde, wurden die Möglichkeiten der Energieeffizienzsteigerung mittels einer energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle, mittels einer weitreichenden Modernisierung der technischen Anlagen und mittels zweier mehr oder weniger gut auf die Nutzerbedürfnisse abgestimmter Einzelraumregelungskonzepten aufgezeigt, die in Verbindung mit einem umfassenden Gebäudemanagement sicherstellten, dass der Energiebedarf des Gebäudes deutlich verringert werden konnten. Aber auch der Wohnkomfort der Nutzer konnte mit diesen Maßnahmen deutlich gesteigert werden.

Literatur

- [1] European Commission: A strategy for competitive, sustainable and secure energy. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011, ISBN 978-92-79-18869-5, 2011, verfügbar unter http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2011_energy2020_en.pdf .
- [2] BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: 2. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) der Bundesrepublik Deutschland, Hrsg. BMWi, Juni 2011.
- [3] Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009: Verordnung über Energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Inkrafttreten 1. Oktober 2009.
- [4] EEWärmeG: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 68 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert wurde)
- [5] Institut für Energie-Effiziente Architektur mit Internet-Medien: Melita Tuschinski, Stuttgart, Herausgeberin EnEV-online.de
- [6] Umweltbundesamt: Energiemanagement in Wohnungsunternehmen Chancen nutzen – Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit verbinden, Herausgeber Umweltbundesamt und GdW-Bundesverband deutscher Wohnungsunternehmen e.V., Berlin, ISBN 3-87292-157-6, 1. Auflage 2003.
- [7] Emmerich, W., Jank, R., Bieber, H., Garrecht, H., Georgescu, A., Ginter, M., Gruber, E., Hildebrandt, O., Huber, J., König, A. & M. Laidig. EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße. Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Bietigheim-Bissingen: Fachinstitut Gebäude Klima, ISBN 3-938210-04-4, 2004.
- [8] Garrecht, H., Huber, J: Untersuchungen zum Einfluss der Heizungsregelung und des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Mietwohnungen am Beispiel eines umfassend sanierten Wohnkomplexes, Tagungsband „Gebäude verstehen-bewerten-verbessern“, TU Wien, 24.5.2004, S. 154-167, 2004.
- [9] Garrecht, H.: Energetische Sanierung der Gebäudehülle – Möglichkeiten und bauphysikalischen Grenzen“, Tagungsband zur Teilveranstaltung „Energetische Sanierung von Bestandsgebäuden“ des 1. Darmstädter Ingenieurkongresses Bau und Umwelt 14.-15. September 2009, Hrsg. Fg. Werkstoffe im Bauwesen, TU Darmstadt, S. 93-106, 2009.
- [10] Garrecht, H.; Wolfrum, K.; Jank, R.: Energiemanagement im Gebäudebestand, In: Tagungsband zum 34. Darmstädter Massivbauseminar „Zukunftsfähiges Planen und Bauen“, Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt, S. 103-112, 2010.

Wie innovativ ist der Vorbeugende Brandschutz in Mitteleuropa?



DI Dr. Arthur A. Eisenbeiss (Geschäftsführer)
DI Thomas Trauner (Prokurist)
BVS-Brandverhütungsstelle für
Oberösterreich reg. Genossenschaft m.b.H
Petzoldstraße 45, 4017 Linz
office@bvs-ooe.at

Der Vorbeugende Brandschutz wurde und wird traditionell in Form von beschreibenden Vorschriften geregelt, die sich in bautechnischen Gesetzen, Verordnungen, Vorschriften in behördlichen Bescheiden, Normen und anderen Regelwerken (z.B. TRVB-Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz) finden [1, 2, 3, 4]. Seit im Jahre 2009 erstmals österreichweit einheitliche brandschutztechnische Vorschriften erarbeitet und herausgegeben [5] wurden, werden darin sogenannte Brandschutzkonzepte insbesondere für komplexe oder multifunktionale Bauten gefordert. Während in anderen Ländern, wie z.B. Australien [6], Neuseeland [7], etc. seit mehr als einem Jahrzehnt nur mehr zielorientierte Brandschutzvorschriften bestehen, die in der Praxis für die zu errichtenden Gebäude von Brandschutzingenieuren in Baupläne umgesetzt werden, sind wir in Mitteleuropa an fertige Rezepte, wie Gebäude zu errichten sind [13], gewöhnt. Um die in den OIB Richtlinien geforderten Brandschutzkonzepte erstellen zu können, sind zum Teil Ansätze und Methoden der Risikobetrachtung [8] zu wählen, wie sie für die Planung nach schutzzielorientierten Vorschriften erforderlich sind. Im Folgenden werden an Hand von zwei Beispielen die brandschutztechnische Planung nach „Rezept“ mit der schutzzielorientierten Vorgangsweise verglichen und deren jeweilige Vor- und Nachteile diskutiert.

1. Ein Brandschutzkonzept auf Basis beschreibender bautechnischer Regulative mit Abweichungen (prescriptive based approach)

Europäische Normen überschwemmen in Europa die Welt des Vorbeugenden B regeln zum allergrößten Teil (brandschutztechnische) Produkte, um Handelshemmnisse zu beseitigen oder zu vermeiden.

Brandschutztechnische Vorschriften, die festlegen, wo bzw. in welchen Bauten brandschutztechnische Produkte mit europäisch einheitlichen Leistungsmerkmalen eingebaut werden, ist nationale Kompetenz und wird es auch künftig bleiben.

In Bezug auf das Beharren auf nationale präskriptive Regulative sind die mitteleuropäischen Nationalstaaten eher konservativ, was sich auch daran zeigt, dass die europäische Normung in diesen Bereichen praktisch ohne wesentlicher Eigeninitiative ist und oftmals Ergebnisse der ISO (International Standardization Organization) übernimmt.

1.1. Struktur der Vorgangsweise bei präskriptiven Vorschriften

Die Brandschutzplanung folgt in den allermeisten Fällen den Vorgaben der präskriptiven Regulativen. In den Fällen, in denen nach der Methode der leistungsbezogenen Bemessung (Performance Based Approach) geplant wird, berücksichtigen präskriptive Vorschriften die speziellen Nutzungen nicht und sind daher nicht sinnvoll anwendbar oder ein leistungsbezogener Planungsansatz verspricht eine kostengünstigere – weil spezifisch angepasste – Ausführung bei gleichem Sicherheitsniveau.

Mit Erscheinen der österreichweit einheitlichen brandschutztechnischen Vorschriften des OIB [5] werden nunmehr erstmals die Nutzungen dezidiert angeführt, für die ein Brandschutzkonzept zu erstellen ist.

Dabei orientieren sich die Nutzungen immer an den Vorgaben der präskriptiven Vorschriften, definieren die Abweichungen und nennen Ersatzmaßnahmen, die die Aufgabe haben, das Sicherheitsniveau auf das der nach präskriptiven Forderungen errichteten, anzupassen.

Diese Anpassung erfolgt häufig nach der sogenannten „deemed-to-satisfy“ Methode, bei der eine Ersatzmaßnahme durch Expertenbeurteilung im Vergleich zu den in den Regulativen vorgesehenen Maßnahmen als ausreichend angesehen wird. Um das „ausreichend sein“ zu beurteilen, können beispielsweise auch Methoden der Simulationsrechnung, der statistischen Erfahrung oder Erkenntnisse aus Vergleichsversuchen herangezogen werden.

Damit werden bei Brandschutzkonzepten zumindest implizit Methoden eingesetzt, die den Methoden der leistungsorientierten Bemessung zuzurechnen sind.

1.2. Beispiele für Ersatzmaßnahmen

Am Beispiel einer 3 - geschößigen Schule [11], die eine zusammenhängende Grundfläche von 4.200 m² aufweist, werden im Folgenden beispielhaft einige, also nicht alle, Ersatzmaßnahmen beschrieben, die getroffen wurden, um Unterlassungen oder Abweichungen der präskriptiven Vorschriften so zu kompensieren, dass das Schutzniveau dem durch die präskriptiven Vorschriften implizit vorgegebenen äquivalent ist.

Präskriptiv wurde gefordert:

- Die OIB RL 2 [5] fordert für das oberste Geschoß R/EI/REI 30, für sonstige, oberirdische Geschoße R/EI/REI 60 und für unterirdische Geschoße R/EI/REI 90 und zusätzlich A2.
- Die gemäß OIB RL 2 zulässige Brandabschnittsgröße beträgt 1.600m² für Schulgebäude.

1.2.1. Abweichungen

Reduktion der gemäß OIB Richtlinie vorgeschriebenen Feuerwiderstandsdauer der Tragstruktur:

Um den Holzbau ökonomisch zu gestalten, wurde die Tragstruktur der Wände und Decken für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten ausgelegt. Dies stellt nur für das oberste Geschoß keine Abweichung zur OIB RL 2 dar, in den anderen oberirdischen Geschoßen schon, da gemäß Richtlinie ein Feuerwiderstand von 60 Minuten gefordert wird. Im Kellergeschoß wird ein Feuerwiderstand von 90 Minuten gefordert. Die Außenwände im Kellergeschoß werden massiv mit 90 Minuten

Feuerwiderstand ausgeführt und bleiben so ohne Abweichung. Die innere Tragstruktur im Kellergeschoß wird hingegen mit lediglich 30 Minuten Feuerwiderstand in Holz ausgeführt, wie in allen anderen Geschoßen auch. Somit ist auch hier eine Abweichung gegeben.

Überschreitung der gemäß OIB Richtlinie zulässigen Brandabschnittsgrößen:

Gemäß OIB RL 2 beträgt die zulässige Brandabschnittsgröße 1.600m². Aus Gründen der Architektur, die auf maximale Transparenz des Gebäudes Wert legt, sollen sämtliche 3 Geschoße einen Brandabschnitt bilden. Somit beträgt die zusammenhängende Brandabschnittsgröße 4.200m².

Brandabschnitte in EI 30 anstatt EI 90 wie durch die OIB Richtlinie gefordert:

Aus Kostengründen soll der Brandabschnitt Bibliothek, der eine untypisch hohe Brandlast beinhaltet, anstatt in kostenintensiver EI 90 Ausführung in kostengünstiger EI 30 Verglasung zur Ausführung kommen.

1.2.2. Ersatzmaßnahmen

Reduktion der gemäß OIB Richtlinie vorgeschriebenen Feuerwiderstandsdauer der Tragstruktur:

Als Ersatzmaßnahme wird eine Sprinkleranlage im Schutzzumfang „Vollschutz“ im gesamten Schulgebäude verbaut. Die Sprinkleranlage ist in der Lage, einen Entstehungsbrand über 90 Minuten unter Kontrolle zu halten bzw. ihn idealerweise zu löschen. Somit stellen sich keine Vollbrandbedingungen ein. Der Brand bleibt auf im Vergleich zur Einheitstemperaturkurve, nach der Bauteile geprüft und klassifiziert werden, geringen Temperaturen und bleibt auf einen lokal eingegrenzten Bereich beschränkt und kann durch die Feuerwehr gelöscht werden.

Überschreitung der gemäß OIB Richtlinie zulässigen Brandabschnittsgrößen:

Als Ersatzmaßnahme wird ebenfalls die Sprinkleranlage im Schutzzumfang „Vollschutz“ herangezogen, weil die Begrenzung eines Brandes auf einen lokal eingegrenzten Bereich eine äquivalente Maßnahme im Hinblick auf Sicherheit darstellt. Zusätzlich wird eine Brandmeldeanlage im Schutzzumfang „Vollschutz“ [18] wegen der damit verbundenen Brandfrüherkennung als weitere Ersatzmaßnahme herangezogen, die für eine rasche gebäudeweite Alarmierung sorgt.

Brandabschnitte in EI 30 anstatt EI 90 wie durch die OIB Richtlinie gefordert:

Als Ersatzmaßnahme wird die Wasserversorgung der Sprinkleranlage im Schutzzumfang „Vollschutz“, die auf mindestens 90 Minuten ausgelegt wird, herangezogen. Ergänzend dazu werden im Bereich der Grenzen der Brandabschnitte die Sprinklerköpfe verdichtet angeordnet.

2. Ein Brandschutzkonzept als leistungsbezogene Bemessung (performance based approach)

2.1. Struktur der Vorgangsweise

Die detaillierte Struktur zur Erstellung eines Konzeptes nach der Methode der leistungsbezogenen Bemessung ist in [9] beschrieben.

Neben der Beschreibung des Bauvorhabens sind die wesentlichen Elemente daraus:

- Identifikation der zutreffenden Schutzziele (z.B. Sicherheit der Benutzer, Schutz der Umwelt, etc.)
- Festlegen der Funktionsanforderungen (das sind: Auflistungen der Mittel, um die Schutzziele zu erreichen. Z.B. (1) „Keines der betrachteten Feuerszenarien darf Personen in Fluchtwegbereichen verletzen, bevor die Evakuierung abgeschlossen ist“ oder (2) „Keines der betrachteten Feuerszenarien darf zu einem Gebäudeversagen führen, bevor alle Nutzer das Gebäude sicher verlassen haben“)
- Festlegen der Akzeptanzkriterien (das sind: Quantitative deterministische oder probabilistische Spezifikationen, die die Basis für die Bewertung, ob die Funktionsanforderungen erfüllt werden, bilden. Z.B. für (1) „Angabe einer minimalen Sichtweite oder maximalen Rauchdichte“ oder für (2) „Angabe einer minimalen Brandwiderstandsdauer der Baustruktur“)
- Identifikation der Gefahrenszenarien
- Konzepterstellung
- Validierung der Erfüllung der Akzeptanzkriterien unter Zuhilfenahme der Methoden der Fehlerbaumanalyse und der Simulationsrechnungen für die Brandentwicklung, die Brandwiderstandsdauer und die Entfluchtung [15, 16].

2.2. Beispiel für eine leistungsbezogene Bemessung

Das folgende Beispiel eines **(kanadischen) Bürogebäudes** wurde [8] entnommen und erläutert in gekürzter Darstellung die in 2.1. beschriebene Struktur.

2.2.1. Kurzbeschreibung für das Objekt „Bürogebäude in Kanada“

- Das Bürogebäude besitzt 40 Geschoße, ist ein Stahlrahmenbau, weist Abmessungen von 60 m Länge und 50 m Breite auf und soll mit möglichst großen Glaselementen ausgestattet werden. Der Kern des Gebäudes beinhaltet die Aufzugsgruppen, Stiegenläufe und Installationsschächte. Jedes Geschoß ist für 300 Personen (1 Person pro 10 m²), also insgesamt für 12.000 Personen, ausgelegt.

- Gefordert ist ein einfacher, klarer, überschaubarer Grundriss, der leicht unterteilt werden kann
- Vorzusehen sind „Auffangbereiche“ mit einer Kapazität von bis zu 300 Personen, die als temporär „gesicherte Bereiche“ für Personen mit eingeschränkter Mobilität dienen, die dort sicher auf Fremdhilfe wartend, verweilen können. Diese Bereiche weisen Umfassungsbauteile mit definiertem Feuerwiderstand und Einrichtungen zur Entrauchung (RWA, etc.) auf.
- Bei der Variante ohne „gesicherten Auffangbereich“ ist der Grundriss derselbe, weist aber keine Umfassungsbauteile mit brandschutztechnischer Klassifikation und keine gesonderten Einrichtungen zur Entrauchung auf.
- Das Erdgeschoß besitzt ein Restaurant, Geschäfte, eine Lobby (Haupteingang) und drei Seitenausgänge, wobei einer direkt mit dem Treppenhaus über einen „gesicherten Gang“ verbunden ist.

2.2.2. Die Schutzziele für das Objekt „Bürogebäude in Kanada“

- Schutz des Lebens und der Gesundheit der Gebäudebenutzer im Brandfall, wobei das Sicherheitsniveau das der nationalen präskriptiven Baugesetzgebung ist
- Schaffung eines „gesicherten Aufenthaltsbereiches“ für Personen mit eingeschränkter Mobilität
- Verhinderung oder Verzögerung der schädigenden Feuer- und Rauchausbreitung, um die Geschäftsunterbrechung der Mieter/Eigentümer zu minimieren
- Die Kosten für den Brandschutz so gering wie möglich zu halten
- Limitierung des zu erwartender Verlustes im Brandfall

2.2.3. Brandszenarien für das Objekt „Bürogebäude in Kanada“

- Schwelbrände [12]
- Brände ohne Feuerübersprung
- Brände mit Feuerübersprung (flash-over)

2.2.4. Ausführungsvarianten für das Objekt „Bürogebäude in Kanada“

- Variante 1: Referenzvariante, die der Baugesetzgebung in Kanada entspricht. Dies bedeutet 120 Minuten Feuerwiderstand der Tragstruktur, Sprinkleranlage mit 95 % Ausfallsicherheit, keine gesicherten Auffangbereiche, aber mit zentralem Alarmierungssystem mittels Sprachdurchsage, wie in den Anforderungen von NBCC [10] beschrieben.
- Variante 2: wie Variante 1, aber mit reduzierter Feuerwiderstandsdauer der Tragstruktur. Reduzierung von 120 Minuten Feuerwiderstand auf 90 Minuten Feuerwiderstand. Diese Variante soll zur Reduzierung der Baukosten führen, wobei ein eventueller damit verbundener Anstieg des Risikopotentials untersucht werden soll.

Variante 3: wie Variante 2, aber mit „gesicherten Auffangbereichen“

Variante 4: wie Variante 2, aber mit einer Sprinkleranlage mit 99 % Ausfallsicherheit

Variante 5: wie Variante 2, aber ohne Sprinklereinsatz

Varianten	Feuerwiderstand (Minuten)	„gesicherte Auffangbereiche“	Sprinkler (% Ausfallsicherheit)
1 (Referenz)	120	Nein	95
2	90	Nein	95
3	90	Ja	95
4	90	Nein	99
5	90	Nein	Nein

Tabelle 1 — brandschutztechnische Ausführungsvarianten im Überblick

Die Methode der Fehlerbaumanalyse ermöglicht durch eine Parameterstudie die Identifikation der kritischen Ereignisse, die mit Ingenieurmethoden evaluiert werden:

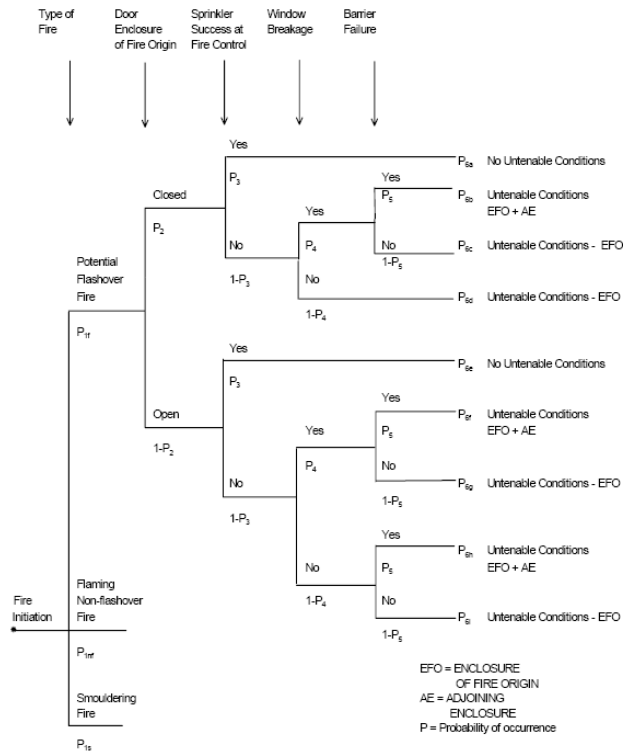


Abbildung 1 — Brandszenarien mit deren Variationen „Ereignisbaum“

2.2.5. Brandrisikoevaluierung

2.2.5.1. Akzeptiertes Risiko im Brandschutz

Am Beispiel des Bürogebäudes wird das akzeptierte Risiko aus der nationalen Baugesetzgebung als Basis zum Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Ausführungsvarianten des Gebäudes herangezogen.

2.2.5.2. Anforderungen aus der nationalen Baugesetzgebung

Zur Entscheidungsfindung, welche brandschutztechnische Variante des Bürogebäudes zur Umsetzung in die Praxis erfolgen soll, wird der sogenannte ERL-Wert („Expected Risk to Life“) herangezogen.

Der ERL-Wert ist die statisch durchschnittlich zu erwartende Anzahl an Toten pro Jahr, die bei einem Brandereignis in einem Bürogebäude dieser Größe aus der statistischen Erfahrung zu erwarten sind. Basierend auf den Ergebnissen der Rauchsimulation und Entfluchtungssimulation kann aufgrund der Dosis von toxischen Gasen [14] abgeleitet werden, wie lange Personen sich in bestimmten Bereichen aufhalten können, insbesondere für den Fall, dass diese auf Fremdrettung, z.B. durch die Feuerwehr, angewiesen sind. Erfolgt diese Fremdrettung nicht innerhalb diesen Zeitfensters, so ist mit dem Verlust von Leben zu rechnen.

Der ERL-Wert kann zur Beurteilung der Brandschutzplanung des Objektes herangezogen werden, einerseits als Nachweis, dass die Anforderungen nach der leistungsbezogenen Bemessung erfüllt werden, andererseits als Nachweis, dass der Sicherheitsstandard, der durch die präskriptive nationale Baugesetzgebung vorgegeben ist, erreicht oder überschritten wird.

Durch diese Möglichkeit des Vergleiches können auch brandschutztechnisch „kostengünstigere“ Ausführungsvarianten zur Ausführung gelangen, die dann aber für den Brandfall das gleiche Sicherheitsniveau im Hinblick auf die Schutzziele aufweisen müssen, wie die Ausführung nach der nationalen Baugesetzgebung.

Die aus Sicht des Vorbeugenden Brandschutzes wesentlichen nationalen Anforderungen an das Bürogebäude dieses Beispiels sind:

- Feuerwiderstand der Tragkonstruktion 120 Minuten (R 120)
- Mindestens 2 Fluchtstiegenhäuser, Fluchtweglänge < 40 m zu den Stiegenhäusern
- Alarmierungseinrichtung mit Sprachdurchsage
- Rauchmelder in allen Stiegenhäusern, Aufzugsschächten und Geschäften
- Sprinkleranlage
- Druckbelüftung für Stiegenhäuser, die unter GOK gehen, für Stiegen ober GOK natürliche Stiegenhausentrauchung ausreichend
- Brandschutzabstände zu Nachbargebäuden sind einzuhalten (Nachbarschaftsschutz)

2.2.6. Ergebnisse der Brandrisikoevaluierung des Bürogebäudes

Die Analyse der Ereignisvarianten zeigte, dass die Berücksichtigung jener, die für den Schutz des Lebens und der Gesundheit der Nutzer kritisch sind, dann auch jene, die für die Betriebsunterbrechung kritischen, mit einschließen.

In Abbildung 5 wird der „Expected Risk to Life“ (ERL) - Wert jeder brandschutztechnischen Variante des Gebäudes dem ERL-Wert der Referenzvariante nach 2.2.4. als Relativverhältnis gegenübergestellt, wobei die Referenzvariante einen ERL-Wert von 1 aufweist.

Für die Variante 2 gilt, dass eine Reduktion des Feuerwiderstandes der Tragstruktur von 120 Minuten auf 90 Minuten praktisch keine Reduktion des Sicherheitsniveaus im Brandfall zur Folge hat und somit der positive Nebeneffekt, dass dadurch kostengünstiger gebaut werden kann, ohne Einschränkung der Sicherheit genutzt werden kann, da insbesondere die Schutzmaßnahmen des Stahlbaues zur Ertüchtigung des Feuerwiderstandes kostenintensiv sind.

Für die Variante 3 gilt, dass der ERL-Wert von dem der Referenzvariante 1,0 auf 0,5 sinkt, was bedeutet, dass die Sicherheit im Brandfall für die Gebäudenutzer höher ist, als in einer Ausführung, die nach den nationalen präskriptiven Baugesetzen erfolgte. Dies ist insbesondere auf die Schaffung von „gesicherten Bereichen“ zurück zu führen, die den Gebäudenutzern und insbesondere jenen Menschen mit eingeschränkter Mobilität einen sicheren Aufenthaltsbereich bieten, in dem sie auf Fremdhilfe warten können.

Für die Variante 4 gilt, dass bei Erhöhung der Ausfallsicherheit der Sprinkleranlage von 95 % auf 99 % die Sicherheit für die Gebäudenutzer nur geringfügig steigt. Der ERL-Wert verbessert sich von 1,0 (Referenz) auf 0,9.

Für die Variante 5 gilt, dass die Sicherheit im Brandfall signifikant reduziert wird. Der ERL-Wert steigt vom Referenzwert von 1,0 um fast einen Faktor 5 auf den Wert 4,8.

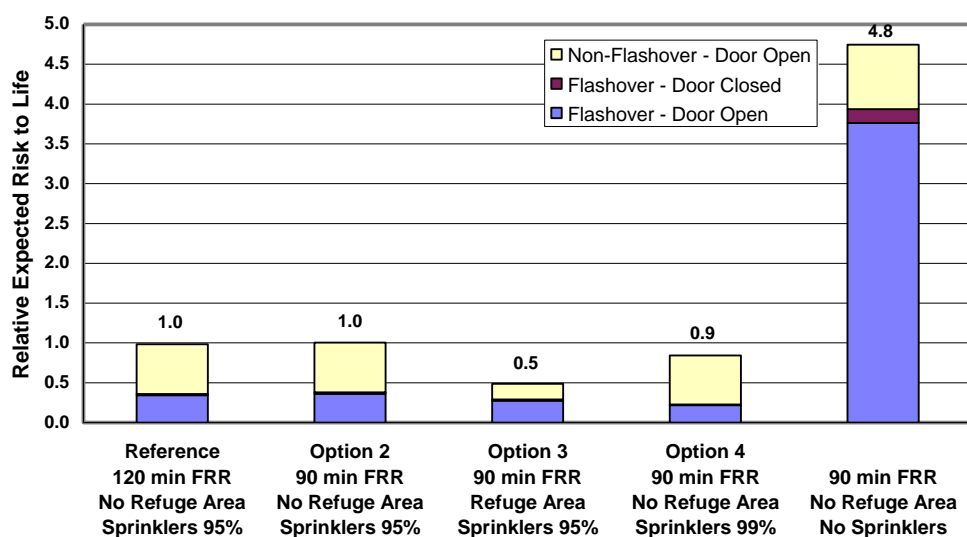


Abbildung 2 — Relatives zu erwartende Risiko der Personenschädigung im Brandfall

3. Vergleichende Diskussion

Aspekt Schutzniveau:

Präskriptive Regulative erzwingen gemeinsame Anforderungen für unterschiedliche Nutzungen, die naturgemäß mit unterschiedlichen Gefahrenszenarien behaftet sind. Das heißt aber konsequenterweise, dass die Sicherheitsniveaus von Gebäuden unterschiedlicher Nutzungen durchaus unterschiedlich sein können.

Aspekt Sonderfälle:

Präskriptive Regulative sorgen in fast allen Gebäuden für ausreichende Sicherheit, aber eben nur fast alle. Bei einigen wenigen Gebäuden reichen die präskriptiven Anforderungen nicht aus. Diese Fälle werden bei leistungsbezogenen Konzepten erkannt und mit Anforderungen, die über denen der präskriptiven Regulative liegen, versehen.

Aspekt Kosten zu Sicherheitsniveau:

Nur eine leistungsbezogene Bemessung ermöglicht einen Vergleich verschiedener Planungsvarianten im Hinblick auf Kosten und Sicherheitsniveaus, weshalb auch nur im Zuge dieses Ansatzes eine Optimierung der Kosten bei gleichem Sicherheitsniveau erfolgt.

Aspekt: Gebäudenutzungsänderung im Laufe der Zeit

Jede Nutzungsänderung kann bauliche, anlagentechnische und organisatorische Umbaumaßnahmen erfordern. Liegt bereits eine leistungsbezogene Bemessung vor, die i.a. auf einem Variantenvergleich fußt, ist in vielen Fällen die Änderung des Gefahrenpotentials, die mit der Nutzungsänderung einhergeht, einfacher bewertbar als bei präskriptiven Auslegungen, bei denen der Einfluss der einzelnen Maßnahmen auf das Sicherheitsniveau i.a. nicht im Detail differenziert bekannt ist.

Aspekt: Verwaltungsverfahren und leistungsbezogene Brandschutzkonzepte

Da die Behörden im Verwaltungsverfahren nicht alle Engineeringmethoden und Simulationsrechenalgorithmen des Vorbeugenden Brandschutzes im Detail bewerten können, wird eine Expertenstruktur an Know How Trägern, die dies systematisch abdecken, ergänzend erforderlich machen.

4. Zusammenfassung

Zumindest im mitteleuropäischen Europa folgen wir im Vorbeugenden Brandschutz präskriptiven Regulativen, die für die überwiegende Anzahl der verbauten Quadratmeter (z.B. Kleinhausbauten, sozialer Wohnbau, etc.) eine praxisgerechte Vorgangsweise darstellen.

Leistungsbezogene Bemessungen, wie sie standardmäßig in Australien und Neuseeland seit mehr als einem Jahrzehnt ausschließlich angewandt werden, entfalten ihre Stärken bei komplexen, multifunktionalen Bauten und Sonderbauten, für die ein Nachweis des Sicherheitsniveaus nicht einfach aus den präskriptiven Vorschriften abgeleitet werden kann. Vielmehr kann für solche Bauten der Nachweis des Sicherheitsniveaus nur mehr durch Zuhilfenahme von leistungsbezogenen Bemessungen sichergestellt werden, die auf Engineeringmethoden und Simulationsrechnungen fußen können. Ebenso können leistungsbezogene Bemessungen im Variantenvergleich Errichtungskosten bei gleichem Schutzniveau senken.

Wir haben nun die einmalige Chance, uns die Vorteile beider Methoden zu Nutze zu machen! Das Sicherheitsniveau im Brandschutz, das derzeit in Europa herrscht, ist ein sehr hohes, das aus gesellschaftspolitischer Sicht nicht vermindert, aber auch nicht gesteigert zu werden braucht. Leistungsbezogene Bemessungen können den Vorbeugenden Brandschutz jedoch effizienter, das heißt kostengünstiger bei gleichem Sicherheitsniveau machen, oder aber intelligenter, wenn es gilt, komplexe Risikozusammenhänge transparent und somit sicher zu gestalten. Leistungsbezogene Bemessungen sind noch nicht „State of the Art“, aber wir haben jetzt die Chance, sie dazu zu machen und sie dort einzusetzen, wo sie uns nützen!

Literatur

[1] OÖ Bautechnikgesetz, LGBl.Nr. 67/1994, samt zugehöriger Änderungen von 1995 – 2008, abrufbar unter: www.ris.bka.gv.at, Landesrecht, OÖ

[2] OÖ Bautechnikverordnung, LGBl. Nr. 106/1994, samt zugehöriger Änderungen von 1995 – 2008, abrufbar unter: www.ris.bka.gv.at, Landesrecht, OÖ

[3] Installationen – Richtlinie, brandschutztechnische Anforderungen bei Leitungsdurchführungen gemäß Technikonovelle 2007 (Ersatz für Ausgabe von 25.08.2008) vom 23.12.2009, abrufbar unter: <http://www.wien.gv.at/wohnen/baupolizei/pdf/rl-installationen.pdf>

[4] TRVB, Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz, erwerbbar unter: www.trvb-ak.at

[5] OIB-Richtlinien 2011, Richtlinie 2, 2.1., 2.2., 2.3, Leitfaden, Österreichisches Institut für Bautechnik, Zugriff unter: www.oib.or.at

- [6] Building Code of Australia, Zugriff unter:
http://www.sa.gov.au/subject/Housing,+property+and+land/Customer+entry+points+and+contacts/Industry+professional+entry+point/Building+industry+professionals/Technical+building+standards+and+rules/The+Building+Code+of+Australia#The_Building_Code_of_Australia
- [7] New Zealand Building Code and Building Code Compliance Documents, Zugriff unter:
<http://www.dbh.govt.nz/building-code-compliance-documents>
- [8] ISO/TS16732, Technical Specification, Fire Safety Engineering, Guidance on Fire Risk Assessment
- [9] ISO 23932, Fire Safety Engineering, General Principals
- [10] National Building Code of Canada, Zugriff unter: www.nationalcodes.nrc.gc.ca/eng/nfc/index.shtml
- [11] Brandschutzkonzept erstellt von IBS–Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Gesellschaft m.b.H., Petzoldstraße 45, A-4017 Linz, Tel.: 0043 732 7617-0 im Kundenauftrag
- [12] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition, edited by: NFPA (National Fire Protection Association), Publication Nr. HFPE-95, ISBN: 0-87765-354-2 (1995)
- [13] Kurt Klingsohr, Joseph Messerer, Vorbeugender baulicher Brandschutz, 6. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart/Berlin/Köln, ISBN 3-17-016994-7, 2002
- [14] Purser, D.: Toxicity assessment of combustion pr
Tagungsband 10. IBS "Ingenieurmethoden des Brandschutzes", 6. und 7. Juni 2005 in Hannover.vfdb /iBMB, 2005
- [15] Predtetschenski, V.M.: Milinski, A.I.: Personenströme in Gebäuden – Berechnungsverfahren für die Projektierung, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld. 1971.
- [16] Galea, E.R.: Building Exodus 4.00, Users Guide and Technical Manual. University of Greenwich. Greenwich. 2004.
- [17] TRVB 127 S, Sprinkleranlagen, Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz, erwerbbar unter: www.trvb-ak.at
- [18] TRVB 123 S, Brandmeldeanlagen, Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz, erwerbbar unter: www.trvb-ak.at

Weiterbauen als Strategie

Univ.-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Architekt Hans Gangoly
Institut für Gebäudelehre
Technische Universität Graz
gangoly@tugraz.at



1. Einleitung

Ökologie, Energie, Qualitative Dichte, Architektur

Dem Thema „Dichte“ und „Verdichtung“ wird zunehmend auch politische Aufmerksamkeit gewidmet. Gründe dafür lassen sich einerseits in den ökologischen Herausforderungen welche in unmittelbarem Zusammenhang mit Fragen der Mobilität und des Energieaufwandes für Infrastrukturen stehen finden. Andererseits aber auch in der Notwendigkeit effizient den Ansprüchen an die komplexer werdenden Lebens- und Arbeitsumfelder gerecht zu werden. Städte bieten enorme ökologische Möglichkeiten, die bislang noch völlig verkannt und ungenutzt sind. Hinzu kommt, dass sowohl die Mechanismen der globalisierten ökonomischen Systeme als auch die demographischen Entwicklungen die Urbanisierung kontinuierlich vorantreiben. Die Notwendigkeit höher verdichteter Siedlungsformen zu forcieren ist daher eine weithin akzeptierte Tatsache und hat zu der Entwicklung von Konzepten wie der „Compact City“ geführt. Diese finden sich auch in Entwicklungsprogrammen der UNO (Agenda 21) und der europäischen Kommission (Green Paper of Urban Environment) wieder. Der in den letzten Jahren auch in europäischen Städten zu beobachtende Zuzug von Menschen in die Zentren der Kernstädte bei gleichzeitigem Anwachsen der jeweiligen Agglomerationen soll nun den Ausgangspunkt für eine neue Diskussion über den Begriff der städtischen „Dichte“ bieten.

Dichte von Infrastrukturen, von Nutzungen, Dichte im Sinne der Entwicklung kompakter Gebäude- und Hüllformen bei energetischen Fragestellungen, sowie bezüglich der Grenzen sozialer Dichte, die einen völlig erschlagen kann, wenn Menschen zu eng aufeinander leben. Im übertragenen Sinn sprechen wir von atmosphärischer Dichte - von Intensität – die für ein urbanes Leben nötig ist. Urbanität als qualitativer Dichtebegriff schließt quantitative Aspekte ein, die die Architektur zeitgemäße Verdichtungsansätze entwickelt. Sie steht daher in unmittelbarem Zusammenhang mit Architekturproduktion im städtischen Raum, sowie der Entwicklung neuer Typologien und bezieht sich daher auch immer auf den Gebäudebestand einer Stadt.



Graz Gründerzeitviertel 1880 - 1920



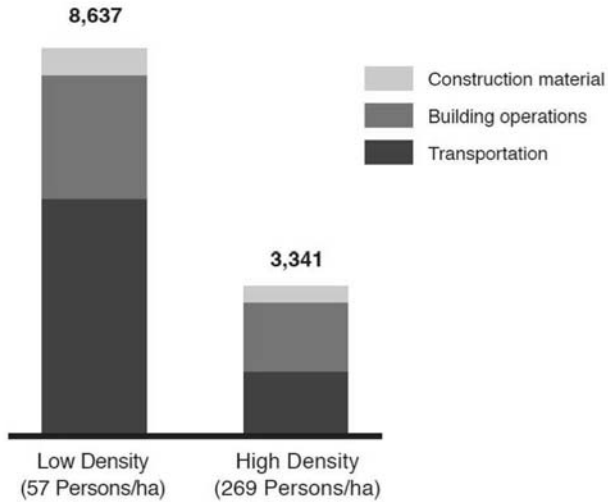
Graz Stadterweiterung 1960 - heute



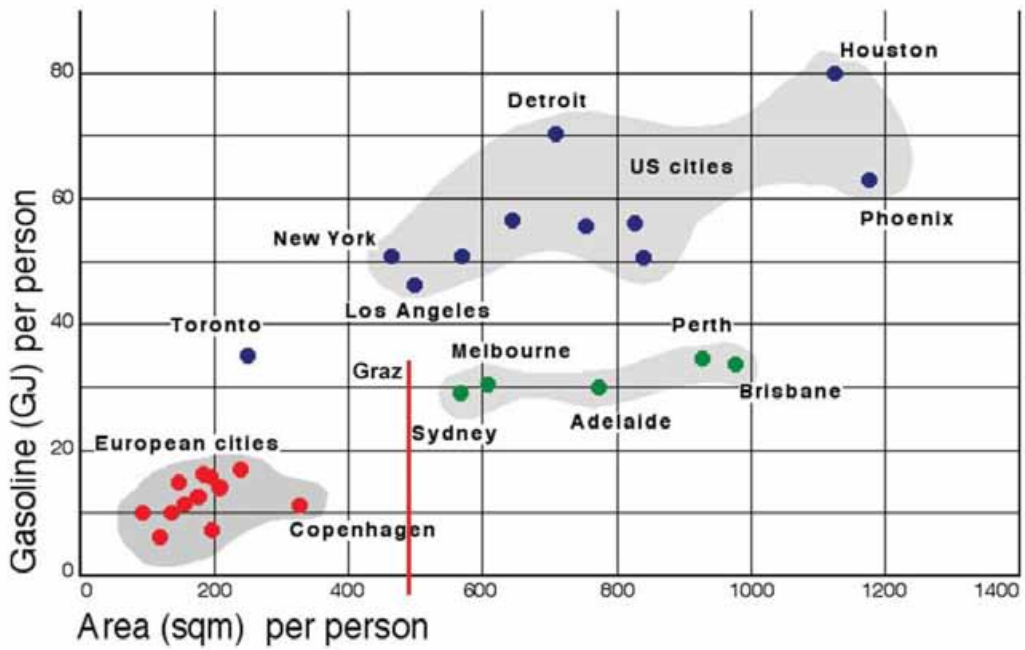
Graz Einfamilienhaussiedlungen 1930 - heute

Higher Density, Lower Emissions Per Capita

Estimated Greenhouse Gas Emissions/Person
Kg CO₂ Equivalent/Year



Emissionen pro Personen



Flächenverbrauch pro Person

2. Städtische Nachverdichtung Gründerzeitblock



Gründerzeitblöcke: Graz Herz-Jesu-Viertel



Analyse Bestand: verschiedene Nutzungen

Analyse Bestand Nutzungsdichte



Nutzungsvielfalt im Erdgeschoss



Horizontale Schichtungen: Wohnen zur Stadt, Versorgungszone und Privaträume zum Hof (Konzeptskizze, Diplomarbeit Martin Strobl)



Städtische Nachverdichtung Gründerzeitblock



Rendering Nachverdichtung Gründerzeitblock

Potentiale: Gemeinschaftliche Nutzung der Höfe, soziale Durchmischung, blockübergreifende Entwicklung, Rückeroberung des öffentlichen Raums

3. Städtische Nachverdichtung 1960- 90ger Siedlungen



Graz Plüddemangasse Istzustand



Graz Plüddemangasse Zustand Nachverdichtung



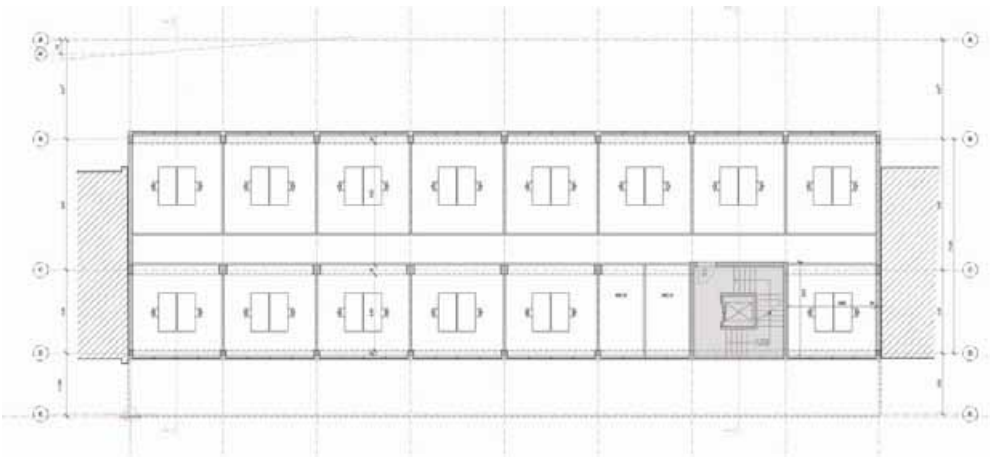
Rendering städtische Nachverdichtung

Potentiale: Rückeroberung des öffentlichen Raums, Bildung eines Stadtraums, Nutzungsmischung

4. Umnutzung Adaptierung



Umnutzung, Adaptierung Bürogebäude 1960er Jahre; innerstädtisches Wohnen (Wohnen [+], Hamburg, 2003-2004, Blauraum Architekten)



Grundriss Bestand



Grundriss neues Konzept



Statische Struktur (Wohnen [+], Hamburg, 2003-2004, Blauraum Architekten)



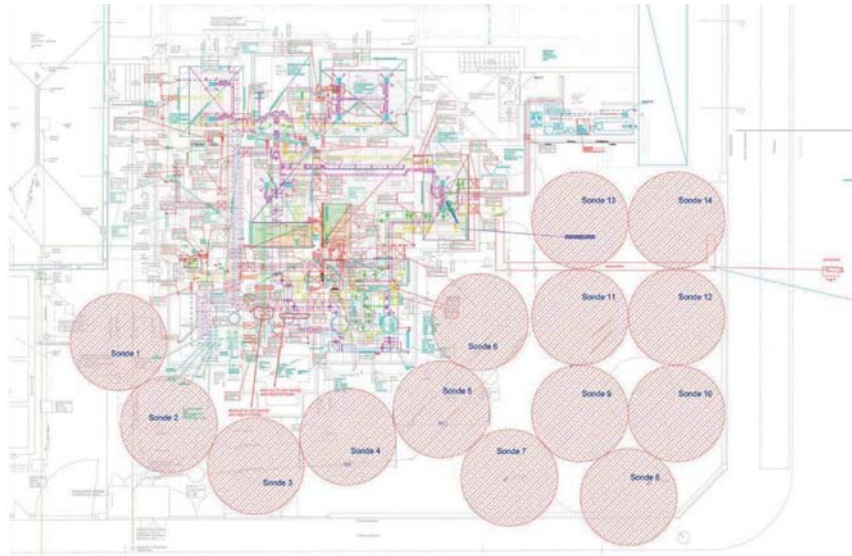
Umnutzung Adaptierung (Wohnen [+], Hamburg, 2003-2004, Blauraum Architekten)

Themen: Ort, statische Struktur, Programm, Hülle und Technik, Oberfläche

5. Revitalisierung



Villa in Graz, Revitalisierung Um- und Zubau (Gangoly & Kristiner Architekten)



Haustechnik

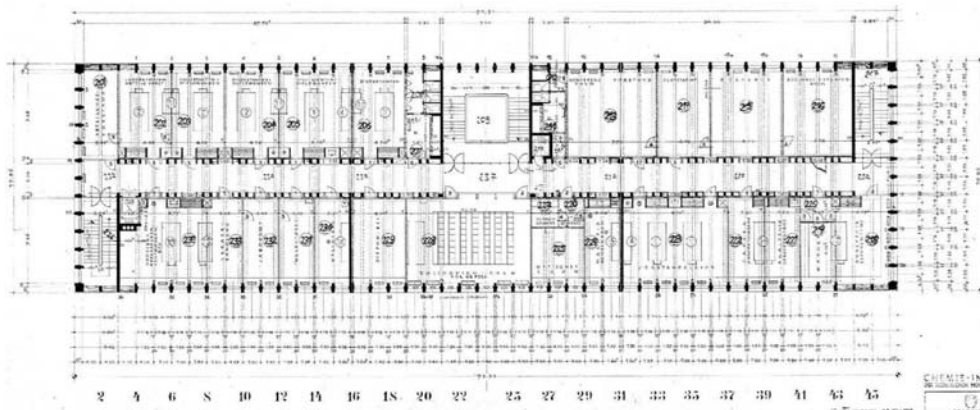


Ansicht

6. Revitalisierung und Umnutzung



Alte Chemie TU-Graz, Revitalisierung und Umnutzung (Gangoly & Kristiner Architekten)



Grundriss Bestand



Grundriss neues Konzept



Innenraum

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

gemäß ÖNORM N 1652
und NEN EN 15251

GEBÄUDE

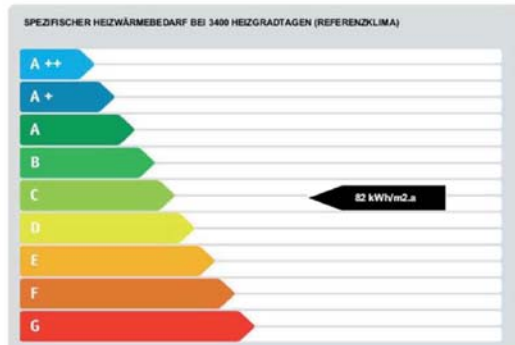
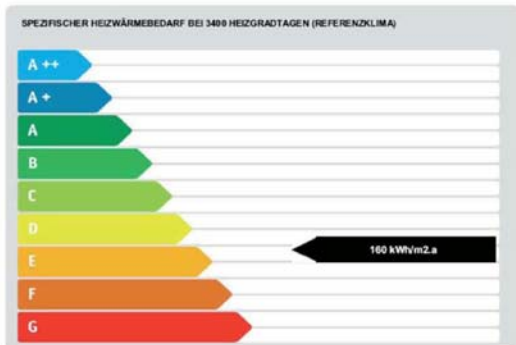
Gebäudeart	Bürogebäude	Erbaut	
Gebäudezone	Wohnen	Katastralgemeinde	Jakomini
Straße	Stremayrgasse 16	KG-Nummer	63106
PLZ/Ort	8010, Graz	Einlagezahl	00840
Eigenkürsel	BIG Services Investitionsgesellschaft	Grundstücksnummer	4659/1, 1953/4, 1674/11

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

gemäß ÖNORM N 1652
und NEN EN 15251

GEBÄUDE

Gebäudeart	Bürogebäude	Erbaut	
Gebäudezone	Energieausweis (Bürogebäude)	Katastralgemeinde	Jakomini
Straße	Stremayrgasse 16	KG-Nummer	63106
PLZ/Ort	8010, Graz	Einlagezahl	00840
Eigenkürsel	BIG Services Investitionsgesellschaft	Grundstücksnummer	4659/1, 1953/4, 1674/11



ERSTELLT

ErstellerIn	DR. PFELER GmbH	Organisation	Bauphysik
ErstellerIn-Nr.	(Name)	Ausstellungsdatum	00.00.00
GWR-Zahl		Gültigkeitsdatum	00.00.00
Geschäftszahl		Unterschrift	

ERSTELLT

ErstellerIn	DR. PFELER GmbH	Organisation	Bauphysik
ErstellerIn-Nr.	(Name)	Ausstellungsdatum	22.03.2010
GWR-Zahl		Gültigkeitsdatum	21.03.2020
Geschäftszahl		Unterschrift	

Verbesserung der Energieeffizienz

Energieeffizienz am Baudenkmal

Die Richtlinie des Bundesdenkmalamtes in der Umsetzung

Dipl.-Ing. Hanna A. Liebich
Dipl.-Ing. Dr. Johannes Sima
Bundesdenkmalamt
Abteilung für Architektur und Bautechnik
1010 Wien, Hofburg, Säulenstiege
architektur@bda.at



Warum eine Richtlinie ?

Die rigorosen Maßnahmen, die im Sinne der Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudebestand gefordert und gefördert werden, würden in einer vollflächigen landesweiten Umsetzung den Verlust der baulichen Identität Österreichs bedeuten. Infolgedessen gibt es mittlerweile auf vielen Ebenen Bestrebungen, die thermische Sanierung je nach Bedeutung und Qualität der Bauten zu differenzieren.

Bei einem Baudenkmal steht die Erhaltung des authentischen Erscheinungsbildes im Vordergrund. Das bedeutet nicht nur die Bewahrung der Architektur in ihrer Formensprache, Proportion und Konstruktion sondern auch der Oberfläche in ihrer Materialität und ihrem Alterswert. Dafür wurde es notwendig, Alternativen zu den beiden gängigsten Maßnahmen – der Außendämmung und dem Fenstertausch - aufzuzeigen.



Abb. 1 und 2: Zerstörung und Imitation der originalen Fassaden durch Wärmedämmsysteme sind keine denkmalverträglichen Maßnahmen

Inhalt der Richtlinie

Das österreichische Bundesdenkmalamt hat für die geschützten Baudenkmale einen Leitfaden entwickelt, der zur Einschätzung der Denkmalverträglichkeit von thermisch-energetischen Maßnahmen dient. Einem Ampelprinzip entsprechend wurden die Maßnahmen von sehr gut bis gar nicht denkmalverträglich - also von Grün bis Rot - gereiht. Die umfassende Broschüre dient dem Aufzeigen der vielen Ansatzpunkte, die ein Bauwerk zur Verbesserung der Energieeffizienz bietet. Darüber hinaus zeigt die Richtlinie Bauteil für Bauteil denkmalpflegerische oder technische Herausforderungen auf. An vielen Stellen wird ein bauphysikalischer Nachweis gefordert, der die langfristige Schadensfreiheit einer Konstruktion sicher stellen soll. Im Anhang wird auf die Art der Nachweise genauer eingegangen. Die Dichte und Intensität dieser Anmerkungen verdeutlicht die Bedeutung der Bauphysik im Rahmen der thermischen Optimierung. Im Folgenden soll erläutert werden, wodurch eine derartige Herangehensweise gefördert bzw. behindert wird.

II. MASSNAHMEN ÜBERSICHT

Im Rahmen von energetischen Sanierungen können sehr verschiedene Maßnahmen eingesetzt werden. Sie bedeuten jeweils einen unterschiedlich starken Eingriff in das Bauwerk. Die folgende Liste gibt hierzu einen ersten Überblick, beansprucht jedoch keine Vollständigkeit (weitere Erläuterungen siehe angegebene Kapitel).

GRÜN Denkmalverträgliche Maßnahme Die Maßnahme bedeutet einen geringen Eingriff in Substanz und Erscheinung des Baudenkmals. Sie ist gut denkmalverträglich. Daraus ergibt sich eine einfache Bewilligungsfähigkeit.	Instandsetzung Wand → 1.1.1, 1.2.1
	Instandsetzung Fenster und Türen → 4.1.1, 4.2.1
	Instandsetzung Dach und eingestellte Dämmung im Dachraum → 3.1.1–2
	Dämmung oberste Geschosdecke → 2.1.1
	Dämmung über Gewölben abgesetzt → 2.3.1
	Dämmung Fußboden unterkellert → 2.2.1
	Dämmung Flachdach → 3.2.1
	Mauerfußtemperierung → 6.4.2
	Optimierung bestehender Heizungsanlage und Heizkörper → 6.1.1, 5.5
	Gebäudeautomation → 8.
GELB Bedingt denkmalverträgliche Maßnahme Die Maßnahme bedeutet einen gewissen nachteiligen Eingriff in Substanz und Erscheinung des Baudenkmals. Sie ist nur bedingt denkmalverträglich und erfordert einen erhöhten Planungsaufwand. Daraus ergibt sich eine eingeschränkte Bewilligungsfähigkeit beziehungsweise eine Bewilligung mit Auflagen.	Heizen mit Fernwärme, Heizen mit Holz (Einzelöfen) → 5.4, 6.2
	Heizen mit Grundwasserwärmepumpe, Erdwärmepumpe (Tiefenbohrung) → 5.2.1, 5.2.2
	Solarthermie neben dem Baudenkmal → 5.3.1
	Abdichtung Fenster und Türen → 4.1.2, 4.2.2
	Nachträgliche Beschichtung von Fensterglas → 4.1.3
	Sockettemperierung → 6.4.1
	Heizen mit Holz (Zentral) → 5.1
	Photovoltaik neben dem Baudenkmal → 5.3.2
	Optimierung Fensterglas (beschichtete Einfachgläser) → 4.1.3
	Optimierung Türblatt → 4.2.3
ROT Nicht denkmalverträgliche Maßnahme Die Maßnahme bedeutet einen gravierenden nachteiligen Eingriff in Substanz und Erscheinung des Baudenkmals. Sie ist nicht denkmalverträglich. Daraus ergibt sich eine Versagung der Bewilligung.	Aufspiegelung Türblatt → 4.2.4
	Zusätzliche Ebene Fenster und Türen → 4.1.4, 4.2.5
	Dämmung Fußboden nicht unterkellert → 2.2.2
	Dämmung auf Oberseite von Gewölben und unter Gewölben abgehängt → 2.3.2–3
	Dämmung Dach (Auf-, Unter- und Zwischensparrendämmung mit Überlüftung) → 3.1.3–5
	Innendämmputz und Innendämmung Wand → 1.1.2, 1.2.2, 1.2.5, 1.3.1
	Außendämmung Holzbau verkleidet → 1.2.3
	Außendämmung Mauerwerk erdberührend → 1.1.4
	Bauteilheizung und Bauteiltemperierung → 6.3.1–3, 6.4.3
	Heizen mit Erdwärmepumpe (Flächenkollektor), Luftwärmepumpe → 5.2.2, 5.2.3
Solarthermie am Baudenkmal nicht einsehbar → 5.3.1	
Lüftungs- und Klimaanlage → 7.1	
	Einsatz von Isolierglas an Fenstern → 4.1.3
	Zwischensparrendämmung ohne Überlüftung → 3.1.6
	Photovoltaik am Baudenkmal nicht einsehbar → 5.3.2
	Außendämmputz Wand verputzt → 1.1.3
	Abbruch (Austausch) historischer Fenster und Türen → 4.1.5, 4.2.6
	Dämmung auf Unterseite von Gewölben → 2.3.4
	Dachdämmung ohne Unterdach → 3.1.7
	Solarthermie und Photovoltaik am Baudenkmal einsehbar → 5.3.1, 5.3.2
	Außendämmung Wand → 1.1.3, 1.2.4, 1.2.5, 1.3.2

Abb. 3: Maßnahmenampel aus der Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ des Bundesdenkmalamts vom März 2011

Anwendung im Rahmen des Denkmalschutzes

Bei insgesamt 20.000 thermisch konditionierten Baudenkmalen kommt es jährlich zu ca. 100 Veränderungsansuchen, die einen energetischen Schwerpunkt haben. Thermische Optimierungen werden am Baudenkmal, wie alle anderen Veränderungen auch, mit einem Veränderungsverfahren nach §5 Denkmalschutzgesetz behandelt. Dieses Verfahren ist unabhängig von der Einreichung bei der Baupolizei. In der Praxis wird oft erst nach dem ergangenen Baubescheid beim Denkmalamt angesucht. Somit ist der Spielraum für denkmalpezifische Umplanungen sehr begrenzt und der zeitliche Ablauf bereits sehr eng.

