

Bernhard Weller  
Sebastian Horn *Hrsg.*

# Denkmal und Energie 2017

Energieeffizienz, Nachhaltigkeit  
und Nutzerkomfort

 Springer Vieweg

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort

### Bauten und Projekte

Die Grundsanierung des Bundesverfassungsgerichts <i>Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang Grether</i>	7
Energetische Sanierung – Schlösschen Oppenheim <i>Dipl.-Ing. Stefan Oehler</i>	21
Konzepte zum Temperieren und Lüften zum Erhalt denkmalgeschützter Substanz ab Beispiel der katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück <i>Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht, Dipl.-Ing. Simone Reeb, Dipl.-Ing. Dana Ullmann, Christian Renner</i>	33

### Gestaltung und Konstruktion

Werk und Verfall – Konzepte der Denkmalpflege im Zyklus des Werkes <i>Dipl.-Ing. Manfred v. Bentheim</i>	47
Die Dämmung der Baudenkmale – Frevel oder Weitsicht? <i>Dr. Ralf-Peter Pinkwart</i>	59
Wie viel Brandschutz steckt im Denkmal? <i>Dr.-Ing. Sylvia Heilmann</i>	71
Wirtschaftlichkeit energetischer Maßnahmen im Baudenkmal – die Generalsanierung Theater Wolfsburg <i>Dipl.-Ing. Architekt Winfried Brenne, Dipl. Ing. Architekt Franz Jaschke</i>	83

### Material und Technik

Typha-Natur – Bau-Technik <i>Dipl.-Ing. Alexandra Fritsch, Dipl.-Ing. Werner Theuerkorn</i>	99
Denkmalgerechte Dach- und Geschoßdeckendämmung mit eingblasener Zellulose <i>Dipl.-Volksw. Christoph v. Stein</i>	115
Mauerwerk und Glas – wie gut geht das! Ein Beitrag zur Fenstererneuerung im Bestand des Wohnungsbaus <i>Dr. Astrid Holz</i>	133

Denkmal und Energie – 2017 – Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Nutzerkomfort, Osnabrück,  
28. November 2016

Von der konservatorischen Not zur energetischen Tugend – Chancen und Gefahren von Schutzverglasungen <i>Prof. Dr. Sebastian Strobl</i>	149
Denkmal mit Energieeffizienz und Wohngesundheit. Denkmal mit Solarfassade. Zwei Beispiele. <i>Dipl.-Oec. Antje Vargas, Dipl.-Ing. Dirk Fiedler, Dipl.-Arch. Matthias Risse, Dr. Silvian Tourel</i>	163
Bauklima und mikrobielle Schadensprozesse <i>Dr. Thomas Warscheid</i>	179
Energetische Probleme und akustische Verfahren <i>Prof. Dr. Peter Holstein, Dr. Armin Raabe, Dipl.-Des. Nicki Bader, Andreas Tharandt, Dr. Manuela Barth, Dipl.-Phys. Hans-Joachim Münch</i>	189
<b>Forschung und Entwicklung</b>	
Förderung einer nachhaltigen Entwicklung – Das neue Förderprogramm der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Bereich „Denkmal und Energie“ <i>Dr. Paul Bellendorf, Dipl.-Ing. Architektin Sabine Djahanschah</i>	201
Betrachtung von Baudenkmalen in der Quartiersebene <i>Dipl.-Ing. Dennis Thorwarth, Maartje van Roosmalen M.Sc.</i>	211
Untersuchung zur Effizienz von alternativen Sanierungskonzepten für 1950er-Jahre Siedlungswohnbauten <i>Dipl.-Ing. Klara Bauer, Jun. Prof. Dr.-Ing. Angèle Tersluisen, Dipl.-Ing. Nadine Lebong, Dr.-Ing. Kamyar Nasrollahi</i>	229
PV-Module mit Latentwärmespeicher zum Einsatz in Fassaden der Nachkriegsmoderne <i>Dipl.-Ing. Sebastian Horn, Dipl.-Ing. Julia Seeger, Dipl.-Ing. Leonie Scheuring</i>	245
Autorenregister	259
Stichwortregister	261

## Denkmalgerechte Dach- und Geschoßdeckendämmung mit eingeblasener Zellulose

Christoph v. Stein<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Schöne alte Häuser GmbH, Brandesstr. 6, 18055 Rostock

### Kurzer Überblick

Die Begriffe "Denkmal" und "Dämmung" scheinen, angesichts allgegenwärtiger Schäden durch falsch geplante oder ausgeführte Dämmarbeiten, pauschal unversöhnliche Gegensätze zu sein. Als Folge unterbleiben viele Dämmungen, oder man hält sich an die jeweiligen "Allgemein anerkannten Regeln der Technik": dann werden Dampfsperren an der Warmseite und Angsluftschichten sowie Belüftungsöffnungen an der Kaltseite eingeplant, und man greift auf traditionelle Materialien wie Stroh und Lehm zurück. Doch selbst dann kommt es immer wieder zu Fehlleistungen, Schäden oder Bauverzögerungen.

Dabei gibt es Möglichkeiten, substanzschonend, minimalinvasiv, reversibel und kostengünstig zu dämmen und dabei das heikle Thema des Feuchtehaushaltes sicher in den Griff zu bekommen, also die dauerhafte Trockenhaltung sicherzustellen. Anhand der Begriffe **Diffusion**, **Konvektion** und **Sorption** wird gezeigt, dass die "Allgemein anerkannten Regeln der Technik" die Antriebskräfte von Feuchte und Wärme nur begrenzt berücksichtigen und nutzen, insbesondere nicht auf die Arbeitsweise sorptiver Dämmstoffe eingehen, und über 30 Jahre hinter dem "Stand von Wissenschaft und Technik" hinterherhinken.

**Schlagwörter:** Zellulose-Einblasdämmung, Fachwerk-Innendämmung, Feuchtehaushalt, Lehm, Belüftung, ökologische Dämmstoffe.

