 BuFAS e. V. (Hrsg.)

Altbausanierung 12 **Erfolgreich sanieren – normativ oder sachverständig?**

28. Hanseatische Sanierungstage vom
2. bis 4. November 2017 im Ostseebad Heringsdorf/Usedom

**Beuth****Fraunhofer IRB  Verlag**



Altbausanierung 12

BuFAS e.V. (Hrsg.)

Erfolgreich sanieren – normativ oder sachverständig?

28. Hanseatische Sanierungstage
vom 2. bis 4. November 2017
im Ostseebad Heringsdorf/Usedom

1. Auflage 2017

Fraunhofer IRB  Verlag

Beuth Verlag GmbH · Berlin · Wien · Zürich

Herausgeber:
BuFAS Bundesverband Feuchte und Altbausanierung e. V.

© 2017 Beuth Verlag GmbH
Berlin · Wien · Zürich

Am DIN-Platz
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0
Telefax: +49 30 2601-1260
Internet: www.beuth.de
E-Mail: kundenservice@beuth.de

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon: +49 711 970-25 00
Telefax: +49 711 970-25 08
Internet: www.baufachinformation.de
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden von Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Titelbild: © Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause, Groß Belitz

Satz: Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause, Groß Belitz

Druck: Colonel, Kraków

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706

ISBN 978-3-410-28053-8 (Beuth)

ISBN (E-Book) 978-3-410-28054-5 (Beuth)

ISBN 978-3-7388-0038-8 (IRB)

ISBN (E-Book) 978-3-7388-0060-9 (IRB)

Editorial

Herzlich Willkommen zu den 28. Hanseatischen Sanierungstagen!

Dieses Frühjahr haben wir im Vorstand etwas länger gebraucht als sonst, um das Programm rund zu bekommen. Zu viele Themen standen im Raum, die sich nur schwer gruppieren ließen. Intensiv diskutiert wurde beispielsweise die Idee, den gesamten Samstag dem Thema Dachgeschossausbau zu widmen. Durchgesetzt hat sich schlussendlich das Thema Innendämmung, da wir der Überzeugung waren, dass es für einen größeren Kreis von Teilnehmern interessant sein könnte.

Das Thema: „Erfolgreich sanieren – normativ oder sachverständig?“ ist bewusst ein wenig provokant formuliert. Unser Tagungsprogramm soll Sie dazu ermuntern, Ihren kritischen Sachverstand zu nutzen und ingenieurmäßig zu denken, anstatt sich blind an Normen abzuarbeiten. Diskutieren Sie mit den Referenten und ihren Fachkollegen aus Wissenschaft und Baupraxis über spezifische Normen und Richtlinien. Wo gibt es Widersprüche und Ungereimtheiten? Wo mangelt es an Praktikabilität und handwerklichen Umsetzbarkeit? Was könnte man vereinfachen, um mehr Klarheit zu erreichen?

Insbesondere die Vorträge zu konkreten Objekten sollen veranschaulichen, dass jede Sanierung eine einzigartige Bauaufgabe ist und *Ingenieurmäßiges Denken* keine reproduzierende Tätigkeit, sondern ein schöpferisch-produktiver Arbeitsvorgang.

Als Vorstand sind wir immer dankbar, wenn Sie uns Feedback geben. Wir freuen uns über Lob und konstruktive Kritik. Noch viel mehr freuen wir uns aber über Ihre eigenen Ideen und Vorschläge. Welche Themen sollten aufgegriffen werden? Welche Referenten können Sie empfehlen? Bereits im Dezember starten wir mit der Planung für die Sanierungstage 2018. Nutzen Sie also den Schwung der nächsten Tage für eine direkte Rückmeldung an uns.

Ich wünsche Ihnen im Namen des gesamten Vorstands drei produktive und schöne Tage sowie zwischendurch immer wieder eine Prise erfrischende Ostseeluft

Julia von Werder
Vorstandsmitglied

(Leerseite)

Grußwort

Sehr geehrte Bauschaffende, Planer und Sanierer,

Erfolgreich sanieren wollen alle – hier herrscht fraglos breiter Konsens.

Der zweite Teil des Mottos der 28. Hanseatischen Sanierungstage 2017 „normativ oder sachverständig“ provoziert ganz im Sinne von uns Architekten und Ingenieuren. Hier gilt es Stellung zu beziehen.

Ist es auf Dauer sinnvoll, das Bauen weiterhin so zu **überbürokratisieren**, wie es in den letzten Jahren geschehen ist? Ich denke da z. B. an die massiv geförderte energetische Gebäudesanierung und dass die EnEV jedes Jahr „auf Teufel komm raus“ verschärft wird. EnEV-Anforderungen dürfen nicht zum Selbstzweck werden – sie dürfen das Bauen nicht noch mehr verteuern. Das dient vor allem dem Wohnungsmarkt nicht. Ich erinnere daran, dass die EnEV nur dazu da ist, vernünftig Energie einzusparen. Sie darf aber niemals dazu dienen, politische Vorgaben zu erfüllen. Die sog. Energiewende ist nur so lange von Bedeutung und findet Akzeptanz, wie sie wirtschaftliche und vernünftige Ergebnisse zeitigt. Sie darf nicht zum Dogma werden. Insofern hat der BDB Recht, wenn er ein Moratorium der EnEV schon im letzten Jahr forderte, um das Bauen nicht unnötig zu verteuern. Die zunehmende Überbürokratisierung des Planen und Bauens (über 20.000 DIN-Vorschriften für einen Einfamilienhausbau) ist nicht mehr praxistauglich. Sie rechnet sich nicht. Wir ersticken an der Normenflut. Sie behindert uns und unseren Berufsstand in dem, was ihn ausmacht: technische Kreativität zu entwickeln. So sind wir Planer auf Dauer nicht wettbewerbsfähig und werden zu schlichten Sklaven überzogener bürokratischer Vorgaben. Gleichzeitig aber werden – merkwürdigerweise – notwendige Sicherheitsvorschriften (Bauregellisten A und B oder Ü-Kennzeichnung) durch europäische Vorgaben (EuGH-Urteil) verwässert. Zurecht moniert die Bauwirtschaft, dass dies unverantwortlich ist und wir so unsere bewährten Sicherheitsstandards beim Bauen einer falschverstandenen europäischen Deregulierung opfern. Wie kann es sein, dass Bauprodukte, die nie einer bewährten Standardprüfung nach nationalem Recht unterzogen wurden, in den Verkehr gebracht werden. Das wäre etwa so, als würde man Autos ohne TÜV zulassen... Die Brandkatastrophe in London ist hier Menetekel. Für mich ist das ein falsches Verständnis von freiem Warenverkehr – vor allem wenn die Defizite auf dem Rücken der Ingenieure ausgetragen werden sollen. Das ist

gefährlich, das ist ein Angriff nicht zuletzt auf unsere baukulturellen Errungenschaften.

Letztendlich ist es unerheblich, ob der Planer – beim Neubau wie bei der Sanierung – auf genormte, dem allgemein anerkannten Stand der Technik entsprechende Lösungen zurückgreifen kann oder Sonderlösungen entwickelt – die dann mit dem Bauherrn zu vereinbaren sind, solange er ingenieurmäßig lösungsorientiert arbeitet. Dazu gehört auch Bauherrn und Nutzern Möglichkeiten und Grenzen der jeweiligen Lösung aufzuzeigen und auf Risiken und auch Widersprüche in Normen und sonstigen Regelwerken hinzuweisen.

Veranstaltungen, wie die Hanseatischen Sanierungstage sind in hohem Maße geeignete Foren um normative Vorgaben und Praxiserkenntnisse gegenüberzustellen und den Tagungsteilnehmern wertvolle Hilfestellung für Ihre eigene sachverständige Ingenieur Tätigkeit zu vermitteln.

In diesem Sinne danke ich dem Bundesverband Feuchte & Altbau Sanierung e.V., den Organisatoren und den Referenten für die auch in diesem Jahr wieder gelungene, vielseitige und inspirierende Programmgestaltung. Den Teilnehmern und Lesern des Tagungsbandes wünsche ich den richtigen Weg zwischen „normativ“ und „sachverständig“ mit kreativem ingenieurmäßigem Augenmerk zu finden.

Dr.-Ing. Ralf Ruhnau
Präsident der Baukammer Berlin

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Editorial (<i>J. v. Werder</i>)	III
Grußwort (<i>R. Ruhnau</i>)	V
Urbanität heißt Wandel. Die Welt als Stadt. (<i>K. Vöckler</i>)	1
PREOBRAZHENSKAYA – Die Sanierung der Christi-Verklärungskirche auf der Insel Kisch/Karelien/Russland (<i>M. Gerner</i>)	15
Denkmalschutz im Spannungsfeld der Interessen (<i>G. Skalecki</i>)	31
Denkmalschutz am Beispiel des Antikolonialdenkmals in Bremen (<i>F. Deitschun</i>)	43
Mitwirkung der Industrie bei Sanierungsprojekten außerhalb der Norm am Beispiel des Antikolonialdenkmals „Elefant“ in Bremen (<i>J. Engel</i>)	53
Baustoffliche Besonderheiten und Analysen im Rahmen der Sanierungsplanung für das Antikolonialdenkmal in Bremen (<i>F. Schlütter/H. Juling</i>)	61
Dauerhaftigkeit von Holzbauteilen – Anforderungen an eine verlässliche Gebrauchsdauervorhersage (<i>L. Meyer-Veltrup</i>)	73
Dauerhaftigkeit von Holz in der nationalen und europäischen Normung – Neue Entwicklungen und Tendenzen (<i>C. Brischke</i>)	89
Neufassung des WTA-Merkblatts „Der Echte Hausschwamm“ (<i>E. Flohr</i>)	105
Was leisten In-situ-Messmethoden der Wasseraufnahme- koeffizienten von Außenputzen historischer Gebäude? (<i>C. Geyer/A. Müller/B. Wehle</i>)	111
Der Gebäudesockel – das fußkranke Wesen? (<i>R. Spirgatis</i>)	123

	Seite
Nachträgliche Kerndämmung von Hohlwänden (<i>A. Drewer</i>)	137
Sanierung außerhalb der Norm am Beispiel einer zweischaligen Mauerwerkskonstruktion (<i>J. Saxler</i>)	147
Möglichkeiten der Erfassung von Verformungen durch Treibmineralbildungen an Mörtelsystemen mittels Streifenlichtprojektion – Bewertung und Vergleich zu anderen Messmethoden (<i>R. Reimann</i>)	159
Untersuchung des Zugfestigkeitsverhaltens von Mauerwerksproben (<i>M. Remde</i>)	169
Nachtragsmanagement und Bauzeitverzögerung beim Bauen im Bestand (<i>P. Pietschmann</i>)	177
Wann ist der Gerichtssachverständige befangen? (<i>U. Meindresch</i>)	185
Das neue Bauvertragsrecht der Bundesregierung – Fluch oder Segen? (<i>M. Cosler</i>)	193
Praxisbericht zur Funktionsfähigkeit von Innendämmsystemen (<i>G. Liebert</i>)	203
Numerische Simulation und experimentelle Untersuchungen an Innendämmsystemen (<i>P. Strangfeld/H. Stopp</i>)	215
Innendämmung von Fachwerk nach WTA-Merkblatt (E) 8-5 (<i>J. Gänßmantel</i>)	227
Autorenliste	249
BuFAS-Mitglieder empfehlen sich	251

Urbanität heißt Wandel. Die Welt als Stadt.

K. Vöckler
Offenbach am Main

Zusammenfassung

Die Welt wird immer städtischer: Nach Berichten der Vereinten Nationen lebt bereits mehr als die Hälfte der Menschheit in Städten. Und der Trend wird sich fortsetzen. Urbane Räume werden die zentrale Organisationsform menschlicher Gesellschaften bilden. Das trifft auch für Deutschland mit seinem hohen Urbanisierungsgrad von über 75 Prozent zu. Die städtische Lebensweise hat sich hier bereits in die Region ausgebreitet, die stetig steigenden Pendlerbewegungen zwischen den Kernstädten und dem Umland greifen immer mehr in den ländlichen Raum. Zugleich wird die Stadt immer mehr zur Welt. Mit der Entwicklung der modernen Transporttechnologien und Kommunikationsmedien ist seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert ein weltweites Städte-system entstanden, über das die Waren- und Wissens-, Material- und Menschenströme zusammengeführt und verteilt werden. Entsprechend nehmen die Städte nicht nur eine Schlüsselstellung in der Weltwirtschaft ein, sondern sind zugleich die Orte, wo auch die sozialen Herausforderungen dieses Austauschs mit der Welt bewältigt werden müssen. Am Beispiel der global positionierten Metropolregion Rhein-Main und der kleinen Großstadt Offenbach, der Stadt in Deutschland mit dem höchsten Ausländeranteil, soll dies erläutert werden.

1 Einführung: Die urbane Lebensweise

Mit Handel und Kolonialismus entstand ein weltweit verknüpftes Städtensystem, das mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert zu einem dominanten „Weltsystem“ (Immanuel Wallerstein) einer global operierenden Wirtschaft ausgebaut wurde. Deren Zentren fanden sich in den Städten des industrialisierten Nordens, die mit einem kolonialen Städtensystem verbunden waren. Über diese wurden die für die industrielle Produktion benötigten Rohstoffe importiert und die exportierten industriellen Fertigprodukte gehandelt. Diese Entwicklung fand ihre Entsprechung in der Ausweitung der industrialisierten Städte in das Umland innerhalb ihres nationalstaatlichen Territoriums, in denen sie als Orte der Produktion als auch der Verwaltung und des Handels eine Schlüsselstellung einnahmen. Entlang der ins Umland greifenden Schnellbahnen und Schnellstraßen breitete sich die Großstadt ins Umland aus. Der durch die Industrialisierung bewirkte Transformationsprozess des traditionellen europäischen Städtewesens hatte in den Industriestaaten wie Deutschland bereits vor dem Ersten Weltkrieg seinen Abschluss gefunden. Alle neuen Siedlungs- und Industriebauten folgten diesen infrastrukturellen Anordnungen, die von staatlicher Seite weiter ausgebaut wurden. Hinzu kam ein Wirtschaftswachstum, das einen allgemeinen steigenden Lebensstandard ermöglichte und es zunehmend auch größeren Teilen der Bevölkerung gestattete, am steigenden Wohlstand zu partizipieren und in Mobilien und Immobilien zu investieren. Der Ausbau der Infrastruktur und die Weiterentwicklung der Kommunikations- und Transporttechnologie erlaubte zudem eine weit ausgreifende und flexiblere Raumnutzung, die zu einer neuen Form der Urbanisierung in den Industriestaaten führte.

Die Merkmale dieser Urbanisierung im Kernraum Europas ab etwa 1960 hat der Stadthistoriker Jürgen Reulecke am Beispiel Westdeutschland analysiert. [1] Die urbane Lebensform griff immer stärker auf das Land über; die Voraussetzung bildeten die Ausbreitung der Massenkommunikationsmittel, der Ausbau des Nahverkehrssystems und die Zunahme des Individualverkehrs sowie das flächendeckende Angebot massenhaft produzierter Konsumartikel. Ein weiteres Merkmal ist das suburbane Siedlungswachstum an den Rändern der Städte. Damit entstanden aber auch neue räumliche Interaktionen zwischen Stadt und Umland. Sie führten zur Bildung von Metropolregionen, die sich durch eine hohe Bevölkerungskonzentration in einer relativ dichten Häufung von großen und kleinen Städten, Industrieanlagen, Gewerbestandorten und suburbanen Wohnvierteln auszeichneten. Entlang überregionaler Straßensysteme entstanden so Siedlungsbänder, die Naturräume und Agrarflächen integrierten – eine urbanisierte Zone, in der sich Stadt und Land nicht mehr eindeutig trennen lassen. Die traditionelle Auffassung von der Stadt als einer räumlich dichten Form bewirkte in der Diskussion dieser Metropolregionen eine Fokussierung auf den Flächenverbrauch („Verstädterung“) und die Bevölkerungskonzentration. Übersehen wurde zumeist, dass im Kernraum Europas eine das gesamte Territorium erfassende Urbanisierung stattfand, die zwar umfassend, aber nicht homogen ist und sich der traditionellen Vorstellung von

Stadt entzieht. Die Ausstattung des gesamten staatlichen Territoriums mit technischer und sozialer Infrastruktur, die in den westeuropäischen Industrienationen zum Ende des 20. Jahrhunderts weitgehend abgeschlossen war, ermöglichte eine neuartige urbanisierte Lebensweise, die nicht mehr in den traditionellen Formen der Stadt ihren Ort findet.

2 „Global Cities“ und europäische Metropolregionen

Als Metropolregionen werden überstädtisch-regionale Konzentrationen bezeichnet, die Standorte für den internationalen Handelsverkehr sind und eine Drehscheibe für Finanz- und Informationstransfers bilden. Diese Metropolregionen gelten als die tragenden Säulen der ökonomischen Entwicklung. Mit der Schaffung des europäischen Binnenmarktes und der allgemeinen Liberalisierung des Handels weltweit hat sich ein neues raumwirtschaftliches Beziehungssystem im transnationalen Raum ausgebildet, was durch besonders intensive grenzüberschreitende wirtschaftliche Verflechtungen, durch transnationale Güterströme und Dienstleistungen, Direktinvestitionen multinationaler Konzerne und frei flottierende Finanzkapitalströme gekennzeichnet ist.

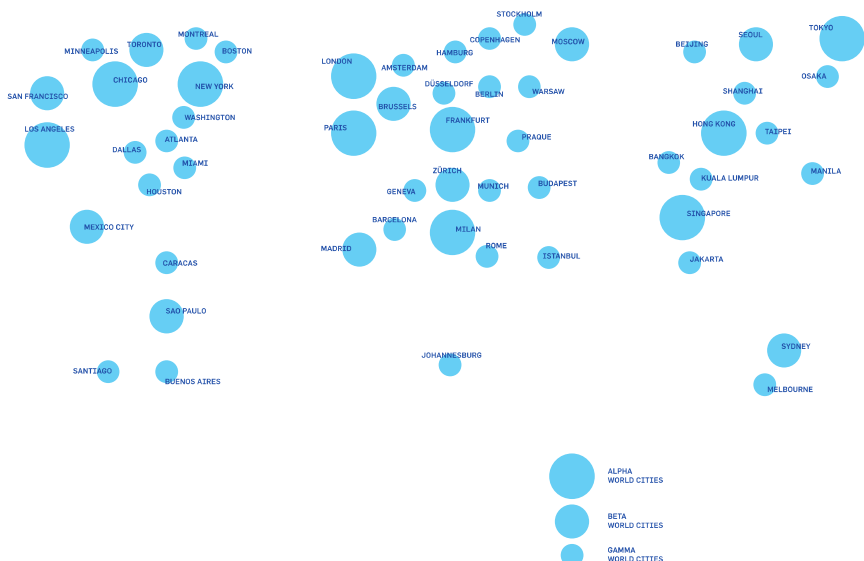


Abb. 1: Das Weltstädtesystem der „Global Cities“. Die Metropolregion Rhein-Main wird hier unter „Frankfurt“ geführt. (Quelle: GaWC 2002, Grafik: Lukas Wagner)

Charakteristisch ist für die europäischen Metropolregionen, dass sie zwar durch eine Kernmetropole dominiert werden können (wie beispielsweise Paris oder London), oftmals aber eher eine polyzentrische Struktur aufweisen, wie die Metropolregion Rhein-Main mit den Kernstädten Frankfurt, Darmstadt, Wiesbaden, Mainz und Offenbach. In den polyzentrischen Metropolregionen besteht zwar eine Städtehierarchie, aber oftmals auch eine funktionale Aufgabenteilung im regionalen Maßstab. Die Metropolregionen nehmen eine zentrale Stellung ein, da sie einerseits die Raumentwicklung regional und im europäischen Maßstab in Interaktion miteinander dominieren, zugleich aber auch transnational im globalen Städtesystem eine Schlüsselposition einnehmen. Dabei kommt den Großstädten innerhalb der Metropolregionen die Aufgabe zu, die Waren-, Energie- und Verkehrsströme zu konzentrieren, die Kontaktintensität der Wissens- und Menschenströme zu erhöhen, um auf diese Weise zwischen der globalen und der regionalen Ebene zu vermitteln und eine Koordinations- und Organisationsfunktion auszufüllen.

Die Aufspaltung von Produktionsprozessen im weltweiten Maßstab (Globalisierung der Wertschöpfungsketten), das durch eine verbesserte Informations- und Kommunikationstechnologie und der Weiterentwicklung des Transportwesens ermöglicht wurde, bewirkte zusammen mit der Ausweitung und der Internationalisierung der Finanzmärkte einen Strukturwandel des Städtewesens. Die Transnationalisierung der Wirtschaftsstruktur führte zur Entwicklung von Städtenetzwerken, in denen diese transnationalen Unternehmensnetzwerke koordiniert werden. Die Soziologin Saskia Sassen sieht als Voraussetzung für diese neue Form weltwirtschaftlicher Interdependenz ein transnationales Städtesystem, in dem sich die Steuerungsfunktionen konzentrieren. [2] In diesen Weltmetropolen, den „Global Cities“, finden sich die wichtigsten Finanzmärkte, die Zentralen von transnational operierenden Banken und Unternehmen sowie die für diese Unternehmen wichtigen Dienstleistungen wie Rechts-, Finanz- und Unternehmensberatung, Buchhaltung und Werbung. Diese Kontroll- und Managementfunktionen konzentrieren sich in der Global City. Die Präsenz und räumliche Nähe des Fachpersonals im zentralen Geschäftsbezirk (Central Business District) ist zwingend, da nur so die komplexen Probleme der Koordination und Organisation quer zu den transnationalen Organisationsformen schnell und effizient zu lösen sind. Dieser Geschäftsbezirk ist über eine transnationale Infrastruktur aus Flughäfen und Hochgeschwindigkeitszügen mit den Geschäftsbezirken anderer Global Cities verbunden. Die Experten werden aus den zumeist auch in den Metropolregionen sich befindenden (zumeist staatlichen) Bildungs- und Forschungseinrichtungen rekrutiert. Dieser zentrale Geschäftsbereich konzentriert sich in der Metropolregion Rhein-Main in der Stadt Frankfurt (was durch die Hochhaus-Skyline sinnfällig wird), der aber interagiert regional mit weiteren als Zentrum strukturierten Teilbereichen, wie beispielsweise dem „Digital Hub“ Darmstadt. Eine eindeutige Übertragung des Schemas von Zentrum und Peripherie ist hier nicht möglich, auch in Frankfurts kleiner Nachbarstadt Offenbach

finden sich beispielsweise Deutschland- und Europazentralen von global agierenden Unternehmen.

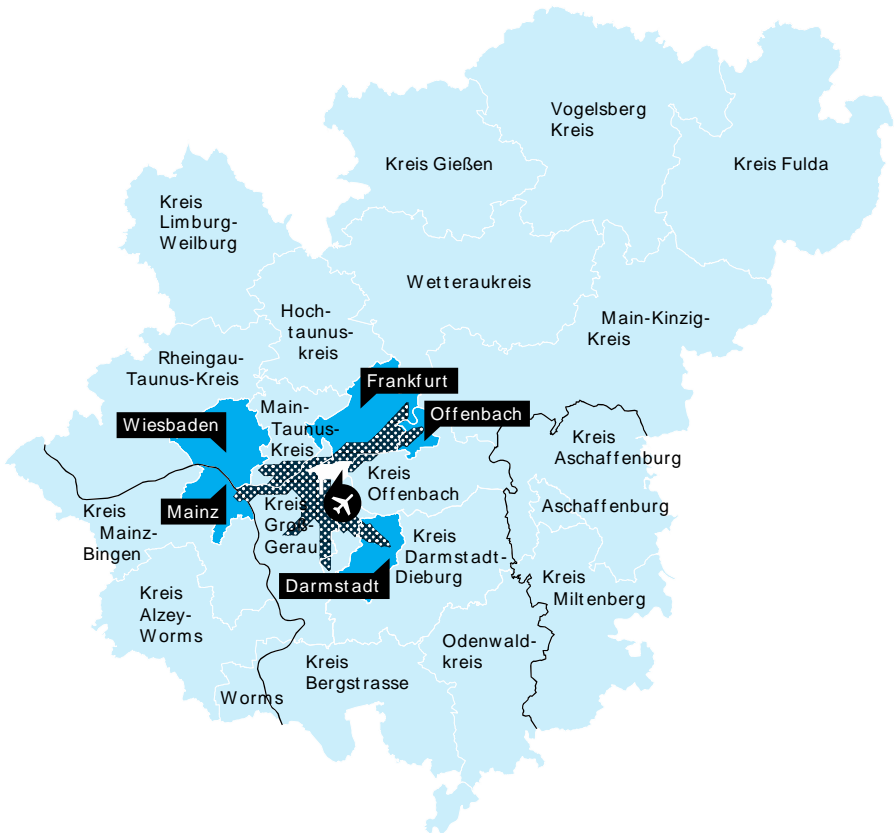


Abb. 2: Die global positionierte Metropolregion Rhein-Main mit den Kernstädten Frankfurt, Offenbach, Darmstadt, Mainz und Wiesbaden. Sie fungiert mit dem Flughafen Frankfurt als „Global Hub“ für die Exportnation Deutschland und ist Standort zahlreicher Zentralen international operierender Unternehmen. (Vöckler / Grafik: Nikolas Brückmann, Yuriy Matveev, INK)

Die Global Cities sind in den nationalen Raum eingebettet. Die Nationalstaaten wiederum entwickeln auf einer internationalen Ebene, durch die Gründung suprastaatlicher Institutionen und Organisationen, die Regeln und Rahmenwerke, in denen sich die globalen Austauschprozesse vollziehen. Die Bedeutung der Nationalstaaten verschwindet

keineswegs, vielmehr werden sie in diesem Transformationsprozess rekonfiguriert – Teile des Nationalstaats werden globalisiert, indem er Kompetenzen an übergeordnete Institutionen abgibt, außerdem entstehen neue Kooperationsformen zwischen privaten und staatlichen Akteuren im globalen Maßstab. Die Integration der Volkswirtschaften in den Weltmarkt ist nach wie vor national reguliert. Gerade die globalen Städte sind wesentlich auf die Unterstützung durch die nationalstaatlichen Institutionen angewiesen und vermitteln zwischen diesen und den in ihnen lokalisierten transnationalen Unternehmen. Stadt und Staat verhalten sich komplementär zueinander, setzen unterschiedliche Räume zueinander in Beziehung, wie der Raumplaner Gerd Held argumentiert: die Stadt als Großstadt, „Global City“, steht für das räumliche Strukturprinzip, das Zentralität herstellt und auf diese Weise Heterogenität durch Verdichtung zulässt – in sie wird die Welt hineingeholt; der Staat als sich territorial organisierende Raumstruktur steht für die Abgrenzung und die Homogenität nach innen, in der die Welt im Raum des Nationalen assimiliert und aufgelöst wird. [3]

Eine Stadt ist allerdings nie vollständig in die globale Wirtschaft und Gesellschaft integriert, sondern nur bestimmte räumliche, soziale oder ökonomische Segmente. So benötigt die Global City nicht nur gut ausgebildetes Fachpersonal, sondern auch die Dienstleistungen des Niedriglohnssektors wie etwa der Reinigungs- und Sicherheitskräfte. Diese in unsicheren oder auch informellen Arbeitsverhältnissen Beschäftigten werden häufig aus den legal oder auch illegal in die Global Cities strömenden Migranten rekrutiert. Die Kontroll- und Steuerungskapazität hängt von einer funktionierenden Verkehrs- und Kommunikationsinfrastruktur ab, und dieses Funktionieren ist auf hochwertige Dienstleistungen vor Ort angewiesen (Rechts- u. Wirtschaftsberatung, Werbung, Informations- und Kommunikationstechnologie etc.) und bedarf dazu auch eines Unterbaus an einfachen Dienstleistungen (Wartungs-, Reinigungs-, Sicherheits- und Fahrdienste), niedrig qualifizierte und gering entlohnte Tätigkeiten eines „Service-Proletariats“. Wichtig ist dabei zu sehen, dass unter dem Begriff Global City oftmals ganze Metropolregionen firmieren – so wird die Metropolregion Rhein-Main in der Analyse der Global Cities unter „Frankfurt“ subsumiert, entsprechend sind die strukturellen Merkmale einer Global City auch hierzu in Relation zu setzen. Innerhalb der Region gibt es eine „Arbeitsteilung“, die Kernstädte und die Kommunen der Regionen erfüllen unterschiedliche Funktionen. Augenfällig ist, dass sich in Offenbach stark die im Niedriglohnssektor arbeitenden Zuwanderer konzentrieren, die für das Funktionieren einer globalen Metropolregion nicht wegzudenken sind. Insofern spiegelt sich in der Global City die Welt, die globale Ordnung findet sich in der sozial und wirtschaftlich segmentierten Stadt (und Region) wieder. Der traditionelle Stadtraum ist fragmentiert, die Teile der Stadt spalten sich in lokal, regional und international bezogene Teile auf, die sich auf komplexe Weise überlagern. Die Global City ist nur in Teilen globalisiert, nie als Ganzes – insofern ist der Begriff irreführend. Aber sie kann unterschiedliche, in den unterschiedlichen Maßstäben (lokal, regional, global) aufeinander bezogene Räume verdichten, in ihrer Heterogenität an einem Ort konzentrieren.

3 Die kleine globale Stadt Offenbach

Offenbach am Main: Die ehemalige Residenzstadt und der einstmalige Industriestandort, dem in den 1970er Jahren fast vollständig die Lederwaren- und Maschinenbauindustrie weggebrochen ist, muss eine neue wirtschaftliche Perspektive innerhalb der Metropolregion Rhein-Main finden. Offenbach befindet sich raumstrukturell in unmittelbarer Nachbarschaft eines „Global Players“, des Finanz- und Handelszentrums Frankfurt am Main – das erhöht seine Attraktivität als Standort für Dienstleistungsunternehmen innerhalb der Metropolregion Rhein-Main. Die Metropolregion ist ein Knotenpunkt internationaler Finanz-, Waren- und Personenströme. Finanzdienstleistungen, Beratung, Logistik, Medien und Softwareentwicklung bilden den Schwerpunkt der Branchenstruktur. Über 70 Prozent der Arbeitsplätze finden sich im Dienstleistungssektor. Dass die Region global positioniert ist, darauf verweist die hohe Anzahl von global ausgerichteten Entscheidungs- und Vertriebszentralen. Eine wichtige Rolle spielt dabei der Flughafen als größter Arbeitgeber der Region und drittgrößter Flughafen Europas. Was weniger bekannt ist: der Flughafen Frankfurt ist im Cargobereich der größte Flughafen Europas, hier werden täglich 6000 Tonnen Luftfracht umgeschlagen. Er fungiert zusammen mit dem Hafen Hamburg als „Global Hub“ für die Exportnation Deutschland. Der Logistikbereich ist besonders durch den Flughafen Frankfurt und die zentrale Anbindung an das Autobahn- und Eisenbahnnetz stark begünstigt. Entsprechend nimmt in Deutschland die Metropolregion Rhein-Main eine Schlüsselstellung in der globalen Vernetzung von Ökonomie und Wissen ein. Die Region steht aber auch vor der Aufgabe, nicht nur global mit Spitzenleistungen hervorstechen, sondern diese in die Region zurück zu vermitteln. Dabei trifft sie auf neue Herausforderungen: wie garantiert sie ihre Zukunftsfähigkeit? Dies betrifft vor allem die Frage, wie eine hochqualifizierte Ausbildung zu garantieren ist und die Region für Zuwanderer in allen Berufsfeldern attraktiv bleibt. Zuwanderung und Integration sind für eine wachsende Metropolregion zentrale Aufgaben – hier hat Offenbach in der Metropolregion eine wichtige Funktion. [4]

Allerdings ist die Stadt geprägt von einer tiefgehenden ökonomischen Umstrukturierung. Die direkt an Frankfurts Osten grenzende Stadt mit ihren etwa 120.000 Einwohnern hat wahrscheinlich am härtesten in der Region mit dem Deindustrialisierungsprozess zu kämpfen: lange Zeit Standort für die Lederverarbeitung, für Chemie und Metallindustrie, setzte ab den 1970er Jahren ein Auflösungsprozess dieser klassischen Industrien ein – wesentlich bedingt durch Billigimporte einerseits und Abwanderung der Unternehmen in Billiglohnländer andererseits. Den fortschreitenden Deindustrialisierungsprozess versucht die Stadt mit Ansiedlung hochwertiger Dienstleistungsökonomien zu kompensieren. Die Stadt ist beispielsweise Teil des „Automotive Clusters Rhein-Main“ und insbesondere im Stadtteil Kaiserlei finden sich Banken, Logistikun-

ternehmen und Automobilhersteller wie Hyundai mit der Deutschland- und Europazentrale oder der Reifenhersteller Kumho mit der Europazentrale. Trotzdem bildet die Stadt das „Wachstumsschlusslicht“ innerhalb Hessens, wie eine Studie der IHK Offenbach zur wirtschaftlichen Entwicklung 2012 konstatierte. Zudem hat Offenbach die höchste Arbeitslosenrate der Region. Teil dieser Entwicklung ist, dass begünstigt durch niedrige Wohnmieten und widrige Umweltverhältnisse (Fluglärm) in Offenbach ein hoher Anteil von Einwohnern zu finden ist, die sich dem „Dienstleistungsproletariat“ (wie dies die Sozialwissenschaftler Friederike Bahl und Philipp Staab vom Hamburger Institut für Sozialforschung benannt haben) zuordnen lassen. Also Beschäftigten im Niedriglohnsektor, gering qualifiziert, oft mit Migrationshintergrund. Die Arbeit der Gepäcklader, Paketzusteller und Kassenfrauen hat nichts mit hochqualifizierten Tätigkeiten zu tun, sie basiert wesentlich auf körperlichem Verschleiß und bietet so gut wie keine Aufstiegschancen. Trotzdem ist es für Zuwanderer mit niedrigem Bildungshintergrund und einer geringen beruflichen Qualifikation attraktiv nach Offenbach zu kommen.



Abb. 3: Blick auf Offenbach am Main, das mit Frankfurt raumstrukturell eng verbunden ist. Frankfurt liegt in dieser Ansicht unterhalb des Mains. (Foto: Vöckler)

4 Stadt der Migranten

Das wird unmittelbar deutlich, wenn man nach Offenbach kommt und durch die Innenstadt flaniert: es springt einem unmittelbar die „bunte“ Mischung der Passanten ins Auge, die aus aller Herren Länder zu stammen scheinen. Und der Schein trügt nicht, denn wenn man länger verweilt, stellt man fest, dass tatsächlich viele der Offenbacher denen man im alltäglichen Leben begegnet, von der Kassenfrau im Supermarkt bis zum behandelnden Facharzt, oftmals familiäre Bindungen über Deutschland hinaus haben. Offenbach ist die internationalste Stadt Deutschlands – sie hat den höchsten Anteil von ausländischen Staatsbürgern in Deutschland und ist die erste deutsche Kommune, in der die Mehrheit der Einwohner Migrationshintergrund hat. Genauer: 60,5 % der Einwohner Offenbachs haben Migrationshintergrund und der Anteil der Bevölkerung ohne deutsche Staatsbürgerschaft beträgt 36,8 %, wie es die kommunale Statistik im März 2016 ausgewiesen hat. Beides prägt stark die Außenwahrnehmung der Stadt: Offenbach gilt als die Stadt der Migranten, ist rau, hart und offensichtlich nichts für Investmentbanker. Beliebt ist sie dagegen bei Künstlern, Designern, Filmern und anderen Gestaltern – eine Liebe, die Offenbach zum Geheimtipp der Kreativen werden ließ.

Offensichtlich ist die globale Metropolregion Rhein-Main nicht nur auf den Zuzug von Spitzenkräften und hochqualifizierten Fachleuten, sondern auch auf die geringqualifizierten Arbeitskräfte angewiesen, nicht zuletzt auch der illegal zu deutlich geringeren Löhnen Arbeitenden. Offenbach ist zu einem Auffangbecken eben dieser Zuwanderer geworden und im Laufe der Jahrzehnte hat dies das Stadtbild und Image der Stadt geprägt. Oftmals mit Negativbewertungen wie „Ausländerghetto“ oder „Bronx des Rhein-Main-Gebiets“ belegt, leistet sie eine herausragende Arbeit für die Region als Ankunftsstadt, als einer „Arrival City“. Der Wissenschaftsjournalist Doug Saunders hat in seinem gleichnamigen Buch mit den liebgewordenen Klischees über die Ankunftsstädte, den sogenannten Slums außereuropäischer Großstädte aber auch der westeuropäischen Armenviertel aufgeräumt: dass diese Orte von Verlierern oder soziale Sackgassen seien. [5] Basierend auf dem Weltentwicklungsbericht der Weltbank 2009 und eigenen Recherchen kommt Saunders zu dem Schluss, dass es sich dabei vielmehr um Transiträume handelt, die mit hoher Effizienz Zuwanderer in die Aufnahmegesellschaft integrieren. Dass diese Gebiete wirtschaftlich abgekoppelt und dauerhaft als Armutsgebiete wahrgenommen werden, resultiert für ihn wesentlich daraus, dass die erfolgreich angekommenen Migranten, denen der berufliche Aufstieg gelungen ist, eben diese Gebiete verlassen um den nächsten Zuwanderern Platz zu machen. Obwohl es dazu keine Untersuchungen und nur wenige aussagefähige Zahlen gibt, lässt sich dies strukturell auch auf Offenbach übertragen, das eben eine solche Integrationsarbeit leistet. [6]

Ob illegal oder legal, ob temporär oder dauerhaft, für die Zuwanderer ist entscheidend, ob sie am Wohlstand der Aufnahmegesellschaft partizipieren können. Dem steht gerade bei den geringqualifizierten Zuwanderern die schlechten Aufstiegschancen im Dienstleistungsbereich entgegen, so dass oftmals die Aufstiegsperspektive auf die Kinder übertragen wird. Hier wiederum spielt die Bildung die Schlüsselrolle und die Stadt Offenbach unternimmt in diesem Bereich tatsächlich große Anstrengungen, die sich nicht nur auf die Verbesserung der Schulangebote beschränken, sondern auch frühkindliche Erziehung mit Sprachförderung oder Weiterbildung im Alter umfassen. Auch wenn die Untersuchungen zur Funktion des deutschen Bildungssystems als Motor sozialen Aufstiegs ernüchternd sind, da dies Kindern aus bildungsfernen Schichten nach wie vor erheblich schwerer fällt, so ist auf jeden Fall die herausragende Rolle der Bildung bei der erfolgreichen Integration in die Aufnahmegesellschaft zu betonen. So kann der steigende Anteil der Gymnasiasten mit Migrationshintergrund in Offenbach als ein Indikator für sozialen Aufstieg interpretiert werden. Verglichen mit anderen Städten in Deutschland und insbesondere mit anderen westeuropäischen Städten hat Offenbach ein gut funktionierendes Gemeinwesen. Von „Ghettos“ und „Parallelgesellschaften“ kann überhaupt keine Rede sein, die Stadt ist ausgesprochen friedlich, die Kriminalität bewegt sich im Mittelfeld der deutschen Großstädte (bei konstant sinkender Kriminalitätsrate in Deutschland) und die Einwohner aus allen Herren Ländern müssen miteinander und auf Deutsch klarkommen – es gibt keine dominierende ethnische Gruppe. [7]



Abb. 4: Über ein Drittel der Einwohner Offenbachs sind Ausländer. Die Verbundenheit mit dem Herkunftsland wird, wie hier zur Fußballweltmeisterschaft, auch im Straßenbild sichtbar. (Foto: Vöckler)

Dies wird unmittelbar deutlich, wenn man die Innenstadt besucht – obwohl offensichtlich dominiert von Zuwanderern finden sich hier in unmittelbarer Nachbarschaft Äpfelwoi-Stuben und Kebab-Stände, der Wochenmarkt mit vielen regionalen Anbietern hessischer Esswaren und daneben eine Vielzahl von Geschäften mit einer ungewöhnlichen Vielfalt internationaler Angebote, vom selbstgemachten Ricotta über afrikanische Schönheitsartikel bis hin zu osteuropäischen Küchenwaren. Es ist ein ausgesprochen friedliches Nebeneinander. Es ist allerdings keine Idylle, denn es ist auch durch Armut geprägt: etwa 18 Prozent der Einwohner Offenbachs beziehen SGB-II („Hartz 4“) Unterstützung, wobei etwa ein Viertel der Bezieher sogenannte „Ergänzer“ sind, also Erwerbstätige, deren Einkommen aber nicht ausreicht den eigenen Lebensunterhalt zu bestreiten – dies sind eben zumeist im Niedriglohnsektor Beschäftigte. Und besonders erschreckend die Kinderarmut: knapp jedes dritte Kind unter 15 Jahren lebt in einer „Bedarfsgemeinschaft“. Einer Herausforderung, der sich die Stadt ebenfalls mit Nachdruck stellt.



Abb. 5: Inwieweit der hohe Anteil von Zuwanderern bei den „Ur-Offe'bächern“ Bedrohungsängste auslöst, ist unklar. Insgesamt ist aber ein entspanntes und friedliches Miteinander festzustellen, obwohl es auch in Offenbach Integrationsprobleme gibt. (Foto: Vöckler)

Worin liegt aber trotz dieser Probleme die Besonderheit Offenbachs, die Qualität seines Stadtlebens? In zunehmenden Maße eben gerade in seiner Internationalität, denn gerade der hohe Anteil von Zuwanderern aus allen Ländern bildet die Grundlage für eine neuartige Form von Stadtleben und seiner sozialen Organisation. Denn Zuwande-

rung bedeutet nicht nur, dass Menschen aus anderen Nationen nach Offenbach kommen und hier dann integriert werden, sondern auch, dass diese enge Beziehungen zu ihren Herkunftsländern haben und auf diese Weise neue soziale Interaktionen über die nationalen Grenzen hinweg ermöglichen, die sich eben auch in den Ankunftsstädten und -städten als neue sozialräumliche Qualität ausbildet. Dieser als Transnationalismus bezeichnete Zusammenhang gründet in einer fortschreitenden gesellschaftlichen Denationalisierung, also der Ausweitung grenzüberschreitender wirtschaftlicher aber auch kultureller und sozialer Zusammenhänge. [8] Soziale Netzwerke sind nicht zwangsläufig territorial begrenzt, wie die Familiennetzwerke von Migranten und deren wechselseitiger Einfluss auf die Herkunfts- wie Zielländer bei der Migration von Familienmitgliedern zeigen. So hat der enorme Einfluss der Rücküberweisungen von Migranten auf die Entwicklung in ihren Heimatländern die Weltbank 2002 veranlasst eine eigene Forschungsgruppe einzurichten, die seitdem zahlreiche Studien zum Zusammenhang von Migration und Rücküberweisungen (»Remittances«) veröffentlicht hat. Mit Rücküberweisung ist generell eine Geldüberweisung gemeint, die von Migranten in ihr Herkunftsland transferiert wird. Dies umfasst aber nicht nur die finanzielle Unterstützung der in der Heimat verbliebenen Familienhaushalte, sondern auch investive Transaktionen, die gewinnorientiert sind. Allen Untersuchungen belegen den signifikanten Vermögensanstieg der Migrantenhaushalte in den Herkunftsländern gegenüber den Nichtmigrantenhaushalten. Migration und die damit verbundenen ökonomischen, politischen und sozialen Einflüsse auf die Herkunftsländer verknüpfen diese mit den Aufnahmелändern immer stärker. Es geht hier nicht einfach nur um Finanzströme, sondern auch um soziale Beziehungen (Familiennetzwerke) und Verflechtungen (der Gesellschaft des Aufnahmелands mit den Migranten und durch diese mit der Gesellschaft des Herkunftslandes). Hier ist zwischen der staatlichen und der städtischen Ebene zu differenzieren, denn beide haben in diesem Gefüge unterschiedliche Aufgabenfelder. Der Nationalstaat gründet auf dem Prinzip der Ausschließung beziehungsweise der Selbstabschließung in der Zusammenfügung von territorialer Herrschaft und der Eingrenzung eines Staatsvolks, was es ihm möglich macht, ökonomische und politische Strukturen in einem relativ großen Raum zu kombinieren und allgemeine Standards durchzusetzen; die Stadt dagegen basiert auf dem Prinzip der Einschließung, der Verdichtung ökonomischer Transaktionen und sozialer Interaktion in einem relativ offenen Rahmen. In der Entwicklung der Stadt und in ihrer materiellen Ausbildung bilden sich daher auch die ordnungspolitischen Probleme des Staatswesens ab, wie Gerd Held gezeigt hat. Nicht nur die in die Städte hinein gewanderten Migranten transnationalisieren diese, sondern von den „Arrival Cities“ gehen zahlreiche Verbindungen über die nationalen Grenzen hinaus, die sich direkt in der Stadtentwicklung in den Herkunftsländern ablesen lassen. Über die Migration und die Rückflüsse an Geld und Wissen teilen die Städte der Herkunftsländer mit den westeuropäischen Ankunftsstädten den gleichen, aber in sich fragmentierten Raum.

Umgekehrt verdichten sich in Offenbach die Netzwerke der aus 158 Nationen stammenden Migranten – jede der zugewanderten Volksgruppen prägt ja nur einen Teil dieses neu entstandenen Raums, der sich nicht mehr eindeutig zuordnen lässt. In der Stadt bildet sich eine globalisierte Soziallandschaft aus Kontaktnetzen und Interaktionsstrukturen der unterschiedlichen Gemeinschaften, die einen gemeinsamen Lebensraum teilen und sich gegenseitig in ihren Lebensweisen beeinflussen. Und die in Interaktion mit der Gemeinschaft der Herkunftsdeutschen stehen – die lokale Kultur wird in Offenbach eben nicht nur durch die „Ur-Offebächer“ geprägt. Das macht den Reichtum Offenbachs aus: die Vielzahl der Interaktionen, die das Ferne mit dem Nahen verbinden, die sich in der Stadt lokalisieren und diese transformieren, sie zu einem faszinierenden Raum für Entdeckungen „anderer“ Lebensweisen im Austausch miteinander und der deutschen Gesellschaft machen. So nimmt es nicht Wunder, wenn man auf ein ausgezeichnetes Restaurant mit österreichischer Küche trifft, das von einem Ägypter betrieben wird, dessen muslimischer Glaube ihm den Ausschank von Alkohol verbietet, der aber – was wäre österreichische Küche ohne den dazugehörigen Wein – seinen Gästen selbstverständlich das Mitbringen des notwendigen Alkohols zugesteht. Ob polnische Kneipen, afrikanische Schönheitssalons, Shisha-Bars, Appelwoi-Stuben, Gospelkirchen, Kickers-Fanclub, deutschtürkischer Sportverein, schachspielende Osteuropäer – alles findet sich hier. Willkommen in der kleinen globalen Stadt Offenbach.

Literatur

- [1] Jürgen Reulecke: Geschichte der Urbanisierung in Deutschland. Frankfurt/Main 1985
- [2] Saskia Sassen: Metropolen des Weltmarkts. Die neue Rolle der Global Cities (engl. 1991). Frankfurt/Main 1996
- [3] Gerd Held: Territorium und Großstadt. Die räumliche Differenzierung der Moderne. Wiesbaden 2005
- [4] Kai Vöckler: Wo man ankommt. In: Anny & Sibel Öztürk, Heiner Blum (Hg.): Länderboten. Frankfurt/Main 2015
- [5] Doug Saunders: Arrival City (engl. 2011), München 2011
- [6] Interview des Autors mit Matthias Schulze-Böing, Leiter des Amts für Arbeitsförderung, Statistik und Integration der Stadt Offenbach. In: Peter Cachola Schmal, Oliver Elser, Anna Scheuermann (Hg.): Making Heimat. Germany, Arrival Country. Ostfildern 2016
- [7] Ausführlich dargelegt in Kai Vöckler: Offenbach ist anders. Die kleine globale Stadt, das Fremdsein und die Kunst. Berlin 2017
- [8] Steffen Mau: Transnationale Vergesellschaftung. Die Entgrenzung sozialer Lebenswelten. Frankfurt/Main-New York 2007

(Leerseite)

PREOBRAZHENSKAYA - Die Sanierung der Christi-Verklärungs-Kirche auf der Insel Kishi/Karelien/Russland

M. Gerner
Fulda

Zusammenfassung

Die Preobrazhenskaya-Kirche in einem extremen Klima ist nicht nur ein weit herausragendes Denkmal russischer Holzbaukunst, das heißt Blockbaukunst, sondern auch eine außergewöhnliche Sanierungsaufgabe. Die ganzjährig hohe Luftfeuchtigkeit auf der Insel Kishi in Verbindung mit häufigen Regenfällen, fast immer als Schlagregen, ist trotz Trockenperioden mit starker Sonneneinstrahlung bzw. heftigen Winden oder Stürmen und einigen Monaten Frost Basis für den massiven Befall holzerstörender Pilze, allgemeiner ausgedrückt Fäulnis.

Die Fäulnis tritt dabei an vielen Stellen lokal, je nach Himmelsrichtung in unterschiedlicher Quantität auf. Darüber hinaus wird die Blockkonstruktion mit Blockstämmen bis zu über 50 cm Durchmesser und Wandhöhen weit über 20 m durch die Wasseraufnahme so schwer, das sich unter der Eigenlast die Blockwände verformen, bis zu etwa 60 cm ausbeulen und damit instabil werden. Schon 1981 bis 1983 musste die Kirche deshalb ein Stahlkorsett erhalten. Dabei haben Holzschutzmaßnahmen und konstruktive Sicherungsmaßnahmen an den Wänden in den letzten Jahrzehnten zu keinem durchgreifenden Erfolg geführt, vielmehr ist die Einsturzgefahr größer geworden.

Die derzeit laufende – im Jahre 2003 begonnene – Sanierungsphase zielt auf eine längere Standzeit ab.

Und zum Tagesthema: Diese Sanierung kann sich nur auf Sachverstand stützen, da Normen hier nicht greifen.

1 Holzland

Karelien, im Norden Russlands und bis weit nach Finnland reichend, ist Holzland. Mehr als 70 % der Landfläche ist mit Wald, insbesondere Kiefern, Birken und Espen, bedeckt. Der Rest sind Wiesen, Sümpfe, Seen und 2 % Ackerland. Gebaut wurde in Karelien früher nur mit Holz und heute – vor allem in den Dörfern – noch weitgehend. Und weil man genug Holz hatte und hat ist die traditionelle Bauweise ausschließlich Blockbau.

Die kleinen Dörfer, meist an Seen oder Flussufern, haben vielfach ihre reizvollen und malerischen Strukturen inmitten der großen Waldgebiete erhalten.

Die Wohnhäuser, Bauernhäuser, Scheunen, Höfe und Nebenbauten werden gebraucht, werden genutzt. Schlechter geht es den ebenfalls in Blockkonstruktionen errichteten Kirchen. Keine dieser Kirchen gleicht der anderen. Der Standardtypus bestand aus drei aneinander gereihten Blockkränzen, dem Vorraum, der Betkirche und dem Altarraum nur für die Priester. Bet- und Altarraum waren durch die Ikonostase, die Ikonenwand, getrennt.



Bild 1: Das Ensemble Kishi Pogost mit der Christi-Verklärungs-Kirche links, dem Glockenturm in der Mitte und der Maria-Schutz-Kirche (Winterkirche) auf der rechten Seite während der Sanierung im September 2016.

Seltenere und wesentlich anspruchsvollere Kirchen wurden als überkuppelte Zentralbauten errichtet. Spitzenleistungen der Zimmermeister waren die „20-Wände-Kirchen“. Zu ihrer Bauzeit vor 100, 200 oder 300 Jahren bestanden große orthodoxe Gemeinden. Die Bauern halfen beim Bau und bei der Pflege, die Kirchen waren die Zentren der Dörfer. Dies endete mit den „Säuberungen“ und Religionsverböten Mitte der 30er-Jahre des 20. Jahrhunderts. Zahlreiche Kirchen wurden gewaltsam zerstört, die meisten blieben ungepflegt und wenig beliebt stehen, ohne Bauunterhaltung verfielen viele dieser Kirchen inzwischen. Die Ikonen landeten im weltweiten Kunsthandel.

2 Christi-Verklärungs-Kirche

1714 vollendete Zimmermeister Nestor den herausragenden Kirchenbau der Christi-Verklärungs-Kirche – der Preobrazhenskaya – als 20-Wände-Kirche mit 22 schindelgedeckten Zwiebelkuppeln. In der gesamten Kunst- und Baugeschichte Russlands wird die Preobrazhenskaya herausragend gewürdigt. Zwei Zitate stehen dazu als Beispiel für viele:

„... aber wohl die zauberhafteste und originellste ist die 1714 errichtete Christi-Verklärungs-Kirche in Kishi im Onegasee. Gerade dieses Bauwerk beweist die Virtuosität und Unabhängigkeit der russischen Baumeister, ihre unerschöpfliche Phantasie und ihre technische Meisterschaft. Die direkt am See gelegene, 37 Meter hohe und mit 22 Kuppeln geschmückte Kirche hinterlässt bei dem Besucher auch heute noch einen unauslöschlichen Eindruck. Viele Legenden und Überlieferungen ranken sich um dieses Bauwerk, das als ein Wunder der Baukunst galt und – wie wir sehen werden – mit Recht.“ [1]



Bild 2: Die Christi-Verklärungs-Kirche vor der jüngsten Sanierungsphase im Jahre 1997.

„Die Christi-Verklärungs-Kirche aus dem Jahr 1714 an Stelle einer dem Feuer zum Opfer gefallenen einfachen Zeltdachkirche errichtet – ist wohl das berühmteste Holzbauwerk Nordrusslands, der künstlerisch vollendete Ausdruck des komplizierten Typus der „vielkuppligen 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.“ [2]

Die Insel Kishi im Onegasee, knapp 500 km nordöstlich von St. Petersburg war im Laufe einer wechsellvollen Geschichte ab dem 12. Jahrhundert zum Zentralort eines Kirchspiels, eines Pogosts, zu dem mehr als 130 Dörfer gehörten, geworden. Die Christi-Verklärungs-Kirche diente als Hauptkirche, religiöser und gesellschaftlicher Mittelpunkt und der Kirchplatz auch als Gerichtsort.

Die majestätisch auf einer flachen Anhöhe der kleinen Insel Kishi stehende Kirche beeindruckt nicht nur durch die 20 Wände und 22 malerischen Kuppeln, sondern auch durch ihre Höhe und noch mehr durch die insgesamt mehr als 3.000 Kiefernstämmen, insgesamt mehr als 700 Kubikmeter Holz als Baumaterial. [3], [4]

Der Grundriss wird von einem Oktogon mit ca 8,5 m Seitenlänge, an welches nach Norden und Süden je ein annähernd quadratischer Anbau und nach Osten für den Altarraum ein fünfseitiger Anbau angefügt ist, gebildet. Im Westen ist erdgeschossig ein großer Vorraum vorgelagert, dem wiederum eine repräsentative Doppeltreppenanlage angefügt ist. Die Breite der Kirche in Nord-Süd-Richtung beträgt ca. 21,5 m und die Länge in Ost-West-Richtung vom Altarraum bis zur Treppenanlage ca. 30 m.

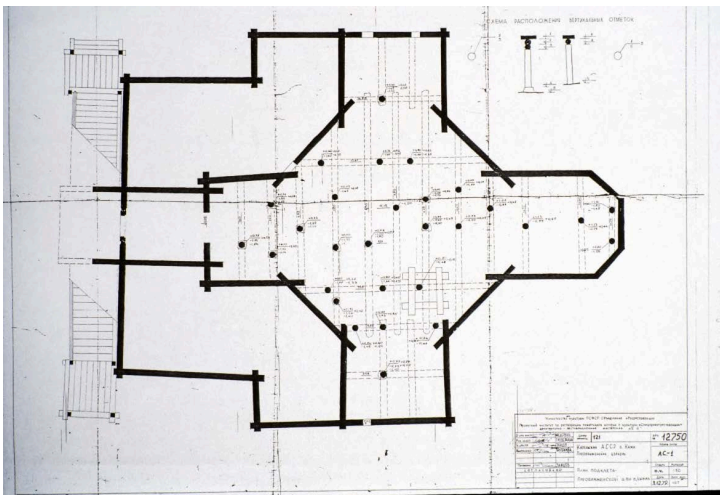


Bild 3: Der Grundriss, aus dem dominierenden Achteck entwickelt, mit den nur erdgeschossigen Anbauten.

Der Grundriss stellt damit die klassische Form der 20-Wände-Kirche dar, wobei zu den acht Wänden des Achtecks für jeden der vier Anbauten jeweils drei Wände hinzugezogen werden.

Der unterste Blockkranz ruht auf einem einfachen Fundament aus Feldsteinen. Die Geländebewegungen werden von einem unterschiedlich hohen Untergeschoss, welches nicht genutzt wird, aufgefangen. Die weitere Höhenentwicklung der Kirche wurde derart bewerkstelligt, dass die Anbauten in zwei Stufen zurückspringen bzw. enden und dann der mittlere Achtkant sich in zwei Aufsätzen, jeweils kleineren Achtkanten verjüngt. Der Aufriss bildet auf diese Weise eine steile fünfstufige Pyramide. Auf jedem Rücksprung der Anbauten sitzt ein flaches Satteldach, das von einer Kielbogentonne, einer „Botschka“ oder „Fässchen“ abgeschlossen wird. Auf jeder Botschka wiederum sitzt halsartig ein schlanker Tambour, darauf bekrönend eine steil aufstrebende Zwiebelkuppel. Auf dem ersten Versprung des Achtkants sitzen weitere acht Botschki mit Zwiebeltürmen und auf dem zweiten Versprung vier solcher Türme. Das oberste Achteck wird von einer großen Zwiebelkuppel gekrönt und schließlich trägt auch der Vorsprung des Altarraumes noch eine kleine Zwiebel, insgesamt 22 Kuppeln. Die Gesamthöhe der Kirche beträgt 37 m. Damit stellt die Christi-Verklärungs-Kirche nicht nur eine Vielkuppel-Kirche, sondern gewissermaßen den Innbegriff einer Vielkuppel-Kirche dar. [5]

Der architektonische Reiz besteht weniger aus der Monumentalität, sondern aus der Auflösung des Baukörpers, der Feingliedrigkeit und der fast filigranen Silhouette.

Der Außenbau trägt seinen Schmuck in sich selbst. Als einzige größere Zierform müssen die vier Blendgiebel in Botschki-Form an den vier durchgehenden Wänden des Achtkants angesehen werden.

3 Sanierungsgeschichte

1714 vollendet Zimmermeister Nestor den Bau der Christi-Verklärungs-Kirche mit dem mündlich überlieferten Satz: „So etwas gab es nicht, gibt es nicht, wird es auch nie wieder geben.“

Bereits mit dem Abschluss des Baus beginnt mit kleineren Nachbesserungen die Sanierungsgeschichte.

1759, nach 45 Jahren Standzeit wird die erste große Reparaturmaßnahme durchgeführt.

1818 ist man die dauernden Reparaturen an den Blockwänden und Schindeldächern leid und die gesamte Blockkonstruktion wird verschalt, die Dächer und Zwiebelkuppeln mit Blech eingedeckt.

1875 – 1882 wird die Bretterverkleidung erneuert.

Um 1920 wird das Ensemble von Kishi bereits von Russland unter Denkmalschutz gestellt. Nach der „Außerdienststellung“ der Kirche 1937 und dem Ausbau der Ikonostase beginnt Prof. Dr. Lissenko 1940 mit systematischen Untersuchungen und einer Bauaufnahme.

Von 1950 bis 1959 starten – im Zusammenhang mit der Errichtung eines Freilichtmuseums auf der Insel Kishi – große Reparatur- und Sanierungsmaßnahmen unter Leitung von Architekt A. V. Opolovnikov, 1960 wird aber bereits von neuen Schäden berichtet.

1966 wird praktisch die gesamte Insel Kishi mit ihren Dörfern als Freilichtmuseum eröffnet. 1981 bis 1983 baut man als dringende Notmaßnahme ein Stahlgerüst in der Kirche ein, um deren Einsturz zu verhindern. [6]

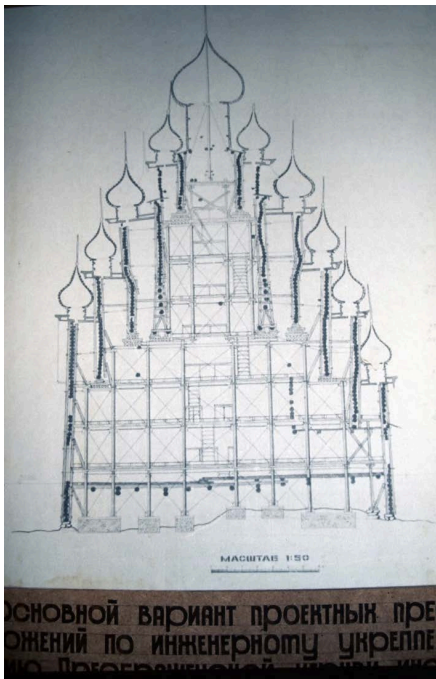


Bild 4: Querschnitt der Kirche mit dem Stahlgerüst

1987 schreibt Russland einen internationalen Wettbewerb zur Sanierung der Christi-Verklärungs-Kirche aus. Die 15 eingereichten Entwürfe und Modelle bringen kein zufriedenstellendes Ergebnis. Anlässlich des 1988 auf Kishi von Icomos durchgeführten Holzbausymposiums wird der Autor (dieses Beitrags) aufgefordert, einen Sanierungsvorschlag zu erarbeiten. [7]

Schließlich wird das gesamte Ensemble Kishi Pogost (Kirchspiel Kishi) am 12. Dezember 1990 gleichzeitig und gleichrangig mit dem Kreml in Moskau und der St. Petersburger Innenstadt in die Unesco Welterbeliste eingetragen. Zu dem Ensemble gehören neben der Christi-Verklärungs-Kirche die 1764 errichtete neunkuppelige Maria-Schutz-Kirche (Winterkirche), der 1862 errichtete Glockenturm und die nach 1950 aus Blockstämmen gebaute Einfriedigung.

4 Untersuchungen

Eine Reihe von Untersuchungen wie das fotogrammetrische Aufmaß, die geologischen Verhältnisse des Bodens, das Fundament, geodätische Untersuchungen zu den Verformungen und ein Standsicherheitsnachweis waren bis 1990 bereits durchgeführt.