Kern dieses Verfahrens ist die Abwägung der geplanten Maßnahmen im Sinne einer unveränderten Erhaltung einerseits und der Gewährleistung einer adäquaten Nutzung andererseits. Hierbei muss also immer Verlust und Gewinn gegeneinander abgewogen werden. Dabei gelten die in der Richtlinie dargelegten Prioritäten. Je früher die Gespräche über Veränderungsmöglichkeiten aufgenommen werden und je besser alle Beteiligten im Vorfeld informiert sind, desto konzentrierter kann die Planung erfolgen. Im Vorfeld und zu Beginn der Planung dient die Richtlinie also am wirksamsten. Die Auswirkungen auf praktischer Ebene sind sehr deutlich zu bemerken. Viele Grundsatzdiskussionen werden nun nicht mehr geführt und die Sanierungsvorhaben mit Außendämmungen sind deutlich zurückgegangen. Im gleichen Zuge nehmen die Projekte mit einer sensiblen Gesamtoptimierung zu.

Anhand der Projekte 2012 lassen sich hier auch erste Zahlen benennen. Die Gebäude werden durchschnittlich von einer Energiekennzahl von 200 auf 100 kWh/m²a verbessert. Das stellt im Absoluten natürlich kein Passivhaus dar, aber es bedeutet, dass sich mit denkmalverträglichen Maßnahmen in dieser Gebäudegruppe der Verbrauch immerhin halbieren lässt. In Anbetracht dessen sollten Forderungen nach radikalen Maßnahmen verklingen. Reduktionen, die deutlich über die 100 kWh/m²a - Grenze hinausgehen, würden eine Zerstörung des Erscheinungsbildes, einen ungewöhnlich hohen Planungsaufwand und ein enormes Risiko für die Bausubstanz zur Folge haben.

Energiekennzahlen Bestand	
343, 297, 242, 239, 236, 207, 197, 183, 177, 173, 164, 164, 156, 150	= durchschnittlich 200
Energiekennzahlen Optimierung	
162, 157, 148, 135, 114, 111, 98, 95, 82, 81, 60, 58, 53, 44	= durchschnittlich 100
Bandbreite Reduktion	
10, 10, 10, 16 %	nur Fenster, nur oberste Geschoßdecke
20, 25, 30, 31, 34, 38 %	oberste und unterste Geschoßdecke + tw.Fenster
60, 65, 66, 72, 73 %	oberste und unterste Geschoßdecke + INNEN oder tw. AUSSEN
75, 82 %	oberste und unterste Geschoßdecke + AUSSENDÄMMUNG

Abb. 4: Beispielhafte Energiekennzahlen und Verbrauchsreduktion an Baudenkmalen

Weiterreichende Auswirkungen

Über das eigentliche Tätigkeitsfeld des Bundesdenkmalamts hinaus sind vielfältige Nebeneffekte der Richtlinie zu benennen.

Seit dem Erscheinen im März 2011 gab es zahlreiche Kontakte zu anderen Denkmalpflegeinstitutionen in Europa, die ebenfalls eine differenzierte Herangehensweise bei thermischen Sanierungen anstreben. Die Staaten können hierbei gegenseitig sehr gut Hilfestellung leisten, da sich die Zielsetzungen und möglichen Maßnahmenpakete immer sehr ähneln. Einen Einblick in die jeweilige Umsetzung und Akzeptanz derartiger Leitfäden ist jedoch schwer zu erlangen, auch weil der Denkmalschutz in den einzelnen Ländern rechtlich unterschiedlich geregelt ist.



Abb. 5 : Publikationen zur Energieeffizienz am Baudenkmal im europäischen Raum

Als verbindendes fachliches Gremium bemüht sich das Technische Komitee „Conservation of Cultural Heritage“ in der Europäischen Normung CEN um die Belange der historischen Substanz und hat kürzlich speziell eine eigene Arbeitsgruppe zum Thema „Energy efficiency of historic buildings“ gegründet. Es ist geplant, eine Norm zur Energieeffizienz an historischen Gebäuden herauszugeben, die sich unter anderem auf die denkmalpflegerischen Leitlinien der einzelnen Staaten stützt¹.

Auch innerhalb Österreichs gab es nach Einführung der Richtlinie eine große Resonanz durch Politik und Kultur. Allen gemeinsam ist das Anliegen, dass thermische Sanierungen nicht zum massiven Verlust von Baukultur führen dürfen. Die Architektenvertretung forderte in einem offenen Brief, im Rahmen von thermischen Sanierungen ebenso architektonische Qualitäten zu beachten und zu fördern². Auch der Beirat für Baukultur als Expertengruppe des Bundeskanzleramts beschäftigte sich in seiner dritten Empfehlung mit der Problematik Baukultur und Thermische Sanierung und verlangte die Ergänzung der Bundesförderung um baukulturelle Belange³. Und schließlich kommt der Österreichische Baukulturreport 2011 zu dem Schluss, dass für historisch wertvolle Objekte eine thermische Maximierung nicht geboten ist, da der Verlust durch eine nachträgliche Außendämmung in keinem Verhältnis zum möglichen Gewinn steht⁴.

Die klare Darlegung der Prioritäten des Bundesdenkmalamts hat es weiterhin ermöglicht, dass sich auch andere Einrichtungen auf diese Vorgaben beziehen. Die Sonderregelungen in den Förderungen der Länder liegen für Denkmale, historische Gebäude oder so genannte Althäuser im Ermessen der jeweiligen Landesregierung. Nun gibt es Ansätze, diese Sonderkonditionen auf den Inhalten der Richtlinie aufzubauen. Ein erster konkreter Schritt in diese Richtung wurde 2012 getan, indem der diesjährige „Sanierungsscheck“ des Bundes spezielle Förderkriterien am Denkmal definiert und damit Denkmaleigentümer wieder in den Kreis der Förderwerber integriert⁵!

¹ *European Committee for Standardization*; <http://www.cen.eu/cen/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/Pages/TCStruc.aspx?param=411453&titl>

² „*Thermische Sanierung von Bauwerken*“, Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten, Offener Brief an alle Landeshauptleute sowie die für Hochbau zuständigen Landesräte und ReferentInnen vom 28. 6. 2011; http://www.arching.at/baik/upload/pdf/presseinformationen/thermische_sanierung_offener_brief_28.6.2011.pdf (20.09.2012)

³ „*Ergänzung der Bundesförderung zur thermischen Sanierung um baukulturelle Belange*“, Empfehlung Nr. 3 des Beirats für Baukultur, Wien, im September 2011; <http://www.austria.gv.at/DocView.axd?CobId=47834> (20.9.2012)

⁴ „*Thermische Sanierung in Österreich*“ in: Österreichischer Baukulturreport 2011, S.38; <http://www.austria.gv.at/DocView.axd?CobId=47048> (20.9.2012)

⁵ *Sanierungsscheck für Private*; http://www.umweltfoerderung.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_private/energiesparen/sanierungsscheck_2012/ sowie www.bda.at: *aktuell* <http://www.bundesdenkmalamt.at/text/136/Aktuell/17655/Denkmalbonus-im-Sanierungsscheck-2012-Finanzielle-Beguenstigung-fuer-privaten-Wohnbau> (20.9.2012)

Denkmalbonus im Sanierungsscheck 2012 – Finanzielle Begünstigung für privaten Wohnbau



Thermisch optimiertes
Baudenkmal: Mesnerhaus
Hohenweiler in Vorarlberg

 [Informationsblatt zum
Sanierungsscheck](#)

Mit dem Sanierungsscheck 2012 werden erstmals denkmalgeschützte Objekte in ihren besonderen Herausforderungen berücksichtigt.

Ziel am Baudenkmal ist die energetische Optimierung der Bausubstanz unter Erhaltung des authentischen Erscheinungsbildes. Dementsprechend sind in der Regel nur geringere Verbesserungen bei gleichzeitig höheren Kosten zu erzielen.

So sehen die neuen Förderbedingungen nun erleichterte Anforderungen im denkmalgeschützten Gebäudebestand vor:

- Einstieg ab 10% Reduktion des HWB
- keine Mindest-U-Werte für Bauteile
- zusätzlicher Förderbonus von 2.000€

Abb. 6: Sanierungsscheck 2012 der Bundesministerien für Wirtschaft und Leben

Neben den vielen Übereinstimmungen treten aber natürlich auch Konflikte auf. Diese können zum Beispiel behördliche Kompetenzen betreffen. Mit der Anforderung an eine nachweislich langfristige Schadensfreiheit verlangt die Denkmalpflege unter Umständen eine genauere technische Prüfung als die Baupolizei. Dies geschieht im Auftrag der Erhaltung der Bausubstanz, wie es auch im Denkmalschutzgesetz verankert ist.

Speziell bei geplanten Innendämmungen kann bereits die Bewilligung durch die Baubehörde und eine Förderzusage durch das Land vorliegen. Erst beim Ansuchen um Bewilligung durch das Denkmalamt wird der Eigentümer nun auf erhöhte Risiken hingewiesen, die sich mit einer Standardberechnung nicht klären lassen. Eine Bewilligung auf Veränderung ist aufgrund der Gefährdung nicht möglich. Das Projekt bedarf einer grundlegenden Umplanung und gerät in Verzug. In diesem Fall gäbe es nun zwei Möglichkeiten. Entweder würde die Maßnahme mit einer deutlichen Reduktion in einen möglichst risikoarmen Bereich gelangen, dann jedoch fällt der Förderwerber aus den Förderkriterien. Oder aber die Maßnahme wird mittels dreidimensionaler hygrothermischer Simulation analysiert, detailliert geplant und äußerst penibel ausgeführt. Hierzu fehlen in diesem Stadium der Einreichung jedoch die Zeit, das Geld und zudem oft eine befähigte Person.



Abb. 7: Ausschnitte aus einem Veränderungsantrag für umfassende Dämm-Maßnahmen

Generell ist zu beobachten, dass bei größeren Projekten in der Regel Fachplaner beteiligt sind und auf entsprechendes KnowHow zurückgegriffen werden kann. In vielen kleinen Vorhaben ist das jedoch nicht der Fall und so werden Fragen intuitiv oder gar nicht beantwortet. Die Bauherren bzw. Planer brauchen einfache und schnelle Lösungen, da man einen größeren Planungs-, Geld- und Zeitbedarf verhindern möchte. So wird eher auf Maßnahmen verzichtet, als durch wissenschaftliche Methoden und qualifiziertes Personal deren Problemstellungen zu lösen. Bauphysikalische Gutachten können, in der Anzahl wie sie benötigt würden, nicht durch das Bundesdenkmalamt organisiert und subventioniert werden. Folglich werden also doch viele Fragen den ReferentInnen und Fachabteilungen des Amtes gestellt, die dafür aber weder eine Ausbildung noch Ressourcen haben.

Im folgenden Teil soll zusammengefasst werden, welche Erfahrungen im Zuge von thermischen Optimierungen gemacht wurden und welche besonderen Problempunkte sich dabei heraus kristallisierten.

Fachliche Diskussionspunkte

Fenster – Fensterlaibung

Das Zusammenspiel von Fenster und Wand ist ein über Jahrhunderte verfeinertes System und hatte zu Beginn des 20. Jh. einen äußerst soliden Standard erreicht. Mit den neuen Anforderungen an die Gebäudehülle wird dieser Bauteil plötzlich wieder zum Sorgenkind. Offensichtlich banale Maßnahmen können weitreichende negative Folgen haben. Wo ist beispielsweise die beste Position für eine zweite Fensterebene, wie groß sollte der geschaffene Luftzwischenraum optimal sein, wie werden extreme Wärmebrücken - wie Natursteingewände - kompensiert, ist eine Innendämmung der Laibung zuträglich oder verschlechtert sich die Oberflächentemperatur genau am Schwachpunkt noch mehr? Der Wunsch des Fachmanns, „dass man sich das im Einzelfall genau anschauen muss“, ist verständlich, bei der Anzahl Fenster und der finanziellen Ausstattung der Projekte ist das in der Praxis jedoch nicht durchzusetzen.



Abb. 8: Natursteingewände und Einfachfenster in mittelalterlichen Gebäuden

Abb. 9: Fassadenbündiges Verbundfenster mit nachträglicher Dichtung und plötzlichem Schimmel

Abb. 10: Einfachfenster in ehemaligen Arkadenöffnungen und besonders schmalen Parapet

Oberste Geschoßdecke

Die oberste Geschoßdecke ist auf den ersten Blick ein sehr geduldiger Bauteil, der gerade am Denkmal einiges leisten kann. In der baulichen Realität handelt es sich hierbei jedoch um verwinkelte Deckenlandschaften, deren Konstruktionsart sich zudem oft bei jedem Raum ändert. Die ordnungsgemäße Ausführbarkeit von empfohlenen Aufbauten, besonders mit bahnenartigem Material (Dampfbremsen etc.) wird hier unmöglich. Umso dringender ist der Einsatz fehlertoleranter, diffusionsoffener Materialien geboten. Diese Zielsetzung stößt im Dachraum jedoch wiederum auf andere Herausforderungen. Abdichtende Maßnahmen, die sich durch Schutz gegen Brand oder Niederschlag⁶ ergeben, können eine angestrebte Dampfdurchlässigkeit wieder verhindern.



Abb. 11 und 12: Oberste Geschoßdecke eines ehemaligen Bauernhauses mit Selch, Kamin, einzelnen Überzügen und Höhenversprüngen

⁶ Viele Dächer im historischen Bestand sind noch durchlüftete Pufferräume ohne Unterdach. Eventuell eindringender Flugschnee oder Schlagregen trocknet hier auf den hoch gedämmten Decken nun nicht mehr zügig ab.

Dachausbau

Der Dachausbau wird am Denkmal aufgrund der zahlreichen Erfordernisse, wie Brandschutz, Statik, Energieeffizienz, Schallschutz, Belichtung, Zugang, Aufzug etc., und dem damit verbundenen massiven Substanzverlust generell abgelehnt. Dem stehen andere Interessen derart entgegen, dass der Dachausbau trotzdem an der Tagesordnung ist. Das Für und Wider der verfügbaren Dämmungsarten ist in der Richtlinie dargestellt und im Grunde ist keiner von ihnen der absolute Vorrang gegeben worden⁷.

Denkmalpflegerisch wäre es erstrebenswert, dass Ausbauten von Innen unter Beibehaltung der historischen Dachhaut erfolgen könnten. Das ließe sich jedoch nur mit dem Verzicht auf ein intaktes Unterdach und folglich der Gefährdung der gesamten Holzkonstruktion bewerkstelligen. Diese Variante ist daher in der Richtlinie nicht empfohlen worden, obwohl das in aller Konsequenz bei jedem Dachausbau den Verlust der überlieferten Dachdeckung bedeutet⁸. Trotz dieser Gefahren werden am Markt und in der Literatur immer wieder Verfahren vorgestellt, die einen Ausbau von Innen ohne durchgängiges Unterdach vorschlagen⁹. Gibt es tatsächlich Fälle, in denen so eine Vorgangsweise vertretbar wäre?

Auch der entgegengesetzte Fall kann am Denkmal auftreten, in der Form, dass ein historischer Innenausbau z.B. barocke Dachstuben erhalten bleiben sollen. Hierzu wäre ein kompletter Ausbau von Außen notwendig. Am Markt wird in diesem Fall mit einer Dampfbremse in so genannter Schlaufenverlegung über den Sparren gearbeitet. Die Voraussetzung einer solchen Konstruktion ist die Variabilität der Dampfbremse, also ein Material das intelligent weniger oder stärker dicht ist. Bietet ein derartiges Produkt ausreichend Sicherheit für einen hochwertigen barocken Dachstuhl? In der Regel nicht, so dass auch hier wieder zusätzliche Abklärungen notwendig sind und nicht mit Standardlösungen gearbeitet werden kann.

Eine ähnliche Frage stellt sich für das diffusionsoffene Unterdach, einem Material also, welches zugleich dicht wie offen sein soll. Mit der Ablehnung des diffusionsoffenen Unterdaches und der Bevorzugung einer inneren Überlüftung steht die Denkmalpflege gegen viele praktische Meinungen im Dachausbau¹⁰. Gerade was die Ausführbarkeit und die Nichtfunktion bei komplizierter Dachgeometrie betrifft, sind diese Bedenken nachvollziehbar. Aber die Unterdach-Norm, die einerseits vor einer kalten Überströmung der Wärmedämmung warnt, nennt eben auch die Möglichkeit des Versagens der diffusionsoffenen Unterdächer¹¹. Zudem kann bei den zahlreichen Durchdringungen von Streben, Kehlbalken, Kopfbändern etc. auch die Dampfbremse zur Innenseite hin im Grunde nie wirklich lückenfrei ausgeführt werden. So ist in historischen Dachkonstruktionen verstärkt mit eindringender feuchter Luft zu rechnen ist. Aus diesen beiden Gründen ist bei hochwertigen Dachstühlen ein dichtes Unterdach mit innerer Überlüftung gefordert worden – natürlich unter der Voraussetzung, dass die ordnungsgemäße Ausführung der vielen Schichten gewährleistet werden kann.

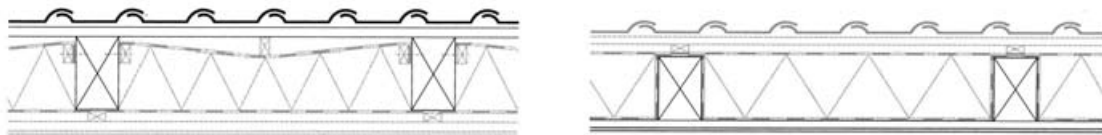


Abb. 13: Dachausbau von Innen unter Beibehaltung der historischen Dachdeckung?

Abb. 14: Dachausbau von Außen unter Beibehaltung der historischen Dachstuben?

⁷ Energieeffizienz am Baudenkmal. Richtlinie des Bundesdenkmalamts. März 2011, S. 20, 3. Dächer

⁸ Energieeffizienz am Baudenkmal. Richtlinie des Bundesdenkmalamts. März 2011, S. 24, 3.1.7 Dachdämmung ohne durchgängiges Unterdach

⁹ „Drunter oder drüber? Nachträgliche Dämmung von Steildächern.“ in: Metamorphose 6/2010, S. 48 ff. sowie „Der Teufel steckt im Detail. Theorie und Praxis der energetischen Sanierung historischer Gebäude.“, Jasper Herrmann, in: Bausubstanz 3/2011, S. 21 ff.

¹⁰ Energieeffizienz am Baudenkmal. Richtlinie des Bundesdenkmalamts. März 2011, S. 22, 3.1.5 Zwischensparrendämmung mit Überlüftung

¹¹ ÖNORM B 4119: 2010, Planung und Ausführung von Unterdächern und Unterspannungen, 4.6 Geringfügige Undichtheiten

Erdberührende Bauteile

Auch die unterste Geschoßdecke ist eine gute alternative Fläche für Dämmungen. Handelt es sich dabei jedoch um den erdberührenden Fußboden von nicht unterkellerten Gebäuden, zieht jene Maßnahme die gesamte Problematik der aufsteigenden Feuchtigkeit nach sich. Eine derartige Maßnahme kann niemals allein betrachtet werden und bedeutet eine kostenintensive Analyse des Gebäudes. So kann aus einer kleinen Maßnahme eine „Großbaustelle“ werden. Es gibt theoretisch genaue Anleitungen zum baulichen Umgang mit aufsteigender Feuchtigkeit, jedoch sind die hier betrachteten Gebäude meist sehr kompliziert. Das Baumaterial ist äußerst heterogen und teilweise instabil, das Geländeniveau ist deutlich angewachsen und ursprüngliche Außenmauern stecken tief im Erdreich, der Außenbereich ist später verbaut worden und gewährt heute keinen Zugang mehr. Pauschale Aussagen sind tatsächlich sehr schwierig. Auch eine Vorgabe, möglichst nicht diffusionssperrend zu arbeiten, ist riskant. Es muss jeweils genau eingeschätzt werden, wie offen der historische Bestand zuvor überhaupt war. Häufige Fehlerquellen bei diffusionsoffenen Bauweisen liegen außerdem in der anschließenden Nutzung. Unwissende Bewohner tauschen diffusionsoffene gegen dichte Bodenbeläge aus und bringen damit ein ganzes System aus dem Gleichgewicht.



Abb. 15: Aushub für eine Bodendämmung

Innendämmung

Je mehr die Dämmungen an der Außenseite von Baudenkmalen zurückgehen, desto stärker wächst das Interesse an alternativen Innendämmsystemen. Die abgebildete Bewertungsmatrix zu verfügbaren Materialien und den zugehörigen Vor- und Nachteilen von 25 x 15 = 375 Aussagen (Tendenz steigend!) beschreibt sehr deutlich die Komplexität der Materie und hat für Planer wohl eher eine abschreckende Wirkung¹². Da, wie bereits beschrieben, nur selten aufwändige Abklärungen angestrengt und finanziert werden, bleibt dem Denkmalpfleger oft nur die Abschätzung, ob es sich um relativ geringe Dämmstärken, keine Feuchte belasteten Bereiche und praktisch ausführbare Konstruktionen handelt. Es bleibt abzuwarten, ob sich aus den intensiven Forschungen zur Innendämmung und den ersten Langzeiterfahrungen besser handhabbare Richtwerte und praktikable Verfahren ableiten lassen.

¹² „Auswahl und Bewertung geeigneter Innendämmsysteme im Bestand“, Srdjan Š išković, Diplomarbeit an der TU Wien 2007, S.182

Im Zuge von Innendämmungen spielt außerdem die Diskussion zur Hydrophobierung eine wichtige Rolle. Sie kann bauphysikalisch zwingend notwendig werden, um den Feuchteintrag von außen zu verringern. Aus denkmalpflegerischer Sicht werden diese Behandlungen jedoch weiterhin nicht befürwortet, da die negativen Erfahrungen dabei überwiegen.

Abseits von den bauphysikalischen Herausforderungen existieren natürlich flankierende Probleme, die sich auch in Zukunft nicht ändern werden. Gegen eine Innendämmung spricht oft die Tatsache, dass die Wohnung bewohnt, gerade frisch hergerichtet oder zu klein dimensioniert ist.

BEWERTUNGSMATRIX VON INNENDÄMMSYSTEMEN

Konstruktionsart	Nr.	Verklebte/Verdübete Platten	Kriterien														
			Eignung unabh. Oberfläche/Untergrundbehandlung	feuchter Einbaustand	Stoßliche Verträglichkeit	Anschlusssanbildung	Herstellungsaufwand	Komplexität	Verarbeitung	Vorfertigung	Benutzbarkeit	erforderliche Systemdicke	Feuchtschutz (Kapillarität)	Feuchtschutz (Diffusion)	Vermeidung von Luft	Konzeptionsicherung der Luftdichtheit	Schalenschutz
1	EPS	-/+	++	-/+	++	+	+	++	++	-	+	-	-/+	+	++	-/+	++
2	XPS	-/+	++	-/+	++	-/+	-/+	++	+	-/+	++	-	-/+	++	++	-/+	++
3	Schaumglas	-	++	-/+	-/+	-	-/+	++	+	-	+	-	++	-	++	-	k.B.
4	CaSi	-/+	+	-/+	++	++	+	++	++	+	-/+	++	+	++	-/+	++	++
5	PIR	-/+	++	+	++	-/+	-/+	++	+	-	++	-	++	-	++	-	++
6	Holzfasern	+++	-	-/+	++	+++	++	++	+	-	-/+	+	+	++	-/+	+	+
7	Mineralfasern	-/+	+	-/+	++	+	-/+	+	-/+	-/+	-/+	-/+	+	++	-/+	+	++
8	Kork	-/+	++	-/+	++	k.B.	k.B.	++	-/+	k.B.	k.B.	+	k.B.	++	-/+	+	+
9	VIP	-/+	k.B.	-/+	-/+	-	+	++	-/+	+	++	+	++	-	++	-	k.B.
10	Wandheizung	-/+	+	-/+	+	++	+	++	++	-/+	-/+	+	+	++	-	++	++
Verbundplatten																	
11	IPS	-/+	+	+	++	+	+	+	++	+	+	-	+	-/+	+	-/+	++
12	PIR	-/+	+	+	++	+	++	+	++	+	++	-	-/+	+	-	++	++
13	Mineralfasern	-/+	+	-/+	++	-/+	+	++	+	+	+	+	-/+	-/+	+	+	++
Vorsatzschalen mit Dämmplatten																	
14	Mineralfasern	+++	-/+	++	+	++	-/+	+	+	+	-	-/+	-/+	+	++	++	++
15	Fläch	+++	-/+	++	+	++	-/+	++	-/+	+	+	-	-/+	-/+	+	++	++
16	Holzfasern	+++	-/+	++	+	++	-/+	++	+	+	+	-	-/+	-/+	+	++	++
17	Zellulose	+++	-/+	++	+	++	-/+	++	-/+	+	+	-	-/+	-/+	+	++	++
18	Hart	+++	-/+	++	+	++	-/+	++	+	+	-	-/+	-/+	+	++	++	++
19	Kork	+++	-/+	++	+	++	-/+	++	+	+	-	-/+	-/+	+	++	++	++
Vorsatzschalen mit Wandheizung																	
20	Wandheizung	+++	-/+	++	+	++	-/+	++	+	+	+	-	-/+	-/+	+	++	++
Vorsatzschalen mit Einblasdämmung																	
21	Zellulose	+++	-/+	++	-/+	+	-/+	-/+	k.B.	+	+	+	-/+	+	++	++	++
22	Holzfasern	+++	-/+	++	-/+	+	-/+	-/+	k.B.	+	+	+	-/+	+	++	++	++
Vorsatzschalen mit Schutzdämmung																	
23	Wärmedämmlehm	+++	-/+	++	-/+	++	+	++	k.B.	+	-	+	+	++	-	-/+	++
Vorsatzschalen mit Sprühdämmung																	
24	Wärmedämmlehm	+++	-/+	++	+	+	-	+	k.B.	+	+	+	-/+	+	++	++	++
25	Wärmedämmputz	+++	++	-/+	++	+++	++	+++	k.B.	-	-	+	+	+++	-	++	++

Legende:
 bestens geeignet +++
 gut geeignet ++
 weniger geeignet +
 ungeeignet -
 keine Bewertung möglich k.B.

Kriterien:
 Randbedingungen
 Konstruktion
 Bauphysik

verwendete Einstufung

+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 16: Bewertungsmatrix für Innendämmungen

Abschluss

Die Bauphysik spielt in der Denkmalpflege eine zunehmend große Rolle, gerade dann, wenn die Wege des traditionellen Bauens verlassen werden. Es kann beobachtet werden, dass sich der Fachbereich in intensiver Entwicklung und Veränderung befindet. Das weckt für die Denkmalpflege einerseits die Hoffnung auf neue, alternative oder einfachere Methoden, die einer Erhaltung historischer Bausubstanz zu Gute kommen. Andererseits stellt sie eine zunehmend komplexe Disziplin dar, die in ihrem wissenschaftlichen Ansatz das große Feld der kleinen Bauvorhaben nicht erreicht. Die Bauphysik gilt es also im Bereich der Denkmale, so wie auch generell beim Bauen im Bestand, in der Planung besser zu verankern.

Für die zukünftige Zusammenarbeit ist ein verstärkter Austausch zwischen den beiden Disziplinen förderlich. In diesem Sinne ist der Dialog im Rahmen solcher Veranstaltungen wichtig, vor allem auch um ein größeres Netzwerk mit qualifiziertem Personal aufzubauen.

Alle Abbildungen BDA,

außer: Abb. 13, 14 - Metamorphose 6/2010, S. 48 ff. und Abb. 16 - Šišković 2007, S.182

Die Bedeutung der Gebäude bei der Energiewende. Eine Potenzialstudie



Dipl.-Ing. Johann Reiß
Dipl.-Ing. Hans Erhorn
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Abteilungsleiter Wärmetechnik
Stuttgart
hans.erhorn@ibp.fraunhofer.de

Dem Gebäudebereich kommt in Deutschland im Hinblick auf die Ziele der Energieeinsparung und des Klimaschutzes und damit auch innerhalb des Energiekonzeptes der Bundesregierung eine zentrale Rolle zu. Der Gebäudebestand in Deutschland umfasst unter anderem rund 18 Millionen Wohngebäude mit ca. 40 Millionen Wohneinheiten. Davon sind 75 % vor der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung 1979 errichtet worden. Diese Gebäude sind oft gar nicht oder kaum energetisch saniert. Die überwiegende Mehrheit der Heizungssysteme entspricht nicht dem Stand der Technik. Dazu kommen rund 1,5 Millionen Nichtwohngebäude, davon rund 40.000 Schulen. Hier liegt ein enormes Energieeinsparpotenzial. Dies wird besonders deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Gebäudebereich einen Anteil von rund 40 % am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland hat.

1. Energieverbrauch für Heizwärme

Rund 40 % der Endenergie in Deutschland wird für Heizwärme (Raumwärme plus Warmwasserbereitung) verbraucht. Der überwiegende Teil davon wird von privaten Haushalten – das heißt in Wohngebäuden – verwendet. Von 1990 bis 1996 stieg der Endenergieverbrauch für Heizwärme in privaten Haushalten an. Seit 1997 ist jedoch eine Trendwende eingetreten. Trotz weiterem Zuwachs der Wohnfläche durch Neubaumaßnahmen um über 10 % sind die Verbrauchszahlen seitdem rückläufig und entsprachen 2006 in etwa dem Stand von 1990. Der Rückgang resultiert aus durchgeführten, so genannten energetischen Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudeaußenhülle sowie der effizienteren Nutzung von Energie zum Heizen. Somit ist es entgegen dem Trend zum höheren Wohnflächenverbrauch seit 1990 gelungen, die Energieeffizienz des Gebäudebestands um etwa 15 % zu verbessern. Der CO₂-Ausstoß privater Haushalte im Wohnbereich konnte durch diese Effizienzsteigerung und den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien von 1990 bis 2005 um 13 % – das heißt um rund 16 Millionen Tonnen – gesenkt werden. Die effiziente Nutzung von Heizwärme trägt mit dazu bei, dass Deutschland in puncto Energieeffizienz im internationalen Vergleich zu den führenden Industriestaaten gehört.

Dass die Anstrengungen zur Vermeidung von CO₂ und Reduktion von Heizkosten nicht nachlassen dürfen, resultiert aus den weiterhin hohen CO₂-Emissionen und Verbrauchszahlen. Hinzu kommt, dass der steigende Anteil kleinerer Haushalte und der zunehmende Wohnflächenkonsum auch in Zukunft zu einer wachsenden Nachfrage nach Heizenergie führen werden. Solange diese Entwicklung anhält, kann der

Energieverbrauch in privaten Haushalten nur durch eine maßvolle Energienutzung und gesteigerte Energieeffizienz reduziert werden.

2. Das Energiekonzept der Bundesregierung

Deutschland soll in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Ein hohes Maß an Versorgungssicherheit, ein wirksamer Klima- und Umweltschutz sowie eine wirtschaftlich tragfähige Energieversorgung sind zugleich zentrale Voraussetzungen, dass Deutschland auch langfristig ein wettbewerbsfähiger Industriestandort bleibt. Mit dem Energiekonzept¹ formuliert die Bundesregierung Leitlinien für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung und beschreibt erstmalig den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien. Es geht um die Entwicklung und Umsetzung einer langfristigen, bis 2050 reichenden Gesamtstrategie.

Entsprechend der Koalitionsvereinbarung sollen bis 2020 die Treibhausgasemissionen um 40 % und entsprechend der Zielformulierung der Industriestaaten bis 2050 um mindestens 80 % – jeweils gegenüber 1990 – reduziert werden. Dies bedeutet folgenden Entwicklungspfad bei der Minderung der Treibhausgasemission bis 2050: minus 55 % bis 2030, minus 70 % bis 2040, minus 80 % bis 95 % bis 2050.

Bis 2020 soll der Anteil der erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch 18 % betragen. Danach strebt die Bundesregierung folgende Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch an: 30 % bis 2030, 45 % bis 2040, 60 % bis 2050.

Bis 2020 soll der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 35 % betragen. Danach strebt die Bundesregierung folgende Entwicklung des Anteils der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch an: 50 % bis 2030, 65 % bis 2040, 80 % bis 2050.

Bis 2020 soll der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 20 % und bis 2050 um 50 % sinken. Das erfordert pro Jahr eine Steigerung der Energieproduktivität um durchschnittlich 2,1 % bezogen auf den Endenergieverbrauch. Die Bundesregierung strebt an, bis 2020 den Stromverbrauch gegenüber 2008 in einer Größenordnung von 10 % und bis 2050 von 25 % zu vermindern.

Im Verkehrsbereich soll der Endenergieverbrauch bis 2020 um rund 10 % und bis 2050 um rund 40 % gegenüber 2005 zurückgehen.

Die Szenarien, die der Entwicklung des Energiekonzeptes zugrunde lagen, belegen, dass die energetische Sanierung des Gebäudebestands der zentrale Schlüssel zur Modernisierung der Energieversorgung und zum Erreichen der Klimaschutzziele ist.

Das zentrale politische Ziel ist es deshalb, den Wärmebedarf des Gebäudebestandes langfristig mit dem Ziel zu senken, bis 2050 nahezu einen klimaneutralen

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiekonzept für eine

Gebäudebestand zu haben. Klimaneutral bedeutet für die Bundesregierung, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Dafür ist die Verdopplung der energetischen Sanierungsrate von jährlich etwa 1 % auf 2 % erforderlich.

Bis 2020 will die Bundesregierung eine Reduzierung des Wärmebedarfs um 20 % erreichen. Darüber hinaus strebt sie bis 2050 eine Minderung des Primärenergiebedarfs in der Größenordnung von 80 % an.

Im Juni 2011 wurde das Energiekonzept durch ein Eckpunktepapier² weiterentwickelt, in dem weitere Maßnahmen zum beschleunigten Umbau des Energiesystems beschlossen wurden. Nach der bis dahin unvorstellbaren Havarie von Fukushima wurde die Rolle der Kernkraft politisch neu eingeordnet. Ein schnellerer Ausstieg aus der Kernenergie wurde beschlossen und von allen politischen Kräften des Landes getragen. Dies erforderte, dass der mit dem Energiekonzept bereits angelegte grundlegende Umbau der Energieversorgung in Deutschland deutlich beschleunigt werden muss. Die im Energiekonzept angelegte strategische Grundausrichtung zum Umstieg auf Energieeffizienz und erneuerbare Energien für eine sichere, umweltschonende und wettbewerbsfähige Energieversorgung bleibt unverändert gültig.

Die Effizienzstandards für Gebäude sollen ambitioniert erhöht werden. Insbesondere soll mit der ENEC 2012 bis 2020 eine schrittweise Heranführung des Neubaustandards an den künftigen europaweiten Niedrigstenergiegebäudestandard erreicht werden. Der Bund geht mit gutem Beispiel voran und errichtet Neubauten bereits ab dem Jahr 2012 nur noch im Niedrigstenergiestandard.

Darüber hinaus soll ein Sanierungsfahrplan für den Gebäudebestand eingeführt werden. Dieser gibt als Handlungsempfehlung eine Orientierung für Eigentümer, mit welchen Sanierungsmaßnahmen der Niedrigstenergiestandard bis 2050 auch für den Gebäudebestand erreicht werden kann. Bundesbauten sollen bei der Reduzierung des Energieverbrauchs eine Vorbildfunktion einnehmen.

3. Entwicklung des energiesparenden Bauens

In Deutschland hat energiesparendes Bauen eine lange Tradition. Seit mehr als 30 Jahren wird am Gebäude der Zukunft geforscht, das klimaneutral bewohnt werden kann. Das Niedrigenergiehaus ist seit mehr als 15 Jahren gesetzlicher Mindeststandard (Energieeinsparverordnung -EnEV) für Neubauten. Dank intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es nun gelungen, Gebäude so weit fortzuentwickeln, dass sie nicht mehr Energieverbraucher sondern Energieerzeuger sind. Das stellt alle bisherigen Entwicklungen in den Schatten, die immer noch einen Restenergiebedarf für den Betrieb benötigen.

² Bundesregierung: Eckpunkte zum Energiekonzept. Berlin 6. Juni 2011

Entwicklung des energiesparenden Bauens

Primärenergiebedarf – Heizung [kWh/m²a]

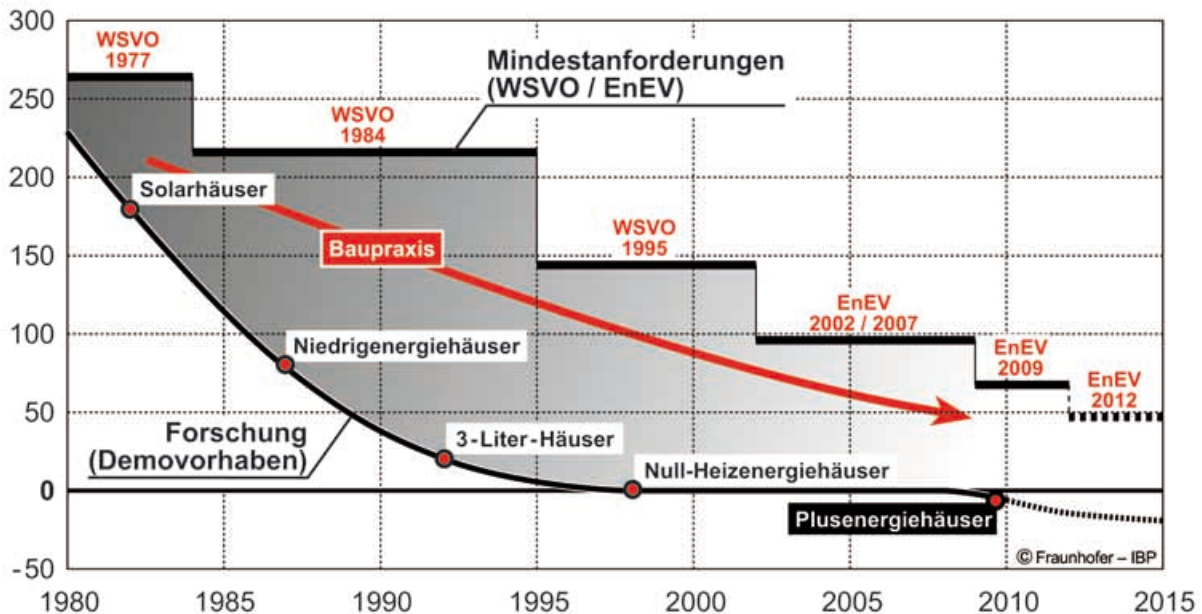


Bild 1: Entwicklungsverlauf des Primärenergiebedarfs von Doppelhäusern in Deutschland in den letzten 30 Jahren.

Bild 1 verdeutlicht den Entwicklungsverlauf des Primärenergiebedarfs von Doppelhäusern in Deutschland in den letzten 30 Jahren. Die untere Kurve zeigt exemplarische Forschungsvorhaben, die zur Markteinführung verbesserter Energieniveaus initiiert wurden, während die obere die gesetzlichen Mindestanforderungen dokumentiert. Die innovative Baupraxis bewegt sich zwischen diesen beiden Niveaus. Es ist zu erkennen, dass zwischen Pilotanwendung und der gesetzlichen Festschreibung von verschiedenen Niveaus eine Markteinführungsphase von 10 bis 15 Jahren üblich ist. Ferner kann man der Graphik entnehmen, dass die innovative Baupraxis sich stetig weiter entwickelt, allerdings die erschließbaren Potentiale geringer werden. Während zu Beginn der Entwicklung im Mittel noch eine Reduktion jährlich von ca. 8 kWh/m²a zu beobachten war, so beträgt sie heute im Mittel pro Jahr nur noch 3 kWh/m²a.

Das erste Plusenergie-Wohngebäude wurde 1992 von der Fraunhofer-Gesellschaft als Forschungsobjekt in Freiburg errichtet. Es handelte sich um ein Einfamilienhaus, das während der Untersuchungsphase absolut energieautark bewohnt werden konnte und nur aus der Sonnenenergie mit Strom und Wärme versorgt wurde. Das hoch energieeffiziente Gebäude verfügte über eine integrierte Photovoltaikanlage auf dem Dach, die in ein Wasserstoffgewinnungssystem eingebunden war. Eine Marktumsetzung konnte aufgrund der Probleme mit der Wasserstofftechnologie nicht erfolgen.

Im Zeitraum 1995 bis 1998 wurden die ersten marktfähigen Gebäudelösungen entwickelt. Diese Ansätze konzentrierten sich anfänglich auf saisonale Speichersysteme. Die Einfamilienhaus- Pilotvorhaben „Övolution“ des Fertighausherstellers WeberHaus und das „Sonnenhaus“ des Solarsystemanbieters SolarDiamant verfügten über einen großen

(ca. 20 m³) Solarspeicher, der von einem ca. 50 m² großen dachintegrierten Solarfeld gespeist wurde. Diese Gebäude konnten zwar ihre grundsätzliche Eignung demonstrieren, blieben aber aufgrund der hohen Investitionskosten nur ein Marktnischelement, von denen nur wenige verkauft werden konnten.

Als Weiterentwicklung des Pilotvorhaben „Övolution“ errichtete der involvierte Architekt Rolf Disch im Zeitraum 2000 bis 2006 in Freiburg eine erste Plusenergiehaussiedlung. Auf einem ca. 11.000 m² großen Neubauareal wurden fünfzig Reihenhäuser in zehn Hauszeilen unterschiedlicher Größe errichtet. Die hoch energieeffizienten Wohngebäude wurden an ein holzbefeuertes Nahwärmenetz des benachbarten Wohnquartiers angebunden und wurden mit großflächigen Solarstromdächern ausgestattet, die für das Plus in der Energiebilanz sorgen. Durch den Verzicht auf den lokalen saisonalen Wärmespeicher im Gebäude, die Nutzung des öffentlichen Stromnetzes als „saisonalen Stromspeicher“ und den erweiterten Ansatz der Substitution des Wärmebedarfs durch produzierten Stromüberschuss in Verbindung mit der neu eingerichteten Solarstromförderung konnten die wirtschaftlichen Randbedingungen dieser Entwicklung neu definiert werden.

Die Technische Universität Darmstadt hat im Jahre 2007 in der Forschungsinitiative Zukunft Bau ein Plus-Energie-Haus entwickelt, um am renommierten Wettbewerb „Solar Decathlon“ in Washington D.C. / U.S.A. teilzunehmen. Daran können sich weltweit wissenschaftliche Einrichtungen und Hochschulen beteiligen. Wichtigstes Ziel der Modellhäuser, deren Leistungsfähigkeit in 10 Disziplinen geprüft wird, ist es, mehr Energie zu erzeugen als das Haus unter voller Nutzung verbraucht. Die TU Darmstadt hat diesen Wettbewerb in den Jahren 2007 und 2009 gewonnen. Das BMVBS hat auf der Grundlage des Hauses der TU Darmstadt aus dem Jahre 2007 einen eignen Vortrags- und Ausstellungspavillon errichtet, der von 2009 bis 2011 auf einer einmaligen Deutschlandtour das Konzept in sechs Metropolregionen vorstellte. Diese Initiativen trugen wesentlich zur Verbreitung des neuen Konzeptansatzes in der Öffentlichkeit bei.

Im Sommer 2011 startete das BMVBS ein Förderprogramm für „Modellprojekte im Plusenergiehaus-Standard“. Ziel der Förderung ist es, sog. Plus-Energie-Häuser zu evaluieren und durch Forschung und Untersuchung Grundlagen für die Weiterentwicklung und Markteinführung derartiger Gebäude zur Verfügung zu stellen. Das Programm, das zunächst auf Wohngebäude ausgerichtet ist, stieß mit der Verkündung auf eine sehr positive Resonanz im Bausektor. Diverse Anbieter von Fertighäusern, aber auch Hersteller, die in anderen Marktsegmenten agieren (z. B. Massivbau oder Fassadenhersteller), beteiligen sich mit unterschiedlichen Gebäudekonzepten an der Initiative des BMVBS. Hierdurch konnte ein bundesweites Netzwerk initiiert werden, welches über ein vom BMVBS eingerichtetes Begleitforschungsvorhaben unterstützt wird.

4. Das Effizienzhaus-Plus – die nächste Generation des Bauens

Die neueste Generation der Gebäude ist das Effizienzhaus-Plus, oder auch Plusenergiehaus genannt. Es ist nicht an eine bestimmte Technologie gebunden, sondern es kann vielfältig durch eine intelligente Kombination von energieeffizienten Bautechnologien und erneuerbaren Energiegewinnsystemen realisiert werden. Dadurch stellt es einen technologieoffenen Ansatz dar. Das vom BMVBS initiierte Effizienzhaus-Plus erlaubt den innovativen Partnern in der Bauindustrie, ihren Pioniergeist in die

Baupraxis umzusetzen und so ihre Marktführerschaft zu visualisieren, denn es ist die bauliche Antwort auf die Herausforderungen unserer und künftiger Generationen und damit sehr nachhaltig! Darüber hinaus wird es in Deutschland entwickelt und produziert, kann also unter der Marke „Made in Germany“ vertrieben werden.



Bild 2: Das Pilotgebäude der BMVBS-Initiative „Effizienzhaus-Plus mit E-Mobilität“ in Berlin erweckt großes Öffentlichkeitsinteresse.

Das Effizienzhaus-Plus fußt gegenüber herkömmlicher Bauweise auf den 3 Säulen:

- Energieeffizienz des Gebäudes bestmöglich steigern
- Energiebedarf der Haushaltsprozesse so weit wie möglich senken
- Erneuerbare Energien zur Restdeckung verwenden

Da bei diesem Hauskonzept die Summe aller im Haus benötigten Energiemengen über erneuerbare Energien ausgeglichen werden muss, die im räumlichen Umfeld des Gebäudes erschlossen werden können, ist die Bedarfsmenge an Energie über eine deutlich verbesserte Energieeffizienz bestmöglich zu reduzieren.



Bild 3: Übersicht über die Bausteine des Effizienzhaus-Plus – Energieeffizienz und erneuerbare Energiesysteme.

Die Energieeffizienz lässt sich über den Gebäudeentwurf (kompakter Gebäudekörper, optimale Orientierung), über den Wärmeschutz (hocheffiziente Fenster und Wärmeschutzsysteme für die Gebäudehülle), über optimierte Verarbeitung (wärmebrücken(-zuschlags)freie und luftdichte Konstruktionen und Bauteilanschlüsse) sowie energiebewusstes Bewohnerverhalten (Verbrauchsvisualisierung, Smart Metering) senken. Gleichzeitig erhöht sich durch die bedarfssenkenden Maßnahmen in aller Regel der Nutzungskomfort, da die hierbei entstehenden warmen Oberflächen eine höhere Behaglichkeit in den Räumen ermöglichen.

Die Energieeffizienz lässt sich weiterhin erhöhen durch niedrige Systemtemperaturen (und damit verbundene niedrige Wärmeverluste) in der Heizanlage, durch kurze Leitungslängen bei Heiz-, Warmwasser- und Lüftungsanlagen (und damit verbundene niedrigere Wärmeverluste und geringere Antriebsenergien für Pumpen und Ventilatoren), durch das Vermeiden der Warmwasserzirkulation, durch Wärmerückgewinnungssysteme in der Lüftung und in den Abwassersystemen, durch hydraulischen Abgleich in allen Anlagen (und damit verbundene geringere Antriebsenergien für Pumpen und Ventilatoren), mit bedarfsgesteuerten Heiz- und Lüftungssystemen (und einer damit vermiedenen Überversorgung der Räume mit Frischluft und Heizwärme), mit

Haushaltsgeräten höchster Energieeffizienz (A++) und mit effizienter Raumbelichtung (LED oder Energiesparlampen in Verbindung mit Bedarfskontrollsystemen).

Die erneuerbaren Energien lassen sich aktiv und passiv im Gebäude erschließen. Völlig kostenfrei können die passiven Solargewinne über die Fenster einerseits zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs und andererseits zur Reduzierung des Lichtbedarfs durch Tageslichtnutzung genutzt werden. Aktiv lassen sich erneuerbare Energien über thermische Solarkollektoren, biogene Brennstoffe, Geothermie oder Umweltwärme erschließen. Das Plus im Gebäude bringen schließlich stromerzeugende Systeme, wie Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, die produzierte Überschüsse im Gebäude speichern und darüber hinausgehende ins Netz der Energieanbieter einspeisen. Die Speicher haben eine hohe Bedeutung im System.



Bild 4: Nordansicht des Pilotgebäudes der BMVBS-Initiative „Effizienzhaus-Plus mit E-Mobilität“ in Berlin.

Das Effizienzhaus-Plus des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung dient als Showcase für die neue Generation des Bauens. Im Laufe eines Jahres hat sich ein deutsches Netzwerk mit über 30 Anbietern entwickelt, die dieses Marktsegment bedienen.

5. Der klimaneutrale Gebäudebestand – der Schlüssel zur Energiewende

Energieeffizienzsteigerung im Gebäudebestand ist der wahre Schlüssel zur Energiewende. Je erfolgreicher die Reduzierung des Energiebedarfs im Gebäudebestand ist, desto eher gelingt uns der Übergang ins Zeitalter der erneuerbaren Energien.

Das Projekt „Lilienstraße-Nord“ weist in diese Zukunft der energieeffizienten Sanierung von Innenstadtquartieren. Ziel des Projektes der GWG in der Lilienstraße in München ist die Modernisierung und energetische Sanierung der Gebäude mit dem Zielwert eines Primärenergiebedarfs für Beheizung und Trinkwassererwärmung, der mindestens 50 % unter dem zulässigen Wert eines Neubaus liegt. Die noch benötigte Restwärme soll so erzeugt werden, dass eine CO₂-neutrale Energieversorgung gewährleistet ist. Die Gebäudestrukturen sollen dabei erhalten und zeitgemäße Grundrisslösungen erreicht werden.

Die 1955 gebaute und inzwischen sanierungsbedürftige Wohnanlage im Münchner Stadtteil Haidhausen / Au umfasste bisher vier 3- bzw. 5-geschossige Gebäude mit Kellergeschoss und nicht ausgebautem Dachgeschoss. Die 149 bestehenden Wohnungen wiesen eine Größe zwischen 40 m² und 65 m² Wohnfläche auf. Es handelt sich um Wohnungen mit zwei, drei und vier Zimmern. Die Wohnungen wurden bisher mit kohle- oder gasbefeuerten Einzelöfen beheizt. In manchen Wohnungen befanden sich Elektroheizgeräte. Einige Wohnungen waren auch mit Gasetagenheizungen ausgestattet. Das Brauchwasser wurde ebenfalls dezentral und überwiegend mit Gasdurchlauferhitzern erwärmt.



Bild 5: Westfassade des Demonstrationsvorhabens in München mit einem platzsparenden Vakuum-Wärmedämmverbundsystem.

Die Aufstockung aller Gebäude in Holzbauweise schafft nicht nur Raum für neue, zeitgemäße Grundrisse, sie übernimmt auch einen Teil der Wärmedämmung. Die Gebäudeaußenwände erhalten ein innovatives Dämmsystem aus Resol-Hartschaum. Auf die der Straßenseite zugewandten Fassaden wird eine Vakuumdämmung installiert. Die Fenster werden 3-fach-wärmeschutzverglast in hocheffizienten Rahmen ausgeführt. Die Kellerdecken werden mit im Estrich der Erdgeschosses eingelegte Vakuumdämmplatten mit hochwertigem Wärmeschutz versehen.

Bei der Wärmeerzeugung kommt eine einzelanfertigte Gasmotorwärmepumpe mit Grundwassernutzung (oberflächennahe Geothermie) zum Einsatz. Unterstützt wird der Grundwärmerezeuger durch einen Gasbrennwertkessel und eine solarthermische Kollektoranlage. Die Speicherung und die hydraulische Systemtrennung erfolgen über ein abgestimmtes Pufferspeicherladesystem. Auch bei der Verteilung der Wärme wird auf eine hochwertige Wärmedämmung Wert gelegt, die warmen Leitungen werden innerhalb der thermischen Hülle geführt. Bei der Warmwasserbereitung wird durch eine anodische Oxidationsanlage ein Niedertemperatur-Ansatz umgesetzt.

Heizwärme wird bedarfsabhängig über die Heizflächen durch eine dezentrale Pumpentechnik an die Räume abgegeben. Die Einzelraumregelung ermöglicht eine hohe Regelgüte und lässt eine intensive Nutzerbeteiligung erwarten. Fensterkontakte schränken Lüftungsverluste durch ineffizientes Lüftungsverhalten ein.

Durch das intelligente Zusammenspiel all dieser Maßnahmen konnte der Heizenergiebedarf des Gebäudeensembles um mehr als den Faktor 10 gegenüber dem

früheren Zustand reduziert werden. In Ergänzung zu dem innovativen Wärmeversorgungskonzept für den Gebäudekomplex erhält die Wohnanlage eine ca. 1.400 m² große Photovoltaikanlage. Die dadurch realisierte Emissionsminderung bei der Stromversorgung in München ist größer als die Emissionen, die durch die moderne Wärmeversorgungsanlage des Gebäudekomplexes entstehen.

6. Status Quo und Trends bei den Schlüsseltechnologien

Wärmeschutz

Die Minderung des Energiebedarfs ist die Voraussetzung für die Realisierung eines kostenoptimierten Effizienzhauses-Plus. Hierbei ergeben sich jedoch konstruktive Grenzen. Konstruktionsdicken über 40 cm stoßen in der Praxis häufig auf Akzeptanzprobleme. Daher bewegen sich die häufig realisierten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) von Außenwänden und Dächern im Bereich zwischen 0,12 und 0,15 W/m²K. Eine weitere Potentialerschließung mit U-Werten unter 0,1 W/m²K lässt sich mit Einführung der Vakuumdämmung in Standardkonstruktionen erwarten. Aber auch herkömmliche Dämmstoffe haben noch erhebliche Verbesserungspotentiale (z. B. Resol-Hartschaum) die in künftigen Konstruktionen erschlossen werden können.

Der Wärmeschutz von Fenstern hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. 3-Scheiben-Verglasungen sind bei energetisch hochwertigen Gebäuden Standard. U-Werte unter 1,0 W/m²K sind heute bei Fenstern keine Rarität mehr, wie es vor 5 Jahren noch der Fall war. Die in der Entwicklung befindliche Vakuumverglasung lässt erwarten, dass sich U-Werte künftig sogar deutlich unter 0,8 W/m²K realisieren lassen. Ein Problem stellen die Fensterrahmen großer Verglasungseinheiten dar. Hier bedarf es noch neuer Konstruktionsprinzipien, um den guten Wärmeschutz des Glases nicht durch den deutlich schlechteren Wärmeschutz des Rahmens zunichte zu machen. Hier entsteht noch weitergehender Entwicklungsbedarf. Die Rahmen für normale Fenstergößen weisen heute bereits einen hochwertigen Wärmeschutz auf (Passivhausrahmen).

Entscheidend ist es, Wärmebrücken vollständig zu vermeiden. Hierzu müssen Anschlussdetails weiterentwickelt und optimiert werden. Die bisher ausgeführten Gebäude zeigen, dass es bei konsequenter integraler Planung möglich ist, eine wärmebrückenfreie Gebäudehülle zu realisieren. Ein Wärmebrückenkatalog für Effizienzhaus-Plus könnte Anregungen für die Planungspraxis schaffen.

Wärmepumpen

Die Wärmeerzeugung in den Effizienzhäusern-Plus erfolgt derzeit fast ausschließlich über Elektro-Wärmepumpen. Im Gegensatz zum Passivhaus (Luftheizung) wird in diesen Häusern die Wärme in der Regel auf wasserführende Systeme (Flächenheizungen) übertragen. Dies bringt Vorteile für die Energieeffizienz der Wärmepumpen, da die Systemtemperaturen in den wasserführenden Heizsystemen deutlich niedriger gehalten werden können als in Luftheizsystemen und darüber hinaus Speichersysteme mit erschlossen werden können, die einen flexiblen Wärmepumpenbetrieb ermöglichen.