### 1 Einleitung

Tabelle 1: Erläuterung der in diesem Beitrag verwendeten bauphysikalischen Fachwörter

Fachwort	Erläuterung
Sorption	Feuchteaufnahme/ -abgabe –verteilung innerhalb eines Materials
Diffusion	Trockener Wasserdampftransport durch geschlossene Bauteilschichten
Konvektion	Feuchte- und Wärmetransport durch Luftbewegungen, also hier meist unbeabsichtigte Leckagen
Allgemein anerkannte Regeln der Technik	Wissenschaftlich anerkannt, praktisch bewährt und allgemein verbreitet

Stand der Technik	Realisierbare und in der Fachwelt anerkannte Lösungen und Erkenntnisse, unabhängig davon, wie weit sie sich in der Praxis verbreitet haben
Stand von Wissenschaft und Technik	Neuste technische und wissenschaftliche Erkenntnisse, nicht durch das gegenwärtig Machbare begrenzt

Vorbehalte der Denkmalschützer gegenüber dem Ansinnen, historische Gebäude dämmen zu wollen, sind so allgegenwärtig wie die Vorbehalte der Dämmfraktion gegenüber Denkmälern und dem Denkmalschutz. Das liegt einerseits an den Unwägbarkeiten bei einem so tiefgreifenden Eingriff in die Bauphysik von Bestandsgebäuden, andererseits an den Kosten, die zuerst mit der "denkmalgerechten" energetischen Sanierung und dann mit der Beseitigung der resultierenden Schäden verbunden sind.

Luftschichten, mit oder ohne Belüftungsöffnungen, können paradoxerweise viel Feuchtigkeit in die Konstruktion hineinbringen, Stroh und Lehm als "atmungsaktive" Bau- und Dämmstoffe haben wenig Wärmewiderstand und verbrauchen, um den Dämmzweck zu erfüllen, viel Platz. Lehm bringt viel Baufeuchte ins Gebäude, mit den entsprechenden Schimmel- und Schwammschäden während der Bauzeit. Beim Trocknen schwindet er und hinterlässt Risse, die wieder aufgefüllt werden müssen. Alle diese Maßnahmen verteuern die Sanierung erheblich und bestätigen die eingangs genannten wechselseitigen Vorurteile.

Ein erster Schritt, um das Dilemma zwischen Denkmal und Dämmung aufzulösen, besteht darin, die "Allgemein anerkannten Regeln der Technik" nicht als Dogma zu betrachten. Diffusionsdicht innen, diffusionsoffen außen, und wenn es außen diffusionsdicht sein muss, ordnen wir noch eine Luftschicht an und belüften diese mit Außenluft - das funktioniert nicht immer optimal, manchmal auch gar nicht. Diese Standardregeln sind Lösungen aus der Mineralwoll- und Polystyrolwelt und sind entsprechend für diese - nicht saugfähigen - Dämmstoffe ausgelegt.

Gerade für den Restaurator und Denkmalschützer eröffnen hygroskopische und kapillar leitfähige Dämmstoffe Lösungen, die mit Mineralwolle nicht möglich wären. Mit eingeblasener Zellulose sind z.B. Innenwanddämmungen kondenswasserfrei möglich, können Holzbalkendecken minimalinvasiv gedämmt und müssen Dächer nicht abgedeckt werden, können sogar Dächer ohne Unterspannbahn und Dampfsperre mit direkt gegen die Dachziegel eingeblasener Zellulose gedämmt werden. Zellulosegedämmte Dächer bleiben winddicht und trocken, auch wenn die Dampfsperre sich löst, Klebebänder und -raupen aufgehen und der Wind angreift. Nur ist das kaum bekannt. Das sorptive Verhalten von Dämmstoffen ist insgesamt im Mainstream der (für Mineralwolle ausgelegten) "Allgemein anerkannten Regeln der Technik" vollkommen unbekannt.

Der Autor ist Inhaber eines Einblasdämmbetriebes, somit einerseits per se der Befangenheit verdächtig, andererseits auf seinem Fachgebiet erweiterten Fachkenntnissen und praktischen Erfahrungen ausgesetzt. Er behandelt hier nur "seine" Themen. Für Perimeterdämmungen, Estrichdämmungen, Aufdachdämmungen oder Wärmedämmverbundsysteme sind Platten aus PU, EPS, XPS und Steinwolle die beste Lösung - das sei hier der Vollständigkeit halber ausdrücklich betont, aber darüber sollen jene schreiben, die davon mehr verstehen.

## 2 Was braucht ein Denkmal?

So unterschiedlich die kunsthistorische Bewertung individueller Denkmäler sein mag, so einheitlich kann man den technischen Grundkonsens formulieren, an denen sich Sanierungs-/Modernisierungs- bzw. Restaurierungstechniken messen lassen müssen:

**Minimalinvasiv:** Techniken, die mit möglichst wenigen und kleinen Eingriffen das gewünschte Ergebnis erreichen.

**Reversibel:** umkehrbar.

Je leichter die in Frage stehenden Veränderungen rückgängig zu machen sind, insbesondere weil die Veränderung mit keinem Substanzverlust und mit keiner stofflichen Veränderung verbunden ist, desto akzeptabler dürfte sie aus konservatorischer Sicht sein.

**Substanzschonend:** Oberbegriff zu "minimalinvasiv" und "reversibel".

**Unsichtbar:** Das nachträgliche Verlegen von Stromkabeln wird z.B. akzeptiert, obwohl es einen relativ massiven Eingriff in die Bausubstanz bedeuten kann.

**Schützend:** Da die Alterungsfaktoren (UV-Licht, Wasser, Frost, Wind) aktiv auf das Gebäude einwirken, muss es auch aktiv geschützt werden.

**Fehlertolerant:** Ein System soll nicht insgesamt versagen, wenn eine einzelne Komponente versagt. Entweder springen Ausfallsicherungen ("Backup-Systeme") ein oder man verwendet selbsttätig gegensteuernde Systeme (selbstregulierende Gleichgewichte), die möglichst einfach funktionieren, idealerweise unter Nutzung materialimmanenter Eigenschaften.

**Modern:** Je geringer der technologische Rückstand eines restaurierten Gebäudes gegenüber dem heute allgemein üblichen Stand, desto größer die Bereitschaft der aktiven Nutzer, das Gebäude zu erhalten.

Wie werden diese Anforderungen mit der Einblasdämmtechnik umgesetzt?

