



Bundesverband
Feuchte & Altbausanierung e.V. [Hrsg.]

Innovativ und praktikabel – vom Boden bis zum Dach

Tagungsband
der 30. Hanseatischen Sanierungstage
7.11. bis 9.11.2019

Lübeck

Fraunhofer IRB  Verlag

 BuFAS[®]

Auf weitere
541 Jahre.

Sollte was
dazwischen
kommen –
WEBAC ist da.

WEBAC®

www.webac.de



Das Original ist zurück.

AQUAFIN®-RB400

Die schnelle mineralische
Bauwerksabdichtung.



REAKTIVE TROCKNUNG

GERINGER TROCKNUNGSVERLUST

ÜBERARBEITBAR NACH 3 STUNDEN

Jetzt Händler finden:
aquafin.de



SCHOMBURG
Sicher die Lösung.

Top Performance. Für Top Performer.



HSP-Schlagpacker



IHR ZUVERLÄSSIGER PARTNER FÜR INJEKTIONSTECHNIK

Wir fertigen kundenspezifische Produkte, die auf Ihre Anforderungen abgestimmt sind. Fordern Sie uns heraus!

Hersteller von Injektionstechnik | DESOL GmbH | Gewerbestraße 16 | D-36148 Kalbach / Rhön

Tel.: +49 6655 9636-0 | Fax: +49 6655 9636-6666 | info@desol.de | www.desol.de

HOLLERUNG Restaurierung GmbH

Agnes-Löschner-Straße 6

08468 Reichenbach

Telefon: (037 65) 1 21 16

E-Mail: info@HOLLERUNG.com

www.HOLLERUNG.com

Niederlassung Rostock:

Deutsche-Med-Platz 1

18057 Rostock

Telefon: (03 81) 3 67 68 97 79



Bundespreis für Handwerk
in der Denkmalpflege 2000

STEINMETZE
STUCKATEURE
KLINKERMAURER
TERRAZZOLEGER

50 Jahre

Werte besser schützen.

— **svt Brandsanierung GmbH** —

www.svt-sanierung.de



Brandschäden



Wasserschäden



Schadstoffschäden



Elementarschäden

Multipor Produktneuheit

Das neue Saniersystem Multipor ExSal Therm ermöglicht die gleichzeitige Sanierung und energetische Aufwertung feuchter, salzbelasteter Wände in einem Verarbeitungsschritt.

- ✓ Entsalzung und Wärmedämmung in einem System
- ✓ Ohne Trockenlegung der Wand
- ✓ Schnelle und langlebige Sanierung

Jetzt informieren:
www.multipor.de/exsaltherm

xella



multipor

Innovativ und praktikabel – vom Boden bis zum Dach

Tagungsband der 30. Hanseatischen Sanierungstage

BuFAS e.V.

2019

BuFAS e.V.

Innovativ und praktikabel – vom Boden bis zum Dach

Tagungsband der 30. Hanseatischen Sanierungstage

2019

Fraunhofer IRB Verlag

Herausgeber: Bundesverband Feuchte & Altbauanierung e.V. (BuFAS)
Anschrift: Dorfstr. 5, 18246 Groß Belitz
Tel.: +49 (0) 38466 339816
Fax: +49 (0) 38466 339817
E-Mail: post@bufas-ev.de
Web: www.bufas-ev.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0392-1
ISBN (E-Book): 978-3-7388-0393-8

Satz: Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause, Dorfstr. 5, 18246 Groß Belitz
Umschlaggestaltung: public relations sabine ick, Rabanusstr. 40-42, 36037 Fulda
Druck und Bindung: Himmer GmbH Druckerei & Verlag, Augsburg

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2019
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500
Telefax +49 711 970-2508
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort _____	9
<i>Axel C. Rahn</i>	
Grußwort _____	11
<i>Christoph Schild</i>	
Lübeck – eine alte Hansestadt _____	13
<i>Detlef Krause</i>	
Sanierung des Lübecker Rathauses _____	21
<i>Detlef Krause, Hubertus Rummel, Dennis Bunk</i>	
Digitalisierung – Fluch oder Segen? _____	29
<i>Stefan Rudolph</i>	
Die neue Bodenreform – Revitalisierung von Böden im Bestandsbau _____	39
<i>Roger Genz</i>	
Fußbodensanierung mit mineralischen ternären Systemen _____	51
<i>Rolf Diemer</i>	
Holz-Beton-Verbunddecken in der Sanierung _____	69
<i>Jens Frohn Müller</i>	
Die Christi-Verklärungskirche auf der Insel Kishi, Karelien/Russland – fertig saniert _____	97
<i>Manfred Gerner</i>	

Eine Arche Noah für Holz zerstörende Pilze – oder welche Überlebensstrategien haben sie? _____	117
<i>Angela Steinfurth</i>	
DIBt oder BAuA oder was? Praxis und Widersprüche bei der Zulassung von neuen Holzschutzmitteln _____	131
<i>Peter Jüngel, Marco Fleckenstein</i>	
Der gordische Holzknoten auf dem Messprüfstand – Entwicklung und Optimierung einer Laborsimulation für Außenbauteile aus Holz _____	157
<i>Matthias Eickstädt</i>	
Wie zuverlässig ist die U-Wert-Messung am Objekt? _____	175
<i>Christoph Geyer, Barbara Wehle, Andreas Müller</i>	
Ermittlung der Mauerwerksgüte von Bestandsmauerwerk _____	191
<i>Jonny Henkel, Claudia Neuwald-Burg</i>	
Wenn Putze nicht mehr funktionieren – ein Schadensbericht _____	209
<i>Heike Pfaff</i>	
Hydrophile und biozidfreie Fassadenbeschichtungen – Garant gegen Algen und Pilze? _____	219
<i>Constanze Messal</i>	
Mikrobieller Bewuchs aus bauphysikalischer Sicht – eine neue Kenngröße als Beurteilungswerkzeug _____	237
<i>Heide Ackerbauer</i>	
Entwicklung energetischer Konzepte, mittels thermischer Gebäudesimulation, ausgewählter Gebäude im denkmalgeschützten Quartier Margarethenhöhe in Essen _____	251
<i>Lena Teichmann</i>	
Feuchteadsorption unterschiedlicher Estriche bei verschiedenen Klimabedingungen _____	269
<i>Sarah Braun, Sylvia Stürmer</i>	

Bestandsaufnahme historischer Turmdachziegel der St. Martin und Georg Kirche in Sipplingen _____	285
<i>Patricia Wobschal</i>	
DIN 4108 versus DIN 13788 _____	301
<i>Hartwig M. Künzel</i>	
Der neue Schadensbegriff – ein BGH-Urteil und seine Folgen _____	313
<i>Jörg Schmidt</i>	
Abdichtung nach DIN 18531 versus Flachdachrichtlinie _____	337
<i>H.-Christian Herzberg</i>	
Dach- und Terrassenkonstruktionen in der Praxis _____	341
<i>Gerhard Klingelhöfer</i>	
Entwässerung und niveaugleiche Übergänge _____	353
<i>Matthias Möckl</i>	
Steildächer – einfacher als Flachdächer? _____	371
<i>Thomas Schneider</i>	
Belüftete Holzdächer – Möglichkeiten und Grenzen _____	387
<i>André Peylo</i>	
Unbelüftete Holzdächer – Möglichkeiten und Grenzen _____	399
<i>Claudia Fülle</i>	
Autorenverzeichnis _____	413
BuFAS-Mitglieder empfehlen sich _____	417

Das Manuskript zum Vortrag "Aus der Praxis: Schäden an Estrichen" von Uwe Merz lag uns zur Drucklegung nicht vor.

Vorwort

Liebe Mitglieder des Bundesverbands Feuchte & Altbausanierung e. V.,
 liebe Teilnehmer der 30. Hanseatischen Sanierungstage,

nunmehr ist es drei Jahrzehnte her, dass unser Verband die ersten Hanseatischen Sanierungstage, seinerzeit noch in Kühlungsborn, veranstaltet hat. Unter meinen Vorgängern Dr. Peter Friese und Prof. Dr. Dr. Helmuth Venzmer entwickelte sich unser Verband und die Hanseatischen Sanierungstage unter Mitwirkung unseres damaligen Geschäftsführers Dipl.-Ing. Jörg Beck rasch zu der Fachveranstaltung für Bauen im Bestand, die sich dem ganzen Spektrum in diesem Bereich widmete. Seit 2009 darf ich unserem Verband vorsitzen und ich bin froh, dass wir diesen in dieser Zeit weiterentwickeln konnten. Dies beruht einerseits auf einer sehr kreativen und kollegialen Zusammenarbeit im Vorstand, den ich namentlich an dieser Stelle einmal mit Frau Dr. Julia von Werder, Frank Deitschun, Michael Schmechtig, Prof. Dr. Michael Balak, Dipl.-Ing. Jens Koch und Dipl.-Ing. Matthias Ruhnke erwähnen möchte. Andererseits - und das muss an dieser Stelle hier ausdrücklich hervorgehoben werden - wäre die erfolgreiche Entwicklung der letzten Jahre ohne das unermüdliche Engagement unseres nimmer müden Geschäftsführers Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause undenkbar gewesen. Detlef Krause ist mittlerweile seit 14 Jahren Geschäftsführer unseres Verbands und der eigentliche Vater des Erfolgs der Hanseatischen Sanierungstage in den letzten Jahren. Neben einem Blick in die Vergangenheit ist es jedoch auch wichtig in die Zukunft zu schauen. Dies hat uns im Vorstand zu der Frage geführt, wohin wollen wir uns als Verband und mit den Hanseatischen Sanierungstagen entwickeln? Heringsdorf war ein Alleinstellungsmerkmal besonderer Güte, da das Ostseebad mit seiner besonderen Atmosphäre unserer Tagung auch eine besondere Qualität gegeben hat. Gleichwohl kamen wir in Heringsdorf an unsere Grenzen. Der Platz wurde für uns zu eng und die Besonderheit unserer Tagung - nämlich die Begleitausstellung - hatte nicht mehr den richtigen Rahmen. Ebenso mussten wir feststellen, dass vielen möglichen Teilnehmern auch die Anreise zu beschwerlich erschien. Vor diesem Hintergrund suchten wir nach möglichen Alternativen zu Heringsdorf. Es sollte nach Möglichkeit eine Hansestadt sein, es sollte keine Großstadt sein, in der man sich verliert, es sollte einen Altstadt kern geben in Bezug zu unserer Tagung, der Weg zum Strand für Begleitpersonen sollte nach Möglichkeit auch gegeben sein, der Tagungsraum sollte eine Verbesserung darstellen und auch mehr Teilnehmer zulassen, die Ausstellungsfläche sollte nach Möglichkeit zusammenhängend sein und mehr Aussteller ermöglichen. Eine Vielzahl von Kriterien, die nicht einfach zu befriedigen waren. Bei der Prüfung der Möglichkeiten stießen wir auf Lübeck und wurden hier bei unseren ersten

Kontakten mit den Vertretern der Musik- und Kongresshalle, mit der Hochschule und der Denkmalpflege mit offenen Armen empfangen. Dies führte zu unserer Entscheidung, ab 2019 die Hanseatischen Sanierungstage in Lübeck zu veranstalten.

Vieles wird neu, vieles wird ein wenig anders. Das eine oder andere wird noch nicht so funktionieren oder vielleicht doch. Wir werden uns jedoch die größte Mühe geben, Sie, unsere Mitglieder, und Sie, unsere Teilnehmer, zufriedenzustellen. Wir hoffen, dass uns das gelingen wird und wünschen Ihnen von Herzen eine großartige Tagung, viele schöne Erlebnisse in Lübeck, viele kollegiale Gespräche und dann auch Lust und Neugierde auf die 31. Hanseatischen Sanierungstage 2020.

Ihr Prof. Dipl.-Ing. Axel C. Rahn
Vorsitzender

Grußwort

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

zu Ihrem dreißigsten Jubiläum finden die Hanseatischen Sanierungstage in diesem Jahr am 7. November 2019 in der „Stadt der sieben Türme“ statt. Ein wirklich passender Ort für diese angesehene Veranstaltung. Die Lübecker Altstadt wurde 1987 als UNESCO-Welterbe anerkannt und zeigt damit besonders eindrucksvoll, welch große Herausforderung im Erhalt unserer bereits gebauten Umwelt liegt.

Dreißig Jahre Hanseatische Sanierungstage stehen für einen allseits geschätzten und renommierten Diskurs zwischen der Praxis, Wissenschaft und Lehre. Hunderte hochkarätige Vorträge und unzählige Fachdiskussionen zum richtigen Erhalt von unserem Baubestand. Dafür im Namen des Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure (BDB) herzliche Glückwünsche und ein herzliches Dankeschön an den Bundesverband Feuchte & Altbausanierungen (BuFAS).

Nicht der Neubau, sondern das Bauen im Bestand ist wohl eine der entscheidendsten Herausforderungen der Zukunft, der sich alle am Bau Beteiligten stellen müssen. Dabei geht es nicht nur um den Erhalt von denkmalgeschützter Bausubstanz, wie den gotischen Backsteinbauten der Hansestadt Lübeck. Vielmehr wird sich am Umgang mit unserer bereits gebauten Umwelt zeigen, ob wir die für unser Klima so wichtige CO₂-Reduzierung schaffen werden. Zudem beschert uns der Klimawandel mit Extremwetterlagen schon heute eine größere Beanspruchung unserer Gebäude.

Denkmalschutz, Klimawandel, Feuchteschutz, Energiewende - ein enormes Spannungsfeld für das Bauen im Bestand. Gerade hierfür brauchen wir nicht immer neue Vorschriften und Regeln, sondern das Zusammenspiel aus praktischer Erfahrung, Wissenschaft und Innovationen. Das gemeinsame Wirken von Architekten/-innen, Ingenieure/-innen, Sachverständigen, dem Handwerk, Experten/-innen aus der Forschung und Lehre sowie den Auszubildenden und Studierenden ist gefragt. Kurzum die Notwendigkeit des interdisziplinären Bauteams, welches nicht ohne Grund auch einen Markenkern des BDB darstellt.

Das diesjährige Motto „Innovativ und praktikabel - vom Boden bis zum Dach“ kann nicht passender gewählt sein. Beschreibt es doch gerade die Gratwanderung, die wir gehen müssen. Immer die Bereitschaft, neue Lösungen zu suchen und anzuwenden, dabei aber nie die praktische Handhabung aus den Augen zu lassen, ist von besonderer Wichtigkeit. Besonders hervorzuheben ist dabei auch die Förderung der jungen Generation mit der Verleihung des „Nachwuchs-Innovationspreises Bauwerkserhaltung“.

Das Bauen ist einer der prägendsten Bestandteile unserer Umwelt. Wenn wir bauen, müssen wir uns auch zwingend zu einem anspruchsvollen Erhalt unserer Gebäude bekennen. Ich danke dem BuFAS ausdrücklich, dass er u. a. mit den Hanseatischen Sanierungstagen einen wertvollen Beitrag hierzu leistet. Ein großes Dankeschön ebenso an alle Referenten/innen und Teilnehmer/innen, deren Mitwirken gerade in dieser Verantwortung steht.

Ich wünsche Ihnen interessante Vorträge, viele neue Kenntnisse und lebhaftes Diskussionen rund um das Thema der Bauwerkserhaltung. Kurzum viel Glück und Erfolg für die 30. Hanseatischen Sanierungstage in der Hansestadt an der Trave.

Herzliche kollegiale Grüße,
Christoph Schild
Dipl.-Ing. Architekt
Präsident des Bundes Deutscher Baumeister (BDB)

Lübeck – eine alte Hansestadt

Detlef Krause, Groß Belitz

1 Geschichte der Hansestadt Lübeck

Schon früh erkannte Graf Adolf von Schauenburg die verkehrspolitisch günstige Lage der Kaufmannssiedlung, die sich auf einer fast vollständig von Wasser umgebenden Halbinsel zwischen Trave und Wakenitz befand. Im Jahr 1143 gründete er Lübeck und verlieh der Ansiedlung das Stadtrecht. Damit legte er den Grundstein für den späteren Erfolg der Stadt als „Königin der Hanse“. Ab sofort stand das Bestreben der lübschen Kaufleute, Handel zu treiben und dabei internationale Kontakte zu nutzen, im Mittelpunkt des städtischen Geschehens. Der Fernhandel war letztlich der entscheidende Punkt, der dazu führen sollte, dass die Hansestadt Lübeck für rund 100 Jahre die bedeutendste Handelsstadt im Ostseeraum sein sollte.



Bild 1: Schiffsigel von 1256

Die Reichsfreiheit von 1226 gab Lübeck die Möglichkeit einer starken und selbständigen Handelspolitik. Das in der Stadt entwickelte Recht erlangte in rund 120 Ostsee-Städten als lübisches Recht Geltung. Mit seinem Hafen als „Tor zur Ostsee“ gewann Lübeck immer mehr Bedeutung im Handel mit den Ostsee-Anrainern. Die Hanse (althochdeutsch Hansa: Schar, Bund) entstand in einem langen Prozess aus der gemeinsamen Handelspolitik niederdeutscher Kaufleute. 1282 nannten die in England tätigen deutschen Kaufleute ihren Zusammenschluss erstmals

Hanse. Die Hanse war eine lose Organisation von Städten, doch konnten diese eine beachtliche Flotte und ein Heer aufbieten, wo immer Diplomatie und die Überzeugungskraft des Geldes nicht ausreichten. Die Macht ihres Handels von Portugal bis Nordwestrussland erlaubte der Hanse rund drei Jahrhunderte lang durch eine kraftvolle und geschickte Politik der aufstrebenden Konkurrenz aus

den Niederlanden und England, Skandinavien und Russland Paroli zu bieten. Mehr als 130 Städte gehörten zur Hanse. Im Laufe der Jahrhunderte schlossen sich immer mehr Städte dem Bund an: Im 15. Jahrhundert nahmen rund 70 Städte aktiv an der hansischen Politik teil, indem sie die Hansetage besuchten, und Kaufleute aus weiteren über 100 Städten nutzten die Privilegien der Hanse im Ausland. Lübeck, in der Mitte der Hansestädte gelegen, nahm eine vorherrschende Stellung ein und wurde zum „Haupt der Hanse“.



Bild 1 Markante Wahrzeichen der Stadt: Das Lübsche Tor und die ehem. Salzspeicherhäuser

Das Ende der Hanse begann mit der Entdeckung des Seewegs nach Indien und durch die Silber- und Goldvorräte Amerikas: Es entstand die atlantische Wirtschaft, in der das große Geld gemacht wurde. England und Holland erstarkten. Zunehmend wickelten sie den Ostseehandel mit eigenen Schiffen ab, so dass die hansischen Kaufleute an Bedeutung verloren. Die hansischen Privilegien gingen verloren und immer mehr Städte mussten auf Druck ihrer Landesherren aus dem Bund austreten oder wandten ihm freiwillig den Rücken zu.

Aber die Stadt versank nicht in Bedeutungslosigkeit: Nach wie vor trafen sich hier die bedeutendsten Handelswege und nach wie vor war sie eine Reichsstadt. Die Stadt überstand den 30jährigen Krieg und Napoleon Bonaparte. Und trotz aller Niederlagen und Rückschläge, die Stadt erholte sich und blühte wieder auf. Erst 1937 verlor Lübeck seine staatliche Selbständigkeit und wurde durch die Nationalsozialisten mit dem „Groß-Hamburg-Gesetz“ in die preußische Provinz Schleswig-Holstein eingegliedert.

Der Zweite Weltkrieg traf Lübeck mitten ins Herz: Große Teile der Altstadt wurden am Palmsonntag 1942 zerstört. Aber auch hiervon erholte sich Lübeck. Der Aufbau ließ nicht nur die gestürzten Kirchtürme wieder auferstehen, sondern auch die Wirtschaft. Wissenschaft und Handel kehrten mit der Universität und Fachhochschule sowie den Fährverbindungen nach Skandinavien in die alte Hansestadt ein. Doch die Lübecker vergaßen darüber niemals ihre Geschichte. Mit aufopfernder Mühe bewahrten sie das alte Stadtbild und erhalten es bis heute.

2 Hansestadt Lübeck – Weltkulturerbe und Tor zur Ostsee

Lübeck ist einzigartig, wundervoll. Das geschlossene Stadtbild wurde daher 1987 von der UNESCO zum Weltkulturerbe erklärt. Die wasserumflossene Altstadt mit ihren rund 1800 denkmalgeschützten Gebäuden, historischen Gassen und verwinkelten Gängen ist jedoch nicht nur schön anzuschauen, sondern der Kern einer höchst lebendigen Großstadt mit rund 220.000 Einwohnern.

Einstmals als Freie Hansestadt ein unabhängiger Freistaat, ist Lübeck heute von der Fläche die größte Stadt des Landes Schleswig-Holsteins und beansprucht den Titel als Kulturhauptstadt des Nordens.



Bild 2 Das Lübecker Rathaus zählt zu den bekanntesten Bauwerken der Backsteingotik. Es ist eines der größten mittelalterlichen Rathäuser in Deutschland.

3 Stadt der Nobelpreisträger

Stolz ist Lübeck auf seine drei Nobelpreisträger: Thomas Mann (1875 - 1955 / Literaturnobelpreis 1929), Willy Brandt (1913 - 1992 / Friedensnobelpreis 1971) und Günter Grass (geb. 1927 in Danzig / Literaturnobelpreis 1999). Alle drei

betrachten die Hansestadt als ihre Heimat. Der Schriftsteller Thomas Mann wurde hier geboren und lebte bis zu seinem 18. Lebensjahr in der Stadt an der Trave. Der in Lübeck geborene Politiker Willy Brandt verlebte ebenfalls seine prägenden Jugendjahre in der Hansestadt, während der Schriftsteller Günter Grass als 68jähriger nach Lübeck zog - auch um Thomas Mann und Willy Brandt „nahe“ zu sein, wie er einmal sagte.

4 Das Leben am Wasser

Lübeck ist geprägt vom Wasser. Die Altstadtinsel, umflossen von Trave, Wakenitz und Kanal, vermittelt auch heute noch den Charme und die Weltoffenheit einer Hafenstadt. Sowohl die Stadthäfen als auch der größte europäische Fährhafen in Lübeck-Travemünde machen deutlich, dass die Zeit nicht stehen geblieben ist. Tradition und Fortschritt sind in Lübeck keine Gegensätze, sondern sie bilden den Spannungsbogen, der diese Stadt so einzigartig macht. Mittelalterliches Ambiente und moderne Geschäfte. Orgelkonzerte in den fünf großen Stadtkirchen und Musikerlebnisse in der Musik- und Kongresshalle. In Lübeck liegt alles nah bei einander.



Bild 3 Die Trave mit Blick auf Str. Petri und St. Marien

5 Einzigartige Museumslandschaft

Ein Genuss besonderer Art sind Lübecks Museen: Mehr als 20 verschiedene Häuser präsentieren Ausstellungen zu ganz unterschiedlichen Themen. Fast alle Museen sind fußläufig bei einem Spaziergang durch die Lübecker oder Travemünder

Altstadt erreichbar. Die thematische Vielfalt – von der Hanse, Literatur der drei Nobelpreisträger über Kunst und Kunstgeschichte bis hin zur Naturgeschichte und Marionetten – bietet viele Möglichkeiten die Geheimnisse der Welt zu entdecken.

6 Rotspan und Marzipan

Wer an Lübeck denkt, der denkt fast immer auch an Marzipan. Denn so ist das nun einmal: Die Liebe geht durch den Magen.

Doch Lübecks Ruf als „Marzipanstadt“ wurde erst nach 1800 begründet. Niemand weiß heute noch genau, ob es ein besonders kunstfertiger und ideenreicher Konditor war oder ob ein Wettbewerb unter den verschiedenen, damals sehr bekannten Lübecker Konditoreien die Marzipanherstellung zu dieser Blüte brachte. Heute wird das Naschwerk als „Lübecker Marzipan“, das hier hergestellt sein muss und besonders hohe Qualitätsanforderungen zu erfüllen hat, von mehreren Firmen in alle Welt exportiert.

In Lübeck reicht man das edle Marzipan zusammen mit einem Gläschen „Rotspan“, einem in Lübeck veredelten und gerühmten Bordeauxwein, dem der Ruf vorausseilt, besser zu munden, als das in Frankreich abgefüllte Original. Unstrittig ist in jedem Fall, dass beides - Marzipan und Rotspan - vollendet zueinander passen.



Bild 4 Historie in Lübecks Gassen

7 Wirtschaftsstandort Lübeck: traditionell innovativ

Die wirtschaftliche Struktur Lübecks ist schon immer von einer hohen Dynamik geprägt – seit über 875 Jahren. Standen zur Hansezeit vor allem der Handel und die damit verbundene Logistik im Mittelpunkt, waren in Lübeck später traditionelle Industrie und Schiffbau prägend. Mittlerweile zeichnet sich die Lübecker Wirtschaft durch eine Mischung agiler Unternehmen aus unterschiedlichen zukunftsweisenden Branchen aus.

Im Fokus stehen hier insbesondere die Branchen Gesundheitswirtschaft, Ernährungswirtschaft, Logistik, Maschinenbau sowie die unternehmensnahen Dienstleistungen. Darunter Firmen von Weltruf sowie einige Hidden Champions – etwa Dräger, die Reederei Oldendorff, Coherent Niederegger, Brüggen, Baader, SLM-Solutions, Possehl oder die Hypoport AG, um nur einige zu nennen. Die Unternehmen dieser Branchen beschäftigen fast 50 Prozent der rund 100.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Standort und erwirtschaften jährlich über acht Milliarden Euro Umsatz.

Für zusätzliche Dynamik am Standort sorgen die Lübecker Hochschulen sowie die weiteren Akteure am Campus – vom Fraunhofer- Institut für Marine Biotechnologie über den Gründercube bis zum Technikzentrum Lübeck mit mehr als 50.000 Quadratmetern Gründerfläche. Diese facettenreiche und aktive Infrastruktur belebt den Markt, unterstützt die etablierten Unternehmen über Projekte und Kooperationen im Bereich Forschung und Entwicklung und bringt immer wieder innovative und erfolgreiche Startups hervor. Ein echter Standortvorteil.

8 Port of Lübeck: einer der größten RoRo- und Fährhäfen Europas

Die Geschichte der Hansestadt Lübeck und die Rolle als Königin der Hanse sind unmittelbar mit dem Hafen verbunden. Heute gehört der Port of Lübeck mit zu den größten RoRo- und Fährhäfen Europas. Von hier laufen die Schiffswege hauptsächlich weiter nach Schweden und Finnland sowie ins Baltikum und nach Russland bzw. umgekehrt. Mit seinen Schiffs- und Zugverbindungen ist Lübeck ein Kernhafen des Transeuropäischen Transportnetzes (TEN-T) und nimmt damit eine Schlüsselrolle von europäischer Bedeutung ein. Der Hafen ist mit mehr als 6.000 direkt hafenabhängig Beschäftigten ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor für die Hansestadt, die Region und das Land.

9 Wissenschaft und Smart City

Heute verfügt Lübeck über vier leistungsfähige Hochschulen, die in Teilen zur europäischen Spitzenklasse gehören, sowie über verschiedene Forschungseinrichtungen, wie das Kompetenzzentrum CoSA. Es beschäftigt sich mit Kommunikationssystemen in der maritimen Technik, Medizintechnik, Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Daneben belegen die interdisziplinär angelegten Studiengänge Computational Life-Science oder der gemeinsam von Universität und Fachhochschule ins Leben gerufene Studiengang Medical Technology die Bedeutung des Themas Life-Science für den Standort Lübeck.

Auf dem gemeinsamen Wissenschaftscampus von Universität und Technischer Hochschule befinden sich auch die Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie und Zelltechnik, das Technikzentrum Lübeck und der GründerCube zur Unterstützung von Technologietransfer und Firmenausgründungen aus den Hochschulen. Gleichzeitig kooperiert die Hansestadt Lübeck mit der Universität zu Lübeck und der Technischen Hochschule Lübeck im EnergieCluster Digitales Lübeck, um gemeinsam mit Wirtschaftspartnern und weiteren Akteuren eine Modellregion für eine intelligent vernetzte, nachhaltige Stadt mit hoher Lebensqualität für Bürger:innen zu werden. Ziel ist es neue Technologien in den Dienst der Menschen zu stellen und so die Hansestadt partizipativer und inklusiver sowie ressourceneffizienter und wettbewerbsfähiger zu machen

10 Lübecks „schönste Tochter“: Das Ostseeheilbad Travemünde

Das weltbekannte Ostseebad Travemünde gehört seit 1329 zu Lübeck und ist seit 1913 ein Ortsteil der Hansestadt. Hier findet man eine der eindrucksvollsten Strandpromenaden an der deutschen Küste mit einem breiten Sandstrand in der geschützt liegenden Lübecker Bucht, einem wahren Segel- und Badeparadies. Die Altstadt sowie die Vorderreihe und Kaiserallee mit ihrer Bäderarchitektur der Jahrhundertwende spiegeln die alten Traditionen wider. Im Kontrast dazu steht die moderne Bebauung in unmittelbarer Nähe zur Viermastbark Passat auf dem Priwall: Die Beach Bay Travemünde ist ein besonderes Ferienprojekt mit einer einmaligen Wasserlage in Travemünde. Restaurants und Geschäfte sowie eine neue Promenade laden zum Verweilen ein.



Bild 5 Travemünde -mehr als nur das Tor zur Ostsee

11 Travemünder Woche – Highlight im Juli

Die Travemünder Woche ist die zweitgrößte Segelsportveranstaltung der Welt und lockt in jedem Jahr im Juli rund 3000 Segler in 800 Booten an den Start der Regattafelder in der Lübecker Bucht. Das Sportereignis auf der Ostsee wird flankiert von einem fest zu Land, zu dem Hunderttausende nach Travemünde, „Lübecks schönster Tochter“, strömen.

Erstmals veranstaltet wurde die Segelwoche mit Weltruf bereits 1889. Zahlreiche prominente Segler nahmen an ihr teil - mehrmals auch der deutsche Kaiser mit den Yachten „Meteor“ und „Hohenzollern“.

Heute stehen die Meisterschaften in wechselnden Bootsklassen im Vordergrund: Viele Welt-, Europa- und Deutsche Meister holen sich hier ihre Titel.

Internationale Kontakte und enge Beziehungen

Als Großstadt in der Randlage Deutschlands und Tor zur Ostsee hat Lübeck von je her enge internationale Beziehungen unterhalten. Mit fünf Partnerstädten ist Lübeck verschwistert: Mit La Rochelle an der französischen Atlantikküste, mit dem finnischen Kotka, der litauischen Hafenstadt Klaipeda (Memel), Visby/Gotland und der Nachbarstadt Wismar. Enge Kontakte pflegt Lübeck weiterhin mit rund 200 Städten in 16 Ländern im Städtebund der Hanse der Neuzeit.

Enge Verbindungen unterhält Lübeck mit den durch Freundschaftsvertrag verbundenen Städten Kawasaki/Japan, Venedig/Italien und Shaoxing/China.

Texte: Lübeck Pressedienst

Bilder: 1 u. 6: Lübeck Pressedienst; 2-5: D. Krause

Sanierung des Lübecker Rathauses

Detlef Krause, Groß Belitz/Hubertus Rummel, Dennis Bunk, Lübeck

Zusammenfassung

Das Rathaus der Hansestadt Lübeck zählt zu den bekanntesten Bauwerken der Backsteingotik. Es ist eines der größten mittelalterlichen Rathäuser und sicher auch eines der schönsten in Deutschland.

Im nachfolgenden soll in einer Zusammenfassung die Historie und die Geschichte der Sanierungen dargestellt werden.

1 Historie

Der Rathauskomplex gliedert sich in den 2-geschossigen sowie 3-schiffigen Kernbau A, jeweils giebelseitig in der Dachgeschossebene durch gewaltige Schildmauern zusammengefasst und ist im gotischen Stil in seiner Gründung bis Mitte des 13. Jahrhunderts zurück zu verfolgen.

Als Abtrennung zwischen Rathausmarkt und Breiter Straße erfolgte ebenfalls 2-geschossig in südöstlicher Lage ein satteldachförmiger Flügelanbau B nach Ende des 13. Jahrhunderts mit erdgeschossigem Arkadengang, genannt „Langes Haus“, welches Mitte des 15. Jahrhunderts durch den „Kriegsstubenanbau“ nochmals verlängert wurde.

Mit Erstarkung der wirtschaftlichen Macht der Hansestadt wurde der Rathauskomplex immer wieder umgebaut, überformt und über mehrere Epochen der Renaissance (marktseitiger Renaissanceanbau, Renaissance-terrasse und -erker in der Breiten Straße), des Rokoko (Audienzsaal) und der Neugotik (Rathaushaupttreppe, nördliche Schildwand) weiter und reicher ausgestattet. Sowohl der Kernbau A als auch der Flügelanbau B sind unterkellert und mit gotischen Gewölben überdeckt.

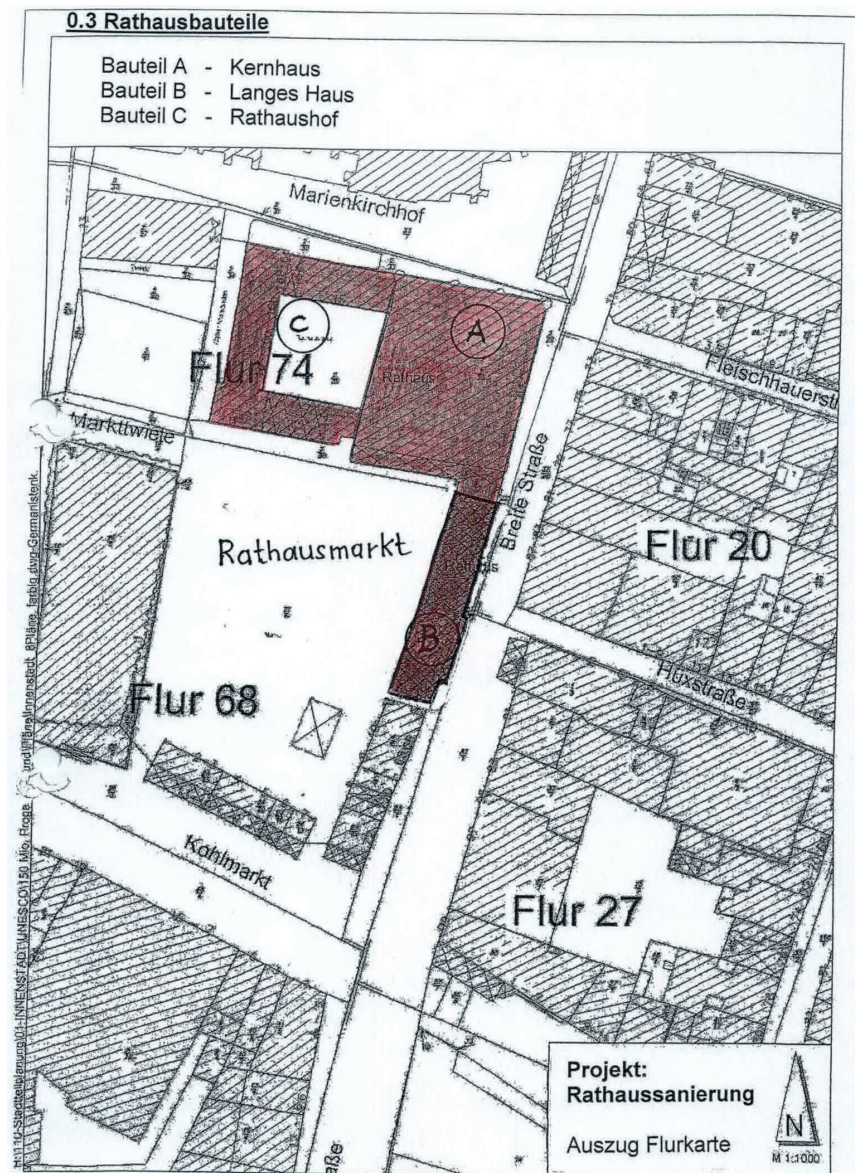


Bild 1 Flurkarte mit Lage der Gebäudebereiche

Der historische Rathauskomplex ist in seiner historischen Bedeutung und Bautypologie als Vorbild prägend und maßstabgebend für weitere Rathausbauten im norddeutschen Ostseeraum der Hansestädte gewesen. Der historische Rathauskomplex ist ein „lebendiges“ Rathaus mit vielfältiger Nutzung. In seiner über 750-jährigen Geschichte wird nach wie vor die Politik der Stadt Lübeck in diesem Hause bestimmt, es ist Verwaltungssitz des Bürgermeisters, des Stadtpräsidenten und der Parteifractionen. Vielfältige Beratungen, Sitzungen und Repräsentationsveranstaltungen finden in den historischen Sälen wie Bürgerschaftssaal, Roter Saal, Kommissarenzimmer, Hörkammer, Audienzsaal und Großer Börse statt. Parallel hierzu wird der Rathauskomplex, seiner kunsthistorischen Bedeutung als Gebäude und wegen seiner Ausstattung, der Öffentlichkeit und dem Tourismus durch mehrere täglichen Führungen zugänglich gemacht. Für die Öffentlichkeit finden weiterhin Veranstaltungen wie Vorträge, Tagungen und Konzerte statt. Im Untergeschoss des Kernbaues A befindet sich der gastronomisch genutzte Ratskeller. Der unterkellerte eingewölbte Flügelanbau B (Germanistenkeller) wurde in früheren Jahrhunderten als Wein- und Bierlager und seit Mitte des 19. Jahrhunderts gastronomisch genutzt. Seit über 15 Jahren ist dieser Bereich hinsichtlich seiner empfindlichen Bausubstanz jedoch aus der gastronomischen Nutzung herausgenommen worden.

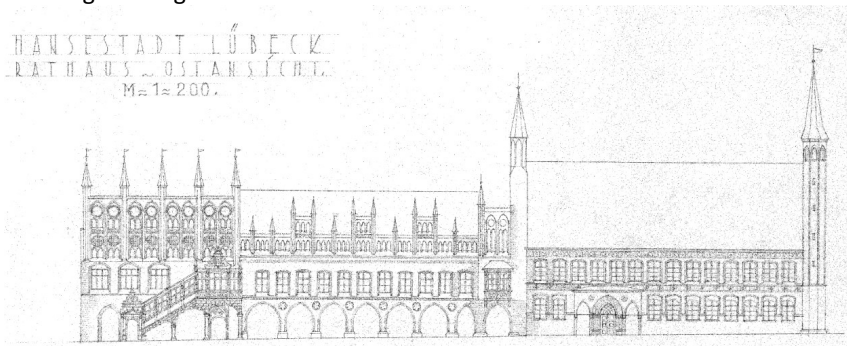


Bild 2 Ansicht der Ostseite

Im Rahmen des Wiederaufbaus und der teilweisen Zerstörung der unmittelbaren Nachbarbebauung erfolgte 1952, auf der Grundlage eines Architektenwettbewerbes, in westlicher Lage des Kernbaues A um einen Rathausinnenhof herum eine 2- und 3-geschossige dreiflügelige Anlage C, ein neuzeitlicher Anbau als bauliche Trennung zwischen Rathausmarkt und Marienkirche. Hier sind im Erdgeschoss ein Café, Läden und ein Restaurant um den Hof herum angesiedelt. Die fußläufige Öffnung vom südlichen Teil des Marktes zum Rathausinnenhof wurde

durch den Einbau von Durchgangsarkaden erreicht. In beiden Obergeschossen sind Verwaltungseinheiten der Stadt und Fraktionsräume der politischen Parteien untergebracht. Die unmittelbare Anbindung an das historische Rathaus erfolgt durch ein gläsernes Treppenhaus mit Durchgang im Obergeschoss. Alle 3 Bauteile A, B und C stehen unter Denkmalschutz



Bild 3 Der Rathausmarkt

2 Sanierungsmaßnahmen der letzten 10 Jahre+ kommende

2.1 Teilabschnitt I: Sanierung Germanistenkeller

3 Bauabschnitte Teilabschnitt 1 + 2 abgeschlossen, 3 ab 01.2020)

1. Abdichtung außen
2. Sanierung innen (Abtragung der inneren Feuchtigkeitssperre)
3. Fläche über den Gewölben mit Oberflächenpflasterung erfolgt ab 01.2020

2.2 Teilabschnitt II: Innere und äußere Sanierung bereits abgeschlossen

7 Einzelmaßnahmen: alle abgeschlossen

1. Sanierung Nordfassade
2. Sanierung Gotische Südfassade
3. Sanierung der Schmuckfriese in der Ostfassade
4. Sanierung Hauptportal

5. Bürgerschaftssaal (statische Sicherung/ Klimatisierung/ Konsolidierung Wand- u. Deckenmalerei)
6. Roter Saal/ Kommissarenzimmer (Beleuchtung/Deckenmalerei/Winterfenster)
7. Fenstererneuerung Rathaushof



Bild 4 Die Ostseite mit dem Haupteingang

2.3 Teilabschnitt III: Innere und äußere Sanierung

5 Einzelmaßnahmen: alle beginnen frühestens ab 2020/ 2021

1. Sanierung Renaissance-treppe
2. Sanierung Fenster Langes Haus
3. Sanierung Fassade Kriegsstubenanbau
4. Sanierung gesamter Rathaus-hof
5. Brandschutztechnische Sanierung ges. Rathaus

3 Der Bürgerschaftssaal - Alter Saal im neuen Glanz

Am 26. November 2015 tagt die Lübecker Bürgerschaft nach mehr als einem Jahr im Ausweichquartier in den Media Docks wieder im traditionsreichen Saal des Rathauses statt. Die Sanierung des Saales ist abgeschlossen. Nach 145 Jahren wurden die Kunstwerke restauriert, neue Technik und vor allem eine Klimaanlage eingebaut.

Im Bürgerschaftssaal bestand akute Gefahr des Herabstürzens der Decke. Bei der Sanierung wurde festgestellt, dass die Oberlichter nicht mehr sicher waren. Sie

hätten herabstürzen können. Das war aber nicht das einzige Problem. Die Nordtribüne war seit Jahren für Zuschauer gesperrt. Hier fehlte ein zweiter Fluchtweg. Der wurde jetzt eingebaut. Er führt über das Dach zum Treppenhaus der Südtribüne.



Bild 5 Der neue Fluchtweg über das Dach des Bürgerschaftssaals



Bild 6 Blick in den fast fertigen Bürgerschaftssaal

Große Probleme macht seit dem Bau des Saales im Jahr 1870 auch die Heizung. In den 50er Jahren wurde ein Belüftungssystem eingebaut, das allerdings in den ersten Sitzreihen für kalte Füße sorgte. Oben im Saal staute sich warme Feuchtigkeit. Die Wandbilder waren durch Salze stark in Mitleidenschaft gezogen. Die Szenen der Einbringung des Reichsbriefes von 1226 und des Besuchs von Kaiser

Karl IV. aus dem Jahr 1375 lösten sich förmlich auf. Die neue Klimaanlage dient dem Schutz der Kunstwerke. Dass die Politik im Sommer jetzt nicht mehr in einer Sauna tagen muss, ist ein angenehmer Nebeneffekt.



Bild 7 Die historische Decke des Bürgerschaftssaals

Das Rathaus der Hansestadt Lübeck, das im Jahr 1308 eingeweiht wurde, ist jetzt technisch auf dem aktuellen Stand. Das Dach erhielt erstmals eine Dämmung, zahlreiche Fenster wurden ausgetauscht, und im Bürgerschaftssaal können jetzt Mikrofone auf jedem Abgeordneten-Tisch angeschossen werden.

Quellen:

Presse- und Informationsdienst Hansestadt Lübeck und Gebäudemanagement Hansestadt Lübeck

Digitalisierung – Fluch oder Segen

Stefan Rudolph, Schwerin

Bei den großen technologisch bedingten wirtschaftlichen Umbrüchen in den vergangenen Jahrhunderten gab es immer schon zwei Sichtweisen: Für die Befürworter war der technische Fortschritt der wirtschaftliche Heilsbringer und für die Mahner der Untergang der Menschheit.

Das war so, als die erste industrielle Revolution mit der Mechanisierung mittels Dampfkraft begann (ca. 1800). Und auch bei der zweiten Phase, die von Massenfertigung und elektrisch getriebenen Fließbändern geprägt war (Ende 19. Jhd.) sahen die Mahner Arbeitslosigkeit und Elend auf sich zukommen. Die Befürworter dagegen priesen den steigenden Wohlstand. Und als die dritte industrielle Revolution ab den 1970er Jahren mit der Automatisierung durch Mikroelektronik im Fokus stand, hieß es, auf Gedeih und Verderb seien die Menschen dieser technischen Neuigkeit ausgeliefert, vor schweren Erschütterungen stünden die Gesellschaften. So zumindest lautete das Resümee eines Berichtes, den der "Club of Rome" 1982 veröffentlichte. Ob die Einführung der Mikroelektronik Fluch oder Segen bedeutete, ließ der „Club of Rome“ allerdings offen. Sie könnte einen ungeahnten technischen Fortschritt bedeuten, aber ebenso zu einer beispiellosen Massenarbeitslosigkeit führen.[1]

Industrie 4.0 lautet nun der Begriff für die moderne Technologie und Produktion im Zeitalter der digitalen Revolution. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass die Veränderungen, die durch die Digitalisierung entstehen, ähnlich einschneidende Veränderungen zur Folge haben, wie die drei industriellen Umbrüche zuvor. Jetzt wachsen reale und virtuelle Welt zu einem Internet der Dinge zusammen, Maschinen und mit Sensoren ausgestattete Bauteile kommunizieren nicht nur untereinander, sondern mit Produktion, Vertrieb oder sogar Kunden. In der intelligenten Fabrik (Smart Factory) organisieren sich Fertigungsanlagen und Logistiksysteme weitestgehend selbst. Der Begriff Industrie 4.0 umschreibt

dabei aber nicht nur die weitere industrielle Entwicklung, sondern auch die veränderte Produktions- und Arbeitswelt in diesem neuen Zeitalter.

Ob es sich bei Industrie 4.0 tatsächlich um eine vierte technische Revolution handeln mag, oder nur um eine Weiterentwicklung der Digitalisierung, darüber kann man trefflich streiten.[2] Sicher ist jedoch, dass die Digitalisierung sowohl die wirtschaftliche Entwicklung als auch die Gesellschaft und das Leben jedes Einzelnen erheblich verändert hat und dies in einer atemberaubenden Geschwindigkeit.

Die Vorteile der Digitalisierung in unserem privaten Leben wissen wir alle zu schätzen. Seit es das Smartphone gibt, haben wir Telefon, Uhr, Fotoapparat, MP3- Player, Fitnesscoach, Computer, Fernseher und vieles mehr mit einem Gerät in unserer Tasche. Weitere, in allen Lebensbereichen vorhandene digitale Technologie sorgt z.B. dafür, dass wir leicht miteinander in Verbindung treten können, dass wir Informationen immer und sofort zur Verfügung haben, dass wir unser Leben effizient organisieren und planen können, dass wir Zeit sparen, z.B. wenn Behördengänge digital erledigt werden können. Zusätzlich kann die Digitalisierung dazu beitragen, die Attraktivität des ländlichen Raums als Wohn- und Arbeitsort zu erhöhen.

Aber – die Digitalisierung führt auch zu einer erheblichen, nicht gleich offensichtlichen, aber doch gravierenden Veränderung in der Gesellschaft. Nicht nur, weil nichts von unserem Handeln verborgen bleibt, wir damit zum Datenlieferanten für Konzerne werden und unsere Privatsphäre preisgeben. Die neue Technologie bestimmt auch mit, wie wir uns Meinungen bilden, welche Bedürfnisse wir entwickeln oder wie andere Entscheidungen über uns treffen. Denn die Technik kann manipulativ eingesetzt werden: Mit künstlicher Intelligenz lassen sich Filmaufnahmen fälschen, mit Algorithmen lassen sich Fake News gezielt verbreiten, digitale Analysen entscheiden über die Art wie und was für Angebote uns unterbreitet werden oder darüber, ob mir ein Bankkredit gewährt wird. Für den Einzelnen besteht keine Transparenz darüber, was wahr ist und was nicht oder wie Entscheidungen zustande kommen. Große Konzerne, wie z.B. Google, Amazon, Alibaba oder Facebook haben eine ungeahnte Macht, Meinungen, Kaufverhalten und vieles mehr zu beeinflussen. Sie sind damit eine Gefahr für die Demokratie geworden und wir begeben uns durch das zur Verfügung stellen unserer Daten freiwillig in diese „Smarte Diktatur“.[3] Es gilt sich viel mehr als bisher kritisch mit diesen Entwicklungen auseinanderzusetzen und eine stärkere Sensibilität für die Schattenseiten der Digitalisierung in der Gesellschaft zu entwickeln. Und auch ethische Fragen sollten hier stärker als bisher in den Blickpunkt rücken.

Insbesondere die wirtschaftliche Entwicklung ist durch die Digitalisierung bestimmt. Wer als Unternehmer meint, Digitalisierung ist ein Hype, der sich sicherlich wiedergeben wird, dem kann ich nur mit dem Zitat von Karl-Heinz Land, einem Mehrfach-Unternehmer, Digital- und Strategieberater antworten: "Nie wieder wird die Digitalisierung so langsam sein wie heute". [4]

So hat der Mitgründer des Chipherstellers Intel, Gordon E. Moore, festgestellt, dass sich etwa alle eineinhalb bis zwei Jahre *die Prozessor-Leistung für Computer verdoppeln lässt (Moorsches Gesetz). Man kennt solche mathematischen Funktionen: Zunächst ist die Steigerung moderat, um dann mit enormer Geschwindigkeit anzusteigen. Es gibt Meinungen, die eine Verlangsamung dieser Entwicklung vorhersagen oder auch ihre Endlichkeit sehen. Aber deutlich wird auf jeden Fall, dass die Geschwindigkeit, mit der durch diese technologischen Möglichkeiten neue Produkte, Verfahren oder Geschäftsmodelle auf den Markt drängen, beeindruckend - oder wenn man es anders sagen will - beängstigend ist.*

Wer sich nicht mit auf den Weg macht, der wird von anderen überholt werden. Damit kommen wir zu dem Aspekt, den manche als Fluch der Digitalisierung beschreiben würden. Viele Unternehmen mussten schmerzlich erfahren, was es bedeutet, nicht schnell genug auf die neuesten Entwicklungen der digitalen Transformation zu reagieren, insbesondere, wenn durch disruptive Technik oder disruptive Geschäftsmodelle die Bedürfnisse der Kunden auf eine vollkommen neue Art und Weise bedient werden konnten.

So z.B. bei der Entwicklung der digitalen Fotografie, die analoge Filmproduzenten wie Kodak in die Insolvenz trieb und rund 145.000 Menschen arbeitslos machte. Nokia verschlief die Entwicklung des Smartphones und wurde vom vorherigen Führer auf dem Mobilfunkmarkt zum großen Verlierer. Und 2018 wurden im E-Commerce-Markt in Deutschland rund 53,3 Milliarden Euro umgesetzt, viermal so viel wie noch vor 4 Jahren, Tendenz weiterhin steigend. Die Auswirkungen auf den lokalen Einzelhandel und die Struktur unserer Innenstädte sind deutlich. Der durch die Digitalisierung bedingte Abbau von Arbeitsplätzen bei Banken, Reisebüros, Versicherungen und ähnlichen Dienstleistern ist ebenfalls bekannt. Keine Branche und kein Unternehmen kann es sich erlauben, vor der digitalen Transformation die Augen zu verschließen, wenn die Wettbewerbsfähigkeit erhalten bleiben soll. Große erfolgreiche Unternehmen sind aber oft träge in ihrer Innovationsgeschwindigkeit und werden überrascht durch junge, kleine Unternehmen, die die Kundenwünsche besser bedienen können.

Soviel zu dem Fluch der Digitalisierung.

Die Chancen der Digitalisierung sind jedoch groß, auch wenn die rasanten Entwicklungen für viele Unternehmen eine große Herausforderung darstellen. Die Digitalisierung bietet die Möglichkeit, bestehende Geschäftsmodelle zu verändern, näher am Kundenwunsch zu agieren und damit Angebot und Nachfrage besser abzustimmen. Darüber hinaus bietet sich die Chance neue Geschäftspotenziale zu generieren. Produkte können individualisiert werden und zugleich eine flexible und effiziente Produktion erfolgen. Laut einer im April 2019 veröffentlichten Umfrage im Auftrag des Digitalverbandes Bitkom sieht die große Mehrheit aller Unternehmen (91 Prozent) die Digitalisierung in erster Linie als Chance für das eigene Unternehmen. Aber gleichzeitig geben 37 Prozent der Unternehmen an, dass sie Probleme haben, die Digitalisierung zu bewältigen.[5] Gerade die Kleinst- und Kleinunternehmen machen mir hier Sorgen. Aufgrund der guten Auftragslage bei gleichzeitig mangelnden Fachkräften ist die Arbeitsverdichtung so hoch, dass sich die Unternehmensführung nicht mit dem Thema Digitalisierung befasst. Dies ist sicherlich zum Teil auch eine Generationenfrage. Aber diese abwartende Haltung gefährdet die Zukunftsfähigkeit der Unternehmen. Dabei ist die Digitalisierung von Organisations- und Produktionsprozessen keine Belastung, sondern kann im Gegenteil gerade auch in kleineren Unternehmen zu erheblicher Arbeitsentlastung führen. Aber natürlich sind zuvor Planungs- und Investitionsprozesse bei einer Umstellung zu bewältigen, für die es aber eine Reihe von Unterstützungsmöglichkeiten auf Bundes- und Landesebene, sowohl für die Beratung als auch für die Umsetzung von Maßnahmen, gibt.

Digitale Agenda Mecklenburg-Vorpommern

Das Land Mecklenburg-Vorpommern hat mit Verabschiedung der Digitalen Agenda das Thema Digitalisierung im vergangenen Jahr verstärkt in den Fokus gerückt.

Darin wird zum einen ein Schwerpunkt auf den Breitbandausbau gelegt, der Grundlage für die Digitalisierung von Unternehmensprozessen und wirtschaftlichem Handeln ist. Hier gibt es deutschlandweit, aber insbesondere in Mecklenburg-Vorpommern, erheblichen Nachholbedarf. Eigentlich sollten 2018 bundesweit überall mindestens Übertragungsraten von 50 Mbit pro Sekunde erreicht werden. Dieses Ziel wurde deutlich verfehlt. In Mecklenburg-Vorpommern liegt die Breitbandverfügbarkeit von mindestens 50 Mbit/s bei 66,5 % und damit das Bundesland Ende 2018 auf dem vorletzten Platz (vor Sachsen-Anhalt) in Deutschland.[6] Das Gefälle innerhalb Mecklenburg-Vorpommerns ist dabei immens. In

den Städten verfügen über 96 % der Haushalte über Übertragungsraten von 50 Mbit pro Sekunde, im ländlichen Raum dagegen aber nur gut 34 %. Ein Lichtblick ist, dass Mecklenburg-Vorpommern vom bisherigen Bundesförderprogramm überdurchschnittlich profitieren konnte. Von den bislang bundesweit bewilligten 3,2 Mrd. € geht rund ein Viertel nach Mecklenburg-Vorpommern (rund 837 Mio. €). Damit verbunden sind Gesamtausgaben von etwa 1,3 Mrd. €. Mit der Umsetzung der laufenden Förderprojekte werden die ländlichen Räume zu den Städten aufschließen. Dann soll landesweit ein Versorgungsgrad von über 90% erreicht werden. Angesichts der angespannten Lage in der Bauwirtschaft werden wir uns im Hinblick auf die Umsetzung aber noch ein wenig in Geduld üben müssen.

Darüber hinaus hat die Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern mit der Digitalen Agenda Förder- und Unterstützungsmöglichkeiten für Unternehmen ergänzend zu Bundesprogrammen neu aufgelegt oder erweitert.

- Das Land fördert Unternehmen, wenn sie Prozessinnovationen auf den Weg bringen wollen mit bis zu 100.000 € wenn externer Sachverstand genutzt wird. Und es gibt nicht nur Unterstützung in der Phase der Entwicklung dieser Prozessinnovation, sondern jetzt auch Förderung für die darauffolgenden notwendigen Investitionen.
- Für kleinere Digitalisierungsvorhaben wurde eine neue Förderrichtlinie aufgelegt, die insbesondere kleine und Kleinstunternehmen bei Investitionen mit maximal bis zu 50.000 € fördern kann.
- Wenn ein KMU durch neue innovative Produkte oder Produktionsverfahren zum Beispiel auch im Zusammenhang mit der Digitalisierung seine Wettbewerbsfähigkeit erhöhen will und dazu seine Personalstruktur qualitativ verbessern muss, kann ein Zuschuss zu den Personalkosten bei der Ersteinstellung eines Hochschulabsolventen mit technischem Abschluss beantragt werden.
- Mit dem Aufbau des Demonstrationszentrums „Industrie 4.0“ bei der Fraunhofer Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik (IGP) in Rostock soll Wirtschaft und Wissenschaft die Möglichkeit gegeben werden, Methoden und Verfahren zu erforschen und zu erproben. Das Demonstrationszentrum soll aufzeigen, wie durch sinnvolle Kombination von innovativen Technologien eine Fabrik der Zukunft gestaltet werden kann. Das Land unterstützt den Ausbau mit 13 Millionen Euro aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes. Baubeginn war im März dieses Jahres, im Frühjahr 2021 soll das Zentrum in Betrieb gehen.

- Mit dem Aufbau von sechs Innovationszentren an den Hochschulstandorten des Landes und der Bereitstellung von Beteiligungen und Risikokapital will das Land Startups gute Bedingungen zur Umsetzung ihrer Geschäftsideen bieten. Zugleich sollen die digitalen Innovationszentren Raum bieten für den Austausch zwischen der Startup Szene, etablierten Unternehmen und Wissenschaft. Dies ist für etablierte Unternehmen die Chance, Trends zu erkennen, neue Technologien zu testen und durch einen frischen Blick von außen Defizite zu erkennen. Die Startups profitieren von Kundenstamm und Vertriebskanälen, fachlicher und evtl. auch finanzieller Unterstützung der etablierten Unternehmen. Also eine echte win-win Situation.
- Ein weiterer wichtiger Punkt in der Digitalen Agenda ist das Thema Qualifizierung. Denn aktuell macht die zum einen durch den demografischen Wandel ohnehin schon schwierigere Deckung des Fachkräftebedarfs den Unternehmen Sorgen. Und zum anderen steigt der Bedarf an Fachkräften, die den neuen technischen und organisatorischen Anforderungen am Arbeitsplatz gewachsen sind. Hier gibt es Förderprogramme, die die Unternehmen bei der notwendigen Qualifizierung ihrer Mitarbeiter unterstützen.

Die Diskussion um die Folgen der Digitalisierung auf die Arbeitswelt hat mit „Arbeit 4.0“ aufgrund ihrer Bedeutung einen eigenen Begriff. Technologische Entwicklungen wie Robotik, Big Data und Künstliche Intelligenz verändern Berufsbilder, Arbeitsabläufe und Anforderungen an Erwerbstätige schnell und grundlegend. Doch nicht nur die Arbeit als solche ändert sich, sondern auch Arbeitsorganisation, Arbeitsbeziehungen und Arbeitsverhältnisse. So entstehen neue Anforderungen und neuer Handlungsbedarf, auch für den Arbeits- und Beschäftigtenschutz.

Nach Prognosen des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung fallen allein durch die Digitalisierung bis zum Jahr 2035 1,46 Mio. Arbeitsplätze in Deutschland weg. Aber zugleich könnten durch die Digitalisierung bis zum Jahr 2035 1,40 Mio. Arbeitsplätze neu in Deutschland entstehen. Somit sind insgesamt zwar 6,7 Prozent der insgesamt 42,2 Mio. Erwerbstätigen in Deutschland von der Digitalisierung direkt betroffen aber der angenommene Nettoeffekt der Digitalisierung von -66.000 wirkt erstmal nicht furchteinflößend. Insgesamt wird die Arbeitsnachfrage tendenziell vor allem in den produzierenden Berufen sinken. Dienstleistungsberufe werden hingegen stärker nachgefragt werden.

Man könnte also sagen, dass die Digitalisierung der Arbeitswelt so gesehen Fluch und Segen zugleich ist. In Zeiten immer knapper werdender Fachkräftepotenziale müssen Unternehmen zunehmend ihre wichtigste Ressource, nämlich ihre

Beschäftigten, in den Mittelpunkt stellen. Eine wertschätzende, vertrauensbasierte Unternehmenskultur, Mitbestimmung, mobile und flexible Arbeitsformen sind für Bewerber oftmals wichtiger als nur die Höhe des Gehaltes. Eine erfolgreiche Digitalisierungsstrategie ist deshalb die, die neben dem digitalen Wandel auch zu einem sozialen Wandel im Unternehmen führt.

Weil diejenigen, deren Arbeitsplatz durch die Digitalisierung wegfällt, nicht unbedingt auch jene sind, deren Arbeitsplatz durch die Digitalisierung neu entsteht, ist Weiterbildung der Schlüssel zum Erfolg. Neben IT-Kompetenzen werden Kreativität, Kommunikations- und Teamfähigkeit sowie Abstraktionsfähigkeit immer wichtiger. Präventive Weiterbildung kann durch den technologischen Wandel bedingte Arbeitslosigkeit verhindern helfen. Die Weiterbildung am Lernort Betrieb wird wichtiger, da dort die konkreten Bedarfe durch den digitalen Wandel sichtbar werden. Der technologische bzw. digitale Wandel muss nämlich in erster Linie von den Beschäftigten in den Betrieben bewältigt werden.

Vor diesem Hintergrund fokussiert sich seit diesem Jahr die Bundesagentur für Arbeit mit dem Qualifizierungschancengesetz auf Weiterbildungsangebote für Beschäftigte statt auf Arbeitslose, um für den Strukturwandel gewappnet zu sein. Darüber hinaus stehen die Förderprogramme des Landes im Rahmen der Qualifizierungsrichtlinie Mecklenburg-Vorpommern allen Unternehmen offen und bietet unkomplizierte Förderung mit bis zu 75% der Kosten der Weiterbildungsmaßnahmen aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds. Und da gerade kleine und mittlere Unternehmen die konkreten Weiterbildungsbedarfe nicht kennen und die Folgen des digitalen Strukturwandels auf ihr Unternehmen nicht einschätzen können, bietet Mecklenburg-Vorpommern mit dem neuen Arbeit 4.0-Kompetenzzentrum „Digitalisierung in der Arbeitswelt M-V“ vor Ort konkrete Unterstützung an. Auch dies wurde mit der digitalen Agenda beschlossen.

Digitalisierung in der Bau- und Sanierungsbranche

Auch die Bau- und Sanierungsbranche ist im digitalen Umbruch. Mit dem Building Information Modelling (BIM) sollen z.B. Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsprozesse optimiert werden und gelten vor allem bei Großprojekten als wichtigstes Werkzeug gegen Kostenexplosionen und Terminverzug. Das Juni 2019 vom Bund eingerichtete nationale BIM-Kompetenzzentrum soll dabei die Digitalisierung des Bauwesens unterstützen, denn bis 2020 soll BIM z.B. Standard bei öffentlichen Verkehrsinfrastrukturprojekten sein.

Eine aktuelle Befragung von Bauakteuren zeigte Anfang Juli 2019, dass sich der deutsche Bau zunehmend digitalisiert, 27% der befragten Architektur-, Ingenieur-, Bau- und Installationsunternehmen nutzen inzwischen BIM.[7] Die

Amortisationsdauer einer Umstellung auf BIM wird von vielen als sehr hoch angesehen. Neben der finanziellen Belastung ist es aber vor allem die große personelle und organisatorische Herausforderung, die Unternehmen bisher davon abhält, BIM zu nutzen.

Wenn man den Digitalisierungsgrad der Branchen insgesamt vergleicht, gehört das Baugewerbe allerdings mit zu den Schlusslichtern des digitalen Wandels.[8] Dies liegt sicherlich in der kleinteiligen handwerklichen Struktur der Unternehmen der Baubranche begründet. Nach der Studie zum Digitalisierungsindex stehen aber 46 Prozent der Unternehmen dem digitalen Wandel offen gegenüber. Und es gibt auch in der Baubranche sogenannte „digital leader“, die z.B. 3D-Druck für den Modell- oder sogar Bauteilbau einsetzen oder mithilfe von Virtual und Augmented Reality Projekte visualisieren. Es gilt, die Digitalisierung zur Chefsache zu machen, denn die vielen Facetten der Digitalisierung in der Baubranche von BIM bis hin zu 3D Betonteildruck können dazu beitragen, die Produktivität zu steigern, die Herstellungskosten zu senken, Bauprozesse zu beschleunigen, neue architektonische Formen zu entwickeln oder auch den Fachkräftemangel zu entschärfen.

In Mecklenburg-Vorpommern unterstützen wir den Einsatz moderner Digitalisierungstechnologien durch Förderinstrumente für die Einführung neuer Technologien oder durch die Förderung von Forschung und Entwicklung, dies natürlich auch im Bereich Bau. Gerade auf der Baustelle sind es manchmal eben scheinbar profane Dinge, die am Schreibtisch leicht erscheinen, aber in der Wirklichkeit kompliziert im Detail und entscheidend für den Erfolg sind. So klingt es eben ganz einfach, dass man in einem Treppenhaus die genauen Maße des Treppenschachtes ermitteln muss. Das dies bereits geschehen muss, wenn die alte Treppe noch da und somit und eine durchgängige Sichtachse nicht vorhanden ist, macht die Sache dann schon weitaus schwieriger. Durch den Einsatz modernster Scanner und die Zusammenführung der ermittelten digitalen Informationen kann ein digitales 3D-Aufmaß des Treppenschachtes entstehen. Die Zusammenführung der digitalen Punktwolken durch Spezialsoftware und die Überführung der Daten in die Konstruktionssoftware rationalisieren den bisherigen Mess- und Fertigungsprozess und erhöhen die Messgenauigkeit. Die bisherige Methode, welche durch einfache Messmittel, wie zum Beispiel Lot, Zollstock oder elektrischen Distanzmesser gekennzeichnet ist, wird durch die Anwendung eines 3D-Laserscanner abgelöst. Mit dem 3D-Laserscanner können die Daten für die Konstruktion hochgenau ermittelt werden und damit Nacharbeiten oder Probleme auf der Baustelle bei dem Einbau der neuen Elemente vermieden werden. Dies ist sicherlich

keine ausgewiesene Hochtechnologie, aber effektiv ist es und die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens wird gestärkt. Dies macht aus unserer Sicht Sinn.

Natürlich gibt es weitere Beispiele, denn die Digitalisierung ist eine Querschnittstechnologie, welche nahezu in alle Arbeits- und Lebensbereiche einzieht. Die Anwendung von Drohnen bzw. unbemannten Flugkörpern ist auf dem Vormarsch. In Mecklenburg-Vorpommern wurde ein FuEul-Projekt gefördert, dass die Entwicklung einer integrierten Lösung aus Unmanned Aircraft Vehicle (UAV) -Technologie, Flugautomatisierung und darauf abgestimmten Bildanalyseverfahren beinhaltete. Diese technische Lösung soll Ingenieure bei der Zustandsermittlung von Bauwerken unterstützen und den bisherigen Aufwand signifikant reduzieren. Das hierfür erforderliche Flugsystem reagiert weitestgehend autonom und ist unempfindlich gegenüber Staub- und Temperaturbelastungen. Mit der neuen modifizierten Technik können Bild-, Video- und Lageinformation hochaufgelöst an unterschiedlichsten innerstädtischen und industriellen Gebäuden und Gebäudeszenarien sowie in Innenräumen mit hoher Geschwindigkeit aufgenommen und ausgewertet werden. Die derart automatisch erfassten Daten erlauben eine flächendeckende Erstellung von Fassaden, Bauteilen und Dächern (bspw. Bauwerke wie Türme, Kirchen, Brücken, Kühltürme etc.), um diese zu 3D-Modellen und Orthofotos umzuwandeln und in einem Gebäudemodell für die Weiterbearbeitung bereitzustellen. Die durch die Befliegung erfassten Bilder können dann mit intelligenten Verfahren automatisch auf mögliche Schäden am Bauwerk analysiert werden.

Diese beiden Beispiele verdeutlichen, dass die Digitalisierung auch die Bau- und Sanierungsbranche maßgeblich verändern wird. Deshalb ist auch für die Bau- und Sanierungsbranche die Frage für die Zukunft, ob die Digitalisierung Fluch oder Segen ist.

Digitalisierung - Fluch oder Segen?

In der Tat ist heutzutage kein Wirtschafts- und Lebensbereich von der Digitalisierung verschont und zurzeit hat man das Gefühl, die Technik treibt Wirtschaft und Gesellschaft immer schneller vor sich her und keiner traut sich, nicht mit dem Strom zu schwimmen. Aber, Digitalisierung ist keine Heimsuchung oder Naturereignis, welchen man hilflos ausgeliefert ist. Es täte insofern gut, zwischendurch inne zu halten und sich zu fragen, ob jede neue Entwicklung sein muss. Nur weil etwas technisch machbar ist, ist es noch nicht sinnvoll. Darf es bei der Digitalisierung immer nur um wirtschaftliches Wachstum gehen? Und welchen Beitrag kann Digitalisierung dazu leisten, die Welt sozial gerechter und

nachhaltiger zu machen. Denn Digitalisierung an sich sollte niemals das Ziel sein, sondern immer nur ein Mittel zur Erreichung von Zielen.

Ich möchte deshalb die Überschrift meines Vortrages ändern. Digitalisierung ist weder Fluch noch Segen, sondern die digitale Technologie birgt große Chancen und große Risiken. Mehr denn je ist es deshalb notwendig hierüber offen in der Gesellschaft zu diskutieren. Entscheidend ist, wie wir die Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft gestalten und wie es uns gelingt, die Chancen möglichst zu nutzen und die Risiken zu minimieren.

Trotz dieser völlig neu entstehenden digitalen Welt sind und werden es nach meiner festen Überzeugung immer die Menschen sein, welche entscheidend für einen Erfolg oder einen Misserfolg sind.

Literaturverzeichnis

- [1] Der Spiegel 5/1982
- [2] Hartmut Hirsch-Kreinsen: Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen/Peter Ittermann/Jonathan Niehaus (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden 2015, S. 11.
- [3] Harald Welzer: Die smarte Diktatur. Der Angriff auf unsere Freiheit. S.Fischer Verlag, Frankfurt/Main 2016
- [4] <https://www.it-daily.net/it-management/digitale-transformation/19139-nie-wieder-wird-die-digitalisierung-so-langsam-sein-wie-heute>
- [5] https://www.bitkom-research.de/epages/63742557.sf/de_DE/?Object-Path=/Shops/63742557/Categories/Presse/Pressearchiv_2019/Digitalisierung_kommt_in_den_deutschen_Unternehmen_an
- [6] TÜV Rheinland, Berichte zum Breitbandatlas im Auftrag des BMVI 2013 bis 2018
- [7] http://www.bauinfoconsult.de/presse/pressemitteilungen/2019/bim_2019_studie_zeigt_wie_es_aktuell_am_bau_um_bim_bestellt_ist/11952
- [8] https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2018/11/Telekom_Digitalisierungsindex_2018_BAUGEWERBE.pdf

Die neue Bodenreform – Revitalisierung von Böden im Bestandsbau

Roger Genz, Korschenbroich

Zusammenfassung

In dem Beitrag werden Arten von Böden / Fußbodenkonstruktionen dargestellt sowie Grundlagen für die Planung von Revitalisierungen an Bestandsböden erläutert. Anhand von Praxiserfahrungen aus der Planungs- und Sachverständigentätigkeit werden Revitalisierungsmaßnahmen für Bodenkonstruktionen (Industrie- und Fußbodenkonstruktionen) in Bestandsbauten dargestellt und erläutert. Im Besonderen soll dabei aufgezeigt werden, welche funktionale Bedeutung den Bodenkonstruktionen innerhalb von gewerblichen Gebäuden zufällt, da auf diesen gewerblichen Nutzflächen wirtschaftlicher Erfolg realisiert werden soll. Derartige Fußbodenkonstruktionen können in Wohnbauten und in öffentlichen Gebäuden, Verwaltungsbauten, Museen, Theatern, Sportstätten revitalisiert werden. Für die Durchführung einer zielgerichteten Revitalisierung sind planmäßige Festlegungen und Kenntnisse über die Beschaffenheit des Bodens / der Fußbodenkonstruktion notwendig, um die Verwendungseignung des revitalisierten Bodens über den planmäßigen Nutzungszeitraum dauerhaft sicherzustellen.



Bild 1 revitalisiertes Büro- und Produktionsgebäude

1 Einleitung

1.1 Definitionen Boden / Fußboden / Estrich

Boden → Lockergestein. Der Boden ist ein Gemisch der Kornfraktionen Ton, Schluff, Sand und Kies [1]

Fußboden → künstlich befestigte, begeh- oder befahrbare ebene Fläche eines Innenraumes, deren oberste Schicht als Bodenbelag bezeichnet wird, wenn sie auf einem Unterboden aus andersartigem Material aufgebracht ist. Entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen, die an einen Fußboden gestellt werden, (z.B. sollen Fußböden rutschfest, schall- und wärmedämmend, feuchtigkeitsisolierend und gasdicht sowie widerstandsfähig gegen mechanische Beanspruchung, Chemikalien u.a. sein) [2]

Estrich → Schicht oder Schichten aus Estrichmörtel, die auf der Baustelle direkt auf dem Untergrund, mit oder ohne Verbund, oder auf einer zwischenliegenden Trenn- oder Dämmschicht verlegt wird, um eine oder mehrere der nachstehenden Funktionen zu erfüllen:

- eine vorgegebene Höhenlage zu erreichen
- einen Bodenbelag aufzunehmen
- unmittelbar genutzt zu werden [3]

1.2 Definition Revitalisierung

Revitalisierung → wieder kräftigen, funktionsfähig machen [4]

1.3 Definitionen Instandsetzung / Instandhaltung

Instandsetzung → Maßnahmen zur Wiederherstellung des zum bestimmungsgemäßen Gebrauch geeigneten Zustandes (Soll-Zustandes) eines Objekts,..... [5]

Instandsetzen → Wiederherstellen des Sollzustandes oder der vollen Gebrauchsfähigkeit eines Bauwerks oder Bauteils in einer Ausführung, die dem gegenwärtigen Stand der Technik entspricht, ohne verbessernden Charakter [6]

Instandhaltung → Maßnahmen zur Erhaltung des Soll-Zustandes eines Objekts [5]

2 Arten von Böden

2.1 Fußböden

2.1.1 Estriche

- Zementestriche (CT)
- Calciumsulfatestriche (CA)
- Magnesiaestriche (MA)
- Gussasphaltestriche (AS)
- Kunstharzestriche (SR)
- Trockenestriche

2.1.2 Bodenbeläge

2.2 Industrieböden

2.2.1 Betonböden

- unbewehrte Betonbodenplatten
- mattenbewehrte Betonböden
- stahlfaserbewehrte Betonböden
- kombiniert bewehrte Betonböden
- gewalzte Betonböden (Walzbeton)

2.2.2 zementgebundene Industrieestriche

2.2.3 magnesiagebundene Industrieestriche

2.2.4 kunstharzgebundene Industrieestriche und Reaktionsharz-Beschichtungen

2.3 Betonwerksteinbeläge

2.4 Fliesen- und keramische Bodenbeläge

- mechanisch hoch belastbare Bodenbeläge
- Bodenbeläge im Rüttelverfahren
- säurebeständige Fliesenbeläge

3 Grundlagen der Planung

3.1 Anforderungen an neuen Boden / Fußbodenkonstruktion

Ermittlung der Anforderungen an den neuen Fußboden im Bestandsbau. Muss der Bodenaufbau für die planmäßige Nutzung ein- oder mehrschichtig sein (Stichwort: Versorgungsleitungen im Fußbodenaufbau, Anforderungen an Wärmedämmung und / oder Trittschallschutz)? Soll der Boden unmittelbar nutzbar, also oberflächenfertig sein? Soll der Boden als tragfähiger Untergrund für einen nachfolgenden Nutz- und / oder gestalterischen Belag dienen? Ist ein für den planmäßigen Verwendungszweck „spezieller“ Boden mit besonderen Beschaffenheiten (Eigenschaften) erforderlich?

Aus den Anforderungen für die zukünftige Nutzung eines Bestandsbodens resultieren Einwirkungen und Beanspruchungen, die vollumfassend bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Bedeutend bei einem Boden sind beispielsweise Schlag- und Stoßfestigkeit, Verschleiß (Abrieb), Ebenheit, Rutschhemmung, Chemikalienbeständigkeit, Hygiene und Pflegeleichtigkeit.

Basierend auf der Erkenntnisgewinnung der Kommunikation mit dem Nutzer / Auftraggeber (Grundlagenermittlung) ist die weitere Planung für die Bodenrevitalisierung durchzuführen.

3.2 Einwirkungen und Beanspruchungen

Bei der weiteren Planung muss das Anforderungsprofil definiert werden (Soll-Zustand). Grundlagen dafür können die nachfolgend aufgeführten und möglicherweise auf den Fußboden oder Industrieboden einwirkenden unterschiedlichen Beanspruchungen sein.

Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke

→ DIN EN 1991-1-1/NA Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau

Nutzungsbedingte Beanspruchungen, die in Tabelle 1 der DIN 18560 Teil 7 – Hochbeanspruchbare Estriche (Industriestriche) – beschrieben sind. Zusätzlich müssen auftretende Rad- und Einzellasten aus Flurförderzeugen sowie die Art der Bereifung bekannt sein.

Statische Lasten, die andauernd ruhend auf den Industrieböden einwirken und von diesem aufgenommen bzw. in den tragenden Untergrund abgeleitet werden müssen:

- Dynamische Beanspruchungen (Fahrbeanspruchungen)
- Chemische Beanspruchungen
- Thermische Beanspruchungen
- Beschaffenheit der Oberfläche
- Optisches Erscheinungsbild
- Gefälle
- Ebenheit
 - DIN 18 202 – Toleranzen im Hochbau
 - DIN 15 185 – Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzeugen,
- Anforderungen an Böden, Regal und sonstige Anforderungen
 - Fugen
 - Risse
- Rutschsicherheit
 - DGUV Regel 108-003

Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr (früher BGR 181 Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit)

 - Einordnung nach DGUV Information 208-041 (früher BGI/GUV-I 8687) „Bewertung der Rutschgefahr unter Betriebsbedingungen“
- Elektrische Ableitfähigkeit
- Anforderungen an das Wasserhaushaltsgesetz – WHG
- spezielle Anforderungen
- Pflege und Wartung

Nachfolgend ist beispielhaft ein Anforderungsprofil Boden / Fußbodenkonstruktion mit den wesentlichen Parametern zur Konzeption eines nutzungsgerechten Bodens / Fußbodens dargestellt.

Produktion	Elektro	Papier	Kühlhaus
Werkstatt	AutoTextil	Tiefkühlhaus	
Lager	Chemie	Brauerei	Molkerei
Verkauf	Lebensmittel	Verzinkerei	Schlachtere
Ausstellung	Kunststoff	Getränke	
BüroMetall	Küche		
Großmarkt	Holz		
Sonstiges			

Vorschlag zur Ermittlung des Anforderungsprofils an den Boden



Bild 2 Betonwerkstein-Bestandsboden mit Fahrbeanspruchung

4 Planung / Zustandsfeststellungen

4.1 Beschaffenheit Bestandsfußboden

Anhand der für den „neuen“ Boden objektspezifisch ermittelten Einwirkungen und Beanspruchungen muss die objektspezifische Beschaffenheit der Bestands-Fußbodenkonstruktion (Ist-Zustand) untersucht und beurteilt werden. Dazu sind zuerst grundlegende Erkenntnisse zur Beschaffenheit erforderlich, explizit ob der zu revitalisierende Boden aus Beton oder die zu revitalisierende Fussbodenkonstruktion aus Estrich (Zementestrich, Calciumsulfatestrich, Gussasphalt-estrich, Reaktionsharzestrich) besteht. Im Falle einer Estrichkonstruktion ist die Bauart dieses lastaufnehmenden Untergrundes von Bedeutung. Handelt es sich bei der Bauart des Estrichs um einen Estrich im Verbund, einen Estrich auf Trennlage oder einen Estrich auf Dämmung (schwimmenden Estrich). Weitergehend müssen Kenntnisse über die Schichtdicken, die Materialbeschaffenheit sowie die jeweiligen dazugehörigen Materialkennwerte ermittelt werden.

4.2 Zustandsfeststellungen / Bauwerksuntersuchungen

- Sondierungsbohrungen
- Entnahme von Bohrkernen für Untersuchungen im Baustofflabor
- Entnahme von Estrichausbauplatten
- Ermittlung von Abreiß- /Oberflächenzugfestigkeiten



Bild 3 Bohrkernentnahmen aus Industrieboden



Bild 4 Bohrkernentnahmen aus Industrieboden



Bild 5 Entnahme Ausbauplatte aus Estrich



Bild 6 Ermittlung Oberflächenzug- und Haftzugfestigkeit

4.3 materialtechnische Untersuchungen im Baustofflabor

- Druckfestigkeit
- Biegezugfestigkeit

4.4 Beurteilung Beschaffenheit Bestandsboden / Prüfung Verwendbarkeitseignung

- Rückbau und Erneuerung
- Revitalisierung / Ertüchtigung

Wegen bauphysikalisch bedingter Abhängigkeiten von Materialien / Baustoffen, sollte der Faktor „Zeit“ schon in der Planungsphase und auch bei der Ausführung berücksichtigt werden.

5 Revitalisierungsmaßnahmen

5.1 Untergrundvorbehandlungsmaßnahmen

5.1.1 mechanische Untergrundvorbehandlungen

- Fräsen
- Hochdruckwasserstrahlen
- Feststoffstrahlen
- Kugelstrahlen
- Schleifen

5.2 Oberflächenbearbeitungsmaßnahmen

5.2.1 Auftragen / Applizieren / Ertüchtigen

- Aufbeton
- Spachtel- und Nivelliermassen
- selbstverlaufende mineralische Nutzbeläge
- Estriche / Hartstoffschichten
- Dünnestriche / Sonderkonstruktionen

- Applikation Reaktionsharz-Beschichtung
- Applikation Reaktionsharz-Belag
- Applikation Reaktionsharz-Estrich
- Fliesenbeläge

- Verbesserung Tragfähigkeit
 - Verbesserung Verschleißwiderstand / Abnutzungsvorrat

5.2.2 Verbessern / Optimieren

- Applikation Imprägnierung
- Applikation Versiegelung
 - Verbesserung Reinigungsfähigkeit
 - Verbesserung optisches Erscheinungsbild
- Schleifen und Planschleifen
 - Reduzierung Rauheit der Oberfläche
 - Verbesserung der Ebenheit

6 Praxisbeispiele

6.1 Revitalisierung Betonboden



Bild 7 Oberfläche Geschossdecke nach Abtrag Betonrandzone bis 6 cm mittels Hochdruckwasserstrahlen und Feststoffstrahlen der Bewehrung

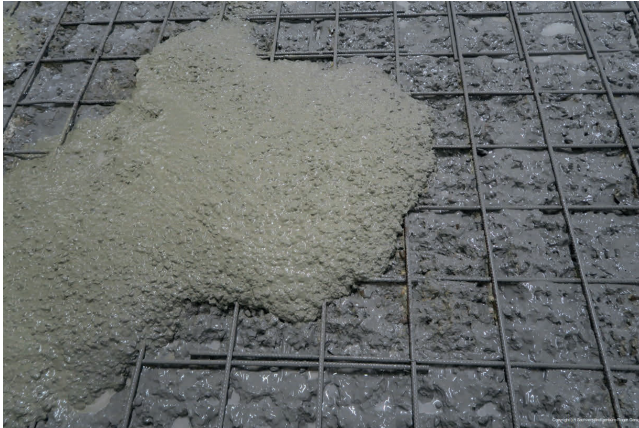


Bild 8 Oberfläche Geschossdecke nach Applikation Haftbrücke mit Korrosionsschutz und Beginn Betonierarbeiten Aufbeton

6.2 Revitalisierung Betonboden



Bild 9 Betonboden mit Fuge vor Revitalisierung



Bild 10 Betonboden mit Fuge nach Revitalisierung

Literaturverzeichnis

- [1] Rüdiger Wormuth, Klaus-Jürgen Schneider, Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen
- [2] BROCKHAUS Enzyklopädie, 19. Auflage
- [3] DIN EN 13318 – Estrichmörtel und Estriche Begriffe, Dreisprachige Fassung EN 13318:2000
- [4] DUDEN, Die deutsche Rechtschreibung, 27. Auflage
- [5] Locher / Koeble / Frik, Kommentar zur HOAI, 10. Auflage
- [6] Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie)
Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze

Fußbodensanierung mit mineralischen ternären Systemen

Rolf Diemer, Neudenu

Zusammenfassung

In den letzten 10 Jahren erleben wir sowohl im Industrie- und Gewerbebau als auch im Wohnungsbau einen deutlichen Trend zu natürlichen, mineralischen Fußböden. Betonböden und Zementestriche, hergestellt aus Normalzement, die seit Jahrzehnten schon als Industrieböden direkt genutzt werden, zeigen immer an der Oberfläche ein typisches Bild von Schwind- und Netzfissen. Diese sind auf das materialspezifische Schwind- und Verformungsverhalten von Bauteilen aus Normalzementen zurückzuführen. Auch die Zugabe flüssiger Zusatzmittel und die Optimierung der Mörtelrezeptur können das Schwindverhalten des Zementsteins und die daraus resultierenden Verformungen von Estrichen aus Normalzement nicht verhindern. Durch die Einführung ternärer Schnellzemente, die im Vergleich zu Normalzementen nur ein sehr geringes Schwindverhalten zeigen, können heute mineralische Sichtbeläge in Betonoptik und Terrazzoestriche hergestellt werden, die keine Oberflächenrisse und Verformungen aufweisen.

1 Einleitung

Über Jahrzehnte waren Kunstharzbeschichtungen auf der Basis von Polyurethanharzen (PU), Epoxidharzen (EP) oder Methylmethacrylatharzen (MMA) die Bodenbeläge für industriell genutzte Flächen. Im Gewerbe und Wohnungsbau wurden überwiegend elastische Bodenbeläge (PVC, Linoleum, ...) Teppiche, Fliesen oder Parkett verlegt.

In der Diskussion über Ressourcen, Nachhaltigkeit, Arbeitssicherheit und Recycling, bei gleichzeitig steigenden Entsorgungskosten für rückgebaute Bodenmaterialien, erleben mineralische Fußböden heute eine echte Renaissance. So

werden viele Fußböden in Industriehallen und in gewerblich genutzten Bereichen wieder als oberflächenfertige, mineralische Nutzbeläge hergestellt.



Bild 1 Betonboden mit einer Hartstoffschicht (Chemotechnik Abstatt GmbH)

2 Mineralische Beläge im Industrie- und Gewerbebau

Mineralische Beläge im Industriebau werden i.d.R. aus Normalzement, als Beton oder Estrich, mit und ohne Hartstoffschicht eingebaut, in mehreren Arbeitsgängen gescheibt, geglättet und nach entsprechender Nachbehandlung oftmals mit einer Imprägnierung versehen (Bild 1). Auf Wunsch kann die Oberfläche durch zusätzliche Arbeitsgänge mit Diamantschleifwerkzeugen vor Aufbringen eines Oberflächenfinishes aufpoliert werden, um eine hochwertigere Optik zu erreichen.

2.1 Mineralische Beläge im Objekt- und Wohnungsbau

Wir erleben heute eine steigende Nachfrage nach genau solchen, rein mineralischen Sichtbelägen im Objekt- und Wohnungsbau (Bild 2).

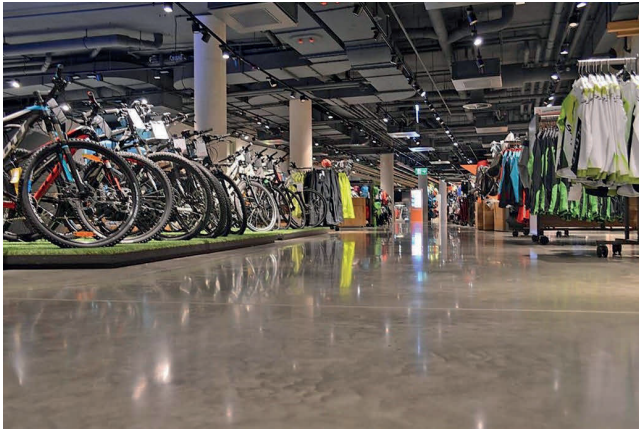


Bild 2 Polierter Estrich im Gewerbebau (Chemotechnik Abstatt GmbH)

Mineralische Bodenbeläge können heute über ein breites Spektrum von Materialien und unterschiedlichste Ausführungsvarianten hergestellt werden. Einen wesentlichen Beitrag hat hierzu der Fortschritt in der Entwicklung der Schleiftechnologie und entsprechender Diamantschleifwerkzeuge geleistet.

Wurden die echten Terrazzobeläge früher mit Korundsteinen von Hand und später mit einfachen Einscheibenmaschinen geschliffen, verfügen wir heute über unterschiedlichste Diamantschleifwerkzeuge und bis zu 400 kg schwere Schleifmaschinen, mit denen sowohl Trocken-, als auch Nassschliffe möglich sind.

Werden höhere optische Ansprüche an mineralische Sichtbeläge gestellt, werden diese oft als terrazzoähnliche Estriche ausgeführt. Durch die Wahl der Gesteinsarten (z. B. Granit, Basalt, Marmorsplitt, usw.), die variierbare Zusammensetzung der Korngrößen (3 mm – 16 mm) und den Einsatz von Pigmenten zur Farbgebung im Zementstein erschließt sich uns ein unbegrenztes Feld an optischen Gestaltungsmöglichkeiten für Terrazzoestriche (Bild 3).



Bild 3 Estrich in Terrazzooptik mit natürlichen Zuschlägen (Chemotechnik Abstatt GmbH)

Abhängig von der Grundfarbe des Zementes lassen sich nahezu weiße bis hin zu fast schwarzen Terrazzoestriche gestalten. Dies ist auch bei geglätteten und zusätzlich polierten Beton- und Estrichoberflächen möglich.

Ein großer Nachteil mineralischer Sichtestriche und Nutzbeläge die aus Normalzement (Portlandzement bzw. Portlandkompositzementen) hergestellt werden, ist das Schwindverhalten und die daraus entstehenden Schwind- und Netzrisse an der Oberfläche. Diese lassen sich technisch nicht vermeiden, sind bei Sichtestrichen aber ein echtes Ärgernis (Bild 4). Auch können bei der Reinigung Schmutz und schädigende Stoffe in die Risse eingetragen werden, welche den optischen Risseindruck noch verstärken und die Dauerhaftigkeit des Bodens beeinträchtigen.

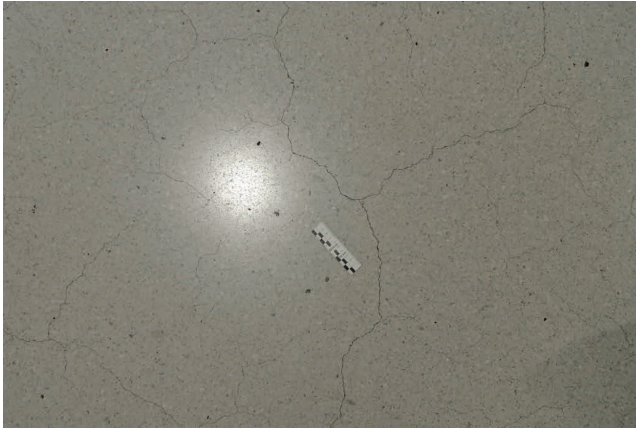


Bild 4 Netz- und Schwindrisse in zementären Oberflächen

3. Das Abbinde- und Schwindverhalten von Normalzement.

Betonbodenplatten auf Tragschichten sowie Estriche auf Dämm- oder Trennschichten werden in der Regel aus CEM I oder CEM II Zementen (Normalzemente nach DIN 197-1) hergestellt. Hauptbestandteil dieser Zementarten ist der Portlandzementklinker.

Portlandzementklinker besteht im Wesentlichen aus den silikatischen Klinkerphasen C3S und C2S sowie aus den aluminatischen Klinkerphasen C3A und C2(A,F), die beim Brennen der Ausgangsstoffe entstehen. Die Klinkerphasen unterscheiden sich sowohl in ihrer Reaktionsgeschwindigkeit als auch in ihrem Beitrag, den sie zur Festigkeitsentwicklung des Zementsteins leisten.

Tabelle 1 Hauptklinkerphasen CEM I

Klinkerphasen	Kurzbezeichnung	Formel	Kurzformel	Gehalt
Tricalciumsilicat	Alit	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S	40 - 80 %
Dicalciumsilicat	Belit	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S	2 - 30 %
Tricalciumaluminat	Aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	3 - 15 %
Calciumaluminatferrit	Aluminatferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C2(AF)	4 – 15 %

2.2 Hydratation von Portlandzement

Das Calciumaluminat C3A hydratisiert am schnellsten. Ohne Sulfatträger bildet sich kurz nach Wasserzugabe ein Calciumaluminathydrat (C₄AH_x) das blättrig in die wässrigen Zwischenräume kristallisiert und diese überbrückt, wodurch der Zementmörtel sofort ansteift und nicht mehr verarbeitbar ist.

Tabelle 2 Charakteristische Reaktionen der Hauptklinkerphasen CEM I [1]

Hydratation Klinkerphasen		(Beispiele, andere Phasenzusammensetzungen möglich)	
2 C ₃ A	+ 21 H ₂ O	→ C ₄ AH ₁₃ + C ₂ AH ₈	→ 2 (C ₃ AH ₆) + 9 H ₂ O (kein Sulfat)
Calciumaluminat			Calciumaluminathydrat
2 C ₃ A	+ 26 H ₂ O + 3 (CS H ₂)	→ 2C ₃ A · 3CS · 32H	(Sulfatzusatz)
	Calciumsulfat	Ettringit	(Calciumaluminat-Trisulfat)
C ₃ S	+ 7 H ₂ O	→ C ₃ S ₂ H ₄ + 3 Ca(OH) ₂	
Tricalciumsilicat		Calciumsilicathydrat	Calciumhydroxid
2 C ₂ S	+ 5 H ₂ O	→ C ₃ S ₂ H ₄ + Ca(OH) ₂	
Dicalciumsilicat		Calciumsilicathydrat	Calciumhydroxid

Zur Regelung des Erstarrungsverlaufs wird Zementen deshalb Calciumsulfat (Gemisch aus Gips CaSO₄·2H₂O sowie natürlichem Anhydrit CaSO₄) beigemischt. Bei ausreichender Sulfatzugabe (Calciumsulfat) entstehen an der Oberfläche des Zementkorns nadelförmige Ettringitkristalle 3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O (Trisulfat). Das Tricalciumsilikat (C₃S) hydratisiert deutlich schneller als das Dicalciumsilikat (C₂S). Die Hydratationsprodukte des C3S sind somit hauptsächlich für die Frühfestigkeit des Zementmörtels verantwortlich, während das C2S zur Festigkeitsentwicklung im höheren Alter beiträgt. Die aus C3S und C2S entstehenden Calciumsilikathydrate prägen im Wesentlichen die Endfestigkeit des Zementmörtels. [2]

2.3 Hydratationsverlauf bei Portlandzement

Unmittelbar nach der Wasserzugabe bilden sich auf der Oberfläche des Zementkorns (der Klinkerphasen) aus den gelösten Calcium- sowie Sulfationen und dem Calciumaluminat (C₃A) kurze, säulenförmige Ettringitkristalle, welche die Hydratation des Tricalciumsilikats C3S behindern und zeitweilig unterbinden (Bild 6). In dieser Phase (2 - 4 Stunden) kann der Zementmörtel (Beton) transportiert, gepumpt und verarbeitet werden (Bild 5).

Wenn das beigegefügte Calciumsulfat weitgehend verbraucht ist und sich der Ettringit (Trisulfat) teilweise in Monosulfat umwandelt, zerbricht die Barriere aus Ettringitkristallen und den anfänglich gebildeten, schwammartigen (kolloidalen) CSH-Primärkristalliten. Die Hydratation des Tricalciumsilikats wird stark beschleunigt.

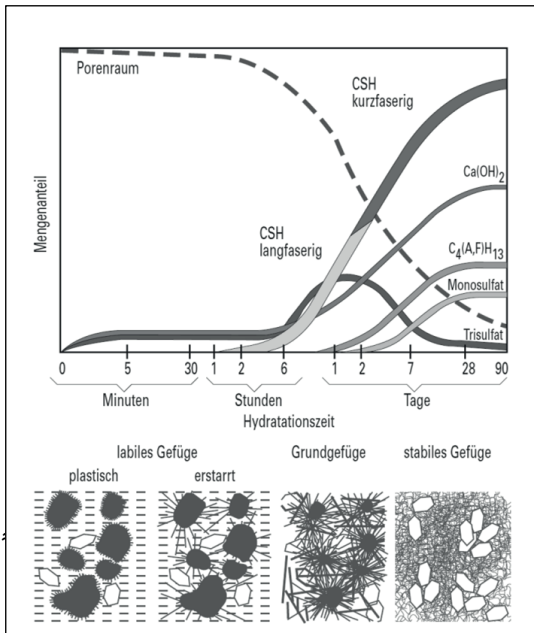


Bild 5 Schematische Darstellung der Bildung der Hydratphasen und der Gefügeentwicklung bei der Hydratation des Zements [3].

Es bilden sich büschelartige, langfasrige Calciumsilikathydratkristalle, plattige Calciumhydroxide und nadelförmige Ettringitkristalle, die den wässrigen Zwischenraum zwischen den Zementpartikeln überbrücken.

Der Zementmörtel erstarrt und beginnt langsam Festigkeit aufzubauen.

Im weiteren Hydrationsverlauf verdichten sich die Zwischenräume (Poren) zwischen den CSH-Kristallen durch weiteres Kristallwachstum und die Festigkeit des Zementsteins nimmt zu (Erhärtung) (Bild 7). Durch das immer kleiner werdende Porengefüge reduziert sich auch die Hydrationsrate.

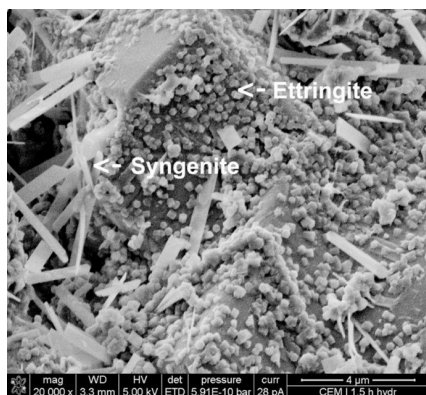


Bild 6 CEM I nach 1,5 h Hydratationszeit, Bildung von Ettringit und Syngenit

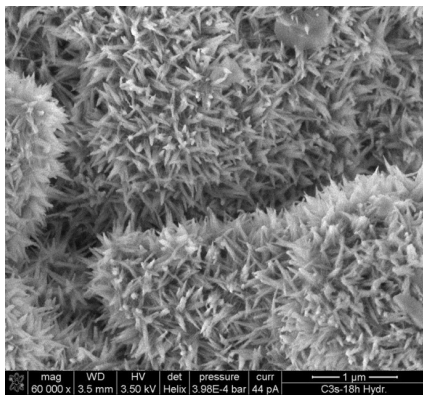


Bild 7 CEM I nach 18 h Hydratationszeit, Bildung nadelförmiger C-S-H Phasen

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Portlandzement nach einer Hydratationszeit von 1,5 und 18 Stunden (Bildquelle: Dr. B. Möser, Bauhaus-Universität Weimar)

2.4 Wasseranspruch bei der Hydratation

Für die vollständige Hydratation von Portlandzement kann ein Wasser-Zement-Wert von $W/Z \approx 0,4$ angenommen werden. Von diesen 40 M.-% Wasser (bezogen auf das Zementgewicht) werden bei der Hydratation ca. 25 M.-% chemisch in den Hydratationsprodukten als Kristallwasser gebunden. Weitere 12 - 15 M% Wasser werden in die kleinsten Räume zwischen den Zementkristallen (Gelporen 3 – 50 nm) eingelagert. Dieses Gel-Wasser ist aufgrund der polaren Eigenschaften des Wassers und der Größe der Gelporen physikalisch fest gebunden und kann dem Zementstein beim Trocknungsprozess unter natürlichen klimatischen Bedingungen nicht entzogen werden.

Damit sich Estrichmörtel und Betone vernünftig verarbeiten lassen, werden diese i. d. R mit W/Z -Werten von 0,5 - 0,7 hergestellt. Das beim Hydratationsprozess nicht benötigte Überschusswasser sammelt sich in den deutlich größeren Kapillarporen (0,01 - 50 µm) des Zementsteins (Bild 8).

Das Wasser in den Kapillarporen wird dem Zementstein beim Trocknungsprozess langsam entzogen und ist eine wesentliche Ursache für das Schwind- und Verformungsverhalten von Estrichen und Beton aus Normalzement.

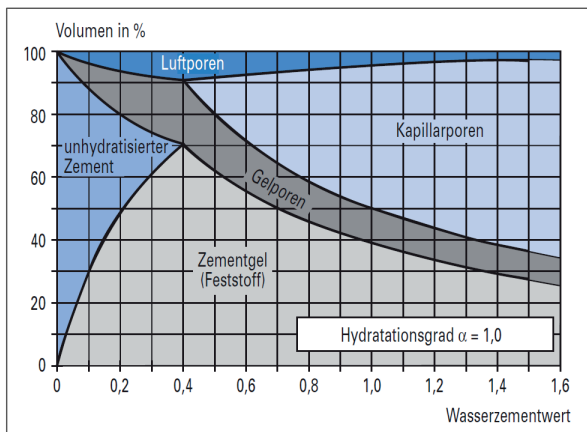


Bild 8 Zusammensetzung des Zementsteinvolumens in Abhängigkeit vom w/z-Wert, Bildquelle: VDZ Verein Deutscher Zementwerke e.V. [2]

3 Schwind- und Verformungsverhalten von Estrichen aus Normalzement

Das Schwind- und Verformungsverhalten von Estrichen aus Normalzement wird im Wesentlichen durch den Trocknungsprozess verursacht. Die zugrunde liegenden mikrophysikalischen Prozesse im Zementstein sind sehr komplex und werden hier nicht beschrieben.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass ein Zementestrich so lange schwindet bis seine endgültige Ausgleichsfeuchte erreicht ist. Die Dauer der Trocknung ist dabei von der Estrichdicke, der Estrichgüte (Dichte des Estrichgefüges) und den klimatischen Bedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftwechselzahl) abhängig.

Das bei der Hydratation des Zements in die Hydratationsprodukte eingebaute Kristall- und Gel-Wasser hat einen höheren Ordnungsgrad als freies Wasser, so dass bei der Hydratation eine geringe Volumenreduzierung (chemisches Schwinden ca. 0,1 mm/m) entsteht. Der weitaus größere Schwindanteil wird bei Zementestrichen durch den Trocknungsprozess verursacht (Trocknungsschwinden 0,4 - 0,7 mm/m) (Bild 9).

Zwar kann man versuchen, den Wassergehalt und damit das Kapillarporengefüge des Zementsteins durch Zugabe von Estrichzusatzmitteln zu reduzieren; dieser Vorgehensweise sind jedoch Grenzen gesetzt. Zum einen benötigt der Zement über einen längeren Zeitraum ausreichend Wasser, damit eine möglichst vollständige Hydratation stattfinden kann, zum anderen muss der Mörtel so

plastisch eingestellt werden, dass er sich auch handwerklich verarbeiten und verdichten lässt. W/Z-Werte $< 0,5$ sind deshalb bei Estrichmörteln aus Normalzement baupraktisch kaum umsetzbar.

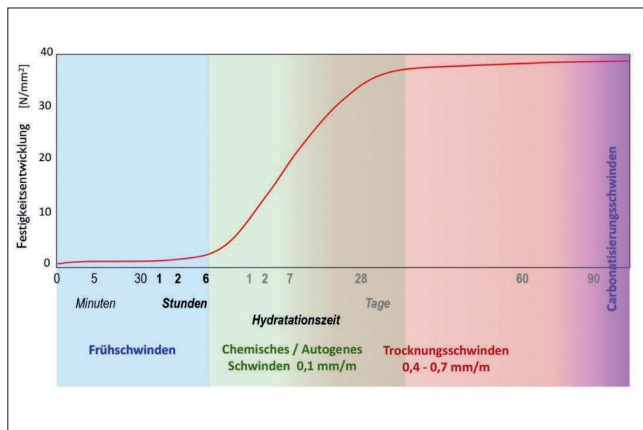


Bild 9 Schwindprozesse bei Zementestrich aus Normalzement

Die chemischen und physikalischen Schwindprozesse des Zementsteins prägen das makroskopische Schwind- und Verformungsverhalten von Zementestrichen aus Normalzement in bekannter Weise.

Zementestriche verkürzen sich im Zuge der Trocknung um $0,4 - 0,7 \text{ mm/m}$. Dies führt zu einer Aufweitung der Rand- und Feldfugen. Wird die Estrichplatte durch Einspannungen oder das zu große Eigengewicht (große Feldlängen) in der Schwindbewegung behindert, entstehen typische Schwindrisse.

Da Zementestriche nicht gleichmäßig über den gesamten Querschnitt trocknen, sondern die Trocknung i. d. R. von oben nach unten fortschreitet, führt der entstehende Feuchtegradient zu Aufschüsselungen im Fugen und Randbereich (Bild 10). Diese Verformungen können auch durch eine anfängliche Nachbehandlung nicht verhindert werden. Die entstehenden Aufschüsselungen sind auch nach Erreichen der Ausgleichsfeuchte (bei $T = 23^\circ\text{C}$ / rel. L. 50%) des Estrichs nicht vollständig reversibel.

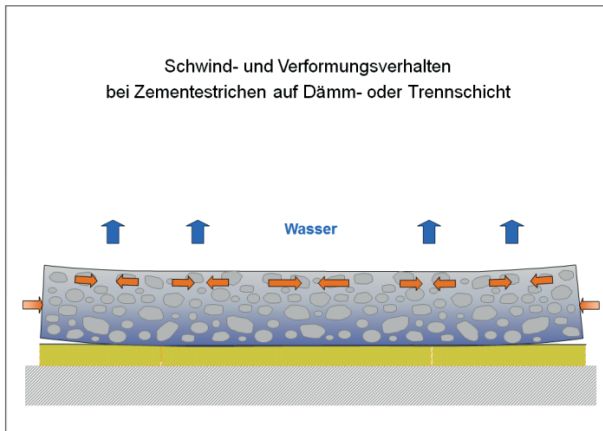


Bild 10 Schwind- und Verformungsverhalten von Zementestrichen aus Normalzement auf Dämm- oder Trennschicht

Bei Zementestrichen im Verbund wird das Schwinden durch den Verbund mit dem Untergrund behindert. Der zunächst an der Oberfläche des Verbundestrichs beginnende Schwindprozess erzeugt Schwindspannungen in der oberen Randzone, die sich durch entstehende Netzzrisse entspannen. Diese können sich im Zuge der weiteren Trocknung erheblich aufweiten und werden bei Sichtbelägen als sehr störend empfunden (Bild 11). Im Zuge der Nutzung können die Rissflanken brechen und Schmutz wird in die Schwindrisse eingelagert, wodurch sich der optische Eindruck der Rissbildung noch verstärkt.

Da durch den Haftverbund zum Untergrund in der unteren Randzone des Verbundestrichs keine Bewegung möglich ist, werden durch den Trocknungsprozess Spannungen in die Haftzone eingetragen. Ist die Verbundwirkung aufgrund ungenügender Oberflächenfestigkeit des Untergrundes oder ungenügender Untergrundvorbereitung nicht ausreichend, kann es zu Hohllagen und folglich Rissen im Verbundestrich kommen.

Gerade im Sanierungsfall treffen wir häufig auf Untergründe, die über keine ausreichende Betonqualität bzw. Oberflächenzugfestigkeit verfügen. Schäden an Zementestrichen im Verbund sind damit praktisch vorprogrammiert.

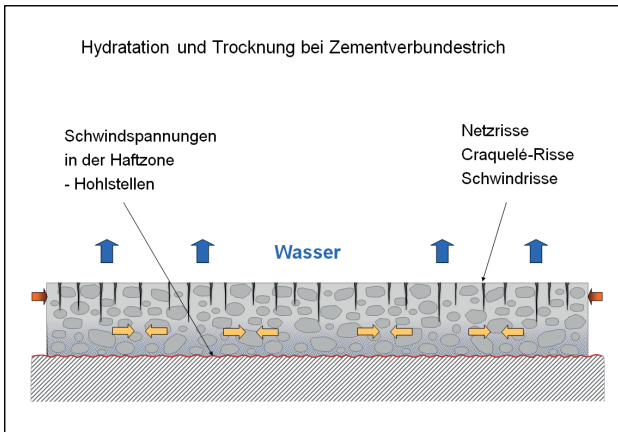


Bild 11 Schwind- und Verformungsverhalten von Zementestrichen aus Normalzement im Verbund

4 Ternärer Schnellzement

Durch eine gezielte Veränderung der Zusammensetzung der verschiedenen Phasenteile im Zement, können heute Schnellzemente rezeptiert werden, die gerade das oben beschriebene Schwind- und Trocknungsverhalten nicht mehr zeigen.

Ternäre Schnellzemente sind im Wesentlichen aus den drei Hauptbestandteilen Portlandzement (PZ), Tonerdezement (TZ) (Calciumaluminatzement (CAC)) und Calciumsulfat (CS) zusammengesetzt. Das Dreistoffsystem ergibt ein breites Spektrum an Möglichkeiten bezüglich der Zusammensetzung ternärer Bindemittel (Bild 12). Allerdings sind nur wenige Kombinationen zielführend und zeigen die gewünschten Eigenschaften wie hohe Festigkeit, Raumbeständigkeit und dauerhafte Wasserfestigkeit. Des Weiteren ist die Steuerung der Reaktionsabläufe durch Zugabe von Additiven sehr komplex.

Dennoch gibt es seit mehr als 20 Jahren zuverlässige und dauerhafte ternäre Bindemittel am Markt, die gerade bei der Herstellung von Estrichen und Sichtestrichen erhebliche Vorteile bieten.

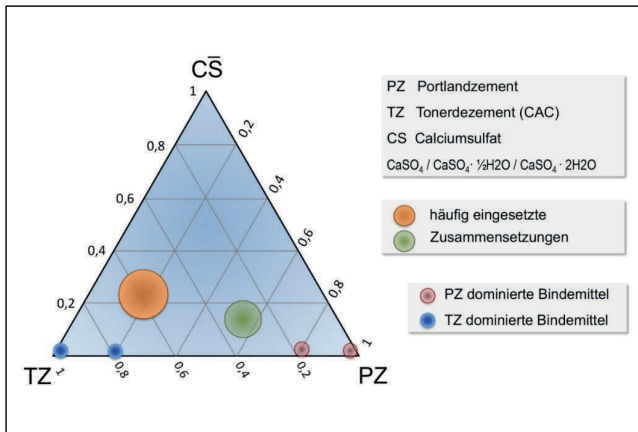


Bild 12 Dreistoffdiagramm für ternäre Bindemittel [4]

4.1 Besondere Eigenschaften ternärer Schnellzemente

- Durch den hohen Anteil an Calciumaluminat erfolgt der Hydratationsprozess sehr schnell. Der schnelle Festigkeitsaufbau bei ternären Schnellestrichen ermöglicht eine schnelle Belastbarkeit und Nutzung der Estrichflächen.
- Das beim Mischen des Schnellzementmörtels vorhandene Anmachwasser, bestehend aus der Feuchtigkeit der Gesteinskörnung und dem Zugabewasser, wird bei der schnellen Erhärtung ternärer Schnellzemente fast vollständig gebunden.
- Eine physikalische Trocknung wie bei Zementestrichen aus Portlandzement ist praktisch nicht erforderlich, wenn die Wasserbindemittelwerte eingehalten werden. Unabhängig von der Schichtdicke des Estrichs, kann folglich die Belegreife nach der vorgegebenen Zeitspanne zuverlässig erreicht werden.
- Der Zementstein von Estrichen, hergestellt aus ternärem Schnellzement, zeigt eine völlig andere Zusammensetzung an Hydratationsprodukten bzw. Zementkristallen als Zementstein aus Normalzement. Da fast das gesamte Anmachwasser gebunden wird und folglich keine physikalische Trocknung stattfindet, ist das Schwindmaß ternärer Schnellestriche deutlich reduziert. Netz- und Schwindrisse an der Estrichoberfläche sind i. d. R. nicht erkennbar.
- Bei Verbundestrichen aus ternärem Schnellzement werden deutlich geringere Spannungen in die Haftzone eingetragen als bei Estrichen aus

Normalzement. Das Risiko von Ablösungen und Hohlstellen durch Eigenspannungen im Estrich, kann dadurch minimiert werden.