Die Wärmepumpen werden in der Regel durch bodennahe Geothermiesysteme mit Umweltwärme versorgt. Außenluft als Wärmequelle ist zwar kostengünstiger zu

erschließen, da die aufwändigen Bohrungen entfallen, allerdings fallen die Jahresarbeitszahlen dieser Systeme deutlich (20 bis 30 %) niedriger aus als die der Erdreichwärmepumpen, was durch die größeren Temperaturdifferenzen bedingt ist, welche die Außenluft-Wärmepumpe zu der Hauptheizzeit zu überwinden hat.

Ein Problem stellt für alle Wärmepumpensysteme die Warmwasserbereitung dar, da diese auf einem deutlich höheren Temperaturniveau stattzufinden hat (in der Regel 60 °C), als der Heizungsbetrieb (in der Regel 30 °C). Dadurch verschlechtern sich die erzielbaren Jahresarbeitszahlen deutlich, ein größeres Photovoltaikfeld ist erforderlich um ein Plus an Energie sicher zu stellen.

Zur Optimierung des Wärmepumpenbetriebs sind verschiedene Ansätze möglich, die im Wesentlichen alle auf Vermeidung der Verschlechterung der Jahresarbeitszahlen abzielen. Ansätze wie Frischwasserstationen in Verbindung mit Elektronacherhitzern, Wärmepumpen in Kombination mit Spitzenlastthermen oder Wärmepumpenkaskaden könnten mögliche Verbesserungspotentiale erschließen helfen. Zur Verbesserung der Effizienz der Wärmepumpensysteme besteht noch weitergehender Entwicklungsbedarf. Jahresarbeitszahlen von 5 sollten als Zielwerte für das Gesamtsystem (Heizung plus Warmwasser) angestrebt werden.

Neben den reinen Stromlösungen sollten auch Lösungen gefunden werden, die andere Energieträger beinhalten. Denkbar sind hier Biogas und Biomasse, KWK-Anlagen in Verbindung mit Spitzenlasterzeugern, die den Wärmebedarf abdecken und gleichzeitig eine Stromeigennutzung ermöglichen.

Photovoltaik

Die Kosten von Photovoltaikanlagen sind in den letzten 2 Jahren, durch Massenfertigung im asiatischen Raum deutlich gesunken. Das gängigste Unterscheidungskriterium ist die Materialdicke. Hier wird nach Dickschicht- und Dünnschichtzellen unterschieden. Die Kristallstruktur kann kristallin (mono-/polykristallin) oder amorph sein.

Monokristalline Siliziumzellen (c-Si) weisen im großtechnischen Einsatz einen Wirkungsgrad von über 20 % auf. Die Technik gilt als gut beherrscht, die Herstellung erfordert allerdings einen sehr hohen Energieeinsatz. Polykristalline Zellen, auch Multikristalline Zellen genannt (poly-Si oder mc-Si) sind derzeit die Zellen mit dem günstigsten Preis-Leistungs-Verhältnis. Sie erreichen inzwischen im großtechnischen Einsatz Wirkungsgrade von bis zu 16 %. Experimentelle Zellen erreichen Wirkungsgrade bis von zu 18,6 %. Amorphes Silizium (a-Si) besitzen zurzeit den größten Marktanteil bei den Dünnschichtzellen. Die Modulwirkungsgrade liegen zwischen 5 und 7 %.

Die wirtschaftlichsten Systeme sind Aufdachlösungen. Allerdings stoßen diese häufig auf Akzeptanzprobleme im städtebaulichen Kontext. Die entwickelten Indachsysteme können diese Vorbehalte auflösen. Indach-Photovoltaik-Anlagen ersetzen die übliche Dacheindeckung wie z. B. Dachpfannen. Sie gelten als architektonisch hochwertig, weil sie optisch gefällig in der Dachfläche liegen - also im Idealfall mit der Oberseite der übrigen Dachdeckung eine Ebene bilden. Streng genommen muss bei Indach-Anlagen die wasserführende Ebene über den PV-Modulen liegen. Neuerdings werden gerne auch dachgleiche PV-Anlagen als Indach-Anlagen bezeichnet, deren wasserführende Ebene hinter den PV-Modulen liegt (Blechdacheindeckung). Optisch macht das selten einen Unterschied - technisch aber sehr wohl. In jedem Fall muss gerade bei Indach-Photovoltaik-Anlagen auf die Hinterlüftung / Kühlung der PV-Module geachtet werden.

Aufgrund der hohen thermischen Belastung der Paneele ergeben sich große Anforderungen an die wasserführende Schicht bei Indachanlagen. Interessant für Investoren und Bauherren dürfte die Steuergleichheit zu Aufdachsystemen sein: Seit 2011 (in einigen Bundesländern bereits seit 2010) besteht Steuergleichheit zu Aufdachsystemen, denn es lassen sich auch Indachanlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren abschreiben - und nicht wie zunächst üblich über 50 Jahre.

Neben der Kristallstruktur der Solarzellen ist die Effizienz der Wechselrichter und Gleichrichter im System entscheidend für die Gesamteffizienz der Anlage. Hochwertige Wandler weisen Wirkungsgrade von bis zu 97 % auf, weniger gute haben Umwandlungsverluste von bis zu 15 %. Bei der Wandlung von Gleichstrom in Wechselstrom können entsprechend hohe Verluste auftreten, die in aller Regel als Wärme im Gebäude freigesetzt werden. Dies kann bei Systeminstallationen von 10 kW_{Peak} und mehr zu internen Wärmelasten von bis zu 1,5 kW führen, die zu einer Überhitzung in den Gebäuden beitragen kann. Hier besteht noch erheblicher Verbesserungsbedarf.

7. Kosten und Wirtschaftlichkeit

Da Gebäudeentwürfe sehr individuell gestaltet sind und die entstehenden Kosten eher durch gestalterische Elemente und Investitionen in erhöhten Wohnkomfort geprägt sind, lässt sich eine Wirtschaftlichkeitsaussage schwerlich über die Gesamtkosten der Objekte herleiten. Sinnvoller erscheint es, eine Mehr- / Minderkostenbetrachtung und eine Lebenszyklusbetrachtung im Vergleich zum gleichen Gebäude in energetischer Standardqualität anzustellen. Hierbei ergeben sich folgende Kostengruppen, die Berücksichtigung finden müssen:

- Energetisch hochwertige Gebäudehülle
- Hocheffiziente Wohnraumlüftungssysteme
- Niedertemperaturheizsysteme
- Frischwassersysteme für die Warmwasserbereitung
- Wärmepumpenanlagen mit Pufferspeicher
- Hocheffiziente Haushaltsgeräte
- Photovoltaiksysteme
- Elektrische Batteriesysteme in Verbindung mit Energiemanagementsystemen

Gebäude mit Standardqualität

Gegenwärtig werden über die Hälfte aller Neubauten in einer energetisch hochwertigen Qualität (KfW-Effizienzhaus 70 oder besser) gebaut. Dies ist in der Regel mit baulichen Mehrkosten gegenüber EnEV-Anforderung zwischen 30 und 50 €/m² Nutzfläche realisierbar. Dieser Standard soll daher den folgenden Betrachtungen als Referenz zugrunde gelegt werden.

Gebäude mit Effizienzhaus-Plus-Qualität

Ein Effizienzhaus-Plus erfordert Gesamtmehrinvestitionen in folgender Höhe:

Komponente	Mehrkosten gegenüber KfW 70 Standardgebäude [€/m ² _{Nutzfläche}]	
	von	bis
Gebäudehülle	50	80
Wohnungslüftung	30	50
Warmwasser	0	10
Wärmepumpe	35	50
Haushaltsgeräte	5	10
Photovoltaik	80	90
Elektrobatterie	30	35
Gesamtkosten	230	325

Bei zusätzlich installierten Photovoltaikflächen zur Unterstützung der Elektromobilität erhöhen sich die Investitionen entsprechend.

Verminderte Betriebskosten

Die Betriebskosten für ein durchschnittliches Einfamilienhaus im KfW-Effizienzhaus 70 Standard können je m² Nutzfläche mit etwa 8 €/a für die Wärmeerzeugung und etwa 10 €/a für den Strombedarf, also 18 €/a je m² Nutzfläche abgeschätzt werden.

Bei einem Effizienzhaus-Plus, welches gerade geringfügig mehr Solarstrom produziert wie es an Strombedarf aufweist, lassen sich aufgrund der derzeitigen Einspeisevergütung die Betriebskosten auf 0 €/a reduzieren. Dies ergibt sich aus der Eigenverbrauchsvergütung (0,35 x 12,43 ct/kWh) und der Einspeisevergütung (0,65 x 26,4 ct/kWh), welches eine Stromgutschrift von 17,6 ct/kWh Strombedarf ergibt. Dieser Gutschrift stehen Bezugskosten für den Reststrombedarf aus dem Netz von (0,65 x 26 ct/kWh) 17,6 ct/kWh Strombedarf gegenüber.

Mit den Zusatzinvestitionen von 230 bis 325 €/m² lassen sich jährliche Betriebskosten in Höhe von 18 €/m² einsparen. Dies entspricht einer statischen Amortisationszeit von 12 bis 18 Jahren. Hierbei ist zu beachten, dass sich mit abnehmender Einspeisevergütung die wirtschaftlichen Verhältnisse verschlechtern. Ferner ist bei der Betrachtung zu beachten, dass sich die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu Ungunsten des Solarsystems entwickeln können, da die Gleich- und Wechselrichter sowie die Batterien kürzere Lebensdauern aufweisen als die klassischen Heizsystemkomponenten in einem Niedrigenergiegebäude im KfW-Effizienzhaus 70 Standard. Dennoch zeigt der Vergleich, dass die zu investierenden Mehrkosten sich bereits heute zumindest am Rande der Wirtschaftlichkeit bewegen.

8. Zusammenfassung

Energieeffizienzsteigerung im Gebäudebereich nimmt in Deutschland eine Schlüsselposition im Energiekonzept der Bundesregierung ein. Hierzu sind große Anstrengungen erforderlich, allerdings zeigen die Entwicklungen, dass es bereits heute technisch möglich ist, die politischen Zielwerte zu erreichen. In den nächsten Jahren geht es jetzt darum, die Wirtschaftlichkeit der Lösungen zu verbessern und so die Konzepte zu einer breiten Marktdurchdringung zu führen.

Kapillaraktive Innendämmsysteme – Technologieentwicklung und Anwendung



Dr.-Ing. Rudolf Plagge
Institut für Bauklimatik / TU Dresden
Leiter des IBK Forschungs- und Entwicklungslabors
D- 01069 Dresden, Zellescher Weg 17
rudolf.plagge@tu-dresden.de

Die Möglichkeit, den thermischen Standard denkmalgeschützter Gebäude mittels Innendämmung zu verbessern und gleichzeitig die Behaglichkeit für die Nutzer deutlich zu erhöhen, eröffnet eine Fülle von Perspektiven. Zum einen kann durch die thermische Sanierung ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung des Kyoto-Zieles erzielt werden - wodurch der volkswirtschaftliche Nutzen erheblich ist. Zum anderen führt die Dämmung zu einer Anhebung der Behaglichkeit und trägt damit zu einer Wertsteigerung der alten Gebäude, als auch zur Attraktivitätssteigerung des Wohnumfeldes bei. Aus unterschiedlichen Gründen ist die Innendämmung häufig die einzig sinnvolle Maßnahme zur Verbesserung des Wärmedämmstandards. Neben ästhetischen Aspekten, wie dem Erhalt wertvoller Stuck-, Schmuck oder Klinkerfassaden, können auch bautechnische Vorgaben, wie die Einbehaltung eines Mindestgrenzabstandes oder bei Reihenhäusern die Beibehaltung einer ungestörten Fluchtlinie der Außenfassade, eine Außendämmung undurchführbar machen. Eine Innendämmung kann aber auch bauphysikalisch vorteilhaft sein, z.B. bei temporär genutzten Räumen (Versammlungsräume, Kirchen, Schulen, Festsäle, etc.) Hier ermöglicht eine Innendämmung ein deutlich schnelleres und energieeffizientes Aufheizen von Räumen.

1. Wärmedämmsysteme für die Innendämmung

Im Zuge der Bestrebungen zur thermischen Sanierung unserer Baudenkmäler wird seit über 20 Jahren der Einsatz von Innendämmungen verstärkt bautechnisch untersucht. Besonderes Augenmerk kommt in diesem Zusammenhang der zu erwartenden Feuchtigkeitsanreicherung im Wandquerschnitt zu. Je nach Ausführung einer Innendämmung bestehen zwei prinzipielle Möglichkeiten dem Feuchteproblem zu begegnen:

Diffusionsbremsende Innendämmsysteme: Bei diesen Innendämmsystemen wird der Dampfdiffusionsstrom in die Wand hinein behindert. In der Regel werden dabei Dampfsperrende bzw. Dampfbremsende Folien, dichtende Innenputze oder annähernd diffusionsdichte Dämmschäume verwendet. Der positiven Eigenschaft der Vermeidung einer Kondensation im Bauteilinneren steht die Behinderung von Austrocknungsvorgängen z.B. von Schlagregen entgegen. Auch erfordert die praktische Umsetzung an Bauteilanschlüssen, -durchdringungen sowie -verformungen (z.B. Balkenköpfe von Holzbalkendecken) eine besondere Ausführungsqualität, die in der Praxis nur schwer umgesetzt werden kann.

Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmsysteme: Diese Systeme erlauben eine Dampfdiffusion in die Wand, puffern die anfallende Feuchtigkeit weg und transportieren die Feuchte in flüssiger Form aus der Kondensationszone zurück in den Innenraum. Die Feuchtebelastung der Wand wird dabei nachhaltig reduziert. Die hygroskopische Speicherfähigkeit einer diffusionsoffenen, kapillaraktiven Innendämmung puffert Feuchtespitzen der Innenraumluft und trägt zur Regulierung des Innenklimas bei. Die Kapillaraktivität sorgt dabei für eine schnelle und großflächige Verteilung der Feuchte in der Dämmung während der Winterperiode. Dadurch wird die Trocknung beschleunigt und die Dämmwirkung verbessert. Entscheidend für die Funktionsfähigkeit und die Performance der Innendämmung ist dabei das Wechselspiel zwischen Feuchtepufferung, Dampf- und Flüssigwassertransport. Da die Feuchtigkeit sowohl im hygroskopischen, als auch im überhygroskopischen Bereich gepuffert und transportiert wird, erfordert die Beurteilung einer Innendämmung die genaue Kenntnis dieser Größen und macht aufwendigere Messungen als gewöhnlich erforderlich. In der nachfolgenden Abbildung 1 ist das Wirkprinzip der kapillaraktiven Innendämmung dargestellt.

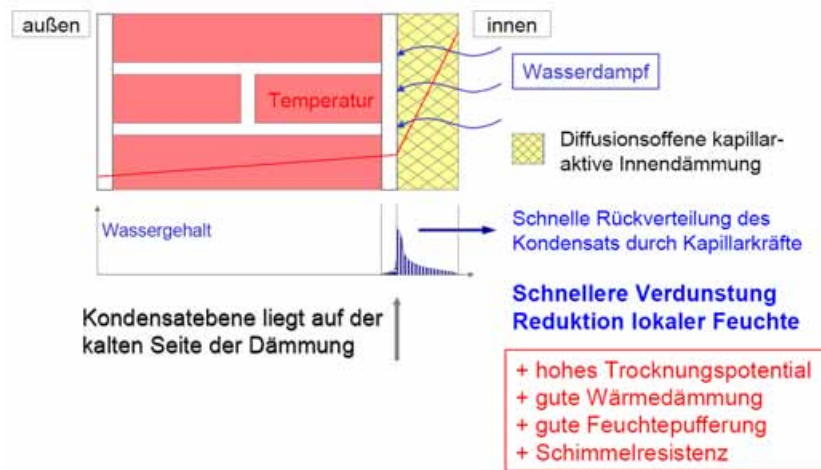


Abbildung 1. Wirkprinzip der kapillaraktiven Innendämmung: Aufgrund der bestehenden Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenwand diffundiert Wasserdampf in die Konstruktion. An der Stelle, wo der Taupunkt erreicht wird, kondensiert der Wasserdampf und akkumuliert im Porenraum des Dämmstoffes. Aufgrund der nach innen gerichteten Kapillarkräfte und dem Vermögen Wasser in seinen Poren zu leiten, transportiert der Dämmstoff das Kondenswasser zurück an die Innenoberfläche, von wo aus das Wasser in den Raum abgegeben wird.

2. Produktentwicklung

In den letzten 20 Jahren sind zahlreiche Dämmsysteme entwickelt und für den Einsatz als Innendämmung optimiert worden. Bei den Diffusionsbremsenden Systemen zielt die Entwicklung in Richtung einer Reduzierung des Dämmwertes und in die Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Foliensystemen. Bei den Diffusionsoffenen, kapillaraktiven Systemen ist die Multifunktionalität das zentrale Entwicklungsziel. Hier ist der Entwicklungsaufwand umfangreich, da neben der Dämmwertverbesserung, die Feuchtere regulierung, die Integration von Brand- und Schallschutzfunktionen, sowie die Anknüpfung an die Bestandskonstruktion eine zentrale Rolle spielen. Diese

Multifunktionalität mündet in einen Optimierungsprozess, so dass abhängig von der Anforderung an die Innendämmung, unterschiedliche Innendämmsysteme sinnvoll eingesetzt werden können.

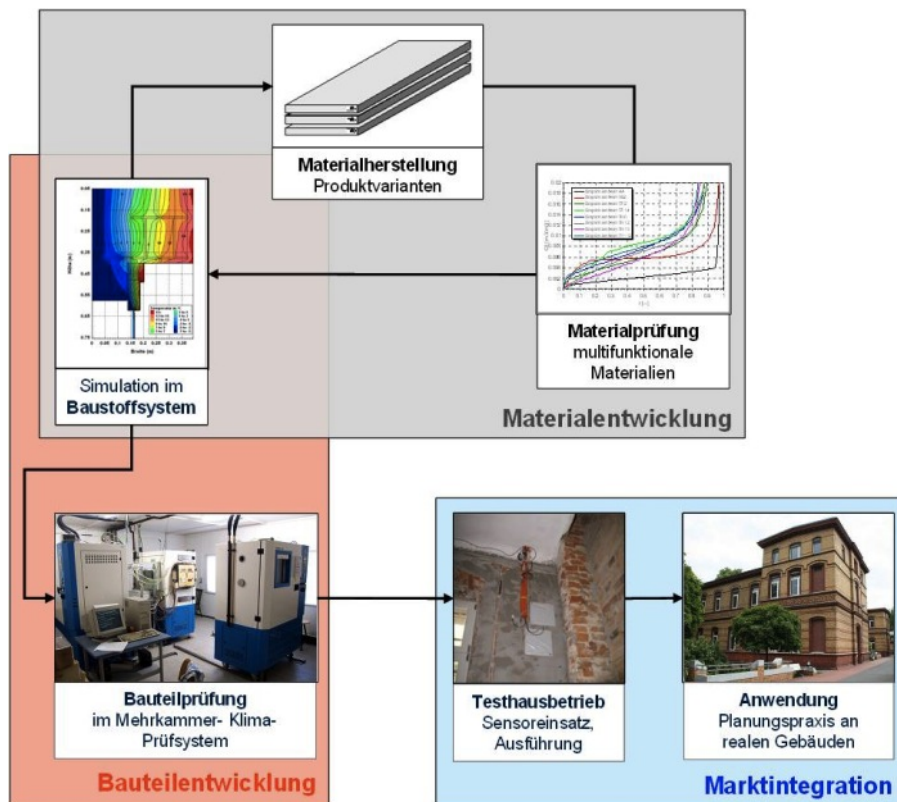


Abbildung 2: Produktentwicklung am F&E-Labor des IBK in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Baustoffhersteller. Die Phasen der Materialentwicklung werden mehrfach durchlaufen, bis ein geeignetes Produkt optimiert ist. Anschließend erfolgen die Bauteilentwicklung und die Marktintegration über Testhäuser und Anwendungen.

1.1. Optimierungszyklen

Phase 1: Der Baustoffhersteller stellt geeignete Produktvarianten für das Innendämmsystem her. Dabei werden sämtliche Komponenten des Systems betrachtet (Variation der Materialkomponenten und Zuschlagsstoffe, Herstellungsverfahren etc.)

Phase 2: Messung der hygrothermischen Materialparameter der verschiedenen Produktvarianten mit modifizierten Eigenschaften. (Einsatz moderner Technologien zur Erfassung der hygrischen und thermischen Eigenschaften, die in Verbindung mit einem physikalischen Materialmodell realistische Materialfunktionen liefern.)

Phase 3: Verwendung der Materialfunktionen in der numerischen Simulation und die Analyse ausgewählter konstruktiver Details. Der Vergleich der

Produktvarianten untereinander ermöglicht Aussagen über die erzielten Fortschritte der Materialentwicklung. (Benchmarkuntersuchungen)

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen und der numerischen Simulation werden dem Materialhersteller für die weitere Ausrichtung der Materialentwicklung wieder zur Verfügung gestellt. Positive Entwicklungsschritte werden weiterverfolgt. Dieser Materialoptimierungszyklus wird wiederholt, bis die Abstimmung der genannten Materialparameter ein Optimum darstellt.

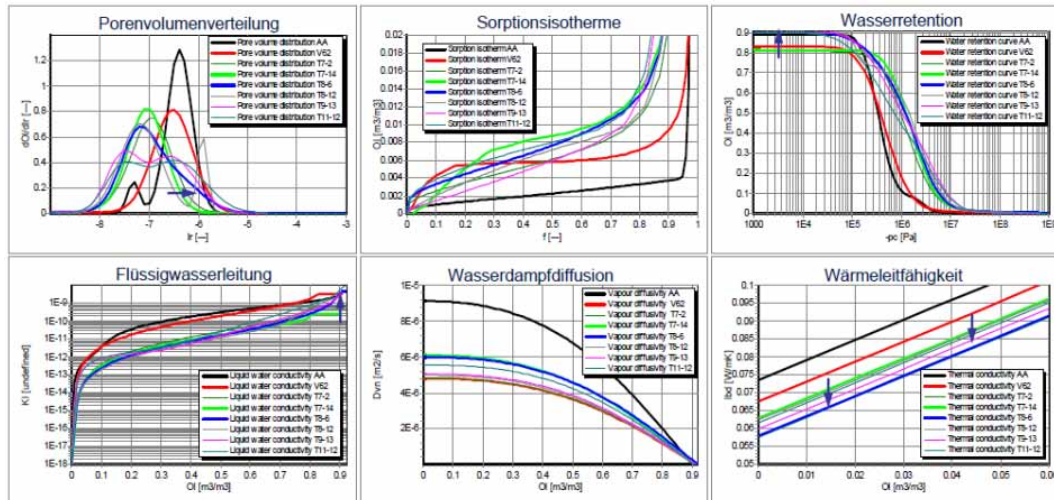


Abbildung 3. Hygrothermische Materialfunktionen von Produktvarianten. Beispiel der Produktentwicklung der Calciumsilikat Klimaplatte des Baustoffherstellers Calsitherm (die blaue Kurve entspricht dem optimierten Produkt).

1.2. Produkttestphasen

Phase 4: In dieser Phase wird das optimierte Produkt experimentell getestet. Diese Experimente dienen der Verifizierung der Materialkomponenten und Bauteile und liefern den Nachweis der Funktionsfähigkeit des Innendämmsystems. (Bauteilentwicklung und Bauteilprüfung)

Phase 5: Zur Markintegration wird nach dem Abschluss der Entwicklungsphase Innendämmsystems in einem Testhaus verwendet. Die Funktionalität des Dämmsystems wird neben der handwerklichen Ausführbarkeit vor Ort unter realen Bedingungen getestet. (Messung der hygrothermischen Zustände mit geeigneten Sensoren an ausgewählten Positionen in der Konstruktion: Temperatur, rel. Luftfeuchte, Stofffeuchte, etc., sowie die klimatischen Randbedingungen Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Strahlung, Schlagregen, etc. Weiterbildung von Anwendungstechnikern des Baustoffherstellers)

Das Feuchte- und Temperaturverhalten der untersuchten Testhäuser wird parallel dazu mit Hilfe der Software DELPHIN unter Verwendung der vor Ort gemessenen Klimadaten berechnet. Stimmen die Ergebnisse der Simulation mit den Messdaten überein, so bildet die Simulationssoftware mit den implementierten physikalischen Modellen die ablaufenden Prozesse ab. Die

Materialfunktionen können dann zur Bewertung von beliebigen Wandaufbauten verwendet werden. Eine umfassende Bewertung der Produktsicherheit kann somit getroffen werden.

In einem letzten Schritt wird das Innendämmsystem bei Sanierungen angewendet und die Planung und Umsetzung begleitet. (Baupraktische Einführung)

1.3. Hygrothermische Beurteilungsmöglichkeiten von Wandkonstruktionen.

Um den dauerhaften Erfolg einer energetischen Gebäudesanierung zu gewährleisten muss der Feuchteschutz bei der Sanierungsplanung a priori berücksichtigt werden. Dabei sind unter anderem die Tauwasserbildung, Schlagregenbelastung, aufsteigende Feuchte und eingebrachte Baufeuchte und Wärmebrücken einer Konstruktion besonders zu beachten. Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft die Kompatibilität von Innendämmsystem und Untergrund. Soll ein funktionsfähiges Innendämmsystem zum Einsatz kommen, sind vielschichtige Dinge zu beachten. Die Innendämmung sollte so dimensioniert werden, dass die Oberflächenkondensation vermieden und die innere Kondensation limitiert wird, wobei das Austrocknungspotential erhalten bleibt. Für den Planer stehen zurzeit Berechnungsverfahren (z.B. COND) und Simulationsprogramme (z.B. Delphin) als Planungswerkzeuge zur Verfügung. Der Einsatz dieser Planungswerkzeuge setzt die Kenntnis der jeweils erforderlichen Baustoffkennwerte voraus. Für neue Baustoffe sind die Hersteller in der Regel bereit, für ihr Material die notwendigen Kennwerte, soweit sie noch nicht vorhanden sind, bestimmen zu lassen. Für den Altbaumaterialien kann auf Materialdatenbanken (z.B. MASEA) zurückgegriffen werden.

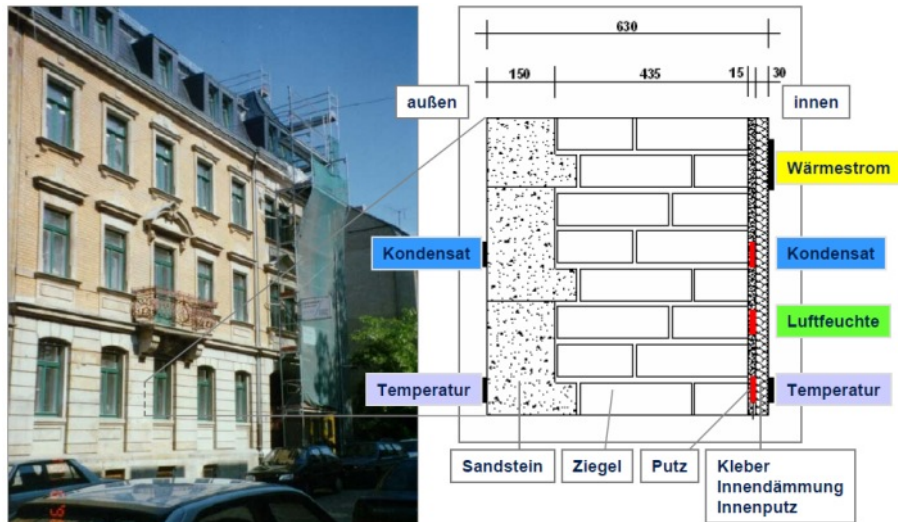
3. Vergleich von Innendämmsystemen anhand von Objektbeispielen

Oberste Prämisse bei der energetischen Sanierung denkmalgeschützter Konstruktionen ist die nachhaltige Funktionsfähigkeit der Gebäude. Dabei ist dem Feuchteschutz vor dem Wärmeschutz Priorität zu geben. Manche Konstruktionen sind sehr sensibel, so dass es angebracht ist die energetische Sanierungsmaßnahme wissenschaftlich zu begleiten.

3.1 Objektbeispiel: Gründerzeithaus in der Dresdener Neustadt

Einige Vergleiche von Mess- und Rechenergebnissen werden nachfolgend am Beispiel eines Gründerzeithauses in der Dresdner Neustadt gezeigt (Abbildung 5.0.2). Die typische Fassade des Wohnhauses mit Klinkermauerwerk und Sandsteinverblendung steht unter Denkmalschutz. Eine Erhöhung des Wärmeschutzes kann somit nur durch eine Innendämmung erfolgen, wobei hier ein kapillaraktiver Dämmstoff, die Calciumsilikat-Klimaplatte zum Einsatz kommt. Der Einsatz von Messtechnik ermöglicht dabei die Erfassung wichtiger hygrothermischer Leistungsparameter, wie die Verminderung der

Transmissionswärmeverluste und die Kontrolle des Feuchteverhaltens und erlaubt eine Bewertung von energetischen Sanierungskonzepten. Die Messergebnisse dienen der Validierung bestehender physikalischen Modelle im Simulationsprogramm und belegen die Möglichkeit einer zeitlichen Vorhersage des hygrothermischen Verhaltens.



Wandquerschnitt und Lage der Messpunkte im Erdgeschoss

Abbildung 4: Messanordnung im Wandquerschnitt am Gründerzeithaus in der Dresdner Neustadt

Die Abbildung 4 zeigt die Position und Anordnung der Sensoren: Luftfeuchte-, Kondensat- und Temperaturfühler in der kritischen Zone, die also in der potentiellen Kondensatebene auf der Kaltseite der Wärmedämmung installiert wurden. Der Wärmestromsensor befindet sich auf der Innenwandoberfläche. Zusätzliche Kondensat- und Temperaturfühler erfassen das wandnahe Mikroklima auf der Außenseite der innen gedämmten Wand. Die hygrothermischen Verhältnisse im Wandquerschnitt werden unter Verwendung der vor Ort gemessenen Klimarandbedingungen mit dem Programm DELPHIN numerisch nachsimuliert. Der Vergleich zwischen den Messdaten und den berechneten Temperaturen in der Kondensationszone liefert eine hinreichend gute Übereinstimmung, wie auch die Wärmeströme über die Innenwandoberfläche.

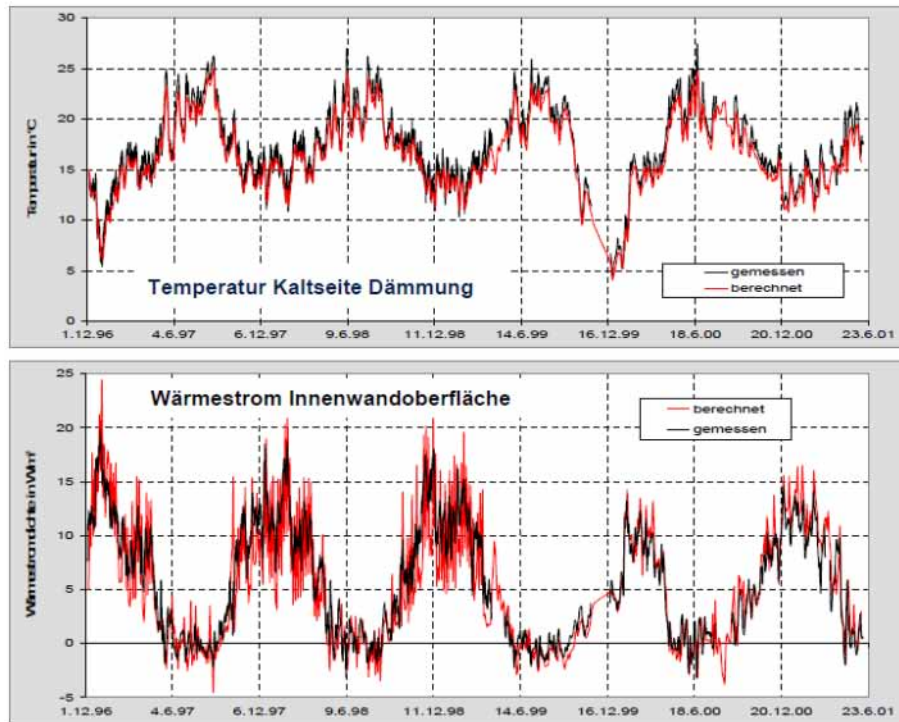


Abbildung 5: Vergleich gemessener und berechneter (Simulationsprogramm Delphin) zeitlicher Verläufe der Temperatur in der Kondensatebene (oben), der Wärmestromdichte über die Innenwandoberfläche (unten).

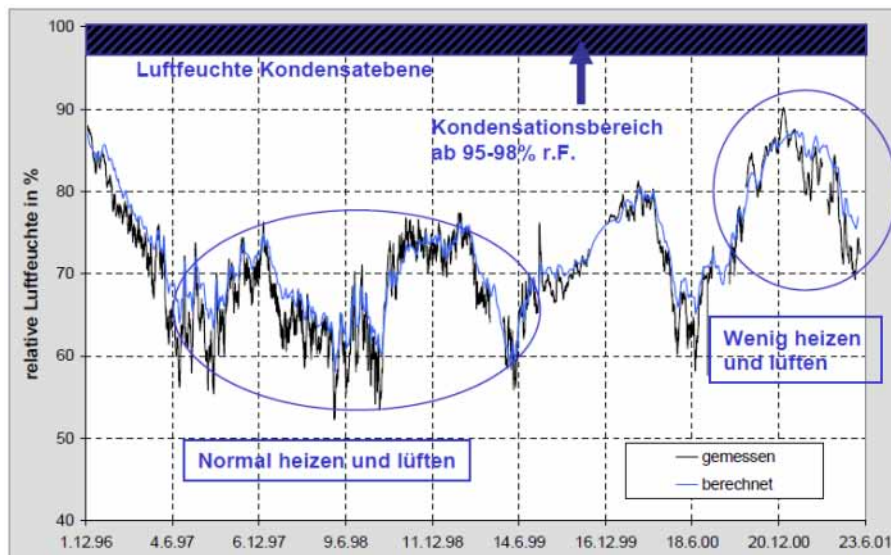


Abbildung 6: Vergleich gemessener und berechneter zeitlicher Verläufe der relativen Luftfeuchte in der Kondensatebene.

Im Vergleich der gemessenen und berechneten Luftfeuchten fällt auf, dass die Kurven während der gesamten Zeit unter 90% liegen. Der Kondensationsbereich beginnt bei 95%. Es ist davon auszugehen, dass an dem betrachteten Wandquerschnitt keine Kondensatproblematik auftritt, was sowohl auf eine

angemessene Dämmstoffdicke zurückzuführen ist – mit zunehmender Dämmstoffdicke sinkt die Temperatur auf der Kaltseite der Dämmung und das Kondensationsrisiko steigt – als auch durch die Wirkung des instationären Klimas erklärbar ist.

3.2 Objektbeispiel: Hampel- und Schinkelspeicher

Nach dem Entwurf Karl Hampels wurde unter Mitwirkung Karl Friedrich Schinkels von 1834 – 35 das 4-geschossige Kornmagazingebäude als Holzfachwerkbau nachträglich mit rotem Backstein verblendet errichtet. 10 Jahre später erfolgte die Aufstockung des Gebäudes an den Eckbereichen. Jeweils die letzten drei Fensterachsen wurden turmartig mit einem weiteren Geschoss aufgestockt. Die qualitativ bemerkenswerte Gestaltung dieses frühen Industriebaus lässt dieses Gebäude als ein bauhistorisch äußerst wertvolles erscheinen.

Aus der allgemeinen Beschreibung der Gebäudekonstruktion geht hervor, dass der Speicher ein Holzfachwerkbau ist. Zur Reduzierung des Schlagregeneintrages ist der Bau nachträglich mit rotem Backstein verblendet worden. Infolge zu hoher Schlagregeneinträge versah Schinkel die Fassade seinerzeit mit einem Wasser abweisenden transparenten Anstrich, wobei die Aufstockung an den Eckbereichen mit einer Schlämmverfugung ausgeführt worden sind. Bei der Planung der Innendämmung wird der spezifischen Situation des Speichers Rechnung getragen. So kommt ein speziell auf den Holzfachwerkbau abgestimmtes, diffusionsoffenes Wärmedämmlehm- Kork-Kieselgur System zum Einsatz. Innenseitig ist 12mm mächtig ein Feuchteregulierungsputz auf Schilfrohrabitz aufgetragen. Die energetische Bewertung der gesamten Konstruktion weist dem gewählten Aufbau den EnEV-Standard 2007 minus 28% zu.

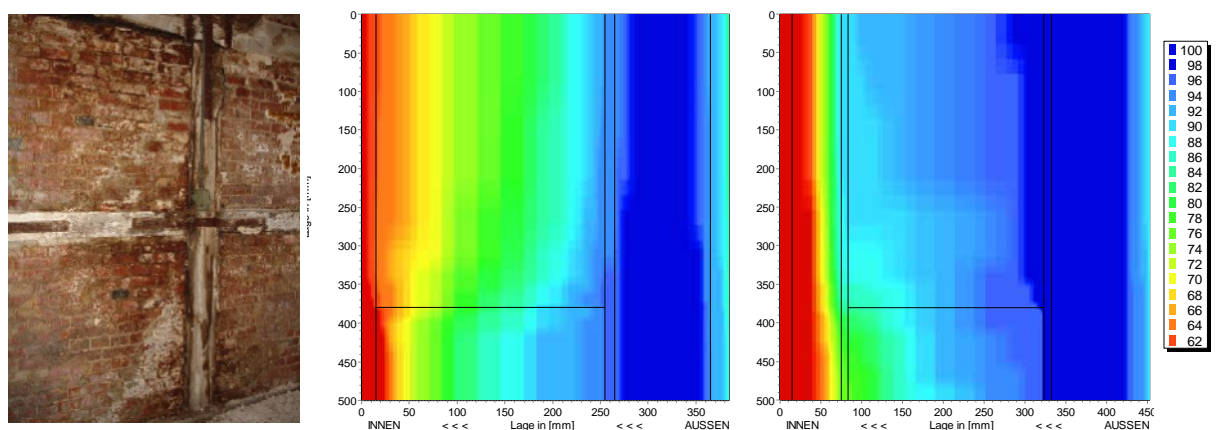


Abbildung 7: Photo Schinkelspeicher, links alte Innenwand und Holzfachwerkbau; Feld der relativen Luftfeuchte zum Zeitpunkt der maximalen Feuchtebelastung: Mitte ungedämmt, Rechts mit 80mm Wärmedämmlehm Korkdämmung bei Schlagregenbelastung (Simulationsrechnung).

Eine anschauliche Darstellung der hygrischen Situation vermittelt Abbildung 7 für die Bestands- und gedämmte Situation. Gedämmte Wandaufbauten sind nahe

der Innenwandoberfläche relativ trocken, werden aber nach außen hin zunehmend feuchter. Infolge der Dämmung gelangt weniger Wärme in die Konstruktion, wodurch eine Verdunstung eingeschränkt wird. Bei einer Schlagregenbelastung kann die eingedrungene Feuchte während der kalten Jahresbedingungen nicht mehr abtrocknen und die Frostgefährdung für den historischen Ziegel steigt. Daher wird in Anlehnung an Schinkel der Regeneintrag über eine Oberflächenbehandlung reduziert. Da ein klassischer Schlagregenschutz mit historischen Anstrichen kaum planbar ist, wird eine hydrophobe Imprägnierung mit einer Silan- Siloxancreme für die Wandbereiche und eine Ziegelschlämmverfugung für die Turmbereiche adaptiert. Defekte Fugen werden im Vorfeld entfernt und mit einem geeigneten, farblich abgestimmten Fugenmaterial neu verfugt. Die Adaption der hydrophoben Imprägnierung erfolgt nach Heinze et. al. (2010) durch eine Anpassung der Konzentration des Hydrophobierungsmittels auf den jeweiligen Ziegel und dem Optimierungsziel diffusionsoffen mit optimalem Austrocknungsvermögen bei hinreichendem Schlagregenschutz.

3.3 Objektbeispiel: Boelkespeicher

Das Hafermagazin und der sich in der Längsachse anschließende Fourageschuppen wurden 1844 nach dem Entwurf des Baumeisters Boelke erbaut. Boelke entwickelte eine antikisierende Giebelfront mit einem klaren regelhaften, dreizonigen Aufbau mit farbig eingelegten, horizontalen Ziegelschichten nach dem Vorbild der Renaissance. Beide Gebäude sind als Ensemble konzipiert, die sich jedoch aufgrund von unterschiedlichen Volumina und architektonischer Gestaltung unterscheiden. Das Magazin 5 (Hafermagazin) ist als 4-geschossiges Mauerwerksgebäude konzipiert mit einer Decken- und Stützenkonstruktion aus Holz sowie einem Krüppelwalmdach. Das Magazin 7 wurde als 1-geschossige Halle mit Speicherboden und Satteldach ausgeführt.

Beispiel Ziegeldecke Keller über KG

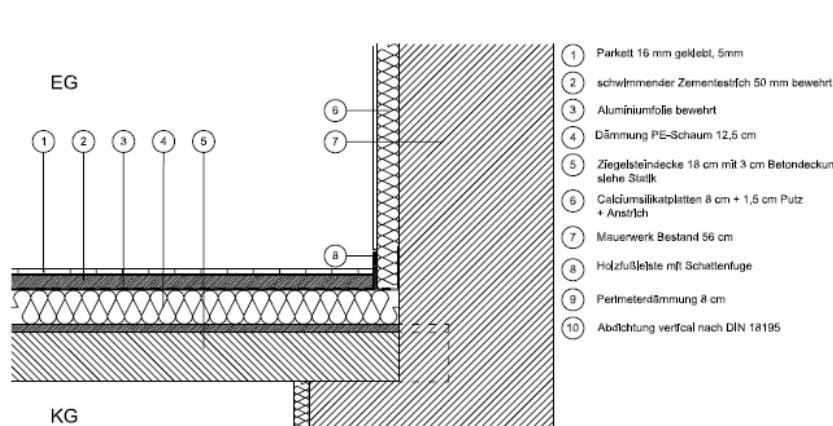


Abbildung 8: Detail Deckenaufbau KG/EG Außenwand der Architektin Frau Mohr vom 04.09.2008

Für dieses Detail werden nachfolgend die Nachweise des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108 Teil 2 Abschnitt 6.2 zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung geführt, als auch die Simulation unter Realklimabedingungen. Der Vergleich der Graphiken in Abbildungen 9 verdeutlicht, dass Unterschiede zwischen dem in der Norm definierten Klima und den realen Klimabedingungen besteht. Das in der Norm definierte Klima mit -10°C über einen Zeitraum von 60 Tagen repräsentiert in den wenigsten Fällen die realen Bedingungen. Mit Hilfe der numerischen Simulation werden Strahlung (solare Gewinne, langwellige Abstrahlung) und Niederschläge (Schlagregen, Windrichtung und Windgeschwindigkeit) bei der Berechnung berücksichtigt.

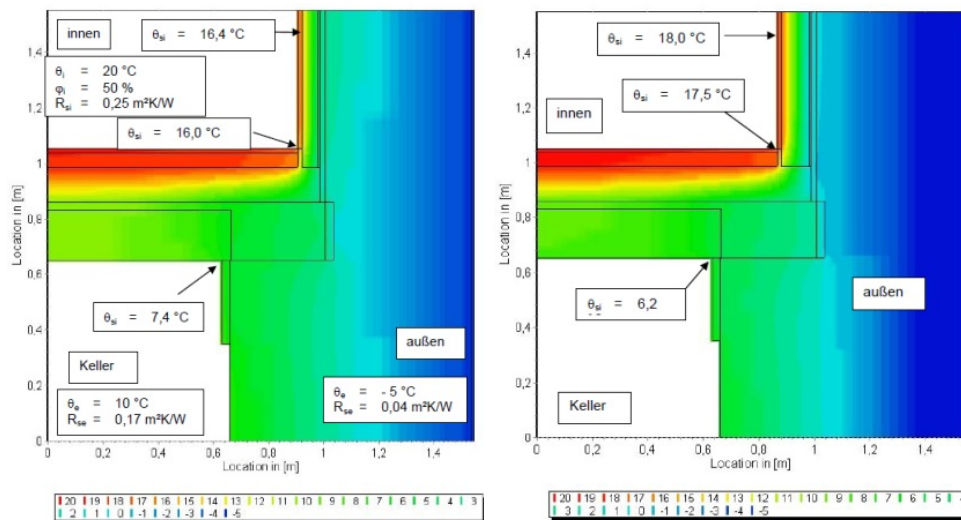


Abbildung 9: Temperaturfeld, Oberflächentemperatur in $^{\circ}\text{C}$, Außenwand (56 cm) mit 6 cm Calciumsilikat, Randbedingungen nach DIN 4108 Teil 2 (links) und Randbedingungen mit Außenklima Potsdam (rechts) durchgeführt.

In Abbildung 9 Realklima wird der klimatisch ungünstigste Tag (2. Januar) abgebildet. Jedoch liegen für den gesamten Berechnungszeitraum (in der Regel von 3-5 Jahren) kontinuierliche Informationen vor. Somit wird es möglich beliebige Zeitpunkte und damit Ereignisse im Detail zu bewerten. Da als Berechnungen beliebige Zustandsgrößen ausgegeben werden, ist es möglich nicht nur Temperaturen, sondern auch Wassergehalte, Luftfeuchte, Wärmeflüsse, Feuchtflüsse (flüssig oder dampfförmig) etc. abzubilden. In der nachfolgenden Abbildung 10 wird die Luftfeuchte der Konstruktion am 22. April dargestellt.

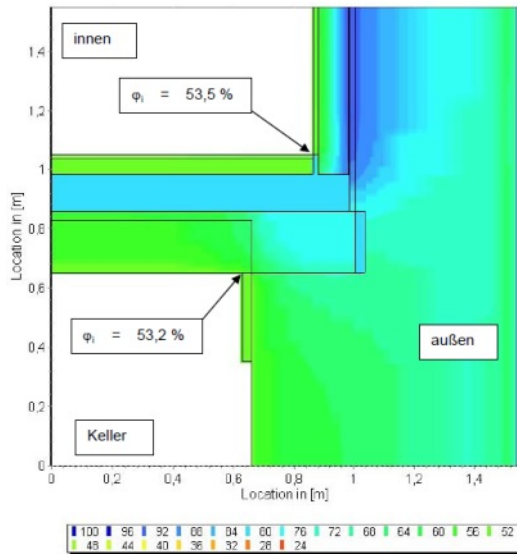


Abbildung 10: Rel. Luftfeuchte am 22. April, Randbedingungen mit Außenklima Potsdam

Entgegen dem Aufbau im Konstruktionsdetail (Abbildung 8) wurde im Bereich des Deckenaufagers mit einer Randdämmung $d = 3$ cm aus PS-Schaum gerechnet, was die konstruktiv günstigere Variante darstellt und auch praxisüblich ist, um unterschiedliche Ausdehnungen der Materialien infolge Temperatur sowie Deckenbewegungen abzupuffern. Außerdem sollte unter dem Deckenaufleger eine Trennlage aus Bitumenpappe als Trennlage eingebaut werden, die auch nicht im Detail enthalten ist. Das Feld der relativen Luftfeuchte in Abbildung 10 zeigt an, dass im Innenbereich keine schädigende Feuchte auftritt. Höhere relative Feuchte ist im Kondensatbereich der Innendämmung zur Ziegelwand anzutreffen. Jedoch kann die Feuchte sowohl nach innen, wie auch nach außen abtrocknen.

In den Abbildungen 12 und 13 werden exemplarisch die Temperatur und Luftfeuchte in der Ecke des Wandanschlusses für 2 unterschiedliche Dicken dargestellt. Mit zunehmender Dämmstoffdicke wird die Oberflächenfeuchte während der Wintermonate reduziert. Das Verhalten der Temperatur im Eckbereich zeigt die Abbildung 11. Im Verlauf eines Jahres treten die niedrigsten Temperaturen am 2. Februar auf. Zu allen anderen Zeitpunkten liegen höhere Temperaturen vor.

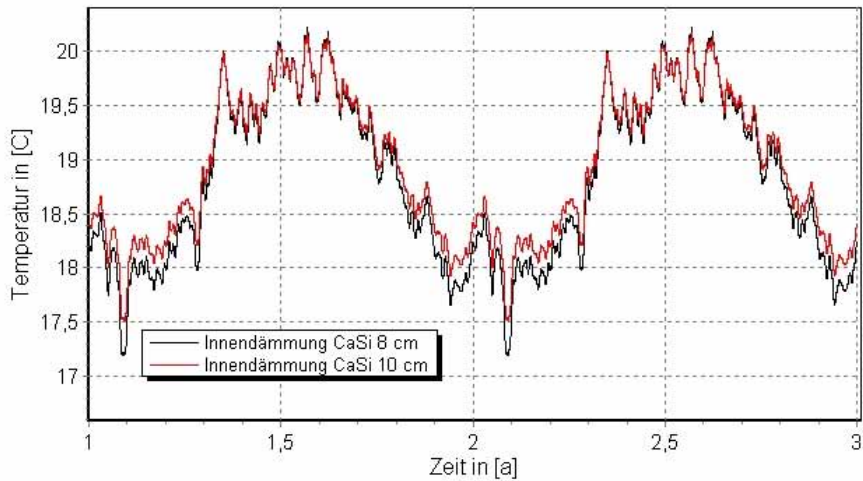


Abbildung 11: Oberflächentemperaturen (innen) in der Ecke des Wandanschlusses der 56 cm starken Außenwand im Mag.5, mit Innendämmung 8 und 10 cm Calciumsilikat, Außenklima – Potsdam – dargestellt das 2te und 3te Berechnungsjahr mit Beginn: 1. Januar.

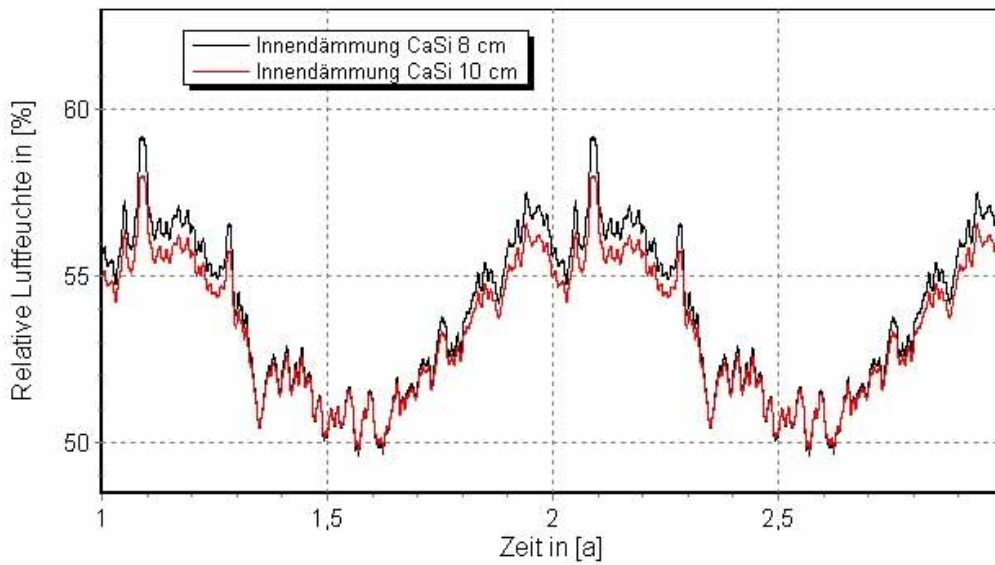


Abbildung 12: Rel. Luftfeuchte (innen) in der Ecke des Wandanschlusses der 56 cm starken Außenwand im Mag.5, mit Innendämmung 8 und 10 cm Calciumsilikat, Außenklima – Potsdam – dargestellt das 2te und 3te Berechnungsjahr mit Beginn: 1. Januar

4. Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Energieeffizientes Sanieren muss nicht im Widerspruch zum respektvollen Umgang mit dem baukulturellen Erbe stehen. Der Einsatz neuer Materialtechnologien am Denkmal sollte durch eine erweiterte Bewertung der Sanierungsmaßnahmen begleitet werden, z.B. durch bauphysikalische Laboruntersuchungen und den Einsatz moderner Simulationswerkzeuge, wobei sowohl Aspekte des Denkmalschutzes, als auch der hygrisch- energetischen Gebäudesanierung zu beachten sind. Die Innendämmung an historischen Gebäuden stellt in mehrfacher Hinsicht eine Herausforderung dar. Sind die neuen Materialien mit der bestehenden Gebäudekonstruktion verträglich und inwieweit ist es sinnvoll, überhaupt eine Dämmung zu fordern? Wie hoch sind die energetischen Potenziale? Aber auch die Schadensrisiken müssen quantifiziert werden. Wie kann man die Nutzungsanforderungen mit dem Schutz der Gebäudehülle in Einklang bringen?

Die energetische Sanierung und Umnutzung bietet eine Chance die kulturhistorisch wertvollen Gebäude zu erhalten. Dazu ist die Planung einer auf die Konstruktionen abgestimmten Innendämmung erforderlich. Die exemplarisch aufgeführten Beispiele zeigen, dass für die Planungen die Themen:

- Auswahl und Dimensionierung einer Innendämmung,
- Feuchtebelastung der Konstruktion und Schlagregenschutz,
- Ausführung konstruktiver Details und Wärmebrücken sowie
- Sonderfälle, z.B. die Salzbelastung einer Konstruktion

von zentraler Bedeutung sind. Die Umsetzung dieser Planungen erfordert unbedingt den Einsatz spezieller Technologien, wie Messungen und Laboruntersuchungen zur Bauwerksdiagnose und Baustoffbewertung und die Methode der numerischen Simulation gekoppelter Feuchte- und Wärmetransportprozesse. Damit lassen sich aufsteigende Feuchte, Einfluss der Gravitation, Schlagregen, Einbaufeuchte unter natürlichen Klimabedingungen berücksichtigen und komplexe geometrische Details, wie Fensteranschlüsse oder Deckeneinbindungen bewerten und optimieren, Kondensationsbereiche und Wärmebrücken aufdecken und somit Bauschäden nachhaltig vermeiden.

Im vorliegenden Beitrag werden das Funktionsprinzip der kapillaraktiven Innendämmung erläutert und die zu einer Beurteilung erforderlichen Materialeigenschaften und Klimarandbedingungen definiert. Ferner wird der Einsatz von Innendämmsystemen am Beispiel Denkmal geschützter Konstruktionen vorgestellt. Zur Dimensionierung einer Dämmung und Risikoabschätzung wurde die Methode der numerischen Simulation der gekoppelten Feuchte- und Wärmetransportprozesse unter natürlichen Klimarandbedingungen gewählt.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die kapillaraktive Innendämmung einen großen Beitrag zur energetischen Sanierung der bestehenden Gebäudesubstanz leisten kann. In diesem Zusammenhang wird es erforderlich die hygrothermischen Materialfunktionen der Baustoffe zu kennen. Zur Dimensionierung und Risikoabschätzung liefert die Methode der numerischen Simulation einen wertvollen Beitrag.