Tabelle 2: Bewertung der Einblasdämmtechnik nach den Kriterien für eine denkmalgerechte Sanierung

Minimalinvasiv	Die Dämmstoffe werden meistens durch 50 bis 60 mm dicke Rohre gefördert, aber wenn nötig, können viele Dämmstoffe auch durch bis zu 15 mm kleine Düsen transportiert werden. Bei zweischaligem Backstein- oder Klinkermauerwerk bedeutet dies z.B., dass die Bohrungen hauptsächlich in den Fugen eingebracht werden. Alternativ kann "minimalinvasiv" auch bedeuten, dass man durch eine größere Öffnung an einer günstigen Stelle den Hohlraum bekriecht und von dort aus alle, auch die eng auslaufenden, Bereiche erreicht.
Reversibel	Die Dämmstoffe gehen keine feste Verbindung mit ihren Begrenzungsflächen ein und können abgesaugt werden, falls erforderlich.
Substanzschonend	Folge von "Minimalinvasiv", "Reversibel" und "Schützend".
Unsichtbar	<b>Vorteil</b> , weil niemand die Dämmung sehen will, weder direkt noch indirekt über die Veränderung von Oberflächen oder Kubaturen. <b>Problem</b> , weil Hohlräume ihrer Natur nach verborgen sind, sonst wären es keine Hohlräume. Hat der Entscheidungsträger bei der Sanierung diese Hohlräume nicht auf seiner Checkliste, bleiben sie unbeachtet. Dann werden für ca. 80 bis 160 €/m <sup>2</sup> Dämmschichten aufgebracht, die dann auch noch kalt unterlüftet und damit kaum wirksam sind, statt für ca. 25 bis 35 €/m <sup>2</sup> die Hohlstrukturen in Dach, Geschoßdecke oder zweischaligem Mauerwerk aufzufüllen.
Schützend	Diese drei Eigenschaften verleihen dem Material folgende drei Funktionen: <b>Hygrokopisch:</b> Zelluloseflocken sind der beste Feuchteschutz für die von ihr eingeschlossenen Holzbauteile. Diese Funktion eines als "saugfähig" beschriebenen Dämmstoffes ist in ihren Einzelheiten für die "auf Mineralwolle geschulten" Fachleute so erklärungsbedürftig, dass dem ein gesondertes Kapitel gewidmet ist. <b>Kristallwasser:</b> wird bei Beflammung freigesetzt und wirkt <b>brandhemmend</b> . Zellulose (aus Altpapier hergestellt, im Prinzip dem Holz sehr verwandt) müsste eigentlich schnell entflammbar sein und heiß brennen, zumindest wenn sie aufgelockert ist. Tatsächlich aber glimmt sie bei Beflammung, bildet eine Kohleschicht aus, die dem Material den Sauerstoffnachschub versperrt, und verlischt, wenn die Beflammung und Belüftung ausbleiben.
Fehlertolerant	Eingeblasene Zellulose ersetzt/ ergänzt als Backup die Luftdichtungsfunktion von Dampfbremsen und drosselt zugleich den Feuchteintrag durch ihre Rückkopplungsfunktion mit der Feuchte der Innenräume. <b>Konturfolgend:</b> Altbaukonstruktionen sind uneben und unregelmäßig. Die Einblasdämmung füllt diese Konstruktionen vollständig und hohlraumfrei aus, wie ein Gipsabdruck.
Modern	Je nach Dicke der Dämmschicht, Annäherung an heutige Bedürfnisse hinsichtlich Energieeffizienz, Komfort, sommerlichem Wärmeschutz und Schallschutz.

### 3 Feuchtehaushalt

Noch vor der Frage, ob die berechneten Energieeinsparungen auch wie versprochen eintreten, steht der Feuchtehaushalt gedämmter Bauteile im Fokus der Diskussion - zu Recht. Die Wirkungszusammenhänge können in drei Einflussgrößen untergliedert werden: **Diffusion**, **Konvektion** und **Sorption**.

#### 3.1 Diffusion

Das große Thema in unseren Kundengesprächen, mit Hauseigentümern wie Architekten, ist die **Diffusion**, und ihre Befürchtungen kann man zusammenfassen mit "*Wassermoleküle haben den Hang, sich dorthin bewegen zu wollen, wo sie im Verborgenen den größtmöglichen Schaden anrichten können, und sind dabei sogar in der Lage, durch Wände zu gehen*". Im Ernst: was treibt die Wassermoleküle in die Dämmschicht?

Es ist der absolute Feuchteunterschied in  $\text{g/m}^3$ : Besteht an zwei Seiten einer durchlässigen Trennschicht eine unterschiedliche absolute Luftfeuchte, dann versuchen die Wassermoleküle, das auszugleichen. Sie bewegen sich immer von feucht zu trocken und verflüchtigen sich dann nach draußen, wenn es eine diffusionsoffene Außenseite zulässt. Bei einem diffusionsdichten Dach kondensieren sie aus, sobald die Taupunkttemperatur bzw. die 100 % Luftfeuchtigkeit erreicht werden. Meist handelt es sich hierbei um Mengen, die unbemerkt von Mauerwerks- oder Holzoberflächen aufgenommen und später wieder abgegeben werden. Im Regelfall ist diese Menge an Wasser unbedeutend, unter bestimmten Umständen kann sich aber auch aus großen Flächen eindiffundiertes Wasser an einer kalten Stelle sammeln und konzentrieren.

Die DIN 4108-3, die seit 1981 den Tauwasserschutz regelt, kannte bis zu ihrer Novelle 2014 nur die Diffusion und schrieb unter dampfdichten Flachdächern eine möglichst dichte **Dampfsperre** vor. *Schon Anfang der 90er publizierten Autoritäten wie Robert Borsch-Laaks und Hartwig Künzel, daß immer mit Wassereinträgen durch Flankendiffusion und ungewollte Konvektion zu rechnen ist, wodurch eine Rücktrocknungsmöglichkeit durch Verwendung einer **Dampfbremse** (z.B. mit einem sd-Wert von ca. 2 bis 5 m) erforderlich wird.* Die angestrebte Fehlertoleranz bedeutet im Ergebnis genau das.

Die DIN 4108-3 wurde angepasst - wann? Im Jahr 2014 [1]. Die gesetzesgleiche Hochachtung, die unseren DIN-Normen oft zuteilwird, ist eben nicht immer begründet, für den "Allgemein anerkannten Stand der Technik" sind oft auch andere Quellen.