In den 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts hat das Ingenieurinstitut St. Petersburg eine detaillierte Bestandsuntersuchung mit Listen, in welcher jeder einzelne Blockbalken erfasst ist und in welcher die Schäden mit Markierungszeichen, eingeteilt in starke Insektenschäden, weniger starke Insektenschäden, starke Schäden pflanzlicher Schädlinge und weniger starke Schäden durch pflanzliche Schädlinge dargelegt sind, durchgeführt. In der Zusammenfassung dieses Berichts mit weit über 150 Seiten wird festgestellt, dass die Christi-Verklärungs-Kirche starke Deformationen aufweist, die Konstruktion nicht mehr stabil ist, etwa 10 bis 15 % der Hölzer ausgewechselt werden müssen und dies in einer Zeit von fünf bis zwanzig Jahren geschehen könnte.

Die Forstakademie in St. Petersburg hat in den Jahren 1986 bis 1993 Untersuchungen mit einem Gammastrahlengerät durchgeführt und insbesondere die Holzdicke und damit die Festigkeit des Holzes untersucht. Das benutzte Gerät kann Dichten zwischen 200 und 1200 Kilogramm pro Kubikmeter feststellen und zwar in Tiefen bis zu 15 cm. Die Genauigkeit beträgt etwa $\pm 3\%$. Man hat u. a. festgestellt, dass bei einer Dichte unter 540 Kilogramm pro Kubikmeter Maßnahmen notwendig sind und weiter, dass die Dichte in der Spitze oder zur Spitze der Stämme hin geringer wird.

Das Institut für Holzkonservierung in Moskau hat in den Jahren 1969 bis 1972 Versuche zur chemischen Sanierung durchgeführt. Dazu wurde unter anderem auf Kishi ein großes Versuchsfeld aufgebaut, was dazu führte, dass z. B. die fliegenden Ameisen aus dem Versuchsfeld flüchteten und die Hölzer der Kirche besetzten. Daraufhin hat man das Versuchsfeld wieder abgebaut. Insbesondere wollte man untersuchen, welche Chemikalien gegen die verschiedenen Insekten eingesetzt werden könnten. Die Versuche wurden mit PCP (Pentachlorphenol), Borax und weiteren Chemikalien durchgeführt. Zu den Versuchen mit Chemikalien hat auch das Reparieren von Holz mit Kunstharz und Mischungen aus Kunstharz mit Sägemehl gehört.



Bild 5 und Bild 6: Untersuchung der Ausbeulungen und provisorischen Sicherungen

Das Restaurierungsinstitut des Kultusministeriums in Moskau schließlich hat von 1967 bis 1981 verschiedene Untersuchungen durchgeführt und dabei unter anderem ermittelt, dass entgegen der Meinung des Ingenieurinstituts aus St. Petersburg sehr viel mehr Holz ausgewechselt werden müsste.

Die Überprüfung der Untersuchungsergebnisse ergibt, dass die Schäden sehr viel weiter fortgeschritten sind und die Kirche ohne das tragende Stahlgerüst im Innern längst eingestürzt wäre.

Von 1990 bis 1993 hat der Autor die Christi-Verklärungs-Kirche in mehreren Untersuchungskampagnen mit der Unterstützung zahlreicher deutscher, russischer und finnischer Fachleute wie Prof. Deinhard, TH Darmstadt, Tragwerksplaner Dipl.-Ing. Norbert Gehring, Fulda; Michael Lopatkin, Russland und Architekt Sergey Kulikow aus Finnland neuerlich untersucht und unter anderem mit Hilfe von Holzfeuchtemessungen über mehrere Jahre die Ursache von Fäulnisschäden, aber auch strukturelle Mängel wie die hohen Gewichte der über 20 Meter hohen Wände des Achtkants erforscht.

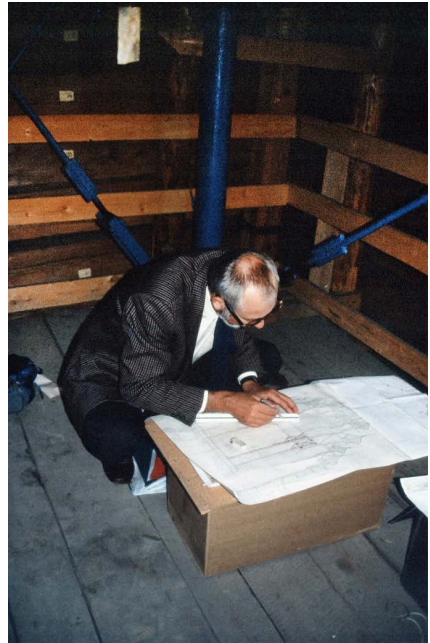


Bild 7 und Bild 8: Schadensuntersuchung in der obersten Zwiebelkuppel mit 6,50 m Durchmesser und provisorischen Reparaturmaßnahmen

Die Schäden wurden in folgenden Schadensgruppen erfasst:

- Nicht ausreichende Fundamentierung und im direkten Zusammenhang damit unterschiedlichen Setzungen
- Zahlreiche einzelne, meist lokal begrenzte Schäden, vor allem durch pflanzliche Holzschädlinge
- Nicht mehr ausreichende Steifigkeit und Tragfähigkeit der teilweise sehr hohen Blockwände, hervorgerufen durch die ursprünglich schon weitgehend ausgereizten Belastungsgrenzen, die zahlreichen Einzelschäden und bereits durchgeführten Reparaturmaßnahmen
- Nicht mehr ausreichende Steifigkeit der Gesamtkonstruktion
- Feuchtekonzentrationen mit der Folge von Schäden durch pflanzliche Schädlinge.

5 Sanierungskonzept

Aus den Untersuchungsergebnissen entwickelte der Autor das Konzept zur Gesamtsanierung „Preobrazhenskaya (Christi-Verklärungs-)Kirche auf der Insel

Kishi/Russland“, welches im Januar 1994 in russischer und deutscher Fassung in Moskau, St. Petersburg und Kishi vorgelegt wurde.

Das Gesamt-sanierungskonzept beinhaltet folgende Hauptgruppen:

- Handwerkliche Reparatur des größeren Teils der lokalen Schäden
- Aussteifen der hohen Blockwände durch den Anbau innerer und äußerer verbolzter Blockständer
- Aussteifung des Gesamtbaus durch zwei im unteren Oktogon waagrecht liegende und von den Ständern abgetragenen Holzbindern.

Den schwierigen, rechnerischen Nachweis der statisch-konstruktiven Maßnahmen für alle denkbaren Lastfälle führte in einer Arbeit mit mehreren Hundert Seiten Dipl.-Ing. Norbert Gehring durch.

In einem Massenmodell im Maßstab 1:50 von Tischlermeisterin Barbara Naumburg, das jetzt in Johannesburg steht, sind die konstruktiven Vorschläge des Autors abgebildet.



Bild 9 und Bild 10: Das Massenmodell und die zwei waagrecht liegenden Binder im Detail.

6 Die Arbeitsschritte gemäß Gesamtkonzept

Handwerkliche Reparatur des größeren Teils der lokalen Schäden

Zur Reparatur der zahlreichen Fäulnissschäden sind in mehreren Hundert Positionen einzelne Blockhölzer zu reparieren, anzuschuhlen oder ganz auszutauschen. Bei diesen Arbeiten dürfen keine weiteren Verformungen auftreten bzw. müssen kleinere Verformungen zurückgestellt werden. Für die Auswechslungsarbeiten muss jeweils eine Entlastung und Formstabilität der Hölzer über dem betroffenen Stab erreicht werden. Dies kann sowohl mit hydraulischen Pressen als auch handwerklichen Methoden, wie sie früher auf Kishi angewendet wurden, geschehen durch:

- Aussägen von Teilstücken des auszuwechselnden oder des obersten auszuwechselnden Blockholzes.

- Sicherung der über dem auszuwechselnden Holz liegenden Blockhölzer durch senkrechte Zangen, die jeweils mit mindestens zwei Metallbolzen verbunden sind.
- Ansetzen von Hebeln an den ausgesägten Stellen und Anheben bzw. Pressen des aufgehenden Blockwandteils.
- Ansetzen von Streben an den Zangenkonstruktionen zur Abstützung der angehobenen bzw. nach oben gepressten Blocklagen.
- Auswechseln oder Anschuhen des oder der Blockhölzer. Beim Auswechseln ganzer Blockhölzer müssen die neu einzubauenden Hölzer u. U. in zwei oder drei Teilen eingearbeitet werden, d. h. es sind besondere Reparaturverbindungen, wie senkrechte Zapfen oder schräge Hakenblätter, notwendig.

Bei allen Auswechslungs- und Reparaturarbeiten ist grundsätzlich besonderer Wert auf die Details und Kombination der Holzverbindungen zu legen, damit die Wände wieder eine größtmögliche Eigensteifigkeit erhalten und keine zusätzliche Angriffsmöglichkeiten für Feuchte entstehen.

Aussteifen der hohen Blockwände durch den Anbau innerer und äußerer senkrechter verbolzter Holzständer

Die vier Achteckwände des Grundrisses, die bereits im Erdgeschoss Außenwände sind, und deswegen hoch aufragen, werden mit je vier Ständern von 20/25 cm Querschnitt und einer Höhe von ca. 16 m, die paarweise innen und außen auf der Wand gegeneinander versetzt und verbolzt werden, versteift. Dabei werden diese Hölzer im Querschnitt senkrecht zur Wand gestellt, um eine möglichst hohe Steifigkeit und Knicksteifigkeit zu erzielen. Dort, wo Blockhölzer vorstehen, werden diese Hölzer blattartig eingekerbt, um an den durchgehenden Ständern den vollen Querschnitt zu erhalten.

Die Lasten aus den Ständern werden auf Fundamente abgetragen, die mit den Blockwandfundamenten verbunden sind, um eine gleichmäßige Setzung zu erzielen. Die Ständer werden in den Fundamenten eingespannt, um in Verbindung mit dem später einzubauenden Ringbalken aus waagerechten Holzbindern einen „steifen“ kastenartigen Block zu erzielen, an welchen auch weitergehende ungenügend ausgesteifte Bauteile angeschlossen werden können.

Die Längsständer sind möglichst aus einem durchgehenden Kantholz herzustellen. Müssen sie in der Länge angeschuht werden, so sind komplizierte Längsverbindungen notwendig, die nicht nur die Knickbeanspruchung aufnehmen können, sondern auch witterungsbeständig sein müssen.



Bild 11: Blick in das Stahlgerüst, das die Kirche seit 1981 trägt.

Sollte es erforderlich sein, so werden höher liegende Blockwände z. B. in den oberen Achtecken in der gleichen Weise ausgesteift.

Die hier zur Aussteifung der Blockwände vorgeschlagene Sanierungsmaßnahme mit senkrecht verbolzten Hölzern beruht auf ähnlichen traditionellen und handwerklichen Sanierungsmethoden, wie sie z. B. bei der großen Blockbaukirche in Kezmarok/Slowakei oder auch der Christi-Verklärungs-Kirche selbst zu beobachten sind. Diese handwerklichen Methoden werden im vorliegenden Konzept weiterentwickelt, sodass sie über ein Improvisationsstadium weit hinausreichen und dauerhaft Sicherheit bieten.

Aussteifen des Gesamtbaues durch zwei im unteren Oktogon waagrecht liegende und von den Ständern abgetragenen Holzbindern

Zur Aussteifung der Gesamtkonstruktion sollen in dem untersten und größten der drei Achteckringe zwei waagrecht liegende Holzbinder im Höhenabstand von 3 m eingefügt werden, die ihrerseits in der Höhe durch Andreaskreuze verbunden werden. Die Lasten der beiden Binder werden nicht auf die Blockwände abgetragen, sondern über Knaggen und Kopfbänder auf die Ständer der unteren Blockwandaussteifung gelenkt.

Mit den beiden untereinander verstreuten Bindern und weitergehend mit Hilfe der in die Fundamente eingespannten Ständer wird ein völlig steifer dreidimensionaler Korpus gebildet, der die Hauptkonstruktion in allen Richtungen aussteift. Das Stahlgerüst soll nach der Durchführung der Maßnahme entfernt werden.

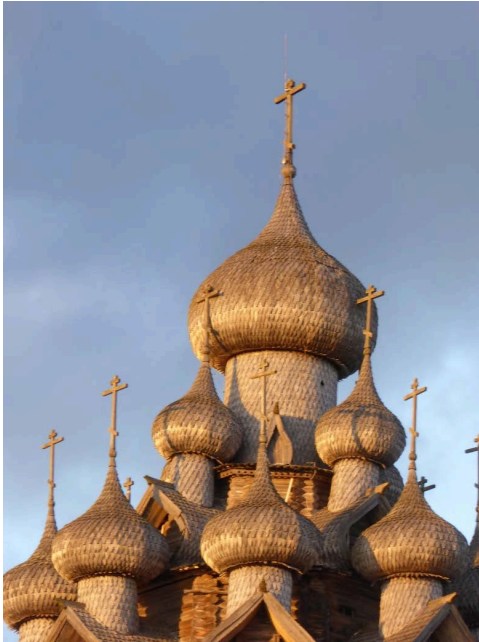


Bild 12: Die mit Espenschindeln gedeckten Zwiebelkuppeln leuchten in der Nachmittagssonne.

7 Bautechnische und denkmalpflegerische Bewertung des Sanierungskonzepts

- Das bedeutende Kulturdenkmal, die Christi-Verklärungs-Kirche bleibt original als Zeugnis und Dokument menschlicher Geschichte und Entwicklung erhalten (im Gegensatz zu vielen anderen Konzepten des weiteren Umgangs mit der Kirche).
- Für die Konsolidierung und Stabilisierung der Konstruktion werden handwerkliche Methoden und Mittel eingesetzt, wie sie auch in früheren Zeiten verwendet wurden.
- Die vorgesehenen Maßnahmen verändern das äußere Erscheinungsbild der Christ-Verklärungs-Kirche nicht bzw. nur unwesentlich.
- Der Denkmalcharakter der Christi-Verklärungs-Kirche bleibt uneingeschränkt erhalten.

- Die Christi-Verklärungs-Kirche kann nach der Sanierung gemäß diesem Konzept ihre Funktion wieder uneingeschränkt erfüllen.
- Die Realisierung dieses Konzepts bedarf nur relativ weniger und kleiner Maßnahmen. Darüber hinaus sind diese Maßnahmen mit den vor Ort vorhandenen Materialien und handwerklichen Kräften durchzuführen. Beide Fakten bedeuten größtmögliche Wirtschaftlichkeit, d. h. nur geringe Kosten.
- Die vorgeschlagene Konzeption hat nur wenige zeitliche Zwänge und lässt sich über einen Zeitraum von mehreren Jahren in relativ kleinen Maßnahmepaketen verwirklichen.

Über Jahre wurde das Sanierungskonzept dann – auch im Wettbewerb mit mehreren russischen Vorschlägen – diskutiert und ab 2003 aus einer Mischung mehrerer Vorschläge ein neuer Vorschlag zur Durchführung empfohlen. Wesentliche Teile dieses neuerlichen „Gesamtkonzepts“ wie die handwerkliche Sanierung der originalen Blockstämme und die Aussteifung mit vertikalen inneren und äußeren, verbolzten Verstärkungen wurden dabei aus dem Konzept des Autors übernommen.

Aus den russischen Vorschlägen wurde ein System entwickelt, nicht nur jeweils einzelnen Blockstämme oder –lagen auszuwechseln, sondern jeweils zehn bis fünfzehn Blocklagen auszubauen, in die Werkstatt zu transportieren, dort zu reparieren und dann wieder einzubauen, um danach jeweils mit den nächst höheren zehn oder fünfzehn Blocklagen fortzufahren. Bei dieser Methode wird das zeitaufwendige Anheben und Verstreben für einzelne Blockstämme umgangen. Aus Finnland wurde dabei das System des Anhebens und statischen Sicherens des darüber stehenden Restbauteils mit einem in Finnland, aber auch im Nationalpark Kenozero in Russland erprobten Stahlgerüsts mit hydraulischen Hebeeinrichtungen, übernommen.

Im September 2016 nahm der Autor neuerlich an einem internationalen Symposium zur Sanierung der Christi-Verklärungs-Kirche auf der Insel Kishi teil. Die Sanierungsarbeiten der unteren Hälfte der Kirche sind nach einer mehrjährigen Unterbrechung weitgehend abgeschlossen. Die obere Hälfte mit den Zwiebelkuppeln und mehr als 60.000 Espenschindeln harrt noch der Sanierung. Zwischen dem unteren und oberen Teil sind die Blockstämme über eine Höhe von ca. 3,5 Meter ausgebaut und liegen in den Werkstätten, um repariert zu werden. Zwischen dem sanierten unteren Teil und dem Oberteil klafft deshalb eine Lücke von ca. 3,5 m und der gesamte obere Teil mit einem Gewicht von annähernd 300 Tonnen ruht auf einem Stahlgerüst. Die Lücke ist mit Folien geschlossen.

Nach der mehrjährigen Unterbrechung wurden die Sanierungsarbeiten Anfang des Jahres 2017 wieder aufgenommen und die Gesamtkonstruktion ist jetzt etwa zu drei Vierteln durchsaniiert.

Konzept, Planung und Realisierung der Sanierung der Christi-Verklärungs-Kirche zeigen besonders deutlich, dass insbesondere ingenieurmäßiger Sachverstand und praktische Erfahrungen, aber kaum Normen zum Ziel führen. Sie zeigen aber auch, dass Sanierungsmaßnahmen an einem solchen Bauwerk individuelle, oft völlig neu „zu denkende“ Lösungen erfordern.

Literatur

- [1] Kornilowitsch, K.; Kaganowitsch A. (1967): Illustrierte Geschichte der russischen Kunst – Von den Anfängen bis zum Ende des 18. Jahrhunderts, Genf 1967
- [2] Faensen, H.; Iwanow, W. (1972): Altrussische Baukunst, Wien, München, Berlin 1972
- [3] Grizjuk, W. (1994): Kishi, Spaziergang rund um die Insel, Petrosawodsk 1994
- [4] Mironowa, A. (1990): Kunstschatze Altrussland, Leipzig 1990
- [5] Lissenko, L. M. (1989): Die russische Holzbaukunst, München 1989
- [6] Gerner, M. (1994): Preobrazhenskaya (Christi-Verklärungs-)Kirche auf der Insel Kishi/Russland, Konzept zur Gesamtsanierung, Manuskriptband deutsch und russisch, Kishi/Fulda 1994
- [7] Piskunov, Y. (1999): Reinforcement of the Transfiguration Church at Kizhi in The actual problems of the wooden architecture monuments' researching and saving, St. Petersburg 1999
- [8] Vakhrameeva, T. (1999): The Transfiguration Church of the Kizshi "Pogost": Viewing of the preservation measrues in: The actual problems of the wooden architecture monuments' researching and saving, St. Petersburg 1999

(Leerseite)

Denkmalschutz im Spannungsfeld der Interessen

G. Skalecki
Bremen

Zusammenfassung

Die Interessenslage, in der sich Denkmalpflege bewegt, ist sehr vielfältig. Zunächst sind natürlich die Interessen der Eigentümer und Nutzer von Denkmalen mit Respekt zu würdigen, aber auch der Anspruch der Öffentlichkeit auf Erhalt und Pflege wichtiger Zeugnisse unserer Vergangenheit muss berücksichtigt werden. Da Gegenstand der Denkmalpflege aber nicht nur das historische Einzeldenkmal ist sondern auch große städtebauliche Ensembles oder ganze Altstadtquartiere, muss sie sich auch in den Fragen der Stadtentwicklung positionieren. Im Beitrag werden die Tendenzen der letzten 30 Jahre kurz angerissen, u. a. die Baukulturdebatte am Anfang des neuen Jahrtausends. Aktuell ist durch den Boom in der Bauwirtschaft ein radikaler Stadtbau im Gange, bei dem immer wieder Denkmalpflege und Stadtplanung unterschiedliche Auffassungen vertreten. Die Gefahr besteht, dass unsere historischen Städte gesprengt werden von überdimensionierten Investorenprojekten mit ortlosen, globalisierten Fassadenmustern, geplant von Architekten, die sich nicht auf den jeweiligen Ort einlassen, wo sie gerade bauen.

Die 28. Hanseatischen Sanierungstage 2017 sind, wie es auch in der Vergangenheit üblich war, eher ein Forum, wo man sich über technische Fragen im Bereich der denkmalpflegerischen Sanierung austauscht. Die fachliche Denkmalpflege beschäftigt sich aber nicht nur mit den rein technischen Restaurierungs- oder Konservierungsfragen, sondern Denkmalpflege bewegt sich auch stark im gesellschaftlichen und politischen Raum. Dabei ist es immer wieder ein Thema, wie man die unterschiedlichsten gesellschaftlichen Belange in Einklang bringt, ohne den Erhalt der denkmalgeschützten Bausubstanz zu gefährden. Unterschiedliche Interessen treffen beim Umgang mit dem Denkmal, das immer auch ein Teil des öffentlichen Raumes ist, aufeinander und müssen aufeinander abgestimmt werden. Niemand sollte dabei die Position einnehmen, dass seine Sicht die einzig richtige Sicht sei, sondern der Respekt vor den jeweiligen anderen Aspekten sollte vor Eintritt in eine Diskussion immer zunächst gegeben sein. Es ist auch keinesfalls so, dass Kulturdenkmäler immer unberührt bleiben müssen, und der reine Substanzerhalt als einzig akzeptabler Weg von der Denkmalpflege angesehen werden sollte. Wer denkt, man müsse die berühmte „Käseglocke“ über Denkmäler stülpen und nur dafür sorgen, dass sich nichts, aber auch gar nichts verändert, betreibt eine falsch verstandene und gesellschaftsfremde Denkmalpflege, da unter Umständen so die Zukunft des Denkmals in einer sich wandelnden Welt dadurch stärker gefährdet ist. Die Denkmalpflege muss im „Spannungsfeld der Interessen“ als Moderator mit Weitblick, die bestmögliche Zukunft für unsere Vergangenheit aushandeln.

Erlauben Sie mir deshalb als Landeskonservator und stellvertretender Vorsitzender der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, also dem Zusammenschluss der bundesdeutschen fachlichen Landesdenkmalpflege, zum Einstieg in Ihre Tagung, einen eher theoretischen Vortrag. Es ist für die fachliche Denkmalpflege wichtig, dass sie selbst ihre Theorien weiter entwickelt und ihr eigenes Handeln kontinuierlich theoretisch durchdringt. Es scheint für den Praktiker auf der Denkmalbaustelle oftmals einfach, unter Beachtung konservatorischer, materialkundlicher oder bautechnischer Stellungnahmen eine vermeintlich richtige Lösung zu finden. Dass aber Denkmalpflege nicht nur Substanzerhalt ist, sondern sich in einem gesellschaftlichen Umfeld bewegt, wird leider oftmals selbst von manchen Denkmalpflegern vergessen. Insofern ist es wichtig, dass man immer wieder einmal einen Schritt zurücktritt und sein Handeln überprüft, besonders versucht, den Zusammenhang von Praxis und Theorie wieder herzustellen. In der deutschen Denkmalpflege-landschaft ist nämlich eine gewisse Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis zu beobachten. Manche bestehende und viele neu gegründete Lehrstühle an Hochschulen und Universitäten vertreten eine theoretische Form der Denkmalpflege, die mit dem Alltag oftmals nicht so viel zu tun hat, und somit ein unrealistisches Eigenleben entwickelt hat. Umgekehrt lassen viele Praktiker das ausdrückliche Nachdenken über denkmalpflegerische Grundsätze vermissen. Dies ist oftmals einem Alltag geschuldet, der an chronischer Arbeitsüberlastung leidet. Der Denkmalpfleger arbeitet als Generalist bei jedem Wetter auf der Baustelle und hat sich auf zahlreichen Arbeitsfeldern zu schlagen. Dazu zählen zunächst einmal die denkmalkundlichen, inventari-

satorischen Bedeutungen des Denkmals, die Grundlage für den Umgang sein sollen. Dazu kommen die konservatorisch-restauratorischen und bauphysikalischen Probleme, die handwerklichen Möglichkeiten und die Grundsätze des architektonischen Entwurfs. Die juristischen und administrativen Abläufe sind zu berücksichtigen und letztlich die politischen Verwicklungen und die Kommunikation in Richtung Öffentlichkeit. Dies ist die denkmalpflegerische Moderatoren Aufgabe. (Diese Zusammenstellung frei nach: Bernhard Furrer 2017, siehe Literaturanhang). Und am Ende des Prozesses heißt es dann von der einen Seite: die Auflagen und Anforderungen der Denkmalpflege seien enorm und für die Entwicklung behindernd gewesen, und von der anderen Seite: Wie konnte die Denkmalpflege das nur zulassen?

Im Titel meines Vortrages „Denkmalschutz im Spannungsfeld der Interessen“ sind schon unterschiedliche Interessen und Belange angesprochen, einer dieser Belange ist im Beitrag meines Vorredners bereits angeklungen, nämlich die Stadtplanung, wenn dort über „Urbanität und Wandel in der Stadt“ reflektiert wurde. Die Denkmalpflege steht nicht grundsätzlich gegen einen Wandel der Städte, aber dieser muss respektvoll mit dem historischen Bestand umgehen. Der historische Bestand, besonders der erhaltenswerte, noch mehr natürlich der denkmalgeschützte Bestand muss der Ausgangspunkt und die Messlatte sein für alles, was danach kommt. Über diesen immerwährenden Konflikt, zwischen Altem bewahren und Neuem gestalten, werde ich später ausführlicher berichten.

Vermeintlich steht Denkmalschutz, so wird fälschlich immer wieder behauptet, besonders gegen die Interessen der Eigentümer, die als Nutzer verständlicherweise auch einmal Modernisierungen, Anpassungen an heutige Standards und Veränderungen an ihrem Denkmal umsetzen möchten. Diesen Interessenskonflikt will ich in meinem Beitrag gar nicht zu sehr vertiefen, denn hierbei gibt es zwar immer wieder einmal Spannungen, aber meist hat die Denkmalpflege unter Beweis gestellt, dass sie nicht nur kompromissfähig ist, sondern in aller Regel mit gewichtigen Argumenten empfängliche und sensible Eigentümer auch überzeugen kann, einen denkmalverträglichen Umgang mit ihrem Denkmal zu praktizieren. Dabei konnten immer wieder Lösungswege gefunden werden, um die Interessen eines Nutzers, Modernisierung und Anpassung an heutige Standards, umzusetzen, ohne den eigentlichen Denkmalwert einzuschränken. Einerseits ist es selbstverständlich, dass ein selbstgenutztes denkmalgeschütztes Wohnhaus für den Bewohner nicht zur Zumutung werden darf. Dies gilt für die Bad- und Toilettenanlagen ebenso wie für Belange des Brandschutzes und die Haustechnik oder den Wunsch nach energetischer Verbesserung. Es nützt auch nicht dem Denkmal, wenn man den Einbau eines vernünftigen Bades verhindert, wenn dann niemand dort wohnen will. Wenn ein Denkmal abbrennt, weil kein angemessener Brandschutz vorhanden war, ist der Schaden größer als die optische Beeinträchtigung durch einen Rauchmelder an einer historischen Decke. Und auch ein Denkmaleigentümer will verständlicherweise Energiekosten sparen, also müssen Kompromisse bei einer Dämmung gefunden werden.

Durch das stetige aktive Werben für die Werte eines Kulturdenkmals ist via Öffentlichkeitsarbeit aber meist eine positive Grundstimmung erzeugt worden, so dass viele Eigentümer voller Stolz und mit einer großen freiwilligen Bereitschaft zum Erhalt und zur Pflege ihres Denkmals sich positiv gegenüber dem Denkmalschutz eingestellt haben, und bis zu einem gewissen Maß bereit sind, Einschränkungen in Kauf zu nehmen. Dieses vermeintliche Spannungsfeld zwischen Denkmalpflege und Eigentümerinteressen geistert meist nur noch in nicht wegzukriegenden Vorurteilen herum. Es ist gelegentlich Gegenstand von dramatisierenden Presseberichtserstattungen, allerdings in der Realität im konservatorischen Alltag eher die Ausnahme. Stattdessen erfahren wir in der breiten Öffentlichkeit einen relativ großen Rückhalt und eine breite Unterstützung, und es gibt immer wieder viele Eigentümer, die mit großem Stolz ihr Denkmal pflegen und mit gewissen Einschränkungen in bestimmten Bereichen gerne leben.

Gravierender sind allerdings die Probleme, die sich im Umfeld des eben schon angesprochenen angestrebten städtebaulichen Wandels sowie im Bereich der Immobilienwirtschaft auftun. Es existieren unterschiedliche Vorstellungen zwischen einerseits dem Wunsch des Denkmalpflegers nach Erhalt, nicht nur des Denkmals, sondern seines gesamten historischen städtebaulichen Umfeldes, und andererseits den Gewinnerwartungen im inzwischen extrem lukrativen Immobilienmarkt. Dieser aufgeheizte Immobilienmarkt wird weiter angetrieben von Architekten und Stadtplanern, die auf selbstverwirklichende Großprojekte hoffen, mit denen sie sich profilieren und davon profitieren möchten. Sie begründen es natürlich anders, nämlich damit, dass man nun die Chance eines längst fälligen Stadtumbaus hätte, die Stadt schließlich zukunftsfähig machen müsse und endlich auch nachhaltig bauen könne. Ich behaupte allerdings, dass diese sich selbst oftmals überschätzenden und missionarisch auftretenden Planer nur wieder einmal mit Worthülsen und Plattitüden einen neuen Versuch des Stadtumbaus herbeireden wollen, der sich wie die anderen Versuche der letzten Jahrzehnte als Missgriff herausstellen wird. Ganz besonders die unwirtschaftlichen städtebaulichen wie architektonischen Leistungen der 1960er Jahre, die uns übrigens damals genauso als grandiose zukunftsfruchtige visionäre Leistungen angepriesen wurden, werden heute von der nächsten Generation an Planern nicht nur kritisiert sondern gänzlich in Frage gestellt und stückweise zur Disposition gestellt. Dabei geht es der Denkmalpflege übrigens auch darum, auch die Bauten der Nachkriegszeit zu prüfen und deren Dokumentationswert einzuschätzen, damit wir auch aus dieser Phase denkmalwerte Beispiele bewahren und für die Nachwelt erhalten können. Oftmals sind aber gerade diese Bauten so schnell weg, dass der Denkmalpflege nicht mehr die Zeit bleibt, diese objektiv und fachlich zu bewerten.

Von dieser aktuellen Welle eines gigantischen Baubooms und des herbeigeredeten angeblich notwendigen Stadtumbaus wird manches kleine und auch manches größere Denkmal, ältere wie jüngere an die Wand gedrückt. Wir dürfen uns aber unsere Stadt nicht von einer Gruppe schwarz gekleideter, selbstherrlich auftretender Architektur-

Propheten zerstören lassen, sondern müssen kritisch und wachsam sein gegenüber dem, was sich gerade ereignet.

Gehen wir aber zunächst einmal zeitlich ein Stück zurück und betrachten die Entwicklungen – auch in der Denkmalpflege – der letzten rund 15 Jahre. Einige Jahre nach der Wende und der deutschen Wiedervereinigung schien die Denkmalpflege zunächst, besonders in den neuen Bundesländern, im Aufschwung zu sein. In einem gewissen Übereifer wurden Schnellinventarisierungen durchgeführt und neue umfangreiche, vielleicht überzogene Denkmallisten erstellt. Sehr viel ist als denkmalwürdig festgestellt worden, viel alte Bausubstanz war noch vorhanden, wenn auch zum Teil in schlechtem Zustand. Auf die Art und Weise, wie diese Listen entstanden sind und mit welchem fachlichen Hintergrund vielfach Berufsanfänger unter großem Zeitdruck eine Unmenge an Denkmälern ausgewiesen haben, will ich hier nicht weiter eingehen. Vieles ist in der Rückschau dabei durchaus als problematisch einzustufen. Die Denkmalpflege als wissenschaftliche Disziplin muss auch bemüht sein, stets selbstkritisch und objektiv ihr Handeln einzuschätzen und notfalls Korrekturen vorzunehmen. In der besagten Zeit sind besonders in den neuen Bundesländern sehr viele Denkmäler unter Schutz gestellt worden, von denen das eine oder andere sicherlich grenzwertig ist. Wenige hinterfragten diese Einschätzungen, denn durch den Aufbau Ost standen für die Sanierung der Städte auch viele Mittel zur Verfügung, und man ging mit großem Eifer an die Arbeit.

Dann kam aber zu der Fülle der neuen Denkmäler zusätzlich noch eine gewisse Schwerfälligkeit und Starrheit in der Umsetzung des Denkmalschutzes durch die Behörden hinzu. Ein oftmals rigides und bürokratisches Vorgehen, das den formalen behördlichen Vollzug vor der sachlichen bürgernahen Erläuterung der denkmalpflegerischen Belange stellte, führte bald zu Konflikten und zu scharfer Kritik aus dem gesellschaftlichen und politischen Raum. Aus einzelnen Fehlern und einigen ungeschickten Aktionen sowie der überschwänglichen Flut an Denkmälern wurde plötzlich eine scharfe Kritik an der Denkmalpflege insgesamt konstruiert. Dabei wurden eben nicht nur kleinere Fehler bemängelt, sondern plötzlich das ganze System der deutschen Denkmalpflege an sich in Frage gestellt. Aufgrund dieser Ereignisse gab 1999, zehn Jahre nach der Wende, die Bundestagsfraktion der Grünen bei dem Stadtsoziologen Dieter Hoffmann-Axthelm ein Gutachten in Auftrag, das die Abschaffung der gesamten staatlichen Denkmalpflege forderte. Gerade die Grünen, die im Naturschutz alles regeln wollten, machten sich auf, ein völlig neues System der Denkmalpflege zu fordern, bei dem die Denkmäler dem freien Spiel der Kräfte ausgeliefert werden sollten. Nur sehr alte und schöne Denkmäler sollten erhalten werden, und auch nur wenn sich eine gesellschaftliche Mehrheit dafür fände. Es erfolgte eine Absage an das Industriedenkmal oder schwierige Denkmäler unserer Geschichte, wie Zeugnisse der nationalsozialistischen Vergangenheit oder der DDR-Geschichte. Sodosagen den Denkmalschutz dem Schönheitsempfinden des Massenpublikums anheim zu stellen, war das Ziel, das in einem Satz gipfelte, der einen sprachlos machte:

„Was keine Herzen bewegt – wozu sollte es gerettet werden? Es genügt zu wissen, und dokumentiert zu sehen, daß es das gab.“ (Dieter Hoffman-Axthelm 2000).

Die Ernsthaftigkeit und die Gefahr dieser Attacke wurden vielen nicht wirklich bewusst. Die von Dieter Hoffmann-Axthelm und Antje Vollmer vorgetragenen Kritikpunkte waren besonders der angeblich überzogene Denkmalbegriff, es wurde vom Denkmalpfleger als der „Lumpensammler der Geschichte“ gesprochen, sowie die vermeintliche Diskussionsunfähigkeit und die ungenügend erfolgte Erklärung denkmalpflegerischer Methoden und Einschätzungen. Ein erweiterter Denkmalbegriff ist nach wissenschaftlicher Einschätzung keinesfalls zu kritisieren, höchstens vielleicht die massenhafte Ausweisung von redundanten Phänomenen. Die Denkmalpflege ist selbstverständlich als Teil unserer wissenschaftlichen Geschichtsschreibung verpflichtet, alle Phasen und Phänomene unserer Vergangenheit exemplarisch zu schützen und in aussagekräftigen Beispielen zu erhalten. Dazu zählen ebenso Zeugnisse einer unangenehmen Vergangenheit, damit wir daraus lernen und uns daran erinnern können, wie alle Dokumente unserer historischen Lebensumstände, vom Arbeiten über das Wohnen - und zwar aller Bevölkerungsschichten – über Verwalten, Regieren, Lernen bis hin zur Kultur- und Religionsausübung.

Die vorgetragene Kritik an der Denkmalpflege sei ohne Frage unsachlich, übertrieben, unzutreffend, so war dann doch der weitgehende Konsens der übrigen Politik, der Feuilletons und der wissenschaftlichen Nachbardisziplinen. Es fanden sich relativ bald viele Befürworter, die den Fortbestand des Systems Denkmalpflege als unverzichtbar ansahen und den Forderungen nach Abschaffung oder tiefgreifender Veränderung der staatlichen Denkmalpflege eine klare Absage erteilten. Aber einen Kern Wahrheit hatte das Gutachten dennoch, und ein wunder Punkt wurde getroffen. Deutlich wurde, dass eine leichte Kurskorrektur vonnöten ist. Die Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland stellte fest, dass die geduldige Erklärung der Denkmalbedeutung und die ausführliche Begründung von denkmalpflegerischen Methoden unbedingt intensiviert und verbessert werden müssen. Die Vereinigung der Landesdenkmalpfleger begründete deshalb eine eigene Arbeitsgruppe Öffentlichkeitsarbeit, und vielen meiner Kolleginnen und Kollegen Landeskonservatoren wurde klar, dass dies eine sehr wichtige und vielleicht zwischenzeitlich einmal etwas vernachlässigte Aufgabe ist. So begründete ich zum Beispiel für mein Landesamt 2004 eine Schriftenreihe, mit dem Ziel, auf klassischem Weg eine breite Öffentlichkeit für denkmalpflegerische Themen zu sensibilisieren. In meinem damaligen ersten Beitrag, sozusagen ein Editorial der neugegründeten Zeitschrift, formulierte ich es so, dass der Denkmalpfleger geradezu eine „Verpflichtung zur Öffentlichkeitsarbeit“ habe. Denn wie könne man die eigenen Denkweisen, die Ziele und die Grundsätze allgemein vermitteln, wenn man sich nur in internen Stellungnahmen innerhalb eines behördlichen Genehmigungsverfahrens äußert. Öffentlichkeitsarbeit der Denkmalpflege ist nicht überflüssig, sondern extrem wichtig, da die Denkmalpflege in einem Umfeld vielfältiger öffentlicher Interessen agiert. Wir müssen Entscheidungsträger mit anderer Interessenslage überzeugen, warum und wie man etwas

erhalten möchte und müssen uns mit diesen in einen Dialog auf Augenhöhe begeben und es auch vermeiden, eine unverständliche fachliche Sprache anzuwenden. Die Denkmalpflege muss sich also einer überzeugenden argumentativen Auseinandersetzung stellen. Unsere Denkmalschutzgesetze beschreiben auch eindeutig, dass wir ein öffentliches Interesse zu vertreten und zu begründen haben, und wir haben deshalb aufzuklären, warum etwas ein Denkmal ist und warum es erhalten werden sollte und mit welchen Methoden und Techniken dies zu geschehen hat. Da heutzutage „Deregulierung“ das Zauberwort gegen staatlichen Einfluss ist, können wir uns auch nicht mehr nur auf reines Verwaltungshandeln zurückziehen.

Nach diesen Attacken von Dieter Hoffmann-Axthelm war es zwischenzeitlich gelungen, wieder eine positive Stimmung pro Denkmalpflege zu erreichen, auch gerade, als wenige Jahre später in der Mitte des ersten Jahrzehnts des neuen Jahrtausends eine Initiative für Baukultur auf Bundesebene gestartet wurde, die zwar zunächst für Qualität im Neubau werben wollte, dann aber doch auch durch Interventionen der Denkmalpflege deutlich machte, dass der historische, besonders der denkmalgeschützte Bestand natürlich auch in eine Baukulturinitiative einzuschließen sei und unseren ausdrücklichen Respekt verdient habe. Die Baukulturinitiative war zunächst für Stadtplaner und Architekten eine Neubauinitiative in einer totalen Flaute der Baukonjunktur, die mit dem Wunsch nach Neubauprojekten auch die Frage nach der gestalterischen Qualität neuer Architektur stellte. Zum Auftakt dieser Initiative formulierte Karl Ganser, ein Vordenker der Baukulturdebatte, eine Situationsbeschreibung, die heute immer noch unverändert gilt, auch wenn dies die heute tätigen Planer vehement bestreiten. So hieß es sinngemäß damals, dass das Neubauen vielfach als Eingriff verstanden werde, mit dem mehr an Werten beseitigt als neu hinzugewonnen würde. Dies sei nicht immer so gewesen, sondern begann erst in den 1960-er Jahren, als wieder einmal ein historisches Kulturdenkmal unwirtlicher moderner Architektur weichen musste oder eine Stadt verunstaltet wurde, also historische Baukultur verschwunden ist, ohne dass Neubaukultur wirklich sinnfällig entstanden ist. Und selbst wenn tatsächlich qualitätsvolle Neubauten entstehen, darf dies natürlich nicht zulasten von wertvoller historischen Bausubstanz gehen, so die eindeutige denkmalpflege-ische Position hierzu. Schon damals erahnte man, dass das Verhältnis zwischen aktuellem Architekturschaffen und der Denkmalpflege nicht immer einfach und unge- trübt ist. In dem damaligen Tiefpunkt der Baukonjunktur und einer Talsohle der Bautätigkeit sollte diese Initiative „Baukultur“ auch ein Stück PR-Maßnahme für die Neubauwirtschaft sein.

Es ist inzwischen über 10 Jahre her, dass diese Initiative für Baukultur gegründet wurde und vermeintlich auch die Pflege der historischen Baukultur miteinbeziehen wollte. Aber Skepsis bestand schon damals, da es sich doch offenkundig um Lippenbekenntnisse handelte, und Neubau immer vor Erhalt gehen sollte. Schon im Jahr 2008, also vor fast 10 Jahren, hatte ich mich in einem Aufsatz in unserer Schriftenreihe „Denkmalpflege in Bremen – Mitteilungen des Landesamtes für Denkmalpflege“ kritisch mit den Zielen dieser Initiative auseinandergesetzt. Denn in den Grün-

derungsschriften waren Sätze zu lesen, wie: „Der Denkmalschutz habe bestehende Bau- und Kulturlandschaften so lange gegen Wertverlust zu verteidigen, bis das neu bauen mit hinreichender Sicherheit eine Bereicherung darstellt.“ Wer stellt nun aber fest, dass die Neubauten anstelle von historischer Bausubstanz eine dauerhafte nachhaltige Bereicherung sind? Über Geschmack und Qualität zu debattieren, ist problematisch. Zu allen Zeiten fanden wir missionarisch und prophetisch veranlagte Planer, Architekten, Architekturkritiker, Städtebauer und Politiker, die uns überzeugt erklärt haben, dass das, was gerade entstehen soll, also das, was sie zu verantworten haben, objektiv besser sei als alles je zuvor gebaute und von großer Qualität, dauerhafter Schönheit und Nachhaltigkeit. Bei diesen immer wieder anzutreffenden Aussagen muss natürlich eine gewisse Subjektivität unterstellt werden, denn die, die hier solche Werturteile fällen, sind nicht frei in ihrer Entscheidung, sie wollen etwas bauen, gestalten, verkaufen, sie haben ideelle wie auch wirtschaftliche Handlungsinteressen. Ich möchte damit zum Ausdruck bringen, dass es immer wieder gut ist, eine kritische Distanz zu bewahren, besonders denen gegenüber, die von sich behaupten, den absoluten Geschmack zu haben und sich ein unangreifbares Qualitätsurteil zutrauen. In großen Architekturjurs wird immer wieder so geurteilt und es werden Entwürfe hochgelobt, denen ich eine extrem kurze Halbwertszeit prognostizieren möchte. Die schlechten Erfahrungen der letzten Jahrzehnte lassen uns diese kritische Position einnehmen. Die damals hochgelobten Fünfziger-Jahre-Bauten wurden schon nach kurzer Zeit abgelehnt und wenn sie auch heute bei einigen noch Nostalgieempfindungen auslösen, so stehen sie bei neuen Planern aktuell wieder zur Disposition, werden oftmals abgelehnt und schlecht geredet. Die Bauten der Sechziger und Siebziger Jahre wurden in der Mehrzahl schon sehr schnell als unwirtlich und kalt empfunden, und obwohl von den damaligen Planern als die Zukunft der Architektur beworben, galten sie sehr schnell als kritikwürdig. Die postmoderne Architektur war dazu die augenscheinliche Gegenreaktion in der Erkenntnis, dass der Funktionalismus und Brutalismus der Moderne nicht in Einklang zu bringen ist mit der historischen Stadt, und so kam großes Unbehagen und heftige Kritik gerade auch aus den Erfahrungen des Städtebaus. Die Stichworte hierzu sind die angeblichen Stadtsanierungen und die autogerechte Stadt, womit riesige Vernichtungsaktionen von historischen Stadtquartieren begründet wurden.

Und wenn es die Verantwortlichen auch nur schwer einsehen wollten, so gab es sehr schnell eine mehrheitliche Ablehnung gegen diese Experimente, sowohl für die der Innenstadt wie auch für die Wohnsilos auf der grünen Wiese unter dem Motto „Urbanität durch Dichte“. Die Kritik und Ablehnung gegen die moderne Architektur versucht man auch gerne in Misskredit zu bringen, indem man diesen Menschen das Urteilsvermögen abstreitet und ihr Unbehagen gegenüber diesen Architekturexperimenten mit einer eventuellen Behäbigkeit und Rückständigkeit begründen möchte. Ein vermeintlich ewig gestriger Geschmack eines breiten Publikums wird konträr zu einem vermeintlich objektiven Urteilsvermögens einer „Intellektuellen Avantgarde“ gesetzt. Es ist allerdings ein durchaus geschmacksgeschultes Bildungsbürgertum, das hauptsächlich immer wieder große Skepsis gegenüber hochgelobter moderner Archi-

tektur vorträgt. Diese Menschen sind keinesfalls rückständig oder ultrakonservativ, sondern aus ihnen sprechen die Erfahrungen von schmerzlichen Verlusten und Zerstörungen gewachsener und bewährter Werte. Insofern besteht hier ein immerwährender Interessenskonflikt zwischen Denkmalpflege und Stadtplanern sowie Neubaurchitekten.

Und heute stehen wir an einem Punkt, an dem diese Auseinandersetzung eine neue Dimension erhalten hat. Nach der Finanz- und Wirtschaftskrise und im Zuge der aktuellen Niedrigzinsphase erlebt die Immobilienwirtschaft einen unbeschreiblichen Höhenflug. Weltweit tätige, ebenso wie regionale Geldanleger – und es gibt zu viel überschüssiges Geld, das angelegt werden soll – flüchten sich in Immobilien, die derzeit die einzige Möglichkeit sind, noch ordentliche Renditen zu erhalten. Insofern gibt es einen unglaublichen Druck im Bausektor, aber nicht nur in neu zu erschließenden Baugebieten, sondern ganz extrem auch innerhalb der historischen Stadt. Viele Argumente werden zusammengetragen, warum heute die historische Stadt umgebaut werden müsse: der demographische Wandel, die Migration, der angebliche Wohnungsmangel, die Globalisierung und die vielbeschworene Nachhaltigkeit. Reichlich Kapital ist dafür vorhanden. Planer, die die Chance für lukrative und besonders selbstverwirklichende Großprojekte sehen, skizzieren wieder einmal „wunderbare“ Visionen für die moderne Stadt. Und es sind nicht nur die Stararchitekten, die mit einer großen Geste die historische Stadt leichtfertig und schnell mit wuchernenden, autistischen und ortlosen Fremdkörpern überplanen, sondern vielerorts, besonders natürlich in den Boomstädten, ist die Stadtplanung willfährige Erfüllungsgehilfin gigantomanischer Visionen, die die so vielbeschworene Urbanität schaffen soll.

Hier liegt eine große dramatische Gefahr für die historische Stadt. Die wirtschaftlichen Interessen und Hoffnungen der Planer auf große Projekte überrollen die Denkmalpflege. Baulückenbebauung neben Denkmälern bedeuten fast immer überdimensionierte Projekte, zu hoch, zu dominant, zu wenig integriert, autistisch eben. Dabei wird mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen operiert, die niemand, schon gar nicht die Denkmalpflege, zuverlässig überprüfen kann. „Man muss ja schließlich Geld verdienen“, heißt es, deshalb muss es immer höher werden, als eigentlich zulässig. Am besten wäre es, man würde alle regulierenden und störenden Bestimmungen abschaffen, besonders die Hochhausrichtlinie, wie von der Immobilienwirtschaft aktuell gefordert wird. Viele Planer unterstützen die Spekulanten und Investoren und propagieren wieder das Hochhaus als sinnfälliges Symbol einer Modernität und Urbanität. Wie oft habe ich als Denkmalpfleger in den schwierigen Diskussionen schon gehört, an der betreffenden, gerade in Rede stehenden Stelle bräuchte es unbedingt einen „Footprint“, einen kräftigen Akzent. Oder man kann hören, dass jede Generation die Verpflichtung habe, die historische Stadt weiterzubauen. Respekt und Zurückhaltung gegenüber dem Bestand tritt immer weiter zurück. Man wird mit Selbsteinschätzungen konfrontiert, die man nicht anders als arrogant bezeichnen kann, wenn es heißt, was hier vorgeschlagen werde, sei von zeitloser Schönheit. Eine Beurteilung, ob etwas zeitlos sein wird, möchte ich doch lieber der Zukunft überlassen und mich nicht einer

distanzlosen Sicht und einem Hype anschließen, wenn die oftmals selbstherrlichen Stararchitekten und Stadtplaner mit wortreichen Schönfärbereien – der sogenannten Architektenprosa – ihre Projekte hochloben.

Dies sind die aktuellen Spannungsfelder, in denen sich Denkmalpflege aufreibt: Rücksichtslose Bebauung im direkten Umfeld von Denkmälern oder radikaler Umbau, Aufstockung und Anbau von geschützten Denkmälern selbst. Forderungen nach Entkernungen und Aufstockungen zur Gewinnmaximierung sind an der Tagesordnung. Und immer steht gegen die zur Zurückhaltung mahnenden Denkmalpfleger eine Phalanx von Investoren und Planern. Die Stadtplanung fordert neue Akzente in der Stadt, die Architekten vertreten die Meinung, der Glasaufbau auf dem alten Haus würde dies doch erst spannend machen und bereichern, und der Investor fordert die Extremausnutzung, da das Projekt sonst unwirtschaftlich sei. Seltsam ist dabei nur, dass diese Projekte eben am Ende nicht nur gerade auskömmlich, sondern riesige profitable Geldvermehrungsmodelle darstellen.

Diese dramatischen aktuellen Tendenzen sind europaweit zu beobachten, als besonders negatives Beispiel sei London erwähnt, aber inzwischen finden sich diese Tendenzen, auch in Köln, Berlin, aber auch in Städten wie München, von denen man glaubte, dass sie noch den stadtzerstörerischen Tun von Investoren widerstehen könnten. Ich habe in jüngeren Publikationen, deren bibliographische Angaben Sie im Anhang der gedruckten Version meines Vortrages finden, Negativbeispiele aus verschiedenen europäischen Städten aufgezählt und angeprangert. Dabei wurde verwiesen auf Hochhausbauten in Berlin, beispielsweise am Ku'damm neben der Kaiser-Wilhelm-Gedächtniskirche oder am Alexanderplatz, am Beginn der denkmalgeschützten Karl-Marx-Allee. Ich könnte negative Beispiele aus meinem Bereich in Bremen nennen, wie zum Beispiel das Projekt des Neubaus des Verwaltungsgebäudes des Logistik Konzerns Kühne & Nagel oder das hoffentlich nicht zur Umsetzung kommende Projekt zur Aufstockung der Bremer Baumwollbörse.

Ein Beispiel, das exemplarisch für diese unsäglichsten Tendenzen steht und alles übertrifft, möchte ich zum Abschluss noch konkret exemplarisch zur besseren Anschaulichkeit meiner Ausführungen aufgreifen. Hier kommen Versagen der Stadtplanung, Profitgier der Investoren und missglückte Architektur zusammen, und führen fast zur Zerstörung, auf alle Fälle zur extremen Beeinträchtigung eines hochbedeutenden Denkmals deutscher Architekturgeschichte.

Gemeint ist die Bebauung um die Friedrichswerdersche Kirche in Berlin, wo man aus der falschen Interpretation einer allerdings verlorenen Bebauung des 18. und 19. Jahrhunderts um die Kirche herum Neubauten entstehen lässt, die einen sprachlos machen. Von profitgierigen Investoren getrieben, begründen ignorante Planer, dass die Kirche doch historisch schon immer von Bebauung umgeben gewesen sei, also könne, nein, man müsse hier wieder dicht an die Kirche heranbauen, die Geschichte gebe das so vor. Es werden die Argumente immer so verwendet, wie es einem passt.

Dieser so wichtige Kirchenbau von Karl-Friedrich-Schinkel, der 1824 als Inkunabel der deutschen Neogotik entstanden ist, hatte inzwischen einige Jahrzehnte freier gestanden als dies bis 1945 der Fall war. Man hätte gut argumentieren können, dass dieses freie Umfeld, diesem Bauwerk gutgetan hat, dass hier viele Jahrzehnte ein Zustand bestand, der schon wieder eine eigene historische Dimension bekommen habe. Auf alle Fälle wirkte die Kirche grandios mit einer gewissen Freiheit um sie herum. Stattdessen stützt man sich nun auf einmal auf die Historie und erinnert sich, dass die Nachbarschaft doch bebaut gewesen sei, und nur durch die vermeintliche Unfähigkeit und Unzulänglichkeit der Stadtplanung der DDR die Kirche noch nicht wieder eine städtebauliche Rahmung bekommen habe. Dann nimmt man es aber mit den historischen Zuständen nicht mehr so genau, denn viel dichter und natürlich viel höher entstehen nun um die Kirche herum an allen Seiten Neubauten, die weit davon entfernt sind, eine historisch orientierte Stadtreparatur zu sein. Das aktuelle Bauvolumen übersteigt die Vorkriegsbebauung um das Zweieinhalbfache, und diese letzte Phase vom Anfang des 20. Jahrhunderts war schon durch Aufstockungen der Bebauung des 18. bzw. frühen 19. Jahrhunderts – als die Kirche entstand – unzulässig angewachsen. Eine gute Stadtplanung hätte gegengewirkt und eher eine weniger dichte Bebauung als der unmittelbare Vorkriegszustand angestrebt. In den jetzt also noch weitergehenden viel zu hohen, viel zu dicht herangerückten und von banaler Fassadensprache bestimmten Gebäuden kommen Luxuswohnungen, die für die Investoren hohe Renditen versprechen, und von deren Dachterrassen aus man nun einen privilegierten Blick von oben auf das nette kleine Kirchlein hat. Ich kann dies nur als arrogante Respektlosigkeit gegenüber der Geschichte bezeichnen, gleich ob man als Investor, Stadtplaner, Politiker oder Architekt beteiligt war. Aber die einen müssen ja Geld verdienen, die anderen die Stadt weiterbauen und die letzteren der Stadt ihren Architekturschmack aufdrücken.

Doch damit nicht genug. Durch die Bauarbeiten und die riesige Baugrube, viel zu dicht neben der Kirche, ist das einzigartige Denkmal deutscher und europäischer Baugeschichte so geschädigt worden, dass riesige Risse im Bauwerk fast den Einsturz zur Folge gehabt hätten. Eine Schließung der Friedrichswerderschen Kirche musste erfolgen, ein riesiges Gerüst im Innenraum zur Aussteifung und Absicherung musste eingebaut werden, und man kämpft gegen die Einsturzgefahr. Und natürlich will daran niemand wirklich schuld sein. Diese Kirche ist irgendwie wahrscheinlich selbst schuld, sie ist einfach zu alt!

Unsere europäischen Städte sind von einer jahrhundertealten und großartigen Stadtbaukultur geprägt. Wohlproportioniert und deshalb lebenswert, boten die städtischen Räume stets die Grundlage für das geistige Leben. Der Stadtraum und die rahmende Architektur waren die Orte für öffentliche Begegnungen. Die Städte gehörten den Menschen und diese waren lange das alleinige Maß für die Gestaltung. Seit dem Bruch durch die Moderne, seit den aberwitzigen Stadtplanungsideen von Le Corbusier und den darauf aufbauenden immer neuen Experimenten von Stadtsanierung, Verdichtung und Urbanisierung wurden unsere Städte immer wieder neuen Attacken

durch von Sendungsbewusstsein gesteuerte Architekten und Stadtplanern ausgesetzt. Die Stadt ist heute in der Hand von weltweit agierenden Investoren, die ihr Kapital durch gewinnversprechende Großprojekte vergrößern wollen und gigantische Projekte mit Machtattitüde und Selbstdarstellung in den öffentlichen Raum platzieren. Bald werden wir unsere historischen wohl proportionierten Städte verloren haben und in lichtlosen Hochhausschluchten und Beton- und Glaswüsten von menschenfeindlicher kommerzialisierter gigantomanischer Urbanität ersticken.

Das sind die großen Probleme der Denkmalpflege, die wahren Interessenskonflikte. Dagegen sind die Fragen nach dem Einbau eines Badezimmers, der Fugen- oder Fasadensfarbe oder der Körnigkeit des Putzes harmlos. Und die Denkmalpfleger sollten sich nicht hinter den kleinen Alltagsthemen verstecken, sondern auch den Kampf gegen die groß angelegte Stadtzerstörung aufnehmen.

Literatur:

- [1] D. Hoffmann-Axthelm, Kann die Denkmalpflege entstaatlicht werden? Eine Streitschrift. Gutachten für die Bundestagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen, MS März 2000
- [2] Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland (Hg.), Dokumentation: Entstaatlichung der Denkmalpflege? Von der Provokation zur Diskussion: Eine Debatte über die Zukunft der Denkmalpflege, Berlin 2002
- [3] K. Ganser, Eine Bundesstiftung Baukultur? Innovation, Integration und Kommunikation durch Baukultur zur Weiterentwicklung des Wohnungs- und Städtebaus. Förderverein Deutsches Architektur Zentrum Berlin e.V. MS 2001
- [4] G. Kähler (Bearb.), Statusbericht Baukultur in Deutschland. Ausgangslage und Empfehlungen, Berlin 2001
- [5] G. Skalecki, Editorial: Die "Verpflichtung des Denkmalpflegers zur Öffentlichkeitsarbeit, in: Denkmalpflege in Bremen, Schriftenreihe des Landesamtes für Denkmalpflege Bremen, Heft 1, Bremen 2004, S. 8-11
- [6] G. Skalecki, Baukultur und Denkmalpflege - Ein Plädoyer für mehr Nachhaltigkeit, in: Denkmalpflege in Bremen, Schriftenreihe des Landesamtes für Denkmalpflege Bremen, Heft 5, Bremen 2008, S.8-23
- [7] G. Skalecki, Stadtentwicklung von gestern versus Stadtzerstörung von heute, in: Denkmalpflege in Bremen, Schriftenreihe des Landesamtes für Denkmalpflege Bremen, Heft 13, Bremen 2016, S. 8-22
- [8] G. Skalecki, Der Turmbau zu Babel – oder: Die Arroganz moderner Architektur gegenüber der Historie, in: G. Rovagnati, P. Sprengel (Hg.), Philologia sanat, Studien für Hans-Albrecht Koch zum 70. Geburtstag, Frankfurt am Main 2016, S. 507-531
- [9] B. Furrer, „Bien faire et laisser dire“ – Zum Verhältnis von Praxis und Theorie in der Denkmalpflege, in: Die Denkmalpflege 75, 2017, S. 5-10

Denkmalschutz am Beispiel des Antikolonialdenkmals in Bremen

F. Deitschun
Bremen

Zusammenfassung

Es war schon eine besondere Herausforderung, sich mit der Instandsetzung des weltgrößten aus Ziegelstein hergestellten Elefanten auseinander zu setzen. Unter Einbeziehung von Fachkollegen, sowohl für die Materialuntersuchung, Auswahl und Gestaltung der Materialien (Steine, Kleber, Fugmörtel) und dem besonderen Engagement der ausführenden Handwerker, ist dies nach Bekunden des Bauherrn sehr gut gelungen. Ob und in wie weit die abweichend von Regelwerken durchgeführten Instandsetzungsarbeiten, Kombination von Baustoffen und Sicherstellung der baulichen Rahmenbedingungen von Erfolg gekrönt sind, muss die Zukunft zeigen. Zu diesem Zweck wird ein laufendes Monitoring zunächst für die nächsten 5 Jahre durchgeführt. Folgerichtig kann der Erhalt von Baukultur auf Dauer nur dann gelingen, wenn die Beteiligten das Ziel (die Erhaltung) und nicht die Einhaltung von Regelwerken in den Fokus ihrer Betrachtungen ziehen.

1 Einleitung

Das in den Jahren 1931/1932 als „Kolonialdenkmal“ errichtete Denkmal in Form eines Elefanten wurde am 19.05.1990 im Rahmen des Namibia Freiheitsfestivals in ein „Antikolonialdenkmal“ umbenannt.



Abb. 1: Ansicht des Elefanten

Das Denkmal hat die Form eines monumentalen, sieben Meter hohen, stilisierten afrikanischen Elefanten auf einem 12-eckigen Sockel, der auf einer rechteckigen Basis aufsteht. Der komplette Unterbau ist aus dunkelrotem Klinkermauerwerk errichtet. Die Figur des Elefanten weist einen inneren Betonmauerwerk-Skelettbau als bestehende tragende Binnenstruktur auf.

Der 12-teilige Unterbau markiert eine von der unteren rechteckigen Sockelstruktur umfangende Krypta, die halb im Erdreich versenkt ist. Die Krypta wurde ehemals durch drei schachtartig, inzwischen vermauerte Fenster, an den beiden Langseiten des Zwölfecks beleuchtet. Sie besitzt eine Betonbodenplatte und, wie die Mauern des umgehenden Rechtecksockels, eine Betonpfahlgründung.

Die Krypta wird über eine Öffnung an der Stirnseite des Sockels erreicht, die durch eine schwere Eisentür verschlossen ist.

Der nachfolgende Entwurf für den Elefanten stammt vom Münchener Bildhauer Prof. Friedrich (Fritz) Behn (1878-1970).