Literatur

- [1] DIN 4108-2, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [2] DIN 4108-3, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- [3] DIN V 4108-4, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden . Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte.
- [4] DIN V 4108-7, Wärmeschutz im Hochbau. Teil 7: Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele.
- [5] DIN EN ISO 12570, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten. Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Trocknen bei erhöhter Temperatur (ISO 12570:2000); Deutsche Fassung EN ISO 12570: 2000.
- [6] DIN EN ISO 12571, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten. Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften (ISO 12571:2000); Deutsche Fassung EN ISO 12571:2000.
- [7] DIN EN ISO 14683, Wärmebrücken im Hochbau . Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient. Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte (ISO 14683:1999); Deutsche Fassung EN ISO 14683:1999.
- [8] EN 12114, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden . Luftdurchlässigkeit von Bauteilen. Laborprüfverfahren; Deutsche Fassung EN 12114:2000.
- [9] WTA Fachwerkinstandsetzung nach WTA, Band 1, Merkblätter 8-1 bis 8-9, Aedificatio-Verlag, Freiburg 2001
- [10] Grunewald, J. 1997: Diffuser und konvektiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen. 9) Dresdner Bauklimatische Hefte, Heft 3, Jahrgang 1997.
- [11] Grunewald, J. & R. Plagge 2000: Nichtisotherme Berechnung des Feuchtigkeitstransportes mit Hilfe des Programmes DIM 3.1. Internationale Zeitschrift für Bauinstadsetzen und Denkmalpflege, 6. Jahrgang, Heft 4, 2000.
- [12] Grunewald J., R. Plagge & P. Häupl 2001: Numerical and experimental investigation of Coupled Heat, Air, Moisture and Salt Transport Problems. ASHRAE 2001 Conference, Oak Ridge, USA.
- [13] Häupl, P., R. Plagge & H. Fechner 2001: Hygrische Materialfunktionen von porösen Baustoffen. Gesundheitsingenieur, Haustechnik - Bauphysik - Umwelttechnik, 122. Jahrgang, 305-316.

- [14] Heinze, P., R. Plagge & J. Engel 2010: Adaptive hydrophobe Imprägnierung schlagregenbelasteter Ziegelfassaden. Ed. H. Venzmer, Europäischer Sanierungskalender 2010, S. 251-259.
- [15] Jahn, J. 2005: Speicherstadt Potsdam, Konzept zur kulturvollen Entwicklung einer innerstädtischen Industriebrache. In: SELPH2 – Im Herzen des Europäischen Parlaments Green Hydrogen Initiative September 2005, 43 Seiten.
- [16] Kühnel Architekten 2007: Die Speicherstadt Potsdam. www.k-k-architekten.de
- [17] Künzel, H. M. 1998: Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen, in: BAUPHYSIK 20 (1998), Heft 1, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998, S. 18-23.
- [18] Lutz, P., R. Jenisch, H. Klopfer, H. Freymuth, L. Krampf & K. Petzold 1994: Lehrbuch der Bauphysik - Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand, Klima - 3. neub. Auflage Stuttgart - Teubner 1994, ISBN3-519-25014-4.
- [19] Plagge, R., J. Grunewald & P. Häupl 2006: Öko-effiziente Renovierung von historischen Gebäuden. WTA Almanach 2006 Bauinstandsetzen und Bauphysik - Restauration and Building- Physics, WTA Publications - ISBN 3-937066-05-5, 111-130.
- [20] Plagge, R. 2005: Hygrothermal Characterization of Building Materials. In: Study of moisture movement in building material and its simulation analysis, Seminar Book of Kyoto University, Katsura Campus, Japan, 20-41.
- [21] Plagge, R., F. Meissner & C. Conrad 2008: Messung, Beschreibung und Optimierung der hygrothermischen Eigenschaften des Cellco- Wärmedämmlehms. Pro Inno II Forschungsbericht 2008, 147 Seiten.
- [22] Ruisinger, U. & R. Plagge 2008: Fachwerk und Innendämmung - Die Austrocknung zum Innenraum als wichtiges Entscheidungskriterium. In: WTA-Kompendium "Fachwerkinstandsetzung nach WTA" Band 3 Fraunhofer IRB-Verlag 2008.
- [23] Plagge, R. 2009: Multifunktionale Wärmedämmstoffe - Eine neue Technologie und ihre Anwendung. In 3. Internationales Anwenderforum Energetische Sanierung von Gebäuden, ISBN 978-3-934681-92-7.
- [24] Plagge, R. 2011: Energetische Sanierung der Speicherstadt Potsdam – Schinkelspeicher, Boelkespeicher und Persiuspeicher. In: 1. Internationaler Innendämmkongress, ISBN 3-940117-07-0, 135-142.
- [25] Plagge, R. 2011: Abstimmung zwischen Feuchtezustand, Schlagregenschutz, Abtrocknung und Dämmkonzept am Beispiel der Elbphilharmonie Hamburg. In: Bauforschung und Baupraxis. ISBN 978-3-86780-216-1, 313-322.

Innendämmung, Holzbalkenköpfe und Kastenfenster in der Sanierung

Arch. Dipl.-Ing. Dr. Michael Grobbauer
Institut für Hochbau, TU Graz, mfgarchitekten Graz
Senior Researcher, Projektleiter
Graz
grobbauer@ihb.tugraz.at



Dipl.-Ing. Ulrich Ruisinger
Institut für Hochbau, TU Graz
Researcher
Graz
ruisinger@ihb.tugraz.at

Unter Mitarbeit von: Stefan Holper, Bsc; Severin Zimmer, Bsc.

1. Einleitung - Die Forschungsprojekte OEKO-ID und denkMALaktiv.

Der Wärmeschutz historischer Gebäude ist in der Regel durch folgende Defizite gekennzeichnet:

- Opake Gebäudehüllen weisen in Folge hoher Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe beträchtliche Transmissionswärmeverluste mit hohem Heizwärmebedarf, unbehaglich geringen Innenoberflächentemperaturen und Schimmelpilzgefahr auf.
- Der grundsätzlich gute Schall- und Wärmeschutz von Kastenfenstern wird durch undichte Fugen, Normalverglasung und die Konvektionswalze im Scheibenzwischenraum reduziert.
- Die hohen Wärmespeichermassen massiver Außenwände müssen auf behagliche Innenoberflächentemperatur erwärmt werden. Durch Innendämmungen werden diese Massen entkoppelt und der Heizwärmebedarf wird reduziert. Die Gefahr sommerlicher Überwärmung ist aufgrund der meist kleinen Fensterflächen und der Restspeichermassen von Innenwänden und Fußböden üblicherweise gering.

Das Institut für Hochbau der Technischen Universität Graz forscht an der Professur für Hochbau und Bauphysik in den Projekten OEKO-ID¹ und denkMALaktiv² (DMA) an diesen Themen.

2. Innendämmungen in der Sanierung

2.1. Gründe für den Einsatz von Innendämmungen

Bei der thermischen Sanierung innerstädtischer Bauwerke sind Außendämmungen oft aufgrund Denkmalschutz, Platzangebot, Baufluchtlinien oder des mit ihrem Einbau verbundenen Aufwandes nicht möglich. Innendämmungen stellen in solchen Fällen eine Möglichkeit dar, den U-Wert von Außenwänden um rund 50–70 % zu senken und die Innenoberflächentemperaturen zu erhöhen.

¹ OEKO-ID - Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung - Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen ökologischer, diffusionsoffener Dämmsysteme, Neue Energien 2020 1. Ausschreibung, Projektnummer 818908

² denkMALaktiv I - Sanierung alter, denkmalgeschützter Gebäude auf Aktivhaus-Standard? Neue Energien 2020 2. Ausschreibung, Projektnummer 821 201

Innendämmungen sind hinsichtlich des klimabedingten Feuchteschutzes wesentlich kritischer in Planung und Ausführung als Außendämmungen. Systeme mit Dampfsperren oder Dampfbremsen (konventionell und feuchteadaptiv) erfordern guten Schutz dieser Schichten während der Bauzeit sowie Nutzung und sind aufwändig herzustellen. Dampfsperren führen zu hoher Luftfeuchte im Innenraum. Diffusionsoffene, kapillaraktive Systeme weisen diese Probleme nicht auf und gewinnen aus folgenden Gründen zunehmend an Bedeutung:

- einfache Herstellung und höhere Fehlertoleranz
- grundlegendes Systemverhalten gut untersucht
- baupraktische Eignung vielfach nachgewiesen

Die Planung kapillaraktiver Innendämmungen erfordert mehr Sorgfalt und Verständnis für ihr Verhalten, als dies beim Einsatz vergleichsweise leicht zu beurteilender Dampfsperren und -bremsen der Fall ist.

2.2. Funktionsweise von kapillaraktiven Innendämmungen

An der Grenzfläche zwischen Innendämmsystem und Bestandsoberfläche bilden sich infolge Dampfdiffusion von innen und abnehmender Temperatur hohe Luftfeuchte und ev. Kondensat. Dabei findet Anlagerung von Wassermolekülen in den Poren (Sorptions) statt. Anfänglich verbleiben die Wassermoleküle aufgrund Adhäsion unbeweglich, bei zunehmender Schichtdicke des Wasserfilms beginnt Oberflächendiffusion. Bei nahezu gesättigten Poren und Kapillaren setzt Kapillarleitung in Richtung der geringeren Filmdicke bzw. des geringeren Wassergehaltes ein. Diese Transportprozesse können in umgekehrter Richtung zur Wasserdampfdiffusion stattfinden. Das tatsächliche Verhalten eines Bauteils hängt dabei von folgenden Faktoren ab:

- Einwirkende Klimate
- Temperaturverteilung in Folge von:
 - Wärmespeicherung
 - Wärmeleitfähigkeit
- Verteilung von Kapillardruck bzw. Wassergehalt, in Folge von:
 - Feuchtespeicherung
 - Wasserdampfleitfähigkeit
 - Flüssigwasserleitfähigkeit

Die bekannten Kenngrößen Wasseraufnahmekoeffizient (W - oder A_w -Wert) bzw. Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (μ -Wert) sind dabei lediglich Indikatoren für das generelle hygrische Verhalten eines Systems aber nicht ausreichend zu dessen Beurteilung. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge können Innendämmungssysteme nur durch Versuche und hygrothermische Simulationen ausreichend beurteilt werden. Dieser Umstand erschwert ihre Anwendung in der Praxis, weshalb Konstruktionsdetails mit Innendämmungen hinsichtlich ihrer generellen Eignung untersucht werden müssen. Als Simulationswerkzeug wird in den nachfolgenden Untersuchungen generell Delphin5 eingesetzt.

2.3. Ausgewählte Detailpunkte bei Innendämmungen

Kapillaraktive Innendämmungssysteme wurden in den letzten Jahren bezüglich ihrer grundlegenden Eignung vielfach untersucht. Anschlüsse und damit die Wechselwirkung zwischen Dämmsystem und einbindenden Bauteilen sind jedoch noch wenig reflektiert aber entscheidend für die generelle Eignung der Systeme. Im Projekt denkMALaktiv werden daher typische gründerzeitliche Detaillösungen in Kombination mit unterschiedlichen Innendämmungssystemen (Tab. 1) simuliert und bewertet. Dem Stand der Technik entsprechend wurden alle Systeme mit einer Dämmstoffdicke von 12 cm

berücksichtigt, wobei das System iQ-Therm lediglich in max. 8 cm verfügbar ist. Calsitherm 8 cm stellt aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes die thermisch ungünstigste Referenzvariante dar.

Bezeichnung	Erläuterung	Schicht	Dicke [m]	λ [W/mK]	μ [-]	R [m ² K/W]	s _d [m]	R _{IDS} [m ² K/W]	s _{d,IDS} [m]
Calsitherm CT12	mikroporöses offenporiges Calciumsilikatgerüst	Kleber	0,008	0,920	38,4	0,01	0,31	1,95	1,08
		Dämmung	0,120	0,063	5,4	1,90	0,65		
		Innenputz	0,010	0,282	12,1	0,04	0,12		
Multipor MP12	Dämmplatte aus Calciumhydrat-schaum, inhomogenes Porenspektrum	Kleber	0,008	0,192	13,1	0,04	0,10	2,95	1,04
		Dämmung	0,120	0,042	6,7	2,86	0,80		
		Innenputz	0,010	0,192	13,1	0,05	0,13		
Isocell-Cellulose ZL12	aufgespritzte, mit Bindemittel versehene Zelluloseflocken	Kleber	-	-	-	-	-	2,37	0,39
		Dämmung	0,120	0,052	2,5	2,31	0,30		
		Innenputz	0,015	0,225	6,2	0,07	0,09		
Calsitherm CT08	mikroporöses offenporiges Calciumsilikatgerüst	Kleber	0,008	0,920	38,4	0,01	0,31	1,31	0,86
		Dämmung	0,080	0,063	5,4	1,27	0,43		
		Innenputz	0,010	0,282	12,1	0,04	0,12		
iQ-Therm IQ08	Polyurethanschau mplatte, senkrecht zur Oberfläche stehende, mit kapillaraktiven mineralischen Mörtel verfüllte Kanäle	Kleber	0,008	0,497	18,7	0,02	0,15	2,62	2,45
		Dämmung	0,080	0,031	27,0	2,58	2,16		
		Innenputz	0,010	0,479	13,9	0,02	0,14		

Tab. 1. Übersicht über die Innendämmsysteme im Projekt denkMALaktiv

Die Simulationen wurden zum Darstellen kritischer Bedingungen mit einem mit der Software Meteonorm generierten kalten Außenklima mit Schlagregenbelastung durchgeführt. Das Innenklima wurde mit hoher Feuchtelast, angelehnt an EN 15026 jedoch mit einer minimalen relativen Innenraumluftfeuchte von 45 %, festgelegt. Die Simulationen wurden solange fortgeführt, bis der Jahresmittelwert der Gesamtwassermenge im Bauteil in allen nachfolgenden Jahren um nicht mehr als 1,5 ‰ schwankt (eingeschwungener, quasistationärer Zustand).

2.3.1. Generelles Verhalten der eingesetzten Systeme

Neben den in Tab. 1 dargestellten Faktoren Wärmeleitfähigkeit und Diffusionswiderstand stellt die Flüssigwasserleitfähigkeit den wichtigsten hygrischen Kennwert zur Beurteilung eines Systems dar. Dabei ist der maximale Wassergehalt abhängig vom zur Verfügung stehenden Porenvolumen. Flüssigwasser wird hier definiert durch das Überschreiten einer relativen Luftfeuchte von 95 % (überhygroskopischer Bereich) und stellt sich bei unterschiedlichen Dämmstoffen bei unterschiedlichem Wassergehalt ein.

Abb. 1 stellt die Kurve der Flüssigwasserleitfähigkeit der eingesetzten Dämmstoffe im Vergleich dar. Bei den materialhomogenen Dämmungen zeigt sich im qualitativen Vergleich, dass Cellulose auch bei sehr hohem Wassergehalt eine ausgezeichnete Flüssigwasserleitfähigkeit aufweist. Calsitherm verhält sich ähnlich aber nicht ganz so günstig. In beiden Fällen ist das auf die spezielle offenporige Struktur zurück zu führen, die nahe Sättigung einen sehr hohen Stofftransport ermöglicht. Multipor weist große geschlossene Poren mit geringer und eine umgebende Materialmatrix mit guter Flüssigwasserleitfähigkeit bis zu einem Wassergehalt von ca. 0,02 m³/m³ auf, bei dem bei Multipor der überhygroskopische Bereich erreicht wird. Wegen der hohen Feuchteleitfähigkeit im hygroskopischen Bereich bis 95 % Luftfeuchte entsteht in den

Berechnungen mit Multipor kein Kondensat. Die Hybriddämmplatte iQ-Therm verfügt über einen geringen kapillar aktiven Porenanteil von 9,3 %, der sich auf die mörtelgefüllten Kanäle beschränkt. Freie Sättigung wird daher bereits bei ca. 0,093 m³/m³ bei gleichzeitig hoher Flüssigwasserleitfähigkeit im hygroskopischen Bereich erreicht. Dieser geringe Wassergehalt führt dazu, dass das Verhalten dieses Dämmstoffs im Wesentlichen durch seinen vergleichsweise hohen Diffusionswiderstand bestimmt wird.

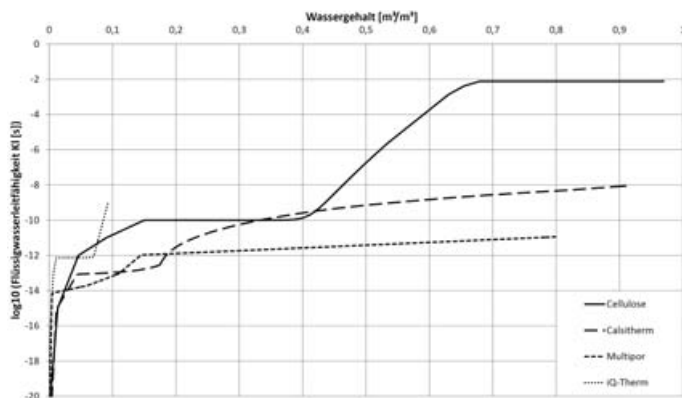


Abb. 1. Wassergehalt und Flüssigwasserleitfähigkeit der einzelnen Dämmstoffe

2.3.2. Verhalten der eingesetzten Systeme am ungestörten Wandaufbau

Als Vergleichsbasis für die Simulationen der einzelnen Detailpunkte wurde der ungestörte Wandaufbau mit 30 cm Rohbaudicke des Bestandsmauerwerks einer instationären Simulation bei gleichen Startbedingungen bis zum Erreichen des eingeschwungenen Zustands unterzogen, der im Regelfall nach dem dritten und beim System iQ-Therm aufgrund dessen hohen Diffusionswiderstandes im vierten Simulationsjahr erreicht wurde. Der Außenputz wurde ausreichend schlagregendicht angenommen.

	CT12	MP12	ZL12	CT08	iQ08
$\lambda =$	0,063	0,042	0,052	0,063	0,031
Wassermasse Bauteil Jahresmittel (flüssig + gasförmig) [kg]					
Startbed.	4,954	4,281	4,260	4,676	3,833
Jahr davor	5,961	4,418	5,396	5,591	4,538
eing. Jahr	5,973	4,418	5,397	5,593	4,551
Jahr danach	5,973	4,418	5,397	5,593	4,554
Simulationsjahr in dem der eingeschwungene Zustand erreicht wurde					
eing. Jahr	3	3	3	3	4

Tab. 2. Gesamtwassermasse des Bauteils und Simulationsdauer bis zum eingeschwungenen Jahr im ungestörten Wandbereich

Aus Abb. 2 lässt sich erkennen, dass beim System Multipor 12 die rel. Luftfeuchte in der Dämmung nicht über 76,4 % steigt und auch die Klebeschicht im hygroskopischen Bereich bleibt. Dies ist einerseits die Folge der hohen Flüssigwasserleitfähigkeit im hygroskopischen Bereich als auch des vergleichsweise hohen Diffusionswiderstands des Systems, was zur geringsten Gesamtwassermasse aller Systeme führt (s. Tab. 2).

Material	80 % relative Luftfeuchte	95 % relative Luftfeuchte
Kleber Calsitherm	12 Vol%	16 Vol%
Calsitherm	0,5 Vol%	3,7 Vol%
Isocell-Cellulose	1 Vol%	3 Vol%

Tab. 3. Sorptive Wasseraufnahme von Calsitherm, Calsitherm-Kleber und Isocell-Cellulose

Isocell-Cellulose 12 weist eine signifikant höhere Gesamtwassermasse aufgrund des geringeren Diffusionswiderstandes und der höheren Flüssigwasserleitfähigkeit an der oberen Grenze des hygroskopischen Bereiches im Vergleich zu Multipor auf, aber trotz geringeren Diffusionswiderstands eine geringere Gesamtwassermasse als Calsitherm. Dies ist Folge des unterschiedlichen Sorptionsverhaltens. Sowohl Dämmung als auch insbesondere Klebeschicht von Calsitherm sind durch eine höhere Wasseraufnahme als Cellulose (das System verfügt über keine Kleberschicht) gekennzeichnet (s. Tab. 3).

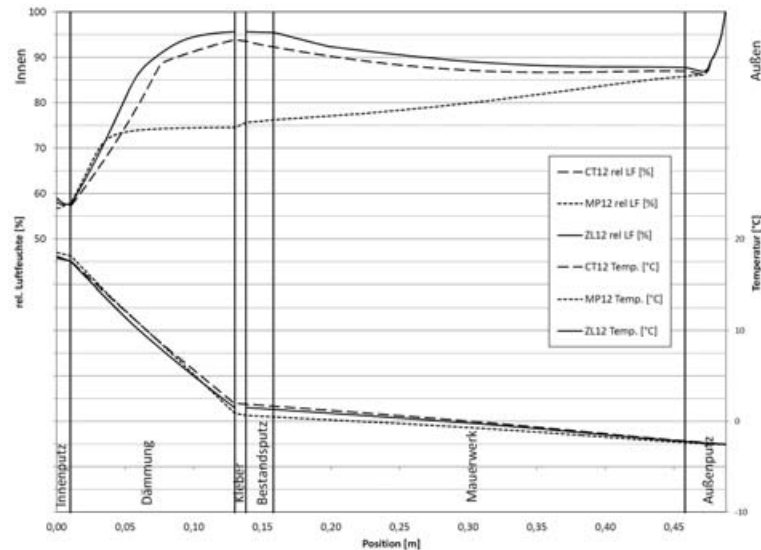


Abb. 2. Verlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte am feuchtesten Tag (29.01.) im eingeschwungenen Jahr für 12 cm dicke Dämmungen

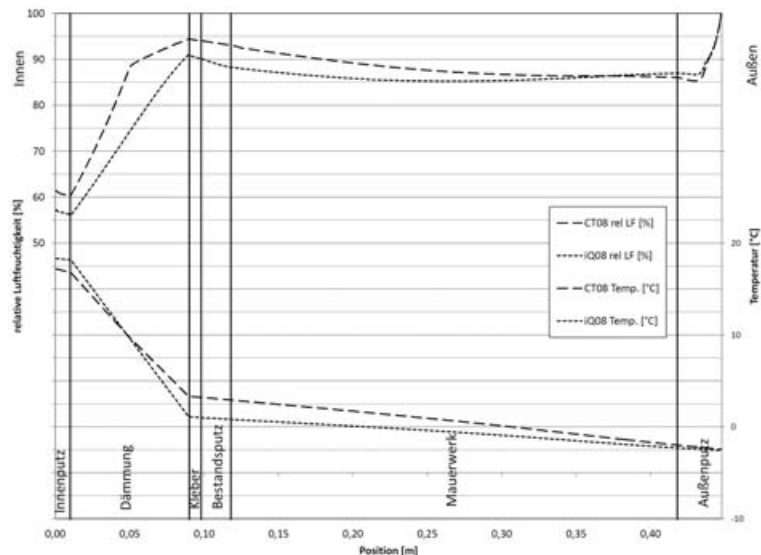


Abb. 3. Verlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte am feuchtesten Tag (29.01.) im eingeschwungenen Jahr für 8 cm dicke Dämmungen

Die niedrige Gesamtwassermasse von iQ-Therm 8 im Vergleich zu Cellulose 12 und Calsitherm 12 trotz geringeren Gesamtvolumens ist zwar einerseits auf die höhere Temperatur an der Grenzfläche Dämmsystem/Bestand zurück zu führen (s. Abb. 3), anzumerken ist aber, dass die Feuchtezunahme von den Startbedingungen zum eingeschwungenen Zustand bei iQ-Therm 8 am ausgeprägtesten ist. Die vergleichsweise hohe Gesamtwassermasse von Calsitherm 8 im Vergleich zu iQ-Therm 8 ist durch den

geringeren Diffusionswiderstand und der höheren Feuchteaufnahme (s. Tab. 3) dieses Systems bedingt.

Die Unstetigkeit im Verlauf der Wasserleitfähigkeit (s. Abb. 1) der Isocell-Cellulose und von Calsitherm wirken sich auch auf den Verlauf der rel. Luftfeuchte in der Dämmebene aus, die ab ca. 90 % in Folge der erst bei höherem Wassergehalt zunehmenden Flüssigwasserleitfähigkeit weniger ansteigt (Abb. 2, Abb. 3).

Der lineare Verlauf der rel. Luftfeuchte in der Dämmebene von iQ-Therm (s. Abb. 3) lässt die begründete Vermutung zu, dass dieses System wesentlich vom hohen Diffusionswiderstand der Dämmschicht geprägt wird.

Überhygroskopische Feuchte tritt im Bereich der Grenzfläche nur bei Isocell-Cellulose (0,24 kg/m²) und Calsitherm 8 cm (0,025 kg/m²) auf. Feuchteempfindliche Bauteile sollten bei diesen Systemen an der Grenzfläche vermieden werden. Inwieweit Feuchteschäden in der Cellulose durch Auswaschungen oder holzerstörende Mikroorganismen im langjährigen Verhalten auftreten, ist derzeit nicht bekannt. Die geringe Feuchtebelastung liegt aber unter den normativen Grenzwerten der DIN 4108-3.

Die absolute Feuchte an der Innenoberfläche ist bei allen Systemen gleich hoch, so dass die relative Luftfeuchte von der Temperatur abhängt und somit beim thermisch schwächstem System Calsitherm 8 cm am höchsten ist (Mittelwerte im eingeschwungenem Jahr: 19,9 °C, 81,0 % rel. LF). Der Schimmelindex nach Viitanen lässt für keines der Systeme Wachstum erwarten.

Durch langwellige Abstrahlung, hohe Außenluftfeuchte und Schlagregen kommt es für kurze Zeiträume von max. 2 Tagen zu überhygroskopischem Wasser im Außenputz. Die Innendämmung kühlt in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangswiderstand die Bestandskonstruktion ab, wodurch die maximale Wassermenge von 0,18 kg/m² im Außenputz der ungedämmten Wand auf max. 0,25 kg/m² bei Multipor 12 cm erhöht wird. Ob diese Zunahme bereits Frostgefährdung bedeutet, stellt weiteren Forschungsbedarf dar.

2.3.3. Detailpunkte

In mehreren Varianten werden die Detailpunkte Traufe mit oberster Geschoßdecke, Sockel, Treppen(podest)anschluss und unterste Geschoßdecke untersucht. Zum Berichtszeitpunkt sind die Simulationen weitgehend abgeschlossen und die Auswertung wurde begonnen. Am Detailpunkt Traufe können beispielhaft die Vorgangsweise und Ergebnisse der Untersuchung dargestellt werden.

Die oberste Geschoßdecke besteht aus „Mann an Mann“ liegenden Fichtenholzstämmen, die miteinander durch Holzdübel verbunden sind (Dippelbaumdecke) mit einer Ziegelauflage im Sand- oder Schlackenbett. Die Dippelbaumbalken liegen seitlich auf einer Verjüngung des Mauerwerks über eine Pfette (Mauerbank oder Rastlade, üblicherweise aus Eichenholz) auf. Die Innendämmung wird an den bestehenden Innenputz der Decke herangeführt, wobei zur Vermeidung von verformungsbedingten Rissen und aus Gründen der Toleranz mit Ausnahme der Aufspritzcellulose eine Fuge verbleibt. Nach Entfernen der Hohlkehle und Aufbringen des Dämmsystems wird der neue Innenputz dauerelastisch verfugt oder mit Dichtband an die Decke angeschlossen. Das Ausbilden einer neuen Hohlkehle würde die konvektive Erwärmung der Innenkante verbessern. Dieses günstige Verhalten wurde nicht simuliert.

Dämmsystem	U-WertWand [W/(m ² ·K)]	U-WertDecke [W/(m ² ·K)]	fRsi [-]	Ψ-Wert* [W/(m·K)]
Multipor 12 cm	0,279	0,542	0,682	-0,2622
Calsitherm 8 cm	0,513	0,542	0,685	-0,3175

*bezogen auf die Länge der thermischen Außenoberfläche

Tab. 4. Wärmedurchgangskoeffizient, Oberflächentemperaturfaktor und längenbezogener Wärmebrückenkoeffizient des Traufendetails

Untersucht werden auf Basis instationärer hygrothermischer Simulationen Schimmelwachstum und Holzzerstörung (nach Viitanen), Gesamtwassermasse und Feuchtefelder und für das thermisch beste sowie schlechteste System werden Oberflächentemperaturfaktor (f_{Rsi} [-]) und linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient (ψ [W/mK]) mithilfe stationärer thermischer Berechnungen in HEAT2 ermittelt (s. Tab. 4).

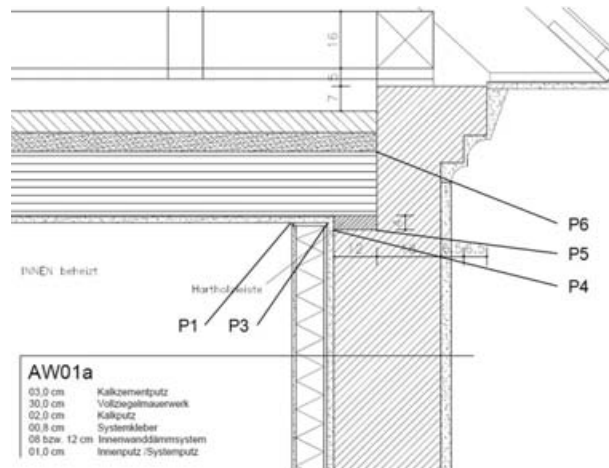


Abb. 4. Detail Traufe Variante 1, Anordnung der ausgewerteten Punkte

Am Traufdetail erweist sich trotz einer Feuchtespitze am 29.01. der 29.04. als feuchtester Tag, was auf die hohe Außenluftfeuchte im Frühjahr und den Umstand, dass auf der Geschosßdecke im Gegensatz zur Wand der (Jänner-)Schlagregen fehlt, zurückzuführen ist.

	CT12	MP12	ZL12	CT08	iQ08
$\lambda =$	0,063	0,042	0,052	0,063	0,031
Wassermasse Bauteil Jahresmittel (flüssig + gasförmig) [kg]					
Startbed.	21,924	21,259	21,206	21,146	20,311
Jahr davor	24,571	22,644	24,050	23,611	22,476
eing. Jahr	24,633	22,723	24,115	23,663	22,532
Jahr danach	24,664	22,753	24,148	23,687	22,558
Simulationsjahr in dem der eingeschwungene Zustand erreicht wurde					
eing. Jahr	5	4	5	5	5

Tab. 5. Gesamtwassermasse des Bauteils und Simulationsdauer bis zum eingeschwungenen Jahr am Traufdetail

Die geringste Gesamtwassermasse am Traufdetail weist iQ-Therm 8 gefolgt von Multipor 12 (100,85 % von iQ-Therm) auf, obwohl die dünnere Dämmung ein geringeres Gesamtvolumen hat, während im ungestörten Wandaufbau iQ-Therm eine geringfügig höhere Gesamtwassermasse zu verzeichnen hatte (103 % von Multipor 12) (Tab. 5). Dies ist Folge der höheren Temperaturdifferenz zwischen Multipor 12 und iQ-Therm 8 in Punkt P3 (Traufdetail, 0,5 K) als in Punkt P7a (ungestörter Wandbereich, 0,18 K), was auf die erhöhte Querwärmeleitung über die Holzdecke zurückzuführen sein dürfte (Tab. 6). Dies gilt auch für den Umstand, dass an der Traufe Cellulose 12 eine geringfügig höhere Gesamtwassermasse als Calsitherm 8 aufweist.

Am Punkt P3 (Bestands-Innenkante) weisen alle Dämmsysteme eine gering erhöhte absolute Luftfeuchte im Vergleich zu P7a (ungestörter Wandbereich) auf (Tab. 6). Die Temperatur in der Wärmebrücke an Punkt P3 ist, bedingt durch den höheren Wärmewiderstand der Holzdecke und die verstärkte Wärmezufuhr durch die Putzschichten bei allen Systemen höher als im ungestörten Bereich. Der Jahresmittelwert der relativen Luftfeuchte und die absolute Feuchte sind aber beim System Multipor 12 cm

aufgrund der erhöhten Flüssigwasserleitfähigkeit von Multipor im hygrokopischen Bereich im Traufdetail höher als bei den restlichen Dämmungen. Das System weist aber die geringste absolute und relative Luftfeuchte auf, so dass diese Feuchtezunahme vernachlässigbar ist.

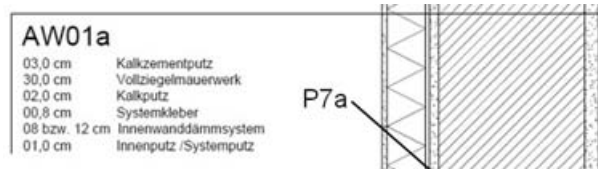


Abb. 5. Anordnung der untersuchten Punkte für den ungestörten Wandbereich

Bereich	30 cm Rohbauwanddicke				
	Jahresmittelw. Temperatur [°C]	Jahresmittelw. rel. Luftfeuchte [%]	absolute Feuchte [g/m³]	Min. rel. Luftfeuchte [%]	Max. rel. Luftfeuchte [%]
P3	Traufdetail				
CT12	11,98	87,40	9,31	81,52	91,41
MP12	11,71	76,26	7,99	74,52	77,88
ZL12	11,61	88,66	9,23	81,51	93,07
CT08	12,69	87,13	9,70	79,36	92,22
iQ08	12,21	86,03	9,30	79,66	91,18
P7a	Ungestörter Wandbereich				
CT12	11,25	90,09	9,17	81,97	94,88
MP12	10,59	74,85	7,31	72,88	76,37
ZL12	11,01	90,81	9,10	78,19	95,95
CT08	11,99	89,15	9,50	78,44	95,17
iQ08	10,77	87,90	8,68	82,08	92,31

Tab. 6. Werte für Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und mittlere absolute Feuchte in P3 und P4 für das eingeschwungene Jahr am Traufdetail und P7a im ungestörten Wandverlauf

Interessant ist in diesem Zusammenhang natürlich die mögliche Schädigung der Holzbauteile im Auflager. Der Holzmasseverlust nach Viitanen weist für alle relevanten Punkte P4 – P6 unkritische Werte für Fichtenholz aus (Tab. 7), weil trotz hoher Holzfeuchte die Zeitdauer und die Temperaturen nicht für Schädlingswachstum ausreichen. Da für die Rastlade Eiche mit günstigerem hygrischen Verhalten verwendet wurde, ist das tatsächliche Verhalten an P4 und P5 sogar günstiger.

	CT12	MP12	ZL12	CT08	iQ08
Holzmasseverlust nach Viitanen [-]	kumuliert über 3 Jahre				
P4 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P5 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P6 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximale Holzfeuchte [Masse%]					
P4 =	23,5	12,2	25,1	24,3	22,7
P5 =	16,6	12,9	17,7	16,9	15,5
P6 =	13,4	13,1	13,5	13,5	13,4

Tab. 7. Holzmasseverlust nach Viitanen und max. Holzfeuchte für P4, P5 und P6 im eingeschwungenen Jahr am Traufdetail

Trotzdem ist die hohe massebezogene maximale Holzfeuchte aller Systeme mit Ausnahme Multipor an Punkt P4 höher als 20 M%, was in der EN 335-1, Anhang A als unterster Grenzwert für das Wachstum holzerstörender Pilze angeführt ist. Nach Viitanen muss aber für den Wachstumsbeginn 95 % rel. LF erreicht werden, was bei keinem der Systeme der Fall ist.

An der Rauminnenkante herrschen aufgrund der geringeren Temperaturen erwartungsgemäß höhere rel. Luftfeuchten als im ungestörten Bereich, die aber zu keiner Schimmelbildung nach Viitanen führen. Werte von 92,8 % bis 94,4 % erscheinen sehr hoch, sind aber kurzzeitig auftretende Maximalwerte (Tab. 8).

Bereich	30 cm Rohbauwanddicke			
	Jahresmittelw. Temperatur [°C]	Jahresmittelw. rel. Luftfeuchte [%]	absolute Feuchte [g/m³]	Max. rel. Luftfeuchte [%]
P1	am Traufdetail			
CT12	17,55	75,04	11,22	93,74
MP12	17,42	75,02	11,14	94,41
ZL12	17,82	74,06	11,26	92,83
CT08	17,40	75,73	11,23	94,11
iQ08	17,51	74,71	11,15	93,63
P1	ungestörter Wandbereich			
CT12	20,28	64,04	11,25	78,51
MP12	20,60	62,86	11,25	73,48
ZL12	20,40	63,59	11,25	77,88
CT08	19,90	65,48	11,25	81,01
iQ08	20,52	63,10	11,24	75,98

Tab. 8. Werte für Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und mittlere absolute Feuchte für das eingeschwungene Jahr an Punkt P1 am Traufdetail und am ungestörten Wandbereich

Der Umstand, dass gerade beim thermisch günstigsten System Multipor 12 die Kantentemperatur am niedrigsten ausfällt, liegt in der geringen Wärmequerleitung über den Systemputz begründet, die den Wärmestrom zur Kante im Vergleich zu den anderen Systemen reduziert. Dies ist deshalb von so großer Bedeutung, weil unmittelbar hinter dem Putzanschluss die luftgefüllte Anschlussfuge des Dämmsystems liegt.

Während bei Multipor vom ungestörten Bereich durchaus auf das Verhalten im Traufdetail geschlossen werden kann, ist das bei den anderen Systemen keinesfalls eindeutig. Sie erreichen lokal recht hohe Werte der Holzfeuchte, die aber nie die dynamischen Bedingungen für das Wachstum holzerstörender Pilze erreichen.

2.4. Holzbalkenköpfe und Innendämmungen

Die Balkenkopfaufleger von Holzbalkendecken stellen besonders kritische Detailpunkte bei Innendämmungen dar, da sie unmittelbar im Bereich plangemäß hoher Feuchtigkeit liegen und bei länger anhaltender Feuchtigkeit starke, tragfähigkeitsgefährdende Schädigungen auftreten können. Dabei ist bislang noch nicht ausreichend untersucht, inwieweit Innendämmungen das Balkenkopfaufleger tatsächlich schadensrelevant beeinflussen.

Im Objekt Schönbrunngrasse 30 in Graz-Mariagrün werden derzeit im Zuge des Projektes OEKO-ID fünf diffusionsoffene ökologische Innendämmungssysteme hinsichtlich Gefährdung durch mikrobielles Wachstum und Schädigung der Balkenköpfe seit zwei Kondensations- und zwei Verdunstungsperioden hinweg untersucht. Das Gebäude wurde 1885/86 im Neorenaissance-Stil als Sanatorium errichtet und 1902/03 mit Jugendstilendenzen erweitert. Es wird heute als Kindergarten genutzt.

Bei der Bestandskonstruktion handelt es sich um ein beidseitig verputztes, 550 mm dickes Ziegelmauerwerk (SW-Orientierung). Durch die Innendämmung wurde der U-Wert der vorhandenen Konstruktion von rund 0,71 W/m²K auf ungefähr 0,33 W/m²K reduziert. Alle acht überwachten Balkenköpfe befinden sich zwischen zwei übereinander liegenden Räumen, wobei der untere als Aufenthaltsraum im Kindergarten (1.Obergeschoß) und der obere als Lager- und Messtechnikraum genutzt wird (Dachgeschoß). Die

Dämmebene wird durch den Deckeneinschub mit darauf liegender Schüttung unterbrochen.

Nachstehende Dämmsysteme wurden ausgewählt:

Bezeichnung	Erläuterung	Schicht	Dicke [m]	λ [W/mK]	μ [-]	R [m ² K/W]	s _d [m]	R _{IDS} [m ² K/W]	s _{d,IDS} [m]
Isocell-Cellulose	aufgespritzte mit Bindemittel versehene Zelluloseflocken	Kleber	-	-	-	-	-	1,59	0,27
		Dämmung	0,080	0,052	2,4	1,54	0,19		
		Innenputz	0,013	0,230	6,0	0,06	0,08		
Perliteplatten	Perlite (Blähperlit), Zuschlagstoffe und Bindemittel	Kleber	0,006	0,900	30,0	0,01	0,18	1,79	0,63
		Dämmung	0,080	0,045	5,0	1,78	0,40		
		Innenputz	0,004	0,411	13,0	0,01	0,05		
Thermosilit-putz	Thermosilit, Zuschlagstoffe und Bindemittel	Kleber	-	-	-	-	-	1,61	1,02
		Dämmung	0,120	0,075	8,0	1,60	0,96		
		Innenputz	0,004	0,700	15,0	0,01	0,06		
Holzweichfaserplatten	mit Lehmkleber und Lehmunter- und oberputz	Kleber	0,004	0,730	10,0	0,01	0,04	1,49	0,49
		Dämmung	0,060	0,041	5,4	1,46	0,32		
		Innenputz	0,013	0,730	10,0	0,02	0,13		
Schilf	Schilfrohmatten mit Lehmkleber und Lehmputz	Kleber	0,004	0,810	10,0	0,00	0,04	1,70	0,34
		Dämmung	0,100	0,060	1,0	1,67	0,10		
		Innenputz	0,020	0,810	10,0	0,02	0,20		

Tab. 9. Übersicht über die Innendämmsysteme im Projekt OEKO-ID

In jedem der fünf Probefelder mit Innendämmung befindet sich jeweils ein Holzbalken, im Randfeld mit der Zellulosedämmung zusätzlich der Streichbalken zur SO-Wand, im Schilffeld ebenfalls zwei Balken. Zusätzlich wurde ein ungedämmter Balken als Referenz heran gezogen. Bei sechs der acht Balken sind unterhalb des Deckeneinschubs der Luftspalt um das Balkenaufleger und Risse im Balken selbst jeweils diffusionsdicht verschlossen worden. Aus dem Bereich der Zwischendecke kann keine Luft in das Balkenaufleger dringen. Am Referenzbalken und an einem Balken des mit Schilf gedämmten Feldes wurden die Abdichtungsmaßnahmen nicht durchgeführt.



Abb. 6. Versuchsanordnung mit unterschiedlichen Dämmsystemen und Messgeräten im Aufenthaltsraum im 1.OG

Neben Messfühlern für das Außen- und Innenklima und Oberflächentemperaturen wurden Luftfeuchte/Temperatursensoren an verschiedenen Punkten in die Konstruktionsaufbauten sowie Balkentaschen eingebracht. Die Holzfeuchte wird durch zwei sehr lange, schräg eingeschlagene Elektroden an den Stirnseiten der Balkenköpfe und weitere Sensoren an zwei Balkenköpfen auf der Höhe der Innendämmung in zwei unterschiedlichen Tiefen gemessen.

In den Wintermonaten Dezember 2010 bis März 2011 betrug die mittlere Luftfeuchte im Aufenthaltsraum des Kindergartens gesundheitlich bedenkliche 20 %, im Dachgeschoß 33 %. Durch den Einsatz von Raumluftbefeuchtern konnte der Durchschnittswert im Winter 2011/2012 im Aufenthaltsraum nur auf 34 %, im Dachgeschoß lediglich 37 % erhöht werden. Im kommenden, letzten Winter des Messzeitraums soll durch umfangreiche Abdichtungsmaßnahmen die Raumluftfeuchte weiter erhöht werden, um das Verhalten der Konstruktionen unter kritischer Feuchtebelastung zu testen.

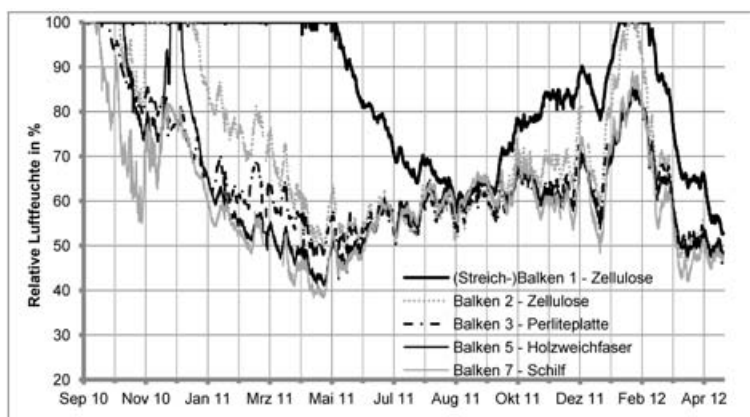


Abb. 7. Verlauf der Luftfeuchte auf der Grenzfläche zwischen Bestandsoberfläche und Innendämmsystem

Nach dem Abtrocknen der Einbaufeuchte kam es im zweiten Winter im Zellulose- und Schilffeld kurzzeitig zu Kondensat an der Grenzfläche Bestandsaußenwand und Innendämmungssysteme ca. 20 cm unter den Balkenköpfen. Die nur kurzzeitige Feuchtebelastung in der Schilfdämmung ist insofern unerwartet, als dass bei wenig flüssigwasserleitenden Systemen dem Stand der Technik entsprechend eine Dampfbremse anzubringen ist. Das Ausbleiben einer materialschädigenden Feuchteanreicherung kann wahrscheinlich auf die vergleichsweise geringe Raumluftfeuchte zurückzuführen sein und muss noch weiter beobachtet werden.

Die Holzfeuchte in der Mitte der Balkenköpfe erreichte über die bisherige Messperiode nie kritische Werte. Die höchste gemessene und temperaturkorrigierte Holzfeuchte betrug 17,5 M%.

Obwohl sich im Winter an der Grenzfläche Innendämmung/Bestand immer wieder überhygroskopisches Wasser bildete (rel. Luftfeuchte > 95 %), entstand in der Luft zwischen Balkentasche und Balkenkopf viel seltener und nur kurzzeitig Flüssigwasser, was auf die Wärmebrückenwirkung des Holzbalkens zurückzuführen ist. Kondensat entsteht hier an der kältesten Stelle – der Vorderseite der Balkentasche – und wird aufgrund der trennenden Luftschicht nicht vom Holzbalken aufgenommen.

Die Folgen der unterschiedlichen Abdichtung des Anschlusses zwischen Innendämmung und Holzbalken kann gut an der Messperiode 06.01.2012 bis 16.03.2012 illustriert werden. Unter den winterlichen Bedingungen stellt sich ein Diffusionsstrom von innen nach außen und in die Balkenkopftasche ein.

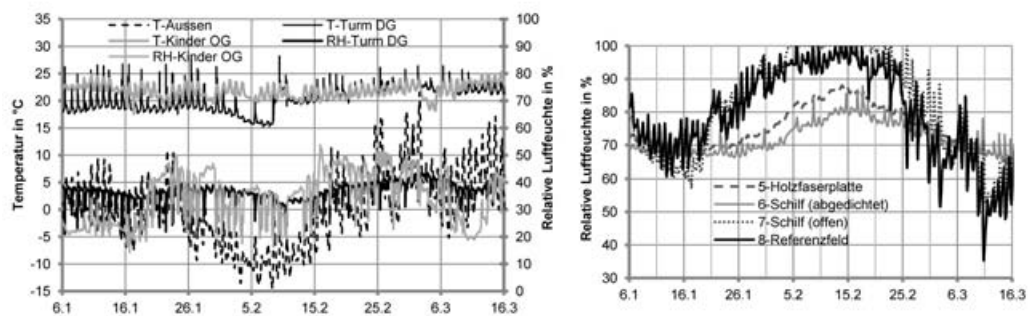


Abb. 8. Links: Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchte der anliegenden Räume und außen; rechts Verlauf der relative Luftfeuchte zwischen Stirnseite der Holzbalken und Balkenauflageraußenseite

Abb. 8 links zeigt den Verlauf der relevanten Temperaturen und relativen Luftfeuchten. Der sprunghafte Anstieg der Temperatur im Dachgeschoß ist durch die Inbetriebnahme einer Zusatzheizung bedingt. Abb. 8 rechts stellt die zugehörige relative Luftfeuchte auf der Außenseite der Balkentaschen von vier Deckenbalken in unmittelbarer Nähe zum Stirnholz dar. Anfänglich unterscheidet sich die rel. Luftfeuchte zwischen den Balken kaum und ist am nicht abgedichtetem Balken 7 (Schilfdämmung) am geringsten. Durch Erhöhen der Raumluftfeuchte und infolge sinkender Außentemperaturen steigt sie an den ungedichteten Balken stark an und verharrt am Balken 7 über 20 Tage lang auf 100 %. Am Referenzbalken 8 werden mehrmals 100 % erreicht. Das günstigere Verhalten am Referenzbalken ist durch die höhere Temperatur aufgrund fehlender Innendämmung bedingt. In den beiden abgedichteten Balkenkopftaschen (Balken 6, Schilf; Balken 5, Holzfaserdämmung) stellt sich ein wesentlich moderater Anstieg und Verlauf ein, da diese durch die Abdichtung stärker vom Innenklima abgekoppelt sind.

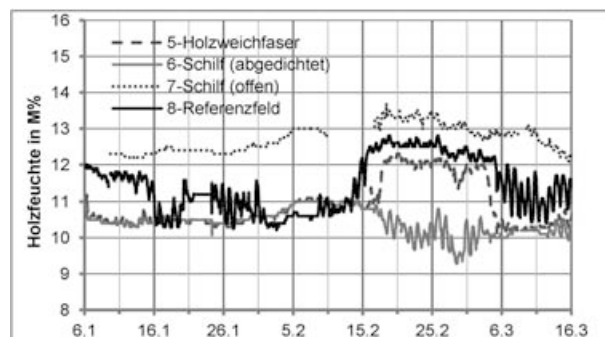


Abb. 9. nicht temperaturkorrigierter Verlauf des Wassergehalt in der Mitte der Balkenköpfe an der Stirnseite (erwartete Abweichung durch Korrektur ca. + 2 M%).

Aufgrund der Feuchteträgheit des Holzbalkens wirkt sich die hohe Luftfeuchte kaum auf den Wassergehalt aus. Die im o.a. Zeitraum beobachtete Zunahme des Feuchtegehalts betrug max. 2,5 M%, wobei abzuwarten bleibt, wie sich eine höhere Raumluftfeuchte auswirken wird.

Einströmende Raumluft erhöht die Temperatur am Balkenkopf nur moderat (bei -10 °C im Februar 2012 um lediglich 2 K), sorgt aber für hohe Luftfeuchte um den Balkenkopf, was insbesondere bei bereits feuchten Balken und aufgrund der besseren Wachstumsbedingungen für Holzschädlinge durch die Erwärmung als kritisch zu bewerten ist. Während zum aktuellen Zeitpunkt der Untersuchungen die prinzipielle Eignung von Innendämmungen auch bei Holzbalkendecken bei sorgfältiger Planung und

Ausführung gegeben scheint, wird eine Abdichtung der Fuge zwischen Balken und Innendämmung unbedingt empfohlen.

3. Sanierung von Kastenfenstern

3.1. In-Situ Messungen von Kastenfenstern

Durch die Sanierung von Kastenfenstern können in wärme- und schalltechnischer Hinsicht aktuelle Ansprüche erfüllt werden, ohne das historische Gesicht maßgeblich zu verändern. Die Eigenschaften und Vorteile von Kastenfenstern sind in situ allerdings noch wenig untersucht, weshalb im o.a. Objekt Schönbrunnngasse 30 die Verhältnisse in zwei historischen Kastenfenstern, insbesondere die Wirkungsweise der Scheibenzwischenräume mit Hilfe einer aufwändigen Messtechnik untersucht wurden. Die beiden baugleichen, dreiflügeligen Kastenfenster liegen in zwei praktisch gleichgroßen Räumen im lediglich als Abstellraum benutzten Dachgeschoss nach Südwesten. Die Einrichtung und inneren Wandoberflächen sind in beiden Räumen sehr ähnlich hinsichtlich des hygrischen und thermischen Speicherverhaltens. Die Türen zum Flur befinden sich in vergleichbarem Zustand, sind nicht abgedichtet und bleiben außer zur Kontrolle der Messeinrichtung ständig geschlossen.

Bei beiden Kastenfenstern wurde die Gangbarkeit wiederhergestellt, alter, schadhafter Anstrich entfernt und eine neue Grundierung und Deckschicht aufgebracht. Das Fenster in Raum 2-Ve erhielt zusätzlich eine Kunststofflippendichtung in der inneren Stockfalzfuge und eine Innenverglasung mit low-e-Beschichtung. Die Rollos wurden im Rollokasten fixiert und auf der Außenseite der Innenabdeckungen eine 40 mm dicke PUR-Platte angebracht.

Außentemperatur, -luftfeuchte und Globalstrahlung werden durch die Messeinrichtung des Projektes OEKO-ID, die lokale Globalstrahlung zusätzlich unmittelbar vor dem verbesserten Fenster (Raum 2-Ve) und nach dem ersten Winter auch vor dem instand gesetzten Fenster erfasst. Auf den Fensteroberflächen wurde jeweils eine Temperatur-Messstrecke in ungefähr 0,2 m Höhe über der unteren Leibung fixiert: Auf der Innenseite der Außenscheibe, der Futterstockoberfläche und der Außenseite der inneren Scheibe befinden sich Oberflächentemperatursensoren. Zwei kombinierte Temperatur-/Luftfeuchtesensoren sind genau in der Mitte des Kastenfensterzwischenraums jeweils 20 cm von der oberen und unteren Leibung angebracht. In den rechten Fensterflügeln überwachen jeweils zwei Hitzedrahtanemometer in gleicher Höhe wie die Temperatur-/Luftfeuchtesensoren die Strömungsverhältnisse. Die Anemometer befanden sich im ersten Winter in ungefähr 30 mm Abstand von der Innenscheibe, der Abstand für die nächste Winterperiode wird auf 10 mm reduziert. Der Scheibenzwischenraum ist ca. 180 mm dick. Ein kombinierter Temperatur-/Luftfeuchtefühler misst in der Bauanschlussfuge zwischen Futterstock und Mauerwerk.

Die vielfältige Erfassung der hygrothermischen und strömungstechnischen Verhältnisse ermöglichte es, das Auftreten und die Ursachen von Konvektion in den Scheibenzwischenräumen zu untersuchen. Im linken Diagramm der Abb. 10 sind die Temperaturdifferenzen zwischen der Außenluft und der Temperatur über den Heizkörpern zwischen Ende Januar bis Mitte Februar 2012 dargestellt, in Raum 2-Ve durchschnittlich über 40 K. Trotz dieses enormen Gradienten findet kaum Konvektion statt, beziehungsweise lassen sich die einzelnen, tagsüber auftretenden Strömungsspitzen nicht mit den Temperaturdifferenzen begründen (Messungen bis zu einer Geschwindigkeit bis 0,10 m/s liegen im Bereich der Messungenauigkeit). Eine Überprüfung mit den in der Nähe durch die Karl-Franzens-Uni Graz aufgezeichneten Windgeschwindigkeiten hat keinen Einfluss des Windes auf die Konvektion ergeben.

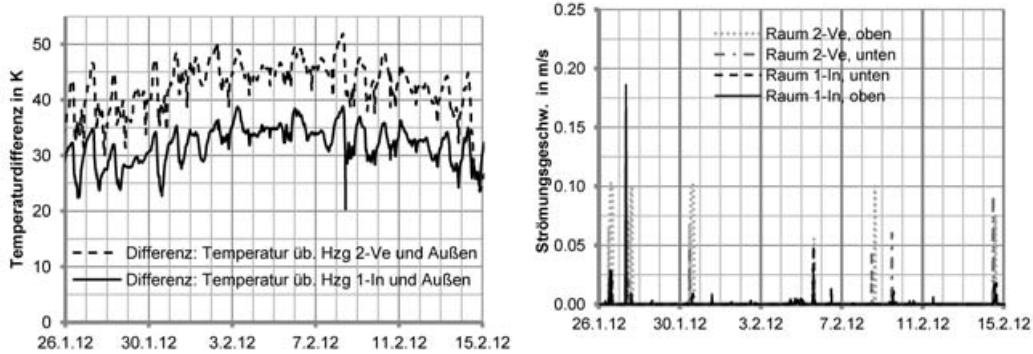


Abb. 10. Links: Differenz zwischen der Außentemperatur und der Temperatur über den Heizungen; rechts: Strömungsgeschwindigkeiten in den beiden Kastenfensterzwischenräumen, je von 26.1. bis 15.2.2012

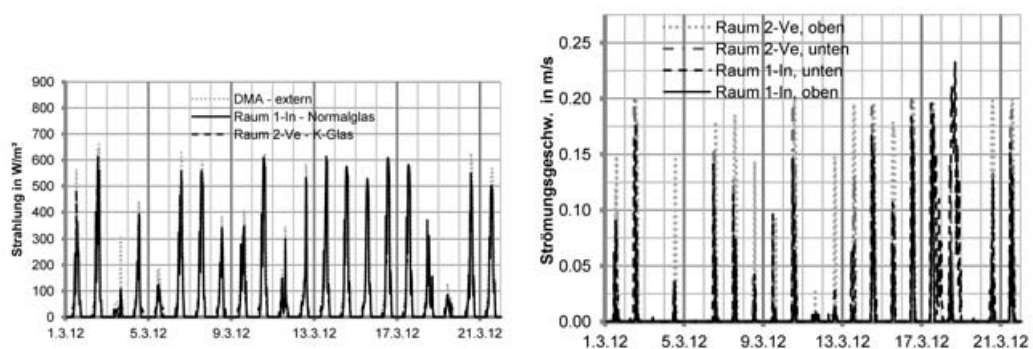


Abb. 11. Links: Globalstrahlung in den Räumen und vor der Fassade auf einem vertikalen Pyranometer; rechts: Strömungsgeschwindigkeiten in den beiden Kastenfensterzwischenräumen, je von 1.3. bis zum 22.3.2012

Zwischen der Globalstrahlung in Abb. 11 und den Luftströmungen kann dagegen ein Zusammenhang hergestellt werden. So wurden an Tagen mit niedriger Globalstrahlung, z.B. am 3., 5., 11. und 19.3., geringe bzw. keine Strömungsgeschwindigkeiten aufgezeichnet. An Tagen mit stärkerer Globalstrahlung, z.B. zwischen dem 13. und 18.3., wurden höhere Strömungsgeschwindigkeiten gemessen. Demnach scheinen die großen Temperaturdifferenzen und der auf das Gebäude einwirkende Winddruck eine untergeordnete Rolle bei der Bildung von Luftströmungen zu spielen.