Die Vorteile und besonderen Eigenschaften ternärer Schnellzemente werden auch im Merkblatt Nr. 14 „Schnellzementestriche und Zementestriche mit Estrichzusatzmitteln“ der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) des Industrierverbands Klebstoffe ausführlich beschrieben.

Tabelle 3 Zementestriche – Zusammenfassender Vergleich

Estrichart	Normzement	Normzement + EZM (3)	SZ-B (4)	SZ-T (5)
Eigenschaft				
Trocknungszeit (1)	lang	verkürzt	k. A. (4)	kurz
Festigkeitsentwicklung (1)	normal	k. A. (2)	schnell	schnell
Schwindkompensation (Spannung) (1)	nein	k. A. (2)	nein	ja
Trocknung – Dickenabhängigkeit	hoch	hoch	hoch	gering
Trocknung - Abhängigkeit vom Umgebungsklima	hoch	hoch	hoch	gering
(1): Maßgeblich für Belegreife (2): Wegen der stark unterschiedlichen Wirkungen der EZM ist keine pauschale Angabe möglich (3): EZM Estrichzusatzmittel (4): SZ-B binärer Schnellzement: Bei binären Bindemitteln handelt es sich um Zweistoffgemische aus Portland-/Normalzement und Aluminatzement sowie Additiven. Vom Anmachwasser wird nur ein Teil chemisch gebunden (Hydratation). Ein erheblicher Wasseranteil muss physikalisch verdunsten. Die Trocknung ist folglich von den Umgebungsbedingungen abhängig. (5): SZ-T ternärer Schnellzement (Quelle: TKB Merkblatt 14)				

5 Fazit

Durch den Einsatz von ternären Schnellzementen als Bindemittel können heute mineralische Fußböden sowohl im Industrie- und Gewerbebau als auch in optisch ansprechenden Bereichen als Sicht- bzw. Terrazzoestriche verlegt werden, die i. d. R. keine störenden Schwindrisse an der Oberfläche aufweisen. Die sehr schnelle Erhärtung, das geringe Schwindverhalten und die Formstabilität machen ternäre Schnellzemente zum idealen Bindemittel für Fußböden im Neubau und bei der Sanierung.

6 Einsatz von ternärem Schnellzement bei der Sanierung der „Cadolzburg“



Bild 13 Burghof der Cadolzburg

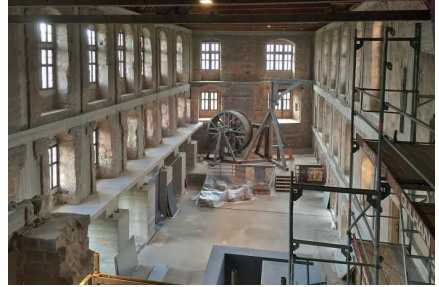


Bild 14 Stabilisierung des Gebäudes

Von 2005 bis 2018 wurde die im mittelfränkischen Markt Cadolzburg ansässige „Cadolzburg“ in zwei Bauabschnitten vollständig saniert und ist heute für Veranstaltungen und Ausstellungen frei zugänglich (Bild 13).

Teilweise mussten die Wände statisch ertüchtigt und Zwischendecken neu eingezogen werden (Bild 14). Der komplette Fußbodenaufbau musste erneuert werden. Die Bayrische Schlösserverwaltung wollte eine beheizte Fußbodenkonstruktion mit einem Sichtestrich in Terrazzooptik.

Die zahlreichen Leitungen auf den Fußböden wurden zunächst mit einem gebundenen Leichtausgleich, der gleichzeitig als Wärmedämmung dient, egalisiert. (Bild 15, 16)



Bild 15 Leitungen auf dem Rohboden

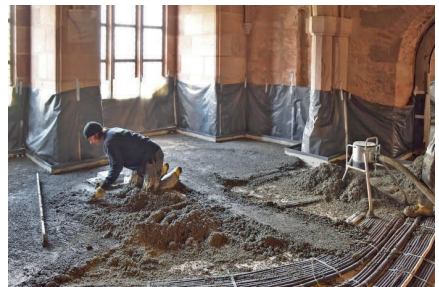


Bild 16 Gebundener Leichtausgleich

Die Heizleitungen wurden auf einer Trägermatte fixiert und Feld- und Randfugen angelegt (Bild 17). Auch bei Estrichen aus ternärem Schnellzement muss die thermische Dehnung durch Bewegungsfugen aufgenommen werden.

Der schwind- und spannungsarm erhärtende, ternäre Schnellzementestrich (RHEORAPID®Schnellzement / Chemotechnik Abstatt GmbH) wurde anschließend als Heizestrich eingebaut (Bild 18).

Dieser konnte nach 48 Stunden von den Folgegewerken wieder voll belastet werden. Der schwindarme Schnellzement wurde als Bindemittel eingesetzt, um mögliche Rissbildungen im Terrazzoestrich, der anschließend im Verbund verlegt wurde, zu vermeiden.



Bild 17 Heizleitung und Fugenprofile



Bild 18 Verlegung Heizestrich

Nach Durchführung des Funktionsheizens wurde der Heizestrich zur Aufnahme des Sichtestrichs vorbereitet. Um eine möglichst gleichmäßige Optik zu erhalten wurde der Mörtel für den „Terrazzoestrich“ im Zwangsmischer gemischt. Auch hier kam der ternäre Schnellzement RHEORAPID® als Bindemittel zum Einsatz.

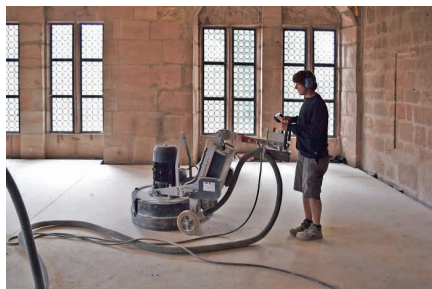


Bild 19 Trockenschliff beim Terrazzoestrich



Bild 20 Fertige Oberfläche

Nach zwei Tagen wurde die Oberfläche des Terrazzoestrichs in mehreren Arbeitsgängen bis aufs Korn geschliffen (Bild 19). Vorhandene Estrichporen wurden verspachtelt. Anschließend erfolgten weitere Polierschliffe bis zum Erreichen des gewünschten Glanzgrades.

Nach Reinigung der Flächen wurde ein silikatisches Oberflächenfinish appliziert, welches dem Anspruch an Optik und Reinigungs-fähigkeit speziell in diesem Objekt gerecht wird (Bild 20).



Bild 21 : Fertiggestellter Erkersaal



Bild 22 Historische Kunstaussstellung

Die Räumlichkeiten der Burg werden heute für Veranstaltungen, Konzerte und Tagungen sowie für eine historische Ausstellung genutzt (Bild 20, 21).

Literaturverzeichnis

- [1] J. Stark, B. Wicht, Anorganisch Bindemittel, Schriften der Bauhaus-Universität Weimar Nr. 109, 1998.
- [2] Vereins Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ), Zement Taschenbuch, 2002. 50. Ausgabe
- [3] F. W. Locher, Einfluss der Klinkerherstellung auf die Eigenschaften des Zements, *Zement-Kalk-Gips* 28, 265-272, 1975.
- [4] T. A. Bier, Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik. Die Aktuelle-Wochenschau© der GDCh – Bauen und Chemie 06, 2011.

Holz-Beton-Verbunddecken in der Sanierung

Jens Frohnmüller, Kassel



Zusammenfassung

Die Holz-Beton-Verbundbauweise stellt eine effektive Sanierungsmöglichkeit von Holztragwerken dar. Dieser Beitrag befasst sich sowohl mit der historischen Entwicklung als auch mit der statisch-mechanischen Wirkungsweise von Verbundtragwerken. Auf die baupraktische Ausführung von Holz-Beton-Verbund wird eingegangen und ein Leitfaden für die Planung einer Sanierung mit Holz-Beton-Verbund vorgestellt. In einem letzten Schritt werden drei Beispielobjekte präsentiert.

1 Grundlagen

Um einen Überblick über die Entstehung von Tragwerken in Holz-Beton-Verbund (HBV) Bauweise zu erhalten, wird im Folgenden ein Überblick über die historische Entwicklung von allgemeinen Holz-Holz-Verbundtragwerken gegeben. Da sich die Wirkungsweise eines Verbundtragwerks in Holz-Holz Bauweise im Grunde nicht von der eines Holz-Beton-Verbundtragwerks unterscheidet, werden Holz-Holz-Verbundtragwerke analog zur historischen Entwicklung zuerst dargestellt. Durch das Verständnis eines Verbundtragwerks wird die Holz-Beton-Verbundbauweise als nächster, logischer Schritt zur Verstärkung von Holz deutlich.

1.1 Historische Entwicklung von Holz-Holz-Verbund

Verbundtragwerke haben eine alte Tradition. Da die Dimensionen von Holz durch seinen natürlichen Wuchs in Länge, Höhe und Breite begrenzt sind, wurden von Zimmerleuten schon früh Techniken entwickelt, wie man dennoch große Spannweiten überbrücken oder hohe Lasten aufnehmen kann. Verbundtragwerke waren vor allem bei den Holztragwerke der Glockentürme oder große Versammlungsräume und repräsentative Hallen erforderlich.

So kam man früh auf die Idee die Balken nicht nur aufzudoppeln, sondern Sie durch eine Verdübelung miteinander zu verbinden und so den Tragwiderstand zu erhöhen. In der linken Abbildung ist eine Verzahnung zu sehen, durch welche sich beide Balken verkeilt haben. Im rechten Bild wurde eine Verdübelung ausgeführt, mit welcher ein Bogentragwerk überspannt und dieses so nach oben abgehängt wurde.

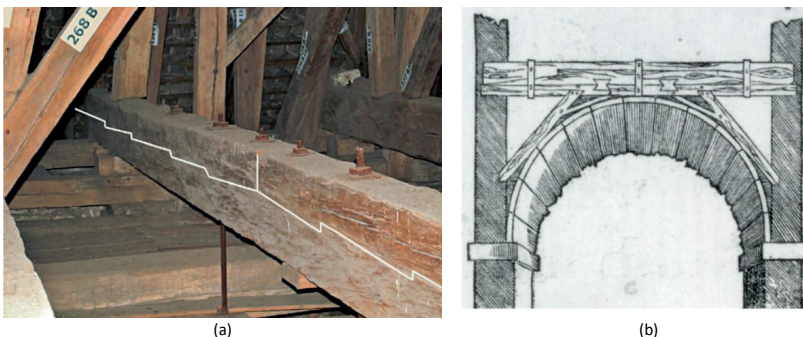


Bild 1 (a) Verzahnter Balken als Überzug aus [1], Verdübelter Balken im 16. Jh. aus [2]

Durch die Verdübelung erzielte man eine höhere Tragfähigkeit als wenn man die Balken lose übereinander stapeln würde.

Durch die Entwicklung der Klebetechnologie im 20. Jahrhundert wurden dem Ingenieurholzbau gänzlich neue Möglichkeiten eröffnet. Es war nun möglich sehr hohe Träger herzustellen wodurch die Begrenzung der Spannweiten durch den natürlichen Wuchs des Holzes an Bedeutung verlor. Darüber hinaus konnten Querschnitte beinahe beliebig miteinander verbunden werden. Es wurden I-Querschnitte, T-Querschnitte und Kastenträger entwickelt, vgl. Bild 2. Ein weiterer Vorteil der zusammengesetzten Querschnitte ist, dass im Vergleich zu Vollholzquerschnitten viel Material eingespart werden konnte, da das Material genau dort eingesetzt wurde, wo es statisch erforderlich ist. Durch den schlanken, hohen Steg wird statische Höhe gewonnen und die angeschlossenen Flansche bilden nehmen die Druck- und die Zugkräfte auf.

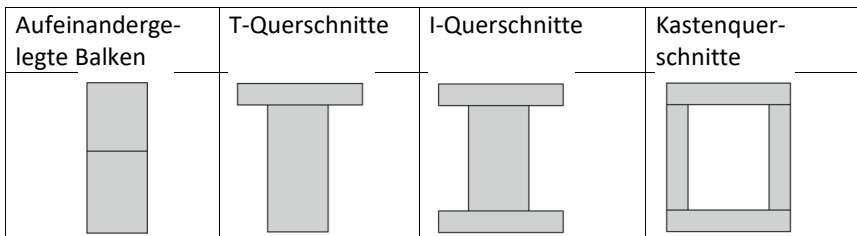


Bild 2 Geometrien von zusammengesetzten Verbundquerschnitten aus Holz

Heute gibt es grundsätzlich zwei Arten einzelne Teilquerschnitte zu Verbundtragwerken zusammenzusetzen. Zum einen können die einzelnen Querschnitte durch mechanische Verbindungsmittel miteinander verbunden werden. Hierbei handelt es sich um einen **nachgiebigen Verbund**. Die Biegesteifigkeit dieser gemeinsam wirkenden Querschnitte wird maßgeblich durch die Steifigkeit (in Zulassungen repräsentiert durch den sogenannten K_{ser} -Wert) der verwendeten Verbindungsmittel bestimmt. In der Sanierung werden Tragwerke in der Regel durch mechanische Verbindungsmittel (VM) wie HBV-Schrauben, Nocken oder Bolzen hergestellt und können somit den nachgiebigen Verbundtragwerken zugeordnet werden.

Neben der Möglichkeit des nachgiebigen Verbunds können durch Verwendung geeigneter Klebstoffe, die einzelnen Querschnittsteile miteinander verklebt werden. Diese Verbindung wird aufgrund der geringen Nachgiebigkeit der dünnen Klebeschicht als **starrer Verbund** bezeichnet. Ein Brettschichtholzträger ist also auch ein Verbundtragwerk, bei welchem der Querschnitt sich aus starr

verbundenen Brettlamellen zusammensetzt. Am Beispiel eines T-Querschnitts sind in Bild 3 beide Verbundarten dargestellt.

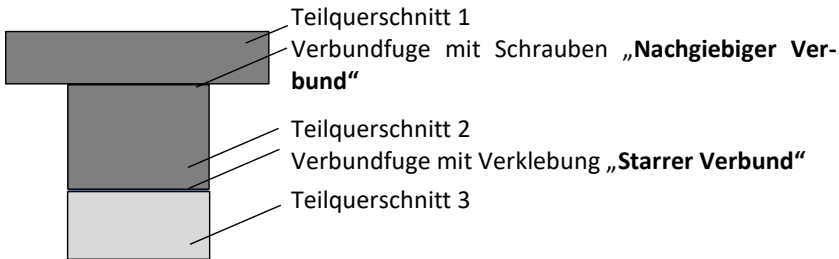


Bild 3 Bestandteile eines Verbundquerschnitts mit Schrauben und Verklebung

1.2 Wirkungsweise eines Verbundtragwerks

Das Tragverhalten und der Einfluss der Verbundfugensteifigkeit lässt sich anschaulich anhand von Bild 4 erläutern. Es ist der typische Fall eines Deckenbalkens dargestellt, welcher an den Trägerende aufgelagert ist. Die Abbildungen a) bis c) unterscheiden sich lediglich durch eine unterschiedliche Ausführung der Verbundfuge. Die Belastung und die Querschnittsabmessungen ändern sich nicht.

Bild 4(a) zeigt zwei lose übereinander gelegte Balken. Durch die Belastung der Balken werden zwei Verschiebungen hervorgerufen. Einerseits die Durchbiegung f in Feldmitte, sowie eine Relativverschiebung beider Balken am Trägerende Δd . Die beiden Querschnitte sind nicht miteinander gekoppelt und die Kontaktflächen können sich gegeneinander verschieben. In der Normalspannungsverteilung, welche direkt daneben dargestellt ist, ist zu sehen, dass jeder Querschnitt sowohl einen Druckbereich als auch einen Zugbereich besitzt.

In Bild 4(b) hingegen sind die Balken durch eine beliebige Art der Verkeilung / Verdübelung miteinander gekoppelt. Es ist zu erkennen, dass weniger Relativverschiebung der beiden Querschnitte möglich ist, da sie sich nicht mehr unabhängig voneinander verformen können. Die Querschnitte sind miteinander gekoppelt. Das hat zur Folge, dass die Verbindungsmittel in der Fuge nun auf Abscheren beansprucht werden.

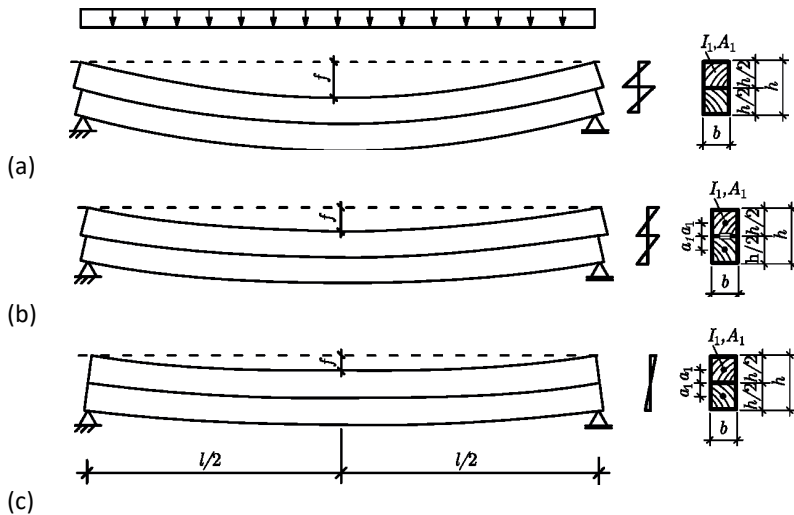


Bild 4 Zusammenwirken von Querschnitten, (a) zwei Einzelquerschnitte ohne Verbund, (b) nachgiebiger Verbund, (c) starrer Verbund [3]

Durch die Kopplung der beiden Querschnitte hat sich sowohl die Biegesteifigkeit als auch die Tragfähigkeit im Vergleich zu den losen übereinander liegenden Balken deutlich erhöht. Das Widerstandsmoment ist größer geworden, die Durchbiegung in Feldmitte hat sich reduziert und die Normalspannungen in den Querschnitten sind geringer geworden, da der innere Hebelarm durch den Verbund vergrößert hat.

Es lässt sich also feststellen, dass durch die Verbindungsmittel das Verbundsystem einerseits **tragfähiger**, also auch **steifer** wird. Je höher der Widerstand eines Verbindungsmittel auf Abscheren ist und je besser die Relativverschiebung verhindert wird, desto effektiver wird das Verbundsystem.

Der untere Querschnitt ist überwiegend auf Zug, der obere auf Druck beansprucht. Durch die Vergrößerung der statischen Höhe bzw. des inneren Hebelarms werden die Randspannungen kleiner. Durch eine nachträgliche Verstärkung kann ein Balken also sogar entlastet werden, da die Maximalbeanspruchung am unteren Querschnittsrand durch den Verbund abnimmt.

In Bild 4 (c) ist der Grenzfall des starren Verbunds dargestellt, so wie er z.B. durch eine Verklebung erreicht werden kann. Beim starren Verbund wird die kleinste Durchbiegung in Feldmitte erzeugt und die größte Tragfähigkeit erreicht. Baustellenverklebungen benötigen in Deutschland jedoch einer speziellen Zulassung

des Handwerkers (ugs. „Leimgenehmigung“). Zudem muss bei einer Verklebung ein durchgängiger Kontakt der beiden zu verklebenden Bauteile gewährleistet werden, was aufgrund der Verformungen der Bestandsbalken ohne eine Verpressung meist nicht zu gewährleisten ist.

1.3 Entstehung von Holz-Beton-Verbund

Egal ob in Frankfurt, Berlin, München oder Hamburg: In allen Städten und Ballungszentren ist bezahlbarer Wohnraum knapp. Da die Wachstumsmöglichkeiten in die Breite oft begrenzt sind, wird die Gewinnung von Wohnraum durch urbane Verdichtungsmaßnahmen immer wichtiger. Ungenutzte Bestandsgebäude und ehemalige Industrieflächen werden revitalisiert und unter großem Aufwand wieder nutzbar gemacht.

Eine vergleichsweise einfache Möglichkeit der innerstädtischen Verdichtung ist Trockenspeicher und ungenutzte Dachgeschosse, welche zu Tausenden in jeder Stadt vorhanden sind, auszubauen.



Bild 5 Urbane Wohnraumgewinnung durch Sanierung eines Trockenspeichers [4]

Jedoch sind die Anforderungen an die Wohnqualität in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen. Konsequenz ist, dass oftmals nicht die Tragfähigkeit einer Decke die Bemessung bestimmt, sondern die Anforderungen an die Wohnqualität und die Bauphysik. Diese Anforderungen können in den meisten Fällen von reinen

balkenförmigen Holz-Holz-Verbundsysteme nicht erfüllt werden. Hier sind im Besonderen Aspekte wie Deckenschwingungen, Schallschutz und Brandschutz zu nennen.

Zur Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften ist es daher meistens unumgänglich mehr Masse in das System einzubauen und das Tragwerk schwerer zu machen. In der Vergangenheit wurden oft schwere Zwischenbalkenschüttungen eingebracht, während mittlerweile eine starke mineralische Deckschicht (z.B. Zementestrich) gegossen werden. Letztere sind i.d.R. in jedem Fall erforderlich, um einen Fußboden verlegen zu können. Durch die zusätzliche Last wird der Holzbalken jedoch zusätzlich beansprucht, was hinsichtlich des Nachweises der Tragfähigkeit zum Problem werden kann.

Durch das Erfordernis der zusätzlichen Masse war der nächste logische Schritt in der Entwicklung der Verbundtragwerke, den ohnehin vorhandenen Estrich statisch mittragen zu lassen. Die Betonplatte wird durch Verbindungsmittel mit den Holzbalken gekoppelt und nun hauptsächlich auf Druck beansprucht. Der Beton eine sehr hohe Druckfestigkeit besitzt und zudem ein verhältnismäßig günstiges Baumaterial ist, eignet er sich besonders gut für den Einsatz in einem Verbundtragwerk. Der Holzträger ist kombiniert auf Biegung und Zug beansprucht. So wurde das Holz-Holz-Verbundsystem optimiert und zu einem Holz-Beton-Verbund System gemacht.

Durch den aufgetragenen Beton entsteht zudem eine Quertragwirkung und eine Scheibenwirkung, was Vorteile hinsichtlich einer Aussteifungsberechnung bringt. Ein weiterer Vorteil von HBV ist, dass nachfolgende Gewerke auf einen ebenen Rohfußboden arbeiten können, wo vorher oft große Verformungen vorhanden waren (z.B. durch Setzungen des Baugrunds, Schäden an Balkenköpfen oder Kriechverformungen). Je nach Anforderung kann durch die Sanierung mit HBV sogar ein belagreifer Rohfußboden erzeugt werden wie es im Falle der Sanierung des Konstanzer Finanzamts ausgeführt wurde [5].

Erste Ansätze den Verbund zwischen Holz und Beton herzustellen sind in Bild 6 zusammengestellt.

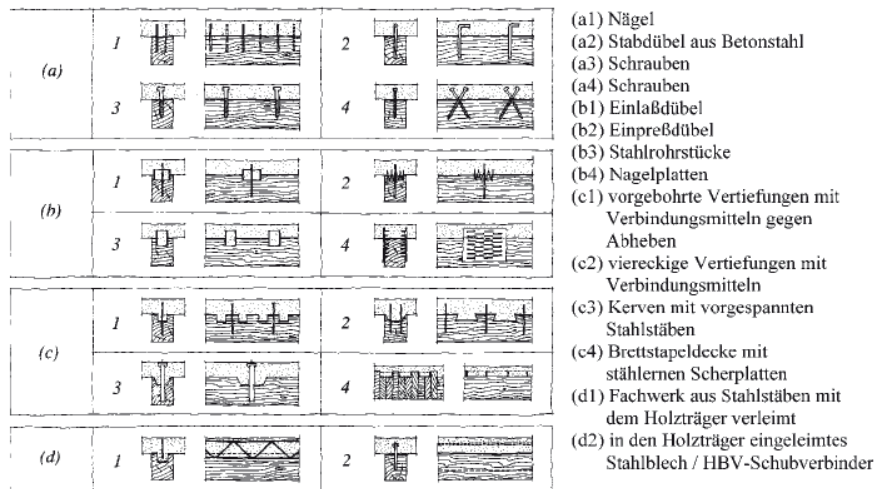


Bild 6 Verschiedene Verbindungsmittel für den Holz-Beton-Verbund [6]

Für die Sanierung haben sich vor allem die Schrauben und Stahlrohrstücke bewährt. Diese Verbindungsmittel wurden von Fachfirmen und Universitäten weiterentwickelt und ETA Zulassungen erworben. Dem Autor sind drei ETA Zulassungen für den Holz-Beton-Verbund bekannt, welche in aufgeführt sind (Stand Juni 2019).

	Zulassungsinhaber	Angebot zur Planung	Angebot zur Herstellung	Software
SFix 1	Elascon GmbH [7]	✓	✓	FEM
SFix 2	Elascon GmbH [7]	✓	✓	FEM
Hybrid-nocke	Elascon GmbH [7]	✓	✓	FEM
ASSY VG	Adolf Würth GmbH & Co. KG [8]	X	X	Analyt.

Prinzip HBV-System Standarddecke
 "HBV-S" (mit prinzipiellem Boden-Aufbau
 und Decken-Verkleidung)

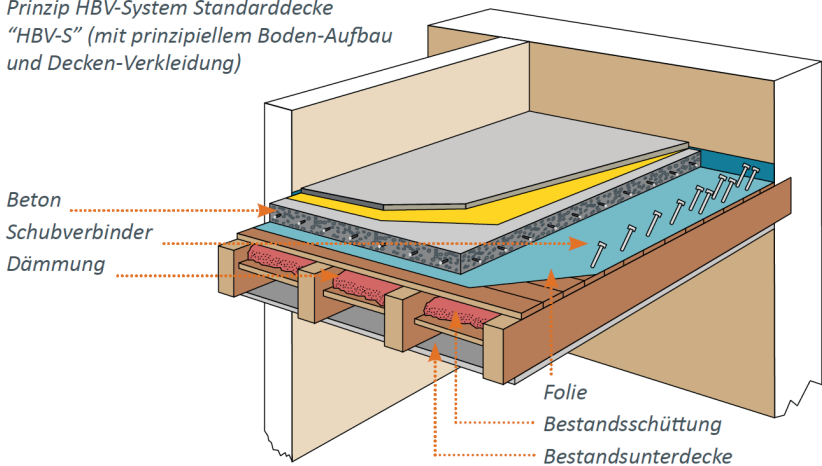


Bild 7 Prinzipskizze einer HBV-Decke [4]

Für gleiche Randbedingungen wie die zulässige Einbindelänge im Holz l_{ef} und die Rohdichte von 380 N/mm^2 werden die Schrauben im Folgenden gegenübergestellt und können so verglichen werden.

	$l_{ef} [\text{mm}]$	$T_k [\text{N}]$	$K_{ser} [\text{N/mm}]$
SFix 1	100	11.000	10.300
ASSY VG	100	6.042	10.000
SFix 2	170	17.100	13.200
Hybridnocke	-	35.000	19.300

1.4 Sanierung mit HBV-Schrauben

Die Sanierung erfolgt, indem Schrauben unter 45 Grad zum Auflager hin geneigt in die Holzbalken eingeschraubt werden. Die Schrauben können einreihig, zwei- oder mehrreihig eingebracht werden, wobei sich die Menge der Schrauben am Querkraftverlauf des statischen Systems orientiert, vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Dadurch werden eine optimale Ausnutzung und ein effizienter Einsatz der Verbindungsmittel erreicht.

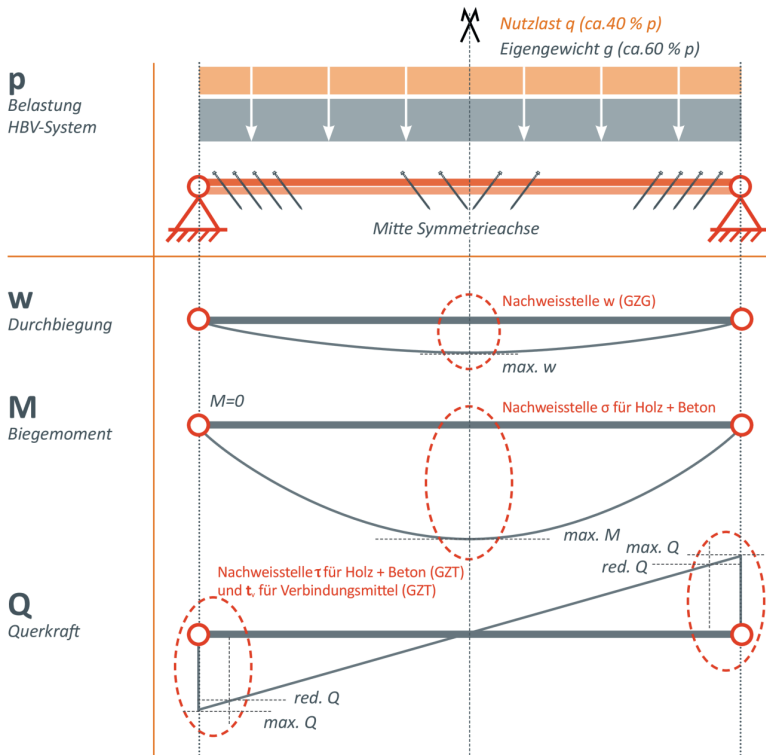


Bild 8 Statisches System, Belastung und Schnittgrößen eines HBV Einfeldträgers mit zugehörigen Nachweisstellen für die Bemessung [4]

Da die Schnittgrößen sich mit der angenommenen Schraubenanzahl ändern, wird im Idealfall die Berechnung durch mehrmalige Iteration optimiert. So kann der effizienteste und ideale Schraubenbedarf ermittelt werden.

Für eine einfache Berechnungen empfiehlt sich das sog. γ -Verfahren nach EC 5-Anhang B [9], welches jedoch nur unter bestimmten Randbedingungen gilt. Einzellasten wie Sie in einem Dach in Form von Pfosten oder Streben vorkommen können mit dem γ -Verfahren nicht berechnet werden. Bei Spannweiten von fünf bis sieben Metern, werden in der Regel etwa 15 bis 20 Verbindern pro Quadratmeter benötigt. Das Langzeitverhalten von HBV Konstruktionen ist aufgrund zeitabhängiger Parameter wie Kriechen, Schwinden und Relaxation ein wichtiger Teil

der Bemessung. Das Langzeitverhalten lässt sich durch verschiedene Modifikationen berücksichtigen, siehe [10], [11].

Aufgrund konstruktiver Erfordernisse wie der Rissbreitenbegrenzung beim Anfangsschwinden des Betons, wird üblicherweise eine Grundbewehrung mit dem Durchmesser 8mm, alle 20cm in beide Richtungen verlegt. Da die Betonplatte, wie schon in Abschnitt 1.2 dargestellt, hauptsächlich auf Druck beansprucht ist, wäre eine Bewehrung aus statischen Erfordernissen grundsätzlich nicht notwendig.

Der mittlere Bewehrungsbedarf der konstruktiven Grundbewehrung mit Stabstahl beträgt bei der typischen HBV Decke etwa 4 kg/m^2 . Die Decke kann in der Regel nach etwa drei Tagen begangen werden und bauzeitliche Unterstützungen nach 14 Tagen Aushärtezeit entfernt werden. Zu diesem Zeitpunkt hat der Beton etwa 80% seiner Sollfestigkeit erreicht.

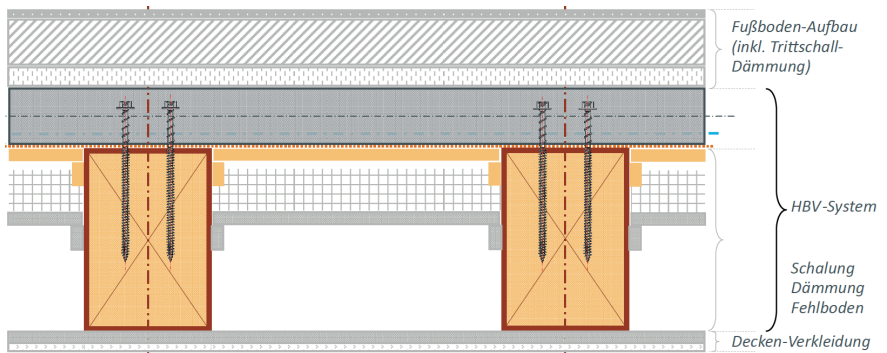


Bild 9 Querschnitt und Deckenaufbau einer typischen Holz-Beton-Verbunddecke [4]

1.5 Holz-Beton-Verbund Deckenquerschnitte im Ingenieurholzbau

Zur Ausführung gibt es verschiedene Möglichkeiten von Deckenquerschnitten. Welcher Deckenquerschnitt am geeignetsten für das jeweilige Projekt ist kann von folgenden Randbedingungen abhängen:

- Rahmenbedingungen der Ausführung (Aufwand, Zeit, Kosten, ...)
- Höhe des geplanten Rohfußbodens und respektive der gewünschten Raumhöhe
- Bestehende Verformung der Bestandsdecke
- Vorhandensein einer Schüttung zwischen den Balken
- Querschnittsabmessungen der Bestandsbalken

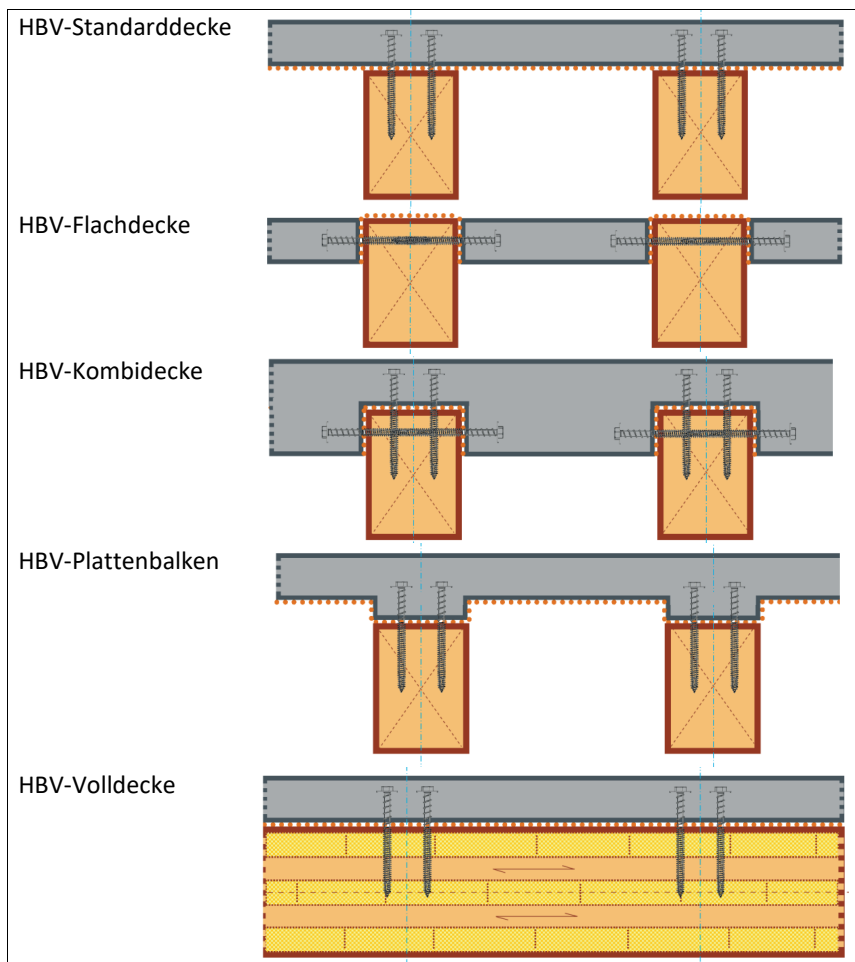


Bild 10 Querschnittsformen vom HBV-Decken beispielhaft dargestellt mit Schrauben als Verbindungsmittel [4]

Beispiel 1:

Im Dachboden einer Mietskaserne soll neuer Wohnraum geschaffen werden. Aus Kostengründen sollen die Mieter im darunterliegenden Geschoss für die Bauzeit in den Wohnungen verbleiben und nicht vorrübergehend ausquartiert werden. Die Balken sind im Durchschnitt auf 8m Länge frei gespannt und liegen

auf Mauerwerkswänden auf. Zwischen den Balken befindet sich eine Lehm-Stroh-Schüttung. Auf die Balken wurden einfache 2cm-starke Dielenbretter aufgenagelt und der Dachboden wurde hauptsächlich als Lagerspeicher für ausran-gierte Möbel genutzt. Die Balken liegen im Abstand von 60cm, haben Quer-schnitte von 16x22 cm und weisen keine nennenswerten Verformungen auf.

In diesem Falle wird die HBV Standarddecke das Mittel der Wahl sein. Sie zeich-net sich durch die geringste Bauzeit aus und erfordert keine vorangehenden Schalungsarbeiten. In diesem Falle werden die Balkenlagen an den Auflagern an-gezeichnet und eine Folie zweilagig ausgerollt, um ein Wegfließen des Frischbe-tons während der Betonierung zu vermeiden. Da der Dielenboden durchgängig liegt und die Zwischenbalkenschüttung nicht herausgenommen werden muss, werden die Schrauben einfach durch den Dielenboden in die Holzbalken einge-dreht. Der selbstverdichtende Frischbeton wird mit einer Estrichpumpe mit Schlauch durch ein Dachflächenfenster eingebracht und mit einer Stange glatt-gezogen. Im darunterliegenden Geschoss sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Es kann während der gesamten Bauzeit bewohnt werden.

Beispiel 2:

Eine unter Denkmalschutz stehenden Villa wird von einem Immobilienbüro er-worben und soll als Büro und Ausstellungsfläche genutzt werden. Die Baustruk-tur Stuckdecken müssen zwingend erhalten bleiben weshalb die Sanierung in je-dem Fall „von oben“ erfolgen muss.

Die Balken weisen jedoch sehr große Verformungen auf infolge früheren Schä-den durch Feuchte und Umbauten. Es muss jedoch aufgrund der geplanten Nut-zung ein ebener Fußboden erzeugt werden. Wenn jedoch die komplette Fläche mit Beton ausgefüllt werden würde, wäre die Last infolge des Betoneigenge-wichts zu groß für die Bestandsbalken.

Aus diesem Grund würden hier zwei verschiedene Deckensysteme zum Einsatz kommen: der HBV-Plattenbalken und die HBV-Flachdecke. In Bereichen großer Verformungen würde lediglich direkt über dem Balken ein Betonsteg erzeugt werden. Aus dem Erfordernis, dass die Schüttung mineralisch gebunden sein muss, können die Bereiche zwischen den Balken mit Schaumbetonen ($\rho = 110 \text{ kg/m}^3$) ausgefüllt werden.

In Bereichen, in welchen die Balken sehr hoch liegen, würde die Flachdecke zum Einsatz kommen, durch welche Raumhöhe gespart werden kann.

Diese Art der Sanierung erfordert mehr Zeit, da die Plattenbalken geschalt wer-den müssen und die Verlegung der Bewehrung ebenfalls mehr Zeit benötigt. Sie

ist im Falle großer Verformungen notwendig und wenn einzelne Balken nicht ausgetauscht oder ersetzt werden können.

2 Holz-Beton-Verbund in der Sanierung

Kein Bauvorhaben gleicht dem anderen. Ob eine HBV Decke für das eigene Bauvorhaben notwendig ist, muss jeder Bauherr oder Planer entscheiden. Im Abschnitt 2.1 wird daher ein Überblick über die Gründe gegeben, welche für und gegen eine Sanierung mit Holz-Beton-Verbund sprechen. Es wird auf den Planungs- und Bauprozess eingegangen und die Randbedingungen vorgestellt, welche bei einer Sanierung zu beachten sind. Alle hier vorgestellten Empfehlungen sind als Leitfaden, nicht als vollständige Aufzählung zu verstehen, da jedes Bauvorhaben individuell ist.

2.1 Grundlagenermittlung und die Frage „Wann ist eine HBV-Decke sinnvoll?“

Die Notwendigkeit einer Sanierung mit Holz-Beton-Verbund kann sich unterschiedlichen Gründen ergeben. Dies können entweder *harten* Kriterien wie ein nicht erfüllter statischer Nachweis der Holzbalkendecke oder besondere Anforderungen des Brandschutzkonzeptes oder eher *weiche* Kriterien sein. Mit *weichen* Kriterien sind vor allem Anforderungen an die allgemeine Wohnqualität gemeint, welche durch Deckenschwingungen oder einen unzureichenden Schallschutz beeinträchtigt werden kann.

Tragfähigkeit

Eine HBV Decke ist eine vergleichsweise einfache Möglichkeit die Trag- und Verformungseigenschaften bestehender Tragwerke zu erhöhen. Dies ist vor allem bei höheren Lasten infolge Umnutzung des Gebäudes oder hohen Scheibensteifigkeiten, z.B. in Erdbebengebieten, wichtig.

Brandschutz

Im Brandschutzkonzept leistet eine HBV Decke einen wichtigen Beitrag. Durch eine 8cm-starke Betonplatte kann eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten (REI 60) erzeugt werden [12].

Die Betonplatte wirkt raumabschließend und der Rauch kann sich nicht zwischen den Etagen ausbreiten, wodurch auch verhindert wird, dass das Feuer zwischen einzelnen Geschossen überschlägt. Aufgrund des behinderten Brandüberschlags verkohlen die Holzbalken lediglich, anstatt zu brennen. Durch die geringere

Rohdichte der Verkohlung wird das Innere des Holzbalkens von Temperatur und Feuer geschützt. Der Kern des Balkens behält seine Tragfähigkeit.

Wohnqualität durch Schallschutz:

Für Gebäude, welche durch unterschiedliche Parteien genutzt werden, ist ein ausreichender Schallschutz von großer Bedeutung. Nach [13] wird mit einer HBV Decke ein rechnerische Werte von 60 dB erreicht und so die Wohnqualität deutlich erhöht.

Schwingungen

Aufgrund der erhöhten Biegesteifigkeit werden die Schwingungseigenschaften verbessert. Die Eigenfrequenz eines HBV-Tragwerk ist im Vergleich zum Holztragwerk linear mit der Biegesteifigkeit gestiegen. Dadurch wird Sie nicht mehr durch die Schrittfrequenz von Personen angeregt.

Gründe gegen eine HBV Decke:

Die HBV Decke besitzt gerade in der Sanierung viele Vorteile. Dennoch sollen auch die Aspekte erwähnt werden, welche bei einer HBV Decke in der Sanierung oft als Nachteile genannt werden. Zum Beispiel ist der Herstellungsaufwand der einzudrehenden Schrauben selbstverständlich höher als bei einer Sanierung durch Trockenbau. Wenn die Tragfähigkeit, der Brandschutz und die bauphysikalischen Gründe alle als ausreichend betrachtet werden können, kann die Sanierung ohne HBV ausgeführt werden. Des Weiteren ist eine in-situ Betonierung mittels einer Estrich Pumpe notwendig, wodurch Baufeuchte in das System eingebracht wird. Für weitere Gewerke und den geplanten Fußbodenaufbau müssen Trocknungszeiten geplant und abgesprochen werden.

2.2 Planungs-Checkliste

Im Folgenden wird eine Checkliste vorgestellt, welche den Planungsprozess erleichtern soll. Die Checkliste setzt sich zusammen aus Punkten, welche zur Erstellung einer Statik notwendig sind, als auch aus Punkte, welche zur Abschätzung der Kosten wichtig sind. Zur professionellen und seriösen Planung einer Holz-Beton-Verbunddecke sind folgende Informationen zwingend notwendig:

Balkenplan des Bestandsbalken

- Lage der Bestandsbalken
- Querschnittsgeometrien der Balken
- Spannweiten
- Lage der lastabtragende Bauteile (Unterzüge, Wände)

- Querschnittsgeometrien der lastabtragenden Bauteile
- Höhenlage der Balken falls große Verformungen vorhanden sind
- Oberkante des geplanten RFB

Randbedingungen des geplanten Geschosses

- Geplanter Bodenaufbau
- Geplante Nutzung (Zur Ermittlung der veränderlichen Lasten)
- Höhenversprünge im Geschoss
- Vorhandensein von Einzellasten (z.B. aus Dachpfosten, Streben, ...)
- Bereits vorhandene Wände
- Durchbrüche
- Ausbau der Bestandsschüttung möglich?
- Vorhandene Schäden an den Holzbalken oder Auflagerpunkte (Ggfs. Holzschutzgutachten)

Baustelleneinrichtung

- Kran, Aufzug o.ä.
- Wasseranschluss
- Strom
- Zugänglichkeit zur Baustelle (Parkmöglichkeit, Estrichpumpe,
- Platz für Betonpumpe
- Baustellenfreiheit (zugängliche Baustelle besenreine Rohdecke ohne herumliegende Teile)
- Abfallmulde
- Reinigung des Betonschlauchs und der Pumpe vor Ort möglich?

Schüttung

- Eine vorhandene Schüttung wird i.d.R. ausgebaut, kann jedoch je nach Randbedingungen auch verbleiben.
- Eine neu eingebaute Schüttung muss als hydraulisch gebundene Schüttung ausgeführt werden. Dies hat der "Bundesverband Estrich und Belag" (BEB) in seinem Hinweis zur Planung und Ausführung von Fußbodenkonstruktionen (Sammelmappe Register Nr. 4.6) so vorgegeben. Hintergrund dieser Regelung ist, dass Schüttungen auch bei dynamischer Belastung ihre Lage nicht verändern.

Weitere wichtige Informationen zur Ausführung

- Der Fußbodenaufbau muss bis zur Oberkante der Holzbalken rückgebaut werden, damit der Verbund zwischen Holz und Beton durch das

gewählte Verbindungsmittel stattfinden kann. Ein Dielenboden kann nach Absprache als verlorene Schalung verbleiben.

- Falls eine verlorene Schalung aus OSB Platten o.ä. vorhanden ist, müssen die Balkenlagen an die Mauern angezeichnet werden, da diese nicht mehr sichtbar sind.
- Der Schlauch der Estrichpumpe muss mit Seilen und Spannbändern gesichert werden, um Schäden an Fenstern oder der Fassade zu vermeiden.
- Vor der Betonierung sind Messpunkt zu definieren mit welchen die Höhe nivelliert werden kann. Hierzu haben sich Setzschrauben bewährt, welche in den Balken eingeschraubt werden und sobald die endgültige Höhe während der Betonierung erreicht ist, mit einem Akkuschauber ausgebaut werden.

3 Projekte aus der Praxis

Im Folgenden werden drei ausgewählte HBV-Projekte aus der Baupraxis vorgestellt und kurz erläutert.

3.1 Dachgeschosssanierung am Kurfürstendamm in Berlin

Bei der Dachgeschosssanierung eines Wohn- und Geschäftshauses in Berlin wurde der historische Dachstuhl erhalten und während der Bauzeit durch eine Überdachung geschützt. Ziel war es, den bisher ungenutzten Dachstuhl durch eine statische Ertüchtigung der Deckenbalken als Wohn- und Geschäftsflächen nutzbar zu machen. Aufgrund z.T. großer Spannweiten kamen sogenannte Abhängungen zum Einsatz. Statt die Decke von unten durch Bauspieße während der Betonierung zu unterstützen, wurden die Deckenbalken nach oben abgehängt. Das Gewicht wird über spezielle Fachwerkträger aus Aluminium in die tragenden Wände geleitet.



Bild 11 HBV Projekt am Kurfürstendamm – 1



Bild 12 HBV Projekt am Kurfürstendamm - 2



Bild 13 HBV Projekt am Kurfürstendamm – 3



Bild 14 HBV Projekt am Kurfürstendamm - 4



Bild 15 HBV Projekt am Kurfürstendamm - 5

3.2 Deckensanierung der ehemaligen Posthalterei „Thurn und Taxis“

Das im Jahr 1725 von einem unbekannten Architekten erbaute Barockgebäude „Ehemalige Posthalterei Thurn und Taxis“ befindet sich an der Südseite des Marktplatzes der Stadt Wittlich, Rheinland-Pfalz. Es fungierte bis 1854 als Posthalterei der Thurn und Taxis'schen Postroute, die von Trier über Wittlich nach Koblenz führte. An dieser Station wurden die Pferde gewechselt, die Passagiere stiegen ein und aus oder verbrachten hier die Nacht für eine Weiterfahrt am nächsten Tag. Nach Stilllegung der Postroute diente das Gebäude als Verwaltungssitz, Gasthaus, Hotel, Kolonialwarenladen, Geschäfts- und Bürogebäude und zu guter Letzt auch als Wohnhaus bis zum Jahr 2004. Heute steht das Gebäude unter Denkmalschutz.



Bild 16 HBV Projekt Thurn und Taxis – 1, © Berdi Architekten

Die historischen Innen- und Außentüren aus dem 18. Jahrhundert wurden von ihrer weißen Lackschicht befreit und das darunter liegende Eichenholz freigelegt, um die Kunstfertigkeit barocker Schnitzkunst hervorzuheben.



Bild 17 HBV Projekt Thurn und Taxis – 2, © Berdi Architekten

Durch die fast 300jährige Nutzung waren an dem Gebäude mannigfaltige Schäden zu verzeichnen. Die Außenmauern des Erdgeschosses waren in den 1970er Jahren eingerissen worden, um den Bau einer Einkaufspassage zu ermöglichen. Diese wurde im Zuge der Renovierung jedoch wieder zurück gebaut.

Die bestehenden Balken hatten sich bis zu 26 Zentimeter durchgebogen und waren überdies starkem Schädlingsbefall ausgesetzt.



Bild 18 HBV Projekt Thurn und Taxis – 3, © Berdi Architekten

Um so viel Originalsubstanz wie möglich erhalten zu können, wurde in enger Abstimmung mit dem Denkmalschutz ein Sanierungskonzept ausgearbeitet.

Dies bestand im ersten Schritt daraus die Fehlstellen in der Decke mit Stroh-Lehmwickeln zu ergänzen, um die großen Verformungen zu verfüllen. In einem zweiten Schritt wurde dann eine HBV-Plattenbalkendecke hergestellt, indem HBV Schrauben in die Balken eingedreht und durch Nivellierung eine ebene Oberfläche erzeugt wurde. An einzelnen Stellen wurden die Balken durch Stahlträger verstärkt und in die HBV-Decke eingebunden.



Bild 19 HBV Projekt Thurn und Taxis – 5, © Berdi Architekten



Bild 20 HBV Projekt Thurn und Taxis – 4, © Berdi Architekten



Bild 21 HBV Projekt Thurn und Taxis – 5, © Berdi Architekten



Bild 22 HBV Projekt Thurn und Taxis – 5, © Berdi Architekten



Bild 23 HBV Projekt Thurn und Taxis – 5, © Berdi Architekten



Bild 24 HBV Projekt Thurn und Taxis – 6, © Berdi Architekten

Die beiden Obergeschosse stehen von nun an der Stadtverwaltung und dem Kulturamt Wittlich zur Verfügung. In der komplett wieder hergestellten „Bel-Etage“ befinden sich mehrere Zimmer, die als Empfangsräume der Stadt und als Trauzimmer des Standesamtes dienen und somit für die Öffentlichkeit zugänglich und nutzbar gemacht werden. Die Räumlichkeiten im zweiten Obergeschoss werden nun als Ausstellungsräume für wechselnde Ausstellungen genutzt.

3.3 Villa Hupfeld – Leipzig

Die Villa Hupfeld wurde 1920 nach Plänen des Architekten Emil Franz Hänsel für den Industriellen und Gründer der AG-Klavierwerke Ludwig Hupfeld errichtet und gehört zu den bedeutendsten Gründerzeitbauten in Deutschland [14]. Das Bauwerk wurde hinsichtlich des Brand- und Schallschutzes auf einen der heutigen Zeit angemessenen Standard angepasst. Durch die Sanierung mit Holz-Beton-Verbund konnten die alten Holzbalkendecken ertüchtigt und die historischen Stuckdecken erhalten werden.

Da die Villa heute als Mischbauweise mit drei exklusiven Luxuswohnungen, sowie zwei Büroeinheiten von 280 bis 480 m² Fläche genutzt wird, waren die Anforderungen an den Schallschutz und das Schwingungsverhalten der Decken sehr hoch. Die Balken mit z.T. 10 Metern Spannweite wurden in einem ersten Anlauf mit einem herkömmlichen Estrich ausgestattet. Da die Anforderungen an die Schwingungen jedoch bei weitem nicht erfüllt werden konnten, wurde der Estrich zurückgebaut. Die darauffolgende Sanierung mit HBV brachte den notwendigen Erfolg.

Bei der Umsetzung des Projekts kamen aufgrund großer Verformungen sowohl eine Flachdecke als auch eine Plattenbalkendecke zum Einsatz. In geschädigten Bereichen wurden auch Stahlträger mit aufgeschossenen Kopfbolzen in die Konstruktion eingebunden. Nachträgliche Schwingungsmessungen ergaben eine Steifigkeitszunahme des Tragwerks um den Faktor zehn und eine daraus resultierende, rechnerische Tragfähigkeitszunahme um den Faktor drei. So konnten moderner Schall- und Brandschutz mit historischem Glanz in Einklang gebracht werden und die sanierte Villa vereint historische Baukunst mit moderner Technik.



Bild 25 HBV Projekt in Leipzig – Villa Hupfeld

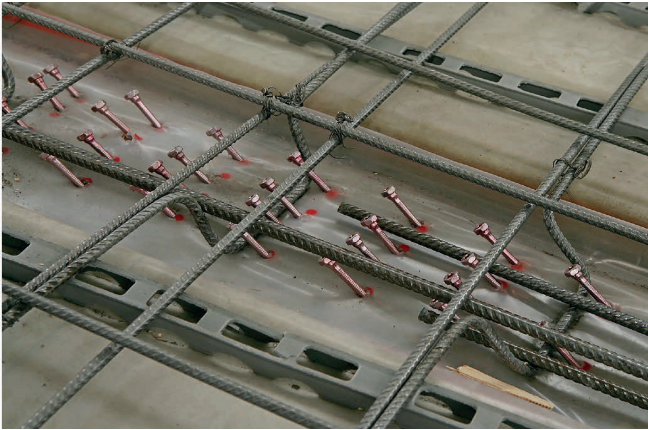


Bild 26 HBV Projekt in Leipzig – Villa Hupfeld



Bild 27 HBV Projekt in Leipzig – Villa Hupfeld

Literaturverzeichnis

- [1] Seim, W.; Hummel, J.; Claus, T.: Holzbau Vertiefung - Verbindung und Verbund - Skriptum. 2017.
- [2] Feldman, D.: Wood—chemistry, ultrastructure, reactions, by D. Fengel and G. Wegener, Walter de Gruyter, Berlin and New York, 1984, 613 pp. Price: 245 DM. J. Polym. Sci. B Polym. Lett. Ed. 23 (11):601–602, 1985.
- [3] Neuhaus, Helmuth: Ingenieurholzbau. Springer Fachmedien Wiesbaden. Wiesbaden, 2017.
- [4] Rupprecht, H.; Kellethofer, W.: Holz-Beton-Verbund - Das System 2019.
- [5] I. Kiefer: Elastischer Verbund mit belagereifer Oberfläche - Sanierung des Finanzamts Konstanz - leobraun-architekten. 2014.
- [6] Ceccoti, A.: Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Düsseldorf, 1995.
- [7] ETA-18/0264 Elascor SFix System, Elascor GmbH, Holz-Beton-Verbund mit stiftförmigen Verbindungsmitteln - Europäische Technische Bewertung, 10.09.2018.
- [8] ETA-13/0029 Würth ASSY plus VG-Schrauben, Adolf Würth GmbH & Co. KG, Selbstbohrende Schrauben für Holz-Beton-Verbund Konstruktionen - Europäische Technische Bewertung, 10.09.2018.
- [9] DIN EN 1995-1-1:2010-12, Eurocode_5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten_- Teil_1-1: Allgemeines_- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN_1995-1-1:2004_+ AC:2006_+ A1:2008, 2010-12.
- [10] Kuhlmann, Ulrike; Schänzlin, Jörg; Michelfelder, Birgit: Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken. Beton-und Stahlbetonbau. 99 (4):262–271, 2004.
- [11] Dias, Alfredo; Schänzlin, Jörg; Dietsch, Philipp: Design of timber-concrete composite structures. COST Action FP1402/WG 4. 2018.
- [12] Bautabellen für Ingenieure
- [13] EUROCODE 5: DIN EN 1995-1-1
- [14] Ryll, Christine: Fester Verbund für optimalen Schallschutz. Bauen mit Holz. 12 :30–33, 12/2016.

Die Christi-Verklärungskirche auf der Insel Kishi, Karelien, Russland – fertig saniert

Manfred Gerner, Fulda

Zusammenfassung

Die Christi-Verklärungskirche aus dem Jahre 1714 gilt als das bedeutendste Werk der russischen Holzbaukunst.

Nach mehreren früheren Reparaturphasen begann 1994 die Zeit für Planungen und Vorbereitungen für eine grundlegende und nachhaltige Sanierung. 2009 wurden die Sanierungsarbeiten begonnen, die nun vor ihrer Fertigstellung stehen. 2020 soll die Christi-Verklärungskirche wieder eingeweiht werden.

Für die Sanierung mussten außergewöhnliche Methoden angewandt werden. Dazu gehört das Anheben zunächst der gesamten Kirche mit einem Gewicht über 600 Tonnen sowie das Anheben und die De- und Remontage jeweils kleinerer Einheiten mit 12 bis 20 Blockkränen, weiter die Aussteifung der bis zu 20 Meter hohen Blockwände zur Vermeidung von Verformungen wie auch die Konstruktion zusätzlicher Trag- und Aussteifungselemente zur Abtragung der Lasten aus den oberen beiden zurückgestuften Achtkantern und den enormen Windlasten. Dabei wurden immer nur größere Teile aus- und wieder eingebaut, sodass die Kirche physisch auch während der langen Bauzeit immer vorhanden und annähernd vollständig zu sehen war.

Die Sanierung stellt wie der Bau selbst bedeutende und außergewöhnliche Ingenieurbau- und Handwerkskunst dar.



Bild 1 Die eingerüstete Christi-Verklärungskirche auf der Insel Kishi mit dem links davorstehenden Glockenturm und der Winterkirche im rechten Bildteil.

Anlässlich der 28. Hanseatischen Sanierungstage 2017 in Usedom mit dem generellen Thema: „Erfolgreich sanieren – normativ oder sachverständig?“ wurde unter dem Titel: „Preobrazhenskaya“ das Konzept für die Sanierung der Christi-Verklärungskirche auf der Insel Kishi vorgestellt. Schon allein weil es für eine Kirche aus dem frühen 18. Jahrhundert in Russland keine Normen gab oder gibt, wurde festgestellt, dass bei dieser Sanierung ausschließlich der Sachverstand die Basis des Handelns sein konnte. (Siehe hierzu BuFas e. V. (Hrsg.): *Altbausanierung 12, Erfolgreich sanieren – normativ oder sachverständig?* Stuttgart/Berlin 2017, Seite 15 – 29.

In dem genannten Beitrag wird umfänglich über das Holzland Karelien, die außergewöhnliche Christi-Verklärungskirche und deren Bau- und Sanierungsgeschichte berichtet. [1, 2, 3, 4, 5,6]

Weiter wird das Konzept zur Gesamtsanierung des Autors dieses Beitrags vorgestellt. [7]

Der hier vorliegende Beitrag zeigt jetzt die Lösungen und das Ergebnis auf. Dazu werden nachfolgend die wichtigsten Daten nochmals zusammengefasst und weiter die Komplexe

- Von der Isba zur vielkuppigen 20-Wände-Kirche
- Logistik des Anhebens der Kirche als Voraussetzung für die handwerkliche Sanierung
- Umgang mit den Eigenlasten der bis zu rund 100 übereinanderliegenden Blockbalkenlagen
- Abfangen der Lasten aus den oberen Achtecken
- Sicherung der Steifigkeit des Gesamtgerüsts

behandelt.

1 Daten, Fakten und Baugeschichte

Die Christi-Verklärungskirche wurde 1714 von Zimmermeister Nestor als Hauptkirche eines Pogosts, eines Kirchspiels mit mehr als 130 Dörfern auf der Insel Kishi im Onegasee errichtet. Der Zimmermeister setzte dazu die höchste Form der Blockbaukunst mit dem am weitesten entwickelten Grundriss, der „20-Wände-Kirche“ um. Nestor staffelte diesen Blockbau hoch aufragend und schmückte ihn mit 22, mit Espenschindeln, gedeckten Kuppeln, meist jeweils auf einer Kielbogentonne, einer „Botschka“ oder Fässchen und einem Tambour als Basis.

Zwei Zitate, das erste aus dem Jahre 1972, das zweite 2019 stellen die Einmaligkeit der Christi-Verklärungskirche heraus.

„Die Christi-Verklärungskirche aus dem Jahr 1714 anstelle einer dem Feuer zum Opfer gefallenen einfachen Zeltdachkirche errichtet – ist wohl das berühmteste Holzbauwerk Nordrusslands, der künstlerisch vollendete Ausdruck des komplizierten Typus der ‚vielkuppigen‘ Kirchen. Ihr märchenhafter Formenreichtum konnte nur durch die Anwendung aller architektonischen und dekorativen Mittel erreicht werden, die in der Entwicklung der russischen Holzbaukunst maßgebend waren.“ [8]

„... Es ist ein Denkmal der Volksarchitektur, das organisch aus dem Volksleben erwuchs. Tausend Fäden, die mit dem bäuerlichen Alltag verbunden sind –

Häuser, Felder, Wald, Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, See, Holzboote, Spinnrad, der bäuerliche Wagen und sogar Schlitten ...“ [9]

Zu den harten Daten und Fakten zählen:

- vielkupplige 20-Wände-Kirche
- Länge in Ost-Westrichtung ca. 30 Meter
- Breite in Nord-Südrichtung ca. 21,5 Meter
- Höhe 37 Meter
- 3.000 Kiefernblockstämmen
- über 100.000 Einzelelemente
- über 700 Kubikmeter Holzmasse
- über 600 Tonnen Gesamtgewicht
- über 62.000 Espenschindeln

Und die Stichworte zur Bau- und Sanierungsgeschichte:

1714	vollendet Zimmermeister Nestor den Bau der Christi-Verklärungskirche mit dem mündlich überlieferten Satz: „So etwas gab es nicht, gibt es nicht und wird es auch nie wieder geben“ und warf danach seine Axt ins Meer.
1759	bereits erste große Reparaturmaßnahmen
1818	die Blockbaukirche wird mit Brettern verschalt, die Zwiebelkuppeln mit Blech eingedeckt
1875 – 82	Erneuerung der Verschalung und der Blecheindeckung
um 1920	Unterschutzstellung der Kirche
1950 – 1959	Gesamtsanierung, Entfernung der Verschalung und Austausch der Blecheindeckung gegen Espenschindeln
1981 – 1983	Einbau eines inneren Stahlgerüsts, um den Einsturz oder Teileinstürze zu verhindern
1990	Eintragung in die Welterbeliste der Unesco, gleichzeitig und gleichrangig mit dem Kreml in Moskau und der Altstadt von St. Petersburg
1994	nach mehreren Untersuchungskampagnen Fertigstellung des Sanierungskonzepts des Autors dieses Beitrags
2000 – 2020	Realisierung der Sanierung gemäß einem Vorschlag aus der Mischung mehrerer Einzelvorschläge. Wesentliche Teile dieses neuerlichen „Gesamtkonzepts“ wie die handwerkliche Sanierung der originalen Blockstämmen und die Aussteifung

mit verbolzten Zangen wurden dabei aus dem Konzept des Autors übernommen.

Im Rahmen des „Forums zur Förderung des kulturellen Erbes“ und der „Tage der russischen geistigen Kultur“ im Russischen Haus der Wissenschaft und Kultur in Berlin vom 6. bis 8. März 2019 wurde der Christi-Verklärungskirche eine eigene Ausstellung gewidmet. Im Ausstellungstitel wird die Kirche als „Kizhi – das achte Weltwunder“ und „Die Seele Russlands“ gefeiert. [10]



Bild 2 Auch eingerüstet bot die gewaltige Holzkirche einen imposanten Anblick

2 Von der Isba zur vielkuppigen 20-Wände-Kirche

Wie bei allen Holzkonstruktionen, z. B. beim Fachwerkbau, ist der Baustoff Holz gerade bei Blockkonstruktionen das bestimmende Merkmal für die Abmessungen von Teileinheiten wie auch des Gesamtbauwerkes. Wichtige Faktoren sind dabei die Holzanatomie, die sehr unterschiedlichen Aufnahmemöglichkeiten von Zug- und Druckkräften längs und quer zur Faser, das Verhältnis von Gewicht und Biegezugfestigkeit (freie Spannweiten), aber auch die Abgabe und Wiederaufnahme von Feuchte und die damit verbundenen Formänderungen. Unter diesen Voraussetzungen des Baustoffes Holz hat sich der Blockbau in Russland bis zur höchsten Blüte entwickelt.

Die einfachste Form des Wohnhauses (Isba) bestand aus einem Blockkranz, der bei Holzstärken bis etwa 25 cm Durchmesser etwa 5 x 5 Meter erreichen konnte und bei Durchmessern bis zu 50 cm etwa 10 x 10 Meter. Eine Vergrößerung wurde durch die Aneinanderreihung von Blockkränzen linear oder in Winkelform erreicht bzw. einem langen Rechteckgrundriss mit zwei eingebundenen Zwischenwänden bzw. nur kurzen etwa bis 1 Meter langen Wandelementen. Eine Isba, die bekannteste Form des russischen Bauernhauses, besteht aus drei Blockkränzen, sog. Srubi oder bei längeren, durchgehenden Wänden mit gestoßenen Blockhölzern wiederum eingebundenen Zwischenwänden. [11]

Die Bildung von Grundrissen nur aus aneinandergereihten quadratischen oder rechteckigen Blockkränzen galt auch für alle Groß- und Sonderbauten wie das Zarenschloss Kolomenskoje bei Moskau oder das Damentheater in Tobolsk, das im 19. Jahrhundert gebaut als der schönste profane Blockbau Russlands galt, aber nach einem Brand im 20. Jahrhundert nicht wieder aufgerichtet wurde. [12] Kleinere Kapellen baut man bis heute mit einem Grundriss aus einem Blockkranz, Kirchen dagegen wurden lange, d. h. bis ins 19. Jahrhundert in der gleichen Konstruktion wie die Bauernhäuser mit drei aneinandergereihten Blockkränzen errichtet. Dabei war der erste Kranz der Vorraum, das Refektorium, der zweite oft vergrößerte Kranz die Gemeindekirche und der dritte Blockkranz, abgetrennt durch die Ikonenwand, die Ikonostase, und meist etwas kleiner, der Altarraum. Der früheste bekannte Kirchenbautyp, die Dreizellenkirche, wurde demnach unmittelbar aus der Isba mit den drei Srubi gebildet. Einziger äußerer Unterschied war das Aufsetzen eines sehr steilen und damit über die anderen Häuser weit hinausragenden Daches, teilweise mit kleinen Zwiebelkuppeln oder einem einfachen Glockenturm. Die älteste Kirche dieser Art ist gleichzeitig das älteste Denkmal russischer Holzbaukunst: Die Klosterkirche der Auferweckung des Lazarus aus Murom aus dem Jahre 1390. Seit 1961 steht diese Kirche auf der Insel Kishi nahe der Christi Verklärungskirche.



Bild 3 Klosterkirche der Auferweckung des Lazarus aus dem Jahre 1390



Bild 4 Die Maria-Schutz-Kirche, die Winterkirche auf Kishi, aus dem Jahre 1764 zeigt, dass das Prinzip der Dreizellenkirche – hier mit einem Oktogon über dem Gemeinderaum – über Jahrhunderte beibehalten wurde

Mit der stärkeren Betonung einzelner Funktionen der Kirche, wie der Vergrößerung des Hauptkirchenraums und der Weiterentwicklung des Blockbaus, z. B. durch die Verwendung sechs- oder achteckiger Balkenkränze, entstanden dann die komplizierteren Kirchenformen.

Mit der oktagonalen Zeltdachkirche wurde etwa im 12. Jahrhundert ein neuer Kirchentyp gefunden, der in zahlreichen Abwandlungen gebaut wurde, oft mit je einem Anbau nach Osten und Westen für Altar- und Vorraum oder als Achteck aus einem großen Quadrat.

Ein weiterer Entwicklungsschritt waren die 20-Wände-Kirchen. An das zentrale Oktogon wurden nach den vier Himmelsrichtungen quadratische Anbauten angefügt. Die acht Wände des Oktogons und je drei Wände der vier Anbauten ergaben die 20 Wände.

Höhepunkt in der Entwicklung dieses Kirchentyps wie auch des Blockbaus insgesamt in Russland war dann die Christi-Verklärungskirche als Vielkuppelkirche mit 20 Wänden.

3 Logistik des Anhebens der Kirche als Voraussetzung für die handwerkliche Sanierung

Nach der Feststellung der doch relativ starken Schäden an den Blockhölzern und der Entscheidung zur handwerklichen Reparatur jedes Einzelelements, d. h. des Herausnehmens einzelner Blockhölzer, Reparierens oder Anschuhens und Wiedereinbaus hätte man die Kirche ganz zurückbauen, reparieren und wieder aufbauen müssen, um eine ausreichende Steifigkeit der Verbindungen der Achteckblockwände zu erhalten. Das vollständige Abtragen sollte aber auf jedem Fall vermieden werden, um die Ursprünglichkeit des bedeutenden religionsgeschichtlichen Denkmals nicht zu mindern, aber auch, um den bedeutenden touristischen Anziehungspunkt, den die Christi-Verklärungskirche bildet, nicht für viele Jahre ausfallen zu lassen. So bringen die Flusskreuzfahrtschiffe zwischen Moskau und St. Petersburg an Spitzentagen allein bis zu etwa 3.000 Touristen aus aller Welt für jeweils drei Stunden auf die Insel Kishi.



Bild 5 Modellerte Darstellung der Restaurierungsabschnitte mit dem jeweils angehobenen Teil der Kirche.

Man entschloss sich zu einer äußerst komplizierten und auch mit Gefahren verbundenen Ingenieurlösung: Die gesamte Kirche wurde in sieben Restaurierungsabschnitte mit jeweils 12 bis 20 Blocklagen – mit Ausnahme des Fundaments – mit nur acht Blocklagen und des zweiten Restaurierungsabschnitts mit 25 Blocklagen – eingeteilt. Dabei wurde das oberste Achteck mit der Hauptzwiebelkuppel als Abschnitt I festgelegt und der Fundament- und Sockelbereich als Abschnitt VII. Die Arbeiten wurden mit Abschnitt VII beginnend bis zur Hauptkuppel im Abschnitt I als abschließende Arbeit durchgeführt.

Beginnend mit dem Fundamentrestaurierungsabschnitt wurde dann die gesamte Kirche mit über 600 Tonnen Gewicht angehoben, die acht Blockkränze ausgebaut, in die Zimmererwerkstätte des Restaurierungszentrums transportiert, untersucht, repariert, d. h. besonders wenn notwendig angeschaut und probeweise zusammengebaut. Zwischenzeitlich wurde ein neues Stahlbetonstreifenfundament mit einem oberen Natursteinteil eingebaut. Danach wurde der in der Werkstatt montierte Restaurierungsgürtel demontiert, zur Kirche zurücktransportiert und wieder eingebaut. Dazu wurde neben dem bereits vorhandenen inneren Stahlgerüst eine weitere Stahlkonstruktion eingebaut, die als „Klettergerüst“ für das Liftingsystem diente. Dieses System basiert auf den Erfahrungen solcher Systeme aus Skandinavien, die u. a. in den 80er und 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts bei der Restaurierung von Blockbaukirchen am Kenozero-See, etwa 500 km östlich von Kishi, getestet worden waren. Das für Kishi entworfene System ist letztlich aber allein schon wegen des zu bewältigenden außerordentlichen Gewichts, aber auch des Anhebens in vielen einzelnen Stufen eine Eigenentwicklung.



Bild 6 Der Autor bei der Demonstration des Liftingsystems im Maßstab 1:1

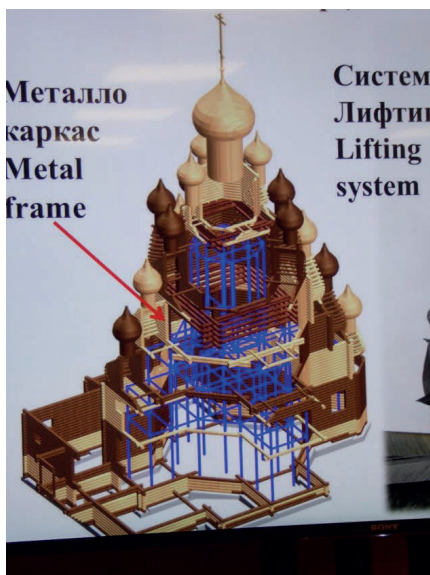


Bild 7 Die zusätzliche Stahlkonstruktion für das Liftingsystem in der Computersimulation

Die Arbeiten am untersten Restaurierungsabschnitt wurden von 2009 bis 2012 durchgeführt. Danach wurden die Liftingsysteme abgebaut, höher wieder eingebaut und von 2012 bis 2013 mit dem Restaurierungsabschnitt sechs – etwa Erdgeschossesebene – in gleicher Weise verfahren. Von dieser Phase an wurden neben Lastnachahmen in der Werkstatt nach der jeweils endgültigen Montage in der Kirche Belastungstests durchgeführt. Zudem musste nach der Montage der Blockbalkenkränze eine temporäre Überdachung des großen erdgeschossigen Refektoriums geschaffen werden.

Von 2013 bis 2014 wurde der fünfte Restaurierungsabschnitt mit allen Einzelschritten durchsaniert. Als zusätzliche Arbeit kam hier die Sanierung des kielbogensförmigen „Fässchens“ über dem Altarraum hinzu. Der vierte Restaurierungsabschnitt wurde etwa von 2015 bis 2016 durchsaniert. Als zusätzliche Arbeiten zu den Blockkränzen waren hier die Demontage, Reparatur und Remontage von vier Zwiebeltürmen mit ihren Tambouren durchzuführen.

Die Bokschi, die oben spitz zulaufenden „Fässchen“ des Unterbaus der kleinen Kuppeln bestehen ebenfalls ganz aus Blockkonstruktionen und wurden mit dem

jeweiligen Restaurierungsgürtel von der De- bis zur Remontage mit einbezogen. Die Tamboure mit den kleinen Kuppeln mit etwas mehr als drei Meter Durchmesser und über sechs Meter Höhe wurden dagegen zum größten Teil als Ganzes abgebaut, im Restaurierungszentrum repariert bzw. neu konstruiert und mit Schindeln versehen als komplette Elemente wieder auf die Bokschi aufgesetzt. Der zweite Restaurierungsabschnitt ist ausgebaut und wird in der Werkstatt repariert (Bild 8 u. 9).



Bild 8 die Computersimulation



Bild 9 der Realzustand

Der dritte Restaurierungsabschnitt hatte etwa den gleichen Arbeitsumfang wie der vorherige Abschnitt und wurde 2016 fertiggestellt. Hier musste jetzt wegen des kleineren Grundrisses des darüberliegenden Achtecks auch die gesamte Stahlkonstruktion für die Hubgeräte, das „Klettergerüst“, umgebaut werden. Der zweite wesentlich höhere Restaurierungsabschnitt war vor allem wegen der acht Bokschi mit acht Zwiebeltürmen und dem damit verbundenen handwerklichen Aufwand wesentlich umfangreicher. Im abschließenden obersten Abschnitt I wurden die Blockkränze des kleinsten Achtecks, vier kleine Zwiebeltürme und vor allem der zentrale Zwiebelturm mit neun Metern Durchmesser – immer wieder in der annähernd gleichen Arbeitsfolge - durchgearbeitet.



Bild 10 In der Werkstatt des Restaurierungszentrums fertiggestellte und bereits verschindelte Zwiebelkuppel.

4 Umgang mit den Eigenlasten der bis zu rund einhundert übereinanderliegenden Blockbalkenlagen

Eines der Probleme von Beginn der Bauzeit an war das Eigengewicht der hohen Blockwände und die auf diesen Wänden ruhenden Auflasten wie die Zwiebelkuppeln. Bei Nässe durch Regen wurden diese Lasten noch um Tonnen vermehrt und führten zu starken Verformungen, d. h. Ausbeulungen und Schrägstellungen bis zu etwa einem Meter! Die historischen und gängigen Reparaturlösungen dazu waren das Anbringen von verbolzten Einzelhölzern oder Zangen über den verformten Wandteilen, um eine teilweise Rückformung oder doch mindestens den Stillstand der Verformung zu erreichen.



Bild 11 Notdürftig gehaltene Verformung einer nicht ausreichend steifen Wand

Gemäß dem Vorschlag des Autors wurde die Reparaturlösung zu einer durchgehenden, auch architektonisch zu vertretenden, Ingenieurlösung weiterentwickelt, in dem jede der vier durchgehenden und hoch aufragenden Achteckwände in den Viertelpunkten mit zwei Zangenkonstruktionen in voller Höhe gesichert wird, ehe es zu Verformungen kommt. Bei den vier weiteren Blockwänden des Achtkants wie auch den Wänden der gestuften „Anbauten“ kommen keine ähnlich großen Höhen vor, sodass hier auch keine Zangen notwendig wurden. Die Hölzer der Zangen haben einen Querschnitt von ca. 20 x 25 cm und sind so ausgeschnitten, dass sie den Profilen der Blockbalken folgen. Neben der Aussteifung der Wände werden bei dieser Lösung mit 16 Holzständern der Zangen auch erhebliche Lasten aus den oberen zurückgestuften Achtkantern und den zahlreichen Zwiebelkuppeln direkt aufgenommen. Die Wände werden dadurch erheblich entlastet, d. h. sie neigen auch dadurch weniger zu Verformungen.

5 Abtragen der Lasten aus den oberen Achtecken

Die Abtragung der Lasten des Achtkants unter der zentralen Hauptzwiebelkuppel und des darunterliegenden nächst größeren achtkantigen Balkenkränzes mit dem zusätzlichen Gewicht von acht Zwiebelkuppeln wurde über eine vom Baubeginn an zusätzliche Konstruktion aus fünf quadratischen Balkenkränzen innerhalb des größten unteren Achtecks bewältigt. Die Balken der fünf zusätzlichen Kränze liegen dabei auf den obersten Blockbalken des großen unteren Achtecks auf. Diese Lösung mit hohen Einzellasten in den Feldern des unteren Achtecks hat zu den Verformungen der hohen Blockwände beigetragen. Deshalb ist im Sanierungsvorschlag des Autors unter den oberen Achteckkränzen eine zusätzliche Konstruktion aus zwei waagrecht liegenden achteckigen kranzförmigen Bindern im Höhenabstand von drei Metern vorgesehen, die die Gesamtlast von oben aufnimmt und vor allem einen Großteil dieser Last direkt auf die zusätzlichen Ständer der Zangen überträgt. Dieser sehr stabile „Kasten“ von drei Meter Höhe und einem Grundriss vom Innenprofil des Achtecks sollte darüber hinaus ein sehr steifes Element bilden, das in der Lage ist, auch größere Horizontalkräfte, z. B. aus Windlasten, ausreichend Widerstand entgegenzusetzen.

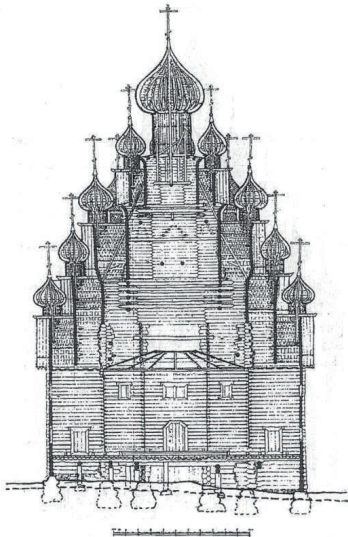


Bild 12 Querschnittszeichnung nach dem Aufmaß von V. Opolovnikov aus dem Jahre 1960. Die „geschnittenen“ Balken sind geschwärzt. Unter dem zweiten Achteck von oben sind deutlich die im Abstand liegenden fünf zusätzlichen quadratischen Blockkränze zu sehen.

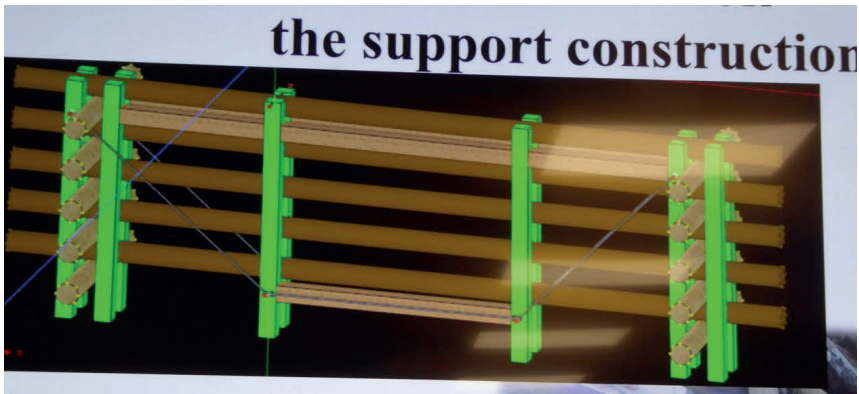


Bild 13 Simulation der jeweiligen Unterstützung der fünf Balkenkränze mit einem Hängewerk aus Stahltrossen.

Dieser Lösungsansatz wurde nicht realisiert. Stattdessen hat man jede Seite der zur Ablastung der großen Lasten bereits eingebauten Tragekonstruktion zusätzlich mit einem Hängewerk aus Rundstahl mit verschweißten und mit Gewinden versehenen Knoten ausgestattet. Über die Gewindeteile an den Knoten lassen sich die Hängewerke justieren bzw. spannen. Um die Lastverteilung zwischen den einzelnen Hölzern der fünf Lagen zu gewährleisten, wurden diese mit verbolzten Zangen aus außenseitig runden Bohlen versehen.



Bild 14 Details der ausgeführten Verstärkung mittels Hängewerk ...



Bild 15 ... und Anschlussknoten

6 Sicherung der Steifigkeit des Gesamtgerüsts

Die nur relativ geringe Druckfestigkeit der Kiefernblockhölzer quer zur Faser im Verhältnis zur hohen Druckfestigkeit parallel zur Faser führt dazu, dass bei starker Punktbelastung und zusätzlichen Belastungen aus Winddruck, u. a. auf die Eckverbindungen, Pressungen des Holzes und damit temporäre Verformungen oder bei Dauerbelastungen auch Dauerverformungen entstehen. Diese Art der Verformungen bergen die Gefahr größerer Schiefstellungen der übereinander gestaffelten Achteckblockkränze. Der konstruktive „Kasten“, aus zwei waagrecht liegenden Holzbindern gemäß dem Sanierungsvorschlag des Autors sollte neben der Lastübertragung auch zu einer besseren Lastverteilung, und zwar insbesondere bei zusätzlichen Windlasten, führen.

Hier hat man bis jetzt nur eine horizontale Verspannung im Innern des Achtecks mit schweren Drahtseilen und verschweißten Winkeln, die mit den Wandecken verbolzt sind, parallel der Achteckform, als Sicherung eingebracht. Diese Verspannung liegt auf der Höhe der oberen Balkenkränze des unteren größten Achtecks. Für eine noch mögliche zusätzliche Sicherung mittels einer Stahlkonstruktion gibt es konzeptionelle Planungen.



Bild 16 Die horizontale Verspannung im Bereich der obersten Blocklagen des unteren Achtecks ...



Bild 17 ... mit dem Detail der Eckanschlüsse

7 Feuchte, Pflege und Wartungskonzept

Feuchte war von Beginn an ein Problem für die Christi-Verklärungskirche und nicht ohne Not wurde die gesamte Blockkonstruktion bereits 1818 verschalt und nachdem diese „Schutzschalung“ verrottet war, erneut 1875 bis 1882 mit einer Bretterlage verkleidet. Zwischen 1950 und 1959 wurde diese Verschalung abgenommen und danach begannen neue Schäden.

Die auf der Insel Kishi zur Verwendung kommenden Kiefernholzer sind unterschiedlich: Es handelt sich sowohl um engringige und harzreiche Kiefern als auch solche mit weiten Jahresringen und wenig Harzgehalt. An der Sommerkirche, vor etwa 15 Jahren ausgewechselte Hölzer, zeigen deshalb einen sehr unterschiedlichen Zustand, einige Hölzer sind völlig schwarz und tragen erste Fäulnissspuren, während andere eine intakte Oberfläche aufweisen. Es werden deshalb Untersuchungen wie auch breite Diskussionen mit Fachleuten geführt, um eine Lösung zu erzielen, die die Blocksichtigkeit möglichst erhält. Der Autor hat dazu als minimalen Lösungsansatz vorgeschlagen, die Blockhölzer außen mit einem Öl, das mit einem Kunstharzzusatz widerstandsfähiger gegen Witterungseinflüsse ausgestattet ist, erstmalig mehrfach und dann an den wetterbeanspruchten Seiten in Intervallen von sechs bis zehn Jahren zu behandeln. Die Diskussion dazu ist noch im Gange.

Insgesamt hat die Schadensanalyse deutlich gezeigt, dass die Holzkirche mit ihren filigranen Bauteilen einer kontinuierlichen Pflege und Wartung bedarf, um als religionsgeschichtliches Dokument und Denkmal noch für viele Generationen erhalten bleibt. Die Intervalle zur Ablesung und Auswertung bauphysikalischer Daten, insbesondere der Feuchteverlauf sowie die Sichtkontrolle und die Pflege- und Wartungsmaßnahmen müssen in einem Konzept erarbeitet und in einem Maßnahmenplan umgesetzt werden. [13]



Bild 18 Die sanierte Gesamtkonstruktion der Christi-Verklärungskirche mit allen Kuppeln im Juli 2019. An der Ikonenwand im Innern und am „Himmel“, dem auf etwa 12 Meter eingehängten Zeltdach, wird noch gearbeitet.

Literaturverzeichnis

- [1] Kornilowitsch, K.; Kaganowitsch, A.: Illustrierte Geschichte der russischen Kunst – Von den Anfängen bis zum Ende des 18. Jahrhunderts, Genf 1967
- [2] Grizjuk, W. : Kishi, Spaziergang rund um die Insel, Petrosawodsk 1994
- [3] Mironowa, A. : Kunstschatze Altrussland, Leipzig 1990
- [4] Lissenko, L. M. : Die russische Holzbaukunst, München 1989
- [5] Piskunov, Y. : Reinforcement of the Transfiguration Church at Kizhi in The actual problems of the wooden architecture monuments researching and saving, St. Petersburg 1999
- [6] Vakhrameeva, T.: The Transfiguration Church of the Kizhi „Pogost“: Viewing of the preservation measures in: The actual problems of the unique Russian wooden architecture monuments’ researching and saving, St. Petersburg 1999
- [7] Gerner, M.: Preobrazhenskaya (Christi-Verklärungs-)Kirche auf der Insel Kishi/Russland Konzept zur Gesamtanierung, Manuskriptband deutsch und russisch, Kishi/Fulda 1994
- [8] Faensen, H.; Iwanow, W. : Altrussische Baukunst, Wien, München Berlin 1972
- [9 + 10] Chistov, K. V.: Ausstellung „Kizhi – Das Achte Weltwunder“, Russisches Haus der Wissenschaft und Kultur, Berlin 2019 (Ausstellungstexte)
- [11] Gerner, M.: Blockbau in Russland in: Deutsche Bauzeitung 3/1980, Seite 28 - 33
- [12] Gerner, M.: Die Kunst der Zimmerer, Skandinavien und Russland, Stuttgart/München 2002, Seite 84 – 99
- [13] Kisternaya, Margaretha u. Lubimtsev, Alexander: Maintenance of historic timber structures in Russisch mit englischer Zusammenfassung, Petrosawodsk 2016

Bildquellen

(1, 2, 3, 4, 10, 11, 14, 15, 16, 17)	Autor
(6, 18)	Annemarie Reimann
(12)	Y. Piskunow [5]
(5, 7, 8, 9, 13)	Ausstellung „Kizhi State Open Air Museum of History, Architecture and Ethnography.“

Eine Arche Noah für Holz zerstörende Pilze - oder welche Überlebensstrategien haben sie?

Angela Steinfurth, Kolding

Zusammenfassung

Die Dansk Jacht mit dem Namen „De fire bødre“ (die vier Brüder) sollte als schwimmendes Museum im Museumshafen in Flensburg zeigen, wie damals ein typisches, kleines Frachtschiff gebaut und genutzt wurde. Unerwartet für den Holzschutzsachverständigen, der sich mit den Überlebensstrategien von Bauholzpilzen in Gebäuden befasst, konnte im Laderaum des Schiffes ein Befall durch den Echten Hausschwamm und durch „seine 4 Brüder“ festgestellt werden. Das Artenspektrum sowie das jeweilige Mikroklima am Befallsort mit den entsprechenden ökologischen Nischen zeigten sich auf faszinierende Weise auf engstem Raum im Bauch des Schiffes. Der Beitrag zeigt die Anpassung der jeweiligen Bauholzpilze an die ökologischen Nischen und den jeweiligen Einfluss der einzelnen Parameter auf das Wachstum und bestätigt damit die Ergebnisse von ökologischen Untersuchungen am Echten Hausschwamm und weiteren Hausfäulepilzen von verschiedenen Autoren [1],[2],[3].

1 Einleitung

Die Hansestadt Lübeck mit ihrer mehr als 850 Jahre alten Geschichte als Hansestadt hat wie keine andere Stadt den Ostseehandel geprägt. Besonders mit dem Nachbarn Dänemark wurden gute Handelsbeziehungen unterhalten, wobei Handels- und Frachtschiffe schon immer eine bedeutende Rolle spielten. Daher passt die Geschichte vom Nachbau eines typischen Frachtschiffes, einer sogenannten „Dansk Jagt“ aus Marstall ausgezeichnet in den Rahmen der 30. Sanierungstage. Die Museumsverft in Flensburg hat sich zum Ziel gemacht, den Handel und das Leben an und auf der Ostsee kulturhistorisch durch den Nachbau von typischen Arbeitsbooten, die das Bild auf der Ostsee vor 100-200 Jahren prägten, zu veranschaulichen. (Bild 1).

Die Dansk Jagt mit dem Namen „De fire brødre – die vier Brüder“ sollte als schwimmendes Museum zeigen, wie damals ein typisches, kleines Frachtschiff aussah und genutzt wurde (Bild 2).

Der feierliche Stapellauf der Jagt erfolgte im August 2009 in Flensburg, seit dem Winter 2018/2019 – 10 Jahre nach dem Stapellauf - liegt die Dansk Jagt im Museumshafen in Flensburg auf Kiel, da ein festgestellter Befall durch den Echten Hausschwamm und andere Bauholzpilze die Ausführung von Sanierungsmaßnahmen erforderlich macht (Bild 2).



Bild 1 Museumswerft Flensburg



Bild 2 Dansk Jagt „De fire Brødre“

In diesem außergewöhnlichen Case stellt sich nun die Frage, warum das Vorbild in der Zeit von 1794-1944 ohne nennenswerten Pilzschäden auf der Ostsee segeln konnte, während das Museumsschiff nach 10 Jahren zur Sanierung auf dem Kai liegt.

2 Das Boot – der Werkstoff Holz

Beim Nachbau der Jagt wurde für die Spanten Eichenholz und für das Deck Lärchenholz angewendet. Dies sind Holzarten, die in Dänemark neben der Kiefer traditionell für den Bootsbau eingesetzt wurden und die auch der heutigen Einordnung in Gefährdungsklassen entsprechend für diese Anwendung als geeignet angesehen werden [4], [9].

Dennoch scheint der genaue Nachbau der Jagt auf der Grundlage der historischen Zeichnungen allein kein Garant für die Haltbarkeit des Holzes und damit des Bootes zu sein (Bild 3). Auch die Wahl einer geeigneten Holzart allein sichert nicht die Dauerhaftigkeit, wenn Kenngrößen wie Holzqualität, Jahrringbreite, Kernholzanteil, Astfreiheit, Winterfällung, Dimension, Markanteil und Trocknung nicht ausreichend beachtet werden. Es ist entsprechend nicht ausreichend, dass der Nachbau dem Original im Aussehen getreu ist, sondern daß jedes Detail so korrekt wie möglich ausgeführt wird [5].

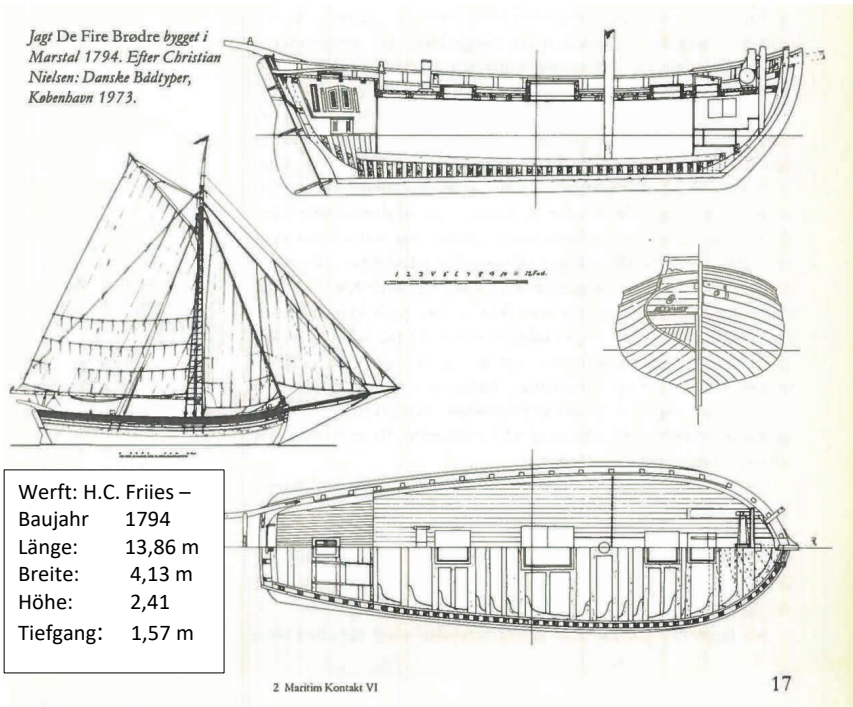


Bild 3 Historische Zeichnungen Jagt De fire Brødre [6].

Es ist bekannt, daß der Lebensraum Holz nur dann durch unterschiedliche Bauholzpilze optimal erobert werden kann, wenn eine Reihe von Wachstumsbedingungen erfüllt sind (Bild 4).

Dabei haben die einzelnen Faktoren unterschiedlich große Bedeutung für die initiale Entwicklung der Pilze und die Intensität des daraus resultierenden Holzabbaus (Bild 5).

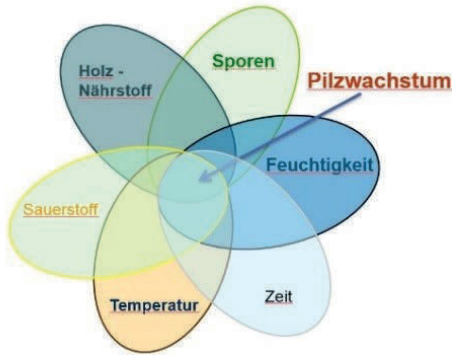


Bild 4 Wachstumsfaktoren



Bild 5 Beispiel Blättlingsbefall

Die einzelnen Pilze haben Anpassungsstrategien entwickelt, die Ihnen einen Konkurrenzvorteil und das Überleben sichern. Die Anwendung dieser Strategien zeigt sich eindrucksvoll unter Deck des Museumsbootes.

Das Schiffsdeck wird als „Dach“ eines Holzbootes angesehen und hat entsprechend dicht zu sein, um das Eindringen von Regenwasser und Seewasser zu verhindern [7]. Das Abdichten der Planken, das sogenannte Kalfatern, erfolgte durch Einschlagen von Baumwollfäden oder Hanf in die Abstände zwischen den Planken. Die kalfaterten Nähte wurden im Überwasserbereich mit Leinölkitt und im Unterwasserbereich mit Pech verfüllt [7].

Man beachte die Nebenwirkungen, die die Anwendung von Teer, der in flüssigem Zustand eingebracht wurde, auf die Holzeigenschaften hat.

Beim Bau des Museumsschiffes wurde zwar mit Baumwollfäden kalfatert, jedoch nicht mit Harz und Teer, sondern mit Kunststoff abgedichtet. Die Anwendung von dauerelastischem Dichtungsmaterial mit begrenzter Haltbarkeit und mangelhafte Anhaftung hat fatale Folgen [8], (Bild 6 und Bild 7).



Bild 6 Achterdeck

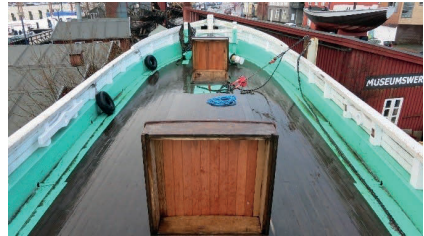


Bild 7 Deck vorne, Schmutz und Feuchtigkeit sammeln sich

2.1 Die Lärche

Die Lärche mit der botanischen Bezeichnung *Larix decidua* ist ein Holz mit obligatorischer Farbkernbildung, das nach EN 350-2 als mäßig dauerhaft (DHK 3-4) und als sehr beständig unter Wasser eingestuft wird [4]. Die Dauerhaftigkeit ist teils auf den Gerbstoffgehalt, der jedoch ausgewaschen werden kann, teils auf den mikroskopischen Aufbau zurückzuführen [9], (Bild 8 und Bild 9).

Untersuchungen von Koch et.al von sibirischer Lärche haben gezeigt, dass der Spätholzanteil und damit Rohdichtewerte von $> 0,7 \text{ g/cm}^3$ kombiniert mit einer erhöhten Konzentration von phenolischen, flavanoiden Inhaltsstoffen im Kernholz für eine erhöhte Dauerhaftigkeit von Lärchenholz (DHK 1-3) verantwortlich sind [10], [11].

Die Lärche ist im vorliegenden Fall stark abgebaut, was darauf hindeutet, dass im Vergleich zum Vorbild bei der Holzauswahl wichtigen Parametern, wie Qualität und Rohdichte nicht ausreichend Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

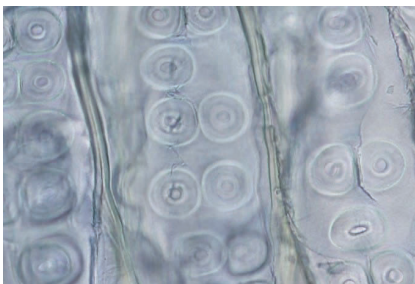


Bild 8 Mikroskopie Lärche

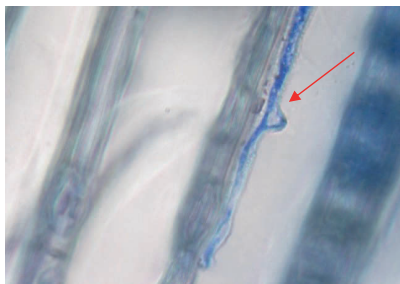


Bild 9 Mikroskopie Tracheide mit Substrathyphe (roter Pfeil)

2.2 Die Eiche

Die Eiche mit der botanischen Gattungsbezeichnung *Quercus* ist ein Laubholz mit obligatorischer Farbkernebildung, dessen Kernholz nach EN 350-2 als dauerhaft (DHK 2) auch im Wasser eingestuft wird [4], [9]. Die historischen Hölzer wurden lokal beschafft und bereits im Wald ausgesucht, um Dimension, Astfreiheit und Rissfreiheit zu gewährleisten [5].

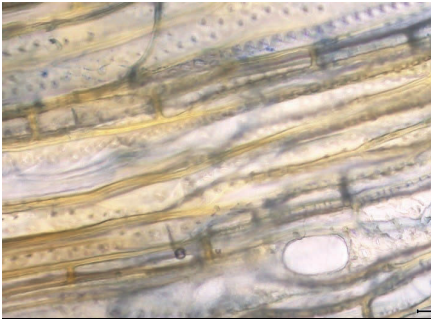


Bild 10 Mikroskopie Eichenholz



Bild 11 Eichenholz ohne Abbau mit Befallsgrenze

Wehmer untersuchte den „wachstumshemmenden Einfluss von Gerbsäure auf *Merulius lacrymans*“ in seiner Beziehung zur Resistenz des Eichenholzes gegen Hausschwamm und kam zu dem Schluss, dass „*Merulius* auf Eichenholz mehr oder weniger schlecht wächst und das Eichenholz nicht angreift“ [3].

Der Echte Hausschwamm überzieht das Eichenholz, es wird überwachsen aber nicht abgebaut (Bild 11). Wehmer machte die Gerbsäure für diese Resistenz verantwortlich. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen wurden im aktuellen Fall bestätigt, das Eichenholz wurde nur überwachsen aber nicht abgebaut (Bild 12).

Weiter sei erwähnt, daß das Eichenholz bedingt durch den Gerbsäuregehalt einen relativ niedrigen pH-Wert von 3,9 aufweist. Der pH-Wert des Substrates beeinflusst sowohl das Auskeimen der Sporen, das initiale Mycelwachstum und die für den Holzabbau erforderliche Enzymaktivität und wird als begrenzender Faktor angesehen, sobald dieser nicht in dem für Braunfäulepilze optimalen Bereich zwischen pH 5-6 liegt.



Bild 12 Befall Echter Hausschwamm Eichenholz Schott mit Myzel ohne Abbau

2.3 Die Fracht - Historische Ziegel aus der Ziegelei Egersund

In der 2. Hälfte des 16. Jahrhunderts gab es rund um die Flensburger Förde mehr als 70 Ziegeleien, die ihre Ziegel auf der gesamten Ostsee verschifften. Daher war es naheliegend, den Laderaum des Museumsschiffes mit Ziegeln zu füllen, um zu veranschaulichen, wie und mit welcher Last die Schiffe damals segelten. Dazu wurde der Laderaum an der Achterhütte mit historischen Ziegeln aus der Ziegelei Egersund gefüllt, die davor Anwendung in der Remise in Flensburg fanden.



Bild 13 Historische Ziegel waren zum Untersuchungszeitpunkt aus dem Laderaum entfernt



Bild 14 und gereinigt und gestapelt

3 Die Pilze - Der Echte Hausschwamm und seine „Brüder“

3.1 Der Echte Hausschwamm (*Serpula lacrymans*)

Ein Befall durch den Echten Hausschwamm in einem Schiff ist ungewöhnlich und kommt in der Praxis normalerweise nicht vor, da ein Holzboot bei korrekter Bauweise und Instandhaltung keine optimalen Wachstumsbedingungen bietet [12]. Bech-Andersen beschreibt in seinem Buch „Hussvampe og Husbukke“ seine Verwunderung darüber, dass die englische Flotte von Holzbooten vom Echten Hausschwamm heimgesucht wurde, bis er herausfand, daß die Flotte pro Schiff 500 Tonnen Kalkklippe von Dover als Ballast an Bord hatte [13]. Bech-Andersen ist der Meinung, dass das Vorhandensein von Kalk in irgendeiner Form für die Entwicklung des Echten Hausschwamms ausschlaggebend ist. Seiner Auffassung nach ist Kalk erforderlich, um die beim Holzabbau freiwerdende Oxalsäure als Calciumoxalat zu binden. Laut Bech-Andersen produzieren die anderen Braunfäulepilze, die beim Holzabbau ebenfalls Oxalsäure freisetzen, zusätzlich auch andere organische Säuren, die den pH – Wert ohne Kalk kontrollieren können [13].

Im vorliegenden Fall waren die Ziegel, die sich im Lastraum am Schott der Achterhütte befanden, zum Untersuchungszeitpunkt bereits entfernt. Der Befall war anhand einer Laborprobe identifiziert worden



Bild 15 Befall Echter Hausschwamm am Schott zwischen Laderaum und Achterhütte, wo die Ziegel gelagert waren.

Vor Ort konnte eindeutig festgestellt werden, dass sich der Befall durch den Echten Hausschwamm ausschließlich auf den Bereich des Laderaums erstreckte, in dem die Ziegel gelagert waren (Bild 15).



Bild 16 Befall Echter Hausschwamm am Schott zwischen Laderaum und Achterhütte, wo die Ziegel gelagert waren.

Weiter wurde festgestellt, dass das Eichenholz nur überwachsen wurde, während das Lärchenholz massiv abgebaut wurde (Bild 16).



Bild 17 Lärche abgebaut, Eiche ohne Abbau



Bild 18 Lärche massiv abgebaut, darunterliegende Eiche ohne Abbau

Der auf das Lärchenholz begrenzte Befall durch den Echten Hausschwamm bestätigt die in der Literatur beschriebene Resistenz des Eichenholzes gegenüber dem Echten Hausschwamm.

Die Bedeutung der Ziegel für die Entwicklung des Befalls ist ohne Zweifel, zumal sich der Befall ausschliesslich auf den Bereich beschränkt, in dem die Ziegel gelagert waren. Die Frage ist nur, welche genaue Bedeutung die Ziegel für die Entwicklung und den Holzabbau gehabt haben. Man kann die Theorie von Bech-Andersen in Erwägung ziehen, die davon ausgeht, dass die Ziegel den

erforderlichen Kalk geliefert haben. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass die Ziegel bereits infiziert waren, als sie als Last in den Lastraum eingebracht wurden oder dass sich durch das Vorhandensein der Ziegel ein Mikroklima eingestellt hat, dass die Entwicklung von freiliegendem Oberflächenmycel ermöglicht.

Da es sich um ein Museumschiff handelt, wurden die Ziegel nicht laufend durch neue Ladung ersetzt, sondern waren längerfristig gelagert. Der Zeitfaktor, die stillstehende Luft innerhalb der gelagerten Ziegel, die niedrigen Temperaturen und moderate Holzfeuchten, die an feuchte, kühle Räume erinnern, ermöglichten die Entwicklung von Oberflächenmycel und damit einen kräftigen Abbau des Lärchenholzes [2]. Da im Laderaum kein Licht vorhanden war, haben sich keine Fruchtkörper entwickelt.

3.2 Weitere Funde Holz zerstörender Pilze

3.2.1. Muschelkrempling (*Tapinella panuoides*)



Bild 19 Fruchtkörper Muschelkrempling unter Deck an den Spanten aus Eiche

Der Muschelkrempling, der auch unter den Namen Fächer -oder Grubenschwamm bekannt ist, gehört zu den weniger bekannten Bauholzpilzen, da sein Auftreten im Gebäude oder im Freien seinem hohen Feuchtigkeitsbedürfnis entsprechend an sehr feuchte Hölzer gebunden ist. Das befallene Holz verfärbt sich über gelblich braun bis rotbraun, bevor es im Endstadium eine typische Braunfäule aufweist. Obwohl der Pilz als langsam wüchsig gilt, können unter optimalen Bedingungen beträchtliche Holzerstörungen verursacht werden. Laut Literatur wird Nadelholz bevorzugt, Laubholz wird selten befallen. Der Name

Grubenschwamm stammt von seinem typischen Auftreten in Bergwerken, wo auch bei Lichtmangel reichlich normale Fruchtkörper gebildet werden. Weiter ist bekannt, dass der Muschelkrempling häufig vergesellschaftet mit *Coniophora* vorkommt. [14].

Im Bauch des Museumbootes können viele dieser Merkmale und Charakteristika des Muschelkremplings beobachtet werden. Ein schöner Fruchtkörper hat sich auf der Unterseite des Decks an den Spanten aus Eichenholz gebildet (Bild 19). Das Eichenholz zeigt zwar keine Braunfäule doch bezeugen die blauschwarzen Verfärbungen unter den Metallnägeln, dass langfristig Feuchtigkeit eingedrungen ist (Bild 19). Es ist davon auszugehen, dass die Feuchtigkeit von oben durch das Deck, das Dach des Schiffes, eingedrungen ist, da Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die Braunfäule zeigte sich auch hier nur am Lärchenholz und nicht an der Eiche.

Auch die beschriebene Vergesellschaftung mit dem Kellerschwamm konnte beobachtet werden. Im Nachbarfeld zeigte sich an der gleichen Stelle ein Fruchtkörper vom Braunen Kellerschwamm.

3.2.2. Brauner Kellerschwamm (*Coniophora puteana*)



Bild 20 Fruchtkörper Kellerschwamm unter Deck an den Spanten aus Eiche

Der Braune Kellerschwamm bevorzugt ebenfalls Nadelholz und befällt laut Literatur nur selten Laubholz. Sein Auftreten im Gebäude wird im Gegensatz zum Muschelkrempling nicht durch das Vorhandensein von Fruchtkörpern erkannt, sondern durch die Ausbildung von Oberflächenmyzel oder durch die verursachte Braunfäule, bzw. der Ausbildung von typischen, morphologischen Merkmalen der Substrathyphen in den Holztracheiden. Laut Literatur erfolgt die Ausbildung

von Fruchtkörpern selten und gegebenenfalls nur unter sehr feuchten Bedingungen. Die hohen Holzfeuchten, die durch die Undichtigkeiten des Decks und der Verbindung an den Spanten entstanden sind, charakterisieren auch diesen Befall. Die Holzzerstörung am Eichenholz ist minimal, der Fruchtkörper wurde auf der Holzoberfläche gebildet (Bild 20).

3.2.3. Blättlinge (*Gloeophyllum* sp.)



Bild 21 Dunkelfruchtkörper von Blättlingen an den Baumwollfäden

Die Blättlinge sind besonders für ihre hohe Hitzetoleranz bekannt. Daher findet man die Blättlinge an Orten, die neben einer hohen Holzfeuchtigkeit auch relativ hohe Temperaturen aufweisen, was ein Konkurrenzparameter für diese Pilzgruppe ist. Sie bevorzugen Nadelholz, wo sie eine Braunfäule verursachen und bilden bei Lichtmangel Dunkelfruchtformen aus. Im Museumsschiff wurde der Blättlingbefall anhand der Dunkelfruchtkörper, die sich in den mit Baumwollfäden ausgestopften, kalfaterten Zwischenräumen der Decksplanken gebildet haben, erkannt (Bild 21). Das Praxisbeispiel zeigt auch hier, dass bei Lichtmangel Dunkelfruchtkörper ausgebildet werden und bestätigt die Vorliebe der Blättlinge, Baumwolle zu bewachsen [1]

4 Resümee

Das Vorkommen dieser zahlreichen verschiedener Holz zerstörender Pilze auf engstem Raum zeigt, dass nur ein Zusammenspiel einzelner Wachstumsfaktoren diesen ungewöhnlichen Befall ermöglicht hat und dass die Überlebensmöglichkeiten vom Detail und Mikroklima abhängig sind.

Literaturverzeichnis

- [1] H. Viitanen & A-C. Ritschkoff, brown rot decay in wooden constructions, effect of temperature, humidity and moisture, Swedish University of Agricultural Science, department of Forest Products, report No 222, 1991.
- [2] T. Huckfeldt, O.Schmidt, H.Quader, Ökologische Untersuchungen am Echten Hausschwamm und weiteren Hausfäulepilzen, Holz als Roh-und Werkstoff 63,2005.
- [3] C. Wehmer, Beiträge zur Kenntnis einheimischer Pilze, Experimentelle Untersuchungen auf dem Gebiet der Physiologie, Biologie und Morphologie pilzlicher Organismen, Heft 3 Experimentelle Hausschwammstudien, Jena, Gustav Fischer 1915
- [4] DIN EN 350-2, Dauerhaftigkeitsklassen, 1994
- [5] Skibsbevaringsfonden 7, træ og de bevaringsværdige skibe
- [6] Maritim Kontakt 6, Jagt, udgivet af kontaktudvalget for dansk maritim og samfundsforskning, København 1983.
- [7] Skibsbevaringsfonden 6, trædæk på bevaringsværdige skibe
- [8] Dichten der Klinkerbeplankung, Alte Bootsbautechniken vor dem Vergessen Bewahren, Bootswirtschaft 4/2016
- [9] W. Scheiding u a., Holzschutz, Fachbuchverlag Leipzig, 2015.
- [10] G. Koch, M. Rehbein, M. Lenz, Natürliche Dauerhaftigkeit Sibirischer Lärche, Untersuchungen mehrerer Herkunftsgebiete – Inhaltsstoffe ursächlich für unterschiedliche Dauerhaftigkeit, Holzzentralblatt Nr. 22, 1. Juni 2007.
- [11] M. Rehbein, G. Koch, Wie dauerhaft ist die sibirische Lärche, Holzzentralblatt Nr. 34, 2010.
- [12] J. Bech-Andersen, Basische Baustoffe und begrenzte Feuchteverhältnisse, Antworten auf die Frage, warum der Echte Hausschwamm nur in Häusern vorkommt, Material und Organismen 20 (4): 301-309, 1985
- [13] J. Bech-Andersen, Hussvampe og Husbukke, Hussvamp laboratoriet ApS, hussvampelaboratoriets forlag, 1995.
- [14] O. Schmidt, Wood and tree fungi, biology, damage, protection and use, Springer 2006.