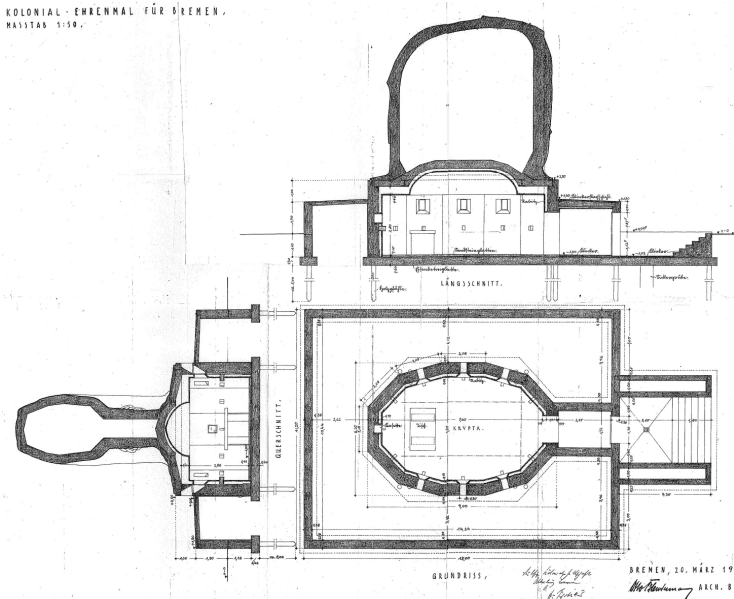


Abb. 2: Bauzeichnung von 1932

2 Historie nach dem 2. Weltkrieg

Den 2. Weltkrieg hat das Denkmal nahezu unbeschadet überstanden.

Gemäß einem Vermerk aus dem Jahre 1954 sind in den Jahren 1949/1950 der zerstörte Eingang sowie die Klinkerecken und die Sockelabdeckungen wiederhergestellt worden. 1953 wurde die Bronze-Tür eingebaut.

Im Jahre 1983 wurde die Arbeitsgruppe für Bauexpertisen (Inh. der überregional bekannte und öffentlich bestellte sowie vereidigte Sachverständige Dipl.-Ing. Wilhelm Klocke † 2012) beauftragt, eine Dokumentation zu den Schäden am Elefanten zu erstellen.

Hieraus wird wie folgt zitiert:

„Die Oberseite des Körpers ist nicht besichtigt worden, hierzu ist eine Gerüststellung erforderlich. Erfahrungsgemäß sind diese Flächen besonders gefährdet, da sie der Sonneneinstrahlung besonders intensiv ausgesetzt sind und die meiste Regenspende erhalten.“

„Die starken Durchfeuchtungen im Deckenbereich lassen erkennen, daß das vom Korpus herunterfließende Wasser die Stahlbetondecke durchdringt und in den Innenraumbereich gelangen kann. Hier ist es mit Sicherheit erforderlich, auch künftig abfließendes Wasser vom Innenraumbereich abzuleiten.“

In den 80-er Jahren wurden umfangreiche Instandsetzungsmaßnahmen am Denkmal vorgenommen. Es wurden u. a. Verstärkungsmaßnahmen im Hohlkörper des Elefanten durchgeführt und der gesamte Deckenbereich des rechteckigen Grundkörpers wurde durch eine Stahlbetondecke erneuert.



Abb. 3: Erneuerung Sockelabdichtung

3 Das Gutachten zur Schadensanalyse

Durch Zunahme der Frost- und Feuchteschäden, einhergehend mit Salzausblühungen, wurde im Jahre 2015 ein Gutachten in Auftrag geben, um eine Aussage zum Schädigungsgrad zu erhalten und um notwendige Instandsetzungsmaßnahmen in Abstimmung mit dem Landesamt für Denkmalpflege zu dokumentieren.

Mit Unterstützung der Materialprüfanstalt Bremen, Herrn Dr. Frank Schlütter, erfolgten eingehende Besichtigungen mit teilweise bauteilerstörenden Untersuchungen. Hierbei wurde festgestellt, dass die in den 80-er Jahren ausgeführten Instandsetzungsarbeiten an der unteren Podestfläche (nach dem Stand der damaligen Erkenntnisse) aus heutiger Sicht auf Dauer nicht funktionieren konnten.

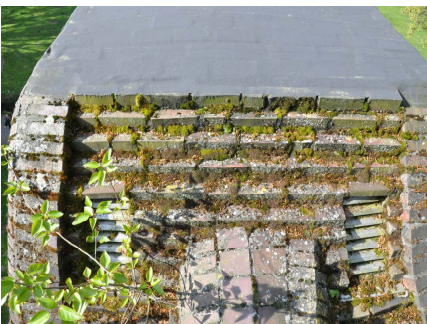


Abb. 4: Vegetation am Elefantenkopf



Abb. 5: Vermoosung der Ziegelsteine

Durch fehlende Unterhaltung wurde der Wuchs von Vegetation begünstigt und so die Fortschreitung der Schäden beschleunigt.

Es wurden Bohrmehlproben über den gesamten Querschnitt der Wände entnommen und ihre Feuchte- und Salzgehalte durch die MPA Bremen bestimmt.

Die seinerzeit eingebauten Dränagematten auf Heißbitumenüberzug erwiesen sich als wenig tauglich. Die Folge der Verwendung war, dass es wegen unzureichendem Abfließen des Oberflächenwassers zu erheblichen Versinterungen in den Randbereichen gekommen ist. Ebenfalls schädlich war der Einsatz von Bewehrungsstahl (sog. AKS-Gewebe) in der Druckverteilschicht, zur Aufnahme der Pflasterung der horizontalen Flächen.

Im Ergebnis der Begutachtung wurde dargelegt:

„Bezüglich der Konstruktion, d. h. Aufbau des Denkmals oberhalb der Sockel ist festzustellen, dass die Materialien weit über zulässige Werte durchfeuchtet sind und dies unabhängig von der Konstruktionsstärke. In der Regel wurden Wanddicken zwischen 38 cm und 42 cm gemessen. Die Durchfeuchtungsgrade betragen in Mittel mehr als 12 %, unabhängig von den Bauteiltiefen. Hieraus lassen sich, sowohl im Außenbereich als auch im Innenbereich die Frostschäden erklären.“

Bei den Bauteilöffnungen im Sockelbereich wurde festgestellt, dass die Abdichtungsführung nicht vollständig und wasserdurchlässig ist. Das hatte zur Folge, dass es zu Anstaubewässerung in den Sockelbereichen mit sichtbaren Ausblühungen gekommen ist. Es waren also Überlegungen anzustellen, wie der Feuchteeintritt auf Dauer vermieden wird, damit sichergestellt werden kann, dass der Durchfeuchtungsgrad in der Konstruktion (ggf. durch technische Hilfsmittel) reduziert wird.



Abb. 6: Versinterungen am Denkmal

4 Die Instandsetzung

Entsprechend den Empfehlungen aus dem Gutachten wurde das Denkmal mit einer Bauzeitverzögerung von vier Monaten Mitte August 2016 vollständig eingerüstet.

Die Besonderheiten bei der Einrüstung waren zum einen die Erstellung einer Wetterschutzhalle über das gesamte Objekt und zum anderen die Arbeitsgerüste rund um die Statue. Der vollflächige Schutz war notwendig, um die notwendigen Verarbeitungstemperaturen während der Instandsetzung sicher zu stellen.

Ein besonderes Augenmerk war auf die statische Berechnung und den statischen Nachweis des Gerüsts wegen der Windlasten zu setzen, so dass es erforderlich wurde, die Gesamtfläche mit 24 t Auflast in Wassertanks so zu beschweren, damit eine ausreichende Windsogsicherung gegeben war.



Abb. 7: Wetterschutzhalle

5 Die Statue

Da von der Arbeitsabfolge im ersten Schritt die Statue zu bearbeiten und in einem zweiten Arbeitsschritt die untere Sockelfläche zu sanieren war, war bei der Statik zu berücksichtigen, dass das innere Aussteifungsgerüst in einem temporären Zustand, nämlich während der Sanierung der unteren Podestfläche, nicht mehr zur Verfügung stehen würde. Um die Schäden insgesamt sichtbar zu machen, erfolgte mittels Hochdruckreiniger eine Nassreinigung der gesamten Statue und des Sockels. Hierbei ging es darum, Vegetation (Moose, Flechten) und soweit möglich Versinterungen zu entfernen. Des Weiteren war zu prüfen, wie standfest die Verblendschale, bestehend aus Hartbrandziegeln und Verfugung, nach nunmehr 80 Jahren freier Bewitterung ist. Festzustellen war, dass sich die Frostschäden über das gesamte Denkmal sehr begrenzt zeigten. Besonders betroffen waren die Stirn und die Kopfhaut sowie der Rücken des Elefanten.



Abb. 8: Hochdruckreinigung

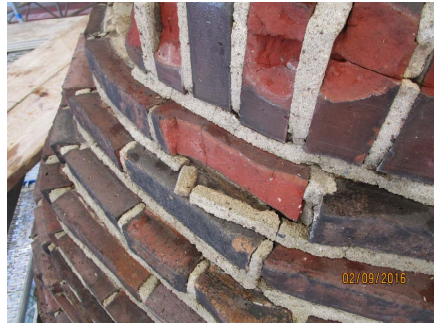


Abb. 9: Nach der Reinigung sichtbare Frostschäden

In diesen Bereichen waren umfangreiche Rückbauarbeiten notwendig. Dabei wurde festgestellt, dass in den 80-er Jahren mit Hilfe von Epoxidharz versucht wurde, defekte Bauteile miteinander zu verkleben. Wie sich im Zuge der Sanierung herausstellt, sind diese Epoxidharzverpressungen schadensträchtig und schadensfördernd. Dieses Material dient eher als Wasserleiter, als dass es einen vernünftigen Wasserhaushalt in den Steininformationen begünstigt.



Abb. 10: Reste von Epoxi im Hohlkörper



Abb. 11: Verpressschlauch



Abb. 12: Reste von Epoxi im Wandquerschnitt



Abb. 13: Reinigung im Strahlverfahren mit Glas

F. Deitschun, Denkmalschutz am Beispiel des Antikolonialdenkmals in Bremen

In einem zweiten Gang wurde die Reinigung partieller Versinterungen nach Angabe der Bauleitung in einem Nebelstrahlverfahren mit Glasmehl durchgeführt. In Absprache mit dem Landesamt für Denkmalpflege sollte dies nur partiell erfolgen, um möglichst viel von der Altsubstanz zu erhalten. Nach Durchführung dieser Maßnahme wurden in Teilbereichen durch Frost geschädigte Steine ausgewechselt. Es war erforderlich, die gesamte Stirn zu erneuern. Eine farbliche Anpassung der Klinker als Formsteine musste angefertigt werden. Geändert wurde die Konstruktion der Kopfhaut dahingehend, dass ein deutlich wahrnehmbares Gefälle zur Förderung der Abfließgeschwindigkeit von anfallendem Oberflächenwasser entsteht. Ebenfalls erforderlich war der Austausch der Lüftungsöffnungen, da diese hinsichtlich ihrer Querschnitte zu gering dimensioniert und durch Vegetation geschlossen waren. Nach Austausch und Reparatur der Ziegelsteine wurden die Fugen partiell überarbeitet, wobei ausdrücklich zum Schutze des Denkmals auf den Einsatz von Hydrophobierungsmitteln verzichtet werden sollte.



Abb. 14: Gefälle an der Kopfhaut



Abb. 15: Rücken mit Kopfhaut

In Abstimmung mit einem Hersteller wurden die wesentlichen Bauteile (insbesondere Rücken und Gesäß des Elefanten) zum Zwecke der Reduzierung des Feuchteintrages in die Konstruktion großflächig mit einem Fugenschlännsystem überarbeitet.



Abb. 16: Fugenschlämme an Rücken und Hinterläufen

6 Sanierung des Sockels am Fuß des Denkmals

Nach Rückbau der Pflasterklinker auf der oberen Podestfläche war festzustellen, dass es zu erheblichen Schädigungen der Ausgleichsmörtelschicht durch Einsatz von AKS-Geweben gekommen ist. Diese sind teilweise korrodiert und haben im Innenbereich auch zu Feuchteschäden geführt.

Abweichend zur Ursprungs konstruktion wurden die Pflasterklinker auf einer mineralischen Abdichtung im Spachtelverfahren, unter besonderer Berücksichtigung der Anschlüsse zum Denkmal, erneuert. Die äußere Begrenzung erfolgte über Betonfertigteile. Als Verlegemörtel wurde ein Dränagemörtel verwendet. Etwaige zusätzliche Abdichtungen an das Denkmal wurden nicht eingebaut. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass ein besonderer Fugenmörtel eingesetzt und die Gefällesituation so ausgebildet wurde, dass diese mindestens 6 % bis 7 % beträgt.

Unter Beibehaltung der äußeren Traufbleche aus Kupfer wurden die alten Abdichtungsbahnen an den unteren Podestflächen vollständig entfernt. Es erfolgte eine zweilagige Abdichtung, wobei die Oberlage stumpf, d. h. unmittelbar auf Stoß geklebt und der Anschluss an den 12-eckigen Sockel mit Flüssigkunststoff hergestellt wurde. Als äußere Begrenzung wurden ebenfalls Betonfertigteile, die in den Dränagemörtel eingebunden sind, verwendet. Die Konstruktionsstärke des Dränagemörtels auf Dränmatten betrug 12 cm.

Die Pflasterflächen selber sind im Verband gelegt worden. Auf eine Anordnung von Bewegungsfugen wegen der Kleinteiligkeit der Pflastersteine wurde verzichtet.



Abb. 17: Detail Sockelrand mit Betonfertigteilen

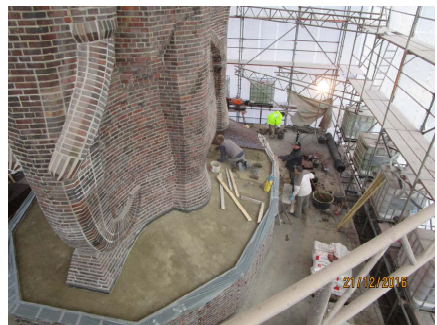


Abb. 18: Herstellung des oberen Sockels

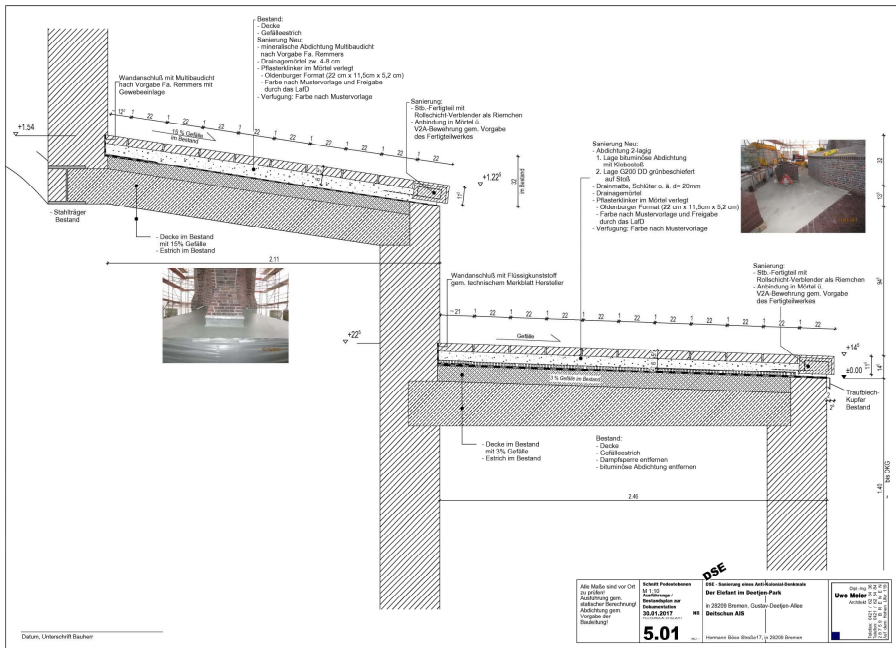


Abb. 19: Planung der Abdichtungen

7 Hohlkörper im Innenraum

Um den Zugang zum Hohlkörper sicherzustellen, wurde die vorhandene Revisionsöffnung in den Abmessungen von 60 cm x 40 cm vergrößert. Durch Einbau einer Revisionsöffnung mit Gitterrost in den Abmessungen von 1 m x 1 m bestand die Möglichkeit, den Hohlkörper einzurüsten und zur Förderung der Entfeuchtung innenseitig ein Opferputz aufzubringen. Dieser Putz war an die Unebenheiten und geometrischen Verhältnisse soweit anzupassen, dass ein vollständig neuer Eindruck des Hohlkörpers entstand.

In Abstimmung mit einem Sachverständigen für technische Gebäudeausrüstung wurden Überlegungen angestellt, die Trocknung durch die im Hohlkörper bestehende und vorhandene Thermik zu beschleunigen. Etwaige technische Einrichtungen sind zurzeit noch nicht vorhanden, können aber jederzeit nachgerüstet werden. In Absprache mit dem Eigentümer soll das Austrocknungsverhalten über die nächsten Jahre dokumentiert werden.

Mitwirkung der Industrie bei Sanierungsprojekten außerhalb der Norm am Beispiel des Antikolonialdenkmals „Elefant“ in Bremen

J. Engel
Löningen

Zusammenfassung

Restaurierungen, und darum handelt es sich bei großen Teilen der Instandsetzungsarbeiten am „Elefanten“, befinden sich nur selten im Einklang mit „Normen“. Vielmehr wird in solchen Fällen auf wissenschaftliche Erkenntnisse und Ableitungen daraus, Erfahrungswerte und ggf. Eignungsversuche zurückgegriffen. Dabei stellt das Antikolonialdenkmal in Bremen keine Ausnahme dar. Die angewandten Produkte und Verfahren sind im Prinzip über Jahrzehnte erprobt und wurden nun in einem besonders „stressigen“ Umfeld eingesetzt. Eine Garantie dafür, dass sich das erstmal sehr gut darstellende Resultat auch tatsächlich über Jahre oder Jahrzehnte bewähren wird, gibt es nicht. Daher wird, zunächst für die nächsten fünf Jahre, ein Monitoring durchgeführt um ggf. neuerlich auftretende Schäden frühzeitig erkennen und beheben zu können.

1 Einleitung

Eine eingehende Beschreibung der Geschichte und der Konstruktion des heutigen Antikolonialdenkmals „Elefant“ in Bremen findet sich in [1]. Bei der Planung der Fugeninstandsetzung wurde stark auf Erfahrungswerte von anderen unter Denkmalschutz stehenden Bauwerken zurückgegriffen. In [2] werden die Analysen und Analyseergebnisse der am „Elefant“ verwendeten Baustoffe dargestellt. Gegenstand dieses Artikels ist die Erläuterung des baustoffbezogenen Instandsetzungskonzeptes hinsichtlich der Auswahl und Gestaltung der Baustoffe und deren Verarbeitungstechniken. Da die wesentlichen Schäden am Elefanten durch den bauzeitlich zum Mauern und Verfugen verwendeten, vergleichsweise porösen Mörtel, über den Feuchtigkeit in die Konstruktion eindringen konnte, verursacht wurden, liegt das besondere Augenmerk auf der Fugeninstandsetzung. Durch die Instandsetzung sollen Salzausblühungen, Kalkaussinterungen und Schäden an den Ziegeln durch Frosteinwirkung für die Zukunft verhindert werden.



Abb. 1: Das Bremer Antikolonialdenkmal vor der Sanierung im Jahr 2016

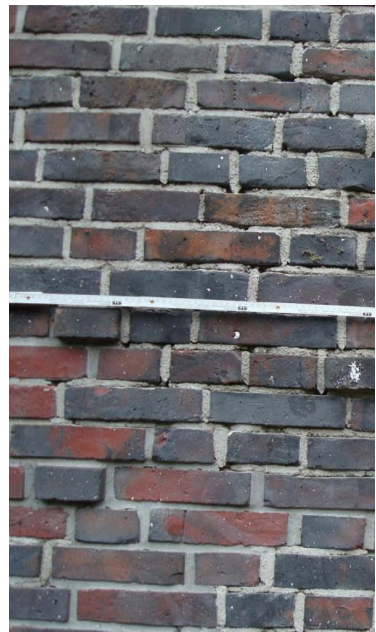


Abb. 2: Zustand des Mauerwerks vor der Sanierung

2 Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Fugeninstandsetzung

Die Komplexe Geometrie des „Elefanten“ führt dazu, dass viele Fugen nicht die an einer „normalen“ Fassade übliche, vertikale Fugenoberfläche aufweisen sondern sich eine je nach Lage mehr oder minder, bis hin zur Horizontalen geneigte Fläche einstellt. Bereits bei Fassaden gilt nach allen gängigen technischen Richtlinien, dass auch kleine Versprünge zwischen Ziegeloberfläche und der Oberfläche des Fugenmörtels vermieden werden sollten, um die Wasserführung an der Fassadenoberfläche so optimal wie möglich zu gestalten um den Eintritt von Feuchtigkeit in das Fassadenmauerwerk zu minimieren. Umso wichtiger ist dies nun aufgrund der bereits erläuterten speziellen Fugengeometrie des „Elefanten“; jedoch ist die hier geforderte optimale Fugenflankenbindung, mittels Handverfugung praktisch nicht erreichbar. Eine mögliche und mittlerweile über Jahrzehnte erprobte Alternative ist die so genannte Schlämmverfugung.

Es handelt sich bei dem Verfahren um eine Technik, die der Verfugung von Fliesen entlehnt und vor über 30 Jahren - hauptsächlich aufgrund wirtschaftlicher Aspekte - für Ziegelfassaden adaptiert wurde.

Da es sich bei Fliesen, im Gegensatz zu Ziegeln, um sehr harte und nicht saugfähige Baustoffe handelt, musste das Verfahren für die Anwendung an Ziegelfassaden deutlich modifiziert werden.

In der Gesamtbetrachtung stellen sich bei diesem Verfahren neben dem der höheren Wirtschaftlichkeit eine Reihe weiterer positiver Effekte ein, die wesentlich dazu beigetragen haben es über die Jahrzehnte erfolgreich zu machen.

2.1 Denkmalpflegerische Aspekte

Bei der Neuverfugung von Fassaden muss ein erheblicher Arbeitsaufwand betrieben werden. Zum einen müssen die alten Fugen vollständig ausgeräumt werden, was in vielen Fällen mit dem Einschneiden der Altfuge und dem Nacharbeiten mittels Druckluftmeißel vollzogen wird. Als handwerkliche Regel der Technik gilt eine Mindestausräumtiefe von 2 cm bzw. der doppelten Fugendicke, wobei der größere Wert hier maßgeblich ist. Darauf folgt das händische Einfügen eines häufig nur erdfeucht eingestellten Mörtels mittels Fugeisen. Im Gegensatz hierzu kann die Schlämmverfugung ab Fugentiefen von ca. 2 mm – damit ist das Rückspring maß zwischen Altfuge und Ziegeloberfläche gemeint – eingesetzt werden. Das aufwendige Ausarbeiten der Altfugen entfällt.

Neben dem hierin begründeten wirtschaftlichen Aspekt hat die Vermeidung des Ausräumens bzw. Ausstemmens oder Ausschneidens der Altfuge auch einen wesentlichen Aspekt hinsichtlich der Unversehrtheit des Objekts. Nicht zuletzt aufgrund des hohen Zeitdrucks, mit dem Bauarbeiten heutzutage im Allgemeinen ausgeführt werden, werden beim Ausarbeiten der Altfugen häufig irreparable Fehler begangen. Häufig werden die Steine bei diesem nicht unerheblichen Eingriff in das

J. Engel, Mitwirkung der Industrie bei Sanierungsprojekten außerhalb der Norm am Beispiel des Antkolonialdenkmals „Elefant“ in Bremen

Altmauerwerk an ihren Flanken beschädigt. Zum einen können Ausbrüche aufgrund nicht sauber gesetzter Meißelschläge verursacht werden, zum Anderen, was sehr viel schlimmer ist, können beim Aufschneiden der Fugen auch die Steinflanken angeschnitten werden. Diese sind dann quasi plangeschliffen, wobei die Porosität des Ziegels mit dem zwangsläufig entstehenden Schleifstaub zugesetzt wird. In der Regel führt das zu erheblichen Performanceverlusten - trotz einer an sich sauber ausgeführten Neuverfugung. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei den genannten plangeschliffenen Steinflanken praktisch keine ausreichende Haftung zum neuen Fugenmörtel mehr zu erzielen ist, was zwangsläufig zu sogenannten Blattkapillaren führt, über die sehr große Mengen an Feuchtigkeit in das Mauerwerk aufgenommen werden können. Mit Hilfe der Schlämmverfugung lässt sich dieser, zwar vermeidbare, aber dennoch immer wieder auftretende Fehler weitestgehend ausschließen.

2.2 Technische Aspekte

Die spezifische Art des Verfugens bei einer Schlämmverfugung führt zu einer optimalen Anbindung des neu eingebrachten Fugenmörtels an die Steinflanken. Nach allen gängigen technischen Richtlinien sollten auch kleine Versprünge zwischen Ziegeloberfläche und der Oberfläche des Fugenmörtels vermieden werden, um die Wasserführung an der Fassadenoberfläche so optimal wie möglich zu gestalten um den Eintritt von Feuchtigkeit in das Mauerwerk zu minimieren. Eine derart optimale Fugenflankenbindung, wie sie mit einer Fugenschlämme zu erzielen ist, ist mittels einer Handverfugung praktisch nicht erreichbar.

Durch das Überschlämmen der gesamten Fassadenfläche mit einem Mörtel, der einen hohen Anteil an Feinstbestandteilen enthält, werden auch feine Risse, die immer einen Schwachpunkt innerhalb einer Fassadenfläche darstellen, zugeschlämmt. Somit wird ein weiterer häufiger Schwachpunkt an Ziegelfassaden durch die Schlämmverfugung ausgeräumt.

2.3 Voraussetzungen/Restriktionen

Damit die vorgenannten Vorteile einer Schlämmverfugung sinnvoll zum Einsatz gebracht werden können, muss die betreffende Ziegelfassade gewissen Voraussetzungen genügen. Erstens muss eine minimale Auftragsstärke für die Schlämme von ca. 2 mm durchgängig gegeben sein. Zweitens ist es notwendig, dass die Ziegel eine weitgehend glatte Oberfläche aufweisen; stark strukturierte Ziegel sind ungeeignet, da sie sich nicht ausreichend nachreinigen lassen.

Sind die genannten Voraussetzungen erfüllt und wird das Material gemäß der Verarbeitungsrichtlinien sorgfältig eingebaut, lassen sich Haltbarkeiten erzielen, die denen einer „normalen“ Verfugung mindestens ebenbürtig sind, in aller Regel sogar höher angesetzt werden können.

Trotz der guten Erfahrungen, die über Jahrzehnte mit dieser Technik erzielt werden konnten, hat das Verfahren bislang keinen Eingang in Normen und Richtlinien gefunden, bzw. widerspricht diesen insbesondere hinsichtlich der Schichtdicke.

2.4 Erfahrungswerte

Im August 2000 fand erstmals eine Nachbegutachtung von schlämmverfugten Objekten statt. Ein Gutachten [3] von Herrn Prof. Dr. Franke der Technischen Universität Hamburg-Harburg belegte an zwei Objekte 16 bzw. 20 Jahre nach der Ausführung der Schlämmverfugung deren Haltbarkeit.

Der Zustand der Fassaden wurde als „gut bis sehr gut“ eingestuft. Festgestellt wurde, dass die Ziegelschlämmverfugung an den beiden Objekten auch nach den genannten Standzeiten keine Fehlstellen in Form von Rissen oder Flankenablösungen aufwies. Eine Schlagegendichtigkeit lag auch nach den genannten langjährigen Einsatzzeiten vollständig vor. Eines der Objekte wurde 2015, 31 Jahre nach der Schlämmverfugung nochmals untersucht. Die Fugen wiesen keine Flankenabrisse auf und die Wasserabweisung lag noch immer unter $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{1/2})$.

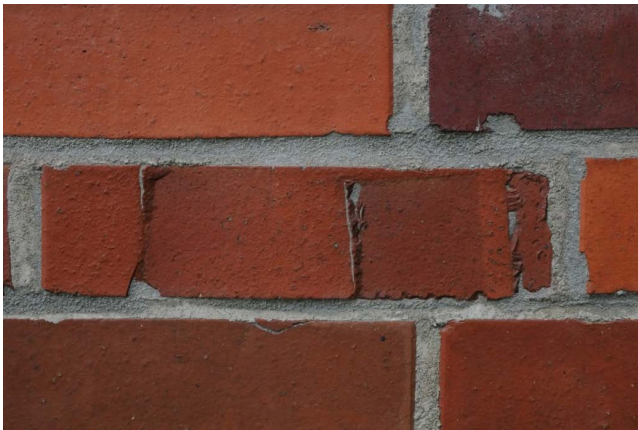


Abb. 3: Heute Campus Wesendorf, Zustand der Fugen 2015, nach 31 Jahren Freibewitterung. Deutlich zu erkennen ist, dass auch kleinste Risse mit der Fugenschlämme verschlossen wurden.

2.5 Adaptierung des Verfahrens auf die Situation am Elefanten

Normalerweise ist das Verfahren der Schlämmverfugung mit einer zweifachen Hydrophobierung des Mauerwerks verbunden. Die Vorhydrophobierung (vor dem Einbau der Schlämme) dient dazu:

- zu verhindern, dass die Fugenschlämme aufbrennt, da sie ja sehr dünnsschichtig verarbeitet wird,
- aus Sicherheitsgründen die Altfuge zu hydrophobieren, bevor dies durch die Schlämme nur noch eingeschränkt möglich ist und
- die Reinigung der Steinoberflächen von den Schlämmresten zu erleichtern.

Nach Einbau und Reaktion der Fugenschlämme erfolgt dann eine standardmäßige Nachhydrophobierung.

Im vorliegenden Fall schied die Hydrophobierung jedoch aus mehreren Gründen aus. Neben den grundsätzlichen Vorbehalten der Denkmalpflege gegenüber irreversiblen Maßnahmen - eine Hydrophobierung lässt sich nicht wieder rückgängig machen - ist eine derartige Wasserabweisung für Bereiche in denen Wasser „stehen“ kann nicht geeignet. Die Baustoffporen werden durch eine Hydrophobierung nicht verschlossen, daher kann dauerhaft anstehendes Wasser, insbesondere drückendes Wasser, trotz der Hydrophobierung in die Poren einsickern. Erst einmal im Baustoff ist die Abtrocknung dieser Feuchte durch die Hydrophobie erschwert [4]. Hinzu kommt, dass rückwärtige Durchfeuchtungen, wie sie am Elefanten auf jeden Fall in Form der bereits vorhandenen hohen Feuchtegehalte vorlagen unter Umständen nicht in ausreichendem Maß abtrocknen können, so dass es zu einem „Feuchtestau“ kommen kann, der unter Frosteinwirkung zu erneuten Schäden führen könnte.

Relevante Schadsalzgehalte, die eine weitere Restriktion hinsichtlich einer Hydrophobierung darstellen könnten wurden im Rahmen der Bauzustandsanalyse nicht festgestellt.

Für den „Elefanten“ wurde also entschieden auf eine Hydrophobierung zu verzichten, was jedoch zu erhebliche höherem Aufwand auf Seiten der Verarbeiter führt, da die Nachbehandlung der Schlämme und die Nachreinigung höherer Sorgfalt bedürfen.

In einigen Bereichen waren Steine und auch Fugen so geschädigt, dass sie komplett bzw. tiefgründig erneuert werden mussten. Um möglichst im gleichen Material bleiben zu können, lautete die Empfehlung diese tieferliegenden Fugenbereiche ebenfalls mit der Fugenschlämme, jedoch abgemagert mit Quarzsand, vorzufüttern.



Abb. 4: Der „Rücken“ nach der Instandsetzung 2017 (Foto: F. Schlütter)

3 Kompressenputz als Opferputz im Elefanten eingesetzt

Da auf eine Hydrophobierung verzichtet wurde, ist nach der Instandsetzung mit einem zwar deutlich reduzierten, jedoch nicht zu vernachlässigenden permanenten Feuchtigkeitstransport innerhalb des Mauerwerks zu rechnen. Um erneute Kalkausblühungen und -aussinterungen auf der Außenseite des Elefanten zu vermeiden, sollte dieser Feuchtestrom möglichst gerichtet ins Innere des Elefanten geführt werden. Dies wird d.urch eine verbesserte , Belüftung des inneren Hohlraums des Elefanten erreicht, was jedoch auch: gewisse Gefahren hinsichtlich Schäden auf der Innenseite des Elefanten in sich birgt.



Abb. 5: Innenansicht des Elefanten 2016, vor der Instandsetzung mit Kompressenputz

Um Feuchtigkeit und ggf. Salze auf der Innenseite möglichst schadensfrei aufzunehmen zu können und gleichzeitig die Abtrocknung nicht zu behindern, wurden die Innenoberflächen des Elefanten mit einem Opferputz nach WTA [5] versehen.

4 Abdichten des Podestes

Der Elefant ruht auf einem zweistufigen Unterbau. Die Basis beherbergt eine „Krypta“, die hin und wieder auch für Veranstaltungen genutzt wird.

Um die Podeste unter dem Ziegelbelag abzudichten, wurden die schadhafte Klinkerbeläge im Zuge der Sanierungsarbeiten entfernt und erneuert. Die wasserführende Schicht des oberen Podestes wurde mit einer flexiblen polymermodifizierten Dichtungsschlämme abgedichtet.

Literatur

- [1] Denkmalschutz am Beispiel Antikolonialdenkmal in Bremen, Beitrag von F. Deitschun in diesem Heft
- [2] Baustoffliche Besonderheiten und Analysen im Rahmen der Sanierungsplanung für das Antikolonialdenkmal in Bremen, Beitrag von F. Schlütter in diesem Heft
- [3] L. Franke, Untersuchung und Bewertung des Zustandes von Sichtmauerwerksfassaden nach Instandsetzung mit der Funcosil-Ziegel-Schlammverfugung nach 16- und 20-jähriger Freibewitterung, 31. August 2000,
- [4] Adapting hydrophobizing impregnation agents to the object, J. Engel et al., Restoration of Buildings and Monuments Vol. 20, No. 6, 1–8 (2014), DOI 10.12900/RBM14.20.6-0029
- [5] WTA Merkblatt 2-10-06/D:2006-03, „Opferputze“

Baustoffliche Besonderheiten und Analysen im Rahmen der Sanierungsplanung für das Antikolonialdenkmal in Bremen

F. Schlütter/H. Juling
Bremen

Zusammenfassung

Wie auch an anderen aus Ziegelmauerwerk errichteten Monumenten dieser Entstehungszeit (Anfang des 20. Jhdts.), z.B. dem Niedersachsenstein in Worpswede [1], steht auch am Antikolonialdenkmal die künstlerische Intention im Vordergrund. Die Konstruktion und die verwendeten Baustoffe ordnen sich unter. Daraus resultieren bestimmte „Problemzonen“, deren Beherrschung mit den traditionellen Baumaterialien nur begrenzt möglich war. Am „Elefant“ hat das vor allem zu Durchfeuchtung, Fugen- und Ziegelschäden sowie Kalksinterkrusten und biologischem Bewuchs geführt (Abb. 1 bis 4). Die in der Vergangenheit durchgeführten Sanierungen waren aus heutiger Sicht teilweise falsch, was auch auf eine unzureichende Sanierungsplanung und den Verzicht auf eine materialkundliche Begleitung der Arbeiten zurückzuführen war (Abb. 5). Bei der hier vorgestellten Sanierung in den Jahren 2016/17 wurden rechtzeitig Zustandsuntersuchungen und Prüfungen der für die Sanierungsarbeiten vorgesehenen Materialien (Mörtel und Ziegel) sowie zerstörungsfreie Prüfungen am Objekt nach Abschluss der Arbeiten durchgeführt. Auf diese Weise konnten Anforderungsprofile erstellt und die Einhaltung der geforderten Materialeigenschaften im Labor und am Bauwerk nachgewiesen und sichergestellt werden.



Abb. 1: Das Bremer Antikolonialdenkmal im Zustand „vor der Sanierung“ im Jahr 2015 (Foto: Deutschun)

1 Einführung

Der grundsätzliche konstruktive Aufbau des Antikolonialdenkmals ist in [2] beschrieben. Gegenstand der in diesem Beitrag dargestellten Untersuchungen und Prüfungen ist das Mauerwerk des eigentlichen Elefanten (nicht des Sockels). Es besteht aus mindestens zwei Arten von Ziegeln [3]. Der äußere Ziegel ist ein typischer hoch gebrannter, dichter Klinker (Bockhorner Klinker, Abb. 3), die sich nach innen anschließende Ziegelschicht besteht aus einem vergleichsweise weichem, hellroten Ziegel mit einer deutlich höheren Wasseraufnahme (Abb. 4).

Als bauzeitlicher Mauer- und Fugenmörtel wurde ein fester, grobkörniger, relativ poröser Zementmörtel verwendet, der eine Wasseraufnahme von bis zu 14 M-% aufweist [3].

Hieraus ergibt sich das wesentliche Problem dieses Wandaufbaus: Über die Fugen dringt Feuchtigkeit ein, die sich in der porösen inneren Ziegellage anreichert und dort zu starken Schäden an den Ziegeln und zu Salzausblühungen geführt hat. Ein wichtiges Ziel der Sanierung war daher die Fugensanierung einschließlich der bereichsweise notwendigen Mauerwerksreparatur. Hierfür wurden geeignete Mörtel und Ziegel benötigt.



Abb. 2: „Abgetreppter“ Rücken des „Elefanten mit starkem Moosbewuchs auf den bauzeitlichen Fugen. Zustand 2015 (Foto: Deutschun)



Abb. 3: Entnahmestelle einer Bohrmehlprobe zur Bestimmung des Feuchtegehaltes im Tiefenprofil. Kalksinterfahnen auf Bockhorner Klinker. Zustand 2015. (Foto: Deutschun)



Abb. 4: Blick ins Innere des „Elefanten“. Betonskelett und Ziegelmauerwerk. Zahlreiche Kalksinterfahnen durch eingedrungene Feuchtigkeit. Zustand vor dem Auftrag des Opferputzes, 2015. (Foto: Deutschun)



Abb. 5: Randlich abgelöste Abdichtungsbahn am Kopf des „Elefanten“. Frosts Schäden an den Formsteinen unterhalb der Abdichtung. (Foto: Deutschun)

2 Zustandsuntersuchungen 2015 und 2016

Im April 2015 wurden aus verschiedenen Bereichen (innen und außen) Materialproben entnommen und untersucht [3]. Zur Bestimmung des Feuchtegehaltes im Mauerwerk wurden Spiralbohrungen durchgeführt, wobei abschnittsweise am entnommenen Bohrmehl gravimetrisch die Feuchte ermittelt wurde. Mit Ausnahme einer Bohrung im hellroten Ziegel (von innen) erfolgten alle weiteren Bohrungen von außen und zwar in den Mörteln, um den Feuchteeintrag über die Fugen beurteilen zu können.

Tabelle 1: Ergebnisse der Feuchtebestimmungen 2015 (Bohrungen B1 bis B5)

Bohrung		Bohrtiefe (Segment)	Material	Einwaage (g)	Feuchte (M-%)
B 1	N-Seite, innen (Höhe: ca. 1,30 m über der Luke)	0-10 cm	Ziegel	11,0	14,5
		10-20 cm	Ziegel	10,1	16,1
		20-30 cm	Ziegel	11,2	17,1
		30-40 cm	Ziegel	9,8	15,6
B 2	S-Seite, außen, oben (bemooster abgetrepp- ter Bereich östlich ne- ben dem Vorderlauf)	0-10 cm	Mörtel	11,2	7,4
		10-20 cm	Ziegel + Mörtel	10,9	9,9
		20-30 cm	Ziegel	10,5	10,6
		30-40 cm	Ziegel	10,3	10,0
B 3	S-Seite, außen, Mitte (Bereich mit starken Ausblühungen (Kalk?) östlich neben dem Vor- derlauf)	0-10 cm	Mörtel	11,4	10,7
		10-20 cm	Ziegel + Mörtel	10,9	9,3
		20-30 cm	Ziegel + Mörtel	11,5	11,4
		30-40 cm	Ziegel + Mörtel	10,6	12,3
B 4	N-Seite, außen, oben (bemooster abgetrepp- ter Bereich westlich neben dem Vorderlauf, oberhalb B1)	0-10 cm	Mörtel	10,3	11,4
		10-20 cm	Ziegel + Mörtel	11,0	11,7
		20-30 cm	Ziegel + Mörtel	10,6	14,2
		30-40 cm	Ziegel	10,6	13,0
B 5	N-Seite, außen, oben (bemooster abgetrepp- ter Bereich über dem Vorderlauf)	0-10 cm	Mörtel	10,5	11,5
		10-20 cm	Mörtel	10,9	14,0
		20-30 cm	Ziegel + w. Mörtel	10,5	12,5
		30-40 cm	Ziegel	12,1	13,6

Die durch die Bohrung B1 im hinteren Ziegelmauerwerk nachgewiesenen Feuchtegehalte zwischen 15 und 17 M-% zeigen, dass dieser Teil der Konstruktion stark durchfeuchtet ist.

F. Schlütter/H.Juling, Baustoffkundliche Besonderheiten und Analysen im Rahmen der Sanierungsplanung für das Antikolonialdenkmal in Bremen

Alle von außen eingebrachten Bohrungen (B2 bis B5) bestätigen und vervollständigen dieses Bild. Die ermittelten Feuchtegehalte sind durchweg hoch bis sehr hoch (7 bis 14 M-%). Eine Höhenstaffelung der Durchfeuchtung ist nicht erkennbar.

Aus den Feuchtemessungen ist eindeutig ersichtlich, dass ein Feuchteeintrag über die Fugen in den Baukörper erfolgt und dass sich diese Feuchte im hoch saugfähigen Ziegel des inneren Mauerwerks kapillar verteilt. Mörtel und Ziegel waren zum Untersuchungszeitpunkt praktisch wassergesättigt. Tendenziell nimmt der Feuchtegehalt im Mauerquerschnitt von außen nach innen zu, was auf die relative schlechte Abtrocknung im Baukörpern zurückzuführen sein dürfte.

Im Inneren des Baukörpers, insbesondere auf den Mörteln, sind bereichsweise Salzausblühungen vorhanden. Hierbei handelt es sich sehr wahrscheinlich um Alkali-Sulfate, also um so genannte Zementsalze. Die Ziegel weisen an vielen Stellen Abplatzungen auf. Eine Salzuntersuchung an einem der rückgewitterten Ziegel hat ergeben, dass im Ziegel keine Belastung mit bauschädlichen Salzen vorliegt. Die Zerstörung der Ziegel erfolgt also nicht oder nur untergeordnet durch bauschädliche Salze, sondern vor allem durch Frosteinwirkung auf die wassergesättigten Ziegel. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde im Inneren des „Elefanten“ inzwischen ein Opferputz aufgebracht.

In der Tabelle 2 sind die Materialien und Untersuchungen aufgeführt, die im Zusammenhang mit der Sanierung 2016/17 durchgeführt wurden [4]. Es handelt sich dabei um eine weitere Zustandserfassungen vor Beginn der Sanierungsarbeiten (Feuchtegehalte im Baukörper und Wirksamkeit des Opferputzes), um Prüfungen der verwendeten Baustoffe (Fugenschlämme, Fugenmörtel, Austauschziegel) sowie um Wasseraufnahmemessungen am Bauwerk nach Abschluss der Fugensanierung.

Tabelle 2: Probenmaterial und Fragestellung der Untersuchungen 2016

Proben-bez.	Beschreibung	Fragestellung
BK 1	Bohrkern „Im Bauch“ des Elefanten, linke Flanke (SO, zum Gymnasium)	Feuchtebestimmung
BK 2	Bohrkern „Im Bauch“ des Elefanten, rechte Flanke (NW, zur Bürgerweide)	
RZ 1-6	Reparaturziegel RZ 1 und 2: nicht engobierte Ziegel RZ 3 bis 6: engobierte Ziegel	- Materialkennwerte (Rohdichte, Wasseraufnahme, Porosität, Druckfestigkeit)
FS	Remmers Fugenschlämme	- Materialkennwerte (Rohdichte, Wasseraufnahme, Porosität, Druckfestigkeit, w-Wert)
FM	Fugenmörtel (2 RT Fugenschlämme + 1 RT Sand)	
M1 und M2	Bauwerksoberfläche nach Fugensanierung	- Wasseraufnahme der Neuverfugung

Die Entnahme der Bohrkern erfolgte im November 2016 vor Beginn der Fugenkonsolidierung „im Bauch“ des Elefanten, der über eine innen liegende Luke vom Unterbau aus begehbar ist. Unmittelbar nach der Entnahme wurden die Bohrkern in Teilstücke zerlegt, so dass die Feuchte im Mauerwerk abschnittsweise bestimmt werden konnte. Die Trocknung erfolgte bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz.

Aus den Messergebnissen in Tabelle 3 ist ersichtlich, dass der Putz stark durchfeuchtet ist (9,3 bzw. 16,5 M-%). Der sich anschließende (hellrote) Ziegel ist vergleichsweise trocken (1,5 bis 5,3 M-%). Der Vergleich mit den Werten von 2015 (s. Tabelle 1) zeigt eine Konzentration der Feuchtigkeit im Putz. Offensichtlich stellt der Putz den gewünschten wirksamen Schutz der Ziegel dar, weil einwirkender Frost den als Opferschicht konzipierten feuchten Putz und nicht die Ziegel schädigen würde. Als weitere Quelle der Feuchtigkeit im Putz kann Kondensation an den Innenwandoberflächen angenommen werden. Zwischenzeitlich wurde vergrößerte Lüftungsöffnungen für eine verbesserte Lüftung (Trocknung) des Innenraumes gesorgt.

Tabelle 3: Ergebnisse der Feuchtebestimmungen an den Bohrkernen

Bohrkern	Segment	Material	Einwaage (g)	Feuchtegehalt (M-%)
BK 1	1.1	Putz	28,7	9,3
	1.2	Ziegel + Mörtel	118,1	1,5
	1.3	Ziegel + Mörtel	162,0	1,9
	1.4	Ziegel + Mörtel	171,0	1,7
BK 2	2.1	Putz	53,2	16,5
	2.2	Ziegel + Mörtel	187,9	5,3

3 Mörteluntersuchungen

Die Fugenüberarbeitung (Schlammverfahren) und die in Teilbereichen erforderlichen größeren Mauerwerksarbeiten (Neuaufmauern, Steinaustausch etc.) erfolgten mit dem Produkt „Fugenschlämme“ der Fa. Remmers [5].

Als Fugenschlämme wurde dem Material gemäß Technischem Merkblatt lediglich Wasser zugegeben (17%). Für die Verwendung als Mauer- und Fugenmörtel erfolgte die Abmagerung mit Sand im Verhältnis 2 RT Fugenschlämme : 1 RT Sand. Für die Laborprüfung wurde das Ausbreitmaß des Mörtels auf 175(±5) mm eingestellt.

Nach 28 Tagen Lagerung im Klimaraum (20°C / 65% r.F.) wurden die Festmörteleigenschaften beider Rezepturen ermittelt. Die Ergebnisse (Materialkennwerte) enthält Tabelle 4, die Wasseraufnahmekurven sind in Grafik 1 dargestellt.

Tabelle 4: Materialkennwerte

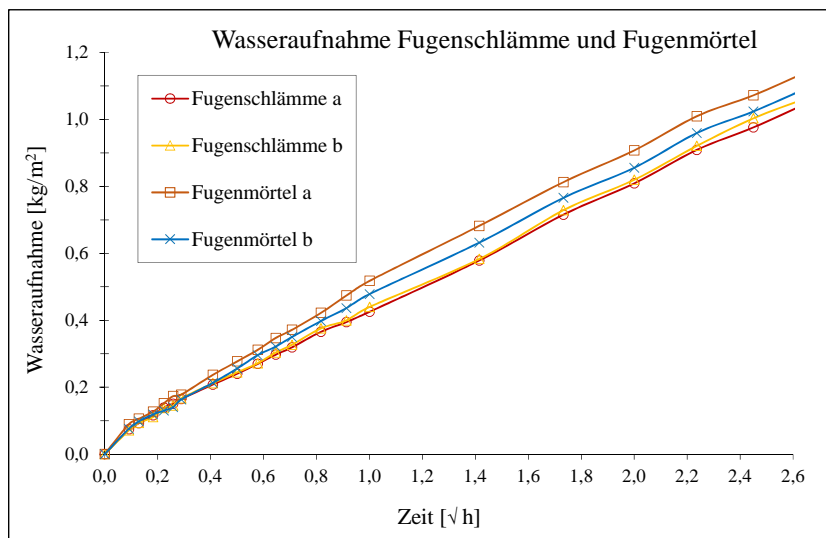
Proben-Bez.		Roh-dichte	Freie kapil-lare Wasser-aufn.	Offene Poro-sität	Festigkeiten				w-Wert
Prisma		[g/cm³]	[M-%]	[Vol.-%]	BZ		DF		[kg/(m²h ^{0,5})]
					[N/mm²]		[N/mm²]		
Fugen-schläm-me	1	1,71	5,9	10,1	6,6	MW: 7,2	27,8 / 28,1	MW: 27,8	0,38 (±0.01)
	2	1,71	5,9	10,1	7,0		27,4 / 27,3		
	3	1,71	6,0	10,2	8,0		27,6 / 28,3		
Fugen-mörtel	1	1,74	3,8	6,6	6,0	MW: 6,0	20,5 / 20,0	MW: 19,4	0,41 (±0.02)
	2	1,73	3,8	6,5	6,1		17,5 / 18,9		
	3	1,72	3,8	6,5	5,9		19,9 / 19,6		

Fugenschlämme:

Die hohe Druckfestigkeit der Fugenschlämme (27,8 N/mm²) ist für die praktische Anwendung nicht „bedrohlich“, weil die Schichtdicken auf den überarbeiteten Fugen max. im mm-Bereich liegen. Der Wasseraufnahmekoeffizient beträgt etwa 0,4 kg/(m²h^{0,5}). Dieser Wert kennzeichnet die Fugenschlämme bereits herstellerseitig als wasserabweisend.

Fugenmörtel:

Die Abmagerung durch die Zugabe von Sand führt vor allem zu einer Reduzierung der Druckfestigkeit gegenüber der Fugenschlämme auf etwa 20 N/m². Für die Verarbeitung mit hartem Klinker, wie er für den Elefanten typisch ist (Bockhorner Klinker) sind diese relativ hohen Werte akzeptabel. Der Wasseraufnahmekoeffizient wird durch die Sandzugabe kaum beeinflusst. Er beträgt – wie an der reinen Schlämme - etwa 0,4 kg/(m²h^{0,5}). Das bedeutet, auch der Mauer- und Fugenmörtel ist wasserabweisend.



Grafik 1: Wasseraufnahme der Fugenschlämme und des Fugenmörtels

4 Materialkennwerte der Reparaturziegel

Ein Teil der im Anlieferungszustand farblich sehr einheitlichen Reparaturziegel wurden zur Erzielung eines „Farbspiels“ nachträglich engobiert. Es wurden zwei farblich verschiedene Engoben gewählt, so dass insgesamt drei Farbtöne für die Gestaltung zur Verfügung standen (Abb. 6).



Abb. 6: Reparaturziegel RZ 1 bis 6 (RZ 1 und 2 nicht engobiert, RZ 3 bis 6 engobiert)

F. Schlütter/H.Juling, Baustoffkundliche Besonderheiten und Analysen im Rahmen der Sanierungsplanung für das Antikolonialdenkmal in Bremen

Aus den Rohdichte- und Wasseraufnahmewerten in Tabelle 4 ist ersichtlich, dass es sich sowohl bei den nicht engobierten als auch bei den nachträglich engobierten Ziegeln um keramische Baustoffe mit „Klinkereigenschaften“ handelt.

Darüber hinaus wird deutlich, dass der mit dem Engobieren verbundene zweite Brand zu Änderungen der Kennwerte geführt hat. Beispielsweise sind die Rohdichten von 2,17 auf etwa 2,25 g/cm³ gestiegen, die Wasseraufnahme hat sich in etwa halbiert (von 5,8 auf 3,3 M-%). Die Zunahme der Druckfestigkeit beträgt an RZ 4 und RZ 5 gegenüber dem nicht engobierten Ziegeln etwa 30%.

Tabelle 4: Materialkennwerte der Reparaturziegel

Proben- Bezeichnung	Rohdichte [g/cm ³]	Freie kapillare Wasseraufnahme [M-%]	Offene Porosität [Vol.-%]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
RZ 1	2,17	5,8	12,5	48,5
RZ 2	2,17	5,5	12,0	50,6
RZ 3	2,25	2,9	6,6	41,9
RZ 4	2,25	2,2	5,0	65,0
RZ 5	2,24	3,3	7,5	66,0
RZ 6	2,26	2,7	6,0	50,7

5 Wasseraufnahmemessungen nach Abschluss der Instandsetzung

An zwei Stellen des Denkmals wurde im Dezember 2016 nach Abschluss der Fugensanierung mittels Karstenschem Prüfröhrchen die Wasseraufnahme ermittelt [6], [7].



Abb. 7: Messstelle M1 nach der Fugensanierung



Abb. 8: Detail aus Abb. 7. Messstelle M1 nach der Fugensanierung. Nach 10 Minuten wurden 0,15 ml Wasser über die Fuge aufgenommen

Bei den Prüfungen am Bauwerk wurde an beiden Messstellen eine sehr geringe Wasseraufnahme über den Messzeitraum festgestellt (Abb. 7 und 8). Die aufgenommene Wassermenge beträgt max. 0,20 ml nach 10 min. Dieser Wert ist typisch für eine wasserabweisende Oberfläche.

Die Abb. 9 zeigt einen Teilbereich des Rückens nach Abschluss der Mauerwerks- und Fugensanierung. Die Stein- und Bauwerksgeometrie hat zur Folge, dass die Breiten der Fugen relativ stark variieren und alte und neue Fugen direkt nebeneinander liegen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind weder Flankenabrisse noch ungenügende Festigkeiten des Mörtels aufgetreten. Aus materialkundlicher Sicht wurde für diese „Rollschichten“ eine optimale Lösung gefunden. Eine regelmäßige augenscheinliche Begutachtung (Monitoring) als wichtiger Bestandteil einer denkmalgerechten Baupflege ist vorgesehen und wird wichtige Langzeiterkenntnisse liefern.



Abb. 9: Rücken des „Elefanten“ nach Abschluss der Mauerwerks- und Fugenkonsolidierung. Es sind grobkörnige alte (überschlammte) Fugen und neue Fugen erkennbar.

Literatur

- [1] Materialkundliche Untersuchungen am Niedersachsenstein in Worpswede. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht 3028-97 der MPA Bremen
- [2] Denkmalschutz am Beispiel Antikolonialdenkmal in Bremen. Beitrag von F. Deitschun in diesem Heft
- [3] Feuchte-, Salz- und Materialanalysen (Ziegel und Mörtel) am Antikolonialdenkmal „Elefant“ in Bremen. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht 6055-15 der MPA Bremen
- [4] Materialanalysen und Bauwerksuntersuchungen im Rahmen der Sanierungsplanung 2016/17 am Antikolonialdenkmal „Elefant“ in Bremen. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht 6186-16 der MPA Bremen
- [5] Remmers Fugenschlämme. Technisches Merkblatt
- [6] D’ham, G., Meinhardt, J., Niemeyer, R. (2011): Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme mit Messröhrchen nach Karsten und Mirowski. In: Auras, M.; Meinhardt, J.; Snethlage, R. (Hrsg.): Leitfaden Naturstein-Monitoring. Nachkontrolle und Wartung als zukunftsweisende Erhaltungsstrategie. Fraunhofer IRB-Verlag, ISBN 978-3-8167-8407-4. S.82-92
- [7] Wendler, E.; Snethlage, R. (1989): Der Wassereindringprüfer nach Karsten – Anwendung und Interpretation der Messwerte. In: Bautenschutz + Bausanierung 12 (1989). S. 110-115

Dauerhaftigkeit von Holzbauteilen - Anforderungen an eine verlässliche Gebrauchsdauervorhersage

L. Meyer-Veltrup
Hannover

Zusammenfassung

Bei der Verwendung von Holz im Außenbereich bedingen unterschiedliche Faktoren eine Herabsetzung der Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen schädliche Organismen. Dies wiederum führt zu einer Herabsetzung bzw. Limitierung der Gebrauchsdauer des jeweiligen Bauteils. Die Faktoren können vom Holz selbst ausgehen, z. B. Inhaltsstoffe, die eine erhöhte Resistenz bewirken, oder sie treten abhängig von der vorherrschenden Umgebung auf, wie z. B. die konstruktionsbedingte Holzfeuchtebelastung. Obwohl in der Literatur zahlreiche Dauerhaftigkeitsprüfungen im Freiland mit unterschiedlichen Holzarten, Holzschutzmitteln und weiteren holzbasierten Materialien beschrieben sind, hat sich bis heute keine umfassende Prüfmethodik zur Bestimmung der Gebrauchsdauer von Holzbauteilen innerhalb und außerhalb des Erdkontaktes durchgesetzt. Die etablierten Verfahren lassen kaum eine Aussage darüber zu, welche Gebrauchsdauer von einem bestimmten Material in einer Konstruktion oder einem Bauteil zu erwarten ist. Im vorliegenden Beitrag werden deshalb ein Überblick über derzeit angewandte Normen und Verfahren zur Dauerhaftigkeitsklassifizierung gegeben und weltweit angewandte Freiland-Prüfverfahren zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit von Holz vorgestellt und hinsichtlich ihrer Eignung diskutiert. Möglichkeiten und Grenzen des Holzfeuchte-Monitorings im Rahmen von Dauerhaftigkeitsprüfungen werden ebenfalls aufgezeigt. Abschließend wird ein Modell vorgestellt, welches anhand der Ergebnisse aus unterschiedlichen Labor- und Freilandstudien zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit, zur Vorhersage der Abbaugeschwindigkeit von Holz außerhalb des Erdkontaktes entwickelt wurde. In diesem Modell wurden zum ersten Mal Kennwerte zum Feuchteverhalten, d. h. zur Aufnahme und Abgabe von Flüssigwasser und Wasserdampf, sowie zur inhärenten Resistenz, implementiert.

Schlagworte: Dauerhaftigkeit, Prüfmethodik, Gebrauchsklasse 3

1 Einführung – Normen und Verfahren zur Dauerhaftigkeitsklassifizierung

Die Dauerhaftigkeit holzbasierter Produkte wird bis heute anhand von Verfahren ermittelt, welche sich prinzipiell zwei Gruppen zuordnen lassen, Laboruntersuchungen (z. B. gegen Basidiomyceten in Reinkultur nach EN 113, 1996) und Freilanduntersuchungen (z. B. in Erdeingrabeversuchen nach EN 252, 2015).

In der Literatur sind zahlreiche Dauerhaftigkeitsprüfungen im Freiland mit unterschiedlichen Holzarten, Holzschutzmitteln und weiteren holzbasierten Materialien beschrieben. Bis heute hat sich allerdings keine umfassende Prüfmethodik zur Bestimmung der Gebrauchsdauer von Holz-Bauteilen innerhalb und außerhalb des Erdkontaktes durchgesetzt. Die etablierten Verfahren lassen kaum eine Aussage darüber zu, welche Gebrauchsdauer von einem bestimmten Material in einer Konstruktion oder einem Bauteil zu erwarten ist.

Die ermittelten Ergebnisse aus Dauerhaftigkeitstests werden in Dauerhaftigkeitsklassen (DK) gemäß der europäischen Norm EN 350 (2016) überführt. In Kombination mit den Gebrauchsklassen (GK), die in EN 335 (2013) definiert sind, gibt EN 460 (1994) Auskunft darüber, ob die natürliche Dauerhaftigkeit der jeweiligen Holzarten ausreichend für eine bestimmte Verwendung ist, oder ob ein zusätzlicher Einsatz von Holzschutzmitteln notwendig ist (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bestimmung der Eignung von Hölzern mit entsprechenden Dauerhaftigkeitsklassen (DK) für eine Anwendung in den Gebrauchsklassen (GK) nach EN 460 (1994)

	DK 1	DK 2	DK 3	DK 4	DK 5
GK 1	○	○	○	○	○
GK 2	○	○	○	(○)	(○)
GK 3	○	○	(○)	(○) – (x)	(○) – (x)
GK 4	○	(○)	(x)	x	x
GK 5	○	(x)	(x)	x	x

- Natürliche Dauerhaftigkeit ausreichend
- (○) Natürliche Dauerhaftigkeit üblicherweise ausreichend, aber unter bestimmten Gebrauchsbedingungen kann eine Behandlung empfehlenswert sein
- (○) – (x) Natürliche Dauerhaftigkeit kann ausreichend sein, aber in Abhängigkeit von der Holzart, ihrer Durchlässigkeit und der Gebrauchsbedingung kann eine Schutzbehandlung notwendig sein
- (x) Eine Schutzbehandlung ist üblicherweise empfehlenswert, aber unter bestimmten Gebrauchsbedingungen kann die natürliche Dauerhaftigkeit ausreichend sein
- x Schutzbehandlung notwendig

Diese Vorgehensweise (Bild 1) stellt ein nicht-kontinuierliches Verfahren dar, welches nahezu keine Aussage darüber zulässt, wie lange das Material in einer bestimmten Konstruktion bzw. einem bestimmten Bauteil seine Funktion erfüllen wird (Suttie et al. 2014). Hierzu wäre es unter anderem notwendig, den Einfluss der jeweiligen Konstruktionsdetails auf das entstehende feuchteinduzierte Befallsrisiko zu ermitteln.



Bild 1: Verfahren zur Überprüfung, ob die natürliche Dauerhaftigkeit einer Holzart ausreichend für eine bestimmte Verwendung ist

Da Holzbauteile und Holzprodukte zunehmend bestimmten Aufgaben und Funktionen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zugeordnet werden, ist eine möglichst genaue Bestimmung der zu erwartenden Gebrauchsdauer enorm wichtig. Hierzu ist es notwendig, den Einfluss der jeweiligen Konstruktionsdetails auf das entstehende feuchteinduzierte Befallsrisiko zu ermitteln. Bislang werden diese Aspekte in Standardprüfungen zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit von Holz nicht ausreichend berücksichtigt.

2 Prüfmethoden zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit mit und ohne Erdkontakt (GK 4 und 3)

Die etablierten Prüfmethoden für die Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit im Freiland weisen in Bezug auf die unterschiedlichen Gebrauchsklassen (EN 335, 2013) ein starkes Ungleichgewicht auf: Im Bereich der Dauerhaftigkeitsuntersuchung von Holz im Erdkontakt (Gebrauchsklasse 4, GK 4) wird nahezu ausschließlich der Erdeingraveversuch nach EN 252 (2015) durchgeführt. Bei dieser Prüfung ist eine Anpassung des Prüfaufbaus an mögliche Konstruktionsvariationen in der Regel nicht notwendig,

da neben der Beanspruchung durch die Temperatur und dem Vorkommen holzzerstörender Organismen, üblicherweise auch von einem stets ausreichend hohen Feuchte-niveau innerhalb der Erde auszugehen ist (Wakeling 2006, Augusta 2007, Brischke et al. 2011). Außerhalb des Erdkontaktes (GK 3.1 und 3.2) hingegen variiert die Feuchtebelastung je nach Bauteil (z. B. Terrassendeck, Fassade, Fenster) und Aufbau der Konstruktion (u. a. Dachüberstand, Himmelsrichtung) teils sehr stark. Aus diesem Grund ist mehr als eine Prüfmethode notwendig, um die Eignung bestimmter holzbasierter Materialien für die entsprechende Einbausituation und Konstruktion außerhalb der Erde zu prüfen.