3.2. Bauanschlussfuge und Innendämmung bei Kastenfenstern

Als komplexer Sonderfall der Simulation von Bauteilanschlüssen wird im Projekt denkMALaktiv das Zusammenwirken von Innendämmungen mit der Bauanschlussfuge von Kastenfenstern betrachtet. Zum Berichtszeitpunkt liegen erste Ergebnisse der Simulationen vor. Basis der Betrachtung stellt die Fenstergeometrie der in-situ-gemessenen Fenster mit einer Rohbauwanddicke von 50 cm und außen bündigem Rolladenkasten dar, wobei sowohl das instand gesetzte Fenster (Bestand) als auch das verbesserte Fenster (K-Glas, also low-e-beschichtetes Glas) betrachtet werden.

Die zur Simulation benötigten allgemeinen Wärmeübergangswiderstände wurden der ÖN EN ISO 13788 entnommen, die für Normalfloatglas und low-e-beschichtetes Glas unterschiedlichen aufgrund der Emissionsfaktoren aus ÖN EN 673 berechnet. Die Luftschicht im Scheibenzwischenraum wurde mit einer Leitung und Konvektion beinhaltenden äquivalenten Wärmeleitfähigkeit simuliert, die für die Abbildung eines schwach belüfteten Luftraums in Anlehnung an ÖN EN ISO 10077-2 verdoppelt wurde. Der Wärmestrahlungsanteil wurde in Delphin 5 durch Eingabe der entsprechenden

Reflexionsgrade direkt definiert. Weitere Varianten werden den Feuchtetransport durch undichte Stockfalzfugen berücksichtigen.

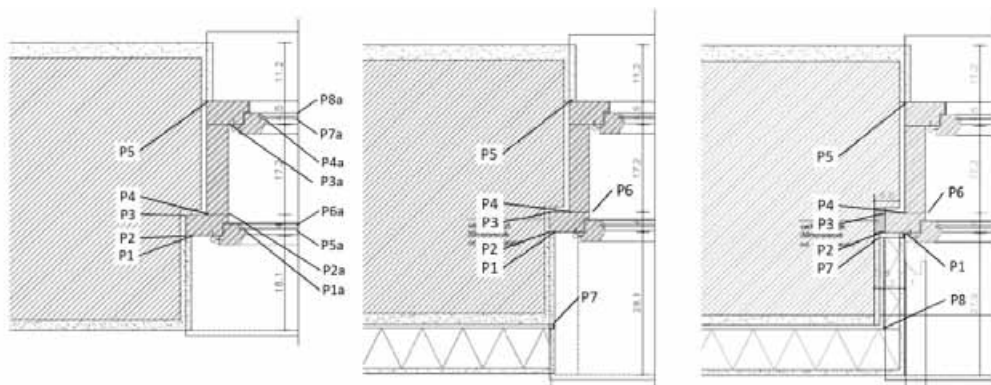


Abb. 12. Fenstergeometrie Horizontalschnitt, links ungedämmte Variante, Mitte Variante Innendämmung, rechts Variante Innendämmung mit Leibungsdämmung, Anordnung der ausgewerteten Punkte

3.2.1. Fenster ohne Innendämmung (Bestand)

Die aufgrund der Geometrie zu erwartenden kältesten Punkte im Innenraum sind Punkt P1 und P2, die demnach auch die höchste relative Luftfeuchte aufweisen (s. Tab. 10).

Bereich	50 cm Rohbauwanddicke			
	Jahresmittelw. Temperatur [°C]	Jahresmittelw. rel. Luftfeuchte [%]	absolute Feuchte [g/m³]	Max. rel. Luftfeuchte [%]
P1	Innenkante Stock/Innenputz			
Bestand	17,84	73,98	11,26	91,45
KGlas	17,80	74,19	11,26	91,68
P2	Innenkante Futterstockverkleidung innen			
Bestand	17,31	73,30	10,81	80,16
KGlas	17,26	73,50	10,81	80,52
P3	Außenkante Futterstockverkleidung innen			
Bestand	15,60	69,93	9,31	73,20
KGlas	15,52	70,17	9,29	73,55
P4	Futterstockrückseite Innenkante			
Bestand	15,61	66,89	8,91	71,72
KGlas	15,47	67,28	8,88	72,08
P5	Futterstockrückseite Außenkante			
Bestand	9,99	77,59	7,29	88,40
KGlas	9,96	77,62	7,28	88,33

Tab. 10. rel. Luftfeuchtigkeit und Temperatur am Fenster ohne Innendämmung, instand gesetztes Fenster (Bestand) und verbessertes Fenster (KGlas)

Punkte P3 und P4 weisen eine niedrigere Temperatur, aber aufgrund der Abnahme der absoluten Feuchte durch die günstigen Stofftransportvorgänge in der luftgefüllten Bauanschlussfuge auch eine geringere relative Luftfeuchte auf, die erst wieder am sehr kalten Punkt P5 steigt. Durch die low-e-Verglasung kühlt die Gesamtkonstruktion in Folge geringerer Strahlungswärmegewinne leicht ab. Der Einfluss zeigt sich vor allem im Scheibenzwischenraum und gering auch in der Bauanschlussfuge und an der Leibungsfläche. An keinem der Punkte ist gemäß Schimmelindex und Holzmasseverlust nach Viitanen mit Schimmelwachstum bzw. Holzzerstörung zu rechnen (Tab. 11). Aufgrund der ungünstigen thermischen Verhältnisse erfolgen die weiteren Betrachtungen am verbesserten Fenster mit low-e-beschichtetem Glas.

Lambda-Werte [W/(mK)]		
	Bestand	KGlas
$\lambda =$	-	-
Wassermasse Bauteil Jahresmittel (flüssig + gasförmig) [kg]		
Startbed.	5,128	5,130
Jahr davor	5,178	5,189
eing. Jahr	5,183	5,197
Jahr danach	5,185	5,201
Simulationsjahr in dem der eingeschwungene Zustand erreicht wurde		
eing. Jahr	3	3
Schimmelindex nach Viitanen [-] ab 3 sichtbarer Schimmel		
	Bestand	KGlas
P1 =	0,0	0,0
Holzmasseverlust nach Viitanen [-] kumuliert über 3 Jahre		
P2 =	0,0	0,0
P3 =	0,0	0,0
P4 =	0,0	0,0
P5 =	0,0	0,0
Maximale Holzfeuchte [Masse%]		
P2 =	15,14	15,25
P3 =	13,28	13,36
P4 =	13,00	13,10
P5 =	18,58	18,55

Tab. 11. Wassermasse und Schimmelindex am Fenster ohne Innendämmung, instand gesetztes Fenster (Bestand) und verbessertes Fenster (KGlas)

Über die gesamte Simulationsperiode ist überhygroskopisches Wasser in geringen Mengen vorhanden. Um den Bereich des anfallenden Kondensates einzugrenzen wurde das Bauteil in die Zonen Außenputz, Mauerwerk inkl. Bauanschlussfuge und 5 mm Fensterstock, Bestandsinnenputz (bei weiteren Varianten inkl. Innendämmsystem) und Kastenfenster unterteilt.

Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers in $[g/m^3]$, Fenster ohne Innendämmung												
	Jan	Feb	März	April	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bestand												
Außenputz	0,83	0,22	0,08	3,83	0,09	0,00	0,40	0,52	0,76	0,68	3,63	0,42
Mauerwerk	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Innenputz	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	1,84	4,24	2,67	1,48	1,87	2,11	2,19	2,16	1,68	1,22	0,97	0,72
Gesamt	2,68	4,49	2,77	5,39	1,99	2,14	2,63	2,72	2,48	1,93	4,64	1,15
KGlas												
Außenputz	0,76	0,30	0,08	3,85	0,09	0,00	0,40	0,53	0,77	0,69	3,65	0,42
Mauerwerk	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Innenputz	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	4,86	8,74	7,70	1,90	1,88	2,12	2,21	2,16	1,67	1,20	0,93	1,29
Gesamt	5,63	9,08	7,80	5,82	2,01	2,15	2,65	2,73	2,48	1,92	4,63	1,73

Tab. 12. Fenster ohne Innendämmung, Verteilung der Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers

Das ständig in geringen Mengen anfallende Kondensat tritt dabei im Scheibenzwischenraum auf, wobei die Spitzen Folge von Außenklimaereignissen (Regen, Entstrahlung, hohe Luftfeuchtigkeit) sind.

3.2.2. Fenster mit Innendämmung ohne Leibungsdämmung

Durch das Aufbringen einer Innendämmung kühlt das Mauerwerk stark ab. Dadurch wird die innere Fensterleibung im Vergleich zur Bestandssituation kühler und in weiterer Folge steigt die relative Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche. Der kritischste Bereich liegt an der Stockkante zur Leibung, wobei noch zu prüfen ist, ob die Punkte P1 und P2 die kritischsten Punkte darstellen, da die Feuchtfelder am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr einen größeren, von erhöhter Feuchte betroffenen, Bereich ausweisen. Punkt P3 (Außenkante innerer Fensterstockrahmen) ist wesentlich trockener

als Punkt P2 (Innenkante Fensterstockrahmen), was vermutlich an einem starken Diffusionsstrom über den Stock und die Bauanschlussfuge nach außen liegt (Tab. 13).

Bereich	50 cm Rohbauwanddicke			
	Jahresmittelw. Temperatur [°C]	Jahresmittelw. rel. Luftfeuchte [%]	absolute Feuchte [g/m³]	Max. rel. Luftfeuchte [%]
P2				
CT12	15,99	80,20	10,92	94,24
MP12	15,82	80,63	10,87	95,89
ZL12	15,90	80,83	10,95	95,17
CT08	16,14	79,25	10,89	92,26
iQ08	15,88	80,68	10,92	95,30
P3				
CT12	14,35	71,75	8,85	78,13
MP12	14,20	70,86	8,66	77,71
ZL12	14,27	72,23	8,86	78,98
CT08	14,48	71,17	8,85	77,41
iQ08	14,25	71,78	8,80	78,23
P5				
CT12	9,72	78,24	7,23	88,10
MP12	9,69	77,53	7,15	87,76
ZL12	9,71	78,33	7,23	88,12
CT08	9,75	78,16	7,24	88,11
iQ08	9,70	78,12	7,21	88,04

Tab. 13. rel. Luftfeuchtigkeit und Temperatur am Fenster mit Innendämmung, verbessertes Fenster (K-Glas)

Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers in [g/m] , Fenster mit Innendämmung												
	Jan	Feb	März	April	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
CT12												
Außenputz	2,93	0,73	0,49	4,65	0,18	0,00	0,51	0,70	1,22	1,42	5,63	1,45
Mauerwerk	0,08	0,31	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,14	0,02
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	3,66	7,05	5,65	1,63	1,88	2,13	2,22	2,18	1,68	1,20	0,94	1,11
Gesamt	6,68	8,09	6,28	6,37	2,09	2,16	2,77	2,91	2,95	2,65	6,75	2,59
MP12												
Außenputz	3,74	0,72	0,60	4,75	0,19	0,00	0,51	0,71	1,28	1,56	5,93	1,72
Mauerwerk	0,28	0,64	0,19	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,19	0,07
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	2,75	5,72	4,13	1,50	1,86	2,11	2,20	2,16	1,67	1,19	0,93	0,87
Gesamt	6,77	7,08	4,92	6,36	2,08	2,14	2,75	2,90	2,99	2,78	7,10	2,67
ZL12												
Außenputz	3,35	0,61	0,53	4,71	0,18	0,00	0,52	0,71	1,26	1,49	5,77	1,56
Mauerwerk	0,15	0,44	0,22	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,16	0,03
Innenputz	0,06	8,50	16,49	2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	3,73	7,11	5,74	1,64	1,88	2,13	2,22	2,18	1,69	1,20	0,94	1,19
Gesamt	7,29	16,66	22,98	8,80	2,09	2,17	2,78	2,93	2,99	2,72	6,92	2,79
CT08												
Außenputz	2,62	0,43	0,40	4,55	0,17	0,00	0,49	0,67	1,15	1,30	5,33	1,24
Mauerwerk	0,03	0,18	0,09	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,09	0,01
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	3,89	7,30	5,98	1,67	1,88	2,13	2,22	2,17	1,68	1,20	0,94	1,14
Gesamt	6,54	7,90	6,47	6,31	2,07	2,16	2,75	2,89	2,88	2,52	6,40	2,40
iQ08												
Außenputz	3,54	0,66	0,57	4,71	0,19	0,00	0,51	0,71	1,28	1,52	5,87	1,63
Mauerwerk	0,17	0,46	0,16	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,16	0,04
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	5,48	9,04	7,76	2,94	2,97	3,25	3,71	3,30	3,12	2,36	1,77	1,47
Gesamt	9,19	10,16	8,49	7,75	3,19	3,28	4,26	4,05	4,44	3,92	7,86	3,15

Tab. 14. Fenster mit Innendämmung, Verteilung der Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers

Im Vergleich zur Bestandssituation entsteht mehrmals im Jahresverlauf überhygroskopisches Wasser im Rohbaumauerwerk (inkl. Bauanschlussfuge), das aber aufgrund der geringen Menge (max. 2,5 g für eine Einflussbreite von 1 m), den kurzen Zeitspannen des Auftretens und der vollständigen Rücktrocknung als unkritisch zu werten ist (Tab. 14).

Erwartungsgemäß führt die Innendämmung zu einer Abkühlung der Leibungsfläche, die bei Mulipor 12 aufgrund des höchsten Wärmedurchlasswiderstandes am signifikantesten ist. Bei allen Dämmsystemen kann auf Basis der Feuchtefelder von einer geringeren Feuchtelast als im ungestörten Bereich ausgegangen werden. Die Gründe hierfür werden in der durch Leibungsfläche vergrößerter Innenoberfläche des Detailpunktes mit zusätzlicher Dämmungstirnfläche gesehen, die zwar einerseits erhöhte Feuchteinträge, andererseits aber auch erhöhte Rücktrocknung und Wärmeeinträge nach sich zieht.

3.2.3. Fenster mit Innen- und Leibungsdämmung

Zwei Effekte beeinflussen die problematischen Punkte an der Leibungsfläche dieser Detailvariante: einerseits wird durch Aufbringen einer Innendämmung an der Wand die Leibungsfläche abgekühlt, andererseits wird durch Aufbringen einer Leibungsdämmung diese im Oberflächenbereich erwärmt und im Bestandsbereich hinter dieser Leibungsdämmung zusätzlich abgekühlt.

Bereich	50 cm Rohbauwanddicke			
	Jahresmittelw. Temperatur [°C]	Jahresmittelw. rel. Luftfeuchte [%]	absolute Feuchte [g/m³]	Max. rel. Luftfeuchte [%]
P2				
CT12	14,68	82,29	10,36	86,92
MP12	14,19	75,12	9,18	76,82
ZL12	14,48	85,01	10,57	92,89
CT08	14,92	81,88	10,45	86,71
iQ08	14,18	81,77	9,98	86,18
P3				
CT12	13,42	72,35	8,43	78,67
MP12	13,04	67,84	7,72	72,88
ZL12	13,28	73,12	8,44	79,95
CT08	13,60	71,91	8,47	78,36
iQ08	13,09	72,22	8,24	78,37
P4				
CT12	14,02	69,84	8,44	77,12
MP12	13,78	65,40	7,79	71,67
ZL12	13,97	70,25	8,46	78,15
CT08	14,14	69,66	8,48	76,94
iQ08	13,85	69,17	8,27	76,66
P5				
CT12	9,55	78,05	7,14	87,66
MP12	9,48	75,97	6,92	86,31
ZL12	9,52	78,14	7,13	87,68
CT08	9,59	78,00	7,15	87,69
iQ08	9,49	77,80	7,08	87,40
P7				
CT12	14,22	86,63	10,60	96,21
MP12	13,45	78,26	9,13	84,50
ZL12	13,67	86,81	10,27	94,94
CT08	14,50	85,83	10,68	95,69
iQ08	13,43	87,35	10,18	96,00
P8				
CT12	15,87	83,21	11,25	91,16
MP12	15,56	73,65	9,78	74,90
ZL12	15,33	84,25	11,03	93,25
CT08	16,26	82,00	11,35	90,47
iQ08	14,80	85,30	10,81	93,22

Tab. 15. rel. Luftfeuchtigkeit und Temperatur am Fenster mit Innen- und Leibungsdämmung, verbessertes Fenster (K-Glas)

Bei keinem Dämmsystem treten an der Oberfläche kritische Schimmelbedingungen nach Viitanen auf. Im Bereich des Kastenfensterstockes kann keine Holzzerstörung festgestellt werden. (Tab. 15, Tab. 16) Im Bereich des Punktes P7 zeigen die Ergebnisse der Simulationen die höchste Feuchtigkeit (Tab. 15) Bei allen Dämmsystemen, bis auf Multipor, bewegt sich die Luftfeuchte um 95%. Weitere Betrachtungen des vorhandenen Wassers im überhygroskopischen Bereich zeigen aber, dass die Mengen gering sind und rüctrocknen können (Tab. 17). Somit sind auch bei dieser Detailvariante alle Dämmungsvarianten positiv zu bewerten.

Lambda-Werte [W/(mK)]					
	CT12	MP12	ZL12	CT08	iQ08
$\lambda =$	0,063	0,042	0,052	0,063	0,031
Wassermasse Bauteil Jahresmittel (flüssig + gasförmig) [kg]					
Startbed.	7,066	6,401	6,282	6,786	5,889
Jahr davor	7,988	6,537	7,276	7,607	6,688
eing. Jahr	8,022	6,541	7,297	7,629	6,718
Jahr danach	8,031	6,543	7,304	7,636	6,728
Simulationsjahr in dem der eingeschwungene Zustand erreicht wurde					
eing. Jahr	3	3	3	3	4
Schimmelindex nach Viitanen [-]					
P1 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Holzmasseverlust nach Viitanen [-]					
P2 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P3 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P4 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P5 =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximale Holzfeuchte [Masse%]					
P2 =	17,56	14,36	20,80	17,47	17,16
P3 =	14,62	13,23	15,02	14,53	14,52
P4 =	14,25	12,96	14,53	14,21	14,14
P5 =	18,27	17,69	18,28	18,28	18,15

Tab. 16. Wassermasse und Schimmelindex am Fenster mit Innen- und Leibungsdämmung

Die bisherigen Untersuchungen von Kastenfenster und Bauanschlussfuge, die unter ungünstigen hygrischen Bedingungen (keine Modellierung der Feuchttransportprozesse über die Stockfalzfugen) durchgeführt wurden, zeigen zwar vereinzelt hohe Feuchtebelastungen, die aber alle im unkritischen Bereich bleiben und somit vorerst eine Eignung von Innendämmungen auch in Kombination mit Kastenfenstern vermuten lassen. Weitere Untersuchungen werden die am besten geeigneten Kombinationen, sowie den Einfluss einer thermischen und hygrischen Verbesserung der Bauanschlussfuge zeigen.

Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers in [g/m], Fenster mit Innen- und Leibungsdämmung												
	Jan	Feb	März	April	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
CT12												
Außenputz	3,80	0,73	0,61	4,81	0,20	0,00	0,53	0,73	1,34	1,62	6,05	1,78
Mauerwerk	0,09	0,33	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	1,71	3,99	2,58	1,46	1,85	2,11	2,20	2,16	1,67	1,18	0,92	0,72
Gesamt	5,60	5,04	3,24	6,38	2,08	2,15	2,78	2,94	3,06	2,85	7,05	2,54
MP12												
Außenputz	4,83	1,00	0,78	4,93	0,21	0,00	0,54	0,74	1,43	1,84	6,53	2,22
Mauerwerk	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	0,65	1,04	0,97	1,36	1,79	2,05	2,14	2,09	1,62	1,15	0,89	0,64
Gesamt	5,49	2,05	1,77	6,41	2,04	2,09	2,72	2,88	3,10	3,03	7,51	2,89
ZL12												
Außenputz	3,73	1,30	0,67	4,89	0,21	0,00	0,54	0,75	1,40	1,74	6,27	1,96
Mauerwerk	0,01	0,04	0,14	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01

Innenputz	0,14	13,66	27,93	5,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	1,70	3,99	2,59	1,46	1,85	2,11	2,21	2,17	1,68	1,19	0,92	0,73
Gesamt	5,59	18,99	31,34	12,38	2,09	2,15	2,80	2,96	3,12	2,97	7,28	2,72
CT08												
Außenputz	3,12	0,55	0,49	4,69	0,18	0,00	0,52	0,70	1,25	1,47	5,69	1,49
Mauerwerk	0,02	0,06	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	1,96	4,46	3,85	3,25	3,36	3,37	3,60	3,38	2,79	2,25	1,11	0,84
Gesamt	5,11	5,07	4,36	8,05	3,58	3,41	4,16	4,13	4,10	3,76	6,87	2,36
iQ08												
Außenputz	4,66	0,97	0,76	4,93	0,21	0,00	0,54	0,76	1,44	1,82	6,46	2,15
Mauerwerk	0,03	0,25	0,11	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Innenputz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kastenfenster	1,51	3,60	2,29	1,45	1,85	2,11	2,20	2,16	1,67	1,18	0,92	0,65
Gesamt	6,21	4,81	3,16	6,50	2,10	2,15	2,79	2,96	3,16	3,04	7,47	2,83

Tab. 17. Fenster mit Innen- und Leibungsdämmung, Verteilung der Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers

4. Literatur

- [1.] 2008. Historische Holzbauwerke und Fachwerk. Instandsetzen - Erhalten. Tl.1. Schwerpunkt Wärme- und Feuchteschutz Hrsg. Stuttgart (Deutschland): Fraunhofer IRB Verlag. 978-3-8167-7756-4.
- [2.] 2011. Helsinki: Sanierung des historischen Stadtgymnasiums. Süddeutsche Bauwirtschaft und Zeitschrift für Denkmalschutz 61, no. 5:102.
- [3.] Arnold, U. (2009): Untersuchungen zum kritischen Feuchte-Temperatur Verhältnis des Pilzbefalls an Holzbalkenköpfen. Masterthesis HAWK Hildesheim/ Minden/ Göttingen, 2009
- [4.] Böhm, T.: Handbuch der Holzkonstruktionen, Reprint der Originalausgabe von 1911, Reprint-Verlag-Leipzig, 1997
- [5.] Borsch-Laaks, R., and P. Simons, eds. 2006. Wie dick darf Innendämmung sein? http://www.holzbauphysik.de/download/upload/rbl_ps_innendaemmung_fachwerk_s1.pdf (accessed September 3, 2011).
- [6.] DIN 4108-02 (2003): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [7.] DIN 4108-03 (2001): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Berlin, Beuth Verlag, 2001
- [8.] DIN EN 13779 (2007): Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Beuth Verlag Berlin
- [9.] DIN EN 15026:2007-07: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [10.] Gnoth, S., Jurk, K., Strangfeld, P. (2005): Hygrothermisches Verhalten eingebetteter Holzbalkenköpfe im innengedämmten Außenmauerwerk - Heizungstechnisch gestützte Innendämmung bei Holzbalkendecken, Bauphysik 27, Heft 2, S. 117-128
- [11.] Kaufmann, B., Hasper, W. (2011): Energetische Sanierung eines denkmalgeschützten Speichergebäudes mit aufgesprühter Zellulose-Innendämmung, Tagungsband 1. Internationaler Innendämmkongress, TU Dresden, S. 127 -134
- [12.] Kautsch, P. et al (2006): Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre - Untersuchungen zur grundsätzlichen Eignung aufgespritzter und verputzter Zelluloseschichten, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 84/2006, Wien
- [13.] Leitfaden „Energieeinsparung und Denkmalschutz“: Prüfung von Ausnahmen im CO₂-Gebäudesanierungsprogramm: Zukunft Haus. http://www.kfw.de/kfw/de/II/II/Download_Center/Foerderprogramme/versteckter_Ordn_er_fuer_PDF/Leitfaden_Denkmalschutz_Dena.pdf (accessed September 3, 2011).

- [14.] Loga, T. (2005): Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses in Wiesbaden, Tagungsband zum 6. Leipziger Bauschadenstag, 27. September 2005, S. 81-91.
- [15.] Morelli, Martin, Scheffler, Gregor: Wooden beam heads and internal insulation, in Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference 'OakRidge National Laboratory, 2010, 89-99
- [16.] Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Vinha, Salminen, K.: Mold Growth Modeling of Building Structures Using Sensitivity Classes of Materials in Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference in Clearwater Beach, Florida, OakRidge National Laboratory, 2010
- [17.] ÖN EN 335-1: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall – Allgemeines, Ausgabe: 2006-10-01
- [18.] ÖN EN 673: Glas im Bauwesen – Bestimmung des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient) – Berechnungsverfahren, Ausgabe: 2011-03-15
- [19.] ÖN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, Ausgabe: 2008-04-01
- [20.] ÖN EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 1: Allgemeines, Ausgabe: 2010-05-15
- [21.] ÖN EN ISO 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen– Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen, Ausgabe: 2012-05-15
- [22.] ÖNORM EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen, Ausgabe: 2008-04-01
- [23.] ÖN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren, Ausgabe: 2002-01-01
- [24.] Ruisinger, U. (2011): Der Balkenkopf und die Innendämmung, Tagungsband zum 2. Internationaler Holzbauphysikkongress Holzschutz und Bauphysik, Leipzig 2011, S. 34-37
- [25.] Ruisinger, Ulrich, Kautsch, Peter, Plagge, Rudolf: „Balkenköpfe und Innendämmung“, in BUFAS e.V., (Hrsg.): Wärmeschutz und Altbausanierung , Beuth Verlag Berlin 2011, 91-104
- [26.] SIA 382/1 (2007): Lüftungs- und Klimaanlageanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Zürich, SIA - Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
- [27.] Stopp, H., Strangfeld, P., Toepel, T., Anlauff, E. (2010): Messergebnisse und bauphysikalische Lösungsansätze zur Problematik der Holzbalkenköpfe in Außenwänden mit Innendämmung, Bauphysik 32, S.61-72
- [28.] Stade, F. (1904): Die Holzkonstruktionen, Leipzig, Verlag Moritz Schäfer
- [29.] Viitanen, H., Toratti, T. Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., Räisänen, J.: Towards modelling of decay risk of wooden materials in Eur. J. Wood Prod. (2010) 68: 303–313
- [30.] Wegerer , P. (2010): Beurteilung von Innendämmsystemen – Langzeitmessung und hygrothermische Simulation am Beispiel einer Innendämmung aus Schilfdämmplatten, Diplomarbeit, Technische Universität Wien
- [31.] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. – WTA -(Hrsg.): WTA-Merkblatt 6-1-01. Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen und WTA-Merkblatt 6-4-09. Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden. München 2001 und 2009
- [32.] WTA- Merkblatt E-8-14 „Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II - Balkenköpfe in Außenwänden“, WTA Publications 2012

Alteration von historischen und modernen Baustoffen – Mineralogie und stabile Isotope



Prof. Dr. Dipl. Min. Martin Dietzel

Prof. Dr. Dietmar Klammer

Mag. Florian Mittermayr

Institute of Applied Geosciences
Graz University of Technology
Rechbauerstrasse 12
A-8010 Graz, Austria
email: martin.dietzel@tugraz.at

Die chemischen und physikalischen Alterationsprozesse bei der Verwitterung und Neubildung von Mineralen in Baustoffen haben eine zentrale Bedeutung für deren Eigenschaften und Dauerhaftigkeit. Nachhaltige Anwendung und Nutzung von Baustoffen sowie deren geeignete Sanierung basieren auf der individuellen Kenntnis von Reaktionsmechanismen und Prozessabläufen in den jeweiligen komplexen Systemen der Baustoffmaterialien sowie der interagierenden Porenwässer und Gasphasen. Anhand von Fallstudien wird der erfolgreiche Einsatz von modernen Methoden und Techniken aus den Geo- und Materialwissenschaften sowie der Isotopenchemie zur Erforschung dieser komplexen Systeme vorgestellt.

1. Zusammensetzung und Aufbau von anorganischen Baustoffen

Die als Baustoffe eingesetzten Materialien sind in ihrer Art und Zusammensetzung sehr vielfältig und unterschiedlich. So kommen sowohl natürliche Bausteine z.B. Kalkstein, Sandstein, Granit und Basalt als auch großtechnisch hergestellte Bausteine wie Ziegel, Klinker und Schamott zum Einsatz. Neben diesen Bausteinen nehmen die Bindemittel z.B. Zement und deren verfestigte Form der Beton eine zentrale Stellung in der Aufklärung der Mechanismen der Alteration von Baustoffen ein. Zemente bestehen im Wesentlichen aus Ca-Silikaten, Ca-Aluminat, Ca-Aluminatferrit und Gips und abhängig von ihrer Verwendung aus mineralischen Zuschlagstoffen wie Kalkstein, Puzzolan, Flugasche und Hüttensand. In Beton bzw. Mörtel sind neben den Ca-Silikathydraten dem Ca-Hydroxid (Portlandit) und den Ca-Aluminatsulfathydraten bzw. den Ca-Aluminatferritsulfathydraten noch mineralische Zuschlagstoffe wie Gesteinsbruchstücke sowie z.T. Abfall- und Recyclingmaterialien vorhanden. Für spezielle Anwendungen kommen noch verschiedenste Zusatzstoffe zum Einsatz. In Summe ergibt sich hieraus ein komplex aufgebauter Baustoff, der im Wesentlichen einer Zusammenstellung von unterschiedlichen Mineralen entspricht und dessen physikalische und chemische Eigenschaften durch die der individuellen Minerale und zudem insbesondere durch die Verbindungen der Minerale untereinander gekennzeichnet sind.

In den Abbildungen 1 und 2 sind diesbezüglich die Mikrostrukturen eines natürlichen Sandsteines und eines historischen Kalkmörtels über Rasterelektronenmikroskopie visualisiert. Diese strukturellen Vorgaben bestimmen zu einem großen Umfang das Verhalten der Baumaterialien bei mechanischem und chemischem Angriff. Alterationsmechanismen sind somit eng mit den eingesetzten Mineralen und ihrer Anordnung zueinander verbunden.

Obwohl nahezu 5000 Minerale derzeit bekannt sind, haben in natürlichen und künstlichen Baustoffen lediglich eine Anzahl von etwa 50 Mineralen eine große Verbreitung und Bedeutung. Dieses Spektrum an Mineralen verteilt sich auf unterschiedliche sogenannte Mineralklassen. Dies ist insoweit von großer Relevanz, da die Eigenschaften von Mineralen stark an deren Typus gebunden sind. Vereinfacht ergeben sich hieraus für die Baustoffe die Einteilung in „Salze“, Oxid/Hydroxide, Karbonate, und Silikate. Als ein typisches Salz kann das sulfathaltige Mineral Gips ($\text{CaCO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oder das chloridhaltige Mineral Halit (Steinsalz, NaCl) auftreten. Die Karbonate beziehen sich im wesentlichen auf die wasserfreien CaCO_3 Modifikationen Kalzit und Aragonit sowie Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Silikate sind deutlich vielfältiger in den Baumaterialien vorhanden und kommen z.B. in Bausteinen und Betonzuschlägen als Feldspäte und Glimmer und als komplex aufgebaute Kalziumsilikathydratphasen in dem abgebundenen Zement vor. Wichtigstes Oxid ist das Mineral Quarz (SiO_2). Als Hydroxide treten z.B. Portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) bzw. Brucit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) als Reaktionsprodukte in der Matrix eines erhärteten Zement-Bindemittels auf.

In einem ersten Ansatz sind daher die Eigenschaften von den verwendeten Mineralen zu untersuchen, um das Alterationsverhalten von Baustoffen zu evaluieren. Dies kann auf unterschiedlichste Art über die Erfassung physikalischer und chemischer Kenngrößen erfolgen. Dazu gehören z.B. das Verhalten von Mineralen bei Druck- und Temperaturänderungen, Ritzhärte, Quellung, Auflösungsprozesse, Umwandlungsreaktionen, Mineralneubildungen.

2. Mechanismen der Alteration von Baustoffen

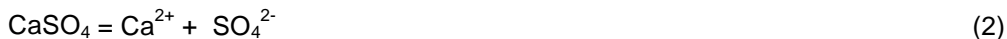
Die Alteration von natürlichen und künstlichen Baumaterialien hängt in ihren wesentlichen Aspekten von den physikochemischen Eigenschaften der verwendeten Materialien ab und kann in den grundlegenden Faktoren über die physikalische und chemische Verwitterung von Mineralen beschrieben werden. Physikalische Prozesse der Verwitterung umfassen z.B. Volumenveränderungen bei Temperaturwechsel, Salzsprengung über die Bildung von Mineralen in Porenräumen mit entsprechendem Kristallisationsdruck, Quelldruck durch die Aufnahme von Wasser in Minerale, Frostverwitterung durch Eisbildung und mechanischen Abrieb. Die physikalische Verwitterung bewirkt ein Aufbrechen von Mineralverbindungen oder das mechanische Zerbrechen von Mineralen. Sie hat somit zum einen Bedeutung für die direkte Alteration von Baustoffen. Zum anderen bewirkt sie aber auch eine Zunahme der Kontaktfläche zwischen Mineralen und wässrigen Porenlösungen. Letzteres beschleunigt den Angriff über die chemische Verwitterung.

Die chemische Verwitterung von Mineralen hat eine zentrale Bedeutung für deren Abbau aber auch für die Bildung neuer Sekundärminerale [2]. Diese Mineralneubildung stellt z.B. die wesentliche Voraussetzung für den Aufbau der oben diskutierten

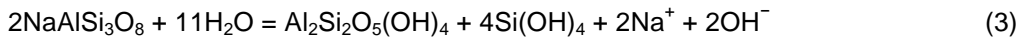
Kristallisationsdrücke dar. In diesem Wechselspiel zwischen physikalischer und chemischer Verwitterung ist z.B. für die Kalziumkarbonat-Minerale die Reaktion



relevant. Die Verwitterung von Karbonaten ist stark abhängig vom pH Wert einer wässrigen (Poren)Lösung. Demgegenüber ist die Verwitterung bzw. Auflösung von Kalziumsulfat-Mineralen eher an die Ionenstärke (Maß für die gesamte Ionenfracht einer Lösung) und die Temperatur gebunden. Die Löslichkeit von z.B. Anhydrit ist über die Beziehung



gegeben. Die Reaktionsgleichungen 1 und 2 beschreiben eine typische kongruente Auflösung, d.h. die Stöchiometrie des Festkörpers entspricht den Relativgehalten der entsprechenden Komponenten in der Lösung (keine Neubildung von Festphasen). Demgegenüber kommt es in vielen Fällen zu einer sogenannten inkongruenten Auflösung, d.h. es lösen sich Minerale unter Neubildung anderer Minerale auf. Typische Beispiele stellen hierbei die Verwitterung der Minerale Dolomit und Carnallit ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dar. Dies betrifft aber auch insbesondere die Verwitterung von Silikaten. Die inkongruente Verwitterung von Albit (Natrium-Feldspat als typischer Vertreter für Silikate) ergibt sich über die Pauschalreaktion



Als neues Mineral entsteht auf diese Weise das Schichtsilikat-Mineral Kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).

Die Auflösungs- bzw. Bildungsbedingungen von Mineralen werden in aquatischen Umfeldern grundsätzlich über deren Löslichkeit beschrieben. Dies gilt somit auch für die meisten Baumaterialschädigungen, die wesentlich an die Anwesenheit von wässrigen Lösungen, z.B. über das Eindringen von Wasser in den Porenraum, gebunden bzw. durch deren Verdunstung geprägt sind. Die Löslichkeitskonstante einer Reaktion kennzeichnet das thermodynamische Gleichgewicht. Da die meisten Baustoffschädigungen im Niedrigtemperaturbereich auftreten, ist auch insbesondere die Reaktionskinetik von entscheidender Bedeutung. Hierbei können thermodynamische Konstanten für Reaktionsgeschwindigkeiten aber auch sogenannte Auflösungs- und Abscheidungsraten ermittelt werden. Als Beispiel ist die Auflösungsrate bezogen auf Aluminiumionen bei der Auflösung von Kaolinit gemäß der Beziehung

$$R_{\text{Al}} = k_0 \cdot F \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \cdot g\{\} \cdot \prod_i ()_i^{m_i} \cdot f\{\Delta G_r\} \quad (4)$$

angegeben [2, 3]. R_{Al} hat die Dimension $\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, also freigesetztes Al pro Mineraloberfläche und Reaktionszeit. k_0 (mol h^{-1}) ist die Geschwindigkeitskonstante der Reaktion. Gemäß der Reaktion (4) ist der Wert von R_{Al} abhängig von der benetzten aktiven Mineraloberfläche (F in m^2), der Temperatur (Aktivierungsenergie: E_a in kJ mol^{-1}), der Ionenstärke (I), der Aktivität von reaktionsspezifischen gelösten Komponenten ($()_i$),

und der freien Reaktionsenthalpie der Gesamtreaktion abhängig (ΔG_r in kJ mol^{-1}). T und R bezeichnen die Temperatur in Kelvin und die Allgemeine Gaskonstante.

Die Ermittlung von z.B. entsprechenden Auflösungsraten kann über experimentelle Ansätze erfolgen. In Abb.3 ist hierfür ein experimentelles Set-up für die Untersuchung der Auflösungsgeschwindigkeit im offenen System dargestellt. Hierbei wird eine Lösung konstanter Zusammensetzung in einen Reaktor geleitet, welcher das Mineral oder unterschiedlichste Festkörper enthält. Die Reaktorlösung wird zum „Output“ des Reaktors hin durch eine Membran (Porenweite: 0.1 bis $0.45\mu\text{m}$) abgeleitet. Anschließend wird als Funktion der Reaktionszeit die „Output“-Lösung in Bezug auf die gelösten Inhaltstoffe analysiert. Die Ergebnisse zeigen für „Salze“ und auch Karbonate zumeist schnelle Raten an, während für Quarz und Oxide die Raten oft sehr viel geringer sind. In Tab.1 sind hierzu beispielhaft und vereinfacht die abgeschätzten „Lebenszeiten“ von 1 mm^3 Kristallen von Quarz und ausgewählter Silikat-Mineralen angegeben.

Für die Alteration von Baustoffen ist neben der Auflösung auch insbesondere die Neubildung von Mineralen innerhalb des Porenraumes für die Alteration bedeutend. Dies umfasst z.B. die sekundäre Kristallisation von Gips, Brucit, Mirabillit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Ettringit ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$), Thaumasil ($\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) und Hydromagnesit ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) in der verfestigten anorganischen Bindemittelmatrix dem Beton.

3. Betonschädigung

Die Schädigungen von Beton sind vielfältig und resultieren in letzter Konsequenz in dem Zerfall des Bindemittels und/oder der Zuschläge sowie der Neubildung von Sekundärmineralen. Für den Angriff des Bindemittels ist - wie bereits oben erwähnt - die Bildung der Sulfat-Mineralen Ettringit und Thaumasil bedeutsam. Ettringit wird vereinfacht aus Kalziumaluminat-Verbindungen und gelösten Sulfationen (aus der Porenlösung) gebildet. Hierbei entstehen hohe Kristallisationsdrücke und die nadelförmigen Kristalle können die Mikrostruktur des Betons angreifen und zerstören (Abb.4). Thaumasil hingegen benötigt neben Kalzium und Sulfat noch Kieselsäure und Karbonat. Der Angriff von Thaumasil hat somit zusätzlich den Abbau der festigkeitsbestimmenden Kalziumsilikathydrat-Mineralen zur Folge. Der Angriff von Beton über derartige sulfathaltige Minerale (wie auch Gips) wird als Sulfat-Angriff bezeichnet. Entscheidend für die Bildung dieser Minerale ist die Verfügbarkeit von Sulfationen. Sulfationen können aus unterschiedlichen Quellen, z.B. als Atmosphärrillen, über Komponenten aus dem Beton selbst oder Komponenten, die in gelöster Form in das Porenwasser eingetragen wurden, erhalten werden. Ferner kann die ursprüngliche Mobilisation der Schwefelkomponente über Sulfide, elementaren Schwefel, organische schwefelhaltige Verbindungen, oder Sulfate erfolgen. Die Aufklärung der Schwefel-Quelle ist fundamental für die Entwicklung von Strategien zur Vermeidung von Betonschädigungen und entsprechenden Sanierungskonzepten. Die mineralogische Charakterisierung als auch die chemische Analytik hilft hierbei nicht weiter. Hierfür kann die Verteilung der Schwefelisotope im Sulfat des schädigenden Minerals erfolgreich eingesetzt werden [4,5,6]. Die Untersuchungen zeigen eindrucklich, dass die einzelnen Schwefel-Quellen zumeist unterschiedliche Isotopenverteilungen aufweisen und so voneinander abgegrenzt werden können. Ähnliche Beziehungen werden auch für die Verteilung der stabilen Kohlenstoffisotope im Karbonat erhalten [4,7]. In den untersuchten Fällen konnte sowohl über die Schwefel- als auch die Kohlenstoffisotope nachgewiesen werden, dass beide Komponenten ursprünglich aus dem in Kontakt stehenden Wasser (in diesen Fällen

Komponenten ursprünglich aus dem in Kontakt stehenden Wasser (in diesen Fällen Grundwasser) angeliefert werden. Das Grundwasser hat seinerseits diese Komponenten aus der Auflösung von anstehenden natürlichen Gesteinen erhalten.

Im Zusammenspiel zwischen Anlieferung von gelösten Komponenten und der Bildung von schädigenden Sulfat-Mineralen sind insbesondere die Bedingungen direkt bei der Bildung dieser Minerale zu beurteilen. In der Abb.5 ist diesbezüglich der Zerfall des Minerals Dolomit (als Zuschlag) und die hieraus resultierende Neubildung von Kalzit, Brucit und Thaumasit angezeigt [10]. Die Umwandlung und Neubildung von Mineralen bzw. die Alteration von Baustoffen betrifft somit wesentlich die Zusammensetzung der Porenlösung im Beton.

4. Porenwässer

Ein Baustoff besteht neben seinen festen Komponenten (siehe oben) auch aus „freien Poren“, die entweder mit Gas oder Flüssigkeit, zumeist Wasser, gefüllt sind (Abb.1 und 2). Die Anwesenheit und die Wechselwirkungen von Gasen mit Festkörpern sind vergleichsweise unbedeutend gegenüber dem Austausch von gasförmigen Komponenten mit der wässrigen Lösung. So führt z.B. erst die Aufnahme von CO₂ in alkalische Lösungen zur Bildung von Kalzit-Kristallen (Kalkbindemittel), die über Vernetzung untereinander und mit den Zuschlägen die Festigkeit eines Kalk-Mörtels ausmachen. Porenlösungen können direkt aus dem Anmachwasser erhalten oder nachträglich zugeführt werden.

Die Untersuchung der Zusammensetzung von Porenwässern ermöglicht die eigentliche Evaluierung der Reaktionspfade eines Schädigungsverlaufes. Hierzu werden Porenwässer mit einer hydraulischen Presse vom Feststoff abgetrennt. Die chemische Analyse von abgepressten Porenlösungen eines über Sulfat-Angriff alterierten Betons zeigt eindrücklich, dass die Lösungen extreme Anreicherungen an gelösten Inhaltsstoffen aufweisen können [7]. Die Korrelation der Ionen untereinander lässt Effekte der Verdunstung von Wasser vermuten. Diese Evaporation kann eindeutig über die Messung der Verteilung der stabilen Isotope des Wasserstoffs und des Sauerstoffs im H₂O nachgewiesen und quantifiziert werden (Fig. 6). Im vorliegenden Fall werden die Porenlösungen aus der Verdunstung von lokalem Grundwasser generiert (Pfeile). Aufgrund der unterschiedlichen Steigung der durchgezogenen Linien können sogar Aussagen über die relative Luftfeuchtigkeit bei der fortschreitenden Verdunstung des Porenwassers gemacht werden (Feuchtigkeitsindikator). Diese Erkenntnis zeigt zudem, dass eine potentielle Sulfat-Schädigung nicht nur durch den Sulfat-Gehalt des angreifenden Wassers zu beurteilen ist, sondern vor allem durch die Kenntnis der Zusammensetzung der Porenwässer. Durch fortschreitende Evaporation sind extrem hohe Sulfat-Konzentrationen in den Porenwässern möglich, die bis zur Abscheidung von sehr leichtlöslichen Natriumsulfaten, wie z.B. des Minerals Mirabillit, führen können.

5. Historische Baustoffe

Historische Bauwerke sind grundsätzlich den gleichen Mechanismen der Alteration unterworfen, wie moderne Baustoffe. Ein Unterschied besteht jedoch in der Verwendung von spezifischen Materialien. So werden heute im Wesentlichen hydraulische Bindemittel verwendet. In historischer Zeit hingegen sind in erster Linie Kalk- und Gipsbindemittel verwendet worden. Es gibt aber historische anorganische Bindemittel, die besondere und ausgezeichnete Qualitäten aufgrund der Verwendung von speziellen Zugaben besitzen. Diese beruhen z.B. auf der Zugabe von aktivem (leicht chemisch zugänglichem) Silikat bzw. Kieselsäure und zum Teil auch Eisen und Aluminium. Derartige Zugaben in Form von z.B. vulkanischen Aschen (Puzzolane) oder Ziegelmehl sind für die Römerzeit gut dokumentiert. Diese sogenannten Romankalke binden mit Zugabe von Wasser ebenfalls unter Bildung der festigkeitsbestimmenden Kalziumsilikathydrat-Mineralen ab und wurden so vielfach auch für Wasserleitungen und Zisternen eingesetzt.

Insbesondere für römische Verputze und Mörtel von Zisternen ist deren Einsatz bis in die heutige Zeit bekannt. Die Analyse der Alterationsprozesse an einem derartigen historischen Zisternenmaterial zeigt deren komplexe chemische und mineralogische Zusammensetzung und Struktur. Aussagekräftige Indikatoren für den Alterationsprozess bzw. die Umbildung von Mineralen im verfestigten Romankalk sind wiederum mit der Analyse von Isotopenverteilungen verbunden. In diesem Fall werden die stabilen Isotope des Sauerstoffs im Karbonat verwendet. So hätte z.B. eine Umbildung von Karbonaten über die Wechselwirkungen mit den Porenwässern bzw. Zisternenwässern eine Neuverteilung der Sauerstoffisotope im Karbonat zur Folge. Fallstudien vermitteln jedoch eindrücklich, dass die ursprünglichen Isotopensignaturen in römischen Zisternenmörtel bis in die heutige Zeit erhalten bleiben können. Die Alteration dieser Baustoffe ist daher als sehr gering zu bewerten.

6. Zusammenfassung

Die Mechanismen der Alteration von Baustoffen können in ihren wesentlichen Aspekten nur über die physikochemischen Eigenschaften der verwendeten Materialien in Abhängigkeit von deren Zusammensetzung und Aufbau verstanden werden. Der Baustoff-Alteration liegt somit die physikalische und chemische Verwitterung von Mineralen zugrunde. Der Sulfat-Angriff von Beton erfolgt über die Bildung von Sulfat-Mineralen. Mineralogische und mikrostrukturelle Methoden zeigen den Mechanismus der Schädigung auf. Analysen der Schwefelisotope ermöglichen die Aufklärung der Herkunft der Schwefelkomponente. In den meisten Fällen findet eine Alteration von Baustoffen über die Wechselwirkung mit den Porenwässern statt. Die Analyse der Zusammensetzung von Porenwässern ermöglicht einen Einblick in die - für einen Schädigungsverlauf - verantwortlichen Reaktionspfade. Die Evaporation von Porenwässern kann eindeutig über die Messung der Verteilung der stabilen Isotope des Wasserstoffs und des Sauerstoffs im H_2O nachgewiesen und quantifiziert werden. Auch bei sehr Sulfat-armen angreifenden Wässern sind durch fortschreitende Evaporation extrem hohe Sulfat-Konzentrationen in den Porenwässern möglich. In historischen Baustoffen können z.B. die stabilen Isotope des Sauerstoffs im Karbonat zur Beurteilung der Alteration über die Zeit verwendet werden.

Individuelle Reaktionsmechanismen und Prozessabläufe in den jeweiligen komplexen Systemen der Baustoffe müssen die Wechselwirkung der jeweiligen anorganischen Materialien mit Porenwässern berücksichtigen. Dies wird insbesondere durch den zielgerichteten Einsatz von Isotopensignalen ermöglicht.

Literatur

- [1] Stumm W. and J.J. Morgan (1996) *Aquatic Chemistry*, 3rd ed. Wiley and Sons, New York,
- [2] Oelkers, E.H. and J. Schott (2009) *Thermodynamics and Kinetics of Water-Rock Interaction*, Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 70, Mineralogical Society of America Geochemical Society.
- [3] Brantley S.L., J.D. Kubicki and A.F. White (2008) *Kinetics of Water-Rock Interaction* Springer, New York.
- [4] Dietzel, M., Mittermayr, F., Klammer, D., Höllen, D., Köhler, S. and Leis, A. (2011): *What do Stable Isotopes tell us about Deterioration of Concrete*. 13th ICCC Madrid 3-8 July 2011; Proceedings 274: 1-6.
- [5] Mittermayr, F., Klammer, D., Höllen, D., Köhler, S.J., Böttcher, M., Leis, A., Dietzel, M. (2011): *Deterioration of Concrete: Application of Stable Isotopes*. In: 10th International congress on Applied Mineralogy: 10, 435-443.
- [6] Mittermayr, F., Bauer, C., Klammer, D., Böttcher, M., Leis, A., Escher, P., Dietzel, M. (2011): *Concrete under Sulphate Attack: An Isotope Study on Sulphure Sources*. In: Isotopes in environmental and health studies: 48, 105-117
- [7] Mittermayr, F., Rinder, T., Klammer, D., Leis, A., Dietzel, M. (2012): *A carbon isotope study of thaumasite and calcite sinter formation in underground constructions*. In: International Congress on Durability of Concrete, 1-14.
- [8] Dietzel M. and G. Böhme (2005) *Dissolution of gibbsite in the presence of chloride, nitrate, silica, sulfate and citrate at open and closed system conditions (20°C)*, Geochim. Cosmochim. Acta 69, 1199-211.
- [9] Lasaga A.C. (1984) *Chemical kinetics of water-rock interactions*, J. Geophys. Res. 89, 4009 - 4025.
- [10] Mittermayr, F., Klammer, D., Köhler, S., Leis, A., Höllen, D. and Dietzel, M. (2011): *Dissolution of Dolomite in alkaline cementitious media*. 13th ICCC Madrid 3-8 July 2011; Proceedings 278: 1-6.

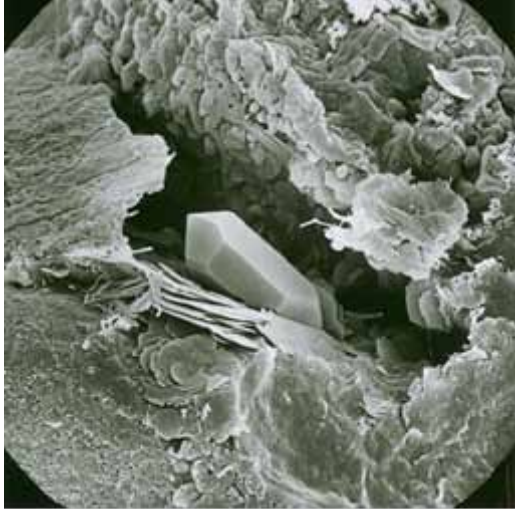


Abbildung 1: Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahme eines Sandsteines (Räth, Kantenlänge des Ausschnitts: 30 μm). Typische Mikrostruktur: primäre Quarzkörner sind von Tonmineralen umgeben und ein idiomorpher Quarz Kristall hat sich im Porenraum über die Porenlösung sekundär bilden können.

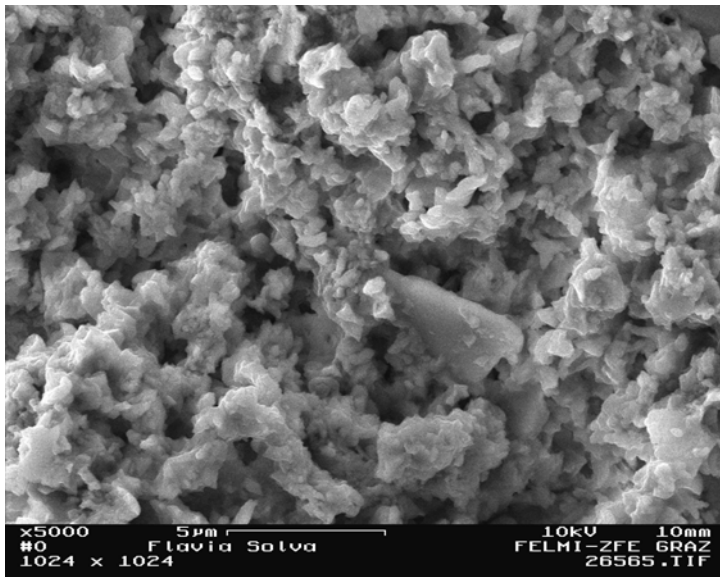


Abbildung 2: Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahme der charakteristischen Mikrostruktur eines alterierten Kalkmörtels (römischer Mörtel, 100 v.Chr., Flavia Solva, Steiermark). Deutlich sind die verwitterten Kalzit-Kristalle des Bindemittels und der große freie Porenraum zu erkennen.

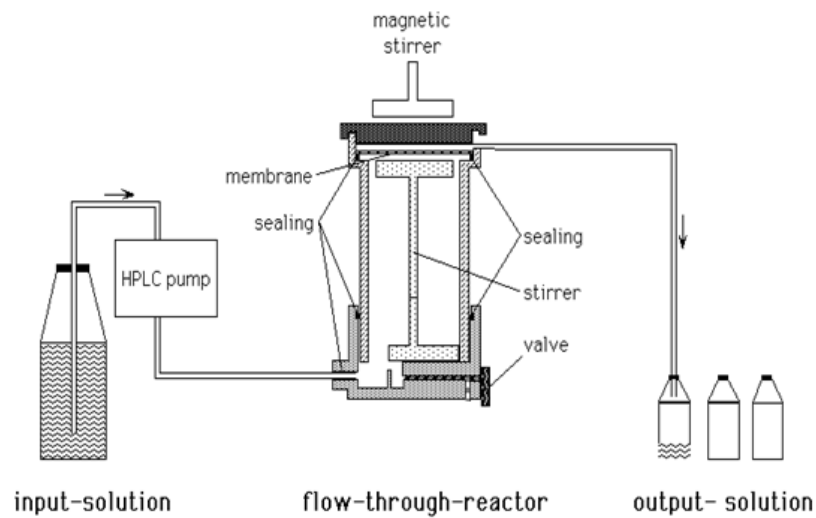


Abbildung 3: Experimenteller Aufbau zur Untersuchung von Mineral- bzw. Gesteinsalteration und deren Kinetik im offenen System [8].

Tabelle 1: Abgeschätzte Lebenszeiten eines 1 mm^3 Kristalles von Quarz und ausgewählter Silikat-Mineralen [9].