DIBt oder BAuA oder was? Praxis und Widersprüche bei der Zulassung von neuen Holzschutzmitteln

Peter Jüngel/ Marco Fleckenstein, Bad Berleburg

Zusammenfassung

Die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen durch das DIBt werden Stück für Stück durch Biozid-Zulassungen ersetzt. Als Biozid-Zulassungen werden die amtlichen Dokumente der BAuA, die gemäß harmonisierter europäischer Gesetzgebung bewertet, häufig bezeichnet. Aktuell besteht noch eine Co-Existenzphase, was nicht nur bei Anwendern von Biozidprodukten zu Verwirrung führt, weil sich Änderungen auch in Bezug auf die in Deutschland altbewährten Prüfprädikate ergeben.

Das Zulassungswesen wird hinsichtlich DIBt und BAuA beleuchtet, hierbei Hintergründe angerissen, Auswirkungen durch die z.T. unterschiedlichen Zulassungsverfahren beschrieben, die Verkehrsfähigkeit sowie normative Anpassungen erläutert. Darüber hinaus wird an Fallbeispielen gezeigt, worin sich Zulassungen durch das DIBt und die der BAuA unterscheiden können.

1 Die Zulassungen durch das DIBt in der Historie

Schon mit der Version vom 01. Oktober 1982 bestanden Anforderungen an Holzschutzmittel gemäß „Prüfgrundsätze für die Zuteilung eines Prüfzeichens“ [1] durch das DIBt – damals hieß es noch Institut für Bautechnik (IfBt). Der Schwerpunkt hinsichtlich der Anforderungen lag zunächst bei der Wirksamkeit der Produkte, aber auch der Arbeits- und Umweltschutz spielten eine Rolle, wenngleich eine Bewertung zunächst durch das IfBt erfolgte. Erst später wurden das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) und das Umweltbundesamt (UBA) als Einvernehmensbehörden in die Pflicht genommen.

Zur Einschätzung der Wirksamkeit waren zum damaligen Zeitpunkt in vielen Fällen DIN-Normen maßgeblich, weil Normen mit „EN-Status“ noch fehlten, wobei gewisse Anforderungen damals schon über das heutige Maß hinausgingen. Beispielsweise musste der Nachweis der Wirkungstiefe für die Produkte nach nicht genormten Verfahren (Abhobelversuch) erbracht werden (siehe auch Punkt 3.2).

Die bestehenden Anforderungen blieben an sich auch mit einer geplanten Neufassung als „Zulassungsgrundsätze für Holzschutzmittel“ aus dem Jahr 2005 [2] bestehen. In dieser Neufassung waren die Anforderungen an die Wirksamkeit somit wieder klar definiert, während Prüfungen/Beurteilungen der gesundheitlichen und ökotoxikologischen Unbedenklichkeit an das BfR und UBA weiterhin delegiert blieben.

Mit Inkrafttreten der Biozidprodukte-Richtlinie 98/8/EG im Jahr 1998 [3] zeichnete sich ab, dass in Deutschland als Zulassungsbehörde für Biozidprodukte die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) fungieren wird. Die BAuA wiederum fand mit dem UBA eine Einvernehmensbehörde, welche sich um ökotoxikologische Fragen und Bewertungen kümmern sollte. Eine doppelte Zusammenarbeit in puncto Holzschutzmittel lehnte das UBA später ab und zog sich aus dem DIBt-Bereich zurück. Dies war auch das Signal an das BfR. Das DIBt war somit ab 2006 auf sich allein gestellt und es bedurfte einer neuerlichen Überarbeitung der Prüfanforderungen in Anlehnung an die EU-Gesetzgebung. So wurden im Jahr 2009 komplett neue Prüfpläne [4] entwickelt, wissend um die Tatsache, dass es sich bei Erteilung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) lediglich um einen Übergangszeitraum handeln würde. Den Schwerpunkt der neuen Prüfpläne bildeten nunmehr jedoch der Arbeits- und Gesundheitsschutz, welche autark durch das DIBt zu bewerten waren. Diese Aufgabe war nicht einfach zu bewältigen, da es auf Seiten des DIBt vor allem an Personal aber auch an Qualifikation fehlte. Die gestellten Anforderungen zu erfüllen, war aber auch für die

Hersteller nicht einfach, denn 98/8/EG-konforme und zusätzliche Daten waren manchmal noch in der Entstehung, denn bis zu den „BAuA-Anträgen“ war noch Zeit. Hierdurch kam es in den Jahren 2010 bis 2012 zu einem regelrechten Stau in der Bearbeitung [5] und es fehlte an zugelassenen Produkten, auch wenn Anträge auf Verlängerung beim DIBt schon längst gestellt waren. Nach dieser unbefriedigenden Phase dauerte die Bearbeitung mehrere, manchmal viele Monate und die Kosten beliefen sich zuletzt auf einige Tausend Euro.

Einen „Stau“ gab und gibt es aber auch bei der Erteilung der Biozid-Zulassungen durch die BAuA, wie im Späteren erläutert wird. Deshalb war die Entscheidung des DIBt richtig, zunächst weiterhin, d.h. bis eine Biozidzulassung vorliegt, abZ zu erteilen. Dieser Zustand besteht heute noch, denn nicht wenige Produkte befinden sich noch in der Bewertung durch die BAuA.

Nicht nur das DIBt ist nunmehr für Holzschutzmittel mit abZ mehr oder weniger ein Auslaufmodell, auch das Holzschutzmittelverzeichnis, dessen Herausgeber das DIBt war, existiert nach 56 Auflagen in der damaligen Form seit Jahren schon nicht mehr. Erstellt wurde es in gedruckter Form für das DIBt jahrelang und zuletzt von Dipl.-Ing. Hubertus Quitt, der damals auch beim DIBt beschäftigt war. Seit seinem Ausscheiden erstellt Quitt anstelle dessen eine Übersicht für „Anwendungsbezogene Zuordnung der in Deutschland verwendbaren Holzschutzmittel, Bekämpfungsmittel und Schwammsperrmittel“, welche in elektronischer Form bei seinem Sachverständigenbüro zu beziehen ist (www.holzschutzmittelverzeichnis.de).

2 Das Zulassungsverfahren gemäß Biozidgesetzgebung (BAuA)

Unter anderem aus Mangel an harmonisierten Vorschriften der Gemeinschaft (EU) für Biozid-Produkte (früher als nicht landwirtschaftlich genutzte Schädlingsbekämpfungsmittel bekannt) hatte das Europäische Parlament die Richtlinie 98/8/EG über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten am 16. Februar 1998 erlassen. Diese Richtlinie, welche in das deutsche Chemikaliengesetz überführt wurde, sieht zunächst eine Bewertung der Biozide vor und im zweiten Schritt eine Bewertung/Zulassung der Produkte, die diese dann zugelassenen Biozide beinhalten.

Bereits im Jahr 2006 war das Ende für Biozide und daraus formulierte Produkte gekommen, die nicht notifiziert, sondern lediglich identifiziert wurden. Mit einer Notifizierung sprach sich zumeist der Wirkstoffproduzent oder -lieferant

seinerzeit für den Willen des Fortbestandes eines Biozids – also das Unterstützen eines Wirkstoffs – aus. Diesem Prozedere vielen bereits 100e Wirkstoffe zum Opfer, werden alle 23 geregelten Produktarten betrachtet, wie Bild 1 verdeutlicht. Die verbliebenen (wirtschaftlich interessanten und bedeutende) Wirkstoffe sollten dann also genau unter die Lupe genommen und umfassend bewertet werden.

Konsequenzen aus 98/8/EG / Wirkstoffe

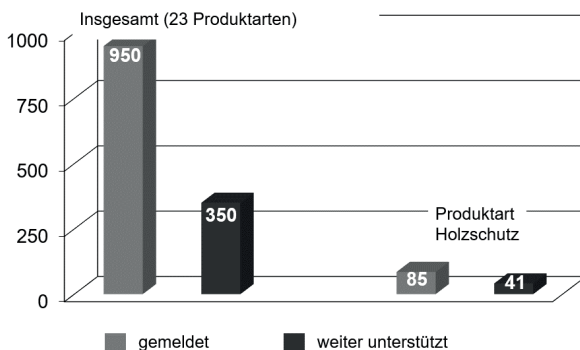


Bild 1 Anzahl gemeldeter (identifizierter) und weiter unterstützter (notifizierter) Wirkstoffe in 23 Produktarten bzw. PT 8 (Produktart Holzschutz) gemäß VO 1451/2007 [6]

Auch im Bereich des Holzschutzes blieben viele Wirkstoffe auf der Strecke und fanden keinen Zugang in eine Bewertung. Von den weiter unterstützten Wirkstoffen in der Produktart Holzschutz (PT 8) sind bis heute wohl lediglich zwei Wirkstoffe noch nicht abschließend bewertet [6], wobei dies eigentlich zu erwarten gewesen wäre. Einige Wirkstoffe befinden sich sogar schon im Verlängerungsverfahren, denn nach einer festgelegten Frist von 5 oder 10 Jahren erfolgt eine erneute Bewertung. Aufgrund wiederum verschärfter Anforderungen im Laufe dieser Zeit gibt es im Ergebnis einige Wirkstoffe mit „neuen“ Einschränkungen hinsichtlich ihrer Verwendung und diese sind deswegen trotz Zulassung nicht mehr interessant. Bei anderen Wirkstoffen muss vor der Verwendungserlaubnis auf Ebene der Produkte eine vergleichende Bewertung erfolgen.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass nunmehr nur noch ganz wenige Wirkstoffe für die Herstellung von Holzschutzmittelformulierungen zur Verfügung stehen

und die Hersteller mehr oder weniger zwangsweise unflexibel in der Kreation von Produkten sind. Gründe für den Rückgang an Wirkstoffen sind v.a. verbundene Kosten und damit eine eventuelle Unwirtschaftlichkeit oder auch Unwägbarkeiten im Zulassungsprozess sowie sich immer weiter durch unterschiedlichste Gesetze, u.a. REACH [7], verschärfende Kennzeichnungsvorschriften für die Substanzen und nachfolgend für die Produkte. Neue Wirkstoffe finden sich nur wenige. Der ursprüngliche Plan war ein Abschluss der Bewertung für im Jahr 1998 bestehende Produkte (Altprodukte) innerhalb der nächsten 10 Jahre. Dies hätte bedeutet, dass 2008 mit den „Altlasten“ aufgeräumt gewesen wäre. Dieses Ziel war rein utopisch.

Im Jahr 2012 wurde die Richtlinie dann durch die sogenannte Biozidverordnung, Verordnung (EU) Nr. 528/2012 [8], ersetzt, weil ein Überarbeitungsbedarf klar ersichtlich war. Als Verordnung der EU ist diese direkt wirksam und musste nicht in deutsches Recht überführt werden. Allein die Gebühren für die Zulassung – Prüfungen, Studien, u.ä. sind nicht eingeschlossen (!) – sind entsprechend hoch und unterstreichen das vorher Geschriebene. Hierzu sollte der Interessierte einen Blick in die „Durchführungsverordnung (EU) Nr. 564/2013 vom 18. Juni 2013 über die an die Europäische Chemikalienagentur zu entrichtenden Gebühren und Abgaben gemäß der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten“ werfen (vgl. Bild 2, [9]).

19.6.2013	DE	Amtsblatt der Europäischen Union	L 167/23
ANHANG II			
Gebühren für die Unionszulassung von Biozidprodukten			
Tabelle 1			
Standardgebühren			
Allgemeine Beschreibung der Aufgabe, einschlägige Bestimmung in der Verordnung (EU) Nr. 528/2012	Besondere Bedingung oder Aufgabenbeschreibung	Gebühr (in Euro)	
Erteilung einer Unionszulassung, Einzelprodukt, Artikel 43 Absatz 2	Gebühr je Produkt, das nicht mit dem (einem der) repräsentativen Produkt(e), das/die für die Genehmigung des Wirkstoffs bewertet wurde(n), identisch ist	80 000	
	Gebühr je Produkt, das mit dem (einem der) repräsentativen Produkt(e), das/die für die Genehmigung des Wirkstoffs bewertet wurde(n), identisch ist	40 000	
	Zusatzgebühr je Produkt, wenn eine vergleichende Bewertung gemäß Artikel 23 der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 erforderlich ist	40 000	

Bild 2 Gebühren für die Unionszulassung von Biozidprodukten (Auszug gemäß [9])

Abgesehen von den die Basis bildenden Wirkstoffbewertungen finden sich unzählige Produkte nach wie vor in der Bewertung durch die BAuA. Eine Liste der Biozidprodukte, die in Deutschland aufgrund eines laufenden Entscheidungsverfahrens auf dem Markt bereitgestellt und verwendet werden dürfen, findet sich unter „Biozidprodukte im Entscheidungsverfahren“ (siehe Link und Bild 3):

https://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Chemikalienrecht/Biozide/pdf/Biozidprodukte-im-Entscheidungsverfahren.pdf?__blob=publicationFile&v=17

Liste der Biozidprodukte, die in Deutschland aufgrund eines laufenden Entscheidungsverfahrens auf dem Markt bereitgestellt und verwendet werden dürfen.

Laufendes Entscheidungsverfahren über einen Antrag auf Zulassung oder zeitlich parallele gegenseitige Anerkennung nach Artikel 89 Absatz 3 Unterabsatz 2 der Verordnung (EU) 528/2012 (Biozid-Verordnung) i.V.m. § 28 Absatz 8 Unterabsatz 3 des Chemikaliengesetz.

Bitte beachten Sie: Aufgrund der technischen Gegebenheiten im Register für Biozidprodukte (R4BP) ist diese Liste nicht tagesaktuell. Bei eventuellen Rückfragen wenden Sie sich bitte an die Bundesstelle für Chemikalien (chemo@baua.bund.de).

Name des Biozidprodukts	Firma	Produktart(en)	Wirkstoff(e)
1+1 Wofasteril SC super	Evonik Resource Efficiency GmbH	2; 3; 4; 5	Peressigsäure
162 Combitarte	SOCODIF	2; 3; 4; 5	Wasserstoffperoxid
25WP	Chemtura Europe Ltd	18	Diffubenzuron
2-Propanol 70%	Carl Roth GmbH und Co. KG	1; 2; 4	Propan-2-ol
2-Propanol 70%	Otto Fischer GmbH & Co. KG	1; 2; 4	Propan-2-ol
3 Athlet	benefits for you	1; 2; 3; 4; 5	aus Natriumhypochlorit freigesetztes Aktivchlor
3PhasenReiniger Aktivchlor	KERSIA DEUTSCHLAND GmbH	2; 3; 4; 5	aus Natriumhypochlorit freigesetztes Aktivchlor
580 Wasseraufreinigungsmittel		2; 3; 4	Wasserstoffperoxid
A CID HIA	Qualileo Environnement	2; 3; 4; 5	Wasserstoffperoxid

Bild 3 Auszug der Liste der Biozidprodukte im Entscheidungsverfahren

Diese Liste umfasst immerhin 580 Seiten – Stand 12.08.2019. Auch einige Produkte der Produktart 8 (Holzschutzmittel) finden sich hierin. Ob das Produkt jedoch verkehrsfähig ist oder nicht, hängt davon ab, ob es sich um ein Altprodukt oder ein Neuprodukt handelt (siehe verkehrsfähige Biozidprodukte).

Wird ausschließlich auf die PT 8 geschaut, so sind nunmehr doch schon viele Produkte durch die BAuA zugelassen, wie folgende Liste unter Bild 4 zeigt, wobei diese zu finden ist unter:

https://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Chemikalienrecht/Biozide/pdf/Holzschutzmittel.pdf?__blob=publicationFile&v=10

Diese Liste umfasst immerhin 170 Seiten. Bei genauerem Hinschauen ist festzustellen, dass viele sehr ähnliche Produkte enthalten sind, was der beschränkten Anzahl an Wirkstoffen geschuldet ist.

Liste der in Deutschland zugelassenen Biozidprodukte in der Produktart 8 (Holzschutzmittel)						
Name des Biozidproduktes	Zulassungsnummer	Wirkstoff(e)	Ende der Zulassung	Verwendung	Einstufung	Weitere Informationen
Accoya Imprägniergrund	DE-2012-MA-08-00015-ao	IPBC, Propiconazol	31.03.2020	Lösemittelbasierte Formulierung zur Verwendung durch berufsmäßige und nicht-berufsmäßige Anwender in den Gebrauchsklassen 2 und 3; Zielorganismus: vorbeugender Schutz gegen Holz zerstörende und Holz verfärbende Pilze Gemäß Artikel 52 der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 (Biozid-VO) gelten für die Umsetzung der Bestimmungen eine Frist für die Bereitstellung auf dem Markt bis zum 19.06.2017 sowie eine Frist für die Verwendung bis zum 15.12.2017.	EUH066: Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. H304: Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein. H317: Kann allergische Hautreaktionen verursachen. H319: Verursacht schwere Augenreizung. H373: Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition. H412: Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.	-
Acryl Holzschutzgrund	DE-0000336-0001-08	IPBC, Propiconazol	31.03.2020	Wasserbasierte Formulierung zur Verwendung durch berufsmäßige Anwender und nicht-berufsmäßige Anwender in den Gebrauchsklassen 2 und 3; Zielorganismus: vorbeugender Schutz gegen Holz zerstörende Pilze und Bläupilze.	H412 (Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung) EUH 208 Enthält IPBC und Butanonoxim. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.	-
Acryl Holzschutzgrund	DE-2012-MA-08-00006-ag	IPBC, Propiconazol	31.03.2020	Wasserbasierte Formulierung zur Verwendung durch berufsmäßige Anwender und nicht-berufsmäßige Anwender in den Gebrauchsklassen 2 und 3; Zielorganismus: vorbeugender Schutz gegen Holz zerstörende Pilze und Bläupilze. <small>Wasserbasierte Formulierung zur</small>	H412 (Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung) EUH 208 Enthält IPBC und Butanonoxim. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.	-

Bild 4: Auszug der Liste der zugelassenen Biozidprodukte (BAuA)

Der Regelungsrahmen hat sich durch die Neufassung erweitert. Die Biozidrichtlinie 98/8/EG bezog sich auf „über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten“ während es im Titel der Biozidverordnung heißt „über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten“. Damit bringt die Verordnung weitere neue Aspekte mit.

Beispielsweise regelt die Verordnung unter Art. 58 die Kennzeichnung von behandelter Ware, damit der Endverbraucher die für ihn wichtigen Informationen erhält. So sind auf dem Holz anzugeben:

1. eine Erklärung, aus der hervorgeht, dass die behandelte Ware Biozidprodukte enthält;
2. wenn dies angezeigt ist, die der behandelten Ware zugeschriebene biozide Eigenschaft;
3. die Bezeichnung aller Wirkstoffe, die in den Biozidprodukten enthalten sind, unbeschadet des Artikels 24 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008;
4. die Namen aller in den Biozidprodukten enthaltenen Nanomaterialien mit der anschließenden Angabe „Nano“ in Klammern;

5. alle einschlägigen Verwendungsvorschriften, einschließlich Vorsichtsmaßnahmen, die wegen der Biozidprodukte, mit denen die behandelte Ware behandelt wurde beziehungsweise die in dieser Ware enthalten sind, zu treffen sind.

Diese Pflicht wird nach eigener Einschätzung heute allerdings sehr stiefmütterlich umgesetzt. Kritisch wird dies, wenn sich die Marktüberwachungsbehörden einschalten und bspw. in den Baumärkten die Sortimente prüfen. Empfindliche Strafen dürften drohen.

Die selbst auferlegte Dauer einer Bearbeitung durch die zuständige Behörde beträgt nun gemäß Biozidverordnung drei Jahre, doch auch dieser Zeitraum reicht in vielen Fällen nicht aus, wie die Antragsteller zu spüren bekommen. Die Möglichkeit einer gegenseitigen Anerkennung der Zulassung oder einer Unionszulassung, die eine Abstimmung zwischen verschiedenen Mitgliedstaaten der EU erforderlich macht, erschweren die Einhaltung dieser Frist ebenfalls, auch wenn die eingereichten Unterlagen eine hohe Qualität und Vollständigkeit aufweisen. Hieraus ergibt sich eine große Unsicherheit für die Hersteller, Vertreiber und Anwender der Produkte.

3 Auswirkungen der Änderungen auf die ...

3.1 Sicherheit der Produkte

Die Zulassung von Holzschutzmitteln nach Biozidverordnung in Verbindung mit dem Chemikaliengesetz (ChemG) erfolgt durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (für nationale Zulassungen einschließlich gegenseitiger Anerkennungen) oder durch die europäische Kommission (für Unionszulassungen). Die Zulassung schließt eine Bewertung der Wirksamkeit, des Arbeitsschutzes sowie der umwelt- und gesundheitsbezogenen Risiken bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ein.

Der Arbeitsschutz sowie die Bewertung der umwelt- und gesundheitsbezogenen Risiken bilden das Kernthema im heutigen Zulassungswesen. Nicht umsonst erfolgt die Beurteilung durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, wie der Name schon sagt.

Das DIBt maß diesen Aspekten natürlich auch Bedeutung bei und durch die Einschaltung von BfR und UBA erfolgten selbstverständlich Beurteilungen der

Produkte und es wurden im Falle von Bedenken entsprechende Auflagen in die abZ integriert.

Nichts desto trotz kann aus heutiger Sicht behauptet werden, dass aufgrund gestiegener Besorgnis im Umgang mit Chemikalien allgemein und Bioziden im Speziellen eine härtere Beurteilung der Produkte erfolgt. Ein viel diskutiertes Beispiel hierfür sind sicher auch die Borverbindungen [10]. Der Sachverhalt hat u.U. Auswirkungen für den Verarbeiter, der besondere Schutzausrüstungen tragen oder eine Sachkunde vorweisen muss, jedoch sollten die Produkte bei ordnungsgemäßer Anwendung hinsichtlich des Arbeits- und Umweltschutzes so sicher sein, wie niemals zuvor.

Es darf dabei auch nicht vergessen werden, dass mit dem DIBt in Deutschland eine für den europäischen Raum gewisse Sonderstellung bestand und dieser hohe Standard an Sicherheit beim Umgang mit Biozidprodukten in anderen Ländern bei weitem nicht vorlag, wodurch der Schritt in Brüssel – die Regulierung von Biozidprodukten durch eine Richtlinie – nachvollziehbar wird und logisch erscheint.

3.2 Wirksamkeit

Die Bewertung der Wirksamkeit durch die BAuA erfolgt für vorbeugend wirkende Produkte gemäß EN 599 in der jeweils gültigen Fassung [11]. Diese Norm ist jedoch nicht geeignet für Holzschutzmittel zur bekämpfenden Behandlung.

Während das DIBt auch Prüfdaten im Abhobelversuch forderte, finden sich diese Anforderungen in der Europäische Norm nicht. So wurden für das DIBt die Labortests zur Wirksamkeit auch mit Hölzern durchgeführt, deren behandelte Oberflächen auf 1, 2, 3 (für den Pilzversuch und 2 mm bei Insekten) ggf. 4 mm (nur bei Insekten) abgehobelt wurden. Die Bewertung, ob eine ausreichende Wirksamkeit auch in der Tiefe vorlag, oblag damals der BAM, später verschiedenen Materialprüfanstalten. Um diese Wirkungstiefe im Test auch zu erreichen, mussten die Konzentration hoch und die Behandlungsdauer lange gewählt werden. Hierdurch ergaben sich zwangsweise höhere notwendige Aufbringmengen, als sie sich durch Prüfung der behandelten Oberfläche heute ergeben. Ein solcher Test wird heutzutage für eine BAuA-Zulassung nicht mehr gefordert. Dies ist der Grund für aus der Vergangenheit bekannte Aufbringmengen mit 20, 30 oder gar 40 g/m² und mehr im Vergleich zu den Aufbringmengen gemäß Biozidverordnung und EN 599 mit 3, 4 oder 5 g/m².

3.3 Landesbauordnungen / MVV TB

Das DIBt schreibt im August 2019 auf seiner Internetseite zum Umsetzungsstand der MVV TB und Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen [12]:

„Die Länder befinden sich bezüglich der Musterbauordnung 2016 und der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen noch im Umsetzungsprozess. Im Sinne der Einheitlichkeit haben jedoch alle Länder zugesagt, die Anwendung der MVV TB bereits jetzt zu tolerieren. Das DIBt empfiehlt die Regelungen der MVV TB heranzuziehen. In jedem Fall müssen die Regelungen in sich konsistent angewandt werden.“

In der aktuellen Fassung der MVV TB finden sich im Teil A die „Technische Baubestimmungen, die bei der Erfüllung der Grundanforderungen an Bauwerke zu beachten sind“ Verweise auf den Holzschutz durch DIN 68800-1:2011-10 [13] und DIN 68800-2:2012-02 [14] sowie auf Anlage A 1.2.5/2.

Dort heißt es unter Punkt 2:

Bauwerksteile aus Holz, bei denen chemischer Holzschutz verwendet wird, sind so zu planen und auszuführen, dass das verwendete Mittel zum chemischen Holzschutz und seine Anwendungsbedingungen anhand der Zulassungsnummer der BAuA oder des DIBt nachvollziehbar sind.

Hinweis: Bis zum Vorliegen der Biozid-Zulassung, die von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) erteilt wird, ist für das jeweilige Holzschutzmittel eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.

Die MVV TB wurden also bereits an die neuen Anforderungen bzgl. Zulassung von Holzschutzmitteln angepasst. Im Weiteren wird in den Anhängen 8 (Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes) und 10 (Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer) im Speziellen auf die Biozid-Verordnung Bezug genommen. So ist die Verwendung von Holzschutzmitteln in Aufenthaltsräumen und baulich nicht davon abgetrennten Räumen unzulässig, es sei denn es liegt eine Zulassung gemäß der Biozid-Verordnung Nr. 528/2012 vor.

Für Dachbauteile, Bauteile für Außenwände oder Flächenbeläge dürfen Holzschutzmittelbehandelte Holzbauteile nur eingesetzt werden, wenn die Holzschutzmittel (Biozidprodukte) den Anforderungen der Biozid-Verordnung entsprechen.

Bei der Verwendung von Biozidprodukten sind die in der Zulassung nach Biozid-Verordnung genannten Auflagen gemäß Artikel 22, Absatz 1, der Biozid-Verordnung bzw. national geltende Übergangsvorschriften nach der Verordnung über die Meldung von Biozid-Produkten nach dem Chemikaliengesetz (Biozid-Meldeverordnung) einzuhalten.

Vorgenannter Artikel 22, Absatz 1 regelt jedoch den Inhalt von Zulassungen generell, keine Auflagen im Speziellen. Es heißt lediglich in diesem Artikel:

„In einer Zulassung sind die Bedingungen für die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung des einzelnen Biozidprodukts oder der Biozidproduktfamilie festgehalten, und sie enthält eine Zusammenfassung der Eigenschaften des Biozidprodukts.“

Dieser Querverweis ist somit zunächst nicht hilfreich, sondern führt dazu, dass die Zulassung hinsichtlich der Bedingungen für die Verwendung des Produktes maßgeblich und zu beachten ist.

Weiterhin müssen Holzbauteile, die mit Schutzmitteln gegen biologischen Befall behandelt sind, nach DIN EN 15228:2009, Abschnitt 6, Angaben enthalten zu Behandlungsverfahren, Holzschutzmittelname, Eindringtiefeklasse, Aufbringmenge, Zielorganismen sowie Chargennummer, Behandlungsjahr und Identifizierung des Herstellers (Behandelnden) [15].

3.4 DIN 68800 (Prüfprädikate)

DIN 68800 erschien erstmalig 1956 und regelt seither in Verbindung mit der bereits 1954 erschienenen DIN 52175 den Gesamtbereich des Holzschutzes im Hochbau. Bei der ersten Überarbeitung 1974 wurde die Norm in die noch heute bestehenden Teile 1 bis 4 aufgeteilt [16].

Mit DIN 68800 etablierten sich die Prüfprädikate, die bis zum heutigen Tag für die Praktiker von Bedeutung sind, um einfach und schnell die Produktcharakteristik abzuleiten und das geeignete Holzschutzmittel auszuwählen.

Im Teil 3 der Norm aus dem Jahr 1990 findet sich die als Bild 4 gezeigte Tabelle [17].

Im Teil 4 aus dem Jahr 1992 [18] wird hingegen noch nicht direkter Bezug zu den Prüfprädikaten genommen. Gemäß Abschnitt 3.1 kamen als Bekämpfungsmittel

gegen Schwamm im Mauerwerk oder holzerstörende Insekten Produkte in Frage, die als RAL-GZ 830 gütegesicherte Bekämpfungsmittel galten und im nichtamtlichen Teil B des HSM-Verzeichnisses genannt waren. Ca. 30 Produkte galten hiernach als geeignete Mittel und waren in der 45. Auflage mit Stand vom 01.07.1992 gelistet [19]. Erst Mitte/Ende der 90er wurden diese im Verzeichnis unter „Holzschutzmittel mit abZ“ in der Rubrik „IV Verzeichnis der Bekämpfungsmittel“ geführt und es finden sich die Prädikate (Ib) und (M).

Tabelle 1 — Auswahl der Holzschutzmittel in Abhängigkeit von der Gebrauchsklasse

Gebrauchsklasse (GK)	Anforderungen an das Holzschutzmittel	Kurzzeichen
0	Keine Holzschutzmittel erforderlich	
1	Insektenvorbeugend	Iv
2 a, b	Insektenvorbeugend Pilzwidrig	Iv, P
3.1 b 3.2 b	Insektenvorbeugend Pilzwidrig Witterungsbeständig	Iv, P, W
4	Insektenvorbeugend Pilzwidrig Witterungsbeständig Moderfäulewidrig	Iv, P, W, E
5	Wie für GK 4; zusätzlich Wirksamkeit gegen Holzschädlinge im Meerwasser	

a Bei Holzbauteilen, für die keine Gefährdung durch Insektenbefall vorliegt, kann auf eine insektenvorbeugende Wirkung verzichtet werden.

b Bei Gefährdung durch Bläuepilze an verbaulichem Holz in den Gebrauchsklassen 2 und 3 kann eine bläuewidrige Wirksamkeit (Kurzzeichen B) zweckmäßig sein; hierfür ist eine besondere Vereinbarung erforderlich.

Bild 4 Zuordnung der Anforderungen an das Holzschutzmittel inkl. Kurzzeichen (Prüfprädikate) zu den Gebrauchsklassen gemäß DIN 68800-3 aus dem Jahr 1990

Mit der Version 68800-4 aus Februar 2012 [20], die eine sehr umfassende Überarbeitung des Teils 4 darstellte und den Umfang der Norm von 7 Seiten auf immerhin 28 Seiten erweiterte, sind unter „5.2 Anzuwendende Produktarten“ die Prüfprädikate normativ erwähnt.

Es heißt: Für bekämpfend wirksame Mittel für tragende Bauteile ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis erforderlich. Hierfür werden folgende Prüfprädikate vergeben, mit denen die betreffenden Mittel zu kennzeichnen sind:

- M Schwammsperrmittel;
- lb gegen Insekten bekämpfend wirksam.

Bereits im November des Jahres 2012 informierte das DIBt über den Ersatz der abZ durch die Biozid-Zulassungen für Holzschutzmittel, gemeint sind hierbei die Zulassungen für diese Produkte gemäß VO (EU) Nr. 528/2012 durch die BAuA. In dem Schreiben des DIBt [21] heißt es:

Entsprechend der Anlage 5.2/1 der Musterliste der Technischen Baubestimmungen ersetzen die gesetzlich vorgeschriebenen Zulassungen nach dem Chemikaliengesetz (Biozid-Zulassungen) die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Holzschutzmittel. Bei Vorliegen einer Biozid-Zulassung für ein Holzschutzmittel wird das DIBt daher keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für dieses mehr erteilen. Das DIBt wird ab sofort so vorgehen.

Somit gelten zukünftig für Maßnahmen zum Schutz von Holz bzw. zur Bekämpfung eines Befalls mit Holzschutzmitteln die entsprechenden technischen Regeln (DIN Normen) und die Biozid-Zulassungen für Holzschutzmittel. Für Fragen und Hinweise zur Verwendung sowie Anwendung von Maßnahmen zum Holzschutz mit Holzschutzmitteln bitten wir Sie, sich an die zuständigen Normenausschüsse zu wenden.

Bild 5 Auszug aus einem Schreiben des DIBt [21] zu abZ und Biozid-Zulassungen

Für die BAuA gelten ausschließlich europäisch harmonisierte Normen zur Bewertung. In diesen Normen tauchen Prüfprädikate jedoch nicht auf und sind somit unbekannt. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass diese für bewertete Produkte auch fehlen. Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen und den Praktikern die Prüfprädikate zu erhalten, wurde im DIN-Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) entschieden, die Prüfprädikate zunächst zu erhalten aber mit den BAuA-Anforderungen abzugleichen. Dieser Entschluss wurde bei der turnusmäßigen Überarbeitung der DIN 68800 im Jahr 2018 gefällt. Somit findet sich im Norm-Entwurf E DIN 68800-3 „Holzschutz - Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln“ mit Ausgabedatum 2019-04 folgende Tabelle [22], die als Bild 6 gezeigt ist. Damit erfolgte quasi eine Übersetzung der Anforderungen an das Holzschutzmittel gemäß BAuA auf die altbekannten Prüfprädikate.

Für Teil 4 der DIN 68800 gilt dies jedoch nicht. Im Rahmen der Überarbeitung der DIN 68800-4:2012 im Jahr 2018 wurden die Prüfprädikate unter Punkt 5.2 erhalten ohne dies mit den BAuA-Anforderungen abzugleichen [23]. Eine Übersetzung der Anforderungen an die bekämpfenden Holzschutzmittel, wie für Teil 3 erfolgt, wurde im Teil 4 der DIN 68800 nicht umgesetzt. Diese Tatsache sorgt für Unsicherheit und Verwirrung bei den Produzenten und den Verarbeitern von bekämpfenden Holzschutzmitteln als auch bei den Auftraggebern von

Bauvorhaben, die oftmals bekämpfende Holzschutzmittel mit den entsprechenden Prüfprädikaten fordern.

Tabelle 1 — Auswahl der Holzschutzmittel in Abhängigkeit von der Gebrauchsklasse

Gebrauchsklasse (GK)	Anforderungen an das Holzschutzmittel mit Zulassung nach Biozid-VO	Anforderungen an das Holzschutzmittel mit bauaufsichtlichem Verwendbarkeits-nachweis (Kurzzeichen)
0	Keine Holzschutzmittel erforderlich	
1	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer ^d	Insektenvorbeugend (Iv)
2 ^{a,b}	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer ^d Braunfäulepilze	Insektenvorbeugend (Iv) Pilzwidrig (P)
3.1 3.2 ^b	^b Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer ^d Braunfäulepilze und Weißfäulepilze	Insektenvorbeugend (Iv) Pilzwidrig (P) Witterungsbeständig (W)
4	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer ^d Braunfäulepilze, Weißfäulepilze und Moderfäulepilze ^c	Insektenvorbeugend (Iv) Pilzwidrig (P) Witterungsbeständig (W) Moderfäulewidrig (E)
5	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer ^d Braunfäulepilze, Weißfäulepilze und Moderfäulepilze ^c Bohrmuscheln und Bohrsseln	Wie für GK 4; zusätzlich Wirksamkeit gegen Holzschädlinge im Meerwasser

^a Bei Holzteilen, für die keine Gefährdung durch Insektenbefall vorliegt, kann auf eine insektenvorbeugende Wirkung verzichtet werden.

^b Bei Gefährdung durch Bläupilze an verbaulichem Holz in den Gebrauchsklassen 2 und 3 kann eine bläuwidrige Wirksamkeit zweckmäßig sein; hierfür ist eine besondere Vereinbarung erforderlich.

^c Positive Ergebnisse aus Freilandprüfungen nach DIN EN 252 erforderlich.

^d Eine Wirksamkeit gegen alle Holz zerstörenden Käfer deckt die Anforderungen an die Wirksamkeit gegen Hausbockkäfer und den Gewöhnlichen Nagekäfer ab.

Bild 6 Zuordnung der Anforderungen an das Holzschutzmittel inkl. Kurzzeichen (Prüfprädikate) zu den Gebrauchsklassen gemäß Entwurf DIN 68800-3 aus dem Jahr 2019

4 Verkehrsfähige Biozidprodukte

Nur sogenannte verkehrsfähige Produkte dürfen in den Handel/auf den Markt gelangen. Inwiefern ein Produkt verkehrsfähig ist, lässt sich schnell und einfach im Internet überprüfen, auch wenn noch keine Zulassung gemäß VO (EU) Nr. 528/2012 vorliegt. Hierzu ist dem unter Punkt 2 angegeben Link zu „Biozidprodukte im Entscheidungsverfahren“ zu folgen.

Ob eine abZ durch das DIBt vorliegt, lässt sich ebenfalls auf der Internetseite des DIBt (www.dibt.de) feststellen.

4.1 Beispiel 1 – abZ durch DIBt liegt vor, aber ein Altwirkstoff ist noch nicht durch die CA bewertet

Für Biozidprodukte die ausschließlich Altwirkstoffe enthalten, gelten Übergangsregelungen.

Von den Altwirkstoffen aus dem Bereich Holzschutzmittel (PT8) sind zwei noch in der Bewertung durch die Competent Authorities [24]. Für den Außenstehenden ist nicht ersichtlich, weshalb die Bearbeitung bereits so viele Jahre andauert. Da es sich jedoch um Altwirkstoffe handelt, sind Produkte, die diese Wirkstoffe enthalten, sehr wohl verkehrsfähig. Für diese Übergangszeit ist in Deutschland jedoch eine Meldung des Biozidproduktes gemäß der Biozid-Meldeverordnung [25] bei der Bundesstelle für Chemikalien notwendig.

Beispielsweise enthält unter anderem das Holzschutzmittel impralalit KDS-B den alten und wohlbekannten Wirkstoff N-Didecyl-N-dipolyethoxyammoniumborat/Didecylpolyoxethylammoniumborat (Polymeres Betain; Eintrag Nr. 872 in [24]), welcher nicht abschließend bewertet ist. Demzufolge sind Produktanmeldungen zwecks Zulassung zurzeit auch noch nicht möglich.

Der Status dieser Produkte ist ebenfalls im Internet zu erfragen unter:
<https://www.baua.de/DE/Biozid-Meldeverordnung/Offen/offen.html>

The screenshot shows the 'Suche nach Biozidprodukten' (Search for biocidal products) form on the website of the Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). The form is divided into three main sections for inputting product information:

- Handelsname des Biozidproduktes:** A text input field.
- Produktart:** A dropdown menu currently set to 'Alle'.
- Registriernummer:** A text input field with a note: '(Bitte die vollständige Register-Nr. eingeben, z.B. N 12345)'. Below it is a **CAS-Nummer:** input field with a note: '(z.B. 123-45-6)'.
- Wirkstoffname:** A text input field with a note: 'Eingabe von Wildcards (z.B. * oder ?) ist nicht notwendig!'. Below it is an **EC-Nummer:** input field with a note: '(z.B. 123-456-7)'. At the bottom of this section is a **Verkehrsfähig bis:** input field with a note: '(z.B. 01.01.2016)'.

At the top right of the page, there is a 'Login' link. Below the header, a breadcrumb trail reads: '> Biozid-Meldeverordnung > Datenbank der gemeldeten Biozidprodukte (offene Suche)'.

Bild 7 Suchmaske unter www.baua.de zur Prüfung der Verkehrsfähigkeit

Für vorgenanntes Produkt ist eine Verkehrsfähigkeit aktuell gegeben mit:

Name ▼	Reg. Nr. ▲	Verkehrsfähigkeit ▲
impralit-KDS-B	N-64333	31.12.2024

Bild 8 Ergebnis der Überprüfung im Internet gemäß Bild 7 am Beispiel von impralit-KDS-B

Gleichzeitig liegt eine abZ durch das DIBt mit Zulassungsnummer Z-58.1-1361 vor, deren Geltungsdauer am 01.08.2017 verlängert wurde und zunächst bis 10.08.2022 gilt [26]. Somit ist dieses Produkt auf dem Markt verfügbar (verkehrsfähig) und Anwender müssen sich an die abZ halten.

Beispielhaft wurde dieser Fall an vorgenanntem Produkt dargestellt, da jedoch eine Reihe an Produkten diesen Wirkstoff enthalten, gibt es jedoch einige Produkte, für die dieser Fall gilt.

4.2 Beispiel 2 - abZ durch DIBt liegt vor, Antrag auf Zulassung ist bei BAuA gestellt, aber noch unter Bearbeitung

Ebenfalls ein Beispiel aus dem Bereich der Kesseldrucksalze ist das Produkt Korasit® KS2. Aufgrund der vorliegenden Bewertungen aller im Produkt enthaltenen Wirkstoffe musste bereits ein Antrag auf Zulassung mit Einreichen eines Dossiers gestellt werden. Da es sich bei den enthaltenen Wirkstoffen ausschließlich um Altwirkstoffe handelt, ist die Verkehrsfähigkeit gemäß Biozidverordnung gegeben, wobei dieses Produkt seit dem 01.01.2018 einer Zulassungspflicht unterliegt, wie der BAuA-Website zu entnehmen ist. Wurde bis zu diesem Tag ein Antrag auf Zulassung bzw. auf zeitlich parallele gegenseitige Anerkennung der Zulassung gestellt, bleibt die Verkehrsfähigkeit des Produktes für die Dauer des Verfahrens bestehen. Ob ein Antrag wirklich gestellt wurde, lässt sich durch den Laien leicht überprüfen und das in Frage stehende Produkt muss in der Liste der Biozidprodukte im Entscheidungsverfahren enthalten sein.

Gleichzeitig liegt für das Produkt eine abZ mit Zulassungsnummer Z-58.1-1666 vor, deren Geltungsdauer bis 05.03.2022 gilt [27]. Bis zum Abschluss der Bewertung gemäß Biozidverordnung ist somit die abZ wirksam.

4.3 Beispiel 3 - BAuA - Zulassung liegt vor

Während für das Produkt Koratect Ib eine abZ mit Zulassungsnummer Z-58.2-1677 vorlag, welche eine Gültigkeit bis 25. März 2019 [28] hatte, wurde Jahre

zuvor der Antrag auf Zulassung gestellt und die Bewertung durchgeführt. Im April 2018 wurde dann durch die BAuA die Zulassung [29] erteilt und diese ersetzte sofort die abZ. Eine weitere bauaufsichtliche Zulassung war somit nicht notwendig und würde auch nicht mehr durch das DIBt erteilt werden (siehe Fallbeispiele).

4.4 Beispiel 4 - Produkt mit neuem Wirkstoff, Antrag ist noch unter Bearbeitung bei der BAuA – Produkt ist nicht verkehrsfähig

Im Falle, dass ein Produkt einen Wirkstoff, der nicht unter die Altwirkstoffe fällt, enthält, ist dieses Produkt gegenwärtig nicht verkehrsfähig und der Abschluss der Bewertung, d.h. die Erteilung der Zulassung, ist abzuwarten. Leider stehen kaum neue Wirkstoffe zur Verfügung, so dass nicht mit vielfältigen Produktneheiten in Kürze zu rechnen ist.

5 Fallbeispiele

5.1 Koratect® lb: VOC – freies Holzschutzmittel zur Bekämpfung von holzerstörenden Insekten

Die letzte Verlängerung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für das VOC-freie Holzschutzmittel zur Bekämpfung von holzerstörenden Insekten erfolgte durch das DIBt im März 2015 für die Dauer von 4 Jahren, also bis März 2019 [28]. Spätestens im Mai 2015 war der Antrag auf nationale Zulassung bei der BAuA zu stellen. Diese Zulassung wurde fristgerecht im April 2018 dann auch erteilt (vgl. Link „Liste der zugelassenen Produkte“ – siehe Abschnitt 2 dieser Publikation; [29]).

Dieses Schutzmittel stellt damit ein Fallbeispiel dar für ein Produkt, für welches gleichzeitig eine abZ als auch eine Biozid-Zulassung vorlag. Nach erteilter Biozid-Zulassung verlor die abZ jedoch ihre Gültigkeit.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Änderungen dargestellt, die sich aus dem Übergang der Zulassungen ergaben.

Tabelle 1 Koratect® Ib – Zulassungsmerkmale früher (DIBt) und heute (BAuA)

	„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)“ (DIBt)	Biozid-Zulassung (BAuA)
Gültigkeit der Zulassung	bis April 2018	seit April 2018
Zulassungsnummer	Z-58.2-1677	DE-0013067-08
	Vermarktung in DE, AT	AT-0019443-0000
Produktart	Holzschutzmittel zur Bekämpfung von holzerstörenden Insekten	Holzschutzmittel zur Bekämpfung von und Vorbeugung vor Befall durch holzerstörende Insekten in der GK 1
Prüfprädikate	Ib	Keine
Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen)	Ü-Zeichen u.a. auf dem Gebinde / der Verpackung verpflichtend	Kein Ü-Zeichen
Güte-/ Fremdüberwachung	Verpflichtend: regelmäßige Überwachung mindestens zweimal jährlich	Nicht verpflichtend; Freiwillige Fremdüberwachung
Anwenderkategorie	Bekämpfungsmaßnahmen nur durch im Holzschutz erfahrene Fachleute (Nachweis der Sachkunde siehe Gefahrstoffverordnung)	Berufsmäßiger Verwender
Anwendungsbereich	Bekämpfende Verwendung im Innenbereich; Vorbeugende Verwendung nur, wenn die Maßnahmen erforderlich sind und in unmittelbarem Zusammenhang mit der Bekämpfungsmaßnahme erfolgen	Vorbeugende und bekämpfende Verwendung im Innenbereich (GK 1)
DIN 68800 (2012)	Verweis auf die Bestimmungen der DIN 68800 – 3, 4	Kein Verweis
Zusätzliche Bedingungen an das / Änderungen im Sicherheitsdatenblatt		Abschnitt 8: Staubgrenzwert Abschnitt 15: Zulassungsnummer für Österreich
Gegenseitige Anerkennung	Zugelassenes Produkt in DE und AT	Gegenseitige Anerkennung gem. Art. 34 der Biozid-VO Zugelassenes Produkt in DE und AT
Gebindegrößen	5 l 20 l 200 l 600 l 1000 l	5 l 20 l 200 l 600 l

5.2 Koranol® IB: Biozidhaltiges Holzschutzmittel zur Bekämpfung von holzerstörenden Insekten

Das biozidhaltige Holzschutzmittel zur Bekämpfung holzerstörender Insekten erhielt für die Geltungsdauer bis 21. Februar 2022 vom DIBt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [30]. Bis Mai 2016 war der Antrag auf nationale Zulassung des Biozidproduktes bei der BAuA (Produktname Koranol® Ib) zu stellen und fristgerecht eingereicht worden. Wie bereits eingangs erwähnt, kam die BAuA in der Bearbeitung der Anträge in einigen (heutzutage in vielen) Fällen kaum noch hinterher, so dass bis August 2019 die Biozid-Zulassung aussteht, wenngleich die Bearbeitungsfrist mit drei Jahren seit Mai 2019 verstrichen ist (vgl. Link „Liste der Produkte im Entscheidungsverfahren“ – siehe Abschnitt 2 dieser Publikation). Dennoch ist das Produkt verkehrsfähig und auf Basis der abZ weiterhin vermarktungsfähig und anwendbar.

In der folgenden Tabelle sind Änderungen dargestellt, die sich aus dem Übergang der Zulassungen aller Voraussicht nach ergeben werden.

Tabelle 2 Koranol® IB – Zulassungsmerkmale früher (DIBt) und heute (BAuA)

	„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)“ (DIBt)	Biozid-Zulassung (BAuA) - im Entscheidungsverfahren -
Gültigkeit der Zulassung	bis heute	Erteilung der Zulassung aktuell nicht absehbar
Zulassungsnummer	Z-58.2-1684 Aktuelle Vermarktung in DE, PL, IT	DE-... PL-...; NL-...; BE-...; AT-...; IT-... ...
Produktart	Holzschutzmittel zur Bekämpfung von holzerstörenden Insekten	Holzschutzmittel zur Bekämpfung von holzerstörenden Insekten – Innen- und Außenbereich
Prüfprädikate	Ib	Keine
Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen)	Ü-Zeichen u.a. auf dem Gebinde / der Verpackung verpflichtend	Kein Ü-Zeichen
Güte-/ Fremdüberwachung	Verpflichtend: regelmäßige Überwachung mindestens zweimal jährlich	Nicht verpflichtend; Freiwillige Fremdüberwachung

Anwendungsbereich	Bekämpfende Verwendung im Innenbereich; Vorbeugende Verwendung nur, wenn die Maßnahmen erforderlich sind und in unmittelbarem Zusammenhang mit der Bekämpfungsmaßnahme erfolgen	Bekämpfende Verwendung im Innen- und Außenbereich; Vorbeugende Verwendung nur, wenn die Maßnahmen erforderlich sind und in unmittelbarem Zusammenhang mit der Bekämpfungsmaßnahme erfolgen
Gegenseitige Anerkennung	Zugelassenes Produkt in DE, AT, PL	Gegenseitige Anerkennung gemäß Art. 34 der Biozid-VO Zugelassenes Produkt in DE, PL, NL, BE, AT, IT

5.3 Embalit P: Vorbeugendes Holzschutzmittel gegen holzerstörende und –verfärbende Pilze sowie bekämpfendes Holzschutzmittel gegen holzerstörende Pilze (Hausschwamm)

Das Holzschutzmittel zur Vorbeugung und Bekämpfung holzerstörender Pilze hatte eine nationale Zulassung in den Niederlanden und Belgien, wobei dieses hier gezeigte Beispiel ausschließlich Bezug nimmt auf die Zulassung in den Niederlanden, welche ab Juni 1995 vorlag [31]. Eine abZ lag damals zu keiner Zeit vor. Aus diesem Grund war das Produkt früher in Deutschland nicht vermarktungsfähig, auch wenn es gemäß Biozidmeldeverordnung im Späteren mit Angabe der Nummer N-30567 verkehrsfähig war [vgl. 4.1].

Eine Biozid-Zulassung wurde jedoch für Deutschland beantragt und im Rahmen des „Verfahrens der gegenseitigen Anerkennung“ im Mai 2013 erteilt [32].

Nach Erteilung der Biozid-Zulassung ist das Produkt nun auch in Deutschland zugelassen und somit vermarktungsfähig.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Änderungen dargestellt, die sich aus dem Übergang von nicht durch das DIBt zugelassenes Holzschutzmittel hin zur Biozid-Zulassung ergeben.

Tabelle 3 Embalit P – Zulassungsmerkmale früher (Ctgb) und heute (BAuA)

	Zulassung in den Niederlanden (Ctgb)	Biozid-Zulassung (Ctgb (NL); BAuA (DE))
Gültigkeit der Zulassung	seit Juni 1995	seit Mai 2012
Zulassungsnummer	11575 N	NL = 11575N DE = DE-2013-MA-08-00004 Weiterhin zugelassen in: BE, PL, EE
Produktart	Vorbeugendes und bekämpfendes Holzschutzmittel gegen holzerstörende Pilze Innen und Außen	Holzschutzmittel zur Vorbeugung vor holzerstörenden / holzverfärbenden Pilzen sowie bekämpfend gegen holzerstörende Pilze (Hausschwamm)
Prüfprädikate	keine	Keine
Ü-Zeichen	Kein Ü-Zeichen	Kein Ü-Zeichen
Güte-/ Fremdüberwachung	Nicht verpflichtend, Freiwillige Fremdüberwachung	Nicht verpflichtend; Freiwillige Fremdüberwachung
Anwenderkategorie	Bekämpfungsmaßnahmen nur durch im Holzschutzbereich erfahrene Fachleute (siehe Zulassung)	Berufsmäßiger Verwender
Anwendungsbereich	Schutz gegen holzverfärbende und holzerstörende Pilze in Innen und Außenbereich	Schutz gegen holzverfärbende und holzerstörende Pilze in Innen und Außenbereich
Gegenseitige Anerkennung		Gegenseitige Anerkennung gemäß Art. 34 der Biozid-VO Zugelassenes Produkt in DE, PL, NL, BE, EE

5.4 Koratec® MSOB: Biozidfreies Schwammssperrmittel

Der Prozess der Zulassung von biozidhaltigen Holzschutzmitteln ist in der Biozid-Verordnung klar geregelt, wie ausführlich beschrieben wurde. Die Bewertung von biozidfreien Produkte obliegt jedoch nicht der BAuA, sondern die Tauglichkeit/Anwendbarkeit derartiger Produkte im Rahmen bauaufsichtlich relevanter Bau- bzw. Sanierungsvorhaben muss nach wie vor durch das DIBt erfolgen. Dieses ist somit in der Verantwortung und entscheidet über eine Erteilung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeine Bauartgenehmigung autark.

Generell gibt es hinsichtlich der geforderten Prüfungen/Unterlagen als Voraussetzung zur Erteilung einer abZ / allgemeinen Bauartgenehmigung seitens des DIBt keine Unterschiede unabhängig davon, ob es sich bei dem Produkt um ein biozidhaltiges oder biozidfreies Schwammssperrmittel handelt – die Tauglichkeit muss in beiden Fällen belegt werden.

Das Wirkprinzip des biozidfreien Schwammssperrmittels beruht auf der Verkieselung der Kapillaren im Mörtelbett und dem umgebenden Mauerwerk wodurch die Durchmesser der Kapillaren so stark reduziert werden, dass die Hyphen des Echten Hausschwammes diese nicht mehr durchwachsen können. Die Diffusionsfähigkeit der Baumaterialien für Feuchte bleibt dabei erhalten. Durch das neuartige System wird in der Wand eine physikalische Barriere gegen das Durchwachsen des Echten Hausschwammes errichtet. So war das biozidfreie Schwammssperrmittel analog zu biozidhaltigen Produkten gemäß ENV 12404 (1997) zu prüfen und somit die „Wirksamkeit“ des Produktes gegen das Überwachsen von Echtem Hausschwamm vom Mauerwerk auf Holz zu belegen [33].

Ein derartiger Fall ist dem DIBt allerdings vergleichsweise neu und führte nachvollziehbarerweise zu diversen Nachfragen beim Produzenten. In der Zwischenzeit liegt bereits der Entwurf für die abZ/Allgemeine Bauartgenehmigung seit April 2019 vor, so dass mit deren Erteilung zeitnah gerechnet wird.

Literaturverzeichnis

- [1] IfBt 1982: Prüfgrundsätze für die Zuteilung eines Prüfzeichens für Holzschutzmittel – Stand 1. Oktober 1982. Institut für Bautechnik, Berlin, 37 S.
- [2] DIBt 2005: Zulassungsgrundsätze für Holzschutzmittel Stand August 2005. Anforderungen an die Prüfungen der biologischen Wirksamkeit von Holzschutzmitteln für die Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik. DIBt, Berlin, 50 S.

- [3] RICHTLINIE 98/8/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Februar 1998 über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 63 S.
- [4] DIBt 2009: Prüfplan für die Bewertung des Gesundheits- und Umweltschutzes von vorbeugend und bekämpfend wirkenden Holzschutzmitteln bzw. Schwammsperrmitteln. Fassung 2009, 51 S.
- [5] Müller, J. 2010: Viele Schutzmittelzulassungen sind abgelaufen. Stau beim DIBt – bauliche Holzschutzmaßnahmen voll ausschöpfen oder Druckimprägnieren. Holz-Zentralblatt 2010, 30, S. 722.
- [6] VERORDNUNG (EG) Nr. 1451/2007 DER KOMMISSION vom 4. Dezember 2007 über die zweite Phase des Zehn-Jahres-Arbeitsprogramms gemäß Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten. Amtsblatt der Europäischen Union, 63 S.
- [7] VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission. 520 S.
- [8] VERORDNUNG (EU) Nr. 528/2012 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten. Amtsblatt der Europäischen Union. 123 S.
- [9] DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) Nr. 564/2013 DER KOMMISSION vom 18. Juni 2013 über die an die Europäische Chemikalienagentur zu entrichtenden Gebühren und Abgaben gemäß der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten. Amtsblatt der Europäischen Union, 9 S.
- [10] Krawczyk, N. 2012: Bor plötzlich gefährlich? 7. Lauenburger Holzschutztag zu Änderungen durch neue europäische Richtlinien und Normen. Holz-Zentralblatt 2012, 48, S. 1248.
- [11] EN 599-1 2014: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Wirksamkeit von Holzschutzmitteln wie sie durch biologische Prüfungen ermittelt wird – Teil 1: Spezifikation entsprechend der Gebrauchsklasse; Deutsche Fassung EN 599-1:2009+A1:2013. 44 S.

- [12] DIBt 2017: Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Ausgabe 2017/1 mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dezember 2017. 330 S.
- [13] DIN 68800-1:2011-10: Holzschutz – Teil 1: Allgemeines. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 34 S.
- [14] DIN 68800-2:2012-02: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 50 S.
- [15] EN 15228:2009-03: Bauholz – Bauholz für tragende Zwecke mit Schutzmittelbehandlung gegen biologischen Befall. CEN 2009. 12 S.
- [16] Willeitner, H. 2010: DIN 68800 „Holzschutz im Hochbau“. Stand der Neubearbeitung. IHD Dresden, Holztechnologie, 51, S. 49-51.
- [17] DIN 68800-3:1990-04: Holzschutz; Vorbeugender chemischer Holzschutz. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 9 S.
- [18] DIN 68800-4:1992-11: Holzschutz; Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzzerstörende Pilze und Insekten. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 7 S.
- [19] IfBt 1992: Holzschutzmittelverzeichnis. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 45. Auflage, 88 S.
- [20] DIN 68800-2:2012-02: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 50 S.
- [21] Schriftliche Mitteilung des DIBt vom 13.11.2012: Informationen zur Änderung der Musterliste der Technischen Baubestimmungen zum Holzschutz sowie zum Ersatz der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen durch die Biozid-Zulassungen für Holzschutzmittel. 2 S.
- [22] Entwurf E DIN 68800-3:2019-04: Holzschutz – Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 37 S.
- [23] Entwurf E DIN 68800-4:2019-07: Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 33 S.
- [24] DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2019/157 DER KOMMISSION vom 6. November 2018 zur Änderung von Anhang II der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 1062/2014 über das Arbeitsprogramm zur systematischen Prüfung aller in Biozidprodukten enthaltenen alten Wirkstoffe gemäß der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union. 20 S.

- [25] Verordnung über die Meldung von Biozid-Produkten nach dem Chemikaliengesetz (Biozid-Meldeverordnung - ChemBiozidMeldeV) vom 14.06.2011, BGBl. I S. 1085
- [26] DIBt 2017: Bescheid über die Verlängerung der Geltungsdauer der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vom 04. April 2016. Zulassungsnummer Z-58.1.-1361. Holzschutzmittel impralit-KDS-B. 1 S.
- [27] DIBt 2017: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom 23.03.2017. Zulassungsnummer Z-58.1.-1666. Holzschutzmittel Korasit® KS2. 7 S.
- [28] DIBt 2015: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom 25.03.2015. Zulassungsnummer Z-58.2.-1677. Holzschutzmittel Koratect Ib mit bekämpfender Wirksamkeit. 6 S.
- [29] BAuA 2018: Nationale Zulassung für das Biozidprodukt „Koratect Ib“ (PT 8) gemäß Artikel 29 der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 (Biozid-VO) vom 06.04.2018. Zulassungsnummer: DE-0013067-08, 16 S.
- [30] DIBt 2017: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom 21.02.2017. Zulassungsnummer Z-58.2.-1684. Holzschutzmittel Koranol IB mit bekämpfender Wirksamkeit. 6 S.
- [31] Ctgb 2019: <https://pesticidesdatabase.ctgb.nl/en/authorisations/3293>. Stand 23.08.2019.
- [32] ECHA 2019: <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/bio-cidal-products/-/disbp/factsheet/NL-0002522-0000/authorisationid>. Stand 23.08.2019.
- [33] DIN V ENV 12404:1997-04: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Bestimmung der Wirksamkeit eines Schutzmittels gegen das Überwachen von "Echtem Hausschwamm" *Serpula lacrymans* (Schumacher ex Fries) F.S. Gray vom Mauerwerk auf das Holz – Laboratoriumsverfahren. Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN, Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im DIN. 17 S.

Der gordische Holzknoten auf dem Messprüfstand

Entwicklung und Optimierung einer Laborsimulation für Außenbauteile aus Holz

Matthias Eickstädt, Neumünster

Zusammenfassung

Eine durchdachte konstruktive Detailausbildung kann sich insbesondere auf die Nutzungsdauer von bewitterten Holzbauteilen positiv auswirken. Hierbei erscheint der Grundsatz „Holzschutz ist Feuchteschutz“ unter Fachleuten als auch in der Praxis unstrittig.

In der diesem Beitrag zugrunde liegenden Arbeit wurden zwei Anschlusssituationen in Bezug auf diesen Grundsatz näher beleuchtet [1]. Im Spritzwasserbereich und bei komplexen Knotenpunkten (Zangenkonstruktionen, Balken-Stütze-Anschlüssen o.ä.) kann das Holz infolge von Auffeuchtung und Staunässe enorm feuchtebeansprucht werden. Die Gefahr von Schäden ist dann sehr hoch. Auf Grundlage der theoretischen Ansätze des baulichen Holzschutzes wurden für diese beiden Details schon vorhandene technische Hilfsmittel erforscht und alternative Materiallösungen entwickelt.

Für eine vergleichende Bewertung dieser Materiallösungen hinsichtlich des feuchtetechnischen Holzschutzniveaus wurde eine Laborsimulation entwickelt, die es ermöglichen sollte, innerhalb einer kurzen Versuchsdauer plausible Ergebnisse zu liefern und somit eine Alternative zu Langzeitfreilandversuchen darstellen könnte.

In diesem Beitrag wird neben einer kurzen Vorstellung der untersuchten technischen Hilfsmittel vor allem die Entwicklung und Optimierung der Laborsimulation näher vorgestellt.

1 Einführung

Der vielseitig beliebte und ökologische Baustoff Holz ist Teil unseres Ökosystems. Dem natürlichen Abbau von Holz, der hygroskopischen Eigenschaft, wodurch Holz bis zur Fasersättigung eine Gleichgewichtsfeuchte mit der Umgebung anzustreben versucht und der Kapillarporosität, die auch bei stehenden Konstruktionen dazu führt, dass Wasser von unten nach oben steigen kann, müssen entsprechende Maßnahmen entgegenwirken, damit in der geplanten Nutzungsdauer eine Feuchteanreicherung verhindert und somit Abbauprozesse unterbunden werden.

Aus diesen Gründen lag der Fokus der Untersuchungen [1] bei den Beanspruchungsarten Regen, Spritzwasser und relative Luftfeuchtigkeit, aus denen eine Holzfeuchtesteigerung resultieren kann und somit die Grundlage für Abbauprozesse gegeben ist.

Bei den untersuchten Details besteht das Risiko einer Wasseranreicherung und demnach wären diese generell in die Gebrauchsklasse 3.2 einzuordnen. Bauteile der Gebrauchsklasse 3.2 sind gemäß DIN 68800-1 nicht unter Dach, ohne ständigen Erd- und / oder Wasserkontakt und weisen häufig eine Holzfeuchte von über 20 % auf.

Ziel der entwickelten Laborsimulation war es nachzuweisen, diese wenn auch räumlich begrenzte Wasseranreicherung mithilfe von entsprechenden Maßnahmen insoweit zu unterbinden, dass die Einordnung in die Gebrauchsklasse 3.1 erfolgen kann.

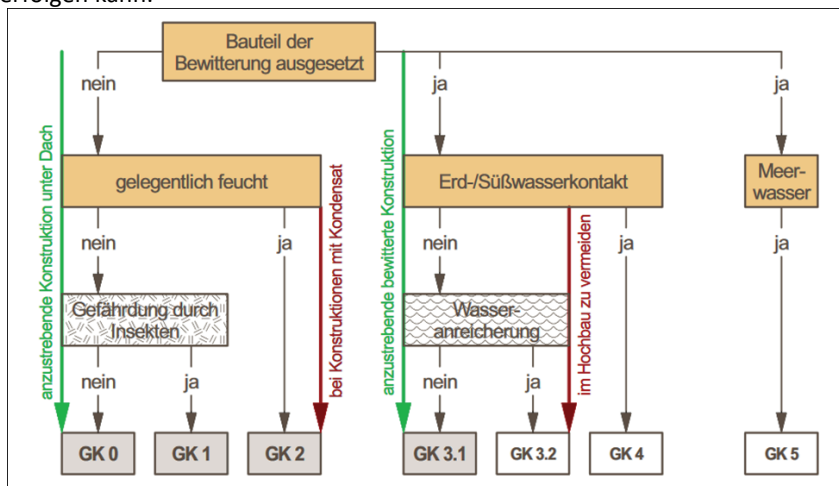


Bild 1 Gebrauchsklassen der DIN 68800 [3]

2 Konstruktive und materialbedingte Maßnahmen

Der Stützenfußpunkt und der stumpfe Anschluss eines Balkens an einer Stütze stellen jeweils eine Art Worst-Case-Szenario beim konstruktiven Holzschutz dar, weil beide eine stark saugende Hirnholzseite aufweisen.

Der Grund weshalb diese Details gewählt wurden, bestand darin, dass trotz einer relativ kurzen Versuchsdauer, größere Holzfeuchtigkeitszunahmen erwartet wurden. Die untersuchten und teilweise selbst entwickelten Maßnahmen, die diese Holzfeuchtigkeitszunahmen verhindern sollen, wurden somit einem Härte-test unterzogen.

Bei dem Prüfkörper wurden beim Stützenfußpunkt Pads aus Gummigranulat und EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Monomer) in Kombination mit drei verschiedenen Hirnholzschutzmitteln als schützende Lösung für das stark saugende Hirnholz getestet (Bild 2).

Bei dem Balken-Stützen-Anschluss kamen Abstandshalter aus 4 unterschiedlichen Kunststoffen zum Einsatz: PVC [Polyvinylchlorid], PMMA [Polymethylmethacrylat], ASA [Acrylester-Styrol-Acrylnitril], HPL [Hochdrucklaminatplatte]. Drei Abstandshalter wurden selbst hergestellt. Bei einer weiteren Variante wurde bei einem stumpfen Anschluss ein zusätzliches Dichtprofil aus EPDM eingelegt. Ein statischer Nachweis für diese Anschlusssituation wurde nicht geführt. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass eine Verwendung der Abstandshalter grundsätzlich beispielsweise mit einer Bolzenverbindung mit Simplex-Muttern realisier- und nachweisbar wäre.

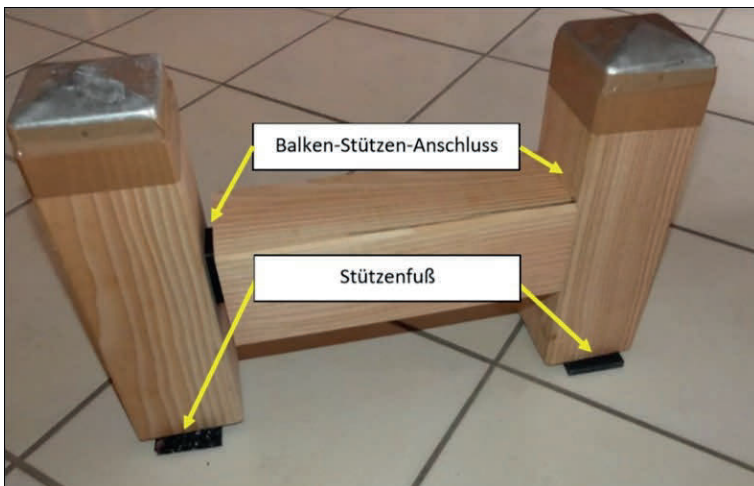


Bild 2 Prototyp Versuchskörper [1]

2.1 EPDM-Dichtprofil

Mit dem EPDM-Dichtprofil wurde eine Variante untersucht, bei der die Fuge zwischen Balken und Stütze nicht luftumspült, sondern maximal dicht ausgebildet werden sollte, um den Feuchteschutz zu gewährleisten. Der Ursprung dieser Idee stammt aus dem Fensterbau. Hier wurde vor einigen Jahren eine spezielle Eckdübelverbindung entwickelt.

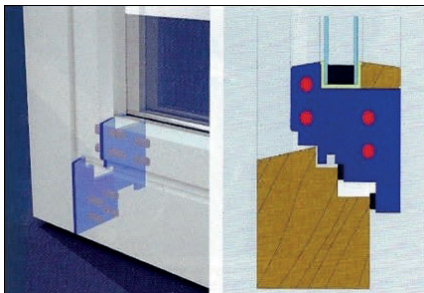


Bild 3 Innovative Eckverbindung mit einem zusätzlichen Dichtprofil [4]

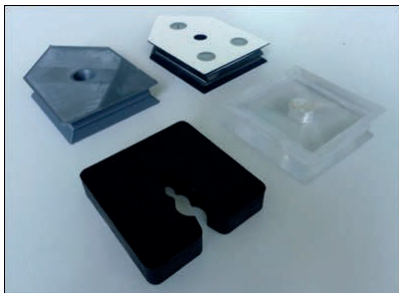


Bild 4 Kunststoffabstandshalter, (PVC = schwarz, PMMA = durchsichtig, ASA aus dem 3D-Drucker = grau, HPL = weiß) [1]

2.2 Abstandshalter

In der Fachregel des Zimmererhandwerks wird für bewitterte, abgedeckte und nicht abgedeckte Bauteile bei vertikalen Fugen (z.B. bei Zangenkonstruktionen) ein Abstand von 6 mm gefordert [5]. In weiteren Quellen wird sogar eine Fuge von 12 mm gefordert, damit das Wasser besser ablaufen kann, die Fugenflanken rasch abtrocknen und nicht durch mögliche Schmutzablagerungen verstopft werden können [6].

2.2.1 PVC- und PMMA-Abstandshalter

Der normalerweise zum Ausgleich von Sockelprofilen zweckentfremde PVC-Abstandshalter hat eine Grundfläche von 50 x 50 mm und ist 10 mm stark. Dieser Abstandshalter stellt den Ursprung für die 3 selbst entwickelten Abstandshalter dar. Für eine Vergleichbarkeit wurde die grundsätzliche Geometrie weitestgehend beibehalten. Bei dem PMMA-Abstandshalter wurde aufgrund der etwas unkonventionellen Herstellungsmethode, bei der drei 4 mm starke PMMA-Scheiben zusammengefügt wurden, die Stärke des Abstandshalters auf 12 mm erhöht. Die umlaufende Nut mit einer mittig angeordneten Abtropfkante sollte

eine optimale Wasserableitung gewährleisten. Aufgrund der hohen Witterungsbeständigkeit wird PMMA als Acrylglas z.B. auch für Vordächer verwendet.

2.2.2 HPL-Abstandshalter

Der aus Hochdrucklaminatplatten hergestellte Abstandshalter wurde in gleicher Weise wie der PMMA-Abstandshalter hergestellt. Die Verwendung von HPL aufgrund der bewährten Dauerhaftigkeit im Fassadenbau und der zusätzlich sehr hohen Druckfestigkeit haben zur Wahl dieses Materials geführt. Das an der oberen Seite angesetzte Dreieck sollte die Wasserableitung weiter optimieren und Schmutzansammlungen reduzieren.

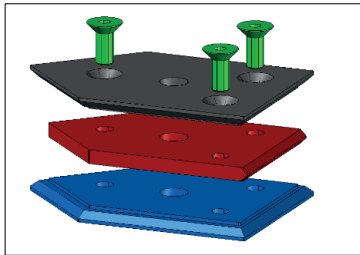


Bild 5 3D-Modell vom HPL-Abstandshalter [1]



Bild 6 Prototyp vom HPL-Abstandshalter [1]

2.2.2 ASA-Abstandshalter

Ein aus dem 3D-Drucker kommender Prototyp aus ASA wurde in Zusammenarbeit mit dem FABLAB in Lübeck hergestellt. Das stark aufgetretene Warping (zu Deutsch: Verziehen / Werfen) erschwerte die Herstellung eines brauchbaren Abstandshalters mit dem gewählten Filament. Denn bei einer höheren Füllichte ist die Stabilität zwar größer, die Gefahr von Warping aber ebenfalls. Mit der scheinbar optimalen Füllichte von 50 % und einer dreieckigen Raumstruktur wurde der Prototyp gedruckt.

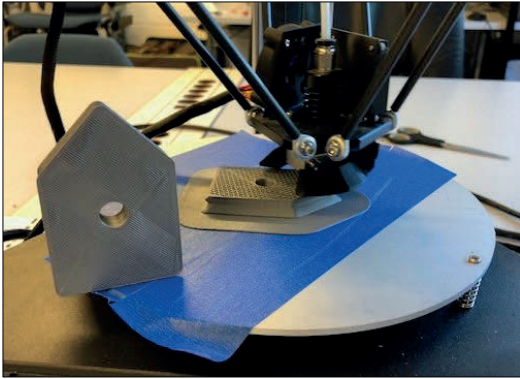


Bild 7 Herstellung eines Abstandshalters im 3D-Drucker [1]

3 Entwicklung und Optimierung eines Messprüfstandes

Für die Holzprobekörper, an denen die Funktionalität der verschiedenen technischen Hilfsmittel erprobt werden sollte, wurde ein Messprüfstand entwickelt. Die Anschlussdetails sollten in einer möglichst realistischen Laborsimulation begregnet werden, wobei die Holzfeuchtezunahmen an kritischen Stellen über die Beregnungsdauer und einer anschließenden Trocknungsdauer aufgezeichnet werden sollten. Die Prüfdauer einer Versuchsreihe sollte dabei möglichst kurz sein, damit im zeitlichen Rahmen der Arbeit möglichst viele Versuchsreihen erfolgen konnten [1].

3.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Der Prüfraum (0,70 x 1,20 x 0,80 m) bestand aus 4 mm starken Plexiglasscheiben. Die paarweise verbundenen Holzstützen dienten zur Aussteifung. Am Prüfraumdeckel wurde der zur Beregnung verwendete Sprinkler mit einem Holzbrett fixiert. Auf den zur Hälfte im Wasser liegenden Ziegeln standen bei jeder Versuchsreihe zwei Prüfkörper, die aus Kreuzholz (10 x 10 cm) als Konstruktionsvollholz der Holzarten Lärche und Douglasie hergestellt wurden.

Bei den untersuchten Messstellen wurde bei den Positionen 1, 3, 5, und 7 ein Abstand zum Hirnholz von 3 cm und bei Pos. 2 und 6 ebenfalls ein seitlicher Abstand von 3 cm zur Anschlusssituation gewählt. Der horizontale Abstand zur Oberkante des Balkens von den oberen Messelektroden bei den Positionen 3, 4 und 5 betrug 1,5 cm. Die Positionen 2, 3, 4, 5 und 6 lagen in einer horizontalen Ebene.

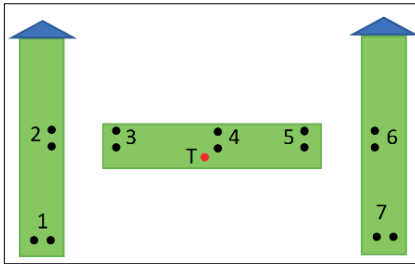


Bild 8 Position der Messbereiche am Prüfkörper [1]

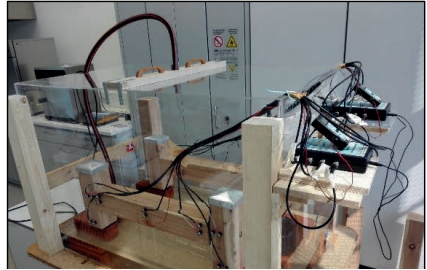


Bild 9 Versuchsaufbau [1]

3.2 Schlagregensimulation

Eine möglichst realistische Schlagregensimulation (Winkel, Tropfengröße, Wassermenge, sehr gleichmäßige Wasserverteilung) erfolgte mit einem speziellen Einzelsprinkler und einer passenden Tauchpumpe. Die aus Messing bestehende Spritzdüse war verstellbar, wodurch die Tropfengröße in einem gewissen Rahmen eingestellt werden konnte. Solche Sprinklerdüsen weisen eine kreisförmige Wasserverteilung auf, bei der zu einem bestimmten Radius besonders viel Wasser und vor allem sehr gleichmäßig niederschlägt. (Abb. 10). Die Tauchpumpe sorgte für den benötigten Arbeitsdruck von 500 l/h und gewährleistete einen sparsamen geschlossenen Wasserkreislauf.

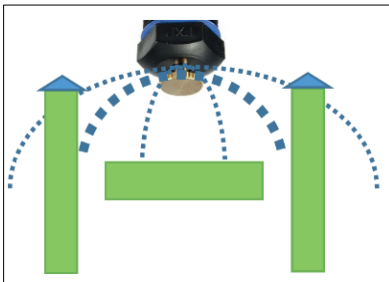


Bild 10 Wasserverteilung des Sprinklers [1]



Bild 11 Kontrollversuch zum Niederschlag [1]

Eine zwischengeschaltete digitale Stromzeitschaltuhr ermöglichte die Programmierung von einem autark ablaufenden Regenintervall.

Es konnte mit 4 analogen Regenmessern und dem verwendeten digitalen Regensensor erfolgreich überprüft werden, wie sich der Schlagregen gleichmäßig auf die 4 Stützen niederschlagen hat.

Die angestrebte Regenmenge beruhte auf Grundlage eines vieljährigen Mittels der vier Sommermonate (Mai - August), was einer Regenmenge von rund 300 mm entspricht [1]. Diese Regenmenge ergibt bei 4 geplanten Versuchstagen, an denen geregnet werden sollte, eine Regenmenge von 75 mm pro Tag. Bei einer durch den Sprinkler ermittelten Regenmenge von rund 26 mm in 5 Minuten und dem Fakt, dass laut Rapp, A. et al. die Regenhäufigkeit und nicht die Regenintensität ausschlaggebend sei, wurde ein Regenintervall von 5 Minuten alle 8 Stunden gewählt. Nach jeder zweiten Versuchsreihe wurde das Wasser ausgetauscht, damit die ausgewaschenen Holzinhaltsstoffe und sonstige Verunreinigungen zu keinem unterschiedlichen Penetrationsverhalten der Holzoberfläche führen konnten.

3.3 Relevante klimatische Einflussgrößen und Wahl des Messverfahrens zur lokalen Holzfeuchtebestimmung

Die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit und der tatsächliche Niederschlag waren während der Versuchsreihen die erfassten klimatische Einflussgrößen im Prüfraum.

Bei den Probekörpern sollte die Holzfeuchte an den kritischen Punkten einer jeden Probe ermittelt werden. Für die Feststellung lokaler Holzfeuchten stehen die indirekten Messverfahren zur Verfügung. Die wohl am häufigsten eingesetzte indirekte Messmethode ist die elektrisch widerstandsbasierte. Die lokale Holzfeuchte wird über die Messung des elektrischen Widerstandes zwischen zwei Messelektroden ermittelt, die in das zu untersuchende Holz einzutreiben sind. Aufgrund des elektrischen Widerstandes des Holzes kann dann die Umrechnung in die lokale Holzfeuchte erfolgen. Bei dieser Methode können die lokalen Holzfeuchten in einer bestimmten Schichttiefe ermittelt werden, so dass erhöhte und auch unregelmäßige Holzfeuchten im und am oberflächennahen Bereich die Messergebnisse nicht beeinflussen können. Die Entscheidung über die zu verwendende fiel schnell auf Scanntronik. Bei der Recherche nach ähnlichen Holzfeuchtemessungen bzw. Forschungsvorhaben wurde bei einer Vielzahl von Projekten die Messtechnik von Scanntronik verwendet [8–11]. Für die geplanten Versuche konnte auch keine andere Messtechnik gefunden werden, die sich in gleicher Art und Weise als geeignet darstellte.

Als Messelektroden dienten isolierte Edelstahlschrauben, mit denen in der Tiefe von $\frac{1}{3}$ der Holzstärke gemessen wurde, um so etwaige Unregelmäßigkeiten im oberflächennahen Bereich zu vermeiden.



Bild 12 Isolierte Edelstahlschrauben [7]

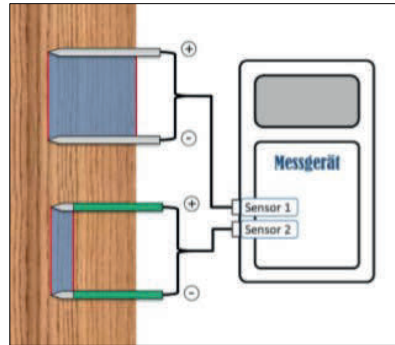


Bild 13 Schematische Darstellung des Widerstandsmessverfahrens und des Messbereiches bei isolierten und nicht isolierten Messelektroden [8]

3.4 Messtechnik

3.4.1 Holzfeuchte und Holztemperatur

Für einen Holzprobekörper mit 7 Messstellen wurde ein Gigamodul mit 8 Sensoren verwendet. Der nicht verwendete Sensor hat zudem den elektrischen Widerstand der Luft außerhalb des Prüfraumes gemessen. Dies wird bei der Vorstellung der Messauffälligkeiten noch näher thematisiert. Der Thermofox diente als Datenlogger der 8 Sensoren und zeichnete zusätzlich die Holztemperatur über den eigenen Sensoreingang „1“ und einem dort angeschlossenen NTC-Sensor auf, der mittig im Balken in der gleichen Tiefe wie die Elektroden eingebracht wurde. Bei der ersten Versuchsreihe ist ein Intervall von 20 Minuten gewählt worden.

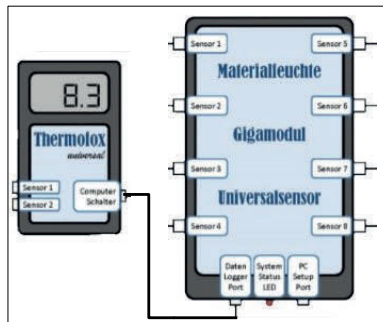


Bild 14 Gigamodul und Thermofox [8, geändert M. Eickstädt]

3.4.2 Luftfeuchte und Temperatur

Mit dem Hygrofox Mini wurden die relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Prüfbehälter in einem Intervall von 15 Minuten gemessen und es wurde werkseitig mit einer Schutzlackierung und zusätzlich durch eine Plastikkdose vor Regenung geschützt.



Bild 15 Hygrofox Mini [7]

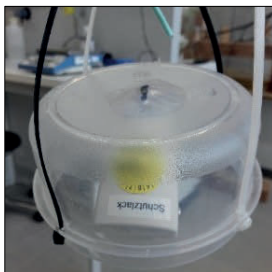


Bild 16 Beregnungsschutz für den Hygrofox mini [1]



Bild 17 Digitaler Regensensor [1]

3.4.3 Niederschlag

Mit dem digitalen Regensensor, welcher WMO (Weltorganisation für Meteorologie) zertifiziert ist und nach dem Kippwagen-Prinzip misst, wurde der tatsächliche Niederschlag einer jeden Versuchsreihe gemessen und mit einem Eventfox aufgezeichnet. Die Genauigkeiten liegen laut Hersteller bei 4% bei 0-50 mm/h und 5 % bei mehr als 50 mm/h. Zur Überprüfung dieser Messungen wurden die bereits genannten analogen Regensensor eingesetzt.

3.5 Optimierungen bei der Versuchsdurchführung

Bei den 8 durchgeführten Versuchsreihen wurden insgesamt 32 Probekörper und daraus resultierend 96 Messstellen holzfeuchtetechnisch untersucht. Bei der ersten Versuchsreihe stellte sich heraus, dass ein geschlossener Prüfbehälter in Kombination mit den Regenereignissen zu einer Luftfeuchte von über 90 % führte. Aus diesem Grund wurde noch für die erste Versuchsreihe die Entscheidung getroffen, den Deckel leicht zu öffnen, was zu einer geringeren Luftfeuchtigkeit führen sollte. Dies stellte sich jedoch als nicht ausreichend dar. Daher wurde mit zusätzlicher Luftzufuhr in Form von Druckluft versucht, dies bei den weiteren Versuchsreihen zu beeinflussen. Das Ziel war es eine Luftfeuchtigkeit zu erreichen, die zwischen den Regenereignissen zwischen 50 und 70 % liegt. Bei der 5. Versuchsreihe erschien die Kombination aus 10 Minuten langen Regenphasen und einer Druckluftzufuhr in Höhe von ca. 0,15 bar als optimal und wurde dann bei den Versuchsreihen 6 – 8 nicht mehr verändert. Bei dem Versuchsaufbau gab es bei der 5. Versuchsreihe zwei Veränderungen. Die digitale Zeitschaltuhr, die das Regenintervall der Pumpe steuerte, wurde um 180° gedreht in die Steckdose eingesetzt. Dies hatte zur Folge, dass in den Trockenphasen kein Kriechstrom an der Pumpe anliegt und diese somit außerhalb der Regenphasen als Störquelle für die sensible Messtechnik ausgeschlossen werden konnte. Bei der Messung des elektrischen Widerstandes im hochohmigen Bereich können in der Nähe des Messbereiches befindliche elektrische Geräte die Messung stören. Die Pumpe wies beim Vergleich mit Haushaltsgeräten eine sehr hohe elektromagnetische Strahlung von über 140 Tesla und damit eine gleiche Strahlung wie eine handelsübliche Mikrowelle im Abstand von 3 - 5 cm auf.



Bild 18 Elektromagnetische Strahlung

Diese Störung konnte mit Hilfe des Luft messenden Sensors 8 ermittelt werden. Denn wenn dieser Luft messende Sensor 08 einen Wert von über 130 verzeichnete, war dies der Beweis für eine elektromagnetische Störung [s. Bild 21]. Auf Nachfrage teilte der Messtechnikhersteller mit, dass dieser Wert physikalisch unmöglich sei. Der gemessene elektrische Widerstand läge idealerweise bei 118, wobei niedrigere Werte auch im Bereich des Möglichen wären und über diese noch keine genauere Aussage getroffen werden kann [1]. Die Folge dieser Störung in Bezug auf die ermittelten Holzfeuchtwerte waren unrealistische und asynchrone Sprünge bei den einzelnen Messkurven [vgl. Bild 21].

In Rücksprache mit dem Messtechnikhersteller, Herrn Mugrauer, wurde eine zweite Veränderung bei dem Messaufbau vorgenommen. Neben einer Störung, die von in der Nähe des Messbereiches befindlichen elektrischen Geräten verursacht wird, kann auch Feuchtigkeit an den Messelektrodenköpfen dazu führen, dass ein entstehender Wasserfilm auf der Oberfläche zum geringsten elektrischen Widerstand werden kann und somit nicht in der Probe, sondern an der Oberfläche zwischen den beiden Elektroden gemessen wird [vgl. Bild 21 - 23]. Aus diesem Grund wurde bei der 5. Versuchsreihe versucht, die Elektrodenköpfe mit Parafilm (Fa. Bemis) abzudichten, so dass es zu keinen elektrischen Strömungen zwischen den beiden mit Feuchtigkeit benetzten Elektrodenköpfen kommen konnte. Es wurden mehrere Lagen aufgetragen, wobei die unterste Lage auch zwischen den Köpfen und der Holzoberfläche geklebt wurde. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass Parafilm nicht ausreichend wasserdicht ist.



Bild 19 Elektrodenköpfe mit Parafilm abgedichtet [1]



Bild 20 Elektrodenköpfe mit Plastic-Fermit abgedichtet [1]

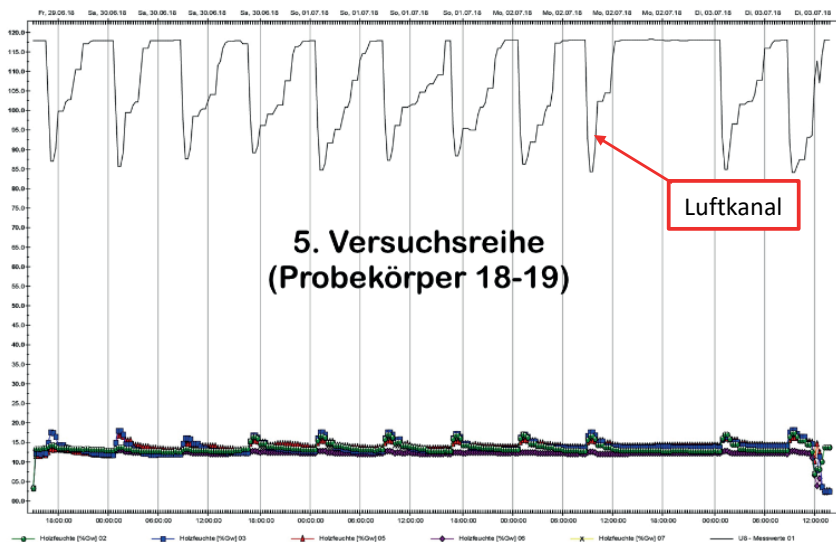


Bild 22 5. Versuchsreihe: Elektrodenköpfe mit Parafilm abgedichtet [1]

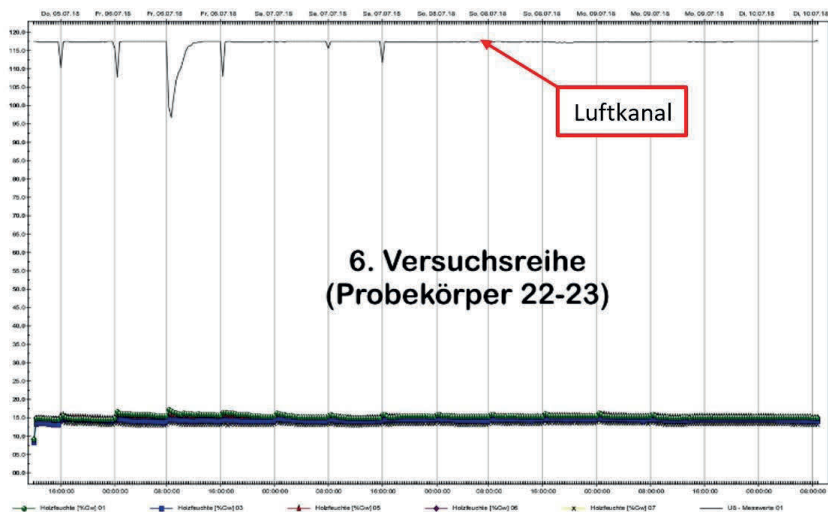


Bild 23 6. Versuchsreihe: Elektrodenköpfe mit Plastic-Fermit abgedichtet [1]

4 Ergebnisse und Ausblick

Bei den Untersuchungen der vier Abstandshalter stellte sich heraus, dass bei den entwickelten Abstandshaltern die Nuten und Tropfkanten verhindert haben, dass das Wasser vom Abstandshalter zurück aufs Holz geflossen ist. Der PVC-Abstandshalter wies jedoch eine unzureichende Druckfestigkeit auf und bei dem aus dem 3D-Drucker stammende Prototyp, hergestellt aus ASA, verhinderte eine unregelmäßige Oberfläche in Kombination mit dem Warping, dass der Abstandshalter vollflächig und stramm am Holz anliegt. Bei einer theoretischen Massenanfertigung könnte dies vermieden werden, wenn ASA als Plattenwerkstoff verwendet wird. Die aus PMMA und HPL hergestellten Abstandshalter konnten hinsichtlich der Witterungsbeständigkeit und der hohen Druckfestigkeiten überzeugen. Aufgrund der Messabweichungen und den daraus resultierenden Optimierungen war ein abschließender Vergleich der Messergebnisse nur in einem geringen Maß möglich. Die vorgenommenen Optimierungen führten jedoch dazu, dass die letzten Versuchsreihen plausible und realistische Ergebnisse lieferten.

Bei der Verwendung der verwendeten Messtechnik zur lokalen Bestimmung von Holzfeuchten über die elektrisch widerstandsbasierte Methode wird empfohlen, dass bei einer Betauung oder sogar Beregnung die Elektrodenköpfe ausreichend wasserdicht abgedichtet werden. Am besten mit einem geeigneten Silikon (pH-neutral, ggf. UV- und frostbeständig). Ein nicht verwendeter Sensor, der aber trotzdem die Luft misst, kann als Indiz für eine Störung der Messtechnik herangezogen werden. Die isolierten Edelstahlschrauben stellten sich für eine mehrfache Wiederverwendung als ungeeignet dar und sollten deswegen bei den ersten Verschleißerscheinungen (leichter Abrieb der Isolierung o.ä.) ausgetauscht werden.

Die Beregnung sollte ohne eine in unmittelbarer Entfernung von der Messtechnik stehenden Pumpe erfolgen. Weitere elektrische Geräte sind im Umkreis von 2 m zu vermeiden. Kontrollmessungen mit einem Messgerät, dass elektromagnetische Strahlung aufspüren kann, werden empfohlen.

Mit einer entsprechenden Frischluftzufuhr kann die relative Luftfeuchte auf die gewünschten Sollwerte eingestellt werden. Es wird empfohlen, die Versuchsdauer zu verlängern, damit Unterschiede bei der Feuchteanreicherung und bei längeren Trocknungsphasen die Abtrocknungsprozesse vermutlich ersichtlicher werden. Dies war im zeitlichen Rahmen der vorgestellten Arbeit leider nicht möglich.

Danksagung

Die diesem Beitrag zu Grunde liegende Masterarbeit wurde im Rahmen des Masterstudiengangs Bauingenieurwesen an der Hochschule Wismar unter der Betreuung von Frau Prof. Claudia von Laar und Herrn Ulrich Arnold (M. Sc.) durchgeführt.

Ein besonderer Dank gilt dem „Bundesverband Feuchte & Altbausanierung e.V.“ für die Unterstützung bei der Finanzierung der benötigten Messtechnik.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Eickstädt, Neue Materiallösungen für den konstruktiven Feuchteschutz an komplexen Anschlusssituationen von Außenbauteilen aus Holz. Masterthesis, Hochschule Wismar 2018
- [2] DIN 68800-2:2012-02_ Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-68800-2/147794351>
- [3] H. Meyer: Werkstoffe im Holzbau und speziell im Außenbereich. Online verfügbar unter <https://hbz-nord.de/wp-content/uploads/2014/04/Vortrag-Holger-Meyer-140307.pdf>
- [4] U. Arnold; T. Huckfeldt und H.-J. Wenk (Hg.): Holzfenster und -türen. Köln: Rudolf Müller 2012
- [5] Fachregeln des Zimmererhandwerks. Balkone und Terrassen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin: Fördergesellschaft Holzbau und Ausbau mbH 2015
- [6] W. Scheiding; P. Grabes; T. Haustein; V. H. Haustein; N. Nieke; H. Urban und B. Weiß: Holzschutz. Holzkunde - Pilze und Insekten - Konstruktive und chemische Maßnahmen - Technische Regeln - Praxiswissen. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2016
- [7] T. Mugrauer: Internetpräsenz. Online verfügbar unter <http://www.scanntronik.de/index.php>, zuletzt geprüft am 25.05.2019.
- [8] A. Gamper; P. Dietsch und M. Merk: Gebäudeklima – Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkungen auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen. Online verfügbar unter http://www.scanntronik.de/Veroeffentlichungen_deu.php, zuletzt geprüft am 25.05.2019.
- [9] C. Brischke und A. Rapp: Untersuchung des langfristigen Holzfeuchteverlaufes an ausgewählten Bauteilen der Fußgängerbrücke in Essing. Online verfügbar unter http://www.scanntronik.de/Veroeffentlichungen_deu.php, zuletzt geprüft am 25.05.2019.

- [10] J. Koch; R. Arndt; A. Simon; und M. Jahreis: ProTimB - Monitoring von konstruktiv geschützten Holzbrücken. Online verfügbar unter <https://www.bauwerksdiagnose2018.de/Portals/bauwerksdiagnose2018/BB/18.pdf>, zuletzt geprüft am 25.05.2019.
- [11] D. Schwedland: Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Feuchte an Fichtenholz mit dem gravimetrischen Messverfahren sowie dem elektrischen Widerstandsmessverfahren und Entwicklung einer Kalibrierfunktion für elektronische Holzfeuchte-Messgeräte. Online verfügbar unter http://www.schwedland.de/Schwedland_Master-Thesis_1_Textteil_151001.pdf, zuletzt geprüft am 25.05.2019

Wie zuverlässig ist die U-Wert-Messung am Objekt?

Christoph Geyer/Barbara Wehle/Andreas Müller, Biel

Zusammenfassung

An zwei verschiedenen Holzwänden, einer Massivholzwand und einer Holzrahmenwand, wird der Wärmedurchgangskoeffizient vor Ort gemessen. Pro Wand werden dabei zwei unterschiedliche Messgeräte eingesetzt. Die Vor-Ort-Messungen der Wärmedurchgangskoeffizienten der Wände werden über einen Zeitraum von mehr als zwei Monaten durchgeführt. Die In-situ-Messungen ergeben signifikant unterschiedliche Messwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der beiden Messgeräte. Der Vergleich mit den Rechenwerten des Wärmedurchgangskoeffizienten zeigt nur in einem Fall eine Übereinstimmung zwischen Rechenwert und dem In-situ-Messergebnis. Drei In-situ-Messergebnisse weichen signifikant von den Rechenwerten ab. Sie ergeben jeweils zu niedrige Werte für die Wärmedurchgangskoeffizienten der Wand.

Durch Vergleich der Labormesswerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der Wände und dem Rechenwert kann ausgeschlossen werden, dass diese zu günstigen Wärmedurchgangskoeffizienten der Vor-Ort-Messungen auf bessere Wärmeleitfähigkeiten der Prüfkörper als die Rechenwerte zurückgeführt werden können.

Auswertungen mit kürzeren Messdauern zwischen 7 und 14 Tagen zeigen, dass die Genauigkeit der Messung durch eine Messzeit von mehr als 7 Tagen nicht verbessert wird. Sie zeigen auch, dass der Fehler des Mittelwerts des Wärmedurchgangskoeffizienten eine zu hohe Messgenauigkeit suggeriert. Es ergeben sich nämlich signifikant unterschiedliche In-situ-Messwerte für die verschiedenen Zeitperioden. Die Ursache hierfür konnte bisher nicht geklärt werden.

1 Einleitung

Ein großer Anteil des Energieverbrauchs von Ländern in Mitteleuropa wird zur Raumheizung benötigt. Um diesen Energieverbrauch zu reduzieren, müssen die Gebäudehüllen energetisch ertüchtigt werden. Hierzu genügt es nicht, nur die Anforderungen an Neubauten zu verschärfen, da die Anzahl der älteren Gebäude im Gebäudebestand wesentlich höher ist, als die der Neubauten.

Vielmehr muss die wärmeübertragende Gebäudehülle einer großen Anzahl von bestehenden Gebäuden aus verschiedenen Bauperioden energetisch ertüchtigt werden.

Zur Ausarbeitung von maßgeschneiderten Sanierungen muss aber der Wärmeschutz der bestehenden wärmeübertragenden Bauteile eines Gebäudes möglichst genau bekannt sein. Dies ist bei älteren Gebäuden meist nicht der Fall.

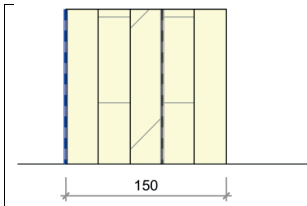
Daher besteht ein zunehmender Bedarf an Messmethoden, mit denen der Wärmedurchgangskoeffizient von Außenbauteilen vor Ort bestimmt werden kann. Daher wurden in jüngster Zeit von verschiedenen Herstellern eine Reihe von Messgeräten zur Messung des Wärmedurchgangskoeffizienten entwickelt. Allerdings bestehen bei den Baubeteiligten große Unsicherheiten hinsichtlich der Vergleichbarkeit der so erzielten Messwerte mit Labormesswerten der Wärmedurchgangskoeffizienten und der Messunsicherheit der verschiedenen Messverfahren.

Um die Messgenauigkeit zu überprüfen, wurden die Messgeräte von zwei verschiedenen Herstellern an zwei Holzkonstruktionen überprüft: einer Massivholzwand und einer Holzrahmenbauwand.

2 Versuchswände

2.1 Massivholzwand

Die Firma TWOODS GmbH, 9056 Gais, Schweiz entwickelte und produziert das Massivholz-Elementbausystems «Appenzellerholz». Der untersuchte Prüfkörper besteht aus fünf Schichten 30 mm dickem Fichtenholz mit einer gesamten Stärke von 150 mm. Die Lagen sind jeweils um 45° zur vorherigen Lage gedreht. Die sägerauen Holzschichten sind dabei klebstofffrei mittels Buchenholzdübeln mechanisch miteinander verbunden. Dadurch entstehen zwischen den einzelnen Fichtenholzlagen jeweils ca. ein Millimeter dicke Luftspalte. Diese sollen den Wärmeschutz zusätzlich verbessern. In der Mitte und an der Außenseite des Bauteils sind Winddichtungsbahnen angebracht. Die Details des Wandaufbaus sind in Bild 1 zusammengestellt.



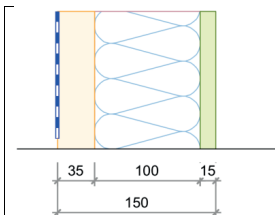
- Winddichtheitsfolie
- 30 mm Fichtenholz, sägerau
- 1 mm Luftspalt
- 30 mm Fichtenholz, sägerau
- 1 mm Luftspalt
- 30 mm Fichtenholz, sägerau
- 1 mm Luftspalt
- Winddichtheitsfolie
- 30 mm Fichtenholz, sägerau
- 1 mm Luftspalt
- 30 mm Fichtenholz, sägerau

Bild 1 Aufbau der Massivholzwand Links: Schnitt durch die Massivholzwand © Nägeli Holzbau Rechts: Beschreibung der Bauteilschichten von außen nach innen

Für den Wandaufbau ergibt sich nach EN ISO 6946 ein Wärmedurchlasswiderstand von $R = 1,71 \text{ m}^2\text{K/W}$ und ein Wärmedurchgangskoeffizient von $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

2.2 Holzrahmenwand

Bei dem zweiten Wandtyp handelt es sich um eine klassische Holzrahmenbaukonstruktion, welche 60 mm breite und 100 mm hohe Holzständer aufweist. Das Gefach ist mit Mineralwolle ausgedämmt. Auf der Innenseite ist das Wandbauteil mit OSB-Platten ausgesteift und auf der Aussenseite mit einer Holzfaserdämmung überdämmt. Zudem ist aussen eine Winddichtungsbahn aufgebracht. Die Details des Wandaufbaus sind in Bild 2 zusammengestellt.



- Winddichtheitsfolie
- 35 mm Holzfaserdämmung
($\lambda = 0,046 \text{ W}/(\text{mK})$)
- 100 mm Glaswollgedämmung
($\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{mK})$)
- 15 mm OSB 3 Platte

Bild 2 Aufbau des Gefachs der Holzrahmenwand Links: Schnitt durch das Gefach der Rahmenholzwand © Nägeli Holzbau Rechts: Beschreibung der Bauteilschichten des Gefachs von außen nach innen

Für den Wandaufbau ergibt sich nach EN ISO 6946 [1] ein Wärmedurchlasswiderstand von $R = (3,34 \pm 0,085) \text{ m}^2\text{K/W}$ und ein Wärmedurchgangskoeffizient von $U = (0,28 \pm 0,0069) \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die gesamte Holzrahmenwand bzw. von $R = 4,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ und von $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für das Gefach.

3 Messungen

Der Wärmedurchgangskoeffizient der beiden Prüfwände wird sowohl vor Ort, als auch im Labor gemessen. Die Vor-Ort-Messung des Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgt nach der Norm ISO 9869-1 [2]. Dabei wird die Methode mit der Wärmestromplatte angewandt.

Bei dieser Messmethode wird die Wärmestromdichte $q(t_n)$ zum Zeitpunkt t_n mit einer Wärmestromplatte gemessen. Gleichzeitig wird die Raumluft-, $T_i(t_n)$ und die Außenlufttemperatur, $T_e(t_n)$ mit einem Temperatursensor gemessen und hieraus die Temperaturdifferenz bestimmt. Der momentane Wert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils, $U(t_n)$ wird dann nach folgender Formel berechnet:

$$U(t_n) = \frac{q(t_n)}{T_i(t_n) - T_e(t_n)}$$

Um die Messergebnisse, welche vor Ort gewonnen wurden, mit den Messwerten aus dem Labor vergleichen zu können, wird eine Messung des Wärmedurchgangskoeffizienten der beiden Wände mit dem geschützten Heizkastenverfahren nach EN ISO 8990 [3], einer sogenannten Hotbox, im Labor durchgeführt.

3.1 Messgeräte

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Prüfwände vor Ort wird jeweils mit zwei Messgeräten parallel gemessen:

- einem gSKIN® Messgerät der Firma greenTEG AG, Zürich
- und einem Almemo® Messgerät der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen

Das gSKIN® Messgerät besteht aus einer abnehmbaren Wärmestromplatte und zwei Temperatursensoren zur Messung der Raumluft- und der Aussenlufttemperatur, verbunden mit einem Datenlogger.

Das Almemo® Messgerät wird für die Messung aus Komponenten der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH zusammengestellt. Es besteht aus einer Wärmestromplatte, vier Thermoelementen zur Messung der Raumluft-, der Aussenluft-, der inneren und der äußeren Oberflächentemperatur und einem Datenlogger zur Aufzeichnung und Speicherung der Daten. Damit ist mit diesem

Messgerät auch die Messung des Wärmedurchlasswiderstands des Bauteils möglich.



Bild 3 Außenaufnahme der beiden Prüfstände für die In-situ-Messung in Gais

4 In-situ-Messungen

Für die In-Situ-Messungen werden die Prüfstände in der Nordfassade einer Montagehalle der Firma Nägeli AG in Gais eingebaut. Durch die Orientierung der Wand soll der Einfluss solarer Strahlung auf die Messung minimiert werden. Die Prüfkörper werden in Fensteröffnungen der Fassade eingebaut. Sie weisen jeweils Abmessungen von 1,06 m x 2,38 m auf. Bild 3 zeigt eine Außenaufnahme der beiden Prüfstände in Gais.

4.1 Messaufbau

Die Sensoren der Messgeräte der Holzrahmenwand werden in der Nähe der Mitte des Gefachs angebracht. Bei der Massivholzwand sind die Messpositionen zufällig über der Prüfwand verteilt. Um Wärmebrückeneffekte zu minimieren,

wird ein Mindestabstand von ca. 30 cm von den Rändern der Prüfkörper eingehalten.

Die Wärmestromplatten werden nur mit Klebeband ohne Wärmeleitpaste auf den Oberflächen der Prüfkörper befestigt. Da bisher keine Wärmeleitpasten bekannt sind, welche keine Flecken verursachen, kann an Bestandswänden in der Regel auch keine Wärmeleitpaste verwendet werden.

Zur Messung der Außenlufttemperatur werden die Außenlufttemperatursensoren strahlungsgeschützt in einem Wetterschutzgehäuse untergebracht (siehe Bild 3).

4.2 Ergebnisse

Für die Auswertung der Messungen wurde nicht auf die Messwertanalysen der Hersteller der Messgeräte zurückgegriffen. Vielmehr wurde eine statistische Analyse der Messungen auf der Grundlage der ISO 9869-1 durchgeführt.

Gemäß ISO 9869-1 wird der Wärmedurchgangskoeffizient nicht als Mittelwert des Wärmedurchgangskoeffizienten über die Messperiode bestimmt. Vielmehr wird der Wärmedurchgangskoeffizient als der Mittelwert der Wärmestromdichte, geteilt durch den Mittelwert der Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft- und der Außenlufttemperatur über die Messperiode ermittelt. Dieser wird im Folgenden als Mittelwert nach ISO 9869-1 bezeichnet.

Sowohl die Massivholzwand, als auch die Holzrahmenbauwand werden als schwere Bauteile nach ISO 9869-1 eingestuft. Für schwere Bauteile gelten folgende Kriterien zur Auswahl der Wärmedurchgangskoeffizienten:

- Kriterium K1: Die Messzeit muss mindestens 72 Stunden dauern.
- Kriterium K2: Die Messzeit soll ein ganzzahliges Vielfaches von 24 Stunden sein
- Kriterium K3: Der Unterschied zwischen dem Messwert 24 h vor dem Ende der Messung und dem Wert am Ende der Messperiode darf 5 % nicht übersteigen
- Kriterium K4: Der Unterschied zwischen dem Messwert am Tag nach zwei Drittel der Messperiode und dem Wert am letzten Tag der Messperiode darf nicht mehr als 5 % betragen

Dabei werden die vier Auswahlkriterien nacheinander angewandt. D. h. das jeweils folgende Kriterium greift auf die Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten zurück, die bereits alle vorherigen Auswahlkriterien berücksichtigen. Die Messperiode der In-situ-Messungen beginnt am 09.02.2018, sie endet am 20.04.2018.

Massivholzwand

In Tabelle 1 sind die Messergebnisse für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Massivwand zusammengestellt.

Tabelle 1 Zusammenstellung der Mittelwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten nach ISO 9869-1 unter Berücksichtigung verschiedener Auswahlkriterien K1 bis K4. Die Fehler sind als 95 %-Vertrauensintervall angegeben.

Beschreibung	Mittelwerte der U-Werte in $W/(m^2K)$		Differenz der U-Werte in $W/(m^2K)$
	Almemo	gSkin	
Mittelwert nach ISO 9869-1	$0,430 \pm 0,0053$	$0,386 \pm 0,0082$	$0,044 \pm 0,0098$
Mittelwert nach ISO 9869-1 & K1	$0,430 \pm 0,0056$	$0,386 \pm 0,0080$	$0,044 \pm 0,0098$
Mittelwert nach ISO 9869-1 & K1-K2	$0,431 \pm 0,0060$	$0,387 \pm 0,0088$	$0,044 \pm 0,011$
Mittelwert nach ISO 9869-1 & K1-K3	$0,431 \pm 0,0062$	$0,387 \pm 0,0088$	$0,044 \pm 0,011$
Mittelwert nach ISO 9869-1 & K1-K4	$0,431 \pm 0,0060$	$0,387 \pm 0,0092$	$0,044 \pm 0,011$

Es fällt zunächst auf, dass beide Messgeräte signifikant unterschiedliche Werte für den Wärmedurchgangskoeffizienten liefern. Darüber hinaus zeigt sich, dass die Auswahlkriterien nach ISO 9869-1 nur geringe Auswirkungen auf das Messergebnis für den Wärmedurchgangskoeffizienten haben.

Mit dem Almemo-Messgerätesatz werden zusätzlich zu den Lufttemperaturen auch die inneren und äußeren Oberflächentemperaturen aufgezeichnet. Mit deren Hilfe kann der Wärmedurchlasswiderstand und der innere Wärmeübergangswiderstand gemessen werden.

Der äussere Wärmeübergangswiderstand, $R_{se}(t_n)$ wird mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten, $U(t_n)$, dem Wärmedurchlasswiderstand, $R(t_n)$ und dem inneren Wärmeübergangswiderstands, $R_{si}(t_n)$ nach folgender Formel abgeschätzt:

$$R_{se}(t_n) = \frac{1}{U(t_n)} - R_{si}(t_n) - R(t_n) \text{ in } \frac{W}{m^2K}$$

Diese Gleichung gilt allerdings nur dann, wenn die Wärmestromdichte im ganzen Bauteil konstant ist. Dies wird in der Regel bei In-Situ-Messungen nicht der Fall sein. Daher stellt diese Gleichung nur eine Abschätzung dar.

Tabelle 2 Mittelwert des Wärmedurchgangskoeffizienten, des Wärmedurchlasswiderstands, des inneren Wärmeübergangswiderstands und des daraus abgeleiteten äusseren Wärmeübergangswiderstands nach ISO 9869-1 unter Berücksichtigung aller Auswahlkriterien. Die Fehler sind als 95 %-Vertrauensintervall angegeben. Die Messwerte stammen vom Almemo-Messgerät, angebracht an der Massivholzwand.