Abbildung 1: Tauwasser bei Mineralwolldämmung unter dampfdichte Dächern

### 3.2 Konvektion

In unserer Berufspraxis haben wir es eher mit kontinuierlichen Wassereinträgen in kleinen Mengen zu tun, in erster Linie Wasser aus feuchtwarmer Raumluft, die von innen in die Dämmschicht strömt (Konvektion). Sie bringt nach einer Untersuchung des Instituts für Bauphysik in Stuttgart über 1.000 mal mehr Wasser in die Konstruktion als Diffusion. Folien und Klebebänder sollen die Konvektion verhindern. Jeder Praktiker weiß, dass dies eine Fiktion ist. Verklebungen unter Spannung ziehen Fäden und lösen sich, Verklebungen auf porösen Untergründen versagen nach kurzer Zeit. Beim Blower-Door-Test halten sie noch, aber nach drei Jahren versagen sie ihren Dienst. Nach dem Blower-Door-Test durchstoßen eingezogene Leitungen die Folien und werden nicht mehr verklebt, kurz, der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt bezüglich der Möglichkeiten, wie Folien und Verklebungen ihren Dienst versagen können. Acrylatklebebänder halten sofort bombenfest. Bei anhaltender Zugbelastung jedoch fangen sie nach wenigen Wochen an, Fäden zu ziehen und sich zu lösen.

Glaswolle ist luftdurchlässig wie ein Strickpulli im Wind, Steinwolle ist etwas fester, aber immer noch nicht so dicht wie Zellulose. Mit mattenförmigen Dämmstoffen ist es zudem rein handwerklich nicht möglich, alle Falze, Fugen, Spalten und Unebenheiten auszufüllen bzw. sich ihnen anzupassen. Mit der gestoppten Konvektion kalter Außen- und feuchtwarmer Innenluft ist die wichtigste Ursache von Feuchteinträgen ausgeschaltet - jedenfalls solange die Klebebänder halten.

Die Unterlüftung von Dächern mit Außenluft kann nicht nur Feuchte abführen, sondern auch zuführen, wie schon im Jahr 1990 eine Studie des Fraunhofer Instituts für Bauphysik gezeigt hat [2]. Die Kaltluft von außen führt nicht nur zu einem Wärmeverlust mit dem entsprechende höhere Heizkosten und Komforteinbußen verbunden sind, sondern auch zu Kondensationsnässe und -schäden an der Innenseite.

Das ist nicht als Kritik an den Klebemedien zu verstehen - vielmehr soll der Glaube an die Urteilskraft und Gewissenhaftigkeit von ausführenden Trockenbauern aufgelockert werden,



und an die Reichweite der auf der Baustelle präsenten Bauleiter. Sanierungen von "konventionellen" Mineralwolle- und Dampfsperre-Dächern machen etwa die Hälfte unseres Umsatzes als Einblasdämmbetrieb aus.

Üblicherweise werden wichtige Funktionen, die mit einem gewissen Fehlerrisiko behaftet sind, in zweiter Ebene mit einem anderen, vom ersten unabhängigen System gesichert. Unter Dachziegeln gibt es eine Unterspannbahn als zweite wasserführende Ebene. Zusätzlich zu Schlössern in einem Haus baut man bei Bedarf eine Alarmanlage ein. Gegen das Versagen von Elektrogeräten werden Sicherungen in der Hauselektrik eingebaut. Doch ausgerechnet bei der Luftdichtung und Winddichtung verlässt man sich nur auf ein einzelnes fehlerträchtiges und schwer überwachbares System, auf Folien und Klebebänder.

Diese Backup-Funktion kann eine Zellulose-Einblasdämmung leisten. Die Zelluloseflocken werden mit der sog. "setzungssicheren Verdichtung" von meist 45 bis 50 kg/m<sup>3</sup> eingeblasen, was vollkommen ausreicht, um die bei Konvektion üblichen Luftströmungen auf ein schadensfreies Maß zu reduzieren. Jede Kontur, alle Fugen und Spalten werden verfüllt, Dampfsperren oder -bremsen erfüllen ihre Aufgabe als flächiger Dampfwiderstand, aber nicht mehr notwendigerweise als "Luftdichtung". Nicht nur der Blower-Door-Test verliert seinen Schrecken, sondern auch die jahrzehntelange Nachhaltigkeit der Wind- und Luftdichtung ist gegeben.

### 3.3 Sorptivität

Für die eingangs aufgestellte Behauptung "Saugfähige Dämmstoffe ermöglichen Dämmlösungen, die mit Mineralwolle gravierende Schäden hervorrufen würden", muss zunächst geklärt werden, warum das ein Vorteil sein soll. "Saugfähigkeit" verbindet man eher mit einem vollgesogenen Schwamm, und tatsächlich, bei größeren Undichtigkeiten im Dach kann sich schnell ein ganzes Sparrenfeld voll Zellulosedämmung vollsaugen wie ein Schwamm und muss ausgebaut werden. Der durchnässte Bereich wäre bei einer Glas- oder Steinwollmatte möglicherweise kleiner, jedenfalls wenn der Wassereintritt eher im unteren Bereich des Sparrenfeldes ist, müsste aber ebenfalls ausgebaut werden. Da sich die Kosten für Anfahrt, Gerüststellung, Dachöffnung etc. nicht unterscheiden, ob nun 2 oder 6 m<sup>2</sup> Dämmung ausgebaut werden müssen, gibt es keinen nennenswerten Unterschied bei der Schadensbeseitigung mit Mineralwollmatten oder mit eingeblasener Zellulose. Aber "große" Wassereinbrüche in Dächern sind die Ausnahme.

Der Vorteil der Sorptivität liegt darin, dass begrenzte Wassermengen von ihrem Entstehungsort (dem Taupunkt) weggesogen und verteilt werden. Verbindet man mit dem Begriff "saugen" intuitiv einen eher "konzentrierenden" Vorgang, ist der hier eher zutreffende Begriff des Löschblatteeffektes ein Prozess der "**Dekonzentration**". Lokal entstehende Kondensfeuchtigkeit wird auseinandergezogen. Die Bindung der Wassermoleküle an die Porenoberfläche

nimmt mit zunehmender Befeuchtung ab, d.h. Wasser haftet an feuchter Zellulose schlechter als an trockener [3], trockene Zellulose saugt daher besser als feuchte.