Mineral	Formular	Lifetime (years)
Quartz	SiO_2	34,000,000
Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$	2,700,000
Forsterite	Mg_2SiO_4	600,000
K-feldspar	KAlSi_3O_8	520,000
Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	80,000
Enstatite	MgSiO_3	8,800
Diopside	$\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$	6,800
Nepheline	$\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$	211
Anorthite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	112

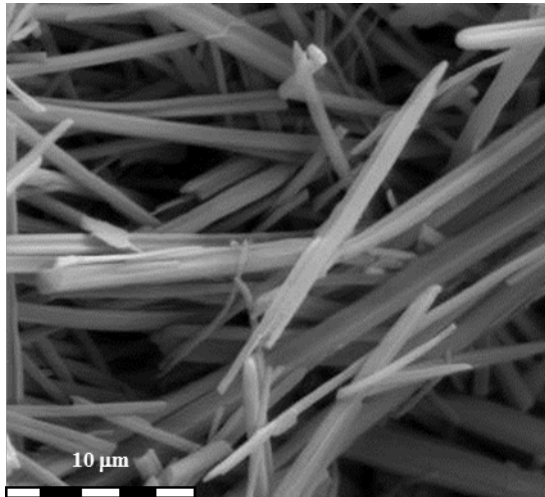


Abbildung 4: Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahme von Thaumascit-Nadel aus einem alterierten Betonhorizont.

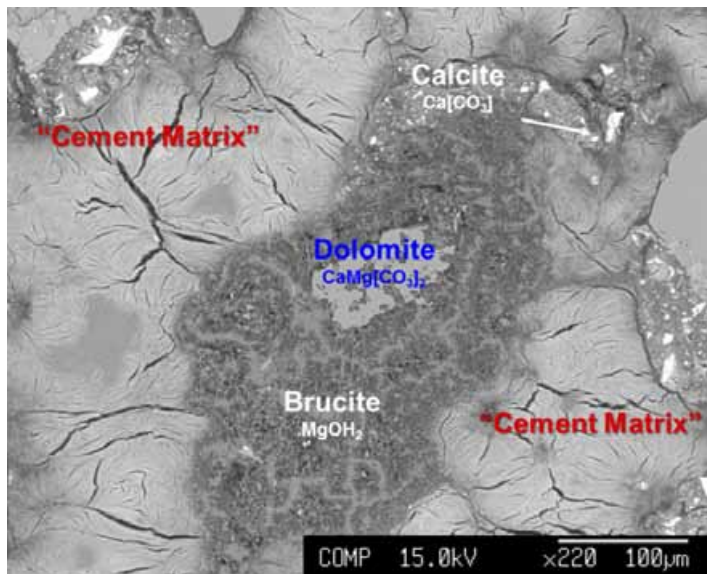


Abbildung 5: Abbildung des Zerfalls des Minerals Dolomit (als Zuschlag) und die hieraus resultierende Neubildung von Kalzit, Brucit und Thaumascit (in der vormaligen „Cement Matrix“) in einem Beton basierend auf Mikrosonden-Analysen.

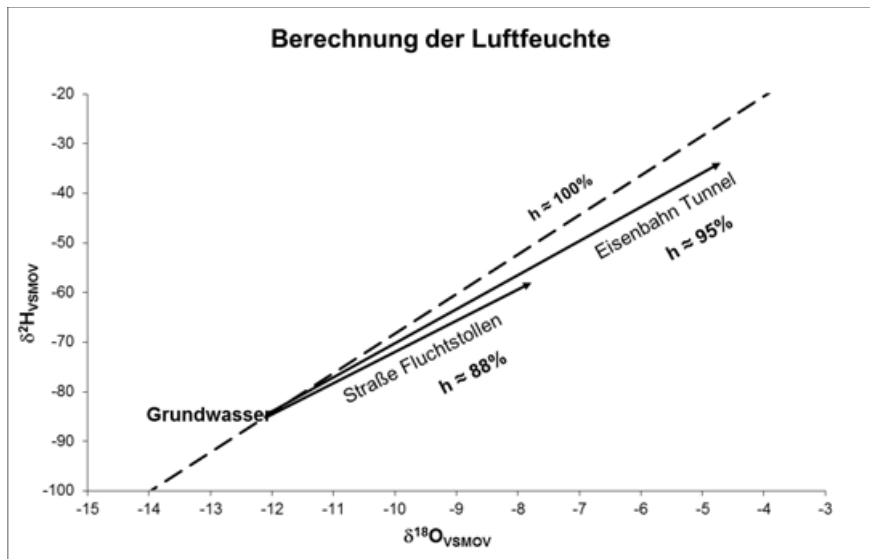


Abbildung 6: Verteilung der stabilen Isotope des Wasserstoffs und des Sauerstoffs im H_2O von abgepressten Porenlösungen aus Betonhorizonten mit ausgeprägter Sulfat-Schädigung. Angaben in d-Werten bezogen auf den VSMOW Standard. Die gestrichelte Linie bezeichnet die meteorische Wasserlinie und die Pfeile die gemessene Entwicklung der Isotopensignale als Funktion der fortschreitenden Verdunstung von Wasser bei einer Luftfeuchtigkeit von 88 und 95%.

Klimagerecht Sanieren: Makroökonomische Bewertung



Ao. Univ.-Prof. Dr. Karl Steininger
Universität Graz / Institut für Volkswirtschaftslehre
und Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel
Leiter der Forschungsgruppe Ökonomik des Klimawandels
Brandhofgasse 5, A-8010 Graz
karl.steininger@uni-graz.at

Um die Wahrscheinlichkeit für gefährliche und irreversible Klimafolgen möglichst gering zu halten, soll die globale Durchschnittstemperatur auf nicht mehr als 2° Celsius relativ zu vorindustriellen Niveaus steigen (Europäisches Parlament und Rat, 2009). Entsprechend Meinshausen et al. (2009) impliziert dies, dass die globalen Treibhausgasemissionen (THG) bis 2050 um zumindest 70% relativ zum Niveau 1990 reduziert werden müssen. Eine derartige Reduktion bedarf rascher Handlungen und verbindlicher Vereinbarungen. In ihrem 'Climate and Energy Package' (Europäische Kommission, 2008) hat sich die EU auf einen verbindlichen Emissionsreduktionspfad festgelegt. Der europäische Ansatz ist zweigeteilt und kombiniert einerseits das EU-weite Emissionshandelssystem (European Union Emission Trading System, EU ETS) für große Emissionsquellen (in den Sektoren Produktion und Energiebereitstellung), das der Verwaltung und der Kontrolle auf EU Ebene unterliegt, und andererseits ein verbindliches Ziel für den Nicht-ETS Bereich (Gebäude, Verkehr, Land-, Forst- und Abfallwirtschaft) das im Zuge der "effort sharing decision" auf die einzelnen Mitgliedsstaaten aufgeteilt wurde.

Im vorliegenden Beitrag werden die makroökonomischen Auswirkungen der Maßnahmen zur Treibhausgasemissionsreduktion im Bereich Gebäude zur Erreichung der EU-Ziele am Beispiel der Steiermark dargestellt. Dieser Beitrag wurde entnommen und adaptiert aus und basiert auf Steininger et al. (2012).

1. Klimaschutz-Ziele der EU und in Österreich für den Gebäudebereich

Für jenen Bereich der Wirtschaft, der dem EU ETS unterliegt (im Hinblick auf THG-Emissionen der überwiegende Teil der Produktion und Energiebereitstellung), liegt direkt keine Zielvorgabe auf der Ebene des Bundes und somit auch nicht auf der Ebene eines einzelnen Bundeslandes vor. Die Einhaltung der ETS Ziele wird auch von den EU Behörden selbst verwaltet und liegt somit außerhalb des direkten Einflussbereichs der Mitgliedsstaaten.

Im Rahmen der Entscheidung der EU zum "effort sharing" (Europäisches Parlament und Rat, 2009) wurden nur für die Nicht-ETS Sektoren (darunter eben auch Gebäude) nationale Ziele definiert. Gerade für den Bereich Gebäude liegt jedoch die Beeinflussbarkeit bei regionalen Regierungen (in Österreich Bundesländer), die somit einen substantiellen Beitrag zur Erreichung der nationalen Ziele beitragen können (und aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive für eine bestmögliche Zielerreichung auch müssen).

Welche THG-Emissionsreduktionen soll der Gebäudebereich innerhalb des EU-Zieles erreichen?

Auf nationaler Ebene gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze für ein "Effort sharing", wie etwa das „grandfathering“ oder der „Triptych“ Ansatz, der für die Zuweisung der Reduktionserfordernisse des Kyoto Protokolls auf die einzelnen EU-Staaten angewandt wurde (Phylipsen et al. 1998). Ein Vergleich unterschiedlicher Effort Sharing Methoden von Ekholm et al. (2010) zeigt, dass viele Ansätze von kritischen Annahmen hinsichtlich zukünftiger THG-Emissionen, dem Einsparungspotenzial und dem Reduktionsbedarf abhängig sind und dass Unsicherheit hinsichtlich der teilnehmenden Parteien und zukünftiger Trends zu Bevölkerung, ökonomischer Entwicklung und Energienachfrage besteht. Diese Daten sind auf regionaler Ebene meist noch größeren Unsicherheiten unterworfen, weshalb im vorliegenden Beitrag ein pragmatischer Ansatz vorgeschlagen wird, der vorsieht, dass die Bundesländer insgesamt zumindest das nationale Ziel für die Reduktion der Nicht-ETS Emissionen übernehmen, sofern sie nicht selbstgewählt ambitioniertere Ziele anstreben. Zentral ist, dass sowohl nationale als auch regionale Klimapolitiken Hand in Hand gehen und sich unterstützen, wie sich am Beispiel Gebäude erläutern lässt: In den meisten europäischen Städten sind die regionalen Behörden für die Bauordnungen und Wohnbauförderungen verantwortlich und können diese steuern, sodass klimagerechte Sanierung forciert wird, auf nationaler Ebene kann jedoch insbesondere der Preis für Brennstoffe (MIV) etwa durch Mineralölsteuern beeinflusst werden, um somit die regionalen Politiken unterstützen.

Für das regionale Basiszielszenario bis 2020 wird somit das nationale Emissionsziel für den Nicht-ETS Bereich übernommen (d.h. für Österreich -16% bis 2020 relativ zu 2005). Für das Jahr 2030 gibt es noch kein explizites EU-Ziel für die Treibhausgasemissionen, allerdings hat die EU für 2050 ein indikatives Ziel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von 50 % gegenüber 1990 vorgesehen (Europäisches Parlament und Rat, 2009).

Bei Unterstellung eines linearen Reduktionspfades von 2020 bis 2050 ergibt sich der Zielwert für 2030.

2. Reduktionspotenzial und Massnahmenbündel für den Bereich Gebäude

Das Treibhausgasemissionsreduktionspotenzial wird im folgenden in zwei Szenarien für den Bereich Gebäude im Bundesland Steiermark dargestellt: Basisszenario (zur Erreichung des EU2020 Ziels) und Innovationsszenario (das am 2 Grad Ziel orientiert ist). In diesen Szenarien werden Einsparungen bis zu 1.900 kt CO₂e, rund 50% gegenüber dem Referenzszenario möglich. Diese beinhalten jedoch auch Emissionen, die bei Kraftwerken anfallen (Strom und Fernwärme). Werden diese in den Szenarien nicht berücksichtigt und nur die gebäudespezifischen Emissionen betrachtet, können rund 70% (860 kt CO₂) der Emissionen gegenüber dem Referenzszenario bis 2030 eingespart werden. Die größten Einsparpotenziale gegenüber dem Referenzszenario können in den Handlungsoptionen „Sanierung“ und „Heizungsumstellung“ erreicht werden.

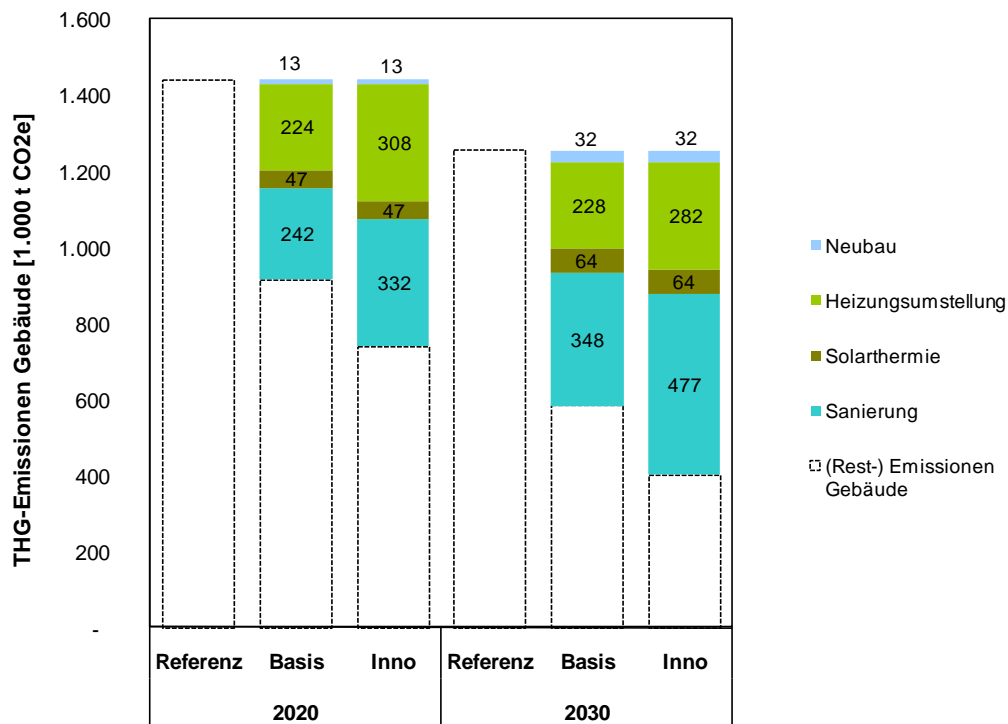


Abbildung 1: THG-Einsparpotenziale im Bereich Gebäude in der Steiermark bis 2020 und 2030

Tabelle 4 3 weist die Summe der möglichen Einsparungen in beiden Zielszenarien (Basis- und Innovationsbündel) gegenüber dem Referenzszenario im Jahr 2020 und 2030 aus.

Gebäude	Basis-bündel	Innovations-bündel
Veränderung der THG Emissionen gegenüber Referenzszenario		
Änderung der THG Emissionen*) [kt CO ₂ e] 2020	-530	-700
Änderung der THG Emissionen*) [kt CO ₂ e] 2030	-670	-860
Veränderung des Endenergieverbrauchs gegenüber Referenzszenario		
Änderung des energetischen Endverbrauchs [TJ] 2020	-6.000	-10.900
Änderung des energetischen Endverbrauchs [TJ] 2030	-14.300	-22.200

Tabelle 1: Summe der THG Einsparungen im Bereich Gebäude für Steiermark

Es zeigt sich, dass bis 2020 30% weniger CO₂e-Emissionen möglich sind (Basisjahr 2005). Bis 2030 erhöht sich das Einsparpotenzial auf 40% und bis 2050 auf über 50%. Der Stromverbrauch wird mit der Annahme der konstanten Emissionsfaktoren auch weiterhin für den größten Anteil der Emissionen verantwortlich sein.

Werden die konkreten Massnahmen untersucht, die zu einer solchen Reduktion zu setzen sind, so zeigt sich dass die wesentlichen Hemmnisse zur Senkung des Energieverbrauchs bzw. der CO₂-Emissionen aus dem Gebäudebereich in die Gruppen Interessenskonflikte, Informationsdefizite und Investitionsbereitschaft zusammenfassen lassen.

Unterschiedliche Studien, Interessensvertreterinnen und -vertreter, sowie Expertinnen und Experten haben schon eine Vielzahl von Maßnahmen vorgeschlagen, um den Energieverbrauch von Gebäuden zu senken. Die im Klimaschutzplan der Steiermark ausgearbeiteten Maßnahmenbündel (Land Steiermark, 2010) stützen sich zu einem wesentlichen Teil auf das Förderungsprogramm der Bau-Sozialpartner an Bund und Länder, zur Reduktion des gebäudespezifischen Energieverbrauchs und auf die im März 2010 veröffentlichte Energiestrategie Österreich (BMLFUW, BMWFJ 2010). In der Energiestrategie Österreich ist eine Liste von Maßnahmen und Instrumenten ausgearbeitet worden, die zur Umsetzung der Bundesregierung, den Ländern, den Gemeinden und den Unternehmen vorgeschlagen werden. Generell müssen empfohlenen Maßnahmen so bald als möglich auf den unterschiedlichen dafür zuständigen Ebenen in Angriff genommen werden. Nur dann können auch die ambitionierten Einsparziele aus den Szenarien erreicht werden.

Maßnahmenbündel Gebäude
Umfassende Sanierung des Gebäudebestandes (Sanierung)
Umstellung auf effiziente und klimaschonende Heizungen (Heizungs-Switch)
Verstärkte Nutzung von Solaranlagen zur Heizungsunterstützung (Solarthermie)
Erhöhung der Gesamteffizienz von Neubauten (Neubau)
Effizientere Nutzung von Elektrizität in den Haushalten (Stromverbrauchsreduktion)

Tabelle 2: Maßnahmengruppen Gebäude

3. Kosten und volkswirtschaftliche Auswirkungen

Auf Basis konkreter Maßnahmen wurden in Steininger et al. (2012) sowohl Kosten erhoben als auch eine Abschätzung der makroökonomischen Effekte vorgenommen, die hier kurz zusammengefasst werden.

1. Makroökonomische Partialeffekte

Die Ermittlung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Maßnahmenbündel erfolgt auf zwei Stufen. Zunächst – und dies ist der Gegenstand des vorliegenden Abschnitts – wird untersucht, welche Auswirkungen die konkreten neuen Aktivitäten haben, ohne mögliche kompensierende Verhaltensweisen einzubeziehen (es werden die sogenannten „Partialeffekte“ ermittelt). Wenn also zusätzliche Investitionen getätigt werden, so wird ermittelt, welche direkten Wirkungen diese Investitionen haben (in jenen Sektoren, in denen direkt nachgefragt wird), welche indirekten Effekte diese Investitionen haben (etwa weil jene erstgenannten Sektoren, in denen die Investitionsnachfrage auftritt, ihrerseits aus anderen Sektoren mehr Vorleistungen beziehen). Es wird hingegen nicht untersucht, woraus diese Investitionen finanziert werden, und ob auch daraus Rückwirkungen zu erwarten sind. Für letzteres sind jeweils mehrere Varianten denkbar (aus Verschuldung finanziert, aus der Absenkung anderer Investitionen, aus der Reduktion des Konsums etc.), mit jeweils anderen Folgewirkungen. Es werden im vorliegenden Abschnitt also zunächst die „reinen“ Partialeffekte untersucht, ohne Festlegung auf eine spezifische (letztlich aber auftretende) weitere Rückwirkung, etwa aus der Finanzierung der Investition. Ähnliches gilt durch die Maßnahmenbündel für die ausgelöste Reduktion der Energieausgaben. Auch hier wird in der Ermittlung der Partialeffekte nicht weiter der Frage

nachgegangen, wofür die KonsumentInnen (oder auch die Unternehmen) nun stattdessen die zuvor für Energienachfrage verwendeten Mittel einsetzen.

Für die Berechnung der makroökonomischen Partialeffekte der Maßnahmenbündel aus den Bereichen Gebäude, Mobilität und Produktion wurde in Steininger et al. (2012) das von JOANNEUM RESEARCH und WIFO zwischen 2003 und 2005 entwickelte Modell MULTIREG herangezogen.

Das Modell bildet die wirtschaftlichen Verflechtungen auf der Ebene von 32 Wirtschaftsbranchen bzw. Gütern und den neun österreichischen Bundesländern ab und erfasst damit die sektoralen Zuliefer- und Konsumbeziehungen innerhalb eines Bundeslandes wie auch jene zwischen den Bundesländern und mit dem Ausland.

MULTIREG besteht aus der Verbindung mehrerer Modelle:

- regionale Input-Output Tabellen (welche die Lieferströme zwischen den Branchen eines Bundeslandes enthalten),
- eine interregionale Handelsmatrix (welche die Lieferungen verschiedener Güter zwischen den Bundesländern sowie Auslandsexport und -importströme abbildet) sowie
- ökonometrisch geschätzte Zeitreihenmodelle, welche die aus der ökonomischen Theorie abgeleiteten Beziehungen zwischen verschiedenen Variablen (z.B. privater Konsumnachfrage und Haushaltseinkommen, Produktion und Beschäftigung etc.) empirisch quantifizieren und den dynamischen Veränderungen eines Wirtschaftssystems Rechnung tragen.

MULTIREG bildet auf Basis dieser Teilmodelle die für einen Wirtschaftsraum typischen Kreislaufzusammenhänge zwischen Nachfrage, Produktion, Beschäftigung und Einkommen ab.

Verändert sich durch die Maßnahmenbündel die Nachfrage nach und von heimischen und internationalen (interregionalen) Gütern, so kann nun diese Nachfrage in der Region selbst, aber auch durch Importe aus anderen Regionen und Importen aus dem Ausland befriedigt werden. Die im Inland nachgefragten Güter werden im Inland produziert, wobei wiederum Vorleistungen nachgefragt werden. Das daraus resultierende Einkommen erhöht die weitere Nachfrage. Das Modell berücksichtigt auch technologischen Wandel und Änderungen der interregionalen Handelsbeziehungen. Der Gesamteffekt der Wirkungen der Maßnahmenbündel der einzelnen Bereiche lässt sich somit aus drei Teileffekten ableiten:

- direkte Effekte (aus direkten Aufträgen),
- indirekte Effekte (aus Vorlieferverflechtungen) und
- induzierte Effekte (hervorgerufen durch zusätzliche Einkommen)
-

2. Makroökonomische Gesamteffekte

Es werden in zweiten Schritt die über die Gesamtwirtschaft wirksamen Finanzierungsrückwirkungen mit einbezogen. Dies bedeutet, dass eine konkrete Annahme getroffen werden muss, wie die zusätzlichen Investitionen finanziert werden, oder wofür die Mittel, die durch geringere Energieausgaben frei werden, eingesetzt werden.

Zurückgegriffen wird dabei methodisch auf eine Weiterentwicklung des am Wegener Zentrum entwickelten Angewandten Allgemeinen Gleichgewichtsmodells für die regionale Wirtschaft (Steininger et al, 2010). Grundannahme ist dabei, dass die wirtschaftlichen Aktivitäten in Form eines Gleichgewichtszustandes darstellbar sind, in dem sich auf den Märkten jene Preise einstellen, die – langfristig – Angebot und Nachfrage in Übereinstimmung bringen. Durch die Einführung einer Politikmaßnahme verändern sich die Nachfrage- und Angebotsbeziehungen, sodass sich ein neuer Preisvektor einstellt, und sich neue Gütermengen ergeben. In welcher Richtung und Größenordnung diese Veränderungen auftreten, gibt uns Auskunft, wie das konkret überprüfte Maßnahmenbündel wirkt.

Zusätzliche Investitionen betreffend sind verschiedene Finanzierungsoptionen denkbar. Im Hinblick auf die makroökonomischen Wirkungen ist jene die konservativste, die unterstellt, dass in gleichem Umfang andere Investitionen und der Konsum reduziert werden, sodass sich also die Budgetposition der Akteure durch das neue Maßnahmenbündel und dessen Investitionen nicht ändert. Die resultierenden Netto-Effekte hängen von der Struktur der Sektoren ab. Wenn z.B. Investitionen in den Bau getätigt werden und dieser ist beschäftigungsintensiver als andere Sektoren, so wird netto damit mehr Arbeitskraft nachgefragt, auch bei Berücksichtigung der in der Gegenrichtung wirksamen Finanzierungsauswirkungen. Wenn gleichzeitig in der Volkswirtschaft Arbeitslosigkeit herrscht, so wird durch diese Ausweitung der Arbeitsnachfrage nunmehr durch die Politik-Maßnahme ein zuvor nicht genützter Wirtschaftsfaktor eingesetzt – und die Wertschöpfung steigt (wie auch das Beschäftigungsvolumen). Dies hat wiederum Rückwirkungen, indem die staatlichen Zuschüsse zum Arbeitsmarktservice dadurch gesenkt werden können, und die Lohnsteuererlöse ansteigen. Beides erhöht die verfügbaren öffentlichen Mittel, und damit eine im Allgemeinen überdurchschnittlich arbeitsintensive öffentliche Nachfrage. Dies löst eine positiv verstärkende weitere Rückwirkungsrunde aus.

Unser Betrachtungshorizont ist langfristig: Wir interessieren uns daher für den Zustand, der eintritt, nachdem alle diese Anpassungsprozesse vollständig stattgefunden haben.

In den Darstellungen wählen wir die vorher genannte konservative Annahme der vollständigen simultanen Gegenfinanzierung. Würden die Investitionen etwa aus erhöhter Verschuldung finanziert (wie es gerade bei öffentlichen Infrastrukturinvestitionen durchaus der Fall ist, oder auch bei privaten Investitionen in die Gebäudesanierung), so wären die Wertschöpfungseffekte größer als die im Folgenden dargestellten. Für diese alternativen Finanzierungsannahmen stellen die ausgewiesenen Wertschöpfungseffekte eine untere Schranke dar.

Wir weisen im Folgenden nur die Netto-Gesamteffekte der zusätzlichen Investitionen aus, weil diese den wesentlichen, relevanten und unter abgesicherten Annahmen ermittelbaren Effekt darstellen. Die Auswirkungen der Umschichtung bei den laufenden Ausgaben werden hingegen von den konkreten Annahmen, in welche Richtung diese Umschichtung geht, im Ergebnis stark gesteuert.

Im Bereich Gebäude werden die geplanten Investitionen in den Maßnahmenbündeln Sanierung, Heizung und Solarthermie durchgeführt. Die Investitionen auf der einen Seite stehen zukünftigen Energieeinsparungspotenzialen gegenüber. In Tabelle 3 sind die wirtschaftlichen Auswirkungen der jeweiligen Maßnahmenbündel dargestellt. Im Zeitraum 2010 bis 2030 sind durch die im Innovationsbündel geplanten Investitionen Wertschöpfungseffekte von € 6,5 Mrd. zu erwarten. Daraus resultieren rund 88.000 ausgelastete bzw. neu geschaffene Jahresbeschäftigungsverhältnisse.

Gebäude	Basis-bündel	Innovations-bündel
Veränderung der Kosten		
Verringerung der bisherigen Aufwendungen (Betriebs- und Investitionskosten) (Ø2010-2030) [Mio. €/Jahr]	-290	-490
Zusätzliche Investitionskosten jährlich (Ø2010-2030) [Mio. €/Jahr] *)	350	500
Makroökonomische Partialeffekte**)		
Bruttowertschöpfungseffekte der Investitions- und Betriebskosten jährlich (Ø2010-2030) [Mio. €]	224	324
Bruttowertschöpfungseffekte der verringerten Aufwendungen jährlich (Ø2010-2030) [Mio. €]	-186	-290
Beschäftigungseffekte der Investitions- und Betriebskosten jährlich (Ø2010-2030) (Jahresbeschäftigungsverhältnisse)	3.048	4.381
Beschäftigungseffekte der verringerten Aufwendungen jährlich (Ø2010-2030) (Jahresbeschäftigungsverhältnisse)	-1.905	-2.952

*) Das Ausmaß der notwendigen Investitionen ist dabei stark von der tatsächlichen Entwicklung der fossilen Energiepreise und Steuersätze abhängig.

***) Nicht berücksichtigt sind sekundäre Effekte (wie der Finanzierung resultierender struktureller Veränderungen oder zusätzlicher Konsum durch eingesparte Aufwendungen)

Tabelle 3: Gesamteffekte des Bereichs Gebäude im Zeitraum 2010 bis 2030, Bundesland Steiermark

Für den Bereich der Gebäude werden im Rahmen des Innovationsbündels des Klimaschutzplanes Steiermark 2020 für den Zeitraum 2010 bis 2030 Gesamtinvestitionen von rund € 10 Mrd. veranschlagt. Es wird davon ausgegangen, dass davon rund 75 % bzw. € 7,5 Mrd. direkt in der Steiermark investiert werden.

Tabelle 4 weist Netto-Gesamteffekte von 270 bzw. 440 Mio. € im Jahr 2020 an zusätzlichen Investitionen und daraus resultierenden 6.000 bzw. 9000 zusätzlichen Beschäftigungsverhältnissen aus.

Maßnahmenbündel Gebäude	Basis-bündel	Innovations-bündel
Veränderung der Kosten		
Verringerung der bisherigen Aufwendungen (Betriebs- und Investitionskosten) (Ø2010-2030) [Mio. €/Jahr]	-290	-490
Zusätzliche Investitionskosten jährlich (Ø2010-2030) [Mio. €/Jahr]	350	500
Makroökonomische Netto-Gesamteffekte der Investitionen		
BIP regional, Veränderung absolut (Mio. €) (im Jahr 2020)	270	440
Beschäftigung, Veränderung absolut (im Jahr 2020)	6.000	9.000

Tabelle 4:

Makroökonomische Netto- Gesamt-Effekte Gebäude

Quelle: Wolking et al. (2012)

4. Zusammenfassung

Obwohl eine Vielzahl von Kompetenzen im Bereich der Klimapolitik insbesondere im Bereich Gebäude in der Hand der Bundesländer liegen, gehen Initiativen auf regionaler Ebene nicht immer zügig voran, zum Teil auch weil die Entscheidungsträger über nicht ausreichend Information darüber verfügen, welche Maßnahmen zuerst durchgeführt werden sollen, mit welchen THG-Reduktionspotenzialen und Kosten dies verbunden ist und inwiefern dies zu makroökonomischen Folgeeffekten führt.

Die im Rahmen von Steininger et al. (2012) entwickelte und in Wolking et al (2012) publizierte Methodik stellt allen Akteuren und Entscheidungsträgern auf regionaler Ebene eine Entscheidungsgrundlage und ein Werkzeug zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Region ihren Beitrag zur Erreichung der EU 2020 Ziele quantifizieren und analysieren kann, wie sie einen nachhaltigen „low carbon“ Pfad mit einer Zeitperspektive bis 2020/2030 einschlagen kann. Die Methodik konzentriert sich auf den Nicht-ETS Bereich, da Regionen bzw. Bundesländer dabei die größten Gesetzgebungskompetenzen haben. Für den Nicht-ETS Bereich wurden Handlungsoptionen und die dazugehörigen Einsparungen in Energie und THG-Emissionen entwickelt. Zentral für die umfassende Wirkung ist für den gesamten Prozess die intensive Einbindung der Stakeholder, die einen Austausch zwischen Wissenschaft, Landesverwaltung und andere regionalen Entscheidungsträger erlaubt. Diese Stakeholdereinbindung zeigt, welche Handlungsoptionen durchsetzbar sind, und wie sie gestaltet sein müssen, um die Akzeptanz zu erhöhen und Hemmnisse abzubauen. Das Resultat dieses Prozesses ist eine akzeptierte Liste von Handlungsoptionen und Instrumenten mit einem vorgegebenen Zeitplan, der die Umsetzung erleichtert. Dadurch wird ein Monitoring, das die Zielerreichung für einen bestimmten Zeitpunkt kontrolliert, überhaupt erst ermöglicht.

Die Methode zeigt auch auf, welche Handlungsoptionen ein Bundesland mit den eigenen Ressourcen durchführen kann. Es hat sich für die Steiermark gezeigt, dass die Länder grundsätzlich in der Lage sind das regionalisierten EU 2020 THG-Ziel aus eigener Kraftanstrengung zu erreichen.

Die volkswirtschaftliche Bewertung zeigt, dass gerade durch Klimaschutz-bedingte Maßnahmen im Bereich Gebäude stark positive Auswirkungen zu verzeichnen sind, in Hinblick insbesondere auf regionale Wertschöpfung und Beschäftigung.

Die Stakeholder Workshops haben gezeigt, dass eine Vielzahl von Hemmnissen und Barrieren die Durchführung von klimapolitischen Maßnahmen verzögert. Umso wichtiger ist es, eine verbindliche Vereinbarung zwischen den unterschiedlichen Parteien zu erwirken, um die Bereitschaft Verantwortung zu übernehmen zu erhöhen.

Ist diese Bereitschaft gegeben und mündet sie in einen Beschluss der Landesregierungen, ist der nächste Schritt die Durchführung eines (jährlichen) Monitorings. Das Monitoring zeigt, ob die Landesverwaltungen die Maßnahmen tatsächlich in ordnungs- und fiskalpolitische Maßnahmen übersetzen können (Gesetzesänderungen, Förderungen, etc.) und sich die Bundesländer auf ihren Reduktionspfaden befinden.

Beinahe jedes Bundesland hat in Österreich einen Klimaschutzplan oder eine Klima- und Energiestrategie. Meist sind Ziele definiert, an die lange Listen von Maßnahmen angehängt sind, selten sind Maßnahmen hinsichtlich des Reduktionspotenzials, der Kosten und

Einsparungen und der ökonomischen Auswirkungen der Investitionen quantifiziert. Diese Informationen sowie die Information über die Zielwerte für jedes einzelne Jahr bis zu einem Zeithorizont 2020/2030 sind jedoch relevant und sollten in keinem Klimaschutzplan fehlen. Dadurch wird auch der Bedarf an zielgerichteten Anstrengungen und die Notwendigkeit für rasches Handeln für alle Entscheidungsträger auf Landesebene sichtbar.

Literatur

- [1] BMWFJ and BMLFUW (2010), Energiestrategie Österreich 2010, Vienna.
- [2] Ekholm, T., Soimakallio, S., Moltmann, S., Hoehne, N., Syri, S. and Savolainen, I. (2010), Effort sharing in ambitious, global climate change mitigation scenarios. *Energy Policy* 38, 1797-1810.
- [3] Europäische Kommission (2008), 20 und 20 bis 2020 – Chancen Europas im Klimawandel, Mitteilungen der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Komm(2008) 30 endgültig, Brüssel.
- [4] Europäisches Parlament und Rat (2009), Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, Brüssel, April 2009.
- [5] Philipsen, G.J.M. , Bode, J.W., Blok, K., Merkus, H. and Metz, B. (1998), A Triptych sectoral approach to burden differentiation; GHG emissions in the European bubble. *Energy Policy*, 26, 929-943.
- [6] Trink, T., Schmid, C., Schinko, T., Steininger, K.W., Kettner, C., Loibnegger, T., Pack, A., Töglhofer, C. (2010), Regional Economic Impacts of Biomass Based Energy Service Use: A Comparison Across Crops and Technologies for East Styria, Austria, *Energy Policy*, 38, 5912-5926, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.045>.
- [7] Steininger, K., B. Amon, A. Damm, W. Grossmann, R. Heimrath, S. Hörtenhuber, R. Kurzmann, M. Lauer, D. Steiner, F. Tatzber, B. Wolking (2012), ClimReg – Bundeslandspezifische Technologieszenarien als Entscheidungsgrundlage für eine zukunftsfähige Energienutzung, Endbericht an den Fördergeber Klima- und Energiefonds, Universität Graz. Graz.
- [8] Wolking, B., Steininger, K., Damm, A. , Schleicher, S., Tuerk, A., Grossmann, W., Tatzber, F. and Steiner, D. (2012), Implementing Europe's climate targets at the regional level, *Climate Policy* 12, 1-23, doi:10.1080/14693062.2012.669096.

Schallschutz in Europa

Stand und Entwicklung im baulichen

Schallschutz



DI Heinz Ferk
Institut für Hochbau - Labor für Bauphysik
Technische Universität Graz
Laborleitung
8010 Graz
Austria
ferk@tugraz.at

Lärm ist heute ein weltweit zunehmendes Problem. Dass Lärm ist nicht nur „lästig“ sondern „belastend“ sein kann, zeigen lärmverursachte Erkrankungen, die bis hin zu einer Verkürzung der Lebenszeit und damit zum Tod führen [1] [2]. Im täglichen Leben sind heute viele sowohl häufiger als auch für eine längere Expositionszeit höheren Schallpegeln ausgesetzt, als je zuvor in der Geschichte der Menschheit, sieht man von historischen Arbeitsbedingungen zu Zeiten der industriellen Revolution und spez. Lärmbetrieben und Einzelfällen ab. Darüber hinaus setzen sich viele Jugendliche und Erwachsene auch in der Freizeit hohen Schallpegeln aus. Neben zunehmender Schwerhörigkeit kann ständiger Lärmstress aber auch zu einer reduzierten Toleranz für nicht selbst beeinflusste Geräusche nach sich ziehen. Erwartungen an den Schallschutz in Fahrzeugen und Wohnungen nehmen zu, während gleichzeitig mit immer technisch aufwändigeren Einrichtungen wie Car-Hifi, Surround Systemen und Home-Cinema-Anlagen und in Konzerten teils extreme Schallpegel konsumiert werden. Auch im Hochbau, in der Entwicklung der Baukonstruktion an sich sind schalltechnisch relevante Änderungen zu beobachten. Neben dichteren Fensterkonstruktionen kommen vermehrt leichte, resonante Baukonstruktionen zum Einsatz, mit einer geänderten Charakteristik der Schalldämmung, verglichen zu den früher häufigen massiven Wänden aus Vollziegel, Stein und Beton. Zu steife Wärmedämmung an der Fassade kann in ungünstigen Fällen zu einem geringeren Schutz insbesondere vor Straßenlärm führen. Zunehmend häufiger eingesetzte mechanische Lüftungssysteme und motorisch betriebene Einrichtungen wie Rollläden etc. können zu einer Geräuschbelästigung in der eigenen Wohnung mit sich bringen, ebenso wie der zunehmende Einsatz akustisch harter Oberflächen in der Gestaltung der Räume. Zunehmend machen auch Anlagen wie Wärmepumpen und Umwälzanlagen Lärmprobleme. Zu hohe Schalldämmung der Gebäudehülle wiederum macht Geräusche in den Gebäuden verstärkt wahrnehmbar. Auch gesellschaftlich sind Änderungen zu beobachten. Singlewohnungen und Kleinfamilienwohnungen haben auch häufig eine größere Individualisierung der Nutzung zur Folge, die Akzeptanz z.B. der Geräusche fremder Kinder ist bei älteren Leuten häufig geringer, als früher jene der eigenen Enkel in der Großfamilie. Die Anforderungen an die Schalldämmung in den europäischen Staaten ist sehr unterschiedlich, und heute nur schwer vergleichbar, wie im folgenden och gezeigt wird. Beinahe jedes Land verwendet andere Deskriptoren. Dies führt nun international und auf

europäischer Ebene zu Änderungsbestrebungen, die auch auf den zukünftigen Schallschutz in Österreich Einfluss haben werden.

1. Schallschutz in Österreich und Europa

Vor nun genau vor 100 Jahren Kafka schildert in seiner autobiografischen Prosaskizze „Großer Lärm“, die im Oktober 1912 in der Prager Zeitung „Herder Blätter“ erschien, wie er in seinem Zimmer sitzt, und um ihn herum Türen schlagen hört, von den Geräuschen des Vaters, der durch das Zimmer läuft, Stimmen aus der Nachbarwohnung stören – Lärm, der erst nach dem lauten Ruck des Zuziehens der Wohnungstüre zum „zarteren“ Lärm der Kanarienvögel in der Wohnung wird.... Kafka macht mit dieser Veröffentlichung seiner psychischen Belastung im Familienumfeld Luft, und zeigt andererseits, wie wenig er in der Lage ist, sich aus eigener Kraft aus diesem „Lärmelend“ zu befreien.

Heute hat der Schutz vor Lärm für Gebäude in Europa einen wenig einheitlichen, aber dennoch bedeutenderen Stellenwert, wie sich in den zunehmenden Bemühungen um den „richtigen“ Schallschutz zeigt. Neben Vorgaben und Studien der WHO ist Schallschutz in Europa für den Hochbau insbesondere als eine der sieben wesentlichen Anforderungen der „European Construction Products Directive“³ verankert. Diese fünfte wesentliche Anforderung „Protection against noise“ lautet:

„The construction works must be designed and built in such a way that noise perceived by the occupants or people nearby is kept to a level that will not threaten their health and will allow them to sleep, rest and work in satisfactory conditions.“

Demnach basiert das heute hier geforderte Schallschutzniveau auf dem Gesundheitsschutz und hat zum Ziel, zufriedenstellende Nutzungsverhältnisse zu erreichen; eine Verpflichtung, welche die nationalen Parlamente entsprechend in Form von Gesetzen umzusetzen haben. Diese Forderung auf europäischer Ebene besteht seit 1998 (damals noch Rahmen der Europäischen Bauproduktenrichtlinie). Umso erstaunlicher ist es, wie breit gestreut die Mindestanforderungen an den Schallschutz in Europa heute, nach fast 15-jährigem Bestehen dieser „europäischen“ Anforderung noch sind.

2. Mindestanforderungen an den Luftschallschutz in Gebäuden in Europa

Die Beschreibung des Luftschallschutzes erfolgt in Europa in der Regel mit Einzulangaben basierend auf der internationalen Norm EN ISO 717 Teil 1 [4] „Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung“. Diese Norm definiert für die Luftschalldämmung von Bauteilen das bewertete Schalldämm-Maß R_w und für die Luftschalldämmung in Gebäuden die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ sowie die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$. Weiters sind Definitionen für auf spezifische Situationen bezogene Einzulangaben enthalten. Alle Einzulangaben werden dabei über die Terzbandmittenfrequenzen von 100 Hz bis 3150 Hz ermittelt. Darüber hinaus werden sogenannte Spektrum-Anpassungswerte definiert, um die Schalldämmung gegen

besondere Lärmspektren, wie zB. Verkehrslärm mit besonders tieffrequenter Schallspektrum über den Spektrumanpassungswert C_{tr} darstellen zu können. Ein weiterer Spektrum-Anpassungswert C ist geeignet, insbesondere Wohnaktivitäten entsprechend zu beschreiben. Dabei ist es zusätzlich möglich, diese Spektrumanpassungswerte auch im erweiterten Frequenzbereich von 50 Hz bis 3150 Hz, 50 Hz bis 5000 Hz oder 100 Hz bis 5000 Hz zu bestimmen.

Allein bei der Betrachtung des Schallschutzes in Wohngebäuden zeigt sich, dass von dieser möglichen Vielfalt an Deskriptoren in den verschiedenen europäischen Ländern auch Gebrauch gemacht wird.

Land	Deskriptor	Anforderung in dB	
		MF-Haus	Reihen-Haus
Österreich	$D_{n,T,w}$	55	60
Deutschland	R'_w	53	57
Italien	R'_w	50	50
Dänemark	R'_w	55	55
Norwegen	R'_w	55	55
Schweden	$R'_w + C_{50-3150}$	53	53
Finnland	R'_w	55	55
Großbritannien	$D_{n,T,w} + C_{tr}$	45	45
Frankreich	$D_{n,T,w} + C$	53	53
Schweiz	$D_{n,T,w} + C$	52	55
Niederlande	$I_{lu,k}$	0	0
Belgien	$D_{n,T,w}$	54	58
Spanien	$D_{n,T,w} + C_{100-5000}$	50	50
Portugal	$D_{n,w}$	50	50
Polen	$R'_w + C$	50	52
Tschechien	R'_w	52	57
Slovakai	R'_w	52	52
Ungarn	$R'_w + C$	51	56
Slovenien	R'_w	52	52
Estland	R'_w	55	55
Lettland	$D_{n,T,w}$ oder R'_w	54	54
Lithauen	R'_w	55	55
Island	R'_w	52	55
Irland	$D_{n,T,w}$	53	53

Tabelle 1: Luftschalldämmung zwischen Aufenthaltsräumen in Wohnungen und Reihenhäusern verschiedener europäischer Länder [5]

Während in Österreich bereits seit 1992 als beschreibende Größe die auf eine Nachhallzeit von 0,5 s bezogene Standard-Schallpegeldifferenz zwischen zwei Räumen als den Gegebenheiten unterschiedlich großer Räume am besten Rechnung tragende Größe eingeführt wurde, wird in zahlreichen Ländern immer noch das Bau-Schalldämm-Maß verwendet. Zum Teil werden auch Spektrum-Anpassungswerte in spez. Frequenzspektren in die Beschreibung einbezogen. Betrachtet man die Zahlenwerte, sind deutliche Unterschiede erkennbar, andererseits ist aufgrund der differierenden Deskriptoren ein direkter Vergleich schwer durchführbar.

1.1. Mindestanforderungen an den Trittschallschutz in Europa

Auch für den Trittschallschutz bietet sich ein ähnliches Bild. Die verwendeten Einzahlangaben für den mindesterforderlichen Trittschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen in Wohnungen basieren auf der internationalen Norm EN ISO 717-2 [6] "Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung". Die Norm sieht als Einzahlangabe für die Trittschalldämmung von Decken den bewerteten Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ vor, für die Trittschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ sowie den bewerteten Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$, jeweils ermittelt über die Terzbandmittenfrequenzen von 100 Hz bis 3150 Hz. Um Pegelspitzen im tiefen Frequenzbereich besser zu beschreiben, wurde zusätzlich der Anpassungswert C_1 definiert, jeweils für die Frequenzbereiche von 100 Hz bis 2500 Hz sowie 50 Hz bis 2500 Hz.

Für Aufenthaltsräume in Wohngebäuden zeigt sich in Europa für den Trittschallschutz folgendes Bild:

Land	Kenngröße	Anforderung in dB	
		MF-Haus	Reihen-Haus
Österreich	$L'_{nT,w}$	48	43
Deutschland	$L'_{n,w}$	53	48
Italien	$L'_{n,w}$	63	63
Dänemark	$L'_{n,w}$	53	58
Norwegen	$L'_{n,w}$	53	53
Schweden	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	56	56
Finnland	$L'_{n,w}$	53	53
Großbritannien	$L'_{nT,w}$	52	0
Frankreich	$L'_{nT,w}$	58	58
Schweiz	$L'_{nT,w} + C_1$	53	50
Niederlande	I_{co}	5	5
Belgien	$L'_{nT,w}$	58	50
Spanien	$L'_{nT,w}$	65	65
Portugal	$L'_{n,w}$	60	60
Polen	$L'_{n,w}$	58	53
Tschechien	$L'_{n,w}$	58	53
Slovakai	$L'_{n,w}$	58	58
Ungarn	$L'_{n,w}$	55	45
Slovenien	$L'_{n,w}$	58	58
Estland	$L'_{n,w}$	53	53
Lettland	$L'_{n,w}$	54	54
Lithauen	$L'_{n,w}$	53	53
Island	$L'_{n,w}$	58	53
Irland	$L'_{nT,w}$	62	0

Tabelle 2: Trittschalldämmung zwischen Aufenthaltsräumen in Wohnungen und Reihenhäusern verschiedener europäischer Länder [7]

Bisher wurde lediglich in Schweden, einem Land mit relativ häufigen leichten Deckenkonstruktionen eine Anforderung an die Trittschalldämmung ab 50 Hz festgelegt,

die meisten anderen Länder verwenden den bewerteten Norm- oder Standardtrittschallpegel über den Frequenzbereich 100 Hz bis 3150 Hz. Dennoch sind auch hier die Unterschiede beachtlich.

1.2. Zielerreichung in Europa

In der Studie "Lärm und Sterblichkeit" der WHO (LAR[S8]) wurde in europäischen Ländern ist ein relative hoher Prozentsatz von durch Lärm gestörten Wohnungsnutzern dokumentiert. In dieser WHO Studie folgende Zahlen genannt:

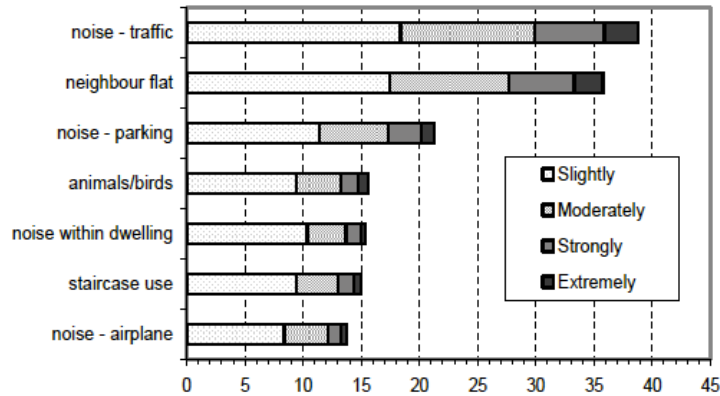


Abbildung 1: Prozentsatz Lärm gestörter Personen nach Schallquellen in Europa nach [8]

Dabei fällt der größte Anteil an Störungen auf Verkehrslärm, an zweiter Stelle wird Lärm aus der Nachbarschaft als Ursache benannt. Diese Störungen wirken sich auch auf die Nachtruhe aus, wobei hier wiederum Verkehrslärm und Nachbarschaftslärm für mehr als jeweils 9% der Schlafstörungen verantwortlich zeichnen. Die berechnete Frage stellt sich, ob damit die Anforderungen der Europäischen Bauproduktendirektive als erfüllt angesehen werden können.

3. Zielerreichung in Österreich

Betrachtet man die oben dargestellten Anforderungen, ist zu erkennen, dass in Österreich im Vergleich mit anderen Staaten aus den Einzahlangaben ersichtlich ein vergleichsweise hoher Schallschutz gefordert wird. Allerdings bestehen keine Anforderungen im Bereich der tiefen Frequenzen, also von 50 Hz bis 100 Hz, Spektrum-Anpassungswerte werden nur bei Außenbauteilen wie Fenster berücksichtigt.

In Österreich wird entsprechend der Erwerb- und Wohnungsstatistikverordnung [9] durch die Statistik Austria [10] quartalsmäßig so genannte Mikrozensuserhebungen in Form einer Stichprobenerhebung durchgeführt, zum Thema Lärm wurde 2010 eine Erhebung aus 2007 veröffentlicht [11].

Im Schnitt mehr als 30% - in Wien sogar mehr als 50% fühlen sich im Wohnbereich mehr oder weniger gestört, wobei auch in Österreich der Hauptverursacher Verkehrslärm, und an zweiter Stelle von den Nachbarn verursachter Lärm genannt wird.



Abbildung 2: Anteil und Bewertung von durch Lärm gestörten Bewohnern in Österreich nach [11]

Betrachtet man die Problematik in der Zeitskala, so ist zu erkennen, dass die Vorgaben zum mindesterforderlichen Schallschutz und daraus abgeleitete Maßnahmen in der Vergangenheit eine kontinuierliche Reduzierung der Lärmstörungen mit sich gebracht haben, dass aber andererseits seit 2003 auch wieder eine Zunahme von lärmgestörten Bewohnern zu verzeichnen ist.

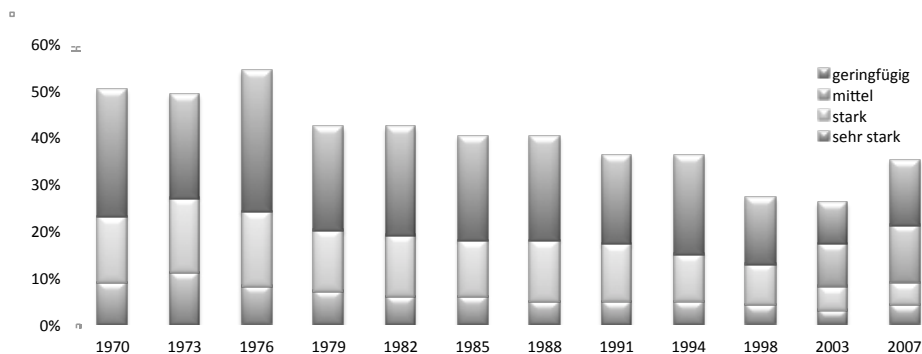


Abbildung 3: Zeitverlauf: Prozentsatz von durch Lärm gestörten Wohnungsnutzern nach [11]

Da – wie oben dargestellt, die Vorgaben zum Schallschutz in Österreich international auf hohem Niveau liegen, also dem Schutz gegen Lärm auf Basis heute üblicher Deskriptoren durchaus hohe Priorität eingeräumt wird, stellt sich die Frage, ob die Vorgaben nicht eingehalten werden oder ob andere Ursachen für den auch in Österreich noch hohen Prozentsatz vorliegen, bzw. wie eine Verbesserung der Situation erreicht werden kann.

4. Zielerreichung in der Steiermark

Für den sozialen Wohnbau in der Steiermark wird im Auftrag des Landes Steiermark im Rahmen der Wohnbauförderung ein kontinuierliches Monitoring des erreichten Schallschutzes von Neubauten durch stichprobenartig Schallmessungen durchgeführt. Im Rahmen des Forschungsprojektes "Schallschutz im Wohnbau" [12] wurden die

Ergebnisse analysiert und einer Befragung von Wohnungsnutzern gegenüber gestellt. Dabei zeigte sich ein hoher Zielerreichungsgrad der Messergebnisse, der Median der tatsächlich erreichten Werte lag bereits bei den Erstmessungen ohne Nacharbeiten deutlich über den Anforderungen.

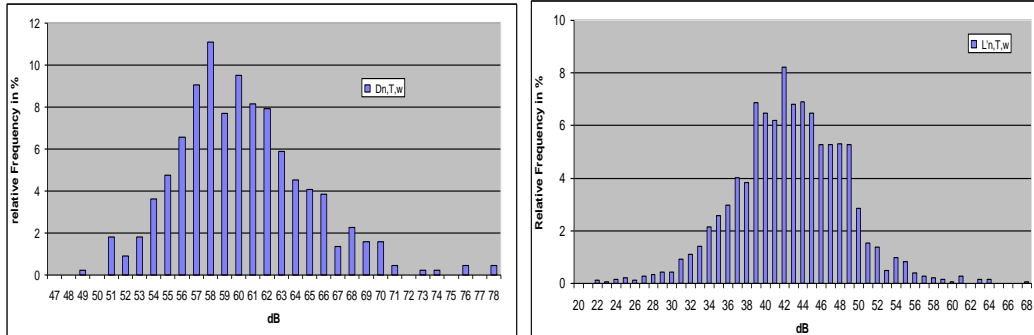


Abbildung 4: Ergebnisse zu Luftschall- (links) und Trittschallmessungen (rechts) aus [12]

Damit wird deutlich, dass die Konstruktionen insbesondere bei kontinuierlicher Qualitätssicherung durch Nachmessungen einen – bezogen auf die Anforderungen – sehr guten baulichen Schallschutz aufweisen. Ähnlich gute Ergebnisse liegen auch von Nachmessungen des Landes Oberösterreich vor. Damit kann insbesondere im überwachten geförderten Wohnbau nicht davon ausgegangen werden, dass mangelhafte Ausführung Auslöser für die mangelnde Zufriedenheit mit dem Schallschutz darstellt.

Im Rahmen der umfangreichen Befragungen zeigte sich, dass sowohl beim Bemerken, als auch für das Stören an erster Stelle Geräusche wahrgenommen und als Störung empfunden werden, die als dumpf oder tieftonig beschrieben werden:

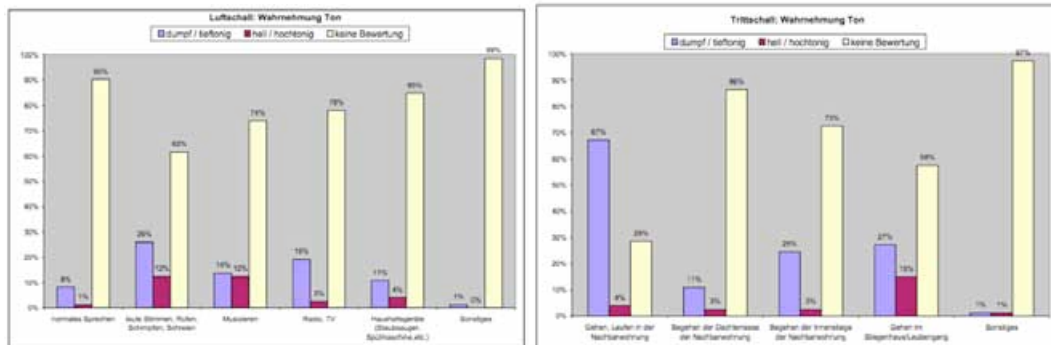


Abbildung 5: Wahrnehmung von Geräuschen in der Wohnung für Luftschall und Trittschall [12]

Die damit nicht ganz zufriedenstellende Situation, dass selbst mit dem relativ hohen Anforderungen auf Basis der vorliegenden Einzahlangaben in Österreich zwar ein guter, aber nicht wirklich ein völlig zufriedenstellender Schallschutz erreicht werden kann.