Beschreibung	Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmedurchlasswiderstand	innerer Wärmeübergangswiderstand	äusserer Wärmeübergangswiderstand
	U_{Almemo}	R_{Almemo}	$R_{\text{si, Almemo}}$	$R_{\text{se, Almemo}}$
	in $W/(m^2K)$		in m^2K/W	
Mittelwert nach ISO 9869-1 & K1 – K4	$0,431 \pm 0,0060$	$1,98 \pm 0,017$	$0,153 \pm 0,0040$	$0,187 \pm 0,037$

Aus Tabelle 2 folgt, dass sich die Messwerte für den äusseren und den inneren Wärmeübergangswiderstand signifikant von den Werten der Wärmeübergangswiderstände, welche sowohl für die Berechnung als auch für die Labormessungen der Wärmedurchgangskoeffizienten angesetzt bzw. hergestellt werden, unterscheiden.

Dieser Unterschied der Wärmeübergangswiderstände macht einen Vergleich von vor Ort gemessenen Wärmedurchgangskoeffizienten mit im Labor bestimmten Wärmedurchgangskoeffizienten problematisch. Mit Hilfe des Norm-Gesamtwärmeübergangswiderstand $R_{st}= 0,17 (m^2\cdot K)/W$ wird daher aus dem gemessenen Wärmedurchlasswiderstand R der Norm-Wärmedurchgangskoeffizient U_{st} nach Formel 3 berechnet:

$$U_{st} = \frac{1}{R + 0,17 \frac{m^2K}{W}} = \frac{1}{(1,98 \pm 0,017) \frac{m^2K}{W} + 0,17 \frac{m^2K}{W}}$$
$$= (0,46 \pm 0,0035) \frac{W}{m^2K}$$

Holzrahmenwand

In der nachfolgenden Tabelle sind die Messergebnisse für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Holzrahmenwand zusammengestellt. Da auch hier die Auswahlkriterien nach ISO 9869-1 praktisch keine Auswirkung auf das Messergebnis des Wärmedurchgangskoeffizienten haben, wird nur das Endergebnis für den Wärmedurchgangskoeffizienten unter Berücksichtigung von allen vier Auswahlkriterien angegeben.

Tabelle 3 Mittelwert des Wärmedurchgangskoeffizienten der Holzrahmenwand nach ISO 9869-1 unter Berücksichtigung aller Auswahlkriterien. Die Fehler sind als 95 %-Vertrauensintervall angegeben.

Beschreibung		Mittelwert der U-Werte in $W/(m^2K)$		Differenz der U-Werte in $W/(m^2K)$
	Verteilung	Almemo	gSkin	Differenz
	Mittelwert nach ISO 9869-1 & K1-K4	0,191 ± 0,0019	0,243 ± 0,0054	-0,052 ± 0,0057

Auch an der Holzrahmenwand werden mit dem Almemo-Messgerätesatz zusätzlich zu den Lufttemperaturen auch die inneren und äußeren Oberflächentemperaturen aufgezeichnet. Damit ist es auch hier möglich, den Wärmedurchlasswiderstand, den inneren Wärmeübergangswiderstand und den nach **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** abgeschätzten äußeren Wärmeübergangswiderstand zu berechnen. Die Werte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4 Mittelwert des Wärmedurchgangskoeffizienten, des Wärmedurchlasswiderstands, des inneren Wärmeübergangswiderstands und des daraus abgeleiteten äusseren Wärmeübergangswiderstands nach ISO 9869-1 unter Berücksichtigung der Auswahlkriterien. Die Fehler sind als 95 %-Vertrauensintervall angegeben. Die Messwerte stammen vom Almemo-Messgerätesatz, angebracht an der Holzrahmenwand.

Beschreibung	Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmedurchlasswiderstand	Innerer Wärmeübergangswiderstand	Äusserer Wärmeübergangswiderstand
	U	R	R _{si}	R _{se}
	in W/(m²K)	in m²K/W		
Mittelwert nach ISO 9869-1 & K1 – K4	0,191 ± 0,0019	4,8 ± 0,13	0,21 ± 0,0091	0,23 ± 0,14

Analog zur Massivholzwand wird auch für die Holzrahmenwand mit Hilfe des Norm-Gesamtwärmeübergangswiderstand $R_{st} = 0,17 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ aus dem gemessenen Wärmedurchlasswiderstand der Norm-Wärmedurchgangskoeffizient U_{st} nach Formel 3 zu $U_{st} = (0,201 \pm 0,0056) \text{ W/(m}^2\text{K)}$ berechnet. Dieser Wert kann mit dem berechneten U-Wert des Gefachs verglichen werden.

4.3 Einfluss des Messzeitraums

Da eine Messperiode von mehr als zwei Monaten wesentlich länger ist, als die in der Praxis üblichen Messdauern, welche zwischen drei und vierzehn Tagen betragen, wurde auch untersucht, wie sich die Länge der Messperiode auf die Messwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten auswirkt. Hierzu wurde die Messperiode in vier Zeitintervalle mit einer Länge von sieben Tagen, zweimal 13 Tagen und 14 Tagen eingeteilt.

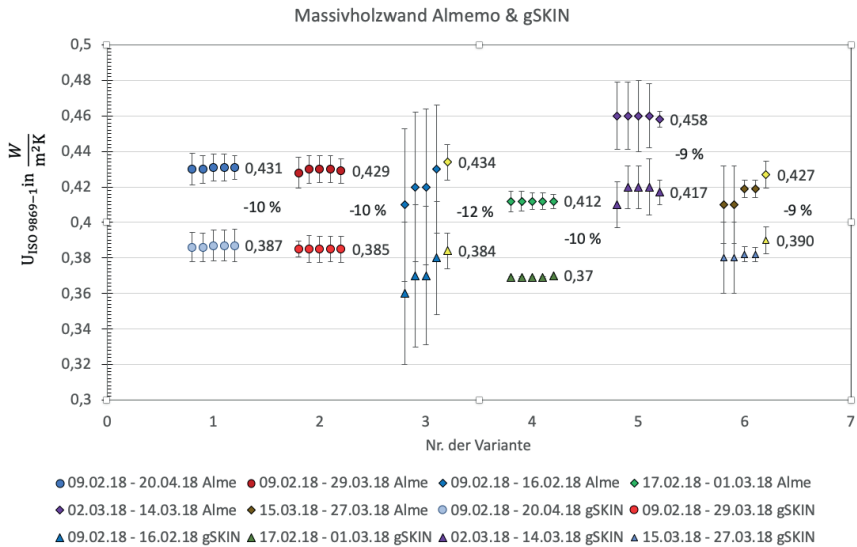


Bild 4 Zusammenstellung der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach ISO 9869-1 der Massivholzwand für verschiedene Messzeiträume, Auswahlkriterien und für beide Messgeräte. Die Zahl neben den Wertmarkierungen gibt den Messwert nach Anwendung aller Auswahlkriterien an. Die Werte, welche mit Gelb markiert sind, stellen den Mittelwert nach ISO 9869-1 am Ende der Messperiode dar. Die Prozentzahlen geben die prozentuale Abweichung des Mittelwerts des Wärmedurchgangskoeffizienten des gSKIN-Messgeräts vom Almemo-Messgerät an.

Bild 4 zeigt die Messwerte der Massivholzwand für die verschiedenen Zeiträume, die beiden Messgeräte und die verschiedenen Auswahlkriterien für die Massivholzwand. In Bild 5 sind die entsprechenden Werte für die Holzrahmenwand abgebildet.

Bei Betrachtung von Bild 4 fällt zunächst auf, dass die prozentuale Abweichung zwischen dem Almemo Messgerät und dem gSKIN Messgerät für alle untersuchten Zeitperioden mehr oder weniger konstant bleibt. Eine Verringerung der Messdauern führt aber zu einer Erhöhung der Fehlergrenzen der Mittelwerte. Dies ist besonders auffällig bei der 7 Tage Messperiode. Für die Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Wärmedurchgangskoeffizienten der drei Messperioden von 13 bzw. 14 Tagen konnte keine Ursache gefunden werden.

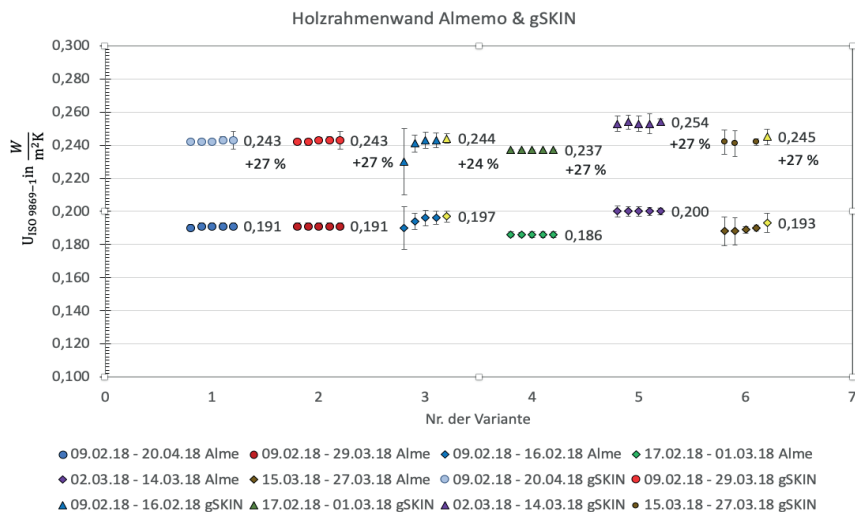


Bild 5 Zusammenstellung der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach ISO 9869-1 für das Gefach der Holzrahmenwand für verschiedene Messzeiträume, Auswahlkriterien und für beide Messgeräte. Die Zahl neben den Wertmarkierungen gibt den Messwert nach Anwendung aller Auswahlkriterien an. Die Werte, welche mit Gelb markiert sind, stellen den Mittelwert nach ISO 9869-1 am Ende der Messperiode dar. Die Prozentzahlen geben die prozentuale Abweichung des Mittelwerts des Wärmedurchgangskoeffizienten des gSKIN-Messgeräts vom Almemo-Messgerät an.

Aus der Zusammenstellung der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten für das Gefach der Holzrahmenwand in Bild 5 ergeben sich die gleichen Schlussfolgerungen, wie bei der Massivholzwand. Auch hier ist der prozentuale Unterschied zwischen den In-situ-Messergebnissen der beiden Messgeräte unabhängig von der Messdauer. Es ist aber bemerkenswert, dass bei dieser Messung der Messwert des gSKIN Messgeräts größer ist, als der Messwert des Almemo Messgerätes. Je kürzer die Messperiode, desto größer die Messfehler der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten. Auch hier können keine Ursachen für die signifikant unterschiedlichen Mittelwerte zwischen den verschiedenen Messperioden gefunden werden. Allerdings folgt aus den Messergebnissen der beiden Prüfwände, dass die Fehler der Mittelwerte für alle Messperioden eine zu hohe Genauigkeit der Messung suggerieren. Dies gilt besonders für lange Messzeiten. Die beiden Bilder zeigen aber auch, dass eine Verlängerung der Messperiode von 14 Tage auf zwei Monate kein genaueres Messergebnis erbringt.

5 Vergleich der Messwerte mit Laborwerten

Der Wärmedurchgangskoeffizient beider Prüfwände wurde im Labor mit dem geschützten Heizkastenverfahren für drei Mitteltemperaturen bestimmt. In Bild 6 sind die Rechenwerte nach EN ISO 6946, die Labormesswerte nach EN ISO 8990 und die In-situ-Messwerte nach ISO 9869-1 für die Massivholzwand zusammengestellt.

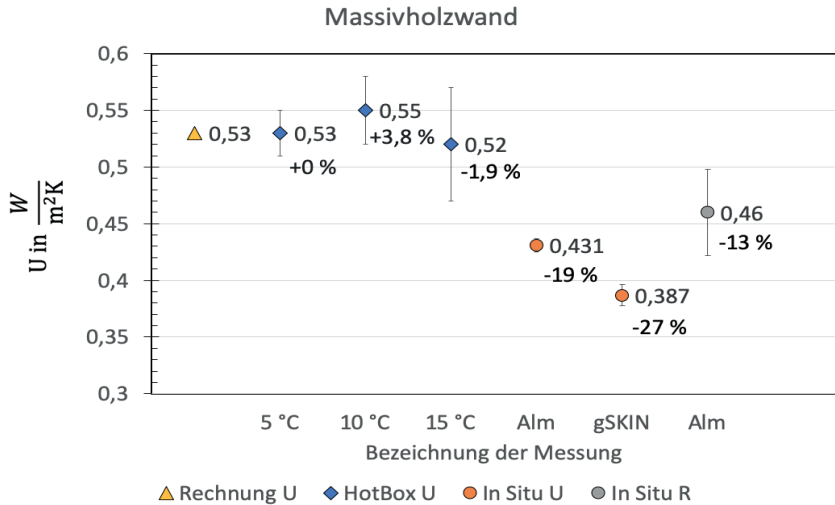


Bild 6 Vergleich des Rechenwerts, des Labormesswerts aus der Hotbox Messung und der In-situ-Messungen für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Massivholzwand. Die Prozentzahlen geben die Abweichung des jeweiligen Messwertes relativ zum Rechenwert an.

Es zeigt sich, dass die Labormesswerte innerhalb der Fehlergrenzen sehr gut mit dem Rechenwert des Wärmedurchgangskoeffizienten übereinstimmen. Die In-situ-Messwerte beider Messgeräte ergeben signifikant kleinere Wärmedurchgangskoeffizienten. Durch die Labormessungen des Wärmedurchgangskoeffizienten der Prüfkörper kann ausgeschlossen werden, dass diese Abweichung auf günstigere Wärmeleitfähigkeiten als die rechnerischen Wärmeleitfähigkeiten der Prüfkörper zurückgeführt werden kann. Durch die Messung des Wärmedurchlasswiderstands des Bauteils und die Berechnung des Norm-Wärmedurchgangskoeffizienten beim Almemo Messgerät kann die Abweichung des In-situ-Messwerts vom Rechenwert für das Almemo Messgerät um 6 % reduziert werden. Dies deutet darauf hin, dass ein Teil der Abweichung auf die

unterschiedlichen inneren und äußeren Wärmeübergangswiderstände zwischen der Vor-Ort-Messung und der Labormessung zurückzuführen ist.

Bei der Holzrahmenwand können nur die Rechenwerte und die In-situ-Messwerte für das Gefach miteinander verglichen werden. Bild 7 zeigt eine Zusammenstellung der Messwerte für das Gefach der Holzrahmenwand.

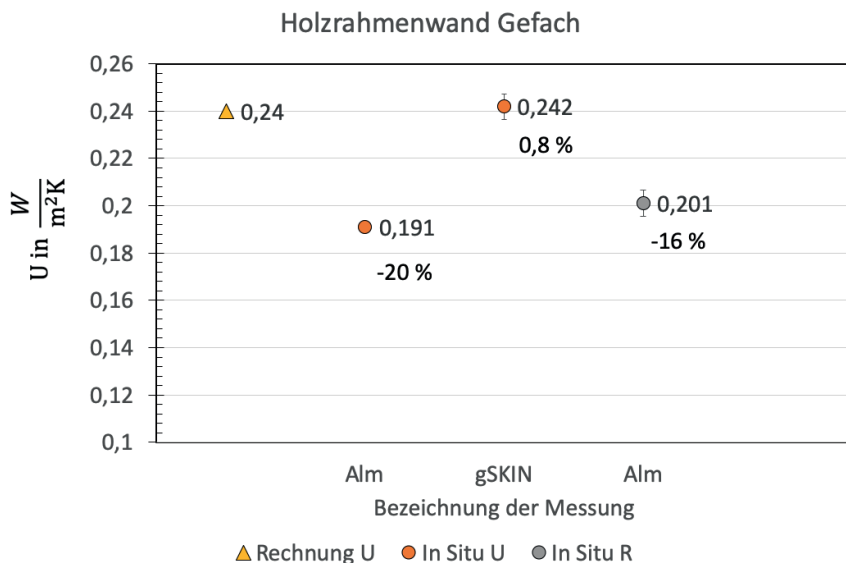


Bild 7 Vergleich des Rechenwerts und der Insitu Messungen für den Wärmedurchgangskoeffizienten des Gefachs der Holzrahmenwand. Die Prozentzahlen geben die Abweichung des jeweiligen Messwertes relativ zum Rechenwert an.

Überraschenderweise zeigt hier das Almemo Messgerät eine signifikant große Abweichung von -20 % gegenüber dem Rechenwert des Wärmedurchgangskoeffizienten. Der In-situ-Messwert des gSKIN Messgeräts stimmt dagegen innerhalb der Fehlergrenzen mit dem Rechenwert des Wärmedurchgangskoeffizienten überein. Auch hier kann die Abweichung zwischen In-situ-Messwert und Rechenwert verringert werden, wenn der Wärmedurchlasswiderstand vor Ort bestimmt wird. Allerdings fällt die Verringerung der Abweichung mit 4 % bei der Holzrahmenwand geringer aus, als bei der Massivholzwand.

Es wurde versucht, Korrelationen zwischen den In-situ-Messwerten einerseits und den Klimadaten andererseits und damit die Ursachen der systematischen

Abweichungen der In-situ-Messwerte zu finden. Dies ist bisher nicht gelungen und bleibt zukünftigen Forschungsvorhaben vorbehalten.

Danksagung

Wir bedanken uns beim Wald- und Holzforschungsfonds des Schweizer Bundesamts für Energie für die finanzielle Förderung des Projekts. Bei unseren Forschungspartnern TWOODS Gais, Knauf Insulation GmbH, Hunzenschwil, Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen und greenTEG AG, Zürich für die Unterstützung des Forschungsprojekts.

Literaturverzeichnis

- [1] EN ISO 6946 Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, Beuth Verlag, Berlin, 2008.
- [2] ISO 9869-1 Thermal insulation – Building elements In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance, 2014
- [3] EN ISO 8990 Wärmeschutz - Bestimmung der Wärmedurchgangseigenschaften im stationären Zustand - Verfahren mit dem kalibrierten und dem geregelten Heizkasten, 1996.

Ermittlung der Mauerwerksgüte von Bestandsmauerwerk

Jonny Henkel, Ahrensfelde/Claudia Neuwald-Burg, Karlsruhe

Zusammenfassung

Wer mit der Sanierung und Modernisierung historischer Mauerwerksbauten zu tun hat, muss häufig die Mauerwerksgüte bestimmen. Zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk existiert jedoch bislang keine einheitliche Vorgehensweise. Bei Mauerwerk aus kleinformatischen Mauersteinen werden deshalb in der Praxis Prüfverfahren genutzt, die sich an DIN-Normen für neu zu errichtendes Mauerwerk orientieren oder in wissenschaftlichen Forschungsarbeiten speziell für Bestandsmauerwerk entwickelt wurden. Da diese Ansätze von unterschiedlichen Randbedingungen ausgehen, bestehen deshalb häufig Unsicherheiten in der Ermittlung und Bewertung der Ergebnisse. Anhand von Praxisfällen werden Möglichkeiten aufgezeigt, mit denen eine statistisch bewertete Druckfestigkeitsbestimmung von Bestandsmauerwerk möglich ist.

1 Einleitung

Mauerwerk aus künstlichen kleinformatischen Steinen kann sehr verschiedenartig sein.

Mauersteine können sich durch ihr Material (z.B. Ziegel, Kalksandsteine, Leichtbetonsteine), ihre Herstellungsbedingungen (z.B. Handstrichziegel, stranggepresste Ziegel) oder aufgrund ihrer Formate (z.B. Reichsformat, Klosterformat, Hamburger Format) unterscheiden. Die verwendeten Mörtel variieren in ihren Zusammensetzungen (unterschiedliche Sande, verschiedene Bindemittel) und hinsichtlich ihrer Erhärtungsbedingungen (z.B. Witterung beim Mauern).

Hinzu kommt eine Vielzahl an unterschiedlichen Ausführungen des Mauerwerks hinsichtlich des Verbandes, der Fugendicken und der Ausführungsqualität. Zudem haben äußere Einwirkungen über das meist schon beträchtliche Alter der

Bauwerke zu Veränderungen im Mauerwerk geführt (z.B. Feuchte- und Salzbelastung, Frosteinwirkungen oder Brandschäden). Und nicht zuletzt sind über die Standzeit der Gebäude Veränderungen vorgenommen worden, wie z.B. das Verschließen von Öffnungen, die Herstellung von Anbauten und Erweiterungen sowie das Verstärken von Bauteilen bzw. das Entfernen tragender Bausubstanz.

Im Rahmen der Standsicherheitsüberprüfung bestehender Gebäude oder der statischen Nachweisführung bei der Erhöhung von Lasten (z.B. bei Aufstockungen) ist es meist nötig, die Druckfestigkeit dieser unterschiedlichen Mauerwerke zu bestimmen. Je nachdem, ob die Nachweise nach den alten DIN-Normen oder den heute gebräuchlichen Euronormen erfolgen, ist dies entweder in Form der zulässigen Mauerwerksspannung oder als charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit möglich. Nachfolgend wird lediglich auf die Bestimmung der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit eingegangen, da dies der derzeit gültigen Normengeneration entspricht und mit DIN EN 1990 (Eurocode 0) auch eine Norm zur statistischen Bewertung von Prüfergebnissen zur Verfügung steht.

Die Prüfverfahren, die zur Bestimmung der Mauerwerksdruckfestigkeit angewandt werden, basieren entweder auf Normen für neu zu errichtendem Mauerwerk oder wurden an Forschungseinrichtungen speziell für Bestandsmauerwerk entwickelt. Somit existiert theoretisch eine Vielzahl möglicher Prüfverfahren [1]. In der Praxis haben sich jedoch nur wenige Verfahren durchgesetzt. Im Folgenden wird auf zwei dieser Varianten eingegangen.

Anhand von drei Praxisbeispielen wird die Vorgehensweise bei der Prüfung und bei der Bewertung der Prüfwerte aufgezeigt. Hierbei wird besonders auf die häufig stark streuenden Materialeigenschaften eingegangen.

2 Prüfverfahren

2.1 Prüfverfahren in der Praxis

Die Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk kann mittels zweier grundsätzlich verschiedener Ansätze geprüft werden. Zum einen besteht die Möglichkeit, die Komponenten Mauerstein und Mörtel getrennt zu prüfen (auch als Komponentenprüfung oder indirekte Prüfung bezeichnet). Diese Prüfung orientiert sich überwiegend an Normen für neu zu errichtendem Mauerwerk. Zum zweiten können Verbundkörper aus Steinen und Mörtel im Ganzen geprüft werden, wobei die meisten dieser Prüfverfahren zwar durch Forschungsarbeiten belegt sind, aber noch keinen Eingang in die Normung gefunden haben.

Beide Varianten haben in der Praxis ihre Berechtigung. Aus Mauerwerk mit weichen Fugenmörteln lassen sich in der Praxis nur sehr schwer Verbundkörper entnehmen. Aus Mauerwerk mit hohen Mörtelfestigkeiten lassen sich Einzelproben von Stein und Mörtel wiederum nur mit größerem Aufwand gewinnen.

Im Folgenden werden die in Deutschland gebräuchlichsten Verfahren kurz beschrieben.

2.2 Komponentenprüfung

Bei neu zu errichtendem Mauerwerk werden Steine und Mörtel erst zusammengefügt. Die beiden Komponenten müssen dabei zur Herstellung von spezifischem Mauerwerk bestimmte Eigenschaften erfüllen, die durch die Materialhersteller überwacht werden. Die notwendigen Prüfungen sind somit auch umfassend genormt. In Anlehnung an diese Normen kann auch die Druckfestigkeit von aus dem Mauerwerk entnommenen Steinen und Mörteln geprüft werden.

Die Verwendung von Komponentenprüfungen ist besonders für Mauerwerk mit geringen Fugenfestigkeiten zu empfehlen, da hier die Entnahme der Proben gut möglich ist (z.B. mittels Fugenschneider). Komponentenprüfungen eignen sich ebenfalls, wenn eine Entnahme von Verbundprüfkörpern entsprechend den Vorgaben der Verbundkörperprüfung nicht möglich ist (z.B. bei speziellen Verbänden oder inhomogenem bzw. geschädigtem Mauerwerk).

Prüfung der Steinfestigkeit

Die Prüfung von ganzen Mauersteinen kann in Anlehnung an DIN EN 772-1 [2] erfolgen. Diese Norm bietet zudem die Möglichkeit, „repräsentative Teile“ von ganzen Mauersteinen zu prüfen. Die ermittelten Prüfergebnisse müssen anschließend mittels Formfaktoren nach Tabelle A.1 aus DIN EN 772-1 in eine normierte Druckfestigkeit umgerechnet werden. Als Normdruckfestigkeit ist die Druckfestigkeit eines Referenzwürfels mit 10 cm Kantenlänge definiert.

Bei Bestandsuntersuchungen hat sich in der Praxis etabliert, je Probenahmestelle drei Steine zu entnehmen. Für eine Bewertung des Mauerwerks nach statistischen Gesichtspunkten sollten jedoch je Untersuchungsbereich mindestens zwei Probenahmestellen gewählt werden, da so zum einen die Prüfkörpermenge auf mindestens 6 Prüfkörper erhöht wird und zusätzlich auch Informationen aus einem anderen Abschnitt des Untersuchungsbereiches gewonnen werden. Nach eingehender Beurteilung und statistischer Auswertung der Prüfergebnisse können unter Umständen auch Steine aus mehreren Untersuchungsbereichen zu einer Grundgesamtheit zusammengefasst werden, wenn ersichtlich ist, dass sie

aus derselben Produktion stammen und annähernd gleiche Eigenschaften aufweisen.

Prüfung der Mörtelfestigkeit

Die Prüfung des Mörtels erfolgt häufig nach DIN 18555-9 [2], Verfahren III. Diese Prüfvariante ist laut Norm auch zur Prüfung von Mörtel aus Bestandmauerwerk zugelassen. Die Prüfkörper sollten Abmessungen von ca. 50 mm x 50 mm x Fugendicke [mm] aufweisen, jedoch sind diese Abmessungen meist nur bei festen Mörteln herstellbar. In der Praxis werden häufig auch etwas kleinere Prüfkörper mit diesem Verfahren geprüft. Diese Vorgehensweise liegt, sofern eine Prüfkörperhöhe von ca. 12 mm eingehalten wird, auf der ‚sicheren Seite‘, da die damit ermittelten Druckfestigkeiten etwas geringer sind als bei Normabmessungen.

Die ermittelten Festigkeiten lassen sich nach SCHUBERT [3] mit einem Formfaktor von 1,0 in Prismendruckfestigkeiten umrechnen. Das Ergebnis stellt jedoch keine Mörtelfestigkeit nach DIN EN 1015-11 [5] dar, da die Erhärtung des Mörtels im Bauwerk anders verläuft als an Prismen unter Laborbedingungen. Da zu dieser Umrechnung von Fugenfestigkeit auf Prismenfestigkeit bislang noch keine systematischen Forschungen durchgeführt wurden und die bisherigen Erkenntnisse [4] auf Umrechnungsfaktoren zwischen 0,5 und 1,5 in Abhängigkeit der Mörtelzusammensetzung hindeuten, wird in der Praxis häufig vereinfachend ein Umrechnungsfaktor von 1,0 angenommen. Diese möglicherweise etwas auf der ‚unsicheren Seite‘ liegende Annahme kann dadurch gerechtfertigt werden, dass die Mörtelfestigkeit nur einen relativ kleinen Beitrag zur Mauerwerksfestigkeit leistet. Bei überwiegend karbonatisch erhärtenden Mörteln können in der Lagerfuge bei günstigen Erhärtungs- und Alterungsbedingen jedoch höhere Festigkeiten als im Versuch nach DIN EN 1015-11 entstehen. Somit kann besonders bei Kalkmörteln die Verwendung eines Umrechnungsfaktors kleiner 1,0 sinnvoll sein. Hierzu besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

Mörtelproben können in der Regel bei der Entnahme der Steine aus dem Mauerverband mit entnommen werden. Dazu werden Fugenstücke, die an den Steinen oder am verbleibenden Mauerwerk an der Entnahmestelle anhaften, durch vorsichtiges Abklopfen abgelöst. Möglich ist auch eine Entnahme separater Kleinbohrkerne. Es sollten so viele Mörtelstücke entnommen werden, dass die Menge der daraus hergestellten Probekörper mindestens der Anzahl der Steinprobekörper entspricht.

2.3 Verbundkörperprüfung

Im Rahmen von Forschungsarbeiten wurden mehrere unterschiedliche Verfahren entwickelt, mit denen die Mauerwerkfestigkeit durch eine direkte Prüfung von kleinen Mauerwerksprüfkörpern bestimmt werden kann. Üblicherweise werden dabei Bohrkern vertikal zur Bauteiloberfläche entnommen, die in bestimmter Weise Fugen enthalten. Man spricht deshalb von Fugenbohrkernverfahren. In Deutschland gebräuchlich sind die Fugenbohrkernverfahren nach BERGER [6], GUNKLER [7] oder HELMRICH [8]. Im Folgenden wird lediglich auf das HELMRICH-Verfahren weiter eingegangen.

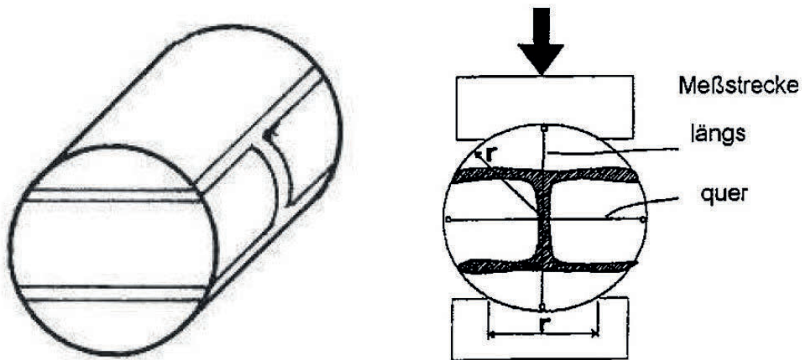


Bild 1 Ideale Fugenbohrkerne nach HELMRICH (links) und nach UIC-Kodex (rechts)

Das in Leipzig entwickelte Fugenbohrkern-Verfahren nach HELMRICH basiert auf der Entnahme von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 150 mm, die mittels spezieller Prüfkalotten in Einbaulage geprüft werden (Bild 1, links). In etwas abgewandelter Form hat es auch Eingang in den UIC-Kodex 778-3 [9] des Internationalen Eisenbahnverbandes gefunden (Bild 1, rechts). Durch PELA, ROCA und BENEDETTI wurden vergleichende Untersuchungen zwischen dem ursprünglichen HELMRICH-Verfahren, der Prüfung nach UIC 778-3 und RILEM-Prüfkörpern ausgeführt [10]. Dabei wurden die Ergebnisse von HELMRICH bestätigt. Die Werte des Verfahrens nach UIC 778-3 lagen etwa 20 % unterhalb der Versuche nach HELMRICH und wiesen deutlich größere Streuungen auf. Somit liegt die UIC-Versuchsdurchführung zwar auf der ‚sicheren Seite‘, führt jedoch zu einer Unterbewertung des Mauerwerks. Aus der in einer Druckprüfmaschine bestimmten Bruchlast kann direkt in eine Mauerwerksfestigkeit umgerechnet werden. Für die Beurteilung der Mauerwerksdruckfestigkeit eines Bauteils bzw. einer Mauerwerksart sollten wenigstens fünf Prüfwerte (fünf Bohrkern) zur Verfügung stehen. Die Bestimmung der Mauerwerksgüte ist auch an einer

geringeren Anzahl an Bohrkernen möglich, jedoch führt das aufgrund hoher statistischer Abminderungsfaktoren in der Regel zu einer Unterbewertung der Mauerwerksfestigkeit.

3 Statistische Randbedingungen

Während bei neu zu errichtendem Mauerwerk bei den Ergebnissen der Druckfestigkeitsprüfung von Materialstreuungen von ca. 10 % (Variationskoeffizient 0,1) ausgegangen wird, liegen die Streuungen bei historischen Baustoffen meist deutlich höher. Ursache für die höheren Streuungen sind nicht nur Unterschiede in der Qualität der Ausgangsmaterialien für Steine und Mörtel (Ton bzw. Lehm, Sand, Kalk), sondern auch andere Herstellungsverfahren als heute.

3.1 Verteilung der Festigkeiten

Ziegel wurden ursprünglich in Feldbrandöfen und bis um 1960 in Ringbrandöfen hergestellt. Das Brennen der Ziegel in diesen Öfen bedingt unterschiedliche Brenntemperaturen, die wiederum unterschiedliche Festigkeiten der Ziegel verursachen. An einem um 1910 errichteten Objekt in Berlin wurden bei eigenen Versuchen etwa 600 Ziegel hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit untersucht [11]. Bei der Darstellung der Ziegelfestigkeiten im Histogramm ergab sich eine rechts-schiefe Verteilung mit starker Streuung, die annähernd durch eine logarithmische Normalverteilung abgebildet werden kann (Bild 2).

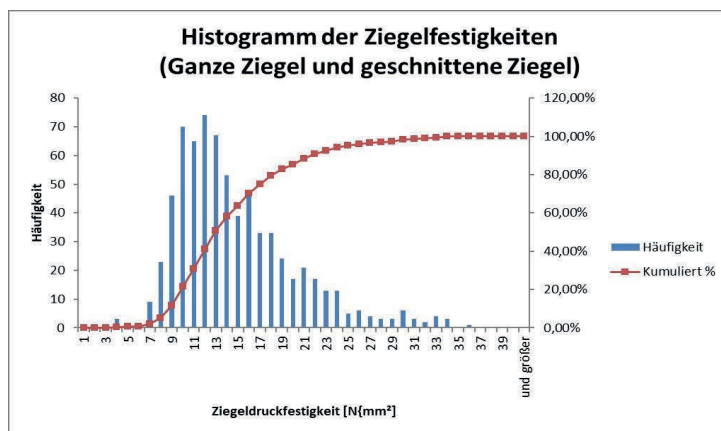


Bild 2 Histogramm der Druckfestigkeit von historischen im Ringbrandofen hergestellten Ziegeln

Bei der Untersuchung von ca. 50 neu im Ringbrandofen aus homogenisiertem Ton hergestellten Ziegeln ergab sich ein Histogramm, das ebenfalls einer annähernd logarithmischen Normalverteilung ähnelt, jedoch liegt das Druckfestigkeitsniveau deutlich höher als bei den historischen Ziegeln (Bild 3).

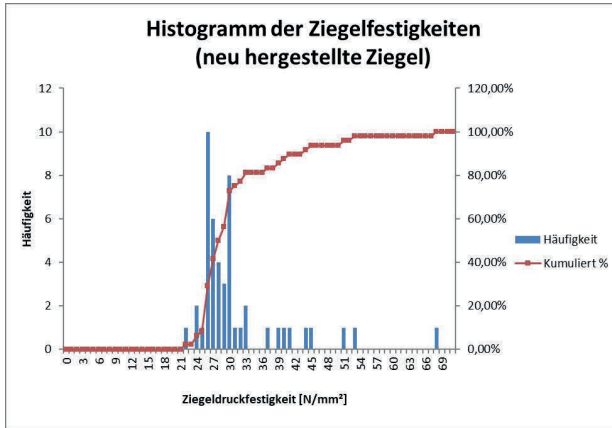


Bild 3 Histogramm der Druckfestigkeiten von neu im Ringbrandofen hergestellten Ziegeln

Vermutlich wird somit schon beim Brand im Ring- oder Feldbrandofen aufgrund der je Ziegel etwas unterschiedlichen Brenntemperaturen eine starke Festigkeitsstreuung in Richtung einer logarithmischen Normalverteilung erzeugt. Zudem ist es wahrscheinlich, dass nahezu ungebrannte Ziegel und Ziegel mit starken Brennfehlern vor dem Vermauern aussortiert wurden. Auch Alterungseffekte haben einen Einfluss auf die Festigkeitsstreuung und können zur Ausbildung einer rechtsschiefen Verteilung der Festigkeiten führen.

Ähnliche Feststellungen wurden im Rahmen eigener Versuche auch bei historischen Mörteln gemacht. Es ist zu vermuten, dass durch Alterungsvorgänge, variierendes Mischen und unterschiedliche Erhärtungsbedingungen im Mauerwerk ebenfalls starke Streuungen induziert werden, die oft ebenfalls zu einer rechtsschiefen Festigkeitsverteilung führen.

Es wird deshalb empfohlen, bei der Bewertung historischer Steine und Mörtel von einer logarithmischen Normalverteilung der Druckfestigkeiten auszugehen.

3.2 Streuung der Festigkeiten

Bei der statistischen Auswertung von Untersuchungsergebnissen an 67 Gebäuden überwiegend aus der Bauzeit zwischen 1850 und 1950 stellte MÜLLER [12]

fest, dass besonders bei höherer Stichprobenanzahl die Streuungen der untersuchten Steine (meist Ziegel) überwiegend im Bereich zwischen 30 und 50 % (Variationskoeffizienten zwischen 0,3 bis 0,5) liegen (Bild 4). Bei kleineren Stichproben traten auch deutlich kleinere oder größere Variationskoeffizienten auf.

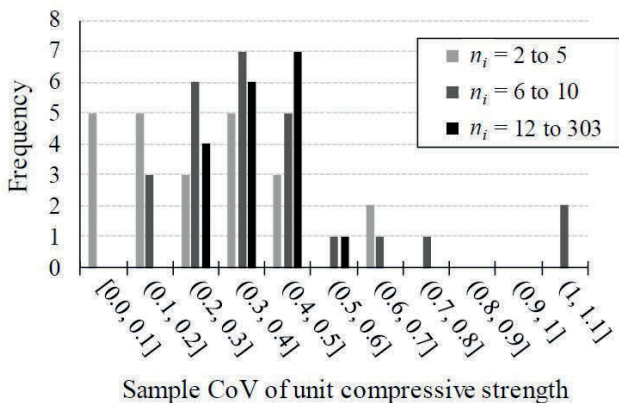


Bild 4 Histogramm der Variationskoeffizienten von historischen Ziegeln in Abhängigkeit der Stichprobenanzahl

Für eine Bestimmung der Druckfestigkeit mit ausreichende Aussagewahrscheinlichkeit sollte die Anzahl der Stichproben am untersuchten Bauteil deshalb möglichst groß sein und fünf Stichproben nicht unterschreiten. Besonders in der Denkmalpflege ist die Entnahme einer größeren Anzahl von Proben oft nicht erwünscht. Wenn weniger als fünf Proben entnommen werden, kommt es vor, dass die Werte dieser Stichprobe einen niedrigeren Variationskoeffizienten (kleiner 0,3) aufweisen, der der wahren Streuung möglicherweise nicht entspricht. In diesem Fall wird empfohlen, für die statistische Bewertung einen höheren Variationskoeffizienten anzusetzen, sofern keine Vorkenntnisse über die Festigkeiten vorhanden sind. Reicht die aus diesen Werten abgeschätzte Mauerwerksdruckfestigkeit nicht für den statischen Nachweis des Bauteils aus, kann es sich lohnen, zusätzliche Proben zu entnehmen. Mit der höheren Probenanzahl lassen sich in der Regel auch höhere Druckfestigkeiten nachweisen.

4 Bewertung der Prüfergebnisse anhand von Beispielen

4.1 Beispiel 1: Konzerthaus Berlin – Umbau der Räume unterhalb der Freitreppe

Das Konzerthaus Berlin (Bild 5) wurde als Schauspielhaus nach Plänen von Carl Friedrich Schinkel um 1818-1821 errichtet. Bei Bombenangriffen wurde das Gebäude zum Ende des Zweiten Weltkriegs sehr stark beschädigt.

Nach Sicherungsarbeiten in den 50er und 60er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde das Gebäude von 1979 bis 1984 umfassend rekonstruiert und als Konzerthaus umgebaut. Die Bereiche unterhalb der Freitreppe entstanden während der Schinkelschen Bauphase. Anschließend erfolgten vermutlich mehrere Umbauten (wahrscheinlich um 1905 und 1940). Durch die Kriegseinwirkungen des Zweiten Weltkriegs war die Treppe stark zerstört und wurde erst um 1982 rekonstruiert. Im Rahmen dieser Baumaßnahmen wurde die Lastableitung der Treppe geändert und eine Stahlbetonkonstruktion eingebaut.

Gegenwärtig sollen die Technikräume unterhalb der Treppe zu einem größeren Veranstaltungssaal umgebaut werden. Die Lastableitung soll dabei wieder über das alte Mauerwerk erfolgen, jedoch punktuell konzentriert.

Aus diesem Grund wurde an zwei Stellen die Mauerwerksgüte untersucht. Aufgrund von Voruntersuchungen war bekannt, dass die Mörtelgüte des Mauerwerks sehr hoch und damit eine Probenahme von Einzelproben der Mauerwerkskomponenten nur mit größerem Aufwand möglich war. Zudem sollte ein Bereich untersucht werden, der raumseitig nicht zugänglich war (Traforaum).

Aus diesem Grund wurde entschieden, Bohrkerne mit einem Durchmesser von $d = 150 \text{ mm}$ zu entnehmen, um ggf. eine Prüfung nach dem Fugenbohrkernverfahren nach HELMRICH durchführen zu können.

Um den Untersuchungsbereich im Traforaum zu erreichen, musste durch die benachbarte Wand eine ca. 4 m lange Kernbohrung eingebracht werden (Bild 6).



Bild 5 Konzerthaus am Gendarmenmarkt

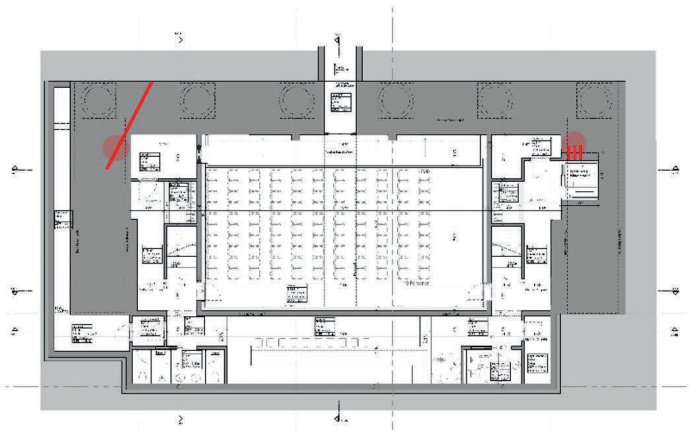


Bild 6 Grundriss der Freitreppe mit Untersuchungsbereichen und Bohrkernlage

Nach der Entnahme der Bohrkerns wurde festgestellt, dass das Mauerwerk im sogenannten Strom- oder Festungsverband gemauert war (Bild 7) und demzufolge keine Prüfkörper nach den Vorgaben des Fugenbohrkernverfahrens nach HELMRICH entnommen werden konnten.

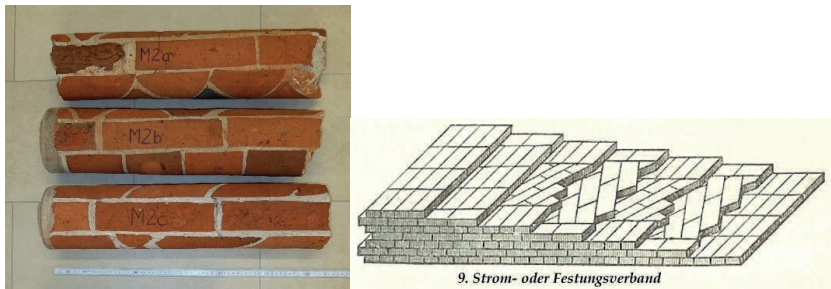


Bild 7 Entnommene Bohrkernproben und Prinzipskizze des Stromverbandes (aus: Meyers Großes Konversations-Lexikon, 6. Auflage 1905–1909)

Aufgrund dieser Tatsache wurde entschieden, aus den Bohrkernen Komponentenprüfkörper nach DIN EN 772-1 bzw. DIN 18555-9 herauszuschneiden. Hierbei wurden je Untersuchungsbereich 6 Prüfkörper der Ziegel und 6 Prüfkörper des Mörtels gewonnen. Da die optische Beschaffenheit der Prüfkörper von Stein und Mörtel beider Untersuchungsbereiche und auch deren Druckfestigkeitsniveau annähernd gleich war und beide Mauerwerksabschnitte aus der Bauzeit des Gebäudes stammten, wurden die Ergebnisse zu einer Grundgesamtheit zusammengefasst. Es standen somit 12 Ziegeldruckfestigkeiten und 12 Mörteldruckfestigkeiten zur statistischen Auswertung mit angenommener logarithmischer Normalverteilung zur Verfügung (Tabelle 1).

Tabelle 1 Statistische Parameter der Stein- und Mörteldruckfestigkeit

Untersuchungs- bereich	Material	Mittlere Festigkeit	Standardabwei- chung	Variationskoeffizient	Unterer Erwartungs- wert (5%-Quantil)
[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]
M1+M2	Ziegel	20,5	7,0	0,39	10,0
	Mörtel	9,2	2,7	0,31	5,2

Aufgrund der relativ großen Streuungen der Festigkeiten erfolgte die Berechnung der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit in Anlehnung an SCHUBERT [4] mittels des Exponentialansatzes aus DIN EN 1996-1-1/NA [13] unter Verwendung der 5%-Quantilwerte der Stein- und Mörteldruckfestigkeit. Bei der Umwertung der Fugendruckfestigkeit in die im Exponentialansatz eingehende Prismendruckfestigkeit wurde der Umrechnungsfaktor 1,0 gewählt, da es sich aufgrund der hohen Mörtelfestigkeiten offensichtlich um einen überwiegend hydraulisch abbindenden Mörtel (wahrscheinlich Romazement) handelt, der im

Bauwerk nur einer vernachlässigbaren Nacherhärtung unterliegt. Die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit wurde mit $4,3 \text{ N/mm}^2$ bestimmt.

4.2 Beispiel 2: Orenstein & Koppel Lofts Berlin – Errichtung eines neuen Dachgeschosses

Das Gebäude wurde um 1910 in Mauerwerksbauweise errichtet und diente ursprünglich als Verwaltungsgebäude der Orenstein&Koppel OHG. Das Objekt wurde im Zweiten Weltkrieg teilweise beschädigt, vermutlich brannte mindestens das Erdgeschoss aus. Gegenwärtig erfolgt ein Umbau als Wohngebäude, im Zuge dessen ein neues Dachgeschoss errichtet wurde, welches zusätzliche Lasten in das Bestandsmauerwerk der darunterliegenden Geschosse einträgt.

Durch den betreuenden Tragwerksplaner wurde die Untersuchung der Mauerwerksdruckfestigkeit an je zwei Fensterpfeilern in vier Etagen gefordert (4.OG, 1.OG, EG und KG).

Durch bereits ausgeführte Umbaumaßnahmen war bekannt, dass das Mauerwerk geringe bis mittlere Fugendruckfestigkeiten aufwies. Deshalb wurde entschieden, eine Komponentenprüfung an separat entnommenen Ziegeln und Mörtel durchzuführen. Je Probenahmestelle wurden drei Ziegel und Mörtelstücke für mindestens drei Mörtelprüfkörper entnommen. Die Entnahme der Proben erfolgte mittels Fugenschneider.

Aufgrund der optischen Beschaffenheit und der Druckfestigkeitsergebnisse wurde festgestellt, dass in den Geschossen EG, 1.OG und 4.OG offensichtlich Ziegel des gleichen Herstellers verwendet wurden, die sich jedoch deutlich von den Ziegeln im KG unterschieden. Somit wurden zur statistischen Bewertung die Ziegel der Geschosse oberhalb des Kellers zu einer Grundgesamtheit zusammengefasst (18 Proben), die Kellerziegel jedoch separat bewertet (6 Proben) (Tabelle 2).

Der Mörtel wies in allen vier untersuchten Geschossen eine unterschiedliche Beschaffenheit auf, war je Geschoss jedoch weitgehend homogen. Die statistische Bewertung der Mörtelergebnisse erfolgte somit geschossweise (je 6 Proben) (Tabelle 3).

Tabelle 2 Statistisch ausgewertete Steinfestigkeiten

Untersuchungsbe- reich	Material	Mittel- wert	Standardabwei- chung	Variationskoeffi- zient	Unterer Erwartungs- wert (5%-Quantil)
[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]
4.1	Ziegel	30,2	9,4	0,29	17,8
4.2	Ziegel				
1.1	Ziegel				
1.2	Ziegel				
0.1	Ziegel				
0.2	Ziegel				
U.1	Ziegel	19,2	4,7	0,25	11,0
U.2	Ziegel				

Tabelle 3 Statistisch ausgewertete Mörtelfestigkeiten

Untersuchungsbe- reich	Material	Mittelwert	Standardab- weichung	Variationsko- effizient	Unterer Erwartungs- wert (5%-Quantil)
[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]
4.1	Mörtel	10,8	3,7	0,37	4,7
4.2	Mörtel				
1.1	Mörtel	4,1	0,3	0,08	3,4
1.2	Mörtel				
0.1	Mörtel	1,9	0,3	0,17	1,3
0.2	Mörtel				
U.1	Mörtel	15,3	5,1	0,37	6,7
U.2	Mörtel				

Un erwartet war, dass die Druckfestigkeiten der Steine des Kellergeschosses und die Druckfestigkeiten des Mörtels im Erdgeschoss die niedrigsten Werte aufwiesen, obwohl gerade in diesen Bereichen die Beanspruchung des Mauerwerks groß ist.

Die Ermittlung der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit erfolgte analog zu der Vorgehensweise in Beispiel 1. Im Erdgeschoss war jedoch die Verwendung des Exponentialansatzes aus DIN EN 1996-1-1/NA nicht möglich, da die Mörtelfestigkeit unterhalb von 2,5 N/mm² liegt. In diesem Bereich liefert der Exponentialansatz unrealistische Werte (Bild 8). Einerseits ist die Mauerwerksfestigkeit bei einer Mörtelfestigkeit von 0,0 N/mm² nicht ebenfalls 0,0 N/mm², da auch mit Sand errichtetes Mauerwerk eine gewisse Druckfestigkeit besitzt.

Andererseits steigt die Mauerwerksfestigkeit auch nicht bei sehr geringen Mörtelfestigkeiten $> 0,0 \text{ N/mm}^2$ stark an.

Aus diesem Grund wurde versucht, die Kurve im Bereich der Mörtelfestigkeiten $< 2,5 \text{ N/mm}^2$ anzupassen. Hierfür wurde auf Ergebnisse von EGERMANN [14] zurückgegriffen, nach dem die Mindestdruckfestigkeit des Mauerwerks etwa der Spaltzugfestigkeit der Steine entspricht, also ca. 0,08 bis 0,1 der Steindruckfestigkeit.

Auf der sicheren Seite liegend wird dann die Mindestdruckfestigkeit mit der Druckfestigkeit bei $2,5 \text{ N/mm}^2$ Fugenfestigkeit linear verbunden (Bild 9). Für den Bereich des Erdgeschosses ergab sich somit eine charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit von $3,7 \text{ N/mm}^2$.

Da die untersuchten Mauerwerkspfeiler im Erdgeschoss durch die Brandeinwirkung im Zweiten Weltkrieg zudem im äußeren Bereich (ca. 0,5 bis 1,0 der Steinbreite) durch Vertikalrisse in Steinen und Fugen geschädigt waren, wurde empfohlen, den Mauerwerksquerschnitt der Pfeiler bei der Berechnung entsprechend zu reduzieren.

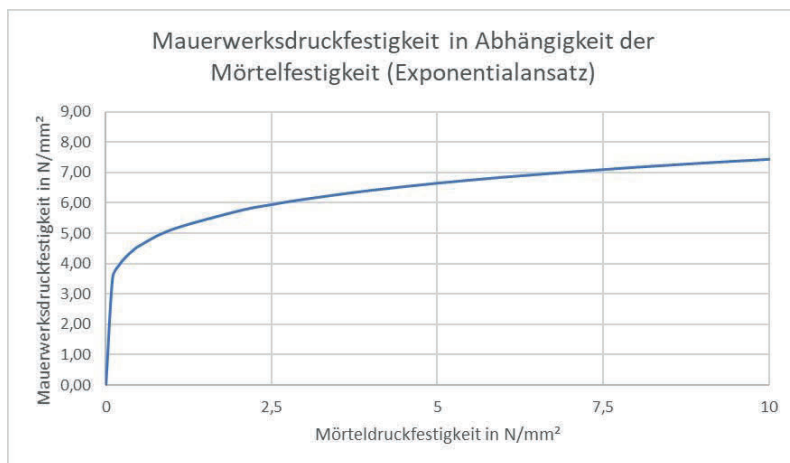


Bild 8 Mauerwerksfestigkeit in Abhängigkeit der Mörtelfestigkeit nach Exponentialansatz

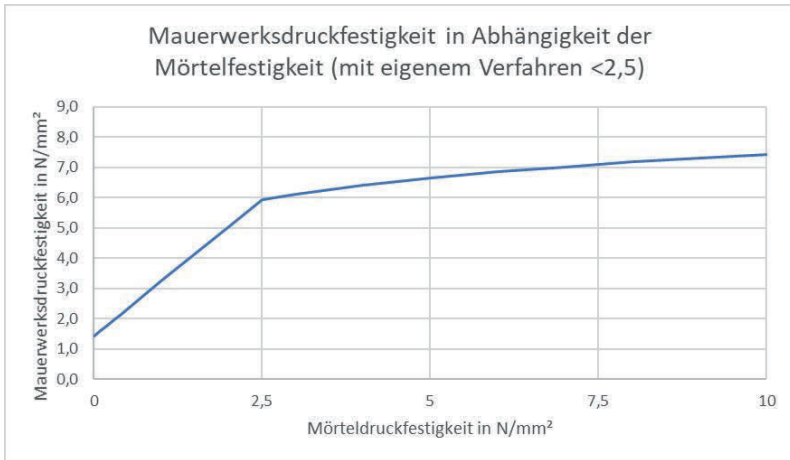


Bild 9 Mauerwerksfestigkeit in Abhängigkeit der Mörtelfestigkeit mit eigener Korrekturfunktion für Mörtelfestigkeiten < 2,5 N/mm²

Auch für die mit 5,3 N/mm² ermittelte Mauerwerksfestigkeit des Kellermauerwerks wurde eine Abminderung empfohlen, da das Mauerwerk sehr stark durchfeuchtet ist. Feuchtes Mauerwerk besitzt jedoch eine geringere Druckfestigkeit als trockenes Mauerwerk, wobei die Umrechnung bezüglich der Festigkeit zwischen trockenem und feuchtem Mauerwerk bislang nicht klar geregelt ist. In DIN EN 772-1:2011 werden in Anhang A Umrechnungsfaktoren von unterschiedlich konditionierten Mauersteinen in die normierte Druckfestigkeit angegeben. Für wassergelagerte Steine wird für die Umrechnung in den lufttrockenen Zustand ein Faktor von 1,2 empfohlen, d.h. die Druckfestigkeit der wassergelagerten Steine beträgt nur etwa 83 % der lufttrockenen Steine. In Anlehnung an diesen Umrechnungsfaktor und der Annahme, dass dieser Sachverhalt auch für Mörtel zutrifft, ergibt sich bei einer Abminderung der Stein- und Mörtelfestigkeiten um etwa 20 % eine charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit von nur ca. 4,4 N/mm².

4.3 Beispiel 3: Speicherstadt Hamburg – Grundinstandsetzung eines Speichers

Die neogotischen Gebäude der Speicherstadt wurden um 1888 als Lagergebäude errichtet, die auf einer Seite Anbindung ans Fleet (Wasser) und auf der anderen Seite ein Straßenanbindung besitzen. Gegenwärtig werden diese Gebäude instandgesetzt. Zur Überprüfung der Standsicherheit der wasserseitigen Außenwände wurden deshalb Untersuchungen zum Zustand und zur Festigkeit des

Mauerwerks in der Wasserwechselzone angeordnet. Aus Denkmalschutzgründen durften nur einzelne Proben entnommen werden, die aufgrund der hohen Fugenfestigkeiten des seit 130 Jahren im Wasser stehenden Mauerwerks als Fugenbohrkerne nach HELMRICH gewonnen wurden (Bild 10). Anhand eines ersten Bohrkerns sollte eine abschätzende Beurteilung der Mauerwerksdruckfestigkeit erfolgen. Die Bewertung eines einzelnen Prüfkörpers ist generell schwierig und mit großen Unsicherheiten behaftet. Nach DIN EN 1990, Anhang D.7.2 [14], ist diese Bewertung nur gestattet, wenn der Variationskoeffizient der Grundgesamtheit oder ein ‚oberer Schätzwert‘ des Variationskoeffizienten aus Vorinformationen bekannt ist. Da dies hier nicht der Fall war, konnte lediglich versucht werden, die charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks aus bekannten Variationskoeffizienten anderer Objekte mit ähnlichem Mauerwerk abzuschätzen. Für ähnlich kompaktes Mauerwerk mit hohen Fugenmörtelfestigkeiten aus der Hamburger Innenstadt waren in früheren Untersuchungen obere Variationskoeffizienten von ca. 0,2 festgestellt worden. Die charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks konnte somit bei einem angenommenen Variationskoeffizienten $V_k = 0,2$ sowie dem Quantilenfaktor $k_n = 2,31$ für einen Prüfkörper mit ca. $5,6 \text{ N/mm}^2$ abgeschätzt werden. Aus dem gleichen Mauerwerk wurden zu einem späteren Zeitpunkt noch zwei weitere Prüfkörper entnommen. Unter Verwendung des ersten Prüfwertes standen nun drei Prüfwerte zur Verfügung, an denen nach DIN EN 1990, Anhang D.7.2, ohne Vorinformationen zum Variationskoeffizienten die Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit möglich war.

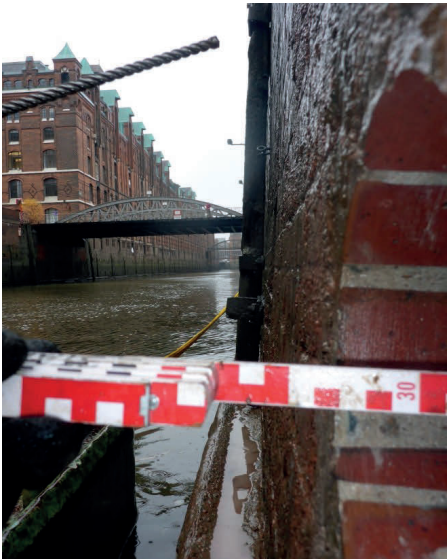


Bild 10 Bohrkernentnahmestelle in der Speicherstadt Hamburg

Tabelle 4 Untersuchungsergebnisse der drei Bohrkern

Probe	Rohdichte	Bruchlast	Bohrkernfestigkeit	Normierte Druckfestigkeit
[-]	[g/cm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
L33	1,90	320,8	13,15	10,52
L33-2	1,98	318,5	12,86	10,29
L33-3	1,94	261,1	10,55	8,44
Mittelwert:	1,94	Mittelwert:		9,75
Standardabweichung:				0,93
Variationskoeffizient:				0,10
5%-Quantil der Stichprobe:				8,63
Charakteristische Druckfestigkeit (5%-Erwartungswert):				6,61

Die charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks ergab sich bei einem Variationskoeffizienten $V_k = 0,10$ sowie dem Quantilenfaktor $k_n = 3,37$ für die untersuchten drei Prüfkörper mit $6,6 \text{ N/mm}^2$, was den vorherigen Schätzwert annähernd bestätigt und für die gute Qualität des wasserberührten Mauerwerksbereichs spricht.

Literaturverzeichnis

- [1] Henkel, J: Die Ermittlung der Mauerwerksgüte von Bestandsmauerwerk aus kleinformigen Ziegeln, Varianten der Festigkeitsprüfung, Mauerwerk 20 (2016), Heft 5, S. 391-406
- [2] DIN EN 772-1:2011-07 Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit; Deutsche Fassung EN 772-1:2011
- [3] DIN 18555-9:2019-04 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln – Bestimmung der Fugendruckfestigkeit
- [4] Schubert, P.: Beurteilung der Druckfestigkeit an ausgeführtem Mauerwerk aus künstlichen Steinen und Natursteinen, Mauerwerks-Kalender 1995, S. 687-700
- [5] DIN EN 1015-11:2007-05 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel; Deutsche Fassung EN 1015-11:1999+A1:2006

- [6] Berger, F.: Zur nachträglichen Bestimmung der Druckfestigkeit von zentrisch gedrücktem Mauerwerk. In: Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Baugefüge, Konstruktionen, Werkstoffe. Jahrbuch 1986. Sonderforschungsbereich 315. Berlin, Ernst und Sohn, 1987, S. 231-248
- [7] Kordina; Stappenbeck; Gunkler: Zur nachträglichen Bestimmung der Druckfestigkeit von Mauerwerk, MFPA Leipzig
- [8] Heidel, R.: Ermittlung der Materialkennwerte von Mauerwerk als Grundlage zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Mauerwerkskonstruktionen, Dissertation, TH Leipzig
- [9] UIC-Kodex; 778-3, Empfehlungen für die Bewertung des Tragvermögens bestehender Gewölbebrücken aus Mauerwerk und Beton, UIC Paris 1995
- [10] Pelà, L.; Roca, P.; Benedetti, A.: Mechanical Characterization of historical Masonry by Core Drilling and Testing of cylindrical samples, International Journal of Architectural Heritage, 2016, Taylor & Francis
- [11] Henkel, J.; Neuwald-Burg, C.: Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk, 6. Kolloquium Erhalten von Bauwerken, Technische Akademie Esslingen, Tagungshandbuch 2019, S. 407-415
- [12] Müller, D.; Graubner, C.: Modification of the partial safety factor for compressive strength of existing masonry using a Bayesian method, International Probabilistic Workshop, 2019
- [13] DIN EN 1996-1-1:2013-02 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005+A1:2012
- [14] Egermann, R.: Bauwerksdiagnostik - Beurteilen des Tragverhaltens von historischem Mauerwerk; Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe
- [15] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010

Wenn Putze nicht mehr funktionieren – ein Schadensbericht

Heike Pfaff, Marktrechwitz

Zusammenfassung

Wenn die Funktion eines Putzes eingeschränkt bzw. nicht mehr gewährleistet ist, liegen meist Schäden mit unterschiedlichen Ursachen vor.

Bevor man aber über die Schäden am Putz diskutiert, ist vorerst zu klären, welche Funktionen der Putz erfüllen soll bzw. muss. Im WTA-Merkblatt 2-14 „Funktionsputze“ werden die unterschiedlichsten Funktionen von Witterungsschutz bis Feuchteregulierung, von Wärmeleitung bis Wärmedämmung und spezielle Funktionen, wie Optik, Haptik oder Brandschutz, über die entscheidenden technischen Parameter der Putze und Mörtel erklärt und definiert.

Die bedeutendste Funktion des Außenputzes liegt im Bereich des Witterungsschutzes, welcher oft in Ausführungen und Vorgaben der Auftraggeber unterschätzt wird.

An einigen Objekt- und Anwendungsbeispielen werden nachfolgend die geforderten Eigenschaften des Putzes nach dem Stand der Technik erläutert, die Grenzen für den Einsatz eines Putzes unter diesen Anforderungen definiert und mögliche differenzierte Anwendungen von Putzen aufgezeigt. Es wird aber auch noch ein kurzer Überblick über mögliche Schäden und Anwendungsbeispiele aus der Praxis gegeben.

1 Einleitung: Funktionsputz - neues WTA-Merkblatt 2-14

Wenn Putze nicht funktionieren, dann erfüllen Sie die ihnen zugedachte Funktion ihres Einsatzes nicht mehr. In diesem Fall treten dann zum Beispiel Schäden in der Putzoberfläche, im Putzquerschnitt, in der Haftung zum Untergrund oder Schäden in angrenzenden Bauteilen auf. Ursache für manche der Schäden ist auch, dass die falschen Putzsysteme für die angestrebte Funktion des Putzes ausgewählt wurden.

In dem neuen WTA-Merkblatt 2-14 „Funktionsputze“ werden die unterschiedlichsten Funktionen eines Putzsystems definiert. Oft sind aber auch verschiedene Funktionen nicht mit einem Putzsystem zu erreichen. Das bedeutet, ein Putz kann nicht zwei entgegengesetzte Funktionen wie Wärmeleitung/Wärmedämmung oder Feuchteschutz/ Wassertransport erfüllen. Die unterschiedlichen erforderlichen Eigenschaften der Putze, um diese Funktionen zu erfüllen, schließen dies aus.

Mit der gewünschten Funktion des Putzes kann man aus dem Merkblatt klare Definitionen der Wirkprinzipien, der Auflistung der relevanten technischen Parameter, die Anforderungen und die jeweiligen Grenzen des Systems herauslesen und damit für die Auswahl des Putzsystems nutzen. Damit ist durch den Planer oder Anwender eine optimale Auswahl eines Putzsystems für die jeweilig gewünschte Funktion einfach zu gewährleisten.

Ein Putzsystem kann unterschiedlichste Funktionen erfüllen. Die Hauptfunktionen des Außenputzes sind der Witterungsschutz des Mauerwerkes, die Egalisation bzw. das Ausgleichen des Putzgrundes und die ästhetische Gestaltung der Fassade.

Im folgenden Kapitel soll hauptsächlich auf die Hauptfunktion Witterungsschutz und im zweiten Teil auf die Funktion der Salzeinlagerung eingegangen werden. Mit einigen Praxisbeispielen von Schäden werden die Anforderungen an das Putzsystem zur Erfüllung der gewünschten Funktion untermauert.

2 Funktion - Witterungsschutz

„Der Witterungsschutz ist eine Hauptfunktion für Putze im Außeneinsatz. Sollen spezielle Putzstrukturen erzeugt oder Bindemittel eingesetzt werden, die keinen ausreichenden Witterungsschutz gewährleisten, sind zusätzliche Beschichtungen erforderlich.“ [7]

Die Anforderungen an den Witterungsschutz sind in den Normen [2], [3] festgelegt. Neben den erforderlichen Mindestputzdicken ist in der DIN EN 13914 und DIN 18550 der Witterungsschutz durch die Wasserabweisung der Putzsysteme klar definiert. Den Witterungsschutz bei hoher Schlagregenbeanspruchung erreicht man mit einer Wasserabweisung der Materialien (WC 2 nach [1]). In

geschützten und nicht schlagregenbelasteten Bereichen können Putze eingesetzt werden, die saugend bzw. wasserhemmend eingestellt sind. Diese Bezeichnungen sind der DIN 4108-3 entnommen.

In der Tabelle 1 wurden die Parameter der kapillaren Wasseraufnahme, der w-Wert nach DIN 4108-3: 2018-10 und der c-Wert nach DIN 998-1 gegenübergestellt. Durch die unterschiedlichen Messverfahren, Normungen und auch Bewertungen führen diese Kennwerte oft zu Missverständnissen in der Auslegung dieser Kenndaten.

Tabelle 1 Übersicht der unterschiedlichen Werte der kapillaren Wasseraufnahme

saugend nicht definiert	wasserhemmend	wasserabweisend
w-Wert > 2,0 kg/(m ² h ^{0,5})	w-Wert 0,5 – 2,0 kg/(m ² h ^{0,5})	w-Wert < 0,5 kg/(m ² h ^{0,5})
Nicht definiert W _c 0 nach DIN 998-1	c ≤ 0,40 kg/(m ² min ^{0,5}) W _c 1 nach DIN 998-1	c ≤ 0,20 kg/(m ² min ^{0,5}) W _c 2 nach DIN 998-1

Zusätzliche Maßnahmen neben der Wasserabweisung sind Mindestputzdicke, die Auswahl von Bindemitteln und eine zusätzliche Beschichtung des Putzes. An denkmalgeschützten Fassaden und Gebäuden wird oftmals ein zementfreier Putz gefordert. An manchen Objekten wird der Zusatz verwendet „auch ohne hydraulische Zusätze“, damit auch keine hydraulischen Kalke. Bei einem solchen Putz handelt es sich dann um einen luftkalkgebundenen Putz, welcher typische Eigenschaften für Festigkeit, Wasseraufnahmevermögen, Frostbeständigkeit, Beschichtungsoptionen und eine Begrenzung im Ausführungszeitraum aufweist. In den Bildern (1 + 2) zeigen sich typische Schäden eines luftkalkgebundenen Putzes im Außenbereich. Aufgrund der Zusammensetzung des Luftkalkputzes wird dieser eine hohe Wasseraufnahme aufweisen. In den Bereichen der konstruktiven Abläufe an dem Objekt Museumsinsel in Berlin kommt es zu extremen Durchfeuchtungen des Putzes, zu einem Auslösen von noch freiem Kalziumhydroxid, und mit Luft bildet sich das schwer lösliche Kalziumcarbonat. Bei

bestimmten Witterungsbedingungen können die Bereiche wieder gut abtrocknen und es bleibt nur ein weißer Rand mit Ausblühungen der schwer löslichen Carbonate.



Bild 1 Berlin, Museumsinsel - Putzaufbau mit einem Luftkalkputz in stark feuchtebelasteten Bereiche



Bild 2 Berlin, Museumsinsel - Schäden durch Durchfeuchtung eines Luftkalkputzes

Ist das Abtrocknen des Putzes nicht möglich, kann es zur maximalen Wasseraufnahme, zur 100 %-igen Durchfeuchtung des Putzes und zu einer Gefügestörung durch Frost kommen. An diesem Objekt zeigten sich diese Schäden schon, weil die Putzarbeiten in der Winterperiode durchgeführt wurden. Bei den

Temperaturen und der hohen Luftfeuchtigkeit findet die notwendige Karbonatisierung des Putzes nur bedingt statt und die Eigenschaften des Putzsystems können nicht schadensfrei ausgebildet werden. Die Funktion des Witterungsschutzes kann der Putz an dieser Fassade nur bedingt erfüllen.

Wenn Putze keine Haftung zum Untergrund aufweisen, durch Rissbildung und Hohlstellen gestört sind und die Anschlüsse zu angrenzenden Bauteilen nicht schlagregendicht ausgeführt sind, kann es zu Aufweichungen des Putzes und des Putzgrundes kommen. Auch hier kann dann der Putz nicht seine Funktion erfüllen. In den Bildern 4 + 5 sind Schäden am Außenputz zu erkennen, die durch fehlende Haftung zum Untergrund und fehlende Wasserabweisung im Putzsystem entstanden sind. Beide Kirchen stehen in schlagregenbelasteten Bereichen. Die Wetterseite ist meist durch starke Durchfeuchtung gekennzeichnet. An beiden Objekten wäre ein wasserabweisender Putz mit einer ordentlichen Untergrundvorbehandlung, wie einem Spritzbewurf (Bild 3), oder in der Kirche Oberhatzkofen (Bild 4) eine Entkopplung des bauwerksbedingten Risses erforderlich gewesen. Mit diesen Arbeiten der Untergrundvorbehandlung hätte man die Hohlstellen und Rissbildungen weitestgehend ausgeschlossen.



Bild 3 Börnichen Erzgebirge, mangelhafte Untergrundvorbehandlung



Bild 4 Oberhatzkofen, Kirche, bauwerksbedingte Rissbildung

Bei den beiden folgenden Objekten handelt es sich um verputzte Fachwerkkonstruktionen. Gerade in diesen Konstruktionen spielt der Witterungsschutz des Tragwerkes Holz eine wesentliche Rolle. Meist erkennt man aber gar nicht, dass es sich um eine Fachwerkkonstruktion handelt. Bei dem Objekt in Weimar, Haus der Frau von Stein (Bild 5), erkennt man gleichlaufende Risse in der Konstruktion,

die komplett durch das Putzsystem und entlang der Holzkonstruktion verlaufen. Die Ursache dieser Risse ist in der Befestigung des Putzträgers in der Holzkonstruktion zu suchen. Durch die Quell- und Schwindbewegung des Holzes wird durch diese Art der Befestigung diese auf den Putz übertragen. Bei einem wasserabweisenden Putz und einer geringen Rissbreite im Putz ist die Konstruktion des Holzes vor einer Durchfeuchtung geschützt. Aufgrund von Bewegungen oder Veränderungen der Konstruktion kommt es aber über die Zeit zu einer Aufweitung der Risse in der Konstruktion und mit der Zeit dann auch zu einer Hinterfeuchtung des Putzes und damit auch der Holzkonstruktion.

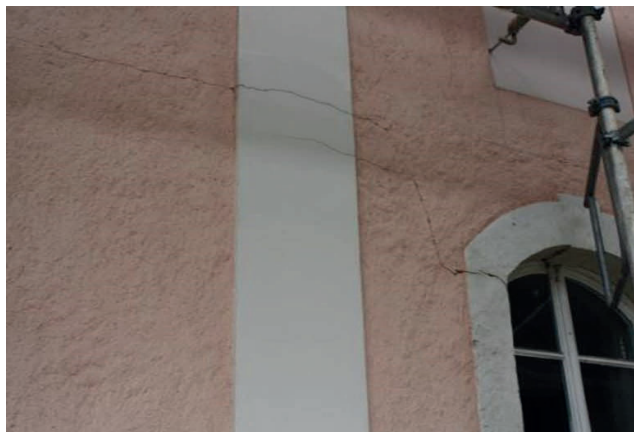


Bild 5 Weimar, Haus der Freifrau von Stein - Risse aus der Fachwerkkonstruktion

Risse und Abplatzungen im Bereich des überputzten Fachwerkes am Objekt Homburg (Bild 6) führen, obwohl die Schäden kritisch aussehen, nicht zu einem Verlust der Witterungsbeständigkeit der Fassade. Die Risse verlaufen nur im Oberputz der Fassade. Der Oberputz liegt hohl. Der wasserabweisende Unterputz zeigt keinerlei Risse im Putzquerschnitt auf. Die Ursachen für diese Rissbildung und Putzablösungen sind in der mangelhaften Haftung des Oberputzes am Unterputz, in der geringen Schichtdicke und einer mehrfachen Einlage eines Armerungsgewebes zu suchen. Die optische Wirkung des Putzes dagegen entspricht natürlich nicht den gewollten Eigenschaften. Die Fassade des Gebäudes muss daher komplett neu mit einem Oberputzsystem versehen werden.



Bild 6 Bad Homburg - Ablösungen des Oberputzes vom Unterputz

3 Funktion - Salzeinlagerung, Salzspeicherung

Feuchte- und salzbelastete Untergründe werden nach dem Stand der Technik, nach der gültigen Normung, wie DIN 18550 und DIN 13914, und nach den WTA-Richtlinien 2-9-04 mit einem Sanierputz nach den WTA-Richtlinien verputzt.

In den WTA-Richtlinien sind festgelegt, welche Eigenschaften dieser Sanierputz haben muss, welche Aufbauten bei welchen Salzbelastungen eingesetzt werden, wie dieser Sanierputz geprüft und zertifiziert wird, und ebenso sind die Grenzen des Systems klar dargelegt. Mit einem Sanierputz wie auch einem Opferputz bzw. Porengrundputz wird die Funktion einer Salzeinlagerung bzw. Salzspeicherung erfüllt. [7] Bei einem Sanierputz können neben allen Möglichkeiten von verarbeitungs- bzw. putzbedingten Schäden auch Schäden durch die Durchsalzung und Durchfeuchtung auftreten. Die Art und die Konzentration von Salzen, die Durchführung der begleitenden Maßnahmen, wie z. B. vertikale Abdichtung, und die Ausführungsqualität entscheiden häufig über die Langlebigkeit und damit die Schadensfreiheit der Putzoberfläche eines Sanierputzsystems.

An den folgenden Objektbeispielen, die nicht mit einem Sanierputzsystem verputzt wurden, sollen auftretende Schäden und die Wirkungen von leicht löslichen Salzen durch den Transport an die Oberfläche des Putzsystems aufgezeigt werden. In den Bereichen der folgenden Objekte wurden kalkgebundene, meist nicht wasserabweisende Putzsysteme eingesetzt. Meistens haben diese Putze kein für Salze zugängliches Porenvolumen und damit fast keine Möglichkeit, die bauschädlichen Salze einzulagern bzw. zu speichern. Neben dieser fehlenden Eigenschaft der Putze sind die Belastungen an den betreffenden Stellen extrem.

Das erste Objekt ist ein umgebauter Stall bzw. Bauernhof (Bild 7) in der Nähe des Chiemsees. Das Mauerwerk war durch die Viehhaltung über mehrere Jahrzehnte stark durch Nitrate belastet. Die Belastung konnte nicht nur im Bereich des Sockels festgestellt werden.



Bild 7 Vorzustand Bauernhof

Aufgrund von denkmalpflegerischen Vorgaben wurden die Flächen oberhalb des Fensters im Erdgeschoss mit einem Kalkputz verputzt. Nach schon einer Witterungsperiode zeigten sich im Bereich unterhalb des Daches die ersten Feuchteflecken und Salzausblühungen.



Bild 8 Zustand nach 1 Jahr Standzeit

Der Putz erfüllt seine Funktion der Salzeinwanderung und Speicherung. Auch wenn dieser Putz unserem ästhetischen Gefühl von schadensfreier Oberfläche nicht entspricht, führt dieser Putz zu einer Reduzierung der Salzlast des Mauerwerkes und damit zur Erhaltung der tragenden Konstruktion. Mit der Erneuerung des Putzes in diesen Bereichen wird dann eine weitere Salzeinwanderung ermöglicht. Am Objekt Weimar, Belvedere Kavaliershäuser, kann man gut erkennen, wie Salze in kurzer Zeit einen Putz zerstören können (Bild 9). Hier handelt es sich nicht um aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk oder salzbelastetes Mauerwerk, sondern die Ursache für diesen auftretenden Schaden ist in dem mangelhaften Feuchteschutz des Putzsystems an dem Treppenaufgang zu suchen. Die verwendeten Putze sind auf einen Putzträger in einer Putzdicke von 15 mm aufgebracht und stoßen direkt auf die Treppenstufen. Die Zerstörung des Putzes hat unter dieser Belastung an vorliegenden Natriumchloridsalzen nur ca. 8 Jahre gedauert. Hier muss der Putz komplett erneuert und der erforderliche Feuchteschutz bzw. eine Abdichtung ausgeführt werden. In diesem Fall ist dies notwendig, da die Konstruktion des Natursteinmauerwerkes stark beansprucht wird und die Fachwerkkonstruktion durch die hygroskopische Feuchtigkeit stark geschädigt werden kann.



Bild 9 Weimar, Belvedere Kavaliershäuser - starke Schäden durch Streusalz und fehlende Putzabdichtung

4 Fazit

Putzsysteme erfüllen schon jahrhundertlang unterschiedlichste Funktionen an den Bauwerken. In dieser Zeit unterlagen Sie Änderungen in der Zusammensetzung, in den Ansprüchen an die Haltbarkeit, Optik und Dauerhaftigkeit. In der heutigen Zeit müssen diese Materialien die unterschiedlichsten Ansprüche bzw. Funktionen übernehmen. Oft werden sich keine Gedanken über die geforderten technischen Parameter gemacht, sondern auf die Auslobung der technischen Dokumentationen der Lieferanten geschaut. Mit der Auflistung in dem WTA-Merkblatt 2-14 „Funktionsputze“ werden die Anforderungen an den Putz bei den definieren Funktionen klar festgelegt. Mit der Beachtung der Parameter und damit auch der Einsatzgrenzen der verschiedenen Putzsysteme kann man die Schäden in einigen Bereichen vermeiden. In diesem Falle funktioniert auch der Putz!

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 998-1: 2017-02 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 1: Putzmörtel, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2017
- [2] DIN EN 13914-1: 2016-09 Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen - Teil 1: Außenputze, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2016
- [3] DIN 18550-1: 2014-12 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen - Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1 für Außenputze, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2014
- [4] Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton, Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e. V. (VDPM), 2018
- [5] Merkblatt Wärmedämm-Verbundsysteme und Putzsysteme im Sockel- und erdberührten Bereich, Industrieverband Werkmörtel e. V. (IWM), Ausgabe 2013
- [6] Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz - Merkblatt „Strukturierte Putzoberflächen - Visuelle Anforderungen“, Frankfurt am Main, u. a., Ausgabe 2008
- [7] WTA e. V. Merkblatt 2-14 „Funktionsputze“. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 07.2019/D
- [8] WTA e. V. Merkblatt 2-9-04/D „Sanierputzsysteme“. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2006
- [9] Fachverband der Stuckateure für Ausbau und Fassade Baden-Württemberg Richtlinie Fassadensockelputz/Außenanlagen, Ausgabe 2013
- [10] DIN 4108-3: 2018-10 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2018

Hydrophile und biozidfreie Fassadenbeschichtungen – Garant gegen Algen und Pilze?

Constanze Messal, Rostock

Zusammenfassung

Fassadenbiofilme sind nach wie vor Teil unserer Baukultur. Sie sind sichtbares Zeichen für die Anpassung an einen evolutionären Selektionsdruck durch anthropogene Hartsubstrate oder besser durch eine menschengemachte Pseudowüste, genannt WDVS, aber auch den Klimawandel. Gleichzeitig sind Fassadenbiofilme ein Zeichen von Biodiversität, was sich insbesondere in den letzten 10 Jahren zeigte, denn Schwarz ist das neue Grün auf der Fassade.

Also der Mensch war's und retten sollen es die Fassadenbeschichtungen. Und ja, das tun sie auch, wenn man ihnen die Möglichkeit dazu gibt. Und das setzt voraus, dass - ohne das geht es nun einmal nicht – richtig gebaut wird. Nach wie vor kann auch die beste Fassadenbeschichtung nicht ausgleichen, was planerisch oder konstruktiv vermasselt wird. Ob nun mit Dachüberstand oder nicht – dauerhaft feuchte Oberflächen, ein hoher Infektionsdruck und ständige Kontamination mit Nährstoffen führen zu einer Besiedlung.

Hydrophile biozidfreie Fassadenbeschichtungen sind bei richtiger Planung und guter Verarbeitung sehr gut geeignet, eine Besiedlung der Fassade zu verzögern. Dies wird durch zahlreiche Studien nicht nur im Labor, sondern auch an Pilotobjekten und durch die Bearbeitung von Schadensfällen bestätigt. Die Wirkung lässt sich auch wissenschaftlich begründen. Gerade im Zuge der sich verschärfenden Regularien zum Biozideinsatz sind biozidfreie Fassadenbeschichtungen eine auch wirtschaftlich interessante Alternative.

1 Fassadenbiofilme – eine Erfolgsstory

Um darlegen zu können, ob und wie Fassadenbeschichtungen Fassadenbiofilme verhindern oder minimieren können, muss man sich zunächst mit den Protagonisten an der Fassade auseinandersetzen. Und mit einigen festsitzenden Mythen aufräumen. Fassadenbiofilme sind Vergemeinschaftungen diverser Mikroorganismen, wobei Algen und Pilze dominieren.

1.1 Phycophyta

Algen, auch *Phycophyta* genannt, sind eine sehr arten- und formenreiche Gruppe aus dem Reich der Pflanzen. Algenzellen enthalten immer das lichtsammelnde Pigment Chlorophyll a, das aber bei den nicht grün gefärbten Algen, wie z.B. *Trentepolia spp.*, durch rote, braune und blaue Farbstoffe überdeckt sein kann. Algen nehmen über diese Pigmente Lichtenergie auf, um mittels Photosynthese chemisch gespeicherte Energie zu erzeugen. Diese energiereichen Verbindungen wie Kohlenhydrate, Proteine und Lipide sind zudem die Hauptkomponenten der pflanzlichen Biomasse. Daher zählen sie auch zu den Primärproduzenten am Anfang der Nahrungskette. Neben Licht sind weitere hauptsächlich anorganische Moleküle wie Kohlendioxid, Ammonium oder Nitrat und ortho-Phosphat notwendig, um Photosynthese durchführen zu können. Die Versorgung erfolgt über die Atmosphäre, z.B. durch Niederschlag. Eine Freisetzung dieser Nährstoffe aus Baustoffen ist nicht notwendig [6, 21].

Auf Bauwerksoberflächen finden wir die sog. aeroterrestrische Algen. Ihre meist kugeligen oder tonnenförmigen Zellen sind nur wenige Mikrometer groß, so dass sie kurz als Mikroalgen bezeichnet werden. (Aero)Terrestrische Algen haben sich an das Leben auf Hartsubstraten angepasst. Hierzu zählen neben den Grünalgen (*Chlorophyta*) auch einige Kieselalgen (*Diatomeen*). Früher wurden hierzu auch die Blaualgen gezählt, die heute richtigerweise als *Cyanobakterien* bezeichnet werden und den Bakterien zugeordnet sind. Schwarzalgen oder Rotalgen zählen definitiv nicht zu den aeroterrestrischen Mikroalgen und sind auch auf der Fassade nicht anzutreffen.

Terrestrische Mikroalgen sind bei ihrer Stoffwechselaktivität auf freies, d.h. flüssiges Wasser angewiesen. Kohlendioxid, Nährstoffe u. ä. können nur in gelöster Form die Zellmembran passieren. Terrestrische Mikroalgen entwickelten zahlreiche Überlebensstrategien wie extrem dicke Zellwände, umgebende Schleimhüllen und biochemische Verbindungen, die die intrazelluläre Salzkonzentration bei Trockenstress regulieren oder als Strahlenschutzpigmente fungieren. Auf diese Art geschützt, können die robusten terrestrische Arten auch bei nachteiligen

Bedingungen überleben, indem sie kurzfristig das Wachstum einstellen und wieder aufnehmen, wenn die Wasserverfügbarkeit mikrobielle Aktivität zulässt [6, 21].

1.2 Ascomycota

Nicht nur Algen, sondern auch Vertreter aus dem Reich der Pilze (*Dikarya*) sind erfolgreiche Fassadenbesiedler, denen man in der Forschung bisher zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt hat. Typische Fassadenspezialisten sind dabei in der Abteilung *Ascomycota* (Schlauchpilze) mit den *Ascomyceten* und *Deuteromyce-ten* zu finden.

Die Lebensansprüche von Pilzen sind unpräzise. Eine Kohlenstoffquelle, Wasser, etwas Nährstoffe und Spurenelemente, das reicht schon. Übliche Bezugsquelle ist hierbei abgestorbene Biomasse. Wasser ist auch für den Pilzstoffwechsel der wesentliche Masterfaktor. Im Gegensatz zu Algen sind Pilze nicht auf flüssiges Wasser angewiesen. Dies wird auch ausgedrückt durch den Begriff Wasseraktivität oder a_w -Wert. Wasseraktivität kann im einfachsten Fall der relativen Feuchtigkeit dividiert durch 100 % gleichgesetzt werden. Eine Wasseraktivität von 0,8 im Substrat würde demnach 80 % r.F. an der Bauteiloberfläche entsprechen. Mikrobielle Aktivität ist bei Pilzen möglich bei einem a_w -Wert von 0,7 – 0,98. Algen hingegen benötigen einen a_w -Wert von 1,0. Darunter wird die Photosynthese sofort eingestellt.

Allein hieraus lässt sich schon ableiten, dass Pilze Oberflächen besiedeln können, die Algen verwehrt bleiben, weil die Feuchtigkeit an diesem Standort nicht ausreicht. Erschwerend kommt aber auch für die Pilze hinzu, dass Bauwerksoberflächen intensiver Strahlungsbelastungen ausgesetzt sind, so dass wir auch hier nur robuste Gattungen vorfinden.

Als Folge dieser Selektion finden wir fast ausschließlich sog. *Black Fungi*, also Pilze, deren Hyphen melanisiert sind und als weitere Anpassung an die Fassade morphologische Veränderungen aufweisen. Pilze an Fassaden bilden selten Fruchstadien, sondern überdauern durch Chlamydosporen oder Übergang in das mikrokoloniale Stadium [10, 11].

Pilze gelten als Resorbenten am Ende der Nahrungskette. Sie sind quasi die Müllabfuhr und bauen tote Biomasse ab. Bei vitaler Biomasse haben es die Pilze schwer, sich zu etablieren. Deshalb dominieren häufig Algen in Fassadenbiofilmen. Ändern sich jedoch die Bedingungen, z.B. durch stärkere Besonnung,

heißere Sommer, Winter mit längeren Frostphasen oder auch eine neue Fassadenbeschichtung, dann kann die Biodiversität im Biofilm deutlich in Richtung Pilze verschoben werden.

1.3 Fassade als Habitat

Der ursprüngliche Lebensraum aeroterrestrischer Mikroalgen und Pilze sind Bäume, Böden und Gestein. Mittlerweile haben sie jedoch auch künstliche Oberflächen wie Dächer, Fenster, Schaltkästen und eben auch Fassaden erobert [21].

Dabei ist eine Bauwerksoberfläche wie ein WDVS, gekennzeichnet durch nur temporär (morgens) anfallendes Kondensat, intensive Strahlung (PAR, UV) mit den entsprechenden, insbesondere mittags auftretenden hohen Temperaturen unbedingt als ein Extremstandort anzusehen. Dafür gibt es auch einen Fachbegriff – *Pseudowüste*. Diese menschengemachte Oberfläche stellt ein neues Habitat dar und kann nur noch von Spezialisten oder hier sogar Extremisten unter den Mikroalgen und Pilzen kolonisiert werden.

Und diese Spezialisten sichern sich neben den gattungseigenen Features zusätzlich durch eine besondere Form der Anpassung ab – mit der Bildung von Biofilmen. Fassadenbiofilme sind Vergemeinschaftungen von Algen unterschiedlicher Spezies mit Bakterien aber auch Pilzen, wenngleich in der Unterzahl. Gemeinsam agieren sie mit einer Art „Gruppenintelligenz“. Sie folgen dem biologischen Prinzip „wenn´s einer schafft, haben alle gewonnen“.

Um dieses Prinzip umzusetzen, bedienen sich die Mikroben einer Vielzahl von Mechanismen. Sie bombardieren konkurrierende Mikroben mit Zellgiften oder aber opfern sich selbst beim Kontakt mit Bioziden. Biofilme sind Orte hoher Zelldichten, die Mikroorganismen werden durch gelartige extrazelluläre polymere Substanzen auf der Substratoberfläche immobilisiert [1, 6, 10,21].

Tabelle 1 Gegenüberstellung Algen und Pilzen an der Fassade: Unterschiede und Gemeinsamkeiten

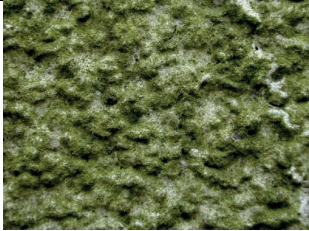

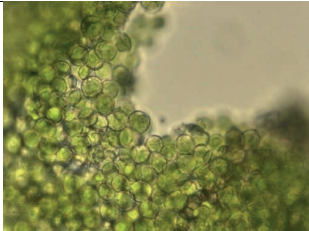
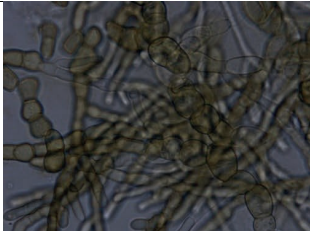
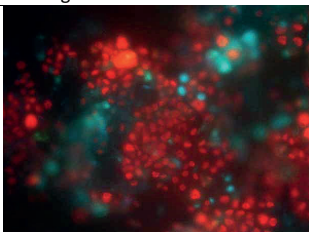
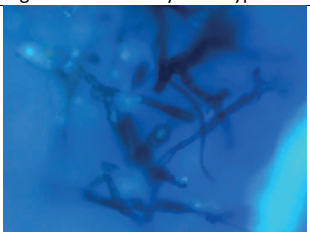
	Algen (Phycophyta)	Pilze (Ascomycota)
Stoffwechsel	phototroph, selten mixotroph	heterotroph
Fortpflanzung	Vegetative Zellteilung (Mitose), mitunter in Zellverbänden geschlechtlich, selten Dauersporen	Vegetative Zellteilung (Wachstum) Geschlechtlich, ungeschlechtlich über Dauersporen (eher selten), Chlamydosporen, MCF
Masterfaktor	Wasser, $a_w \sim 1$	Wasser, $a_w > 0,7$
Nährstoffe	Anorganische Kohlenstoffquelle, Licht, Nitrat, Phosphat	Organische Kohlenstoffquelle, Vitamine, Spurenelemente
Biomarker	Chlorophyll a	Ergosterol
Farbstoffe	Carotinoide, Mycosporin-ähnliche Aminosäuren (MAAs)	Melanin, Mycosporin
pH-Bereich	<8,5	<11,5
Temperaturbereich	< 30°C, Optimum unter 20°C	< 95°C, Optimum um 28-30°C
Wuchsform	Matten, Biofilm	Myzelien, Pellets, sichtbare Spots
Makroskopisch	 Fassadenbiofilm	 Spotartiger Befall
Hellfeld 600fache Vergrößerung	 Grünalgen mit dicken Zellwänden	 Pigmentierte und hyaline Hyphen
Epifluoreszenz, UV-Anregung, 400fache Vergrößerung	 Autolumineszenz des Chlorophylls in den Chloroplasten	 Keine Fluoreszenz pigmentierter Hyphen (DAPI-Färbung)



Bild 1 durch Grünalgen dominierte Fassadenbiofilme sind sehr häufig auf außenseitig gedämmten Bauwerken zu finden, dabei sind viele Farbspiele bis ins Rötliche möglich.

Biofilme bieten ökologische Vorteile. In der Gelmatrix reichern sich Nährstoffe an, die Mikroorganismen sind vor extremen pH-Werten, Bioziden und Scherkräften geschützt. Im Biofilm entstehen Symbiosen und ökologische Nischen. Mikrokonsortien bilden sich, und durch das Zusammenwirken vieler unterschiedlicher Spezialisten erhöht sich die Überlebensfähigkeit der Mikrobengemeinschaft erheblich [23]. Das kann auch bei Fassadenbaustoffen beobachtet werden. So kommt es, dass Biofilme auf Fassaden durchaus mehrjährige Besiedlungsgeschichten vorweisen können. Erkennbar unter anderem an unterschiedlicher Farbgebung: Biofilme, welche schon den einen oder anderen Sommer hinter sich haben, werden eine gelbliche bis bräunliche Färbung aufweisen. Hier haben sich die Algen durch Bildung von Carotinoiden vor Sonnenbrand geschützt. Wer im Frühjahr oder Herbst solche Flächen beobachtet, kann dann feststellen, dass sich darüber frische grüne Biofilme der nächsten Generation bilden, welche dann bei der nächsten intensiven Besonnung wieder ins Gelbliche wechseln. Ältere Biofilme erscheinen gern in Grau oder Schwarz, hier übernehmen Pilze das Regime und bauen die tote Biomasse vergangener Algengenerationen ab. Wer das Glück hat, einen Biofilm in Bodennähe beobachten zu können, wird vielleicht feine geschlängelte Spuren finden. Da alles in der Natur seinen Platz hat, gibt es natürlich Schnecken und Würmer, welche sich von den Algen- und Pilzbefällen ernähren und ihre Fraßspuren hinterlassen. Es gibt viele Standorte, wo sich dieses Bild bis zur nächsten Instandsetzung nicht mehr ändert. Anderenorts verschwinden

Biofilme und erscheinen wieder, und dies innerhalb kürzester Zeiträume. Manchmal sogar zwischen zwei Begutachtungen innerhalb eines Monats. Man kann dies meist auf Trocken- und Lichtstress zurückführen, die Zellen schleimen sich ein und gehen in ein Ruhestadium über, in dem auch die Photosynthese eingestellt und Chlorophyll abgebaut wird. Beim ersten Regen füllen sich die Zellen und Wasserspeicher auf, die Photosynthese springt an und der Biofilm erholt sich in kürzester Zeit [6, 10,21].

2 Einflussfaktor Baustoffauswahl

Immer wieder wird der Einfluss der Binder, der Oberflächenstruktur oder einer Filmkonservierung auf die Besiedlungsneigung von Fassaden diskutiert. Um diesen Einfluss zu untersuchen, sind in den letzten 20 Jahren mehr als 10.000 Prüflinge auf ihre Befallsneigung im Labor und an Referenzobjekten für zahlreiche Beschichtungstoffhersteller getestet worden. Wissenschaftliche Erkenntnisse machen es jedoch notwendig, mit einigen Mythen aufzuräumen.

2.1 Bindemittel

Demnach ist es heute nicht mehr ohne Weiteres haltbar, dass organische Binder eine höhere Befallsneigung zeigen als mineralische. [1, 3, 9, 12] Die Möglichkeiten, als Nährstoff für Pilze zur Verfügung zu stehen, sind mehr als gering. Vielmehr entscheidet die Verschmutzungsneigung einer Fassade über die Nährstoffverfügbarkeit an der Fassade, die im Wesentlichen über die Beregnung erfolgt. Untersuchungen zeigten zudem, dass die Freisetzung mikrobiell verstoffwechselbarer organischer Bestandteile nach der Applikation vieler unterschiedlicher Bindemittelsysteme zwar gegeben ist, aber nur in einem kurzen Zeitfenster erfolgt und nur in sehr wenigen Ausnahmen zu Befallsereignissen geführt hat. Diese werden jedoch noch gesondert besprochen.

2.2 pH-Wert

Auch kann man sich bei der Baustoffauswahl nur bedingt auf den pH-Wert als Einflussfaktor verlassen. Unsere Studien nach gibt es keine Hinweise dafür, dass hohe pH-Werte Pilzwachstum bremsen, im eigenen Labor konnte auf Mörteln mit einem Oberflächen-pH von 11,5 massives Pilzwachstum erzeugt werden [9, 12]. Bewiesen ist lediglich, dass bestimmte Enzyme bevorzugt im sauren Bereich gebildet werden. Auch die Produktion von Metaboliten (mikrobielle Stoffwechselprodukte) ist pH-abhängig, aber derart, dass bei pH 2,5 – 3,5 bevorzugt Citronensäure produziert wird, während im alkalischen Milieu Oxalsäure entsteht. Neben dem Stoffwechsel passen sich auch die Zellmorphologien an den

alkalischen Untergrund an. Pilze wachsen dann nicht mehr filamentös, sondern mikrokolonial in kleinen Clustern ohne typisches Myzel. Damit wird der Oberflächenkontakt reduziert. Das wird auch gern auf sog. modifizierten Oberflächen praktiziert, wobei sogar kleine Türmchen entstehen können. Als Folge der Anpassung verschwindet mitunter die Pigmentierung der Pilze, man sieht sie dann schlichtweg nicht mehr [9].

Anders sieht es in der Tat bei den Mikroalgen aus. Hier kommt zum Tragen, dass das für die Photosynthese notwendige Kohlendioxid in Wasser dissoziiert. Welche Dissoziationsstufe erreicht wird, ist nach der Gleichung von Henderson-Hasselbalch pH-wertabhängig. Da nur Hydrogencarbonat verstoffwechselt werden kann, bedeutet ein pH-Wert über 8,5 eine Einschränkung der Photosyntheseleistung [6]. Damit könnte man also zumindest das Algenwachstum eindämmen, wäre da nicht die Carbonatisierung. Und auch hier zeigten die Untersuchungen, dass bei Putzen nur durch Lagerung ohne weitere Bewitterung der Oberflächen-pH um 0,5 pro 6 Monate zurückging. Insofern ist ein Alkali-Reservoir im Beschichtungsstoff notwendig, beispielsweise als Kalkspatzen.

2.3 Filmkonservierer

Um die Fassadenbeschichtung vor einer Besiedlung zu schützen, werden häufig sog. Filmkonservierer eingesetzt. Dazu sind biozide Wirkstoffe (active agents) notwendig, die bei Kontakt mit den Mikroorganismen biostatische oder biozide Effekte zeigen. Typische Wirkungsweisen sind die Zerstörung der Zellmembran, Hemmung der Enzym- und Stoffwechsellätigkeit, Respirationshemmung, aber auch Hemmung der Reproduktion durch Eingriff in das Erbgut. Filmkonservierer an sich sind keine Desinfektionsmittel, sondern zeigen notwendigerweise eine Depotwirkung. Die Wirkung erfolgt deutlich langsamer und richtet sich gegen vegetative Zellen. Sporen werden nicht abgetötet. Wenn es zur Auskeimung kommt, wird die ausgekeimte Zelle/Hyphe wird am weiteren Wachstum gehindert. Ein mit Bioziden ausgestatteter Baustoff funktioniert als Freisetzungssystem, d. h. das Biozid wird langsam freigesetzt, verlässt die Baustoffmatrix und wandert zum Target, dem Wirkziel Zelle. Dazu muss der Filmkonservierer gelöst werden und in gelöster Form die Zellwand passieren. Also bedarf es hierzu einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit. An der Fassade üblicherweise nicht das Problem [3, 9, 14, 18].

Die Freisetzung der Wirkstoffe führt gleichzeitig zu einer Verarmung der Ausrüstung im Baustoff, d. h. der Effekt ist zeitlich begrenzt. Bild 3 zeigt die Abnahme der bioziden Wirkung an drei Dispersionsfarben vor und nach einer künstlichen Bewitterung. Der Wirkmechanismus der meisten Biozide beinhaltet den Verbrauch des Wirkstoffs, d. h. das Molekül geht eine feste Verbindung mit dem

Target ein und steht nach dem Abtöten der Zelle nicht mehr zur Verfügung [18, 25]. Auch eine übermäßige Freisetzung durch erhöhte Feuchtelasten, z. B. an der Fassade durch Niederschlag führt zur Auswaschung (Leaching) der Wirkstoffe. Dieser Effekt kann durch bestimmte Verankerungen oder Verkapselungen der Biozide in der Baustoffmatrix minimiert werden. Unterbunden werden darf das Leaching nicht, denn dann gelangen keine Moleküle mehr zur Zelle und die antimikrobielle Wirkung ist trotz Wirkstoffgehalts nicht mehr gegeben [9, 13, 14, 24].

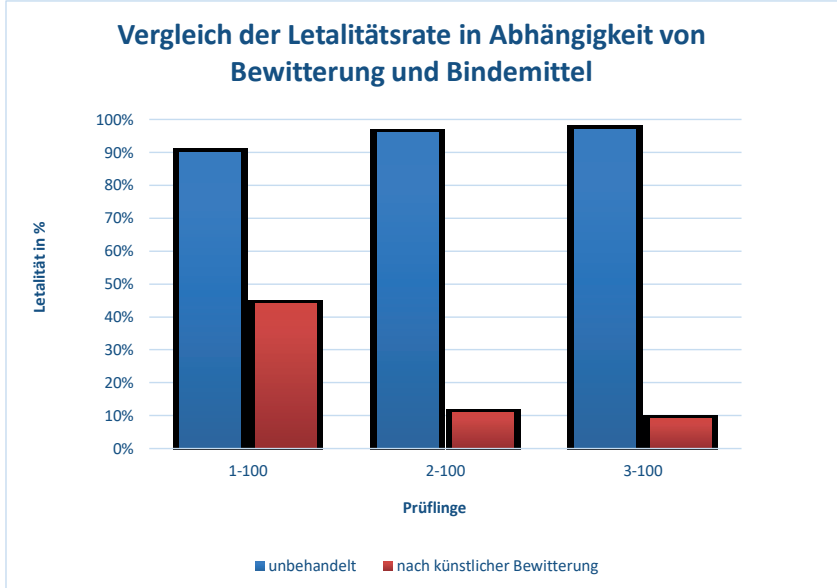


Bild 2 Schnelltest an unterschiedlichen Farben mit gleicher biozider Ausstattung, aber unterschiedlichen Bindemitteln. In diesem Schnelltest werden Hefezellen auf die zu testenden Farben aufgetragen und nach einer kurzen Inkubationszeit die Anzahl abgetöteter Zellen gezählt (Letalitätsrate in %) Dabei ist deutlich zu erkennen, dass bei allen Farben mit zunehmender Bewitterung die biozide Wirkung im Vergleich zur frischen Oberflächen rapide abnimmt. Dabei sind auch bindemittelabhängige Unterschiede feststellbar.

Der Vorteil von biozid ausgestatteten Baustoffen ist ihre Wirksamkeit unter Feuchtelast. Genau genommen wirken sie *nur* unter feuchten Bedingungen. Nachteil ist, dass genau dies auch eine Limitierung der Wirksamkeit darstellt, so dass der Anstrich regelmäßig erneuert werden.

Viele der eingesetzten aktiven Substanzen wirken sensibilisierend und stehen somit unter Substitutionsdruck oder werden in ihren Einsatzkonzentrationen

limitiert. Damit kann es für eine Filmkonservierung zu Einsatzkonzentrationen kommen, die im Bereich der minimalen Hemmkonzentration ober bei Bewitterung schnell unterhalb dieser liegen, was zu einer rapiden Anpassung (Toleranz) führen kann [9].

2.4 Andere Einflussfaktoren, die nicht weiter betrachtet werden sollen

Nur am Rande soll erwähnt sein, dass auch Materialien wie Phase Change Materials (PCM), IR-reflektierende Pigmente, verkapselte Biozide oder photokatalytisch aktive Beschichtungen untersucht wurden. Teils mit unbefriedigenden Ergebnissen, teils waren neue Lösungen wie biobasierte Biozide oder Kontaktbiozide aufgrund der Kosten im Einsatz an der Fassade als unwirtschaftlich einzustufen [2, 9, 14, 25].

3 Einfluss der Oberflächenspannung

Wesentlicher Einflussfaktor ist die Oberflächenspannung eines Beschichtungssystems. Die Oberflächenspannung entscheidet über die Verschmutzungsneigung, den Feuchtehaushalt einer Beschichtung und damit auch über die Biozidverfügbarkeit an der Oberfläche. Es ist also nicht so entscheidend, was oder wieviel drinsteckt, sondern wie es in Kontakt kommt. Dabei zeigen hydrophile Oberflächen deutliche Vorteile, nicht nur was ein schnelleres Abtrocknen der Oberflächen betrifft. Im Folgenden sind wesentliche Ergebnisse der Baustoffforschung an hydrophilen Fassadenbeschichtungen zusammengefasst [4].

3.1 Cell Attachment

Bisher wurde vermutet, dass Zellmembranen ordentlich strukturierte Konstrukte aus Phospholipiden sind, wobei die hydrophilen/polaren Kopfgruppen außen von den hydrophoben/unpolaren Schichten innerhalb der Membran deutlich voneinander abgegrenzt sind. Die Anheftung von Mikroorganismen wurde über van-der-Waals-Wechselwirkungen mit den polaren bzw. unpolaren Kopfgruppen von Beschichtungen erklärt. Dabei würden auf hydrophoben Oberflächen die hydrophilen Kopfgruppen von Membranbausteinen abgestoßen. Demnach wären hydrophobe Oberflächen als mikrobeabweisend anzusehen, während auf den hydrophilen Oberflächen die polaren Membranoberflächen anheften... Diese These wurde lange Zeit propagiert und auch in zahlreichen Fassadenbeschichtungen mit ultra-hydrophoben Oberflächeneigenschaften umgesetzt. Mittlerweile ist bekannt, dass auf der Zelloberfläche hydrophobe und hydrophile Bereiche wechseln und damit sowohl polare wie auch unpolare Wechselwirkungen mit der Beschichtungs Oberfläche stattfinden können. Findet demnach die

Anheftung über gleichpolare Bereiche statt, blieben die unpolaren Anheftungen der hydrophoben Bereiche intakt, während bei polaren (hydrophilen) Anheftungen ein Unterwandern und damit Ablösen der Zellen durch Wasser erfolgt – was auch als *Easy to Clean* bezeichnet wird. Damit ist bei hydrophilen Oberflächen die Anheftungs- und Wiederablösungsrate von Zellen geringer als bei hydrophoben Beschichtungstypen.

Wie sich Mikroorganismen auf Beschichtungen mit unterschiedlichen Oberflächenspannungen genau verhalten, zeigt sich in einer Kombination der Wilhelmy-Platten-Methode mit der Epifluoreszenzmikroskopie. Dazu wird die zu testende Beschichtung als Platte und eine Algen- oder Sporensuspension als benetzende Testflüssigkeit genutzt. Anschließend werden die anhaftenden Zellen unter dem Mikroskop gezählt und das Anheftungsmuster (vereinzelte Zellen, Spots, usw.) bewertet. Gerade durch die dynamische Bestimmung der Oberflächenspannung nach Wilhelmy können oberflächenspezifische Einflussgrößen berücksichtigt werden, z.B. bei Putzen die Körnung, was z.B. mit der klassischen Randwinkel-Messung nicht geling [4, 9, 14].

3.2 Biofilmmuster

Die Oberflächenspannung nimmt im weiteren Einfluss auf die Biofilmbildung bei Infestation der Oberfläche. Bei hydrophoben Oberflächen kommt es mit der Tropfenbildung auch zu einer Aufkonzentration von Zellen, während auf hydrophilen Oberflächen mit dem Streiten des Wasserfilms auch eine Verdünnung der Zellen eintritt. Bei gleicher Zellkonzentration ergeben sich lokal unterschiedliche Zelldichten, die bei hydrophoben Oberflächen zu sog. Hot Spots führen können. Hot Spots sind deshalb relevant, da hier die Rolle von Autoinducern und Botenstoffen, die zur Bildung eines Biofilmes zwischen den Zellen ausgetauscht werden, genauso aufkonzentriert werden wie die Zellen selbst. Da werden schnell kritische Zelldichten erreicht, die eine Biofilmbildung initialisieren können. Mit der Spreitung des Wassers (z.B. im Regenwasser) auf hydrophilen Oberflächen werden die Zellen stark vereinzelt, so dass die einzelne Zelle nunmehr keinen Kontakt zu seinen Artgenossen hat und somit auch keine Möglichkeit mehr, über Botenstoffe die Biofilmbildung zu initialisieren und zu steuern [4, 9].

Die sich daraus ergebenden makroskopisch wahrnehmbaren Biofilmmuster entsprechen den mikroskopischen Gegebenheiten: einzelne, gleichmäßig verteilte Zellen wachsen langsam und führen zu einem gleichmäßigen Befallsmuster, welches nur langsam in Erscheinung tritt und oftmals als „normale“ Vergrauung wahrgenommen wird. Hot Spots hingegen fallen frühzeitig als intensiv gefärbte Punkte auf, das Befallsmuster ist fleckig und bei vergleichbarer Zelldichte pro m² dennoch auffälliger als befallene hydrophile Flächen.

3.3 Biozidverfügbarkeit hydrophiler Oberflächen

Wird eine Beschichtung mit einem Biozid ausgestattet, so soll dieses während der Standzeit möglichst gleichmäßig wirken. Naturgegeben wird dieser Anspruch dadurch unterlaufen, das Biozide ausgewaschen werden. Damit geht die Wirkung im Laufe der Zeit zurück. Es gibt eine Reihe von Bestrebungen (z.B. durch Verkapselung), diesen Effekt zumindest zu verlangsamen. Dabei muss aber beachtet werden, dass die Löslichkeit der bioziden Wirkstoffe zwingend notwendig ist, damit das Target (Alge, Pilz, Bakterie) erreicht wird, was (mit Ausnahme von einigen derzeit nicht in Fassadenbeschichtungen eingesetzten Wirkstoffen) nur in gelöster Form über die Zellmembran möglich ist.

Hydrophile Oberflächen garantieren eine gleichmäßige Penetration der Bulkphase mit Feuchtigkeit und somit eine gute Mobilisierung der bioziden Wirkstoffe. Die Wirkstoffe werden gleichmäßig und ohne Induktionszeitverluste freigesetzt. In den durchgeführten Laborexperimenten der letzten Jahre zeigen biozid ausgestattete hydrophile Beschichtungen deutlich geringe algen- und pilzbe-fälle als hydrophobe Prüfmuster mit vergleichbarer Biozid-konzentrationen – und zwar unabhängig vom Hersteller. Das heißt, dass bei gleicher Biozidkonzentration ist auf hydrophilen Oberflächen mehr Biozid verfügbar als an hydrophoben [9, 13, 14, 24]!

Die Biozidverfügbarkeit an der Oberfläche lässt sich einfach im Schnelltest überprüfen. Dazu wurde ein Farbmuster ausgewählt und mit der maximalen Einsatzkonzentration ausgestattet. Zusätzlich wurde nun ansteigender Konzentration ein Hydrophobierungsmittel in die Formulierung eingebracht. Die Muster wurden ausgestrichen, mit Algen beaufschlagt und nach der Kurzzeitinkubation wurden die Letalitätsraten bestimmt. Das Ergebnis – mit zunehmender Hydrophobierung nimmt die Biozidverfügbarkeit an der Oberfläche ab (Bild 3).

Um zu prüfen, wie sich die Biozidverfügbarkeit bei Bewitterung ändert, wurden Farbmuster derart konditioniert, so dass die Feuchtelasten mit einer Standzeit von 2 - 3 Jahren korrelierten. Sowohl die unbehandelten als auch die konditionierten Proben wurden mit Algen und Pilzen inkubiert. Als Vergleich wurde eine filmkonservierungsfreie Farbe mit hydrophiler Oberfläche ausgewählt und ebenfalls konditioniert und inkubiert [13, 14, 24]. Dabei zeigten die hydrophilen Beschichtungsmuster auch bei Bewitterung gleichbleibend gute Ergebnisse.