Mehr als 60 verschiedene Prüfverfahren für Anwendungen außerhalb des Erdkontaktes werden in der Literatur beschrieben (De Groot 1982, Fougereousse 1976, Råberg et al. 2005, Fredriksson 2010, Brischke et al. 2012). Unter diesen Prüfverfahren finden sich bis heute aber lediglich acht standardisierte Verfahren: zwei europäische Standards (EN 330, 2015; CEN/TS 12037, 2003); fünf US Standards (AWPA E9, 2013; AWPA E16, 2013; AWPA E18, 2013; AWPA E25, 2013; AWPA E27, 2013) und ein australischer Standard (AWPC 2007).

Alle standardisierten Methoden sind entwickelt worden, um unterschiedliche Holzarten, Modifizierungen oder Holzschutzmittel untereinander zu vergleichen und ihre Eignung zu untersuchen (Fredriksson 2010). Obwohl sich alle Methoden bestimmten Design-Prinzipien zuordnen lassen (Überblattungen, Schlitz- und Zapfenverbindungen, Kontakt zu Betonoberflächen) wurde bisher nur selten betrachtet, inwiefern tatsächliche Einbausituationen durch die verschiedenen Prüfmethoden widergespiegelt werden. Somit ist es nicht möglich, verlässliche Aussagen über die zu erwartende Gebrauchsdauer bestimmter Holzbauteile aus den jeweiligen Versuchsergebnissen abzuleiten.

Zusammengesetzte Prüfkörper, wie der L-Joint- (EN 330, 1993) und der Lap-Joint-Test (CEN/TS 12037, 2003) (Bild 2) können aus zwei oder mehr Prüfkörperteilen bestehen, welche auf unterschiedliche Weise miteinander verbunden sind.

In unterschiedlichen Studien (z. B. Clausen und Lindner 2011, Meyer et al. 2013) zeigten sich höhere Holzfeuchteschwankungen im Lap-Joint-Test (Clausen und Lindner 2011) im Vergleich zum L-Joint Test. Dennoch stellten Sailer et al. (1999), Grinda et al. (2001) und Westin et al. (2002) eine geringe pilzliche Abbauaktivität im Lap-Joint-Test fest, besonders dann, wenn der Test in nordeuropäischen Ländern durchgeführt wurde. Terziev und Edlund (2000) stellten weiterhin fest, dass obwohl das Test-Design sehr realitätsnah ist, die Fäulnis nur langsam voranschritt.

Im Hinblick auf praktische Aspekte wie z. B. Kosten und Zeitbedarf zur Herstellung der Prüfkörper ist sowohl die aufwändige Schlitz- und Zapfenverbindung beim L-Joint als auch die Prüfkörpergröße beim Lap-Joint negativ zu bewerten. Das Splintholz von Kiefern, welches als Referenzholz dient, ist oftmals zu schmal, um daraus Lap-Joint-Prüfkörper zu fertigen.

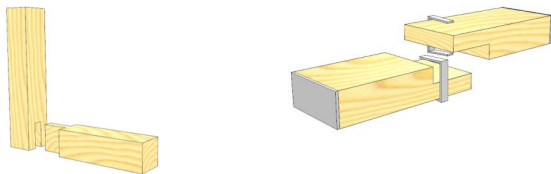


Bild 2: Links: L-Joint Test nach EN 330 (2015). Rechts: Lap-Joint Test nach CEN/TS 12037 (2003)

Prüfaufbauten, die aus einzelnen Elementen bestehen, variieren größtenteils in deren Orientierungen. Am weitesten verbreitet sind verschiedene Deck- und Fassaden-Tests (Bild 3), wobei die horizontal angeordneten Deck-Tests im Vergleich das höhere feuchteinduzierte Befallsrisiko hervorrufen. Hier kann sich das Wasser auf den horizontal angeordneten Flächen sammeln, was zu längeren Befeuchtungsphasen führt, während vertikale Anordnungen ein Abfließen des Regenwassers und somit ein schnelleres Abtrocknen bewirken. Diese Testdesigns zeichnen sie sich zum einen durch eine einfache Herstellung und zum anderen durch ihre große Ähnlichkeit zu Realbauteilen aus.

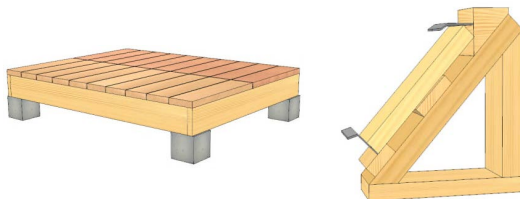


Bild 3: Links: Decking-Test nach AWP E25 (2013). Rechts: Wood-panel-Test nach Öquist (1988)

Ein sehr hohes Potential für Feuchteanreicherungen über einen langen Zeitraum bieten sogenannte Block- und Stapelversuchen, in denen mehrere Prüfkörper aufeinander geschichtet sind, wodurch Wasserfallen entstehen. Zusätzlich zu den Wasserfallen sorgen große Kontaktflächen für gute Bedingungen für einen pilzlichen Abbau. Die erdnahe Exposition bietet weiterhin ein hohes Potential für die Besiedlung und rasche Verbreitung von holzerstörenden Pilzen (Larnøy et al. 2014). Ein Nachteil dieses Designs ist, dass die Anordnung der Prüfkörper dazu führt, dass der gesamte Aufbau eine einzige statistische Parallele darstellt (Zahora 2008, Brischke et al. 2011), was sich allerdings durch den Einsatz von inerten Abstandshalter vermeiden lässt.



Bild 4: Links: Block-Test nach Pfeffer et al. (2008). Rechts: Horizontal-double-layer-Test nach Rapp und Augusta (2004).

Bündel-Tests kombinieren die Vorteile der Test-Designs, welche Wasserfallen bilden (Überblattungen und Schlitz- und Zapfenverbindungen), mit denen der Block-Tests, welche große Kontaktflächen erzeugen. Sie bestehen aus zwei oder mehr Prüfkörpersegmenten, welche durch Schrauben, Kabelbinder oder Metallklammern miteinander verbunden sind (Bild 4).

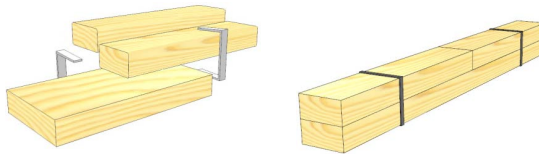


Bild 4: Links: Sandwich-Test nach Zahora (2008). Rechts: Bundle-Test nach Brischke et al. (2012).

Werden Prüfkörper auf Betonblöcken gelagert wie bei dem standardisierten Ground-proximity-Test (AWPA E18, 2013) oder dem Close-to-ground-Mini-Stake-Test (Westin et al. 2004) (Bild 5), sind die Prüfkörper sehr nah an der Erde exponiert, was zu hohen Feuchten bedingt durch Spritzwasser und ein geringes Abtrocknungspotential führt. Dieser Testaufbau spiegelt die Bedingungen, wie sie in üblichen Konstruktionen und Bauteilen außerhalb des Erdkontakts herrschen, nur bedingt wider (Zahora 2008).

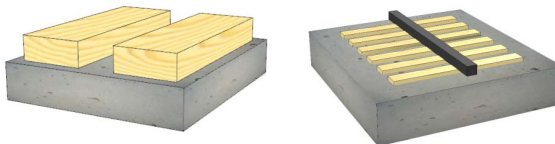


Bild 5: Links: Ground-proximity-Test nach AWPA E18 (2013). Rechts: Close-to-ground-Mini-Stake-Test nach Westin et al. (2004).

3 Holzfeuchte-Monitoring im Rahmen von Dauerhaftigkeitsprüfungen

Insbesondere für Prüfungen außerhalb der Erde, welche Einbausituationen wie sie in GK 3.1 oder GK 2 herrschen, widerspiegeln, können dazu führen, dass die Testlaufzeiten enorm lang sind. Aus diesem Grund wurden verschiedene Ansätze zur Ermittlung des feuchteinduzierten Befallsrisikos und zur Modellierung der Gebrauchsdauer entwickelt (Brischke et al. 2014).

Feuchteaufzeichnungen stellen in diesen Versuchen einen erheblichen Mehrwert dar, wenn sie parallel zu den klassischen Befallsbestimmungen durchgeführt werden. Vor allem für die sogenannten „alternativ“ behandelten Hölzer, wie thermisch und chemisch modifizierte sowie hydrophobierte Hölzer, liefert ein Feuchte-Monitoring wesentliche Informationen über ihre Performance.

Pilzlicher Holzabbau erfordert flüssiges Wasser, um den dafür notwendigen Enzymtransport in die Zellwände zu ermöglichen. Daraus resultierend steigt das Risiko für einen Pilzbefall bei Holzfeuchten oberhalb Fasersättigung. Um das Feuchteverhalten von Holz zu charakterisieren und den Effekt einer Feuchtebelastung auf die Dauerhaftigkeit zu quantifizieren, sind verschiedene Methoden entwickelt worden. (Brischke et al. 2014).

Zur Bestimmung der Holzfeuchte lassen sich direkte und indirekte Methoden einsetzen (u. a. Glass und TenWolde 2007) (Bild 6). Direkte gravimetrische Messungen lassen sich manuell über eine Waage oder automatisiert und rechnergestützt mit Wägezellen durchführen (Van den Bulcke et al. 2008). Diese Methode ist für ihre hohe Genauigkeit bekannt und ermöglicht die Bestimmung der globalen Holzfeuchte eines Holzprüfkörpers, aber nicht die Holzfeuchte an einer bestimmten Position, wie beispielsweise einem kritischen Konstruktionsdetail (lokale Holzfeuchte). Abmessungen und Gewicht der Prüfkörper sind ebenfalls begrenzt und die Methode ist anfällig für Wind und Regenereignisse, weshalb eine inerte Referenz mitgeprüft werden muss.

Im Gegensatz dazu erlauben indirekte Methoden wie das kapazitive Verfahren oder hygroskopische Messgeräte die Bestimmung der lokalen Holzfeuchte. Kapazitive Messungen sind stark abhängig von der Rohdichte des Holzes, die aber oft unbekannt ist und innerhalb eines Untersuchungsobjektes variiert. Hygroskopische Messungen basieren auf dem Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte, Temperatur und Holzgleichsfeuchte. Ausgehend von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte in einem Bohrloch lässt sich auf die Holzfeuchte schließen (u. a. Evans 2004, Dyken und Klepp 2010). Die Methode ist aber auf den Feuchtebereich unterhalb Fasersättigung beschränkt, der für pilzlichen Holzabbau allerdings nahezu unbedeutend ist.

Eine weitere indirekte Messmethode, die häufig eingesetzt wird, ist das elektrische Widerstandsverfahren (Du 1991). Es ermöglicht ebenfalls die Bestimmung der lokalen Holzfeuchte zwischen zwei Messelektroden, so dass sich kritische Konstruktionsdetails untersuchen lassen. Die elektrische Leitfähigkeit des Holzes hängt allerdings u. a.

L. Meyer-Veltrup, Dauerhaftigkeit von Holzbauteilen - Anforderungen an eine verlässliche Gebrauchsdauervorhersage

von der Holzart und der Holztemperatur ab, so dass holzartspezifische Kennlinien benötigt werden und eine Temperaturkompensation durchgeführt werden muss. Vorangegangene Untersuchungen haben gezeigt, dass Messungen mit ausreichend hoher Genauigkeit zwischen 15 und 50 % Holzfeuchte möglich sind (Brischke et al. 2008). Elektrische Widerstandsmessungen an modifiziertem und mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz ergaben ebenfalls plausible Messwerte weit über Fasersättigung (Brischke und Lampen 2014).

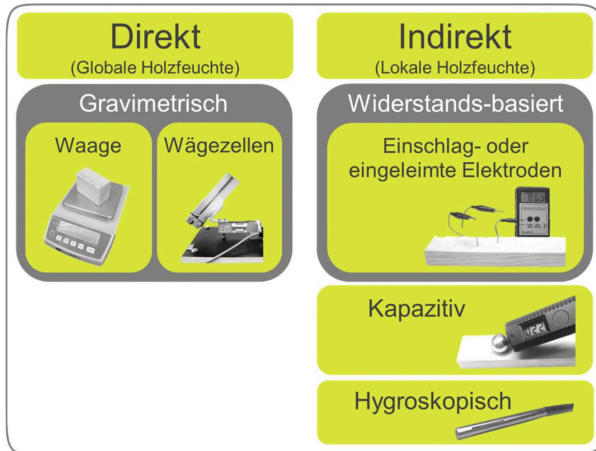


Bild 6: Methoden zur Bestimmung der Holzfeuchte

Um die Aussagekraft von Feuchtemessungen für eine Bestimmung der Gebrauchsdauer von Holzbauteilen zu erhöhen, wurden von Meyer et al. (2015) physiologische Schwellenwerte für den pilzlichen Abbau sowohl an nativem als auch an modifiziertem Holz in Stapelversuchen ermittelt (Bild 7). Wachstum und Holzabbau verschiedener Basidiomyceten wurde quantitativ an gestapelten Hölzern mit einem Feuchtegradienten ermittelt. Die Holzarten selbst, aber auch der verwendete Prüfpilz zeigten eine Wirkung auf die Feuchteanforderungen für den pilzlichen Abbau des Holzes. So ergab sich beispielsweise für Buche ein Grenzwert für den pilzlichen Abbau durch *Trametes versicolor* von 15,4 % Holzfeuchte bei einer Fasersättigungsfeuchte von 33,8 %. Der Pilz war also bereits deutlich unter der Fasersättigungsfeuchte dazu in der Lage, das Holz abzubauen. Da den Prüfpilzen hierbei eine externe Feuchtequelle zur Verfügung stand, darf angenommen werden, dass die erzielten Grenzwerte unter Freilandbedingungen höher und die ermittelten Grenzwerte daher mit einer Sicherheitsspanne belegt sind. Neben den praktischen Aspekten und Besonderheiten der jeweiligen Methode zur Holzfeuchtemessung sollten daher in jedem Fall die entsprechenden Grenzwerte zur Interpretation von Feuchtemessungen berücksichtigt werden.

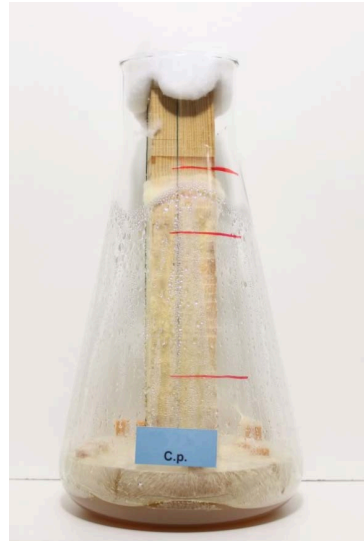
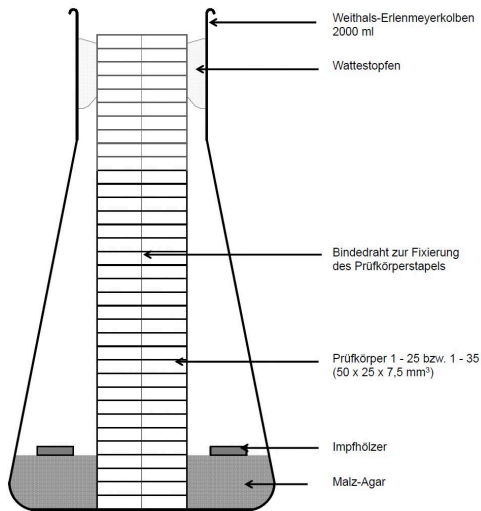


Bild 7: Links: Testaufbau des Stapelversuchs (Foto links aus: Brischke et al. 2017)

4 Modellierung der Gebrauchsdauer

Die Vorhersage der Performance von Bauprodukten aus Holz und anderen biobasierten Baustoffen wird immer wichtiger. Daten zum Verhalten verschiedener Materialien in unterschiedlichen Einbausituationen und Konstruktionen werden sowohl von Designern, Planern, Behörden und auch Zulassungsstellen angefordert, sind aber bisher nur selten verfügbar (Brischke und Jones 2016). Einerseits sind Rohdaten über die Performance nur spärlich dokumentiert, andererseits ist die Anzahl der zuverlässigen Vorhersagemodelle begrenzt. In der Vergangenheit wurde zumindest bis zu einem gewissen Grad zusätzlich zur traditionellen Dauerhaftigkeitsprüfung von unbehandelten sowie modifiziertem und chemisch geschütztem Holz an Vorhersagemodellen gearbeitet, wobei die Wirksamkeitsprüfung von Holzschutzmitteln seit Jahrzehnten aufgrund deren überwältigender Marktrelevanz fokussiert wurde.

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Modellierungsansätze entwickelt (Brischke und Thelandersson 2014), die zur Vorhersage der Performance von biobasierten Baustoffen, insbesondere von Holz und Holzprodukten, verwendet werden können. Hierbei wurden insbesondere die Effekte des Klimas und der Materialresistenz betrachtet, welche in enger Verbindung zur Feuchteperformance des Materials stehen. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen von Design, konstruktiven Schutzmaßnahmen, Mikroklima und Beschichtungen auf das feuchteinduzierte Befallsrisiko betrachtet.

Die Vorhersage der Performance findet in der Regel über einen dreistufigen Ansatz statt (Brischke und Thelandersson 2014, Brischke et al., 2015, Niklewski et al., 2016). Das hierbei verwendete Designprinzip beschreibt einerseits die klimatische Belastung und andererseits den Widerstand des Materials. Die Akzeptanz für ein ausgewähltes Material und Design wird demnach wie folgt ausgedrückt:

$$\text{Exposition} \leq \text{Materialresistenz}$$

In anderen Worten sollte die aus der Exposition resultierende Last niemals die entgegengebrachte Materialresistenz überschreiten. Um "beide Seiten der Gleichung" quantifizieren zu können, werden mindestens drei getrennte Modelle benötigt, mit denen sich jeweils eine Dosis berechnen lässt:

1. Resistenz-Modell

Ein Resistenz-Modell sollte die Quantifizierung der Beständigkeit eines Materials gegenüber holzerstörenden Organismen auf der Basis der Material-inhärenten Resistenz sowie des Wasseraufnahme- und -abgabeverhaltens ermöglichen. Ein erster Ansatz, Labor- und Freilanddaten zur Vorhersage des Materialwiderstandes einer Vielzahl von natürlich dauerhaften Holzarten auf der Basis eines Dosis-Wirkungs-Modells zu verwenden, wurde von Brischke et al. (2015) und Meyer-Veltrup et al. (2017) entwickelt und angewandt.

2. Abbau-Modell

Die Eingangsgrößen für Abbau-Modelle sind wesentliche Materialklimaparameter wie Holzfeuchte und -temperatur. Das Ziel eines Abbau-Modells ist es, die Zeit bis zum Beginn und den Fortschritt des Abbaus durch holzerstörende Organismen anhand der Veränderung des Materialklimas über die Zeit vorherzusagen. Um die Lebensdauer oder Abbauraten vorherzusagen, haben sich Dosis-Wirkungs-Beziehungen etabliert. Hierbei können verschiedene Grenzzustände definiert werden, um einen kritischen Punkt wie z. B. den Beginn des Zerfalls, das Versagen des Materials oder einen bestimmten Masseverlust hervorgerufen durch pilzlichen Abbau zu bestimmen (Thelandersson et al. 2011, Viitanen et al. 2010)

3. Expositions-Modell

Das Materialklima (Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse innerhalb des Materials) wird vor allem durch das Mikroklima bestimmt, welches sich beeinflusst durch die Konstruktion entwickelt (Beschattung, Belüftung, Dachüberstand, Drainagen, Wasserfallen oder Überblattungen).

Bild 8 stellt ein umfassendes, performance-basiertes Designkonzept dar, welches es ermöglicht, die Wirkung verschiedener Konstruktionsdetails auf das resultierende Materialklima zu berücksichtigen. Das gleiche Konzept kann verwendet werden, um die Wirkung des lokalen Klimas in Abhängigkeit von der geographischen Lage zu modellieren und schließlich die Dosis in Bezug auf die klimatische Belastung einerseits und den Widerstand des Materials andererseits zu betrachten.



Bild 8: Performance-basiertes Designkonzept. Eine ausgewählte Kombination aus Material und Design wird als geeignet betrachtet wenn die Expositions-Dosis [hier: Exposition] gleich oder geringer als die kritische Dosis, resultierend aus der Resistenz des Materials [hier: Resistenz], ist

5 Ausblick - Anforderungen an eine verlässliche Gebrauchsdauervorhersage

Da Holzbauteile und Holzprodukte zunehmend hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bewertet und bestimmten Aufgaben und Funktionen zugeordnet werden, ist eine möglichst exakte Bestimmung der zu erwartenden Gebrauchsdauer enorm wichtig. Hierzu sind Methoden und Verfahren notwendig, die es erlauben den Einfluss der jeweiligen Konstruktionsdetails auf das entstehende feuchteinduzierte Befallsrisiko zu ermitteln. Bislang werden diese Aspekte in Standardprüfungen zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit von Holz jedoch nicht ausreichend berücksichtigt.

Eine einzige Test-Methode zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit, die die vielfältigen feuchteinduzierten Belastungen von Holz im Außenbereich widerspiegelt, scheint es nicht zu geben. Aus diesem Grund sollte vielmehr eine anwendungsbezogene Kombination aus mehreren Methoden gewählt werden, welche sowohl die inhärente Resistenz des Materials selbst, als auch dessen Feuchteverhalten berücksichtigt.

Das hier vorgestellte Modellierungskonzept zur Vorhersage der Abbaugeschwindigkeit von Holz ist aufgrund seines Aufbaus transparent und bietet die Möglichkeit, weitere Aspekte wie das Klima, Alterungseffekte, die Neigung zur Rissbildung oder andere holzerstörende Organismen wie Termiten, mit einzubeziehen.

6 Literatur

- [1] Augusta, U. (2007): Untersuchung der natürlichen Dauerhaftigkeit wirtschaftlich bedeutender Holzarten bei verschiedener Beanspruchung im Außenbereich [Investigation of the natural durability of economically important wood species under different outdoor exposures]. Doctoral thesis, University Hamburg.
- [2] AWWPA E16 (2013): Standard Field Test for Evaluation of Wood Preservatives to be Used Above Ground (UC3B) Horizontal Lap-Joint Test. American Wood Protection Association.
- [3] AWWPA E18 (2013): Standard Field Test for Evaluation of Wood Preservatives to be Used Above Ground (UC3B), Ground Proximity Decay Test. American Wood Protection Association.
- [4] AWWPA E25 (2013): Standard Field Test for Evaluation of Wood Preservatives to be Used Above Ground (UC3B), Decking Test. American Wood Protection Association.
- [5] AWWPA E9 (2013): Standard Field Test for the Evaluation of Wood Preservatives to be Used Above Ground (UC3A and UC3B), L-Joint Test. American Wood Protection Association.
- [6] AWPC (2007): Protocols for Assessment of Wood Preservatives. Australian Wood Preservation Committee. Ensis, Clayton.
- [7] Brischke, C., Rapp, A.O., Bayerbach, R. (2008): Measurement system for long-term recording of wood moisture content with internal conductively glued electrodes. *Building and Environment* 43: 1566-1574.
- [8] Brischke, C., Welzbacher, C. R., Meyer, L., Bornemann, T., Larsson Brelid, P., Pilgård, A., Frühwald Hansson, E., Westin, M., Rapp, A.O., Thelandersson, S., Jermer, J. (2011): Service life prediction of wooden components – Part 3: Approaching a comprehensive test methodology. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 11-20464.
- [9] Brischke, C., Meyer, L., Alfredsen, G., Humar, M., Francis, L., Flaete, P.O., Larsson-Brelid, P. (2012): Durability of timber products - Part 1: Inventory and evaluation of above ground literature data on natural durability of timbers. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 12-20498.
- [10] Brischke, C., Thelandersson, S. (2014): Modelling the outdoor performance of wood products – a review on existing approaches. *Construction and Building Materials* 66: 384-397.
- [11] Brischke, C., Lampen, S.C. (2014): Resistance based moisture content measurements on native, modified, and preservative treated wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 72: 289-292.
- [12] Brischke, C., Meyer, L., Suttie, E. (2014): Towards performance based durability standards for wood in construction – Part 2: Considering moisture risks in

- wooden components. In: Proc. of the 13th International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC 2014), Sao Paulo, Brazil.
- [13] Brischke, C., Meyer-Veltrup, L., Thelandersson, S., Malo, K.A. (2015): Wood protection by design – concepts for durable timber bridges. In: W. Perdoch, M. Broda, (Eds.), Proceedings of the 11th Meeting of the Northern European Network on Wood Science and Engineering, 13-14th September 2015, Poznan, Poland: 156-162.
- [14] Brischke, C., Jones, D. (2016): Performance of bio-based building products - Recent activities within COST Action FP 1303, *Holztechnologie* 57: 47-54.
- [15] Brischke, C., Soetbeer, A., Meyer-Veltrup, L. (2017): The minimum moisture threshold for wood decay by basidiomycetes revisited. A review and modified pile experiments with Norway spruce and European beech decayed by *Coniophora puteana* and *Trametes versicolor*. *Holzforschung*. Accepted for publication.
- [16] CEN/TS 12037 (2003): Wood preservatives – Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative exposed out of ground contact – Horizontal lap-joint method. Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, Belgium.
- [17] Clausen, C.A. and Lindner, D.L. (2011): Shading Aboveground L-joint and Lap-joint Tests: Comparison of White Pine and Sugar Maple Test Assemblies. *Forest Products Journal*, 61: 265-269.
- [18] De Groot, R.C. (1992): Test assemblies for monitoring decay in wood exposed above ground. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 29: 151–175.
- [19] Du, Q. (1991): Einfluss holzartspezifischer Eigenschaften auf die elektrische Leitfähigkeit wichtiger Handelshölzer. Dissertation, Universität Hamburg.
- [20] Dyken, T., Klepp, H. (2010): Monitoring the moisture content of timber bridges. In: Proc. of the International Conference on Timber Bridges, Lillehammer, Norway, 223-236.
- [21] EN 113 (1996): Wood preservatives - Method of test for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes - Determination of the toxic values. Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, Belgium.
- [22] EN 252 (2015): Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, Belgium.
- [23] EN 330 (2015): Wood preservatives - Determination of the relative protective effectiveness of a wood preservative for use under a coating and exposed out-of-ground contact - Field test: L-joint method. Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, Belgium.
- [24] EN 335 (2013): Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, Belgium.

- [25] EN 350 (2016): Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, Belgium.
- [26] EN 460 (1994): Durability of wood and wood based products - Natural durability of solid wood. Guide to durability requirements for wood to be used in hazard classes. Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, Belgium.
- [27] Evans, F.G. (2004): Monitoring a timber bridge in Norway. International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 04-40282.
- [28] Fougèrouse, M. (1976): Wood Preservatives: Field Tests Out of Ground Contact - Brief Survey of Principles and Methodology. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 76-269.
- [29] Fredriksson, M. (2010): Methods for determination of moisture conditions in wood exposed to high moisture levels. Thesis (Licentiate), Lund University.
- [30] Glass, S.V., TenWolde, A. (2007): Review of in-service moisture and temperature conditions in wood-frame buildings. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA.
- [31] Grinda, M., Bergman, Ö., Borck, H.V., Dickinson, D., Esser, P., Gründlinger, R., Leithoff, H., Molnar, S., Paajanen, L., Pfabigan, N., Suttie, E., Thomassin, F., Nilsson, T., Van Acker, J., Van Der Zee, M., Voss, A. (2001): A Field Study on the Suitability of the European Lap-Joint Test. The International Research Group on Wood Preservation IRG/WP 01-20239.
- [32] Larnøy, E., Friese, F., Alfredsen, G., Militz, H. (2014): Comparison of decay assessment methods for field trials. *Agarica* 34: 47-53.
- [33] Meyer, L., Brischke, C., Rieken, J. (2013): Testing wood durability in 27 differently severe above-ground exposure conditions. The International Research Group on Wood Protection IRG/WP 13-20517.
- [34] Meyer, L., Brischke, C. (2015): Fungal decay at different moisture levels of selected European-grown wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation* 103: 23-29.
- [35] Meyer-Veltrup, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar M., Flåte, P.O., Isaksson, T., Larsson Brelid, P., Westin M., Jermer J. (2017): The combined effect of wetting ability and durability on outdoor performance of wood – development and verification of a new prediction approach. *Wood Science and Technology* 51: 615-637.
- [36] Niklewski, J., Fredriksson, M., Isaksson, T. (2016): Moisture content prediction of rain-exposed wood: Test and evaluation of a simple numerical model for durability applications. *Building and Environment* 97: 126-136.
- [37] Öqvist, H. (1988): The durability of outdoor wood, Field test: Wood panels exposure out of ground contact. Report, Department of forest products, Uppsala Sweden, 1-38.

- [38] Pfeffer, A., Krause, A., Militz, H. (2008): Testing modified wood and natural durability in use class 3 with the block-test approach. In: Cost Action E37 Final Conference, Bordeaux.
- [39] Råberg, U., Edlund, M.-L., Terziev, N. and Land, C.J. (2005): Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe – An overview. *Journal of Wood Science*, 51(5):, 429–440.
- [40] Rapp, A.O. and Augusta, U. (2004): The full guideline for the “double layer test method” - A field test method for determining the durability of wood out of ground. The International Research Group on Wood Protection, IRG-WP 04-20290.
- [41] Sailer, M., Rapp, A.O., Peek, R.D., Nurmi, A., Beckers, E.P.J (1999): Intrim balance after 20 months of lap-joint exposure. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 99-20164.
- [42] Suttie, E., Brischke, C., Meyer, L., Van Acker, J., Kutnik, M., Heisel, E., Englund, F., Jermer, J., Thelandersson, S., Polášek, M., and Lorenzo, D. (2014): Performance Classification of Wood in Construction – Drafting a User Friendly European Standard. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 14-20545.
- [43] Terziev, N. and Edlund, M.L. (2000): Attempt for developing a new method for above ground field testing of wood durability. The International Research Group on Wood Preservation IRG/WP 06-20199.
- [44] Thelandersson, S., Isaksson, T., Suttie, E., Frühwald Hansson, E., Toratti, T., Grüll, G., Viitanen, H., Jermer, J. (2011): Quantitative design guideline for wood in outdoor above ground applications. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 11-20465.
- [45] Van den Bulcke, J., Van Acker, J., Stevens, M. (2008): Service Life Prediction of Wood: Scale-dependent tools within a Bioengineering Framework. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 08-20387.
- [46] Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., Räisänen, J. (2010): Towards modelling of decay risk of wooden materials. *European Journal of Wood and Wood Products* 68: 303-313.
- [47] Wakeling, R.N. (2006): Is Field Test Data from 20 x 20 mm Stakes Reliable? Effects of Decay Hazard, Decay Type and Preservative Depletion Hazard. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 06-20327.
- [48] Westin, M., Rapp, A.O., Hadi, Y.S., Nilsson, T. (2002): Field trials with mini-stakes. The International Research Group on Wood Preservation IRG/WP 02-20244.
- [49] Westin, M., Rapp, A.O., Nilsson, T. (2004): Durability of pine modified by 9 different methods. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 04-40288.

- [50] Zahora, A. (2008): Above ground field testing - Influence of test method and location on the relative performance of various preservative systems. The International Research Group on Wood Protection IRG/WP 08-20393.

Dauerhaftigkeit von Holz in der nationalen und europäischen Normung – Neue Entwicklungen und Tendenzen

C. Brischke
Göttingen

Zusammenfassung

Die Bestimmung der Dauerhaftigkeit von Holz ist zunehmend der Nachfrage nach verlässlichen Daten zur Bestimmung der Performance von Bauprodukten aus holzbasierten Werkstoffen unterworfen. Die Vorhersage der Gebrauchsdauer von Holzbauteilen und Holzbauwerken spielt dabei eine zentrale Rolle. In vielen Normenwerken – sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene – spiegelt sich der Trend hin zu einer umfassenderen Betrachtung der Dauerhaftigkeit auch unter Berücksichtigung der jeweiligen klimatischen und konstruktionsbedingten Umgebungseinflüsse wieder. Zusätzliche für die Dauerhaftigkeit von Holz wichtige Parameter wie Feuchteverhalten, Rissneigung und Alterung des Holzes sowie neue Materialien mit neuartigen Wirkmechanismen finden Berücksichtigung.

Positive Entwicklungen und ein teilweise radikales Umdenken im Bereich der Normung von Dauerhaftigkeitsaspekten von Holz und Holzwerkstoffen sind zu beobachten. Trotz der durchweg positiv zu bewertenden Tendenz von reiner Wirksamkeitsprüfung hin zu einer umfassenden Performance-Klassifizierung, sind aber auch Rückschritte bei der Überarbeitung bestehender Normen zu beobachten, die deren Anwendung in der Praxis erschweren oder gänzlich unmöglich machen. Insbesondere die Überarbeitung der europäischen Norm EN 350 hat viele Erwartungen in ein transparenteres und einfacher anwendbares Regelwerk enttäuscht und weitere Überarbeitungen anderer Normen auf nationaler Ebene erforderlich gemacht. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über aktuelle Änderungen, den derzeitigen Stand und zu erwartende Neuerungen und Tendenzen in der deutschen und europäischen Normung im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit von Holz und holzbasierten Produkten im Bau- und Sanierungssektor.

1 Einführung – Gefährdung von Holzbauteilen durch Organismen

Holz und holzbasierte Werkstoffe sind insbesondere im Außenbereich einer Reihe von biotischen und abiotischen Faktoren ausgesetzt, die eine gewisse Materialresistenz erforderlich machen, um die jeweils gewünschte Gebrauchsdauer von Holzbauwerken und anderen Holzprodukten zu gewährleisten. Insbesondere die sogenannte ‚biologische‘ Dauerhaftigkeit von Holz gegenüber holzverfärbenden und holzerstörenden Pilzen und Bakterien, holzerstörenden Insekten und marinen Holzzerstörern hängt neben der Verfügbarkeit von Sauerstoff maßgeblich von folgenden Faktoren ab: 1.) der Materialresistenz, 2.) dem Vorkommen bestimmter Schadorganismen, 3.) der Material- bzw. Holzfeuchte, und 4.) der Material- bzw. Holztemperatur.

Sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene werden die Einsatzbereiche von Holzprodukten insbesondere für tragende Anwendungen deshalb Gebrauchsklassen (GK; früher: Gefährdungsklassen) zugeordnet, die durch das Auftreten bestimmter Organismen und unterschiedliche Feuchtebedingungen definiert werden. In Tabelle 1 sind die zu erwartenden Holzfeuchten und allgemeinen Gebrauchsbedingungen in den nach DIN 68 800-1 [12] definierten Gebrauchsklassen zusammengestellt. Der Parameter Temperatur wird hier allerdings nur indirekt berücksichtigt, indem er zur Ableitung der sich ergebenden Holzausgleichsfeuchte bei einer bestimmten Temperatur und relativen Luftfeuchte herangezogen wird. Aus biologischer Sicht hingegen spielt die Materialtemperatur eine große Rolle für die Bestimmung des Befallsrisikos [6] und sollte in Kombination mit der Materialfeuchte und in Abhängigkeit der Expositionszeit für eine Vorhersage der zu erwartenden Gebrauchsdauer Berücksichtigung finden [8].

Auf europäischer Ebene sind die Gebrauchsklassen in EN 335 [15] definiert, stimmen in ihrer Beschreibung weitgehend mit der derzeitigen Klassifizierung nach DIN 68 800 [12] überein, sind aber um die Organismengruppe der Termiten, die lokal in Europa auftritt, erweitert. Konkrete Aussagen zu den zu erwartenden Holzfeuchtebedingungen werden in EN 335 [15] nicht gemacht. Es findet allerdings eine Zuordnung zu den nach Eurocode 5 [17] definierten Nutzungsklassen statt: Da sich die klimatischen Bedingungen, denen ein Holzbauteil ausgesetzt ist, neben der Dauerhaftigkeit auch auf seine Dimensionsstabilität und mechanische Belastbarkeit auswirken, sind die Nutzungsbedingungen bei der Tragwerksplanung unbedingt zu berücksichtigen. Eine direkte Übertragbarkeit von Nutzungsklassen zu Gebrauchsklassen ist leider nicht möglich, ein Vorschlag für etwaige Entsprechungen findet sich aber in Anhang A von EN 335 [15] (siehe Tabelle 2).

Tabelle 1: Feuchtebedingungen, allgemeine Gebrauchsbedingungen, potentielle Gefährdung durch Organismen und Beanspruchung durch Auswaschung in den Gebrauchsklassen [verändert nach [12]]

GK	Holzfeuchte/ Exposition ^{a,b}	Allgemeine Gebrauchsbedingungen	Gefährdung durch				Aus- wasch- beanspru- chung
			Insek- ten	Pilze ^c	Mo- der- fäule	Holz- schäd- linge im Meer- wasser	
0	Trocken (ständig ≤ 20 %), mittl. rel. Luftfeuchte bis 85 % ^d	Unter Dach, nicht der Bewitte- rung und keiner Befeuchtung ausgesetzt, Gefahr von Bauschäden durch Insekten kann ausgeschlossen werden	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
1		Unter Dach, nicht der Bewitte- rung und keiner Befeuchtung ausgesetzt	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
2	Gelegentlich feucht (> 20 %), mittl. rel. Luftfeuchte über 85 % ^d oder zeitweise Befeuchtung durch Kondensation	Unter Dach, nicht der Bewitte- rung ausgesetzt, eine hohe Um- gebungsfeuchte kann zu gele- gentlicher, aber nicht dauernder Befeuchtung führen.	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
3.1	Gelegentlich feucht (> 20 %), Anreiche- rung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten	Nicht unter Dach, mit Bewitte- rung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreiche- rung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, ist aufgrund von rascher Rücktrocknung zu erwarten	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
3.2	Häufig feucht (> 20 %), Anreiche- rung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten	Nicht unter Dach, mit Bewitte- rung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreiche- rung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten ^e	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
4	Vorwiegend bis stän- dig feucht (> 20 %)	In Kontakt mit Erde oder Süß- wasser und so bei mäßiger bis starker ^f Beanspruchung vorwie- gend bis ständig einer Befeuch- tung ausgesetzt	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
5	Ständig feucht (> 20 %)	Ständig Meerwasser ausgesetzt	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

^a Die Begriffe ‚gelegentlich‘, ‚häufig‘, ‚vorwiegend‘ und ‚ständig‘ zeigen eine zunehmende Beanspruchung an, ohne dass hierfür wegen der sehr unterschiedlichen Einflussgrößen genaue Zahlenangaben möglich sind.

^b Der Wert von 20 % enthält eine Sicherheitsmarge

^c holzerstörende Basidiomyceten sowie holzverfärbende Pilze

^d Maßgebend für die Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gebrauchsklasse ist die jeweilige Holzfeuchte

^e Bauteile, bei denen über mehrere Monate Ablagerungen von Schmutz, Erde, Laub u. ä. zu erwarten sind sowie Bauteile mit besonderer Beanspruchung, z.B. durch Spritzwasser, sind in GK 4 einzustufen.

^f ‚Mäßige‘ bzw. ‚starke‘ Beanspruchung bezieht sich auf das Gefährdungspotential für einen Pilzbefall (Feuchteverhältnisse, Bodenbeschaffenheit) sowie die Intensität einer Auswaschbeanspruchung.

C. Brischke, Dauerhaftigkeit von Holz in der nationalen und europäischen Normung

Die für einen Befall des Holzes notwendigen Feuchtebedingungen werden in DIN 68 800-1 [12] noch weitergehend erläutert. Demnach kann eine Entwicklung von Holz zerstörenden Pilzen bei einer lokalen Holzfeuchte etwa ab Fasersättigung eintreten. Insekten können sich auch bei geringerer Feuchte entwickeln. Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass unabhängig von dem tatsächlichen Feuchteanspruch holzerstörender Pilze sowie der Fasersättigungsfeuchte der verschiedenen Holzarten für die Zuordnung zu den Gebrauchsklassen im Sinne einer ausreichenden Sicherheit ein Wert von 20 % Holzfeuchte als Obergrenze für das Vermeiden eines Pilzbefalls angesetzt wird. Durch diese Herabsetzung der unteren kritischen Grenzfeuchte für einen Pilzbefall wird – beabsichtigt oder nicht – den in verschiedenen Studien gewonnenen Erkenntnissen Rechnung getragen, wonach zumindest einige Pilze durchaus in der Lage sind, bereits unterhalb Fasersättigung Holz abzubauen [1][2][22][29]. Die untere Feuchtegrenze für pilzliches Wachstum und Fäulnis ist vermutlich substrat- und pilzartabhängig und lässt sich aufgrund experimenteller Unzulänglichkeiten bis heute nicht genau bestimmen [7]. Insbesondere die Erfassung kleiner Feuchtenester – selbst innerhalb von Laborprüfkörpern – ist schwierig und erschwert die genaue Bestimmung eines unteren Holzfeuchtegrenzwertes für pilzlichen Holzabbau.

Tabelle 2: Nutzungsklassen nach Eurocode 5 [17]

Nutzungs-klasse	Klimabedingungen	Anwendungs-bereiche	Möglichst entsprechende Gebrauchs-klasse (GK) nach EN 335 [15]
1	Die Nutzungsklasse 1 ist gekennzeichnet durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen, der einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 65 % übersteigt. ANMERKUNG: In Nutzungsklasse 1 übersteigt der mittlere Feuchtegehalt der meisten Nadelhölzer nicht 12 %	z. B. in allseitig geschlossenen und beheizten Bauwerken	GK 1
2	Die Nutzungsklasse 2 ist gekennzeichnet durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen, der einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 85 % übersteigt. ANMERKUNG In Nutzungsklasse 2 übersteigt der mittlere Feuchtegehalt der meisten Nadelhölzer nicht 20 %.	z. B. bei überdachten offenen Bauwerken	GK 1, GK 2, sofern das Bauteil in einer Situation ist, in der es einer gelegentlichen Befeuchtung, z. B. durch Kondensation, ausgesetzt sein kann.
3	Die Nutzungsklasse 3 erfasst Klimabedingungen, die zu höheren Feuchtegehalten als in Nutzungsklasse 2 führen.	z. B. für Konstruktionen, die der Witterung ausgesetzt sind	GK 2, GK 3, oder höher, sofern im Außenbereich verwendet.

In DIN 68 800-1 [12] wird weiterhin darauf hingewiesen, dass für Bauteile aus Brettschichtholz und Brettspertholz in GK 1 und 2 erfahrungsgemäß die Gefahr eines Bauschadens durch Holz zerstörende Insekten gering und wie bei anderen bei Temperaturen $\geq 55^\circ\text{C}$ technisch getrockneten Hölzern als unbedeutend einzustufen ist. Experimentelle Belege dafür, dass technisch getrocknetes Holz von holzzerstörenden Insekten nicht befallen wird, sind dem Autor hingegen nicht bekannt. Diesbezüglich wurde vor, während und auch nach der letzten Revision von DIN 68 800 eine kontroverse Debatte geführt [20][26][28].

Die in Deutschland zusätzlich definierte Gebrauchsklasse 0 findet sich auf europäischer Ebene nicht. Holzbauteile in GK 1 dürfen nach DIN 68 800-1 [12] in Gebrauchsklasse 0 eingestuft werden, wenn das Risiko von Bauschäden durch Insekten vermieden wird, indem Holz in Räumen mit üblichem Wohnklima oder vergleichbaren Räumen verbaut ist oder die Bauteile in entsprechender Weise beansprucht werden oder Holz gegen Insektenbefall allseitig durch eine geschlossene Bekleidung abgedeckt ist oder zum Raum hin so offen angeordnet ist, dass es kontrollierbar bleibt und an sichtbar bleibender Stelle dauerhaft ein Hinweis auf die Notwendigkeit einer regelmäßigen Kontrolle angebracht wird. Sie bedürfen somit keiner zusätzlichen Schutzmaßnahmen, z. B. durch die Einbringung von Holzschutzmitteln.

2 Dauerhaftigkeitsklassifizierung auf nationaler und europäischer Ebene

Die Lebensdauer eines Holzbauteils hängt von der Dauerhaftigkeit bzw. der Resistenz des Holzes ab. Während sich die Lebensdauer in Form von absoluten Werten, z. B. in Jahren, angeben lässt, ist die Dauerhaftigkeit stets ein Relativwert. Auch die verschiedenen Klassifizierungssysteme der Dauerhaftigkeit spiegeln letztlich nur Spannen von Faktoren – also Relativwerten – wieder. Die Dauerhaftigkeit wird also immer relativ zu einer Referenz angegeben, z. B. zu den nicht dauerhaften Holzarten Kiefernspint oder Buche, wobei unterschiedliche Messgrößen herangezogen werden können, z. B. Masseverluste in Laborprüfungen nach CEN/TS 15083-1 und -2 [10][11] oder mittlere Standzeiten nach Exposition im Freiland nach EN 252 [13]. Eine Übersicht der fünfstufigen Klassifizierungsskala nach EN 350 [14] nebst entsprechender Faktoren aus unterschiedlichen Normprüfungen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Sowohl die zu erwartende Gebrauchsdauer von Holzprodukten als auch die Dauerhaftigkeit als relative Größe hängt von der jeweiligen Exposition ab. Durch die Angabe der Dauerhaftigkeit als Relativwert wird deren Abhängigkeit zu einem gewissen Grad normiert. Zahlreiche Studien haben aber gezeigt, dass auch das Verhältnis zwischen zu prüfendem Holz und Referenzholz vom Klima bzw. der jeweiligen Feuchtebelastung abhängt, wie sie beispielsweise durch die in Tabelle 1 dargestellten Gebrauchsklassen berücksichtigt wird [3][24][30].

Tabelle 3: Dauerhaftigkeitsklassen (DC) nach EN 350 [14] auf Grundlage unterschiedlicher Prüfnormen im Labor und Freiland

DC	Beschreibung	Prozentualer Masseverlust nach Prüfung gegen Basidiomyceten nach CEN/TS 15083-1 [10]	x-Wert ¹ nach Laborprüfung gegen Moderfäule nach CEN/TS 15083-2 [11]	x-Wert ² nach Freilandprüfung im Erdkontakt nach EN 252 [13]
1	Sehr dauerhaft	$ML \leq 5$	$x \leq 0,10$	$x > 5,0$
2	Dauerhaft	$5 < ML \leq 10$	$0,10 < x \leq 0,20$	$3,0 < x \leq 5,0$
3	Mäßig dauerhaft	$10 < ML \leq 15$	$0,20 < x \leq 0,45$	$2,0 < x \leq 3,0$
4	Wenig dauerhaft	$15 < ML \leq 30$	$0,45 < x \leq 0,80$	$1,2 < x \leq 2,0$
5	Nicht dauerhaft	$30 < ML$	$x > 0,80$	$x \leq 1,2$

¹Laubhölzer: x = Medianwert des Masseverlustes bei Holzprüfkörpern / Medianwert des Masseverlustes bei Referenz-Holzprüfkörpern. Nadelhölzer: Der „x-Wert“ für das Prüfholz wird anhand der Abnahme des Elastizitätsmoduls (MOE) berechnet.

²x-Wert = durchschnittliche Standzeit der Stäbe / durchschnittliche Standzeit des dauerhafteren Satzes an Referenzstäben.

Die im Jahr 2016 abgeschlossene Überarbeitung von EN 350 hatte unter anderem zum Ziel, diese Abhängigkeit der Dauerhaftigkeitsklassifizierung von der Exposition bzw. den jeweiligen Gebrauchsklassen zu berücksichtigen. Nach einer Reihe von Einsprüchen ist dieses Vorhaben jedoch nicht umgesetzt worden.

Stattdessen wird nun die Dauerhaftigkeit gegenüber Pilzen im Erdkontakt auf Grundlage von Freiland- oder Laborprüfungen und/oder Basidiomyceten auf Grundlage von Laboruntersuchungen für viele Holzarten gesondert angegeben. Inwiefern eine solche getrennte Betrachtung der Dauerhaftigkeit Rückschlüsse auf die zu erwartende Resistenz des Holzes in und außerhalb der Erde zulässt, wird aus den Angaben in EN 350 [14] nicht klar. Ebenso ist nicht klar, welche Dauerhaftigkeitsklasse im Zweifel heranzuziehen ist, um beispielsweise nach EN 460 [16] abzuschätzen, ob ein Holz für die Anwendung in einer bestimmten Gebrauchsklasse ausreichend dauerhaft ist.

Melcher [21] gibt einen Überblick über die Neuerungen, welche sich aus der Überarbeitung von EN 350 in der Fassung von 2016 ergeben haben. Er weist weiterhin sehr deutlich auf die daraus resultierenden Probleme hinsichtlich der Anwendung der Norm und auf die resultierende Notwendigkeit für eine weitere Überarbeitung von DIN 68 800 hin.

Tabelle 4: Dauerhaftigkeitsklassen (DC) ausgewählter Kernhölzer nach EN 350 [14]

Handels- name	Wiss. Name	Her- kunft	Normalroh- dichte [kg/m³]	Dauerhaftigkeit von Kernholz				Bemerkungen
				Pilze ¹	<i>Hylotrupes</i> ²	<i>Anobium</i> ³	Termi- ten ⁴	
Europ. Lärche	<i>Larix decidua</i>	Europa	470-600-650	3-4 (3-4)	D	D	S	Nicht beständig gegen Bohrmu- scheln
Sibirische Lärche	<i>Larix sibirica</i>	Sibirien, Russland	680-700	(3-4)	D	D	S	
Fichte	<i>Picea abies</i>	Europa	440-460-470	4 (4-5)	S	S	S	Nicht beständig gegen Bohrmu- scheln
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	Europa	500-520-540	3-4 (2-5)	D	D	S	Diese Art zeigt bei Prüfung un- ter Laborbedin- gungen eine große Spann- weite der Dau- erhaftigkeit ge- gen Basidiomy- ceten
Eibe	<i>Taxus baccata</i>	Europa	650-690-800	2	D	D	n/a	
Edel- Kastanie	<i>Castanea sativa</i>	Europa	540-590-650	2 (1)	-	D	M	Splintholz nicht beständig gegen <i>Trichoferus ho- losericeus</i> ; Nicht beständig gegen Bohrmu- scheln
Stieleiche Trauben- eiche	<i>Quercus robur</i> <i>Quercus petraea</i>	Europa	650-670 710-760	2-4 (1-2)	-	D	M	Splintholz nicht beständig gegen <i>Lyctus</i> und <i>Trichoferus ho- losericeus</i> Diese Art zeigt bei Prüfung im Erdkontakt eine große Spann- weite der Dau- erhaftigkeit ge- gen Pilze

¹ X(Y). Die erste Angabe wird gewöhnlich aus den Ergebnissen von Laborprüfungen oder Freilandprüfungen abgeleitet, die einen Einbau in die Erde simulieren. Die zweite Angabe beruht auf den Ergebnissen von Laborprüfungen mit dem Ziel, die Dauerhaftigkeit gegen Holz zerstörende Basidiomyceten zu bestimmen.

² Dauerhaftigkeit gegen *Hylotrupes*: DC D = dauerhaft, DC S = nicht dauerhaft

³ Dauerhaftigkeit gegen *Anobium*: DC D = dauerhaft, DC S = nicht dauerhaft

⁴ Dauerhaftigkeit gegen Termiten: DC D = dauerhaft, DC M = mäßig dauerhaft, DC S = nicht dauerhaft

C. Brischke, Dauerhaftigkeit von Holz in der nationalen und europäischen Normung

Nach Melcher [21] lassen sich weitere wesentliche Änderungen und Neuerungen in EN 350 [14] wie folgt zusammenfassen:

- Die Norm besteht nicht mehr aus zwei Teilen, sondern aus einem normativen Teil und einem informativen Anhang.
- Die Norm ist nun sowohl für einzelne Holzarten, verarbeitete Holzprodukte, thermisch und chemisch modifiziertes Holz als auch mit Schutzmitteln behandeltes Holz anwendbar, nicht jedoch für die Prüfung der Wirksamkeit von Bioziden
- Die Prüfung der Dauerhaftigkeit gegen Basidiomyceten und Moderfäulepilze erfolgt nach CEN/TS 15083-1 und -2 [10][11]
- Anhang B enthält Angaben zur Dauerhaftigkeit gegenüber Pilzen im Erdkontakt auf Basis von Freiland- oder Laborprüfungen und/oder gegenüber Basidiomyceten auf Basis von Laborprüfungen (letztere in Klammern und kursiv); siehe ausgewählte Beispiele in Tabelle 4
- Einige Holzarten wurden neu aufgenommen, z. B. Garapa (*Apuleia leiocarpa*) und sibirische Lärche (*Larix sibirica*)
- Die Dauerhaftigkeitsklassifizierung einiger Holzarten, z. B. der Stieleiche (*Quercus robur*) wurde geändert.

Zudem enthält EN 350 [14] nun folgende weitere informative Anhänge:

- Anhang C: Klassifizierung der Tränkbarkeit mit wässrigen Holzschutzmitteln
- Anhang D: Klassifizierung der Wasserdurchlässigkeit
- Anhang E: Prüfung der Dauerhaftigkeit gegen Holz verfärbende Pilze
- Anhang F: Klassifizierung der Leistungsfähigkeit
- Anhang G: Formblatt, das für die Aufnahme neuer Daten zu Holzarten/Holzprodukten zu benutzen ist

3 Variation der Dauerhaftigkeit am Beispiel europäischer Weißeichen

In der überarbeiteten Fassung von EN 350 [14] wird einer Reihe von neueren Prüfergebnissen zur Dauerhaftigkeit unterschiedlicher Holzarten Rechnung getragen. Zum einen führte dies zu einer Neubewertung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit einiger Hölzer, zum anderen wird besonders die natürliche Variation der Dauerhaftigkeit betont und Vorschläge zur Darstellung dieser Variation gemacht.

Im Folgenden soll die natürliche Schwankung und ihre Abhängigkeit von der jeweiligen Exposition bzw. Prüfmethode am Beispiel europäischer Weißeichen (*Quercus robur* und *Q. petraea*) dargestellt werden. Im Rahmen mehrerer Studien [5][9] ist die Dauerhaftigkeit der Eiche in unterschiedlichen Labor- und Freilandprüfungen für unterschiedliche Sortimenten an verschiedenen Standorten geprüft worden. Die Ergebnisse bzw. die daraus resultierenden Dauerhaftigkeitsklassen sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Dauerhaftigkeitsklassen (DC) nach EN 350 [14] auf Grundlage unterschiedlicher Prüfungen im Labor und Freiland an mehreren Sortimenten europäischer Weißbeichen

Holzart	Prüfung	Standort/Bodensubstrat/Prüfpilz	DC	Referenz
<i>Q. petraea</i>	Erdkontakt Mini-stake-Test	Hamburg - Testfelderde	5	[9]
		Hamburg – Sand	5	[9]
		Hamburg – Erde & Sand	5	[9]
		Hamburg – Kies	5	[9]
		Hamburg - Kompost	5	[9]
		Hamburg - Erde gedüngt	5	[9]
		Hamburg - Beton	5	[9]
	Erdkontakt – EN 252	Hamburg	5	[9]
<i>Q. robur</i>	Erdkontakt – EN 252	Hamburg	4	[5]
		Hamburg – Baumschatten	5	[9]
		Freiburg	4	[9]
		Stuttgart	5	[9]
		Reulbach	5	[9]
		Trenthorst	5, 4, 4	[5]
		Hannover	2	[5]
<i>Q. petraea</i>	Ohne Erdkontakt - Doppellagentest	Hamburg	4	[9]
<i>Q. robur</i>	Ohne Erdkontakt - Doppellagentest	Hamburg	4	[9]
		Hamburg – Baumschatten	4	[9]
		Freiburg	4	[9]
		Stuttgart	4	[9]
		Reulbach	4	[9]
<i>Q. petraea</i>	Miniblock-Test	<i>Coniophora puteana</i>	1	[9]
		<i>Poria placenta</i>	1	[9]
		<i>Trametes versicolor</i>	3	[9]
<i>Q. robur</i>	EN 113 - Test	<i>Coniophora puteana</i>	1	[9]
		<i>Trametes versicolor</i>	1	[9]
<i>Q. robur</i>	CEN/TS 15083-1 - Test	<i>Coniophora puteana</i>	1, 1, 1	[5]
		<i>Trametes versicolor</i>	2, 2, 2	[5]
		<i>Donkioporia expansa</i>	3, 2, 3	[5]
		<i>Daedalea quercina</i>	1, 1, 1	[5]
<i>Q. petraea</i>	Terrestrischer Mikrokosmos	2 Böden	5, 5	[9]
<i>Q. robur</i>	Terrestrischer Mikrokosmos	5 Böden	4, 5, 5, 5, 5	[9]
		Boden - Trenthorst	4, 4, 5	[5]
		Boden – Hamburg	4, 3, 4	[5]
		Boden - Hannover	4, 3, 4	[5]

Die Zusammenschau zeigt, dass die Dauerhaftigkeit der Eiche im Erdkontakt deutlich geringer ist als gegenüber Basidiomyceten im Labor. In Freilandversuchen mit Erdkontakt wurde die Eiche zwölfmal ‚nicht dauerhaft‘ (DC 5), viermal ‚wenig dauerhaft‘ (DC 4) und nur einmal ‚dauerhaft‘ (DC 2) bewertet. Die Einstufung in DC 2 am Standort Hannover war hierbei auf die besonders geringe Dauerhaftigkeit der Referenzholzart Kiefernplint zurückzuführen. Auch die Ergebnisse aus Prüfungen mit terrestrischen Mikrokosmen ergaben eine eher geringe Dauerhaftigkeit: zweimal ‚mäßig dauerhaft‘ (DC 3), siebenmal DC 4 und siebenmal DC 5. Im Gegensatz dazu erreichte die Eiche in Laborprüfungen mit verschiedenen Basidiomyceten deutlich höhere Dauerhaftigkeitsklassifizierungen: zehnmal ‚sehr dauerhaft‘ (DC 1), viermal DC 2 und zweimal DC 3. Dass diese höhere Dauerhaftigkeit gegenüber verschiedenen Weiß- und Braunfäuleerregern nicht zwangsläufig auf eine höhere Dauerhaftigkeit in der Gebrauchsklasse 3 (hier GK 3.2) schließen lässt, zeigen die Dauerhaftigkeitsklassen, die in Doppellagen-Tests erzielt wurden: sechsmal DC 4.

Nicht zuletzt die hier dargestellten Ergebnisse haben zu einer Neubewertung der Dauerhaftigkeit europäischer Weißeiche geführt. Die vormals als ‚dauerhaft‘ (DC 2) eingestufte Eiche gilt nun als ‚dauerhaft bis wenig dauerhaft‘ im Erdkontakt und ‚sehr dauerhaft bis dauerhaft‘ (DC 1-2) gegenüber Basidiomyceten. Zudem wird explizit auf die große Schwankung der Dauerhaftigkeit europäischer Eiche im Erdkontakt hingewiesen (Tabelle 4).

4 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Holz für die Anwendung in unterschiedlichen Gebrauchsklassen

Eine Anleitung für die Verwendung einer Holzart in Abhängigkeit von dem Grad ihrer natürlichen Dauerhaftigkeit wird in EN 460 [16] gegeben (Tabelle 6). Hierbei werden die Dauerhaftigkeitsklassen nach EN 350 [14] den Gebrauchsklassen nach EN 335 [15] gegenübergestellt. Streng genommen, handelt es sich allerdings in der aus dem Jahr 1994 stammenden Norm EN 460 noch um die vormals definierten Gefährdungsklassen. Eine Unterscheidung zwischen GK 3.1 und GK 3.2 findet nicht statt.

In DIN 68 800-1 [12] wurde diese Lücke vorerst geschlossen. Es werden hier Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit des Farb kernholzes gegen Pilzbefall in GK 2, GK 3.1, GK 3.2 und GK 4 formuliert (Tabelle 7). Darüber hinaus werden Gebrauchsklassen genannt, in denen nach Eurocode 5 [17] verwendbare Holzarten ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen verwendet werden dürfen. Da allerdings durch die zwischenzeitliche Revision von EN 350 [14] einigen Holzarten andere Dauerhaftigkeitsklassen zugewiesen wurden, sind diese Empfehlungen hier nicht dargestellt. Es ist damit zu rechnen, dass die in DIN 68 800-1 [12] gegebenen Empfehlungen zeitnah erneut überarbeitet werden müssen.

Tabelle 6: Leitfaden für die Dauerhaftigkeitsklassen (DC) von Holzarten für eine Anwendung in den Gebrauchsklassen (GK; früher: Gefährdungsklassen) nach EN 460 [16]

	DC 1	DC 2	DC 3	DC 4	DC 5
GK 1	○	○	○	○	○
GK 2	○	○	○	(○)	(○)
GK 3	○	○	(○)	(○) – (x)	(○) – (x)
GK 4	○	(○)	(x)	x	x
GK 5	○	(x)	(x)	x	x

- Natürliche Dauerhaftigkeit ausreichend
- (○) Natürliche Dauerhaftigkeit üblicherweise ausreichend, aber unter bestimmten Gebrauchsbedingungen kann eine Behandlung empfehlenswert sein
- (○) – (x) Natürliche Dauerhaftigkeit kann ausreichend sein, aber in Abhängigkeit von der Holzart, ihrer Durchlässigkeit und der Gebrauchsbedingung kann eine Schutzbehandlung notwendig sein
- (x) Eine Schutzbehandlung ist üblicherweise empfehlenswert, aber unter bestimmten Gebrauchsbedingungen kann die natürliche Dauerhaftigkeit ausreichend sein
- x Schutzbehandlung notwendig

Tabelle 7: Mindestanforderungen nach DIN 68 800-1 [12] an die Dauerhaftigkeit des splintholzfrees Farbkernholzes gegen Pilzbefall für den Einsatz in GK 2 bis GK 4

	DC 1	DC 2	DC 3	DC 4
GK 2	+	+	+	-
GK 3.1	+	+	+	-
GK 3.3	+	+	-	-
GK 4	+	-	-	-

- +
 -
- Natürliche Dauerhaftigkeit ausreichend
 Natürliche Dauerhaftigkeit nicht ausreichend

Beachte: Im Falle von Zwischenstufen (z. B. DC 1-2) ist für die geforderte Dauerhaftigkeit die Klasse mit der nächst niedrigeren Dauerhaftigkeit maßgebend.