5. Neuerungen und zukünftige Entwicklungen

Die Vielzahl der Deskriptoren, die geringe internationale Vergleichbarkeit und die unterschiedlichen Anforderungen als Handelshemmnis, sowie auch die offenbar nicht

Einzahlangaben gaben immer wieder Anlaß zu einer Vielzahl an Forschungsprojekten und Untersuchungen zur Verbesserung der Situation durch aussagekräftige Deskriptoren und Überlegungen hin zu einer Erweiterung des Frequenzbereiches.

Insbesondere bei Konstruktionen mit geringerer Schalldämmung in einzelnen Terzbändern im tieffrequenten Bereich, wie Leichtdecken und bestimmte Estrich-, Vorsatzschalen- und Leichttrennwandkonstruktionen ließen schon bald den Ruf nach Anforderungen unter 100 Hz laut werden.

Im Rahmen des aktuellen Europäischen COST-Projektes TU0701 (COST = European CO-operation in the Field of Science and Technology) wurden vieler dieser Projekte zusammengeführt und sind Basis zur Definition neuer, verbesserter Deskriptoren. Bei Überlegungen zur Überarbeitung der bestehenden ISO 717-Normenreihe zeigte sich bald, dass wirkungsvolle Änderung aufgrund der vielfältigen Zusammenhänge nur durch Erarbeitung einer neuen Basis mit entsprechender Übergangszeit erfolgen kann. Eine neue Bewertungsnorm soll dann nach entsprechender Übergangsfrist die bisherige ISO 717 Teil 1 [4] und Teil 2 [6] aus dem Jahr 1996 ablösen. Besondere Eckpunkte vorliegender Vorschläge sind vereinheitlichte und vereinfachte neue Deskriptoren, welche spezifisch auch die bisher eingeführte Spektrum-Anpassungswerte beinhalten und ein adaptiertes Frequenzspektrum abdecken sollen sowie adäquat auch auf Schallpegeldifferenzen übertragen werden können:

Schallschutzbereich	Einzahlangabe	Frequenzbereich in Hz	Soll ersetzen
Nachbarschaftslärm	R_{living}	50 – 5000	$R_w + C_{50-5000}$
Verkehrslärm	R_{traffic}	50 - 5000	$R_w + C_{\text{tr},50-5000}$
Sprache	R_{speech}	200-5000	$R_w + C_{\text{speech}}$

Tabelle 3: Zusammengefasste Vorschläge zu neuen Deskriptoren der Luftschalldämmung von Bauteilen u.a. nach. Park, Bradley, Gover, Mortensen, Hagberg et al.

Für den Trittschall liegt ein interessanter Vorschlag von W. Scholl/PTB vor, bei dem die derzeitige Problematik, dass beim Trittschall der Trittschallpegel und nicht eine Trittschalldämmung angegeben wird, was in der Praxis immer wieder zu Problemen führt, beseitigen würde. (höhere Werte bedeuten beim Trittschall niedrigere (Tritt-) Schalldämmung, beim Luftschall dagegen eine höhere Schalldämmung). Dabei wird die Trittschalldämmung entsprechend dem Bildungsgesetz des Schalldämm-Maßes

$$R_{xx} = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{auftreffend}}}{P_{\text{durchgelassen}}} \text{ dB}$$

R_{xx} ...spez. Schalldämmung
P...Schalleistung

adäquat der Luftschalldämmung über das Referenzspektrum des Trittschallhammerwerks und dem Pegel im Empfangsraum ermittelt:

$$R_{xx} = 10 \cdot \lg \frac{\sum_i 10^{\frac{L_i}{10}}}{\sum_i 10^{\frac{L_i - R_i}{10}}} \text{ dB}$$

mit $R_i = 78 + 10 \lg(f_i/1\text{Hz}) - L_{n,i}$
 und L_i ...Referenzspektrum der Quelle

Der direkte Zusammenhang mit dem Norm-Trittschallpegel bleibt dabei erhalten:

$$R_{\text{impact}} = 104 - (L_{n,w} + C_{L,50-2500}) \text{ dB}$$

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob das heute verwendete „Rosa Rauschen“ (gleiche Schalleistung je Frequenzband) repräsentativ für die neuen Deskriptoren ist, und ob die A-Bewertung auch der menschlichen Gehörempfindung für die spezifischen Geräuschkulissen entspricht, sowie der Einbindung der tiefen Frequenzen. Hier wurde und wird neben den verschiedenen Lautheitsberechnungsmethoden z.B. nach E. Zwicker (z.B. DIN 45631) sowie diversen Untersuchungen als Basis für die internationalen Normen zur Lautheit ISO 532, ANSI S3.4-2007 und anderen insbesondere an spezifischen psychoakustischen Untersuchungen gearbeitet, um eine gute Korrelation der Gehörempfindung für heute üblicher Geräusche verschiedener Pegel und Frequenz- und Zeitcharakteristik z.B. beim Wohnen mit einer zukünftigen Bewertung zu erarbeiten. Darüber hinaus soll ein trennender Bauteil möglichst für einen hohen Prozentsatz spezifischer Lärmquellen eine zuverlässigen Schutz bieten.

V. Wittstock/PTB [13] hat dafür beispielsweise unter Anwendung einer Monte-Carlo-Simulation die so genannte Schalldämmung R_{living} für verschiedene leichte und schwere Wände mit einigen 100.000 verschiedenen Referenzspektren Modellrechnungen durchgeführt. Diese Referenzspektren wurden so gewählt, dass sie jeweils zwischen einem Musikspektrum und menschlichem Sprechen lagen. Daraus ergab sich für jeden Bauteil eine Verteilung der Schalldämm-Maße R_{living} entsprechend der jeweiligen „Empfindlichkeit“ für diese verschiedenen Lärmspektren. Um eine Einzahlangabe zu erhalten, wurde der Mittelwert dieser Verteilung abzüglich der einfachen Standardabweichung verwendet. Dieser Einzahlwert ist damit in der Lage, das angegebene Schalldämm-Maß in 85% der Fälle auch sicher zu stellen. Prinzipiell zeigt sich aber auch, dass naheliegende Werte auch durch einfachere Mittelung aus dem oberen und unteren Grenzwert für R_{living} unter Berücksichtigung der einfachen Standardabweichung zu erhalten sind. In weiterer Vereinfachung wurde R_{living} unter Berücksichtigung eines Lärmspektrums, das 85% der möglichen Lärmspektren berücksichtigt, errechnet, und auch damit eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der aufwändigen Monte-Carlo-Simulationsberechnung erreicht.

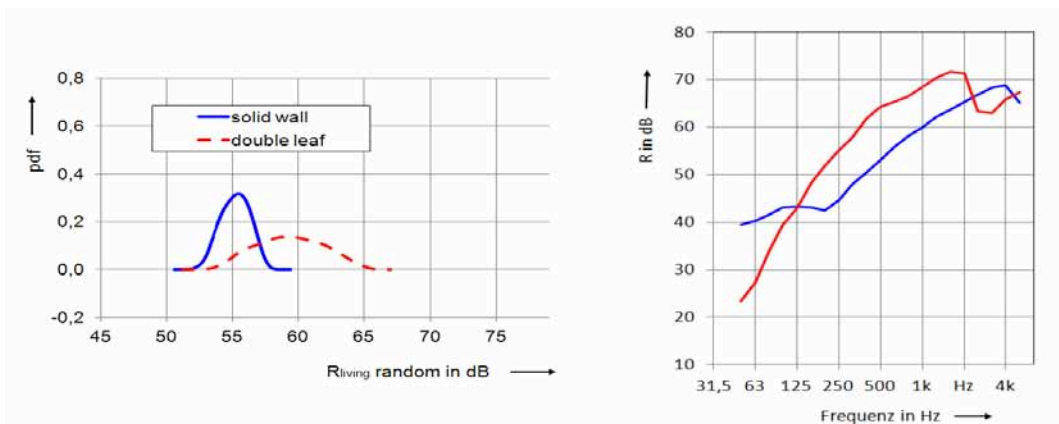


Abbildung 6: Beispiel der Verteilung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_{living} eines leichten mehrschaligen und eines schweren, einschaligen Bauteils unter Anwendung der Zufallsverteilung der Lärmspektren Sprechen und Musik nach [13]

Ein anderer Zugang zur Problematik der Relevanz tiefer Frequenzen wurde durch Messungen am TGM Wien gesucht [14]. Hier wurden verschiedenste Nutzergeräusche in Wohnungen aufgezeichnet und ausgewertet. Aus den gemessenen 67 Lärmspektren wurden jene extrahiert, die für den tiefen Frequenzbereich relevant sind – basierend auf L_1 (im Sinne von Störungen beim Schlafen). Daraus wurde der Mittelwert bestimmt und das 95% Vertrauensintervall berechnet, um den für die Schalldämmung relevanten Bereich zu kennzeichnen.

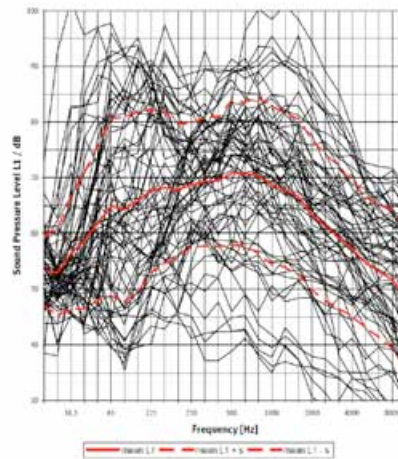


Abbildung 7: Gemessene Lärmspektren in Wohnungen und frequenzbezogener L_1 nach [14]

Eine Untersuchung auf psychoakustischer Basis wurde u.a. von J.S. Bradley [15] durchgeführt. In dieser Untersuchung wurden Hörtests mit verschiedenen virtuellen Wandkonstruktionen durchgeführt, wobei jeweils verschiedene Musikstücke und englisch gesprochene Sätze als „Lärmquelle“ verwendet wurden. Die Probanden mussten die Lästigkeit anhand jeweils einer 7-teiligen Skala bewerten. Dabei wurden die verschiedenen Vorschläge für Bewertungskurven den Ergebnissen gegenübergestellt. Dabei ergab sich eine sehr gute Korrelation zur Lästigkeit bei Verwendung von R_{living} für Wohngeräusche und R_{traffic} für Verkehrsgeräusche und Geräusche mit erhöhtem tieffrequentem Anteil. Für Sprache wird vom Autor mit OptSpeech eine alternative Bewertung zum derzeitigen Stand der Diskussionen vorgeschlagen.

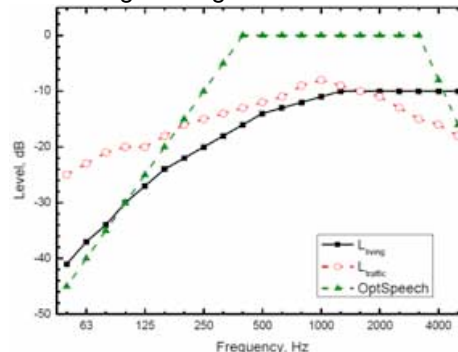
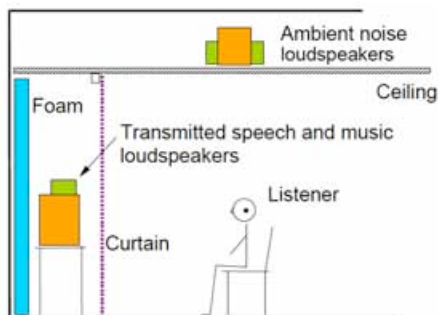


Abbildung 8: links Versuchskonfiguration (schematisch), rechts vorgeschlagene Bewertungskurven nach [15]

Einen zunehmend wichtigeren Stellenwert, auch in Hinblick auf die zukünftige Berücksichtigung der tiefen Frequenzen sowie auch hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Mess- und Rechenergebnisse nimmt die Frage der Unsicherheiten in der Bauakustik ein. In Österreich wurden im Rahmen der ÖNORM B 8115-6 [16] für die Vor-Ort Messung aus Ringversuchen Vertrauensbereiche abgeleitet. Im Rahmen der EN ISO 12999 „Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik – Teil 1 Schalldämmung“ [17] werden konkrete Angaben zur Bestimmung und Anwendung von Unsicherheiten für die Messung der Schalldämmung und der Schallabsorption zur Verfügung gestellt. Ziel ist es, durch Angabe von Vertrauensbereichen und Unsicherheiten Klarheit über die Qualität von Messergebnissen darlegen zu können und zukünftig auch die Basis für die Angabe von Unsicherheiten für Rechenergebnisse zu ebnet. Dabei wird insbesondere für die Mindestanforderungen vom Gesetzgeber oder

den jeweiligen Vertragspartnern eine klare Regelung zu treffen sein, wie mit diesen Unsicherheitsbereichen künftig umzugehen ist – ohne eine solche Regelung stellen Ergebnisse, bei denen die Ergebnisse innerhalb des Vertrauensbereiches der Anforderungen zu liegen kommen, eine Art „blinden Fleck“ für eine eindeutige Beurteilung dar.

6. Klassifizierung – Differenzierter Schallschutz in Österreich und Europa

Die oben dargelegten Ausführungen haben gezeigt, dass die heutigen Mindestanforderungen offenbar nicht in jedem Fall auch zu einem ausreichend zufriedenstellenden Schallschutz führen und zukünftig zusätzliche Aspekte in die Bewertung mit einfließen müssen. Um hier den Weg zu neuen Erkenntnissen auch für österreichische Verhältnisse aufzubereiten, wurde eine neue Norm ÖNORM B 8115 Teil 5 [18] zur Klassifizierung des Schallschutzes erarbeitet. Darin werden bestimmte Schallschutzniveaus auf Basis des zu erwartenden Schallschutzes beschrieben, und diesen Schallschutzniveaus eine Schallschutzklasse zugeordnet. Die derzeitigen Mindestanforderungen entsprechen dabei der Klasse C (bzw. C_R für Reihenhäuser). Höheren Schallschutz bieten die Klassen B und A, wobei in Klasse A jedenfalls auch der akustisch tieffrequente Bereich ab 50 Hz bei Luftschall und Trittschall berücksichtigt wird. Klasse D dient für Klassifizierungen im Altbau, und Klasse E bedeutet einen sehr geringen Schallschutz bzw. dass die Schallschutzklasse für den betreffenden Raum, die Wohnung oder das Gebäude nicht bestimmt wurde. Damit wird es für den Immobilienmarkt erstmals möglich, durch einfache Angabe der Schallschutzklasse das gewünschte Schallschutzniveau zu beschreiben bzw. über einen Schallschutzausweis die Qualität des Schallschutzes einer Immobilie zu deklarieren. Zum anderen besteht damit die Möglichkeit, in der Praxis Erfahrungen mit österreichischen Konstruktionen unter Berücksichtigung des tiefen Frequenzbereichs zu sammeln, und so für zukünftige Anforderungen besser gerüstet zu sein.

Abbildung 9: Schallschutzausweis nach [18]

Mittlerweile bestehen in mehreren europäischen Ländern ebenfalls Klassifizierungen auf Basis der spezifischen Vorgaben. Ziel der zukünftigen Anstrengungen wird es sein, diese Klassen möglichst zu vereinheitlichen, und diese Klassen so zu gestalten, dass diese als Basis für die Beschreibung der baurechtlichen Bestimmungen geeignet sind, um den Schallschutz für den europäischen Markt transparenter gestalten zu können.

Country	Class denotations ⁽¹⁾	CS Reference (latest version)	Link BC to CS	BC Ref. to CS	Comment	Classes for new dwellings	Classes for "old" dwellings
DK	A / B / C / D	DS 490 (2007)	+	Class C		A, B, C	D
FI	A / B / C / D	SFS 5907 (2004)	(-)	None	BC = Class C	A, B, C	D
IS	A / B / C / D	IST 45 (2011)	+ ⁽²⁾	Class C ⁽³⁾	(3)	A, B, C	D
NO	A / B / C / D	NS 8175 (2008)	+	Class C		A, B, C	D
SE	A / B / C / D	SS 25267 (2004)	+	Class C		A, B, C	D
LT	A / B / C / D / E	STR 2.01.07 (2003)	+	Class C		A, B, C	D, E
IT	I / II / III / IV	UNI 11367 (2010)	-	None	BC = Class III	I / II / III	IV
DE	III / III / I	VDI 4100 (2007) (5)	-	None	BC = Class I	III, II, I	None
AT	A / B / C / D / E	ÖNORM B 8115-5 (2012)	-	N/A	BC = Class C	A, B, C	D, E
NL	I / II / III / IV / V	NEN 1070 (1999)	-	None	BC = Class III	I / II / III	IV, V
FR	QLAC / QL ⁽²⁾	Qualitel (2008)	-	None	(4)	QLAC / QL	None

Abbreviations: BC = Building Code (regulatory requirements); CS = Classification scheme

Abbildung 10: Schallschutzklassen in Europa nach [19]

7. Zusammenfassung

Wilhelm Busch beschrieb den Unterschied zwischen Schall und Lärm recht treffend:

„Musik wird oft nicht schön gefunden,
weil sie stets mit Geräusch verbunden“

Tucholsky sagte: „Der eigene Hund macht keinen Lärm, er bellt nur.“ Der Arzt Wilhelm Stekel warnte vor den Geräuschen der Straßenbahn: Tief in die Stunden des Schlafs hinein tönt der Lärm fort. Das Rasseln der Wagen, das Sausen und Stöhnen der Elektrischen, sie beschäftigen unser Gehirn auch im Schlaf. Theodor Lessing verfasste um 1908 eine „Kampfschrift gegen die Geräusche unseres Lebens“ und gründete einen Antilärmverein sowie eine Mitgliederzeitschrift mit dem Titel „Der Antirüpel. Das Recht auf Stille.“ Zu dieser Zeit wurden auch die erste direkt am Menschen anwendbare Schalldämmung von einem Apotheker Namens Maximilian Negwer in seiner Schöneberger Fabrik pharmazeutischer und kosmetischer Spezialitäten produziert: kleine formbare Wattedübelchen mit Wachs zur „Platzierung“ in die Ohren: Ohropax wurde ein weltweit erfolgreiches Produkt, weil es einfach und wirkungsvoll angewendet werden konnte. Es bleibt zu wünschen, dass dies auch mit der zukünftigen Beschreibung der Schalldämmung gelingen mag: Einfach und wirkungsvoll.

Literatur

-
- [1] Burden of disease from environmental noise – Quantification of healthy life years lost in Europe; ISBN: 978 92 890 0229 5, WHO, 2011
 - [2] Guidelines for community noise; WHO, 1999
 - [3] REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC, The European Parliament, 2008
 - [4] ÖNORM EN ISO 717-1: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1:1996+A1:2006) (konsolidierte Fassung); ASI Wien,; 1.12.2006
 - [5] Rasmussen B.: WKSB 53
 - [6] EN ISO 717-1: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen Teil 2: Trittschalldämmung (ISO 717-2:1996+A1:2006) (konsolidierte Fassung); ASI Wien,; 1.12.2006
 - [7] Rasmussen B.: WKSB 53
 - [8] Niemann H., Maschke C.: WHO LARES: Final Report - Noise effects and morbidity. WHO, 2004
 - [9] Erwerbs- und Wohnungsstatistikverordnung, BGBl. II 549/2003 (Mikrozensusgesetz)
 - [10] Bundesanstalt Statistik Österreich (STAT); statistisches Amt der Republik Österreich
 - [11] Umweltbedingungen, Umweltverhalten 2007 – Ergebnisse des Mikrozensus 2007. Statistik Austria, Wien, 2009
 - [12] Ferk H. et.al.: Forschungsprojekt Schallschutz im Wohnbau, noch unveröffentlicht. 13 Scholl W., Wittstock V., Lang J.: About representative „living noise“ from neighbours; Forschungspapier, veröffentlicht u.a. im Rahmen der Diskussionen der

-
- COST-Action FP0702 Grenoble,10/2012 sowie im Rahmen des Workshops „New ISO 16717 and ISO 12999“ in Oslo, 23.10.2012.
- [14] Müllner H., Stani M.: Living-Noise Sspectrum Evaluation - Summary; Preliminary Study, TGM Wien, 07/2012
- [15] Bradley J.S.: Evluation of revised ISO airborne sound insulation ratings, NRC Construction, RR-330, 10/2012
- [16] ÖNORM B 8115-6:07/2011; Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 6: Messverfahren zum Nachweis der Erfüllung der schallschutztechnischen Anforderungen in Gebäuden. ASI Wien, 2011.
- [17] EN ISO 12999-1: 06/2012; Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik – Teil 1: Schalldämmung
- [18] ÖNORM B 8115-5: 12/2012; Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 5: Klassifizierung, ASI Wien
- [19] Rasmussen B.: Harmonization of sound insulation descriptors – Background and activities in COST TU0901; Presentation, Oslo 23.10.2012

Schimmelpilze in Innenräumen – to kill or not to kill?



Professor Dr. Dipl. Biol. Katja Sterflinger
Allg. beeidete und gerichtlich zertifizierte Sachverständige

Mag. Jörg D. Ettenauer

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Biotechnologie
Muthgasse 18, 1190 Wien
Katja.Sterflinger@boku.ac.at
Joerg.Ettenauer@boku.ac.at

Pilze spielen bereits seit Jahrtausenden eine wichtige Rolle für den Menschen [1]. Hefen wurden bereits von Ägyptern, Kelten und Teutonen für die Herstellung von Bier und Backwaren verwendet – ohne daß jedoch die Organismen und biologischen Prozesse der Gärung bekannt waren. Bereits die ersten Jäger und Sammler kannten Pilze und verwendeten sie als Nahrung. Der in den Ötztaler Alpen gefundene „Mann aus dem Eis“ trug Stücke eines Birkenporlings mit sich; es wird vermutet, dass er diesen Pilz als Heilpilz verwendet hat. Giftpilze wie *Amanita muscaria*, der Mutterkornpilz“ *Claviceps purpureum* und mehrere Arten der Gattung *Psilocybe* („magic mushrooms“) wurden als Halluzinogene für kulturelle Riten verwendet. Eine wirkliche Revolution von unschätzbarem Wert war die Entdeckung des ersten Antibiotikums aus dem Schimmelpilz *Penicillium notatum* durch Alexander Fleming im Jahr 1930. Diese Entdeckung bildete die Grundlage für einen vollständig neuen und lebensrettenden therapeutischen Ansatz in der Infektionsbiologie.

Neben ihren zahlreichen positiven Eigenschaften haben Pilze jedoch auch eine „dunkle Seite“: sie produzieren Mykotoxine, einige Pilze sind für Menschen pathogen, zahlreiche Pilze sind allergen, Pilze verderben Nahrungsmittel, sie bauen organische Materialien ab und schädigen anorganische Materialien durch Säure- und Pigmentbildung. Die biogene Schädigung von Gebäuden, wie sie von Schimmelpilzen und so genannten „Schwämmen“ hervorgerufen wird, findet bereits in der Bibel Erwähnung: als weißer, roter oder grüner „Aussatz“ oder „Lochfraß“ auf Ziegeln, Lehm und Holz¹. Heute ist Pilzbefall an Objekten, an Bauteiloberflächen und an Kunst- und Kulturgut ein zunehmendes Problem für die Materialien [2] aber vor allem auch für die menschliche Gesundheit [3, 4].

1. Schimmelpilze aus biologischer Sicht

Im System der Biologie gelten die Pilze – ebenso wie die Pflanzen, Tiere und Bakterien - als eigenes Organismenreich. Alle Pilze ernähren sich heterotroph, das heißt von organischem Material wie z.B. abgestorbenen Pflanzen- oder Tieren, von organischen

¹ Altes Testament, Drittes Buch Mose, Kapitel 14, Vers 33-57.

Verschmutzungen, oder sogar von Kohlenwasserstoffen. Derzeit sind etwa 320.000 unterschiedliche Arten von Pilzen bekannt, die Artenvielfalt wird jedoch auf bis zu 5 Millionen geschätzt.

Das natürliche Habitat der Pilze ist der Boden. Pilze spielen im Kreislauf der Natur eine wichtige Rolle, indem sie abgestorbenes Tier- und Pflanzenmaterial abbauen. Pilze sind wesentlicher Bestandteil von Waldböden ebenso wie von landwirtschaftlich genutzten Böden und treten überall auf, wo organisches Material und ausreichende Feuchtigkeit vorhanden sind. Pilze bilden in den Böden ausgedehnte drei-dimensionale Netzwerke von Zellfäden (Myzelien). Mit diesen Myzelien können die Pilze in tiefere Bodenschichten, vor allem aber in die von ihnen besiedelten Materialien eindringen und diese von innen heraus zersetzen (Abb. 1). An den Oberflächen der Böden und Materialien bilden Pilze Fruchtkörper und Sporen. Die Sporen dienen zum einen der Überdauerung von Phasen mit schlechten Wachstumsbedingungen, zum anderen zur Verbreitung der Pilze über große Distanzen (Abb. 1). Aus diesem Grund sind in der Außenluft und damit verbunden auch in der Luft unserer Wohnräume und am Arbeitsplatz immer Pilzsporen vorhanden [3]. Luft, die frei von Sporen ist, gibt es nur in Reinräumen, wo sie durch mehrfaches Filtern für Räume in Krankenhäusern oder in der pharmazeutischen Industrie künstlich gereinigt wird. Die Anzahl der natürlicherweise in der Außenluft vorhandenen Pilzsporen kann, je nach Wetterlage, Wind, und Region – zwischen 30 Sporen / m³ Luft und 5000 Sporen / m³ Luft liegen. Letzteres ist ein Extremwert, der jedoch in ländlichen Gegenden gelegentlich im Bereich von frisch umgebrochenen Äckern, Heu oder Kompost auftreten kann. Die Tatsache, dass Sporen überall und in stark schwankender Menge vorhanden sind, ist wesentlich für das Verständnis und die Bewertung von Pilzkontaminationen in Innenräumen. Pilzsporen werden vom Wind verdriftet und können sich weit entfernt von ihrem Entstehungsort wieder niederlassen. Abgelagert im Hausstaub können Pilzsporen viele Jahre überdauern. Kommt es dann zu klimatischen Veränderungen – Anstieg der Feuchtigkeit in der Raumluft oder im Material – können die Pilzsporen innerhalb weniger Stunden auskeimen und in kurzer Zeit neue Pilzkolonien bilden.



Abbildung 1: (li) Schimmelpilzkolonien auf Agarplatte, (mi) Pilzhyphen bilden Myzelien, die in Materialien eindringen können, (re) Pilzsporen dienen der Verbreitung und sind Träger allergener Eiweißsubstanzen. (Fotos: Sterflinger, Wuczkovski)

2. Schimmelpilze in Innenräumen – Ursachen

Schimmelpilze benötigen für ihr Wachstum in erster Linie drei Voraussetzungen: (1) einen geeigneten festen oder porösen Untergrund, auf oder in dem die Spore auskeimen und ein Myzel bilden kann, (2) organische Bestandteile als Nahrung – z.B. Holz, Papier, im Staub vorhandene organische Verschmutzungen oder in der Wandfarbe vorhandene

organische Zuschläge und (3) ausreichende Feuchtigkeit. Die Kontrolle der Feuchtigkeit ist zugleich der wichtigste und oftmals schwierigste Faktor bei der Vorbeugung und bei der nachhaltigen Beseitigung eines Schimmelpilzschadens. Die für die Sporenkeimung und das Myzelwachstum von Schimmelpilzen notwendigen Klimafaktoren sind immer eine Kombination aus der Temperatur, der absolut vorhandenen Luftfeuchtigkeit und der daraus resultierenden relativen Feuchtigkeit: während z.B. bei einer Temperatur von 10°C ein Wachstum erst bei etwa 85% rF möglich ist, kommt es bei 25-30°C bereits bei wenig mehr als 70% rF zu Pilzwachstum [5]. Aus diesem Grunde ist auch das häufig im guten Glauben an eine Trocknung der Luft oder der Bauteiloberflächen durchgeführte zusätzliche Beheizen als alleiniges Mittel zur Verhinderung von Schimmelpilzwachstum meist nicht wirksam oder kann die Schimmelpilzbildung sogar noch verstärken.

Wesentliche Faktoren für die Entstehung von Schimmelpilzen in Innenräumen sind [6]:

- Wasserschäden (z.B. defekte Wasch- oder Spülmaschine, defekte Wasserleitung) und die damit verbundenen Feuchtigkeit in Wänden und Zwischendecken.
- Bauliche Mängel: aufsteigende Feuchtigkeit im Sockelbereich, Rißbildung in der Gebäudehülle und eindringen von Schlagregen, fehlende oder unsachgemäß ausgeführte thermische Isolierung.
- Kondensatbildung an Wärmebrücken: oft verursacht durch die oben aufgeführten baulichen Mängel. Gefährdet sind hier insbesondere Bauteilanschlüsse zwischen Fenster und Wand bei nachträglich angebrachter Außenisolierung (Wärmedämmverbundfassade) oder im Bereich von Balkonen, Erkern und Loggien.
- Restbaufeuchtigkeit spielt als Ursache für Schimmelbefall in neuen Wohnanlagen eine zunehmende Rolle. In manchen Fällen kommt es dadurch zu verstecktem Befall unter dem Bodenbelag sowie hinter Vorsatzschalen, Einbauschränken oder Regalwänden. Je später der Befall erkannt wird – oft erst wenn die Bewohner bereits gesundheitliche Symptome aufweisen oder eine erhebliche Geruchsbelästigung besteht – desto größer ist der entsprechende Sanierungsaufwand.
- Falsch oder unsachgemäß angebrachte Dampfsperren in Zwischendecken oder Dachkonstruktionen.
- Ungleichmäßige Beheizung der Wohnung mit daraus resultierenden Temperatur und Feuchtigkeitsgradienten. Dies kann zum Beispiel auftreten, wenn eine Wohnung nur über einen Ofen beheizt wird.
- Mangelnde Lüftungsmöglichkeit; z.B. bei innen liegenden Bädern oder hinter Einbauschränken.
- Mangelhaftes Lüftungsverhalten im Zusammenhang mit nutzungsbedingten Feuchtigkeitsquellen: Duschen/Baden, Wäsche trocknen, Kochen, Zimmerpflanzen.
- Dauerhaft in Kippstellung befindliche Fenster: hier kommt es in der kalten Jahreszeit zur Unterkühlung der Fensterleibung oberhalb und seitlich des gekippten Fensters und damit zur Bildung von Kondensat aus der Warmluft des Rauminnenen.

Verstärkt wird Schimmelwachstum durch starke Staubablagerungen (Schmutz), da diese als Nahrungsquelle dienen. Darüber hinaus können Anstrichsysteme, die organische Zuschläge („Emulgatoren“, „organische Additive“, „eigenschaftsvergütende Zusätze“, „Tylose“) enthalten, das Pilzwachstum in erheblichem Maße fördern. Insbesondere an Wandoberflächen, die aus bauphysikalischer Sicht problematisch sind, sollten klassische Dispersionsanstriche daher vermieden und rein mineralische Systeme (Silikatanstrich oder reiner Kalkanstrich) bevorzugt verwendet werden.

3. Diagnose und Bewertung von Schimmelpilzbefall in Innenräumen

Zum Nachweis und zur Bewertung von Schimmelbefall in Innenräumen werden insbesondere folgende Parameter herangezogen:

- Das Ausmaß des auf den Wandflächen und anderen Materialien vorhandenen Schimmelpilzbewuchses: Die Bewertung erfolgt gemäß den in Tabelle 1 wieder gegebenen Vorgaben des „Schimmelpilzleitfadens“ des Deutschen Umweltbundesamtes [7]². Aus der Einstufung in diese Kategorien lassen sich noch keine Rückschlüsse auf eine Gesundheitsgefährdung durch die Pilze ziehen, sie dient vielmehr einer Bewertung des durch die Pilze verursachten Schadens an Bauteiloberflächen und Objekten.

Tabelle 1: Bewertung von Schimmelpilzwachstum auf Materialien.

	Kategorie 1*	Kategorie 2*	Kategorie 3*
Schadensausmaß	Keine bzw. sehr geringe Biomasse (z.B. geringe Oberflächenschäden < 20cm ²).	Mittlere Biomasse; oberflächliche Ausdehnung < 0,5 m² , tiefere Schichten sind nur lokal begrenzt betroffen.	Große Biomasse; große flächige Ausdehnung > 0,5 m² , auch tiefere Schichten können betroffen sein.

*Für die Einstufung in die nächst höhere Bewertungsstufe reicht die Überschreitung **einer** Forderung.

- Die Frage, ob die auf den Materialien vorhandenen Pilze Sporen bilden, in welchem Ausmaß diese in die Raumluft gelangen oder gelangt sind und ob die Menge der Sporen so groß ist, daß dadurch die Anzahl der gewöhnlich in der Raum- und Außenluft auftretenden Pilzsporen nachweisbar erhöht ist. Die Anzahl der Sporen in der Raumluft – zusammen mit der unten beschriebenen Identifizierung der Pilze gilt dabei als wesentliche Grundlage für die Bewertung der Gesundheitsgefährdung. Schimmelpilzsporen können grundsätzlich mit Hilfe eines Luftkeimsammlers quantitativ und qualitativ gemessen werden. Die Messung erfolgt gemäß VDI Richtlinie 4399 Blatt 10 [8]. Eine Dosis –

² In Österreich wurde vom Lebensministerium / Arbeitskreis Innenraumluft ein Positionspapier zu Schimmelpilzen in Innenräumen herausgegeben, das sich ebenfalls auf den Deutschen Leitfaden bezieht [10].

Wirkungsbeziehung zwischen der absoluten Menge der Schimmelpilzsporen in der Luft und der Reaktion der Raumnutzer ist nur schwer herzustellen, da die körperliche Reaktion stark von der Veranlagung des einzelnen abhängt. Aus diesem Grunde gibt es auch keine Normen, sondern nur grobe Richtwerte, die die maximal verträgliche Sporenkonzentration in der Raumluft festlegen. Darüber hinaus ist die Anzahl der Innenraumsporen in der Raumluft stark von der Konzentration in der Außenluft abhängig, so dass die Bewertung immer im Vergleich mit der am jeweiligen Messtag vorhandenen Menge und Artenzusammensetzung in der Außenluft erfolgen muss. So wird im Allgemeinen eine signifikant über der Außenluft liegende Anzahl von Sporen im Innenraum als Indiz für eine im Innenraum liegende Schimmelpilzquelle gewertet. Ebenso gilt es als Anzeichen für eine Innenraumquelle, wenn die Artenvielfalt im Innenraum bei ähnlicher Sporenanzahl signifikant niedriger ist. In Deutschland geltende baubiologische Richtwerte werden auch in Österreich als Grundlage für die Einschätzung der Gesundheitsgefährdung verwendet [7]: Dabei gilt eine Sporenanzahl von $< 200 \text{ KBE/m}^3$ Luft als normal und nicht gesundheitsgefährdend, bei $< 500 \text{ KBE/m}^3$ Luft liegt eine schwache Anomalie vor (im Sinne der Vorsorge besteht langfristig Handlungsbedarf); bei $500 - 1.000 \text{ KBE/m}^3$ Luft liegt eine starke Anomalie vor (Sanierungen sollten umgehend durchgeführt werden); mehr als $\approx 1.000 \text{ KBE/m}^3$ Luft gelten als extreme Anomalie, so dass sofortige Sanierung und kurzfristige Maßnahmen notwendig sind. Diese Werte sind strenggenommen für Schlafzimmerbereiche bestimmt worden, sie können mit Vorsicht auch auf andere Wohnbereiche übertragen werden, um einen Gesundheitsschutz zu gewährleisten.

- Die Identifizierung der Pilze gibt Aufschluß über mögliche Allergene, Giftstoffe oder über die Infektiosität der Organismen. Es wird angenommen, daß grundsätzlich alle Schimmelpilze in der Lage sind bei empfänglichen Personen allergische Reaktionen auszulösen. Unterschiede zwischen verschiedenen Schimmelpilzarten bestehen hinsichtlich der Menge der produzierten Allergene und der Stärke der Allergene. Als besonders allergen gelten Arten der häufig in Innenräumen auftretenden Gattungen *Cladosporium* und *Alternaria*³. Die Identifizierung der Pilze erfolgt morphologisch, unter Verwendung eines Durchlichtmikroskopes, der geeigneten Nährmedien, Bestimmungsschlüssel und unter strenger Einhaltung einer Reihe von unter „Guten Laborpraxis für Pilzidentifizierung“ zusammengefaßten Arbeitsabläufe [9]. Immer häufiger – insbesondere wenn exakte Bestimmungen von potentiell infektiösen Pilzen notwendig sind, wird die Identifizierung auch durch Analyse der Erbinformation (DNS-Sequenzierung) durchgeführt. Durch einen Abgleich mit DNS-Sequenzen in zentralen Datenbanken, kann dann eine genaue Artbestimmung erfolgen. Mit der Messung und Identifizierung von Schimmelpilzen in Innenräumen sollten nur solche Labors oder Firmen beauftragt werden, die ihre Fach- und Sachkunde nachweisen können⁴. Derzeit gibt es für die Erstellung von Gutachten zu Schimmelbefall keine Reglementierung, was leider dazu geführt hat, dass viele Firmen – darunter Baufirmen, Trockenlegungsfirmen, Schädlingsbekämpfer –

³ Diese werden auch in Allergietests (Pricktest, Hauttest) standardmäßig verwendet.

⁴ z.B. durch die erfolgreiche Teilnahme an so genannten Ringversuchen – zentral von autorisierten Stellen organisierte Identifizierungen von Pilzen.

ohne ausreichende Sachkunde hier so genannte Sachverständigengutachten im Zusammenhang mit den eigenen Sanierungsangeboten anbieten.

- Eine derzeit im Rahmen der Bewertung von Schimmelpilzschäden verstärkt diskutierte Frage ist die nach der Quantifizierung von Pilzmaterial auf und in Baumaterialien. Da klassisch mikrobiologische Techniken, die auf der Anzucht der Pilze auf Nährböden beruhen, hier wenig genaue Daten liefern und die Abundanz mancher Pilzarten aufgrund ihrer Fähigkeit auf Labormedien mehr oder weniger gut anzuwachsen falsch eingeschätzt wird, kommen verstärkt molekularbiologische Techniken zum Einsatz, mit denen Pilze in Baumaterialien analysiert und quantifiziert werden (Abb. 2). Alle diese Techniken beruhen auf der Extraktion und Analyse der Pilz-DNA und/oder -RNA aus dem Material. Derzeit arbeitet die Universität für Bodenkultur Wien an der Entwicklung standardisierter Protokolle für die Anwendung der molekularbiologischen Techniken im Bereich der Baubiologie [10]⁵.

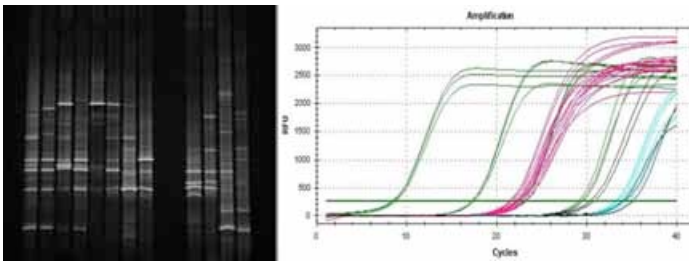


Abbildung 2: (li) Genetischer Fingerabdruck von Schimmelpilzgemeinschaften in Baumaterialien, (re) Ergebnisse einer Quantifizierung von Pilz-DNA aus Baustoffen mittels real-time PCR. (Fotos: Sterflinger / Ettenauer)

4. To kill or not to kill – viel Aufwand und viel Geschäft mit der Schimmelpilzbekämpfung?

Unabhängig von Art und Ausmaß des Schimmelbefalles sind Schimmelpilze in Innenräumen vor allem aus hygienischen aber auch aus ästhetischen Gründen nicht akzeptabel und müssen entfernt werden. Die Erstellung eines Gutachtens über die mögliche Gesundheitsgefährdung, Art und Umfang des Befalles ist nur dann notwendig, wenn sie als Argumentation oder Beweis gegenüber einem Vermieter oder einem Bauträger dient, der ohne Befund oder Gutachten nicht seiner Erhaltungspflicht gemäß §3 des Mietrechtsgesetzes (MRG) nachkommt, wenn die Brauchbarkeit des Objektes im Sinne des §1096 ABGB begutachtet werden muß oder Unstimmigkeit zwischen Mieter und Vermieter hinsichtlich der Erhaltungspflichten (auch des Mieters gemäß §8 MRG) und der Ursache für den eingetretenen Schimmelpilzbefall bestehen. Ist das Objekt ohnehin im Eigenbesitz und bestehen keine Gewährleistungsmängel, so ist die wesentliche Grundlage für die nachhaltige Sanierung eines Schimmelpilzschadens die

⁵ Die Arbeiten werden im Rahmen des FFG geförderten Projektes „OEKO-ID“, Programm „Neue Energien 2020“ in Kooperation mit der TU Graz durchgeführt.

Klärung und Behebung der Ursache für die Schimmelpilzbildung (siehe Punkt 2. dieses Beitrages).

Alle Methoden, die lediglich auf die Abtötung der Pilze und deren Sporen abzielen – dies gilt gleichermaßen für physikalische und chemische Verfahren – stellen nur kurzfristige Lösungen dar, sind aber nicht geeignet, um Schimmelpilz nachhaltig zu entfernen oder dem Wiederauftreten des Befalles vorzubeugen. Das wachsende Bewußtsein für die gesundheitsschädigende Wirkung von Schimmelpilzen hat in den letzten Jahren leider auch dazu geführt, daß in dem Bereich der Schimmelsanierungen und der so-geannten „Raumdekontaminationen“ ein Art Goldgräbermentalität eingesetzt hat und auf der Angst der Menschen vor gesundheitlichen Schäden ein neues lukratives Geschäftsfeld begründet wurde: zahlreiche Firmen bieten zum einen mikrobiologische Analyse und Begutachtung von Schimmelschäden an, obwohl sie dafür keine fachliche Eignung aufweisen – und verkaufen gleichzeitig damit umfassende Produktpaletten und Dekontaminationsverfahren, von denen hier nur die wesentlichen genannt werden:

- Es gibt kaum einen Hersteller von Bautenbeschichtungen, Farben und Baumaterialien, der nicht mindestens ein Produkt zur Behandlung von Schimmelpilzen in Innenräumen anbietet. Die Produkte basieren auf quaternären Ammoniumverbindungen, Natriumhypochlorid, Isothiazolinon, Carbendazim, Alkohol und / oder organischen Säuren. Die Verwendung von solchen handelsüblichen Schimmelentfernern macht nur als Übergangslösung bis zur Behebung der Schadensursache und Beseitigung des kontaminierten Materials Sinn und ist keinesfalls als Sanierungsmaßnahme anzusehen. Von der wiederholten und dauerhaften Anwendung wird deutlich abgeraten [11], da die Inhaltsstoffe auch für den Menschen und die Umwelt schädlich sein können.
- Manche Sanierungsfirmen bestehen darauf kontaminierte Materialien, die ohnehin entfernt werden müssen (z.B. verschimmelte Gipskartonplatten), vor deren Entfernung mit Giftstoffen zu behandeln. Dies ist weder notwendig noch sinnvoll, denn etwas, das ohnehin entfernt wird, muß nicht vorher abgetötet werden. Manchmal wird hier zusätzlich mit dem Arbeitsschutz argumentiert „es sei den Arbeitern nicht zuzumuten die noch lebenden Pilzsporen einzusatmen“. Tatsächlich verliert eine Pilzspore durch die Abtötung aber nicht ihre allergene sowie toxische und damit gesundheitsschädigende Wirkung, so daß die Arbeiter jedenfalls durch Atemschutzmasken zu schützen sind, die Biozidbehandlung hier aber keinen Nutzen bringt.
- Als besonders strittig sind so genannte „Raumlufddekontaminationen“ anzusehen: hier wird insbesondere bei Allergikern oder bei besorgten Eltern die Angst geschürt man könne auch nach der Behebung eines Schimmelpilzschadens noch an den großen Mengen „unsichtbarer“ Sporen erkranken, die in den Räumen zurückbleiben. Mit angeblich „keimfrei“ machenden Produkten – z.B. Derivate von Guanidin (Poly-oxyalkylenguanidin-hydrochlorid, Poly-hexamethylen-guanidinium-hydrochlorid), deren fungizide Wirkung gegen innenraumrelevante Pilze nie ausreichend belegt wurde, die aber dank einer aggressiven Vermarktung mittlerweile sogar zur „Desinfektion“ von Klimaanlage in Autos verwendet werden - oder so genannten „trojanischen Pferden“, bestehend aus Fruchtsäure und Aktivsauerstoff, werden Wohn- und Arbeitsräume „benebelt“, sowie Oberflächen behandelt. Der Erfolg solcher Behandlungen spiegelt sich in den meisten Fällen in erster Linie auf dem Konto des Verkäufers wider. Das

Lebensministerium nimmt dazu wie folgt Stellung: „Eine Desinfektion von Innenräumen durch Sprüh- oder Vernebelungstechniken ist bei einer sachgerechten Sanierung ebenfalls nicht nötig...“ [11]. Nach der Sanierung eines Schimmelpilzschadens ist die Feinreinigung einer Wohnung (mit gewöhnlichem Haushaltsreiniger) in Kombination mit vollständigem Luftaustausch durch Lüften als absolut ausreichend anzusehen, um die Sporenfracht auf ein normales Maß zu reduzieren. Nur in besonderen Fällen, z.B. in industrieller Umgebung (Lebensmittelproduktion, Pharmazie) oder in technischen Anlagen wie Klimakanälen oder in Kühlräumen, kann die Vernebelung mit rückstandsfreien Präparaten (z.B. gasförmigem Wasserstoffperoxid) sinnvoll sein⁶.

Wie aber ist ein Schimmelpilzschaden wirklich zu sanieren? Wie schon oben beschrieben beinhaltet eine Sanierung immer eine Kombination aus Ursachenbehebung und der Entfernung oder Reinigung der befallenen Bauteile und Gegenstände. Ob im Einzelfall eine Reinigung in Frage kommt, oder eine vollständige Entsorgung und Erneuerung notwendig ist, hängt immer von der Beschaffenheit des befallenen Materials sowie vom Ausmaß des Schimmelpilzbefalles ab und muß daher im Einzelfall entschieden werden:

- Bei Bauteiloberflächen (Wandverputz, Farbe) ist das Ausmaß der Sanierungsmaßnahmen auch vom Ausmaß und Alter des Pilzbefalles abhängig: Ist der Befall erst wenige Tage oder Wochen alt, so sind meist nur die Oberflächen betroffen. In diesem Fall kann das Abscheren und Erneuern des Anstriches ausreichend sein. Ist der Schimmel bereits mehrere Monate oder Jahre vorhanden, dann ist er mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits mehrere mm in den Untergrund (z.B. Putz) eingedrungen. In diesem Fall, so muss der Putz abgeschlagen und erneuert werden. Es ist möglich die Eindringtiefe der Pilze durch fluoreszenzmikroskopische Analyse zu ermitteln (Abb. 3).
- Materialien mit hoher Oberflächenrauigkeit oder Porosität wie z.B. Gipskarton, Dämmmaterialien oder Spanplatten sind nur schwer zu reinigen und sollten jedenfalls entfernt werden; auch in Silikonfugen dringen Pilze tief ein und können durch oberflächige Behandlung nicht entfernt werden, so daß hier nur ein Austausch der Fuge Erfolg bringt. (Abb. 3).
- Glatte, nicht poröse Oberflächen (Metall, Glas, Kunststoff) können mit 70% Ethanol (reinst oder vergällt) gereinigt werden.
- Poröse Materialien wie Teppichböden, Polstermöbel und Matratzen sollten entsorgt werden, weil die Pilze tief in das Material eindringen und eine vollständige Abtötung nicht möglich ist.
- Kleidungsstücke sollen jedenfalls heiß gewaschen werden (mind. 60°C).

⁶ Das dampfförmige Wasserstoffperoxid wird in einem speziellen Hochtechnologiegerät durch Verdampfung von flüssigem (35% igem) Wasserstoffperoxid erzeugt. Der Dampf wird in den Raum bis zur notwendigen Arbeitskonzentration eingeblasen und dann mittels eines Gebläses im Raum homogen verteilt. Nach der notwendigen Einwirkzeit (etwa 30 min bis 2 Stunden) wird das Wasserstoffperoxid entweder über einen Lüftungskanal ins Freie abgeblasen oder mittels eines Katalysators zu Wasser und Sauerstoff abgebaut, bis die maximale Arbeitsplatzkonzentration von 1 ppm unterschritten ist. Die fungizide Wirksamkeit wurde in Labor- und Praxistest bewiesen.

- Holz (Dachbalken, Parkett) sollte nicht abgeschliffen, sondern abgehobelt werden, um den Schimmel nicht tiefer in das Material zu treiben und die Verbreitung mit dem Schleifstaub zu verhindern⁷.
- In vielen Museen und Sammlung, in manchen Fällen aber auch in privaten Haushalten, sind denkmalgeschützte Oberflächen (historische Fassungen oder Putze, Parketten oder Kassettendecken) sowie Kunstgegenstände von Schimmelpilzbefall betroffen. In diesen Fällen müssen gemeinsam mit Restauratoren Lösungen zur Dekontamination gefunden werden, die den Erhalt des Materials gewährleisten [2].

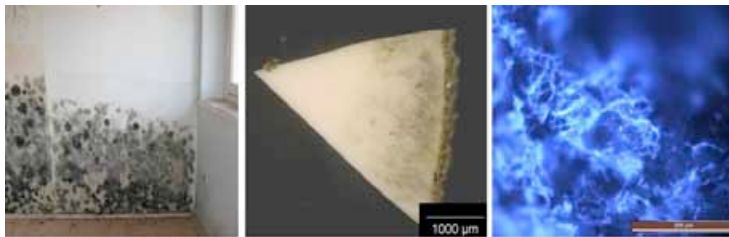


Abbildung 3: (li) Schimmelpilzschaden an einer Gipskartonwand; das Material muss vollständig entsorgt werden; (mi) Querschnitt einer Silikonfuge mit deutlicher Tiefenbesiedlung durch Schimmelpilze; (re) fluoreszenzmikroskopischer Nachweis von Pilzmyzel in Putz. (Fotos: Sterflinger)

Zur Frage der vorbeugenden Wirkung von speziellen Anstrichsystemen oder zusätzlich aufgetragenen Fungiziden ist festzuhalten, daß deren Verwendung bestenfalls eine interimistische Lösung darstellen kann, und daß diese nur kleinräumig und an bauphysikalisch besonders kritischen Stellen bis zu deren baulicher Sanierung anzuwenden sind. Zwar enthalten fast alle kommerziellen Anstrichsysteme Biozide, diese dienen aber in erster Linie der Topfkonservierung und nicht der Vorbeugung gegen Schimmelpilzbildung an der Wandoberfläche. Einige Hersteller bieten Farben und Beschichtungen an, die durch toxische Substanzen wie Isothiazolinon oder Carbamate zwar eine gute Wirkung aufweisen, von deren Verwendung im Innenraum aus gesundheitlicher Sicht – alle fungizide sind eben potentiell auch für den Menschen schädlich – abzuraten ist. Titandioxid wird als „Weißpigment“ Anstrichsystemen und Beschichtungen zugemischt, es hat eine gewisse biozide Wirkung und es gilt als vergleichsweise unproblematisch für die menschliche Gesundheit. Es gibt derzeit kein Produkt auf dem Markt, das bei bauphysikalisch ungünstigen Bedingungen einen dauerhaft vorbeugenden Schutz gegen Schimmelpilzbildung bietet.

Immer zahlreicher auf dem Markt vertreten sind Anstrichsysteme mit Nanosilberpartikeln: die antimikrobielle Wirkung der Nanosilberionen ist zwar bewiesen, jedoch haben Laborstudien an der Universität für Bodenkultur Wien gezeigt, daß die Konzentration in den gebrauchsfertigen Anstrichen bei weitem zu gering ist, um eine ausreichende fungizide oder fungistatische Wirkung zu erzielen. Darüber hinaus sind Nanosilberpartikel umweltschädlich und laut BUND liegen Hinweise auf eine gesundheitsschädigende

⁷ Besondere Maßnahmen, die hier nicht näher erörtert werden können, greifen bei einem Befall mit einem holzerstörenden Pilz wie z.B. dem Echten Hausschwamm oder Kellerschwamm.

Wirkung für den Menschen vor [12]. Eine Studie der Eidgenössischen Materialprüfanstalt der Schweiz hat darüber hinaus gezeigt, daß bei Verwendung im Außenbereich 30% der Nanopartikel ausgewaschen werden [13], was die Wirksamkeit zusätzlich reduziert und den Umweltschaden erhöht.

5. Zusammenfassung

Schimmelpilze sind in der Umwelt ubiquitär vorhanden; ihre Sporen werden im Wald, auf Ackerböden und von kompostierendem Pflanzenmaterial frei gesetzt und daher ist eine schwankende Menge an Schimmelsporen sowohl in der Außenluft wie auch in der Luft unserer Wohn- und Arbeitsräume immer vorhanden. Unter ungünstigen Bedingungen – hohe Feuchtigkeit von Bauteilen und in der Raumluft, große Mengen von organischen Verbindungen in Anstrichsystemen – besiedeln Pilze auch Materialien in Wohn- und Arbeitsräumen. Dies führt zur ästhetischen Beeinträchtigung und Schädigung der Materialien, gefährdet aufgrund der allergenen und toxischen Wirkung der Schimmelpilzsporen vor allem aber auch die Gesundheit der Raumnutzer. Die Sanierung eines Schimmelpilzschadens ist nur dann nachhaltig, wenn die befallenen Bauteile entfernt oder – falls möglich – gereinigt werden und wenn die Ursache des Schadens in vollem Umfang behoben wurde. Die Verwendung von kommerziellen Schimmelpilzentfernern ist nur als kurzfristige Lösung zu betrachten und sollte nur in Ausnahmefällen und kleinräumig angewendet werden. Die Dekontamination der Raumluft mittels Vernebelung ist in belüfteten Wohn- und Arbeitsräumen nicht sinnvoll.

Literatur

- [1] Boddy L, Coleman M (eds). 2010. From another kingdom – the amazing world of fungi. Royal Botanic Garden Edinburgh, 176 S.
- [2] Sterflinger, K., 2010. Fungi: Their role in the deterioration of cultural heritage. Fungal Biology Reviews, 24, S. 47-55.
- [3] Samson RA, Houbakken J, Thrane U, Frisvad JC, Andersen B. 2010. Food and Indoor Fungi. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Center Utrecht, The Netherlands: 390 S.
- [4] de Hoog GS, Guarro J. 2000. Atlas of Clinical Fungi, 2nd edition. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Center Utrecht, The Netherlands.
- [5] Fitz C, Hofbauer W, Sedlbauer K, Krus M, Breuer K. 2006. Prognoseverfahren zum biologischen Befall durch Algen, Pilze und Flechten an Bauteiloberflächen auf Basis bauphysikalischer und mikrobieller Untersuchungen Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, (Bauforschung für die Praxis 77), ISBN 978-3-8167-7102-9, ISBN 3-8167-7102-5
- [6] Hankammer G, Lorenz W. 2003. Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln: 360 S.
- [7] Umweltbundesamt Deutschland. 2002. Leitfaden zur Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen, , Innenraumlufthygiene-Kommission, http://www.apug.de/archiv/pdf/Schimmelpilze_Leitfaden.pdf
- [8] Vereinigung Deutscher Ingenieure. 2008. VDI 3400 Blatt 10 – Messungen von Innenraumluftverunreinigungen – Messtrategien zum Nachweis von Schimmelpilzen im Innenraum – 07/2008.