Wenn die weggesogene Feuchtigkeit in der Warmzone ankommt, sinkt die Feuchtedifferenz zur Innenraumluft und die Feuchtediffusion aus der Innenraumluft in die Dämmschicht verlangsamt sich, bis sie bei gleicher Feuchte (der "Ausgleichsfeuchte") zum Erliegen kommt. Durch die Saugfähigkeit und den Rücktransport des Wassers in Richtung Warmseite kommt es also zu einer Art Signalfunktion, ein selbstregulierendes Gleichgewicht stellt sich ein. Aus diesem Grund funktionieren viele Konstruktionen auch ohne Dampfbremse, wenn man wirklich hohlraumfrei und setzungssicher mit Zelluloseflocken gedämmt hat.

Dieses selbstregulierende Gleichgewicht hilft bei der Dämmung von Bauteilen, in die man nur mit großem Aufwand eine Dampfbremse einziehen könnte, bei Bauteilen mit historisch gewachsenem, in seinen Einzelheiten unbekanntem Schichtenaufbau, und bei der Dämmung von Dächern ohne Unterspannbahn direkt gegen die Dachziegel.

Mit dem Einbau fest installierter Feuchtemesspunkte kann es dem Eigentümer ermöglicht werden, die Dichtheit seines Daches selbst zu überwachen. In einem Fall mit einer später aufgetretenen lokal begrenzten Undichtheit der Pappdachdeckung in einem Sparrenfeld konnte beobachtet werden, wie die gemessene Feuchtigkeit im Beobachtungszeitraum von "max." auf 20 % sank, alleine aufgrund der Verteilung im Sparrenfeld. Bei allen uns bekannten Pappdächern ohne Dampfbremse, mit Zellulosedämmung und vorher installierten Feuchtemesspunkten, wurden nie Feuchtwerte über 15 % gemessen. Gleichwohl bewegen sich diese Konstruktionen weit außerhalb der "Allgemein anerkannten Regeln der Technik".



Abbildung 2: Feuchtemesspunkte, vor dem Einblasen von Dämmung zum dauerhaften Verbleib einzubauend

#### 4 Winterlicher Wärmeschutz

Mineralwolle hat mit ca.  $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$  einen etwas höheren (besseren) Wärmewiderstand als Naturdämmstoffe wie Zellulose und Holzfaserdämmstoffe ( $0,040 \text{ W}/(\text{mK})$ ). Andererseits ist eingeblassene Zellulose, wie zuvor ausgeführt, weniger windempfindlich. Durch Wind eingebrachte Kaltluft wird in der Bemessung der Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe nicht berücksichtigt. Je nach lokalem Windaufkommen und Dichtheit der Unterdecksysteme eines

Daches ist also bei Mineralwolle mit einer Lücke zwischen Laborwert und wirklichem Dämmwert zu rechnen.

Im Altbau und damit auch bei der Denkmalsanierung sind Hohlräume von ca. 6 bis 16 cm, höchstens 18 cm Stärke, üblich. Die EnEV fordert z.B. für Dächer einen U-Wert von 0,24 W/(m<sup>2</sup>K), was bei einer Zellulosedämmung mit 0,040 W/(mK) und unter Einberechnung der Wärmeleitung durch die Sparren eine Dämmstärke von ca. 18 bis 20 cm erfordert. Eine 6-cm-Dämmschicht mag auf dem Papier gegenüber den geforderten 18 cm sehr insuffizient aussehen, ist es aber nicht. Mit wachsender Dämmstärke nimmt der Zusatznutzen ab - das physikalische Gesetz vom "abnehmenden Grenznutzen". Jeder zusätzliche Zentimeter bringt weniger als der vorherige. Das mag folgende Tabelle verdeutlichen:

Tabelle 3: Mit der Dämmstärke abnehmender Zusatznutzen

Dämmstärke mit 0,040 W/(m·K)	U-Wert in W/(m <sup>2</sup> ·K)	Verbesserung um
0 cm (Urzustand)	0,9 bis 3	
6 cm	0,45	0,45 bis 2,55
12 cm	0,29	0,16
18 cm	0,24	0,05

Vielleicht auch aus diesem Grund gibt es **zwei Ausnahmetatbestände in der EnEV**:

- Denkmalschutz (§ 16 Abs. 4, § 24 Abs. 1 EnEV)
- "Einblasdämmprivileg" der EnEV: es genügt, wenn ein bestehender Hohlraum vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird (Anlage 3 zu §§ 8 bis 10 der EnEV 2014, Ziff. 1 Satz 4 und 5 für Außenwände, Ziff. 4 Satz 6 zweiter Halbsatz für Dächer und oberste Geschoßdecken, Ziff. 5 Satz 5 für Kellerdecken).

## 5 Sommerlicher Wärmeschutz

Wärmewiderstand ist Wärmewiderstand, ob nun außen wärmer als innen oder umgekehrt, sollte doch egal sein, oder? Ja und nein. Ja, weil der Wärmewiderstand tatsächlich im Sommer genau so funktioniert wie im Winter, nur in entgegengesetzter Richtung. Nein, weil die Wohnräume im Winter aktiv beheizt werden und dies mit dem Lebensrhythmus der Bewohner koordiniert werden kann. Im Sommer kann man ohne Kühltechnik die Tageszeiten, wann die Mittagshitze von der Dachaußenhaut durch die Dämmschicht an die Innenseite durchgedrungen ist (die sog. "Phasenverschiebung"), nicht aktiv steuern. Man kann sie aber gestalten. Bei "dicken" Dämmschichten von 20 – 30 cm sind die Phasenamplituden so schwach, dass die Phasenverschiebung nicht mehr spürbar ist. Bei dünnen Dämmschichten jedoch, wie man sie hinnimmt wenn man einen vorhandenen Zwischensparrenhohlraum verfüllt, wirkt sich

die Masse der Dämmschicht zusätzlich auf die Phasenverschiebung aus. Bei einer 24 cm-Dämmschicht beträgt die Phasenamplitude immer noch ca. 12 °C (Glaswolle) bzw. 5 °C (Zellulose), und der Zeitpunkt, an dem die Mittagshitze an der Innenseite ankommt, liegt bei Glaswolle bei 20 Uhr und bei Zellulose bei 01 Uhr.