Während in EN 460 [16] die Formulierung der Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit von Hölzern für den Einsatz in verschiedenen Gebrauchsklassen durch zahlreiche Einschränkungen eher unkonkret erfolgt (siehe (○), (○) – (x), und (x) in Tabelle 6), sind diese in DIN 68 800-1 [12] sehr viel klarer gehalten. Sie sind für tragende Bauteile verbindlich und für nicht tragende Bauteile als Empfehlung anzusehen. Nach DIN 68 800-1 [12] ist Splintholz unabhängig von der Holzart stets der Dauerhaftigkeitsklasse 5 zuzuordnen. Farbkernholz mit Splintholzanteil bis 5 % kann wie reines Kernholz eingestuft werden. Welchen Einfluss das Vorhandensein von Splintholzanteilen auf die Dauerhaftigkeit und somit auf die Standzeit von Holzbauteilen hat, ist bis heute umstritten. Erste systematische Untersuchungen zu dieser Thematik sind un-

längst an der Universität Göttingen begonnen worden und sollen klären, ob und in welchem Umfang faulendes Splintholz benachbartes Kernholz infiziert und in der Folge dessen Gebrauchsdauer verringert.

5 Ausblick – neue Aspekte in der normativen Dauerhaftigkeitsprüfung von Holz

In DIN 68 800-1 und EN 460 werden zwar, wie oben beschrieben, Empfehlungen für den Einsatz natürlich dauerhafter Hölzer in unterschiedlichen Einsatzbereichen gegeben, Aussagen zur jeweils zu erwartenden Gebrauchsdauer entsprechender Bauteile werden aber nicht getroffen. Die Gegenüberstellung zweier voneinander getrennter Klassifizierungsverfahren (Gebrauchsklassen *versus* Dauerhaftigkeitsklassen) ermöglicht eine konkrete und quantitative Gebrauchsdauerabschätzung nicht, obwohl entsprechende Daten von vielen Seiten nachgefragt und im Hinblick auf die EU-Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO; Nr. 305/2011) gefordert sind. Ziel der derzeit anstehenden Überarbeitung von EN 460 ist deshalb unter anderem, das schrittweise Klassifizierungssystem durch ein umfassendes kontinuierliches System zur Beschreibung von ‚Resistenz‘ auf der einen und ‚Exposition‘ auf der anderen Seite zu ersetzen. Eine zukünftige Klassifizierung der Performance von Holz und holzbasierten Werkstoffen soll folgende Parameter auf quantitative Weise berücksichtigen können:

- Makroklima
- Lokale Umgebungsbedingungen
- Design / Bauweise
- Oberflächenbehandlungen inkl. Beschichtungen
- Schadorganismen
- Inhärente schützende Eigenschaften basierend auf natürlich vorkommenden und künstlich eingebrachten Wirkstoffen
- Feuchteverhalten
- Anfälligkeit für Rissbildung und Alterung

Beide Größen, Exposition und Resistenz, können als Dosis ausgedrückt werden. Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind zudem geeignet, den Effekt beider Größen auf die resultierende Performance von Holzprodukten quantitativ zu beschreiben. In Bild 1 ist das Prinzip eines ‚Dosis : Dosis‘ – Systems dargestellt, das in Zukunft ein ‚Klasse : Klasse‘ – System ablösen könnte. In jüngerer Vergangenheit sind hierzu in unterschiedlichen europäischen Forschungsprojekten eine Reihe von Modellen entwickelt worden, mit denen sich u.a. folgende Beziehungen beschreiben lassen:

- Einfluss des Makroklimas auf Holzfeuchte und Holztemperatur [25]
- Einfluss des Materialklimas (Holzfeuchte, rel. Luftfeuchte und Holztemperatur) auf pilzlichen Abbau [4][18][31]

- Einfluss unterschiedlicher Konstruktionsdetails auf das Materialklima [19]
- Einfluss von schützenden Inhaltstoffen und Feuchteverhalten auf die Materialresistenz [23]

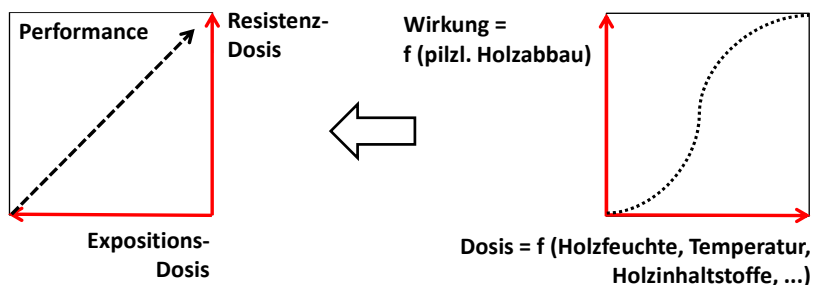


Bild 1: Performance als Funktion einer Expositionsdosis und einer Resistenzdosis, die beide auf komplexen Dosis-Wirkungs-Funktionen basieren (hier beispielhaft für pilzlichen Abbau des Holzes)

Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, mit der sich die Performance von Holzbauteilen unter den jeweiligen Expositionsbedingungen vorhersagen lässt, wird stetig verbessert. Für eine Implementierung oben aufgeführter Modellierungsansätze scheint es derzeit aber noch zu früh und eine größere von weiteren unabhängigen Stellen durchgeführte Validierung der Modelle ist erforderlich. Dennoch erscheint es ratsam, bereits jetzt, die für eine umfassende Performance-Klassifizierung von Holzprodukten benötigten Daten, zu erfassen und dies im Zuge der Überarbeitung von EN 460 [16] zu berücksichtigen und sicherzustellen.

Erste Ansätze, neben der reinen durch Inhaltstoffe oder eingebrachte Wirkstoffe hervorgerufenen Dauerhaftigkeit des Holzes auch die Feuchte-Performance des Materials zu berücksichtigen, finden sich bereits in der überarbeiteten EN 350 [14]. Als Maß hierfür eignet sich beispielsweise die in Anhang D beschriebene Wasserdurchlässigkeit, d.h. die Leichtigkeit, mit der Wasser eine Holzstruktur (Holz einer bestimmten Art, Holzprodukt) durchdringt und durch Verdampfen abgegeben wird. Es wird daraufhin gewiesen, dass die Kombination aus Wasseraufnahme (Durchlässigkeit - Absorption) und Abgabe (Desorption) unter Berücksichtigung der Zeitdauer als einem kritischen Faktor (Feuchtedynamik) eine Vorhersage der Dauer der Befeuchtung (Time of Wetness *ToW*) eines in Benutzung befindlichen Holzproduktes ermöglicht, und auf diese Weise ein Parameter zur Verfügung gestellt wird, der die Anfälligkeit für Holzfäule beeinflusst. Ein geeignetes Verfahren zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit ist in prEN 16818 [27] beschrieben.

Entsprechende Parameter werden als Eingangsgrößen für die oben erwähnten Vorhersagemodelle benötigt. Wünschenswert wären zudem Angaben zu kapillarer Wasseraufnahme, Rissanfälligkeit, Auswaschbeständigkeit und Alterungsbeständigkeit von Holzprodukten. In diesem Zusammenhang werden zudem geeignete Parameter und zugehörige Methoden zu deren Ermittlung benötigt und deshalb Gegenstand zukünftiger Forschungsarbeiten sein.

6 Literatur

- [1] Ammer, U. (1963): Untersuchungen über das Wachstum von Rotstreifepilzen in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit. Forstwissenschaftliches Centralblatt 82: 360-391.
- [2] Bavendamm, W., und Reichelt, H. (1938): Die Abhängigkeit des Wachstums holzzersetzender Pilze vom Wassergehalt des Nährsubstrates. Archives of Microbiology 9: 486-544.
- [3] Brischke, C., Meyer, L., Alfredsen, G., Humar, M., Francis, L., Flæte, P.-O., und Larsson-Brelid, P. (2013): Natural durability of timber exposed above ground – a survey. Drvna Industrija 64: 113-129.
- [4] Brischke, C., und Meyer-Veltrup, L. (2016): Modelling timber decay caused by brown rot fungi. Materials and Structures 49: 3281-3291.
- [5] Brischke, C, Meyer-Veltrup, L, Soetbeer, A, Melcher, E, Höpken, M, and Trautner, J (2017a): Comparative studies on the durability of English oak (*Quercus robur* L.) under in-service, field and laboratory conditions. The International Research Group on Wood Protection, Stockholm, IRG/WP/17-10881.
- [6] Brischke, C. und Rapp, A. O. (2008): Dose–response relationships between wood moisture content, wood temperature and fungal decay determined for 23 European field test sites. Wood Science and Technology 42: 507-518.
- [7] Brischke, C., Soetbeer, A., und Meyer-Veltrup, L. (2017b): The minimum moisture threshold for wood decay by basidiomycetes revisited. A review and modified pile experiments with Norway spruce and European beech decayed by *Coniophora puteana* and *Trametes versicolor*. Holzforschung. Zur Veröffentlichung angenommen.
- [8] Brischke, C. und Thelandersson, S. (2014): Modelling the outdoor performance of wood products – a review on existing approaches. Construction and Building Materials 66: 384-397.
- [9] Brischke, C., Welzbacher, C.R., Rapp, A.O., Augusta, U., und Brandt, K. (2009): Comparative studies on the in-ground and above-ground durability of European oak heartwood (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.). European Journal of Wood and Wood Products 67: 329-338
- [10] CEN/TS 15083-1 (2005): Durability of wood and wood-based products - Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi,

test methods - Part 1: Basidiomycetes. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.

- [11] CEN/TS 15083-1 (2005): Durability of wood and wood-based products - Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods - Part 2: Soft rotting micro-fungi. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [12] DIN 68800-1 (2011): Holzschutz - Teil 1: Allgemeines. Beuth, Berlin.
- [13] EN 252 (2015): Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [14] EN 350 (2016): Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [15] EN 335 (2013): Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [16] EN 460 (1994): Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Guide to the durability requirements for wood to be used in hazard classes. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [17] EN 1995-1-1 (2010) Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [18] Isaksson, T., Brischke, C., und Thelandersson, S. (2013): Development of decay performance models for outdoor timber structures. *Materials and Structures* 46: 1209-1225.
- [19] Isaksson, T., und Thelandersson, S. (2013): Experimental investigation on the effect of detail design on wood moisture content in outdoor above ground applications. *Building and Environment* 59: 239-249.
- [20] Lukowsky, D. (2016): Wirkmechanismen der technischen Trocknung von Bauholz. In: IHD (2016) Beiträge zur Deutschen Holzschutztagung, 22.-23. September 2016, Dresden: 119-142.
- [21] Melcher, E. (2016): Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz: Überarbeitung von EN 350 – ein Ende in Sicht? In: IHD (2016) Beiträge zur Deutschen Holzschutztagung, 22.-23. September 2016, Dresden: 186-194.
- [22] Meyer, L., und Brischke, C. (2015): Fungal decay at different moisture levels of selected European-grown wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation* 103: 23-29.
- [23] Meyer-Veltrup, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Flåte, P. O., Isaksson, T., Larsson Brelid, P., Westin, M., Jermer, J. (2017): The combined effect of wetting ability and durability on outdoor performance of wood: development and verification of a new prediction approach. *Wood Science and Technology* 51: 615-637.

- [24] Morris, P.I., Laks, P., Larkin, G., Ingram, J.K., und Stirling, R. (2016): Above-ground Decay Resistance of Selected Canadian Softwoods at Four Test Sites after 10 Years of Exposure. *Forest Products Journal* 66: 268-273.
- [25] Niklewski, J., Fredriksson, M., und Isaksson, T. (2016): Moisture content prediction of rain-exposed wood: Test and evaluation of a simple numerical model for durability applications. *Building and Environment* 97: 126-136.
- [26] Plarre, R. (2014): Evidenzen und Kontroversen zur Biologie und Bekämpfung des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* (Coleoptera: Cerambycidae) – mit besonderer Berücksichtigung der Beiträge von Günther Becker. *Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin* 50: 31-56.
- [27] prEN 16818 (2015): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten — Feuchte-Dynamik von Holz und Holzprodukten. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [28] Radovic, B. (2010): DIN 68 800-2 Holzschutz, vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. In: Militz, H. (2010): Beiträge zur Deutschen Holzschutztagung, 22.-23. April 2010, Göttingen: 30-39.
- [29] Stienen, T., Schmidt, O., und Huckfeldt, T. (2014): Wood decay by indoor basidiomycetes at different moisture and temperature. *Holzforschung* 68: 9-15.
- [30] Stirling, R., Alfredsen, G., Brischke, C., De Windt, I., Francis, L.P., Frühwald Hansson, E., Humar, M., Jermer, J., Klammer, M., Kutnik, M., Laks, P.E., Le Bayon, I., Metsä-Kortelainen, S., Meyer-Veltrup, L., Morris, P.I., Norton, J., Singh, T., Van Acker, J., Van den Bulcke, J., Venås, T.M., Viitanen, H., und Wong, A.H.H. (2016): Global survey on durability variation – on the effect of the reference species. The International Research Group on Wood Protection, Stockholm, IRG/WP/16-20573.
- [31] Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., und Räsänen, J. (2010): Towards modelling of decay risk of wooden materials. *European Journal of Wood and Wood Products* 68: 303-313.

Neufassung des WTA-Merkblatts „Der Echte Hausschwamm“

E. Flohr
Dessau

Zusammenfassung

Das WTA-Merkblatt zum Echten Hausschwamm wird in der nächsten Zeit seine 3. Auflage erfahren. Hierbei handelt es sich um ein stark erweitertes Regelwerk. Die Arbeitsgruppe besteht aus 18 Personen, die als Gutachter, Ausführende sowie in der Industrie und der Behörde tätig sind.

Das fast fertige Arbeitspapier entstand in bisher 9 Arbeitsgruppensitzungen und beinhaltet Ergänzungen und Aktualisierungen. Insbesondere wurde das Kapitel zu den Bekämpfungsmaßnahmen stark erweitert und andere Kapitel (z. B. Chemische Schutzmittel) an aktuelle Veränderungen angepasst.

1 Historie der WTA-Merkblätter zum Echten Hausschwamm

Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre wurde an einem WTA-Merkblatt gearbeitet, welches sich als erstes Merkblatt mit dem Echten Hausschwamm beschäftigt. Es erschien 1991 mit der WTA-Registriernummer 1-2-91.



Abb. 1: Deckblatt vom WTA-Merkblatt 1-2-91

Etwa 5 Jahre später trafen sich 6 von ehemals 15 Autoren, die am damaligen Merkblatt mitgearbeitet hatten, wieder, um dies zu aktualisieren und auf den neuesten Stand der Technik zu bringen. Zu diesen 6 Personen kamen 9 Autoren aus interessierten Kreisen hinzu. Die Autorengruppe setzte sich hauptsächlich aus ö.b.u.v. SV, aber auch aus Vertretern der Industrie und des Handwerks zusammen.

Es dauerte dann ungefähr 8 Jahre, bis 2003 der Entwurf erschien. Es gab zahlreiche und zum Teil sehr umfangreiche Einsprüche und Ergänzungsvorschläge von Einzelpersonen und Holzschutzverbänden, die diskutiert wurden. Das heutige Merkblatt erschien dann 2006 als Blaudruck.

E. Flohr, Das neue WTA-Merkblatt „Der Echte Hausschwamm“

WTA

**Der Echte Hausschwamm –
Erkennung, Lebensbedingungen, vorbauge-
Maßnahmen, bekämpfende chemische
Maßnahmen, Leistungsverzeichnis**
Bearbeiter: D. Grosser, E. Flohr, M. Eichhorn

**Entwurf
Merkblatt
E 1-2-03/D**
Einspruchsfrist bis 9/04

Dry rot – identification, living conditions, preventive measures, controlling chemical measures, list of performance

Le champignon dans le bois – Identification, conditions de vie, raison d'attaques, mesures préventives, mesures chimiques de lutte, liste de résultats

Deskriptoren

(Erkennung, Lebensbedingungen, Befallsursachen, vorbauge Maßnahmen, chemische Bekämpfung, Leistungsverzeichnis)

Key Words

Identification, living conditions, reasons for infection, preventive measures, controlling chemical measures, list of performance

Mots Clés

Identification, conditions de vie, causes de l'envahissement, mesures préventives, mesures chimiques de lutte, liste de résultats

Erläuterungen zum Merkblatt

Dieses Merkblatt gibt in Ergänzung zur Holzschutz-Norm DIN 68800-4 (Holzschutz: Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten, Ausgabe Nov. 1992) und dem Kommentar (Ausgabe 1995) detailliert alle wesentlichen Maßnahmen wieder, die zu einer sach- und fachgerechten chemischen Bekämpfung des Echten Hausschwamms erforderlich sind.

Inhalt

	Seite
1. Allgemeines	4
2.1 Allgemeine Hinweise	4
2.2 Holz	5
2.3 Mangel	5
2.4 Fäulnisstadien	5
2.5 Hinweise zur Erkennung und Vermeidung von Befallsproben für Bestimmungszwecke	5
3.1 Vorkommen	6
3.2 Nährsubstrat	7
3.3 Temperatur	7
3.4 Feuchtigkeit	8
4. Befallsursachen und vorbauge Maßnahmen	8
4.1 Allgemeine Baulinien	9
4.2 Mangelnde Bauteilherstellung	9
4.3 Wasserzutritte	10
4.4 Einschüppung	10
5. Spezielle Bauteile bei der Altbausanierung	10
5.1 Untersuchungen auf Pilzbefall	10
6. Bekämpfende chemische Maßnahmen	12
6.1 Grundrichtlinien	12
6.2 Chemische Holzschutzmittel	12
6.3 Bekämpfungsmethoden	13
6.3.1 Vorarbeiten und bauliche Maßnahmen	13
6.3.2 Behandlung des Holzes	13
6.3.3 Behandlung des Mauerwerks	13
6.3.4 Vorgehen bei chemischen Maßnahmen	13
6.3.5 Kennzeichnung	13
6.4 Alternative Bekämpfungsmaßnahmen (Sonderverfahren)	14
7. Leistungsverzeichnis für eine Hausschwammbekämpfung	20
8. Ergänzende Hinweise	21
8.1 Echter Hausschwamm und andere Hausschwamm-Arten	21
8.2 Überprüfen des Mykels im Zustand der Trockenware	21
8.3 Feststellung des Alters eines Hausschwammbefalls	21
8.4 Geschädigtenfreiheit	24

© Copyright by Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.
Vertrieb: WTA Publikations- und Informationsstelle, D-40600 Mönchen.
Tel.: +49 (0) 89 57 88 97 27, Fax: +49 (0) 89 57 88 97 28, e-mail: wta@wta.de

Der Echte Hausschwamm – Erkennung, Lebensbedingungen, vorbauende Maßnahmen, bekämpfende chemische Maßnahmen, Leistungsverzeichnis		Merkblatt 1-2-05/D
Dry rot – identification, living conditions, preventive measures, controlling chemical measures, list of performance		
Le champignon dans le bois – identification, conditions de vie, raison d'attaques, mesures préventives, mesures chimiques de lutte, liste de résultats		
Deskriptoren (Erkennung, Lebensbedingungen, Befallsursachen, vorbauge Maßnahmen, chemische Bekämpfung, Leistungsverzeichnis)		
Key Words Identification, living conditions, reasons for infection, preventive measures, controlling chemical measures, list of performance		
Mots Clés Identification, conditions de vie, causes de l'envahissement, mesures préventives, mesures chimiques de lutte, liste de résultats		
Erläuterungen zum Merkblatt Dieses Merkblatt gibt in Ergänzung zur Holzschutz-Norm DIN 68800-4 (Holzschutz: Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten, Ausgabe Nov. 1992) und dem Kommentar (Ausgabe 1995) detailliert alle wesentlichen Maßnahmen wieder, die zu einer sach- und fachgerechten chemischen Bekämpfung des Echten Hausschwamms erforderlich sind.		
Inhalt		
1. Allgemeine Hinweise	Seite	4
2.1 Allgemeine Hinweise	4	4
2.2 Holz	5	5
2.3 Mangel	5	5
2.4 Fäulnisstadien	5	5
2.5 Hinweise zur Erkennung und Vermeidung von Befallsproben für Bestimmungszwecke	5	5
3.1 Vorkommen	6	6
3.2 Nährsubstrat	7	7
3.3 Temperatur	7	7
3.4 Feuchtigkeit	8	8
4. Befallsursachen und vorbauge Maßnahmen	8	8
4.1 Allgemeine Baulinien	9	9
4.2 Mangelnde Bauteilherstellung	9	9
4.3 Wasserzutritte	10	10
4.4 Einschüppung	10	10
5. Spezielle Bauteile bei der Altbausanierung	10	10
5.1 Untersuchungen auf Pilzbefall	10	10
6. Bekämpfende chemische Maßnahmen	12	12
6.1 Grundrichtlinien	12	12
6.2 Chemische Holzschutzmittel	12	12
6.3 Bekämpfungsmethoden	13	13
6.3.1 Vorarbeiten und bauliche Maßnahmen	13	13
6.3.2 Behandlung des Holzes	13	13
6.3.3 Behandlung des Mauerwerks	13	13
6.3.4 Vorgehen bei chemischen Maßnahmen	13	13
6.3.5 Kennzeichnung	13	13
6.4 Alternative Bekämpfungsmaßnahmen (Sonderverfahren)	14	14
7. Leistungsverzeichnis für eine Hausschwammbekämpfung	20	20
8. Ergänzende Hinweise	21	21
8.1 Echter Hausschwamm und andere Hausschwamm-Arten	21	21
8.2 Überprüfen des Mykels im Zustand der Trockenware	21	21
8.3 Feststellung des Alters eines Hausschwammbefalls	21	21
8.4 Geschädigtenfreiheit	24	24

© Copyright by Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.
Vertrieb: WTA Publikations- und Informationsstelle, D-40600 Mönchen.
Tel.: +49 (0) 89 57 88 97 27, Fax: +49 (0) 89 57 88 97 28, e-mail: wta@wta.de

Abb. 2 u. 3: Deckblatt vom WTA-Merkblatt E 1-2-03/D und 1-2-05/D

2 Wichtigste Neuerungen im zukünftigen WTA-Merkblatt

Im Kapitel 1 „Allgemeine Hinweise“ wird die Besonderheit des Pilzes zur Recht wieder hervorgehoben. Es handelt sich hierbei um einen Pilz, der im Vergleich zu anderen holzerstörenden Pilzen, das größte Zerstörungspotential an baulichen Anlagen besitzt und am schwierigsten erfolgreich zu bekämpfen ist. Dazu bedarf es einer sachverständigen Beurteilung und einer sachkundigen Firma.

Trotzdem ist es möglich, dass dieser Pilz durch geringfügige Veränderungen an der Bausubstanz (meist Beseitigung der Feuchtequelle) sein Wachstum einstellt und absterben kann. Diese Erkenntnis wird erstmalig, ohne dies weiter zu kommentieren, im Kapitel 1 mit einem Satz erwähnt.

Die Kapitel 2 „Erkennungsmerkmale“ und Kapitel 3 „Lebensbedingungen“ werden nahezu unverändert übernommen. Es gibt kaum neuere Erkenntnisse zur Biologie des Echten Hausschwamms, die eine Änderung der beiden o.g. Kapitel rechtfertigen. Allerdings ist geplant, die 21 Bilder der beiden Kapitel komplett durch andere, jedoch der Situation entsprechend, neue Bilder, zu ersetzen. Hier soll dem Nutzer eine größere Vielfalt (altes und neues WTA-Merkblatt zusammen) der Illustrationen geboten werden.

Das Kapitel 4 „Befallsursachen und vorbeugende Maßnahmen“ wird gesplittet. Das neue Kapitel 4 wird nur die Befallsursachen in der bekannten Art und Weise benennen. Die vorbeugenden Maßnahmen am verbleibenden und neuen Holz werden in einem separaten Kapitel benannt. Dabei wird zwischen handwerkliche und industrielle Verfahren unterschieden.

Das zentrale Kapitel 5 „Untersuchungen auf Pilzbefall“ hat sich hinsichtlich der Aussage bewährt und bedarf kaum einer Änderung. Nach wie vor wird deutlich gemacht, dass eine allumfassende Untersuchung eines Gebäudes nicht möglich ist und wird auch begründet. Gerade gegenüber Laien (z.B. Bauherren, Anwälten) kann dieses Kapitel als Argumentationshilfe genutzt werden.

Ein in der Bearbeitung befindliches Organigramm soll den Nutzer des WTA-Merkblatts chronologisch durch die einzelnen Kapitel der Diagnose, Sanierungsplanung und Bekämpfung führen. Dies soll als eine Art „Checkliste“ verstanden werden, um bei der Umsetzung der einzelnen Maßnahmen auch alle zu berücksichtigen.

Das Kapitel 6 „Bekämpfende Maßnahmen“ wird im neuen Merkblatt voraussichtlich als Kapitel 7 erscheinen. Die grobe Dreiteilung, Grundsätzliches, chemische Holzschutzmittel und Bekämpfungsarbeiten, wird beibehalten.

Zu den chemischen Holzschutzmitteln werden die noch andauernden aktuellen Veränderungen bei den zulassungsgebenden Behörden berücksichtigt. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit wird auf beide Behörden, das DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) und die BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin), Bezug genommen.

Anmerkung:

Zurzeit sind 8 Schwammsperrmittel zugelassen, 2 vom DIBt und 6 von der BAuA, wobei nur 4 der BAuA-Zulassungen für die Schwammbekämpfung von praktischer Bedeutung sind.

Die Hinweise zu den Bekämpfungsarbeiten werden im neuen Werkblatt um ein Mehrfaches erweitert. Im jetzigen Merkblatt wird lediglich das Bohrlochdrucktränk- und Bohrlochtränkverfahren an ein- und mehrschaligen Ziegelmauerwerk erläutert.

Neu aufgenommen werden weitere Mauerwerksarten und –formen, wie z.B. Bruchsteinmauerwerk, Gewölbe, Stahlsteindecken, Hohlkammermauerwerk, Stürze, Pfeiler und Gesimskonstruktion. Zu allen Mauerwerksarten gibt es im WTA-Merkblatt Erläuterungen zur Behandlungsmöglichkeit gegen den Echten Hausschwamm mit Grenzen und Möglichkeiten.

Insbesondere wird auf eine behutsame, der Konstruktionsart geschuldete, Bekämpfung eingegangen. Es ist eben nicht immer möglich, an jedem Bauteil eine tiefenwirksame Behandlung im Bohrloch- bzw. Bohrlochdrucktränkverfahren umzusetzen. Mitunter

muss darauf verzichtet oder das Bauteil ersetzt werden. Hier wird insbesondere der Sachverstand der Gutachter und der Ausführungsbetriebe gefordert. Einige wenige Beispiele sollen im Merkblatt Anregungen geben, wie mit entsprechenden Bauteilen verfahren werden kann.

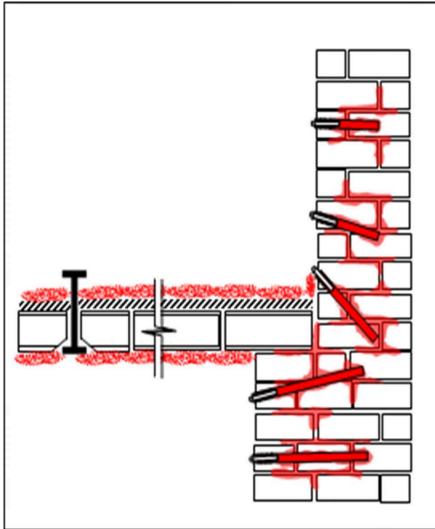


Abb. 4: Bohrlochdruckträngung im Anschluss zu einer Stahlsteindecke

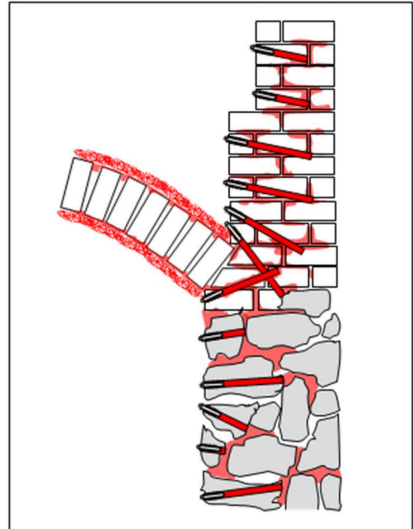


Abb. 5: Bohrlochdruckträngung im Anschluss zu einer Kappe

Trotz der im Merkblatt beschriebenen Einzelfälle, kann niemals jede im Bauwerk anzutreffende Variante berücksichtigt werden. Hier ist die Fachkompetenz des Ausführenden gefragt, der die gegebenen Hinweise für die jeweilige Bausituation modifizieren muss.

Erweitert wird das Kapitel Bekämpfungsmaßnahmen durch ausführliche Beschreibung der Behandlung von Fußböden in Keller- und Souterraingeschossen, Betonwänden, Schächten, Gruben und Mauerwerksbereichen an denen sich ein WDVS (Wärmedämmverbundsystem) befindet.

Abschließend behandelt das Kapitel 7 Fragen zum Verzicht von Schwammsperrmittel, Kennzeichnung, Dokumentation und alternative Verfahren.

Beim Verzicht zum Einsatz von Schwammsperrmitteln wird erstmalig das Problem von Wirkstoffsperrungen angesprochen. Hierbei handelt es sich um einen partiellen Einsatz von Wirkstoffen, bei denen örtliche Verhältnisse mitberücksichtigt werden müssen.

E. Flohr, Das neue WTA-Merkblatt „Der Echte Hausschwamm“

Die alternativen Bekämpfungsverfahren werden benannt und dabei auf ausführlichere Publikationen (DIN 68800, T.4, Anhang E und WTA-Merkblatt 1-10 „Sonderverfahren“) verwiesen. Die Arbeitsgruppe zum neuen WTA-Merkblatt ist sich darüber einig, dass jedwedes Sonderverfahren integraler und zusätzlich flankierender Bestandteil einer Schwammbekämpfung darstellt, welches den jeweiligen Sonderfall angepasst werden muss.

In der kürzlich überarbeitete ATV DIN 18334 „Zimmerer- und Holzbauarbeiten“ sollen Holzschutzmaßnahmen am Holz mit einfließen. Diese Hinweise sind jedoch bei weitem nicht so konkret, wie die Aufmaßhinweise im derzeitigen WTA-Merkblatt. Deshalb werden diese voraussichtlich aktualisiert und bleiben erhalten.

Das Musterleistungsverzeichnis wird den heutigen Bedürfnissen angepasst und überarbeitet. In seinem Umfang soll es in etwa bestehen bleiben.

Ergänzende Hinweise zur Altersbestimmung des Echten Hausschwamms, Überdauern des Myzels bei Trockenstarre, Gesundheitsgefahr werden beibehalten bzw. aktualisiert.

Was leisten In-situ-Messmethoden der Wasseraufnahmekoeffizienten von Außenputzen historischer Gebäude?

C. Geyer/A. Müller/B. Wehle
Biel

Zusammenfassung

Bei geputzten Fassaden historischer Gebäude wird der Wärmeschutz der Außenwände meist durch zusätzliche Wärmedämmungen auf der Innenseite erhöht. Durch das Anbringen einer innenliegenden Wärmedämmung ändert sich das bauphysikalische Verhalten der Konstruktion. In der Folge stellt sich eine neue Feuchteverteilung in der Aussenwand ein. Diese wird maßgeblich von den hygrischen Eigenschaften des Außenputzes bestimmt, da dieser den Wetterschutz sicherstellt.

Für die Feststellung des Wasseraufnahmekoeffizienten des Außenputzsystems, W_w -Werts, vor Ort stehen mit den Karsten'schen Röhrchen, der Franke'schen Prüfplatte und dem Wasseraufnahmemessgerät drei In-situ-Messverfahren zur Verfügung. Allerdings bestehen Unsicherheiten bezüglich der Genauigkeit dieser Messmethoden und der Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit Messwerten aus dem Labor.

Bei mehreren Objekten mit historischen Aussenputzen in der Schweiz wurden die Wasseraufnahmekoeffizienten mit allen drei In-situ-Messverfahren bestimmt. Auch Bohrkerne wurden entnommen, um den Wasseraufnahmekoeffizienten mit dem Labor-messverfahren nach EN ISO 15148 [1] zu bestimmen. Es wurden Korrelationen zwischen den Messwerten der verschiedenen In-situ-Messverfahren und den Laborwerten abgeleitet. Damit sind die Messwerte der unterschiedlichen Messverfahren vergleichbar. Schließlich wurde ein Praxisleitfaden [2] zur Messdurchführung der In-situ-Messungen erarbeitet.

1 Einführung

Bei geputzten Fassaden übernimmt der Außenputz die Funktion des Wetterschutzes. Die Feuchteverteilung in der Außenwand wird maßgeblich von den hygrischen Eigenschaften des Außenputzes bestimmt. Die bei einem Schlagregenereignis aufgenommene Wassermenge wird durch die Wasseraufnahmefähigkeit des Außenputzes beeinflusst, während die Austrocknung der Wand im Wesentlichen durch seine Wasserdampfdurchlässigkeit festgelegt wird [3], [4].

Bei der energetischen Sanierung historischer Gebäude ändert sich der Wandaufbau: oft wird ein innenliegendes Wärmedämmsystem, bestehend aus Wärmedämmung, Dampfbremse und Verkleidung aufgebracht. Damit verändern sich die Wärme- und Feuchteströme im Bauteil, woraus neue Feuchtegehalte der Außenwand resultieren.

Um die Robustheit des Feuchteschutzes der sanierten Außenwand zu prognostizieren, werden in der Regel hygrothermische Simulationsberechnungen durchgeführt. Ein wichtiger Eingabeparameter dieser Berechnungen ist der Wasseraufnahmekoeffizient des Außenputzes, der W_w -Wert [5]. Daher ist die Kenntnis der Wasseraufnahmekoeffizienten historischer Außenputze wichtig, um den Feuchtegehalt der sanierten Außenwand richtig vorherzusagen und mit diesem Wissen gegebenenfalls den historischen Außenputz erhalten zu können.

Daher kommt der zuverlässigen und zerstörungsfreien Bestimmung der Wasseraufnahmekoeffizienten historischer Außenputze am Objekt eine große Bedeutung für die Sanierungsplanung zu.

2 In-situ-Messverfahren

Für die zerstörungsfreie Messung der Wasseraufnahmekoeffizienten vor Ort stehen im Wesentlichen drei Messverfahren zur Verfügung: das Karsten'sche Röhrchen, die Franke'sche Prüfplatte und das Wasseraufnahmemeßgerät. Alle drei Verfahren werden an historischen Putzen der Fassaden mehrerer Objekte angewandt und mit dem Labormessverfahren für die Bestimmung von Wasseraufnahmekoeffizienten von Putzen nach EN ISO 15148 verglichen.

2.1 Karsten'sches Prüfröhrchen

Das Karsten'sche Prüfröhrchen wurde für die Messung der Wasseraufnahme an waagerechten und vertikalen Flächen konzipiert. In Bild 1, linke Seite, ist ein Prüfröhrchen auf einem historischen Putz abgebildet. In einem Röhrchen wird Wasser bis zu einer Füllhöhe von 10 cm eingefüllt. Hierdurch wird ein Staudruck von 10 cm Wasserhöhe auf die Prüffläche aufgebracht, was etwa dem doppelten Winddruck bei Orkanwindstärke entsprechen soll [6]. Die Prüffläche ist die kleinste aller drei Messverfahren und entspricht $(7,1 \pm 0,94) \text{ cm}^2$. Die in die Prüffläche eingedrungene Wassermenge wird in

kurzen Zeitabständen von einigen Minuten an einer Skala am Stauröhrchen als Höhen-
differenz des Wasserpegels abgelesen. Danach wird das Wasser im Staurohr wieder
bis auf die Sollhöhe aufgefüllt.

2.2 Franke'sche Prüfplatte

Die Prüfplatte nach Franke funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie das Karsten'sche Prüfröhrchen, weist aber eine größere Prüffläche auf. Es besteht aus einer Acrylglasplatte mit einer Breite von ca. 250 mm und einer Höhe von ca. 83 mm mit einem umlaufenden Rand, welcher mit Kitt an der zu prüfenden Fläche angebracht wird. Bild 1 rechts zeigt eine Franke'sche Platte, welche an einer Wand installiert ist. Die Größe der Prüffläche beträgt $(207 \pm 5,3) \text{ cm}^2$.



Bild 1: Karsten'sches Prüfröhrchen (links) und Franke'sche Prüfplatte (rechts), beide installiert auf einer historischen Putzfläche

Das in die Prüffläche eingedrungene Wasser führt auch hier zu einem Absinken des Wasserspiegels im Staurohr. Durch Nachfüllen von Wasser aus einer Spritzflasche wird in kurzen Zeitabständen der Wasserspiegel wieder bis zur Sollhöhe angehoben. Die von der Prüffläche aufgenommene Wassermenge wird durch Wiegen der Spritzflasche und damit durch die Gewichts-
differenz vor und nach dem Nachfüllen bestimmt.

2.3 Wasseraufnahmemessgerät

Das Wasseraufnahmemessgerät wurde von der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig in Zusammenarbeit mit der Firma hf sensor GmbH im Jahr 2012 entwickelt und ist damit das jüngste der drei Messverfahren. Bild 2 enthält ein Photo des Wasseraufnahmemessgeräts, im folgenden als WAM bezeichnet. Während der Messung wird in einem wasserdicht abgeschlossenen Messbereich durch eine Pumpe Wasser auf eine Prüffläche gesprüht, welches dann drucklos an der Prüffläche herun-

terläuft und in einer Wanne wieder aufgefangen wird. Hierdurch entsteht ein geschlossener Wasserkreislauf. Die Auffangwanne steht auf einer Waage. Das Gewicht der Auffangwanne wird während der Messung in kurzen Zeitabständen festgestellt. Die von der Prüffläche aufgenommene Wassermenge ergibt sich aus der Gewichts Differenz zweier aufeinanderfolgender Wägungen. Je nach Ausbildung der Kittfuge zur wasserdichten Verbindung des WAM mit der Prüfoberfläche ergibt sich eine Prüffläche von $(1200 \pm 10) \text{ cm}^2$.

3 Labormessverfahren der Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme von Putzen wird im Labor nach EN ISO 15148 in Form des Wasseraufnahmekoeffizienten, W_w -Wert, bestimmt. Dabei wird die zu prüfende Oberfläche der Prüfkörper 5 mm tief in flüssiges Wasser getaucht. Als Prüfkörper werden Bohrkerne der historischen Putze mit dem Putzgrund an vier Objekten entnommen. Der Durchmesser der Bohrkerne beträgt ca. 70 mm. Pro Objekt wird die Wasseraufnahme von 6 bis 8 Bohrkernen im Labor bestimmt.

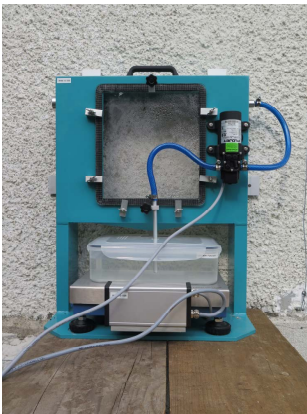


Bild 2: Wasseraufnahmemessgerät bei der Messung der Wasseraufnahme

4 Auswertung der Messungen

Bei allen drei In-situ-Messverfahren und dem Laborverfahren wird die von der Putzoberfläche aufgenommene Wassermenge über der Wurzel aus der Zeit aufgetragen. Hierdurch ordnen sich die Messpunkte entlang einer Geraden, deren Steigung dem Wasseraufnahmekoeffizienten, W_w -Wert, des Putzsystems, also des historischen Putzes einschließlich der Farbschichten, entspricht. Zur Bestimmung der Geradensteigung wird zunächst eine Regressionsgerade nach der Methode der kleinsten Summe der quadratischen Fehler an die Messpunkte angepasst. Dann wird die Geradensteigung nach der Y-aus-X Regressionsmethode ermittelt.

5 Messergebnisse

Die Messergebnisse werden für vier Objekte dargestellt. Dabei handelt es sich um drei Objekte mit historischen Putzsystemen und um ein Sanierungsputzsystem.

Für alle vier Objekte wird der Wasseraufnahmekoeffizient, w_w -Wert, vierfach bestimmt: mit den drei In-situ-Messverfahren und anhand von Bohrkernen der Außenwand im Labor. Für jede Messung wird der Wasseraufnahmekoeffizient als die Steigung der Y aus X Regressionsgeraden ermittelt. Die Messung wird zur Bestimmung der Messgenauigkeit der Methode mehrmals wiederholt. Aus den Einzelmesswerten wird der arithmetische Mittelwert und sein 95 %-Vertrauensintervall jeder Messmethode für die jeweilige Fassade ermittelt. Bei jedem Objekt wird der Wasseraufnahmekoeffizient von mindestens zwei Fassaden festgestellt.

5.1 Objekt 1 in Evilard, Kanton Bern

Bild 3 enthält eine Zusammenstellung der Messwerte aller drei In-situ-Messverfahren und der Labormessungen nach EN ISO 15148 sowie die hieraus resultierenden Mittelwerte für die Nordfassade von Objekt 1. Es ist in Bild 6 deutlich zu erkennen, dass sich die einzelnen Messwerte mit dem Karsten'schen Röhrchen signifikant unterscheiden. Der Grund hierfür sind wahrscheinlich kleine Störungen im Aufbau, wie z. B. Risse im Putz oder im Farbanstrich. Mit dem Wasseraufnahmemeßgerät

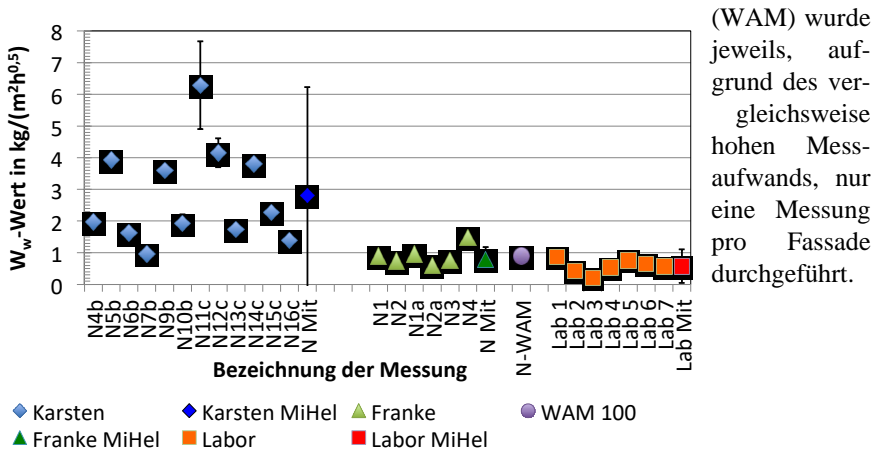


Bild 3: Zusammenstellung der Messungen des Wasseraufnahmekoeffizienten mit den drei In-situ-Messmethoden und der Labormessung nach EN ISO 15148 sowie der zugehörigen Mittelwerte für die Nordfassade von Objekt 1. Die Fehlerbalken bezeichnen die 95 % Vertrauensintervalle der Einzelmessungen und der daraus abgeleiteten Mittelwerte.

5.2 Objekt 2 in Oberdorf, Kanton Solothurn

In Oberdorf wurde an einem Wohngebäude ebenfalls die Wasseraufnahme der Süd- und Westfassade mit allen drei In-situ-Messmethoden und im Labor bestimmt.

Da nur an der Südfassade Bohrkerne gezogen werden konnten, werden nur die Messungen für die Südfassade mit den Labormessungen verglichen. In Bild 4 sind alle gültigen Messungen des Wasseraufnahmekoeffizienten zusammengestellt. Zu jeder Messmethode wird ein Mittelwert berechnet. Die Fehlerbalken bezeichnen das 95 % Vertrauensintervall des Mittelwertes jeder Fassade.

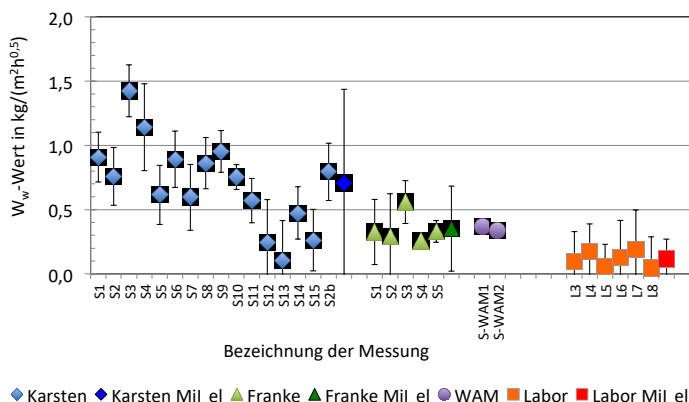


Bild 4: Zusammenstellung der Messungen aller drei In-situ-Messmethoden und der Labormethode mit den zugehörigen Mittelwerten für die Südfassade von Objekt 2. Die Fehlerbalken bezeichnen die 95 % Vertrauensintervalle [7].

5.3 Objekt 3 in Lachen, Kanton Schwyz

Beim dritten Objekt handelt es sich um die Heilig Kreuz Kirche in Lachen. Auch hier wurde die Wasseraufnahme des Putzsystems der West- und Nordfassade mit allen drei In-situ-Messmethoden gemessen. Darüber hinaus war es möglich, bei der Nordfassade Bohrkerne zu ziehen. Bild 5 zeigt eine Zusammenstellung aller gültigen Messungen des Wasseraufnahmekoeffizienten für die Nordfassade. Zu jeder Messmethode wird ein Mittelwert berechnet. Die Fehlerbalken bezeichnen das 95 % Vertrauensintervall.

5.4 Objekt 4 in Holderbank, Kanton Aargau

In Holderbank wurde die Wasseraufnahme einer Testfassade für ein Putzsystem mit einem definiertem Putz- und Farbaufbau, welches bei der Sanierung historischer Gebäude eingesetzt wird, gemessen. Hierdurch sollte die Anwendbarkeit der In-situ-Messmethoden auch für sanierte Objekte getestet werden.

Bei diesem Objekt kann auch der Einfluss der verschiedenen Komponenten auf die Wasseraufnahme des Putzsystems untersucht werden. So zeigt Bild 9 den signifikanten Einfluss des Farbanstrichs auf den Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems.

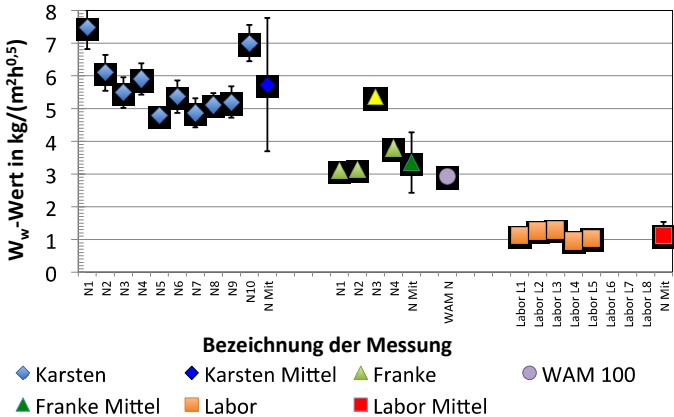


Bild 5: Zusammenstellung aller gültigen Messungen des Wasseraufnahmekoeffizienten der drei In-situ-Messmethoden und der Labormethode mit den zugehörigen Mittelwerten von Objekt 3. Die Fehlerbalken bezeichnen die 95 % Vertrauensintervalle. Die Messung N4 ist ungültig und daher gelb eingefärbt.

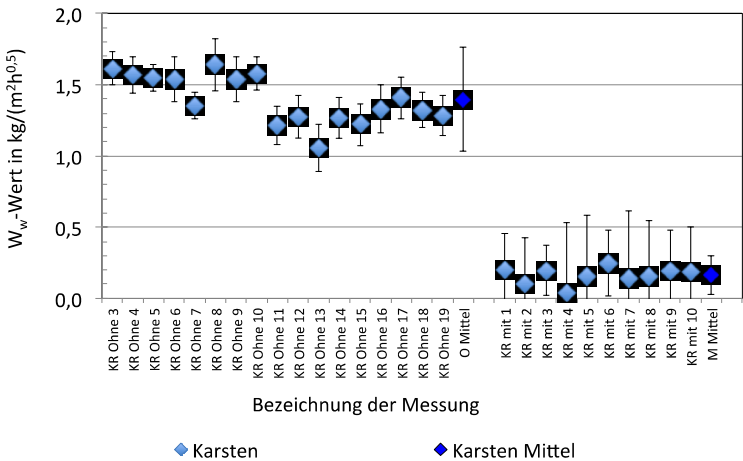


Bild 6: Zusammenstellung der Messungen des Wasseraufnahmekoeffizienten der Testfassade mit und ohne Farbanstrich mit dem Karsten'schen Röhrrchen. Die Fehlerbalken markieren das 95 % Vertrauensintervall der Einzelmessungen bzw. des Mittelwerts [7]

6 Beurteilung der Messungen

Ziel der Untersuchungen ist es, sowohl die Genauigkeit der In-situ-Messungen, als auch die Vergleichbarkeit der aus Ihnen abgeleiteten Mittelwerte des Wasseraufnahmekoeffizienten einer Fassade untereinander und mit Labormesswerten festzustellen. Für diesen Vergleich werden nun Zusammenhänge zwischen den Mittelwerten der Messwerte der In-situ-Messverfahren und denen der Labormessungen hergeleitet. Mittels dieser Abhängigkeiten wird es möglich, die Messwerte eines In-situ-Messverfahrens in Labormesswerte umzurechnen und somit vergleichbar zu machen.

6.1 Zusammenhang Karsten'sches Röhrchen und Labormessung

Zur Ableitung des Zusammenhangs zwischen den Messwerten, gewonnen mit dem Karsten'schen Röhrchen, und den Labormesswerten wurden die Messwertpaare der Mittelwerte der Labormessung über den Mittelwerten der Karsten'schen Röhrchen für alle vier Objekte aufgetragen. Sodann wird eine Ausgleichsgerade an diese Wertepaare angepasst, welche die statistische Korrelation und damit den Zusammenhang zwischen den Messwerten angibt. Bild 7 stellt die Wertepaare der Mittelwerte der Messwerte des Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, gewonnen mit der Labormessung und mit dem Karsten'schen Röhrchen dar. Außerdem ist die Regressionsgerade Y aus X dargestellt. Die statistische Auswertung ergibt eine starke Korrelation zwischen den Mittelwerten des Karsten'schen Röhrchen und den Mittelwerten der Labormessung mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,99$.

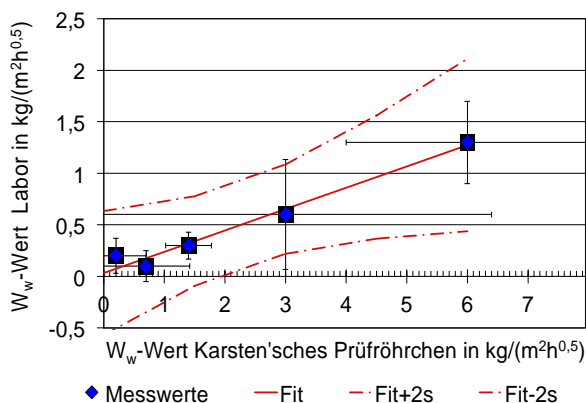


Bild 7: Korrelation zwischen den Mittelwerten der Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, gemessen mit dem Karsten'schen Prüfröhrchen und den Mittelwerten der Labormessung. Die blauen Rauten bezeichnen die Mittelwertpaare der Messwerte mit dem Karsten'schen Röhrchen und mit der Labormessung. Die Gerade stellt die Y aus X

X Korrelationsgerade dar. Die gestrichelte Linie bezeichnet das 2 Sigma Fehlerintervall der Erwartungswerte.

Die Gleichung der Korrelationsgeraden lautet:

$$W_{w,L} = (0,20 \pm 0,063) \cdot W_{w,KR} + (0,0 \pm 0,19) \frac{kg}{m^2\sqrt{h}}$$

Hierbei bezeichnet

- $W_{w,L}$ den Mittelwert des Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, bestimmt nach dem Laborverfahren
- $W_{w,KR}$ den Mittelwert des Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, bestimmt mit dem Karsten'schen Röhrchen

6.2 Zusammenhang Franke'sche Prüfplatte und Labormessung

Zur Ableitung eines Zusammenhangs zwischen den Messwerten der Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, gewonnen mit der Franke'schen Prüfplatte und den Labormesswerten werden ebenfalls die Messwertpaare der Mittelwerte der Labormessung über den Mittelwerten der Franke'schen Prüfplatte für alle vier Objekte aufgetragen. Dann wird eine Ausgleichsgerade an diese Wertepaare angepasst, welche die statistische Korrelation und den Zusammenhang zwischen den Messwerten angibt. Bild 8 stellt die Wertepaare der Mittelwerte der Messwerte, gewonnen mit der Labormessung und mit der Franke'schen Prüfplatte dar. Außerdem ist die Regressionsgerade Y aus X dargestellt. Die statistische Auswertung ergibt eine starke Korrelation zwischen den Mittelwerten der Franke'schen Prüfplatte und den Mittelwerten der Labormessung mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,97$.

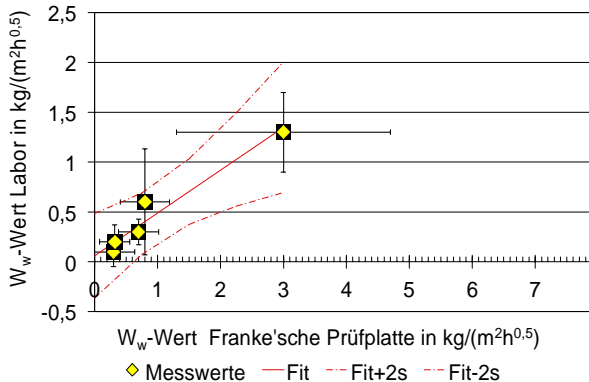


Bild 8: Korrelation zwischen den Mittelwerten der Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, gemessen mit der Franke'schen Prüfplatte und den Mittelwerten der Labormessung. Die gelben Rauten bezeichnen die Mittelwertpaare der Messwerte mit der Franke'schen Prüfplatte und der Labormessung. Die Gerade stellt die Y aus X Korrelationsgerade dar. Die gestrichelte Linie bezeichnet das 2 Sigma Fehlerintervall der Erwartungswerte

Die Gleichung der Korrelationsgeraden lautet:

$$W_{w,L} = (0,4 \pm 0,19) \cdot W_{w,FP} + (0,1 \pm 0,27) \frac{kg}{m^2 \sqrt{h}}$$

Hierbei bezeichnet

- $W_{w,L}$ den Mittelwert des Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, bestimmt nach dem Laborverfahren
- $W_{w,FP}$ den Mittelwert des Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, bestimmt mit der Franke'schen Prüfplatte

6.3 Zusammenhang WAM und Labormessung

Zur Ableitung eines Zusammenhangs zwischen den Messwerten der Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, gewonnen mit dem WAM und den Labormesswerten werden wiederum die Messwertpaare der Mittelwerte der Labormessung über den Mittelwerten der Messungen des Wasseraufnahmemeßgerätes für alle vier Objekte aufgetragen. Sodann wird eine Ausgleichsgerade an diese Wertepaare angepasst, welche die statistische Korrelation und damit den Zusammenhang zwischen den Messwerten angibt. Bild 9 stellt die Wertepaare der Mittelwerte der Messwerte, gewonnen mit der Labormessung und mit dem WAM dar. Außerdem ist die Regressionsgerade Y aus X dargestellt. Die statistische Auswertung ergibt wieder eine starke Korrelation zwischen den Mittelwerten des Karsten'schen Röhrchen und den Mittelwerten der Labormessung mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,99$.

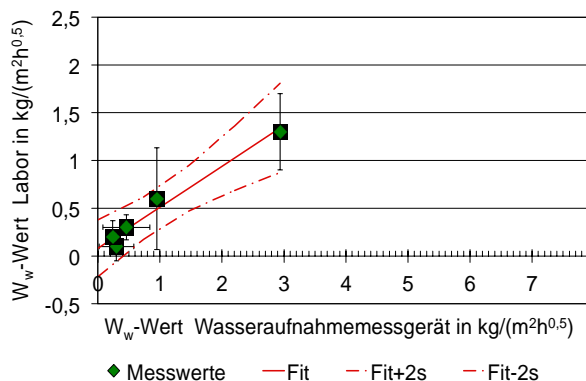


Bild 9: Korrelation zwischen den Mittelwerten der Messwerte der Wasseraufnahmekoeffizienten, gemessen mit dem WAM und den Mittelwerten der Labormessung. Die grünen Rauten bezeichnen die Mittelwertpaare der Messwerte mit dem WAM und der Labormessung. Die Gerade stellt die Y aus X Korrelationsgerade dar. Die gestrichelte Linie bezeichnet das 2 Sigma Fehlerintervall der Erwartungswerte

Die Gleichung der Korrelationsgeraden lautet:

$$W_{w,L} = (0,4 \pm 0,13) \cdot W_{w,WA} + (0,1 \pm 0,19) \frac{kg}{m^2 \sqrt{h}}$$

Hierbei bezeichnet

- $W_{w,L}$ den Mittelwert des Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, bestimmt nach dem Laborverfahren
- $W_{w,WA}$ den Mittelwert des Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems, bestimmt mit dem Wasseraufnahmemeßgerät

6.4 Fazit und Ausblick

Alle drei untersuchten In-situ-Messmethoden sind für die Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten historischer Putzsysteme geeignet. Allerdings ergeben sich mit jeder Messmethode andere Mittelwerte und Messgenauigkeiten für den Wasseraufnahmekoeffizienten des Putzsystems. Durch die parallele Messung des W_w -Wertes mit allen drei In-situ-Messmethoden und der Labormessung nach EN ISO 15148 konnten einfache Umrechnungsgleichungen der Mittelwerte der drei In-situ-Messmethoden in Mittelwerte der Labormessung abgeleitet werden. Damit werden die Messwerte der einzelnen In-situ-Messungen untereinander und mit der Labormessung vergleichbar.

Zukünftig sollten die Umrechnungsfunktionen durch die Erweiterung der Datenbasis und das Erfassen weiterer Putzsysteme historischer Objekte weiterentwickelt und verfeinert werden.

7 Danksagung

Wir bedanken uns bei der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege für die finanzielle Förderung der Arbeiten. Wir bedanken uns aber auch bei allen Hausbesitzern und der Firma fixit AG, die uns ihre Gebäude für die Untersuchung zur Verfügung gestellt haben. Insbesondere bei denen, die uns auch Bohrkerne ziehen ließen.

8 Literatur

- [1] EN ISO 15148 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen, Ausgabe 2003-03
- [2] Planerhandbuch Wasseraufnahmekoeffizienten historischer Aussenputze, Berner Fachhochschule, Biel 2015
- [3] Künzel H.: Schlagregenbeanspruchung von Gebäuden und Beurteilung des Schlagregenschutzes von Außenputzen Forschungsbericht , Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Holzkirchen 1981
- [4] Künzel H.-M.: Criteria defining rain protection external rendering systems 6th International Building Physics Conference IBPC, Turin 2015
- [5] Geyer C., Díguele-Jiménez E., Schusser B., Wehle B. Nachhaltige Erneuerung historisch wertvoller Bauten, Arbeitspaket 5: Innendämmsystem Forschungsprojekt Bundesamt für Energie, Bern, 2013
- [6] Karsten Bauchemie – Handbuch für Studium und Praxis Heidelberg, C.F. Müller Verlag, 1997

(Leerseite)

Der Gebäudesockel – das fußkranke Wesen

R. Spirgatis

Telgte

Zusammenfassung

Mit der Begrifflichkeit „Sockel“ wird der außenliegende und sichtbare Teil einer Gebäudefassade eines Bauwerks bezeichnet. Dieser Bereich oberhalb des Terrains muss einerseits den gestalterischen und optischen Ansprüchen der Bauherrschaft genügen und seine Funktion als verwitterungs- und wetterbeständiger Spritzwasserschutz erfüllen. Im Übergang zum Erdreich wird der Sockel zusätzlich mit Feuchte behaftet. Die durch Spritzwasser belastete Sockelabdichtung ist mit der erdberührten Bauwerksabdichtung fehlstellenfrei zu verbinden um den untersten Fassadenbereich dauerhaft schadfrei zu halten.

Bedingt durch die Art der Konstruktion der Fassaden müssen hierfür die Abdichtungen des Gebäudesockels geplant, ausgeführt und begleitet werden. Hilfestellungen zur Auswahl geeigneter Abdichtungsstoffe und zur Ausführung gibt die DIN 18533 „Bauwerksabdichtungen“.

1 Einführung

Der Sockelbereich unterliegt zahlreichen Beanspruchungen. Hierzu zählt oberhalb Terrains das Spritzwasser unterhalb der Geländeoberkante (GOK) mindestens Bodenfeuchte. Neben dieser Dauerfeuchte führen versickernde Niederschläge zur Feuchtheitsaufnahme mineralischer Baustoffe, sofern diese nicht wasserabweisend ausgerüstet sind. Nicht zu unterschätzen ist das Spannungsverhalten an Abdichtungsübergängen unterschiedlich verwendeter Baustoffe. Mechanische Belastungen können im Zuge der Fertigstellung der Außenanlagen mit anfänglicher Baugrubenverfüllung mit Verdichtung hervorgerufen werden. Die weitere Beanspruchung durch angrenzendes Erdreich, Wurzelbelastung können Rissbildungen an der Sockelschutzschicht und der Abdichtung hervorrufen. Die Kapillarität der mineralischen Baustoffe führt zwangsläufig zu Schadensbildungen im Übergangsbereich. Die Witterungseinflüsse wie Schlagregen und Spritzwasser, Temperaturschwankungen sowie Sonneneinstrahlung, Frost-/Tauwechsel und der Einsatz von Streusalzen wirken neben mechanischen Beanspruchungen stetig oberhalb der Geländeoberkante auf den Sockelbereich.