- [9] Fischer G, Dott W. 2002. Quality assurance and good laboratory practice in the mycological laboratory – compilation of basic techniques for the identification of fungi. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 205, 433-442.
- [10] Ettenauer JD, Piñar G, Lopandic K, Spangl B, Ellersdorfer G, Voitl C, Sterflinger K. 2012. Microbes and building materials – evaluation of DNA extraction protocols as common basis for molecular analysis. *Science of the Total Environment*: in press, DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.09.005
- [11] Lebensministerium Österreich, Arbeitskreis Innenraumluft, Positionspapier zu Schimmelpilzen in Innenräumen:
<http://www.innenraumanalytik.at/Newsletter/posschipi.pdf>
- [12] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), 2009. Nano-Silber- der Glanz täuscht; Immer mehr Konsumprodukte trotz Risiken für Umwelt und Gesundheit; 30 S.
- [13] Burkhardt M. 2009. Nanosilber in Fassadenbeschichtungen – Auswaschung im Vergleich mit Titandioxid und organischen Bioziden, EMPA Dübendorf, 25 Seiten.

Die Tagung wird unterstützt von:

ALUKÖNIGSTAHL

AUSTROTHERM
Dämmstoffe

CPH

E
ENERGIE STEIERMARK

ecotech.cc
DAS SOFTWAREHAUS

enw

3QU
FIT

FOAMGLAS
Building

iE

Internorm

LAAS
LEICHT-DACH-SYSTEME

lig

ponggratz baut auf

Pressler
GmbH & Co. KG

pro:Holz

schaden Lebensräume

Sika

sto

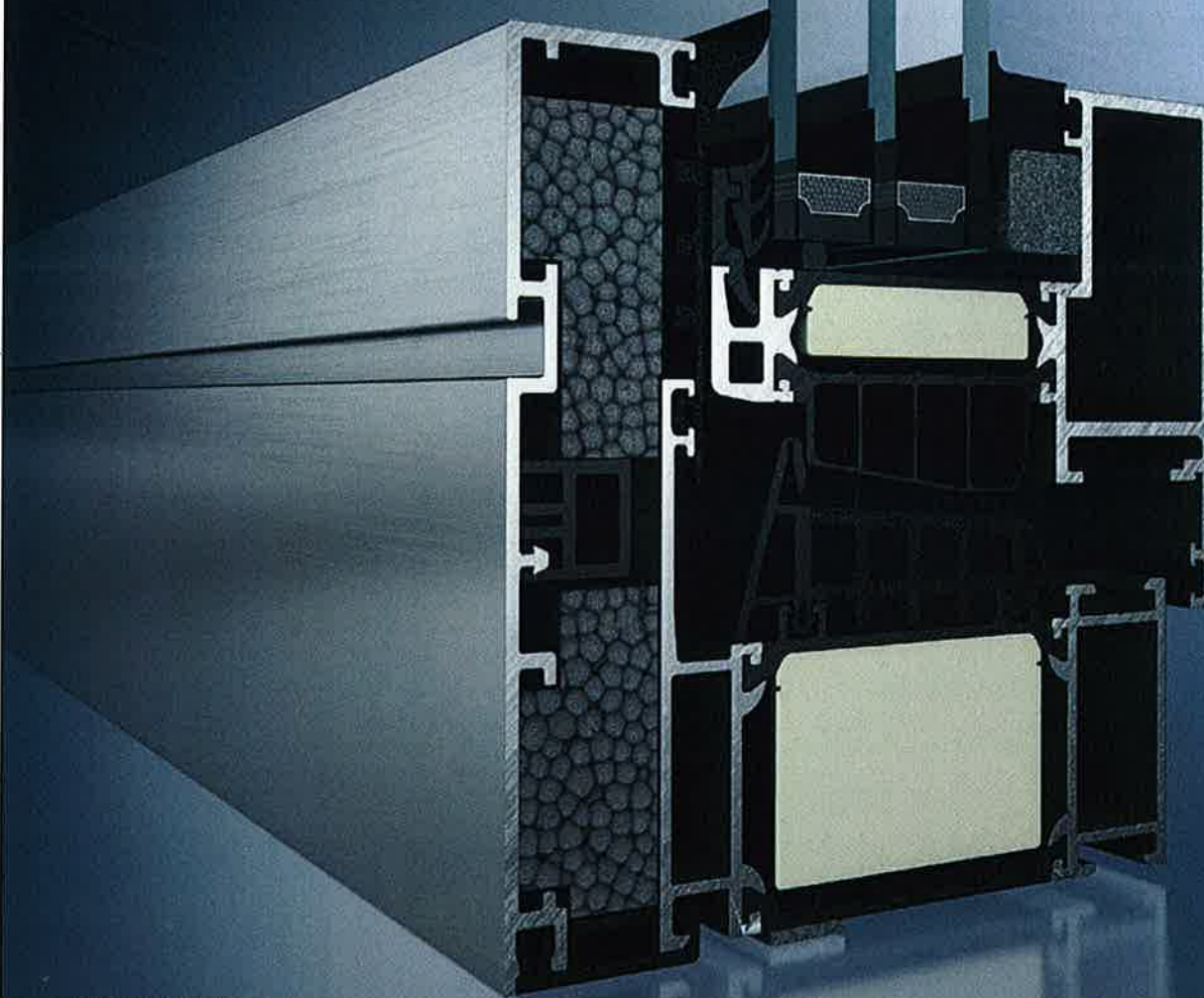
STRABAG

Wienerberger

WKO
Der Bau STEIERMARK

SCHÜCO

ALU
FENSTER



Schüco AWS 112.IC



Schüco Fenster AWS

Energieeffizienz auf höchstem Niveau.

ALUKÖNIGSTAHL setzt mit der innovativen, hochwärmegedämmten Fenstergeneration Schüco AWS neue Wärmedämmstandards für Aluminiumfenster – bis hin zu Passivhausniveau. Das umfangreiche Systemprogramm schafft architektonische Gestaltungsmöglichkeiten für nachhaltige Immobilienwerte hinsichtlich Qualität, Komfort, Langlebigkeit, Umwelt, Energieeffizienz und Kostenoptimierung. In Kombination mit der dezentralen, fensterintegrierten Lüftung VentoTherm und dem mechatronischen Beschlag Schüco TipTronic lassen sich zusätzliche energetische Potenziale in Gebäuden erschließen.

Für nähere Informationen bzw. Unterstützung kontaktieren Sie uns: Herr Ing. Stephan Messner: s.messner@alukoenigstahl.com, tel 01/98 130-266 oder auf www.alukoenigstahl.com

Schüco AWS 70.HI

Schüco AWS 75.SI

Schüco AWS 90.SI*

Automation

VentoTherm

ALUKÖNIGSTAHL
Der Spezialist für Gebäudehüllen

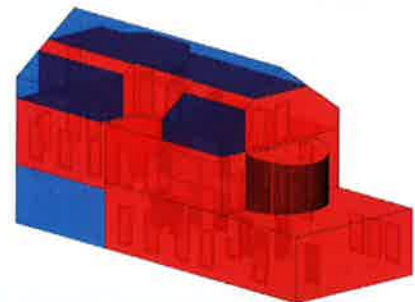
ecOTECH

ecOTECH
TREND
Der neue Gebäuderechner

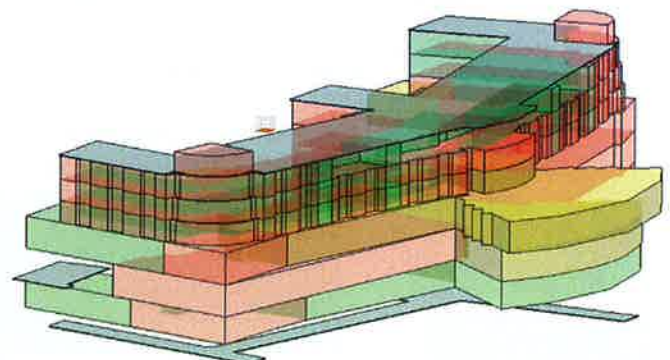
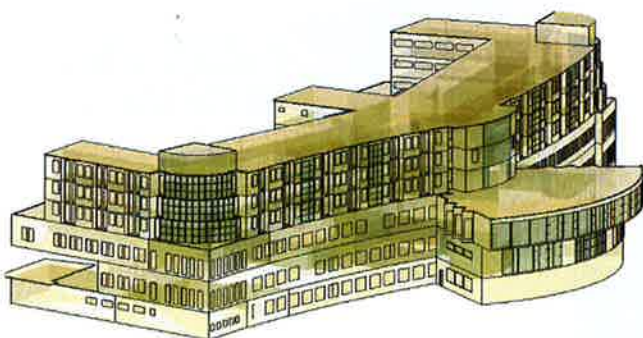
ecoline
GRAPHICAL ENERGY CALCULATION

ZEITERSPARNIS durch nachvollziehbare 3D-GEBÄUDEGEOMETRIE für den Energieausweis.

Was Sie sich schon immer von Ihrer Energieausweis-Software erwartet haben ist Wirklichkeit geworden!
ecoline[®] bietet Ihnen die einzigartige Möglichkeit, den Plan Ihres Gebäudes für den Energieausweis
interaktiv & visualisiert in einfachen Arbeitsschritten zu erstellen und nachvollziehbar zu bearbeiten.



WIE BERECHNEN SIE EIN GEBÄUDE MIT 9000 EINZELFLÄCHEN?



*Gebäudemodel
Darstellung der thermischen Zonen und Volumina*




Rechnen Sie mit uns!

BuildDesk Österreich GmbH
Kapuzinerstraße 84e
4020 Linz - Austria
Tel. +43(0)732/77 43 24
Fax +43(0)732/77 43 24 - 20

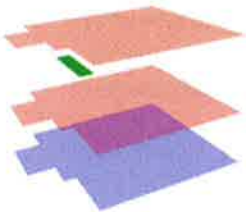
www.ecotech.cc

FINDEN SIE SICH BEI ÄNDERUNGEN IN IHREM ENERGIEAUSWEIS-PROJEKT NACH MONATEN NOCH ZURECHT?

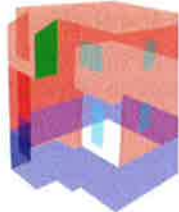
Zeitersparnis durch **ecoline**⁴:

-  Schnellste Eingabe beim Neubau.
-  Sanierung per drag & drop mit automatischer exakter Bruttogeschosßfläche und Volumen bei zusätzlicher Dämmstärke.
-  Erstellerunabhängige Weiterbearbeitung des Energieausweises auch nach Jahren.

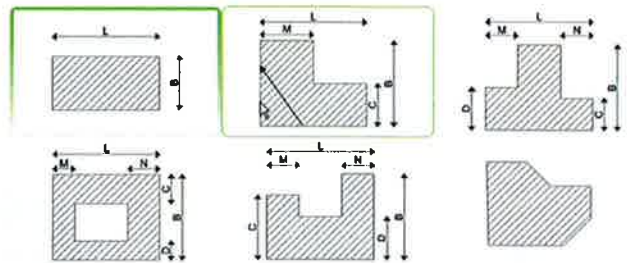
1. Wählen Sie aus einer Vielzahl von vordefinierten Grundformen und Dachformen, Vor- und Rücksprünge.



Grafische Kontrolle der Bruttogeschosßfläche



Thermisches Volumenmodell



Unterschiedliche Grundrisse und Höhen pro Geschosß möglich.

2. Bauteile und Fenster bearbeiten Sie per drag & drop in der 3D-Grafik.

Detaillierte schnellste
Fenstereingabe im Modell

The screenshot shows the ecoline software interface. On the left, there is a 'Kataloge' (Catalogs) panel with a list of building components. In the center, a 'Bauteile/Flächen' (Components/Surfaces) table is visible, listing various building elements with their properties. On the right, a 3D model of a building is shown with a red roof and blue base. A dialog box for window input is open, showing a detailed view of a window in the model. A callout box points to the dialog with the text 'Detaillierte schnellste Fenstereingabe im Modell'. Another callout box points to the 3D model with the text 'Bauteile und Fenster per drag & drop im 3D Modell'. A third callout box points to the catalog panel with the text 'Über 6000 Baustoffe'.

Art	Name	Nachbar	Grüßl	Länge	Höhe	Neigung	Ausl.	U-Wert	Bauart
AF 105	AF 105/25 (1,37) Pro		19	3,00	30,00	N	0,25		Aufk
AF 106	AF 106/25 (1,37) Pro		24,00	8,00	3,00	30,00	N	0,25	Aufk
AF 107	AF 107/25 (1,37) Pro		3,00	3,00	3,00	30,00	S	0,25	Aufk
AF 108	AF 108/25 (1,37) Pro		5,26	3,76	3,00	30,00	SW	0,25	Aufk
AF 109	AF 109/25 (1,37) Pro		35,00	8,00	3,00	30,00	S	0,25	Aufk
AF 110	AF 110/25 (1,37) Pro		7,00	2,56	3,00	30,00	O	0,25	Aufk
AF 111	AF 111/25 (1,37) Pro		9,00	3,00	3,00	30,00	S	0,25	Aufk
AF 112	AF 112/25 (1,37) Pro		21,00	7,20	3,00	30,00	N	0,25	Aufk



DÄMMUNG FÜR GENERATIONEN

ZELLOSEDÄMMSTOFF

Zellulosedämmstoff ist einer der ältesten und bewährtesten Dämmstoffe der Welt. Als Rohmaterial verwenden wir ausschließlich Altpapier. Ungiftig, ungefährlich und perfekt zum Dämmen von Wärme, Kälte und Schall. Besonders in der Anwendung erweist sich Zellulose als flexibel, da er maschinell eingeblasen wird. Das spart nicht nur Logistikkosten für Verarbeitungsbetriebe sondern vor allem auch wertvolle Energie im Haus!

SICHERHEIT DURCH GEPRÜFTE QUALITÄT

Ständige Weiterentwicklung sowie regelmäßige Prüfung und Überwachung unseres Produktes in der Herstellung garantieren die hohe Qualität von clima-super. Dokumentiert werden die technischen Parameter durch die ETZ, die Europäische Zulassung. Sie gibt Ihnen Sicherheit für unseren Dämmstoff, von der Lieferung bis zur Verarbeitung.

ZELLOSEDÄMMSTOFF - VERARBEITUNGSTECHNIKEN



OFFEN AUFBLASEN

Anwendungsbereiche: Fußböden - zwischen Polsterhölzern, offene Decken (z.B. oberste Geschoßdecke) nach Bedarf zur Oberflächenverfestigung (obere Schicht befeuchten).



AUFSPRAYEN

Nur für Wände und Decken. Diese Technik wird im vertikalen Bereich bei "offenen" Konstruktionen angewandt, wie z.B. einseitig offene Ständerwände (Riegelbauten usw.) oder zwischen dem fertigen Lattenrost an gemauerten Wänden in der Vorsatzschale.



SCHLAUCH-BLASEN

Übliches Verfahren für alle Hohlräume (Dach & Wand), die vorher INNEN luftdicht und AUSSEN winddicht verschlossen werden müssen. Im Hohlraum verfilzt sich die Zellulosefaser zu einer paßgenauen, fugenfreien, setzungssicheren Dämmmatte ohne Verschnitt.



LOSE SCHÜTTEN

Ideal für Heimwerker, als Dämmung zwischen Polsterhölzern.



TECHNISCHE DATEN:



Zulassung:

Europa: 06/0076
BRD: Z-23.11 - 1236

Einbaudichten lt. Zulassung:

freiaufliegend 28 - 38 kg je m³
im Dachbereich 40 - 60 kg je m³
im Wandbereich 45 - 65 kg je m³

Wärmeleitfähigkeit λ_D 0,039 W/mK
längenbez. Strömungswiderstand $r=31,0$ kPa.s/m²
Brandverhalten B s1 do

Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu = 1-2$
Normalfeuchte max 12 %

INFO: Ing. Wolfgang Lackner, 8295 St. Johann i. der Haide 20, Tel.: +43(0)3332/65120
Fax: +43(0)3332/66212, E-Mail: clima-super@htb.at, Internet: www.clima-super.at

RENOCELL Innendämmsystem

Außergewöhnliche Materialeigenschaften und beste Dämmwerte machen RENOCELL Innendämmung zur optimalen Wahl bei Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden.



Die gesprühte, verputzte Zellulosedämmung bildet ein kapilaraktives Innendämmsystem, bei welchem Tauwasser an einer definierten Stelle ausfallen und durch die Eigenschaften der verwendeten Komponenten schnell wieder an den Innenraum abgegeben werden kann. Die gesprühte Zellulose passt sich jeder Unebenheit nahtlos an. Das tragende Mauerwerk bleibt trocken - Schimmelbildung wird verhindert!

VERARBEITUNGSGERÄTE / ZUBEHÖR:

- ISOBLOW Standard Plus
- Membranpumpe 230 V, 400 V
- Sprühdüse 6-strahlig
- Ansauggarnitur mit Filter
- Abziehfräse inkl. Motor
- Hochdruckschlauch

TECHNISCHE DATEN:

Bezeichnung	RENOCELL Innendämmsystem Innendämmung ohne Dampfbremse
Hauptbestandteile	RENOCELL Zellulosefaser RENOCELL Universalleim (Leim-Wasser Gemisch)
Zulassungen	ETZ ETA – 06/0076; Z-23.11 - 1236
Brandschutz und Fungizid	100 mm / B – s2, d0 bzw. 40 mm
weitere Systemkomponenten	RENOCELL Innenputz RENOCELL Glasgittergewebe RENOCELL Kalkfarbe

Die unten angegebenen Werte sind während der Versuchsphase des Projektes „Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre“ im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ ermittelte Messwerte, bzw. Werte die aus Prüfungen der ISOCELL Zellulose entnommen sind. Standardisierte Prüfungen des Gesamtsystems nach Norm sind in Vorbereitung.

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{D(23,50)}$ (Messwert) des Systems	0,052 W/mK
Gesamtporosität	ca. 94 %
Trockenraumdichte	ca. 93 kg/m ³
Wasserdampfdiffusionswiderstand μ	ca. 2,4
spezifische Wärmekapazität	2005 J/ kgK

www.isocell.at

Info-Tel.: +43(0)6216 / 4108





ennstal 
 bauen & wohnen

wohnbaugruppe.at

open[®]reflect

Die KlimaFassade

23% mehr
Dämmleistung

Heizkosten sparen
– ein Leben lang



Baunit open[®]reflect – Die KlimaFassade verbindet nicht nur traumhaft schöne Wärmedämmung und Kostendämmung auf einzigartige Weise, sondern überrascht auch jetzt im neuesten Farbsystem von Baunit Life[®] mit einzigartigen Farbtönen. Dank eines perfekt abgestimmten Systems genießen Sie ein natürlich-gesundes Wohngefühl und eine individuelle, innovative Farbgestaltung. Und mit dem besten Baunit WärmedämmverbundSystem zum besten Preis sparen Sie Heizkosten – ein Leben lang.

- **Atmungsaktive Wärmedämmung**
- **Behagliches Raumklima**
- **Erhältlich im größten Farbsystem für die Fassade: Baunit Life[®]**

Life
COLORED BY BAUNIT

Ideen mit Zukunft.

**BAU
NIT**
baunit.com

Baumit Life

**Das neueste
Farbsystem**

Das größte Farbsystem für die Fassade!

**Baumit Life überrascht jetzt mit unglaublichen
888 kreativen Farbtönen für Ihre Fassade.**

Ein Farbsystem, das so strahlend schön, vielfältig und individuell ist, wie das Leben selbst. Baumit Life ist aber nicht nur das umfangreichste Farbsystem Europas für die Fassade, sondern auch das innovativste. Für eine optimale Farbauswahl stehen Ihnen zahlreiche High-Tech Tools zur Verfügung. Mehr dazu auf www.baumitlife.com

- **Das neueste Farbsystem Europas**
- **High-Tech Tools im Internet**
- **Trendig, individuell, innovativ**

Life
COLORED BY BAUMIT



Ideen mit Zukunft.

**BAU
MIT**

baumit.com

BRANDSCHUTZ FÜR FASSADEN

FOAMGLAS® – die einzige Fassaden-
dämmung mit Melt-Shield-Effekt

FOAMGLAS®

Building



www.foamglas.de



natureplus
Internationaler Verein für zukunftsfähiges
Bauen und Wohnen e.V.

ZERTIFIKAT
über die Vergabe des Qualitätszeichens
CERTIFICATE
for the award of the quality label
CERTIFICAT
pour l'attribution du label de qualité

Geprüfte Produkte
Tested products
Produits testés

**FOAMGLAS®W+F, FOAMGLAS®T4+,
FOAMGLAS®T4, FOAMGLAS®S3, FOAMGLAS®F**

Hersteller/Vertreiber
Manufacturer/Distributor
Producteur/Distributeur

PITTSBURGH CORNING Europe SA
B-3980 Tessenderlo
BELGIUM

Produktart
Type of product
Nature du produit

Schaumglasplatten
Cellular glass insulation boards
Panneaux et plaques de cellules de verre

Zertifikatsnummer
Number of certificate
Numéro de certificat

0406-1101-101-1

Prüfumfang
Test program
Étendue du test

Umwelt – Gesundheit – Funktion
Produktlebenslinie
Laborprüfung (Inhaltsstoffe und Emissionen)
Gebrauchstauglichkeit

Environment – Health – Function
Life cycle evaluation
Laboratory test (content and emissions)
Fitness for use

Environnement – Santé – Fonction
Cycle de vie du produit
Test en laboratoire (composants et émissions)
Aptitude à l'usage

Prüfergebnis
Test result
Résultat du test

Das Produkt/die Produkte erfüllt/erfüllen die strengen Anforderungen
der natureplus-Vergaberichtlinie
RL0406 Schaumglasplatten

The product/the products fulfills/fulfill the stringent requirements
of the natureplus award guidelines
RL0406 Cellular glass insulation boards

Le(s) produit(s) mentionné(s) ci-dessus remplit/remplissent les exigences
strictes des directives pour l'attribution de contrats de natureplus
RL0406 Panneaux et plaques isolantes de cellules de verre

Gültigkeit des Zertifikats
Validity of certificate
Validité du certificat

Januar / January / Janvier 2014

Neckargemünd, 2011-01-14

natureplus

Prüfinstitut/Test Institute/Institute de Contrôle
IBO GmbH, Wien

VORBEUGEN IST BESSER ALS LÖSCHEN

Risikomanagement

für Architekten, Planer, Bauträger, Objektinhaber, Versicherungen und Behörden

> UNSERE LEISTUNGEN

Erstellung von Sicherheitsanalysen und Brandschutzkonzepten

Erstellung von Fluchtwegkonzepten

Erstellung von objektbezogenen brandschutztechnischen Gutachten und Beurteilungen

Fluchtwegsimulationsberechnungen

Brandsimulationsberechnungen (Fire Engineering)

> IHR VORTEIL

Erstellung von umfassenden Sicherheitsanalysen für bestehende Objekte und Neubauten

Sicherstellung eines effizienten Brandschutzes und Optimierung der Kosten-Nutzen-Relation

brandschutztechnische Äquivalenzmaßnahmen bei Abweichungen von gesetzlichen Vorgaben und Richtlinien auf Grund architektonischer Anforderungen

objektbezogene Betrachtung

Brandschutz „all inclusive“

1. Entwurfsphase
2. Einreichplanung
3. Behördenverfahren
4. Detailplanung
5. begleitende Bauüberwachung
6. Abnahme

IBS - INSTITUT FÜR BRANDSCHUTZTECHNIK UND SICHERHEITSFORSCHUNG GES. M. B. H.

STAATLICH AKKREDITIERTE PRÜF- UND INSPEKTIONSSTELLE

ZENTRALE:

A-4017 LINZ, PETZOLDSTRASSE 45, POSTFACH 27
TELEFON: 0732/7617-850, FAX: 0732/7617-89

ZWEIGSTELLEN:

A-1300 WIEN FLUGHAFEN, OFFICE PARK I, TOP B02
A-5020 SALZBURG, GINZKEYPLATZ 10/1
A-9100 VÖLKERMARKT, GRIFFNERSTR. 6
A-6020 INNSBRUCK, EDUARD-BODEM-GASSE 6
A-6850 DORNBIERN, STEINEBACH 13



Besprechung eines neuerstellten Maßnahmenkataloges.



BRANDSCHUTZ NACH MASS

Brandsimulationen

für Architekten, Planer, Bauträger, Objektinhaber, Behörden

> UNSERE LEISTUNGEN

Bemessung von Bauteilen und Berechnung der Statik im Brandfall unter Verwendung moderner Berechnungsverfahren

computergestützte Brandsimulation mit validierten Rechenmodellen

Ermittlung objektbezogener Temperatur-Zeitkurven unter Berücksichtigung von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen sowie Sprinkleranlagen

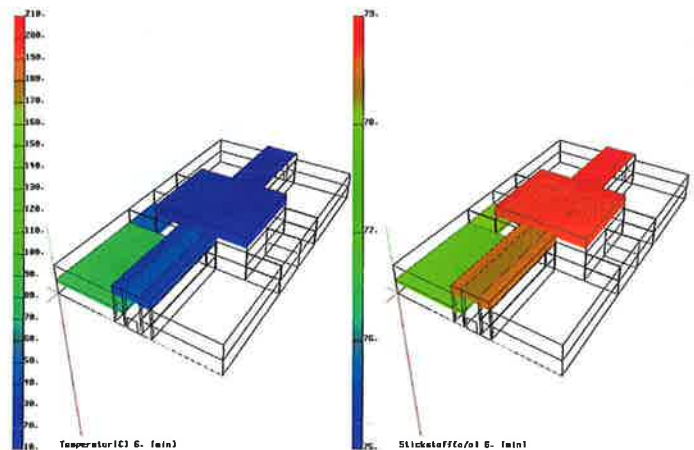
Bestimmung der objektbezogenen Brandlast auf Grund der Nutzung

> IHR VORTEIL

Realisierung von Kosteneinsparungen durch wirtschaftliche Dimensionierung der Bauteile

Erreichung eines „baulichen Brandschutzes nach Maß“

Vermeidung von Überdimensionierungen und unwirtschaftlichen Brandschutzmaßnahmen



IBS - INSTITUT FÜR BRANDSCHUTZTECHNIK UND SICHERHEITSFORSCHUNG GES. M. B. H.

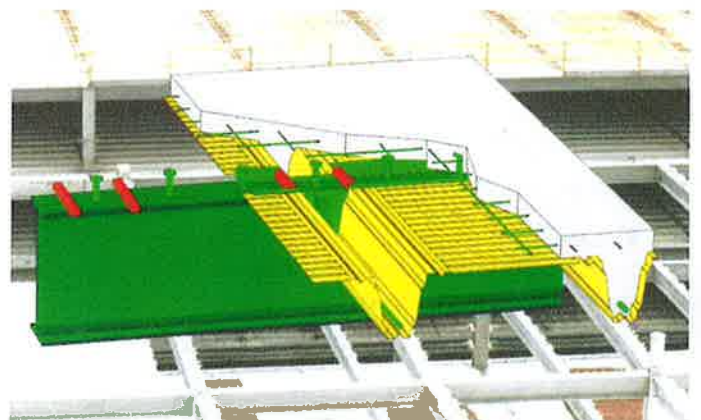
STAATLICH AKKREDITIERTE PRÜF- UND INSPEKTIONSSTELLE

ZENTRALE:

A-4017 LINZ, PETZOLDSTRASSE 45, POSTFACH 27
TELEFON: 0732/7617-850, FAX: 0732/7617-89

ZWEIGSTELLEN:

A-1300 WIEN FLUGHAFEN, OFFICE PARK I, TOP B02
A-5020 SALZBURG, GINZKEYPLATZ 10/1
A-9100 VÖLKERMARKT, GRIFFNERSTR. 6
A-6020 INNSBRUCK, EDUARD-BODEM-GASSE 6
A-6850 DORNBIERN, STEINEBACH 13



„WENN SIE BEI DIESEN
INNOVATIONEN NICHT
ZUSCHLAGEN, SEHE
ICH SCHWARZ!“

DAS NEUE KUNSTSTOFF-FENSTER KF 500 MIT REVOLUTIONÄRER VERRIEGELUNG



- U_w bis 0,69 W/m²K
- Stilisierter Flügel durch profilierten Rahmen – mit den Vorteilen des Flügels in vollendeter Ganzglasoptik
- Sicherheit – RC2 im Standard
- Serienmäßig 3fach-Verglasung SOLAR+ für optimale Energieeffizienz
- Optional mit integrierter Lüftung

I-tec Verriegelung



MEHR SICHERHEIT – MEHR KOMFORT

Das integrierte Beschlagsystem ist mit einem völlig neuen Verschlussystem ausgestattet.

Brandschutzklasse REI-30 (REI-60)

LAAS-LEICHT-DACH

Das komplette Dachelement:
Problemlos für kleine und große Einsätze.

- Das Leichteste: 30-60 kg/m²
- Das Längste: 18 m freie Spannweite
- Das Wärmste: U-Wert bis 0,07 W/m²K
- Das Schnellste: 2.000 m² Fertigdach pro Tag



LAAS-Leicht-Dach-Systeme GmbH
Klagenfurter Straße 51 • A-9100 Völkermarkt
T: +43 42 32 / 2400-0 • F: +43 42 32 / 2561



www.laas.at

Baulicher Brandschutz

Leicht, günstig, wertbeständig und extrem **feuerbeständig** - Laas-Leichtdach

Das Laas-Leicht-Dach-System wurde auf der Technischen Hochschule in Stockholm entwickelt und bewährt sich seither als meistverwendetes Dachelement in den schneereichen skandinavischen Ländern. Aber nicht nur dort! Über 1.000.000 m² Dachflächen in Österreich und seinen Nachbarstaaten bestätigen eindrucksvoll die Qualität dieses einzigartigen Dachsystems. Die Vorteile werden allseitig geschätzt:

Optimale Wärmedämmung und hohe Brandbeständigkeit: Mineralwolle in und zwischen den Metallprofilen garantiert eine ausgezeichnete Dämmung mit U-Werten (k-Wert) bis 0.07 W/m²K und eine Brandbeständigkeit bis REI-60 (REI-90). Kostenreduktionen im Heiz- und Kühlbereich sind die Folge.

Hohe Stabilität: Die Laas-Leicht-Dach-Elemente sind im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen aus mehreren statisch zusammenwirkenden Materialien aufgebaut. Diese tragen im Verbund und erfüllen alle Anforderungen optimal (statische Scheibewirkung erspart Kosten) und das bei geringem Eigengewicht von nur 30 bis 60 kg/m².

Problemlose Montage: Die unkomplizierte Handhabung und das geringe Eigengewicht der großflächigen Dachelemente ermöglichen Montagegeschwindigkeiten bis zu 2000 m² pro Tag.

Große Spannweiten: Die enorme Steifheit der Laas-Leicht-Dach-Elemente ermöglichen Spannweiten bis 18 Meter. Das bedeutet für die Halle: weniger Stützen, weniger Träger, weniger Fundamente und daher auch geringe Baukosten und bessere Innennutzung der Gebäude.

Hervorragende Schallabsorption:

Der Schallabsorptionsgrad α_S 1,00 ab 500 Hz ist 100 mal besser als Mauerputz und erfüllt damit nahezu alle Anforderungen. Der sensationelle Schalldämmwert beträgt $R'W=47$ dB bis $R'W=59$ dB.

Extreme Sicherheit: Die sorgfältige Verarbeitung und die Verwendung hochwertiger Materialien ergeben ein stabiles und sicheres Dachsystem. Die positiven Erfahrungen in Skandinavien, Österreich, Deutschland und Slowenien beweisen, dass auch nach jahrelang extremen Beanspruchungen die Dachelemente im Bereich Sicherheit keine Mängel zeigen.



LAAS-Leicht-Dach-Systeme GmbH
 Klagenfurter Straße 51 • A-9100 Völkermarkt
 T: +43 42 32 / 2400-0 • F: +43 42 32 / 2561
www.laas.at

LAAS-Leicht-Dach-Elemente verlegt auf die längsdurchgehenden Träger in Gebäudemitte, maximale Länge der Leicht-Dach-Elemente: 18,00 m. Anwendbar für Dächer bis zu einer Neigung von 35 Grad.



LAAS-Leicht-Dach-Elemente auf traditionellem Trägersystem verlegt, Achsenabstände bis zu 18,00 m. Die Sekundärsäulen für die Wandelemente können im Dach befestigt werden.



Auf einen Blick

Das Laas-Leicht-Dach-System garantiert kostengünstige, rasch zu errichtende, unkomplizierte Dachkonstruktionen bei höchster Qualität und perfekter Verarbeitung samt Montage durch werkeigenes Personal. Auch die Folgekosten durch hohe Dämmwerte verringern sich, die hervorragende Brandbeständigkeit sichert günstige Versicherungstarife. Gleichzeitig ermöglichen Laas-Leicht-Dach-Systeme individuelles Bauen und hohe Flexibilität bei späteren Um- oder Ausbauten.

LAAS-Leicht-Dach-Elemente von Wand zu Wand verlegt. Trägersysteme entfallen. Wandflächen werden kleiner, Heizkosten geringer.



ponggratz

baut auf

Auch im neunten Jahrzehnt ihres Bestehens baut die Pongratz-Baugesellschaft erfolgreich auf die bewährten drei Säulen ihrer Firmenphilosophie: Bedingungslose Qualität, Fixpreise und Termintreue. Im Jahr 1933 gegründet, wird das Familienunternehmen heute von den beiden Brüdern DI Alexander und DI Josef Pongratz vom Stammsitz in Graz aus geleitet. Mit Niederlassungen in Fehring, Feldbach, Deutschfeistritz und Wien bietet die Pongratz Bau GesmbH das Leistungsspektrum des klassischen Stadtbaumeisters – vom Wohn- und Industriebau über Sanierungen, Fassadenarbeiten, Um- und Zubauten bis hin zum Ein- und Mehrfamilienwohnbau. Sämtliche Arbeiten werden auch als Generalunternehmen durchgeführt.

Als Bauträger von Wohn- und Bürogebäuden deckt die Pongratz-Gruppe alle Bereiche von der Planung über die Projektabwicklung bis zur Ausführung ab. Unter dem Dach der Pongratz-Gruppe firmieren neben der Bausparte auch die Geschäftsbereiche Wienerberger MassivWertHouses und die A. Pongratz & J. Pongratz BaustoffhandelsgmbH. Die Geschäfts-Niederlassungen in Graz, Fehring, Unterpremstätten und Deutschfeistritz beweisen, dass sich Baustoffe und Know-how aus bewährter Baumeisterhand großer Nachfrage erfreuen.

Beste Qualität baut auf.



Pongratz Bau Gesellschaft m.b.H.
Triesterstraße 432, 8055 Graz, Austria
T. +43-316-296622, F. +43-316-296622-330
office@ponggratz.at, www.ponggratz.at

Graz.Wien.Deutschfeistritz.Fehring

Pressler

GmbH.&Co.KG

STAHL- UND ALUBAU KUNSTSTOFFFENSTER-ERZEUGUNG

A-8720 Knittelfeld
Krebsengasse 27
Tel.: +43/3512/82120
Fax: +43/3512/82120-1

TROCAL



WICONA

ALUKÖNIGSTAHL




KOSMOS
SONNENSCHUTZ

OBUK
ALU-UND STÄHLE

www.pressler.at





Pressler

GmbH.&Co.KG

Stahl- und Alubau - Kunststofffenster Erzeugung

Krebsengasse 27 - 8720 Knittelfeld
Tel.: +43/3512/82120 Fax: DW 1

office@pressler.at
www.pressler.at

Was ist proHolz Steiermark?

proHolz Steiermark ist Plattform und Netzwerk der Forst- und Holzwirtschaft, der Papier- und Zellstoffindustrie sowie der ergänzenden Dienstleister. proHolz ist im steirischen Holznetzwerk für die Internationalisierung (Schwerpunkt Südosteuropa), Holzfachberatung und das Branchenlobbying bzw. -marketing zuständig. Der Verband der steirischen Forst- und Holzwirtschaft wird primär über den Holzwerbebeitrag der steirischen Forstwirtschaft, der steirischen Holzindustrie sowie den Interessensverbänden der gewerblichen Wirtschaft finanziert.

Aufgaben und Ziele

Primäres Ziel von proHolz Steiermark ist es, durch konkrete Projekte und Informationen den Holzverbrauch national und international nachhaltig zu steigern, die Vorteile von Holz nach außen zu tragen und dadurch die Wertschöpfung im Land zu erhöhen. Dieses Ziel erreichen wir unter anderem dadurch, dass wir die positiven Eigenschaften von Holz und weitere Informationen zu Holzarten und Holzanwendung national und international an die Fachöffentlichkeit, an Ausbildungsstätten und an eine breite Öffentlichkeit tragen. Eine wichtige Aufgabe ist auch die Aufbereitung internationaler Märkte vor allem im südosteuropäischen Raum, um den steirischen Betrieben den Markteintritt zu erleichtern. Unser Ziel ist es, die steirische Forst- und Holzwirtschaft fit für die Anforderungen im neuen Europa zu machen.

Die Vision

Gemeinsam mit den Unternehmen, den Forschungs- und Bildungseinrichtungen sowie der Politik werden wir die Chance nützen, die Steiermark noch stärker als Holz-Hightech-Land zu positionieren. Die Vision lautet: Im Jahr 2015 soll jeder, der an Bauen denkt, in erster Linie an Holz denken. Unser Motto ist: „Wir bauen Zukunft – mit Holz“

Internationalisierung

Holzfachberatung

Marketing,
Öffentlichkeitsarbeit,
Lobbying



Beispiele für Aktivitäten von proHolz Steiermark

Holzfachberatung in den Gemeinden

Grundsätzlich hat das Team der Holzfachberatung den Schwerpunkt „Gemeinden“. Ziel ist es, durch die rechtzeitige Information und Begleitung der Gemeinden als erste Bauinstanz den Anteil an Holzbauten in der Steiermark zu erhöhen.

Auch im Jahr 2012 führte proHolz Steiermark mehrere Exkursionen für Gemeinden und sonstige Holzbauinteressierte zu neuen Bauprojekten aus Holz durch.

Ein weiterer Schwerpunkt der Holzfachberatung liegt im Bereich Holz & Gesundheit und ist damit eng verbunden mit dem Sektor „Ausbildungsstätten“. Studien haben gezeigt, dass Kinder, die in einer mit Holz ausgestatteten Klasse unterrichtet werden, im Schnitt 8.600 Herzschläge weniger haben, als jene, die sich in einer „Standardklasse“ aufhalten. Grund genug für proHolz Steiermark, ein umfassendes Paket zum Thema „Holz in Ausbildungsstätten“ zu schnüren - die erste Broschüre dazu wird im November 2012 erscheinen.

Zusammenarbeit mit Universitäten

Fachliche und materielle Unterstützung

proHolz Steiermark bringt Studenten (v. a. an der TU Graz) den Bau- und Werkstoff Holz näher. Zum Beispiel mit Vorträgen oder der fachlichen Begleitung von Lehrveranstaltungen, für die auch Materialien zur Verfügung gestellt werden.

Exkursionen

Weiters werden für Studenten Exkursionen zu Holzbauten oder holzbe- und verarbeitenden Betrieben organisiert.

Diplom-/Abschlussarbeiten

Auch in diesem Bereich arbeitet proHolz Steiermark eng mit der TU Graz zusammen.



Internationalisierung

Der Marktaufbau in Südosteuropa ist Schwerpunkt der Internationalisierungsabteilung von proHolz Steiermark. In Kooperation mit proHolz Austria wird die Fachöffentlichkeit in Ländern wie Kroatien, Slowenien, Serbien, Bosnien, Montenegro oder Bulgarien rund um Holz ausgebildet, um den Bau- und Werkstoff in diesen Regionen zu verankern. Dazu werden Fachseminare, Messen, Exkursionen, Holzbaukurse und vieles mehr organisiert.

Durch das große Netzwerk von proHolz und anhand von Best Practice Beispielen wird weiters versucht, Baugesetze in diesen Ländern für die Anforderungen des Holzbaus zu optimieren und Kontakte zu wichtigen Organisationen und Entscheidungsträgern aufzubauen und zu pflegen. Kurz gesagt: proHolz Steiermark ebnet Holzbetrieben den Weg in neue Märkte.

Marketing

Holzbaupreis 2011

Gemeinsam mit Besser mit Holz und der Holzbauinng führt proHolz Steiermark alle zwei Jahre den Steirischen Holzbaupreis durch, bei dem jedes Mal über 100 Projekte eingereicht werden.

Geniale Holzjobs

Hier steht die Jugendarbeit im Mittelpunkt. Junge Leute, sprich die Mitarbeiter von morgen, sollen auf die Holzbranche als Arbeitgeber aufmerksam gemacht werden.

Holzbauanteil-Erhebung Steiermark

proHolz Steiermark hat in den letzten eineinhalb Jahren den Holzbauanteil in den Steirischen Gemeinden erhoben. Fazit: Der Holzbauteil ist von 26,6 % (1998) auf 38,4 % (2008) gestiegen.

Fachliteratur

proHolz Steiermark bietet eine umfangreiche Palette an Fachliteratur, die online unter www.proholz-stmk.at bestellt werden kann. Mit dabei u. a. die Werke von Univ.-Prof. DI Dr. techn. Richard Pischl (TU Graz).

Sarnavap-5000 E SA



Produktbeschreibung

Sarnavap-5000 E SA ist eine selbstklebende Dampfsperre aus polymermodifiziertem Bitumen mit einer Gewebeeinlage und Aluminium als Oberschicht.

Technische Daten

Eigenschaft	Prüfnorm	Sarnavap-5000 E SA
Farbe		Oberfläche: Aluminium mit blauem Aufdruck Unterseite: LDPE-Schutzfolie weiß, Kleberücken schwarz
Verpackungseinheit		24 Rollen/Palette = 777,60 m ²
Länge x Breite		30,0 m x 1,08 m
Stärke		0,6 mm
Gewicht je Rolle		23,0 kg
Brandklasse	EN ISO 11925-2:2002	E
S _d -Wert	EN 1931	> 1.800 m
Reißfestigkeit	gem. EN 12311-2	≥ 440 N

Einsatzgebiete und Vorteile

- Schnelle und einfache Verlegung durch den Kleberücken und das geringe Gewicht.
- Hoher Dampfdiffusionswiderstand.
- Sarnavap-5000 E SA kann für die Dauer von vier Wochen frei bewittert bleiben und somit als Notabdichtung eingesetzt werden.
- Anwendung sowohl auf horizontalen und geneigten Dachkonstruktionen wie auch vertikal, z.B. für Attikaanschlüsse.
- Die Dampfsperre kann auf den meisten üblichen Untergründen, wie z.B. Beton, Trapezblech, Sperrholz, Holzschalungen oder OBS-Platten, ohne Voranstrich eingesetzt werden.
- Bei einem geklebten Dachaufbau (alle Schichten geklebt) ist auf Beton und Holzuntergründen der Primer-600 zwingend einzusetzen. Dies gilt auch, wenn Sarnavap-5000 E SA über große Höhen an der Attika hochgezogen wird.
- Durch die hohe Reißfestigkeit der Gewebeeinlage bietet die Sarnavap-5000 E SA besonders hohe Sicherheit gegen Durchstoßen bei Verwendung auf Trapezblechen.

Roofing

Sika Österreich GmbH, Geschäftsbereich Roofing
Senderstraße 10, A-6960 Wolfurt
Tel: +43 (0)5 0610 0, Fax: +43 (0)5 0610 2901
roofing@at.sika.com, www.sika.at

Direktion/Hauptverwaltung
Sika Österreich GmbH, Dorfstraße 23, A-6700 Bludenz-Bings

Sika®

Sarnafil®

Sarnavap-5000 E SA FR



Produktbeschreibung

Sarnavap-5000 E SA FR ist eine selbstklebende Dampfsperre aus polymermodifiziertem Bitumen mit einer Gewebeeinlage und Aluminium als Oberschicht - **speziell für Trapezbleche mit Sickenabstand 280 mm.**

Technische Daten

Eigenschaft	Prüfnorm	Sarnavap-5000 E SA FR
Farbe		Oberfläche: Aluminium mit blauem Aufdruck Unterseite: LDPE-Schutzfolie weiß, Kleberücken schwarz
Verpackungseinheit		30 Rollen/Palette = 1.440 m ²
Länge x Breite		40,0 m x 1,20 m
Stärke		0,4 mm
Gewicht je Rolle		17,50 kg
Brandklasse	EN ISO 11925-2:2002	E
S _d -Wert	EN 1931	> 1.800 m
Reißfestigkeit	gem. EN 12311-2	≥ 500 N

Einsatzgebiete und Vorteile

- Schnelle und einfache Verlegung durch den Kleberücken und das geringe Gewicht.
- Hoher Dampfdiffusionswiderstand.
- Sarnavap-5000 E SA FR kann für die Dauer von vier Wochen frei bewittert bleiben und somit als Notabdichtung eingesetzt werden.
- Anwendung sowohl auf horizontalen und geneigten Dachkonstruktionen wie auch vertikal, z.B. für Attikaanschlüsse.
- Die Dampfsperre wurde speziell für Trapezblech mit einem Sickenabstand von 280 mm konzipiert.
- Bei einem geklebten Dachaufbau (alle Schichten geklebt) ist der Primer-600 zwingend einzusetzen. Dies gilt auch, wenn Sarnavap-5000 E SA FR über große Höhen an der Attika hochgezogen wird.
- Durch die hohe Reißfestigkeit der Gewebeeinlage bietet die Sarnavap-5000 E SA FR besonders hohe Sicherheit gegen Durchstoßen bei Verwendung auf Trapezblechen.

Sika Österreich GmbH, Geschäftsbereich Roofing
Senderstraße 10, A-6960 Wolfurt
Tel: +43 (0)5 0610 0, Fax: +43 (0)5 0610 2901
roofing@at.sika.com, www.sika.at

Direktion/Hauptverwaltung
Sika Österreich GmbH, Dorfstraße 23, A-6700 Bludenz-Bings

Sika®

Sarnafil®



2016



Maximaler Dämmwert bei minimaler Dicke:

Das innovative Innendämmsystem StoTherm In Aevero

Das neue, innovative Innendämmsystem StoTherm In Aevero macht Innendämmung so schlank und stark wie nie zuvor: Seine enorm schlanken Dämmplatten aus dem Hightech-Material Aerogel weisen eine Wärmeleitfähigkeit von $0,016 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ auf. Das ist diffusionsoffene Innendämmung auf die intelligente Art: StoTherm In Aevero.

Erleben Sie die neue Dimension der Innendämmung StoTherm In Aevero

Sto wird seinem Anspruch als Technologieführer einmal mehr gerecht – wir haben ein innovatives Innendämmsystem entwickelt, das die bahnbrechenden Eigenschaften des Hightech-Dämmstoffs Aerogel auf revolutionäre Weise mit den Anforderungen an eine moderne Innendämmung vereint: StoTherm In Aevero besteht durch extreme Wärmedämmung mit enorm schlanken Innendämmplatten! Eingebettet in perfekt aufeinander abgestimmte Systemkomponenten bietet StoTherm In Aevero eine Effizienz, wie keine andere Innendämmung zuvor:



- 1 Verklebung
- 2 Dämmung
- 3 Armierungsmasse
- 4 Armierungsgewebe
- 5 Grundierung
- 6 Schlussbeschichtung

- StoTherm In Aevero hat eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit von $0,016 \text{ W/(m}\cdot\text{k)}$
- Enorm schlanke, druckfeste Innendämmplatten von 10 – 40 mm aus dem Hightech-Material Aerogel: Dadurch ist eine äußerst schlanke Innendämmung bei minimalem Raumverlust möglich – die Innendämmung mit StoTherm In Aevero nimmt genauso viel Platz ein wie ein Gipsputz im Altbau
- StoTherm In Aevero ist der ideale Problemlöser für Laibungen und Heizungs-nischen: Seine schlanken Dämmplatten machen ein Versetzen der Haustechnik oft überflüssig
- Das innovative Innendämmsystem ist diffusionsoffen – ganz ohne Dampfsperre
- Die speziell für StoTherm In Aevero entwickelte Klebe- und Armierungsschicht StoLevell In Aevero ist kapillaraktiv – für ein zuverlässiges Feuchtemanagement
- StoTherm In Aevero lässt viel Raum für individuelle Oberflächengestaltung mit Sto-Produkten auf Silikat- und Kalkbasis
- Einsatzbereiche von StoTherm In Aevero: Denkmalschutz, Grenzbebauung, Ensembleschutz, Erhalt von Gebäudefassaden

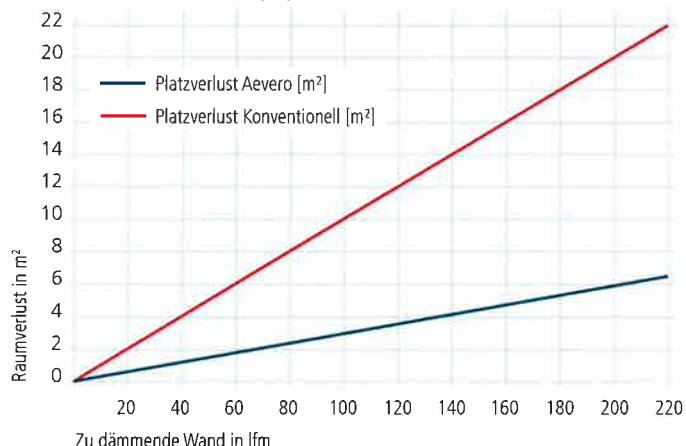
Die konkreten technischen Vorgaben und Angaben zu den Produkten in den Technischen Merkblättern und Zulassungen sind zwingend zu beachten.

Der Hightech-Dämmstoff Aerogel:

- Weist von allen bekannten Materialien die geringste Wärmeleitfähigkeit auf
- Aerogel ist der leichteste Festkörper der Welt und besteht zu 95 % aus Luft
- Die Luftmoleküle sind in einem Netz aus Siliziumdioxid eingeschlossen – damit wird der Wärmetransport durch Konvektion verhindert
- Wird als extrem effektives Isoliermaterial in der Raumfahrt und im Flugzeugbau verwendet

Raumverlust durch Innendämmung

Geringerer Raumverlust gegenüber anderen Systemen





DYNAMIK AUF GUTEM FUNDAMENT

STRABAG Metallica kreiert und realisiert anspruchsvolle Metall- und Glasbaukonstruktionen im Fassadenbau und konstruktiven Stahlbau. Dabei prägen Qualität, Innovation und Speziallösungen das Firmenprofil. 70 Jahre handwerkliche Erfahrung und eine hoch motivierte, leistungsfähige Mannschaft gewährleisten die zuverlässige Ausführung aller beauftragten Arbeiten. Jede individuelle Lösung zeichnet sich durch technische Perfektion und fachgerechtes Geschick aus. Mit drei eigenen Produktionsstätten sowie einer Planungsabteilung können die geforderten Qualitäten termingerecht verwirklicht werden. Dies macht den Vorsprung in Bezug auf technische Lösungen und ästhetische Gestaltung aus.

STRABAG AG

Hoch- und Ingenieurbau, Direktion AO – Metallica
Polgarstr. 30, 1220 Wien
Tel. +43 1 20117-402, www.strabag.com

STRABAG

STRABAG



» ERFOLG BESTEHT AUS VIELEN TEILEN,
WERDEN SIE EINER DAVON ... «



Begleiten Sie uns auf dem Weg zur Nr. 1 der Bauindustrie in Europa. Werden Sie ein Teil von uns!
STRABAG SE ist einer der führenden europäischen Bautechnologiekonzerne und in 60 Ländern mit 76.900 Mitarbeitern weltweit vertreten.

Die **Direktion Metallica** setzt derzeit jährlich ca. 45 Mio. Euro mit komplexen Bauvorhaben im Glas-/Alu-/Stahlbau um. Wir realisieren Projekte von der Planung über die Projektleitung bis zur Fertigung und Montage für die internen Hochbauabteilungen sowie für externe Kunden in Österreich und im Ausland. Zur Verstärkung unseres Teams im Bereich **Stahl- und Fassadenbau** suchen wir für **Wien, Weiz oder Friesach** eine/n

■ TECHNIKER/IN FASSADENBAU

Neben der Unterstützung der Bauleitung bei allen technischen und kaufmännischen Aufgabenstellungen umfasst Ihr Aufgabenbereich das eigenverantwortliche Aufmessen, die zeichnerische und rechnerische Darstellung der Bauleistungen, die Abrechnung der Bauleistung mittels EDV-Software (Arriba), die Erstellung von Bestandsplänen und Regieberichten sowie die Überwachung von Bauausführungen nach Weisung des Bauleiters.

Wir erwarten eine abgeschlossene hochbautechnische Ausbildung (TU, FH). Berufserfahrung ist nicht unbedingt erforderlich, auch Absolventen/-innen sind willkommen. Sehr gute MS-Office-Kenntnisse setzen wir voraus, Arriba-Kenntnisse sind von Vorteil. Eine selbständige Arbeitsweise sowie Einsatzbereitschaft, Eigeninitiative und Teamgeist runden Ihr Profil ab.

Jahresbruttobezug ab 28.345,- EUR, darüber hinaus nach Vereinbarung aufgrund Ausbildung, Qualifikation und Berufserfahrung.

Ihre Bewerbung übermitteln Sie uns bitte mittels Online-Formular über unsere Homepage www.strabag.at (Jobsuche/konkrete Stellenangebote).

Ihr Ansprechpartner / Informationen:
Klaus Orlor, Tel.: +43(0)122422-1614

Weitere Stellenangebote und Details
finden Sie auf www.strabag.de -> Karriere

STRABAG



INNOVATIV UND ENERGIESPAREND

Porotherm W.i Planziegel

- 25% besserer Wärmeschutz und innenliegende Dämmung
- Mineralischer und somit natürlicher Dämmstoff
- In den Wandstärken 49 cm, 42,5 cm und 30 cm erhältlich
- Optimal für ökologische Niedrigenergie- und Passivhäuser

www.wienerberger.at



Wienerberger bringt die neue Ziegelgeneration Porotherm W.i Klasse

NATÜRLICH. SICHER. ENERGIESPAREND.

Porotherm W.i Klasse

Wienerberger kombiniert den natürlichen Baustoff Ziegel mit dem mineralischen Dämmstoff Steinwolle - entstanden ist die innovative Ziegelklasse: Porotherm W.i für hochwärmedämmende Außenwände ohne Zusatzdämmung.

Im Vergleich zum bisherigen Spitzenprodukt dem Porotherm 50 H.i konnte damit der U-Wert beim Porotherm 49 W.i - bei geringerer Wandstärke - nochmals um 25 % verbessert werden.

Mit den Innengedämmten Ziegeln von Wienerberger wurde eine neue Generation an Ziegelprodukten entwickelt, welche ökologisch, energiesparend und massiv ist. Die baupsychologischen Eigenschaften sichern ein angenehmes und gesundes Raumklima zu jeder Jahreszeit.

Entscheiden Sie sich für eine nachhaltige und energieeffiziente Zukunft mit Porotherm W.i.

Die Vorteile auf einen Blick

- U-Wert ab 0,12 W/m²K
- 25% besserer Wärmeschutz
- Mineralischer und somit natürlicher Dämmstoff
- Geeignet für ökologische Niedrigenergie- und Passivhäuser
- Mit innenliegender Wärmedämmung in den Wandstärken 49 und 42,5 cm
- **NEU:** Porotherm 30 W.i Objekt Plan

Verarbeitbar mit **Porotherm Dryfix extra Kleber** sowie mit Dünnbettmörtel.

Angegebene U-Werte verstehen sich mit 1,5 cm Kalk-Gipsputz ($\lambda=0,60$) innen und 4,0 cm hochwärmedämmender Putz ($\lambda=0,09$) außen.



Porotherm 49 W.i Plan

Format 49 x 24,8 x 24,9 cm
U-Wert ab 0,12 W/m²K
Bedarf 16 Stk./m²



Porotherm 42,5 W.i Plan

Format 42,5 x 24,8 x 24,9 cm
U-Wert ab 0,15 W/m²K
Bedarf 16 Stk./m²



Porotherm 30 W.i Objekt Plan

Format 30 x 24,8 x 24,9 cm
U-Wert ab 0,24 W/m²K
Bedarf 16 Stk./m²