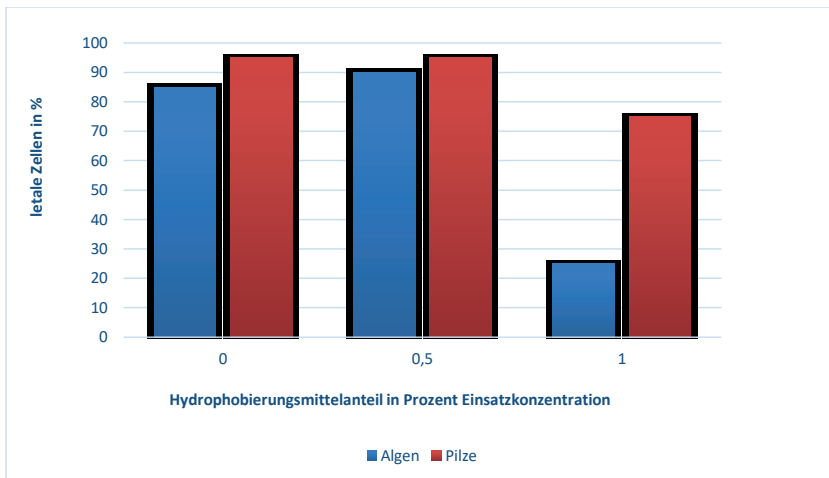


Bild 3 Schnelltest zur Biozidverfügbarkeit (24-Stunden-Letalitätsrate) an Putzen mit gleicher Biozidkonzentration aber unterschiedlichem Hydrophobierungsgrad; mit zunehmender Hydrophobierung nimmt die Biozidverfügbarkeit an der Oberfläche ab.

4 Freilandversuche und Produktüberwachung

Seit 2006 werden Versuchsobjekte, die mit hydrophilen biozidfreien Fassadenbeschichtungen regelmäßig beprobt. Auch werden Bauwerke, die nach Beschichtung mit hydrophilen Fassadenprodukten Auffälligkeiten zeigten, eingehend untersucht, darunter Neubauten wie nach Bewuchs sanierte Bauwerke. Neben einer visuellen Begutachtung werden auch Materialproben entnommen, um die Zellzahlen und die Besiedlungsmuster zu erfassen. In Einzelfällen wurden auch weiterführende Materialanalysen durchgeführt. Wichtig, um den Infektionsdruck im Quartier zu ermitteln, war zudem die Erfassung der Befallsituation angrenzender Gebäude sowie der makro- und mikroklimatischen Einflüsse im Quartier.

Im Ergebnis konnten keine massiven Algenbefälle mehr festgestellt werden. Im Vergleich zur Befallsituation im Quartier machten die untersuchten Gebäude einen guten Eindruck. Natürlich waren die Flächen insbesondere nach mikroskopischer Analyse nicht befallsfrei, auffällig war jedoch, dass das Wachstum von Grünalgen nahezu unterbunden war. Die festgestellten Zellzahlen der Freilandversuche stimmten dabei gut mit den im Labor ermittelten Werten überein [10, 11].



Bild 4 Ein Referenzobjekt, das im Jahr 2006 mit hydrohilen biozidfreen Fassadenbeschichtungen versehen wurden, die Testflächen in den Jahren 2008 (oben) und 2018 (unten) mit zufriedenstellendem Gesamteindruck, die hier ermittelten Zellzahlen blieben weitgehend konstant und lagen jeweils unter 10.000 Zellen pro cm^2 (ein sichtbarer vollflächiger Befall ist ab ca. 750.000 Zellen pro cm^2 mit bloßem Auge erkennbar)

Einige wenige Objekte zeigten jedoch sehr auffällige Erscheinungen, die besonders untersucht wurden. Dabei waren aber auch hier weder visuell noch mikroskopisch Algenbefälle nachweisbar. Stattdessen waren sehr kleine schwarze Punkte erkennbar, die bei mikroskopischer Analyse als Pilzbefall identifiziert wurden [7, 8]. Dabei waren jedoch nicht Schimmelpilze wie im Innenraum anzutreffen, sondern eine spezielle Gruppe der Black Fungi, die sog. *rock inhabiting fungi*, die auch als MCF, *microcolonial melanised fungi*, bezeichnet werden.

5 Sonderfall MCF

Im mediterranen Raum sind MCF als marmorfressender Pilz, der massiv an der Biodeterioration antiker Bauwerke beteiligt. Auf Naturstein wird auch vom Gesteinslack (rock varnish) gesprochen. MCF bilden üblicherweise weder Sporen noch sind Hyphen oder ein Myzel erkennbar. Sichtbar sind nur graue Schleier oder kleine Fliegenschisse. Und das gern auf Oberflächen, deren Wasseraktivität im Mittel deutlich unterhalb eines a_w von 0,8 liegt und die zudem als extrem trocken oder extrem kalt beschrieben werden können [5, 15, 22].



Bild 5 Putzprobe (WDVS, 2 Jahre Standzeit) in 400facher Vergrößerung: Besiedlung durch MCF als Monokultur. Der typische Fassadenbiofilm mit Grünalgen, der sonst häufig auf WDVS anzutreffen ist, wird nicht beobachtet – es ist zu trocken in dieser Pseudowüste.

Bekannt sind die kleinen schwarzen Kugeln bereits seit den 1970ern, beschrieben werden sie als Kolonialisten wüstenähnlicher Lebensräume wie Arizona, Utah, Israel oder Ägypten aber auch in der Antarktis (eine (Eis)Wüste) aber auch im Reaktorbereich von Tschernobyl. Völlig ungestresst können sie Temperaturen bis 100°C überstehen oder fallen bei Frost einfach in den Winterschlaf. Ihre Fähigkeit, lange Phasen extremer Trockenheit zu überdauern, macht die MCF zu einem interessanten Studienobjekt: sie können trotz Austrocknung bis auf 10% Restfeuchte noch 80 Stunden ihren Stoffwechsel aufrechterhalten und als

dormante (schlafende) Zellen überdauern. Auch nach 8 Wochen völliger Trockenheit können sie innerhalb eines Tages bei ausreichender Feuchte bis zu 20% der ehemaligen Biomasse wiederaufbauen. Damit sind auch Befälle auf Oberflächen möglich, welche allgemein hin als trocken gelten [15, 16, 17, 20, 26].

Die extreme Anpassungsfähigkeit verschafft den MCF einen ökologischen Vorteil: sie können Oberflächen besiedeln, die mesophilen Pilzen, Algen und Cyanobakterien nicht mehr zugänglich sind. Damit sind sie in der Lage, die Superdry-Oberflächen der hydrophilen Beschichtungen zu besiedeln. Dabei haben sie keine Konkurrenten und bilden die fliegenschissigen Monobefälle [7].

Schadensfälle mit MCF sind selten. Bisher sind nicht mehr als 15 Fälle untersucht worden. Sie traten auf, wenn Oberflächen eine ausreichender Nährstoffversorgung mit organischen Substanzen aufweisen. Untersuchungen zeigen hierbei einen Zusammenhang zwischen einer DOC-Freisetzung (gelöster organischer Kohlenstoff) kurz nach dem Abbilden bestimmter Bindemitteltypen. Längere Beobachtungen dieser Schadensfälle haben gezeigt, dass der Befall zurückgeht, wenn auch die Freisetzung von DOC zurückgeht, dies tritt bei den meisten Produkten innerhalb der ersten Monate nach Applikation ein [7].

6 Zusammenfassung

Stellt man Oberflächen hydrophil ein, lässt sich das Anheften von Mikroorganismen reduzieren. Gleichzeitig wird durch die erhöhte Verdunstungsleistung die Wasseraktivität der Beschichtung als Substrat herabgesetzt. Dadurch verschlechtern sich die Lebensbedingungen für typische Fassadenbiofilme, das Wachstum wird reduziert. Dadurch wird es möglich, auf eine Filmkonservierung zu verzichten.

Die nunmehr in 15 Jahren Produktbegleitung gesammelten Erfahrungen aus der Praxis und Laboruntersuchungen zeigen, dass es möglich ist, mit hydrophilen Produkten biofilmfreie Oberflächen auch über lange Zeiträume zu erzeugen.

Aber auch in der Anwendung hydrophiler biozidfrier Beschichtungen gibt es Probleme, sie zeigen wie ihre biozidhaltigen Marktbegleiter Schwächen bei konstruktiven Fehlern oder mangelhafter Verarbeitung. Auch ein überhoher Infektionsdruck kann letztendlich eine Besiedlung erzwingen.

Und es gibt immer einen, der besser ist: jede Veränderung von Lebensbedingungen in einem Habitat öffnet eine Nische für andere Invasoren, die mit den neuen Umweltbedingungen besser klarkommen. Erzeugt man wüstenähnliche Oberflächen, so findet bei ausreichender Nährstoffversorgung eine Kolonialisierung durch MCF statt. Diese Fälle sind selten, aber dokumentiert und lassen sich auf bestimmte Bindemitteltypen eingrenzen.

Literaturverzeichnis

- [1] Barberousse, H.; Ruot, B.; Yepremian, C.; Boulon, G.: An assessment of facade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria. *Building and Environment* 42, 2007, Nr.7, S. 2555–2561
- [2] Brenner, T.; Meder, M.: Kümmerliche Keim-Killer. Über die Sinnhaftigkeit antimikrobieller Anstriche. *Farbe und Lack* 116 (2010), Nr. 6, S. 25-28
- [3] Brill, H.: Mikrobielle Materialzerstörung und Materialschutz. Jena: Gustav Fischer Verlag, (1995)
- [4] Eickner, S.; Messal, C.: Mikroorganismen und Oberflächenspannung. In: Dechema-Kolloquium „Algen auf Baustoffen“, Frankfurt a.M. (2010)
- [5] Gorbushina, A. A.; Kotlova, E. R.; Sherstneva, O. A.: Cellular responses of microcolonial rock fungi to long-term desiccation and subsequent rehydration. *Studies in Mycology* 61 (2008), S. 91–97
- [6] Häubner, N., Schumann, R., Karsten U: Aeroterrestrial algae growing on facades – Response to temperature- and waterstress. *Microb Ecol* 51:2006, 285 – 293
- [7] Messal C: Wenn das WDVS Besuch vom Mars bekommt, *Der Maler und Lackierermeister* 8/2015, S. 24-26
- [8] Messal, C.: Auf feindlichem Gebiet siedeln. Mikrokoloniale Pilze an Fassaden und in Innenräumen. *B+B Bauen im Bestand* 38 (2015), Nr. 3, S. 72-76
- [9] Messal, C.: Biocides and their alternatives. *European Coating technical Forum*, Berlin 2019
- [10] Messal, C.: Böse Invasoren oder simple Indikatoren? *DER MALER UND LACKIERERMEISTER* 8/2018 20 – 24
- [11] Messal, C.: Klein aber clever. *Malerblatt* 78 (2007), Nr. 4, S.28-33
- [12] Messal, C.: Mikrobielle Materialzerstörung an Baustoffen – Einblicke in eine allgegenwärtige Korrosionserscheinung. *Der Bausachverständige* 8 (2012), Nr. 5, S. 9-14
- [13] Messal, C.: New biodeterioration evaluation methods for facade coatings. *Surface Coatings International –New series* 92 (2009), Nr. 3, S. 113-116
- [14] Messal, C.: Testing dry film biocides – are we going the right way? *Chemistry Today* 29 (2011), Nr. 3, S. 36-43
- [15] Palmer, F. E.; Emery, D. R.; Stemmler, J.; Staley, J. T.: Survival and growth of microcolonial rock fungi as affected by temperature and humidity. *New Phytologist* 107 (1987), Nr.1, S. 155-162
- [16] Palmer, F. E.; Staley, J. T.; Ryan, D. B.: Ecophysiology of microcolonial fungi and lichens on rocks in northeastern Oregon. *New Phytologist* 116 (1990), Nr.4, S. 613-620

- [17] Palmer, R. J.: Microbial Activities in weathered stone – Biomass, structure and nutrients. *Werkstoffe und Korrosion -Materials And Corrosion*. 45 (1994), Nr.2, S. 114-116
- [18] Paulus W: *Directory of Microbicides for the Protection of Materials. A Handbook*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2005
- [19] Perry, R. S.; Gorbushina, A. A.; Engel, M. H.; Kolb, V. M.; Krumbein, W. E.; Staley, J.T.: Accumulation and deposition of inorganic and organic compounds by microcolonial fungi. In: Harris, R. A.; Ouwehand, L.: *Proceedings of the Third European Workshop on Exo-Astrobiology*, Madrid, 18. -20. November 2003; Noordwijk: ESA Publications Division, S. 55-58
- [20] Perry, R. S.; Sephton, M. A.: Solving the mystery of desert varnish with micro-copy. *Infocus magazine* 62 (2008), Nr. 11, S. 62-76
- [21] Schumann, R.; Messal, C.; Karsten, U.; Venzmer, H.: Die Spuren der Sporen - Mikroalgen auf Häuserfassaden – Bauphysikalische und biologische Betrachtungen. *Bautenschutz und Bausanierung* 25 (2002), Nr. 5, S. 27-31
- [22] Sterflinger, K.; Tesei, D.; Zakharova, K.: Fungi in hot and cold deserts with particular reference to microcolonial fungi. *Fungal Ecology* 5 (2012), Nr. 4, S. 453-462
- [23] Szewzyk, U.; Szewzyk, R.: Biofilme – die etwas andere Lebensweise. *Bio-spektrum* 9 (2003), Nr. 3, S. 253-255
- [24] Warkentin, M.; Schumann, R.; Messal, C.: Faster Evaluation. *European Coatings Journal* (2007), Nr.9, S. 26-32
- [25] Wunder, T.: Biozidauswahl zur Vermeidung von Pilzen und Algen. In: Venzmer, H. (Hrsg.): *Algen an Fassadenstoffen II. Ursachen – Schadensausmaß – Lösungsansätze*. 4. Dahlberg-Kolloquium, Zeughaus zu Wismar, 8./9. Mai 2003. Berlin: Huss Medien GmbH/Verlag Bauwesen, 2003, S. 149-158 (Schriftenreihe Altbauinstandsetzung; 5/6)
- [26] Zakharova, K.; Tesei, D.; Marzban, G.; Dijksterhuis, J.; Wyatt, T.; Sterflinger, K.: Microcolonial Fungi on Rocks: A Life in Constant Drought? *Mycopathologia* 175 (2012), Nr. 5/6, S. 537-547

Mikrobieller Bewuchs aus bauphysikalischer Sicht – eine neue Kenngröße als Beurteilungswerkzeug

Heide Ackerbauer, Hannover

Zusammenfassung

Als ein zentrales Einflusskriterium für mikrobiellen Bewuchs (Algen- und Pilzbewuchs) gilt die an der Bauteiloberfläche vorhandene Feuchtigkeit. Insbesondere bei gut gedämmten Außenwänden wird infolge eines im Vergleich zu ungedämmten Konstruktionen höheren Feuchteniveaus ein verstärkter mikrobieller Bewuchs beobachtet. Die Vermeidung von Bewuchs aus bauphysikalischer Sicht geht daher mit der Reduktion der an der Oberfläche vorhandenen Feuchtigkeit einher.

Die Motivation der in diesem Beitrag vorgestellten Forschungsarbeit war es, eine Berechnungsmethodik zur Charakterisierung des Feuchteverhaltens einer Außenwandoberfläche zu erarbeiten, damit die feuchteinduzierte Bewuchsanfälligkeit eingeschätzt werden kann. Zur Entwicklung der Berechnungsmethodik wurde eine neue Kenngröße bestimmt, die als Einzahlwert alle potentiellen baulichen und standortabhängigen Einflüsse berücksichtigt und für eine Beurteilung und Bemessung anwendbar sein kann. In der Arbeit wurde dieser Kennwert als Oberflächenfeuchteintensität $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ eingeführt und für längerfristig beobachtete real mikrobiell bewachsene Gebäude ausgewertet.

Die Forschungsarbeit entstand am Institut für Bauphysik der Leibniz Universität Hannover und wurde von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. N. A. Fouad und Herrn Dr.-Ing. T. Richter wissenschaftlich begleitet.

1 Einführung/ Problemstellung und Vorgehen

Bei neu errichteten hoch wärmegeprägten Konstruktionen ergibt sich häufig ein mit der Zeit verändertes Aussehen durch mikrobiellen Bewuchs. Um diesen Effekt zu verzögern wurde bislang mit der Zugabe von bioziden Wirkstoffen reagiert. Zur Vermeidung möglicher schädlicher Auswirkungen auf die Natur stellt diese Methode längerfristig keine nachhaltige Möglichkeit dar. Aus physikalisch/biologischer Sicht ist das Auftreten von Feuchtigkeit als Hauptlebensgrundlage des mikrobiellen Bewuchses unumstritten. Ab welcher Feuchtedauer - auf längere Zeiträume bezogen - Bewuchs auftritt, ist derzeit noch nicht festgelegt. Eine hierfür erforderliche Kenngröße, die das Langzeitfeuchteverhalten einer Oberfläche beschreibt, muss definiert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher die Quantifizierung des Feuchteverhaltens von Oberflächen und die Bewertung mit Hilfe eines Einzahlwerts als Hauptaufgabe angesehen. Mit Blick auf eine spätere Festlegung eines möglichen Bewuchses fördernden Grenzfeuchteniveaus war es das Ziel, hierfür eine Berechnungsmethodik zu entwickeln. Am Phänomen bewachsener und unbewachsener Oberflächen wurde dazu nach Mustern hinsichtlich des Oberflächenfeuchteverhaltens gesucht. In der Arbeit wurde das in Bild 1 dargestellte Vorgehen angewendet.

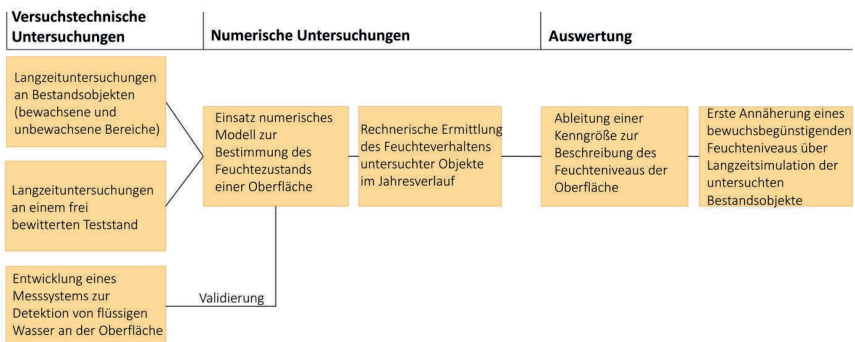


Bild 1 Schematische Darstellung des Vorgehens in der Forschungsarbeit

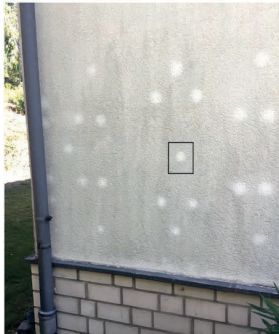
2 Versuchstechnische Untersuchungen

2.1 Messdatenerfassung an Bestandsobjekten

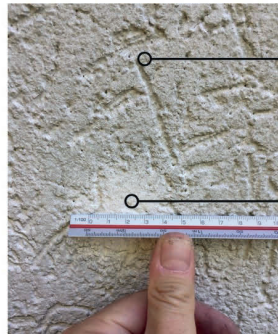
Für die längerfristige Datenaufnahme an Bestandsgebäuden wurden vorrangig Wandkonstruktionen mit gedübelten Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) ausgewählt. Der Vorteil dieser Oberflächen ist, dass bewachsene und unbewach-

sene Bereiche dicht beieinander liegen und für beide Bereiche gleiche Klimarandbedingungen herrschen. Der Bewuchs stellt sich hier regelmäßig im Bereich des ungestörten Wandaufbaus des WDVS ein, im Bereich der Befestigungsmittel ist der Bewuchs jedoch nicht oder stark reduziert sichtbar (siehe Bild 2). In diesen Bereichen kann daher von nicht Bewuchs begünstigenden Randbedingungen ausgegangen werden.

Aufnahme einer mikrobiell bewachsenen WDVS-Außenwandkonstruktion
Hell abgesetzte kreisförmige Flecken im Bereich der Befestigungsmittel (Dübel) erkennbar

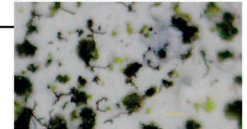


Vergrößerte Darstellung
mit Messung des hell abgesetzten Dübelbereichs



Mikroskopische Aufnahmen
Vergrößerung 500x (digitaler Zoom)

Bewuchs erkennbar an bräunlich und grünlich verfärbten Strukturen



Kein bzw. sehr wenig Bewuchs mit Mikroskop sichtbar



Bild 2 Bewuchsbild an mit Dübeln befestigten WDVS

Mit Blick auf die beabsichtigte vergleichende Langzeitanalyse des hygrothermischen Verhaltens bewachsener und unbewachsener Außenwandoberflächen wurde der in Bild 3 exemplarisch dargestellte messtechnische Aufbau gewählt.



Bild 3 Messaufbau für WDVS-Bestandsobjekte zur Langzeitdatenerfassung

Der Gesamtumfang des Messprogramms ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Zusammenstellung des Messprogramms an untersuchten Bestandsobjekten

Anzahl Bestandsobjekte	5
Anzahl Messstellen	9
Standorte	Berlin, Garbsen, Hannover
Monitoring	Oberflächentemperaturen, Außenlufttemperatur- und Feuchte, Innenraumklima
Messzeitraum	1 bis 3 Jahre

2.2 Untersuchungen an einem frei bewitterten Teststand

Zur Untersuchung des Oberflächenfeuchteverhaltens unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei natürlicher Bewitterung wurde ein Teststand entwickelt. Der Teststand sieht aus wie eine Art Würfel (Kantenlänge ca. 2,5 m, siehe Bild 4).



Bild 4 Teststand zur Untersuchung des Feuchteanfalls und der Bewuchsentwicklung

Sein Innenraum wird beheizt. In die Seiten (auch Oberseite) sind Prüfwände integriert. Innerhalb einer Prüfwand werden verschiedene Dämmstoff-Putz-Kombinationen über keilförmige, 90° zueinander gedreht angeordnete Schichten abgebildet (siehe Bild 5, links). So wird der Wärmedurchgang durch die Wand und die speicherfähige Masse an der Oberfläche an jeder Stelle variiert. Die äußeren

Klimarandbedingungen für eine Prüfwandausrichtung bleiben jedoch gleich. Durch die unterschiedlichen Wandaufbauten entstehen auf der Prüfwandoberfläche variable Temperatur- und Feuchteniveaus. Dadurch wurde eine ortsabhängige Bewuchsentwicklung mit herstellernem Material provoziert. Anhand des Bewuchsverlaufs auf der Oberfläche kann der Zusammenhang mit der für Bewuchs notwendigen anfallenden Feuchtigkeit auf Korrelation untersucht werden. Ein derartig stufenloser Wandaufbau wurde auch deshalb gewählt, um irgendwann im späteren Versuchsverlauf ein konkretes hygrothermisches Grenz-niveau anhand einer sichtbaren Bewuchsgrenze auf einer Prüfwandoberfläche zu identifizieren (siehe Bild 5, rechts).

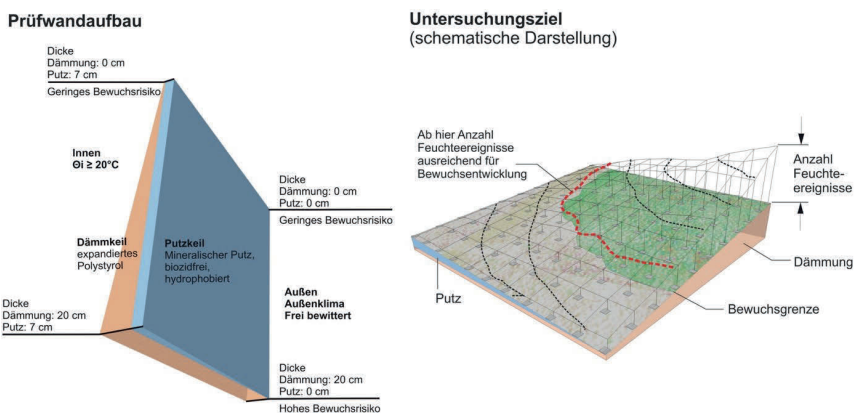


Bild 5 Schematische Darstellung des Prüfwandaufbaus (links) und des beabsichtigten Untersuchungsziels, eine Korrelation zwischen Bewuchsimtensität und Feuchteereignissen abzuleiten

Neben der Aufzeichnung der Oberflächentemperaturen wurde auch an der Oberfläche anfallendes flüssiges Wasser mit Hilfe eines neu entwickelten Systems zur Oberflächenfeuchtedetektion erfasst (Beschreibung siehe Abs. 3).

Tabelle 2 Zusammenstellung des Messprogramms am natürlich bewitterten Teststand

Messaufbau	5 Prüfwände (Orientierung horizontal und Himmelsrichtungen)
Standort	Hannover Herrenhausen, Standort auf einem Messdach des Instituts für Berufswissenschaften im Bauwesen (ibw)
Monitoring	Oberflächentemperaturen, Oberflächenfeuchtedetektion, Außenluftklima (Wetterstation), Bewuchsentwicklung (Dokumentation über Fluoreszenzanalyse)
Messzeitraum	ca. 2 Jahre

3 Numerische Untersuchungen

3.1 Erweiterung des hygrothermischen Wandmodells um eine Materialschicht als Oberfläche

Für die Langzeitanalyse des Feuchteverhaltens an den untersuchten Objekten wurde die rechnerische Betrachtung mit Hilfe eines hygrothermischen Rechenmodells notwendig. In der vorliegenden Arbeit wurde das Programmsystem WUFI [1] verwendet. Um das an der Oberfläche außerhalb der üblichen rechnerischen Systemgrenzen vorhandene Wasser zu bestimmen, wurde das hygrothermische Wandmodell in Anlehnung an Versuche von Krus et al. [2] um eine fiktive außenliegende Schicht erweitert. Die Materialparameter dieser Schicht wurden derart festgelegt, dass folgende Anforderungen erfüllt wurden:

- Wasseraufnahme/Speicherung des an der Oberfläche anfallenden Tau- und Regenwassers.
- Kein verändernder Einfluss des fiktiven Materials auf die hygrothermischen Eigenschaften der Wandoberfläche.
- Real von der Wandoberfläche ablaufendes Wasser soll durch die Schicht ebenfalls als ablaufend und damit nicht berücksichtigt werden.

3.2 System zur Detektion flüssigen Wassers an der Oberfläche

Um die Verweildauer des an der Oberfläche anfallenden Wassers messtechnisch zu bestimmen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein neuartiges System zur Detektion von freiem, flüssigen Oberflächenwasser entwickelt. Ziel war einerseits die kontinuierliche Dokumentation von flüssigem Wasser auf den Prüfkörperoberflächen des Teststands. Andererseits sollte das um die fiktive Materialschicht ergänzte hygrothermische Rechenmodell validiert werden.

Das Prinzip der Detektion beruht auf der Grundidee, dass sich ein definierter Messbereich innerhalb einer Oberfläche sichtbar verfärben soll, sobald sich auf der Oberfläche flüssiges Wasser bildet. Ist auf der Oberfläche kein flüssiges Wasser mehr verfügbar, soll sich auch der Messbereich zeitnah wieder in die Ausgangsfarbe zurückverfärben.

Für den sich reversibel verfärbenden Messbereich auf einer Oberfläche wurde ein Feuchtedetektor entwickelt, der eine gitterartige Struktur aufweist. Die Feuchtedetektorgitter bestehen aus einem eingefärbten Gewebe (Maschenweite ca. 1 mm), das mit hydrochromatischer Farbe beschichtet ist. Diese hydrochromatische Farbe hat die Eigenschaft, im trockenen Zustand weiß zu sein und bei Kontakt mit Wasser transparent zu werden. In dem Fall wird das beliebige eingefärbte Gitter unter der hydrochromatischen Farbe sichtbar (hier: rot). Steht kein flüssiges Wasser mehr zur Verfügung, verliert die Beschichtung wieder an

Transparenz und das Gitter erscheint wieder weiß. Über einen Farbvergleich mit einer Kontrollfläche, die gleichen Lichtverhältnissen unterliegt, wird eine Feuchtedetektion über die Farbveränderung möglich. Das Prinzip wird in Bild 6 erläutert.

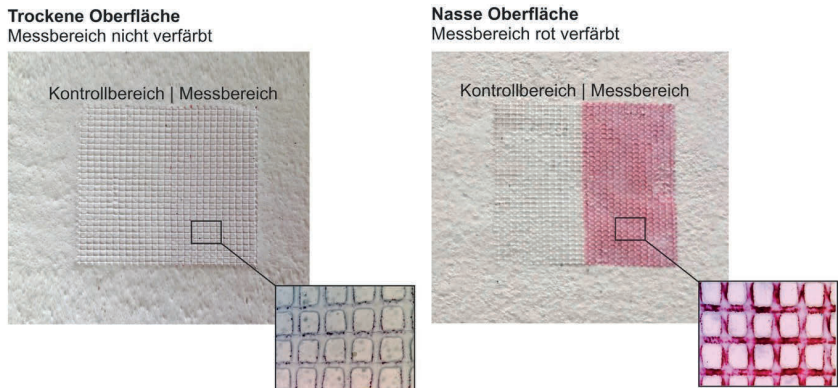


Bild 6 Feuchtedetektorgitter im trockenen Zustand (links): Mess- und Kontrollbereich weiß; im nassen Zustand (rechts): Messbereich verfärbt, Kontrollbereich bleibt weiß

Zur kontinuierlichen Auswertung der für die Messung angefertigten Bildreihen wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Risiko und Zuverlässigkeit (irz) der Leibniz Universität Hannover eine Auswertungssoftware entwickelt.

Der Feuchtedetektor wurde hinsichtlich seines Ansprechverhaltens anhand eines Laborversuchs zu Tauwasserbildung validiert und seine Brauchbarkeit auf unterschiedlichen Oberflächen nachgewiesen.

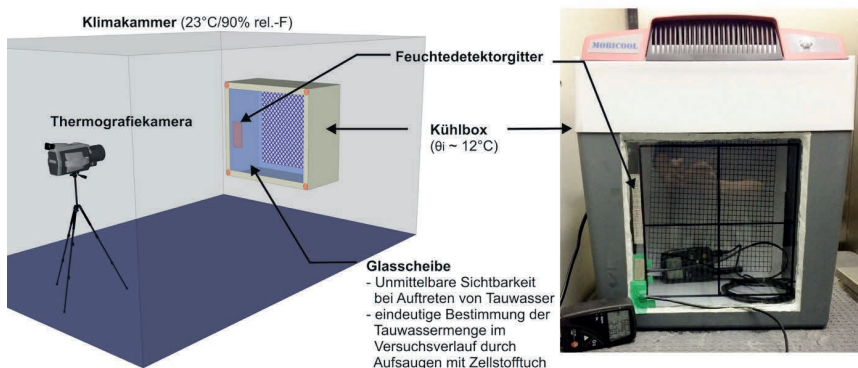


Bild 7 Versuchsaufbau zur Validierung des Feuchtedetektors und des Rechenmodells

Anhand der mit dem System zur Feuchtedetektion ausgewerteten Daten zu Verweildauern des angefallenen Oberflächenwassers und Versuchen zu anfallenden Tauwassermengen, auch auf unterschiedlich saugfähigen Putzuntergründen, wurde das hygrothermische Außenwandmodell mit zusätzlicher Oberflächenschicht im Labor und bei natürlicher Bewitterung erfolgreich validiert.

3.3 Berechnung des Feuchteverhaltens der untersuchten Oberflächen

Die Berechnungsergebnisse zum Temperatur- und Feuchteverhalten sind exemplarisch in Bild 8 (für eine Tauwasserbildung) und Bild 9 (für ein Regenerignis) für eine Wandoberfläche im Bereich eines an der Oberfläche bewuchsfreien Dübels (rote Kurven) und eines ungestörten und mikrobiell bewachsenen Wandbereichs (grüne Kurven) dargestellt. Die entsprechenden Zeiträume mit Feuchtigkeit an der Oberfläche für die untersuchten Bereiche sind jeweils in den unteren Diagrammen aufgeführt.

Darstellung der Temperatur- und Feuchteverläufe im bewachsenen Wand- und unbewachsenen Dübelbereich - ca. 3 Tage im September

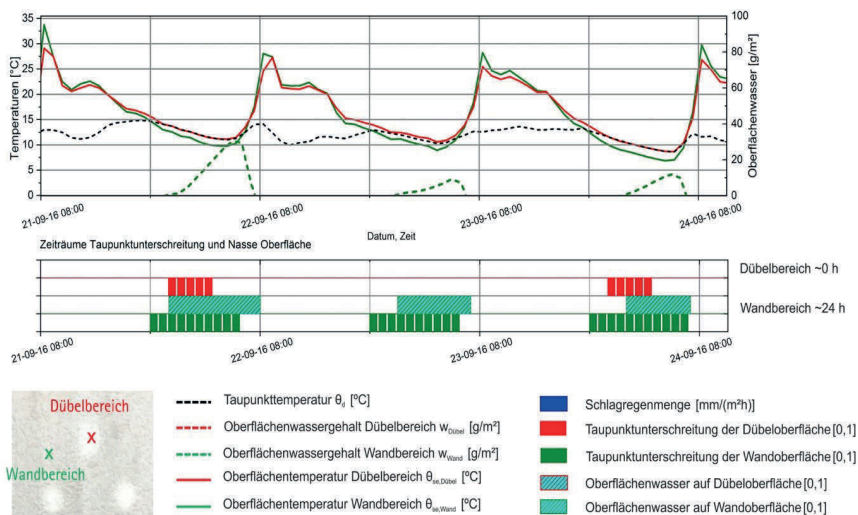


Bild 8 Oberflächentemperatur- und feuchteverlauf für die untersuchten Bereiche im Dübel- und Wandbereich für 4 Tage im September: Nächtliche Tauwasserbildung findet im mikrobiell bewachsenen Wandbereich, aber nicht im Bereich des bewuchsfreien Dübels statt

Darstellung der Temperatur- und Feuchteverläufe im bewachsenen Wand- und unbewachsenen Dübelbereich - ca. 4 Tage im Oktober mit Niederschlag

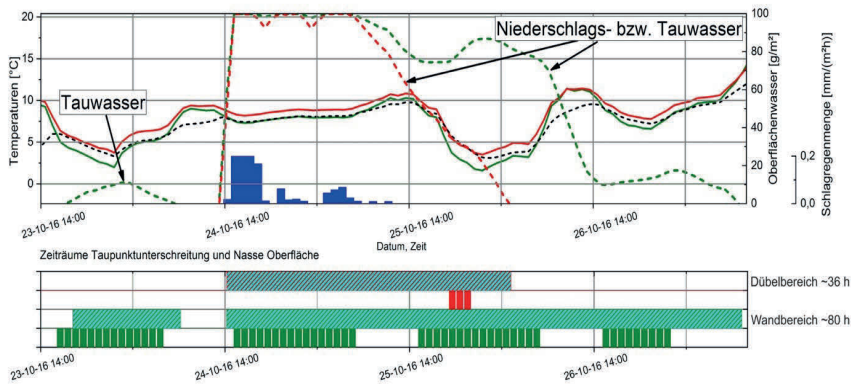


Bild 9 Oberflächentemperatur- und feuchteverlauf für die untersuchten Bereiche im Dübel- und Wandbereich für 4 Tage im Oktober: Nach einem Regenereignis bleibt die Wandoberfläche im Vergleich zum Dübel länger feucht. Hinweis: das exemplarisch vorgestellte Objekt befindet sich in feuchter Umgebung (viel Vegetation, feuchter Boden)

Die Unterschiede zwischen bewachsenen und bewuchsfreien Bereichen hinsichtlich der Zeiträume mit nasser Oberfläche werden im Beispiel deutlich. Tauwasseranfall findet im Regelfall im ungestörten Wandbereich statt. Niederschlagswasser verbleibt vergleichsweise deutlich kürzer im unbewachsenen Dübelbereich (durch raschere Abtrocknung).

4 Auswertung

4.1 Ableitung einer charakterisierenden Kenngröße für das Feuchteverhalten als Einzahlwert

Die in Abs. 3.3 dokumentierten quantitativen Unterschiede für die ermittelten Feuchtedauern der untersuchten bewachsenen und bewuchsfreien Bereiche zeigen sich auch bei Aufsummierung der Stunden mit nasser Oberfläche (siehe Bild 10) im Jahresverlauf. Als Bezugsschwellwert, ab der die Oberfläche als relevant feucht gilt, wurde eine Oberflächenfeuchte von $\varphi_{se}=99\%$ angesetzt. Die sich daraus im Jahresverlauf ergebenden Summenkurven zeigen für alle untersuchten Bereiche eine sigmoide Kurvencharakteristik mit einem starken Anstieg in der Herbst-/Winter-Periode. Das Muster des Kurvenverlaufs wurde für alle untersuchten Bereiche und unterschiedlichen Untersuchungsjahre (2010 bis 2018 und Hygrothermischen Referenzjahre-HRY) erkannt.

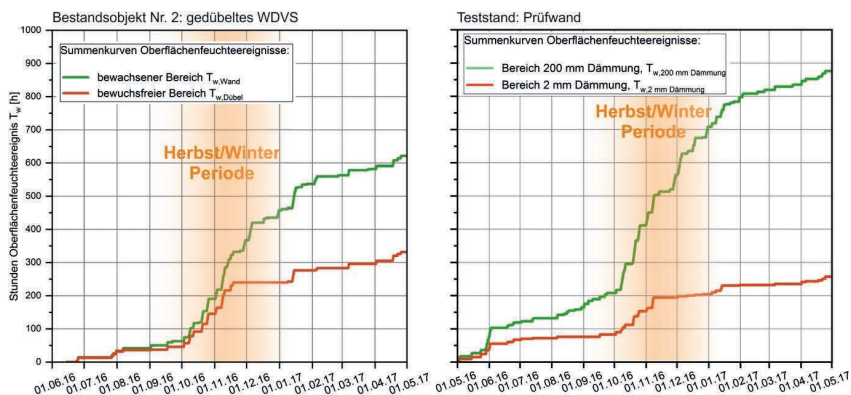


Bild 10 Darstellung der Summenkurven für Feuchteereignisse an den untersuchten Oberflächenbereichen. Für die unterschiedlichen Oberflächen ergeben sich qualitativ ähnliche Kurvenverläufe mit einem starken Anstieg in der Herbst-/Winter-Periode

Auch sind in dieser Herbst-/Winter-Periode im Rahmen von Langzeitbeobachtungen an mikrobiell bewachsenen Fassaden vergleichsweise stärkere Grünfärbungen festgestellt worden, die auf eine verstärkte Bewuchsaktivität und damit die Hauptwachstumsphase in dieser Zeit schließen lassen (siehe Bild 11). Diese Beobachtung korreliert mit dem starken Anstieg der Summenkurven zum Oberflächenfeuchteanfall.



Bild 11 Auszug aus einer Langzeitstudie zu optischer Veränderung einer mikrobiell bewachsenen Fassade im Jahresverlauf. In der Herbst-/Winter-Periode zeigt sich eine hohe Wachstumsaktivität durch vergleichsweise intensive Grünfärbung

Eine Regressionsanalyse der Summenkurve in der Herbst-/Winter-Periode (September bis Januar) liefert eine Regressionsgerade (siehe Bild 12). Deren Anstieg beschreibt die Stunden am Tag, in denen die Oberfläche im betrachteten Zeitraum im Mittel feucht ist. Der so ermittelte Einzahlwert wurde als Oberflächenfeuchteintensität $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ bezeichnet.

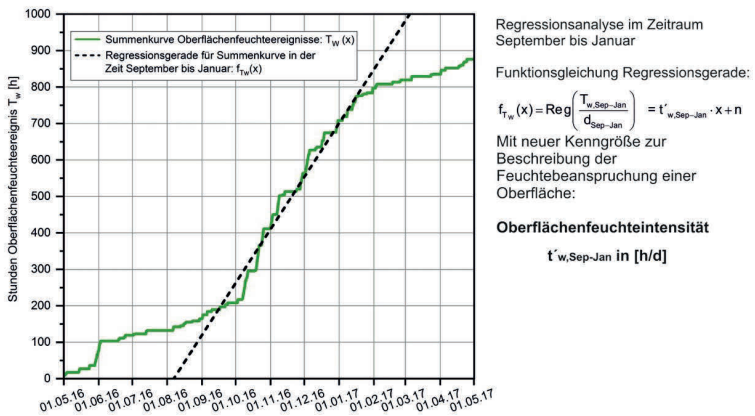


Bild 12 Regressionsanalyse der Summenkurve zum Oberflächenfeuchteanfall

Zur Überprüfung der Anwendbarkeit der Kenngröße Oberflächenfeuchteintensität wurde deren Korrelation zu erkannten Bewuchsbildern untersucht. Bild 13 stellt die Auswertung in Abhängigkeit der Entfernung von der unbewachsenen Dübelmitte hin zum ungestörten bewachsenen Wandbereich dar. In Bild 14 ist die Auswertung für die am Teststand bewachsene Oberseite dargestellt. Das Bewuchsbild wurde hier durch Fluoreszenzaufnahmen (Bewuchs erscheint im Bild hell gelblich) verdeutlicht.

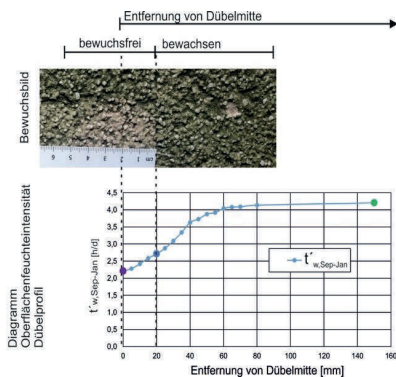


Bild 13 Auswertung von $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ für WDV5 im Dübelbereich

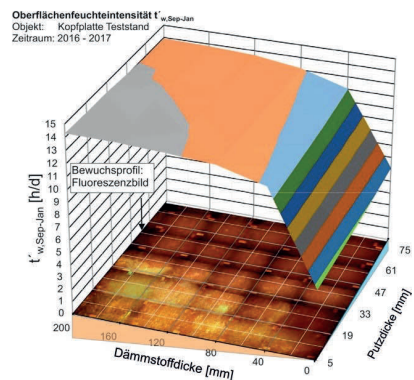


Bild 14 Auswertung von $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ für die Kopfplatte des Teststands

In den exemplarisch dargestellten Fällen ist eine Korrelation von $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ mit dem Bewuchsbild erkennbar.

4.2 Annäherung einer kritischen Oberflächenfeuchteintensität anhand der untersuchten Bestandsobjekte

Im Rahmen einer ersten Annäherung wurde für die untersuchten Bereiche der Bestandsobjekte eine Auswertung für die Jahre 2010-2018 und hygrothermischen Referenzjahre über Mittelwerte für $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Bild 15 zusammengestellt.

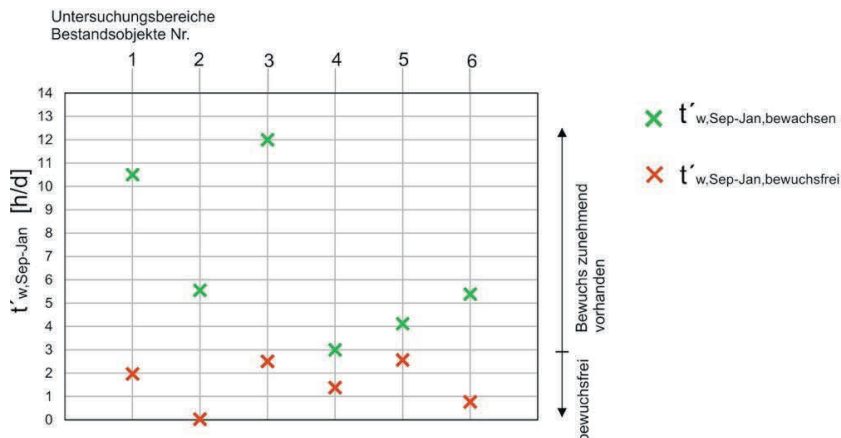


Bild 15 Gesamtauswertung der mittleren Oberflächenfeuchteintensität $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ über die Langzeitbetrachtung (Jahre 2010-2018 und HRY) für die untersuchten Bereiche

Anhand der durchgeführten Untersuchungen ließ sich ebenfalls eine deutliche Korrelation zwischen der Kenngröße Oberflächenfeuchteintensität und dem Bewuchsbild erkennen. Die bewuchsfreien Bereiche zeigen ein zu den bewachsenen Bereichen vergleichsweise niedriges Feuchteniveau hier $t'_{w, \text{Sep-Jan}} < 3 \text{ h/d}$ auf. Zur praktischen Anwendbarkeit der neuen Beurteilungsmethodik wurden außerdem Variationsrechnungen durchgeführt, die es ermöglichen unterschiedliche Bauteilaufbauten im Zusammenhang mit der Feuchtebeanspruchung zu bewerten. Die Ergebnisse sind in der zum Zeitpunkt des Erscheinens dieses Beitrags noch nicht veröffentlichten Dissertation zusammengestellt.

5 Ausblick

In der vorgestellten Arbeit wurde eine Beurteilungsmethodik entwickelt, die eine Charakterisierung des Feuchteverhaltens einer Außenwandoberfläche anhand eines Einzahlwerts ermöglicht, um die Anfälligkeit für mikrobiellen Be-

wuchs zu beschreiben. Erste phänomenologische Auswertungen zeigen die tendenzielle Ableitbarkeit eines Grenzfeuchteniveaus auf. Für eine gesicherte Bestimmung eines Grenzwerts ist die Durchführung von weiteren Studien nach der vorgeschlagenen Methodik notwendig. Darüber hinaus wird die Bewuchsentwicklung des Teststands weiter beobachtet und ausgewertet.

Literaturverzeichnis

- [1] WUFI. Programmsystem zur Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen. Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP). WUFI 1D: Version 6.1, Release 6.1.1.2115; WUFI 2D: Version 4.1, Release: 4.1.1.191
- [2] Krus, M., Rösler, D., Sedlbauer, K: Mikrobielles Wachstum auf Fassaden - Hygrothermische Modellierung. Altbauinstandsetzung 11 (Herausgeber: H. Venzmer), HUSS-Medien GmbH, Verlag Bauwesen, Berlin, 2006

Entwicklung energetischer Konzepte, mittels thermischer Gebäudesimulation, ausgewählter Gebäude im denkmalgeschützten Quartier Margarethenhöhe in Essen

Lena Teichmann, Stuttgart

Zusammenfassung

Bestandsgebäude können einen sehr hohen Heizwärmebedarf haben, so auch die denkmalgeschützten Gebäude im Quartier der Margarethenhöhe in Essen. Dies hat langfristigen Folgen; Ressourcenverbrauch, Treibhauseffekt und Klimawandel.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der Erstellung eines Sanierungskonzeptes für zwei typische Gebäude der Margarethenhöhe mithilfe des Simulationsprogramms IDA ICE. Durch das Erstellen verschiedener Simulationsvarianten und dem Vergleich der Ergebnisse wird abschließend ein Sanierungskonzept erstellt. Durch die Kombination aus baulichen wie anlagentechnischen Maßnahmen, kann der Endenergiebedarf der Gebäude um ca. 75 % gesenkt werden. Durch den Einfluss von Hybriddachsteinen besteht die Möglichkeit einer weiteren Reduzierung.

1 Einführung

Mit dem Pariser Abkommen einigte sich die Weltgemeinschaft völkerrechtlich bindend auf das Ziel, die Erderwärmung unter 2 °C gegenüber vorindustrieller Werte zu halten. Die deutsche Bundesregierung setzte sich daraufhin das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050. Um dieses Ziele zu erreichen, muss die Sanierungsrate im Vergleich zum heutigen Stand verdoppelt werden. [1]

Bei Sanierungen im Bereich der denkmalgeschützten Gebäude wird der Handlungsspielraum zusätzlich durch die Denkmalschutzverordnung des jeweiligen

Bundeslandes eingeschränkt. Da die originale Substanz oder die Baukultur nicht verloren gehen dürfen, können übliche Sanierungsmaßnahmen von Bestandsgebäuden oftmals nicht angewendet werden. Durch eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Gebäudehülle und der Anlagentechnik soll auch bei denkmalgeschützten Bauwerken eine Klimaneutralität erreicht werden.

Das Verbundvorhaben „Energieeffiziente Wohnsiedlungen durch zukunftsfähige Konzepte für den denkmalgeschützten Bestand – Energieoptimiertes Quartier Margarethenhöhe Essen (EnQM)“ betrachtet Lösungsansätze für die denkmalgeschützte Wohnsiedlung Margarethenhöhe in Essen, die sowohl denkmalgerecht als auch innovativ sind. Dazu werden Quartierskonzepte, als auch Einzelgebäude untersucht.

Im Weiteren werden Sanierungskonzepte für zwei Gebäude der Margarethenhöhe mithilfe des detaillierten, dynamischen und multizonalen Simulationsprogramms IDA ICE im Hinblick auf ihren Energiebedarf untersucht.

2 Ausgangszustand

Die Gartenstadt Margarethenhöhe in Essen wurde durch eine Stiftung Margarethe Krupps realisiert, die zum Ziel hatte, die mit der Industrialisierung in Essen entstandenen Wohnungsnot zu kompensieren. Zwischen 1909 und 1938 wurde die Siedlung in zwei Bauabschnitten von Georg Metzendorf geplant und errichtet. [2]

Der energetische Zustand der Gebäude entspricht in großen Teilen noch dem der Bauzeit. Dies beinhaltet ein ungedämmtes, verputztes Ziegelmauerwerk, Einscheibenverglasung der Fenster und ungedämmte Dächer. Im Rahmen kontinuierlicher Instandhaltung durch die Mieter und die Stiftung wurden baulich hauptsächlich Fenster ausgetauscht, um aktuellen Anforderungen an Komfort und Energieeffizienz zu entsprechen sowie das Dach gedämmt und als zusätzlichen Wohnraum ausgebaut. Die ursprüngliche Beheizung der Gebäude, mittels einer kombinierten Heiz-, Koch-, Bade und Ventilationsanlage, wurde in den meisten Gebäuden stillgelegt. Die Erneuerung wurde nicht standardisiert umgesetzt, dadurch finden sich in der Siedlung eine Vielzahl unterschiedlicher Heizsysteme, die von Gaszentral- bzw. Etagenheizung bis hin zu Stromheizungen reichen.

Da das Quartier fast vollständig unter Denkmalschutz steht, soll es mit Bedacht an die heute üblichen Bedürfnisse nach Komfort und Energieeffizienz angepasst werden. Dafür sollen die Gebäudehüllen ertüchtigt werden sowie die Anlagentechnik modernisiert und vernetzt werden, damit sich die Energieeffizienz steigert und sich der Energieverbrauch reduziert.

3 Aufbau der Simulationsmodelle

Im Folgenden werden zunächst die verschiedenen Simulationsvarianten der ausgewählten Gebäude erläutert, anschließend wird auf den Modellaufbau der Bestandsgebäude in dem Simulationsprogramm IDA ICE eingegangen. Daraufhin werden die nutzerabhängigen Simulationseingaben beschrieben und die Anpassungen der Simulationsmodelle an die Sanierungsvarianten dargestellt. Abschließend erfolgt eine Beschreibung der ersten Konzepte zur Regeneration des Erdreiches.

3.1 Simulationsvarianten

Für die thermische Gebäudesimulation wurde zum einen das Gebäude Metzen-dorfstraße 38 ABC und zum anderen das Gebäude Sonnenblick 6 und 8 ausgewählt. Pro Gebäude werden drei Hauptvarianten („Referenz Bestand 1995“, „Ist-Zustand 2018“, „Sanierung“) simuliert, um die verschiedenen energetischen Zustände der Gebäude darzustellen. Die durchgeführten Simulationen erfolgten bei beiden Gebäuden analog, daher bezieht sich die folgende Erläuterung auf beide Gebäude. Zunächst wird das Simulationsmodell des Referenzgebäudes zu dem Zeitpunkt des Jahres 1995 erstellt. Für spätere Vergleiche wird der Jahresenergiebedarf bestimmt, die Heizlast simuliert, Simulationen zur Überprüfung der Oberflächentemperaturen durchgeführt sowie der sommerliche Wärmeschutz bestimmt. Die gleichen Simulationen werden für die Simulationsvariante „Ist-Zustand“ durchgeführt. Der Istzustand bezieht sich dabei auf das Jahr 2018. Die Hauptvariante „Sanierung“ wird in zwei Untervarianten aufgeteilt. Diese unterscheiden sich in der Art des Wärmeverbrauchers und werden daher mit „Fußbodenheizung“ und „Heizkörper“ bezeichnet. In beiden Untervarianten sind die gleichen Simulationen notwendig. Zunächst werden Simulationen zur Heizlastbestimmung, zur Überprüfung der Oberflächentemperaturen und zum sommerlichen Wärmeschutz durchgeführt. Anschließend kann über die Bestimmung der Heizlast die Anlagentechnik für die Geothermie durchgeführt werden. Daraufhin erfolgen Simulationen zum Jahresenergiebedarf sowie Simulationen über 50 Jahre zur Überprüfung der Auslegung. Abschließend erfolgen Simulationen mit ersten Regelungskonzepten zur Nutzung der Hybriddachsteine.

3.2 Gebäudeaufbau Bestandsgebäude

Im Folgenden wird der Aufbau der Simulationsmodelle für die Bestandsgebäude (Hauptvarianten „Referenz Bestand 1995“ und „Ist-Zustand 2018“) erläutert. Als Grundlage für den Gebäudeaufbau werden die Originalpläne von 1912 (Bild 1) genutzt.

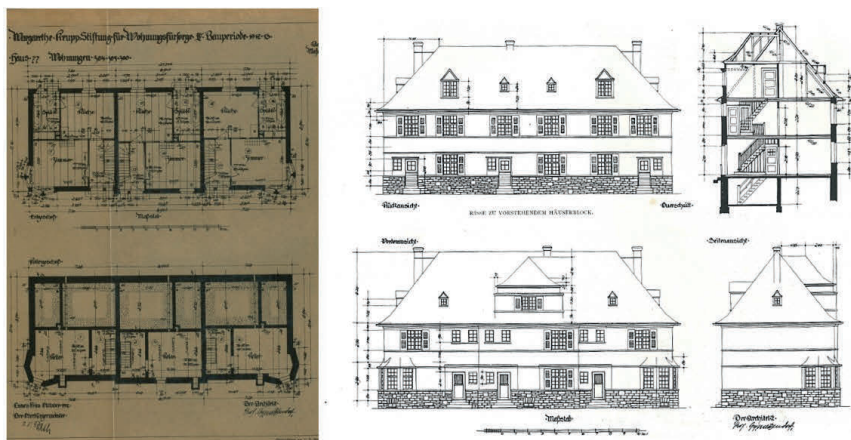


Bild 1 Metzendorfstraße 38 ABC Originalzeichnungen von 1912

In IDA ICE wurde für eine detaillierte Abbildung der Gebäude für jeden Raum eine Zone angelegt. Insgesamt entstanden so zwischen 40 und 50 Zonen je Gebäude. Bild 2 zeigt das Gebäude Metzendorfstraße 38 ABC in der 3D-Ansicht von vorne und im Horizontalschnitt durch das Erdgeschoss.



Bild 2 Ansicht und Horizontalschnitt Referenzvariante Metzendorfstraße 38 ABC

In der Metzendorfstraße 38 ABC und im Erdgeschoss des Gebäudes Sonnenblick 6 und 8 wurde zwischen 1995 und 2018 der Grundriss geändert. Diese Änderungen und der Ausbau des Dachgeschosses sowie der Dämmung des Daches des Gebäudes Metzendorfstraße 38 ABC wurden in der Variante „Ist-Zustand 2018“ berücksichtigt.

Der Aufbau der verschiedenen Wände, horizontalen Abschlüssen sowie Fenster und Türen wurde dem Bauteilkatalog entnommen, welcher im Rahmen des Projekts am IWB für das Gebäude Metzendorfstraße 38 C erstellt wurde. Fehlende

Kennwerte wurden der DIN EN ISO 10456 [3] sowie der DIN 4108-4 [4] entnommen. Jedes Bauteil muss mit dem passenden Schichtaufbau einzeln in IDA ICE angelegt werden. Der Aufbau von Sonnenblick 6 und 8 erfolgte analog zum Aufbau der Metzendorfstraße 38 ABC.

Die Komponenten zur Wärmeübergabe wurden bei einer Bestandsaufnahme der Gebäude erfasst. In der Metzendorfstraße 38 C und im Erdgeschoss von Sonnenblick 6 befinden sich wasserführende Radiatoren. Im Obergeschoss von Sonnenblick 6 sind Nachtspeicheröfen installiert. Bei der Variante „Ist-Zustand 2018“ wurde davon ausgegangen, dass in den restlichen Wohnungen der beiden Gebäude die gleichen Heizkörper bzw. Nachtspeicheröfen vorhanden sind.

3.3 Nutzerabhängige Simulationseingaben

Grundsätzlich kann mittels einer Simulation die tatsächliche Nutzung des Gebäudes nicht im Einzelnen abgebildet werden, es sei denn, im Gebäude wird ein intensives Monitoring vorgenommen. Doch selbst bei einem länger andauernden Monitoring lässt sich das Nutzerverhalten nicht detailgenau vorhersagen, aber die wesentlichen Verhaltensmuster mit dem Monitoring ableiten. Da das Monitoring zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch nicht abgeschlossen war, wurden die nutzerabhängigen Eingabedaten auf Basis von DIN- und EN-Normen und VDI-Richtlinien abgeleitet. Dabei musste die Trinkwarmwasserbereitstellung mit dem Wasserbedarf und der Verteilungslinie bestimmt werden. Zudem wurden die interne Wärmegewinne sowie deren Verteilungsplänen festgelegt. Ebenso wurde eine Regelung zur Darstellung der Nutzung der manuellen Fensterlüftung entwickelt. Bild 3 gibt eine Übersicht der verschiedenen benötigten Angaben sowie den dazugehörigen Richtlinien. Für die internen Wärmegewinne wurde die Schweizer Regel SIA 2024 [5] als Grundlage verwendet. Diese liefert vereinheitlichte Annahmewerte für die Raumnutzung, Personenbelegung und Gerätenutzung für den Fall, dass in der Planung gewisser Gebäude noch keine genaueren Angaben vorliegen. Der Warmwasserbedarf wird nach der DIN V 4701-10 [6] bestimmt. Da sich in den Simulationsvarianten die Warmwassertemperatur verändert, wird der Warmwasserbedarf in Litern pro Person und Tag angegeben, um die Änderungen im Energiebedarf zu erfassen. In allen Varianten erfolgt die Belüftung des Gebäudes über die manuelle Fensterlüftung. Bewohner lüften selten zum selben Zeitpunkt, sondern nach Bedarf. Ausschlaggebend ist dabei entweder die Luftqualität, also die CO₂-Konzentration, oder die Überschreitung der Solltemperatur im Raum. Die Regelung des Fensteröffnens, die in IDA ICE projektbezogen erstellt werden musste, ist damit zum einen abhängig von der Koh-

lenstoffdioxidkonzentration, zum anderen von der Innen- und von der Außentemperatur. Zudem können die Fenster nur bei Anwesenheit der Bewohner geöffnet werden.

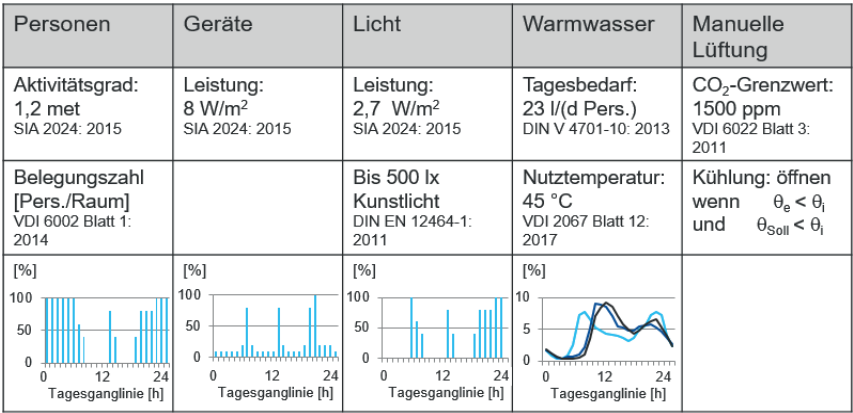


Bild 3 Übersicht der nutzerabhängigen Simulationseingaben

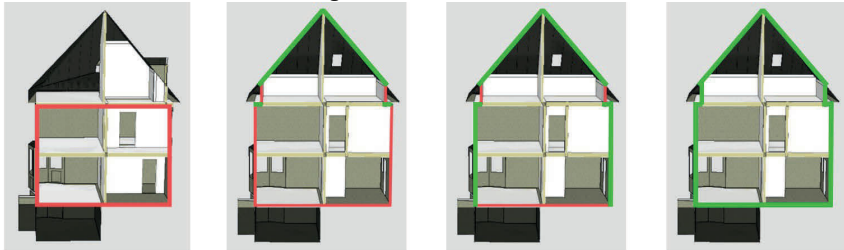
3.4 Anpassen der Simulationsmodelle an die Sanierungsmaßnahmen

Pro Gebäude werden im Weiteren zwei Sanierungsvarianten untersucht. Die Sanierungsvarianten unterscheiden sich sowohl in den baulichen als auch in den anlagentechnischen Maßnahmen. Der Hauptunterschied besteht in der Art des Wärmeverbrauchsers. Es wird zum einen eine Variante mit den bestehenden Heizkörpern untersucht und zum anderen eine Variante mit Fußbodenheizungssystemen.

In beiden Varianten wird zugrunde gelegt, dass die Gebäudehüllflächen mittels einer Innendämmung energetisch ertüchtigt werden. Im Vorhaben wird eine Innendämmung der Außenwand auf Basis eines Aerogelinnenputzes angesetzt. Der Aerogeldämmputz verfügt über eine rechnerisch anzusetzende Wärmeleitfähigkeit von 0,028 W/mK. Nach einer Parametrierung wird eine Putzdicke von 3 cm angesetzt. Bei dem Gebäude Sonnenblick 6 und 8 wurde bisher nur das Erdgeschoss saniert. Bei den Fenstern im Obergeschoss finden sich im Istzustand die Originalfenster mit Einscheibenverglasung. Da die Originalfenster der existierenden Gebäude denkmalgeschützt sind, können diese nicht erneuert werden, aber durch eine zusätzliche innenliegende Fensterebene energetisch verbessert werden. In den Simulationen werden zur Vereinfachung anstelle der Einscheibenverglasungen im Sanierungsfall rechnerisch Zweischeibenschutzverglasungen angesetzt. Wie das Dach in Sonnenblick 6 und 8 ausgebaut werden soll, ist

derzeit nicht bekannt, daher wird in der Variante „Sanierung“ der Grundriss des Dachgeschosses nicht geändert und bleibt ebenfalls zunächst unbeheizt. Im Rahmen des Sanierungsvorhabens soll das Dach erneuert werden und kann so auch gedämmt werden. In zusätzlichen Simulationen wird überprüft in wie weit sich die Simulationsergebnisse bei einem beheizten Dachgeschoss ändern.

Zusätzlich werden bei der Variante mit Fußbodenheizung der Fußboden im Erdgeschoss sowie die Abseiten des Dachgeschosses gedämmt. Bild 4 und Bild 5 geben einen Überblick über die sich durch die Maßnahmen ergebenden Änderungen des Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der beheizten Gebäudehüllen für die verschiedenen Simulationsvarianten der beiden Gebäude. Dabei sind in rot die Bauteile gekennzeichnet die den Mindestwärmeschutz nach der DIN 4108-2 [7] nicht einhalten und in grün die Bauteile, die den Mindestwärmeschutz erfüllen. Weitere Simulationen zum sommerlichen Wärmeschutz zeigen, dass dieser durch die Dämmung des Daches ebenfalls erfüllt ist.



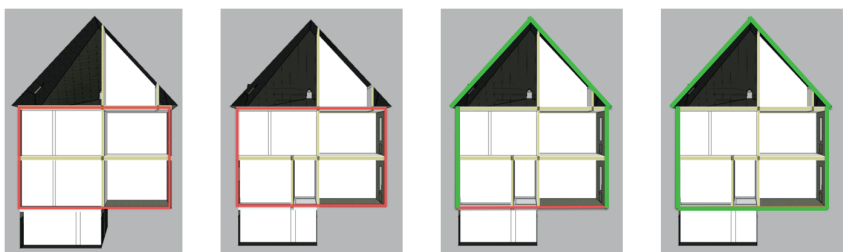
a) Referenz

b) Ist-Zustand

c) Sanierung HK

d) Sanierung FBH

Bild 4 Übersicht der Varianten, Schnitt durch Metzendorfstraße 38 C mit gekennzeichneten Gebäudevolumen



a) Referenz

b) Ist-Zustand

c) Sanierung HK

d) Sanierung FBH

Bild 5 Übersicht der Varianten, Schnitt durch Sonnenblick 8 mit gekennzeichneten Gebäudevolumen

Zur Erreichung des Ziels eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes wird eine Erneuerung der Anlagentechnik erforderlich. Gegenwärtig werden in den untersuchten Gebäuden Erzeuger auf Basis fossiler Brennstoffe genutzt. In den interdisziplinären Arbeiten des Vorhabens EnQM wurde herausgearbeitet, dass der Einsatz einer Wärmepumpe in Verbindung mit der Nutzung von Umweltenergien auf Basis der Geothermie in Kombination mit den solaren Energiegewinnen der Hybriddachsteine realisiert werden soll. Die Wärmepumpe soll den Primärenergieanteil aus dem Erdreich beziehen. Welche Art der geothermischen Wärmeengewinnung zur Anwendung kommen sollte, wurde mittels einer, auf den spezifischen Heizlastbedarf beruhenden, Auslegung vorgenommen. Durch den hohen spezifischen Heizlastbedarf eignen sich weder Erdwärmekollektoren noch Erdwärmekörbe zur Nutzung der Geothermie, da der benötigte Flächenbedarf zu hoch ist. Daher wird die Wärmepumpe in Kombination mit Erdwärmesonden betrieben. Die Auslegung erfolgt nach der VDI 4640 Blatt 2 Entwurf [8]. Durch weitere Simulationen wurde das gewählte Erdwärmesondenfeld überprüft und angepasst. Um die Wohnbereiche mit möglichst niedrigen Vorlauftemperaturen auf Raumtemperaturniveau betreiben zu können werden die Heizkörper durch Flächenheizungen ausgetauscht. Der Vollständigkeit wegen werden auch Simulationen mit Heizkörpern durchgeführt. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse können in all jenen Bereichen der Gebäude genutzt werden, in denen die Holzdielen aus Denkmalschutzgründen erhalten bleiben sollen und somit nicht überdeckt werden können.

Damit die hygienischen Anforderungen für das Trinkwarmwasser erfüllt werden, muss die Speicheraustrittstemperatur mindestens 60 °C betragen. In den Sanierungsvarianten liegt die Vorlauftemperatur der Wärmeverbraucher unter 60 °C. Eine dauerhafte Erhöhung der Speichertemperatur auf 60 °C ausschließlich wegen der Trinkwassererwärmung ist nicht energieeffizient. Um die hygienischen Bedingungen ohne eine Erhöhung der Speichertemperatur trotzdem zu erfüllen, wird das benötigte Wasser durch Durchlaufwassererwärmer erhitzt. Bei der Sanierungsvariante mit Heizkörpern kann das Trinkwarmwasser mithilfe einer Trinkwasserstation auf das gewünschte Temperaturniveau gebracht werden (Bild 6 a)). Die Variante mit Fußbodenheizung als Wärmeverbraucher wird zusätzlich mit einem elektrischen Durchlauferhitzer ausgestattet (Bild 6 b)), da die Vorlauftemperatur lediglich 35 °C beträgt. Das Trinkwarmwasser wird zunächst über einen Wärmetauscher auf das Temperaturniveau der Vorlauftemperatur des Wärmeverbrauchers gebracht und anschließend mit einem Durchlauferhitzer auf die 45°C Nutztemperatur erhitzt. Damit kann die zu erhitzende Temperaturdifferenz, im Vergleich zu den in Deutschland üblichen 10 °C Kaltwasserzulauftemperatur, um 25 K gesenkt werden.

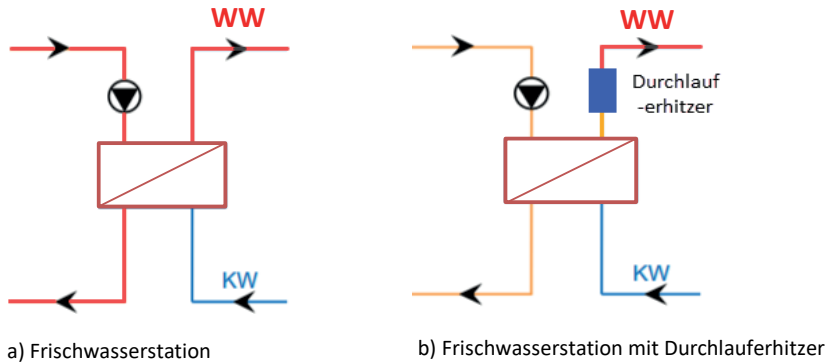


Bild 6 Schematische Darstellung Frischwasserstation und Frischwasserstation mit Durchlauferhitzer

Auf Grundlage weiterer Simulationen ergibt sich, dass durch die vorherige Erhitzung des Wassers durch die Wärmepumpe und erst anschließender Nutzung eines Durchlauferhitzers, 63 % des Energiebedarfs für die Trinkwarmwasserbereitstellung durch die Geothermie aufgebracht werden kann.

In ersten Modellsimulationen wurden zusätzlich die Hybriddachsteine in die Anlagentechnik miteinbezogen. In den Hybriddachsteinen ist sowohl ein Photovoltaik- als auch ein Solarthermieanteil integriert. Diese speziellen Dachsteine wurden extra für das Vorhaben entwickelt, da sich die Dachdeckung aus denkmal-schutztechnischen Gründen im Erscheinungsbild kaum von den auf der Margarethenhöhe verwendeten Dachsteinen unterscheiden dürfen, die Anteile aus Solarthermie und Photovoltaik aber trotzdem genutzt werden sollten.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die variantenabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeabgebenden Hüllflächenbauteile. Zudem sind in der Tabelle die Modernisierungsmaßnahmen der anlagentechnischen Maßnahmen angeführt.

Tabelle 1 Übersicht der Sanierungsvarianten

	Metzendorfstraße 38 ABC		Sonnenblick 6 und 8	
	Sanierung Heizkörper	Sanierung Fußbodenheizung	Sanierung Heizkörper	Sanierung Fußbodenheizung
Dach U-Wert [W/m²K]	0,21			
AW U-Wert [W/m²K]	0,54			
Fenster U-Wert [W/m²K]	1,6			
EG - Fußboden unterkellert/ nicht unterkellert U-Wert [W/m²K]	1,7/ 2,9	0,57/ 0,66	1,7/ 2,9	0,56/ 0,66
Wärmeverbraucher	HK → VL: 45°C	FBH → VL: 35°C	HK → VL: 60°C	FBH → VL: 35°C
Warmwasser	FWS	FWS mit DLE	FWS	FWS mit DLE
Wärmeerzeuger	WP			
Leistung WP [kW]	29,6	22,35	29,6	22,35
Erdsonden	5 EWS je 150m Abstand: 6 m	5 EWS je 100m Abstand: 6 m	5 EWS je 150m Abstand: 8 m	5 EWS je 100m Abstand: 8 m

3.5 Regeneration des Erdreichs durch Hybriddachsteine

Im Sommer, wenn dem Erdreich keine Wärme entzogen wird, findet bereits eine natürliche Regeneration des Erdreichs statt. Diese erfolgt jedoch nur sehr langsam, da die Wärmestromdichte aus dem Erdinneren und den benachbarten Bodenschichten durchschnittlich 0,065 W/m² beträgt. Ist der Wärmeentzug in der Phase der Gebäudebeheizung zu hoch oder die Phase, in der keine Wärme entzogen wird zu kurz, kann der terrestrische Wärmestrom den winterlichen Wärmeentzug nicht vollständig ausgleichen. Über einen längeren Zeitraum führt dies zu einem Auskühlen des Erdreichs und im Extremfall zum Einfrieren der Erdsonden. [9]

Erdwärmesonden werden so ausgelegt, dass die Entzugsleistung über einen gewissen Zeitraum (nach SIA 384/6:2010 50 Jahre) gewährleistet werden kann. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist eine zusätzliche Regeneration zu empfehlen, da der Zeitpunkt der fortgeschrittenen Auskühlung des Erdreichs verschoben oder verhindert werden kann.

Im Weiteren wird betrachtet, wie im Sommer die entzogene Wärme in die Erdsonden eingespeist werden kann. Den Solarenergieeintrag liefern dabei die im Verbundvorhaben entwickelten Hybriddachsteine.

Voraussetzung für die Regelung der Regeneration ist, dass die Hybriddachsteine eine höhere Temperatur als die Erdreichtemperatur generieren, damit, vor allem im Winter, die Erdwärmesonden nicht gekühlt und die Hybriddachsteine beheizt werden. Nach dem Entwurf der VDI 4640 Blatt 2 [8] dürfen die Temperaturen des Wärmeträgerfluids, die ins Erdreich eingeleitet werden, im Schnitt höchstens 15 K höher als die Temperatur des ungestörten Erdreichs sein. Zu Spitzenlastzeiten können bis zu 20 K höhere Temperaturen eingeleitet werden.

Unter Beachtung dieser Regeln erfolgt die Regeneration nur sehr langsam und ineffizient.

Daher wird eine Regenerationsvariante getestet, in der die Temperaturen der Hybriddachsteine auch dann eingeleitet werden, wenn die Differenz zur ungestörten Erdreichtemperatur zu groß ist.

Die bereitgestellten Temperaturen mit Regeneration (blau) und ohne Regeneration (braun) über einen Simulationszeitraum von 50 Jahre sind in Bild 7 dargestellt. Die Temperaturen ohne die Regeneration fallen über die Jahre im typischen Verlauf ab. Werden die Temperaturen mit Regeneration betrachtet, ist zu erkennen, dass sich das Temperaturniveau über den Simulationszeitraum minimal nach oben verschiebt. Die bereitgestellte mittlere Jahrestemperatur erhöht sich nach 50 Jahren um ca. 1 K.

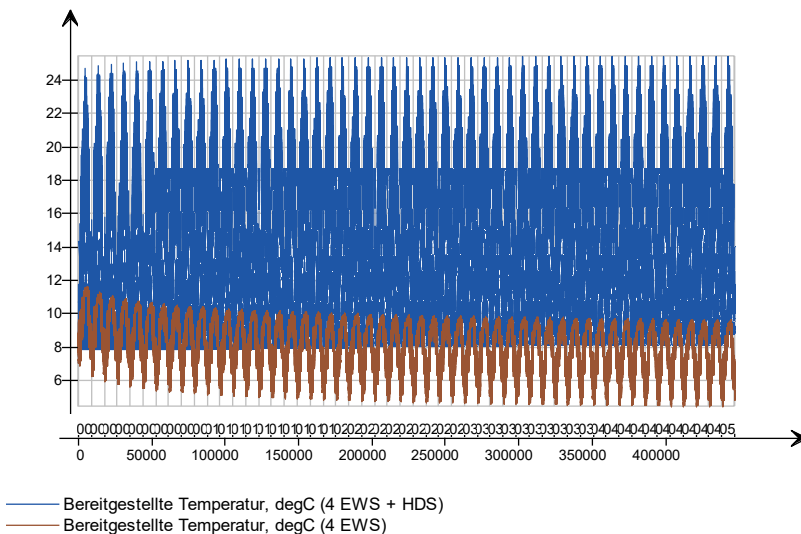


Bild 7 Bereitgestellte Temperatur mit und ohne Regeneration in einem Simulationszeitraum von 50 Jahre

Mit dieser Variante der Regeneration über die Hybriddachsteine ist das Ziel der Regeneration, dem Erdreich im Sommer so viel Wärme zuzuführen wie im Winter entzogen wurde, erfüllt. Es wird das Auskühlen über den Betriebszeitraum durch die Nutzung der Geothermie verhindert und die Anlage kann auch länger als die angesetzten 50 Jahre ohne Effizienzminderung genutzt werden. Für eine bessere Einleitung und Speicherung der Temperaturen im Erdreich sollten weitere Simulationen zur Anordnung der Erdsonden durchgeführt werden. Insbesondere sollte die quadratische Anordnung der Erdwärmesonden genauer untersucht werden.

4 Ergebnisvergleich der Varianten

Pro Gebäude wurden drei Hauptvarianten (Referenz Bestand 1995, Ist-Zustand 2018, Sanierung) aufgebaut. Die Sanierungsvariante untergliedert sich dabei in eine Untervariante mit Heizkörper als Wärmeverbraucher und in eine mit Fußbodenheizung. Durch diese Aufteilung werden Ergebnisse von vier Varianten dargestellt.

Bild 8 gibt den Nutzenergiebedarf der verschiedenen Varianten der Metzendorfstraße 38 ABC wieder. Dargestellt sind zum einen der Bedarf an Nutzenergie für die Geräte (pink) und die Beleuchtung (gelb) und zum anderen der Bedarf für das Beheizen des Gebäudes (orange) sowie die Bereitstellung des Trinkwarmwassers (blau, Farbanteile je nach Erzeuger/ blau schraffiert). Die Auslegung für den Bedarf der Geräte und der Beleuchtung erfolgte in den Simulationen nach der Raumfläche und ist dadurch bei der Referenzvariante niedriger als bei der Variante „Ist-Zustand“ und den beiden Sanierungsvarianten, da zu diesem Zeitpunkt das Dachgeschoss noch nicht ausgebaut ist.

Durch den Ausbau des Dachgeschosses und der Beheizung des Treppenhauses erhöht sich ebenfalls der Bedarf an Heizenergie und der Energie zur Trinkwasserbereitung. In der Referenzversion beschränkt sich die beheizte Fläche auf ca. 249 m². Nach der Grundrissänderung beträgt die beheizte Fläche ca. 393 m².

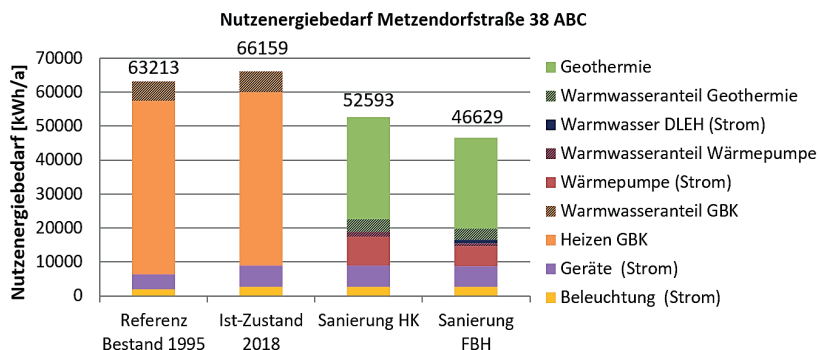


Bild 8 Nutzenergiebedarf der Simulationsvarianten Metzendorfstraße 38 ABC

Die Energieeinsparungen durch die Ertüchtigung, insbesondere der Dämmmaßnahmen, der Gebäudehülle und die Anlagenoptimierung werden bei dem Vergleich des spezifischen Nutzenergiebedarfs (Bild 9) ersichtlich.

Während in der Referenzvariante der spezifische Nutzenergiebedarf ca. 254 kWh/m²a beträgt, besteht in der Variante „Ist-Zustand“ nur noch ein Bedarf von ca. 169 kWh/m²a. Der Nutzenergiebedarf sinkt durch das Anbringen des Aerogelinnenputzes und der Fußbodendämmung auf einen Wert von 46629 kWh/a und damit auf einen spezifischen Bedarf von ca. 119 kWh/m²a.

Wird der spezifische Heizenergiebedarf der Referenzvariante mit 205 kWh/m²a und der Sanierungsvariante mit Fußbodenheizung mit 83 kWh/m²a verglichen, ergibt sich eine Reduktion um ca. 60 %. Dabei reduziert die Dämmung des Daches in der Variante „Ist-Zustand“ mit 98 kWh/m²a bereits den Heizenergiebedarf im Vergleich zur Referenzvariante um ca. 52 %. Die energetische Verbesserung der restlichen Gebäudehülle ist in der gegebenen Ausführung weniger ausschlaggebend. Allerdings kann durch das Senken der Heizlast die Anlagentechnik verbessert werden.

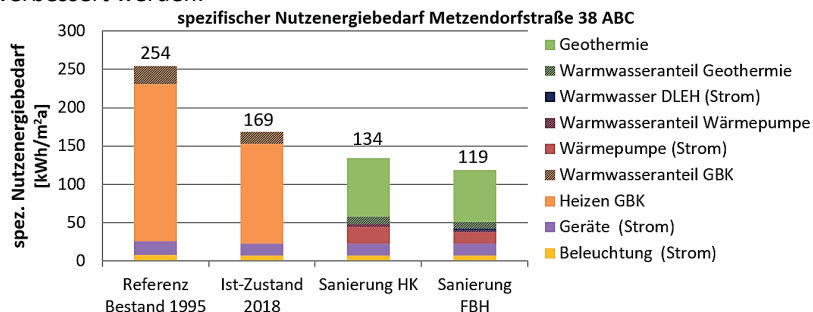


Bild 9 spezifischer Nutzenergiebedarf der Simulationsvarianten Metzendorfstraße 38 ABC

Die Verwendung einer Wärmepumpe mit Geothermie lässt den Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser deutlich sinken (Bild 10). Im Vergleich zur Referenzvariante mit einem spezifischen Endenergiebedarf von 254 kWh/m²a ist eine Endenergieeinsparung bei der Sanierungsvariante mit Fußbodenheizung, bei einem spezifischen Endenergiebedarf von 20 kWh/m²a, von ca. 92 % möglich.

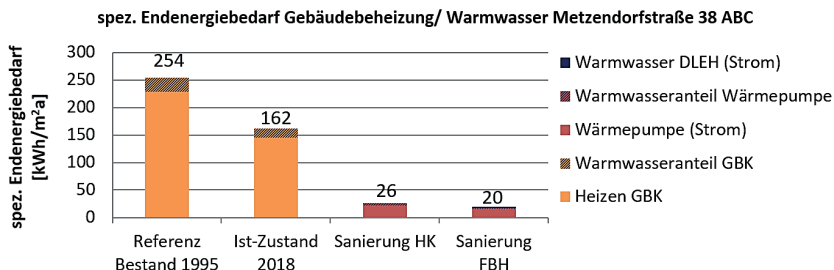


Bild 10 Spezifischer Endenergiebedarf zur Gebäudebeheizung und Trinkwasserbereitung

Bild 11 stellt den Nutzenergiebedarf der verschiedenen Simulationsvarianten des Gebäudes Sonnenblick 6 und 8 dar. In der Referenzversion sind ausschließlich Nachtspeicheröfen verbaut. Der Grundriss ist im Erdgeschoss sowie im Obergeschoss derselbe. Der Raum im Dachgeschoss wird nicht beheizt. In der Variante „Ist-Zustand“ werden die Nachtspeicheröfen im Erdgeschoss durch Heizkörper ersetzt und der Grundriss wird den Bedürfnissen der Bewohner angepasst. In der sanierten Variante werden im Obergeschoss ebenfalls Heizkörper eingebaut, das Dach und die Außenwand gedämmt sowie die Einscheibenverglasung im Obergeschoss und Dachgeschoss durch Zweischeibenschutzverglasung ersetzt. Die beheizte Fläche ändert sich durch die Grundrissänderung von ca. 305 m² zu ca. 302 m².

Die Senkung des Heizbedarfs durch die verschiedenen Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle ist in Bild 11 erkennbar. Der Nutzenergiebedarf kann zwischen der Referenzvariante 80220 kWh/a und der Sanierungsvariante mit Fußbodenheizung 48032 kWh um ca. 40 % gesenkt werden. Zwischen diesen beiden Varianten liegt eine Senkung des spezifischen Endenergiebedarfs für die Beheizung und die Trinkwarmwasserbereitstellung von 238 kWh/m²a zu 28 kWh/m²a vor, also eine Senkung um ca. 88 % (Bild 11).

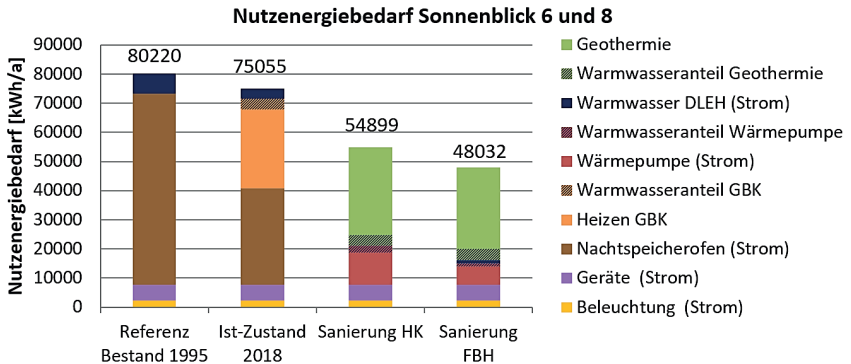


Bild 11 Nutzenergiebedarf der Simulationsvarianten Sonnenblick 6 und 8

An diesem Gebäude fanden zwischen der Referenzvariante und dem Ist-Zustand kaum Veränderungen statt, weshalb der Austausch der Fenster im Obergeschoss, die Dämmung des Daches und die Dämmung der Außenwand in einem Variantenwechsel stattfinden. Die Auswirkungen der baulichen Maßnahmen auf den spezifischen Nutzenergiebedarf sind in Bild 12 zwischen der Variante „Ist-Zustand“ und den Sanierungsvarianten zu erkennen.

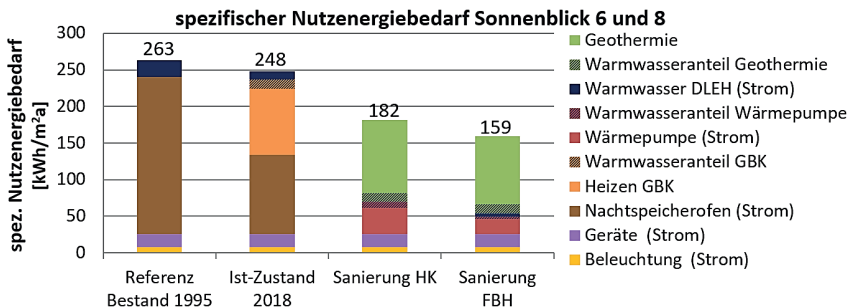


Bild 12 Spezifischer Nutzenergiebedarf der Simulationsvarianten Sonnenblick 6 und 8

Werden die beiden Sanierungsvarianten miteinander verglichen, ist der Einfluss der Senkung der Vorlauftemperatur von 60 °C auf 35 °C deutlich. Die Sanierungsvariante mit Heizkörper hat einen spezifischen Endenergiebedarf von 44 kWh/m²a, die Sanierungsvariante mit Fußbodenheizung hat einen spezifischen Endenergiebedarf von nur noch 28 kWh/m²a, das ergibt eine Reduktion um 36 %. Werden diese beiden Varianten des Gebäudes Metzendorf-

straße 38 ABC miteinander verglichen (Bild 10), ergibt sich, bei einem spezifischen Endenergiebedarf von 26 kWh/m²a für die Variante mit Heizkörpern und einem spezifischen Endenergiebedarf von 20 kWh/m²a für die Variante mit Fußbodenheizung, eine Einsparung von 23 %.

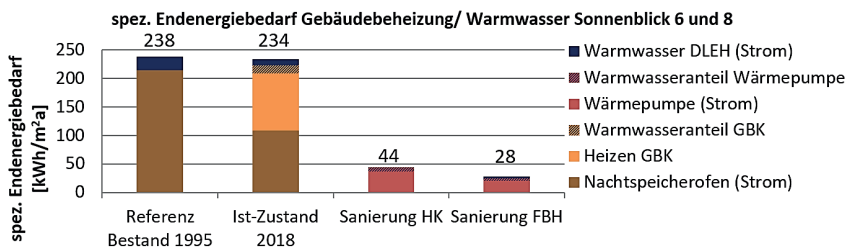


Bild 13 Spezifischer Endenergiebedarf zur Gebäudebeheizung und Trinkwasserbereitung

Ebenfalls ist in Bild 9 und in Bild 12 zu erkennen, wie der Bedarf der Beleuchtung und elektrischen Geräte, dessen Wert sich über die Simulationsvarianten hinweg kaum ändert, in Relation zum Gesamtbedarf einen immer größer werdenden Anteil einnimmt. Es ist damit nicht ausreichend den Gebäudebestand energiesparend und effizient zu gestalten, sondern es muss sich auch beim Nutzerverhalten etwas ändern, um den Energiebedarf eines Gebäudes weiter zu senken.

5 Konzepte für die Sanierungsvariante der Gebäude

Nachfolgend werden die Empfehlungen zur Sanierung der beiden Gebäude beschrieben. Diese beziehen sich auf den aktuellen Wissensstand zu den Gebäuden zum momentanen Zeitpunkt.

Für die Sanierung der beiden Gebäude empfiehlt sich der Wechsel zu Fußbodenheizungen als Wärmeverbraucher. Besonders in dem Gebäude Sonnenblick 6 und 8 ist die Steigerung der Effizienz der Anlagentechnik durch das Absenken der Vorlauftemperatur zu erkennen. Zusätzlich erfolgt eine Dämmung des Fußbodens mit dem Einbau einer Fußbodenheizung. Je nach maximal zulässiger Bohrtiefe ist ein Kompromiss zwischen wenigen Erdsonden, mit großen Abständen, und nicht zu tiefen Erdsonden zu finden. Nach momentaner Informationslage ist die Simulationsvariante „Sanierung mit Fußbodenheizung“ zu empfehlen. Dach, Fußboden und Außenwände sind gedämmt, die Fenster mit Zweischeibenwärmeschutzverglasung ausgeführt, das Trinkwarmwasser wird über eine Frischwarmwasserstation mit kombiniertem Durchlauferhitzer bereitgestellt. Die Fußbodenheizung ist so ausgelegt, dass eine maximale Vorlauftemperatur

von 35 °C ausreichend ist. Damit ergeben sich für beide Gebäude fünf Erdwärmesonden mit je 100 m Tiefe, solange das Dachgeschoss des Gebäudes Sonnenblick 6 und 8 nicht beheizt wird. Es ist zu empfehlen, das Dachgeschoss bei der Sanierung zur Wohnraumnutzung umzubauen. Die vorliegende Auslegung muss angepasst werden, sobald genauere Pläne zum Ausbau vorhanden sind. Eventuell ist eine Reduzierung der gesamten Erdwärmesondenmeter soweit möglich, dass die maximale Erdwärmesondenlänge auf 99 m gesenkt werden kann. Tabelle 2 gibt einen Überblick der Auslegung der Anlagentechnik.

Tabelle 2 Zusammenfassung der Anlagentechnik der Umsetzungsempfehlungen.

Variante	Metzendorfstraße 38 ABC	Sonnenblick 6 und 8	Sonnenblick 6 und 8 mit Dachgeschoss
Wärmeverbraucher	Fußbodenheizung (VL _{max} . 35 °C)		
Warmwasser	Kombiniert: Frischwasserstation mit Durchlauferhitzer		
Wärmepumpe	SW 232 H3: 22,35 kW	SW 232 H3: 22,35 kW	SW 302 H3: 29,6 kW
Erdsonden	5 EWS je 100m Abstand: 6 m	5 EWS je 100 m Abstand: 8 m	5 EWS je 130 m Abstand: 8 m

Die Ergänzung mit Hybriddachsteinen für die Regeneration ist prinzipiell empfehlenswert. Für eine bessere Effizienz gilt es jedoch zu prüfen, in wie weit die Hybriddachsteine zur Warmwasserbereitung genutzt werden können und in wie weit die überschüssige thermische Energie zur Regeneration ausreicht. Der Wechsel von den Heizköpern zu der Fußbodenheizung ist mit einem gewissen Mehraufwand verbunden. Falls dieser Wechsel nicht während des Austauschs der Anlagentechnik möglich ist, weil beispielsweise die Wohnungen weiterhin bewohnt bleiben, besteht die Option die Anlagentechnik bereits auf die Fußbodenheizung ausgelegt zu verbauen und, solange der Wechsel zur Fußbodenheizung als Wärmeverbraucher zeitnah geplant ist, zu Beginn mehr Erdwärme als geplant zu entziehen. Dies ist nur in Kombination mit einer Regeneration des Erdreichs über die Hybriddachsteine denkbar, da ansonsten das Erdreich zu schnell auskühlt und die Anlagentechnik auch mit Fußbodenheizung nicht mehr die geplante Effizienz erreicht.

Abschließend lässt sich festhalten, dass eine energetische Optimierung auch bei denkmalgeschützten Gebäuden durchgeführt werden kann. Durch eine sorgfältige Planung in Kombination mit der dynamischen Gebäudesimulation und eine intelligente Kombination von baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen

sind hohe Energieeinsparungen möglich und ein nahezu klimaneutraler Bestand im Denkmalschutz machbar.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin 2016, abgerufen am: 28.08.2018
- [2] Metzendorf, G.: Kleinwohnungsbauten und Siedlungen. Darmstadt: Alexander Koch 1920
- [3] DIN EN ISO 10456:2010-03. Baustoffe und Bauprodukte. Wärme- und feuchte-technische Eigenschaften
- [4] DIN 4108-4:2017-03. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
- [5] SIA 2024:2015:2015-10. Raumnutzungsdaten für die Energie-und Gebäudetechnik
- [6] DIN V 4701-10:2013-08. Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen. Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- [7] DIN 4108-2:2013-02. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [8] VDI 4640 - 2:2015-05. Thermische Nutzung des Untergrunds. Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen
- [9] Stober, I. u. Bucher, K.: Geothermie. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum 2014

Feuchteadsorption unterschiedlicher Estriche bei verschiedenen Klimabedingungen

Sarah Braun/Sylvia Stürmer, Konstanz

Zusammenfassung

Ziel meiner Masterarbeit war es, die Feuchtigkeitseigenschaften von Estrichen bei unterschiedlichen Klimaten mithilfe von Sorptionsisothermen zu charakterisieren. Die wenigen Literaturangaben zu Sorptionsisothermen von mineralischen Estrichen beziehen sich im Wesentlichen auf Calciumsulfatestriche und genormte Zementestriche (ohne dass die Zementart: Portlandzemente, Hochofenzemente bzw. CEM I, CEM II, CEM III etc. unterschieden werden) und i.d.R. nur auf eine Lufttemperatur (= 20 °C). Anliegen der vorliegenden Arbeit war es, zusätzlich die seit ca. 20 Jahren marktüblichen ternären Schnellzemente mit zu untersuchen und die baupraktisch interessanten Temperaturen von 15 °C und 25 °C einzubeziehen. Ebenso wurden die Auswirkungen der Klimabedingung auf der Baustelle (Jahreszeit, Luftfeuchtigkeit, Temperatur) auf den Hydratationsvorgang der Estriche untersucht. Dabei wurden jeweils nicht nur ein Vertreter der verschiedenen Bindemittelsysteme, sondern mindestens zwei verschiedene Estriche unterschiedlicher Hersteller mit einbezogen.

In Kombination mit den Ergebnissen der Gefügeuntersuchungen (u. a. Hg-Porosimetrie) wird belegt, weshalb sich die zement- und schnellzementgebundenen Estriche vollkommen anders verhalten als die calciumsulfatgebundenen Estriche. Dieses unterschiedliche Verhalten ist auch einer der Gründe, warum Estriche mit der KRL-Methode in Bezug auf ihren Feuchtegehalt nicht bewertet werden können. Aus diesem Grund folgt ein Vergleich der Materialfeuchtemessungen „KRL-Methode“ mit der handwerksüblichen und seit Jahrzehnten in der Praxis bewährten „CM-Methode“.

1 Einführung

Der Fokus der Baustoffauswahl liegt heute verstärkt auf mineralischen Systemen sowie deren Recyclingfähigkeit. In Zeiten knapper Bauzeit wird heute häufig zu zusätzlichen z.B. abdichtenden organischen Schichten geraten, anstatt die Belegreife des Estrichs abzuwarten. Grund hierfür sind befürchtete Schadensszenarien (z.B. Feuchteschäden an Bodenbelägen), die in der Baupraxis bei fachgerechter Planung und Ausführung nicht auftreten. Zusätzlich sorgt auch der seit ca. 10 Jahren bei Estrichen diskutierte KRL-Messwert für Unsicherheit bei der Beurteilung der Belegreife. Falsche Messwerte vor Ort können dazu verleiten, unnötige Maßnahmen wie zusätzliche „Sperrschichten“ zu ergreifen.

Materialverbünde bzw. Mehrschicht-Systeme sind dann sinnvoll, wenn das Bauteil dadurch funktionssicherer und dauerhafter ist und sich der, i.d.R. nicht lös- bare Verbund später auch materialverträglich gemeinsam rückbauen und recy- celn lässt. Das Mischen oder Verbinden von mineralischen und organischen Schichten führt nicht nur zu unterschiedlichem Alterungsverhalten, sondern erschwert das Recycling maßgeblich, weil die organische Schicht in einem separaten Arbeitsschritt abgelöst werden muss. Detaillierte technische Kenntnis über feuchte- und gefügetechnische Kennwerte von Estrichen ermöglicht eine fachlich richtige Beurteilung von eingebauten Estrichen und kann somit die Herstellung solcher unnötiger Materialverbünde verhindern.

1.1 Mischungen und Probebezeichnungen

Grundlage der Betrachtungen stellen zehn verschiedene Estrichmischungen dar, welche in die drei Hauptbindemittelgruppen Schnellzementestriche, Calciumsul- fatestriche und Normalzementestriche unterteilt werden. Die Klimabedingun- gen der Baustelle (Jahreszeit, Luftfeuchtigkeit, Temperatur) haben einen großen Einfluss auf das Abbindeverhalten und die Festmörteleigenschaften der Estriche. Durch die zwei Vorlagerungsbedingungen „feucht“ (95 % r. F.) und „trocken“ (50 % r. F.) während der ersten 28 Tagen nach der Herstellung (bei 23 °C) wird dieser Klimaeinfluss auf die Hydratation und damit auf die Porosität und Feuchteauf- nahme untersucht.

Alle anschließenden Grafiken beziehen sich auf die in Tabelle 1 eingeführte Probenbezeichnung. Die erste Zahl der Probenbezeich- nung steht für die Mischungsnummer, die zweite Zahl für die Vorlagerungsbe- dingung in den ersten 28 Tagen (z.B. Probe 2.1 = Mischungsnummer 2 Schnell- zement aus der Vorlagerung 1 „feucht“).

Tabelle 1 Mischungen und Probenbezeichnungen

Mischungsnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bindemittel	Schnellzement			Calciumsulfat		Zement CEM I 42,5 N				
Besonderheiten			Lithiumhaltig		konventionell	fließfähig	erdfeucht	plastisch	erdfeucht	plastisch
Mischungsverhältnis	1:4	1:5	1:5	1:5	1:4	Werkmörtel	1:5	1:5	1:6	1:6
w/b-Wert	0,45	0,55	0,55	0,55	0,45		0,43	0,55	0,52	0,60

Vorlagerung 1: „feucht“										
28 Tage bei 23°C / 95% r. F., nach 1 Tag ausgeschalt										
Prüfkörperbezeichnung	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1

Vorlagerung 2: „trocken“										
28 Tage bei 23°C / 50% r. F., nach 1 Tag ausgeschalt										
Prüfkörperbezeichnung	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2

1.2 Versuchsdurchführung

In sogenannten Exsikkatoren-schränken wird mithilfe von Salzlösungen ein konstantes Klima hergestellt. Im Rahmen der Versuchsreihe wurden in Abhängigkeit von der Temperatur relative Luftfeuchtigkeiten zwischen 52 % r.F. bis 91 % r.F. untersucht. Ein umgebener Klimaschrank sorgt für eine konstante Temperatur von 15°C bzw. 25 °C.

Um den Einfluss chemischer Wasserbindung bei den Sorptionsmessungen ausschließen zu können, wurden alle Estriche des Versuchsprogramms nach 28 Tagen Erhärtung untersucht, um sicherzustellen, dass die Hydrationsreaktionen vollständig abgeschlossen sind.

Für die Versuchsdurchführung werden alle Prüfkörper in wiederkehrenden Abständen auf Massenkonzanz getrocknet. Die Darrtemperatur nach 28 Tagen Erhärtung wurde einheitlich auf 60 °C für die Normal- und Schnellzementestriche sowie 40 °C für die Calciumsulfatestriche festgelegt. Anhand der begleitenden differenzthermoanalytischen Untersuchungen wurde abgesichert, dass damit bei den Calciumsulfat- und den Schnellzementestrichen noch keine Hydratwasserabgabe des Gipses bzw. des Ettringits bewirkt wurde. Die darrgetrockneten Probekörper werden bis zur jeweiligen Massenkonzanz –



Bild 1 Exsikkatorschrank

dem Gleichgewichtsfeuchtezustand bei einer bestimmten Luftfeuchtigkeit und einer bestimmten Temperatur – im Exsikkatorschrank gelagert.

Der daraus resultierende aufgenommene Wassergehalt des Estrichs bezogen auf die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft ergibt einen Datenpunkt von einer sogenannten Sorptionskurve.

Im Folgenden werden die ausgewerteten Sorptionsisothermen aus den durchgeführten Versuchsreihen vorgestellt.

2 Sorptionsisotherme

Die sogenannten Sorptionsisothermen sind baustoffabhängig. Sie beschreiben die Wasseraufnahme und -abgabefähigkeit aus der Luft für einen porösen Baustoff. Eine Sorptionskurve eines Baustoffs wird nach der DIN EN ISO 12571 [1] als eine Kurve definiert, die an einer Reihe steigender relativer Luftfeuchten im Gleichgewichtsfeuchtezustand bei einer festgelegten Temperatur ermittelt wurde. Darin kann zu jeder relativen Luftfeuchtigkeit die Ausgleichsfeuchtigkeit abgelesen werden, die sich innerhalb eines Baustoffs unter den entsprechenden Klimabedingungen einstellt.

Im Allgemeinen lagern die zementären Estriche bei gleicher relativer Luftfeuchtigkeit mehr Wasser an als Calciumsulfatestriche. Hierfür ist im Wesentlichen der große Anteil an sehr kleinen Poren – den sogenannten Gelporen – verantwortlich. Durch die größere innere Oberfläche und andere Hydratphasen können die zementären Estriche mehr Wassermoleküle adsorptiv binden.

Allgemein gilt: Je größer die Ausgleichsfeuchtigkeit ist, desto größer ist der adsorbierte Wassergehalt aus der Umgebungsluft (auch Feuchtegehalt genannt). Bei der folgenden Auswertung wird auf den Schnellzementestrich (Prüfkörper 3) nicht eingegangen. Aufgrund seiner anderen Zusammensetzung fällt der Schnellzementestrich (Prüfkörper 3) aus dem Verhaltensraster der anderen Schnellzementestriche bei allen Sorptionsisothermen heraus.

2.1 Sorptionsisothermen bei einer Temperatur von 15°C bzw. 25 °C

Im Folgenden werden die Sorptionsisothermen zu beiden Temperaturen und beiden Vorlagerungsbedingungen aus der Versuchsreihe vorgestellt (siehe Bild 2 bis Bild 5).

Jedes Bindemittelsystem bildet eine abgegrenzte Gruppe (in den Diagrammen mit geschweifter Klammer gekennzeichnet). Die Sorptionskurve der Schnellzementestriche liegt bei allen relativen Luftfeuchtigkeiten über den Normalzement- und Calciumsulfatestrichen. Somit weisen die Schnellzementestriche die größte Feuchteaufnahmefähigkeit aus der Umgebungsluft auf.

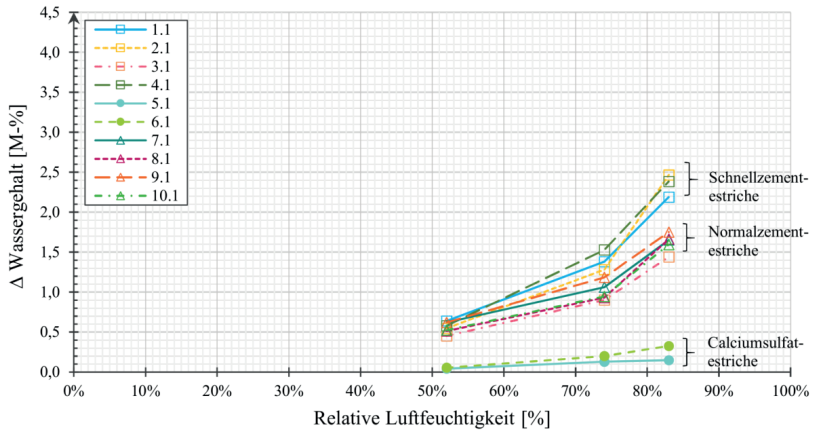


Bild 2 Sorptionsisotherme der Vorlagerung 1 „feucht“ bei 15 °C

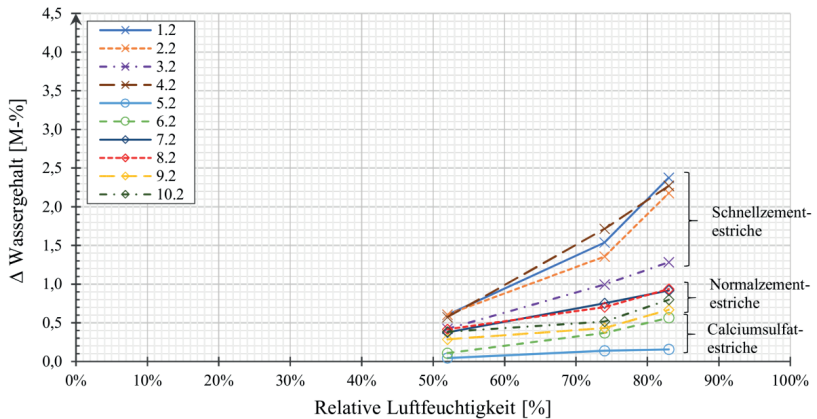


Bild 3 Sorptionsisotherme der Vorlagerung 2 „trocken“ bei 15 °C

Mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit steigt die Differenz zwischen den Kurven der Schnellzementestriche und der Normalzementestriche stetig an. Insgesamt liegen die Sorptionskurven der Calciumsulfatestriche deutlich unter den zementären Estrichen. Hierfür ist der bereits erwähnte höhere Anteil an Gelporen der zementären Estrichen im Vergleich zu den Calciumsulfatestrichen verantwortlich, die keine Gelporen ausbilden.

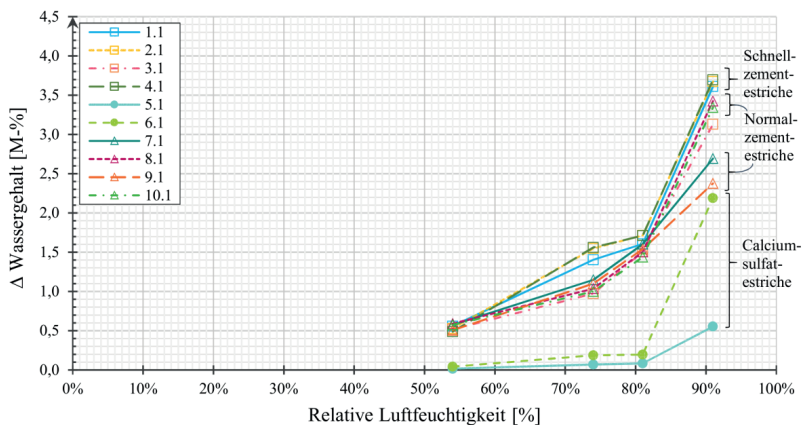


Bild 4 Sorptionsisotherme der Vorlagerung 1 „feucht“ bei 25 °C

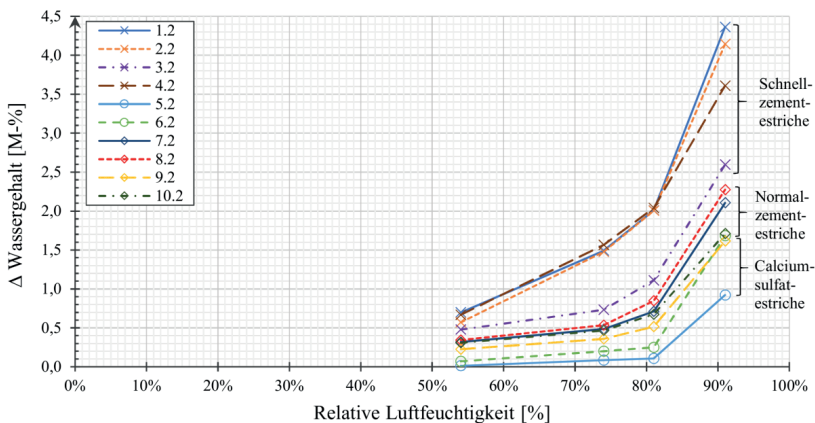


Bild 5 Sorptionsisotherme der Vorlagerung 2 „trocken“ bei 25 °C

2.2 Auswirkungen der Vorlagerungen auf das Sorptionsverhalten

Die zwei unterschiedlichen Vorlagerungsbedingungen Vorlagerung 1 „feucht“ (95 % r. F.) und Vorlagerung 2 „trocken“ (50 % r. F.) in den ersten 28 Tagen nach der Herstellung bis zur vollständigen Erhärtung spiegeln den Einfluss der Klimabedingung auf der Baustelle (Jahreszeit, Luftfeuchtigkeit, Temperatur) wieder.

2.2.1 Schnellzementestriche

Bei einer Temperatur von 15 °C sind die Auswirkungen der Vorlagerungen bei-
nahe vernachlässigbar. Jedoch hebt die vergrößerte Darstellung der Messwerte
bei 74 % r. F. hervor, dass die Vorlagerung 2 „trocken“ für jede Mischung jeweils
geringfügig größere Werte erreicht (s. Bild 6).

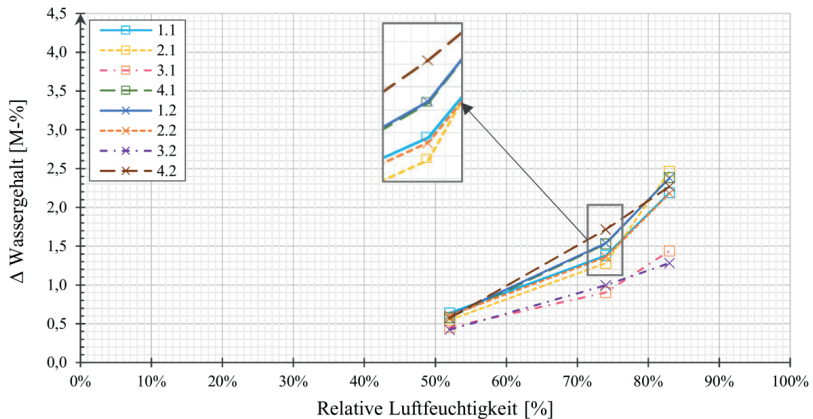


Bild 6 Sorptionsisotherme von Schnellzementestrichen im Vergleich der Vorlagerung 1 „feucht“ und der Vorlagerung 2 „trocken“ bei 15 °C

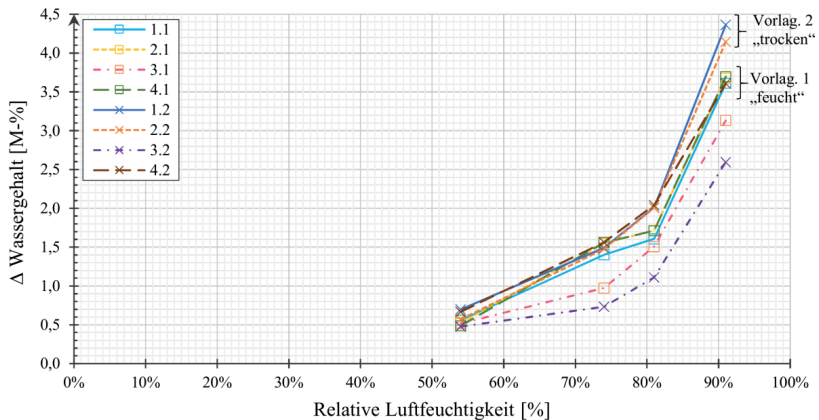


Bild 7 Sorptionsisotherme von Schnellzementestrichen im Vergleich der Vorlagerung 1 „feucht“ und der Vorlagerung 2 „trocken“ bei 25 °C

Hingegen sind die Auswirkungen bei einer Temperatur von 25 °C deutlich auffälliger (s. Bild 7). Die Einflüsse der Vorlagerungen in den ersten 28 Tagen nach Herstellung nehmen mit steigender Luftfeuchtigkeit zu. Im Bereich der hohen Luftfeuchtigkeiten (81 % r. F. bis 91 % r. F.) steigt die Wasseraufnahmefähigkeit aus der Umgebungsluft von der Vorlagerung 2 „trocken“ stärker gegenüber der Vorlagerung 1 „feucht“ an. Das bestätigt den zu erwartenden Effekt, dass trockene Klimabedingungen in den ersten 28 Tagen nach Herstellung im vollständig erhärteten Zustand bei Schnellzementestrichen bei hohen Umgebungsfeuchtigkeiten (> 80 % r. F.) eine größere Feuchteaufnahmefähigkeit aus der Luft bewirken.