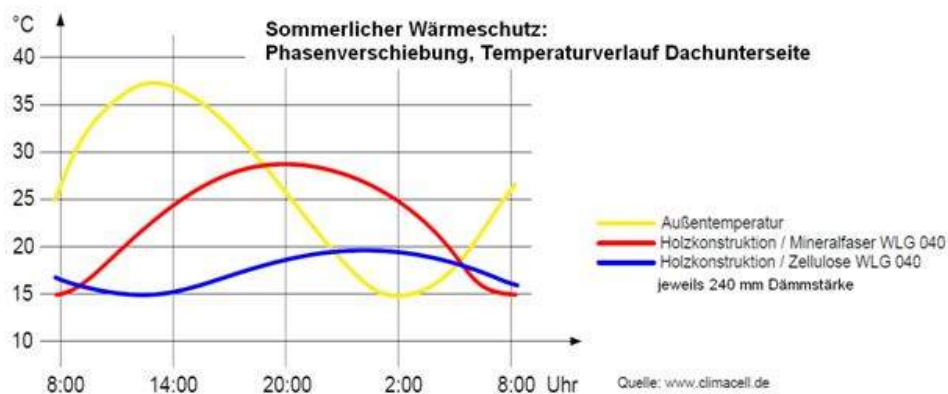


Abbildung 3: Sommerlicher Wärmeschutz, Vergleich Mineralfaser und Zellulose

## 6 Schallschutz

Gegen Luftschall wird klassischerweise "Masse" empfohlen. Bei zerklüfteten Masseschichten jedoch, wie z.B. Bauschutt, Lehmwickeln oder Schotter, kommt es zum sog. "Schlüssel-locheffekt", d.h. der Schall kann ungehindert durchdringen und das schwächste Glied bestimmt das Ergebnis.

Bei Holzbalkendecken ist daher die erste Maßnahme das Verfüllen der Hohlräume mit einer Zellulose-Einblasdämmung: zum einen aus Kostengründen, zum anderen weil die Masseschicht erfahrungsgemäß nie fehlerfrei ist. Die Dämmung gegen Luftschall ist schon bei 5 cm Schichtdicke spürbar. Grund ist die hohe Faserdichte und die Struktur der Dämmschicht, die den Schall beim Durchdringen zu ständigen Richtungsänderungen zwingt (der sog. "längenspezifische Strömungswiderstand"), wobei er auf wenigen Zentimetern viel Energie verliert.

Die Zellulose liegt mit 45 kg/m<sup>2</sup> im Balkenfeld und füllt, konturfolgend, jeden Ritz und jede Unebenheit hohlraumfrei aus. Da das Ausgangsmaterial bei der leichteren Glaswollmatte schwerer ist als das Ausgangsmaterial der Zellulose (Reindichte von Glas: ca. 2,5 g/cm<sup>3</sup>; Reindichte von Zellulose: ca. 1,5 g/cm<sup>3</sup>), muss die leichtere Zellulosefaser also noch dichter im Gefüge sein als die Glasfaser, also nicht 3-fach, sondern 4- bis 5-fach dichter.

## 7 Besondere Anwendungsbeispiele

Die Standardanwendungen als Zwischensparrendämmung mit einer PU- oder Weichfaserplatte oder Unterspannbahn als äußerer Begrenzungsschicht und einer Dampfbremsschicht oder

OSB-Platte als innerer Begrenzung dürfte bekannt sein, ihre Vorzüge wurden hier bereits beschrieben, wie auch die der Geschoßdeckendämmung.

### 7.1 Innendämmung

Außenwände, die aus den verschiedensten Gründen von innen gedämmt werden sollen, werden von innen nicht mehr beheizt, trocknen daher an der Außenseite schlechter ab und bekommen von innen auch noch ein Tauwasserproblem. Eine vorherrschende, aber sehr teure Standardlösung besteht darin, die Wände innenseitig mit Putz oder Lehm zu begradigen und dann mit Calciumsilikatplatten zu bekleben. Nicht selten erreichen die Kosten dabei 160 bis 180 €/m<sup>2</sup>. Ob sich unter den geraden und starren Platten nicht doch noch irgendwelche Hohlräume befinden, kann niemand überprüfen.

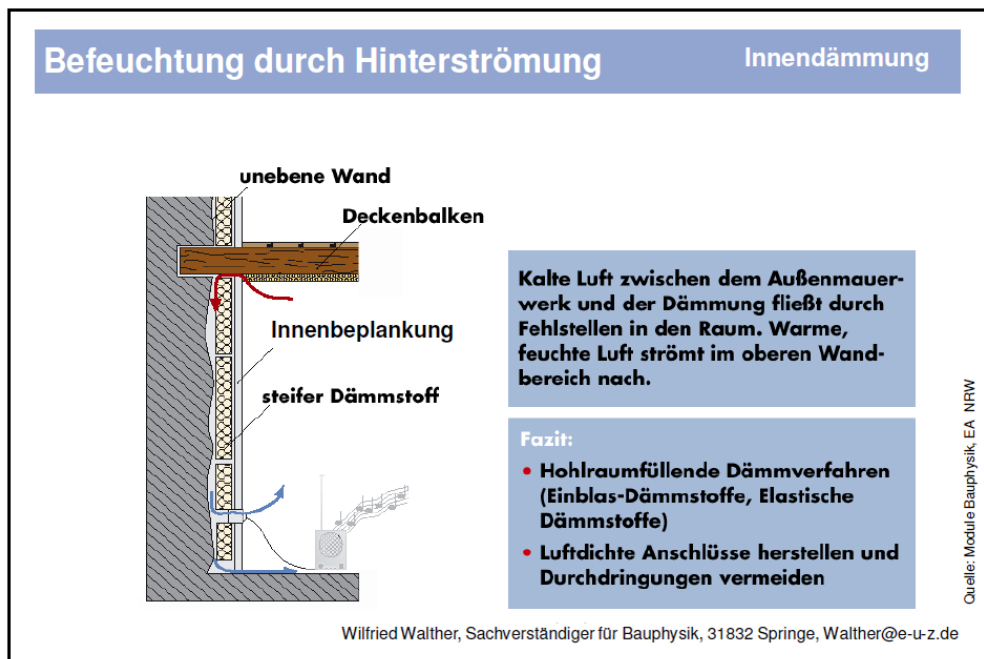


Abbildung 4: Hinterströmte Innenwanddämmung

Eine andere Lösung besteht darin, eine Vorsatzschale mit ca. 10 cm Abstand vor die Wände zu stellen und hohlraumfrei mit Zellulosedämmung zu verfüllen. Der im Abschnitt "Sorptivität" beschriebene Rücktransport von Feuchtigkeit zur Warmseite ist auch Grundlage der hier wiedergegebenen Grafik. Mit der Vorsatzschale sind die Wände zugleich begradigt, der teure Egalisierungsputz entfällt, und auch eine Installationsebene ist nicht erforderlich. Verwendet man statt der ersten Gipskarton-Beplankung eine 12 mm starke OSB-Platte, kann die zweite Lage (Gips) "frei" geschraubt werden, d.h. man ist nicht an den Ständerabstand von 625 mm gebunden. Die OSB-Platte fungiert zugleich als Dampfbremse.