2 Sockelkonstruktionen

Von der Putz- über die gedämmte bis zur steinsichtigen Lösung findet sich heute eine Vielzahl verschiedener Sockelkonstruktionen:

- Einschalige Außenwände aus Mauerwerk
- Einschalige Außenwände mit Putz
- Einschalige Außenwände mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Einschalige Außenwände mit verputzter Außenwärmedämmung (VAWD)
- Zweischalige Außenwände mit Verblendmauerwerk
- Sockel mit keramischen Bekleidungen
- Vorgehängte hinterlüftete Fassaden
- Fassadenausbildungen von holzbasierten Gebäuden
- Barriere freie Zugänge
- Sonderkonstruktionen

3 Schadensursachen

Ursachen für Schäden an Gebäudesockeln von Neubauten und Bauten im Bestand sind immer fehlende, nicht fachgerecht geplante oder mangelhaft ausgeführte Abdichtungsmaßnahmen. An Bauten im Bestand findet im Sockelbereich die Feuchtheitsaufnahme mit z.B. salzhaltige Aerosole aus der Umwelt oberhalb Terrains und / oder organische Säuren als Stoffwechselprodukt von Mikroorganismen aus dem Erdreich statt. Doch nicht nur verputzte Sockel weisen die typischen Schadensbilder mit Kristallausblühungen und Abplatzungen auf. Die durch bauschädliche Salze hervorgerufenen Schäden entstehen durch Kristallisationsdruck, der beim Übergang von der

gelösten Form in die kristallisierte mit Volumenvergrößerung stattfindet. Diese Volumenvergrößerung findet während der Trocknungsphase mit Kristallisationsdruck im oberflächennahen Bereich statt. Die Porenräume der Fassadenbaustoffe sind nicht in der Lage diese Einwirkungen zu kompensieren. Dieser Prozess führt langfristig im Verdunstungsbereich des Baustoffes zur Zerstörung. Farbabplatzungen und Absandungen der Oberflächen sind der Beginn, Putzabplatzungen die Folge derartig salzbelasteter Sockelputze.

Im Winter wird dieser untere Fassadenbereich in unmittelbarer Straßennähe oft zusätzlich noch mit Streusalzen durch Spritzwasser belastet. Die Salzlauge wird kapillar durch den Sockelputz aufgenommen verursacht hygroskopische Feuchteaufnahmen. Im Winter kann es mit Erniedrigung des Gefrierpunkts zu tieferliegenden Frostsprengungen kommen. Es bildet sich hierbei ein Konzentrationsgefälle in der äußeren Zone des Sockels. Die Salzkonzentration ist im oberflächennahen Bereich höher als in den tieferliegenden. Streusalze erniedrigen bekanntlich den Gefrierpunkt des Wassers, sodass ein unterschiedliches Gefrierverhalten im streusalzbelasteten Sockel auftritt. Bei langanhaltendem Frost gefriert zuerst die innere Schicht der Sockelbekleidung, später die Oberschicht. Als letzte Schicht gefriert der Übergang zwischen den beiden Schichten. Die Bauteiloberflächen können ebenso wie Putzschichten die dabei entstehenden Druckwirkungen nicht aufnehmen und platzen ab. An Naturstein- und Ziegelsockel finden schollenartige Absprengungen statt.



Bild 1: Sockelschaden an Ziegelmauerwerk

4 Regelwerke

Zahlreiche Regelwerke wie DIN, Richtlinien, Merkblätter sowie Empfehlungen, auch Hinweise galt es bauteilbezogen vor der diesjährigen Einführung der DIN 18533 für die Abdichtung des Übergangsbereiches zu beachten. Verwirrend für alle am Bau Beteiligten, da keine einheitlich konstruktiven Aussagen zur Planung und Ausführung greifbar waren und sich zum Teil diese sogar widersprachen. Folgende Auflistung für die Planung, Ausführung und Überwachung der Gebäudesockelabdichtung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit:

- DIN 18195 Bauwerksabdichtungen
Teil 4: „Abdichtungen gegen Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Bemessung und Ausführung“
Teil 9: „Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse“;
- DIN 18195 Beiblatt 1:
„Beispiele für die Anordnung der Abdichtung bei Bauwerksabdichtungen“;
- Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen erdberührter Bauteile mit flexiblen Dichtungsschlämmen, 2006 (Deutsche Bauchemie e. V.)
- Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen erdberührter Bauteile mit mineralischen Dichtungsschlämmen, 2002 (Deutsche Bauchemie e. V.)
- Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (KMB) – erdberührte Bauteile (KMB-Richtlinie), 2010 (Deutsche Bauchemie e. V.)
- DIN 55699 „Verarbeitung von Wärmedämmverbundsystemen“
- DIN V 18 550 Putze und Putzsysteme - Ausführung;
- Richtlinie der Berufsverbände: Richtlinie Fassadensockelputz / Außenanlage
- Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Grundlagen für die Planung, Gestaltung, Ausführung, 2007 (Industrieverband WerkMörtel e. V.)
- Merkblatt Wärmedämm-Verbundsysteme im Sockel- und im erdberührten Bereich, 2000 (GTA – Gemeinsamer Technischer Ausschuss der Verbände - Bundesverband der Deutschen Mörtelindustrie e. V. sowie sechs weitere Fachverbände)
- Ausführungshinweis DIN 18195-9 – Abdichtung am Gebäudesockel, 2008 (Fachverband Hoch- /Massivbau im ZDB e. V., AK Technik – VOB/C);
- WTA-Merkblatt 2-9-04/D „Sanierputzsysteme“ (Wissenschaftlich-Technische
- WTA-Merkblatt 4-6/D „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“

Ein weiteres Merkblatt der Wissenschaftlich-Technischen-Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Baudenkmalpflege e.V. beschäftigt sich mit der „Instandsetzung von Gebäude- und Fassadensockel“. Das Regelwerk der Arbeitsgruppe 9 im Referat 4 – Mauerwerk und Bauwerksabdichtung – wurde erarbeitet, der Veröffentli-

chungszeitpunkt war zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrages allerdings nicht bekannt.



Bild 2: Fehlende Vertikalabdichtung am Gebäudesockel

Die „Sockelrichtlinie“ wurde vom Fachverband der Stuckateure für Ausbau und Fassade Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Verband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau Baden-Württemberg e.V. und weiteren Verbänden überarbeitet und mit 3. Auflage im Januar 2013 eingeführt.

- Richtlinie Fassadensockelputz / Außenanlage – Richtlinie für die fachgerechte Planung und Ausführung des Fassadensockelputzes sowie des Anschlusses der Außenanlagen

Zahlreiche Neuentwicklungen und Überarbeitungen weiterführender Regelwerke waren der Anlass, um die fachgerechte Ausführung dieser problembehafteten Schnittstelle Fassadensockelputz/Außenanlage zu optimieren. In der Sockelrichtlinie werden Lösungsvorschläge für verschiedene Anschluss-Situationen im Bereich Fassadensockel / Außenanlage erläutert und zeichnerisch sehr anschaulich dargestellt.

In diese Auflistung der Sockelregelungen reihen sich die im Jahr 2012 erstmalig herausgegebenen „Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung der Übergangsbereiche von Freiflächen zu Gebäuden“, 2012 der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) e. V. ein.“



Bild 3: Putzschäden der Innenwand aufgrund einer fehlenden Sockelabdichtung

Die sensible Schnittstelle, der Übergangsbereich von Freiflächen zu Gebäuden, wurde in der Vergangenheit bei der Planung und Ausführung zwischen den beteiligten Leistungsbereichen des Hoch- und Tiefbaus und des Landschaftsbaus nicht immer die notwendige Sorgfalt betrachtet. Fehlerhaft ausgeführte Sockelkonstruktionen oder Beschädigungen der Gebäudeabdichtung waren die Folge. Die „Empfehlungen“ stellen die wesentlichen Anforderungen an die Anschlüsse der unterschiedlichen Freiflächentypen, wie Vegetations-/ Wasser-/ Wege-/ Platz-/ Terrassenflächen an die gebräuchlichsten Außenwand- und Sockelkonstruktionen vor. Hierzu wurden technische Ausführungen in einer Vielzahl von Varianten als Prinzipskizzen dargestellt.

5 DIN 18533 Abdichtung von erdberührten Bauteilen

DIN 18533 „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“ besteht aus folgenden Teilen:

- Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- Teil 2: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen
- Teil 3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen

Mit W4-E (erdberührt) bewertet die Norm die Wassereinwirkung von Spritzwasser am Wandsockel sowie Kapillarwasser in und unter erdberührten Wänden. „Am Wandsockel bei ein- und zweischaligem Mauerwerk wirken Spritz- und Sickerwasser

auf die Sockeloberflächen, Bodenplatten, und Fundamente ein. In und unter Wänden kann Wasser kapillar aufsteigen. Bei Wänden aus zweischaligem Mauerwerk kann abrinnendes Niederschlagswasser in den Schalenzwischenraum sickern. Diese Einwirkungen machen eine Wandsockel- und Querschnittsabdichtung erforderlich. Am Wandsockel ist im Bereich von ca. 20 cm unter OK Gelände bis ca. 30 cm über OK Gelände mit W4-E zu rechnen, wenn nicht durch den Bemessungswasserstand oder aufgrund des nicht gedrännten, wenig wasserdurchlässigen anstehenden Bodens mit W2-E (Drückendes Wasser) zu rechnen ist.“ [1]



Bild 4: Sockelabdichtung mit Fensterdetailanschluss aus MDS

6 Sockelabdichtung nach DIN 18533

Zur Abdichtung von verputzten Sockeln haben sich rissüberbrückende Mineralische Dichtschlämmen (MDS) im sichtbaren Bereich wird OK Gelände auf dem vorbehandelten Untergrund bewährt. Die Abdichtung ist in zwei Aufträgen mit Mindesttrockenschichtdicke von 2 mm aufzutragen. Die Sockelabdichtung wird normativ 30 cm über, und ca. 20 cm unter Geländeoberkante ausgeführt, um die erdberührte Bauwerksabdichtung > 10 cm überlappend auf die MDS auszuführen.

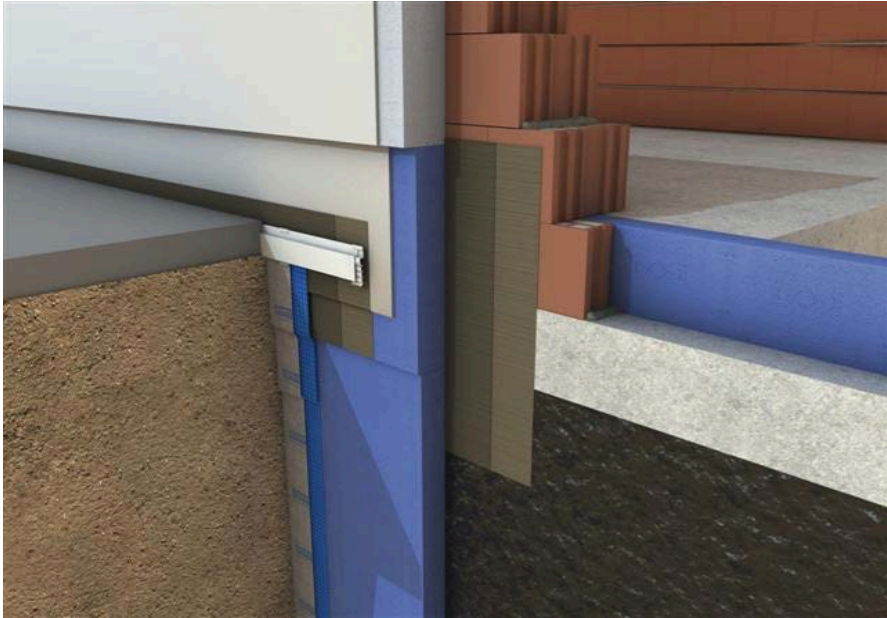


Bild 5: Übergang der Sockelabdichtung mit MDS auf PMBC Abdichtung

„Bei Wandsockeln mit Bekleidungen (z. B. Verblendmauerwerk, Wärmedämmverbundsystem (WDVS)) sollte die Abdichtungsschicht hinter der Bekleidung auf der Wand angeordnet werden. Die Bekleidungen sind dabei so zu verankern, dass die Abdichtung im wassereinwirkenden Bereich nicht perforiert wird. Ist eine Perforation unvermeidlich, sind die Verankerungen abzudichten. Bei unverputzt bleibendem, zweischaligem Mauerwerk am Gebäudesockel ist die Abdichtung unter dem Verblendmauerwerk und auf der Außenseite der Innenschale hochzuführen. Soll bei verputzten Außenwänden die Putzfläche bis zum Geländeanschluss reichen, kann im Sockelbereich die Abdichtung der erdberührten Wand 5 cm bis 20 cm unter OK Gelände hinterlaufsicher auf die Wandsockelabdichtung enden.“ [2]

Bei einer aufgehenden Wand mit Bekleidung oder WDVS ist die PMBC als Abdichtung im Sockelbereich in mindestens zwei Aufträgen aufzubringen unter der Bekleidung bzw. WDVS bis zum Rand des abzudichtenden Sockelbereichs zu führen. Die Mindestdrockenschichtdicke beträgt 3 mm. Ist die erdberührte Bauwerksabdichtung aus Polymermodifizierte Bitumendickbeschichtung (PMBC) oberhalb der Sockellinie hinter dem WDV-System, geführt, kann die Sockeldämmplatte ebenfalls nur mit der verwandten PMBC-Abdichtung vollflächig verklebt werden. Hierfür wird vorzugsweise 2-komponentige PMBC verwendet. Für die Montage der Dämmplatten im Übergang Sockel- / Perimeterdämmung ist den Herstellerangaben des verwendeten

Materials Folge zu leisten. Prinzipiell gilt es, Perimeterdämmung oberhalb der Geländeoberkante (GOK), > 15 cm, mit mind. 4 Dübeln / je m², mindestens 2 Dübel/ je Platte zu fixieren.



Bild 6: Sockelabdichtung mit PMBC hinter WDV S

Auch auf einer Sockelabdichtung aus Mineralischer Dichtungsschlämme (MDS) ist die zusätzliche Dübelmontage ratsam. Die vollflächige Verklebung der Sockeldämmplatten erfolgt mit dem zugehörigen Klebemörtel des WDV-Systems. Die systemzugehörige Armierungsschicht ist bis knapp unter die Sockellinie, max. 10 cm, herabzuziehen. Je nach Gestaltungsvorgabe ist der Oberputz ebenfalls unter GOK aufzutragen. Der untere Putzabschluss ist mit rissüberbrückender MDS hinterlaufsicher und überlappend zusätzlich abzudichten. Das Wärmedämmverbundsystem übernimmt keine Abdichtungsfunktion. Die nach DIN V 18550 eingesetzten Wasser hemmenden Putzsysteme müssen unterhalb der Sockellinie, einbindend im Erdreich gegen Feuchtigkeitseintrag abgedichtet und mit einer Schutzschicht versehen werden. Bei nur geringer Einbindung in das Erdreich werden die Sockeldämmplatten unter 45° angefast/angeschrägt, und die Armierungsmörtelschicht möglichst bis auf den Untergrund ausgebildet. Nach Durchtrocknung des Armierungsmörtels wird der Oberputz aufgetragen. Die erdberührende Einbindung wird umlaufend streifenförmig aus mineralischer Dichtschlämme (MDS), riss überbrückend gegen kapillare Feuchtigkeitseinfangnahme abgedichtet. Diese Putzabdichtung aus MDS wird überlappend auf

die erdberührte Bauwerksabdichtung bis ca. 5 cm oberhalb der unteren Sockellinie geführt. Wie zuvor beschrieben empfiehlt sich, vor dem Verfüllen der Baugrube eine Schutzschicht mit mindestens 2-lagiger Noppenbahn anzuordnen um Beschädigung beim Verfüllen mit Erdreich vorzubeugen. Bauseits wird dieses oft mit einer Noppenfolie sichergestellt, die fälschlicherweise die Putzabdichtung ersetzen soll.

Bei zweischaligen Mauerwerken am Gebäudesockel wird die Abdichtung hinter der Verblendschale auf der Außenseite der Innenmauer hochgeführt. Der Schalenzwischenraum sollte am Fußpunkt der Verblendschale oberhalb der Geländeoberfläche entwässert werden. Der Abstand dieser zur Lüftung genutzten Öffnung muss > 10 cm GOK betragen. Entwässerungsöffnungen unterhalb der Geländeoberkante dürfen nur dort angeordnet werden wo dauerhaft in eine Dränung entwässert werden kann. Die Sockelabdichtung erfolgt vorzugsweise mit MDS mit 2 mm Mindesttrockenschichtdicke.

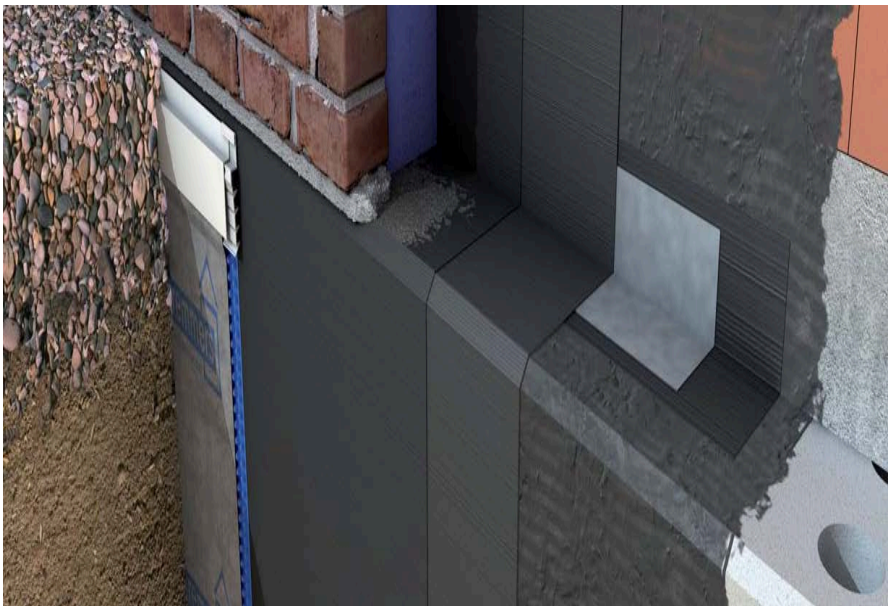


Bild 7: Sockelabdichtung mit MDS hinter Verblendmauerwerk

7 Sockelinstandsetzung auf Schadsalz belastetem Putzgrund

Die Bewertung der Bauschädlichen Salze im oberflächennahen Bereich von Mauerwerken erfolgt nach dem WTA-Merkblattes 4-9/D „Sanierputzsysteme“. Der Versalzungsgrad, wird mit „gering“, „mittel“ oder „hoch“ eingestuft und die Maßnahmen

werden mit Sanierputz-WTA in Abhängigkeit vom Versalzungsgrad ein- oder mehrlagig geplant.

Tabelle 1: Schadensverursachende Wirkung verschiedener Salzionen- Angaben in Masse % [3]

Chlorid	< 0,2 %	< 0,2 - 0,5 %	> 0,5 %
Nitrate	< 0,1 %	< 0,1 - 0,3 %	> 0,3 %
Sulfat	< 0,5 %	< 0,5 - 1,5 %	> 1,5 %
Belastung	gering	mittel	hoch

Hierbei ist Sanierputz der geeignete Verputz feuchter und salzhaltiger Mauerwerke, da er eine hohe Porosität zur Einlagerung bauschädlicher Salze, eine erhöhte Wasserdampfdiffusion sowie eine verminderte kapillare Leitfähigkeit aufweist. Ein Sanierputzsystem nach WTA, besteht aus Spritzbewurf, Poren-/ Grundputz-WTA und Sanierputz-WTA mit nachgewiesener hoher Salzresistenz. Als Sockelputz ist Sanierputz auf Grund seines Anforderungsprofils und seiner Eigenschaften geeignet und wird ausschließlich oberhalb der Geländeoberfläche eingesetzt.

Tabelle 2: Maßnahmen in Abhängigkeit des Versalzungsgrads [3]

Belastung	Maßnahmen	Schichtdicke in mm
gering	1. Spritzbewurf 2. Sanierputz	< 5 > 20
mittel	1. Spritzbewurf 2. Sanierputz 3. Sanierputz	< 5 10 - 20 10 - 20
hoch	1. Spritzbewurf 2. Grundputz 3. Sanierputz	< 5 > 10 > 15

8 Putzabdichtung

Generell nehmen ungeschützter Sockelputze die bis in das Erdreich einbinden Feuchtigkeit auf und zuvor beschriebene Schadensbilder entstehen. Der Sockelputz ist mit einer Putzabdichtung zu verwahren. Diese sollte > 5 cm oberhalb der Geländeoberfläche (Schneeschnitzgrenze) und > 10 cm auf vorhandene erdberührte Bauwerksabdichtung ausgebildet werden. Vorzugsweise erfolgt dieser konstruktiver Feuchteschutz mit flexibler Mineralischer Dichtschlämme. Als Schutzschicht nach vollständ-

diger Durchtrocknung der Putzabdichtung hat sich eine mindestens zweilagige Noppenbahn praxisbewährt.



Bild 8: Sanierputzsockel mit Putzabdichtung

Fazit

Schäden am Übergangsbereich der Fassade zum Erdreich, dem Gebäudesockel, sind auf den unmittelbaren Feuchtigkeitseinfluss zurückzuführen. In Höhe des Terrains wird der Sockel durch Spritzwasser beansprucht, erdberührt wirkt zumindest Bodenfeuchtigkeit ein. Bedingt durch die unmittelbare Straßennähe mit PKW-Verkehr erfolgt zusätzlich eine Belastung durch Streusalze.

Mangelhafter Feuchteschutz und Bauwerksabdichtung des Sockelbereichs begünstigt die kapillare Wasseraufnahme und führt zu Funktionseinschränkung dieses Bauteils. Die Abdichtungen des Gebäude- und Fassadensockels sind mit Erscheinen der DIN 18533 „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“ geregelt. Die Norm empfiehlt Gebäude so planen und das umgebende Gelände derart zu gestalten, dass nur geringe Beanspruchung der erdberührten Bauteile und des Sockelbereiches durch Wasser zu erwarten sind.

Das Bauteil Sockel erhält eine eigene Zuordnung. Beanspruchungen von Bauwerksabdichtung in und unter Wänden durch Sicker- und / oder Kapillarwasser sowie des

Wandsockels durch Spritz- und Oberflächenwasser wird in dieser DIN 18533 als Wasserbeanspruchungskasse W 4-E bezeichnet. Die Beanspruchung am Wandsockel ist im Bereich 20 cm unter Oberkante Gelände bis 30 cm über Gelände zu berücksichtigen.

Den Fachleuten obliegt es nun die Abstimmungsprobleme der betreffenden Gewerke aufzuheben, um den bekannten Planungs- und Ausführungsfehlern vorzubeugen. Die in diesem Artikel angesprochenen Problemstellungen können nur unter Beteiligung aller am Bau Beteiligten „Hand in Hand“ gelöst werden.

Bildverzeichnis

- [1] AMS Schmechtig, GF Michael Schmechtig, Gutenswegen
- [2] Bauen im Bestand; Außenabdichtungen; A. Brundiers, G. Hebeisen, R. Hunstock, A. Meyer, R. Spirgatis; Beuth Verlag GmbH + Fraunhofer IRB Verlag; 2014
- [3] siehe zuvor
- [4] MARKO Bautenschutz, GF Ralf Markowski, Gnarrenburg
- [5] Remmers GmbH, Lönigen, Werksliteratur
- [6] AMS Schmechtig, GF Michael Schmechtig, Gutenswegen
- [7] Remmers GmbH, Lönigen, Werksliteratur
- [8] Schleiff Bauflächentechnik, Denkmalpfleger Gerhard Schlauch, Erkelenz

Literatur

- [1] DIN 18533-1:2017-02 „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“ — Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze; 5.1.4 W4-E – Spritzwasser am Wandsockel sowie Kapillarwasser in und unter erdberührten Wänden; DIN Deutsches Institut für Normung e. V.; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin
- [2] siehe zuvor; 8.8.2.3 Wandsockel mit Bekleidungen
- [3] WTA Merkblatt 2-9 „Sanierputzsysteme“, Vertrieb Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart

(Leerseite)

Nachträgliche Kerndämmung von Hohlwänden

A. Drewer
Paderborn

Zusammenfassung

Zu den effizientesten und kostengünstigsten Verfahren der Außenwanddämmung gehört die Verfüllung von Luftschichten zweischaliger Mauerwerke mit geeigneten Dämmstoffen. Dieses Verfahren ist seit den 1960er Jahren bekannt und wurde seitdem mit Erfolg bei über 500.000 Gebäuden in Deutschland, GB und BeNeLux erfolgreich eingesetzt. Inzwischen existieren mehr als 30 unterschiedliche Produkte am Markt. Dieser Artikel bietet eine Einführung in die Historie und Bauphysik der nachträglichen Kerndämmung von zweischaligem Mauerwerk und fasst die Erfahrungen von vielen nachträglich kerngedämmten Gebäuden zusammen. Das Verfahren ist hochwirtschaftlich und für das Gebäude i.d.R. unproblematisch. Randaspekte wie Wärmebrücken oder Rollladenkästen werden ebenso behandelt wie spezielle Konstruktionen

1 Typische zweischalige Mauerwerke



Bild 1: Mauerwerke mit gemauerten und verputzten Innen- und Außenschalen, auf den ersten Blick oft nicht als zweischalige Konstruktionen zu erkennen.



Bild 2: Außenwände mit Klinkerschalen, ein bevorzugter Baustil im nord- und westeuropäischen Raum.

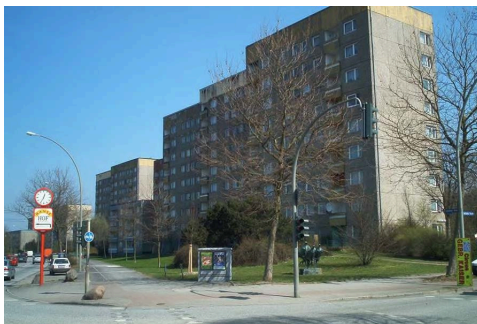


Bild 3: Außenwandkonstruktionen mit vorgehängten Betonplatten, wie sie an vielen öffentlich und gewerblich genutzten Gebäuden aus den 1960 - 80er Jahren zu finden sind

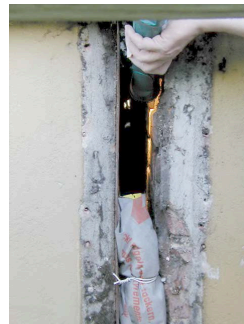
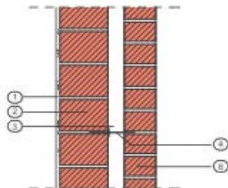
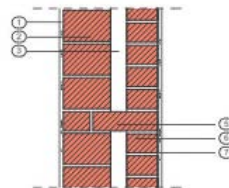


Bild 4: Gebäudetrennwände, häufig zweischalig mit einer Luftschicht ausgeführt, die in Verbindung mit der Außenluft steht.



Grafik 1: Hohl-schichtmauerwerk mit Luftschichtanker: 1 Innenputz, 2 Mauerwerk, 3 Luftschicht, 4 Maueranker, 6 Vorsatzschale, 7 Außenputz



Grafik 2: Hohl-schichtmauerwerk mit 5 Läuferstein

Die ursprüngliche Bauart mit monolithisch konstruiertem Mauerwerk übernimmt neben statischen Funktionen gleichzeitig den Schutz vor den Unbilden der Witterung. Dies hat einen entscheidenden Nachteil: In den windstarken Gebieten Norddeutschlands kann Schlagregen in die Wand eindringen und sie durchfeuchten. Dieser Effekt wird verstärkt durch Tauwasserbildung an Wärmebrücken. Einschalige Mauerwerke ziehen relativ kühle, feuchte Innenflächen nach sich, mit den bekannten Problemen

- Schimmelbildung,
- Unterkühlung durch verdampfendes Wasser,
- Zugserscheinungen, hervorgerufen durch kalte Oberflächen.

Kurz, einschalige Mauerwerke sorgen unter ungünstigen Umständen für eine sehr eingeschränkte thermische Behaglichkeit, verbunden mit latenter Gesundheitsgefährdung. Hinzu kommt ein ungehinderter und relativ hoher Wärmedurchgang, was zu hohen bauteilflächenbezogenen Heizkosten führt.



Bild 5: Hohllochschicht ungedämmt



Bild 6: teilweise nachträglich gedämmt

Eine gewisse Abhilfe schuf die Erfindung des zweischaligen Mauerwerks. Erste zweischalige Gebäudekonstruktionen wurden in den 50er Jahren des 19. Jhdts. erstellt. Die 2-14 cm dicke, teilweise belüftete Luftschicht dazwischen entkoppelt die beiden Funktionen „Statik innen“ und „Witterungsschutz außen“. Die Außenschale stellt sicher, dass von außen eindringendes Niederschlagswasser nicht zur Innenschale gelangt. Diese bleibt trocken und garantiert dadurch ein gewisses Maß an Behaglichkeit. Darüber hinaus entschärft sie Wärmebrücken an einbindenden Bauteilen. An diesen Stellen entstehendes Tauwasser kann in die Luftschicht verdampfen und wird durch den Luftstrom abgeführt, bzw. verteilt.

2 Eigenschaften zweischaligen Mauerwerks

Eine „stehende Luftschicht“ isoliert?

„Luft isoliert“ ist eine gängige Einschätzung, die landauf, landab kursiert. Demnach wäre die Luftschicht zweischaliger Außenwandkonstruktionen eine optimale Dämmung der Außenwand. Das ist jedoch ein Irrglaube! Einerseits wird die Wärmeübertragung durch Strahlungsaustausch zwischen der wärmeren inneren und der kalten äußeren Begrenzungsfläche der Luftschicht nicht beachtet.

Andererseits wird bei dieser Behauptung nicht bedacht, dass eine erhebliche konvektive Wärmeübertragung zwischen der inneren Begrenzungsfläche und der Luft im Spalt stattfindet. Warme Luft steigt bekanntlich nach oben. Dazu kommt der Umstand, dass feuchte Luft leichter ist als trockene. Wir erinnern uns: Die Luftschicht wurde erfunden, um das Tragwerk vor Feuchte zu schützen und vorhandene Feuchte abzuführen, bzw. zu verteilen. Beides, Erwärmung und Auffeuchtung der Luft sind Antriebsmotoren für eine ständige Luftbewegung im Luftspalt, vornehmlich von unten nach oben. Der obere Abschluss der Luftschicht ist in den meisten Fällen offen! Die Luft kann permanent entweichen und erzeugt einen partiellen Unterdruck im Spalt. Da Mauerwerke wegen vieler kleiner Risse und Spalten niemals völlig dicht sind, strömt durch die Außenschale auch ohne geplante Zuluftöffnungen permanent kalte Außenluft nach.

Eine „stehende Luftschicht“ ist ein Ammenmärchen!

Meist sind die Luftschichten jedoch durch Öffnungen im unteren Bereich belüftet. In diesem Fall entspricht die Temperatur der Luftschicht nahezu der der Außenluft. Der Wärmewiderstand der Außenwand endet an der inneren Begrenzung der Luftschicht. Vergleichen wir ein 30 cm dickes monolithisches Mauerwerk aus Mauerziegeln (U-Wert ca. $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) mit einem 44 cm dicken zweischaligen Mauerwerk (U-Wert $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$), stellen wir fest, dass die „ruhende“ Luftschicht zwar eine deutliche Verbesserung ist. Doch der U-Wert dieser Konstruktion liegt noch um etwa den Faktor 4,6 über den Anforderungen der EnEV 2009 für neue oder außen gedämmte Außenwände.

Die Wärmeverluste ungedämmter Außenwände sind unabhängig von Belüftungsöffnungen trotz Luftschicht erheblich.

3 Feuchtetechnische Funktionsweise der nachträglichen Kerndämmung/Bauphysik

Auf der Innenseite der Außenschale einer nicht gedämmten Hohlwand entsteht Tauwasser. Da die Luftschicht den Feuchtetransport nach innen verhindert, bleibt die Innenschale trocken. Wird die Hohlwand mit Dämmstoff gefüllt, sinkt die Temperatur der Außenschale fast auf Außentemperaturniveau. Das vergrößert die Tauwasser-

menge. Diese Feuchtigkeit darf auf keinen Fall durch die Dämmung kapillar nach innen transportiert werden. Daher müssen alle vom DIBt^I zugelassenen Kerndämm-Produkte hydrophob (= wasserabweisend) sein. Dies wird im Zulassungsverfahren getestet. Da hydrophobe Dämmstoffe nicht in der Lage sind, Tauwasser kapillar nach innen zu transportieren, bleibt die Innenschale auch mit gefüllter Hohlachicht dauerhaft trocken.

Jede bauphysikalische Berechnung nach Glaser weist an der Grenzschicht Kerndämmung/Außenschale Tauwasseranfall auf. Da dieser in der Praxis ungefährlich ist, wird in § 3.3 der bauaufsichtlichen Zulassungen^{II} aller Produkte betont:

„3.3 Tauwasserschutz

Ein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls infolge Wasserdampfdiffusion ist nicht erforderlich.“

Der ausführende Fachbetrieb und der Hausbesitzer sind also abgesichert durch:

- a) Die bauaufsichtliche Zulassung (Rechtssicherheit)
- b) Die positive Erfahrung aus hunderttausenden derartig gedämmter Gebäude^{III}.
- c) Wissenschaftliche Untersuchungen^{IV}

4 Menge/Marktgröße

Verschiedene Schätzungen^V sprechen von zwischen 1,5 und 2 Millionen Wohngebäuden in Deutschland mit zweischaligem Mauerwerk. Die durchschnittliche Dicke der Hohlachicht beträgt 7 cm^{VI}, bei durchschnittlich 150 m² zu dämmender Fläche eines EFH. Mithin beträgt das Marktvolumen ca. 20 Millionen m³ Kerndämmung. Hinzu kommen Gebäude mit vorgehängten (Wasch)-Beton-Fassadenelementen und die Gebäudetrennfugen. Vorzugsweise ist die Zweischaligkeit im Norden und Westen von Deutschland verbreitet, vereinzelt gibt es aber auch derartige Wohnsiedlungen in Baden-Württemberg und Bayern.

5 Kosten/Einsparpotenzial

Die Kosten von Kerndämmungen werden meistens in € pro m³ angegeben. Sie liegen ohne Nebenarbeiten normalerweise zwischen 200 und 300 €/m³ netto. Pro Objekt liegt das durchschnittliche Investitionsvolumen unter 3.000 € (EFH).

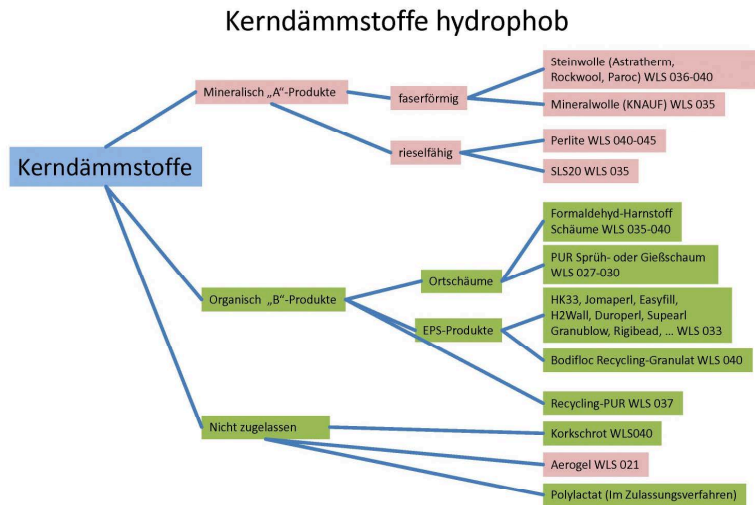
Abhängig von der Hohlachichtdicke und dem verwendeten Dämmstoff verringert sich der U-Wert der Wand von durchschnittlich 1,4 W/m²K auf unter 0,4 W/m²K. Der Wärmeverlust der Wand wird also mehr als gedrittelt. Die Heizkosteneinsparung refinanziert die Dämmkosten innerhalb 4 - 8 Jahren (abhängig von der Dicke der Luftschicht, dem verwendeten Material und der Nutzung).

A. Drewer, Nachträgliche Kerndämmung von Hohlwänden

Es muss jedoch allerdings darauf hingewiesen werden, dass Wärmebrückeneffekte im Bereich von Fensterlaibungen und durchgezogenen Betondecken/Bodenplatten/Balkonen die Wirkung der nachträglichen Kerndämmung punktuell stark einschränken können.

6 Produkte

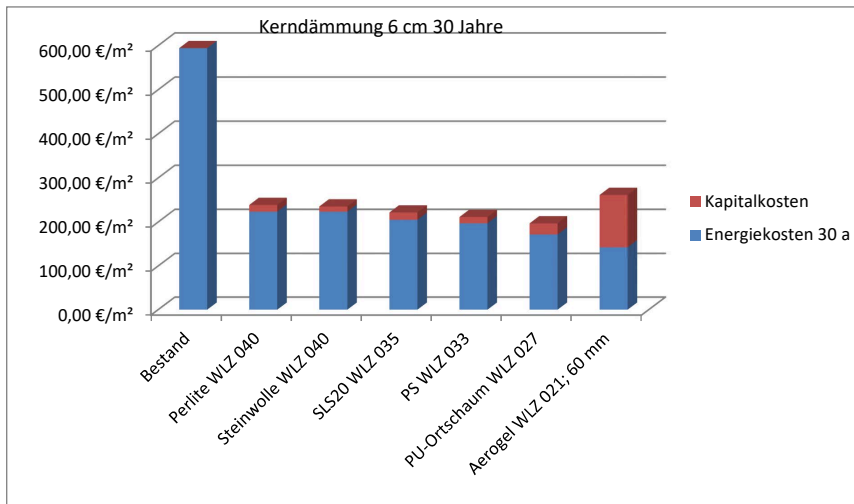
Die nachträgliche Kerndämmung von zweischaligem Mauerwerk wurde von der „Deutschen Perlite“ in den 1960er Jahren „erfunden“. Mittlerweile liegen in Deutschland Erfahrungen von weit über 200.000 nachträglich gedämmten Gebäuden vor. Heute bieten über 30 Hersteller höchst unterschiedliche Produkte an:



Grafik 1: Kerndämmstoffe zur nachträglichen Kerndämmung von zweischaligem Mauerwerk. Rot: mineralisch - unbrennbar, Grün: organisch – normal entflammbar

Nicht alle Produkte sind für jeden Anwendungsfall geeignet. Bei Hochhäusern und öffentlichen Gebäuden ist aus Brandschutzgründen ein unbrennbares Produkt der Klasse A1 erforderlich. Je schmaler die Hohl-schicht, desto besser sollte die Dämm- und Rie-sel-fähigkeit sein (kleiner Wärmeleitwert/Lambda-Wert). Bei schmalen Hohl-schichten sollten hochdämmende Produkte gewählt werden (Polyurethan).

Die Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmaßnahmen sollte über einen langen Zeit-raum bewertet werden. Bezogen auf die Lebensdauer von 30 Jahren ist nicht jedes preiswerte Produkt auch das günstigste:



Grafik 2: Wirtschaftlichkeit verschiedener Kerndämm-Maßnahmen über 30 Jahre gerechnet.

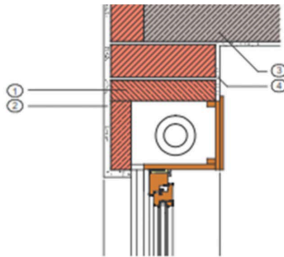
Die Kerndämmung mit 027er PUR-Ortschaum ist zwar doppelt so teuer wie bspw. die Dämmung mit einem 033er Polystyrol-Kerndämmstoff. Die Gesamtkosten, aus Finanzierung der Dämmung und verbleibende Energiekosten auf 30 Jahre hin summiert, sind auf lange Sicht jedoch niedriger.

7 Schwächen/Grenzen der Kerndämmung

1. Wärmebrücken (in Fensterlaibungen, Betondecken, Balkonen usw.) bleiben erhalten. Falls kein zusätzliches WDVS aufgebracht wird, muss ggfs. aus Schimmelschutzgründen innen eine Calciumsilikat-Platte aufgebracht werden.
2. Die Dicke der Hohl-schicht ist begrenzt. Daher können nur mittelmäßige U-Werte erreicht werden.
3. Mörtelreste am Fußpunkt und andere Wärmebrücken können oft nicht entfernt werden. Dort bleibt die Wand so, wie sie vor der Dämmung war.

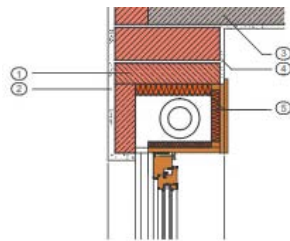
A. Drewer, Nachträgliche Kerndämmung von Hohlwänden

4. In der Wand angebrachte Rollladenkästen müssen auf jeden Fall vor einer Kerndämmung überprüft werden. Ist die Hohlchicht mit dem Rollladenkasten verbunden, muss sie mit geeigneten Stopf-Dämmstoffen abgestopft werden. Flankierend zu dieser Maßnahme sollte dann auch der Rollladenkasten gedämmt werden. Er ist oft das schlechteste Bauteil im Gebäude!



(Querschnitt)

Grafik 3: Rollladenkasten vor der Dämmung
1 Ziegelsturz, 2 Außenputz, 3 Betondecke,
4 Innenputz



Grafik 4: Rollladenkasten
nach der Dämmung:
5 Hochleistungs-dämmplatte
(Phenolharz, PUR, Spaceloft)

8 Gesetze, Förderungen

Normalerweise schreibt die EnEV bei wesentlicher Änderung der Außenwand einen Ziel-U-Wert von $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ vor. Für die nachträgliche Kerndämmung jedoch gilt: „Bei einer Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk nach ... gilt die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird.“ Ein Zuschuss von der KfW (Teilschulderlass bzw. direkter Zuschuss von 10%) wird gewährt, wenn der verwendete Kerndämmstoff einen Lambda-Wert von $\leq 0,035 \text{ W/mK}$ aufweist.

9 Standfestigkeit der Vormauerschale

Zweischalige Außenwände mit Hohlchicht haben vermehrt Probleme mit der Standsicherheit. Durch Korrosion beschädigte Mauerwerksanker, schadhafte Fugen, Risse, gealterter Mörtel zwischen den Mauerwerkslagen... Hierdurch können zweischalige Außenwände, (besonders vor BJ 1974) ihre Standsicherheit einbüßen. Nach DIN 1053 wurden betroffene Mauerwerke in der Vergangenheit mechanisch vernadelt. Dieses Verfahren ist in der Praxis bewährt, aber sehr aufwändig / kostenintensiv (ca. 7 Anker

pro qm) und mit umfangreichen Vor- und Nacharbeiten verbunden. Zudem fehlt es dem Gebäude für die Zukunft noch immer an einer effizienten Wärmedämmung. Eine Mauerwerksverfestigung mit Polyurethan-Gießschaum kann in der Regel eine mechanische Vernagelung ersetzen. Gleichzeitig bietet das System den Vorteil einer exzellenten Kerndämmung. Somit wird die Standfestigkeit des Gebäudes langfristig gesichert und dauerhaft Energiekosten eingespart. Das Produkt basiert auf einem speziellen, zu diesem Zweck entwickelten Polyurethanschaum. Der Schaum ist ökologisch unbedenklich und nicht gesundheitsschädlich. Durch seine hohe Rohdichte ca. 55 kg/m³ bleibt der Schaum dauerhaft haltbar und formstabil. Das Material verklebt die Mauerwerksschalen hohlraumfrei und kraftschlüssig. Ein Tauwasser Ausfall in der Konstruktion ist unproblematisch, da das Produkt hydrophob eingestellt ist. Durch die Geschlossenzelligkeit des Materials ist ausgeschlossen, dass durch den Schaum Schlagregen von der Außenseite auf die Innenseite übertragen wird. Der Schaum bietet eine zuverlässige Trennung gegen Kälte, Wärme und Feuchtigkeit, ist aber dennoch atmungsaktiv ($\mu = 30$). Die Konstruktion ist vor Anwendung durch einen Bausachverständigen (Prüfingenieur oder Beratenden Ingenieur für Baustatik) zu überprüfen. Je nach lokalen Vorschriften ist eine ZIE einzuholen.

- Geprüft vom Materialamt Hannover
- Geprüft vom Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
- DIN-konform nach DIN 18159

Das Produkt wird flüssig durch die Bohrlöcher eingebracht und verteilt sich gleichmäßig in der Hohlwand. Nach ca. 25 Sekunden steigt der Schaum auf, ohne statischen Druck auf die Konstruktion auszuüben. Er füllt die Hohlwand vollständig aus und wird tranchenweise eingebracht. Das geschmeidige Material penetriert in die Mauerwerksschichten. Löcher und Mauerrisse werden verfestigt. Wärmebrücken, wie z.B. Mörtelreste, Staub & Sand werden im Vorfeld ausgeräumt / abgesaugt / ausgeblasen. Nicht entfernbare Fremdkörper werden vom Schaum ummantelt. Die Konstruktion wird vor der Injektion mit einem Nebelgenerator auf Undichtigkeiten überprüft. Der Prozess ist durch ein Endoskop visuell zu überwachen.

Die Hohlwand wird verfestigt und zugleich vollflächig gedämmt. Ein lückenloses Schäumen ist garantiert. (Nachträgliche Überprüfung durch Thermographie) Die Bohrlöcher werden anschließend mit Fugenmörtel wieder verschlossen. Nach Verfestigung können die schadhafte Fugen ggf. gefahrlos ausgebaut und erneuert werden. Das Verfahren wurde bei dem Großprojekt „Sanierung Reichardblöcke“ in Hamburg erfolgreich eingesetzt

10 Vorteile nachträglicher Kerndämmung

Für Hohl-schicht-mauerwerke ist die Verfüllung der Luftschicht mit einem Kerndämmstoff die mit Abstand wirtschaftlichste Wärmeschutzmaßnahme. Für jeden möglichen

A. Drewer, Nachträgliche Kerndämmung von Hohlwänden

Anwendungsbereich steht eine Vielzahl von Produkten zur Verfügung. Ohne die Füllung der Hohlachicht sind außen aufgetragene Wärmedämmungen nahezu wirkungslos. Einen perfekten Wärmeschutz erhält das Gebäude jedoch, wenn zusätzlich zur Kerndämmung eine Außendämmung durchgeführt wird.

Quellenverzeichnis:

- ^I Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- ^{II} DIBt, Berlin
- ^{III} Nicht nur in Deutschland, sondern auch in BeNeLux, GB, DK und anderen europäischen Ländern
- ^{IV} Untersuchungsbericht des Fraunhofer Institutes, 1991;
Leitfaden Kerndämmung der FH Oldenburg 2008;
Britt Haker, Dipl. Arbeit „Möglichkeiten und Grenzen nachträglicher Kerndämmung“, Eckernförde 2001
- ^V Deutsche Perlite, BASF, eigene Schätzungen
- ^{VI} Eigene Untersuchungen von 600 Gebäuden

Sanierung außerhalb der Norm am Beispiel einer zweischaligen Mauerwerkskonstruktion

J. Saxler
Hamburg

Zusammenfassung

Anhand eines Pilotprojektes in Hamburg-Altona wurde 2016 erstmalig die Verwendung von PU-Ortschaum als innovative Sanierungsmethode zur nachträglichen Stabilisierung und simultanen Dämmung von zweischaligen Mauerwerkskonstruktionen im Bestand erprobt. Veranlassung war die nicht mehr gegebene Sanierungsfähigkeit der standsicherheitsgefährdeten Verblendschalen mittels gängigen Sanierungsmethoden unter Verwendung von Sanierungsankern. Durch Anwendung dieser innovativen Sanierungsmethode gelang einerseits die Erhaltung der denkmalgeschützten Fassade in situ ohne Rückbaumaßnahmen, andererseits eine simultane energetische Ertüchtigung. Als nichtgeregelte Bauweise außerhalb der Norm erfolgte die erstmalige Anwendung dieser innovativen Sanierungsmethode auf Grundlage von Zulassungen im Einzelfall (ZiE), deren positive Bescheidung durch die Bauaufsicht umfangreiche Materialuntersuchungen im Prüflabor und am Pilotprojekt vorausgegangen sind.

Die zwischenzeitlich erfolgten Nachuntersuchungen am Pilotprojekt verweisen durchgängig auf eine ausreichend eingestellte Verbundwirkung des multifunktionalen PU-Ortschaums. Durch instationäre Untersuchungen am Pilotprojekt wird derzeit das Langzeitverhalten des PU-Dämmstoff-Verbundsystems überprüft. Die bisherigen Resultate lassen auf breite Anwendung in der Sanierung hoffen.

1 Einführung

Bei dem Pilotprojekt „Reichardtblock“ handelt es sich um eine denkmalgeschützte Wohnanlage, die für den Altonaer Spar- und Bauverein eG durch den Architekten Hans Meyer in den Jahren 1928-1930 errichtet worden ist. Teilbereiche der Attikageschosse wurden im Jahr 1944 zu Wohnungen ausgebaut; Wiederaufbaumaßnahmen nach Kriegszerstörungen in den Jahren 1946 -1950 durch den Architekten Hans Meyer betrafen Teilbereiche der Anlage. Die Wohnanlage umfasst insgesamt etwa 400 Mietwohnungen zwischen 50-65 qm, ist vollständig unterkellert und bis zu 4-geschossig in Massivbauweise mit Klinker-Sichtfassaden errichtet. Die weniger bewitterten Ostfassaden sind durchgängig aus einschaligem Sichtmauerwerk errichtet, die schlagregen beaufschlagten Westfassaden und Teile der Kopfbauten hingegen aus zweischaligem Verblendsmauerwerk. Abweichungen von dieser Systematik sind bei den Wiederaufbauten festzustellen; diese sind, mit wenigen Ausnahmen, durchgängig einschalig errichtet worden.

2013 wurde das Büro Giffey Saxler Architekten und Sachverständige mit der systematischen Erfassung vorliegender Bauschäden am „Reichardtblock“ und der Aufstellung eines entsprechenden Sanierungskonzeptes beauftragt. Im Zuge der qualitativen und quantitativen Bestandserfassung stellten sich u.a. umfangreiche Schäden an den wetterseitigen, zweischaligen Sichtfassaden heraus, die deren Standsicherheit dauerhaft infrage stellten.

2 Bestandserfassung der zweischaligen Sichtfassaden

Das Funktionsprinzip von zweischaligen, nicht gedämmten Außenwandkonstruktionen besteht in der Trennung von schlagregenbeanspruchter Verblendschale und tragender Hintermauerung. Kapillarer Feuchtetransport wird durch die Luftschicht wirksam unterbunden. Die Verankerung der durch Winddruck und –sog belasteten Verblendschale mit der tragenden Hintermauerung wird in der Regel mit im Zuge der Errichtung eingebrachten Mauerwerksankern bewirkt. Grundsätzliche Angaben zu deren Bemessung bei Neubaumaßnahmen sind in DIN 1053-1 bzw. DIN EN 1996 geregelt.

Beim „Reichardtblock“ wurden die schlagregenbelasteten Westfassaden zweischalig mit tragender Hintermauerung aus Mischmauerwerk (Ziegel und Kalksandstein) und Verblendschale aus Klinker mit einer ca. 90 mm dicken Luftschicht erstellt. Die Verankerung von Verblendschale mit der tragenden Hintermauerung erfolgte durch Drahtanker. Der Querschnitt stellt sich prinzipiell wie folgt dar:

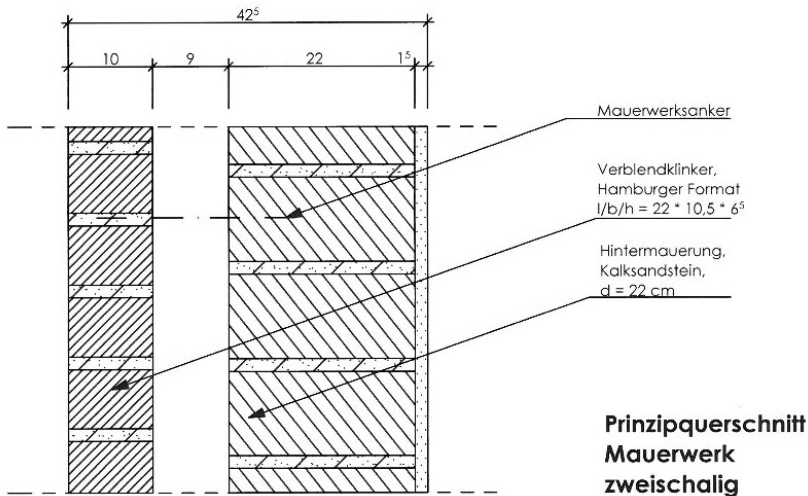


Bild 1: Aufbau zweischalige Sichtfassaden, Quelle: Giffey + Saxler Architekten

Bei den Bauteilöffnungen im Zuge der Bestandsaufnahmen 2013/14 wurde festgestellt, dass einerseits, wie bei Objekten dieser Baualtersklasse häufig vorgefunden, die bauzeitlichen Drahtanker stellenweise korrodiert und somit eine wirksame Verankerung der Verblendschale mit der Hintermauerung nicht mehr vorhanden war. Andererseits wurde festgestellt, dass der Mauermörtel der Verblendschale aufgrund hohem Bindemittelverlust weitgehend abgängig war, so dass eine ausreichende Einlage und Haftung der Drahtanker im Mörtelbett faktisch nicht mehr gegeben war. Vor diesem Hintergrund war die Standsicherheit der zweischaligen Sichtfassaden als nicht mehr dauerhaft gegeben einzuschätzen.

3 Sanierungskonzeption

Zur statischen Stabilisierung der zweischaligen Sichtfassaden standen folgende drei prinzipiell denkbare Sanierungsmethoden zur Diskussion, deren Eignung und praktische Umsetzbarkeit anhand eingehender Voruntersuchungen im Prüflabor und Beprobungen am Projekt untersucht wurden; dabei stand neben dem Primat der weitest gehenden Erhaltung der denkmalgeschützten Substanz auch die Frage nach der praktikablen und kostentechnisch vertretbaren Umsetzung zur Disposition.

Variante A: Verdübelung mit Sanierungsankern

Variante B: Abbruch der Vormauerschale und denkmalgerechter Wiederaufbau

Variante C: PU-Verschäumung der Luftschicht und Verklebung der Schalen

Variante A: Verdübelung mit Sanierungsankern

Die in der Praxis bewährte Sanierungsmethode zur Stabilisierung von zweischaligen Verblendmauerwerk mit Sanierungsankern setzt deren zugfeste Verankerung im tragenden Hintermauerwerk sowie deren ausreichende Einlage und Haftung im Lagerfugenmörtel der Verblendschale voraus. Entsprechend den Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen üblicher Sanierungsanker sind hierzu Mörteldruckfestigkeiten erforderlich, die nach DIN EN 1996-2/NA einem Normalmauermörtel mindestens der Mörtelgruppe IIa entsprechen (Mindestdruckfestigkeit 5 MN/m²). Die Anzahl und Bemessung der Sanierungsanker ist in Anlehnung an DIN 1053-1 bzw. DIN EN 1996 in der aktuell gültigen Fassung, je nach vorliegender Windzone und Gebäudehöhe, vorzunehmen.

Aufgrund des hohen Bindemittelverlustes des Mauermörtels war im vorliegenden Sanierungsfall einerseits keine Haftung und Verankerung der bauzeitlichen Drahtanker mehr gegeben, wie nachstehendes Bild des sich kaskadenhaft einstellenden Abgangs des Mauermörtels nach probehalben Öffnen eines Verblendsteines deutlich vermittelt. Die im Zuge der Bestandserfassung 2013/14 vorgenommenen Laboruntersuchungen bestätigten im Ergebnis hohe Bindemittelverluste und Mindestdruckfestigkeiten des Mauermörtels deutlich unterhalb von 5 MN/m².



Bild 2: Probeöffnung: Kaskadenhaft abgängiger Mauermörtel der Verblendschale,
Quelle: Giffey + Saxler Architekten

Andererseits war aufgrund des weitestgehend abgängigen Mauermörtels und fehlender Haftung und Verankerung das Einbringen üblicher Sanierungsanker nicht möglich; die abschnittsweise Aufnahme des abgängigen Mauermörtels und das Einbringen von Injektionsmörtel wurde zwar in Erwägung gezogen, aufgrund der sich dabei einstellenden Instabilität im Zwischenbauzustand und dem damit einhergehenden Risikos einer

Einsturzgefahr jedoch als nicht durchführbar eingeschätzt und daher als möglicher Sanierungsansatz verworfen.

Variante B: Abbruch der Verblendschale und denkmalgerechter Wiederaufbau

Aufgrund des konstruktiven Einbaus sämtlicher Fenster in der äußeren Verblendschale hätte deren vollständiger Rückbau und denkmalgerechter Wiederaufbau die temporäre Evakuierung der betroffenen Wohnungen im „Reichardtblock“ bedeutet und wäre mietetechnisch schlicht nicht möglich gewesen. Zudem standen dieser Sanierungsoption denkmalpflegerische Belange einer weitest gehenden Erhaltung der Sichtfassaden entgegen, so dass diese Sanierungsvariante sich lediglich auf gesonderte Fassadenbereiche in Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde beschränkte.

Variante C: PUR-Verschäumung der Luftschicht und Verklebung der Schalen

Aufgrund des durchgängig hohen Bindemittelverlustes wurde nach alternativen Sanierungsansätzen gesucht, die einerseits eine ausreichende Stabilisierung der Verblendschale in situ bewirken, bevor die Fugensanierung und der Austausch des abgängigen Verblendschalen-Mauermörtel erfolgt, andererseits eine simultane Dämmung des zweischaligen Fassadenaufbaus erzielen. Infrage kommen Materialien, die nachträglich in die Luftschicht des zweischaligen Sichtmauerwerks eingebracht werden und dabei eine Klebe-Verbundwirkung der außenseitigen Verblendschale mit der tragenden Hintermauerung herstellen. Dabei müssen folgende Kriterien erfüllt werden:

- Hohe und dauerhafte Haftzugfestigkeit der Verbundwirkung.
- Beim Eintrag der Verbundmaterialien darf kein hydrostatischer Druck auf die Verblendschale ausgeübt werden.

Vor diesem Hintergrund sind folgende Materialien zur Disposition gestellt und deren Anwendbarkeit für den vorliegenden Sanierungsfall überprüft worden:

- Mineralischer Injektionsmörtel
- Konstruktionsleichtmörtel / Schaummörtel
- PU-Ortschaum.

Aufgrund der nicht oder sich nur untergeordnet einstellenden Verbundwirkung von mineralischer Injektionsmörtel bzw. Konstruktionsleichtmörtel und dem vergleichsweise hohem hydrostatischen Druck des Flüssigmörtels im Zuge des Einbringens in den Schalenzwischenraum wurde deren Verwendung verworfen und die Verwendbar-

keit von PU-Ortschaum als multifunktionales Dämmstoffverbundsystem zur nachträglichen Stabilisierung und simultanen Dämmung der zweischaligen Sichtfassade eingehender untersucht.

4 Voruntersuchungen zur Sanierungsmethode mit PUR – Ortschaum

Vor dem Hintergrund langjähriger Erfahrungen und vorliegender bauaufsichtlicher Zulassungen zur Verwendung von PU-Ortschaum als Kerndämmung und bewährtes Material zur energetischen Hohlraumverfüllung von zweischaligem Außenmauerwerk sowie einschlägiger Erfahrungen der Industrie mit PU-Hartschaum als Verbundbaustoff bei Sandwichfassaden, wurde das PUR-Hartschaumsystem „LAMOLTAN“ als Alternativlösung in Erwägung gezogen zur Stabilisierung der denkmalgeschützten Verblendschale des „Reichardtblocks“ ohne Verwendung von üblichen Sanierungsankern. Hierfür sprach auch der Umstand, dass aufgrund der geringen Rohdichte des Hartschaums das Einbringen im flüssigen Zustand ohne Beeinträchtigung der Standsicherheit der Verblendschale möglich erschien. Die Voruntersuchungen und erste Beprobungen der Verfahrensweise am Objekt fanden in enger Abstimmung mit dem in der Ausführung von nachträglichen Dämmmaßnahmen im Bestand spezialisierten Unternehmen Everisol statt.

Zur Beurteilung der sich einstellenden Haftklebewirkung bei Verwendung des PU-Hartschaumsystem „LAMOLTAN“ zwischen Verblendschale und Hintermauerung wurden orientierende Haftzugsversuche unter Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung von einer staatlich anerkannten Materialprüfanstalt sowie simulierende Zeitstand-Versuche vorgenommen. Die dabei gemessenen Haftzugfestigkeiten wurden mit den Soll-Vorgaben DIN 1053-1 für die Bemessung der Mindestanzahl und Auszugslast von Mauerwerksanker verglichen (DIN EN 1996-2 in aktuell gültiger Fassung enthält hierzu keine Angaben mehr). Im Ergebnis wurde eine Haftzugfestigkeit ermittelt, welche die nach DIN 1053-1 geforderte Auszugsfestigkeit der Anker bei weitem übertraf. Auch die 100-maligen Frost-Tauwechsel gemäß den Prüfvorschriften DIN 52 252-3 und DIN EN 772-21 wurden bestanden. Zur Einschätzung der Dauerstandfestigkeit erfolgten Zeitstandversuche unter dauerhafter Einwirkung einer reduzierten Last bis Eintreten der Bruchlast. Aus diesen Ergebnissen konnte durch logarithmische Extrapolation und Annahme einer Standardabweichung ein Design-Bemessungswert für die Haftzugfestigkeit von 0,009 N/mm² ermittelt werden. Die Untersuchungen im Prüflabor erfolgten am Bauprodukt „LAMOLTAN®-POLYURETHAN-Hartschaumsystem B2-G22-49-2,6“; der Baustoff ist bauaufsichtlich als Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk für Außenwände zugelassen (Zulassung Nr. Z-23.12-1794 vom 23.05.2013 des DIBt).

Unabhängig von den Untersuchungen im Prüflabor wurden das Verfahren und die konkrete Umsetzung am Objekt selbst erprobt. Hierzu wurde in einer Kleinfläche der Schalenzwischenraum der zweischaligen Sichtfassade mit dem PU-Ortschaum „LA-MOLTAN®“ verfüllt und die vollständige Verschäumung des Schalenzwischenraums endoskopisch kontrolliert.