2.2.2 Normalzementestriche

Die Auswirkungen der Vorlagerungen auf die Normalzementestriche sind bei beiden Temperaturen analog. Die Vorlagerung 1 „feucht“ führt bei beiden Temperaturen zu einer deutlich größeren Wasseraufnahmefähigkeit aus der Umgebungsluft (vgl. Bild 8 und Bild 9).

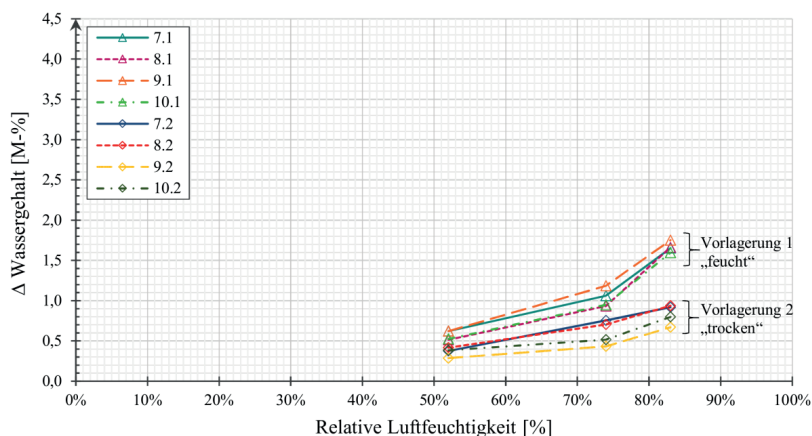


Bild 8 Sorptionsisotherme von Normalzementestrichen im Vergleich der Vorlagerung 1 „feucht“ und der Vorlagerung 2 „trocken“ bei 15 °C

Im Bereich von sehr hohen relativen Luftfeuchtigkeiten (81 % r. F. bis 91 % r. F.) bei 25 °C entstehen deutliche Unterschiede zwischen den Prüfkörper 7 bis 10 bei der gleiche Vorlagerung (s. Bild 9). Der aufnehmbare Wassergehalt aus der Umgebungsluft von Prüfkörper 8 und 10 (höherer w/b-Wert) liegt um bis zu einem Massenprozent über Prüfkörper 7 und 9. Demzufolge ist ein höherer w/b-Wert bei gleichem Bindemittelgehalt verantwortlich für ein stärkeres

Sorptionsverhalten bei sehr hohen relativen Luftfeuchtigkeiten. Das gleiche Verhaltensmuster ist bei Vorlagerung 2 ersichtlich. Prüfkörper 8 erzielt höhere Werte als Prüfkörper 7 und Prüfkörper 10 höhere Werte als Prüfkörper 9. Hinsichtlich Vorlagerung 2 ist ein klarer Verlauf von Prüfkörper 7 und 8 über Prüfkörper 9 und 10 bei beiden Temperaturen zu verzeichnen. Schlussfolgernd führt ein höherer Bindemittelgehalt (Prüfkörper 7 und 8) zu einem stärkeren Sorptionsverhalten.

Allgemein ist der Einfluss der Vorlagerungen bis zur vollständigen Erhärtung bei den Normalzementestrichen größer als bei den ternären Schnellzementestrichen.

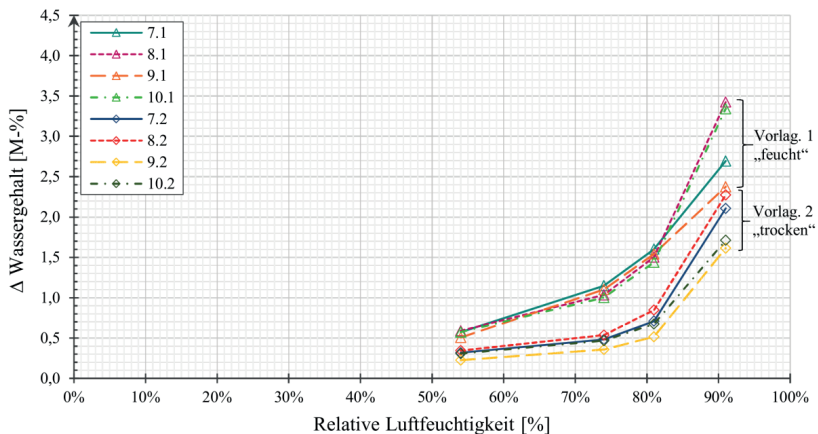


Bild 9 Sorptionsisotherme von Normalzementestrichen im Vergleich der Vorlagerung 1 „feucht“ und der Vorlagerung 2 „trocken“ bei 25 °C

2.2.3 Zusammenfassung/Auswertung

Wie aufgrund der unterschiedlichen Hydratationsprodukte, dem unterschiedlichen zeitlichen Verlauf der Hydratation und der deutlich unterschiedlichen Porengrößenverteilung zu erwarten war, liegen signifikante Unterschiede zwischen den Calciumsulfat-, Portlandzement- und Schnellzementgebundenen Estrichen vor. Allen gemeinsam ist die deutliche Zunahme der Feuchte aus der Luft ab rel. Luftfeuchten > 74 % und besonders stark ab 81 % r. F. Die Schnellzementestriche zeigen aufgrund ihrer größeren Hydratwasserbindung die größte Adsorption. Die größere Hydratwasserbindung wurde analytisch mittels Differenzthermoanalyse (DTA) der Materialien bei vollständiger Hydratation vor Beginn der Sorptionsmessungen erfasst. Die erhöhte Hydratwasserbindung ist auch der Grund für die

verkürzten Trocknungszeiten der Schnellzementestriche nach deren Verlegung und deren schnelle Desorption.

Die Eigenschaft der Schnellzementestriche mehr Wassermoleküle zu binden, bedeutet nicht, dass diese feuchter sind. Die chemische Zusammensetzung erhöht lediglich die Fähigkeit der Wassereinlagerung, wodurch die Schnellzementestriche den Zeitpunkt der Belegreife früher erreichen.

Gegenüber den Schnellzementen weisen die Sorptionskurven der Normalzementestriche einen geringeren Wassergehalt auf. Im Hinblick darauf erreichen die Calciumsulfateestriche mit Abstand die geringste Adsorption. Demnach lagern die zementären Estriche bei gleicher relativer Luftfeuchtigkeit mehr Wasser ein als die Calciumsulfateestriche. Hierfür ist im Wesentlichen der große Anteil an Gelporen im Zementstein verantwortlich, welcher durch die Untersuchung mit Quecksilberporosimetrie nachgewiesen werden konnte. Die kleinen Poren haben eine wesentlich größere innere Oberfläche, wodurch die Zementestriche mehr Wassermoleküle binden. Da die Calciumsulfateestriche beinahe keine Gelporen besitzen, liegen deren Ausgleichsfeuchten entsprechend niedriger. Die Quecksilberporosimetrie bestätigte auch, dass die Calciumsulfateestriche fast ausschließlich aus Kapillarporen bestehen. Ein niedrigerer Bindemittelanteil reduziert bei Zementestrichen den Gelporenanteil. Zusätzlich erhöht ein hoher w/b -Wert die Gesamtporosität. Bei gleichem Bindemittelanteil reduziert ein höherer w/b -Wert die Rohdichte und erhöht den Anteil an Kapillarporen.

Des Weiteren ist ein deutlicher Einfluss der Vorlagerungen, also der Klimabedingung in den ersten 28 Tagen nach der Herstellung bestätigt. Die beiden unterschiedlichen Vorlagerungen haben Auswirkungen auf das Maß der Wasseraufnahmefähigkeit aus der Umgebungsluft.

Höhere Ausgleichsfeuchten werden bei den Schnellzementestrichen der Vorlagerung 2 „trocken“ bei einer Temperatur von 25 °C festgestellt. Hingegen sind bei einer Temperatur von 15 °C nur geringfügige Unterschiede festzustellen.

Im Vergleich wirken sich die unterschiedlichen Vorlagerungsbedingungen am stärksten auf die Normalzementestriche aus. Diese erreichen bei der Vorlagerung 1 „feucht“ – im Gegensatz zu den Schnellzementestrichen – temperaturabhängig größere Ausgleichsfeuchten. Ein höherer w/b -Wert verursacht bei gleichem Bindemittelgehalt ein stärkeres Sorptionsverhalten. Des Weiteren führt ein höherer Bindemittelgehalt zu höheren Ausgleichsfeuchten.

3 CM- und KRL-Methode im Vergleich

In Fachkreisen wird die praktische Einsetzbarkeit der sogenannten KRL-Messmethode (KRL=Korrespondierende relative Luftfeuchtigkeit) derzeit viel und kontrovers diskutiert. Aus diesem Grund wird eine Vergleichsmessung zwischen der in der Norm verankerten, jahrzehntelang bewährten handwerksüblichen CM-Methode und der verhältnismäßig neuen KRL-Methode durchgeführt. Des Weiteren werden die Darrwerte, die üblicherweise als Referenzgröße bei Materialfeuchtemessungen dienen, für die Überprüfung herangezogen.

Betrachtet werden zum einen Messungen an vier Monate alten Proben, die sich im Ausgleichsfeuchtezustand 81 % r. F. befinden. Zum anderen folgen Messungen an frisch hergestellten Proben, die sich im Bereich der Belegreife befinden.

3.1 KRL-Messmethode

Nach dem Merkblatt 18 der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) ist die korrespondierende relative Luftfeuchte „diejenige relative Luftfeuchte in Prozent [% r. F.], die sich im Luftraum über einer Stemmprobe des zu messenden Materials im Gleichgewichtszustand einstellt“ [2].

Die Probenentnahme und -vorbereitung wird analog zur CM-Messung durchgeführt. Die KRL-Messung am zerkleinerten, homogenisierten, abgewogenen Prüfmaterial kann in einem Polyethylen-Beutel (= PE-Beutel) oder einer Stahlflasche erfolgen (s. Bild 10).

Bei Verwendung eines PE-Beutels wird die Messsonde in den PE-Beutel eingeführt. Anschließend wird die Luft mit der Hand ausgestrichen. Der Beutelrand wird an dem Sondenstab mit einem Klebeband rundum angeklebt und somit verschlossen. Alternativ kann eine PE- oder Stahlflasche verwendet werden. Diese wird direkt nach dem Einfüllen des Prüfmaterials mit der im Verschluss eingebauten Messsonde verschlossen. Wenn



Bild 10 Mögliche Geräteanordnung zu KRL-Messmethode

sich der Messwert am Gerät innerhalb von 3 Minuten nicht wesentlich verändert ($\pm 1\%$ r. F.), ist ein Gleichgewicht erreicht. Am Messgerät kann dann die korrespondierende relative Luftfeuchtigkeit abgelesen werden. Im Temperaturbereich $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ können laut dem TKB-Merkblatt 18 maximale Schwankungen von \pm

2 % r. F. auftreten (vgl. [2]). Als Richtwert für die Belegreife werden 75 KRL-% bei unbeheizten und 65 KRL-% bei beheizten Estrichen angegeben.

3.2 Vier Monate alte Proben im Ausgleichsfeuchtezustand

Die Probekörper befinden sich zum Zeitpunkt der Messung im Zustand der Ausgleichsfeuchte 81 % r. F. bei 25 °C. Es handelt sich um Prüfkörper der Vorlagerung 2 „trocken“, d. h. sie wurden 28 Tage bei 23 °C und 50 % r. F. nach der Herstellung gelagert. Im Anschluss folgte eine Trocknung auf Massenkonzanz bei der zugehörigen Darrtemperatur. Daraufhin lagerten die trockenen Prüfkörper in einem Exsikkatorschrank bei 81 % r. F. und 25 °C bis zum Erreichen der Massenkonzanz.

Raumklima: 21°C / 33% r. F.

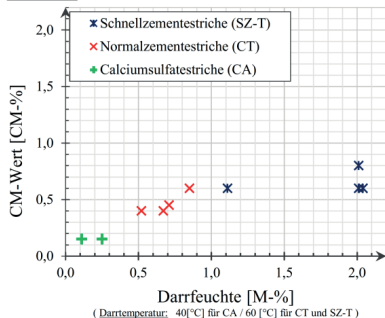


Bild 12 CM-/Darr-Werte Ausgleichsfeuchte 81 % r. F.

Raumklima: 21°C / 33% r. F.

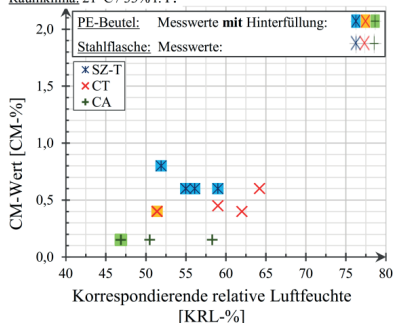


Bild 11 CM-/KRL-Werte Ausgleichsfeuchte 81 % r. F.

Bild 12 zeigt das Verhältnis der gemessenen CM- und Darrwerte. Für die Calciumsulfateestriche wurde eine Darrtemperatur von 40 °C, für die Normalzementestriche und die ternären Schnellzementestriche eine Darrtemperatur von 60 °C gewählt. Die CM-Werte korrelieren mit den Darr-Werten in Form kleiner Toleranzen. Dieser Zusammenhang ist in Fachkreisen bereits sehr lange bekannt. Infolgedessen wurde die CM-Methode nach vielen Jahren als anerkannte Regel der Technik im Jahr 2012 in die Estrich-Norm und Fachregeln auch für andere poröse Baustoffe aufgenommen.

In Bild 11 sind die gemessenen CM- und KRL-Werte im Verhältnis gegenübergestellt. Die Hinterfüllungen der Messpunkte im Diagramm unterscheiden die Messungen im PE-Beutel von den Messungen in der Stahlflasche. Die Messwerte liegen sehr verstreut, wodurch kein klarer Zusammenhang erkennbar ist. Entgegen

der angegebenen notwendigen Messdauer von 30 min hat sich der KRL-Messwert selbst nach 1 h nicht stabilisiert. Werden die Messwerte der Calciumsulfatestriche (grüne Messpunkte) mit den Normalzementestrichen (rote Messpunkte) verglichen, ist eindeutig eine Materialabhängigkeit zu erkennen. Außerdem liegt eine breite Streuung der Messwerte vor. Für CM-Werte im Bereich von 0,4 CM-% bis 0,6 CM-% liegen die zugehörigen KRL-Werte bei 51 KRL-% bis 64 KRL-% (s. Messwerte Normalzementestrichen). Wäre die KRL-Messung materialunabhängig, so müssten die KRL-Messwerte linear mit den CM-Messwerten ansteigen. Somit lässt sich mit der KRL-Messung keine vergleichbare Aussage treffen.

Die Handhabung der KRL-Messung im PE-Beutel ist schwierig und das Verschließen der PE-Beutel mit Klebeband an den Messsonden sehr fehleranfällig. Der Luftraum in den PE-Beuteln ist nicht definiert. Ebenso ist es unmöglich zu erwarten, dass die sensiblen Messsonden (trotz Staubschutz) dauerhaft brauchbare Messwerte liefern. Aus diesen Gründen werden die folgenden KRL-Messungen ausschließlich mit einer Stahlflasche durchgeführt.

Da es sich um sehr geringe Feuchtegehalte handelt, werden im folgenden Abschnitt die zwei Messmethoden bei frisch hergestellten Estrichen im kritischen Bereich der Belegreife untersucht.

3.3 3 – 10 Tage frische Proben

Im Folgenden wird ein Vergleich der Messmethoden zur Bestimmung der Belegreife an „frisch“ hergestellten Proben durchgeführt. Nach Herstellerangaben wird für den Zeitpunkt der Messungen der ungefähre Zeitpunkt der Belegreife (zwischen 3 bis 10 Tagen) ausgewählt. Wie bereits bei den vier Monaten alten Proben im vorherigen Abschnitt, werden für die frischen Proben auch die Darrwerte ermittelt. In Bild 14 sind die CM-Werte den Darrfeuchten gegenübergestellt. Insgesamt erfüllen alle Prüfkörper zum Zeitpunkt der Messung die Anforderungen an die Belegreife (CM-Grenzwert für unbeheizte Estriche: 2,0 CM-% (SZ-T und CT) / 0,5 CM-% (CA)). Im Gegensatz dazu würde kein Prüfkörper bei einer Beurteilung durch die KRL-Werte die Belegreife zum Zeitpunkt der Messung erreichen. In Bild 13 sind die gemessenen KRL-Werte den CM-Werten gegenübergestellt. Alle KRL-Messwerte liegen deutlich über dem Grenzwert 75 KRL-%.

Raumklima: 20°C / 33% r. F.

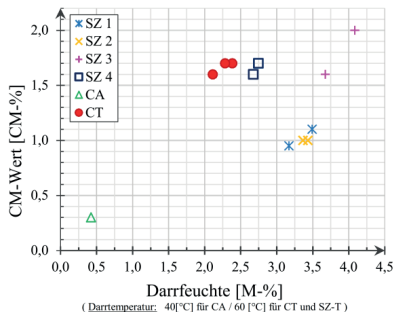


Bild 14 CM-/Darr-Werte für „frische Proben“

Raumklima: 20°C / 33% r. F.

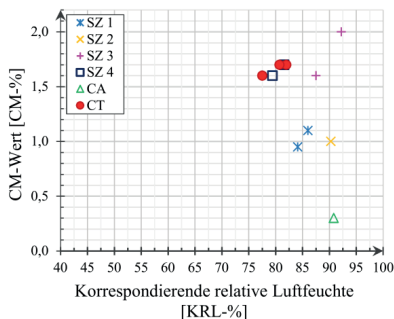


Bild 13 CM-/KRL-Werte für „frische Proben“

3.4 Auswertung

Im Hinblick auf die aktuelle Diskussion über die KRL-Methode konnte eine Baustellentauglichkeit dieser Methode zur Feststellung der Belegreife nicht nachgewiesen werden. Gründe hierfür liefern zum einen die Randbedingungen der Messdurchführung und zum anderen die gemessenen Werte selbst. Die Handhabung der Messung in PE-Beuteln ist schwierig, das Verschließen der PE-Beutel mit Klebeband fehleranfällig, der Luftraum ist nicht definiert, die Messsonden können verschmutzt werden, sind zu sensibel für einen dauerhaften Einsatz und nach mehreren Stunden hat sich immer noch kein stabiler Wert eingependelt. Mit der Untersuchung an vier Monate alten Proben konnte eine Materialabhängigkeit aufgezeigt werden. Bei gleichen CM-Werten wurden je nach Material unterschiedliche KRL-Werte gemessen.

Aufgrund der oben genannten Gründe wurden die Untersuchungen an den frischen Proben im Bereich der Belegreife ausschließlich mit Messungen in der Stahlflasche durchgeführt. Trotz einer etwas besseren Handhabung konnten keine Messwerte erzielt werden, die einen brauchbaren Rückschluss auf die Belegreife zuließen. Obwohl mithilfe der CM-Methode eine Belegreife sichergestellt werden konnte, lagen die zugehörigen KRL-Werte um 10 bis 15 KRL-% über dem Grenzwert von 75 KRL-% bei der Untersuchung der frischen Proben. Im Gegensatz dazu lieferte die CM-Messung erwartungsgemäß brauchbare Werte. Der Einsatz des CM-Gerätes hat sich viele Jahre als anerkannte Regel der Technik in der Praxis bewährt und ist seit dem Jahr 2012 in die Norm aufgenommen. Entsprechend der relativen Luftfeuchte und Lufttemperatur im Raum, der die

jeweilige Estrichoberfläche nach dem Einbau und der Erhärtung ausgesetzt ist und mit dem diese in Wechselwirkung steht, wird der Feuchtegehalt des Estrichs durch dessen charakteristische Adsorption beeinflusst. Da die SZ-gebundenen Estriche, bedingt durch ihre anderen Hydratationsprodukte und andere Porengrößenverteilung, eine gravierend andere Sorption zeigen, ist es unmöglich, deren Feuchtegehalte über einheitliche materialunabhängige KRL-Werte zu beschreiben. Wie der Vergleich der Sorptionsisothermen bei 15 °C und 25 °C zeigt, ist auch eine signifikante Temperaturabhängigkeit vorhanden. Das heißt, die KRL-Methode kann auch nicht temperaturunabhängig sein.

Basierend auf allen Versuchsergebnissen wird letztendlich im Rahmen dieser vergleichenden Untersuchungen an unterschiedlichen handelsüblichen, unter Praxisbedingungen hergestellten Estrichen von dem alleinigen Gebrauch der KRL-Methode abgeraten. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass keine aussagekräftigen Erkenntnisse zur Bestimmung der Belegreife erzielt werden können. Als Basis zur Entscheidungsfindung, ob zusätzliche, gegen Feuchte sperrende Maßnahmen am Objekt getroffen werden müssen, ist die KRL-Methode nicht geeignet.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 12571:2013-12, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften.
- [2] Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e. V., TKB-Merkblatt 18: KRL-Methode - Messung und Beurteilung der Feuchte von mineralischen Estrichen, Düsseldorf, 08-2018.

Bestandsaufnahme historischer Turmdachziegel der St. Martin und Georg Kirche in Sipplingen

Patricia Wobschal, Radolfzell

Zusammenfassung

Die Kirche St. Martin und Georg in Sipplingen besitzt eine einzigartige Turmdacheindeckung. Sie besteht aus glasierten historischen Dachziegeln, die in einem aufwändigen Muster verlegt worden ist.

Auf Grund von herabfallenden Dachziegeln war eine Sanierung des Turmdachs 2018 unumgänglich. Da die meisten Schäden auf einen Feuchtigkeitseintritt zurückzuführen waren, wurde bei den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen vermehrt auf den konstruktiven Holzschutz geachtet.

Das Objektbeispiel zeigt, dass eine Nachstellung von Bestandziegeln projektbezogen entschieden werden muss. Die Nachstellung ist für ein denkmalgeschütztes Gebäude meist die letzte Möglichkeit, um den historischen Charakter eines Bauwerks zu erhalten und die Kosten im Rahmen zu halten. Darüber hinaus veranschaulicht das Projekt die Wichtigkeit einer sorgfältigen Bestandsaufnahme in der Denkmalpflege. Zum einen dient sie hier als Grundlage der Planung und Dokumentation und zum anderen wird sie als Vorlage für die Neueindeckung des Dachs genutzt.

Zur Prüfung einer Wiederverwendung von historischen Dachziegeln wurden Laborversuche (u.a. Biegezug, Wasseraufnahme/-abgabe) durchgeführt. Sie gaben Aufschluss über die physikalisch-technischen Kennwerte der historischen und neu produzierten Dachziegel, um eine vergleichende Auswertung erstellen zu können. Eine Wiederverwendung von historischen Dachziegeln ermöglicht es, Rohstoffe und Energie einzusparen und ferner zum Erhalt des kulturellen Erbes beizutragen.

1 Einführung

700 Jahre wiesen die ältesten Dachziegel Deutschlands auf. Es gibt keinen vergleichbaren von Menschenhand erschaffenen Baustoff, der eine Dauerhaftigkeit, wie der Dachziegel, hat. Dennoch werden die meisten Dachziegel ohne Bedenken durch neue ersetzt, sobald diese für 'alt' befunden werden.

Dabei weist der Dachziegel eine Vielzahl an Materialeigenschaften auf:

- Dauerhaftigkeit
- Feuerbeständigkeit (Baustoffklasse A1: Nicht brennbar)
- Formbeständigkeit
- Frostwiderstandsfähigkeit
- Fähigkeit der Wasseraufnahme
- Wasserundurchlässigkeit
- UV-, Säure- und Farbbeständigkeit
- Wiederverwendbarkeit und Recyclebarkeit

Grund für diese Eigenschaften ist zum einen der Rohstoff Ton und zum anderen der Brennvorgang im Herstellungsprozess. Beim Brennen beginnt die Oberfläche des Tonscherbens an zu schmelzen und die äußeren Poren verkleinern bzw. verschließen sich. Dieser Vorgang wird Sinterung bezeichnet und beeinflusst u.a. die Festigkeit des späteren Dachziegels.

Desweiteren gibt es Formen der Oberflächengestaltungen wie die Glasur, die zwar primär aus ästhetischen Gründen erfolgt, jedoch sekundär eine zusätzliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen besitzt.[1]

2 Kirche St. Martin und Georg

Die Pfarrkirche St. Martin und Georg befindet sich in Sipplingen (Baden-Württemberg) am nördlichen Bodenseeufer. Das Kirchengebäude ist ein einschiffiges Langhaus aus dem frühen 16. Jahrhundert. An der nördlichen Langhausseite steht der 58 m hohe Kirchturm, der vermutlich aus dem 13. Jahrhundert stammt. Das Außergewöhnliche an diesem Turm ist nicht nur sein besonders hohes und steiles Zeltdach, sondern vor allem seine einzigartige Dacheindeckung. Diese ist mit überwiegend grünlich glasierten Biberschwanzziegeln in einem sich wiederholenden Rautenmuster eingedeckt. In seiner jetzigen Form wurde das Dach im Jahre 1905 aufgesetzt. Die Kirche St. Martin und Georg wurde 1992 in das Denkmalsbuch eingetragen und gilt seither als ein Kulturdenkmal von besonderer Bedeutung. Bild 1 zeigt die Kirche aus der Vogelperspektive. Bisherige Überlieferungen wie das Dach zuvor ausgesehen haben könnte, sind nicht vorhanden. [2],[3]



Bild 1 Kirche St. Martin und Georg in Sipplingen am Bodensee

2.1 Die Turmeindeckung

Das Turmdach ist sowohl mit verschiedenfarbig glasierten Dachziegeln, als auch mit unterschiedlichen Schnitten des Biberschwanzes eingedeckt. Auf dem unteren Drittel des Dachs und den Giebelflächen ist überwiegend der grünlich-türkise Spitzschnitt vorzufinden. Diese Schnittform, die auch Sechseckschnitt bezeichnet wird, war in der Gotik bevorzugt worden. Die rotbräunliche Umrandung der Rauten ist ebenfalls mit dem Spitzschnitt verlegt worden. Die Zwischenräume sind mit grasgrünen Eselsrücken ausgefüllt. Diese Schnittform war wiederum in der Renaissance weit verbreitet. Eingfasst sind die Rauten mit einem Streifen, der aus gotischem Spitzbogen und mit Segmentbögen (Barock) besteht. Bild 2 zeigt die Unterschiede der genannten Biberschwanzschnitte auf und in Bild 3 wird die beschriebene Musterdeckung mit Fotos veranschaulicht. Die Grate sind mit schwarzen Gratziegeln im Mörtelbett verlegt worden. Die Musterdeckung trägt dazu bei, dass der Kirchturm als ein markantes Denkmal das Erscheinungsbild Sipplingens prägt. Solch ein Wechselspiel von verschiedenen Farben und Formen auf dem Dach einer Dorfkirche in der Bodenseeregion ist außergewöhnlich und zeugt von Seltenheit. [4]

Auf Grund dessen wurde bei der anstehenden Sanierung auf die handgefertigten Biberschwanzziegel (Handstrichbiber) besonderen Wert gelegt.

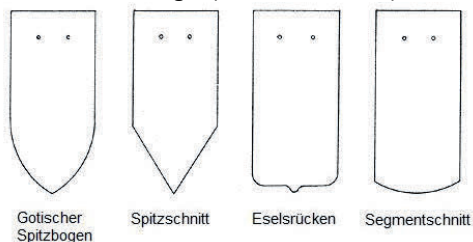


Bild 2 Schnittformen des Biberschwanzziegels

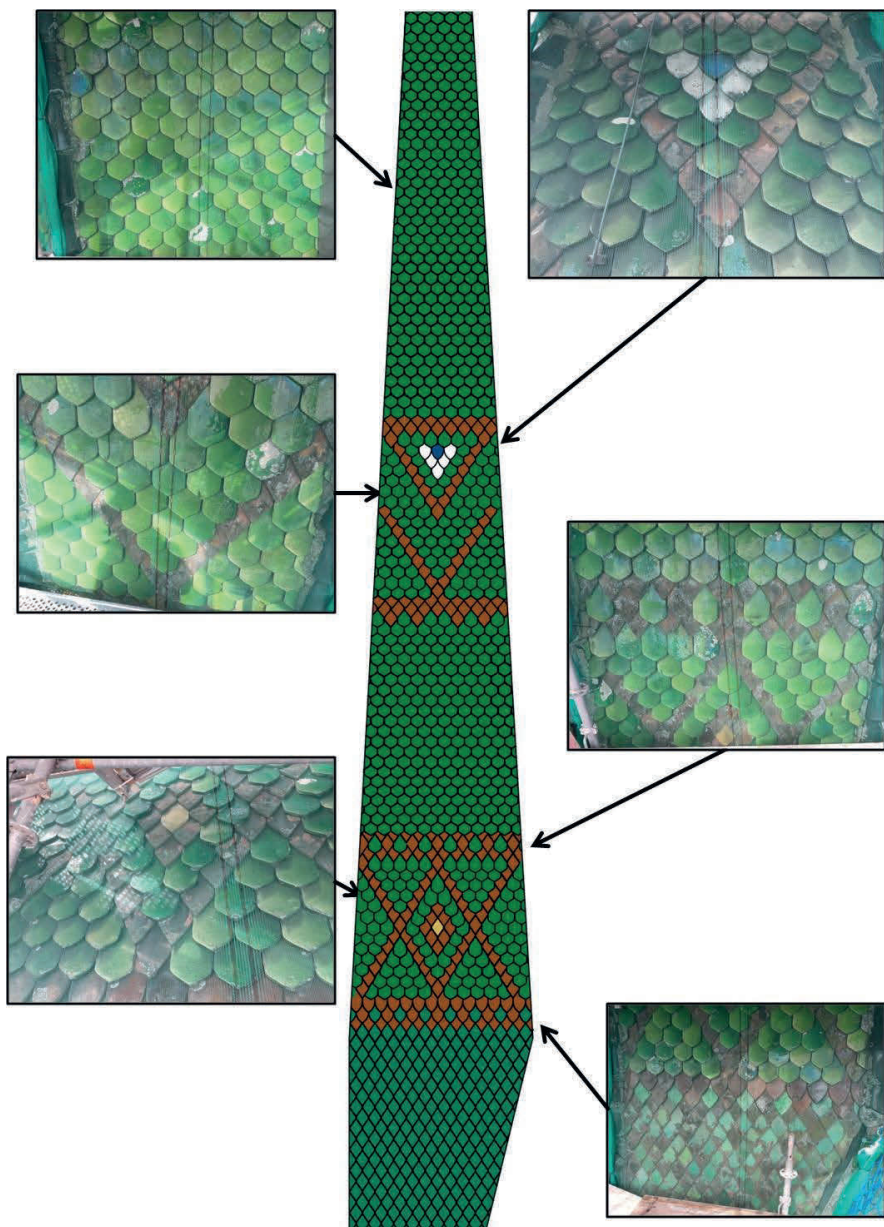


Bild 3 Darstellung des Dachmusters mit ergänzenden Fotos

2.2 Sanierungsmaßnahmen am Dach

2.2.1 Erfassung des Dachmusters mit Hilfe von CAD

Damit die vorgefundene Musterdeckung während der Neueindeckung in gleicher Art und Weise wiederhergestellt werden konnte, wurde eine vollständige, maßstäbliche CAD-Zeichnung als Bestandsaufnahme der Dachziegel und des Musters erstellt. Bei der Erstellung der CAD-Zeichnung wurde die Dachfläche der NNO-Seite genau erfasst und auf die übrigen sieben Dachflächen vervielfältigt. Die Messung der Höhenkoten erfolgte, aufgrund der gegebenen Möglichkeiten, mittig. Dafür wurde ein Maßband in die Mitte der Dachfläche angebracht und ein Zeichen-Nullpunkt festgelegt. Unterschiede in der Form und Farbe der Dachziegel, sowie in der Musterlegung wurden anhand einer Fotodokumentation erfasst und im Nachhinein in der CAD-Zeichnung ergänzt. Die aufwändige Musterdeckung und die verschiedenen Schnittformen des Biberschwanzes sind erst durch die CAD-Zeichnung deutlich erkennbar geworden. Es kamen auch Unterschiede in der Musterlegung und der Farbgebung zum Vorschein, sowie nicht in das Gefüge passende Farben und Formen der Dachziegel, die auf Ausbesserungsmaßnahmen oder auf übrig gebliebene Dachziegel schließen ließen.

2.2.2 Vorliegende Befunde

Die historischen Tondachziegel wiesen unterschiedliche Zustände der Beschädigungen auf. Die Dachziegel mit dem Spitzschnitt waren sehr stark verwittert. Bild 4 zeigt, dass eine deutlich fortgeschrittenen Patina vorlag. Ebenso fanden sich Glasurabplatzungen, die bereits vollständig mit Flechten besiedelt waren. Vereinzelt ließen sich abgebrochene und des Öfteren auch fehlende Dachziegel des Spitzschnitts feststellen, die Auswirkungen von Frostschäden waren. Im Gegensatz dazu wiesen die Eselsrücken kaum Verwitterungsschäden auf. Wie in Bild 5 ersichtlich, lagen auf der Oberfläche nur vereinzelt partielle Glasurabplatzungen vor. Auch hier war ein Flechtenbewuchs erkennbar. Die starke Verwitterung und fortgeschrittene Patina der Spitzschnitte deuten darauf hin, dass diese Dachziegel die Ältesten sind. Der Eselsrücken wurde im Gegensatz dazu wohl als Letztes eingedeckt.

In Bild 6 ist zu erkennen, dass vereinzelt Dachziegel vorlagen, die mit einer Schraube durch die Glasur not gesichert wurden. Die Schraube wurde mit einer schwarzen Textur abgedichtet. Das sehr steile Dach und die schlechte Zugänglichkeit des Turms über Hebebühnen o.Ä. erschwerten die bisherigen Instandsetzungsmaßnahmen. Daher wurden zum größten Teil nur provisorische Maßnahmen unternommen.

Entlang der Grate waren vertikal und horizontal verlaufende Risse im Mörtelbett zu erkennen, die bis zu 18 mm Breite aufwiesen (vgl. Bild 7). Fehlstellen und Abplatzungen im Mörtel waren ebenfalls vermehrt festzustellen. Vereinzelt waren abgebrochene und fehlende Gratziegel zu sehen. Wie Bild 8 zeigt, lag morsches Holz an den Fehlstellen vor. Ein deutlicher Abstand hatte sich zwischen der Dachdeckung und dem Mörtel gebildet, wie es in Bild 9 zu sehen ist. Des Weiteren haben sich Flechten auf dem Mörtel und an den Gratziegeln angesiedelt. Dies lässt darauf schließen, dass Niederschlagswasser hinter den Gratziegeln geflossen sein muss. An der Unterkante der Gratziegel befanden sich Gratklammern. Diese waren korrodiert, zum Teil umgebogen oder fehlten bereits.

Im Gratanzfallpunkt an der Nord-West-Ecke wurde ein Pilzbefall festgestellt. Die Untersuchung im Labor hatte ergeben, dass es sich um einen aktiven Doppelbefall des Braunfäule-Erregers und des gelben Porenschwammes handelte (vgl. Bild 10).

In einem der oberen Gratsparren wurde zudem ein Befall des Hausbockkäfers festgestellt.

Alle Abflusstrichter waren von heruntergefallenen Dachziegeln, Dreck und toten Vögeln verstopft (Bild 11).

Aufgrund der hohen Anzahl an herunterfallenden Dachziegeln war seit Anfang 2017 ein Sicherungsnetz über die gesamte Dachfläche befestigt worden.

Fast alle vorliegenden Schäden konnten auf einen Feuchtigkeitseindrang zurückgeführt werden. Das morsche Holz führte dazu, dass sich die Gratsparren unter der Eigenlast und der Last der Dachziegel sichtbar deformierten. In Folge dessen kam die Lattung, die Grat- und Dachziegel ins Rutschen bzw. fielen herunter. Dadurch wurde eine zunehmend undichte Dachhaut verursacht.



Bild 4 Spitzschnitte mit Patina

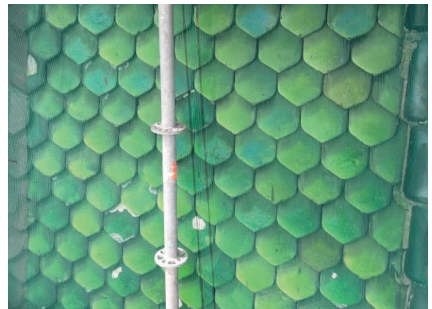


Bild 5 Dacheindeckung mit Eselsrücken



Bild 6 Nagelung durch Glasur mit schwarzer Abdichtungsmasse



Bild 7 Rissbreite von 1,8mm am Mörtelfirst

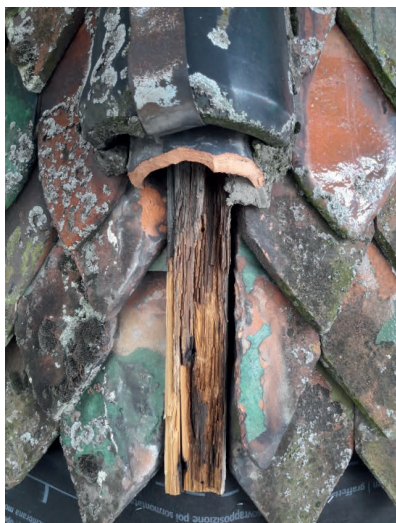


Bild 8 Morsches Holz unter Gratziegel



Bild 9 Deutlicher Abstand zwischen Dachziegel und Mörtel



Bild 10 Würfelbruch im Holz



Bild 11 Verstopfter Abflusstrichter

2.2.3 Durchgeführte Sanierungsmaßnahmen

Bevor die historischen Dachziegel wieder eingedeckt werden konnten, erfolgte eine optische und akustische Kontrolle. Eine zukünftige Inspektion des Dachs kann nur mittels der Dachfenster und Seilkletterern erfolgen. Dies ist auf die eingeschränkte Erreichbarkeit des Turms zurückzuführen. Aus diesem Grund wurden hohe Kriterien an die wieder zu verwendeten Dachziegel gelegt, ohne zu viele auszusortieren. Bei den historischen Dachziegeln, die beide Kontrollen positiv bestanden haben, besteht dennoch keine Garantie, dass diese weiterhin lange auf dem Dach überstehen werden. Dadurch stellen die wiederverwendeten Dachziegel eine mögliche Schwachstelle in dem neu eingedeckten Dach dar. Bei der Neudeckung wurden die neuen mit den alten Dachziegeln vermischt. Es musste darauf geachtet werden, dass ein einheitliches Bild entsteht. Die neu eingedeckten Arbeiten wurden zwischendurch aus verschiedenen Perspektiven und Abständen betrachtet. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass ein harmonisches Erscheinungsbild zu Stande kommt.

Das Dachwerk wurde nach dem Leitsatz "So wenig wie möglich, so viel wie nötig" saniert. Die Lattung der Giebelflächen musste teilweise erneuert werden. Die Gratsparren konnten erhalten werden. Vorhandene Fehlstellen wurden substanzschonend restauriert. Die Gratlatten des Hauptdachs mussten, aufgrund der vorliegenden Schäden, komplett erneuert werden.

Pilz- und Hausbockbefallene Hölzer wurden herausgeschnitten und ersetzt (Sauberschnitt).

Der Mörtelfirst wurde in Hinblick auf den konstruktiven Holzschutz durch einen Trockenfirst ersetzt. Dies wurde in Abstimmung mit dem Denkmalamt aus den nachfolgenden Gründen beschlossen:

- wartungsintensiver Mörtel,
- keine Hinterlüftung der Gratziegel,
- Spannungsrisse durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten der vorliegenden Materialien.

Die Gratziegel wurden an einer Gratklammer und mit Schrauben an der Gratlatte befestigt. Dadurch sind die Gratziegel miteinander verbunden. Eine Kupfernocke befindet sich zwischen dem Gratziegel und der Gratlattung, wie es Bild 12 verdeutlicht. Die Gratlattung ist somit vor eindringendem Wasser geschützt. Zudem wurden korrosionsbeständige Materialien gewählt. Durch den Trockenfirst ist die Hinterlüftung der Gratziegel sichergestellt. Auf diese Weise kann in das Holz eindringende Feuchtigkeit wieder trocknen.

Fanggitter wurden über den Abflusstrichtern angebracht. Damit soll ein erneutes Verstopfen verhindert werden.

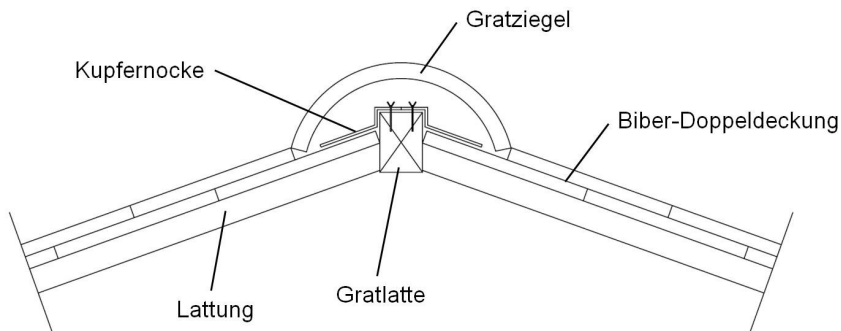


Bild 12 Schematische Darstellung des Gratschnittes

2.2.4 Nachstellung von Dachziegeln

Das Turmdach der St. Martin und Georg Kirche hat nicht nur eine schützende, sondern auch eine repräsentative Aufgabe. Daher waren die glasierten historischen Dachziegel und die aufwändige Musterdeckung besonders erhaltenswert und von großer Bedeutung. Auf Grund dessen musste bei der Dachsanierung darauf geachtet werden, dass möglichst viele Bestandsziegel erhalten werden.

Angesichts der Art und des Umfangs der Schäden war eine teilweise Neudeckung der Dachziegel jedoch unumgänglich. Die bisherigen Reparaturmaßnahmen konnten ein Fortschreiten der Schäden nicht eindämmen. Für die Ausbesserungsmaßnahmen lagen keine Ersatzziegel vor.

Das ehemalige Ziegelwerk ließ sich nicht ausfindig machen, um diese wieder beziehen zu können. Dies lag zum einen an dem fehlenden Herstellerzeichen auf den Dachziegeln und zum anderen an den mangelnden Aufzeichnungen von bisherigen Sanierungen.

Auf Grund dessen wurde gemeinsam mit dem Landesamt für Denkmalpflege die Entscheidung getroffen, dass eine Nachstellung der Dachziegel zwangsläufig erfolgen muss. Aus Kostengründen wurde auf eine Fertigung von Replikaten der Handstrichbiber verzichtet. Stattdessen wurde der Scherben aus neuer Produktion bezogen und die Glasur von Hand aufgetragen. Dadurch wurde die Unikatswirkung der einzelnen Dachziegel beibehalten. Bei einem maschinellen Auftragen der Glasur würde diese Wirkung verloren gehen.

Bild 13 zeigt den direkten Vergleich einer eingedeckten Probefläche mit den neu produzierten und den historischen Dachziegeln. Die Gratziegel wurden, aufgrund ihrer geringen Anzahl von Hand nachgestellt. Die Dachfläche vor und nach der Sanierung ist in Bild 14 dargestellt.



Bild 13 Probееindeckung mit den neuen und alten Dachziegeln



Bild 14 Dachfläche vor und nach der Sanierung

3 Untersuchungen im Labor

Als Proben wurden der Spitzschnitt und der Eselsrücken ausgewählt, da diese die stärksten bzw. die schwächsten Verwitterungsspuren aufwiesen. Zum Vergleich wurden neu produzierte Dachziegel herangezogen.

3.1 Mikroskopische Untersuchung der Oberfläche und des Gefüges

Die mikroskopische Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit machte deutlich, dass Abplatzungen den biologischen Bewuchs und Verfärbungen begünstigen (siehe Bild 15). Die offeneporige Oberfläche kann Feuchtigkeit aufnehmen und Schadstoffe aus der Luft können sich darin festsetzen. Dadurch bietet sie

gute Voraussetzungen zur biologischen Ansiedlung, wie z.B. von Flechten oder Moossporen. Haarrisse ($<0,2$ mm) in der Glasur stellen nach DIN EN 1304 Abs.3.5.14 keinen Strukturfehler dar und ermöglichen den Feuchteaustausch auf der Dachziegeloberfläche. Sie können durch Spannungen entstehen, die während des Herstellungsprozesses ausgelöst werden.

Die mikroskopische Untersuchung des Gefüges zeigte, dass die Herstellungsweisen im Gefüge zu sehen sind. Die vorhandenen Lunker (Luft einschlüsse) sind Anzeichen einer Einbringung von Hand und die grobe Gesteinskörnung einer mechanischen Aufbereitung des Tons (siehe Bild 16). Die neu produzierten Dachziegel charakterisieren ein fein aufbereiteter Ton und keine erkennbaren Luft einschlüsse.

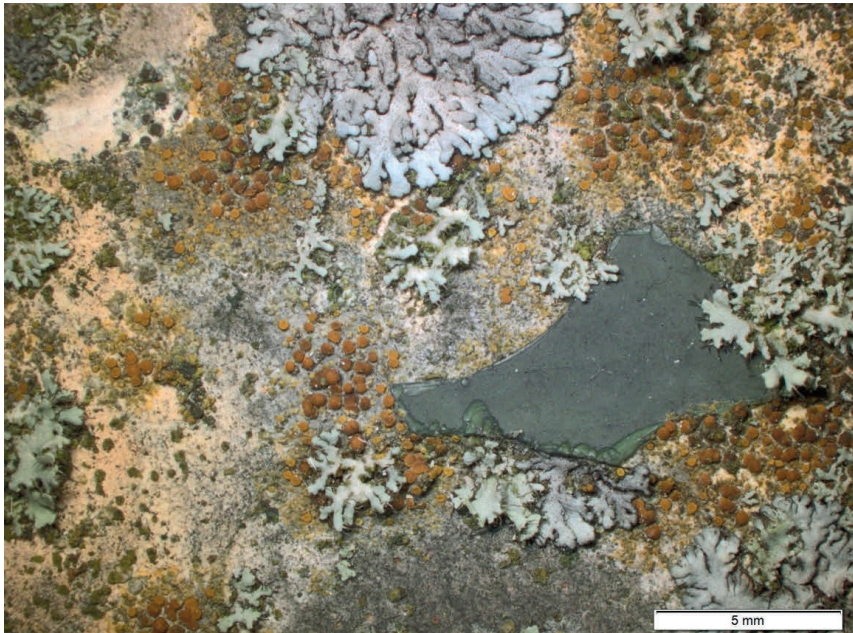


Bild 15 Flechtenbewuchs auf Dachziegel, 6-fache Vergrößerung

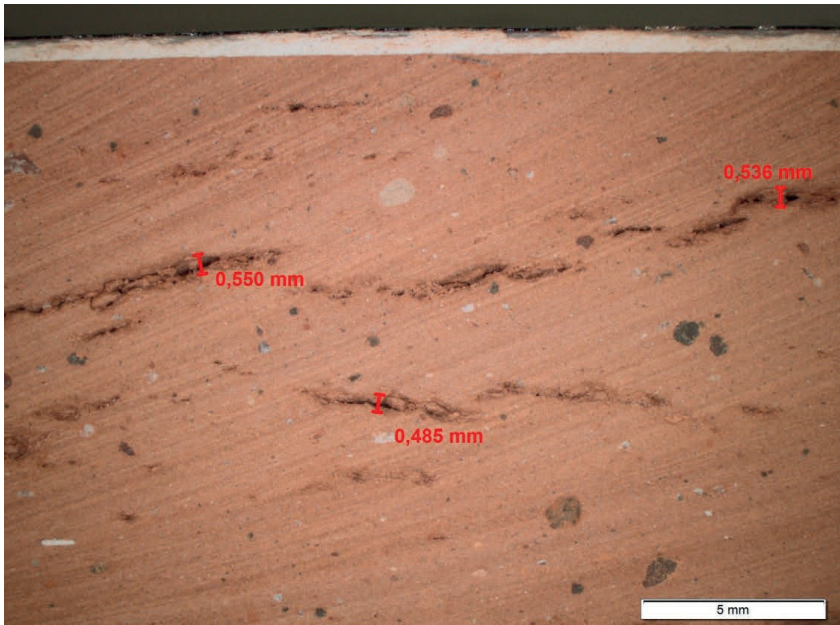


Bild 16 Sichtbare Lunker, 6-fache Vergrößerung

3.2 Biegezugfestigkeit nach DIN EN 538

Mit dieser Prüfung wird die mechanische Festigkeit eines Tondachziegels festgestellt. Dabei wird der Dachziegel auf zwei einfachen Auflagern gelagert und auf Biegung bis zum Versagen beansprucht. Die von der Norm vorgeschriebene Mindestlast beträgt für Biberschwanzziegel 600 N.

Die Ergebnisse des Biegezugversuches verdeutlichen, dass die erreichte Bruchlast der Bestandsziegel die Mindestanforderung der heutigen Norm einhält. Es gibt, bezüglich der Biegezugfestigkeit, somit keine Gründe gegen eine Wiederverwendung der historischen Dachziegel (Bild 17).

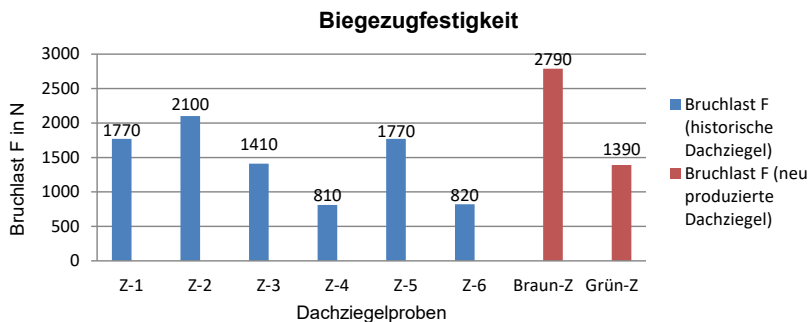


Bild 17 Ergebnisse des Biegezugversuchs

3.3 Kapillare Wasseraufnahme nach DIN EN ISO 15148

Die Kapillare Saugfähigkeit lässt sich durch diese Prüfung bestimmen. Sie erfolgt dabei ohne Druck.

Die Wasseraufnahme der historischen Dachziegel ist fast analog mit der der neu produzierten (Bild 18 und Bild 19). Die Auswertung des kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten (W-Wert) hat ergeben, dass fast alle historischen Dachziegel wasserhemmend sind. Die neu produzierten Dachziegel sind wasserabweisend.

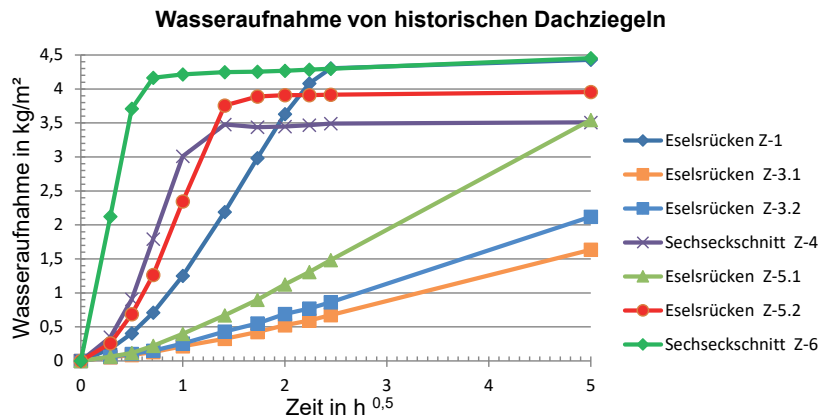


Bild 18 Ergebnisse der Wasseraufnahme der historischen Dachziegel

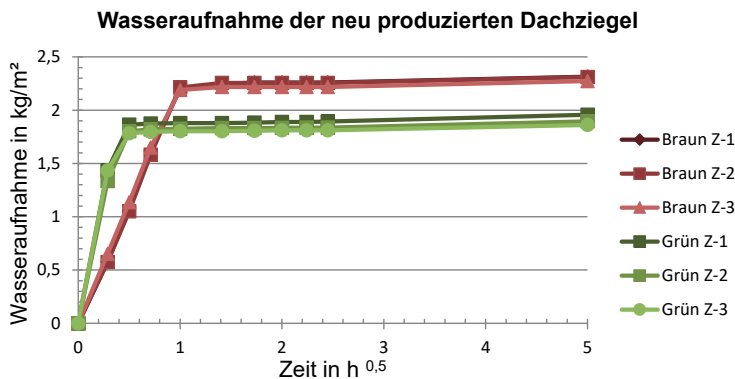


Bild 19 Ergebnisse der Wasseraufnahme der neu produzierten Dachziegel

3.4 Trocknungsverhalten nach DIN EN 16322

Mit diesem Prüfverfahren wird die Wasserabgabe von porösen anorganischen Materialien bestimmt. Es soll Aufschluss geben, wie lange es dauert, bis ein wassergesättigter Dachziegel trocknet. Dadurch kann in Abhängigkeit der zuvor ermittelten Wasseraufnahme abgeschätzt werden, wie anfällig ein Dachziegel auf mögliche Frostschäden durch aufgenommenes Wasser ist.

Der Trocknungsversuch weist Parallelen zwischen der Wasseraufnahme und -abgabe auf. Die Proben, die das Wasser schnell aufgenommen haben, haben dieses auch genauso schnell wieder abgegeben und umgekehrt.

3.5 Ergebnis

Durch die durchgeführten Laborversuche konnte aufgezeigt werden, dass die ermittelten physikalisch-technischen Kennwerte der historischen Dachziegel mit den der neu produzierten durchaus vergleichbar sind. Sofern keine größeren Abplatzungen und keine starke Verwitterung der Dachziegeloberfläche vorliegen, gibt es keine Bedenken einer Wiederverwendung von historischen Dachziegeln. Eine alljährliche Inspektion der Dacheindeckung und des Dachstuhls ist empfehlenswert, damit mögliche Ursachen für Schäden und die Schäden selbst frühzeitig erkannt werden.

Literatur

- [1] Bender, Willi: Vom Ziegelgott zum Industrieelektriker: Geschichte der Ziegelherstellung von den Anfängen bis heute, Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., Bonn 2004.
- [2] Maier, Kurt-Erich: Sipplingen am Bodensee: Die Geschichte eines Dorfes von 1968 bis 1999, Bresto Media Druck, Stockach 1999.
- [3] Binder, Kurt: Sipplingen: Vom Pfahlbaudorf zum Ferienort, o.V., Sipplingen 2005.
- [4] Bender, Willi; Schrader, Mila: Dachziegel als historisches Baumaterial: Ein Materialleitfaden und Ratgeber, Edition: anderweit Verlag GmbH, Suderburg-Hösseringen 1999.

DIN 4108 versus DIN 13788

Hartwig M. Künzel, Holzkirchen

Zusammenfassung

Die gleichzeitige Existenz unterschiedlicher deutscher/europäischer Normen zu ähnlichen Themen löst in der Praxis manchmal Verwirrung aus, wenn es darum geht, welche Norm im Einzelfall gilt. Beim Feuchteschutz gibt es zwei europäische Normen, die die Voraussetzungen und Grundlagen jeweils eines Verfahrens zur Feuchteschutzbeurteilung beschreiben. Die DIN EN ISO 13788 beschreibt die Beurteilung mithilfe des Glaserverfahrens und die DIN EN 15026 mithilfe der hygrothermischen Simulation. Die DIN 4108-3 stellt die deutsche Anwendungsnorm für den klimabedingten Feuchteschutz dar. Sie bezieht sich sowohl auf die 13788 als auch auf die 15026, wobei sie die Anwendungsvoraussetzungen präzisiert und die jeweiligen Randbedingungen vorgibt. Im Fall der 13788 geht sie allerdings noch darüber hinaus, indem sie das Verfahren selbst modifiziert, d.h. sie macht aus einem Monatsbilanzverfahren ein solches mit Blockrandbedingungen, welches nur eine Tauwasserperiode und eine Verdunstungsperiode kennt.

Dieser Artikel fasst zusammen was Feuchteschutz bedeutet und welche Nachweisverfahren die DIN 4108-3 vorgibt. Dabei wird das dreistufige Nachweisverfahren der Norm und die jeweiligen Anwendungsbereiche genauer erläutert. Während die erste Stufe eine Liste nachweisfreier Konstruktionen enthält, beziehen sich die anderen beiden Stufen auf einen rechnerischen Nachweis entweder durch eine stationäre Dampfdiffusionsberechnung oder durch hygrothermische Simulation.

1 Einleitung

Der Feuchteschutz dient neben der Hygiene für die Nutzer vor allem der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Konstruktionen. Durch die Notwendigkeit die CO₂-Emissionen im Bausektor wirksam reduzieren ist dessen Bedeutung weitergewachsen, denn mit der Verbesserung von Wärmedämmung und Gebäudedichtheit sind auch die Feuchtelasten gestiegen. Das liegt einerseits an der tendenziell höheren Raumluftheuchte in dichten Gebäuden, andererseits nimmt durch die größeren Temperaturunterschiede zwischen innerer und äußerer Bauteiloberfläche die Gefahr von Tauwasserbildung zu. Da weniger Wärme aus dem Raum in der Gebäudehülle ankommt, kann weniger Wasser verdunsten, so dass unplanmäßig eingedrungene Feuchte, wie z. B. Tauwasser durch Luftkonvektion oder Baufeuchte, zu einem Schadensrisiko werden kann.

Weiterhin sollten in möglichst vielen Gebäuden nachwachsende Rohstoffe Anwendung finden, da bei Baukonstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen das gebundene CO₂ aus der Wachstumsphase im Gebäude gespeichert bleibt. Wichtig ist natürlich, dass dabei auch die Aspekte des Feuchteschutzes angemessen berücksichtigt werden, denn nur langlebige Bauteile speichern das CO₂ auch dauerhaft und sparen zudem Reparatur- und Sanierungskosten. Es kommt also immer mehr auf die richtige Feuchteschutzplanung und eine fachlich einwandfreie Ausführung an. Die deutsche Norm zur Feuchteschutzbeurteilung von Baukonstruktionen ist die DIN 4108-3 (2018). Sie enthält ein Beurteilungskonzept, das neben einer Liste von nachweisfreien Konstruktionen, die Möglichkeit eines rechnerischen feuchtetechnischen Nachweises enthält. Dieser kann sowohl mithilfe einer einfachen Dampfdiffusionsberechnung in Anlehnung an die DIN EN ISO 13788 (2012) durchgeführt werden als auch durch eine hygrothermische Simulation erfolgen. Da es je nach Bauteilart und Randbedingungen bestimmte Einschränkungen bei der Zuverlässigkeit der Beurteilungsmethoden gibt, werden in der DIN 4108-3 entsprechende Hinweise zu deren Auswahl gegeben.

2 Was bedeutet Feuchteschutz

Vor der Auswahl geeigneter Feuchteschutzmaßnahmen ist eine Analyse der klimatischen Bauteilbeanspruchungen erforderlich. Weicht das Raumklima von den üblichen Verhältnissen in Wohn- oder Bürogebäuden ab, hat das häufig große Auswirkungen auf das Feuchteverhalten einer Konstruktion. Standardlösungen, wie sie in Normen, Verbandsrichtlinien oder Produktbeschreibungen zu finden sind, können hier Probleme bereiten. Das gleiche gilt für Außenklimaverhältnisse, die vom bekannten Standardklima abweichen. Während den meisten

Planern bewusst ist, dass eine Konstruktion in Nord- oder Südeuropa anderen wärme- und feuchtetechnischen Belastungen ausgesetzt ist als in Mitteleuropa, ist die Wahrnehmung klimatischer Unterschiede innerhalb eines Landes oder einer Region häufig zu gering. Besonders verschattete Gebäude oder solche in Hochlagen, deren Oberflächen sich auch im Sommer nicht ausreichend erwärmen, sind besonderen Risiken ausgesetzt.

Neben der Dampfdiffusion aus dem Raum gibt es in der Praxis auch andere – manchmal wesentlich bedeutendere – Feuchtebeanspruchungen, wie z. B.:

- Tauwasser infolge von konvektiv einströmender Raumluft im Winter,
- Feuchtebeanspruchung durch Bau- und Sorptionsfeuchte,
- Schlagregenbeanspruchung,
- aufsteigende Grundfeuchte,
- Tauwasser von außen auf Grund von nächtlicher Unterkühlung oder durch Umkehrdiffusion bei Besonnung.

Die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit sowie das energetische Verhalten von Baukonstruktionen werden durch das Zusammenspiel von Feuchte- und Temperaturbeanspruchungen beeinflusst. Negative Auswirkungen, die vor allem durch zu hohe Feuchte oder zu rasche Temperatur- und Feuchtwechsel hervorgerufen werden, sind z. B.:

- Feuchtebedingte Erhöhung des Heizenergieverbrauchs,
- Schäden durch physikalische Prozesse, z. B. Frost-Tau, Salzkristallisation,
- Schäden durch chemische Reaktionen, z. B. Korrosion,
- Schäden durch mikrobielles Wachstum, z. B. Algen, Pilze, Bakterien,
- Alterung oder Entfestigung durch Feuchtwechsel- (Quell- und Schwindvorgänge) sowie temperaturbedingte Verformungsprozesse.

Zur Beurteilung der Risiken von Feuchte in Bauteilen stehen dem Planer Methoden und Richtlinien unterschiedlicher Komplexität und Genauigkeit zur Verfügung, auf die im Folgenden etwas näher eingegangen wird.

3 Methoden und Richtlinien zur Feuchteschutzbeurteilung

Die Bauphysik hat sich im Wesentlichen aus experimentellen Untersuchungen und empirischen Erfahrungen entwickelt. Während numerische Rechenverfahren auf den Gebieten der Tragwerksplanung und der Energieoptimierung bereits seit langem zum Standardrepertoire von Bauingenieuren gehören, setzen sich

Simulationsverfahren zur Beurteilung des feuchtetechnischen Verhaltens von Baukonstruktionen nur langsam durch. Gleichzeitig wird von vielen Planern nach wie vor die in den 50er Jahren von Glaser (1958) entwickelte, stationäre Dampfdiffusionsberechnungsmethode eingesetzt. Im Folgenden werden die Hintergründe beider Berechnungsmethoden kurz zusammengefasst.

3.1 Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser

Das sog. Glaser-Verfahren betrachtet ausschließlich die Tauwassergefahr unter winterliche Bedingungen. Es arbeitet mit stationären Randbedingungen und vernachlässigt alle wärme- und feuchtetechnischen Speicherphänomene sowie den Feuchtetransport durch Kapillarleitung, die vor allem bei mineralischen Baustoffen und solchen aus nachwachsenden Rohstoffen eine große Rolle spielen. In der Fassung der DIN 4108-3 von 2014 wurden, gegenüber früher, neue Randbedingungen für die Tau- und für die Verdunstungsperiode eingeführt. Das neue Rechenverfahren nennt sich Periodenbilanzverfahren. Es geht davon aus, dass für die Tauwasserbildung und die anschließende Verdunstung in erster Linie die Winter- bzw. Sommermonate eine Rolle spielen, während die Übergangszeiten von untergeordneter Bedeutung sind. Deshalb werden die Diffusionsberechnungen nicht, wie in der DIN EN ISO 13788 Vorlage (2013) auf der Basis von Monatsmittelwerten durchgeführt. Stattdessen werden die Wintermonate zu einer 90-tägigen Tauperiode (Außenluftbedingungen $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 80% r.F.; Raumluftbedingungen $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50% r.F.) und die Sommermonate zu einer 90-tägigen Verdunstungsperiode (Dampfdruck von Raum- und Außenluft 1.200 Pa) zusammengefasst. Dadurch gelingt es, das neue Verfahren sehr ähnlich aussehen zu lassen, wie das alte.

Der Vergleich mit den früheren Blockrandbedingungen zeigt nur bei der Außenlufttemperatur eine leichte Anhebung von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Allerdings ist die Tauperiode bei den neuen Randbedingungen um 50 % länger. Bei der Verdunstungsperiode wird darauf verzichtet, die Temperaturen und relativen Luftfeuchten anzugeben. Hier werden nur noch die Wasserdampfpartialdrücke als Randbedingungen definiert. Das hat den Vorteil, dass es auf dem Papier nicht mehr zu einer Überschneidung von Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck kommen kann. Die inneren und äußeren Wasserdampfpartialdrücke sind wie bisher gleich groß. Sie wurden jedoch von 982 Pa auf 1.200 Pa angehoben, was beispielsweise bei einer Luftfeuchte von 70% einer Temperatur von ca. $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ entspricht. Ebenfalls angepasst wurden die Partialdrücke in den Tauwasserebenen für Wände und Dächer (1.700 Pa bzw. 2.000 Pa). Vergleichsuntersuchungen mit alten und neuen Randbedingungen in Ackermann et al. (2013) haben für verschiedene Wand- und

Dachkonstruktionen im Großen und Ganzen ähnliche Beurteilungen ergeben. Allerdings gibt es auch Beispiele für unterschiedliche Ergebnisse. Wenn beispielsweise in einer Konstruktion erst bei Außentemperaturen unter -5 °C Tauwasser ausfällt, dann sind die alten Randbedingungen kritischer. Fällt Tauwasser über -5 °C aus, dann können die neuen Randbedingungen etwas kritischer sein, weil die Tauperiode länger andauert. Eine Anpassung dieser Randbedingungen an andere Gebäudenutzungs- oder Außenklimabedingungen ist unzulässig, da es sich beim Periodenbilanzverfahren um ein modellhaftes Nachweis- und Bewertungsverfahren handelt, dass nicht die realen physikalischen Vorgänge in ihrer tatsächlichen zeitlichen Abfolge abbildet.

Die DIN 4108-3 hat in ihrer aktuellen Form vom Oktober 2018 die Vorgaben für die Glaserberechnung in der DIN EN 13788 nur in stark abgewandelter Form umgesetzt. Ein Grund war hier das bisherige Bewertungsverfahren, das eine Tauwassermenge und eine Verdunstungsmenge ausweist, die miteinander verglichen werden. Dabei sollte die Verdunstungsmenge die Tauwassermenge möglichst deutlich überschreiten. In der DIN 68800-2 (2013) wird zur Tauwassermenge noch eine Trocknungsreserve addiert, bevor diese Summe mit der Verdunstungsmenge verglichen wird. Die Trocknungsreserve dient dazu kleine Feuchteinträge durch Kriechströmungen und die Auswirkungen der Anfangsfeuchte zu berücksichtigen. Das zeigt, dass die errechnete Verdunstungsmenge einen theoretischen Wert darstellt, der physikalisch nicht begründbar ist. Es ist schlichtweg ausgeschlossen, dass aus einer anfangs völlig trockenen Konstruktion mehr Wasser verdunstet als vorher in Form von Tauwasser dort angefallen ist.

Deshalb wird in der DIN EN ISO 13788 völlig anders vorgegangen. Dort wird für jeden Monat untersucht ob es irgendwo in der Konstruktion Tauwasserbildung gibt und deren Menge berechnet. Wenn es zwei oder mehr Tauwasserebenen gibt ist jede individuell zu bilanzieren. Im nächsten Monat werden die Dampfdrücke in den Tauwasserebenen des Vormonats auf den dort geltenden Sättigungsdampfdruck gesetzt. Falls es jetzt in einer Tauwasserebene zu einer Verdunstung kommt, wird genau berechnet wohin dieses Wasser wandert. Trocknet das Wasser in der betrachteten Tauwasserzone während des Monats aus muss bestimmt werden wann dies passiert und der Monat wird unterteilt in eine Periode mit Tauwasser in der betrachteten Ebene (Dampfdruck = Sättigungsdampfdruck) und eine Periode ohne Tauwasser in dieser Ebene. Es kann natürlich sein, dass sich in derselben Konstruktion in einer Tauwasserebene weiteres Tauwas-

ser bildet während in einer anderen Tauwasserebene bereits Verdunstung stattfindet. Es kann auch sein, dass das Wasser in einer Ebene schneller austrocknet als in einer anderen Ebene. In diesem Fall muss der Monatsschritt weiter unterteilt werden und der oben beschriebene Vorgang für beide Ebenen angepasst werden. Diese etwas komplizierte Prozedur muss für alle Monate durchgeführt werden und am Ende sind die akkumulierten Mengen zu erfassen und mit den vorgegebenen Grenzwerten zu vergleichen. Außerdem ist der Monat zu ermitteln in dem das gesamte Tauwasser wieder verdunstet ist. Im Vergleich zum Glaserverfahren mit den Blockrandbedingungen ist die Methode in der DIN EN ISO 13788 wesentlich aufwändiger und im Prinzip per Hand nicht mehr durchführbar. Da es sich jedoch weiterhin um ein stationäres Verfahren handelt, das weder die Feuchtespeicherung noch den Flüssigtransport berücksichtigt, sind die Ergebnisse nicht wesentlich genauer als beim vereinfachten Periodenbilanzverfahren in der DIN 4108-3.

Zwei Unterschiede zwischen den Glaserverfahren in der DIN EN ISO 137788 und der DIN 4108-3 sind jedoch geeignet deutlich voneinander abweichende Beurteilungen zu liefern. Der erste Unterschied betrifft die äußeren Randbedingungen bei Dächern. In der DIN 4108-3 beträgt der Dampfdruck während der Verdunstungsperiode im Tauwasserbereich 2000 Pa (bzw. 1700 Pa bei verschatteten Dächern oder solchen mit hellen Dachoberflächen) gegenüber 1200 Pa in der Außen- und in der Raumluft. D.h. es besteht ein relativ hohes Dampfdruckgefälle zwischen dem Inneren des Bauteils und den Umgebungsbedingungen, was den Austrocknungsprozess stark befördert. Im Gegensatz dazu muss die äußere Oberflächentemperatur, die der Temperatur des Tauwasserbereichs sehr ähnlich ist (i.d.R. befindet sich dieser Bereich direkt unter Dachoberfläche) in der DIN EN 13788 für jeden Monat aus der Außenlufttemperatur und den Ein- und Abstrahlungsverhältnissen berechnet. Daraus ergibt sich die sog. äquivalente Außentemperatur, die im Fall von reflektierenden (hellen) Dachoberflächen sogar unter der Außenlufttemperatur liegen kann. Als Vereinfachung darf man auch annehmen, dass diese Äquivalenttemperatur im Monatsmittel 2 K unter der Außenlufttemperatur liegt. Damit ergibt sich in den Sommermonaten in den meisten Fällen ein deutlich kleineres Dampfdruckgefälle zwischen dem Tauwasserbereich und der Umgebung als bei den Randbedingungen der DIN 4108-3. Das bedeutet auch, dass nach DIN EN ISO 13788 viele Dächer durchfallen würden, die das Periodenbilanzverfahren in der DIN 4108-3 bestehen. Deshalb sind z.B. begrünte und bekiesete sowie durch Holzroste verschattete Dachkonstruktionen von der Beurteilung mithilfe des Periodenbilanzverfahren ausgeschlossen.

Der zweite Unterschied betrifft die Ermittlung des Austrocknungspotentials von Bauteilen deren äußere und innere Begrenzungsschichten s_d -Werte über 2 m aufweisen. Dazu empfiehlt die DIN EN ISO 13788 in Ziffer 7 die Berechnung der Austrocknungsdauer einer Wassermenge von 1000 g/m^2 , die in die Mitte einer Bauteilschicht eingebracht wird. Anschließend soll das normale Monatsbilanzverfahren solange angewandt werden (längstens 10 Jahre) bis das eingebrachte Wasser vollständig ausgetrocknet ist. Diese Verfahren erinnert an die Berücksichtigung der Trocknungsreserve von 250 g/m^2 bei Dächern (100 g/m^2) bei Wänden in der DIN 68800-2. Die DIN 4108-3 enthält eine solche Vorgabe für das Periodenbilanzverfahren nicht. Dafür wird explizit darauf hingewiesen, dass bei den o.g. Konstruktionen ein besonderes Risiko durch zusätzlich eingetragene Feuchte besteht, welches mithilfe des Periodenbilanzverfahrens nicht abgeschätzt werden kann. D.h. der Anwender muss selbst überlegen ob er gewillt ist dieses Risiko zu tragen.

3.2 Hygrothermische Simulation

Bei der hygrothermischen Simulation wird das dynamische Temperatur- und Feuchteverhalten von Baukonstruktionen in Abhängigkeit von den wechselnden Randbedingungen realitätsnah abgebildet. Das hat den Vorteil, dass alle oben genannten Wärme- und Feuchtetransportphänomene sowie eventuelle Quellen und Senken in ihren Auswirkungen berücksichtigt werden können. Die Durchführung einer hygrothermischen Simulation ist allerdings komplizierter als eine Glaser-Berechnung und erfordert mehr Eingangsdaten, die nicht immer alle vorhanden sind. Außerdem sollte der Anwender eine gewisse Erfahrung im Umgang mit numerischen Berechnungsmethoden mitbringen. Die Möglichkeiten und Grenzen der hygrothermischen Simulation sowie ihre Anwendung zur Feuchteschutzbeurteilung sind Gegenstand der DIN EN 15026 (2007) „Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation“. Sie basiert auf den Inhalten des WTA-Merkblatts 6-2 „Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse“ von 2001 (aktualisierte Fassung Dez. 2014).

3.3 Bedeutung für die Praxis

Seit dem Erscheinen der DIN EN 15026 ist die Akzeptanz und die praktische Anwendung von hygrothermischen Simulationsverfahren zur Feuchteschutzbeurteilung von Bauteilen stark angestiegen. In begründeten Fällen kann es weiterhin ausreichend sein, nur eine Glaser-Berechnung durchzuführen, allerdings müssen das zu beurteilende Bauteil und der geplante Einsatz auch dafür geeignet sein.

Für jemanden, der bislang keine Erfahrungen mit hygrothermischen Simulationsverfahren sammeln konnte, ist es sinnvoll, zu Anfang beide Beurteilungsmethoden einzusetzen, um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu eruieren.

Sowohl das Periodenbilanzverfahren nach Glaser als auch die hygrothermische Simulation durchgeführt gemäß DIN EN 15026 (2007) haben einen gravierenden Schönheitsfehler. Sie setzen voraus, dass Außenbauteile ohne jegliche Fehlstellen ausgeführt werden, d. h. die Möglichkeit von Feuchteinträgen durch Luftkonvektion oder Schlagregenpenetration wird nicht betrachtet. Das hat in der Vergangenheit häufig dazu geführt, dass Bauteile mit sehr diffusionshemmenden inneren und äußeren Schichten geplant wurden. Wenn dann doch eine gewisse Menge Feuchte während der Bauphase oder im Betrieb in die Konstruktion eindrang, konnte dieses Wasser nur langsam wieder austrocknen. Dadurch waren zahlreiche Schäden, insbesondere bei Holzkonstruktionen, zu verzeichnen. Die Holzschutznorm DIN 68800-2 (2012) hatte bereits darauf reagiert indem sie basierend auf Empfehlungen in Künzel (1999) und Borsch-Laaks et al. (2009) bei der Dampfdiffusionsberechnung die Berücksichtigung einer sog. Trocknungsreserve von 100 g/m^2 bei Wänden bzw. 250 g/m^2 bei Dächern fordert. Diese Trocknungsreserve wird zur errechneten Tauwassermenge addiert bevor diese mit der Verdunstungsmenge verglichen wird.

Das Prinzip der Trocknungsreserve zur Berücksichtigung von Konvektionseffekten ist auch auf die hygrothermische Simulation übertragbar und wurde dort auch schon erfolgreich angewendet (Künzel et al. 2010). Es ist auch in der Neufassung des WTA Merkblatts 6-2 von (2014) zur hygrothermischen Simulation enthalten. Dieses Merkblatt zeigt auch wie das Eindringen von Schlagregen durch kleine Fehlstellen in der Konstruktion (z.B. bei Fensteranschlüssen gedämmter Fassaden) rechnerisch behandelt werden kann, indem beispielsweise eine gewisse Menge des auf die Fassade auftreffenden Schlagregens in die Konstruktion eingebracht wird. Solche Prinzipien, die kaum vermeidbare Fehlstellen in der Konstruktion berücksichtigen, werden in Zukunft eine wesentlich größere Rolle spielen. Sie helfen bei der Planung feuchtetoleranter Bauteile, die selbst bei Anwesenheit kleiner Fehlstellen schadensfrei bleiben. Umgekehrt können auch solche Konstruktionen identifiziert werden, die nur bei perfekter Ausführung und regelmäßiger Wartung dauerhaft funktionieren. Hier muss der ausführende Betrieb eine besondere Qualitätskontrolle vorsehen oder vom Architekten eine feuchtetechnische Nachbesserung seiner Planung verlangen.

4 Neuerungen in der DIN 4103-3 von Oktober 2018 gegenüber 2014

Die DIN 4103-3 von Oktober 2018 beschreibt zum ersten Mal explizit das dreistufige Verfahren zur Feuchteschutzbeurteilung von Baukonstruktionen. Der Nachweis der feuchtetechnischen Unbedenklichkeit von Baukonstruktionen kann im Prinzip mittels geeigneter Vorgehensweisen unterschiedlicher Komplexität (Stufe) durchgeführt werden. Die 1. Stufe ist die Auswahl einer nachweisfreien Konstruktion, die 2. Stufe der einfache Nachweis mithilfe des Periodenbilanzverfahrens und die 3. Stufe der Nachweis durch hygrothermische Simulation.

Damit wird klar ausgedrückt, dass die Auswahl einer nachweisfreien Konstruktion, die Beurteilung mithilfe des Periodenbilanzverfahrens (Glaserverfahren mit den Randbedingungen von 2014) und die Beurteilung durch hygrothermische Simulation nach Anhang D gleichberechtigt nebeneinanderstehen sofern für den jeweiligen Fall keine Einschränkungen in Hinblick auf die Anwendbarkeit gelten. Beispielsweise können die ersten beiden Stufen nur zur Beurteilung von Bauteilen für nicht klimatisierte Wohn- oder wohnähnlich genutzte Gebäude verwendet werden. Außerdem sind in beiden Fällen die Vorgaben des Schlagregenschutzes zu erfüllen. Weitere Einschränkungen beziehen sich auf spezielle Bauteile, wie z. B. begrünte oder bekiesete Dachkonstruktionen, erdberührte Bauteile, Bauteile die an unbeheizte Räume angrenzen, etc..

4.1 Nachweisfreie Konstruktionen

Bei den nachweisfreien Konstruktionen wurden im Vergleich zur Version von 2014 inhaltlich nur geringe Anpassungen vorgenommen. Neu aufgenommen wurde die Dämmung von bestehenden Dachkonstruktionen von außen mit Umschlaufung der Sparren durch eine Schicht mit variablem s_d -Wert.

4.2 Nachweis mithilfe des Periodenbilanzverfahrens nach Glaser

Die Anwendungseinschränkungen dieser Nachweismethode wurden weiter präzisiert und ausgeweitet. Beispielsweise wurden neben Flachdächern mit Begrünung auch solche mit Bekiesung, Plattenbelägen oder Holzrosten ausgeschlossen. Dasselbe gilt für Holzdachkonstruktionen mit Metalldeckung oder ähnlich dichten Eindeckungen ohne Hinterlüftung der Eindeckung. Außerdem wurden zahlreiche Warnhinweise für Bauteile aufgenommen die durch Schichten mit $s_d > 2$ m begrenzt sind. Auf die Einführung einer zusätzlichen Trocknungsreserve, wie in der DIN 68800-2 (2012), wurde verzichtet, da Modelle zur Beschreibung

von konvektiven Phänomenen, aus Sicht einiger Ausschussmitglieder, nicht mit einem rein stationärem Diffusionsverfahren vereinbar sind.

4.3 Nachweis durch hygrothermische Simulation

Eingaben, Durchführung der hygrothermischen Simulation und Ergebnisbewertungen sind im normativen Anhang D der DIN 4108-3 (2018) beschrieben. Der Inhalt dieses Anhangs umfasst:

- Allgemeines
- Klimadatensätze, raumseitige Randbedingungen und Oberflächenübergang
- Anfangsbedingungen, z. B. Rohbaufeuchte
- Feuchtequellen aufgrund von Luftkonvektion oder Schlagregenpenetration durch unvermeidbare Leckagen
- Beurteilung der Simulationsergebnisse
- Wahl geeigneter Simulationsverfahren, Fehlerkontrolle, Dokumentation

Für den Praktiker bedeutet das Einhalten der Vorgaben in diesem Anhang ein geringeres Risiko durch ungeeignete Eingaben oder zu optimistische Annahmen einer Fehlbeurteilung zu unterliegen. Gleichzeitig kann der erfahrene Anwender in begründeten Fällen von den Vorgaben abweichen um beispielsweise realistische Aussagen zu bereits bestehenden Bauteilen treffen zu können, wenn es darum geht ob eine akute Versagensgefahr besteht, bzw. ob ggf. eine spezielle Lüftung vorzusehen ist, die die Raumluftheuchte zuverlässig begrenzt.

5 Schlussfolgerungen

Bis 2014 stand das Glaserverfahren in der DIN 4108-3 (2001) absolut im Vordergrund bei der Feuchteschutzbeurteilung. Das hatte nicht nur den Nachteil, dass risikoreiche, beidseitig diffusionshemmende Konstruktionen den feuchtetechnischen Nachweis bestanden, während es in der Praxis bereits zahlreiche Schadensfälle gab. Die Norm stellte auch ein großes Innovationshemmnis und eine Benachteiligung ökologischer Bauweisen dar. Da mit dem Glaserverfahren weder feuchteadaptive bzw. feuchtevariable Dampfbremsen noch kapillaraktive Dämmstoffe abgebildet werden können, mussten Hersteller solcher Produkte auf die hygrothermische Simulation ausweichen, ohne dafür aber eine ausreichende Unterstützung durch die Norm zu bekommen. D. h. es bestand immer ein gewisses Risiko sich in einer rechtlichen Grauzone zu bewegen. Ähnliches galt auch für Flachdächer mit Begrünung, die explizit von einem Nachweis mithilfe

des Glaserverfahrens ausgenommen waren. Da das Glaserverfahren keinerlei Feuchtespeicherung durch Sorption kennt, die das Tauwasserrisiko reduziert, konnten auch die Vorteile von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen nicht berücksichtigt werden. Gleichzeitig war es aber auch nicht möglich das Risiko der Einbaufeuchteumlagerung im Temperaturgefälle bei solchen Stoffen zu beurteilen.

Durch die Fassung vom November 2014 wurde die hygrothermische Simulation als echte Alternative zur Feuchteschutzbeurteilung nach Glaser etabliert, allerdings ohne genauere Angaben zur Durchführung einer solchen Simulation in der Norm. Damit lag das Risiko für eine Fehlanwendung oder Fehlinterpretation der Ergebnisse nach wie vor beim Anwender. Erst durch die Neufassung von Oktober 2018 wurde die hygrothermische Simulation mithilfe eines normativen Anhangs der Glaser-Berechnung gleichgestellt bzw. sogar höher bewertet, da gleichzeitig eine ganze Reihe von Einschränkungen für den Feuchteschnachweis nach Glaser aufgenommen wurden. Der größte Fortschritt bei der Feuchteschutzbeurteilung liegt jedoch in der Planbarkeit feuchtetoleranter Konstruktionen. Durch die Berücksichtigung von unvermeidbaren Fehlstellen in Form von Feuchteinträgen, die auch bei Konstruktionen auftreten, die nach dem Stand der Technik ausgeführt wurden, ist es möglich Bauteile so auszulegen, dass auch unter praktischen Bedingungen Feuchteschäden sehr unwahrscheinlich werden. Damit wird auch dem Dauerhaftigkeitsaspekt endlich genügend Rechnung getragen.

Literaturverzeichnis

- [1] Ackermann, TH., Kießl, K. und Grafe, M. (2013). Systematische rechnerische Untersuchungen zur ergänzenden Absicherung vereinfachter nationaler Klima-Randbedingungen bei der Übernahme des Diffusionsnachweisverfahrens gemäß EN ISO 13788 in die nationale Feuchteschutznorm DIN 4108-3. Bauforschung Band T3288, IRB Verlag, Stuttgart.
- [2] Borsch-Laaks, R., Zirkelbach, D., Künzel, H. M., Schafaczek, B. (2009). Trocknungsreserven schaffen! – Konvektive Feuchtebelastung bei Holzbaukonstruktionen und ihre Beurteilung mittels Glaserverfahren. Tagungsband 30. AIVC Conference, Berlin.
- [3] DIN 68 800-2 (2012): Holzschutz – Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.
- [4] DIN EN 15026 (2007). Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation.

- [5] DIN EN ISO 13788 (2013). Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren.
- [6] Glaser, H. (1958). Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis. Kältetechnik 10, H. 11, S. 358 – 364 und H. 12, S. 386 – 390.
- [7] Künzel, H. M. (1999). Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis? IBP Mitteilung 26, Nr. 355.
- [8] Künzel, H. M., Zirkelbach, D., Schafaczek, B. (2010). Berücksichtigung der Wasserdampfkonvektion bei der Feuchteschutzbeurteilung von Holzkonstruktionen. wksb 55, H. 63, S. 25 – 33.
- [9] WTA-Merkblatt 6-2 (2014). Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse.

Der neue Schadensbegriff – ein BGH-Urteil und seine Folgen

Jörg Schmidt, Schwerin und Lübeck

Zusammenfassung

Zu Beginn des Jahres 2018 wirbelte der BGH die seit Jahrzehnten bestehende Rechtslage in materiell- (I.) und prozessrechtlicher Hinsicht (II.) kräftig durcheinander.

(I.) Jedenfalls für seit dem 01.01.2002 geschlossene Werkverträge kann der in einem Baumangel liegende Vermögensschaden des Bestellers entgegen der bisherigen Rechtslage nicht mehr nach den bloß fiktiven Mängelbeseitigungskosten bemessen werden. Der BGH führte im Widerspruch zur bisherigen Rechtslage aus, dass ein Auftraggeber, der keine Aufwendungen zur Mängelbeseitigung tätigt, sondern diese nur fiktiv ermittelt, auch keinen Vermögensschaden in Form und Höhe dieser nur fiktiven Aufwendungen habe. Erst wenn er den Mangel beseitigen lasse und die Kosten dafür begleihe, entstehe ihm ein Vermögensschaden. Der Vermögensschaden bestehe entgegen der bisherigen Rechtsprechung nicht in dem Mangel selbst. Ein Mangel sei vielmehr zunächst nur ein Leistungsdefizit, weil das Werk hinter der geschuldeten Leistung zurückbleibe. Mit einer Schadensbemessung nach fiktiven Maßstäben würde dieses Defizit bei wertender Betrachtung, aber nichtzutreffend abgebildet. Vielmehr führe eine fiktive Schadensberechnung häufig zu einer Überkompensation und damit zu einer nach allgemeinen schadensrechtlichen Grundsätzen nicht gerechtfertigten Bereicherung des Auftraggebers. Auch der Grundsatz der Dispositionsfreiheit, der es dem Auftraggeber überlässt, ob er den Mangel selbst oder überhaupt noch beseitigen möchte, mache die fiktive Schadensberechnung nicht zwingend notwendig. Schließlich könne er nach wie vor zwischen mehreren Varianten wählen.

Ungeklärt ist, inwieweit diese neue Rechtslage auch auf andere Rechtsbereiche, in denen bislang massenhaft ein lediglich fiktiver Schaden berechnet wird, zum Beispiel auf Schadensersatzansprüche aus Kaufverträgen für Grundstücke oder aus Verkehrsunfällen, anwendbar ist.

(II.) Die Geltendmachung von Schadensersatz statt der Leistung schließt den Wechsel auf den Vorschussanspruch nicht aus. § 281 Abs. 4 BGB steht dem nicht entgegen. Verfahrensrechtlich ist ein im Rahmen des Schadensersatzanspruchs statt der Leistung in Form des Kleinschadensersatzes erfolgender Wechsel der Schadensbemessung nicht als Klageänderung anzusehen, sofern der Lebenssachverhalt im Übrigen unverändert ist. Gleiches gilt für den auf einer entsprechenden Änderung der Disposition beruhenden Wechsel vom Vorschuss- auf den Schadensersatzanspruch und umgekehrt (BGH, Urteil vom 22.02.2018 – VII ZR 46/17).

1 Leitsätze und Urteilsgründe BGH, Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17

vorhergehend: OLG Düsseldorf, Urteil vom 19.01.2017 – 5 U 30/15, LG Düsseldorf, Urteil vom 30.01.2015 – 10 O 265/09, nachfolgend: OLG Düsseldorf, Urteil vom 11.04.2019 – 5 U 30/15

Fundstellen: IBR 2018, 196, 197, 208, 300; BauR 2018, 815; BGHZ 218, 1; MDR 2018, 465; NJW 2018, 1463; NZBau 2018, 201; NZM 2018, 345; VersR 2018, 1463; WM 2018, 1323; ZIP 2018, 2376; ZWE 2018, 289

1. Der Besteller, der das Werk behält und den Mangel nicht beseitigen lässt, kann im Rahmen eines Schadensersatzanspruchs statt der Leistung (kleiner Schadensersatz) gegen den Unternehmer gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB seinen Schaden nicht nach den fiktiven Mängelbeseitigungskosten bemessen (Aufgabe der bisherigen Rechtsprechung).*)

2. a) Der Besteller, der das Werk behält und den Mangel nicht beseitigen lässt, kann den Schaden in der Weise bemessen, dass er im Wege einer Vermögensbilanz die Differenz zwischen dem hypothetischen Wert der durch das Werk geschaffenen oder bearbeiteten, im Eigentum des Bestellers stehenden Sache ohne Mangel und dem tatsächlichen Wert der Sache mit Mangel ermittelt. Hat der Besteller die durch das Werk geschaffene oder bearbeitete Sache veräußert, ohne dass eine Mängelbeseitigung vorgenommen wurde, kann er den Schaden nach dem konkreten Mindererlös wegen des Mangels der Sache bemessen.)*

b) Der Schaden kann in Anlehnung an § 634 Nr. 3, § 638 BGB auch in der Weise bemessen werden, dass ausgehend von der für das Werk vereinbarten

Vergütung der Minderwert des Werks wegen des (nicht beseitigten) Mangels geschätzt wird. Maßstab ist danach die durch den Mangel des Werks erfolgte Störung des Äquivalenzverhältnisses.*)

3. a) Der Besteller, der das Werk behält und den Mangel beseitigen lässt, kann die von ihm aufgewandten Mängelbeseitigungskosten als Schaden gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB ersetzt verlangen. Vor Begleichung der Kosten kann der Besteller Befreiung von den zur Mängelbeseitigung eingegangenen Verbindlichkeiten verlangen.*)

b) Darüber hinaus hat der Besteller, der Schadensersatz statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB verlangt hat, grundsätzlich weiterhin das Recht, Vorschuss gemäß § 634 Nr. 2, § 637 BGB zu fordern, wenn er den Mangel beseitigen will.*)

4. Auch im Verhältnis zum Architekten scheidet hinsichtlich der von ihm zu vertretenden Planungs- oder Überwachungsfehler, die sich im Bauwerk bereits verwirklicht haben, ein Zahlungsanspruch in Höhe der fiktiven Mängelbeseitigungskosten betreffend das Bauwerk aus.*)

5. a) Lässt der Besteller den Mangel des Bauwerks nicht beseitigen, kann er seinen Schaden gegenüber dem Architekten im Wege einer Vermögensbilanz nach dem Minderwert des Bauwerks im Vergleich zu dem hypothetischen Wert des Bauwerks bei mangelfreier Architektenleistung bemessen oder gegebenenfalls - bei Veräußerung des Objekts - nach dem konkreten Mindererlös.*)

b) Hat der durch die mangelhafte Architektenleistung verursachte Mangel des Bauwerks zur Folge, dass eine Störung des Äquivalenzverhältnisses des Bauvertrags vorliegt, kann der Besteller stattdessen seinen Schaden auch in der Weise bemessen, dass er ausgehend von der mit dem Bauunternehmer vereinbarten Vergütung den mangelbedingten Minderwert des Werks des Bauunternehmers ermittelt.*)

6. a) Lässt der Besteller den Mangel des Bauwerks beseitigen, sind die von ihm aufgewandten Kosten als Schaden gemäß § 634 Nr. 4, § 280 Abs. 1 BGB vom Architekten zu ersetzen. Vor Begleichung der Kosten kann der Besteller Befreiung von den eingegangenen Verbindlichkeiten verlangen.*)

b) Darüber hinaus hat der Besteller wegen Planungs- oder Überwachungsfehlern, die sich im Bauwerk bereits verwirklicht haben, einen Schadensersatzanspruch gemäß § 634 Nr. 4, § 280 BGB auf Vorfinanzierung in Form der vorherigen Zahlung eines zweckgebundenen und abzurechnenden Betrags gegen den Architekten.*)

BGH, Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17

Tatbestand

1

Die Klägerin begehrt von den Beklagten zu 1 und 5 aus eigenem und aus abgetretenem Recht Schadensersatz wegen Mängeln an den im Außenbereich eines Einfamilienhauses verlegten Natursteinplatten.

2

Die Klägerin und ihr inzwischen verstorbener Ehemann ließen ab dem Jahr 2003 ein viergeschossiges Einfamilienhaus in D. errichten. Sie beauftragten mit Vertrag vom 24. Juli 2002 den Beklagten zu 5 mit der Planung der Freianlagen und der Überwachung ihrer Herstellung sowie mit Vertrag vom 16./20. April 2004 unter Einbeziehung der VOB/B (2002) die Beklagte zu 1 mit der Ausführung der Naturstein-, Fliesen- und Abdichtungsarbeiten im Innen- und Außenbereich des Objekts. Die Streithelfer zu 1 und 2 waren mit der Gebäudeplanung betraut.

3

Die Beklagte zu 1 ließ die Natursteinplatten des Typs "Crema Romano" und "Crema Romana", einen römischen Travertin, durch ihre Nachunternehmerin verlegen. Die Klägerin nahm die Arbeiten ab und bezahlte die im Jahr 2005 erstellte Schlussrechnung der Beklagten zu 1.

4

Im Jahr 2007 zeigten sich erste Mängel der Natursteinarbeiten, die sich in der Folgezeit verstärkten. Es kam unter anderem zu Rissen und Ablösungen der Platten, zu Kalk- und Salzausspülungen, Farb- und Putzabplatzungen sowie zu starken Durchfeuchtungen des Putzes.

5

Die Klägerin hat in der ersten Instanz von der Beklagten zu 1 unter Berücksichtigung eines Mitverschuldensanteils von 25 % wegen Planungsfehlern Vorschuss in Höhe von 91.792,58 € nebst Zinsen für die Durchführung der Mängelbeseitigung begehrt. Gegenüber dem Beklagten zu 5 hat sie Schadensersatz in Höhe von 122.390,11 € nebst Zinsen - in Höhe von 91.792,58 € als Gesamtschuldner neben der Beklagten zu 1 - geltend gemacht. Darüber hinaus hat sie Feststellung einer entsprechenden Ersatzpflicht der Beklagten zu 1 und 5 hinsichtlich aller weiteren, anlässlich der Mängelbeseitigung entstehenden Schäden begehrt. Das Landgericht hat der Klage stattgegeben.

6

Während des Berufungsverfahrens veräußerte die Klägerin mit Kaufvertrag vom 17. August 2015 das Objekt. Sie hat in der Folge die Vorschussklage gegen die Beklagte zu 1 auf Schadensersatz in Höhe von 75 % der fiktiven

Mängelbeseitigungskosten umgestellt. Den Feststellungsantrag haben die Parteien übereinstimmend für erledigt erklärt.

7

Das Berufungsgericht hat auf die Berufungen der Beklagten zu 1 und 5 das erstinstanzliche Urteil insoweit abgeändert, als es jeweils die Umsatzsteuer auf die fiktiven Mängelbeseitigungskosten nicht zuerkannt hat. Unter Zurückweisung der weitergehenden Berufungen hat es die Beklagten zu 1 und 5 als Gesamtschuldner zur Zahlung von 77.429,21 € nebst Zinsen, den Beklagten zu 5 zur Zahlung von weiteren 25.809,74 € nebst Zinsen an die Klägerin verurteilt und im Übrigen die Klage abgewiesen.

8

Das Berufungsgericht hat die Revision zur Schadenshöhe zugelassen wegen der Frage, wie der Schaden zu bemessen sei, wenn der Besteller auf die Beseitigung des Werkmangels verzichte. Die Beklagten zu 1 und 5 haben uneingeschränkt Revision eingelegt mit dem Ziel der vollständigen Klageabweisung. Die Klägerin hat auf die Revisionen der Beklagten zu 1 und 5 Anschlussrevision eingelegt, soweit das Berufungsgericht abändernd die Klage (teilweise) abgewiesen hat. Der Senat hat die Revisionen der Beklagten zu 1 und 5 durch Beschluss vom 13. Dezember 2017 teilweise als unzulässig verworfen, soweit sie über die beschränkt zugelassene Revision hinausgegangen sind. Zugleich hat der Senat die von den Beklagten zu 1 und 5 vorsorglich eingelegten Beschwerden gegen die Nichtzulassung der Revision im Urteil des Berufungsgerichts zurückgewiesen.

Entscheidungsgründe

9

Die im Umfang der Zulassung weiterverfolgten Revisionen der Beklagten zu 1 und 5 und die Anschlussrevision der Klägerin führen zur Aufhebung der angefochtenen Entscheidung im tenorierten Umfang und zur Zurückverweisung der Sache an das Berufungsgericht.

I.

10

Das Berufungsgericht hat - soweit für das Revisionsverfahren von Interesse - Folgendes ausgeführt:

11

1. Die Klägerin habe gegen die Beklagte zu 1 wegen der Mängel der Natursteinarbeiten einen Schadensersatzanspruch in Höhe von 77.429,21 € gemäß § 13 Nr. 7 Abs. 3 VOB/B (2002) in Verbindung mit §§ 398, 1922 BGB.

12

a) Die Klägerin sei berechtigt, ihren Schaden auf Basis der fiktiven Mängelbeseitigungskosten zu bemessen. Sie könne abweichend von § 249 Abs. 1 BGB verlangen, dass der Schaden mit dem für die Mängelbeseitigung erforderlichen Geldbetrag abgegolten werde. Unerheblich sei, ob der zur Verfügung gestellte Betrag zur Mängelbeseitigung verwendet werde.

13

Dies entspreche der Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs, der zu dem Schadensersatzanspruch nach § 635 BGB a.F. die Ansicht vertreten habe, dieser erfasse die zur Mängelbeseitigung erforderlichen Kosten und der Schädiger habe keinen Anspruch darauf, dass der Geschädigte das ihm als Schadensersatz gezahlte Geld zur Beseitigung des Schadens verwende (BGH, Urteil vom 24. Mai 1973 - VII ZR 92/71, BGHZ 61, 28). Im Jahr 2007 habe der Bundesgerichtshof erneut betont, dass der Besteller seinen Schadensersatzanspruch nach den Kosten berechnen könne, die für eine Mängelbeseitigung erforderlich seien (BGH, Urteil vom 28. Juni 2007 - VII ZR 81/06, BGHZ 173, 83). In der Literatur werde zwar teilweise die Auffassung vertreten, dass sich jedenfalls seit der Schuldrechtsreform der Schaden an dem mangelbedingten Minderwert orientiere, wenn der Besteller auf die Beseitigung des Werkmangels verzichte (Halfmeier, BauR 2013, 320, 325). Indes finde diese Auffassung in der höchstrichterlichen Rechtsprechung bislang keine Stütze. Denn auch unter Geltung des Schuldrechtsmodernisierungsgesetzes habe der Bundesgerichtshof in der sogenannten "Umsatzsteuer-Entscheidung" (Urteil vom 22. Juli 2010 - VII ZR 176/09, BGHZ 186, 330) ausgeführt, dass der Schadensersatzanspruch nach Wahl des Bestellers entweder nach dem mangelbedingten Minderwert des Werks oder nach den Kosten berechnet werde, die für eine ordnungsgemäße Mängelbeseitigung erforderlich seien. Letzteres gelte unabhängig davon, ob und in welchem Umfang der Besteller den Mangel tatsächlich beseitigen lasse. Der Anspruch auf Schadensersatz statt der Leistung wegen Mängeln sei abweichend von § 249 Abs. 1 BGB nicht auf Naturalrestitution in Form der Mängelbeseitigung, sondern auf Zahlung eines Geldbetrags gerichtet. Das folge aus § 281 Abs. 4 BGB. Die Rechtslage unterscheide sich insofern nicht von derjenigen, die bis zum 31. Dezember 2001 gegolten habe. Bei der Schadensbemessung sei die berechtigte Erwartung des Bestellers zu berücksichtigen, den Schaden nach seiner Wahl nach den Kosten bemessen zu können, die eine Mängelbeseitigung erfordere, weil der Anspruch an die Stelle des geschuldeten Erfüllungsanspruchs trete.

14

b) Nach dem Ergebnis der Beweisaufnahme seien die fiktiven Mängelbeseitigungskosten einschließlich Regiekosten auf 100.844,26 € netto zu beziffern.

Hinzu komme ein Anspruch auf Ersatz der gezahlten Privatgutachterkosten in Höhe von 2.394,69 € brutto.

15

Da die Klägerin nicht (mehr) beabsichtige, Mängelbeseitigungsarbeiten vornehmen zu lassen, habe sie nach der Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs allerdings keinen Anspruch auf Ersatz der insoweit nicht angefallenen Umsatzsteuer (BGH, Urteil vom 22. Juli 2010 - VII ZR 176/09, BGHZ 186, 330).

16

Danach sei die Höhe des Schadens gemäß § 287 ZPO auf insgesamt 103.238,95 € zu schätzen, so dass abzüglich eines Mitverschuldensanteils von 25 % wegen Planungsfehlern ein Zahlbetrag von 77.429,21 € verbleibe.

17

c) Die Klägerin berufe sich demgegenüber ohne Erfolg auf einen Schaden in Höhe des erstinstanzlich zuerkannten Betrages. Sie habe sich, was sie in der mündlichen Verhandlung vor dem Berufungsgericht ausdrücklich erklärt habe, für eine Bemessung des Schadens nach den fiktiven Mängelbeseitigungskosten entschieden und könne daher die Umsatzsteuer nicht geltend machen. Dies könne sie nicht damit kompensieren, dass sie die Minderung des Verkehrswerts des Objekts als weitere Schadensposition anführe. Die Klägerin könne ihren Schadensersatzanspruch nach Wahl entweder nach dem mangelbedingten Minderwert des Werks oder nach den Kosten berechnen, die für eine Mängelbeseitigung erforderlich seien. Eine Kombination der Schadensberechnungsmethoden sei nicht möglich und berge die Gefahr der Überkompensation.

18

2. Die Klägerin habe ferner gegen den Beklagten zu 5 wegen mangelhafter Planung und Überwachung der Natursteinarbeiten einen Schadensersatzanspruch in Höhe von 103.238,95 € gemäß § 634 Nr. 4, § 280 BGB. Wegen der Höhe des Schadens werde auf die obigen Ausführungen Bezug genommen.

II.

19

Das hält der rechtlichen Überprüfung nicht stand.

20

1. Klage gegen die Beklagte zu 1

21

a) Aufgrund der wirksamen Beschränkung der Zulassung der Revision durch das Berufungsgericht und der Zurückweisung der Nichtzulassungsbeschwerde durch den Senat steht rechtskräftig fest, dass die Klägerin gegen die Beklagte zu 1 dem Grunde nach einen Schadensersatzanspruch statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes wegen der mangelhaften Natursteinarbeiten im

Außenbereich des Einfamilienhauses in D. gemäß § 13 Nr. 7 Abs. 3 VOB/B (2002) hat. Mit der vom Berufungsgericht gegebenen Begründung zur Höhe des Schadensersatzanspruchs kann das Berufungsurteil indes keinen Bestand haben.

22

b) Ist ein Werk mangelhaft, kann der Besteller vom Unternehmer im VOB/B-Vertrag gemäß § 13 Abs. 7 Nr. 3 VOB/B und im Übrigen gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB Schadensersatz statt der Leistung verlangen.

23

Wie der Schaden zu bemessen ist, ist indes weder in § 634 Nr. 4 BGB noch in §§ 280, 281 BGB geregelt. Aus § 281 Abs. 4 BGB ergibt sich lediglich, dass Naturalrestitution gemäß § 249 Abs. 1 BGB nicht in der Form möglich ist, dass der Mangel beseitigt wird (Nacherfüllung) (vgl. z.B. BGH, Urteil vom 22. Juli 2010 - VII ZR 176/09, BGHZ 186, 330 Rn. 10). Dies gilt auch für den VOB/B-Vertrag.

24

Der Besteller, der sich dafür entscheidet, das mangelhafte Werk zu behalten, und Schadensersatz statt der Leistung geltend macht (kleiner Schadensersatz), kann vielmehr Ersatz in Geld verlangen, soweit er durch den Mangel einen Vermögensschaden erleidet. Lässt er den Mangel nicht im Wege der Selbstvornahme beseitigen, ist der bereits durch den Mangel des Werks selbst entstandene Vermögensschaden festzustellen und in Geld zu bemessen. Die Bemessung kann im Wege der Schadensschätzung gemäß § 287 ZPO erfolgen. Sie hat sich am Leistungsinteresse des Bestellers zu orientieren. Denn der Schadensersatzanspruch statt der Leistung gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB tritt an die Stelle des Anspruchs auf Leistung und ersetzt diesen.

25

Verfahrensrechtlich ist für die Schadensbemessung der Zeitpunkt der letzten mündlichen Verhandlung maßgebend (vgl. z.B. BGH, Urteil vom 6. November 1986 - VII ZR 97/85, BGHZ 99, 81, 86 f., juris Rn. 9 und vom 23. Januar 1981 - V ZR 200/79, BGHZ 79, 249, 257 f., juris Rn. 27).

26

c) Nach der bisherigen Rechtsprechung des Senats stehen dem Besteller, der das Werk behält und den Mangel nicht beseitigen lässt, zwei Möglichkeiten zur Verfügung, seinen Vermögensschaden zu bemessen.

27

aa) Der Besteller hat die Möglichkeit, den Schaden nach allgemeinen schadensrechtlichen Grundsätzen in der Weise zu bemessen, dass er im Wege einer Vermögensbilanz die Differenz zwischen dem hypothetischen Wert der durch das Werk geschaffenen oder bearbeiteten, im Eigentum des Bestellers stehenden Sache ohne Mangel und dem tatsächlichen Wert der Sache mit Mangel ermittelt

(vgl. BGH, Urteile vom 11. Oktober 2012 - VII ZR 179/11, BauR 2013, 81 Rn. 10 = NZBau 2013, 99 m.w.N.; vom 8. Januar 2004 - VII ZR 181/02, BauR 2004, 847, 850, juris Rn. 29 = NZBau 2004, 269 und vom 16. November 2007 - V ZR 45/07, NJW 2008, 436 Rn. 11 f. m.w.N.). Diese Art der Schadensbemessung ist ausschließlich auf Ausgleich des Wertunterschieds gerichtet.

28

Hat der Besteller - wie hier im Laufe des Rechtsstreits - die durch das Werk geschaffene oder bearbeitete Sache veräußert, ohne dass eine Mängelbeseitigung vorgenommen wurde, kann er den Schaden nach dem konkreten Mindererlös wegen des Mangels der Sache bemessen. Der Mindererlös wird typischerweise anhand der Differenz zwischen dem hypothetischen Wert der Sache ohne Mangel und dem gezahlten Kaufpreis ermittelt werden können. Da der Kaufpreis den tatsächlichen Wert der Sache indiziert, entspricht der so ermittelte Mindererlös im Regelfall dem Minderwert der betroffenen Sache. Haben neben dem vom Unternehmer zu verantwortenden Mangel auch andere Mängel zu dem Mindererlös geführt, ist zu ermitteln, welcher Anteil des Mindererlöses auf den vom Unternehmer zu verantwortenden Mangel entfällt.

29

Dem Besteller bleibt bei Veräußerung der Sache die Möglichkeit, den Schaden nach einem den konkreten Mindererlös übersteigenden Minderwert zu bemessen, wenn er nachweist, dass der erzielte Kaufpreis den tatsächlichen Wert der Sache übersteigt. Denn der in Höhe des Minderwerts bestehende Schaden wird durch ein vom Besteller abgeschlossenes günstiges Geschäft grundsätzlich nicht gemindert. Nach den normativen von Treu und Glauben geprägten schadensrechtlichen Wertungen unter Berücksichtigung des in § 254 Abs. 2 BGB zum Ausdruck kommenden Gedankens sollen dem Ersatzpflichtigen solche Vorteile grundsätzlich nicht zugutekommen, die sich der Ersatzberechtigte durch Abschluss eines - den Ersatzpflichtigen nicht berührenden - Vertrags mit einem Dritten erarbeitet hat (vgl. BGH, Urteile vom 14. Januar 2016 - VII ZR 271/14, BauR 2016, 852 Rn. 25 = NZBau 2016, 304 m.w.N.; ferner vom 19. September 1980 - V ZR 51/78, NJW 1981, 45, 46 f., juris Rn. 28). Wendet demgegenüber der Unternehmer ein, der Minderwert sei geringer, weil der erzielte Kaufpreis den tatsächlichen Wert der Sache unterschreite, ist der infolge der Veräußerung entstandene (höhere) Mindererlös insoweit nicht als Schaden zu ersetzen, als dem Besteller ein Verstoß gegen die Obliegenheit zur Schadensminderung gemäß § 254 Abs. 2 BGB vorzuwerfen ist.

30

bb) Der Senat hat dem Besteller bisher alternativ auch einen Zahlungsanspruch in Höhe der fiktiven Mängelbeseitigungskosten zugebilligt. Dabei handelte es

sich nicht um die Zubilligung einer vereinfachten Form der Bemessung des mangelbedingten Wertunterschieds im Rahmen einer Vermögensbilanz (vgl. zu dieser Form der Bemessung BGH, Urteil vom 16. November 2007 - V ZR 45/07, NJW 2008, 436 Rn. 12). Vielmehr war der Besteller danach stets berechtigt, bis zur Grenze der Unverhältnismäßigkeit (§ 251 Abs. 2 Satz 1 BGB) Zahlung in Höhe der fiktiven Mängelbeseitigungskosten zu verlangen, auch wenn diese den Minderwert im Vermögen des Bestellers überstiegen. Denn bereits der Mangel des Werks selbst sei - unabhängig von dessen Beseitigung - der Schaden, und zwar in Höhe dieser Kosten (vgl. z.B. BGH, Urteile vom 28. Juni 2007 - VII ZR 8/06, BauR 2007, 1567, 1568, juris Rn. 12 f. = NZBau 2007, 580; vom 10. März 2005 - VII ZR 321/03, BauR 2005, 1014, juris Rn. 11 = NZBau 2005, 390; vom 10. April 2003 - VII ZR 251/02, BauR 2003, 1211, 1212, juris Rn. 13 = NZBau 2003, 375 und vom 6. November 1986 - VII ZR 97/85, BGHZ 99, 81, 84 f., juris Rn. 6).

31

Hieran hält der Senat jedenfalls für ab dem 1. Januar 2002 geschlossene Werkverträge nicht mehr fest. Dies beruht auf folgenden Erwägungen:

32

(1) Der Besteller, der keine Aufwendungen zur Mängelbeseitigung tätigt, hat keinen Vermögensschaden in Form und Höhe dieser (nur fiktiven) Aufwendungen. Sein Vermögen ist im Vergleich zu einer mangelfreien Leistung des Unternehmers nicht um einen Betrag in Höhe solcher (fiktiven) Aufwendungen vermindert. Erst wenn der Besteller den Mangel beseitigen lässt und die Kosten hierfür begleicht, entsteht ihm ein Vermögensschaden in Höhe der aufgewandten Kosten (Halfmeier, BauR 2013, 320, 322 f.).