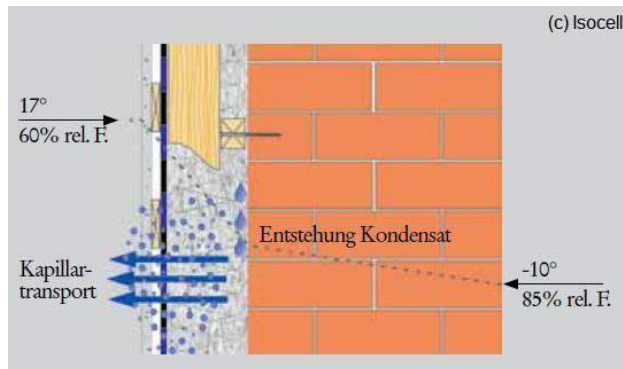


Abbildung 5: Dynamisches Gleichgewicht bei einer Zellulose-Innendämmung

"Verschärft" sind die Anforderungen bei einer Fachwerkaußenwand. Das Holz der Fachwerkbalken ist feuchteempfindlicher als Mauerwerk, und durch Quell- und Schwindbewegungen kommt es häufiger zu Rissen und Spalten, durch die Schlagregen eindringen kann. Von außen sollten diese Risse mit einer Lehmpaste verschlossen werden, die es im 600-ml-Beutel zum Auspressen gibt. Des Weiteren sollte ein möglichst großer Dachüberstand die Fassade vor Schlagregen schützen. An der Innenseite der Außenwand muss eine durchgehende Putzschicht Holz und Mauerwerk überbrücken, um einen flüssigen Wassereintrag zu unterbinden. Folien sind hier nicht angebracht, weil sich hier Wasser sammeln würde. An der Innenbeplankung muss eine feuchtevariable Dampfbremsschicht für eine maximale Rücktrocknung sorgen.

## 7.2 Geschoßdeckendämmung

Bei Holzbalkendecken sind Schallschutz, sommerlicher Wärmeschutz bei obersten Geschoßdecken und Schutz gegen Wärmeverlust bei oberen Geschoßdecken, Flachdächern und Kellerdecken ein großes Thema, wenn Altbauten für moderne Ansprüche hergerichtet werden sollen. Zwischen den Balken können die Hohlräume im Einblasverfahren verfüllt werden, und zwar je nach Anforderung von oben, von unten, oder von der Seite.



Abbildung 6: Zugangsmöglichkeiten bei der Geschosdeckendämmung: von oben durch die Dielenung.

Zwei weitere Zugangsmöglichkeiten bei der Geschosdeckendämmung: von außen durch die Füllgefache (oben) und durch das Dach (unten).



Abbildung 7: Zugangsmöglichkeiten bei der Geschosdeckendämmung von außen: durch die Füllgefache (links) und durch das Dach (rechts)

### 7.3 Wagnerdach

Eine intakte Deckung, mit authentischer Patina, und dahinter Luft, dann folgt der Innenausbau mit Latten, Strohlehm oder HWL-Platten und Putz. Eine Dämmung erfordert eigentlich eine Unterspannbahn, und das würde eine Neueindeckung bedeuten.

In flagrantem Verstoß gegen alle Fachregeln gibt es die Möglichkeit, direkt gegen die Dachziegel zu flocken, das bei Isofloc so genannte Wagnerdach. Vorteil: kein Raumverlust durch Luftschichten, extrem günstiges Sanierungsverfahren, keine Störung der Bewohner, sofort

spürbarer Erfolg beim sommerlichen wie winterlichen Wärmeschutz. Und die Trockenhaltung? Keine Konvektion von feuchtwarmer Innenluft in die Dämmschicht mehr, keine Einströmung tauwasserhaltiger Außenluft in den Morgenstunden von außen. Nur Diffusion und das Prinzip der Ausgleichsfeuchte. Die Wassermoleküle wandern von nass zu trocken. Voraussetzung ist logischerweise, dass das Dach nicht nur regendicht ist, sondern auch, dass es an der Außenseite trocknen kann. Ausschlußmerkmale für ein Wagnerdach sind z.B. ein dichter, das Dach überschattender Baumbestand, unsichere Blechkehlen (von innen auf Wasserspuren prüfen), lose Firststeine und herausgebröckelte Vermörtelungen (von innen am Lichteinfall erkennbar).



Abbildung 8: Ein ideales Wagnerdach - starkes Gefälle, keine Kehlen, paßgenaue Deckung.

Der Verstoß gegen die Fachregeln muss dem Kunden offengelegt und dies vom Kunden schriftlich bestätigt werden. Gleichwohl sollte vom Betrieb die Gewährleistung für mindestens 5 Jahre gefordert werden, da er in der Lage sein muss, die Dichtheit des Daches einschätzen zu können.

Liegen die Voraussetzungen für ein Wagnerdach nicht vor, kann feldweise eine Unterspannbahn zwischen die Sparren eingezogen werden, einschließlich sog. "fliegender Konterlatten" für den Wasserablauf. Damit werden einerseits die Flocken daran gehindert, zwischen den Ziegelfalzen herauszuquellen und Regenwasser aufzusaugen, und gleichzeitig wird eine zweite wasserführende Ebene geschaffen, die einen Großteil eventuell eindringenden Regenwassers in den Traufkasten abführt, und damit ist es streng genommen auch kein "Wagnerdach" mehr.





Abbildung 9: nachträglich feldweise eingezogene Unterspannbahnen

#### 7.4 Reetdach

Reetdachhalme leiten das Regenwasser durch Adhäsion und Schwerkraft nach unten ab. Das Prinzip, das den "letzten Tropfen" an einer Kanne herunterlaufen läßt, hält hier die tieferen Reetschichten trocken. Allerdings ist Reet so winddurchlässig wie kein anderes Dachmaterial. Diese Winddurchlässigkeit braucht es auch zur Trockenhaltung. Damit ist auch klar, dass das Reet absolut keine Dämmwirkung haben kann, mag es noch so sehr danach aussehen.