Zur Simulation des bauphysikalischen Verhaltens der zweischaligen Sichtfassaden nach Einbringen des multifunktionalen PU-Dämmstoff-Verbundsystems wurde eine bauphysikalische Simulation hinsichtlich Tauwasseranfall, Dampfdiffusionsverhalten sowie Wasseraufnahmeverhalten in Auftrag geben. Im Ergebnis wurde nachgewiesen, dass die Verwendung des PU-Hartschaumsystems zu keiner schädlichen Tauwasseranreicherung gemäß DIN 4108-3 im Fassadenquerschnitt führt.

Auf Grundlage der umfangreichen Untersuchungen im Prüflabor und in situ am Objekt erfolgte im November 2014 durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde die Bescheidung der Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) für die Verwendung des PU-Ortschaums zur Stabilisierung des zweischaligen Sichtmauerwerks und simultanen energetischen Aufwertung, aus Gründen der Belegenheit jeweils separat ausgestellt für die einzelnen Gebäude des „Reichardtblocks“.

5 Durchführung der Sanierung mit PU-Ortschaum

Vorbereitend für das Einbringen des multifunktionalen Dämmstoff-Verbundsystems wurden jeweils oberhalb des monolithischen Sockelmauerwerks Sichtklinker aufgenommen und der Schalenzwischenraum vollständig von Mörtelresten u.dgl. ausgeräumt. Anschließend wurde im Raster von ca. 1,0 x 1,0 m ein Borraster angelegt und der Hohlraum wurde mit Druckluft ausgeblasen. Die Staubreste wurden entfernt und der aufgenommenen Verblendsteine wieder an originaler Stelle eingesetzt. Zur Leckage-Ortung wurde der Hohlraum anschließend vernebelt und Fehlstellen an den Fassaden wurden verschlossen. Durch die Borraster wurde anschließend mit der Mischpistole der PU-Ortschaum lagenweise eingebracht. Die Vermischung des reaktiven, zweikomponentigen Dämmstoff-Verbundsystems erfolgt im dreiläufigen Mischpistolenkopf; bei Arbeitsunterbrechungen wird durch die separate Zufuhr von Druckluft eine Aushärtung des reaktiven Gemischs im Mischpistolenkopf unterbunden.

Die Verfüllung des Schalenzwischenraums mit dem zum Zeitpunkt des Einbringens flüssig-viskosen PU-Ortschaums erfolgte lagenweise jeweils von unten nach oben, damit die infolge der chemischen Reaktion (Polyaddition) des zweikomponentigen Dämmstoff-Verbundsystems stattfindende, auftreibende Wirkung keinen destabilisierenden Druck auf die Verblendschale ausübt. Die Höhenlagen wurden dabei derart abgestimmt, dass vorhandene Leckagen wie in den Schalenzwischenraum eingreifende

J. Saxler, Sanierung außerhalb der Norm am Beispiel einer zweischaligen Mauerwerkskonstruktion

Balkenaufleger u.dgl. nicht durch den flüssig-viskosen Dämmstoff erreicht und penetriert werden und der Ortschaum unkontrolliert auftreiben kann. Die hohlraumfreie Einbringung erfolgte unter ständiger Sichtkontrolle mit dem Endoskop, damit eine möglichst vollflächige Verbundwirkung und Dämmung des Schalenzwischenraums unterstellt werden kann.



Bild 3: Einbringen des multifunktionalen Dämmstoff-Verbundsystems, Quelle: Giffey Saxler Architekten

Insgesamt wurden im Zuge der Durchführung der Sanierungsmaßnahme ab Juli/August 2016 bis Dezember 2016 etwa 10.000 qm zweischaliges Sichtmauerwerk am „Reichardtblock“ durch Einbringen des PU-Ortschaums „LAMOLTAN®“ stabilisiert und energetisch ertüchtigt.

6 Qualitätssicherung der Sanierungsmaßnahme

Zur instationären Aufzeichnung des sich im Schalenzwischenraum konkret einstellen- den Mikroklimas wurden im Zuge des Einbringens des PU-Ortschaums an zwei exemplarischen Stellen im Schalenzwischenraum jeweils Datenlogger installiert, die kontinuierlich den Verlauf der Oberflächentemperaturen in allen Grenzschichten und die dazugehörigen Materialfeuchten des zweischaligen Außenwandquerschnitts auf- zeichnen, jeweils für den bauzeitlichen Zustand mit Luftschicht sowie nach Einbringen des PU-Ortschaums. Hintergrund ist die Fragestellung, ob Auffeuchtungen in der Grenzschicht zwischen Verblendschale und Dämmschicht insbesondere bei Frost-Tau- wechsel etwaig negative Auswirkungen auf die Verbundwirkung haben und dies inso- fern die dauerhafte Standsicherheit des Klebverfahrens in Frage stellt.

Parallel zu den Laboruntersuchungen erfolgten ab 2016/17 umfangreiche Haftzugversuche in situ im Bereich der sanierten Fassaden. Im Ergebnis der bisherigen Haftzugversuche wurden Haftauszugswerte von i.M. über $0,2 \text{ N/mm}^2$ ermittelt, die den in der ZiE geforderten Design-Bemessungswert für die Haftzugfestigkeit von $0,009 \text{ N/mm}^2$ deutlich übersteigen. Insofern kann eine ausreichend sich eingestellte Verbundwirkung durch den eingebrachten multifunktionalen „LAMOLTAN®“-PU-Ortschaum unterstellt werden und im Ergebnis eine erfolgreiche Stabilisierung des zweischaligen Sichtfassade.



Bild 4: Haftzugversuch, Quelle: Giffey Saxler Architekten

Zur nachträglichen Qualitätssicherung wurde im Nachgang anhand von umfassenden Wärmebildaufnahmen untersucht, ob eine vollständige Verschäumung des Schalenzwischenraums mit dem PU-Ortschaum erfolgt ist. Die Einbringung erfolgte aufgrund der Standsicherheitsgefährdung der Fassaden innerhalb von ca. 4,5 Monaten auf ca. 10.000 m^2 Fassadenflächen inkl. Auf- und Abrüstung. Im Ergebnis der thermografischen Untersuchungen sind insbesondere im Bereich der Bestandsfenster verbliebene Wärmebrücken durch Überbinder zu lokalisieren.

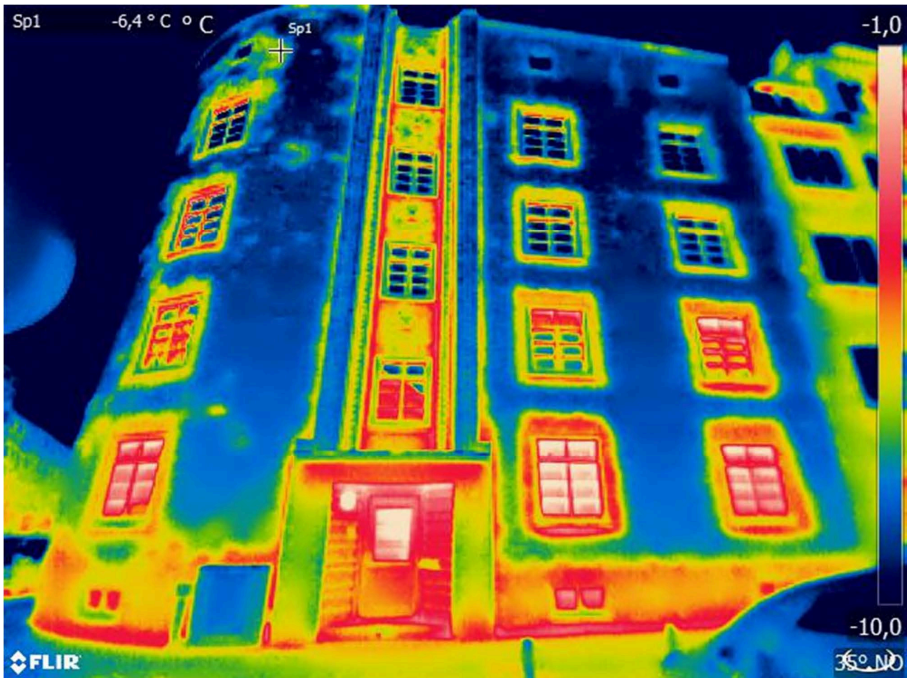


Bild 5: Bahrenfelder Chaussee 16, Wärmebildaufnahme, nach energetischer Ertüchtigung, Quelle: Giffey Saxler Architekten

7 Bewertung der Sanierungsmaßnahme

Im Ergebnis der Durchführung am Objekt und bisheriger Untersuchungen kann die Verwendung des PU-Ortschaums „LAMOLTAN®“ als alternative Sanierungsmethode zur nachträglichen Stabilisierung und simultanen energetischen Ertüchtigung von zweischaligen Mauerwerkskonstruktionen im Bestand als zielführend eingeschätzt werden.

Das Verfahren wurde zwischenzeitlich beim Deutschen Patent- und Markenamt angemeldet und die Patentansprüche registriert. Exemplarische Untersuchungen durch das Büro Giffey Saxler im Rahmen von gutachterlichen Tätigkeiten legen die Vermutung nahe, dass ähnliche Problematiken bei der Standsicherheit von Verblendschalen der Baualtersklassen 1920er bis 1970er Jahre sowie bei vorgehängten Beton-Fertigteilfeasaden (Ende 1960er bis Anfang 1980er Jahre) in Norddeutschland vorliegen. Insoweit ergibt sich eine breite Anwendungsmöglichkeit des Verfahrens. Die bisherigen Anwendungen am „Reichardtblock“ sind vielversprechend.

Literatur

- [1] DIN EN 1996-1-1, Ausgabe 2013-02, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- [2] DIN EN 1996-1-1/NA, Ausgabe 2012-05, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Nationaler Anhang
- [3] DIN EN 1996-2, Ausgabe 2010-12, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- [4] DIN 1053-1, Ausgabe 1996-11, Teil 1: Berechnung und Ausführung von Mauerwerk
- [5] Zimmermann, Günther, Schadenfreies Bauen, Band 13, Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk, Frauenhofer IBR Verlag, 2. Auflage 2004
- [6] Altaha, Nasser, Konstruktion und Ausführung von zweischaligem Mauerwerk, in Mauerwerkskalender 2009, S. 291-317, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, hrsg. Wolfram Jäger
- [7] Gigla, Birger, Zweischaliges Verblendmauerwerk, in Mauerwerkskalender 2015, S. 263-291, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, hrsg. Wolfram Jäger

(Leerseite)

Möglichkeiten der Erfassung von Verformungen durch Treibmineralbildungen an Mörtelsystemen mittels Streifenlichtprojektion – Bewertung und Vergleich zu anderen Messmethoden

R. Reimann
Weimar

Zusammenfassung

Infolge fehlerhafter Sanierungskonzepte an historischen Bauwerken kam es in der Vergangenheit zu drastischen Bauschäden, welche in der Bildung von Treibmineralen begründet waren. Die Schädigungen kennzeichneten sich in enormen Volumenzunahmen und Verformungen. Um solchen Sanierungsfehlern entgegenzuwirken, sind Kenntnisse über die Materialverträglichkeit zwischen Bestands- und Sanierungsmaterial zwingend notwendig. Heutige Messverfahren zur Ermittlung der Folgen einer Treibmineralbildung beschränken sich meistens auf eine Messdimension. Ziel dieser Arbeit war die Erfassung der Folgen einer Treibmineralbildung aufgrund von Materialunverträglichkeiten mittels Streifenlichtprojektion (SLP). Mit diesem optischen Messverfahren können die Probekörperoberflächen berührungslos zu definierten Zeiten komplett zu 3D-Daten digitalisiert werden. Dies ermöglicht die Dokumentation von Auflagerungen, die Messung von Verformungen und Volumenveränderungen sowie eine wiederholte Analyse zu einem späteren Zeitpunkt. Im Rahmen der Arbeit wurden spezielle Materialzusammensetzungen und Lagerungsbedingungen gewählt, bei denen die Treibmineralbildung begünstigt wird. Die Ergebnisse der Streifenlichtprojektion wurden mit eindimensionalen taktilen Längenänderungsmessungen nach DIN 52 450 und Volumenänderungsmessungen mit der Tauchwägung verglichen. Die Vorteile der Streifenlichtprojektion liegen bei einer erhöhten Informationsrate (Geometrie, Volumen, Textur) sowie der nahezu freien Wahl der Geometrie und damit Reduktion der Probenvorbereitungszeit. Bei der Betrachtung der Ergebnisse zeigte sich deutlich, dass die Datenerfassung mit Streifenlichtprojektion eine sehr gute Alternative zu den etablierten 1D-Messverfahren darstellt.

1 Einführung

In der Vergangenheit wurden oft regionale Materialien wie Gips und Kalk zum Bauen verwendet. Mit der Entwicklung von Portlandzement wurden diese nach und nach verdrängt und die Erfahrungen über die Baustoffe gingen teilweise verloren [1]. Infolge fehlerhafter Sanierungskonzepte kam es in den letzten Jahrzehnten zu erheblichen Bauschäden, welche meistens auf Materialunverträglichkeiten zwischen den bestehenden Baumaterialien und den Sanierungsmaterialien in Gegenwart von Feuchtigkeit zurückzuführen sind [2]. Die Folge ist die Bildung von Treibmineralien wie Ettringit ($3 \text{ CaO} * \text{Al}_2\text{O}_3 * 3 \text{ CaSO}_4 * 32 \text{ H}_2\text{O}$) und/oder Thaumasit ($2 \text{ CaSiO}_3 * \text{CaCO}_3 * \text{CaSO}_4 * 15 \text{ H}_2\text{O}$) [3]. Die Bildung dieser Treibminerale ist mit einer Entfestigung und einer Volumenzunahme verbunden. Bild 1 A zeigt den Kirchturm von Großöhrner. Infolge einer fehlerhaften Sanierung kam es zu Treibmineralbildungen. Die entstandenen Spannungen im Mauerwerk aufgrund von Verformungen und Volumenzunahmen endeten in einem ausgeprägten Rissssystem und einem teilweise Herausbrechen der verbauten Steine. Um solchen Schäden entgegenzuwirken, wurden an der Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar Langzeitversuche zu dem Thema der Materialverträglichkeit durchgeführt [4]. Dabei wurde die Treibmineralbildung mit Hilfe der Erfassung der Längenänderung nach DIN 52 450 bewertet. Bild 1 C zeigt exemplarisch die Auftragung der Längenänderung gegen die Lagerungsdauer ausgewählter Proben mit unterschiedlichen Rezepturen.

Die Auswirkungen der Treibmineralbildung werden üblicherweise in Laborversuchen wie der Längenänderung nach DIN 52 450, der Tauchwägung oder mit Le Chatelier Ringen bewertet. Problem bei diesen Messverfahren ist zum einen die lange Messzeit von mehreren Jahren, eine aufwendige Probenvorbereitung und zum anderen die spartanische Informationsrate. Ein weiteres Problem sind massive Verformungen der Probekörper, welche in Messungenauigkeiten resultieren. In Bild 1 B ist ein stark verformter Probekörper (ehemals Prisma) gezeigt, bei dem die Längenänderung nach DIN 52 450 gemessen wurde. Die Krümmung des Probekörpers resultiert in einer Verfälschung der Messergebnisse. Ziel der Arbeit ist es 3D-Informationen zu den Folgen einer Treibmineralbildung zu erlangen und durch eine qualifizierte Auswahl der Probenmaterialien die Schädigungsprozesse innerhalb kürzester Zeit aufzuzeigen, welche ansonsten einen Prüfzeitraum von mehreren Jahren benötigen. Die gewonnenen Erkenntnisse bzw. Ergebnisse sollen als Grundlage für die Simulation und Vorhersage der Eigenschaften dienen.

Eine Schwierigkeit bei der Modellierung sind die Schädigungsprozesse. Es kommt zu Verformungen, welche durch Volumenveränderungen begleitet werden. Mit der Streifenlichtprojektion ist es möglich, Verformungen sowie Volumenveränderungen mit einer hohen Genauigkeit zu erfassen und diese Informationen als Grundlage für eine Simulation zu nutzen. Mit den Erkenntnissen zu einer möglichen Schadensent-

wicklung können Bindemittleignungen für Injektagen vor Einbau erprobt und beurteilt werden.

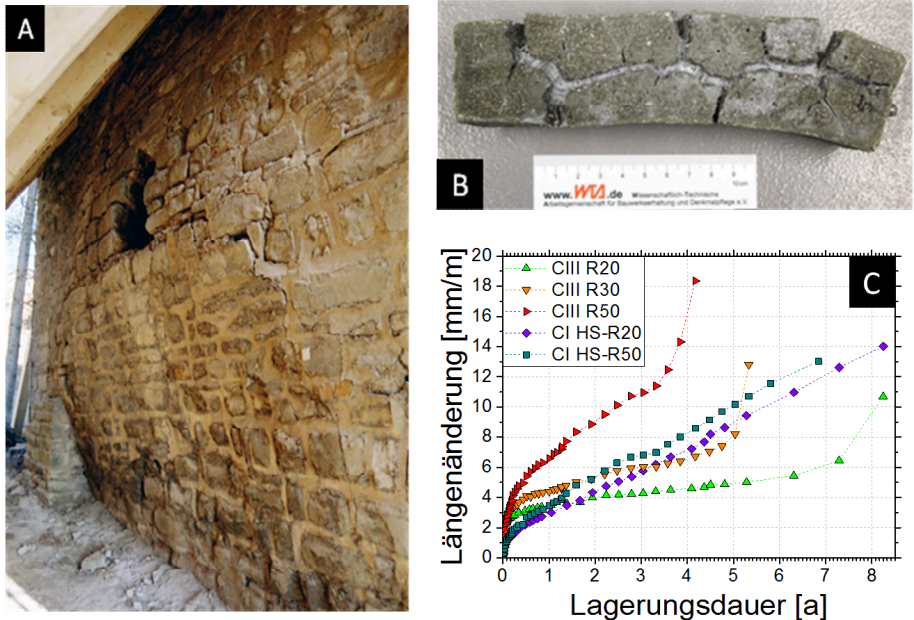


Bild 1 A: Westseite des Kirchturms der Kirche in Großörner mit massiven Schädigungen [5, 6];
B: stark verformter Probekörper während der Längenänderungsmessung nach DIN 52 450;
C: Langzeitmessungen der Längenänderung nach DIN 52 450 der MPPA-Weimar [4]

2 Ergebnisse und Diskussion

2.1 Erfassung von Verformungen als Folge von Treibmineralbildungen mit der Streifenlichtprojektion im Vergleich zur Längenänderung nach DIN 52 450

Die Streifenlichtprojektion ist ein optisch berührungsloses Messverfahren, wobei der Probekörper als dreidimensionaler Körper digitalisiert wird. Es zählt zu den aktiven Triangulationsverfahren, d.h. es wird ein optisches Streifenlichtmuster auf den Probekörper aufgebracht [7]. Das optische Streifenlichtmuster wird durch Lichtschnitte realisiert, welche nacheinander oder gleichzeitig über ein Objekt gelegt und mit mindestens einer Kamera aufgezeichnet werden. Bild 2 A zeigt den einfachsten Aufbau einer Streifenlichtprojektion. Das Streifenmuster wird durch die Geometrie des Probekörpers beeinflusst [8]. Die Orientierung der Kamera im Bezug zum Projektor (Streifenlichtmuster) darf sich während der Messung nicht verändern. Über das Triangulationsprinzip wird die dreidimensionale Punktwolke von dem Probekörper berechnet. Die aufgenommenen Punktwolken werden mit entsprechender Software zu Polygonobjekten umgewandelt. Bild 2 B zeigt einen verformten Probekörper wäh-

R. Reimann, Möglichkeiten der Erfassung von Verformungen durch Treibmineralbildungen an Mörtelsystemen mittels Streifenlichtprojektion

rend der Messung mit dem Streifenlichtprojektionsverfahren. Nach der Messung zu ausgewählten Zeiten liegen die Probekörper als digitale 3D-Datensätze vor und können vermessen bzw. das Volumen bestimmt werden. Zu beachten dabei ist, dass nur die Oberfläche erfasst wird. Hohlräume oder verdeckte Bereiche können nicht aufgenommen werden. Der Vergleich von mehreren Polygonobjekten ein und desselben Probekörpers aber bei unterschiedlichen Lagerungszeiten erlaubt die Darstellung der Verformungsveränderungen. Dabei müssen die Polygonobjekte aneinander ausgerichtet werden.

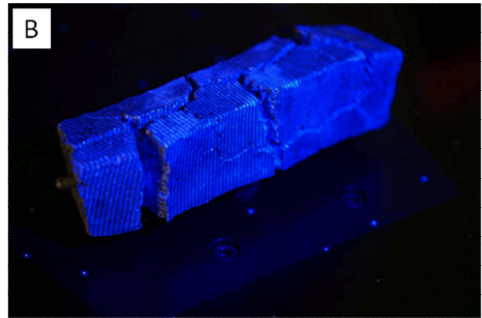
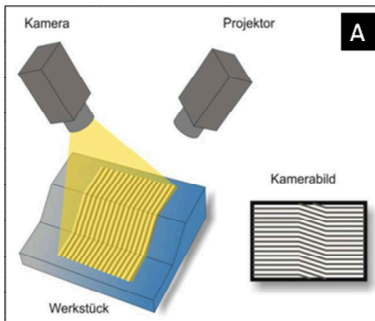


Bild 2 A: Schematische Darstellung der Streifenlichtprojektion mit einer Kamera [8];
B: Probekörper während der Streifenlichtprojektion mit aufgebrachtem Muster

Bild 3 zeigt beispielhaft die Verformungsanalyse digitalisierter Probekörper. Hier wurde der Ausgangszustand Tag 1 mit einem Zustand nach einer Lagerungsdauer von 28 Tagen verglichen. Das Resultat des Vergleichs ist eine farbliche Darstellung der Verformungen in X-Y-Z-Richtung in mm. Neben einer leichten Krümmung erfährt der Probekörper vornehmlich Änderungen in Längsrichtung (>5 mm). Blaue Bereiche sind Risse bzw. Schädigungen.

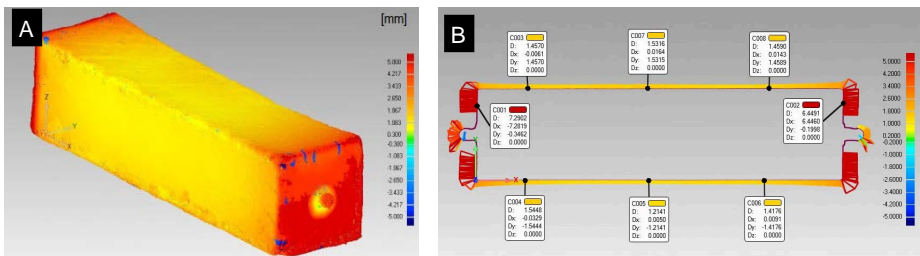


Bild 3 A: Verformungsanalyse der Probekörper aus Bild 4 Phase 1 mit Phase 3; **B:** Schnittanalyse in der Längsachse des Probekörpers

Durch die Digitalisierung der Probekörper zu ausgewählten Zeiten bieten sich mannigfaltige Vorteile im Vergleich zu bestehenden Messverfahren. Bei etablierten Messverfahren zur Beurteilung der Folgen einer Treibmineralbildung wird für jedes

R. Reimann, Möglichkeiten der Erfassung von Verformungen durch Treibmineralbildungen an Mörtelsystemen mittels Streifenlichtprojektion

Verfahren eine bestimmte Probenpräparation vorausgesetzt. Zum Beispiel die Probekörpergeometrie bei der Längenänderungsmessung nach DIN 52 450 oder bei Le Chatelier Ringen. Bei der Streifenlichtprojektion dagegen können Laborprobekörper sowie Proben aus Bauteilentnahmen digitalisiert werden. Zu beachten dabei ist, dass nur die Oberfläche erfasst wird. Hohlräume oder verdeckte Bereiche können nicht erfasst werden. Die aufgenommenen Punktwolken können mit entsprechenden Programmen zu Polygonobjekten umgewandelt werden. Dadurch ist es möglich den Probekörper komplett zu vermessen und das Volumen zu ermitteln. Bei dem Vergleich von mehreren Polygonobjekten ein und desselben Probekörpers, welche zu verschiedenen Zeiten aufgenommen wurden, ist es möglich, einen Verformungsvergleich zu erstellen. Bild 4 zeigt einen digitalisierten Probekörper, welcher zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen wurde.

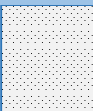

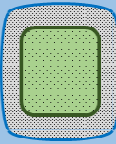

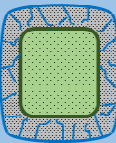
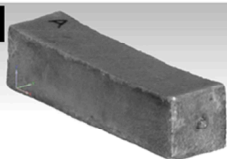
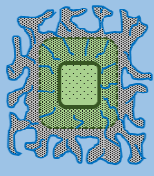

Schematische Darstellung	Polygonobjekte bzw. Bild der Reaktionsphasen	Wirkungsmechanismus
<p>1</p> 	<p>1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • es laufen homogene Reaktionen zwischen den Inhaltsstoffen in Gegenwart von Feuchtigkeit ab • eine Wasserlagerung gewährleistet, dass immer genügend Reaktionsmedium vorhanden ist
<p>2</p> 	<p>2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumenvergrößerung infolge chemischer Reaktionen • Stoffumlagerungen im Probeninneren bewirken eine Verdichtung der Randbereiche • Bildung einer Grenzschicht (ungleiche Spannungsbereiche)
<p>3</p> 	<p>3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Rissbildung beim Überschreiten der Eigenzugfestigkeit in den Randbereichen • erhöhter Feuchtigkeitstransport ins Probeninnere durch die entstandenen Risse
<p>4</p> 	<p>4</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschleunigung der Reaktion • Randbereiche platzen schollenförmig auf • Bildung einer neuen Oberfläche • Grenzschicht verschiebt sich ins Probeninnere • Resultat: völliger Zerfall der Probe

Bild 4: Schematische Darstellung der Reaktionen im Probeninneren während der Bildung von Treibmineralien mit entsprechenden Aufnahmen und einer kurzen Beschreibung der Wirkungsmechanismen [9, 10]

R. Reimann, Möglichkeiten der Erfassung von Verformungen durch Treibmineralbildungen an Mörtelsystemen mittels Streifenlichtprojektion

Weitere Auswertungsmöglichkeiten wie das Erstellen von Schnittebenen in Längsachse des Probekörpers sind beispielhaft in Bild 3 B gezeigt. Schnitte erlauben quantitative Aussagen zu Geometriedaten und Verformungen. Zudem ist eine Volumenberechnung an den Polygonobjekten ohne weiteres möglich. Über das optische, berührungslose Messverfahren können also 3D-Informationen gewonnen und detailliert ausgewertet werden. Etablierte berührende Messverfahren wie das Erfassen der Längenänderung nach DIN 52 450 liefern nur 1D-Messergebnisse und weisen eine Verfälschung der Messergebnisse bei starken Krümmungen der Probekörper auf.

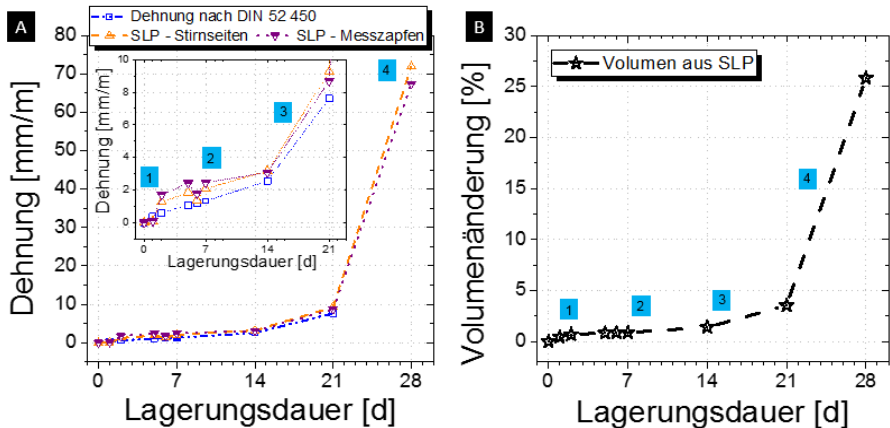


Bild 5 A: Vergleich der Dehnungen über der Lagerungsdauer, gemessen mit der Streifenlichtprojektion und dem taktilen 1D-Messverfahren; **B:** Volumenveränderung in Bezug zur Lagerungsdauer gemessen mit der Streifenlichtprojektion (SLP)

Zur quantitativen Bewertung wurden die gemessenen Längen aus den digitalisierten Probekörpern aus Bild 4 in Längenänderungen (Dehnungen) umgerechnet und in Bild 5 A mit den Werten des taktile 1D-Messverfahrens verglichen. Aus dem Diagramm in Bild 5 A wird deutlich, dass mit der Streifenlichtprojektion länger Dehnungen erfasst werden können als mit dem taktilen 1D-Messverfahren. Nach 21 Tagen hat der Probekörper nicht mehr in die Messvorrichtung gepasst, was ein weiteres Messen nicht zuließ. Der Kurvenverlauf aus beiden Messverfahren ist prinzipiell vergleichbar. In Bild 5 A sind die phänomenologischen Wirkmechanismen aus Bild 4 gekennzeichnet. Prinzipiell können die Kurvenverläufe in zwei Änderungsraten eingeteilt werden. Diese Einteilung der Verläufe der Kurzzeitversuche korrespondiert sehr gut mit Ergebnissen aus Langzeitversuchen (siehe Bild 1 C). Der Übergang der beiden Änderungsraten kann zwischen Phase 2 und 3 eingeordnet werden und ist durch den Wendepunkt der Anstiege gekennzeichnet. Mit der Bildung der ersten Rissysteme kommt es zu einer Beschleunigung der Reaktionen, welche stetig bis zum Zerfall der Probekörper exponentiell zunimmt. Die Ursachen für Änderungen beim Übergang zwischen den funktionalen Verläufen der Kurve sind Änderungen der chemischen

Reaktionen und der Reaktionsgeschwindigkeiten. Der erste Kurvenverlauf ist ein Resultat von relativ gleichmäßig ablaufenden chemischen Reaktionen (bis Ende der Phase 2). Bei dem anschließenden Anstieg kommt es zu strukturellen Veränderungen (starke Zunahme von Rissbildungen) und dadurch bedingt zu beschleunigten chemischen Reaktionen (ab Phase 3). Diese strukturellen Veränderungen wurden in Bild 4 schematisch dargestellt [9, 10]. Die geringen Unterschiede in den Kurvenverläufen resultieren aus einer Krümmung der Probe während der Auslagerung. Die Dehnungen, welche mit dem taktilen Messverfahren erfasst wurden, sind dadurch geringer. Bild 5 B zeigt zudem die Änderung des Volumens dieses Prüfkörpers ermittelt aus den digitalen Daten aus der Streifenlichtprojektion. Aufgrund der starken Verformungen der Probekörper und der inhomogenen Dehnungen sollten für weitere Beurteilungen die Gesamtgeometrie und/oder die Volumenänderungen betrachtet werden und nicht die Dehnungen entlang der Längsachse.

2.2 Erfassung von Volumenänderungen als Folge von Treibmineralbildungen mit der Streifenlichtprojektion im Vergleich zur Tauchwägung

Die Untersuchungen in 2.1 erfolgten an geometrisch definierten Probekörpern. Die Streifenlichtprojektion erlaubt aber auch die Erfassung und Digitalisierung von geometrisch nicht definierten Objekten. Dies reduziert die Aufwendungen bei der Probenvorbereitung. Im folgenden Kapitel werden die Probekörpervolumen verglichen, welche zum einen aus den digitalisierten Daten berechnet und zum anderen mittels Tauchwägung nach archimedischem Prinzip ermittelt wurden. Bei der Tauchwägung kann die Volumenveränderung über einen bestimmten Zeitraum erfasst werden, unabhängig von der Probengeometrie. Voraussetzung ist, dass der Probekörper in einem dichten dehnbaren Probebehälter gelagert wird. Dieses garantiert, dass es weder zu einem Austrocknen der Probe noch zu einem erneuten Kontakt mit dem Wasser der Tauchwägung kommt. Die Probenvorbereitung schließt somit eine große Anzahl von Probekörpergeometrien aus, wie zum Beispiel die Proben nach DIN 52 450 und Proben aus Bauteilöffnungen. Im Gegensatz dazu ist es mit der Streifenlichtprojektion möglich, das Volumen von Probekörpern ohne jegliche Vorbereitung zu erfassen. Im Rahmen der Arbeit wurde das Volumen von einem Probekörper mittels Tauchwägung und parallel mit der Streifenlichtprojektion ermittelt. Die Auftragung des Volumens gegen die Lagerungsdauer in Bild 6 A zeigt den Vergleich zwischen den Messergebnissen sowie die schematische Darstellung der Tauchwägung und ein Bild des digitalisierten Probekörpers als Polygonobjekt.

Die Messergebnisse beider Messverfahren (Bild 6 A) zeigen prinzipiell ein Ansteigen der Volumina mit der Lagerungsdauer. Das ermittelte Volumen mittels Tauchwägung ist geringfügig höher als das Volumen, welches mit der Streifenlichtprojektion ermittelt wurde. Die Abweichungen der Messungen sind mit dem Probenverschluss des dehnbaren Behältnisses zu erklären, welcher in einer scheinbaren Erhöhung des Volumens resultiert. Das Probenende kann sich während der Lagerung verändern, was in einer Datenstreuung bei der Tauchwägung und Streifenlichtprojektion resultiert. Bei

der Streifenlichtprojektion wurde der Probenverschluss in den digitalen Daten entfernt, so dass das Gesamtvolumen dadurch nicht verfälscht wird.

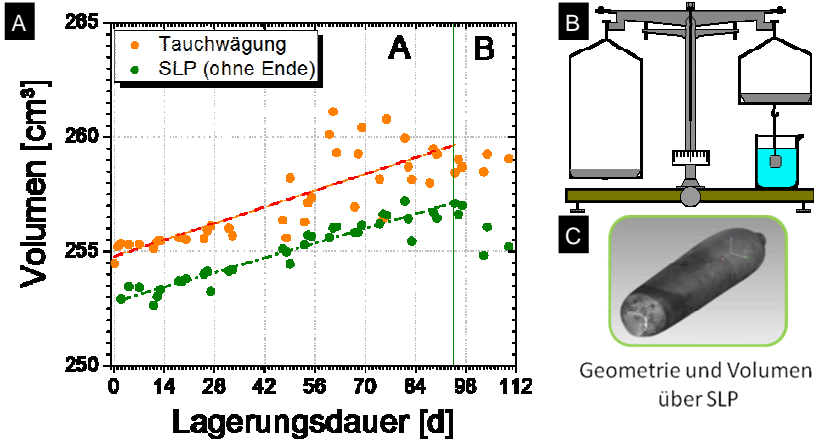


Bild 6 A: Vergleich der gemessenen Volumina, welche mit der Tauchwägung und Streifenlichtprojektion (SLP) erfasst wurden; **B:** schematische Darstellung der Tauchwägung [11]; **C:** Polygonobjekt des gemessenen Probekörpers

Die Untersuchungen zeigen, dass die Streifenlichtprojektion ein Alternativverfahren zur Tauchwägung ist. Ein Abfüllen der Mörtelproben in dehnbare wasserdichte Behälter ist für die Streifenlichtprojektion nicht notwendig, so dass auch reale Lagerbedingungen realisiert werden können.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen an speziellen Mörtelproben, die aufgrund der Lagerung eine Volumenzunahme durch Treibmineralbildung aufweisen, zeigen, dass das optische, berührungslose Streifenlichtprojektionsverfahren für eine Geometrierfassung, Verformungs- und Volumenmessung prinzipiell geeignet ist. Die Daten haben einen höheren Informationsgehalt und können auch nachträglich ausgewertet werden. Zudem bestanden keine Einschränkungen des Messverfahrens hinsichtlich Probengeometrie und deren Vorbereitung bei den untersuchten Proben. In zukünftigen Forschungsarbeiten müssen für eine schnelle Auswertung und Bewertung Auswertroutinen und automatisierte Inspektionen entwickelt werden. Eine Herausforderung ist des Weiteren die Integration von optischen Messsystem in Klimaräume, so dass während der Lagerung Geometriedaten erfasst werden können.

Ich möchte mich auf diesem Weg recht herzlich bei allen Kollegen der Abteilung „Baustoffe“ der Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar für die Unterstützung während der Arbeit bedanken. Mein besonderer Dank

gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. C. Könke, Herrn Dr.-Ing. H.-W. Zier, Herrn Dr.-Ing. M. Ganß und Frau H. Dreuse.

Literatur

- [1] H.-W. Zier, H. Dreuse (2013): So wird das Problem zur Herausforderung; B+B Bauen im Bestand; Professionell modernisieren, umbauen, instand setzen 36. Jahrgang
- [2] H.-W. Zier, H. Dreuse (2012): Gipsmörtel und Gipsstein in Bauwerken-Probleme und Ansätze für die Sanierung; Tagung Natursteinsanierung Stuttgart
- [3] WTA-Merkblatt 2-11-2007: Gipsmörtel im historischen Mauerwerksbau und an Fassaden
- [4] H. Dreuse, H.-W. Zier (2015): praktische Erfahrung im Umgang mit Prüfmethoden zur Ermittlung des Sulfatwiderstandes hydraulischer Bindemittel; Tagungsbericht-Band 2, 19. International Baustofftagung Ibausil
- [5] Fotoaufnahmen von H.-W. Zier, MFPA Weimar
- [6] H.-W. Zier, G Srocke (2008): Begleituntersuchungen vor und nach der Mauerwerksinstandsetzung mit Hochbranntgips am Turm der St. Andreas Kirche in Großörner; WTA-Schriftreihe (Gipsmörtel im historischen Mauerwerk und Fassaden), WTA Publications
- [7] J. Böhm (2001): Erfassung und Interpretation von dichten Oberflächendaten; Universität Stuttgart; URL: http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2001/Boehm_dgpf01.pdf; (Stand: 14.03.2016)
- [8] C. P. Keferstein, M. Marxer: Fertigungstechnik Praxisorientierte Grundlagen, moderne Messverfahren; Auflage 8
- [9] H.-W. Zier: persönliches Gespräch am 22.11.2016
- [10] J. Stark, B. Wicht (2013): Dauerhaftigkeit von Beton; Springer Verlag
- [11] Bildquelle: <http://www.seilnacht.com/versuche/dichteb.html> (Stand: 30.08.17)

(Leerseite)

Untersuchung des Zugfestigungsverhaltens von Mauerwerksproben

M. Remde
Leipzig

Zusammenfassung

Es erfolgten dehnungsgesteuerte einachsige Zugversuche an Mauerwerksprobekörpern, um das Entfestigungsverhalten des Materials im Nachbruchbereich zu untersuchen. In der Fachliteratur wird nur über wenige Versuche dieser Art berichtet. Die hier verwendeten Proben stammen aus dem Mauerwerksgewölbe einer historischen Eisenbahnbrücke über die Aller bei Verden in Niedersachsen. Insgesamt wurden elf Probekörper geprüft, die jeweils eine Lagerfuge enthielten. Die Belastung erfolgte normal zu dieser Fuge. Sowohl durch Verschiebungsmessungen an verschiedenen Stellen als auch mittels Digital Image Correlation konnte gezeigt werden, dass die Längsdehnungen im Probenquerschnitt im Allgemeinen nicht gleich verteilt waren. Das Auftreten von Dehnungsgradienten wird auf die Materialinhomogenität zurückgeführt und hat zur Folge, dass die Zugfestigkeit des Materials deutlich größer als die mittlere Spannung unter Maximallast sein kann. Um diesen Effekt bei der Versuchsauswertung zu berücksichtigen, wurde für jede einzelne Probe unter Verwendung von an verschiedenen Stellen gemessenen Dehnungen eine stetige Ausgleichsfunktion für die Längsdehnung ermittelt. Diese Funktion erlaubte dann die Bestimmung der maximalen Spannung im Querschnitt, die als einachsige Zugfestigkeit interpretiert wurde. Im Mittel ergaben sich für das untersuchte Mauerwerk eine Zugfestigkeit von $0,55 \text{ N/mm}^2$ und eine Bruchenergie von $13,6 \text{ N/m}$.

1 Einführung

In Europa existieren circa 70.000 gemauerte Brückenbauwerke, welche im Eisenbahnverkehr genutzt werden.[1] Zur Neubewertung der Tragfähigkeit von Mauerwerksgewölbebrücken ist es möglich, numerische Simulationen des Verformungs- und Versagensverhaltens durchzuführen. Für einen solchen rechnerischen Tragsicherheitsnachweis benötigt man zur Beschreibung des nichtlinearen Materialverhaltens Materialparameter wie Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Bruchenergie und Elastizitätsmodul.[2] Es wird dabei häufig auf Erfahrungswerte oder Messergebnisse aus der Literatur zurückgegriffen, da die experimentelle Bestimmung der genannten Materialparameter teilweise sehr schwierig ist.[2]

An der Mauerwerksgewölbebrücke über die Aller bei Verden in Niedersachsen ergab sich die seltene Gelegenheit, Belastungsversuche oberhalb des Gebrauchslastniveaus durchzuführen (Bild 1).[3] Da der Betrieb nach circa 155 Jahren im Oktober 2015 eingestellt wurde, musste auf die Weiternutzung keine Rücksicht genommen werden. Durch die experimentellen Untersuchungen gelang es, neue Erkenntnisse zum Tragverhalten von Mauerwerksgewölbebrücken zu gewinnen. Außerdem war es möglich, verschiedene Rechenverfahren zum Tragsicherheitsnachweis von Mauerwerksgewölbebrücken anhand der experimentellen Beobachtungen zu überprüfen, so auch ein auf bruchmechanischen Simulationen beruhendes Nachweiskonzept nach Franck.[2] Die Anwendung dieses Konzeptes erfordert die Kenntnis oder die Annahme von Zugfestigungseigenschaften des Mauerwerks. Die Ergebnisse der Belastungsversuche sowie der Nachrechnungen werden in [4] veröffentlicht.



Bild 1: Belastungsversuch an der Mauerwerksgewölbebrücke über die Aller bei Verden, Bildquelle: Stephanie Franck

2 Einachsige Zugversuche an Mauerwerk

In der Fachliteratur wird nur über wenige einachsige Zugversuche an Mauerwerk berichtet, in dem auch der Nachbruchbereich untersucht wurde, also der Bereich nach Erreichen der Maximallast. In diesem Bereich findet die sogenannte Entfestigung statt, d.h. die Verringerung von Festigkeit und Steifigkeit unter zunehmender Längsdehnung. Aus der sowohl den ansteigenden als auch den abfallenden Ast umfassenden Kraft-Verschiebungskurve eines einachsigen Zugversuches lässt sich die sogenannte Bruchenergie bestimmen, die dem zur Bildung einer Flächeneinheit Riss erforderlichen Energiebetrag entspricht. Wegen des spröden Materialversagens ist es jedoch technisch schwierig, solche verformungsgesteuerten Belastungsversuche durchzuführen. *Rots* [5] und *van der Pluijm* [6] berichten über derartige Versuche. Ziel war es, die Eingangswerte für numerische Modelle zu ermitteln, um damit das Verformungs- und Bruchverhalten von Mauerwerk möglichst wirklichkeitsnah simulieren zu können. Von *Rots* [5] wurden Zugfestigkeiten im Bereich von 0,13 N/mm² bis 0,50 N/mm² und Bruchenergien im Bereich von 4 N/m bis 12 N/m ermittelt. Die experimentellen Ergebnisse von *van der Pluijm* [6] ähneln denen von *Rots* [5]. Es ergaben sich Zugfestigkeiten von 0,13 N/mm² bis 0,54 N/mm² und Bruchenergien von 0,9 N/m bis 11,5 N/m. Die Versuche beider Autoren wurden an neu hergestellten Mauerwerksproben unter Verwendung verschiedener Ziegelfabrikate durchgeführt. Die hier vorgestellten Versuche erfolgten hingegen an Proben, die aus einem existierenden Bauwerk stammten.

Nach den Belastungsversuchen an der Allerbrücke konnten aus dem Bogenmauerwerk des belasteten Brückenfeldes Proben entnommen werden, an welchen dann die hier beschriebenen einachsigen Zugversuche zur Untersuchung des Entfestigungsverhaltens erfolgten. Die Versuchsreihe enthielt elf Probekörper. Diese hatten eine quadratische Querschnittsfläche mit einer Kantenlänge von 10 cm und lagen in der Konstellation Stein-Lagerfuge-Stein vor, wobei die Lagerfuge etwa mittig im jeweiligen Probekörper angeordnet war. Die Versuche erfolgten dehnungsgesteuert und wurden an einer Universalprüfmaschine mit einer Maximallast von 600 kN durchgeführt. Dazu wurden die Prüfkörper zwischen zwei mit der Prüfmaschine verschraubte Stahlplatten geklebt, um eine eventuelle Verdrehung der Endflächen möglichst stark zu behindern. Für die dehnungsgesteuerte Regelung der Maschine waren jeweils zwei Wegsensoren an die Probe angebracht (Bild 2). Aufgrund des spröden Materialverhaltens des Mauerwerks mussten vergleichsweise geringe Belastungsgeschwindigkeiten für die Maschine gewählt werden (Tabelle 1). Die Geschwindigkeit v_1 wurde bis zum Erreichen der Maximallast gefahren. Während der Entfestigung wurde die Geschwindigkeit auf v_2 und in einigen Versuchen schließlich auf v_3 erhöht. Die Variation der Geschwindigkeit hatte keinen wesentlichen Einfluss auf die Messergebnisse.

Probennummer	v_1	v_2	v_3
MWV 1-7	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	
MWV 8-11	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$

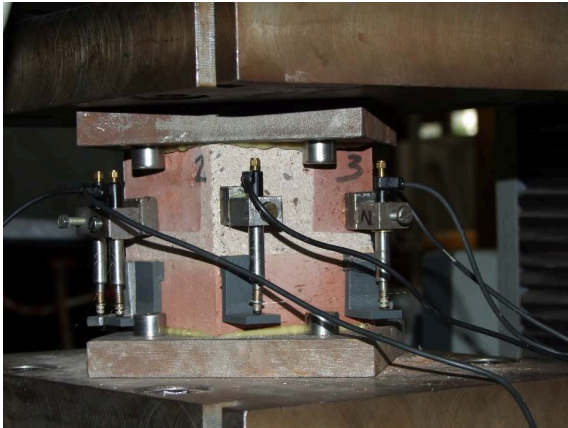


Bild 2: Versuchsaufbau für die einachsigen Zugversuche

Bild 3 zeigt die Ergebnisse der aktuellen Versuchsreihe. Durchschnittlich ergaben sich eine Zugfestigkeit von $0,27 \text{ N/mm}^2$ und eine Bruchenergie von $13,6 \text{ N/m}$. Die Zugfestigkeiten wurden zunächst durch Division der Maximalkraft durch den gesamten Querschnittsflächeninhalt berechnet. Es ist dabei zu beachten, dass hierbei nur die mittlere Spannung über den Querschnitt ermittelt wird, nicht aber die höchste. Die Bruchenergien ergeben sich aus dem Integral der jeweiligen Spannungs-Verschiebungskurve. Sowohl bei der Zugfestigkeit als auch bei der Bruchenergie traten vergleichsweise große Streuungen auf. Dies ist Ausdruck verschiedener Versagensfälle. Während der Versuche konnte beobachtet werden, dass circa die Hälfte aller Proben vornehmlich in der Mörtelfuge riss. In diesen Fällen konnten erwartungsgemäß größere Bruchenergien ermittelt werden. Die anderen Proben versagten in der Verbundfläche zwischen Mörtel und Stein, wodurch sich geringere Bruchenergien ergaben.

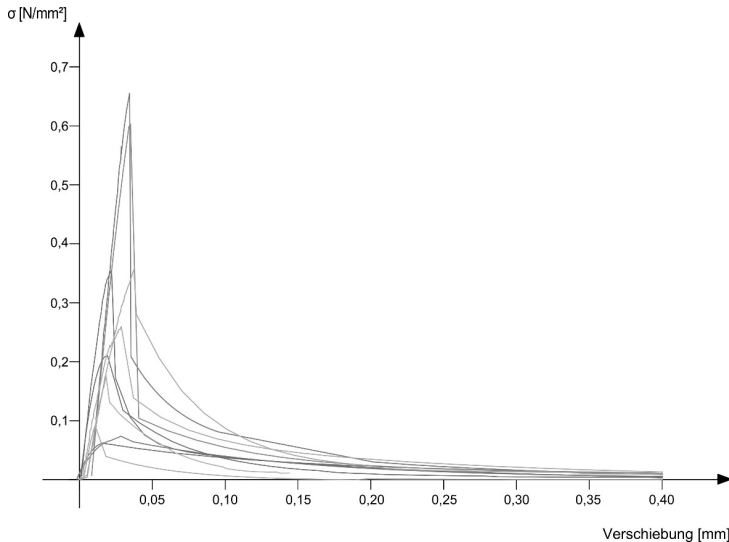


Bild 3: Spannungs-Verschiebungskurven aller einachsigen Zugversuche

Wie bereits erwähnt, erhält man durch Division der Maximalkraft durch die Querschnittsfläche die mittlere Zugspannung unter dieser Last. Jedoch sind bei einachsigen Zugversuchen an Mauerwerk aufgrund der Materialinhomogenität die Längsdehnungen über die Querschnittsfläche nicht gleich verteilt, so dass die lokal erreichte Zugfestigkeit größer als die mittlere Spannung bei Maximallast sein kann. Dies stellt eine zusätzliche technische Schwierigkeit bei der Durchführung und Auswertung einachsiger Zugversuche dar. Um den auftretenden Dehnungsgradienten zu messen, wurden bei den Versuchen 6-11 vier weitere Wegsensoren in der Nähe der Probekörperlängskanten angebracht. Eine qualitative Auswertung der Dehnungsunterschiede erfolgte zusätzlich mit Hilfe der Digital Image Correlation (DIC). Bild 4 zeigt Ergebnisse von Versuch 10. Es ist deutlich zu erkennen, dass die nahe verschiedener Probekörperlängskanten gemessenen Kurven zueinander einen Verschiebungsversatz aufweisen und sich folglich auch die Längsdehnungen unterscheiden. Durch die Auswertung mittels DIC konnten die auftretenden Dehnungsgradienten bestätigt werden, siehe in Bild 4 eingefügtes Teilbild.

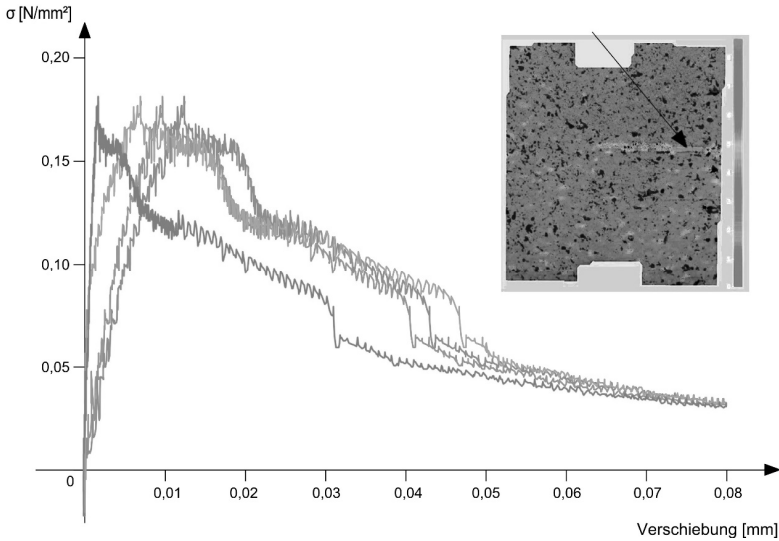


Bild 4: Ergebnisse von Dehnungsmessung und Digital Image Correlation

Unter Nutzung der vier Verschiebungsmesswerte nahe der Probekörperlängskanten, siehe Bild 5, erfolgte für jede einzelne Probe die Ermittlung einer Ausgleichsfunktion nach Formel (1) für die Längsdehnung im Querschnitt. Mittels dieser Ausgleichsfunktion konnten dann die Dehnungen am Probenrand errechnet werden. Annahmen hierfür waren eine stetige Normaldehnungsverteilung über den Querschnitt sowie, dass die Entfestigung erst mit Erreichen der Maximalkraft beginnt.[4] Bei dieser Art der Versuchsauswertung, das heißt unter Berücksichtigung des Dehnungsgradienten, ergibt sich im Mittel eine Zugfestigkeit von 0,55 N/mm² für die so ausgewerteten sechs Versuche. Dieser Wert ist erwartungsgemäß höher als die mittlere Spannung bei Erreichen der Maximallast.

$$\varepsilon_{neu} = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{mit} \quad a_1 &= \frac{-\varepsilon_4y_3 - \varepsilon_1y_3 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_3)y_1}{2y_1} \\ a_2 &= \frac{\varepsilon_4x_3y_3 - \varepsilon_1x_3y_3 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2)x_1y_1}{2x_1x_3y_1 - 2x_1x_3y_3} \\ a_3 &= \frac{-\varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + \varepsilon_1}{2y_1 - 2y_3} \\ a_4 &= -\frac{\varepsilon_4y_3 - \varepsilon_1x_3 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2)x_1}{2x_1x_3y_1 - 2x_1x_3y_3} \end{aligned}$$

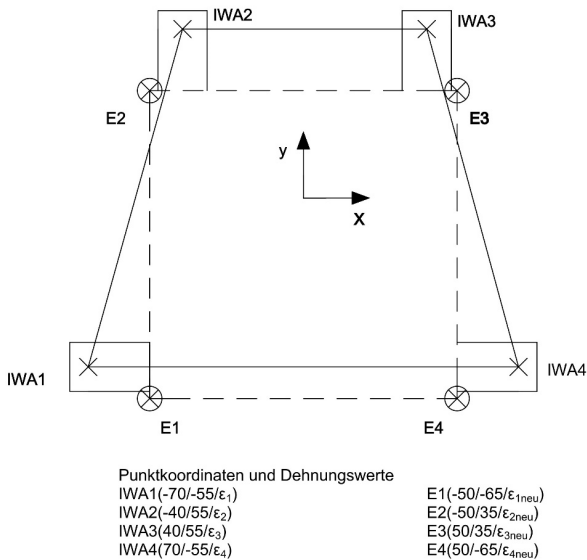


Bild 5: Querschnittsfläche (Begrenzung als Strichlinien gezeichnet) mit den Ecken E1 bis E4 und Anordnung der Verschiebungssensoren (IWA1 bis IWA4)

3 Abschließende Bemerkungen

Die Ermittlung der Zugentfestungseigenschaften von Mauerwerk ist eine technisch anspruchsvolle Aufgabenstellung in der experimentellen Baumechanik. Technische Schwierigkeiten ergeben sich einerseits aus dem vergleichsweise spröden Materialversagen und andererseits aus dem im Probenquerschnitt auftretenden Dehnungsgradienten. Mittels eines vergleichsweise steifen Versuchsaufbaus, einer adäquaten Versuchssteuerung und aufgrund einer geringen Belastungsgeschwindigkeit konnte bei fast allen Proben ein stabiler Bruchvorgang gewährleistet werden, was die messtechnische Erfassung des absteigenden Astes der Kraft-Verschiebungskurve erlaubte. Die Berücksichtigung des Dehnungsgradienten erfolgte rechnerisch im Rahmen der Versuchsauswertung. Erwartungsgemäß führte die Berücksichtigung des Dehnungsgradienten zu höheren Werten der ermittelten Zugfestigkeit. Die Bruchenergie wurde bestimmt, indem die im Versuch verrichtete Brucharbeit durch die Querschnittsfläche dividiert wurde. Es erfolgte außerdem eine Ermittlung der Entfestigungskurven, also der Spannungs-Rissöffnungskurven im Nachbruchbereich. Dies war jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Beitrages.

Literatur

- [1] F. Purtak, Ein Traglastverfahren zur Berechnung von Gewölbebrücken aus Natursteinmauerwerk, 8th International Masonry Conference, Dresden 2010
- [2] S. Franck, Zum Tragsicherheitsnachweis bestehender Mauerwerksgewölbebrücken mittels nichtlinearer Finite-Elemente-Simulationen, Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2016
- [3] G. Schacht, J. Piehler, J. Müller, S. Marx, Belastungsversuche an einer historischen Eisenbahn-Gewölbebrücke, Bautechnik 94 (2017), 125–130
- [4] Mauerwerk-Kalender 2018, Ernst & Sohn Verlag (in Vorbereitung)
- [5] J.G. Rots, Structural Masonry: An Experimental/Numerical Basis for Practical Design Rules, CUR Report 171, A.A. Balkema, Niederlande, 1997
- [6] R. van der Pluijm, Out-of-Plane Bending of Masonry – Behaviour and Strength, Dissertation, Technische Universität Eindhoven, Niederlande, 1999

Nachtragsmanagement und Bauzeitverzögerung beim Bauen im Bestand

P. Pietschmann
Berlin

Zusammenfassung

Die Besonderheiten des Bauens im Bestand erhöhen das Risiko von Kosten- und Terminüberschreitungen. Die Analyse von umzubauenden Bestandsobjekten oder von baulichen Anlagen im Bestand, die von Neubaumaßnahmen betroffen sind, kann im Hinblick auf Zeitpunkt und Tiefe variieren. In zeitlicher Hinsicht kann eine Bestandsaufnahme während der Planungsphase oder, um ggf. Kosten einer Bestandsanalyse und einen kurzen Planungszeitraum zu erzielen, baubegleitend in der Ausführungsphase erfolgen. Wird der Bestand in der Planungsphase aufgenommen und bildet die spätere Ausschreibungsgrundlage, kann trotzdem nicht ausgeschlossen werden, dass alle örtlichen Gegebenheiten vollständig erfasst sind. Oftmals führt eine lückenhafte Bestandsaufnahme, insbesondere im Zusammenspiel mit einer unzureichenden terminlichen Bewertung, zu erheblichen Störungen im Bauablauf, ebenso eine auf Unternehmerseite unzureichende kosten- und terminliche Kalkulation. Das Ergebnis bilden bauzeitliche Nachtragsforderungen der ausführenden Unternehmen, teils berechtigte, teils unberechtigte. Hieraus folgt die Notwendigkeit dem terminlichen Ablauf eine besondere Aufmerksamkeit beizumessen. Bauablaufstörungen sind frühzeitig zu erkennen, zu bewerten und entsprechende Gegenmaßnahmen vorzunehmen. Auf bauzeitliche Forderungen ist vom Auftraggeber und seinen Beratern adäquat zu reagieren. Berechtigte Ansprüche sind anzuerkennen und nach den Preisermittlungsgrundlagen des Vertrags zu vergüten, unberechtigte Forderungen sind sachlich begründet abzuwehren.

1 Einführung

Die Realisierung baulicher Maßnahmen ist in erheblichem Maße durch Zeit- und Kostendruck auf alle Beteiligte – Auftraggeber, Planer und ausführende Unternehmen – gekennzeichnet. Häufige Ursachen für Kostenerhöhungen und Bauzeitverlängerung sind:

- nicht fertiggestellte Planung bei Vergabe der Leistungen und eine hierdurch bedingte baubegleitende Planung,
- unrealistische Kosten- und Terminvorgaben im Rahmen der Projektbudgetierung,
- unternehmerseitig werden Widersprüche und fehlende Angaben im Bauvertrag nicht bei Angebotsbearbeitung und Arbeitsvorbereitung, sondern im Rahmen der Bauausführung erkannt,
- die nicht bauablaufbezogene AG-seitige Beistellung der Ausführungsplanung und
- eine nicht ausreichende Koordinierung der Leistungserbringung der einzelnen Gewerke.

Nachfolgend werden drei wesentliche Bestandteile eines auftragsgeberseitigen Nachtragsmanagements beim Bauen im Bestand mit besonderem Fokus auf die Bauzeit aufgezeigt. Mittels dessen Anwendung ist eine baubetriebliche Basis zur zeitnahen Lösung von Auseinandersetzungen der Vertragspartner über bauzeitbedingter Nachtragsforderungen geschaffen.

In vielen praktischen Fällen hat nicht nur der Unternehmer Interesse an der zeitnahen Vergütung von Nachtragsforderungen, sondern erst auf Basis einer Einigung wird der Unternehmer bereit sein, neue Terminvereinbarungen einzugehen. Die Festlegung neuer Termine ist wiederum für den Auftraggeber im Hinblick auf die weitere Koordinierung des Bauablaufs und den Übergabetermin an den Nutzer von großer Bedeutung.

2 Die Erfassung und Berücksichtigung zeitlicher Risiken bei der Bauablaufplanung

Typische Ursachen von Bauzeitverzögerungen aufgrund fehlender bzw. unzureichender Bestandsanalyse sind:

- die nicht zutreffende statisch-konstruktive Beurteilung einer bestehenden Tragstruktur, hiervon kann das umzubauende Gebäude und die Nachbarbebauung betroffen sein,
- die unvorhergesehene Feststellung und Bewertung von Schadstoffen erst im Rahmen der Bauausführung sowie
- die Einbindung und / oder Umverlegung vorhandener Versorgungsleitungen.

Gleichzeitig gilt, dass eine vollständige und abschließende Bestandsanalyse, die alle Risiken ausschließt, aus wirtschaftlichen und baupraktischen Gründen in der Regel nicht durchführbar ist. Aus diesem Grund sind Risiken und deren Folgen in der Bauablaufplanung angemessen zu berücksichtigen. Grundsätzlich lassen sich folgende drei Szenarien infolge fehlender bzw. unzureichender Bestandsanalyse und entsprechende Gegenmaßnahmen zur Reduzierung negativer zeitlicher Auswirkungen unterscheiden:

Szenario 1: Der Auftraggeber beabsichtigt, den Aufwand für eine Bestandsanalyse so gering wie möglich zu halten. Eine abschließende Bewertung und Festlegung einzelner baulicher Folgemaßnahmen erfolgt baubegleitend, somit nach Beauftragung der ausführenden Unternehmen.

Der Planungszeitraum verkürzt sich, im Hinblick auf die Dauer des Ausführungszeitraumes und die Terminierung der Nutzerübergabe bestehen allerdings erhebliche Unsicherheiten. Bauherrnseitig ist ein schnelles Planen und Entscheiden zu sichern. Gleichzeitig sind entsprechende vertragliche Regelungen mit den ausführenden Unternehmen zu vereinbaren, die ein leistungsflexibles Arbeiten ermöglichen. Beispielhaft sind Stillstandszeiten für die Bauausführung zum Zwecke der auftraggeberseitigen Bestandsanalyse und Festlegung von Folgemaßnahmen zu vereinbaren. Projektbudget und Fertigstellungszeitraum sind mit großzügigen zeitlichen und kostenmäßigen Sicherheiten zu untersetzen.