33

(2) Entgegen der bisherigen Auffassung kann die Schadensbemessung nach fiktiven Mängelbeseitigungskosten nicht damit begründet werden, dass der Mangel selbst der Vermögensschaden in Höhe dieser Kosten sei. Ein Mangel des Werks ist zunächst nur ein Leistungsdefizit, weil das Werk hinter der geschuldeten Leistung zurückbleibt (vgl. Knütel, BauR 2004, 591, 593). Auch wenn es gerechtfertigt ist, bereits dieses Leistungsdefizit mit der Folge der Störung des Äquivalenzverhältnisses als einen beim Besteller eingetretenen Vermögensschaden zu bewerten (vgl. dazu unten II. 1. c) cc)), ist damit gerade nicht geklärt, in welcher Höhe ein solcher Vermögensschaden besteht.

34

Eine Schadensbemessung nach fiktiven Mängelbeseitigungskosten bildet das Leistungsdefizit im Werkvertragsrecht - insbesondere im Baurecht - auch bei wertender Betrachtung nicht zutreffend ab. Vielmehr führt sie häufig zu einer Überkompensation und damit einer nach allgemeinen schadensrechtlichen

Grundsätzen (vgl. Lange/Schiemann, Schadensersatz, 3. Aufl., S. 9 f.) nicht gerechtfertigten Bereicherung des Bestellers. Denn der (fiktive) Aufwand einer Mängelbeseitigung hängt von verschiedenen Umständen ab, zum Beispiel von der Art des Werks, dem Weg der Mängelbeseitigung, dem Erfordernis der Einbeziehung anderer Gewerke in die Mängelbeseitigung, und kann die vereinbarte Vergütung, mit der die Parteien das mangelfreie Werk bewertet haben, (nicht nur in Ausnahmefällen) deutlich übersteigen. Er ist daher nicht geeignet, ein beim Besteller ohne Mängelbeseitigung verbleibendes Leistungsdefizit und die hierdurch eingetretene Äquivalenzstörung der Höhe nach zu bestimmen.

35

(3) Auf den Gesichtspunkt der Überkompensation hat der Senat bereits in den Entscheidungen vom 22. Juli 2010 (VII ZR 176/09, BGHZ 186, 330 Rn. 14 f.) und vom 11. März 2015 (VII ZR 270/14, BauR 2015, 1321 Rn. 5 = NZBau 2015, 419) hingewiesen und im Hinblick darauf eine Ersatzpflicht jedenfalls in Höhe der Umsatzsteuer verneint, wenn diese wegen nicht durchgeführter Mängelbeseitigung nicht anfällt. Auch die Entscheidungen des Senats zum Schaden in der Leistungskette (vgl. BGH, Versäumnisurteil vom 1. August 2013 - VII ZR 75/11, BGHZ 198, 150; Urteile vom 28. Juni 2007 - VII ZR 8/06, BauR 2007, 1567 = NZBau 2007, 580 und VII ZR 81/06, BGHZ 173, 83; vgl. ferner Urteil vom 10. Juli 2008 - VII ZR 16/07, BauR 2008, 1877 = NZBau 2009, 34) sind dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Überkompensation durch Ersatz fiktiver Mängelbeseitigungskosten zu vermeiden suchen.

36

In Fortführung dieser Rechtsprechung hält es der Senat für notwendig, den Umfang des Schadensersatzes statt der Leistung gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB noch stärker daran auszurichten, welche Dispositionen der Besteller tatsächlich zur Mängelbeseitigung trifft. Dies entspricht dem Regelungskonzept des § 634 BGB, der das Leistungsinteresse des Bestellers schützt und den Ausgleich bei Verletzung daran orientiert, ob eine Mängelbeseitigung durchgeführt wird. Ersatz fiktiver Kosten für nicht getroffene Dispositionen scheidet danach aus.

37

(4) Diese Erwägungen gelten im VOB/B-Vertrag entsprechend. Auch nach dem Regelungskonzept des § 13 VOB/B ist ein Ersatz fiktiver Mängelbeseitigungskosten aus den genannten Gründen abzulehnen.

38

cc) Dem Besteller bleibt jedoch eine im Einzelfall unter Umständen einfachere Möglichkeit, auch ohne eine Vermögensbilanz seinen Vermögensschaden darzutun und zu bemessen, wenn er den Mangel nicht beseitigen lässt. Denn er kann sich auf die Betrachtung des mangelhaften Werks selbst im Vergleich zu dem

geschuldeten (also mangelfreien) Werk beschränken und aus einer Störung des werkvertraglichen Äquivalenzverhältnisses einen Anspruch ableiten.

39

(1) Die Feststellung eines hierin liegenden Vermögensschadens und seine Bemessung sind - wie im gesamten Schadensrecht (vgl. Lange/Schiemann, Schadensersatz, 3. Aufl., S. 38 f.) - aufgrund einer Wertung vorzunehmen. Diese hat sich am Leistungsinteresse des Bestellers zu orientieren (vgl. oben II. 1. b)).

40

Aus § 634 BGB folgt, dass sich der Ausgleich des verletzten Leistungsinteresses des Bestellers, der das mangelhafte Werk behalten will, daran orientiert, ob er die Mängel beseitigen lässt oder nicht. Sieht der Besteller von der Mängelbeseitigung ab, kann er nach § 634 Nr. 3, § 638 BGB als Ausgleich für das verletzte Leistungsinteresse die Vergütung mindern. Diese Wertungen sind bei der Bemessung des Schadens im Rahmen des Schadensersatzanspruchs statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB zu berücksichtigen. Denn der Besteller soll diesbezüglich durch die Wahl des - im Hinblick auf das Verschuldenserfordernis strengerer Voraussetzungen unterliegenden - Schadensersatzanspruchs nicht schlechter gestellt werden als im Fall der Geltendmachung des Rechts zur Minderung gemäß § 634 Nr. 3, § 638 BGB.

41

Der Schaden kann deshalb in Anlehnung an § 634 Nr. 3, § 638 BGB in der Weise bemessen werden, dass ausgehend von der für das Werk vereinbarten Vergütung der Minderwert des Werks wegen des (nicht beseitigten) Mangels geschätzt wird. Maßstab ist danach die durch den Mangel des Werks erfolgte Störung des Äquivalenzverhältnisses. Die von den Parteien durch den Werkvertrag zum Ausdruck gebrachte Bewertung des (mangelfreien) Werks in Höhe der Vergütung rechtfertigt es, bereits das Ausbleiben der vollständigen (mangelfreien) Gegenleistung mit der Folge der Störung des Äquivalenzverhältnisses - unabhängig von einer objektivierten Bewertung durch einen "Markt" - als einen beim Besteller eingetretenen Vermögensschaden anzusehen.

42

Der mangelbedingte Minderwert des Werks ist danach ausgehend von der Vergütung als Maximalwert nach § 287 ZPO unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls zu schätzen. Im Rahmen dieser - sich an § 634 Nr. 3, § 638 BGB anlehnenden - Schadensbemessung können die fiktiven Mängelbeseitigungskosten nicht als Maßstab herangezogen werden. Soweit dem Urteil des Senats vom 24. Februar 1972 (VII ZR 177/70, BGHZ 58, 181) entnommen werden kann, dass die Berechnung einer Minderung regelmäßig durch den Abzug fiktiver Mängelbeseitigungskosten erfolgen könne, hält der Senat auch hieran aus den bereits

oben unter II. 1. c) bb) ausgeführten Erwägungen nicht fest. Dagegen kommt beispielsweise eine Schadensbemessung anhand der Vergütungsanteile in Betracht, die auf die mangelhafte Leistung entfallen (vgl. z.B. BGH, Urteil vom 9. Januar 2003 - VII ZR 181/00, BGHZ 153, 279, 284, juris Rn. 21 für die Ausführung mit minderwertigem Material). Ergeben sich die Vergütungsanteile nicht aus dem Vertrag, sind sie zu schätzen (vgl. zum Reisevertragsrecht BGH, Urteil vom 21. November 2017 - X ZR 111/16 Rn. 10; zu optischen Fehlern z.B. OLG Düsseldorf, NJW-RR 1994, 341; zu möglichen Schätzmethode n ferner Messerschmidt/Voit/Moufang/Koos, Privates Baurecht, 2. Aufl., § 638 BGB Rn. 24; Kapellmann/Messerschmidt/Langen, VOB Teile A und B, 6. Aufl., § 13 VOB/B Rn. 386; Genius in jurisPK-BGB, 8. Aufl., § 638 Rn. 18 a.E., 20; Staudinger/Peters/Jacoby, 2014, BGB, § 634 Rn. 113-115, jeweils m.w.N.).

43

(2) Für den VOB/B-Vertrag ergeben sich insoweit keine Besonderheiten, die zu abweichenden Erwägungen führen. Der Umstand, dass die Minderung gemäß § 13 Abs. 6 VOB/B nur in den dort genannten Fällen möglich ist, hindert nicht die Geltendmachung eines an der Vergütung orientierten Minderwerts des Werks wegen des nicht beseitigten Mangels (vgl. BGH, Urteil vom 25. Februar 1982 - VII ZR 161/80, BauR 1982, 277, 279, juris Rn. 31 f.; vgl. auch Kapellmann/Messerschmidt/Langen, VOB Teile A und B, 6. Aufl., § 13 VOB/B Rn. 392 m.w.N.)

44

dd) Diese unter aa) und cc) dargestellten Möglichkeiten stellen eine vollständige und damit ausreichende Kompensation des Vermögensschadens des Bestellers dar, der das Werk behält und den Mangel nicht beseitigt.

45

Die Zuerkennung eines Anspruchs auf Erstattung fiktiver Mängelbeseitigungskosten ist auch nicht notwendig, um dem Besteller, der vom Unternehmer Schadensersatz fordert, die Dispositionsfreiheit zu belassen, den Mangel (noch) selbst auf Kosten des Unternehmers zu beseitigen. Entscheidet der Besteller sich dafür, kann er eine vollständige, ausreichende Kompensation seines Vermögensschadens wie folgt erlangen:

46

(1) Lässt der Besteller die Mängelbeseitigung durchführen, sind die von ihm aufgewandten Mängelbeseitigungskosten, die er bei verständiger Würdigung für erforderlich halten durfte, nicht nur gemäß § 634 Nr. 2, § 637 BGB zu erstatten. Der Besteller kann in diesem Fall die von ihm aufgewandten Mängelbeseitigungskosten vielmehr auch als Schaden gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB ersetzt verlangen (allgemeine Meinung, vgl. z.B. Messerschmidt/Voit/Drossart, Privates Baurecht, 2. Aufl., § 634 BGB Rn. 87; für den VOB/B-Vertrag vgl.

Kapellmann/Messerschmidt/Langen, VOB Teile A und B, 6. Aufl., § 13 VOB/B Rn. 412, jeweils m.w.N.). Denn ihm ist in Höhe der Aufwendungen ein Vermögensschaden entstanden, den er ohne das mangelhafte Werk nicht gehabt hätte. Der Umstand, dass er die Aufwendungen freiwillig erbracht hat, steht dem nicht entgegen. Er durfte sich hierzu aufgrund des Verhaltens des Unternehmers, der die ihm vom Gesetz eingeräumte Möglichkeit, sein mangelhaft abgeliefertes Werk nachzubessern (Nacherfüllung), nicht wahrgenommen hat, herausgefordert fühlen (Halfmeier, BauR 2013, 320, 323 f.). Auf den Ersatz eines geringeren Minderwerts muss er sich in diesem Fall, vorbehaltlich der Unverhältnismäßigkeit der Aufwendungen (vgl. auch BGH, Urteil vom 11. Oktober 2012 - VII ZR 179/11, BauR 2013, 81 Rn. 11 = NZBau 2013, 99), nicht verweisen lassen.

47

Vor Begleichung der Kosten kann der Besteller zudem bereits Befreiung von den zur Mängelbeseitigung eingegangenen Verbindlichkeiten verlangen.

48

(2) Darüber hinaus hat der Besteller, der Schadensersatz statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes gemäß § 634 Nr. 4, §§ 280, 281 BGB verlangt hat, grundsätzlich weiterhin das Recht, Vorschuss gemäß § 634 Nr. 2, § 637 BGB zu fordern, wenn er den Mangel beseitigen will.

49

§ 281 Abs. 4 BGB steht dem nicht entgegen. Danach ist zwar der Anspruch auf Leistung ausgeschlossen, sobald der Besteller Schadensersatz statt der Leistung verlangt hat. Der Besteller kann mithin nicht mehr Nacherfüllung gemäß § 634 Nr. 1, § 635 BGB verlangen. Die Geltendmachung eines Vorschusses ist nach dem Wortlaut dieser Vorschrift jedoch nicht ausgeschlossen.

50

Aus § 634 Nr. 2, § 637 BGB ergibt sich - anders als aus § 633 Abs. 3 BGB a.F. - nichts anderes. Danach entstehen das Selbstvornahmerecht und der Vorschussanspruch mit erfolglosem Ablauf der zur Nacherfüllung bestimmten angemessenen Frist, wenn nicht der Unternehmer die Nacherfüllung zu Recht verweigert (§ 637 Abs. 1 letzter Halbsatz BGB). Soweit aus § 637 Abs. 1 letzter Halbsatz BGB abgeleitet wird, dass diese Rechte einen im Zeitpunkt ihrer Geltendmachung noch bestehenden Nacherfüllungsanspruch voraussetzen und deshalb das Verlangen von Schadensersatz statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes mit der Folge des § 281 Abs. 4 BGB weiter dazu führt, dass auch das Selbstvornahmerecht und der Vorschussanspruch erlöschen (vgl. z.B. Kniffka/Krause-Allenstein, Bauvertragsrecht, 2. Aufl., § 637 Rn. 10; Palandt/Sprau, BGB, 77. Aufl., § 637 Rn. 1), folgt der Senat dem nicht. Aus der Begründung zu § 637 BGB ergibt sich ein solcher gesetzgeberischer Wille nicht (vgl. BT-Drucks. 14/6040, S. 266).

51

Demgegenüber ist es nach Sinn und Zweck des Gesetzes gerechtfertigt, dem Besteller den Vorschussanspruch auch dann noch zuzubilligen, wenn er bereits Schadensersatz statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes verlangt hat. Aus § 634 Nr. 2, § 637 BGB ergibt sich, dass der Schutz des Leistungsinteresses im Werkvertragsrecht einen Vorschussanspruch des Bestellers erfordert, um diesem Nachteile und Risiken einer Vorfinanzierung der Mängelbeseitigung abzunehmen. Diese gesetzgeberische Wertung ist bei der Frage zu berücksichtigen, wie im Rahmen des Schadensersatzes ein möglichst umfassender Ausgleich des verletzten Leistungsinteresses des Bestellers erreicht werden kann, der den Mangel beseitigen will. Denn der Besteller soll durch die Wahl des Schadensersatzanspruchs nicht schlechter gestellt werden (vgl. dazu bereits II. 1. c) cc)). Lässt der Besteller die Mängel beseitigen, umfasst der Schadensersatzanspruch - wie ausgeführt - die Erstattung der mit Durchführung der Mängelbeseitigung angefallenen Kosten. Da dem Besteller nach der gesetzgeberischen Wertung auch die Nachteile und Risiken einer Vorfinanzierung der Mängelbeseitigung abgenommen werden sollen, ist ein umfassender Ausgleich des verletzten Leistungsinteresses nur dann gewährleistet, wenn er - auch nach Wahl des kleinen Schadensersatzes - weiterhin Vorschuss verlangen kann, allerdings ohne die Möglichkeit, wieder auf den Nacherfüllungsanspruch zurückzukommen, § 281 Abs. 4 BGB.

52

(3) Auch insoweit gilt für einen VOB/B-Vertrag nichts anderes.

53

ee) Verfahrensrechtlich ist ein im Rahmen des Schadensersatzanspruchs statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes erfolgender Wechsel der Schadensbemessung, der auf einer Änderung der Disposition des Bestellers zur Durchführung der Mängelbeseitigung beruht, gemäß § 264 Nr. 3 ZPO (gegebenfalls in Verbindung mit § 264 Nr. 2 ZPO) nicht als Klageänderung anzusehen, sofern der Lebenssachverhalt im Übrigen unverändert ist. Das Gleiche gilt für den auf einer entsprechenden Änderung der Disposition beruhenden Wechsel vom Vorschussanspruch auf den Schadensersatzanspruch statt der Leistung in Form des kleinen Schadensersatzes und umgekehrt.

54

Verlangt etwa ein Besteller, der zunächst von der Mängelbeseitigung abgesehen und seinen Schaden nach dem Minderwert der mangelhaften Sache bemessen hat, nach durchgeführter Mängelbeseitigung nunmehr Schadensersatz in Höhe der aufgewandten Mängelbeseitigungskosten, liegt eine später eingetretene Veränderung vor, die die Anwendung des § 264 Nr. 3 ZPO rechtfertigt. Nichts

anderes gilt, wenn der Besteller in dieser Konstellation vor Durchführung der Mängelbeseitigung auf den Vorschussanspruch zurückkommt. Bereits die Entscheidung, nunmehr die Mängel beseitigen und Vorschuss verlangen zu wollen, wird von § 264 Nr. 3 ZPO erfasst. Der Umstand, dass der Vorschuss zweckgebunden ist und abgerechnet werden muss, während der Schadensersatzanspruch grundsätzlich auf endgültige Abwicklung des Schadens gerichtet ist, stellt sich als bloße Beschränkung des Klageantrags im Sinne des § 264 Nr. 2 ZPO dar. Soweit sich aus den Entscheidungen des Senats vom 11. November 2004 (VII ZR 95/04, BauR 2005, 386, 387, juris Rn. 7 = NZBau 2005, 151) und vom 13. November 1997 (VII ZR 100/97, BauR 1998, 369, 370, juris Rn. 11) etwas anderes ergibt, wird hieran nicht festgehalten.

55

Hieraus folgt, dass es einem Besteller, der auf der Grundlage der bisherigen Rechtsprechung noch Schadensersatz in Höhe der fiktiven Mängelbeseitigungskosten geltend gemacht hat, nicht nur möglich ist, eine andere Form der Schadensbemessung zu wählen, sondern gegebenenfalls auch auf den Vorschussanspruch zurückzukommen.

56

2. Klage gegen den Beklagten zu 5

57

a) Aufgrund der wirksamen Beschränkung der Zulassung der Revision durch das Berufungsgericht und der Zurückweisung der Nichtzulassungsbeschwerde durch den Senat steht weiter rechtskräftig fest, dass die Klägerin gegen den Beklagten zu 5 dem Grunde nach einen Schadensersatzanspruch neben der Leistung wegen mangelhafter Planung und Überwachung der Natursteinarbeiten im Außenbereich des Einfamilienhauses in D. gemäß § 634 Nr. 4, § 280 Abs. 1 BGB hat. Auch im Verhältnis zum Architekten kann das Berufungsurteil mit der gegebenen Begründung zur Höhe des Schadensersatzanspruchs indes keinen Bestand haben.

58

b) Nach der Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs schuldet der Architekt dem Besteller gemäß § 634 Nr. 4, § 280 Abs. 1 BGB Schadensersatz wegen der von ihm zu vertretenden Planungs- oder Überwachungsfehler, die sich im Bauwerk bereits verwirklicht haben. Bei dem gegen den Architekten gerichteten Schadensersatzanspruch wegen Mängeln des Bauwerks, die auf seine Planungs- oder Überwachungsfehler zurückzuführen sind, handelt es sich der Sache nach um einen Schadensersatz neben der Leistung nach § 280 Abs. 1 BGB, denn die Mängel des Bauwerks können nicht durch Nacherfüllung der Architektenleistung noch beseitigt werden. Mit dem Schadensersatzanspruch neben der Leistung gemäß § 280 Abs. 1 BGB kann Schadensersatz für Schäden beansprucht werden, die an

anderen Rechtsgütern des Bestellers oder an dessen Vermögen eintreten (vgl. BGH, Urteil vom 16. Februar 2017 - VII ZR 242/13, BauR 2017, 1061 Rn. 23 = NZBau 2017, 555 m.w.N.).

59

Dieser Schadensersatzanspruch ist auf Zahlung eines Geldbetrags gerichtet. Hat der Architekt die von ihm geschuldeten Planungs- oder Überwachungsleistungen mangelhaft erbracht und hat der Besteller deswegen das bei einem Dritten in Auftrag gegebene Bauwerk nicht so erhalten wie als Ziel der vom Architekten geschuldeten Mitwirkung vereinbart, ist das hierdurch geschützte Interesse des Auftraggebers an einer entsprechenden Entstehung des Bauwerks verletzt. Der Schaden des Bestellers besteht darin, dass er im Ergebnis ein Bauwerk erhält, das hinter dem im Architektenvertrag als Ziel vereinbarten Bauwerk zurückbleibt. Für den sich daraus ergebenden Vermögensnachteil hat der Architekt Schadensersatz in Geld zu leisten. Nach § 249 Abs. 1 BGB muss der Architekt den Zustand herstellen, der bestehen würde, wenn er nicht mangelhaft geleistet hätte. Hätte der Architekt die von ihm geschuldeten Architektenleistungen mangelfrei erbracht, wäre es dem Auftraggeber möglich gewesen, das Bauwerk wie gewünscht, insbesondere ohne Mängel, durch den Bauunternehmer entstehen zu lassen. Der Architekt hat dem Besteller als Schadensersatz daher die Mittel zur Verfügung zu stellen, die dieser zur Kompensation des verletzten Interesses benötigt (vgl. BGH, Urteil vom 16. Februar 2017 - VII ZR 242/13, aaO Rn. 24 m.w.N.).

60

c) Auch im Verhältnis zum Architekten scheidet hinsichtlich der von ihm zu vertretenden Planungs- oder Überwachungsfehler, die sich im Bauwerk bereits verwirklicht haben, ein Zahlungsanspruch in Höhe der fiktiven Mängelbeseitigungskosten betreffend das Bauwerk aus.

61

aa) Eine solche Bemessung lässt sich - ungeachtet der Ausführungen unter II. 1. - mit der bisherigen Rechtsprechung des Senats, wonach ein Mangel selbst ein Vermögensschaden in Höhe der notwendigen Mängelbeseitigungskosten sei, ohnehin nicht begründen. Denn es geht im Verhältnis zum Architekten nicht um die Bemessung eines Mangelschadens, weil der Architekt nicht die Errichtung des Bauwerks selbst schuldet (vgl. BGH, Beschluss vom 1. Februar 1965 - GSZ 1/64, BGHZ 43, 227, 229 f., juris Rn. 10). Mängel des Architektenwerks sind nur die Defizite in Planung oder Überwachung.

62

bb) Für die Frage, wie der durch die im Bauwerk verwirklichten Planungs- oder Überwachungsfehler (Mängel des Architektenwerks) verursachte Schaden

vermögensmäßig zu bemessen ist, können die obigen Erwägungen betreffend das Verhältnis des Bestellers zum Bauunternehmer entsprechend herangezogen werden. Danach ist die Schadensbemessung auch im Verhältnis zum Architekten daran auszurichten, welche Dispositionen der Besteller zur Schadensbeseitigung trifft, und sie hat einen vollen Ausgleich bei Vermeidung einer Überkompensation zu erreichen.

63

cc) Nach diesen Maßstäben gilt hinsichtlich dieser Schäden Folgendes:

64

(1) Lässt der Besteller den Mangel des Bauwerks nicht beseitigen, kann er seinen Schaden im Wege einer Vermögensbilanz nach dem Minderwert des Bauwerks im Vergleich zu dem hypothetischen Wert des Bauwerks bei mangelfreier Architektenleistung bemessen oder gegebenenfalls - bei Veräußerung des Objekts - nach dem konkreten Mindererlös (dazu II. 1. c) aa)).

65

Hat der durch die mangelhafte Architektenleistung verursachte Mangel des Bauwerks - wie hier - zur Folge, dass eine Störung des Äquivalenzverhältnisses des Bauvertrags vorliegt, kann der Besteller stattdessen seinen Schaden auch in der Weise bemessen, dass er ausgehend von der mit dem Bauunternehmer vereinbarten Vergütung den mangelbedingten Minderwert des Werks des Bauunternehmers ermittelt (dazu II. 1. c) cc)). Denselben Vermögensschaden hat der Architekt, vermittelt durch den Mangel des Werks des Bauunternehmers, durch seine mangelhafte Architektenleistung verursacht und deshalb zu ersetzen.

66

(2) Lässt der Besteller den Mangel des Bauwerks beseitigen, sind die von ihm aufgewandten Kosten als Schaden gemäß § 634 Nr. 4, § 280 Abs. 1 BGB zu ersetzen. Denn ihm ist in Höhe der Aufwendungen ein Vermögensschaden entstanden, den er ohne die mangelhafte Architektenleistung nicht gehabt hätte. Vor Begleichung der Kosten kann der Besteller zudem Befreiung von den eingegangenen Verbindlichkeiten verlangen.

67

Hierin erschöpft sich der Vermögensschaden des Bestellers jedoch nicht. Er muss nunmehr auch Nachteile und Risiken einer Vorfinanzierung der Arbeiten am Bauwerk tragen, die ohne die mangelhafte Architektenleistung nicht entstanden wären. Nach § 634 Nr. 2, § 637 BGB werden dem Besteller im Verhältnis zu dem mangelhaft leistenden Bauunternehmer die Nachteile und Risiken einer Vorfinanzierung durch die Gewährung eines Vorschussanspruchs abgenommen. Diese für das Werkvertragsrecht getroffene Wertung des Gesetzgebers ist auch für Planungs- oder Überwachungsfehler des Architekten, die sich im Bauwerk

bereits verwirklicht haben, zu berücksichtigen. Ein umfassender Ausgleich des verletzten Interesses des Bestellers im Rahmen des Schadensersatzanspruchs gemäß § 634 Nr. 4, § 280 BGB wegen Planungs- oder Überwachungsfehlern, die sich im Bauwerk bereits verwirklicht haben, erfordert danach auch die Überwälzung der Vorfinanzierung auf den Architekten in Form der vorherigen Zahlung eines zweckgebundenen und abzurechnenden Betrags an den Besteller.

68

(3) Architekt und Bauunternehmer haben insoweit gegenüber dem Besteller gemeinsam für die Mängel des Bauwerks und den hierdurch entstandenen Schaden (wegen §§ 254, 278 BGB gegebenenfalls in unterschiedlicher Höhe) einzustehen, wenn jeder von ihnen seine Pflichten mangelhaft erfüllt hat (vgl. BGH, Beschluss vom 1. Februar 1965 - GSZ 1/64, BGHZ 43, 227, 230 f., juris Rn. 12).

69

3. a) Zum Schadensersatz gemäß § 437 Nr. 3, §§ 280, 281 BGB aus Kaufverträgen wegen des Mangels einer Kaufsache nehmen der V. und VIII. Zivilsenat (seit der Einführung eines Nacherfüllungsanspruchs im Kaufrecht zum 1. Januar 2002) an, dass ein Käufer seinen zu ersetzenden Schaden im Rahmen des kleinen Schadensersatzes auf der Grundlage der Mängelbeseitigungskosten unabhängig von einer Beseitigung des Mangels berechnen kann. Hierzu haben sie sich auf die bisherige Rechtsprechung des erkennenden Senats zur Bemessung des Schadens im Werkvertragsrecht nach fiktiven Mängelbeseitigungskosten bezogen (vgl. BGH, Urteile vom 15. Juni 2012 - V ZR 198/11, BGHZ 193, 326 Rn. 31; vom 4. April 2014 - V ZR 275/12, BGHZ 200, 350 Rn. 33; vom 11. Dezember 2015 - V ZR 26/15, BauR 2016, 1035 Rn. 21 und vom 29. April 2015 - VIII ZR 104/14, NJW 2015, 2244 Rn. 12).

70

Das veranlasst nicht, beim V. und VIII. Zivilsenat anzufragen, ob sie auch unter Berücksichtigung der obigen Erwägungen an dieser Rechtsprechung festhalten möchten, und gegebenenfalls die Rechtsfrage dem Großen Senat für Zivilsachen vorzulegen, § 132 Abs. 2 GVG. Denn die Änderung der Rechtsprechung des Senats beruht auf Besonderheiten des Werkvertragsrechts, die es auch dann rechtfertigen würden, die Bemessung des Schadensersatzes statt der Leistung im Werkvertragsrecht anders vorzunehmen, wenn für das Kaufrecht an der bisherigen Auffassung festzuhalten wäre.

71

Einerseits sind die Gefahren einer erheblichen Überkompensation eines Schadens des Bestellers - wie die Erfahrungen in vielen Fällen zeigen - im Werkvertragsrecht deutlich größer als im Kaufrecht in Bezug auf den Schaden des Käufers. Das beruht vor allem darauf, dass es im Werkvertragsrecht regelmäßig

schon faktisch nicht die Möglichkeit gibt, vergleichsweise kostengünstiger ein neues Werk herzustellen, als den Mangel am Werk zu beseitigen. Die Unverhältnismäßigkeit im Sinne von § 635 Abs. 3 BGB tritt zudem nur selten ein, weil sich ein Mangel des Werks üblicherweise an Sachen des Bestellers auswirkt und sich deshalb der (isolierte) Wert des mangelfreien Werks anders als im Kaufrecht (vgl. § 439 Abs. 4 Satz 2 BGB; BGH, Urteil vom 4. April 2014 - V ZR 275/12, BGHZ 200, 350 Rn. 41 ff.) nicht einmal als Faustregel für einen Grenzwert der Unverhältnismäßigkeit eignet. Schließlich sind Werkverträge regelmäßig dadurch gekennzeichnet, dass ein individuell gewünschter Erfolg mit bestimmten vereinbarten Beschaffenheiten versprochen wird und zu erreichen ist; dabei muss nicht jedes Verfehlen dieses Ziels, also jeder Mangel im Sinne von § 633 BGB, ohne Weiteres im Markt überhaupt als vermögensrelevant angesehen werden. Das ist üblicherweise anders, wenn die Übereignung einer Sache im Mittelpunkt steht.

72

Andererseits bedarf es im Werkvertragsrecht eines Anspruchs auf Erstattung fiktiver Mängelbeseitigungskosten auch nicht, um dem Besteller die Dispositionsfreiheit zu belassen, den Mangel (noch) selbst auf Kosten des Unternehmers zu beseitigen. Hier ist er ausreichend durch die Rechte der Vorschrift des § 637 BGB, die im Kaufrecht keine Entsprechung hat, vor allem auch durch den Vorschussanspruch des § 637 Abs. 3 BGB, geschützt (vgl. oben II. 1. c) dd)).

73

b) Soweit gemäß § 249 Abs. 2 BGB nach der Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs auch fiktive Kosten als Schadensersatz verlangt werden können, steht dies nicht in Widerspruch zur vorliegenden Entscheidung, bei der es nicht um die Beschädigung einer Sache geht.

III.

74

Das Berufungsurteil kann daher keinen Bestand haben, soweit dort die Höhe des Schadens nach den fiktiven Mängelbeseitigungskosten bemessen worden ist. Der Senat kann in der Sache nicht selbst entscheiden, § 563 Abs. 3 ZPO. Die Klägerin wird zunächst Gelegenheit bekommen müssen, ihren Schaden nach den oben ausgeführten Grundsätzen darzulegen.

2 Leitsatz BGH, Urteil vom 21.06.2018 - VII ZR 173/16

vorhergehend: OLG Bremen, Urteil vom 03.06.2016 – 2 U 59/15, LG Bremen, Urteil vom 07.05.2015 – 12 O 187/08

Fundstellen: IBR 2018, 499; MDR 2018, 987; NJW-RR 2018, 1038; NZBau 2018, 523

Der Auftraggeber, der das Werk behält und den Mangel nicht beseitigen lässt, kann im Rahmen eines Schadensersatzanspruchs statt der Leistung (kleiner Schadensersatz) gegen den Auftragnehmer gem. § 13 Nr. 7 Abs. 3 VOB/B 2002 seinen Schaden nicht nach den fiktiven Mängelbeseitigungskosten bemessen (im Anschluss an BGH, Urteil vom 22.02.2018 – VII ZR 46/17).*)

3 Leitsatz BGH, Beschluss vom 05.07.2018 – VII ZR 35/16

vorhergehend: OLG München, Urteil vom 12.01.2016 – 9 U 4598/14 Bau, LG München I, Urteil vom 29.10.2014 – 2 O 17024/11

Fundstelle: IBR 2018, 517

Der Schadensersatzanspruch gegen einen Architekten, der für die Errichtung eines mangelhaften Bauwerks haftet, kann nicht nach den fiktiven Kosten der Beseitigung der Mängel am Bauwerk bemessen werden (vgl. BGH, Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17).

4 Leitsatz BGH, Urteil vom 06.12.2018 – VII ZR 71/15

vorhergehend: OLG Frankfurt, Urteil vom 26.03.2015 – 15 U 256/13, LG Marburg, Urteil vom 02.10.2013 – 2 O 18/12

Fundstellen: IBR 2019, 517; MDR 2019, 285; NJW-RR 2019, 406; NZBau 2019, 170; ZIP 2019, 277

Ein Besteller, der den Mangel nicht beseitigen lässt, kann seinen Schaden nicht nach den fiktiven Mängelbeseitigungskosten bemessen (Bestätigung von BGH, Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17; Urteil vom 21.06.2018 - VII ZR 173/16).*)

5 Leitsatz OLG Koblenz, Urteil vom 04.05.2018 – 5 U 1321/17

rechtskräftig

vorhergehend: LG Koblenz, 16.11.2017 – 9 O 280/16

Fundstellen: IBR 2018, 545; NJW 2018, 2807; NZBau 2018, 618

Der bei Geltendmachung eines Schadensersatzanspruchs vor Abnahme erfolgte Wechsel von einem Leistungs- auf ein Feststellungsbegehren (auf Verpflichtung zum Schadensersatz) aufgrund der Änderung der Rechtsprechung des BGH zur fiktiven Abrechnung von werkvertraglichen Mängelbeseitigungskosten (BGH, Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17) unterfällt der privilegierenden Regelung des § 264 Nr. 2 ZPO. *)

6 Leitsatz OLG Frankfurt, Urteil vom 31.08.2018 – 13 U 191/16

rechtskräftig

vorhergehend: LG Darmstadt, Urteil vom 21.09.2016 – 23 O 148/16

Fundstellen: IBR 2018, 681; 2019, 52; NZBau 2019, 172

Behält der Besteller das Werk und lässt den Mangel nicht beseitigen, kann der Schaden ausgehend von der für das Werk vereinbarten Vergütung anhand der Vergütungsanteile bemessen werden, die auf die mangelhafte Leistung entfallen. Ergeben sich die Vergütungsanteile, die auf die mangelhafte Leistung entfallen, nicht aus dem Bauvertrag, sind sie gemäß § 287 ZPO zu schätzen. Dabei ist auch das dem Besteller verbleibende Material, soweit diesem noch ein wirtschaftlicher Wert zukommt, zu berücksichtigen.

7 Leitsatz LG München I, Urteil v. 09.11.2018 – 2 O 11810/16

rechtskräftig

Fundstelle: IBR 2019, 132

Die Rechtsprechung des BGH zur Unzulässigkeit einer fiktiven Schadensberechnung beim werkvertraglichen Schadensersatzanspruches ist auf sogenannte Begleitschäden nicht anwendbar. Umsatzsteuer kann auch bei Begleitschäden nur erstattet verlangt werden, wenn und soweit sie tatsächlich angefallen ist. Die Kosten für die Planung und Überwachung von Schadensbeseitigungsmaßnahmen können in der Regel mit 15 % der Kosten für die eigentlichen Schadensbeseitigungsmaßnahmen veranschlagt werden. Im Einzelfall können auch lediglich 10 % anzusetzen sein.

8 Leitsatz OLG Köln, Urteil vom 31.10.2018 – 11 U 166/17

nicht rechtskräftig, gegen die Entscheidung wurde Nichtzulassungsbeschwerde beim BGH eingelegt (Az.: VII ZR 232/18)

vorhergehend: LG Aachen, Urteil vom 15.11.2017 – 11 O 309/13

Fundstelle: IBR 2019, 188

Die Rechtsprechung des BGH zum Ausschluss fiktiver Mängelbeseitigungskosten im Werkvertrag (BGH, Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17) gilt auch für die Durchgriffshaftung des Geschäftsführers einer Bauunternehmung wegen Bau-mängeln aus § 826 BGB.

9 Leitsatz OLG Frankfurt, Urteil vom 21.01.2019 – 29 U 183/17

Revision zugelassen, aber soweit veröffentlicht nicht eingelegt

vorhergehend: LG Frankfurt/Main, Urteil vom 06.10.2017 - 2-25 O 143/17

Fundstelle: IBR 2019, 225; IMR 2019, 158; ZIP 2019, 1127

Auch der Käufer einer mangelhaften Sache kann seinen Schaden nicht auf der Grundlage der fiktiven Mangelbeseitigungskosten berechnen, wenn er die Sache behält. Dies gilt insbesondere, wenn die fiktiven Mangelbeseitigungskosten den Sachwert des Gebäudes erreichen oder übersteigen. Ebenso wie im Werkvertragsrecht (vgl. BGH, Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17) ist auch im Kaufrecht aus Gründen des allgemeinen vertraglichen Schadensrechts eine solche Abrechnung mit dem Verbot der Überkompensation unvereinbar.*)

10 LG Ravensburg, Urteil vom 06.12.2018 – 2 O 151/14

rechtskräftig

Fundstelle: IBR 2019, 378

Eine Schadensberechnung auf Grundlage der fiktiven Mängelbeseitigungskosten ist nach der geänderten Rechtsprechung des BGH (Urteil vom 22.02.2018 - VII ZR 46/17) auch im Kaufrecht nicht mehr zulässig. Die Änderung der Rechtsprechung zu den fiktiven Mängelbeseitigungskosten kann nicht auf das Werkvertragsrecht beschränkt bleiben, weil die Überlegungen im Urteil des BGH vom 22.02.2018 die allgemeinen Grundsätze des Schadensersatzes statt der Leistung betreffen.

11 Leitsätze LG Darmstadt, Beschluss vom 26.04.2019 – 6 S 243/18

rechtskräftig

Fundstelle: IMRRS 2018, 1329

1. Schadensersatz wegen Schäden an der Mietsache sind als Schadensersatz statt der Leistung (früher: Schadensersatz wegen Nichterfüllung) auch dann geschuldet, wenn der Gläubiger die Sache nachfolgend veräußert.
2. Die Rechtsprechung des BGH vom 22.02.2018 (VII ZR 46/17) zur Unzulässigkeit der Geltendmachung des fiktiven Schadens bezieht sich ausdrücklich auf Werkvertragsrecht und ist auf Schadensersatzansprüche aus Beschädigung einer Sache nicht anwendbar.

12 OLG Düsseldorf, Urteil vom 09.10.2018 – 24 U 194/17

Revision zugelassen, aber soweit veröffentlicht nicht eingelegt
vorhergehend: LG Krefeld, Urteil vom 26.10.2017 - 3 O 256/16

Fundstellen: IMR 2019, 80; MDR 2019, 155; ZIP 2019, 1127

Trotz der Entscheidung des VII. Zivilsenats des BGH vom 22.02.2018 (VII ZR 46/17) verbleibt es im Kaufrecht beim Recht des Käufers, fiktive Mängelbeseitigungskosten im Rahmen des kleinen Schadensersatzes geltend machen zu können.*)

13 OLG Düsseldorf, Urteil vom 09.11.2018 – I-22- U 1/17

nachfolgend: BGH - VIII ZR 366/18 (Verfahren ohne Entscheidung erledigt)

vorhergehend: LG Krefeld, 06.12.2017 - 2 O 132/17

Fundstelle: BauR 2019, 1318

Der Übergang von einem in erster Instanz geltend gemachten Schadensersatzanspruch (netto) auf einen Kostenvorschussanspruch (brutto) in zweiter Instanz ist statthaft; es fehlt insoweit auch nicht die notwendige Beschwerde (vgl. BGH, Urteil vom 22.02.2018 – VII ZR 46/17, dort Rdnr. 46 ff. zum materiellen Recht; dort Rdnr. 53 ff. zum Verfahrensrecht).*)

Abdichtung nach DIN 18531 versus Flachdachrichtlinie

H.-Christian Herzberg, Berlin

Zusammenfassung

Spätestens seit der Ausgabe 1973 der „Richtlinie für die Ausführung von Flachdächern“ hat dieses Regelwerk mit all seinen Fortschreibungen und Überarbeitungen den Status allgemein anerkannten Regeln der Technik im Bereich der Dachabdichtung erlangt.

Die aktuelle Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie, Ausgabe 10/2016 mit Änderungen November 2017 und Mai 2019 führt dies durch die erfolgte grundlegende Überarbeitung, Straffung und den Gewinn an Deutlichkeit fort.

Ob die DIN 18531 Teil 1 – 5, in der Fassung der Ausgabe 07/2017 diesen Status erreichen kann, wird die Zukunft zeigen, haben doch zahlreiche Inhalte, z.B. Anwendungskategorien, auch der Vorgänger-Normen, nicht den überwiegenden Teil des Marktes erreicht.

Problematisch ist es aber, dass dadurch zurzeit zwei nicht mehr überwiegend deckungsgleiche Regelwerke auf dem Markt sind.

Dies hat zu Verwirrung, Unverständnis und zum Teil auch rechtlichen Problemen geführt.

Der eine oder andere nutzt diese Verwirrung aber auch für taktische Spielchen, dabei sollte doch (eigentlich) das Ziel für alle Marktteilnehmer ein reibungsloser Planungs- und Bauablauf mit einem fachgerechten Ergebnis sein!

Für zusätzliche Irritationen hat teilweise die Reaktivierung der DIN 18195 als Begriffe-Norm mit Ausgabedatum 07/2017 gesorgt.

Mit dem Vortrag sollen die Divergenzen und das Bemühen, diese möglichst umfassend zu beseitigen, behandelt werden.

1 Divergenzen zwischen der Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie und der DIN 18531

Es wird darauf verzichtet, alle Divergenzen aufzuzeigen; lediglich deutliche und dadurch auch ggf. strittige Unterschiede werden dargestellt.

Flachdachrichtlinie 12/2016

DIN 18531 07/2017

Mineralwolle-Dämmstoffe nach DIN EN 13162 dürfen bei Dächern mit Solaranlagen oder anderweitigen Anlagen als Abdichtungsunterlage verwendet werden, wenn die Druckfestigkeit min. 70 kPa bei 10% Stauchung beträgt, oberhalb der Dämmung eine lastverteilende Schicht angeordnet ist und der Hersteller des Dämmstoffs die Anwendung freigibt.
vgl. Abschnitt 3.4.1 (6)

Mineralwolle-Dämmstoffe nach DIN EN 13162 dürfen bei Dächern mit Solaranlagen oder anderweitigen Anlagen als Abdichtungsunterlage nicht verwendet werden.
vgl. DIN 18531-1 Abschnitt 7.6

Holzfasen- und Holzwole-Dämmstoffe nach DIN EN 13171 und DIN EN 13168 sind bei Sonderkonstruktionen als Abdichtungsunterlage in Dächern ohne belüftete Luftschichten zulässig.
vgl. Abschnitt 1.4 (20) & 3.4.1 (2) und (4)

Holzfasen- und Holzwole-Dämmstoffe nach DIN EN 13171 und DIN EN 13168 sind grundsätzlich nicht als Abdichtungsunterlage zulässig.
vgl. DIN 18531-1 Abschnitt 7.6

Bläuperlite-Platten nach DIN EN 13169 dürfen als Abdichtungsunterlage verwendet werden.
vgl. Abschnitt 3.4.1 (2) und (4)

Bläuperlite-Platten nach DIN EN 13169 sind grundsätzlich nicht als Abdichtungsunterlage zulässig.
vgl. DIN 18531-1 Abschnitt 7.6

In begründeten Fälle dürfen gefällelose Flächen (Gefälle < 2%) geplant werden.
vgl. Abschnitt 2.2 (2)

In der Anwendungsklasse K2 muss in der Fläche ein Gefälle von $\geq 2\%$ geplant werden.^a
vgl. DIN 18531-1 Abschnitt 6.3.2.2

Die Mindestdicke von ECB-Abdichtungsbahnen mit Einlage muss 2,0 mm betragen.
vgl. Abschnitt 3.6.3.2 (2)

In der Anwendungsklasse K2 muss die Mindestdicke von ECB-Abdichtungsbahnen mit Einlage 2,3 mm betragen.
vgl. DIN 18531-3 Abschnitt 4.3

Anschlüsse mit eingeklebten Blechen sind bei einer Breite der Klebefläche von mindestens 160mm und einer Verklebung im Lagenrückversatz zulässig.
vgl. Abschnitt 4.3.3

Anschlüsse mit eingeklebten Blechen sind bei einer Breite der Klebefläche von mindestens 160mm und einer Verklebung im Lagenrückversatz nur in der Anwendungsklasse K1 zulässig.
vgl. DIN 18531-3 Abschnitt 7.3.1

Werden bei Instandsetzungen Befestigungselemente durch vorhandene wärmedämmte Dachaufbauten geschraubt, sollen korrosionsbeständige Befestiger verwendet werden.
vgl. Abschnitt 2.6.3.4 (15)

In der Anwendungsklasse K2 müssen bei mechanischer Befestigung der Abdichtung korrosionsbeständige Schrauben verwendet werden.
vgl. DIN 18531-1 Abschnitt 6.14

Die Flachdachrichtlinie fordert aber auch mehr, z.B. im Bereich der Maßnahmen zur Aufnahme horizontaler Kräfte, 2.6.1 (2): hier wird auch für Dachaufbauten mit leichtem Oberflächenschutz und Hartschaum-Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol (EPS) mit einer Druckbelastbarkeit < 150 kPa (dm) eine Randbefestigung gefordert.

Der Passus für die Ausführung einer wasserunterlaufsicheren Konstruktion in Abschnitt 2.3.2 (4) ist ebenfalls neu.

Aber er stellt lediglich einen Hinweis auf die dann erforderlichen Maßnahmen dar und fordert keinesfalls grundsätzlich eine solche Konstruktion.

2 Was wird die Zukunft bringen?

Auf Grund des zur Drucklegung dieses Tagungsbandes laufenden Verfahrens waren leider keine weiteren Darlegungen möglich. Der aktuelle Stand der Beratungen und Bemühungen zur erneuten Angleichung der Flachdachrichtlinie und der DIN 18531 ist daher dem Vortragsinhalt zu entnehmen (steht nach der Tagung als download auf der Webseite des BuFAS e.V. unter www.bufas-ev.de zur Verfügung).

Dach- und Terrassenkonstruktionen in der Praxis

Gerhard Klingelhöfer, Pohlheim

Zusammenfassung

Dieser Beitrag befasst sich mit Grundsätzen von praxisüblichen Konstruktionen von Flachdach- und Dachterrassenabdichtungen, deren Schutzschichten bzw. Schutzlagen und Belägen. Auf erdlastige Terrassenkonstruktionen oder Holzterrassenkonstruktionen wird hier nicht eingegangen. Abdichtungen von Flachdächern und Dachterrassen sowie Balkone, Loggien und Laubengänge sind seit Juli 2017 in der neuen DIN 18531, Teile 1 – 5 und in der überarbeiteten Flachdachrichtlinie vom Mai 2019 umfassend geregelt. Dazu kommt ab Herbst 2019 auch noch die neue VOB/C ATV DIN 18336 „Abdichtungsarbeiten“ in die die neuen Abdichtungsnormen DIN 18531 – 18535 sowie die Inhalte der ATV DIN 18338 „Dachabdichtungsarbeiten“ und ATV DIN 18354 „Gußasphaltarbeiten“ aufgenommen wurden, so dass hier eine umfassende neue technische Vorschrift für die praxisüblichen Abdichtungsarbeiten im Hochbau entstanden ist. Diese Regelwerke für Dachabdichtungen bauen auf Jahrzehnte lange Erfahrungen in der Bauplanung und Praxis auf und sind überwiegend als anerkannte Regeln der Technik einzustufen. Leider gibt es immer noch in einigen Punkten Differenzen zwischen der Flachdachrichtlinie des ZDVH und der DIN 18531 sowie DIN 18336 auf die hier aber nicht im Einzelnen eingegangen wird, weil das auch Thema des vorangegangenen Beitrages ist. Würden die aktuellen Regelwerke bei Dachabdichtungen in der Planung und Ausführung beachtet, gäbe es auch weniger Abdichtungsprobleme in der Praxis. Leider gibt es aber immer noch Probleme mit fehlerhaften Ausführungen, Leckagen und Feuchteschäden an derartigen Dachabdichtungen, vor allem auch wenn sie erst durch umfängliche Wasserschäden in darunterliegenden Bauteilen oder Bauwerksbereichen spät entdeckt werden. Aber auch schon im Neubau sollten neue Dachabdichtungen mit geschultem Augenmerk kritisch geprüft werden, bevor sie abgenommen, überdeckt oder überbaut werden.

Mit der überarbeiteten DAfStb-Richtlinie für Wasserundurchlässige Betonkonstruktionen vom Dez. 2017 sind nun auch wieder WU-Dächer als „Alternative“ für Dachabdichtungen geregelt worden, wobei diese Bauart sehr spezielle Ansprüche und Besonderheiten hat, auf die hier nicht weiter eingegangen wird. Zusammenfassend soll dieser Beitrag einige Denkanstöße geben und den Leser für die Dachabdichtungsproblematik in der Praxis sensibilisieren.

1 1 Grundsätze und Allgemeines

1.1 Grundsätze für Dach- und Dachterrassenabdichtungen gegen Wasser

Dach- und Dachterrassenabdichtungen sind abdichtungstechnisch, bis auf die Nutzungseinwirkungen, weitgehend gleichartig zu betrachten, so dass im Folgenden für beide Anwendungsbereiche primär von Dachabdichtungen gesprochen wird. Dachabdichtungen müssen Bauwerke dauerhaft und sicher über die vorgesehene Nutzungsdauer gegen Wasser von außen, durch Bewitterung aus Niederschlägen und Schnee, schützen und so am Bauwerk angebracht sein, dass sie nicht durch Wind, Sonne oder Nutzungseinwirkungen beschädigt werden. Im Gegensatz zu stärker geneigten Dachdeckungen müssen Dachabdichtungen wasserdicht und hinterlaufsicher sein. Die alten Grundsätze „Wasser hat einen spitzen Kopf“ und „Wasser ist konsequent“ sind auch in modernen Zeiten weiterhin gültig und müssen bis ins letzte Detail am Bauwerk beachtet werden, um funktions sichere, dauerhaft wasserdichte Dachabdichtungen zu erstellen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass durch Bewitterung auf Flachdächer, Dachterrassen und ähnlichen Bauteilen jahreszeitlich unterschiedlich alle drei Aggregatzustände des Wassers auftreten, also flüssiges Wasser und gasförmiger Wasserdampf sowie im Winter Eisbildung und festes Eis (dabei ist ca. 10% Volumenzunahme durch die Eisbildung zu berücksichtigen). Insofern ist auch der allzeit funktionsfähigen Entwässerung von Dach- und Dachterrassenflächen größte Beachtung zu schenken. Die Dachabläufe müssen immer am tiefsten Punkt der Dachabdichtung möglichst vertieft eingebaut werden (Ausnahme bei planmäßiger Anstaubewässerung). In diesem Zusammenhang wird auf die diesbezüglichen Regeln zur Dachentwässerung und Überflutungsschutz in DIN 1986-100 und DIN EN 12056 hingewiesen.

1.1.1 Regelwerke für Dachabdichtungen

Die normativen Regelungen für Abdichtungen von genutzten und ungenutzten Dächern sind zusammengefasst in der DIN 18531, Teile 1-5 seit Juli 2017 geregelt und seit Anfang 2018 gibt es auch einen umfangreichen offiziellen

Kommentarband zur DIN 18531, der diese Norm verständlich für die Praxis erläutert. Öffentlich-rechtlich regelt die bauaufsichtlich eingeführte DIN SPEC 20000-201 die Anwendung von Bitumen- Polymerbitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen zur Dachabdichtung (siehe auch VVTB nach LBO).

Die Flachdachrichtlinie des ZVDH ist als weiteres umfassendes Regelwerk für Dachabdichtungen hier anzugeben und ist besonders in Bezug auf handwerkliche Ausführung von Dachabdichtungen sowie mit vielen Prinzipdetails als praxisorientiertes Verbandsregelwerk des Zentralverbandes Deutsches Dachdeckerhandwerk (ZVDH) hier zu nennen. Als nachteilig ist hier anzumerken, dass die Flachdachrichtlinie seit der Ausgabe 10-2016 Bezüge auf DIN-Normen herausgelassen hat und nicht mehr mit den o.g. DIN-Normen kongruent ist. Deshalb muss in der Praxis auch darauf geachtet werden, ob die Einhaltung spezieller Regelwerke vertraglich vorgeschrieben oder vereinbart ist, weil i.A. dann danach geplant und ausgeführt werden muss.

Für Abdichtungen oder Details mit Flüssigkunststoffen ist auch die ETAG 005 anzuwenden und man findet weitere Informationen in diesbezüglichen Leitfaden der Deutschen Bauchemie.

Ohne Kenntnisse der einschlägigen Regelwerke für Dachabdichtungen sollte kein Planer Dachabdichtungen planen oder ausführen lassen. Gleiches gilt selbstverständlich auch für die ausführenden Dachdecker oder Abdichter, die über spezielle Fachkunde und viel Praxiserfahrung verfügen müssen, um dauerhaft dichte Dachabdichtungen fachgerecht herstellen zu können.

2 Planung und Auswahl der Dachabdichtung

2.1 Planung von Dach- und Dachterrassenabdichtungen

Dach- und Dachterrassenabdichtungen sind abdichtungstechnisch, bis auf die Nutzungseinwirkungen, weitgehend gleichartig zu betrachten, so dass im Folgenden für beide Anwendungsbereiche primär von Dachabdichtungen gesprochen wird.

Bei der Planung von Dachabdichtungen müssen die öffentlich-rechtlichen Bauvorschriften (z.B. Landesbauordnungen LBO und Verwaltungsvorschriften VVTB) sowie die zivilrechtlich die Werksvertragsregelungen berücksichtigt werden.

Nach den öffentlich rechtlichen Bauvorschriften (LBO) dürfen nur Abdichtungsprodukte und Bauarten an Gebäuden verwendet werden, die gemäß VVTB (Ersatz für Bauregelliste) über einen qualifizierten Verwendbarkeitsnachweis besitzen (z.B. für geregelte Bauprodukte nach DIN mit Ü- oder nach ETAG mit CE-Zeichen oder für ungeregelte Bauprodukte/Bauarten mit Allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen oder europ. ETA). In Deutschland regelt die DIN SPEC

20000-201 die Verwendbarkeit von Dachabdichtungsbahnen für Bitumen-, Polymerbitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen. Darin kann man die jeweils zugehörigen Produkt- und Prüfnormen für die Dachabdichtungsbahnen entnehmen, um die jeweils bauaufsichtlich geregelten Bahnen in der Planung auswählen und festlegen zu können. Die Flüssigkunststoffabdichtungen sind in der europäischen Vorschrift ETAG 005 seit langem geregelt.

Insofern ist der Planer im Allgemeinen nicht frei bei seiner Auswahl der Dachabdichtungsstoffe und sollte sich möglichst an diese bauaufsichtlichen Vorschriften für Bauprodukte und Bauarten halten, weil er ansonsten die Gleichwertigkeit seines individuell gewählten Abdichtungsstoffes in Bezug auf diese bauaufsichtlichen Vorschriften (VVTB) selbst nachweisen muss (Beweislastumkehr laut MBO). Diese Nachweispflicht der Verwendbarkeit eines Bauproduktes oder einer Bauart an einem Gebäude kann auch den Gebäudeeigentümer treffen, wenn die Bauaufsicht bei einer nachträglichen Prüfung erhebliche Abweichungen von den VVTB bzw. der LBO am Bauobjekt feststellt.

Der Planer von Dachabdichtungen sollte sich aber auch zivilrechtlich an die Vorgaben des Auftraggebers halten, um die vereinbarte Beschaffenheit laut Vertragsoll umzusetzen und am Bauwerk zu realisieren. Dazu ist bei Planungsbeginn zuerst der Bedarf des Bauherrn für das jeweilige Bauvorhaben zu ermitteln. Dazu gibt die DIN 18205 Bedarfsplanung im Bauwesen gute allgemeine Hilfestellungen. In diesem Zusammenhang sind bereits viele Fragen zur Dachabdichtung im Beratungsgespräch mit dem Bauherrn/Auftraggeber zu stellen und deren Antworten am Ende der Bedarfsplanung zu dokumentieren. Beispielsweise sind folgende Fragen zu klären:

- Wird es eine genutzte oder ungenutzte Dachabdichtung?
- Hat der Bauherr/AG irgendwelche Vorzüge oder Ablehnung spezieller Baustoffe oder Bauarten?
- Welche Qualität und Nutzungsdauer erwartet der Bauherr/AG von der Dachabdichtung?
- Welches Sicherheitsniveau bzw. Redundanz erwartet der Bauherr/AG von der Dachabdichtung?
- Liegen unter der Dachabdichtung sehr hochwertige, empfindliche Räumlichkeiten oder handelt es sich um Standardbau?
- Werden auf der Dachabdichtung noch Bauarbeiten durchgeführt?
- Ist eine Begrünung oder ein Dachaufbau über der Dachabdichtung vorgesehen oder zu erwarten?
- Welches Budget steht für die Dachabdichtung zur Verfügung?

- Welchen Schutz soll die Dachabdichtung erhalten?
- Passen die Bauherren-/AG-Wünsche zu den technischen Ansprüchen an eine Dachabdichtung und passt das jeweilige Bauwerk dazu?

Diese Aufzählung ist nicht abschließend, weil es bestimmt noch viele Fragen gibt, die jeweils objektspezifisch für die Wahl der Dachabdichtung bereits früh vom Planer zu stellen und im weiteren Planungsprozess zu klären, zu beantworten und in der Realisierung zu berücksichtigen sind.

Die DIN 18531 bietet in den Teilen 1-3 über die allgemeinen Anforderungen zur Beständigkeit/Verträglichkeit, Lastabtragung, Dauerhaftigkeit und Art der Wasser-/Feuchteeinwirkung auch Klassifizierung der Einwirkungsklassen im Anwendungsfall (mechanische Einwirkungen hoch Stufe I oder mäßige Stufe II / thermische Einwirkungen hohe Stufe A oder mäßige Stufe B) denen auf Seite der Abdichtungsstoffe dann abgestufte Eigenschaftsklassen der Abdichtungsstoffe (von hoch E1 bis mäßig E4) zugeordnet sind. Im Weiteren sind dann im Teil 2 dieser DIN-Norm die Eigenschaftsklassen den verschiedenen Bitumen- und Polymerbitumenbahnen in Tabelle 2 zugeordnet. Die Kunststoff- oder Elastomerbahnen und Flüssigkunststoffabdichtungen nach dieser DIN-Norm sind generell der höchsten Eigenschaftsklasse E1 zugeordnet und werden anwendungsbezogen nur in der Bahndicke relevant unterschieden. Während Bitumen- und Polymerbitumenbahnen in der Regel bei Dachabdichtungen mindestens zweilagig geplant und verarbeitet werden und nur in Ausnahmefällen auch einlagig als sehr hochwertige Polymerbitumenbahnenabdichtung mit KTG-Einlage eingesetzt werden dürfen, werden Kunststoff- oder Elastomerbahnenabdichtungen, wie auch Flüssigkunststoffabdichtungen in der Regel einlagig geplant und eingebaut. Je nach Anwendungsbereich und weiteren Kriterien variieren die Bahndicken der Kunststoffbahnen (min. $d \geq 1,2 \text{ mm}$) oder Elastomerbahnen (min. $d \geq 1,1 \text{ mm}$). Bei Flüssigkunststoffabdichtungen liegen die erforderlichen Trockenschichtdicken je nach Anwendungsklasse in K1 bei 1,8 mm und in K2 bei 2,1 mm einschließlich der Verstärkungseinlage, die vollständig in den Flüssigkunststoff eingebettet sein muss (auch zur optischen Schichtdickenkontrolle).

Im Gegensatz zur aktuellen Flachdachrichtlinie enthält die DIN 18531 zwei Anwendungsklassen für Dachabdichtungen, Auszugszitate aus DIN 18531-1, Abs. 6.2 ff.:

- Anwendungsklasse K1 – (Standardausführung)
Die Abdichtung ist mindestens der Anwendungsklasse K1 zuzuordnen.
Dächer der Anwendungsklasse K1 können auch ohne Gefälle geplant

werden, wenn die Auswahl der Abdichtung die Anforderungen der Anwendungsklasse K2 erfüllt. Weitere Angaben dazu enthält auch Teil 3 der Norm.

- **Anwendungsklasse K2 (höherwertige Ausführung)**
Die Dachabdichtung kann der Anwendungsklasse K2 zugeordnet werden. Bei K2 sind eine erhöhte Zuverlässigkeit, eine längere Nutzungsdauer und/oder ein geringerer Instandhaltungsaufwand zu erwarten. Dies kann zum Beispiel bei höherwertiger Gebäudenutzung, Hochhäusern, Dächern und Dachflächen mit Solaranlagen oder mit haustechnischen Anlagen sinnvoll sein.
Dächer der Anwendungsklasse K2 sind in der Fläche mit einem Gefälle von $\geq 2\%$ zu planen. Im Bereich von Kehlen sollte ein Gefälle von 1% geplant werden.

Die Auswahl der Dachabdichtung und Festlegung der Anwendungsklasse erfolgt dann nach Teil 3 der DIN 18531.

Bezüglich der Gefällevorgabe ist darauf hinzuweisen, dass man mit 2% Gefälleplanung in der Dachfläche meistens kein Pfützen freies Dach bzw. keinen vollständigen Wasserablauf erreichen kann. Erfahrungsgemäß benötigt man mindestens ein Dachgefälle von $\geq 5\%$ für ein weitgehend Pfützen frei, ablaufendes Flachdach. Bei der Gefälleplanung sind die Bauwerksverformungen der Dachunterkonstruktion und des Tragwerks unbedingt zu beachten. Hier muss der Planer den Tragwerksplaner konsultieren und sollte sich die jeweiligen Durchbiegungen des Abdichtungsuntergrundes vorgeben lassen um diese bei der Planung der Dachabläufe (möglichst an den Tiefpunkten) und des Dachgefälles zu berücksichtigen.

Ein Beispiel eines Hallendaches über einer hochwertigen Produktionsstätte soll diese Durchbiegungsproblematik verdeutlichen:

Erwartet wurde eine K2 Dachabdichtung (Pfützen frei, wg. Rotalgenrisiko).

Zu den Bauwerksabmessungen:

Spannweite der Hauptdachbinder $L1 = 30\text{ m}$, zu erwartende Durchbiegung bei Vollast $L/150 = 30 \times 100 / 150 = 20\text{ cm}$, darauf aufliegende Zwischenbinder mit Spannweite $L2 = 9\text{ m}$ ergeben eine zu erwartende Durchbiegung in Feldmitte von $9 \times 100 / 150 = 6\text{ cm}$, bei den mittleren Zwischenbinder addieren sich diese Durchbiegungen zu einer Gesamtdurchbiegung von max. $20 + 6 = 26\text{ cm}$ in Bezug auf

den Höhenunterschied zwischen Dachrand und Hallenmitte. Die Hauptbinder liegen auf nicht nachgiebigen Außenwänden/Stützen als Festpunkte auf. Bei einer Hallenbreite von 30 m ergibt sich bis in Dachmitte eine $\frac{1}{2}$ -Länge von 15 m und daraus mit einem Dachgefälle von $\geq 2\%$ eine geplante Dachüberhöhung von 30 cm, die aber durch die zu erwartende Gesamtdurchbiegung von 26 cm auf nur $(30-26) = 4$ cm bzw. 0,27% reduziert werden, wenn man den Gefällehochpunkt (First) in die Dachmitte legen und das Dachwasser zu den Abläufen an den Außenstützen (Festpunkte) abführen möchte. Man müsste in diesem Fall mit mindestens 4% Gefälle bei First in Dachmitte planen, um baupraktisch dann $\geq 2\%$ Gefälle am fertigen Objekt (unter Berücksichtigung der lastbedingten Tragwerksdurchbiegungen) zu erreichen.

Dieses Beispiel zeigt sehr deutlich, dass die Bauwerksverformungen zu beachten sind und die Dachentwässerungen möglichst an den Verformungstiefpunkten (z.B. in Feldmitte des Tragwerks) angeordnet werden sollten und nicht an Stützen oder Wänden, wo sich die Festpunkte des Dachtragwerks befinden. Wenn dies nicht möglich ist, muss man das Dachgefälle unter Berücksichtigung der zu erwartenden Tragwerksverformungen so überhöhen, dass am „endverformten“ Dachtragwerk zwischen First und Traufe/Kehle/Dachablauf das jeweils geplante Mindestgefälle noch sicher erreicht wird und ein möglichst Pfützen freier Wasserablauf entsteht.

Weshalb sollten Pfützenbildungen auf Dachabdichtungen möglichst vermieden werden? Insbesondere bei freiliegenden Dachabdichtungen können sich in länger anstehenden Wasserpfützen Rotalgen und andere Mikroorganismen ansiedeln, die die Dachabdichtungen durch Biokorrosion, Weichmacherentzug, Einwachsungen, Wurzelwerk u.a. auf Dauer schädigen können. Außerdem entstehen an Pfützenrändern meistens Krustenbildungen durch Schmutzablagerungen und thermische Differenzonen, die ggf. hohe Spannungsunterschiede in der Dachabdichtung erzeugen können, wodurch Kerbrisse oder Mikrorisse und andere Schädigungen an der Dachabdichtung entstehen können. Außerdem können großflächige, tiefe Pfützen auch hohe Wasserlasten erzeugen, die bei leichten Unterkonstruktionen zu Tragwerksschäden führen können, z.B. wenn diese Wasserlasten die übliche Bemessung für Schneelasten übersteigen.

Außerdem ist passend zur Dachabdichtung auch deren fachgerechter Schutz zu planen, wenn keine freiliegende, ungenutzte Flachdachfläche vorgesehen ist. Mögliche Schutzschichten oder Schutzlagen für Dachabdichtungen können bspw. geeignete Schutzvliese (ab 300 g/qm), Besplittung, Bekiesung, Bauten-

schutzmatten aus Gummigranulat o.ä., Begrünungsaufbauten, Beläge u.a. sein. Im Einzelnen findet man dazu spezifizierte Angaben in den vorgenannten Regelwerken.

Bei der Planung von Dachabdichtungen ist auch die erforderliche Wartung und Instandhaltung von Flachdächern u.ä. nach DIN 18531-4 und gemäß Flachdachrichtlinie sowie nach den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften zu beachten. Abgedichtete Dachflächen müssen in der Regel mindestens einmal inspiziert und ggf. gewartet werden, die Funktionsfähigkeit von Dachabläufen bzw. Dachentwässerungseinrichtungen ist ebenfalls jährlich zu prüfen, wofür diese Bauteile sicher zugänglich und wartbar sein sollen. Zugänglich heißt auch, dass am Objekt ein begehbarer Dachzugang vorhanden sein soll, wofür bspw. Leitern, Dachausstiege, Dachzugänge o.ä. sowie auf dem Dach Absturzsicherungsmaßnahmen (z.B. Sekuranten, Anschlagpunkte für Absturzsicherungen, Geländer oder Umwehrungen u.ä.) vorhanden sein sollen, die bereits bei der Dacherstellung zu planen und einzubauen sind.

2.1.1 Häufige Praxisprobleme bei der Planung von Dachabdichtungen

1. Die Planung von Abdichtungen erfolgt (wenn überhaupt) meistens nur zweidimensional auf den Zeichnungen zum Bauwerk und textlich im LV mit EDV-Standardbeschreibungen, die nicht immer zutreffend und aktuell sind.
2. Tatsächlich ist die Realität von Dachabdichtungen aber poly-dimensional:
 - 1.-3.-Räumliche Dimension des tatsächlichen Bauwerks mit Ecken, Kanten, Rundungen, Vor- und Rücksprüngen, Durchdringungen, Fugen, Anschlüssen, Übergängen u.v.a.m..
 - 4. Dimension die Baustellenbedingungen (Temperatur, Bewitterung, Störungen, Handhabungs-, Material- und Schnittstellenprobleme)
 - 5. Dimension spezifische Material- und Verarbeitungsbedingungen
 - 6. Dimension-„Mensch“ Baustellenpersonal (Motivation, Fähigkeiten, Kenntnisse)
 - 7. Dimensionen: Bauzeit, Kostendruck, Auftraggeberinteressen u.v.a.m..

2.2 Planung von Dach- und Dachterrassenbelägen

Auf genutzten Flachdächern und Dachterrassen können viele Belagsarten zur Ausführung kommen, die in Abhängigkeit von der geplanten Nutzung, Frequenz, Nutzungsdauer, Einwirkungen, Optik und Architektur des Gebäudes sehr unterschiedlich sein können. Der Planer hat auch bei der Belagswahl eine Bedarfsplanung mit dem Bauherrn/Auftraggeber durchzuführen und aus dieser Beratung folgt dann die Belagsplanung.

In der Praxis ergeben sich diverse Unterscheidungen für die Beläge, z.B.:

- flächige oder teilflächige Beläge oder Wartungswegbeläge
- Lose verlegte Beläge, z.B. Platten auf Splittbett, Stelzlager, Mörtelbatten;
- Dielenbeläge aus Holz, WPC, Kunststoff o.a. auf linienförmiger Unterkonstruktion o.a.;
- Festverlegte Beläge, z.B. Platten im Mörtelbett oder betonierte Großflächenplatten (z.B. „Gartenmannbelag“), Gußasphaltflächen;
- Dachbegrünungen (intensiv oder extensiv) aus Schüttungen mit Substraten oder Substratmatten o.ä.

Als Nutzsichten müssen die Beläge, aber auch deren Bettungen oder Unterkonstruktionen der jeweiligen, geplanten Einwirkung auf der Oberfläche standhalten, d.h. der Planer muss dies entsprechend berücksichtigen, beispielsweise ob nur Fußgängerbegehung und Terrassennutzung stattfinden soll oder ob größere Lasten aus einer Begrünung, Bepflanzung, Dachaufbauten oder gar Verkehrseinwirkungen aus Fahrzeugen (Parkdach o.ä.) oder andere erhebliche Einwirkungen am Bauwerk für die Dachabdichtung und deren Beläge, bzw. Nutz- und Schutzschichten, zu berücksichtigen sind. Im Einzelnen wird dazu auf die einschlägigen Regelwerke und Fachinformationen/-literatur hingewiesen.

2.3 Zuverlässigkeitsüberlegungen für Dachabdichtungen

Die derzeitige Fassung der DIN 18531 (07-2017) enthält noch keinen zusammengefassten informativen Anhang über Kriterien für die Wahl von Abdichtungsbauarten, wie die DIN 18532 bis DIN 18535 als jeweiligen Anhang B. Darin sind allgemeine Hinweise für den Planer als weiterführende Kriterien zur objektspezifischen Auswahl der am besten passenden Abdichtungsbauart für das jeweilige Bauobjekt stichpunktartig beschrieben, weil nicht alle genormten Abdichtungsbauarten überall gleich gut geeignet oder einsetzbar sind. Auf folgende Kriterien,

die auch für Dachabdichtungen anzuwenden sind, wird in diesen Anhängen B von DIN 18532 – DIN 18535 hingewiesen: (Auszüge und Stichpunkte)

- a) Eigenschaften der Abdichtungsbauart
(z.B. Widerstandsreserven, Lagenanzahl, Redundanz, Schutzart der Abdichtung, Zugänglichkeit, Überprüfung der Ausführung und Dichtheit, Wartungsnotwendigkeiten u.a.)
- b) Verhalten der Abdichtung bei lokalen Undichtheiten
(z.B. Unterläufigkeit, Abschottungen, Ausbreitung von Leckagewasser, Leckortungsmöglichkeiten, Erkennen von Leckagen, u.a.)
- c) Abdichtungsausführung
(z.B. handwerkliche Ausführbarkeit in Fläche und Details vor Ort, Witterungs- und Baustellenbedingungen, besondere Erschwernisse u.a.)
- d) Einwirkungen
(z.B. Art und Größe planmäßiger oder unplanmäßiger Einwirkungen, Überschneidungen mehrerer Einwirkungen, baustellenbedingte Einwirkungen u.a.)
- e) Bauwerk
(Zugänglichkeit für Instandhaltungen, Raumnutzung unterhalb der Abdichtung, Folgen von Undichtheiten, Schutzniveau, Aufwand für Schadensbeseitigung u.a.)

Objektbezogen können auch noch weitere spezielle Kriterien für die Auswahl der Abdichtung dazu kommen, die der erfahrene Planer berücksichtigen sollte.

2.4 Ausführung von Dachabdichtungen

Auch zur Ausführung und Verarbeitung von Dachabdichtungen enthalten die DIN 18531, Teil 3 und 5 sowie die Flachdachrichtlinie detaillierte Angaben, die in der Praxis zu beachten sind und auf deren Einhaltung der Bauleiter im Einzelnen achten sollte, wobei im Einzelnen darauf verwiesen wird. Hierbei sind auch materialbedingte Unterschiede der jeweiligen Abdichtungsbauarten unbedingt einzuhalten, wie zum Beispiel unterschiedliche Überdeckungsmaße, Nahtbreiten, Verlegearten, Übergänge, Türanschlüsse, Detailausführungen u.v.a.m..

Dem Bauleiter bzw. Bauüberwacher obliegt neben der Fachbauleitung des Ausführenden die Beaufsichtigung und Prüfung der ausgeführten Dachabdichtung. Dabei sollten insbesondere die verwendeten Materialien auf Übereinstimmung mit den planerischen Vorgaben, den Verwendbarkeitsnachweisen, den jeweiligen Planungsvorgaben, ggf. Befestigungen, feldweise Abschottungen, Flächen-,

Naht- und Details Ausführungen detailliert geprüft und die Prüfungsdurchführungen sowie Ergebnisse dokumentiert werden (z.B. im Bautagebuch, Fachbauleitererklärung, technischen Abnahmen o.ä.).

Neuerstellte Dachabdichtungen sollten erst abgedeckt oder mit Aufbauten überdeckt werden, wenn sie als fehlerfrei geprüft und abgenommen sind. Ansonsten kann man im späteren Abnahmefall verdeckte oder überbaute Abdichtungen nicht mehr prüfen und ggf. nicht abnehmen.

Wenn es irgendwie möglich ist, sollten neuerstellte Dachabdichtung durch Anstaubeprobung oder mit speziellen Leckagesuchverfahren vor der Abnahme auf Fehlstellen im Praxistest geprüft werden. Noch besser ist der Einbau von flächigen Leckwarnanlagen unter Dachabdichtungen, die dann akute Leckagen umgehend anzeigen und alarmieren können. Derartige Systeme sind heutzutage bereits zu preiswürdigen Konditionen verfügbar und bei hohem Sicherheitsbedürfnis des Auftraggebers/Bauherrn oder bei hohem Schutzniveau des darunterliegenden Bauwerks zur Risikominimierung zu empfehlen.

Erfahrungsgemäß ist es auch wichtig zum Abschluss der Dachabdichtungsarbeiten die Dachabläufe und das Entwässerungssystem zu prüfen, weil es immer wieder vorkommt, dass Fremdstoffe (z.B. Dämmstoffabfälle, Bahnenstücke, Verpackungstücke u.v.a.) unbemerkt in Dachabläufe gelangen, mit der Folge von Ablauf- oder Rohrverstopfungen, die erst beim großen Regen dann auffällig werden und ggf. auch Schäden verursachen können.

2.5 Schlußbemerkungen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit den heutzutage verfügbaren, hochwertigen Abdichtungsmaterialien, fachkundigen Planern und Dachdecker bzw. Abdichter, den vorgenannten Regelwerken und Fachliteratur dauerhaft dichte Dachabdichtungen geplant und ausgeführt werden können, die über Jahrzehnte die Bauwerke sicher vor Wasser und Feuchte schützen, wenn sie fachkundig gewartet und fachgerecht instandgehalten werden.

Aus Sachverständigensicht ist hier aber einzuwenden, dass leider immer wieder Fehler und Mängel bei Dach- und Dachterrassenabdichtungen sowie dortigen Belägen entstehen, z.B. durch Unkenntnis, Missachtung der Fachregeln, unfachgerechte oder fehlerhafte Ausführung, fehlende Ausführungsprüfung, unzureichende „Baustellenlösungen“, fehlende Detailplanung u.v.a.m., die vermeidbar wären, wenn die Baubeteiligten sich intensiver mit der vielfältigen Problematik von Dachabdichtungen und den Wassereinwirkungen beschäftigen würden.

Im Vortrag wird dann auf symptomatische Praxisfälle von Fehlern und Mängel an Dach- und Dachterrassenabdichtungen sowie Beläge exemplarisch eingegangen und Hinweise zur Vermeidung oder Mangelbeseitigung gegeben.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 18205 Bedarfsplanung im Bauwesen
- [2] DIN 18531, T. 1-5 (07-2017) Abdichtungen von Dächern, Dachterrassen, Balkone, Loggien und Laubengänge
- [3] Kommentar zu DIN 18531 (2018)
- [4] DIN 18532, T. 1-6 (07-2017) Abdichtungen von befahrbaren Verkehrsflächen auf Beton
- [5] Kommentar zu DIN 18532 (2018)
- [6] VOB/C ATV DIN 18336 Abdichtungsarbeiten (Herbst 2019)
- [7] Fachregeln für Dächer mit Abdichtungen (Flachdachrichtlinien ZVDH) 2019
- [8] DIN SPEC 20000-201 Anwendungsnorm von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 201: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach Europäische Produktnormen zur Verwendung in Dachabdichtungen
- [9] DIN 18205 Bedarfsplanung im Bauwesen
- [10] ETAG 005 Flüssig aufzubringende Dachabdichtungen
- [11] Leitfaden Flüssigkunststoffe, Deutsche Bauchemie
- [12] DAfStb Richtlinie für Wasserundurchlässige Betonkonstruktionen 2/2017
- [13] DIN EN 12056 Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden
- [14] DIN 1986-100 Entwässerungsanlagen von Gebäuden und Grundstücken
- [15] ZDB Merkblatt Außenbeläge
- [16] DNV-Bautechn. Information BTI 1.4 Außenbeläge
- [17] Fachregeln des Zimmererhandwerks – Balkone und Terrassen, Herausgeber Informationsdienst Holz
- [18] Schäden an genutzten Flachdächern – Schadenfreies Bauen Band 35 von Prof. Rainer Oswald und Heinrich Rojahn, Fraunhofer IRB Verlag
- [19] Flachdachrichtlinie Kommentar von Stefan Ibold, Rudolf Müller Verlag
- [20] Werkstoffkunde für Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik von Walter Holzapfel, Rudolf Müller Verlag
- [21] Handbuch Dachabdichtung von Walter Holzapfel, Rudolf Müller Verlag
- [22] Sopro – Planer 9.0 von Sopro-Bauchemie Wiesbaden

Entwässerung und niveaugleiche Übergänge

Matthias Möckl, Büdelsdorf

Zusammenfassung

Bei der Umsetzung von barrierefreien Übergängen zwischen Innen- und Außenbereich stellt insbesondere die Schnittstelle zwischen Tür, Abdichtung und Entwässerung eine Herausforderung dar. Hier ist es von zentraler Bedeutung das Wasser richtig abzuleiten, um die Bausubstanz zu schützen.

Für schwellenlose Übergänge im erdberührten Bereich sowie bei Gründächern, Dachterrassen und Balkonen gelten verschiedene Richtlinien. Die Flachdachrichtlinie gibt vor, welche zusätzlichen Maßnahmen ergriffen werden können, um dieses Detail so sicher wie möglich planen und ausführen zu können.

Als konkretes Beispiel wird das Ablaufsystem Profiline Free vorgestellt. Die Firmen ACO, alwitra und profiline haben ein System für maximale Barrierefreiheit entwickelt. Die Profiline Free ist das Rinnensystem für das Türschwellsystem PremiPlan® Plus. Dieses System wurde vom TÜV Süd gemäß DIN 18040 - Teil 1+2 erfolgreich geprüft.

1 Schnittstelle Fassade - Freifläche

Nachhaltig planen, Schäden vermeiden

Fassadenfußpunkte sind baukonstruktiv sensible Bereiche – hier muss vor allem gewährleistet sein, dass keine Feuchtigkeit von außen in das Gebäude eindringen oder die Abdichtung hinterlaufen kann. Nur so kann der Schutz der Bausubstanz gewährleistet werden. Anschlüsse von Fassaden an horizontale Flächen wie Terrassen, Dachgärten und Balkone oder sonstige Freiflächen müssen deshalb schon in der Planung genau betrachtet werden.

1.1 Wasser an der Fassade sicher ableiten

Eindringendes Wasser kann teure Schäden an der Baukonstruktion verursachen. Planer müssen deshalb im Einzelfall abwägen, welche Art der professionellen Fassadenentwässerung langfristig Sicherheit bietet. Fassadenrinnen stellen hier eine nachhaltige Lösung dar, denn sie gewährleisten, dass die Wasserbeanspruchung im Sockelbereich minimiert wird. Zum einen fangen sie an der Fassade herabfließendes Wasser auf und leiten es sicher ab, zum anderen verhindern sie, dass durch Winddruck auf der Gelände- oder Dachoberfläche befindliches Wasser am Sockel hochgedrückt wird. Und bei der Bildung von Schneeverwehungen, Schneematsch und Eis leiten sie anfallendes Tauwasser ab – besonders im Türenbereich kann hier aufgrund der erhöhten Wärmeabstrahlung schnell Tauwasser entstehen, das durch rundherum verbleibenden Schnee nicht abfließen kann.

1.2 Fassadenrinnen: Funktion und Design

Fassadenrinnen in entsprechender Dimensionierung ermöglichen die konstruktive Ausbildung von Anschlüssen an Türen hinsichtlich der Verringerung der geforderten Anschlusshöhe für Bauwerksabdichtungen von 15 cm gemäß der Flachdachrichtlinie sowie der DIN 18531, Teil 1. Damit kommt der Fassadenrinne eine besondere Bedeutung zu, denn sie stellt eine adäquate Lösung dar, um die Forderung der Flachdachrichtlinie zu erfüllen. Dort heißt es:

„Wenn die Spritzwasserbelastung nicht durch eine Überdachung minimiert wird, sollten rinnenförmige Entwässerungsroste/ Gitterroste mit einer Breite von mindestens 150 mm verwendet werden.“

Mehr zu dieser Forderung unter 2.2 und 3.2

Fassadenrinnen mit variabler Höheneinstellung lassen zudem eine millimetergenaue Anpassung an die örtlichen Belags-Aufbauhöhen zu. So kann ein präziser Anschluss an den Oberflächenbelag hergestellt werden. Dieses bietet den Vorteil, dass in der Planungsphase keine genaue Aufbauhöhe festgelegt werden

muss. Kommt es nach der Ausführung des Gesamtaufbaues zu Setzungen, sind diese durch die Höhenverstellung auszugleichen.

Durch variable Höheneinstellungen der Rinnen wird nicht nur der zukunftsweisenden Forderung nach barrierefreiem Bauen, sondern auch den Qualitätsansprüchen von Architekten und Planern sowie Bauherren entsprochen. Gleichzeitig bieten verschiedene Designvarianten und Rostausführungen die Möglichkeit, die Gebäudegestaltung auch im Außenbereich konsequent fortzusetzen und zu ergänzen.

2 Schwellenlose Übergänge



Bild 1 Schwellenloser Zugang zu einer Dachterrasse

Die Details an den Fassadenfußpunkten sind baukonstruktiv meist anspruchsvolle Stellen. Oftmals ergibt sich hier die Schnittstelle zwischen den Planungsbereichen von Architekten, Landschaftsarchitekten und TGA-Planern und damit auch den ausführenden Gewerken. Zudem führt der wachsende Anspruch der Bauherren nach Komfort sowie die gesetzliche Anforderung an Barrierefreiheit/Schwellenfreiheit zu weiteren Abhängigkeiten.

So steht heute bei vielen Neubau- und Sanierungsmaßnahme die Forderung nach Schwellenfreiheit im Raum. Sowohl am Zugang zum Gebäude im erdbetrübten Bereich als auch am Zugang zu Balkonen und Terrassen auf abgedichteten Flächen bedarf es genauere Betrachtung. Denn die Forderungen der DIN 18040-2 Türen, Fenster zum barrierefreien Bauen sind eindeutig:

Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen- Teil 2: Wohnungen:

[...] nicht zulässig sind untere Türanschläge und Schwellen, sind sie technisch nicht vermeidbar, dürfen sie nicht höher als 2 cm sein [...]

Doch auch mit dem Klimawandel einhergehende stärker werdende Einzelregenereignisse tragen ihr Übriges dazu bei, bereits frühzeitig im Entwurf ein besonderes Augenmerk auf einwandfreie, konstruktive und normgerechte Ausführungen von schwellenlosen Übergängen zu legen.

2.1 Schwellenlose Übergänge im erdberührten Bereich

In öffentlich zugänglichen Gebäuden müssen wie vom Gesetzgeber gefordert grundsätzlich schwellenlose Übergänge eingeplant werden. Im Wohnbau werden schwellenlose Ein- und Durchgänge oftmals aus Komfortaspekten herausgefordert. Dies sind z.B. Durchgänge zwischen Wohnbereich und Dachterrasse, Balkon oder Loggia und stufenlose Hauseingangsbereiche. Diese Planungssituationen stellen kritische, sorgsam zu detaillierende Konstruktionspunkte dar, da durch Witterungseinflüsse (Schlagregen, Schneesackbildung) sehr schnell Feuchtigkeitsschäden entstehen können. Bereits in der frühen Planungsphase sollten daher alle Randbedingungen, wie z.B. Aufbaustärken innen und außen, Deckenversprung und Gefälle berücksichtigt werden.

Der schwellenlose Übergang von Gebäuden ins Freie führt oft zu Konflikten mit technischen Vorschriften. Dafür gibt es erprobte Lösungen, die allerdings nicht in allen Punkten richtlinienkonform sind: Durch das Verlegen von äußeren Abflaurinnen parallel zur Tür kann der Schutz gegen Feuchtigkeit ohne größeren Höhenunterschied zwischen äußerem und innerem Niveau erfüllt werden. Die Forderungen aus den Richtlinien stehen nicht nur im Widerspruch zu den formulierten Anforderungen an das barrierefreie Bauen, sondern werden von zahlreichen Architekten, Hausverwaltungen und Wohnungsnutzern als wenig praktikabel angesehen. Große Schwellenhöhen sind in weiten Kreisen unerwünscht. Eine Entwässerungsrinne ist in diesem Bereich zwingend notwendig.

Um eine entsprechende Entwässerungslösung bereits in der Planungsphase berücksichtigen zu können, müssen weitere Faktoren einbezogen bzw. beachtet werden:

- Eine hydraulische Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Bemessungsregenspende nach KOSTRA-DWD 2000, des Abflussbeiwertes nach DIN 1986-100 sowie eine Flächenermittlung. Die Entwässerung ist nach DIN EN 12056-3 und DIN 1986-100 zu planen und auszuführen.
- Bestimmung der Hauptwindrichtung
- Rinnenabdeckungen mit möglichst großen Einlaufquerschnitten (Empfehlung nach DIN 18533, Teil 1: Gitterroste)

Planungsempfehlungen

Seit 2010 gab es einige Veränderung zum Thema Übergänge. Da am Fassadenfußpunkt viele unterschiedliche Gewerke zuhause sind, gibt es auch aus vielen Bereichen in deren Richtlinien diverse Details. Bislang ist noch kein befriedigender, allgemein gültiger Stand erreicht. Für den erdberührten Sockelabschluss gilt: „Das Wasser muss sicher abgeleitet werden“. Grundsätzlich gilt, dass ein geschlossenes Rinnensystem mit einem Anschluss an eine leistungsfähige Entwässerung oder einem Versickerungssystem eine sichere Entwässerungslösung für das anfallende Fassadenwasser ohne zusätzliche Belastung für den Sockelbereich darstellt. Kommt hier ein offenes Rinnensystem zur Anwendung, das ähnlich wie ein Kiesstreifen das anfallende Fassadenwasser versickern lässt, muss darauf geachtet werden, dass hierdurch die Feuchtebeanspruchung der Kellerwand u.U. erhöht wird. Für die Bauwerksabdichtung gilt in beiden Fällen, bei einer Reduzierung der Anschlusshöhe, das die DIN 18533 einzuhalten ist.

2.2 Schwellenlose Übergänge bei Gründächern, Dachterrassen und Balkonen

Das Dach als obere Begrenzung des Gebäudes ist bei Nutzung als Terrasse (DIN 18531: 2017-07 Geltungsbereich) durch seine exponierte Lage höchsten Beanspruchungen ausgesetzt: Klimatische Einflüsse wie Niederschlag, Sonneneinstrahlung und damit einhergehende starke Temperaturschwankungen stellen an die Planung und Ausführung der Dachflächen besondere Anforderungen. Starkregenereignisse und überlastete Abläufe führen auf Terrassen und Balkonen immer wieder zu Überflutungen. Eine richtig ausgelegte Dachentwässerung schützt davor und leitet den Berechnungsregen sicher ab. Zusätzlich sind No-tüberläufe einzuplanen, die eine Überflutung sicher verhindern.

Im Bereich der Terrassentüren stehen sich verschiedene Anforderungen aus der Normung gegenüber: zum einen die Anforderung aus der DIN 18531, Teil 1 + 5 dass die Abdichtung von schwach geneigten Flächen von der Oberkante des Belages bis zum oberen Ende der Abdichtung 15 cm hochzuführen ist; zum anderen besteht die Notwendigkeit, (DIN 18040 Teil 1 und 2 barrierefreie Übergänge) diese Anschlusshöhe zu reduzieren.

Die Flachdachrichtlinie bietet seit Jahren eine praxiserprobte Lösung an. Durch das Verlegen von Fassadenrinnen, die parallel zur Tür über die gesamte Breite laufen, muss jetzt die Abdichtung lediglich auf 5 cm über Oberkante Belag durchgeführt werden. Die Fassadenrinnen müssen in diesem Fall jederzeit einen einwandfreien Wasserablauf sicherstellen. Dabei entwässern diese Systeme über ihre seitlichen Entwässerungsschlitze (Kiesleiste) – unterstützt durch einen

Stichkanal, der den in den Flachdachrichtlinien geforderten unmittelbaren Anschluss an die Entwässerung – an den Dachablauf sicherstellt oder in den aufgeständerten Belag. Weitreichendere Forderungen stellen „barrierefreie Übergänge“ an die Planung und Ausführung von Zugangsbereichen. Hier fordert die DIN 18040 Teil 2 für Wohnungen, dass untere Türanschläge und -schwellen zu vermeiden sind. Ist es technisch erforderlich, dürfen sie nicht höher als 2 cm sein. Eine besondere Rolle kommt hier der Abdichtung und der Entwässerung zu. So heißt es in der DIN 18531, Teil 1 (6.8) bzw. Teil 5 (6.3) und in der Flachdachrichtlinie (4.4), dass, falls die Aufkantungshöhen im Einzelfall nicht herstellbar sind, besondere Maßnahmen gegen das Eindringen von Wasser oder Hinterlaufen der Abdichtung einzuplanen und wannenförmige Rinnen mit Gitterrosten zu verwenden sind. Alternativ werden eine wirkungsvolle Überdachung oder Fassadenrücksprünge genannt, d. h. eine Belastung durch Schlagregen wird hier in jedem Fall ausgeschlossen.

Wird eine Fassadenrinne eingeplant, ist zusätzlich auf folgende Punkte zu achten:

- die Türkonstruktion muss einen ausreichend großen Wetterschenkel aufweisen
- gegen aufspritzendes Wasser und aufgrund der erforderlichen Drainageleistung müssen Maschenroste oder vergleichbare Konstruktionen wie Längsstabroste verwendet werden
- unterhalb eines im Splittbett verlegten Belages muss ein Stichkanal oder eine leistungsfähige Flächendrainage mit zusätzlichem Stichkanal zum Einsatz kommen (nur damit wird gewährleistet, dass bei etwaigem Schmutzeintrag der Entwässerungsanschluss entsprechend gereinigt/gespült werden kann)
- bestenfalls sollte mit aufgeständerten Systemen gearbeitet werden, dies gilt auch als unmittelbarer Anschluss an die Entwässerung nach FLDR.
- liegt keine hydraulische Berechnung vor, sollte eine größere Baubreite eingeplant werden
- die Bauhöhe muss zu jeder Zeit den einwandfreien Wasserablauf sicherstellen
- zusätzlich können auch kleinere Vordächer unterstützen
- bodentiefe Fenster erfordern die gleichen Maßnahmen wie bei den Übergängen.

Wichtig: auf eine Konzeption von handwerklich einfach ausführbaren Details sollte geachtet werden.

Planungsempfehlungen

ACO Fassaden- und Terrassenrinnen dienen dazu, die Forderungen der Vorschrift einzuhalten und ein Hochdrücken von Wasser infolge von Windbeanspruchung oder ein Anstauen vor besonders gefährdeten Bereichen zu verhindern. Hierbei ist auch die Bildung von Schneeverwehungen, Schneematsch und Eis zu berücksichtigen. Schneeverwehungen vor Türen tauen – aufgrund einer erhöhten Wärmeabstrahlung in diesen Bereichen – zuerst ab. Dies kann zu einer Behinderung des Tauwasserabflusses durch den rundherum verbleibenden Schnee oder Schneematsch führen. Insofern müssen Entwässerungsrinnen auch und insbesondere für derartige Wasserbeanspruchung geeignet sein.

- Die Rinnenhöhe muss der tatsächlichen Feuchtebeanspruchung angepasst sein
- Wesentlich für die Beurteilung der Wirksamkeit von Entwässerungsrinnen sind daher ihre Lage, die Größe, der Öffnungsquerschnitt der Abdeckung und des Rinnenkörpers sowie die Einbausituation.
- Eine Entwässerungsrinne wird nur dann ihre volle Wirksamkeit bei der Reduzierung der Feuchtegefährdung im Bereich einer Türschwelle entfalten können, wenn sie mindestens über ihre gesamte Breite reicht und hinreichend dicht vor ihr angeordnet ist. Dies sollte in der Regel der Fall sein, wenn sie nicht mehr als 5 cm Abstand hat.
- Ablagerungen durch Schmutzeintrag werden weitestgehend vom Rinnenkörper zurückgehalten und können leicht durch den geschlossenen Rinnenboden ohne Beschädigung der Abdichtung entfernt werden. Eine regelmäßige Wartung sollte hier selbstverständlich sein.
- Die sichere Ableitung des Regenwassers sowie der Schwebstoffe erfolgt bei der Terrassenentwässerung über die seitlichen Dränschlitze in Stichkanäle, die zu den Abläufen führen, in den Freiraum unter Plattenbelägen auf Stelzlager-/ Mörtelsäcken bzw. in die Dränschicht. Die Dränschlitze sollten nicht kleiner als 4 mm sein, sonst droht hier eine Versinterung.
- Das Verwenden von Splitt kleiner als 4 mm ist unkritisch, weil erfahrungsgemäß durch die Verteilung nur wenig Splitt durch die Dränschlitze in die Rinne eindringt.
- Sammeln sich Ablagerungen auf oder in dem Rost durch ein eingelegtes Schmutzvlies, so ist die gesamte Konstruktion als kritisch zu beurteilen. Eine einseitige Perforierung von Rinnenkörpern an der Fassade ist nicht sinnvoll, da es sich um ein lose verlegtes offenes Rinnensystem handelt, bei dem sich Feuchtigkeit zwangsläufig auch an der Fassadenseite

einstellt. Mit einer beidseitigen Perforierung der Rinnenseiten ist die Feuchtigkeit als drucklos und schnell abtrocknend anzusehen.

Beurteilung der tatsächlichen Feuchtebeanspruchung

Die tatsächliche Feuchte- und Wasserbeanspruchung ist abhängig von der Region, in der sich das Bauvorhaben befindet, das heißt von der Regen- und Schneefallintensität sowie den vorherrschenden Windrichtungen und vom vorhandenen Schutz, z. B. durch Überdachungen. Eine entsprechende Beurteilung kann jederzeit von der ACO Hochbau Anwendungstechnik erstellt werden.

Die wasserführenden Schichten

Als wasserführende Schichten wird die Abdichtungs- und die Belagsebene angesehen. Bei Umkehrdächern kommt zusätzlich die Dämmebene dazu.

Das Gefälle

Die Abdichtungsebene sollte nach DIN 18531, Teil 1 eine planmäßige Gefälleausbildung von mindestens 2 % vom Anschlusspunkt weg aufweisen. Im Teil 5 dieser Norm (für Balkone, Loggien und Laubengänge) sollte die Abdichtungsschicht mit einem Gefälle von mind. 1,5% geplant und ausgeführt werden. Je nach Anforderung kann auch die Nutzschicht ein entsprechendes Gefälle aufweisen.

Nach den Flachdachrichtlinien soll die Unterlage der Abdichtung für die Ableitung des Niederschlagswassers mit einem Gefälle von mind. 2% in der Fläche geplant werden. Gefällelose Flächen können in begründeten Fällen, siehe FDLR 2.2 (2) geplant und ausgeführt werden.

Stichkanal und Aufsätze für Dachabläufe

Zu den Rinnensystemen gibt es als Zubehör passend für alle Systeme einen Stichkanal und verschieden große Aufsätze für Dachabläufe als Wartungsschacht. Der Stichkanal ist ein 3 cm hoher und 10 cm breiter Hohlkörper mit seitlichen 4 mm Dränschlitzen. Die Seitenwände der Fassadenrinnen sowie der Aufsätze für Dachabläufe können an bestimmten Stellen geöffnet werden. Hier wird der Stichkanal angeschlossen. Er verbindet also den Rinnenkörper und den Aufsatz und bildet somit einen definierten Entwässerungskanal bzw. ist ein direkter Anschluss der Rinne an die Abläufe. Die Aufsätze für Dachabläufe müssen bei Terrassenflächen über den Dachabläufen als Revisionsschacht angeordnet werden. Gitterroste, die im Terrassenbelag fest eingebunden sind, dürfen nicht gleichzeitig mit dem Dachablauf fest verbunden sein.

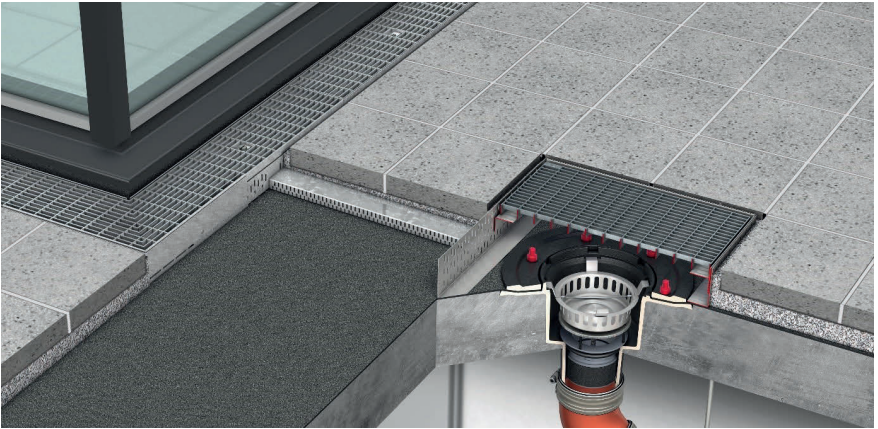


Bild 2 Rinnensystem mit Stichkanal und Aufsatz für Dachablauf

3 Die neuen Regeln für Abdichtungen

3.1 Anschlüsse an Tür-/Fensterelementen

Eine Verringerung der Anschlusshöhe ist möglich, wenn bedingt durch die örtlichen Verhältnisse zu jeder Zeit ein einwandfreier Wasserablauf im Tür-/Fensterelement-Bereich sichergestellt ist und die Spritzwasserbelastung minimiert wird. Dies ist dann der Fall, wenn im unmittelbaren Tür-/Fensterelementbereich z. B. ein rinnenförmiger Entwässerungsrost jeweils mit unmittelbarem Anschluss an die Entwässerung, oder bei Belägen auf Stelzlager, eingebaut wird.

In solchen Fällen soll die Anschlusshöhe jedoch mindestens 0,05 m betragen (oberes Ende der Abdichtung oder von Anschlussblechen unter dem Wetterschenkel/Sockelprofil).

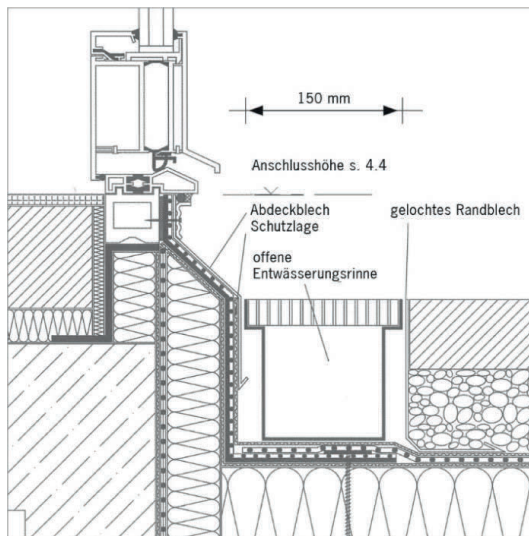


Bild 3 Anschlüsse an Tür-/Fensterelementen mit Fassadenrinne

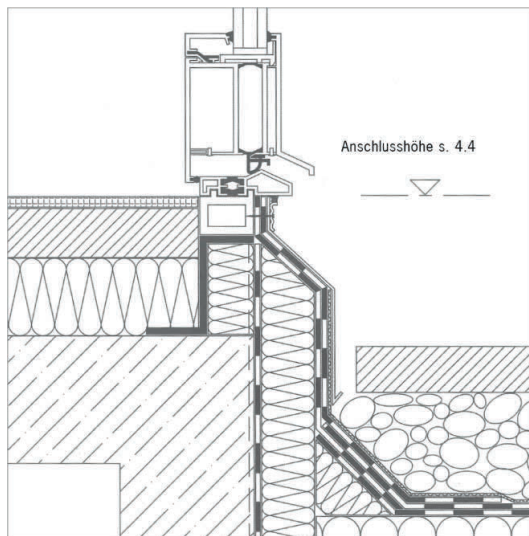


Bild 4 Anschlüsse an Tür-/Fensterelementen ohne Fassadenrinne

3.2 Änderung der Flachdachrichtlinie 12/2016

1. Verringerung der Anschlusshöhe auf min. 0,05 m über Oberkante Belag.

Wenn die Spritzwasserbelastung nicht durch eine Überdachung minimiert wird, sollten rinnenförmige Entwässerungsroste/ Gitterroste mit einer Breite von mindestens 150 mm verwendet werden. Von dieser Regel darf nur in begründeten Einzelfällen abgewichen werden. Es ist Sache des Planers, solche Abweichungen zu planen. Voraussetzung ist aber, dass (z.B. im Bestand) eine Situation vorliegt, welche die Umsetzung der Regel nicht möglich macht.

Rechtsprechung hierzu:

Das Oberlandesgericht Düsseldorf (Urt. V. 06.02.2009, Az.: I-21 U 63/07) hält eine Abweichung nur dann für zulässig, wenn eine Situation vorliegt, welche die Umsetzung der Regel nicht möglich macht. Geschuldet ist vom Unternehmer ein Anschluss an Türen und Fensterelementbereichen nach den anerkannten Regeln der Technik.

Gemäß Ziff. 4.4 der „Fachregeln für Abdichtungen (Flachdachrichtlinie)“ sollten dann, wenn eine Verringerung der Anschlusshöhe von weniger als 0,15 m auf min. 0,05 m ohne eine Minimierung der Spritzwasserbelastung durch eine Überdachung vorliegt, Gitterroste mit einer Breite von min. 150 mm verwendet werden. Wenn eine spezielle Beschaffenheit des Anschlusses im Bauvertrag nicht vereinbart wird, ist der Unternehmer verpflichtet, das Werk so herzustellen, dass es zum Zeitpunkt der Abnahme nicht mit Fehlern behaftet ist, die den Wert oder die Tauglichkeit zu dem gewöhnlichen oder nach dem Vertrag vorausgesetzten Gebrauch aufheben oder mindern. Das Werk muss für eine gewöhnliche Verwendung geeignet sein und eine Beschaffenheit aufweisen, die üblich ist und von dem Besteller nach Art des Werkes erwartet werden kann. Der Unternehmer schuldet ein funktionsgerechtes Werk, das den anerkannten Regeln der Technik entspricht.

2. Verringerung der Anschlusshöhe auf min. 0,05 m mit Minimierung der Spritzwasserbelastung durch Überdachung. Eine Mindestbreite für die Rinne ist in diesen Fällen nicht vorgegeben

4 Barrierefreie Türschwellen

Konkretes Beispiel: ACO Profiline Free

4.1 Tür-Abdichtungs Ablaufsystem Profiline Free

Bei der Umsetzung steht der Planer vor vielen Herausforderungen hinsichtlich der Schnittstellen zwischen den einzelnen Themen "Tür, Abdichtung und Entwässerung". Hier haben die Unternehmen Profiline, Alwitra und ACO Hochbau ein Projekt gestartet und eine sogenannte Nullschwelle entwickelt. Im Vordergrund stand, wie bereits 2010 von AlBau gefordert, die Konzeption von handwerklich einfach ausführbaren Details bzw. vorbereitete sichere Anschlüsse der Abdichtung. Das hierfür speziell entwickelte und geprüfte Entwässerungssystem ACO Profiline Free gibt es als offenes Rinnensystem für genutzte Dächer, Balkone, Loggien und Laubengängen gemäß DIN 18531 und als geschlossenes Rinnensystem für den erdberührten Bereich gemäß DIN 18533.

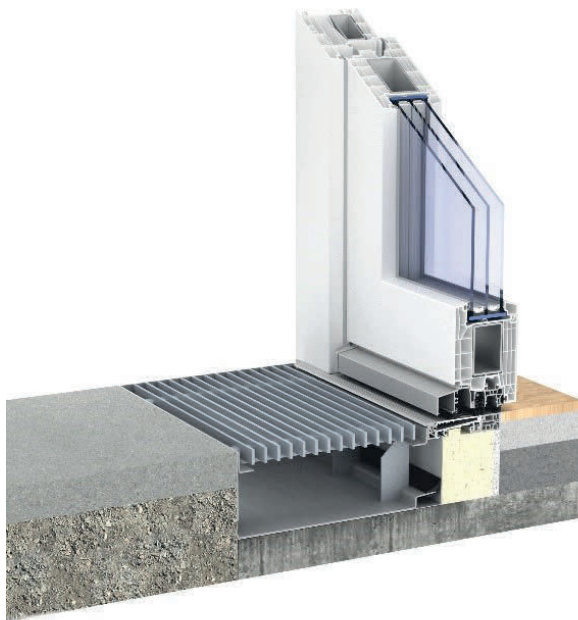


Bild 5 ACO Profiline Free im System für Schwellenlosigkeit

4.2 Prüfung durch den TÜV-Süd

Im Prüfstand der Fa. ACO wird ein schwellenloses Tür-Abdichtungs-Ablaufsystem der beteiligten Firmen profine, alwitra und ACO als abgestimmte Ausführung nach DIN 18531 bzw. DIN 18533 aufgebaut. Im Zuge der Versuchsdurchführung erfolgt eine Beregnung mit dem gem. KOSTRA-Tabellen in Deutschland am höchsten zu erwartenden Jahrhundertregenereignis (Würzburg mit 795 l/(s x ha)) unter Berücksichtigung der Einzugsflächen etc. nach den hierzu einschlägigen Normen DIN 1986-100 sowie DIN EN 12056-3. (Gesamtes Prüfzeugnis einsehbar unter www.aco-hochbau.de/download/zertifikate/)

Festlegung der Beregnungsmengen

Als Voraussetzung wurde gewählt, dass die Regenmenge eines Jahrhundertereignisses, die üblicherweise nur zur Dimensionierung von Notüberläufen herangezogen wird, über die Fassade in die vorgesetzte Fassadenrinne zum Ablauf abzuleiten ist. Diese Regenmenge wurde dann als Grundlage für den Beregnungsversuch angenommen, da der Schlagregen auf den Fassadenbereich mit dem zu untersuchenden Element und der vorgeschalteten Entwässerungsrinne dieser Ablaufmenge entsprechen muss. Unter Berücksichtigung der DIN 1986-100 und den KOSTRA-Listen wurde die in Deutschland maximal mögliche Regenspende eines Jahrhundertereignisses als maßgebende Regenmenge gewählt. Diese Regenspende $r(5,100)$ ist gem. den KOSTRA-Listen in Würzburg mit 795 l / (s x ha) gegeben. Die wirksame Fassadenfläche wurde nach DIN EN 12056 bei Gebäudehöhen von 10 und 26 m (unterhalb Hochhausgrenze, ohne Vordach) und einer Einflussbreite (Leibungsbreite) von 130 cm gewählt. Die Fläche wird normativ zu 50 % angesetzt. Aus diesen Randbedingungen ergab sich für eine Fassadenhöhe von 10 m eine Durchflussmenge von 0,525 l/s und für eine Fassadenhöhe von 26 m von 1,36 l/s. Mögliche, wie in DIN 18533-1 erwähnte Beispiele (Vordach, Fassadenrücksprung), Konstruktionen zur Verminderung der Fassadeneinflussfläche wurden nicht berücksichtigt.

Kombination der Einzelkomponenten zum Gesamtsystem

Durch die Kombination der Einzelkomponenten zu einem Gesamten soll ein System entstehen, welches die Anforderungen aus DIN 18531 bzw. DIN 18533 hinsichtlich Abdichtung und DIN 18040 hinsichtlich Schwellenlosigkeit erfüllt.

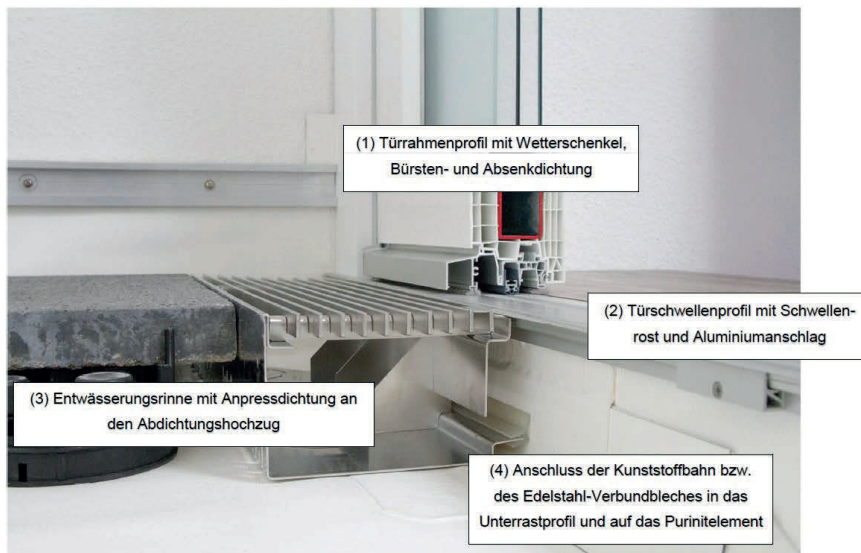


Bild 6 Aufbau der Einzelkomponenten

Geplante Funktionsweise

1. Durch den Wetterschenkel auf dem Türrahmenprofil wird ein großer Teil des ablaufenden Fassadenwassers in die vorgesetzte Entwässerungsrinne geleitet. Die äußere Bürstendichtung sowie insbesondere die Absenkdichtung verhindern das Eindringen ins Gebäudeinnere.
2. Durch den Schwellenrost kann bis zur Absenkdichtung eingedrungenes Wasser abgeführt werden und auf Grund des Aluminiumanschlag frei in die Abdichtungsebene ablaufen.
3. Durch die Anpressdichtung an der Rückseite der Entwässerungsrinne ACO Profileline Free gelangt das über den Schwellenrost ablaufende Wasser in die Entwässerungsrinne. Durch das Rinnensystem wird anfallendes Fassadenwasser schnell und sicher abgeführt sowie aufspritzendes Niederschlagswasser nahezu vermieden.
4. Durch den Anschluss der Kunststoffbahn mit Edelstahl-Verbundblech in das Unterrastprofil der Türschwelle wird sichergestellt, dass kein Wasser in diesem Bereich ins Gebäudeinnere dringen kann.

4.3 Prüfungsergebnis des TÜV-SÜD

Das System wurde auf folgende Aspekte hin geprüft: Schwellenlosigkeit nach DIN 18040, Vorgaben DIN 18531 und DIN 18533 für schwellenlose Konstruktionen und Dichtigkeit bei maximaler Jahrhundertregenspende gem. den KOSTRA-Listen nach DIN 1986-100 bzw. DIN EN 12056-3.