Bei einem Dachausbau fehlt an der Dachinnenseite diese Hinterlüftungsschicht. Die äußeren Reetschichten sind genauso gut durchlüftet wie vorher, aber die inneren Schichten sind infolge geringer Luftbewegungen und Konvektion feuchtwarmer Innenluft feuchtegefährdet. Wir flocken von innen direkt gegen das Reet und erreichen zweierlei: es kann sich kein Tauwasser an den Halmen niederschlagen und es kann auch keine Innenluft nach außen dringen und Wasser an den Halmen ablagern.



Abbildung 10: Direkt beflochtetes Reetdach

## 8 Fazit

Dämmung im Allgemeinen wird im Denkmalschutz oft als notwendiges Übel angesehen. Zellulosedämmung im Besonderen steckt im Bewusstsein der meisten Akteure überwiegend in der Öko-Schublade, während ihre feuchtepuffernde Wirkung und die baulichen Möglichkeiten, die sich dadurch für die energetische Aufwertung von Bestandsgebäuden eröffnen, kaum bekannt sind. Das fehlende Interesse der Mineralwoll- und Kunststoffindustrie an der feuchtepuffernden Wirkung sorptiver Dämmstoffe liegt auf der Hand und ist ihnen nicht zu verübeln. Es ist nicht ihre Aufgabe. Dass die Fachregeln entsprechend nur auf Belüftung, Folien und Klebebänder bauen, ist dann zwar erklärlich, man sollte sich damit aber nicht für alle Zeit abfinden.

Abweichungen von den üblichen Fachregeln, wie z.B. beim Wagnerdach und bei der Zwischensparrendämmung ohne Dampfbremse, dürfen nicht unreflektiert mit einem pauschalen Tabu versehen werden. Stattdessen muss der Eigentümer aufgeklärt werden und dieser dann - im eigenen Interesse - die Planer und den ausführenden Einblasdämmbetrieb vom Damoklesschwert der Mängelrüge wegen regelwidrigen Aufbaus befreien. Es geht nicht darum, sich aus der Haftung zu stehlen - Einblasdämmbetriebe, die ihr Gewerk verstehen, übernehmen sie. Ohne Aufklärung und ausdrückliches „OK“ des Eigentümers/ Auftraggebers könnte dieser jedoch nach erfolgter Dämmung die Zahlung verweigern, und da findet die Budgetschonung des Eigentümers aus Sicht des Einblasdämmers seine Grenzen.

Die Verantwortung für die Sanierung liegt bei den Eigentümern und den von ihnen beauftragten Sanierern, für den Denkmalschutz liegt sie bei den Denkmalschützern, und nicht bei den Herstellern von Mineralwolle, Polystyrol, Folien und Klebebändern. Mehr Mut zu eigenständigem Denken und nicht unbedingt mehr, aber eine breiter gefächerte Weiterbildung z.B. über Fachmedien des Holzbaus würden der Denkmalsanierung, den Budgets der Eigentümer und der Energiewende einen großen Dienst erweisen.

## 9 Danksagungen

Mein Dank gilt meinen gewerblichen Mitarbeitern, vor allem Ramon Bahls, Roland Daneluk und Falko Bunde, für ihre kontinuierliche und von innerer Überzeugung getriebene Arbeit, die sie stets fotografisch dokumentiert haben. Viele der hier verwandten Fotos stammen von ihnen.

Unserem Bauingenieur im Büro, Herrn Hartmut Wagner und unserer Büroleiterin Frau Tina Zimmer ist zu danken, weil sie sich (fast) unersetzlich gemacht haben, indem sie **mich** im Tagesgeschäft ersetzlich gemacht haben und mir den Rücken freihalten, damit ich mich um Fortbildung, Medien und Unternehmensentwicklung kümmern kann.

## 10 Literatur

- [1] Borsch-Laaks, R.: *Außen dampfdicht – innen was tun?* Holzbau Quadriga Nr. 1/2015
- [2] Künzel, H. und Großkinsky, Th.: *Nicht belüftet, voll gedämmt. Die beste Lösung für das Satteldach. Wissenschaftlich gesicherte Untersuchungsergebnisse lassen an der bisherigen Belüftungsphilosophie zweifeln.* Zeitschrift "Bauen mit Holz" Nr. 6/90
- [3] Gertis, K. und Schmidt, T.: *Zur Ermittlung der Sorptionsenthalpie von Baustoffen.* Zeitschrift "Bauphysik", Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, April 2015, S. 71 - 80.

## Denkmal und Energie 2017

Beiträge angesehener Autoren erläutern Chancen und Risiken bei der energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle und zeigen anhand von Praxisbeispielen gelungene energetische Sanierungen unter Beachtung des Denkmalschutzes. Weiterhin werden detaillierte Betrachtungen zum Brandschutz und der Wirtschaftlichkeit sowie neueste Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung vorgestellt.

Die Verbindung von Denkmalschutz und Energieeffizienz stellt die heutige Denkmalpflege vor eine große Herausforderung. Langfristig können sich Baudenkmale dem Konflikt zwischen energetischen Maßnahmen und Erhalt originaler Bausubstanz nicht entziehen. Im Sinne der Nachhaltigkeit gilt es, den Energieverbrauch und die Emissionen dieser Gebäude zu reduzieren, ohne das Erscheinungsbild der Bausubstanz wesentlich zu verändern. Doch nur wenn ein Baudenkmal einen bestimmten Nutzerkomfort erfüllt, kann es auch für zukünftige Zwecke genutzt und somit erhalten werden.

### Der Inhalt

- Bauten und Projekte
- Gestaltung und Konstruktion
- Material und Technik
- Forschung und Entwicklung

### Die Zielgruppen

Architekten, Ingenieure, Denkmalpfleger und im Bereich der Denkmalpflege und der Sanierung tätige Vertreter des öffentlichen Dienstes sowie von Unternehmen.

### Die Herausgeber

**Prof. Bernhard Weller** ist Direktor des Instituts für Baukonstruktion an der Technischen Universität Dresden.

**Dipl.-Ing. Sebastian Horn** ist Leiter der Forschungsgruppe Energieeffizienz und Nachhaltigkeit am Institut für Baukonstruktion der Technischen Universität Dresden.

ISBN 978-3-658-16453-9