Im Zuge dieser Beregnungsversuche wurde festgestellt, dass die Schwellenlosigkeit nach DIN 18040 Teil 1 und 2 für Türen (z. B. Hauseingangstüren und Türen zu Freisitzen) eingehalten wird. Innenbeläge und die Fassadenrinne ACO Profiline Free können schwellenlos an das Schwellen bzw. Anschlagprofil angeschlossen werden.

Die Vorgaben der Normen DIN 18531 und DIN 18533 hinsichtlich abdichtungstechnischer Sonderkonstruktion bzw. besonderen Maßnahmen durch das Gesamtsystem mit Anschluss der EVALON Dach- und Dichtungsbahn über EVALON-Edelstahl-Verbundbleche mit dem Kleb-/Dichtstoff EVATACK an die Profile PremiPlan Plus sowie der außen angeordneten Fassadenrinne ACO Profiline Free (geschlitzt oder geschlossen) mit unmittelbarem oder direktem Anschluss an einen Dachablauf eingehalten sind.

Das genannte Gesamtsystem bei einer Beregnung mit einer Jahrhundertregenspende gem. den KOSTRA-Listen bis mindestens einer Fassadenhöhe bis zur Hochhausgrenze ohne Vordach dicht ist.

		Wasseranfall			
Anschlussart Rinne	Simulierte Fassadehöhe [m]	Falze / Endkappen	Unterseite Absenkichtung	Innere Bürstendichtung	Innen
Aufgeständerter Belag	10	trocken	trocken	trocken	trocken
	26	bandseitig wenige Tropfen *	trocken	trocken	trocken
Belag im Splittbett	10	trocken	trocken	trocken	trocken
	26	bandseitig wenige Tropfen *	trocken	trocken	trocken
Belag im Splittbett mit Stichkanal	26	trocken	trocken	trocken	trocken
Geschlossene Rinne mit Ablauf DN 50	10	trocken	trocken	trocken	trocken
	26	trocken	trocken	trocken	trocken
Abgedeckte Rinne mit Belag im Splittbett	10	trocken	Auf einem mittigen Bereich von ca. 20 cm Länge einige Tropfen	trocken	trocken
	26	trocken	Feuchtfilm auf gesamter Länge	trocken	trocken

* es konnte nicht ausgeschlossen werden, ob diese Tropfen durch die äußere Bürstendichtung erzeugt wurden

Bild 7 Ergebnistabelle der Beregnungsversuche vom 02.08.2018

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 1986-100:2016-12, Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056
- [2] DIN EN 12056-3:2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 3: Dachentwässerung, Planung und Bemessung; Deutsche Fassung EN 12056-3:2000
- [3] DIN 18040-1:2010-10, Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude
- [4] DIN 18040-2:2011-09, Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 2: Wohnungen
- [5] DIN 18533-1:2017-07, Abdichtung von erdberührten Bauteilen - Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- [6] DIN 18531-1:2017-07, Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 1: Nicht genutzte und genutzte Dächer - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- [7] DIN 18531-5:2017-07, Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 5: Balkone, Loggien und Laubengänge
- [8] Flachdachrichtlinie, Deutsches Dachdeckerhandwerk, Regeln für Abdichtungen - mit Flachdachrichtlinie - Stand Dezember 2016 mit Änderungen November 2017 und Mai 2019
- [9] KOSTRA-DWD 2000, Koordinierte Starkniederschlags-Regionalsierungs-Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes
- [10] TÜV Prüfzeugnis, Beurteilung eines schwellenlosen Tür-Abdichtungs-Ablauf-Systems als abgestimmte Ausführungsart bei einem simulierten Jahrhundertregeneignis unter verschiedenen Ablaufsituationen, IS-BT1-MUC/Helzel/He-Ba, 5. November 2018, 1170600 / 1, einsehbar unter www.aco-hochbau.de/download/zertifikate/

Steildächer – einfacher als Flachdächer?

Thomas Schneider, Kiel

Zusammenfassung

Fragt man einen Kunden, wie die Beschaffenheit seines Daches sein soll, wird dieser sicher antworten: „(...), dass es schön aussieht und nicht reinregnet.“ Fragt man hingegen einen Juristen, bekommt man sicher folgende Antwort: „Ein Dach muss die vertraglich zugesicherten Eigenschaften erfüllen“.

Noch einige weitere Antworten sind denkbar. Allerdings müssen solche allgemeine Anforderungen für die Praxistauglichkeit noch konkretisiert werden. Vor allem auf das Wie kommt es an!

Denn das Dach macht den Unterschied – und zwar einen beträchtlichen: Es prägt den optischen Charakter des Hauses maßgeblich, beeinflusst das Platzangebot und die Nutzungsmöglichkeiten. Im Lauf der Zeit haben sich mehrere Bauformen als Favoriten für Dächer etabliert. Eindeutiger Spitzen-reiter unter den Dachtypen ist das Satteldach, das sowohl bei Bestands- als auch bei Neubauten in Führung liegt. Über 90% der Dächer in Deutschland weisen diese Form auf. Dieses Wie, sollen die nachfolgenden Ausführungen beantworten und der/dem Leser/in die Möglichkeit geben, nach der Wahl seiner Dachform die richtigen Entscheidungen zu treffen.

1 Das Dach „Steckbrief“

Das Dach ist von allen Bauteilen eines Gebäudes den Witterungseinflüssen am stärksten ausgesetzt. Regen, Schnee, Wind und Sonne (Hitze und UV-Strahlung) wirken auf die Dachkonstruktion ein. Dabei sind große und u.U. schnell wechselnde Temperaturunterschiede (Sommer/Winter, Tag/Nacht, Sonne/Schatten) zu beherrschen.

Im Winter soll das Dach die Wärme im Haus halten (winterlicher Wärmeschutz) und im Sommer soll es die darunter liegenden Räume vor unangenehm hohen Temperaturen schützen (sommerlicher Wärmeschutz). [1]

Zudem muss das Dach mit der Nutzungsfeuchte zurechtkommen, die von innen in die Konstruktion eindringen kann. Diese Situation liegt insbesondere in der kalten Jahreszeit vor.

Zur Beherrschung dieser Anforderungen haben sich verschiedene Konstruktionen bewährt. Generell bewegen sich Steildächer nach gültigem Regelwerk ab einer Neigung von 22°. Alles unter dieser Neigung erfordert Zusatzmaßnahmen, die nachfolgend noch erläutert werden. Zumeist liegen Steildächer auf Tragwerken aus Holz. Andere Tragkonstruktionen wie Beton sind möglich, aber selten. Umfrage der beliebtesten Dachformen. (Bild 1)

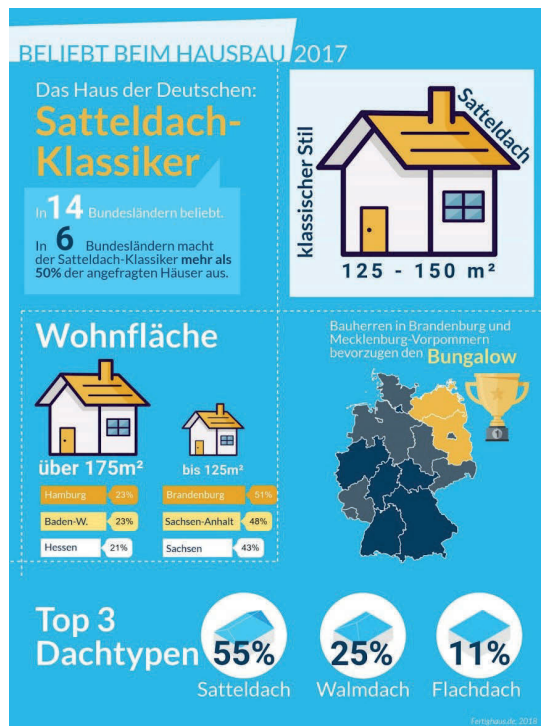


Bild 1 Quelle: Umfrage Fertighaus 2018

2 Steildachaufbauten

Das Dach besteht aus den Bauteilen des Tragwerks und weiteren, schichtweise angeordneten, Komponenten, die jeweils eine oder mehrere der folgenden Aufgaben zu erfüllen haben:

- Wetterschutz durch in der Regel kleinformatige Deckwerkstoffe
- Schutz gegen Flugschnee und Wind.
- Tragkonstruktion aus Dach- und Konterlatten zur Auflage der Deckmaterialien und Aufnahme der Windsogsicherung
- Zusatzaßnahme mit gleichzeitiger Nutzung als Winddichtheit
- Evtl. Belüftungsschicht
- Wärmedämmung
- Luftdichtheit zur Steuerung der Dampfdiffusion und Verhinderung der Konvektion
- Unterkonstruktion
- Innenausbau

3 Tragwerke

Es gibt eine Vielzahl von Formen des geneigten Daches. Die häufig anzutreffenden Formen im Wohnungsbau sind: (Krüppel-)Walmdach, Zeltdach und das Pultdach, Satteldach und Mansarddach. Eine umfassende Zusammenstellung der Dachformen (Bild 2).

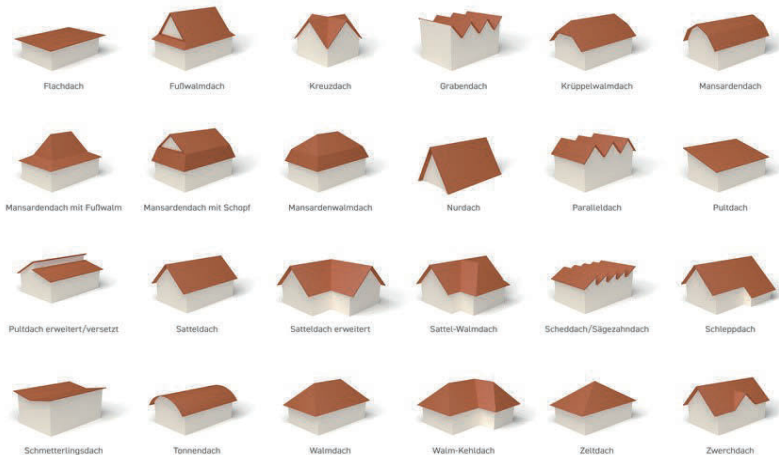


Bild 2 Quelle: Fotolia Bilddatenbank

Die häufigsten Tragwerke lassen sich wie folgt beschreiben:

Bei den statisch-konstruktiven Überlegungen zu historischen Dachstühlen sind eventuell Veränderungen der auftretenden Lasten bei Neueindeckung mit schwereren Materialien und die Eigenschaften des Baustoffes Holz sowie frühere und heutige Nutzung des Daches und die Ansätze, wie der Zimmermeister seine Holzdimensionen ermittelt hatte, zu berücksichtigen. Es ist zu beachten, dass der Eurocode 5 überarbeitet und ein neues Sicherheitskonzept zugrunde gelegt wird. So fällt bei der Nachrechnung von Holzkonstruktionen auf, dass bei Berechnungen mit festen Auflagern fast immer Sparren und Balken zu stark dimensioniert sind, während Pfetten und Unterzüge zu schwach ausgeführt scheinen. Rechnet man die gleichen Beanspruchungen mit beweglichen Auflagern - was den tatsächlichen Belastungen durch das Zusammenpressen von Holzauflagern, mehr noch den großen Durchbiegungen gerecht wird - so werden die Sparren und Balken stärker und die Pfetten sowie die Unterzüge schwächer, so wie wir die Ausführungen auch vorfinden. Allein dieser eine Hinweis macht deutlich, dass die Zimmermeister über große empirische Erfahrungen verfügten, und dass Holzkonstruktionen nicht mit den im Massivbau üblichen Methoden behandelt werden sollten. Darüber hinaus ist festzustellen, dass alle komplizierten und großen Dachstühle spätestens seit dem 18. Jahrhunderte bereits gerechnet wurden. Die Methoden dieser statisch-konstruktiven Rechnungen sind zwar anders als die heutigen, die Ergebnisse aber oft verblüffend ähnlich. [2]

3.1 Pfettendach

Sie weisen einen statisch einfachen Aufbau aus unabhängigen Tragwerkselementen auf und können daher bei beliebigen Dachformen, zum Beispiel bei abgewinkelten Grundrissen und bei Dächern mit Abwalmungen, Gauben oder Auswechslungen, vorteilhaft eingesetzt werden. Auch Pultdächer aus geeigneten Balken- oder Sparrenlagen können als einfachste Form des Pfettendaches angesehen werden. Strebenlose Pfettendächer werden bevorzugt bei Dachneigungen bis etwa 45° angewandt. Bei steileren Dächern mit Neigungen ab 45° empfehlen sich abgestrebte Pfettendächer. Im folgenden Bild ein Beispiel eines strebenlosen Pfettendach. [3]

3.2 Sparrendach und Kehlbalkendach

Sie sind für Steildächer mit Dachneigungen von ca. 30 bis 60 ° gebräuchlich. Das Sparrendach ist statisch bestimmt. Die einzelnen Gespärre sind Dreigelenk-Stabzüge, bestehend aus je einem Sparrenpaar mit Zugband (Deckenbalken oder Stahlbetondecke).

Ihre Vorteile:

- Der Dachraum wird stützenfrei überspannt, die Dachlasten werden auf die Außenwände abgetragen,
- der Holzbedarf ist in der Regel geringer als bei den Pfettendächern.

Ihre Nachteile:

- Die Aufnahme des Horizontalschubes am unteren Sparrenauflager erfordert einen größeren konstruktiven Aufwand,
- Dachgauben und Dachausschnitte mit größeren Längen sind nur mit großem Aufwand ausführbar,
- bei winkelförmigen Gebäudegrundrissen und Walmdächern sind diese weniger gut geeignet. [4]

4 Konstruktionen / Hinterlüftung

Zwei grundsätzlich unterschiedliche Typen des Dachaufbaus werden unterschieden:

Das nicht belüftete Dach (auch Warmdach genannt): Bei nicht belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung keine belüftete Luftschicht angeordnet. Zu nicht belüfteten Dächern gehören auch solche, die außenseitig im weiteren Dachaufbau angeordnete Luftschichten oder Lüftungsebenen haben (belüftete Dachdeckung).

Das belüftete Dach (auch Kaltdach genannt): Bei belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung eine belüftete Luftschicht angeordnet. Beide Bauarten sind im Bestand anzutreffen. Im Neubau kommt heute im Wesentlichen das unbelüftete Dach zum Einsatz.

Beim belüfteten Dach ist ein durchgehender Lüftungsquerschnitt über der Dämmung sicherzustellen, beim Steildach min. 2,0 cm freie Höhe $\geq 2 ‰$ bzw. mindestens 200 cm²/m an der Traufe und $\geq 0,5 ‰$ bzw. mindestens 50 cm²/m am First oder Pult.

Belüftete Luftschichten von Dächern müssen bei Dachneigungen $< 5^\circ$ (ca. 9 %) und Sparren-/Luftraumlängen (Entfernung von Zu- und Abluftöffnung) ≤ 10 m mindestens folgende Eigenschaften aufweisen:

- Die Höhe des freien Lüftungsquerschnittes innerhalb des Dachbereiches über der Wärmedämmschicht muss mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche betragen, mindestens jedoch 5 cm. Die Belüftung dieser flach geneigten Luftschichten ist nur möglich, wenn die

Luftschicht durchgehend ist und die Minstdicke eingehalten wird. Daher ist es erforderlich, die Materialtoleranzen der Wärmedämmung zu berücksichtigen, d. h., bei Mineralwolle-Zwischensparrendämmungen sollte wegen der zulässigen Materialtoleranzen die Luftschichtdicke mit mindestens 7 cm eingeplant werden.

- Die Mindestlüftungsquerschnitte an mindestens 2 gegenüberliegenden Dachrändern müssen mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche betragen, mindestens jedoch 200 cm²/m. Die Lüftungsöffnungen müssen frei anströmbar sein.

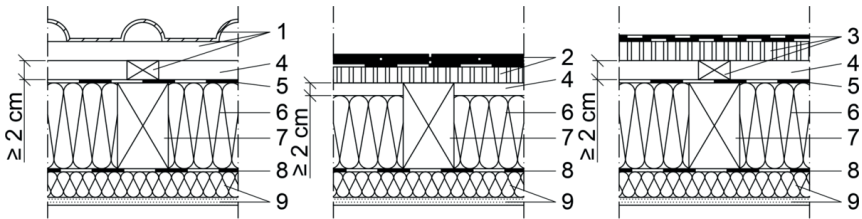
Bei Sparren-/Luftraumlängen (Entfernung von Zu- und Abluftöffnung) > 10 m können besondere Maßnahmen (z. B. Einbau von Lüftern) zur Aufrechterhaltung der Belüftungsfunktion erforderlich sein. [5]

Die Antriebskraft für die Lüftung beim geneigten Dach ist die Thermik, verursacht durch Temperaturunterschiede an Ein- (Traufe) und Austritt (First) der Luft. Beim Flachdach hingegen kann eine Luftbewegung nur durch Druckunterschiede, verursacht durch den Wind, zustande kommen. Die ist der Physik im Dach äußerst zuträglich. Die Kräfte von Wind und Wetter sind nicht immer zuverlässig einschätzbar, insofern bergen belüftete Dächer u.U. Risiken. Insbesondere kann nicht von einer Trocknungsreserve für nicht planbare Feuchtebelastungen ausgegangen werden.

Auch die Unterbrechung der durchgehenden Lüftungsebene durch z.B. Dachflächenfenster oder Schornsteine, kann die eine ausreichende Belüftung gefährden.

Eine Überströmung der Dämmung durch die Luftschicht kann zu einer Reduktion der Dämmwirkung z.B. bei Mineralwolle führen. Bei sehr dichtem Material z.B.: WL 035 ist dieser Effekt jedoch vernachlässigbar.

Die Hinterlüftung und Schichten über der Hinterlüftung leisten keinen Beitrag zur Wärmedämmung. Die Schichten verschiedener Konstruktionen im Bild 3.



Bauteilschichten

1. Deckung auf Trag- und Konterlattung
2. Deckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung
3. Abdichtung auf Konterlattung und Schalung
4. belüftete Luftschicht
5. regensichernde Zusatzmaßnahme, Unterdeckbahn
6. Zwischensparrendämmung
7. Sparren
8. Dampfsperre
9. raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 3 Quelle: ZVDH Regelwerk, Merkblatt Wärmeschutz

5 Zusatzmaßnahmen

In der Regel bestehen Steildachdeckungen aus kleinformatischen Deckwerkstoffen, die überlappend verlegt werden. Doch auch das sicherste Deckmaterial garantiert keinen Schutz mehr, wenn das Dach zu flach gebaut ist. Oder wie der Fachmann sagt: wenn die Regeldachneigung unterschritten wird.

Als Regeldachneigung bezeichnet man die flachste Dachneigung, bei der sich eine Dacheindeckung in der Praxis gerade noch als regensicher erwiesen hat. Die Dachneigung ist der Winkel zwischen der Dachfläche (Sparrenneigung) und der Waagerechten. Bei althergebrachten Eindeckungen – zum Beispiel ebene Biberschwanzziegel ohne Falze – ist die Regeldachneigung typischerweise eher hoch. Sie liegt bei 30, 35 oder sogar 40 Grad. Die Dachfläche muss bei solchen Modellen eben relativ steil sein, um Regensicherheit zu gewährleisten. Moderne Flachdachziegel erlauben dagegen flachere Dachneigungen bis hin zu lediglich 22 Grad, ohne dass Zusatzmaßnahmen für die Regensicherheit notwendig sind. Die Neigungsgrenzen sind im Regelwerk des dt. Dachdeckerhandwerks, bezogen auf die jeweilige Deckung, definiert. Die Deckung muss jedoch erst einmal im Ursprung auch ohne Zusatzmaßnahme regensicher sein.

Viele Bauherren wünschen sich heute aber noch flachere Steildächer. Mit Dachneigungen, bei denen selbst Flachdachziegel keine Regensicherheit mehr

garantieren können. Solche Vorstellungen lassen sich nur mit baulichen Zusatzmaßnahmen realisieren, also durch den Einbau einer zweiten wasserdichten Dachhaut. Wobei es auch hier Grenzen gibt: Das Regelwerk des ZVDH (Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks) erlaubt die Verwendung beweglicher Einzel-Dachpfannen normalerweise nur bis zu einer Dachneigung von 10 Grad. Diese so genannte Mindestdachneigung darf demnach selbst bei gleichzeitigem Einbau regensichernder Zusatzmaßnahmen nicht unterschritten werden.

Als anerkannte regensichernde Zusatzmaßnahmen gelten so genannte Unterspannungen, Unterdeckungen und Unterdächer. Alle drei Varianten haben gemeinsam, dass unterhalb der äußeren Dacheindeckung eine zusätzliche Ebene aus Kunststoff- oder Bitumenbahnen eingebaut wird. Die Art des Einbaus unterscheidet sich aber je nach Variante deutlich.

Unterspannungen

Die simpelste Form der Zusatzmaßnahme ist die Unterspannung. Hier werden die Bahnen einfach freihängend (ohne Unterlage) zwischen die Dachsparren gespannt, wobei darauf zu achten ist, dass sich die einzelnen Bahnen untereinander mindestens 10 cm überlappen. Unterspannbahnen befestigt man von außen an den Dachsparren, und zwar so, dass sie zwischen den Sparren leicht durchhängen. Dadurch ist gesichert, dass anfallendes Wasser von der Konterlattung weg in Richtung Traufe abfließen kann.

Die klassische Unterspannung schützt das Dachgeschoss vor Feuchtigkeit von außen. Diese Form der regensichernden Zusatzmaßnahme findet daher in der Regel nur bei ungedämmten Dächern Anwendung. Wenn unterhalb einer diffusionsdichten Unterspannbahn noch eine Zwischensparrendämmung eingebaut wird, dann ist unbedingt ein Lüftungsabstand von mindestens 2 cm zwischen Bahn und Dämmung einzuplanen, damit eventuelle Feuchtigkeit aus der Dämmung nach außen entweichen kann.

Unterdeckungen

Die Unterdeckung ist die heutzutage am meisten verbreitete regensichernde Zusatzmaßnahme. Im Gegensatz zu einer Unterspannung werden die Dachbahnen hier auf einer flächigen Unterlage verlegt. Das kann beispielsweise eine Schalung aus Holzbrettern oder -werkstoffen sein, die von außen auf die Dachsparren genagelt wurden. Bei ausgebauten Dachgeschossen werden Unterdeckbahnen allerdings meist nicht auf einer Schalung, sondern direkt auf der Zwischensparren- oder Aufsparrendämmung verlegt.

Da Unterdeckbahnen meist auf Dämmstoffen verlegt werden, müssen sie zwingend diffusionsoffen sein. Ansonsten ist der Unterschied nämlich nicht groß. Im Gegenteil: Mit einer diffusionsoffenen Unterdeckbahn lässt sich problemlos auch eine Unterspannung konstruieren. Insofern kann eine Unterdeckbahn jederzeit eine Unterspannbahn ersetzen, während das umgekehrt nur eingeschränkt möglich ist.

Unterdächer

Bei besonders flach geneigten Steildächern kann die Regensicherheit oft nur durch Einbau eines Unterdaches garantiert werden. Diese Lösung ist noch sicherer als eine typische Unterdeckung, weil die verwendeten Dachbahnen so verlegt werden, dass sich eine absolut wasserdichte Fläche ergibt. Um das zu erreichen, werden die Bahnen im Überlappungsbereich miteinander verschweißt oder wasserdicht miteinander verklebt.

Wie bei Unterdeckungen erfordert auch das Unterdach eine flächige Unterlage, die zudem ausreichend tragfähig sein muss. Als Unterlage in Frage kommen, neben festen Dachschalungen, auch formstabile Dämmstoffe. Letzteres ist möglich, weil die Industrie mittlerweile moderne Unterdachbahnen anbietet, die gleichzeitig wasserdicht und diffusionsoffen sind.

6 Nachweisfreiheit

Nach den aktuell gültigen Vorgaben gemäß der Landesbauordnung der einzelnen Bundesländer in Verbindung mit der bauaufsichtlich eingeführten *DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden* sind rechnerische Nachweise für den Feuchteschutz eines Bauteils zu führen. Insbesondere bei der Frage nach dem aktuellen Stand der Technik kann eine noch bauaufsichtlich eingeführte Norm zwar die bauordnungsrechtlichen Anforderungen erfüllen, jedoch privatrechtlich zu Streitigkeiten führen. Durch den langen Prozess in der Gesetzgebungskette entsteht daher eine Diskrepanz zwischen öffentlich-rechtlichen Belangen, beispielsweise den Anforderungen im Bauantragsverfahren, und den privatrechtlichen Vereinbarungen zwischen Bauherrn und Planer. Für die Durchführung eines feuchteschutztechnischen Nachweises sind aktuell folgende Möglichkeiten im Umlauf:

- Berechnung nach dem „Glaser“-Verfahren gem. DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

- Nachweisfreie Bauteile (gem. DIN 4108-3: 2001-07 bzw. DIN 4108-3: 2014-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung)
- Computergestützte Berechnungsverfahren (gem. DIN 4108-3:2014-11)

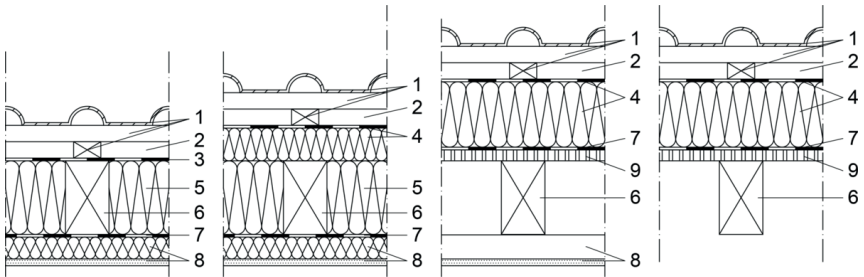
Für Planer und ausführende Unternehmen stellt die Möglichkeit einer nachweisfreien Konstruktion gemäß DIN 4108-3 eine attraktive Alternative dar, durch die bei einer strikten Umsetzung der vorgegebenen Regelkonstruktionen keine technischen Mängel vorliegen sollten, und die darüber hinaus auf einer nachvollziehbaren Rechtsgrundlage basiert. Mit ausreichendem Wärmeschutz nach DIN 4108-2 und luftdichter Ausführung nach DIN 4108-7 für nicht klimatisierte Wohn- oder wohnähnlich genutzte Räume ist kein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls infolge Wasserdampfdiffusion erforderlich, da kein Tauwasserrisiko besteht oder das Verfahren für die Beurteilung nicht geeignet ist. Für folgende Bauteiltypen besteht nach DIN 4108-3: 2014-11 die Möglichkeit, von einem rechnerischen Nachweis abzusehen:

- Bestimmte Dachkonstruktionen wie:
 - nicht-belüftete Dächer mit belüfteter Dacheindeckung
 - nicht-belüftete Dächer mit nicht-belüfteter Dacheindeckung
 - nicht-belüftete Dächer mit belüfteter Dachabdichtung
 - nicht-belüftete Dächer mit nicht-belüfteter Dachabdichtung
 - belüftete Dächer mit Dachabdichtung
 - belüftete Dächer mit Dacheindeckung

Für den jeweiligen Anwendungsfall sind jedoch stets die zusätzlichen Randbedingungen und produktspezifische Besonderheiten zu beachten sowie aufeinander abgestimmte Produkte zu verwenden. Insbesondere bei Dachkonstruktionen muss auf einen geregelten Aufbau geachtet werden, um Bauschäden grundsätzlich zu vermeiden. Im Rahmen der DIN 4108-3 werden folgende Dachkonstruktionen unterschieden:

- a) Nicht belüftete Dächer: Bei nicht belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung keine Luftschicht angeordnet. Zu nicht belüfteten Dächern gehören auch solche, die außenseitig im weiteren Dachaufbau zusätzlich belüftete Luftschichten haben.
- b) Belüftete Dächer: Bei belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung eine belüftete Luftschicht angeordnet.

Eine Übersicht über unbelüftet-nachweisfreie Dachaufbauten. (Bild 4.)



Bauteilschichten

1. Deckung auf Trag- und Konterlattung
 - oder Deckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung
 - oder Abdichtung auf Konterlattung und Schalung
2. belüftete Luftschicht nach Abbildung 9 bzw. 12
3. sd,e: Unterdeckung, ggf. einschließlich Schalung
4. sd,e: Unterdeckung und Aufsparrendämmung
 - Aufsparrendämmung mit $sd < 2,0$ m (z.B. aus Minerlawolle oder Holzfasern);
 - Die Unterdeckbahn kann werkseitig als Bahn auf die Aufsparrendämmung aufkaschiert sein
5. Zwischensparrendämmung
6. Sparren
7. sd,i:Dampfsperre
8. raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl Dämmung
9. Schalung

Bild 4 Quelle: ZVDH Regelwerk, Merkblatt Wärmeschutz

7 Sanierung von außen

Die DIN 4108-3:2014-11 (Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Klimabedingter Feuchteschutz) fordert den Nachweis, dass der Feuchteschutz in Gebäuden normgerecht geplant und ausgeführt wird.

Neben nachweisfreien Konstruktionen wird für die geschlaufte Verlegung der luftdichten Schicht und für die Verlegung in einer Ebene zwischen zwei Dämmstofflagen ein Feuchteschutznachweis gefordert. Dieser Nachweis kann mittels einer Simulationsberechnung geführt werden.

8 Windsogsicherung

Verbindliche Regelung zur Befestigung von Dachpfannen

Jedes europäische Land regelte bislang die Windlastermittlung aufgrund eigener Normen und Vorgaben. In Deutschland galt zunächst die DIN 1055-4, bis die Europäische Union eine einheitliche Norm festlegte – den Eurocode, der 2005 in Kraft trat. Jedes Land innerhalb der EU ist angehalten, den Eurocode 1 (Einwirkung auf Tragwerke, Teil 1-4 Windlasten) in seine Regelung zur Befestigung von Dachpfannen zu integrieren bzw. zu beachten.

Windlastberechnung auf Basis von Eurocode 1991-1-4

Der Eurocode 1991-1-4 regelt die Grundsätze der Windeinwirkungen auf Tragwerke. Auf dieser Basis wird errechnet, mit welcher die Windlast in den unterschiedlichen Windzonenbereichen zu rechnen ist.

Diese Windlasten wurden durch Messungen und aufgrund statistischer Erhebungen angenommen. Einzelne Stürme können diese Annahmen erheblich überschreiten. Vor dem Eurocode wurde der stärkste Sturm innerhalb der letzten 10 Jahre als Grundlage genommen. Mit dem Eurocode hat man diesen Zeitraum auf 50 Jahre erweitert. Angenommen wird also die Spitzengeschwindigkeit am Standort des Gebäudes, die einmal in 50 Jahren auftritt.

Jedes Land hat einen eigenen nationalen Anhang, der spezifische Begebenheiten wie Geländerauigkeit, Topographie und Tragwerkssteifigkeit berücksichtigt.

Prüfnorm EN 14437

Die Prüfnorm EN 14437 gibt an, wie der Abhebewiderstand der Dacheindeckung pro m² in der Systemprüfung von Dachpfanne, Sturmklammer und Traglattung ermittelt wird. Die Widerstandswerte der geklammerten Deckung werden in der Systemprüfung (Klammer, Dachziegel/-stein und Lattung) nach europäischem Standard EN 14437 ermittelt und gelten jeweils nur für die geprüfte Klammer-Pfannen-Kombination.

Seit Mai 2005 ist für jedes EU-Mitgliedsland die EN 14437 verbindlich. In der Prüfung wird der Windsog mechanisch nachgeahmt, indem in einer Dachfläche gleichzeitig an 16 Dachpfannen gezogen wird bis das System versagt. Aus drei Durchgängen wird das Prüfergebnis, der Abhebewiderstand der Dacheindeckung, ermittelt.

Deutschland

Für Planer und Dachdecker gilt das Regelwerk des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH). Das Regelwerk entspricht dem Status einer „anerkannten Regel der Technik“ und ist deshalb für alle Verarbeiter, Planer und Ausschreibende verbindlich.

Die Hinweise zur Lastermittlung des ZVDH „Windlasten auf Dächern mit Dachziegel- und Dachsteineindeckungen“ definieren die Berechnung der Windlast, teilen die Dachbereiche auf und stellen hohe Anforderungen an die Befestigung. Nach der Fachregel müssen große Teilflächen von Steildächern verklammert werden. Zudem muss jetzt in allen vier Windzonen – also auch in den Zonen 1 und 2 – geklammert werden.

Bei Gebäuden über 25 m Firsthöhe, Gebäudestandort höher als 1.100 m oder in exponierter Lage, Dächern ohne Unterdeckung sowie auf den Inseln der Nordsee ist die Windsogberechnung nach DIN EN 1991-1-4 durchzuführen. [5]

9 Fazit – Ist es denn nun einfacher?

Eine im Jahr 2016 durchgeführte Studie der Unternehmensberatung Engel und Zimmermann AG stellte fest, das Steildächer bei 12 von 16 Entscheidungskriterien überzeugen.

Die Entscheidung, das eigene Haus mit einem Steildach oder einem Flachdach abzuschließen, wurde bisher primär von ästhetischen Überlegungen bestimmt.

Während das Steildach in Deutschland eine lange Tradition hat, gilt das Flachdach häufig als moderner.

Dabei eröffnet das traditionelle Steildach deutlich mehr Gestaltungsmöglichkeiten als ein Flachdach.

Langfristiger Kostentreiber Flachdach

Wenn der Bebauungsplan das Flachdach erlaubt und es der eigenen Ästhetik besser entspricht, sollten zusätzliche Kriterien bei der Wahl des passenden Daches berücksichtigt werden. An erster Stelle stehen dabei für Bauherren die Kosten. In der Anschaffung ist ein Steildach nur geringfügig teurer als ein Flachdach. Betrachtet man jedoch den gesamten Lebenszyklus, summieren sich beim Flachdach langfristig die Zusatzkosten. Denn das Flachdach verfügt über eine teure Unterkonstruktion aus Stahlbetondecken und Schichtaufbauten mit hohen

jährlichen Kosten für Wartung und Instandhaltung. So müssen u.a. die verwendeten Abdichtungen häufig erneuert werden.

Flachdach macht ein Haus deutlich wartungsintensiver

Innerhalb der durchschnittlichen Lebensdauer eines Hauses von rund 80 Jahren muss das Steildach kein einziges Mal ersetzt werden, während die Abdichtungen auf dem Flachdach im selben Zeitraum gleich mehrmals ausgewechselt werden müssen. Diese Flachdachsanieierung ist sehr aufwändig, während beim Steildach, wenn überhaupt, einzelne Deckmaterialien ohne großen Aufwand einfach, schnell und unproblematisch erneuert werden können.

Steildach ist 400 Euro pro Quadratmeter günstiger

Der Forschungsbereich für Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung der Technischen Universität (TU) in Wien hat berechnet, dass ein von Beginn an ausgebauten Dachgeschoss unter einem Steildach bei den Baukosten pro Quadratmeter etwa 14 Prozent günstiger abschneidet als ein Flachdach; nach 50 Jahren sind es sogar 16 Prozent. Durch das größere Platzangebot eines ausgebauten Steildaches beträgt laut der TU Wien die Ersparnis gegenüber dem Flachdach innerhalb eines Lebenszyklus mehr als 400 Euro pro Quadratmeter. Aufgrund dieser geringeren Kosten ist das Steildach dem Flachdach vorzuziehen, so das Fazit der Wissenschaftler. Hinzu kommen auch noch günstigere Heizkosten unter dem Steildach aufgrund von einfachen und besseren Dämmmöglichkeiten.

Das Steildach trotzt den Wetterkapriolen

Wetteraufzeichnungen zeigen, dass Stürme im Zuge des Klimawandels kontinuierlich zunehmen. Das Dach ist aufgrund seiner großen Angriffsfläche bei Stürmen, Starkregen oder Hagelschlag immer direkt betroffen. Die häufigsten, aufgrund aufwändiger Reparaturarbeiten teuersten Dachschäden gibt es statistisch bei flachen Dächern aus großflächigen, bahnartigen Werkstoffen. Denn bei ihnen ist eine fachgerechte, punktuelle Schadensbeseitigung nur selten möglich.

Hitzebildung unter dem Flachdach

Doch nicht nur bei Regen, Sturm, Hagel oder Schnee punktet das Steildach. Auch bei Sonne und hohen Temperaturen hat es Vorteile. Denn Steildächer sind in der Regel zweischalig mit Unterdach, das für einen Entlüftungskanal sorgt, oder mit einem durchlüfteten Dachbodenraum gebaut. In beiden Fällen entweicht die Hitze im Bereich des Firstes, was ein Aufheizen des Raumklimas verhindert. Das

einschalige Flachdach heizt sich im Vergleich dazu schnell und stark auf. Nur kostenintensive Zusatzmaßnahmen wie Umkehrdächer, eine Begrünung oder Kies können dem entgegenwirken.

Aufstockung oder Dachraum? – eine Frage der Präferenz

Anhänger des Flachdaches schwören auf die Möglichkeit der Dachnutzung in Form von Dachbegrünung, Dachterrasse, Sonnenkollektoren oder gar eines Schwimmbades. Dachflächen unter freiem Himmel werden de facto nur bei schönem Wetter genutzt. Zudem besteht beim Flachdach die Option, das Haus aufzustocken – falls die Bebauungspläne das erlauben. Eine Aufstockung ist beim Steildach zwar nur bedingt möglich, z.B. durch eine Kniestockanhebung, dafür hat der Hausbesitzer von Beginn an einen zusätzlichen Raum im Dach, den er wetterunabhängig und ganzjährig nutzen kann. Gerade Anhänger von Wohnlichkeit und Gemütlichkeit kommen bei sichtbaren Dachstühlen, Gauben und verwinkelten Zimmerecken auf ihre Kosten und nehmen dafür bewusst in Kauf, im Dachraum weniger Stellflächen zu haben als bei einer vollgeschossigen Flachdach-Aufstockung. [7]

Fazit: Steildach schlägt Flachdach

Vergleicht man alle wichtigen Kriterien bei der Wahl eines Daches, überwiegen deutlich die Vorteile des Steildaches. Bei 16 angelegten Kriterien liegt das Steildach bei 12 Kriterien vorne. Bautechnisch unterliegen beider Konstruktionen den gleichen widrigen Anforderungen und müssen schon bei der Planung genauestens betrachtet werden. Somit ist die Frage, ob Steildächer einfacher zu bauen sind, als Flachdächer, differenziert zu beantworten. Gestalterisch/ästhetisch sicher einfacher, bauphysikalisch/konstruktiv liegen die Anforderungen mindestens genauso hoch.

Literaturverzeichnis

- [1] Recherche; Fachforum Dachbau
- [2] M. Mittag; Baukonstruktionslehre 12. Aufl., Gütersloh 1961
- [3] Informationsdienst Holz, Dachbauteile -Hausdächer, Reihe 2 (Tragwerksplanung), Teil 3 (Dach-bauteile), Folge 2 (Hausdächer), Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft Bonn, Aug. 2000 S. 3
- [4] Informationsdienst Holz,... a.a.O. S. 18
- [5] ZVDH Regelwerk, Merkblatt Wärmeschutz, Vermeidung von Tauwasser
- [6] Studie zu Wahlkriterien der Dachformen; Auszüge der Techn. Univ. (TU) Wien)

Belüftete Holzdächer – Möglichkeiten und Grenzen

André Peylo, Lauenburg

Zusammenfassung

Belüftete Dächer haben sich seit Jahrhunderten bewährt. Die Dämmung der Dächer schafft dabei neue Anforderungen, die mit der Zeit empirisch zu Regelwerken gewachsen sind. Unbekanntes gibt es hier eigentlich nicht mehr. Trotzdem treten in der Praxis häufiger Schadensfälle auf.

Grundsätzlich sollten belüftete Dächer Neigungen über 5° aufweisen, damit eine ausreichende Thermik die Belüftung antreibt. Die Höhe des Belüftungsraumes sollte etwa zwischen 5 und 10 cm betragen. Da die Luft ihren Weg nicht selbst finden kann, müssen die Öffnungen eine Strömung sinnvoll ermöglichen. Hier werden insbesondere bei Umbauten alter Bestandsgebäude häufig Planungen vernachlässigt.

Der wesentliche Vorteil belüfteter Dächer liegt darin, dass sie eine Fehlertoleranz aufweisen können, die auch nach Jahrzehnten noch eine sichere Funktion ermöglichen kann. Ein begleitender, sorgfältig abgestimmter chemischer Holzschutz kann sinnvoll sein.

Belüftete und unbelüftete Dächer haben ihre Berechtigung. Die Wahl hängt jeweils vom individuellen Einzelfall ab. Notwendig ist bei beiden Ausführungen ein konsequentes Durchdenken der Konstruktion bis zu ihrem Ende mit entsprechenden Detailvorgaben des Planers. Die Ausführung von Anschlüssen dem Ausführenden vor Ort zu überlassen, ist ein Planungsmangel und kann zu erheblichen Schäden führen.

1 Einführung

Belüftete Dächer haben sich seit Jahrhunderten bewährt. Durch die heute übliche Wärmedämmung ergibt sich die Notwendigkeit, den Belüftungsraum einzuplanen. DIN 68800-2 zeigt z.B. eine Systemzeichnung zum belüfteten Hohlraum, die die prinzipielle Ausführung darstellt. Dieser Aufbau wird als allgemein bekannt angesehen. Die Probleme stecken in der Umsetzung im realen Objekt.

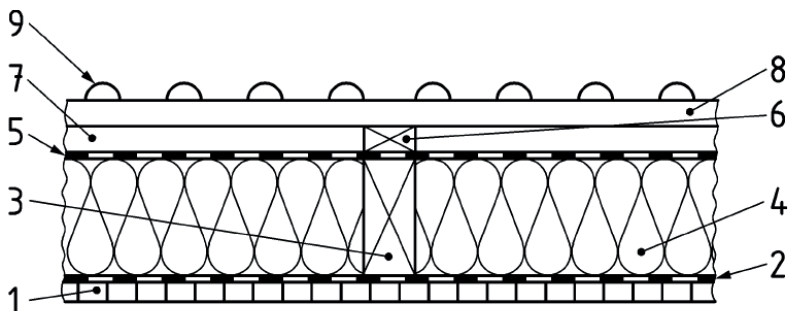


Bild 1 Systemzeichnung DIN 68800-2, Anhang A15: Übliche Zwischensparrendämmung mit raumseitiger Dampfsperre. Beschriftung siehe dort. 7: „belüfteter Hohlraum“

➔ Wie soll der belüftete Hohlraum nun beschaffen sein?

2 Anforderungen

Es bestehen seit Langem eine Reihe von Regelungen zur Dimensionierung des Belüftungshohlraums und der Be- und Entlüftungsöffnungen. Einen Überblick gibt der Vergleich der Tabellen 1 und 2.

Diese Regeln sind empirisch entstanden und somit historisch gewachsen, jedoch nicht wissenschaftlich abgesichert [1]. Einige einfache Grundregeln sind einzuhalten:

Grundregel 1: Damit ein Luftstrom entsteht, sollte ein Höhenunterschied vorhanden sein, denn der Wind als allein treibende Kraft ist unzuverlässig. Fehlt ein solches Gefälle, muss der Lüftungsquerschnitt entsprechend groß sein.

Grundregel 2: Zur Sicherstellung des Luftaustauschs sind ausreichend große Be- und Entlüftungsöffnungen erforderlich, die sich gegenüberliegen sollen. Die Luft sollte keine Umwege nehmen müssen.

➔ Was ist nun „ausreichend groß“?

Die Gegenüberstellung der Regelwerke zeigt eine weitgehende Überlappung bei graduellen Unterschieden:

2.1 Regelwerke zum Dach

Wesentliche Grundlagen sind in den Dachdecker Fachregeln (2004) [2] und Klempnerfachregeln (2005) [3] zu finden und in Tabelle 1 zusammengefasst: Ergänzend benennen die Dachdecker Fachregeln noch die Firstausbildung. Der Belüftungsquerschnitt soll hier 0,5 Promille der Dachfläche betragen.

Tabelle 1 Zusammenfassung der Anforderungen zum Belüftungsquerschnitt (Quelle: [1])

Dachneigung	Sparrenlänge	Mindestbelüftungsquerschnitt		
		Dachfläche (Lüftungshöhe)	Traufe (Pultdachabschluss)	First und Grat
Regelungen nach Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand, Ausgabe September 2004 (ZVDH)				
$< 5^\circ$	$\leq 10 \text{ m}$	$\geq 50 \text{ mm}$ ($s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$)	$\geq 2 \text{ ‰}$ an mind. 2 gegenüberliegenden Seiten ¹⁾	
$\geq 5^\circ$	-	$\geq 20 \text{ mm}$ ($s_{d,i} \geq 2 \text{ m}$) 2 ‰ der Dachfläche ¹⁾ + 5 mm	$\geq 2 \text{ ‰}$ ¹⁾ mind. $200 \text{ cm}^2/\text{m}$	$\geq 0,5 \text{ ‰}$ ¹⁾ mind. $50 \text{ cm}^2/\text{m}$
Regelungen nach Klempnerfachregeln von 2005 (ZVSHK)			Spaltbreite bzw. -höhe netto / brutto ²⁾	
$< 3^\circ$	$\leq 15 \text{ m}$	$\geq 150 \text{ mm}$	60 mm / 150 mm	
$\geq 3^\circ - \leq 15^\circ$		$\geq 80 \text{ mm}$	40 mm / 100 mm	
$> 15^\circ$		$\geq 40 \text{ mm}$	30 mm / 75 mm	
$\geq 3^\circ - \leq 10^\circ$ ³⁾		$\geq 100 \text{ mm}$	60 mm / 100 mm	

1) Nettoquerschnitt bezogen auf die zu belüftende Dachfläche

2) Bruttoabgabe bei 40 % Lochanteil im Lüftungsgitter

3) Querlüftung bei Traufe ohne Firstlüftung, Belüftung kritischer Bereiche

2.2 DIN 68800-2: Holzschutz

Ist eine Holzschutznorm [4]. Sie gibt aber seit 2012 insbesondere im Anhang (A15ff) nachweisfreie Musterlösungen vor. Diese Norm steht nicht nur fraglos im Range einer allgemein anerkannten Regel der Technik, sie ist auch in der Bauregelliste der Landesbauordnungen aufgeführt und hat damit ein gewisses Gewicht.

2.3 DIN 4108-3:

Etwas abweichende Angaben macht die Normenreihe zum Wärmeschutz 4108 in ihrem aktuellen Teil 3 [5].

Der aktuelle Stand wird sehr detailliert im kürzlich erschienenen Fachbuch „Flachdächer in Holzbauweise“ des Informationsdienstes Holz mit Angaben und Zeichnungen zu belüfteten und unbelüfteten Dächern dargestellt [2], so dass weitere Ausführungen zur Theorie nicht nötig sind.

Hier werden auch DIN 68800-2 und DIN 4108-3 einander gegenübergestellt.

Tabelle 2 Zusammenfassung der Anforderungen zum Belüftungsquerschnitt (Quelle: [2])

Anforderungen an den Belüftungsquerschnitt und die Be- und Entlüftungsöffnungen nach verschiedenen Regelwerken in Abhängigkeit der Dachneigung¹⁾

DACHNEIGUNG	DIN 68800-2		DIN 4108-3 UND	
	bis max. 15 m Belüftungsweg ²⁾		FACHREGELN DES DACHDECKERHANDWERKS [MB WS]	
	Querschnitt	Öffnung ³⁾	Querschnitt	Öffnungen ³⁾ bei DN < 5° bis max. 10 m
< 3°	Für Dachneigungen unter 3° wird grundsätzlich keine Belüftung empfohlen!			
≥ 3° und < 5°	≥ 80 mm bzw. ≥ 150 mm ⁴⁾	≥ 40 %	≥ 50 mm ⁵⁾	- Traufe und Pultdachanschluss für DN < 5°: 2 % der Dachfläche, mind. 200 cm²/m
≥ 5° und < 15°	≥ 80 mm	≥ 40 %	(≥ 20 mm) ⁵⁾	- First und Grat für DN ≥ 5°:
≥ 15°	≥ 40 mm	≥ 40 %	(≥ 20 mm) ⁵⁾	0,5 % der Dachfläche, mind. 50 cm²/m

3 Ausführung

➔ Theoretisch ist also alles klar. Aber wie sieht die Praxis aus?

3.1 Luftführung

Attiken, Traufbohlen, und andere bauliche Zwänge behindern die Luftströmung (Bild 1). Oder die Belüftungsöffnungen werden einfach nicht mit geplant (Bilder 2 bis 3).

3.2 Lüftungsgitter

Maßgebend für die Planung ist die Größe des freien Lüftungsquerschnitts dieser Be- und Entlüftungsöffnungen. In der Regel werden diese durch Gitter (Insekenschutz/Vogelschutz etc.) verschlossen. Infolge der Lochung beträgt der Nettolüftungsquerschnitt der verwendeten Gitter jedoch oft nicht mehr als 40 bis 50 % (Bild 4), was jedoch nicht mit 40-50% der durchströmenden Luft gleichzusetzen

ist. Der Strömungswiderstand eines Lochbleches ist aufgrund der vielen Einzelöffnungen erheblich höher als der einer gleich großen, freien Fläche.



Bild 2 Die Traufbohle zwingt die Luft, um die Ecke zu strömen. Wird sie dem folgen? (Quelle D. Krause).



Bild 3 Für eine Belüftung wäre bei diesem Dach Platz. Traufen und First sind aber geschlossen (links sind die weiß gestrichenen Schalungsbretter sichtbar), der Schimmel gedeiht. Die Belüftung des Vordaches dieses Hauses im römischen Stil stellt dagegen ein Problem dar.



Bild 4 Ein Lüftungsgitter an der Traufe und der Blick dahinter, wieviel Luft strömt da wohl noch durch?

3.3 Dämmung

Die vergleichsweise geringen Anforderungen nach DIN 4108-3 für Flachdächer, nach denen sich direkt über der Dämmung eine Belüftung befinden kann, sind aufgrund der expandierenden Mattendämmstoffe (komprimiert gerollt), der heute geforderten Dämmstoffdicken und der zulässigen Dickentoleranzen handwerklich kaum realisierbar und werden deshalb nicht empfohlen (Bild 5).

Zeitgemäße belüftete Dachdachkonstruktionen verfügen über eine voll ausgedämmte, winddicht aber diffusionsoffen ausgeführte Dämmebene. Eine Belüftung kann dann durch die zusätzliche Konstruktionsebene erfolgen.



Bild 5 Der Belüftungsraum ist durch den expandierten Dämmstoff verschlossen. Schimmel ist deutlich



Bild 6 Unter dem expandierten Dämmstoff ist die Hinterlüftung der Fassade sichtbar

3.4 Anschlüsse

Die Belüftungsebene von Fassaden darf nicht in die der Dachkonstruktion geführt werden (Bild 6), sondern ist separat zu entlüften. Andernfalls kann es zu zusätzlichem Feuchteeintrag in die Dachkonstruktion kommen, indem die an der Fassade aufsteigende Luft regelrecht in das Dach gesaugt wird.

3.5 Umbau von Bestandsgebäuden

Die bisherigen Problempunkte wurden anhand von Neubauten dargestellt. Beim Umbau eines Bestandsgebäudes treten diese oft deutlich stärker auf (Bilder 7 und 8):

- Belüftungsöffnungen sind oft nicht vorhanden, da sie im ungenutzten, ungedämmten Dachstuhl nicht erforderlich waren.

- Die Querschnitte der Sparren reichen zur Aufnahme einer Dämmung schon nicht aus. Wo soll dann noch der Luftraum hin? Insbesondere dann, wenn der Denkmalschutz eine Dacherhöhung ausschließt?



Bild 7 Ein typischer, preußischer Schulbau um 1890



Bild 8 Der ungenutzte Dachstuhl weist keine Belüftungsöffnungen auf.

3.6 Holzschutz

Der Verzicht auf chemischen Holzschutz wurde bereits 1990 in DIN 68800-3 (Holzschutz, Vorbeugender chemischer Holzschutz, April 1990) mit der Einführung der Gefährdungsklasse (seit 2012 Gebrauchsklasse) „GK 0“, keine Gefährdung, eingeführt. Der GK 0 kommt offenbar eine große Bedeutung zu, so benutzt das bereits zitierte Heft des Informationsdienstes Holz benutzt den Begriff „GK 0“ 45 Mal.

Der Ansatz auf chemischen Holzschutz zu verzichten ist gut und richtig. Vielfach ist kein chemischer Holzschutz nötig. Die GK 0 gibt es jedoch nur in Deutschland und Österreich. Der Rest der Welt kennt sie nicht. Es gibt sie auch nicht. Ein Bauteil ist immer einer Belastung oder Gefährdung aus der Umwelt ausgesetzt. Richtig müsste es heißen, *dass unter bestimmten, genau definierten Bedingungen auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden kann*. Dabei wird die Gefährdung entweder konstruktiv reduziert oder ihr durch die Auswahl von Hölzern mit höherer natürlicher Dauerhaftigkeit (Kernholz von Eiche, Kiefer etc.) also durch die Nutzung natürlich gewachsener Wirkstoffe, entgegengewirkt. Hierbei ist die konstruktive Reduktion der Gefährdung der bessere, weil auch dauerhaftere Weg.

Ziel aller vorstehenden Überlegungen war der Schutz vor unzulässiger Feuchte, die zu einem Befall durch Holz-bewohnende Pilze (Schimmel/Bläue) oder Holz-zerstörende Pilze (Fäulnis) führt.

Außeracht gelassen werden dabei die Insekten, insbesondere Hausbock (Bild 9). Diese Käfer sind auf trockenes Holz spezialisiert. Die notwendige Belüftung kann ihnen gleichfalls den Zutritt zum Holz ermöglichen. Der unbestreitbar stattfindende Klimawandel kann auch zur Zuwanderung weitere Insekten aus wärmeren Regionen führen, bzw. die Generationsdauer des Hausbocks verkürzen, so dass der Befallsdruck zunehmen kann.



Bild 9 Hausbockbefall im belüfteten Dachraum

4 Vorteile des belüfteten Daches: Fehlertoleranz

Eindringende Feuchte kann wieder abtrocknen, so dass in der Regel keine Schäden entstehen. Die Feuchte kann dabei verschiedene Ursachen haben:

von Innen:

- Kondenswasserbildung aufgrund der Diffusion feuchterer Warmluft nach außen
- Kondenswasserbildung aufgrund von Luftströmungen

4.1 Von Außen

- Regen, Flugschnee
- Leckagen in der Dacheindeckung
- Leckagen an Anschlüssen: Kehlen, Durchdringungen

Die Feuchteursachen gehen somit meist auf Fehler in der Planung oder Ausführung zurück. Aber auch der Zeitaspekt darf nicht vernachlässigt werden: Ein Gebäude, das bei der Fertigstellung bzw. Abnahme voll funktionsfähig ist, muss dies

30 Jahre später nicht mehr unbedingt sein: Schwindverformungen des Dachstuhl's können zum Abriss von Abklebungen führen. Materialien können altern, wie z.B. Folien und Klebebänder durch das Entweichen von Weichmachern, etc. Oft ist die Ausführung der winddichten Ebenen auch mangelhaft. Folien fehlen, Abklebungen kleben nicht oder fehlen, Durchführungen von Kabel oder der Einbau von Deckenstrahlern führt zu diversen Undichtigkeiten. Und trotzdem kann das Gebäude schadensfrei bleiben (Bilder 10 bis 12).



Bild 10 Ein Gebäude Bj. ca. 2005



Bild 11 Firstpfette. Hausbockbefall, aber der interessiert hier jetzt nicht



Bild 12 Die Dampfsperre liegt undefiniert im Dachraum. Kabel und Deckenstrahler sind in die raumseitige Gipskartonplatte durchgeführt: Undichtigkeiten ohne Ende. Und trotzdem keine Schäden.



Das belüftete Dach kann somit eine Fehlertoleranz aufweisen, die Schäden verhindert. Aber es ist keine Garantie für eine Schadensfreiheit.

5 Fazit

Bei geringen **Dachneigungen** entsteht nur ein sehr geringer thermischer Auftrieb, so dass die Belüftung im Wesentlichen durch äußere Windeinwirkungen zustande kommen muss. Bei Dächern mit geringem Rücktrochnungsvermögen z.B. bei Begrünung oder Verschattung sollte der Querschnitt großzügiger bemessen werden.

Bei Dachneigungen kleiner als 5° sind nicht belüftete Konstruktion zu bevorzugen. Unter 3° sollten belüftete Dächer in der Regel vermieden werden, sofern keine exponierte Lage vorliegt.

Je geringer die Dachneigung und je komplexer der Aufbau ist, desto eher kann ein unbelüftetes Dach vorteilhaft sein, wobei jedoch die Randbedingungen für das nicht-belüftete Dach (Rücktrochnungs-vermögen, Verschattung) zu beachten sind.

Der **Belüftungsweg** sollte über die kurze Dachseite geführt sein. Mit zunehmender Länge besteht die Gefahr, dass der Luftstrom nachlässt oder abreißt. Die Empfehlungen der DIN 68800-2 (Anhang A16) und der DIN 4108-3 beschränken sich auf Belüftungslängen von 15 m bzw. 10 m.

Durch Unterbrechungen des Belüftungswegs (z.B. Lichtkuppeln, Attikaausbildungen, oder eine starke Gliederung der Dachflächen, kann die Belüftung eingeschränkt oder ganz verhindert werden. Sie sind daher zu vermeiden.

Bei Auswahl und Größe der Be- und Entlüftungsöffnungen sind die reduzierten freien Lüftungsquerschnitte der **Lüftungsgitter** zu berücksichtigen; ggf. ist die Querschnittshöhe zu vergrößern.

Funktionierende, belüftete Dächer weisen eine **Fehlertoleranz** auf, die auch nach Jahrzehnten noch eine sichere Funktion ermöglichen kann, auch wenn so mancher „moderne“ Baustoff sich schon aufgelöst haben könnte. Ein begleitender, sorgfältig abgestimmter chemischer Holzschutz kann sinnvoll sein. Dabei sollten die Wirkstoffe jedoch über Jahrzehnte stabil sein, so daß nur bestimmte Salze in Frage kommen.

Belüftete und unbelüftete Dächer haben somit ihre Berechtigung. Die Wahl hängt jeweils vom individuellen Einzelfall ab. Notwendig ist bei beiden Ausführungen ein konsequentes Durchdenken der Konstruktion bis zu ihrem Ende mit entsprechenden Detailvorgaben des Planers. Die Ausführung von Anschlüssen dem Ausführenden vor Ort zu überlassen ist ein Planungsmangel und kann zu erheblichen Schäden führen.

Literaturverzeichnis

- [1] Schmidt. Holzbau 1-2011
- [2] Informationsdienst Holz, Flachdächer in Holzbauweise. Holzbau Handbuch Reihe 3, Folge 2, Teil 1, 2019) 2019.
- [3] Regeln für Dachdeckungen. Merkblatt „Wärmeschutz bei Dach und Wand“. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (2012)
- [4] DIN 68800-2: Holzschutz, Vorbeugende bauliche Maßnahmen, 2-2012)
- [5] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren (10-2018)

Unbelüftete Holzdächer – Möglichkeiten und Grenzen

Claudia Fülle, Leipzig

Zusammenfassung

Über unbelüftete Flachdächer in Holzbauweise ist in den letzten 20 Jahren viel diskutiert, geforscht, genormt und schadenbegutachtet worden. Die Ausführung eines Dachs ohne Hinterlüftungsebene ist und bleibt bauphysikalisch, handwerklich und bauordnungsrechtlich anspruchsvoll.

Trotzdem, nämlich weil es sich um eine schlanke und preiswerte Bauweise handelt, wurden in der Vergangenheit und werden auch heute unzählige Dächer so gebaut. Der Großteil dieser Dächer funktioniert feuchtetechnisch problemlos, bei manchen gibt es Schäden.

Unbelüftete Flachdächer in Holzbauweise sind aufgrund der vielfach publizierten Schadensfälle heute sehr umstritten, was auch in den verschiedenen Regelwerken zum Ausdruck kommt.

Dieser Beitrag zeigt, welche Mechanismen typischerweise zum Schaden führen und wie diese vermieden werden können.

1 Überblick und Vorgeschichte

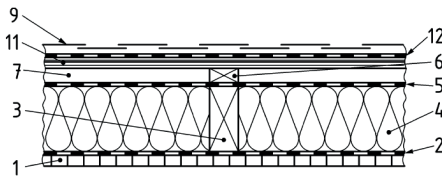
1.1 Warum ein unbelüftetes Flachdach manchmal Sinn macht

Flachdächer und flach geneigte Dächer in Holzbauweise erfreuen sich bei Architekt*innen großer Beliebtheit, da sie preiswert und schlank gebaut werden können und den ästhetischen Ansprüchen oftmals eher entsprechen als Steildächer.

Eine Ausführung als belüftetes Flachdach scheint dabei zunächst aus bauphysikalischen Gründen die beste Lösung zu sein – so kann im Winter die Feuchte, die aus der feuchtwarmen Raumluft (hoher Partialdampfdruck) durch die

Dachkonstruktion nach außen (niedriger Partialdampfdruck) gelangt, gut abtransportiert werden.

In manchen Fällen gibt es aber gute Gründe, das Dach doch nicht belüftet auszuführen: Zum einen sind für eine echte Belüftung eines flach geneigten Dachs immense Lüftungsquerschnitte notwendig (vgl. Abbildung 1), sodass der Dachaufbau sehr hoch wird.



- 7 belüfteter Hohlraum max. 15 m Länge
bei Metalleindeckungen
Dachneigungen $\alpha \leq 15^\circ$: ≥ 80 mm Höhe,
Dachneigungen $\alpha > 15^\circ$: ≥ 40 mm Höhe
bei Schiefereindeckungen ≥ 30 mm Höhe
Be- und Entlüftungsöffnungen ≥ 40 % des Belüftungsquerschnittes

Bild 1 Anforderungen an die Belüftungsebene, aus DIN 68800-2, Bild A.16 Geneigtes Dach

Zum anderen kann die bauliche Situation so ungünstig sein, dass Be- und Entlüftungsöffnungen nicht - wie gefordert - durch Wind anströmbar und gegenüberliegend sind oder dass der Belüftungsweg unterbrochen ist. In diesen Fällen wird eine Luftbewegung auch mit ausreichendem Querschnitt unwahrscheinlich.

Auch ein theoretisch belüftetes, aber praktisch eben unbelüftetes Dach kann zum Schaden führen, wie mehrfach gezeigt wurde, z.B. von Borsch-Laaks 2011 [4].

Und: aus statischen Gründen, z.B. bei Aufstockungen, entfällt in vielen Fällen die Möglichkeit der Betonbauweise.

Schließlich bleibt die Variante des unbelüfteten Flachdachs als bauphysikalisch, handwerklich und bauorganisatorisch anspruchsvolle, aber beherrschbare Variante.

1.2 Bauphysik, Handwerk und Bauablauf – warum ein unbelüftetes Flachdach anspruchsvoll ist

In einem unbelüfteten Flachdach kann Feuchte, die im Winter in die Konstruktion gelangt, nicht nach außen abtransportiert werden. Das verhindert die Abdichtungsbahn, die wegen der notwendigen Wasserdichtheit immer diffusionshemmend oder diffusionsdicht ist. Auch jene Dachbahnen mit vergleichsweise

niedrigem Diffusionswiderstand, PVC-Bahnen mit s_d -Werten ab 15 m, stellen für die eingedrungene bzw. vorhandene Feuchte eine große Barriere dar.

Im Winter dringt also wegen des Dampfdruckunterschieds außen-innen Feuchte in die Konstruktion ein, wird an der kalten Seite von der Dachabdichtungsbahn aufgehalten und in der Schalung (sowie im Fall eines sorptiven Dämmstoffs auch dort) gespeichert. Für die Schalung kann die Erhöhung des Feuchtegehalts wegen der Gefahr des Befalls mit holzerstörenden Pilzen problematisch werden. Dabei gilt im Fall von Holzschalung der Grenzwert von 20 M%, der nicht langfristig überschritten werden darf bzw. ein bestimmter Wert der Porenluftfeuchte bei Berechnung nach WTA-Merkblatt 6-8. Für Schalung aus Holzwerkstoffen (z.B. OSB) gilt der Grenzwert von 18 M%, und zwar sowohl aus Gründen des Holzschutzes als auch aus Tragfähigkeitsgründen (Nutzungsklasse 2 gemäß DIN EN 1995-1-1). Nur bei Einhaltung dieser Grenzwerte können die Holzbauteile in die Gebrauchsklasse 0 gemäß DIN 68800 (Verzicht auf chemischen Holzschutz) eingeordnet werden.

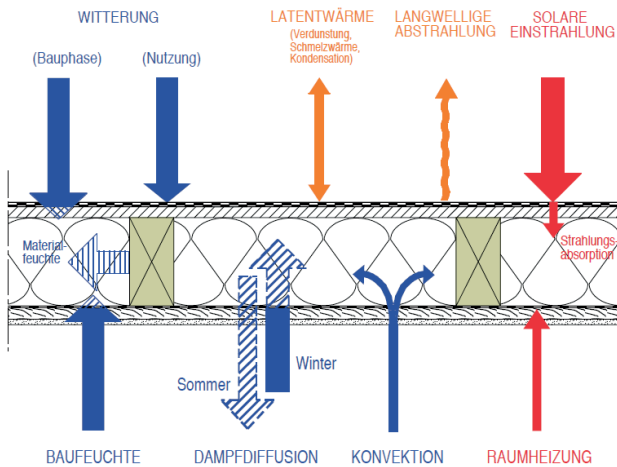


Bild 2 Wärme- und feuchtetechnische Einwirkungen auf ein unbelüftetes Flachdach [3]

Bild 2 zeigt die Witterungseinflüsse, die auf ein unbelüftetes Flachdach wirken (dargestellt ist eine einschalige Konstruktion, Typ III). Darin wird deutlich, dass der Aufbau mit raumseitiger Dampfsperre ($s_d \geq 100$ m) nicht dauerhaft funktioniert, auch wenn das einfache Nachweisverfahren der Diffusionsströme nach Glaser das glauben lässt – wenn nur der raumseitige Diffusionswiderstand

größer ist als der außenliegende. Demgemäß wurde in der alten DIN 4108-3 (2001) für unbelüftete Flachdächer eine raumseitige Dampfsperre mit $s_d \geq 100$ m gefordert – und so wurde auch vielfach gebaut.

Seit Beginn der 2000er Jahre lenkten aber die vielfachen Schadensfälle dieser „dicht-dicht-Aufbauten“ den Blick auf weitere wesentliche Feuchtequellen in der Konstruktion: zum einen den konvektiven Eintrag von feuchtwarmer Raumluft durch Leckagen („Konvektion“), zum anderen den Eintrag von Feuchte durch Materialfeuchte und, nicht zuletzt, durch Baufeuchte. Demgemäß wurden etwa seit dieser Zeit der Großteil unbelüfteter Flachdächer nicht mehr dicht-dicht gebaut, sondern mit feuchtevariablen Dampfbremsen ausgestattet.

Feuchtevariable oder feuchteadaptive Dampfbremsen sind in der Lage, bei hohen anliegenden Feuchten ihren Diffusionswiderstand zu verringern. Im Idealfall ist somit der s_d -Wert einer feuchtevariablen Folie im Winter (anliegende Raumluftfeuchte 50-60 % r.F.) deutlich höher als im Sommer, wenn es zur Rückdiffusion und damit zu höheren anliegenden Feuchten (ca. 70-80 %) kommt.

Damit können feuchtevariable Dampfbremsen dazu beitragen, unplanmäßig eingebrachte Feuchte wieder aus der Dachkonstruktion herauszubringen.

Unplanmäßig eingebracht wird Feuchte zum einen durch übermäßig feuchtes Holz oder andere feuchte Stoffe. Feuchte kann auch in unzuträglichem Maß durch Flankendiffusion, z.B. über frisch verputzte oder frisch hergestellte massive Wände, in die Dachkonstruktion eindringen.

Zum anderen führen eine mangelhafte Luftdichtheit durch schlecht ausgeführte Anschlüsse und/oder nachträgliche Durchdringungen zu hohen Feuchteinträgen. Dabei ist zu beachten, dass die Feuchtemengen, die durch Leckagen mit feuchtwarmer Luft eingetragen werden, um ein Vielfaches höher sind als die durch Diffusion eingebrachten Feuchtemengen.

Deshalb erfordert ein unbelüftetes Flachdach ein hohes Maß handwerklichen Könnens sowie eine gute Bauleitung, die nachträgliche Leckagen ausschließt.

Entscheidend ist, dass alle wesentlichen Einflüsse auf den Feuchtehaushalt eines Dachs, also die klimatischen Einflüsse, eingebrachte Materialfeuchten und konvektiv eingebrachte Feuchte (Trocknungsreserve) in der hygrothermischen Simulation abgebildet werden können und gemäß den geltenden Regelwerken im Sinne einer worst-case-Berechnung auch eingerechnet werden müssen. Dazu sind in den entsprechenden Regelwerken (DIN EN 15026, DIN 68800-2 und WTA-

Merkblätter) Randbedingungen festgelegt, die zu einer Berechnung auf der sicheren Seite führen.

1.3 Welche Varianten gibt es?

Es sind prinzipiell drei Varianten von unbelüfteten Flachdächern zu unterscheiden, im aktuellen Heft des Informationsdienstes Holz [3] werden sie Typ I, II und III genannt.

Beim Typ I ist die Wärmedämmung vollständig oder überwiegend oberhalb der Tragebene angeordnet, hier gibt es keine feuchtebedingten Probleme.

Beim Typ II sind die Sparren vollgedämmt, aber oberseitig ist noch eine Aufdachdämmung angeordnet.

Beim Typ III sind die Sparren vollgedämmt, ohne Aufdachdämmung. Im Heft des Informationsdienstes Holz sind sie als (besonders problematische) Sonderkonstruktionen beschrieben.

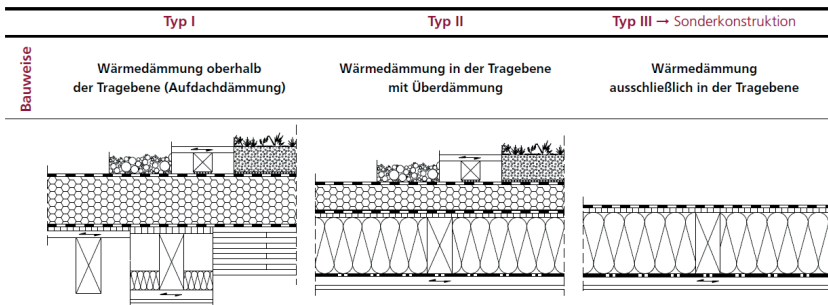


Bild 3 Varianten von unbelüfteten Flachdächern, aus [3]

1.4 Was sagen aktuelle Normen und Regelwerke?

Nach verschiedenen Forschungsprojekten in Deutschland [1] und Österreich, der Arbeit einer neu gegründeten WTA-Arbeitsgruppe „Feuchtebemessung von Holzkonstruktionen“ und den 2011 veröffentlichten „7 goldenen Regeln für ein sicheres Flachdach“ wurde im Februar 2012 eine neue Fassung von DIN 68800-2 vorgelegt.

DIN 68800-2

Darin wird das einschalige unbelüftete Flachdach (Typ III) in die Gebrauchsklasse 0 eingeordnet, sofern

- der Tauwasserschutz gemäß DIN EN 15026 nachgewiesen wurde – also mit hygrothermischer Simulation und sofern bei dieser Nachweisberechnung eine Trocknungsreserve von 250 g/m^2 berücksichtigt wurde
- alle sonstigen baulichen Gegebenheiten (z.B. Farbe der Abdichtungsbahn) im Nachweis berücksichtigt wurden
- im Fall einer angenommenen Verschattungsfreiheit diese dauerhaft baurechtlich gesichert ist
- bei Verwendung von feuchtevariablen Dampfbremsen (raumseitig) diese einen Verwendbarkeitsnachweis besitzen.

Zusätzlich ist mit Bild A.20 ein Dachaufbau und zugehörige Randbedingungen für eine nachweisfreie Konstruktion gegeben:

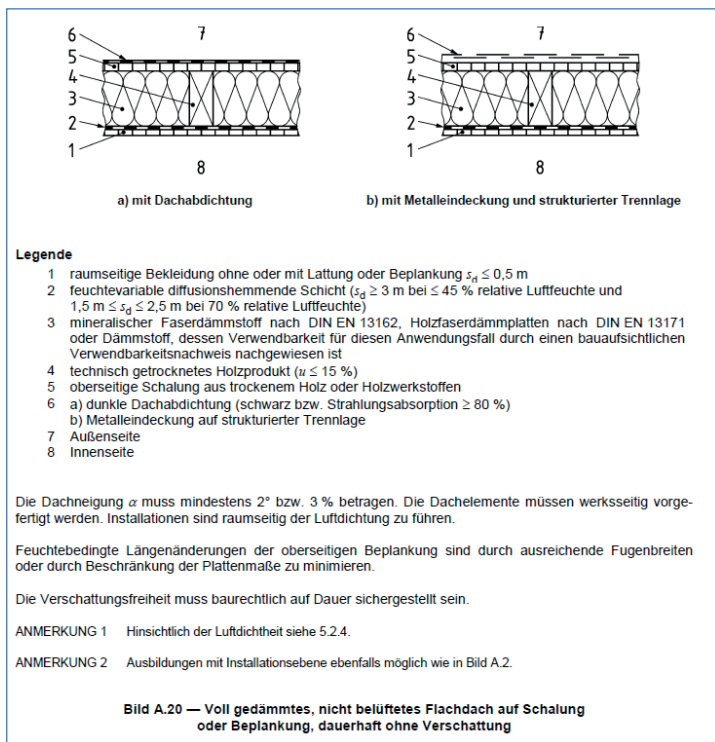


Bild 4 Nachweisfreie Variante mit Randbedingungen, aus DIN 68800-2

Aktuell wird DIN 68800-2 erneut überarbeitet, u.a. zur Neuregelung feuchtevariabler Dampfbremsen. Es bleibt spannend, ob im Entwurf der nächsten Fassung der einschalige Aufbau des Typs III weiterhin unter den nachweisfreien Aufbauten sein wird.

DIN 4108-3

DIN 4108-3 (2018) weist auf DIN 68800-2, den konvektiven Feuchteintrag sowie im Anhang D auf hygrothermische Simulationen hin. Ansonsten werden keine konkreten Angaben zu unbelüfteten Flachdächern in Holzbauweise, z.B. hinsichtlich einer Nachweisfreiheit, gemacht.

WTA-Merkblatt 6-8

Im WTA-Merkblatt 6-8 „Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen“ wird das einschalige Flachdach des Typs III nicht nachweisfrei gestellt, vielmehr wird auf seine Schadensanfälligkeit hingewiesen.

Informationsdienst Holz - Heft *Flachdächer in Holzbauweise* [3]

Auch hier wird, ähnlich wie im WTA-Merkblatt 6-8, auf die Schadensanfälligkeit des einschaligen unbelüfteten Flachdachs (Typ III) hingewiesen. Empfohlen wird vielmehr, die Dämmung oberhalb der Tragebene anzuordnen (Typ I) oder im Fall von Zwischensparrendämmung eine zusätzliche Aufdachdämmung (Typ II) vorzusehen.

Die verschiedenen Bewertungen insbesondere des Typs III (einschaliger Aufbau mit Zwischensparrendämmung) spiegeln zum einen die Diskussionen in den beteiligten Fachkreisen wider, zu nennen ist hier insbesondere die Veröffentlichung des Forschungsberichts des AiBau [2], in dem Schadensfälle untersucht wurden und als Schlussfolgerung vom Typ III abgeraten wird.

Zum anderen gibt es aber auch genügend FachplanerInnen, die viele Dächer schadensfrei geplant und gebaut haben und aus den anfangs genannten Gründen nicht auf diese Bauweise verzichten wollen.

Weiterhin ist DIN 68800-2 die gültige Norm, nach der Bauteile entworfen und nachgewiesen werden können.

Somit ist die Lage von gültigen Normen und Regelwerken derzeit unübersichtlich. Eine einheitliche Regelung ist wohl erst in einigen Jahren zu erwarten.

2 Nachweis eines unbelüfteten Flachdachs

Beispielhaft soll hier der Nachweis eines unbelüfteten Dachs gezeigt werden. Es handelt sich um ein Mehrfamilienhaus in Lübeck, das eine Terrasse erhalten soll. Geplant war zunächst eine einschalige Variante (Typ III):

Variante A – Vorgehen

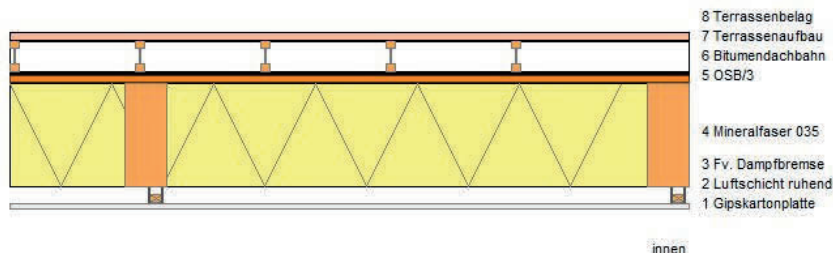


Bild 5 Geplanter Dachaufbau Variante A (Dämmwerk)

Gemäß DIN 68800-2 handelt es sich um eine Dachkonstruktion, für die die Bedingungen der Gebrauchsklasse 0 – Ausschluss von holzerstörenden Pilzen – prinzipiell erfüllt sind. Allerdings handelt es sich nicht um eine nachweisfreie Konstruktion (Bild A.20), weil das Dach durch die Terrasse verschattet ist.

Es musste also eine hygrothermische Simulation nach DIN EN 15026 durchgeführt werden. Falls Randbedingungen in DIN EN 15026 nicht festgelegt sind, gelten die Bestimmungen der WTA-Merkblätter 6-2 und 6-8.

Im vorliegenden Fall wurde eine hygrothermische Simulation mit WUFI 1D 6.0 durchgeführt und folgende Randbedingungen angenommen:

- Berechnung über mind. drei Jahre
- Außenklima
Standort Lübeck, Testreferenzjahr (keine Regendaten verfügbar, aber auch nicht erforderlich)
- Strahlungsparameter für die Terrasse
 - Dunkelgraue Bitumendachbahn $a_{\text{Belag}} = 0,9$ und $e_{\text{Abdichtung}} = 0,9$
 - gemäß WTA-Merkblatt 6-8: kw. Absorptionskoeffizient $a_e = 0,35 \times a_{\text{Belag}}$
lw. Emissionskoeffizient: $\varepsilon_e = 0,45 \times e_{\text{Abdichtung}}$
- Innenklima: gemäß WTA-MB 6-2: DIN EN 15026 „normale Feuchtelast“ + 5%
- Konvektiver Feuchteintrag (Trocknungsreserve) für $q_{50} = 3 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$; angesetzt in der OSB, an der Dämmung
- Startfeuchte: entsprechend Ausgleichsfeuchte bei 20°C und 80 % r.F.

Ergebnis

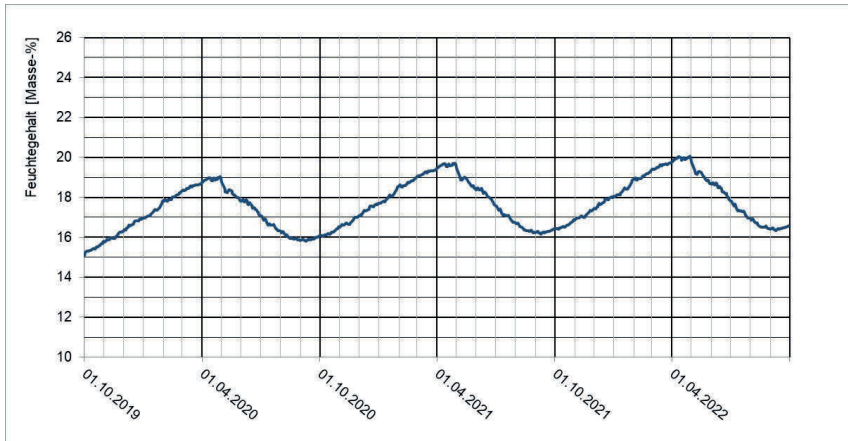


Bild 6 Ergebnis der Berechnung Variante A, Feuchtegehalt OSB

Auswertung

Der Feuchtegehalt der OSB überschreitet im ersten Jahr den Grenzwert von 18 M% und steigt danach weiter an. Die Dachkonstruktion feuchtet demnach kontinuierlich auf. Aus Gründen der Tragfähigkeit und weil der Befall mit holzzerstörenden Pilzen nicht ausgeschlossen werden kann, war der Nachweis nicht erfolgreich.

Variante B

Das Dach wurde in einer zweiten Variante mit einer Aufdachdämmung aus 6 cm XPS 034 versehen:

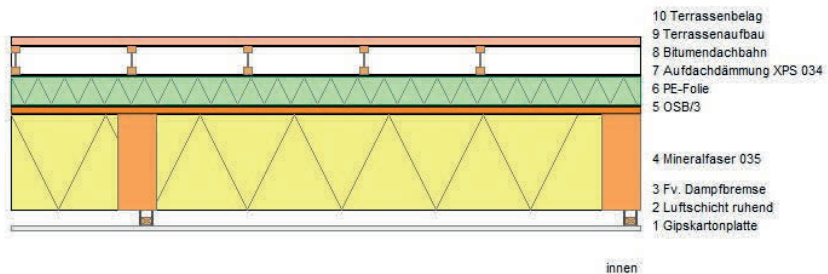


Bild 7 Geplanter Dachaufbau Variante B

Ergebnis

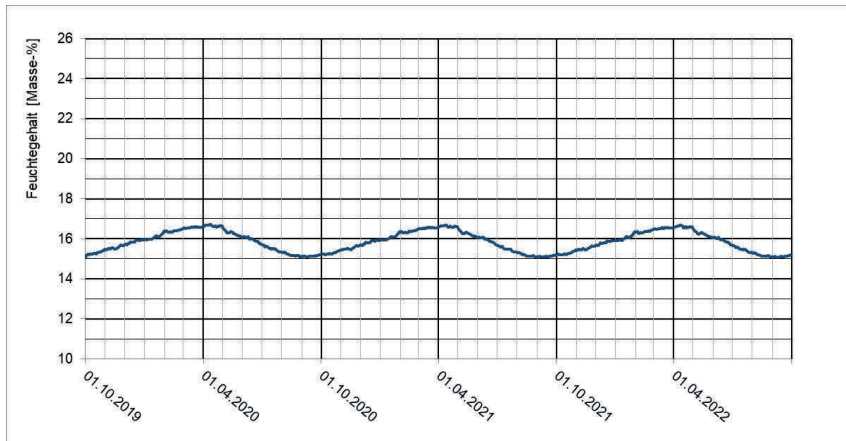


Bild 8 Ergebnis der Berechnung Variante B, Feuchtegehalt OSB

Auswertung

Mit der Aufdachdämmung trocknet die rechnerisch eingebrachte Anfangsfeuchte kontinuierlich aus. Der Feuchtegehalt der OSB bleibt dauerhaft unter dem Grenzwert von 18 M%. Der Nachweis war somit erfolgreich. Das Dach konnte in der Variante B – mit Aufdachdämmung – freigegeben werden.

3 Wie es zum Schaden kommt...und wie nicht

Schäden in unbelüfteten Flachdächern haben vielfältige Ursachen, die in den letzten Jahren häufig beschrieben worden sind. Eine systematische Untersuchung der Schadensursachen – durch Befragung von Sachverständigen - bietet der Forschungsbericht des AiBau [2].

Demnach sind die wichtigsten Schadensursachen:

- Luftundichtigkeit in der Dampfbremse oder in den Anschlüssen
- erhöhte Einbaufeuchte von Holzbauteilen und Dämmstoffen
- Baufeuchte, also der Eintrag von Feuchte durch angrenzende Bauteile oder z.B. durch ein verzögertes Schließen des Dachs bei gleichzeitigem Estricheinbau

Diese Aufzählung deckt sich mit den Erfahrungen der Autorin. Allerdings sind m.E. Luftundichtigkeiten mit Abstand die wichtigste Schadensursache. Während der Einbau von feuchtem Holz manchmal bei einem gut geplanten Dach und bei Verwendung einer leistungsfähigen feuchtevariablen Dampfbremse toleriert werden kann, d.h. das Dach die eingebaute Feuchte langfristig nach innen abführen kann, ist eine ständige Belastung mit feuchtwarmer Raumluft, die durch Leckagen einströmt, durch ein unbelüftetes Flachdach oftmals nicht mehr hinnehmbar, sodass es zum Schaden kommt.

Insgesamt sind unbelüftete Holzflachdächer, besonders die einschaligen Aufbauten (Typ III), aber – zwar in deutlich geringerem Maße - auch die Aufbauten mit Aufdachdämmung (Typ II) wenig fehlertolerant.



Bild 9 Schadhaftes Flach-dach mit durchnässter Dämmung und stehendem Wasser auf der Dampfbremse, Eigenes Gutachten. Schadensursache war ein Regenereignis am Wochenende, nachdem das Dach am Freitagabend mit Schalung, aber ohne Dachabdichtungsbahn verlassen worden war.

Zur Vermeidung von Schäden ist Folgendes zu beachten:

- Bauphysikalische Planung
 - Dachneigung mind. 2 %
 - Hygrothermische Simulation mit Trocknungsreserve und unter Berücksichtigung der konkreten Besonnungssituation vor Ort
 - Verwendung einer feuchtevariablen Dampfbremse mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung und aktuell gültigem Übereinstimmungszertifikat (Verwendbarkeitsnachweis gemäß DIN 68800-2)
 - Vermeidung von unbelüfteten Hohlräumen auf der kalten Seite
 - Verschattungsfreiheit nur ansetzen, wenn langfristig gesichert
- Bauausführung und Bauleitung
 - Einbau von trockenem Holz und Dokumentation der Holzfeuchte vor dem Schließen des Dachs
 - Notabdichtung
 - Vermeidung von Leckagen bzw. Verwendung von entsprechenden Manschetten etc. zur Minimierung von Leckagen
 - Werksvorfertigung bevorzugen
 - Blower-Door-Test nach Fertigstellung
- Betrieb des Gebäudes
 - Vermeiden von Überdruck durch eine Lüftungsanlage
 - Sensibilisieren der Bauherrenschaft in Bezug auf Nutzungsänderungen (PV-Anlage, Gründach usw.)
 - Monitoring (?)
 - Regelmäßige Inspektion der Dachoberfläche

4 Schlusswort

Unbelüftete Flachdächer in Holzbauweise erfreuen sich trotz vielfach dokumentierter Schadensfälle weiterhin großer Beliebtheit. Zweifellos sind sie im Vergleich zu belüfteten Holzdächern oder zu Massiv-Dächern wenig fehlertolerant. Wenn aber der Dachaufbau fachkundig geplant und handwerklich mängelfrei erstellt sowie der Bauablauf durch eine engagierte Bauleitung überwacht wird, können unbelüftete Flachdächer in Holzbauweise des Typs II und auch des Typs III feuchtetechnisch problemlos funktionieren – wie unzählige gebaute Beispiele beweisen.

Die genannten Anforderungen an die luftdichte Ausführung werden zumeist gut erfüllt, wenn die Dachkonstruktion werksseitig vorgefertigt wird.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4108-3, 2018-10 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- [2] DIN 68800-2, 2012-02 Holzschutz- Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
- [3] DIN EN 15026,
- [4] 2007-07 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation
- [5] WTA-Merkblatt 6-2, 2014, Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse
- [6] WTA-Merkblatt 6-8, 2016, Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulation
- [7] Winter, Fülle, Werter (2009): Experimentelle und numerische Untersuchung des hygrothermischen Verhaltens von flach geneigten Dächern in Holzbauweise mit oberer dampfdichter Abdichtung unter Einsatz ökologischer Bauprodukte zum Erreichen schadensfreier, markt- und zukunftsge rechter Konstruktionen. Abschlussbericht Forschungsvorhaben. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart. Kurzbericht: www.mfpa-leipzig.de
- [8] Oswald, Zöller, Spilker, Sous (2014): Zuverlässigkeit von Holzdachkonstruktionen ohne Unterlüftung der Abdichtungs- und Decklage, Abschlussbericht 03/2014, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gGmbH, Aachen. www.aibau.de
- [9] Informationsdienst Holz (2019): Flachdächer in Holzbauweise. Holzbau-Handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 1. www.informationsdienst-holz.de
- [10] Borsch-Laaks (2011): Trotz oder wegen? Tauwasserschäden bei belüfteten Dächern. Vortrag beim 3. Int. Fachkongress Holzschutz und Bauphysik 02/2011 in Leipzig. www.holzbauphysik.de

Autorenverzeichnis

Ackerbauer, Heide

Dipl.-Ing. Heide Ackerbauer, Bochumer Str. 21, 1055 Berlin, heide.ackerbauer@gmx.de

Braun, Sarah

Sarah Braun, M.Eng., Tenbrinkstr. 7, 78467 Konstanz, sabraun.info@gmail.com

Diemer, Rolf

Dr. Rolf Diemer, Chemotechnik Abstatt GmbH, Beilsteiner Str. 38, 74232 Abstatt, Tel. 07062 9542-31, Fax 07062 64547, rolf.diemer@chemotechnik.de

Eickstädt, Matthias

Matthias Eickstädt, M.Eng., Käte-Kollwitz-Str. 16, 24539 Neumünster, m.eickstaedt@hotmail.de

Fleckenstein, Marco

Dipl.-Ing. Marco Fleckenstein, Kurt Obermeier GmbH & Co.KG, Berghauser Str. 70, 57318 Bad Berleburg, Tel. +49 (0) 2751-5240, Fax +49-(0)-2751/5041, marco.fleckenstein@obermeier.de, www.obermeier.de

Frohmüller, Jens

Jens Frohmüller, M.Eng., Universität Kassel - Bauwerkserhaltung u. Holzbau, Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel, Tel. 0561 804 2685, jens-frohmuller@hotmail.de

Fülle, Claudia

Dr.-Ing. Claudia Fülle, Henneker Zillinger Beratende Ingenieure Leipzig PartG mbB, Zschochersche Straße 44-46, 04229 Leipzig, Tel: 0341/48783-35, Fax: 0341/48783-30, claudia.fuelle@hzi-leipzig.de, www.hzi-leipzig.de

Genz, Roger

Roger Genz, Von der Handwerkskammer Düsseldorf öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Estrichleger-, Maurer- und Betonbauerhandwerk (Bereich: Maurer, Beton- und Stahlbetonbauer), zertifizierter Sachverständiger für Betonschäden und Betoninstandsetzung (Zertifizierung Bau GmbH), Katharinenstr. 79, 41352 Korschenbroich, Tel. +49 (0) 21 82 / 84 12 94, Fax +49 (0) 21 82 / 84 12 95, www.genz-sv.de, info@genz-sv.de

Gerner, Manfred

*Prof. Dipl.- Ing. Manfred Gerner, Probstei Johannisberg, 36041 Fulda,
Tel. 06613804439, info@fachwerk-arge.de*

Geyer, Christoph

*Prof. Dr. rer. nat. Christoph Geyer, Berner Fachhochschule- Holzbau,
Tragwerke+Architektur, Solothurnstr. 102, PF 6096, CH-2500 Biel 6,
Tel. +41323440348, christoph.geyer@bfh.ch*

Henkel, Jonny

*Dipl.-Ing. Jonny Henkel, AK Bauwerksdiagnostik, Birkholzer Str. 5, 16356 Ahrensfelde,
Tel. 033394/18996, Fax 033394/57477, Mobil 0172/7973273,
info@ak-bauwerksdiagnostik.de, www.ak-bauwerksdiagnostik.de*

Herzberg, H.-Christian

*Dipl.-Ing. H.- Christian Herzberg, Ingenieurbüro für Dach- Wand- u.
Abdichtungstechnik, Nicolaistraße 5, 12247 Berlin, Tel. 030 8129 8134,
kontakt@dach-verstand.de*

Jüngel, Peter

*Dr. Peter Jüngel, Kurt Obermeier GmbH & Co.KG, Berghauser Str. 70,
57318 Bad Berleburg, Tel. +49 (0) 2751-5240, Fax +49-(0)-2751/5041,
peter.juengel@obermeier.de, www.obermeier.de*

Klingelhöfer, Gerhard

*Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Klingelhöfer, Sachverständigen- u.Ingenieurbüro, Goethestraße 49,
35415 Pohlheim, Tel. 06403 62 443, klingelhoefer-pohlheim@t-online.de*

Künzel, Hartwig

*Prof. Dr. Hartwig Künzel, Fraunhofer-Institut für Bauphysik BP, Fraunhoferstraße 10,
83626 Valley, Tel. 08024 643 245, hartwig.kuenzel@ibp.fraunhofer.de*

Messal, Constanze

*Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Constanze Messal, MICOR Gesell. f. mikrobielle Prozesse u.
Materialkunde, Schutower Ringstr. 6 (Haus 529), 18069 Rostock, Tel. 0381 637 28280,
constanze.messal@micorgruppe.de*

Möckl, Matthias

*Dipl.-Ing.(FH) Matthias Möckl, ACO GmbH & Co. KG, Am Ahlmannkai, 24782 Büdelsdorf,
Tel. +49 4331 8381-221, matthias.moeckl@aco.com*

Müller, Andreas

*Prof. Andreas Müller, Berner Fachhochschule- Holzbau, Tragwerke+Architektur,
Solothurnstr. 102, PF 6096, CH-2500 Biel 6, Tel. +41323440319,
andreas.mueller@bfh.ch*

Neuwald-Burg, Claudia

*Dipl.-Ing. Claudia Neuwald-Burg, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB,
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, Tel. 0711/970 2539, kein Fax, Mobil 0177/8477948,
claudia.neuwald-burg@irb.fraunhofer.de, www.irb.fraunhofer.de*

Peylo, André

*Dr. André Peylo, Holzlabor, Blumenstraße 22, 21481 Lauenburg, Tel. 04153 2282,
peylo@holzlabor.com*

Pfaff, Heike

*Dipl.-Ing. Heike Pfaff, HECK Wall Systems, Thölauer Straße 25, 95615 Marktredwitz,
Tel. 09231 8020, heike.pfaff@wall-systems.com*

Rudolph, Stefan

*Dr. Stefan Rudolph, Staatssekretär im Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und
Gesundheit MV, Johannes-Stelling-Straße 14, 19053 Schwerin, Tel. 0385-588 5006,
s.rudolph@wm.mv-regierung.de*

Schmidt, Jörg

*Prof. Dr. jur. Jörg Schmidt, Rechtsanwalt und Fachanwalt für Bau- und Architekten-
sowie für Versicherungsrecht,
Niederlassung Schwerin: Friedensstr. 18, 19053 Schwerin, Tel.: 0385/ 75 89 660, Fax:
0385/ 75 89 661,
Niederlassung Stockelsdorf b. Lübeck: Dorfstr. 36 A, 23617 Stockelsdorf, Tel. 0451/
989 309 44, Fax 0451/ 989 309 45, info@rae-dr-schmidt.de*

Schneider, Thomas

Dipl. Ing. Architekt Thomas Schneider, Technischer Leiter und Schlichter der Landesinnungsverbände M.-V. und S.-H., Dozent für Bauphysik und Statik, Mitglied im Prüfungsgremium der Sachverständige im Dachdeckerhandwerk, Ausschussmitglied in div. Fachausschüssen; u.a. Dachziegel und Dachsteine im ZVDH (Zentralverband des dt. Dachdeckerhandwerks), Landesinnungsverband des Dachdeckerhandwerks Schleswig-Holstein, Holzkoppelweg 5, 24118 Kiel, Tel. 04 31 / 54 776-0, Fax 04 31 / 54 776-66, info@dachdecker-sh.de

Steinfurth, Angela

Dipl.-Holzwirtin Angela Steinfurth, Goritas bygningsundersøgelser, Haderslevvej 108, DK-6000 Kolding, Tel. +45 75 52 2100, as@goritas.dk

Stürmer, Sylvia

Prof. Dr.-Ing. Sylvia Stürmer, FH Konstanz, Brauneggerstraße 55, 78462 Konstanz, Tel. 07531 206 225, stuermer@htwg-konstanz.de

Teichmann, Lena

Lena Teichmann, M.Sc., Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart, Falkenweg 1, 73340 Amstetten, lena_teichmann@web.de

Wehle, Barbara

Barbara Wehle, M.Sc., Berner Fachhochschule- Holzbau, Tragwerke+Architektur, Solothurnstr. 102, PF 6096, CH-2500 Biel 6, Tel. +41323440254, barbara.wehle@bfh.ch

Wobschal, Patricia

Patricia Wobschal, B.Eng., Hohenfriedingenstr. 1, 78315 Radolfzell am Bodensee, patriciawobschal@gmx.net

BuFAS-Mitglieder empfehlen sich

I Forschung/Lehre

Prof. Dipl.-Ing. Axel C. Rahn Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH – Die Bauphysiker Lützowstr. 70, 10785 Berlin Tel.: 030/8977470, Fax: 030/89774799 E-Mail: mail@ib-rahnde www.ib-rahnde	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

II Planer

Dipl.-Ing. Peter Ackermann-Rost IAF-Ingenieure Architekten Freiberufler Bahnhofstr. 6; 06484 Quedlinburg Tel.: 03946 979950, Mobil: 0172 5986089 Fax: 03946 979951 Oberfeldstr. 83, 12683 Berlin Te.: 030 4730360, Fax.: 030 4730361 E-Mail: mail@iaf-ingenieure.de www.iaf-ingenieure.de	Ingenieurbüro für Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik Dipl.-Ing. Christian Herzberg Nicolaistraße 5, 12247 Berlin Tel.: +49 30 8129 8134, Mobil: +49 176 3000 6257, Fax: +49 30 8129 8139 E-Mail: kontakt@dach-verstand.de www.dach-verstand.de
Dipl.-Ing. Martin Kapfinger Beratender Ingenieur f. Bauwesen Klenzestr. 13, 80469 München Tel.: 089 2289457, Fax: 089 2289415 Mobil: 0176 10062189 E-Mail: mail@kapfinger.org	Dipl.-Ing. Michael Müller Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH Lützowstr. 70, 10785 Berlin Tel.: 030 8977470 Fax: 030 89774799 E-Mail: mail@ib-rahnde www.ib-rahnde
Prof. Dipl.-Ing. Axel C. Rahn Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH – Die Bauphysiker Lützowstr. 70, 10785 Berlin Tel.: 030 8977470, Fax: 030 89774799 E-Mail: mail@ib-rahnde www.ib-rahnde	SB Bautechnik GmbH Löwenbrucher Ring 16 14974 Ludwigsfelde Tel.: 03378 899600, Fax: 03378 899 666 E-Mail: info@sb-bautechnik.de Web: www.sb-bautechnik.de

III Sachverständige

Dipl.-Ing. Peter Ackermann-Rost IAF-Ingenieure Architekten Freiberufler Bahnhofstr. 6; 06484 Quedlinburg Tel.: 03946 979950, Mobil: 0172 5986089 Fax: 03946 979951 Oberfeldstr. 83, 12683 Berlin Te.: 030 4730360, Fax.: 030 4730361 E-Mail: mail@iaf-ingeneure.de www.iaf-ingeneure.de	Dipl.-Ing. Architekt Klaus Breitenbach ö.b.u.v. Sachverst. f. Schäden an Gebäuden IHK Wenkenstr. 9, 32105 Bad Salzuflen Tel.: 05222 8077435 / 0800 BREITENBACH, Fax: 05222 8077437 Mobil: 0171/6404935 E-Mail: breitenbach-architekt@t-online.de www.breitenbach-architektur.de
Frank Dressler BWD Bauwerksabdichtung Dressler Warnower Str.34, 18249 Zernin Tel.: 038462 20346 Fax: 038462/33343 Mobil: 0171/7735224 E-Mail: bwd-dressler@web.de fr_dressler@t-online.de	Dipl.-Ing. Architekt Wolfgang Dubil Sachverständigenbüro Dipl.-Ing. Wolfgang Dubil Wiesbadener Str. 5, 12161 Berlin Tel.: 030 21966889, Fax: 030 85079549 Mobil: 0520 2485996 E-Mail: gutachten@dubil.de www.dubil.de
Goritas A/S Mikrobiologisches Speziallabor Dipl.-Holzwirtin Angela Steinfurth Haderslevvej 108, DK-6000 Kolding Tel.: +45 75522100, Mobil: +45 2047 1791 E-Mail : lab@goritas.dk, www.goritas.dk	Ingenieurbüro für Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik Dipl.-Ing. Christian Herzberg Nicolaistraße 5, 12247 Berlin Tel.: +49 30 8129 8134, Mobil: +49 176 3000 6257, Fax: +49 30 8129 8139 E-Mail: kontakt@dach-verstand.de www.dach-verstand.de
SV-Büro Brunkow Jörg Brunkow Neu Bartelsdorf 6, 18182 Bentwisch Tel.: 0381 6867 930, Fax: 0381 6867 931 E-Mail: info@sv-buero-brunkow.de www.sv-buero-brunkow.de	Michael Will Will Trocknungstechnik GmbH&Co.KG Westring 11, 24850 Schuby/Schleswig Tel.: 04621 9787620, Fax: 04621 9787619 Mobil: 0170 5768226 E-Mail: trocknungstechnik-will@t-online.de www.trocknungstechnik-will.de
Dipl.-Ing. Martin Kapfinger Beratender Ingenieur f. Bauwesen Klenzestr. 13, 80469 München Tel.: 089 2289457, Fax: 089 2289415 Mobil: 0176 10062189 E-Mail: mail@kapfinger.org	Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause Sachverständigenbüro für Holz- und Feuchteschäden Dorfstr. 5, 18246 Groß Belitz Tel.: 038466 20591, Fax: 038466 20592 Mobil: 0173 2032827 E-Mail : post@ingkrause.de www.ingkrause.de

Dipl.-Ing. Michael Müller Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH Lützowstr. 70, 10785 Berlin Tel.: 030 8977470 Fax: 030 89774799 E-Mail: mail@ib-rahnde www.ib-rahnde	Prof. Dipl.-Ing. Axel C. Rahn Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH – Die Bauphysiker Lützowstr. 70, 10785 Berlin Tel.: 030 8977470, Fax: 030 89774799 E-Mail: mail@ib-rahnde www.ib-rahnde
Michael Schmechtig ö.b.u.b. SV f. Holz- und Bautenschutz Steindamm 16, 39326 Gutenswegen Tel.: 039202 8756 E-Mail: info@schmechtig.de	Weise – Bausachverständige Dipl.-Ing. Friedrich Karl Weise Jahnstr.24, 99423 Weimar Tel.: 03643-86260 Fax: 03643 862623 E-Mail: info@weise-baugutachten.de www.weise-baugutachten.de

IV Ausführende

Abdichtungstechnik GmbH M. Schmechtig Steindamm 16, 39326 Gutenswegen Tel.: 039202 8756 E-Mail: info@schmechtig.de	Bautenschutz Katz GmbH Ringstraße 51, 91126 Rednitzhembach Tel.: 09122 7988-0, Fax: 09122 7988-12 E-Mail: info@bjk24.de, www.bjk24.de
Bronzel Wasserschadensanierung Michael Seemann Oberhäger Str. 2 a, 18182 Rövershagen Tel.: 038202 44303, Mobil: 0171 3853484, Fax: 038202 44304, E-Mail: seemann@bronzel.de, www.bronzel.de	BWD Bauwerksabdichtung Dressler Frank Dressler Warnower Str.34, 18249 Zernin Tel.: 038462 20346 Fax: 038462/33343 Mobil: 0171/7735224 E-Mail: bwd-dressler@web.de; fr_dressler@t-online.de
Kandale Bau GmbH Rostocker Str. 14. 16341 Panketal Tel.: 030 94113626; Mobil: 0162 2149489 Fax: 030 94113627 E-Mail: info@kandalebau.de www.kandalebau.de	Schleiff Bauflächentechnik GmbH & Co. KG Ingo Reifgerste Brüsseler Allee 15, 41812 Erkelenz Tel. : 0243196410, Fax: 0243174368 E-Mail: reifgerste@schleiff.de www.schleiff.de
SB Bautechnik GmbH Löwenbrucher Ring 16 14974 Ludwigsfelde Tel.: 03378 899600, Fax: 03378 899 666 E-Mail: info@sb-bautechnik.de Web: www.sb-bautechnik.de	Speidel System Trocknung GmbH Dr. Jörg Gutknecht Rellinger Straße 23, 20257 Hamburg Tel.: 040 8532800, Tel.2: 0800 4000800, Fax: 040 85328070, E-Mail: info@trocknung.com www.speidel.info

Scadock & Hofmann GmbH & Co. KG Reiner Hofmann IKW-Straße 25 – 27, 01979 Lauchhammer Tel.: 035748854-0, Fax: 03574860212 E-Mail: scadock.hofmann@t-online.de	Spontan Grahl GmbH Ludwig Grahl Glockengasse 5, 47608 Geldern Tel.: 02831134 8250, Tel. 2: 030 89038603, Mobil: 0152 0138 1111, Fax: 02831 134 8251, E-Mail: info@spontan-grahl.de, www.spontan-grahl.de
Michael Wiemeier Maurermeister, Sachverständiger Lärchenweg 11, 24242 Felde OT Jägerslust Tel.: 04340 4192200 Fax: 04340 4192201 Mobil: 0160 5050136 E-Mail: saver@michael-wiemeier.de www.michael-wiemeier.de	Michael Will Will Trocknungstechnik GmbH&Co.KG Westring 11, 24850 Schuby/Schleswig Tel.: 04621 9787620, Fax: 04621 9787619 E-Mail: trocknungstechnik-will@t-online.de www.trocknungstechnik-will.de

V Hersteller/Lieferanten

Desoi GmbH Injektionstechnik Gewerbestr. 16, 36148 Kalbach Tel.: 06655 96360, Fax: 06655 9636 6666 E-Mail: info@desoi.de www.desoi.de	Kurt Obermeier GmbH & Co. KG Berghäuser Straße 70, 57319 Bad Berle- burg Tel.: +49 2751 524 0, Fax: +49 2751 5241 E-Mail: info@kora-holzschutz.de www.kora-holzschutz.de
Neisius Bautenschutzprodukte Uwe Neisius Alte Gärtnerei 29, 18225 Kühlungsborn Tel.: 038293 433030, Fax: 038293 433032 Mobil: 0171 4128460 E-Mail: neisius@t-online.de www.cavastop.com	Remmers GmbH Bernhard-Remmers-Str. 13 49624 Lönigen Tel.: 05432 83-0, Fax: 05432 3985 info@remmers.de, www.remmers.de
SB Bautechnik GmbH Löwenbrucher Ring 16 14974 Ludwigsfelde Tel.: 03378 899600, Fax: 03378 899 666 E-Mail: info@sb-bautechnik.de Web: www.sb-bautechnik.de	WEBAC Chemie GmbH Fahrenberg 22, 22885 Barsbüttel Tel. 040 /670570, Fax: 040 6703227 E-Mail: info@webac.de www.webac.de

ES – PRODUKTTREIHE

SPART ZEIT & ENERGIE

DIE ES-FAMILIE ist unsere intelligenteste, flexibelste, kompakteste und energiesparendste Serie, die zudem auch noch leistungsstärker ist als alle früheren Produktreihen. Die ES-Serie ist so konzipiert, dass sie intuitiv, funktional und ergonomisch ist. Das ist Innovation und Qualität bis ins kleinste Detail.



Alle Geräte der ES-Produktfamilie sind für die Fernüberwachung und -steuerung vorbereitet. Die leistungsstarke Kombination bietet einzigartige, neue Möglichkeiten im Umgang mit Wasserschäden.

CORROVENTA ENTFEUCHTUNG GMBH Siemensring 86, 47877 Willich-Münchheide • www.corroventa.de



CorroVenta[®]

LEISTUNGSSTARKE LÖSUNGEN FÜR EINE ZUVERLÄSSIGE RADONSANIERUNG

RADON IST EIN RADIOAKTIVES GAS, das für das Auge unsichtbar und völlig geruchlos ist und ein hohes Gesundheitsrisiko darstellt. Schaffen Sie eine sichere und gesunde Lebensumgebung mit hocheffizienten Produkten für die Radonsanierung. Wir nutzen unser umfangreiches Wissen und unsere Erfahrung, um die effizientesten und kostengünstigsten Lösungen für unsere Kunden zu finden.



Hohe Qualität
und Langlebigkeit



Extrem leise¹
und leistungsstark



Energieeffizient
mit niedrigen
Betriebskosten



CORROVENTA ENTFEUCHTUNG GMBH Siemensring 86, 47877 Willich-Münchheide • www.corroventa.de

CorroVenta[®]

<https://doi.org/10.51202/9783739809938> - Generiert durch IP 218.72.218.36, am 19.01.2026, 11:29:14. © Urheberrechtlich geschützter Inhalt. Ohne gesonderte Erlaubnis ist jede urheberrechtliche Nutzung untersagt, insbesondere die Nutzung des Inhalts im Zusammenhang mit, für oder in KI-Systemen, KI-Modellen oder Generativen Sprachmodellen.

Das neue Kiesol C+

Wirkt am schnellsten.
Schützt am besten.



Der besondere Schutz gegen aufsteigende Mauerwerksfeuchte.

remmers

Remmers Gruppe

remmers.com



STARKE INDUSTRIEBÖDEN

Wir optimieren und veredeln mineralische Böden.
Aus den ursprünglich instabilen Oberflächen werden
im **MGS-Optimierungs-Verfahren** repräsentative
Hightech-Industrieböden.

M-G-S

NATURSTEIN-SANIERUNG • ESTRICH-VEREDELUNG

Ein Unternehmen der H+D Kottmeyer-Gruppe

**MGS Oberflächen-
veredelung**
HD Kottmeyer
GmbH & Co. KG
Berliner Ring 48
33428 Harsewinkel

info@mgs.nrw
www.mgs.nrw



Energetische Balkon- sanierung

- schwer entflammbare Abdichtungs-Systemlösung (Cfl-s1) gem. EN 13501-1
- von der Dämmung bis zum Finish



WestWood Kunststofftechnik GmbH
 Fon: 057 02/83 92-0 · www.westwood.de



Baustellen-Entsorgung

in Deutschland
und Europa



**Ein Ansprechpartner
in den Bereichen**

- Baustellen-Entsorgung
- Baustellen-Absicherung
- Stell- und
Zufahrtsgenehmigungen

**Alles aus
einer Hand**

**ERW Entsorgungsgesellschaft
Rhein-Wied mbH**

**Industriestraße 16 a/b
56307 Dürrholz-Daufenbach
Tel.: 0 26 84 851 89 - 0
Fax: 0 26 84 851 89 - 57**



WWW.ERW-ENTSORGUNG.DE



Bundesverband Feuchte & Altbausanierung e.V. **Qualität setzt sich durch**

Unter dem Motto »Innovativ und praktikabel – vom Boden bis zum Dach« berichteten auf der Jubiläumstagung des Bundesverbandes zwanzig namhafte Fachexperten aus Deutschland, der Schweiz und aus Dänemark über vielfältige Themen aus Denkmalpflege, Sanierungspraxis und Bautenschutz.

Die Aufsätze des Tagungsbandes behandeln unter anderem die Themen Decken und Fußbodenkonstruktionen sowie deren Sanierung mit innovativen Dreistoffsystemen, die Revitalisierung von Böden, verschiedene Facetten des Holzbaus, Putzschäden und die Eigenschaften von Fassadenbeschichtungen sowie Konstruktionsfragen rund um Dächer und Terrassen.

Ebenso werden rechtliche Aspekte sowie die Regelwerke und Normen beleuchtet, z. B. in einer Gegenüberstellung von DIN 4108 und DIN EN ISO 13788 zum wärme- und feuchtetechnischen Verhalten von Bauteilen und in einem Beitrag zur Abdichtung nach DIN 18531 und der Flachdachrichtlinie.

Einblick in die praktische Denkmalpflege bieten Beiträge aus der Forschung für die Praxis sowie Praxisberichte zum Bauen im Bestand, z. B. zur Sanierung des Lübecker Rathauses und zur inzwischen abgeschlossenen Sanierung der Christi-Verklärung-Kirche auf der Insel Kischi/Karelien in Russland.

Fester Bestandteil der Hanseatischen Sanierungstage ist die Verleihung des »Nachwuchs-Innovationspreises Bauwerkserhaltung«, gestiftet vom BuFAS und unterstützt durch den Fraunhofer IRB Verlag und den Beuth Verlag. Mit diesem Preis zur Nachwuchsförderung werden herausragende wissenschaftliche Leistungen im Bereich der Bauwerkserhaltung gewürdigt. Alle eingereichten Beiträge finden Sie in diesem Tagungsband.

Alle Informationen über den Verband und die Tagung unter www.bufas-ev.de.