Szenario 2: Die der Planung und Ausschreibung zugrunde gelegte Bestandsanalyse weicht von der tatsächlich vor Ort festgestellten Situation ab.

Neue und vertiefte Erkenntnisse über den Bestand im Rahmen der Bauausführung können nicht ausgeschlossen werden. Unbestritten ist, dass bestimmte Ergebnisse der Bestandsanalyse hohe Auswirkungen besitzen, andere weniger bedeutend für Planung

und Kosten sind. Eine Korrelation zwischen bauablaufbezogener Relevanz und Kostenintensität besteht jedoch nicht.

In der Praxis findet sich eine Vielzahl von Fällen bei denen gerade die unzureichende bauzeitliche Bewertung weniger kostenintensiver Leistungen, zu gravierenden Bauverzögerungen führen; solche Leistungen sind die:

- Sicherstellung von Baufreiheit zu Beginn der Arbeiten,
- Erstellung der Ausführungsplanung anhand von Bestandsplänen, ohne vorherigen Abgleich mit der Bestandsituation sowie
- die Planung der den eigentlichen Baumaßnahmen vorauslaufenden vorbereitenden Arbeiten.

Zur Erzielung eines möglichst ungestörten Bauablaufs sind ergänzende Untersuchungen im Rahmen der Bestandsanalyse durchzuführen, die mögliche Ursachen von Störungen auf den zeitlichen Ablauf der Maßnahmen aufzeigen. Mittels einer solchen bauzeitlichen Betrachtung des Bestandes lassen sich vermeintlich nachrangige Untersuchungen erkennen, deren Ergebnisse für die Einhaltung des Gesamtfertigstellungstermins von zentraler Bedeutung sind.

Szenario 3: Die dem Angebot des Auftragnehmers zugrundeliegenden Annahmen zur Ausführung der Leistungen im Bestand sind in kostenmäßiger sowie zeitlicher Hinsicht unzutreffend kalkuliert.

Der Unternehmer ist frei in der Erstellung seines Angebots. In der Regel hat der Auftraggeber in der Zuschlagsphase kein Interesse an einer detaillierten Kalkulation bzw. fehlt ihm der Sachverstand diese zu prüfen. Dem öffentlichen Auftraggeber liegen bei Angebotsabgabe in der Regel die EFB Preisblätter zur Angebotsprüfung vor. Deren inhaltliche Tiefe üblicherweise keine Aussagen zur Kalkulation und zum geplanten technologischen Ablauf von Teilleistungen macht.

Dem Auftraggeber ist zur Gewährleistung seiner eigenen an den Bauablauf geknüpften Verpflichtungen anzuraten, frühzeitig den verspäteten Beginn, die nicht angemessene Förderung und Vollendung der Ausführung des Unternehmers im Sinne des § 4 Abs. 1 VOB/B zu erkennen, um entsprechend gegenzusteuern.

Die dem Projekt zugrundeliegende Budgetplanung basiert in der Regel auf einer Grob- bzw. Rahmenterminplanung, die die wesentlichen Planungs- aus Ausführungsvorgänge sowie den Nutzungsbeginn beinhaltet. Im Rahmen der Ausschreibungsvorbereitung (Leistungsphase 6 HOAI) erfolgt dann die gewerkeweise Untersetzung des Bauablaufs. Regelmäßig beinhalten Bauverträge die Vorgabe an den Unternehmer, innerhalb von 4 bis 6 Wochen nach Vertragsunterzeichnung, einen Detailablauf für

seine Leistungen zu erstellen. Die zeitnahe Erstellung eines solchen Detailablaufs durch das ausführende Unternehmen und dessen Abgleich mit dem Gesamtablauf ist sicherzustellen. Gleichzeitig lässt sich auf diese Weise frühzeitig kontrollieren, ob der Unternehmer die von ihm geschuldeten Leistungen termingerecht erbringt.

In der Praxis sind die vorher genannten Maßnahmen zur Berücksichtigung zeitlicher Risiken im Bestand nicht isoliert, sondern parallel anzuwenden.

3 Sicherstellung einer strukturierten Erfassung und Dokumentation des Bauablaufs

Die Grundlagen für den Auftraggeber zur zeitnahen Lösung von Auseinandersetzungen der Vertragspartner über bauzeitbedingter Nachtragsforderungen bilden der Soll 0 Ablauf, der IST Ablauf sowie der Soll-IST-Vergleich; im Einzelnen:

a) **Soll 0 Ablauf:** Spätestens mit Baubeginn hat eine detaillierte Planung für den Ablauf der Bauausführung vorzuliegen; diese hat die:

- geschuldete Bauleistung (Bau-Soll),
- Vorgaben zu Ausführungsfristen aus den Vertragsdokumenten,
- Planungsleistungen mit zugeordneter Verantwortlichkeit,
- Ablauf der Planprüfung,
- auftraggeberseitigen Koordinierungsleistungen, insbesondere die Baufreiheit betreffende sowie
- Prüfungsergebnisse des unternehmerischen Ablaufplans

zu erfassen und in einem detaillierten Terminplan darzustellen. Das Ergebnis bildet die auftraggeberseitige Terminplanung der vertraglichen Leistungen (vertraglicher Soll-Ablauf) und die Grundlage für die Steuerung des weiteren Projektablaufs.

b) Regelmäßige Erfassung des **IST Ablaufs**, dies umfasst:

Leistungsstandfeststellung

Von zentraler Bedeutung für die IST-Erfassung ist die zeitnahe und kontinuierliche Erfassung des Leistungsstands. Grundlage bildet hierbei der Abgleich zwischen dem vertraglichen Soll-Ablauf und den tatsächlich erbrachten Leistungen auf der Baustelle. In der Regel sollte dieser Abgleich wöchentlich erfolgen. Hierbei gilt es auch, Leistungsänderungen zu erfassen.

Prüfung und Auswertung der Bautagesberichte

Zunächst sind die Bautagesberichte dahingehend zu prüfen, ob sie die erforderlichen Daten enthalten und diese nachvollziehbar sind. Zu den erforderlichen Daten gehören:

- Aufzeichnung der ausgeführten Leistungen,
- Anzahl und Arbeitszeiten der eingesetzten Arbeitskräfte und Geräte,
- Materiallieferungen und Abtransporte,
- Witterungsbedingungen auf der Baustelle sowie
- Hinweise auf besondere Ereignisse.

Häufig gestaltet sich die Auswertung der Bautagesberichte alleine deshalb schwierig, da zwar Leistungen eingetragen sind, diese sich aber weder einem Vorgang des Vertragsterminplanes noch der genauen Lage im Objekt zweifelsfrei zuordnen lassen. Des Weiteren sind in den Bautagesberichten mehrere ausgeführte Leistungen verzeichnet, jedoch der Einsatz gewerblicher Arbeitnehmer und Geräte nur zusammengefasst aufgeführt, mit dem Ergebnis, dass sich im Rahmen der Ermittlung des tatsächlichen Aufwandes keine exakten Feststellungen, sondern bestenfalls Schätzungen machen lassen.

Erfassung der Planeingänge

Die Planlieferlisten sind so zu führen, dass, neben dem verantwortlichen Planverfasser, eine klare Zuordnung zu dem jeweiligen Ausführungsvorgang im Terminplan und zur Lage im Objekt jederzeit gewährleistet ist. Dies gilt auch für später eingereichte Planergänzungen.

Um zu bewerten, ob sich vermeintlich „verspätet freigegeben Pläne“ tatsächlich zeitkritisch ausgewirkt haben, ist anhand der Leistungsstandsfeststellung zu überprüfen, ob die betroffenen Leistungen nicht schon auf Basis von Vorabzügen erstellt wurden. Zur Feststellung des Verursachers von eingetretenen Verzögerungen ist es wichtig, sowohl die Ausführungspläne (i. d. R. vom Auftraggeber beigestellt) als auch die zugehörigen Werk- und Montagepläne (i. d. R. vom Auftragnehmer erstellt) getrennt zu erfassen.

c) Soll-IST-Vergleich

Der zeitnahe Vergleich zwischen Soll- und IST- Ablauf zeigt Bauzeitverzögerungen auf. Die Feststellung ihrer Ursachen und Verantwortlichkeiten bildet die sachliche Basis für die Bewertung unternehmerseitiger Bauzeitverlängerungsansprüchen.

4 Hinterlegung und Vereinbarung von Preisermittlungsgrundlagen bei bauzeitbedingten Nachtragsforderungen

Bedingt durch das Anordnungsrecht des Auftraggebers nach Vertragsabschluss gemäß § 1 Abs. 3 und 4 VOB/B treten Sachnachträge regelmäßig auf. Vor dem Hintergrund erhöhten Zeitdrucks bei den beteiligten Vertragspartnern bilden bauzeitbedingte Forderungen bei mittleren und größeren Bauvorhaben mittlerweile keine Ausnahme, sondern stellen ebenfalls den Regelfall dar. Auftragnehmerseitig ist die Nach-

weisführung dem Grund und der Höhe nach sowie dessen Prüfung auf Auftraggeberseite anspruchsvoll. Die HOAI 2013 bewertet die „Mitwirkung bei der Prüfung von bauwirtschaftlich begründeten Nachtragsangeboten“ daher als eine „Besondere Leistung“.

Im Falle, dass zwischen den Parteien die Ursachen und Verantwortlichkeiten für eingetretene Bauverzögerungen weitestgehend unstreitig gestellt sind und die terminliche Sicherung des weiteren Bauablaufs im Vordergrund steht, müssen sich die Vertragsparteien über die wirtschaftliche Bewertung der eingetretenen Verzögerungen verständigen.

Regelungen zu Kostenforderungen bei Bauzeitnachträgen sind neben Vergütungsansprüchen aus Leistungsänderungen und zusätzlichen Leistungen gemäß § 2 Abs. 5 und Abs. 6 VOB/B sowie Schadensersatzansprüchen aus § 6 Abs. 6 VOB/B vielmehr im BGB enthalten. Gemäß BGB unter § 642 Absatz 2 heißt es hierzu:

- (2) *„Die Höhe der Entschädigung bestimmt sich einerseits nach der Dauer des Verzugs und der Höhe der vereinbarten Vergütung, andererseits nach demjenigen, was der Unternehmer infolge des Verzugs an Aufwendungen erspart oder durch anderweitige Verwendung seiner Arbeitskraft erwerben kann.“*

Zur Geltendmachung von Entschädigungsansprüchen des Unternehmers, die aus einer Verlängerung der Bauzeit resultieren, ist gemäß BGB folglich zur Ermittlung der Nachtragshöhe die Vertragskalkulation heranzuziehen. Gleichzeitig ist bei Anordnung von geänderten bzw. zusätzlichen Leistungen gemäß VOB/B die Vergütung auf Basis der Vertragspreise zu ermitteln.

Bei öffentlichen Aufträgen werden daher in der Praxis die Angaben des Bieters aus den bei Angebotsabgabe übergebenen Preisblättern herangezogen. Dieses sind die EFB Preisblätter 221¹, 222² und 223³. Auch nicht öffentlichen Auftraggebern ist zu empfehlen, sich bei Angebotsabgabe eine Untersetzung der Angebotspreise in Form einer Vertragskalkulation übergeben zu lassen.

Bei bauzeitbedingten Nachtragsforderungen besteht oftmals großes Streitpotential zwischen den Parteien hinsichtlich der vom Auftragnehmer verlangten Gemeinkosten. Diese umfassen u.a. Kosten für Projektleitung, aufsichtsführendes Personal, Baustelleneinrichtung sowie weitere übergeordnete Leistungen (Personal und Gerät), die mehreren Leistungen zugeordnet sind.

Die divergierenden Auffassungen betreffen sowohl die bei Auftragserteilung kalkulierten (Soll Kosten) als auch die aufgrund von Störungen zusätzlich geforderten Kosten. Auftraggeberseitig wird häufig behauptet, dass die kalkulierten Gemeinkosten zu

¹ EFB 221: Preisermittlung bei Zuschlagkalkulation

² EFB 222: Preisermittlung bei Kalkulation über die Endsumme

³ EFB 223: Aufgliederung der Einheitspreise

gering sind und der erhöhte Aufwand auch ohne eingetretene Störungen zur Leistungserbringung notwendig war. Dagegen wird der Auftragnehmer behaupten, dass alleine die Störungen den erhöhten Aufwand erforderlich machten.

Ein wesentlicher Beitrag zur Findung einer sachlichen Lösung bildet eine aussagekräftige Vertragskalkulation, die dem Auftraggeber vor Eintritt der Störungen übergeben worden ist. Dies kann auch nach Vertragsabschluss zwischen den Parteien vereinbart werden. Die EFB Blätter werden häufig zu einem Zeitpunkt erstellt zu dem der Unternehmer den geforderten Leistungsablauf noch nicht vollständig durchdrungen hat.

In der Vertragskalkulation sind insbesondere zeitliche Angaben zum geplanten Einsatz der Projektleitung, Bauleitung, Poliere und weiterem aufsichtsführenden Personal sowie der Vorhaltung von leistungsübergeordneten Geräten und Materialien zu machen. Projektspezifisch sind die Angaben zu ergänzen, dies kann u.a. die kalkulierte Vorhaltung für Planung, Montage und Fertigung sein.

Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass die Hinterlegung einer belastbaren Vertragskalkulation sowohl für die Prüfung bauzeitbedingter Nachtragsforderungen als auch für die Vereinbarung neuer terminlicher Regelungen bei Störungseintritt eine hohe Relevanz besitzt.

Literatur

- [1] VOB/B (2016): Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen
- [2] Franke H., Kemper R., Zanner C., Grünhagen M. (2017): VOB Kommentar
- [3] Vygen K., Joussem E., Lang A., Rasch D. (2015): Bauverzögerung und Leistungsänderung, Rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen
- [4] Kapellmann D., Schiffers K., Markus J. (2017): Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag
- [5] Drittl M. (2009): Nachträge und Nachtragsprüfung beim Bau- und Anlagenbau
- [6] Drees G., Paul W. (2014): Kalkulation von Baupreisen
- [7] Girmscheid G., Motzko C. (2013): Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft, Produktionsprozessorientierte Kostenberechnung und Kostensteuerung
- [8] Leimböck E., Rüdiger U., Hölckermann K.O. (2011): Baukalkulation und Projektcontrolling unter Berücksichtigung der KLAR Bau und der VOB
- [9] Tomic A. (2014): Bauzeit und zeitabhängige Kosten in Vergabe, Vertrag und Nachtrag – Änderungsursachen und ihre Folgen, Fristen und Kosten frühzeitig klären – Ursachenanalyse statt Symptombekämpfung

Wann ist der Gerichtssachverständige befangen?

U. Meiendresch
Aachen

Zusammenfassung

Der Gerichtssachverständige ist bei seiner Tätigkeit aus §§ 406, 41, 42 ZPO rechtlichen Risiken einer erfolgreichen Ablehnung ausgesetzt. Das Recht der Parteien, auch den Gerichtssachverständigen als befangen abzulehnen, ist gerade im Bauprozess wegen der hohen Bedeutung des Gutachtens für den Ausgang des Rechtsstreites verständlich. Wird der Sachverständige erfolgreich abgelehnt, ist nicht nur sein Gutachten regelmäßig unverwertbar, einhergehend mit einer Verzögerung des Rechtsstreites. Vor allem verliert der Gerichtssachverständige nach § 8a JVEG im Regelfall seinen Vergütungsanspruch und gefährdet die weitere Zusammenarbeit mit dem betroffenen Gericht und u.U. seine Reputation.

Der Gerichtssachverständige sollte daher im Interesse der Funktionsfähigkeit des Zivilprozesses, aber auch im eigenen wirtschaftlichen Interesse mit den Grundsätzen des Befangenheitsrechts vertraut sein. Kennt der Gerichtssachverständige die gesetzliche Lage, die dazu ergangene Rechtsprechung und die Verfahrensvorschriften, kann er das Risiko einer erfolgreichen Ablehnung als befangen auf ein Mindestmaß reduzieren und damit wirtschaftlichen Schaden vermeiden. Schon bei der erstmaligen Übernahme des Gerichtsauftrages hat der Gerichtssachverständige nach § 8a JVEG etwaige Befangenheitsgründe zu prüfen und dem Gericht anzuzeigen, so dass in der späteren Beweisaufnahme keine Probleme entstehen. In der Beweisaufnahme selber, also beim Ortstermin und bei gerichtlichen Anhörung sollte der Sachverständige mit Bedacht vorgehen, insbesondere unüberlegte Äußerungen unterlassen und bei Fragestellungen nach § 404 a ZPO das Gericht um Klärung anhalten.

1 Gesetzliche Lage

Befangenheitsanträge, ihre rechtliche Wirkung, die Besonderheiten des Verfahrens und Gebührenaspekte sind in folgenden Vorschriften geregelt:

§ 406 ZPO Ablehnung eines Sachverständigen

(1) ¹Ein Sachverständiger kann aus denselben Gründen, die zur Ablehnung eines Richters berechtigen, abgelehnt werden. ²Ein Ablehnungsgrund kann jedoch nicht daraus entnommen werden, dass der Sachverständige als Zeuge vernommen worden ist.

(2) ¹Der Ablehnungsantrag ist bei dem Gericht oder Richter, von dem der Sachverständige ernannt ist, vor seiner Vernehmung zu stellen, spätestens jedoch binnen zwei Wochen nach Verkündung oder Zustellung des Beschlusses über die Ernennung. ²Zu einem späteren Zeitpunkt ist die Ablehnung nur zulässig, wenn der Antragsteller glaubhaft macht, dass er ohne sein Verschulden verhindert war, den Ablehnungsgrund früher geltend zu machen. ³Der Antrag kann vor der Geschäftsstelle zu Protokoll erklärt werden.

(3) Der Ablehnungsgrund ist glaubhaft zu machen; zur Versicherung an Eides statt darf die Partei nicht zugelassen werden.

(4) Die Entscheidung ergeht von dem im zweiten Absatz bezeichneten Gericht oder Richter durch Beschluss.

(5) Gegen den Beschluss, durch den die Ablehnung für begründet erklärt wird, findet kein Rechtsmittel, gegen den Beschluss, durch den sie für unbegründet erklärt wird, findet sofortige Beschwerde statt.

§ 41 ZPO Ausschluss von der Ausübung des Richteramtes

Ein Richter ist von der Ausübung des Richteramtes kraft Gesetzes ausgeschlossen:

1. in Sachen, in denen er selbst Partei ist oder bei denen er zu einer Partei in dem Verhältnis eines Mitberechtigten, Mitverpflichteten oder Regresspflichtigen steht;
2. in Sachen seines Ehegatten, auch wenn die Ehe nicht mehr besteht;
2a in Sachen seines Lebenspartners, auch wenn die Lebenspartnerschaft nicht mehr besteht;
3. in einer Person, mit der er in gerader Linie verwandt oder verschwägert, in der Seitenlinie bis zum dritten Grad verwandt oder bis zum zweiten Grad verschwägert ist oder war;
4. in Sachen, in denen er als Prozessbevollmächtigter oder Beistand einer Partei bestellt oder als gesetzlicher Vertreter einer Partei aufzutreten berechtigt ist oder gewesen ist;
5. in Sachen, in denen er als Zeuge oder Sachverständiger vernommen ist;
6. in Sachen, in denen er in einem früheren Rechtszug oder im schiedsrich-

terlichen Verfahren bei dem Erlass der angefochtenen Entscheidung mitgewirkt hat, sofern es sich nicht um die Tätigkeit eines beauftragten oder ersuchten Richters handelt;

7. in Sachen wegen überlanger Gerichtsverfahren, wenn er in dem beanstandeten Verfahren in einem Rechtszug mitgewirkt hat, auf dessen Dauer der Entschädigungsanspruch gestützt wird;
8. in Sachen, in denen er an einem Mediationsverfahren oder einem anderen Verfahren der außergerichtlichen Konfliktbeilegung mitgewirkt hat.

§ 42 ZPO Ablehnung eines Richters

(1) Ein Richter kann sowohl in den Fällen, in denen er von der Ausübung des Richteramts kraft Gesetzes ausgeschlossen ist, als auch wegen Besorgnis der Befangenheit abgelehnt werden.

(2) Wegen Besorgnis der Befangenheit findet die Ablehnung statt, wenn ein Grund vorliegt, der geeignet ist, Misstrauen gegen die Unparteilichkeit eines Richters zu rechtfertigen.

(3) Das Ablehnungsrecht steht in jedem Fall beiden Parteien zu.

§ 8a JVEG Wegfall oder Beschränkung des Vergütungsanspruchs

(1) Der Anspruch auf Vergütung entfällt, wenn der Berechtigte es unterlässt, der heranziehenden Stelle unverzüglich solche Umstände anzuzeigen, die zu seiner Ablehnung durch einen Beteiligten berechtigen, es sei denn, er hat die Unterlassung nicht zu vertreten.

(2) Der Berechtigte erhält eine Vergütung nur insoweit, als seine Leistung bestimmungsgemäß verwertbar ist, wenn er

1. gegen die Verpflichtung aus § 407a Absatz 1 bis 4 Satz 1 der Zivilprozessordnung verstoßen hat, es sei denn, er hat den Verstoß nicht zu vertreten;

2. eine mangelhafte Leistung erbracht hat;

3. im Rahmen der Leistungserbringung grob fahrlässig oder vorsätzlich Gründe geschaffen hat, die einen Beteiligten zur Ablehnung wegen der Besorgnis der Befangenheit berechtigen; oder

4. trotz Festsetzung eines weiteren Ordnungsgeldes seine Leistung nicht vollständig erbracht hat.

Soweit das Gericht die Leistung berücksichtigt, gilt sie als verwertbar.

(3) Steht die geltend gemachte Vergütung erheblich außer Verhältnis zum Wert des Streitgegenstands und hat der Berechtigte nicht rechtzeitig nach § 407a Absatz 4 Satz 2 der Zivilprozessordnung auf diesen Umstand hingewiesen, bestimmt das Gericht nach Anhörung der Beteiligten nach billigem Ermessen eine Vergütung, die in einem angemessenen Verhältnis zum Wert des Streitgegenstands steht.

U. Meindresch, Wann ist der Gerichtssachverständige befangen?

(4) Übersteigt die Vergütung den angeforderten Auslagenvorschuss erheblich und hat der Berechtigte nicht rechtzeitig nach § 407a Absatz 4 Satz 2 der Zivilprozessordnung auf diesen Umstand hingewiesen, erhält er die Vergütung nur in Höhe des Auslagenvorschusses.

(5) Die Absätze 3 und 4 sind nicht anzuwenden, wenn der Berechtigte die Verletzung der ihm obliegenden Hinweispflicht nicht zu vertreten hat.

Verlust des Vergütungsanspruches

Neben dem Ärger trifft den Sachverständigen bei einem erfolgreichen Befangenheitsantrag in der Regel den vollständigen Verlust seines Vergütungsanspruches.

Der bloßen Beschränkung des Vergütungsanspruchs, wie in § 8a JVEG vorgesehen, wird in der Praxis bei Schaffung von Ablehnungsgründen durch den Sachverständigen kaum Bedeutung beigemessen. In der Regel wird in solchen Fällen aus naheliegenden Gründen eine Verwertbarkeit des Gutachtens insgesamt ausscheiden, also ein vollständiger Verlust des Vergütungsanspruchs eintreten. Etwas anderes kann zwar bei teilweise mangelhafter Leistung in Betracht kommen, wenn sich die Parteien das Gutachten ausnahmsweise zum Teil zu eigen machen und etwa der neue Sachverständige in kostensparender Weise darauf aufbaut (Musielak/Voit/Huber, ZPO § 413 Rn. 1). Fälle, die dies tatsächlich belegen, sind allerdings kaum bekannt (Zöller/Greger, ZPO, § 412 Rd. 4 m. w. Nachw.).

Honorierung für Stellungnahme

Ungeklärt und noch streitig in Rechtsprechung und Schrifttum ist die Frage, ob der Sachverständige ein Honorar bekommt, wenn er auf Aufforderung des Gerichts zu einem Ablehnungsgesuch schriftlich Stellung nimmt und der Befangenheitsantrag vom Gericht sodann abgelehnt wird. Überwiegend ist die obergerichtliche Rechtsprechung der Ansicht, dass der Sachverständige für die Stellungnahme zu einem Ablehnungsgesuch nicht entschädigt werden kann (OLG München, MDR 1990, 1050; Senatsbeschluss vom 12.8.1988 – 11 WF 1031/88 –; OLG Düsseldorf, JurBüro 1984, 90; KG; ZSW 1982, 28, OLG Koblenz, JurBüro 1983, 741; OLG Düsseldorf, MDR 1994, 1050; Meyer/Höver, ZSEG, 18. Aufl., Rdnr. 44.7 zu § 3; Bleutge, ZSEG, Rdnr. 16 zu § 3; Hartmann, KostG, 25. Aufl., Rdnr. 50 zu § 1 ZSEG). Die Entschädigung des Sachverständigen erfolgt nach diesen Meinungen nur für die eigentliche Sachverständigenleistung, d. h. für den mit der Erstattung des Gutachtens unmittelbar zusammenhängenden Aufwand. Ein solcher Zusammenhang sei zu verneinen etwa für die Aufstellung der Rechnung, die Anfertigung des Übersendungsschreibens, Tätigkeiten zur Weiterverfolgung des Entschädigungsanspruches und schließlich für die Stellungnahme zu einem Ablehnungsgesuch (vgl. hierzu insbesondere Meyer/Höver, a.a.O.). Die Stellungnahme zum Befangenheitsantrag stellt sich danach nicht etwa als Bestandteil des (schriftlichen) Sachverständigengutachtens dar. Vielmehr hat sich der

Sachverständige in diesem Zusammenhang nur zu den vorgetragenen Befangenheitsgründen zu äußern. Eine Entschädigung ist insoweit nach den allein maßgeblichen Regelungen (vgl. § 413 ZPO) nicht vorgesehen.

Dem tritt das Oberlandesgericht Frankfurt entgegen und hält auch den Aufwand des Gerichtssachverständigen für seine Stellungnahme auf das Befangenheitsgesuch für vergütungspflichtig (vgl. OLG Frankfurt, RpfL 1993, 421).

§ 8a JVEG zeigt, dass der Sachverständige die Mitverantwortung für die Verwertbarkeit seines Gutachtens trägt. Seine Stellung als eine Art neutraler Richterberater bürdet ihm eine gewisse Verantwortung für die ordnungsgemäße Abwicklung der Beweiserhebung auf. Der Sachverständige darf daher auf keinen Falleinen möglichen Ablehnungsgrund verschweigen in der Hoffnung, die Partei werde ihn nicht entdecken, und ist daher nach dem neuen § 407a Abs. 2 ZPO jetzt sogar zu einer entsprechenden Prüfung und Erklärung dem Gericht gegenüber verpflichtet (vgl. Musielak/Voit/Huber ZPO § 406 Rn. 5). Dies zeigt m.E., dass die Stellungnahme des Sachverständigen auf das Befangenheitsgesuch einen unmittelbaren Zusammenhang mit dem Gutachten aufweist und daher in Zukunft als honorarpflichtig angesehen werden sollte.

Persönliche Beziehung zu einer Partei

Klassischer Befangenheitsgrund nach §§ 406, 41 ZPO ist ein bestimmtes Verhältnis zwischen Gerichtssachverständige und einer Partei. Eine persönliche Beziehung zu einer Partei im Sinn des § 41 Nr. 1–4 ZPO, also etwa Verwandtschaft oder Ehe mit einer Partei, bewirkt einen sog. absoluten Ablehnungsgrund. Im Unterschied zum Richter ist der Sachverständige in diesen Fällen aber nicht kraft Gesetzes ausgeschlossen und kann sich auch nicht etwa selbst ablehnen. Vielmehr bedarf es, wie aus dem Wortlaut von § 406 Abs. 1 S. 1 ZPO folgt, stets eines entsprechenden Gesuches einer Partei (Musiellak/Voit/Huber ZPO § 406 Rn. 3). Wird dem Sachverständigen der Streit verkündet, besteht nach § 72 Abs. 2 ZPO eine Befangenheit erst, wenn der Sachverständige tatsächlich dem Rechtsstreit beitrifft (BGH, NJW-RR 2006, 1221; Zöller/Greger, ZPO, 406 Rd. 3).

Auch andere persönliche Verhältnisse können schnell einen Befangenheitsgrund bilden. Klassisch liegt der Fall einer Befangenheit vor, wenn der Sachverständige in derselben Sache bereits Privatgutachter einer Partei war. In diesem Fall ist eine Überprüfung des vorgerichtlichen Gutachtens, also gerade die Aufgabe des Gerichtssachverständigen ausgeschlossen. Ähnlich liegt es, wenn der Bausachverständige auch gleichzeitig einen umfangreichen Bauauftrag für eine Partei ausführt, sein Geschäftspartner ist oder wenn er im Bauprozess bereits für einen anderen Erwerber (als die Partei) desselben Haustyps im selben Baugebiet als Privatgutachter tätig war. Auch eine wirtschaftliche Verbindung des Sachverständigen zu einer Partei kann den Anschein einer nicht vollständigen Unvoreingenommenheit begründen, nicht aber bei nur „mittelbarer Parteinähe“ (Musiellak/Voit/Huber ZPO § 406 Rn. 7).

U. Meindresch, Wann ist der Gerichtssachverständige befangen?

Ähnlich kann ein Verhältnis zum Prozessbevollmächtigten einer Partei eine Befangenheit begründen, etwa wenn er mit diesem verwandt ist oder ihn selbst mit seiner anwaltschaftlichen Vertretung beauftragt hat. Selbst wenn der Prozessbevollmächtigte den Gerichtssachverständigen im Auftrag einer anderen Partei in einem anderen Prozess selbst auf Schadenersatz verklagt, begründet dies Befangenheit, wie auch eine regelmäßige Privatgutachtertätigkeit für die gegnerische Kanzlei von bedeutsamem wirtschaftlichem Gewicht (Musiak/Voit/Huber ZPO § 406 Rn. 8).

Sehr problematisch ist es, wenn der Sachverständige für den Haftpflichtversicherer einer Partei regelmäßig Gutachten erstellt. Spätestens bei wirtschaftlicher Abhängigkeit ist von einer Befangenheit auszugehen (vgl. OLG Köln OLGZ 1993, 341; Musiak/Voit/Huber ZPO § 406 Rn. 10).

In allen diesen Fällen hat der Sachverständige nach § 8a JVEG bereits vor Aufnahme des Gutachtens eine Anzeigepflicht. Verzichten die Parteien auf ein Befangenheitsgesuch, verlieren sie regelmäßig dauerhaft ihr Antragsrecht. Gibt das Gericht dem Befangenheitsgesuch statt, verliert der Sachverständige zwar den Auftrag, erleidet aber mangels einer maßgeblichen Leistung noch keinen wirtschaftlichen Schaden. Das Verfahren wird auch nicht erheblich verzögert, so dass auch Reputationsschäden ausbleiben dürften.

Verhalten im Prozess

Viel problematischer ist ein erfolgreicher Befangenheitsantrag etwa durch ein Verhalten oder eine Maßnahme des Gerichtssachverständigen während der Beweisaufnahme. In diesem Fall entfällt nach § 8a JVEG das Gutachterhonorar auch für die geleistete Arbeit des Sachverständigen, so dass ein echter wirtschaftlicher Schaden eintritt. Die zusätzlich eintretende Verfahrensverzögerung verärgert zudem das Gericht, so dass ein Reputationsverlust jedenfalls nicht ausgeschlossen werden kann. Erfolgen häufiger Befangenheiten durch ein Verhalten des Sachverständigen im Verfahren, werden die Gerichte, soweit ihnen das bekannt ist, von der Bestellung dieses Sachverständigen absehen.

Einen solcher Befangenheitsgrund liefert der Baurechtssachverständige, wenn er eine Partei benachteiligt oder die andere bevorteilt, etwa wenn der Sachverständige nur die eine Seite (nicht auch die andere) von einem Termin oder Ermittlungen unterrichtet oder den gemeinsam vereinbarten Ortstermin auf Antrag einer Partei verschiebt, dann aber den neuen Termin trotz eines Verlegungsantrags der anderen Partei durchführt. Gleiches gilt, wenn der Sachverständige nur mit einer Partei ohne gerichtliche Genehmigung in Verbindung tritt oder nur sie bei Ermittlungen zuzieht, sich mit nur einer Partei auf Gespräche oder Verhandlungen einlässt oder die von ihr zur Verfügung gestellten Unterlagen ohne Offenlegung verwertet. Es passiert auch immer wieder, dass der Sachverständige eine Partei ohne hinreichende Begründung einer vorsätzlichen Täuschungshandlung bezichtigt und damit eine Befangenheit erst auslöst

(Musielak/Voit/Huber ZPO § 406 Rn. 6). Auch Fälle, in denen der Sachverständige den Beweisbeschluss missachtet, gehören zu den eine Befangenheit auslösenden Fällen. Auf jeden Fall sollte der Sachverständige nicht ohne Rücksprache mit dem Gericht Tatsachen untersuchen, nach denen im Beweisbeschluss nicht gefragt wird (Musielak/Voit/Huber ZPO § 406 Rn. 9, 11).

Keine Befangenheit

Andere Vorwürfe an den Sachverständigen, also fehlerhaftes Gutachten, Vorbefassung im selbstständigen Beweisverfahren oder im Parallelverfahren, einfache Konkurrenzfähigkeit oder gesellschaftliche Verbindungen auch in Seminaren und Tagungen stellen keine Befangenheit dar (vgl. Musielak/Voit/Huber, ZPO § 406 Rd. 11). Das gilt selbst für Fall, dass das Berufungsgericht denselben Gutachter erneut bestellt (Münchener Kommentar/Zimmermann, ZPO, § 406 Rd. 2). Aber auch solche Umstände sollte ein Gerichtssachverständiger stets anzeigen, da die Gerichte an Meinungen aus Rechtsprechung und Schrifttum nicht gebunden sind.

Über ein Befangenheitsgesuch einer Partei entscheidet das mit dem Streit betraute Gericht. Lehnt das Gericht den Antrag ab, kann der Antragsteller sofortige Beschwerde einlegen. Regelmäßig kann der Sachverständige erst nach Rechtskraft der Entscheidung weiter begutachten. Diesen Zeitpunkt sollte sich der Sachverständige vom Gericht mitteilen lassen.

(Leerseite)

Das neue Bauvertragsrecht der Bundesregierung – Fluch oder Segen?

M. Cosler
Aachen

Zusammenfassung

Gegenstand des Vortrags "Das neue Bauvertragsrecht der Bundesregierung – Fluch oder Segen?" ist das vom Deutschen Bundestag am 09.03.2017 angenommene Gesetz zur Reform des Bauvertragsrechts und zur Änderung der kaufrechtlichen Mängelhaftung, welches zum 01.01.2018 in Kraft treten wird.

Neben wesentlichen Änderungen im Werkvertragsrecht des Bürgerlichen Gesetzbuchs – etwa der Einführung neuer Vertragstypen wie Bauverträgen, Architekten- und Ingenieurverträgen, Verbraucherbauverträgen und Bauträgerverträgen - werden durch die Reform Verbraucherschutzregeln auch im sachlichen Anwendungsbereich des Werkvertragsrechts eingeführt. Schließlich wird durch die Reform die kaufrechtliche Mängelhaftung an die Rechtsprechung des EuGHs angepasst und die Rechtsposition von Werkunternehmern in den Fällen verbessert, in denen mangelhafte Produkte eines Lieferanten/Herstellers verbaut wurden.

1 Einführung

Das Baurecht ist – ob der unüberschaubaren Rechtsprechung, meist komplexer auf lange Erfüllungszeiten angelegter Verträge und einer sich stetig weiterentwickelnden Bautechnik – zu einer Spezialmaterie geworden, die für die Rechtsanwender kaum noch zu überblicken ist.

Das bislang geltende Werkvertragsrecht ist sehr allgemein gehalten - wesentliche Fragen sind gesetzlich nicht geregelt. Das Fehlen klarer Vorgaben erschwert in einem der größten Wirtschaftszweige – der Baubranche – eine interessengerechte und ökonomisch sinnvolle Gestaltung und Abwicklung von Verträgen und birgt sowohl auf Verbraucher- als auch auf Unternehmenseite Risiken, die ob fehlender oder mangelhafter Vereinbarung der Parteien oftmals zu Rechtsstreitigkeiten führen.

Der Gesetzgeber will diesen und anderen Problemlagen durch eine Reform gerecht werden, die für die Bauwirtschaft – insbesondere für Handwerksbetriebe – von nicht zu überschätzender Bedeutung ist. So hat der Deutsche Bundestag aufgrund der Beschlussempfehlung des Ausschusses für Recht und Verbraucherschutz (Beschlussempfehlung BT-Drucksache 18/11437) in seiner 221. Sitzung am 09. März 2017 den von der Bundesregierung eingebrachten Entwurf eines Gesetzes zur Reform des Bauvertragsrechts und zur Änderung der kaufrechtlichen Mängelhaftung (BT-Drucksache 18/8486) in der Ausschussfassung angenommen. Die darin vorgesehenen Neuregelungen treten zum 01.01.2018 in Kraft und gelten für alle Verträge, die ab diesem Zeitpunkt abgeschlossen werden.

Die neu gefassten gesetzlichen Regelungen lassen sich in drei Teile untergliedern: Zum einen werden durch die Reform spezielle Regelungen für Bauverträge, Verbraucherbauverträge sowie für Architekten- und Ingenieurverträge in den werkvertraglichen Abschnitt des Bürgerlichen Gesetzbuchs eingefügt. Den Besonderheiten der auf längere Erfüllungszeit angelegten Bauverträgen wird dabei unter anderem durch die Einführung eines Anordnungsrechts des Bestellers, einer Neuregelung der Preisanpassungen bei Mehr- oder Minderleistungen, Änderungen der Regelungen der Abnahme sowie der Einführung einer Kündigungsmöglichkeit aus wichtigem Grund, Rechnung getragen.

Zum anderen finden besondere Verbraucherschutzvorschriften Einzug ins Werkvertragsrecht. So wird für Verbraucher-Bauverträge nicht nur ein Widerrufsrecht, sondern auch eine Obergrenze für Abschlagszahlungen, Baubeschreibungspflichten der Unternehmer und eine Verpflichtung zur verbindlichen Vereinbarung der Bauzeit eingeführt.

Schließlich wird die kaufrechtliche Mängelhaftung an die Rechtsprechung des EuGHs angepasst und auch die Situation von Werkunternehmern, die mangelhaftes Baumaterial gekauft und verbaut haben, durch Neuregelungen im B2B-Bereich verbessert.

2 Änderungen des Werkvertragsrecht

Die gesetzliche Grundlage des privaten Baurechts ist das Bürgerliche Gesetzbuch, insbesondere das Werkvertragsrecht der §§ 631 ff. BGB, welches bislang sehr allgemein gehalten ist und für die meist komplexen Bauverträge keine speziellen Regelungen bietet. Das Fehlen gesetzlicher Vorgaben führt zu einer konfrontativen Vertragskultur, die etwa mit unklaren oder unvollständigen Ausschreibungen und undurchsichtigen Kalkulations- und Abrechnungspraktiken einer interessengerechten und wirtschaftlich sinnvollen Gestaltung und Abwicklung von Bauverträgen entgegensteht.

Durch die Gesetzesänderung werden nunmehr detailliertere Regelungen für ausgewählte Vertragstypen eingeführt. Auch sollen neue Vorgaben die Kommunikation und Kooperation zwischen den Vertragsparteien verbessern um Konflikte zu vermeiden und einen zügigen Ablauf der Bauvorhaben zu gewährleisten.

a) Allgemeine Vorschriften

Zunächst sieht das verabschiedete Gesetz Änderungen der allgemeinen Vorschriften des Werkvertragsrechts vor, die für alle Werkvertragstypen gelten. So werden die Regelungen zu Abschlagszahlungen und zur fiktiven Abnahme geändert und ein Kündigungsrecht aus wichtigem Grund eingeführt.

aa) Abschlagszahlungen

Die Höhe von Abschlagsansprüchen richtet sich nach der Gesetzesänderung nicht mehr nach Wertzuwachsen auf Seiten des Bestellers. Maßstab für die Berechnung einer Abschlagsforderung ist nach § 632a BGB nunmehr der Wert der vom Unternehmer erbrachten, vertraglich geschuldeten Leistung, wodurch ein weitgehender Gleichlauf mit der Regelung der VOB/B (§ 16 Absatz 1 Nr. 1) hergestellt wird.

Dem Besteller steht bei Abschlagszahlungen - in den Fällen in denen Leistungen vom vertraglichen Zustand abweichen - das Recht zu, die Zahlung eines angemessenen Teils des Abschlags zu verweigern.

bb) Fiktive Abnahme

Die fiktive Abnahme wird durch § 640 Absatz 2 BGB neu geregelt. So wird eine Abnahme in Zukunft dann fingiert, wenn der Unternehmer dem Besteller nach Fertigstellung des Werks eine angemessene Frist zur Abnahme gesetzt hat und der Besteller die Abnahme nicht fristwahrend unter konkreter Mängelangabe verweigert.

Die Möglichkeit einer Abnahmeverweigerung durch pauschale Mängelbehauptung besteht – anders als bislang – nicht mehr.

Für Unternehmer ist dabei in den Fällen, in denen die Besteller Verbraucher sind Vorsicht geboten: Die Fiktion der Abnahme tritt in diesen Fällen nur dann ein, wenn

M. Cosler, Das neue Bauvertragsrecht der Bundesregierung – Fluch oder Segen?

der Besteller zusammen mit der Abnahmeaufforderung in Textform über die Folgen des Unterlassens (fiktive Abnahme) informiert wurde.

cc) Kündigungsrecht aus wichtigem Grund

Durch § 648a BGB wird ein Kündigungsrecht aus wichtigem Grund in die allgemeinen Vorschriften des Werkvertragsrechts eingeführt. Danach kann eine Vertragspartei einen Werkvertrag ohne Einhaltung einer Kündigungsfrist kündigen, wenn ihr unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls und unter Abwägung der beidseitigen Interessen die Fortsetzung des Vertragsverhältnisses bis zur Fertigstellung des Werks nicht zugemutet werden kann.

Die Parteien haben dabei - nach Ausübung des Kündigungsrechts - Anspruch auf eine gemeinsame Feststellung des Leistungsstandes, um spätere Streitigkeiten über den Stand der Arbeiten zu vermeiden. Verweigert eine Partei die Mitwirkung, oder bleibt sie einem Termin zur Leistungsstandfeststellung fern, trifft sie die Beweislast für den Leistungsstand zum Zeitpunkt der Kündigung.

b) Spezielle Vertragstypenregelungen

Sodann führt die Gesetzesänderung detailliertere Regelungen für spezielle Vertragstypen ein – namentlich den Bauvertrag, den Architekten- und Ingenieurvertrag sowie den Baurägervertrag.

aa) Bauvertrag

Dem meist komplexen, auf lange Erfüllungszeit angelegten Bauvertrag soll durch die Einführung eines eigenen Vertragstypen in § 650a ff. BGB Rechnung getragen werden. Bauverträge werden durch die Reform definiert als Verträge über die Herstellung, die Wiederherstellung, die Beseitigung oder den Umbau eines Bauwerks, einer Außenanlage oder eines Teils davon. Auch Verträge über die Instandhaltung eines Bauwerks gelten nach der Reform als Bauverträge, wenn das Werk für die Konstruktion, den Bestand oder den bestimmungsgemäßen Gebrauch von wesentlicher Bedeutung ist.

Durch die Gesetzesänderung wird für diese Verträge in § 650b BGB ein Anordnungsrecht des Bestellers – etwa bei Planungsänderungen oder lückenhafter Leistungsbeschreibungen – eingeführt. Den Unternehmer trifft danach im Rahmen nachträglicher Anordnungen – wenn eine Änderung zur Erreichung des vereinbarten Werkerfolgs notwendig ist – die Pflicht, ein Angebot über die Mehr- oder Mindervergütung zu erstellen. Sodann zielt das Gesetz zunächst auf einvernehmliche Lösungen der Parteien auf Grundlage dieses Angebots des Unternehmers ab. Eine einseitige Anordnung der Änderung durch den Besteller ist in der Folge schließlich erst dann möglich, wenn eine einvernehmliche Lösung auf Basis des Angebots nicht innerhalb eines Monats herbeigeführt werden konnte.

Die Gesetzesänderung flankiert dieses Anordnungsrecht des Bestellers mit Regelungen zur Preisanpassung bei Mehr- oder Minderleistungen (§ 650c BGB). Um zu verhindern, dass der Unternehmer nachträglich angeordnete Mehrleistungen nach den Preisen einer – im Wettbewerb meist knapp bemessenen – Urkalkulation erbringen muss, kann der Vergütungsanspruch anstelle der Urkalkulation auch nach den tatsächlich erforderlichen Kosten nebst angemessenen Zuschlägen für Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn abgerechnet werden. Für Unternehmer ist dabei jedoch auch Vorsicht geboten: Abschlagszahlungen, die die geschuldete Mehrvergütung übersteigen, sind dem Besteller zurückzugewähren und ab ihrem Eingang beim Unternehmer zu verzinsen.

Weiter wird dem Unternehmer durch die Reform bei Bauverträgen für den Fall der Abnahmeverweigerung ein Anspruch auf Mitwirkung des Bestellers an einer Zustandsfeststellung eingeräumt (§ 650g BGB). Bleibt der Besteller der Zustandsfeststellung unentschuldigt fern, kann der Unternehmer sie auch einseitig vornehmen. Für Mängel die in der Zustandsfeststellung nicht angegeben sind wird vermutet, dass diese erst nach der Feststellung entstanden und vom Besteller zu vertreten sind.

Schließlich sieht die Gesetzesänderung für Bauverträge eine Modifikation des Zeitpunkts der Fälligkeit der Vergütung vor. War eine Vergütung – nach den allgemeinen Regeln des Werkvertrags – bislang mit der Abnahme fällig, ist sie nach den neuen Vorschriften – entsprechend der Regelung der VOB/B (§ 14) - erst nach Abnahme und Erteilung einer prüffähigen Schlussrechnung fällig. Für Unternehmer ergibt sich danach nun auch im Geltungsbereich des BGB eine Schlussrechnungspflicht.

bb) Architektenvertrag und Ingenieurvertrag

Ein ebenfalls eigener Vertragstyp normiert nunmehr auch die vertragstypischen Pflichten des Architekten oder Ingenieurs, deren Umfang in der Vergangenheit wiederholt Anlass zu Streitigkeiten gab. So werden Unternehmer durch einen Architekten-/Ingenieurvertrag verpflichtet, die Leistungen zu erbringen, die nach dem jeweiligen Stand der Planung und Ausführung des Bauwerks erforderlich sind, um die zwischen Parteien vereinbarten Planungs- und Überwachungsziele zu erreichen (§ 650p BGB). Mit dieser Formulierung soll zum Ausdruck gebracht werden, dass diese Verträge typischerweise eine Reihe verschiedener Pflichten umfassen und zwischen dem Planungserfolg und einzelnen Planungs- und Leistungsschritten zu unterscheiden ist.

In den Fällen, in denen sich der Besteller mit vagen Vorstellungen an den Unternehmer richtet, eine Planungsgrundlage zur Ermittlung der noch offenen Planungsziele also erst erstellt werden soll, ist zunächst eine "Planungsgrundlage" (Skizze oder Beschreibung) und eine Kostenschätzung geschuldet, auf der sodann die Planung aufbauen kann. Der Besteller soll so in die Lage versetzt werden entscheiden zu können,

ob er das Vorhaben mit dem Planer realisieren, oder von seinem Kündigungsrecht Gebrauch machen möchte.

Dementsprechend wird zu diesem Zeitpunkt – also im Anschluss an die Vorlage der "Planungsgrundlage" - durch die Gesetzesänderung ein Sonderkündigungsrecht des Bestellers und unter bestimmten Voraussetzungen auch des Architekten/Ingenieurs eingeführt (§ 650r BGB). Dieses Kündigungsrecht erlischt zwei Wochen nach Vorlage der Unterlagen, bei einem Verbraucher jedoch nur nach erfolgter Belehrung über das Kündigungsrecht sowie die Frist und die Rechtsfolgen der Kündigung.

Um einen Gleichlauf der Verjährungsfrist der Mängelhaftung des Architekten/Ingenieurs mit der des bauausführenden Unternehmers zu ermöglichen räumt § 650s BGB nunmehr ein Recht auf Teilabnahme nach Abnahme des von ihnen geplanten Bauwerks ein.

Die gesamtschuldnerische Haftung des Architekten/Ingenieurs für Baumängel wird - über die Möglichkeit der Teilabnahme hinaus – auch durch eine weitere Vorschrift modifiziert: Da Besteller zunehmend – Berufshaftpflichtversicherte – Architekten/Ingenieure in vollem Umfang für vom bauausführenden Unternehmer mitzuverantwortende Herstellungsmängel in Anspruch nehmen und die Ausgleichsansprüche von Architekten/Ingenieuren gegenüber dem Bauunternehmer nicht leicht durchzusetzen (oder in Fällen der Insolvenz wertlos) sind, sind die Haftpflichtversicherungskosten für diese Berufsgruppen erheblich angestiegen. Die Gesetzesänderung führt deshalb den Vorrang der Nacherfüllung durch den bauausführenden Unternehmer ein (§ 650t BGB). Architekten/Ingenieure können in Zukunft die Haftungsleistung verweigern, wenn auch der ausführende Bauunternehmer für den Mangel haftet und der Besteller diesem noch nicht erfolglos eine angemessene Frist zur Nacherfüllung bestimmt hat. Eine überproportionale Beanspruchung der Architekten/Ingenieure im Rahmen der gesamtschuldnerischen Haftung soll so verhindert werden.

cc) Bauträgervertrag

Auch wenn die Gesetzesänderung für den Bauträgervertrag nunmehr einen eigenen Vertragstypen vorsieht (§ 650u BGB) ist damit keine grundlegende Neuerungen des Bauträgervertragsrechts verbunden. Die Vorschriften des Bauträgervertrags enthalten lediglich notwendige Klarstellungen und Anpassungen mit Hinblick auf das geänderte Recht des Bauvertrags und des Verbraucherbauvertrags.

3 Verbraucherchutz – insbesondere Verbraucherbauvertrag

Die bislang vorherrschende konfrontative Vertragskultur ist insbesondere für Verbraucherbauherren, die – obgleich sie für das Bauvorhaben meist einen wesentlichen Teil ihrer wirtschaftlichen Ressourcen aufbringen - in der Regel nur mangelnde Vorkenntnisse und eine geringe Bauerfahrung aufweisen, dementsprechend eine ungüns-

tige Verhandlungsposition inne haben, mit enormen Risiken wie unerwarteten Mehrkosten, weitreichenden Bauverzögerungen und einer möglichen Insolvenz der Vertragspartner verbunden. Durch die Gesetzesänderung werden deshalb besondere Verbraucherschutzvorschriften eingeführt. Auch bilden die neu eingeführten gesetzlichen Leitbilder und Vertragstypen Maßstäbe für künftige gerichtliche Kontrollen.

Um den Besonderheiten bei Verbraucherverträgen gerecht zu werden wird ein eigener Vertragstyp für Verbraucherbauverträge eingeführt: Gemäß § 650i BGB sind Verbraucherbauverträge Verträge, durch die der Unternehmer einem Verbraucher zum Bau eines neuen Gebäudes oder zu erheblichen Umbaumaßnahmen an einem bestehenden Gebäude verpflichtet wird.

Unternehmer sind im Rahmen von Verbraucherbauverträgen künftig verpflichtet, dem Verbraucher vor Vertragsschluss eine – den neuen gesetzlichen Mindestanforderungen entsprechende - Baubeschreibung zur Verfügung zu stellen (§ 650j BGB). Diese Baubeschreibung wird grundsätzlich Inhalt des Vertrags, wobei Zweifel bei der Vertragsauslegung zu Lasten des Unternehmers gehen (§ 650k BGB).

Auch müssen Verbraucherbauverträge künftig verbindliche Angaben zum Fertigstellungszeitpunkt bzw. zur Dauer der Bauausführung beinhalten.

Der Verbraucher hat in Zukunft auch die Möglichkeit den Verbraucherbauvertrag – binnen 14 Tagen nach Vertragsschluss – zu widerrufen, soweit der Vertrag nicht notariell beurkundet wurde. Den Unternehmer trifft die Pflicht, den Verbraucher vor Vertragsschluss über sein Widerrufsrecht zu belehren (§ 650l BGB).

Um bei Verbraucherverträgen auch der Gefahr versteckter Vorauszahlungen durch überhöhte Abschlagsforderungen entgegen zu wirken, werden Obergrenzen für die Zahlung von Abschlägen und für die Absicherung des Vergütungsanspruchs eingeführt (§ 650m BGB). Der Gesamtbetrag der Abschlagszahlungen darf danach 90% der Gesamtvergütung nicht überschreiten.

Schließlich verpflichtet die Gesetzesänderung Unternehmer dazu, dem Verbraucher Unterlagen für das Bauwerk zur Verfügung zu stellen, die dieser zum Nachweis gegenüber Behörden, oder zur Erlangung eines Kredits benötigt, wenn nicht andere die wesentlichen Planungsvorgaben erstellt haben (§ 650n BGB).

4 Modifizierte kaufrechtliche Mängelhaftung

Der Europäische Gerichtshof hat durch Urteil vom 16. Juni 2011 (C 65/09 und C 87/09) die Auslegung der Verbraucherschutzrichtlinie bei Anwendung des BGB konkretisiert und entschieden, dass der Verkäufer einer beweglichen Sache im Rahmen der Nacherfüllung gegenüber dem Verbraucher verpflichtet sein kann, die bereits in

M. Cosler, Das neue Bauvertragsrecht der Bundesregierung – Fluch oder Segen?

eine andere Sache eingebaute mangelhafte Kaufsache auszubauen und die Ersatzsache einzubauen oder die Kosten für beides zu tragen. Der BGH hat im Anschluss an diese Entscheidung die Vorgaben des BGB richtlinienkonform dahingehend ausgelegt, dass der kaufrechtliche Nacherfüllungsanspruch des Verbrauchers (B2C-Geschäft) auch die Kosten für den Aus- und Einbau bei Lieferung mangelhafter Sachen umfasst.

Da diese Rechtsprechung für Kaufverträge unter Unternehmen (B2B-Geschäfte) nicht gilt, sind Werkunternehmer - die mangelhaftes Baumaterial gekauft und dieses in Unkenntnis des Mangels verbaut haben – gegenüber dem Verbraucher bislang zur umfänglichen Nachbesserung verpflichtet gewesen, ohne vom Lieferanten die Lieferung des neuen Baumaterials verlangen zu können. Der Werkunternehmer hatte die Kosten selbst zu tragen.

Durch die Gesetzesänderung soll die Rechtsposition des Werkunternehmers in diesen Konstellationen verbessert werden. Der Werkunternehmer soll danach nicht mehr pauschal auf Folgekosten von Produktmängeln sitzen bleiben, die der Lieferant/Hersteller zu verantworten hat.

a) Aus- und Einbauleistungen auch für B2B-Geschäfte

Zunächst wird die Rechtsprechung der obersten Gerichte durch die Reform in Gesetzesform gegossen. So wird in § 439 BGB ein Anspruch des Käufers auf Ersatz der für Aus- und Einbauleistungen erforderlichen Aufwendungen eingefügt. Hierbei gilt die Vorschrift – anders als bislang - nicht nur für B2C- sondern auch für B2B-Geschäfte, mithin also für alle Kaufverträge.

b) Erleichterte Rückgriffsmöglichkeit (Regresskette)

Sodann werden die Rückgriffsmöglichkeiten des Unternehmers gegenüber seinem Lieferanten wegen Ersatz der Aufwendungen, die er gegenüber dem Verbraucher im Rahmen der Nacherfüllung zu tragen hatte durch die neu eingeführte Rückgriffsmöglichkeit des § 445a BGB erweitert. Flankierend enthalten §§ 445b und 478 BGB eigenständige Verjährungsregeln für Ansprüche in der Regresskette um zu gewährleisten, dass ein Rückgriff nicht durch Verjährungsregeln gehindert wird.

Ein Rückgriff ist künftig auch dann möglich, wenn der letzte Käufer in der Lieferkette Unternehmer ist. Nachteile aus der Mangelhaftigkeit einer Sache sollen so bis zu demjenigen weitergegeben werden, in dessen Bereich sie entstanden sind.

5 Fazit – Fluch oder Segen?

Die Baubranche ist ein bedeutender Wirtschaftszweig der in den vergangenen Jahren noch an Gewicht gewonnen hat. Wurden laut statistischem Bundesamt 2012 noch rund 209-Tausend Baugenehmigungen erteilt, stieg die Zahl binnen 4 Jahren um

mehr als 10% an. So wurden schon 2016 rund 234-Tausend Baugenehmigungen erteilt. Ein Ende dieser Entwicklung steht – nicht nur im Hinblick auf die fortschreitende Technik in der Gebäudesanierung und staatliche Förderprogramme im Bereich der Schaffung neuen Wohnraums – auch in den folgenden Jahren nicht in Aussicht.

Die Gesetzesänderungen tragen dieser Entwicklung durch die Einführung spezieller – an die Bedürfnisse und die fortschreitende Entwicklung der Rechtsprechung angepasste – Vertragstypen und Regelungen Rechnung. Rechtliche Grundlagen werden sowohl Unternehmen als auch Verbrauchern verständlich gemacht, ohne dass diese auf besondere Kenntnisse der einschlägigen Rechtsprechung zurückgreifen müssen. Schließlich findet nicht nur der Verbraucherschutz Einzug in das Werkvertragsrecht, die Reform trägt durch eine Modifizierung der kaufrechtlichen Mängelhaftung nunmehr auch den Konsequenzen der europäischen Rechtsprechung Rechnung und stärkt die Rechtsstellung von Unternehmen gegenüber Lieferanten und Herstellern mangelhafter Waren.

Fragt man einen Juristen um seine Einschätzung, lautet die erste Antwort – mit der regelmäßig eine Gegenfrage eingeleitet wird - nicht selten „Das kommt darauf an“. Auch auf die generelle Frage, ob die Reform des Werkvertragsrechts in ihrer Gänze eher Fluch oder Segen ist, lässt sich eine allgemein-verbindliche Antwort nicht treffen. Vor- und Nachteile der neuen gesetzlichen Regelungen hängen vielmehr von der jeweiligen Konstellation des Einzelfalls und der Stellung der Partei im Vertrag ab.

Während Bauunternehmer sich über die steigenden Informationspflichten – etwa im Hinblick auf die Widerrufsmöglichkeit des Verbrauchers, Baubeschreibungen und Unterlagen zur Vorlage bei Behörden – ärgern mögen, kommen diese Pflichten dem Vertragspartner (meist unerfahrene Verbraucher-Bauherren) zu Gute und bauen bestehende Risiken beim Eigenheimbau durch verbindliche Gesetzesvorgaben ab.

Das durch die Reform auch im Anwendungsbereich des BGB eingeführte Anordnungsrecht des Bestellers macht – wie nicht nur seit jeher in der VOB/B existierende vergleichbare Regelungen, sondern auch ein Blick auf die Praxis zeigt - im Rahmen langfristiger Bauvorhaben freilich Sinn. Auch dieses Anordnungsrecht hält aber (unabhängig davon, dass eine verbindliche Regelung wohl von allen Seiten begrüßt wird) für beide Vertragsparteien Vor- und Nachteile parat und löst selbst Folgefragen und Regelungsbedarf aus, etwa zur Vergütung von Anordnungsarbeiten.

Gelungene Gesetzesvorgaben kennzeichnen sich – wie nicht nur die vorangegangenen Beispiele zeigen - durch eine „gute Mischung“ und einen interessengerechten Ausgleich von Vor- und Nachteilen unter Beachtung der politischen, sozialen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der jeweiligen Rechtsgemeinschaft.

Ließen sich Reformvorgaben in ihrer Gänze der Kategorie „Fluch“ zuordnen, wären sie ebenso zum Scheitern verurteilt, wie wenn sie sich der Kategorie „Segen“ zuord-

M. Cosler, Das neue Bauvertragsrecht der Bundesregierung – Fluch oder Segen?

nen ließen – die Verortung eines gerechten Mittelwegs würde ebenso misslingen wie die Herbeiführung eines fairen Interessenausgleichs.

Ohne Zweifel greift die Reform bestehende Probleme auf. Ebenso zweifellos werden durch die nun gefundenen Lösungswege aber auch neue Problemfelder entstehen. Ob die dringend notwendig gewordenen Reformvorgaben positive Effekte auf die vertragliche Praxis in der Bau- und Gebäudesanierung haben werden, wird sich erst in den kommenden Jahren zeigen. Ebenso wird sich erst in der Zukunft herausstellen, ob es der Reform gelingt der Entstehung von Rechtsstreitigkeiten vorzubeugen oder – falls diese nicht zu verhindern sind - deren Beilegung zu erleichtern.

Literatur

- [1] Entwurf der Bundesregierung: Gesetzes zur Reform des Bauvertragsrechts und zur Änderung der kaufrechtlichen Mängelhaftung - (BT-Drucksache 18/8486 vom 18.05.2016)
- [2] Beschlussempfehlung des Ausschusses für Recht und Verbraucherschutz – (BT-Drucksache 18/11437 vom 08.03.2017)
- [3] Statistisches Bundesamt - Baugenehmigungen im Hochbau Deutschland - <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Bauen/Bautatigkeit/Tabellen/Baugenehmigungen.html>

Praxisbericht zur Funktionsfähigkeit von Innendämmsystemen

G. Liebert
Aachen

Zusammenfassung

Im historischen Gebäudebestand kann z. B. bei gestalterisch anspruchsvollen bzw. denkmalgeschützten Fassaden der Wärmeschutz der Gebäudehülle häufig nur durch Innendämmungen verbessert werden.

Innendämmungen sind bei fachgerechter Planung und sorgfältiger Ausführung auch auf hohem Wärmeschutzniveau schadensfrei möglich. Der Einfluss von Wärmebrücken steigt jedoch mit zunehmendem Dämmniveau stark an.

Bei hohem energetischem Wärmeschutzniveau werden oft Lösungen ausgeführt, die sehr aufwändig und entsprechend kostenintensiv sind. Aber auch weniger aufwändige Konstruktionen funktionieren in der Baupraxis gut.

Die Gebrauchstauglichkeit von Innendämmungen wurde im Rahmen einer vom AIBau durchgeführten Forschungsarbeit [1] überprüft. Die Zuverlässigkeit wurde dabei unter anderem bei einem im Jahr 1986 modernisierten Gebäude – nach etwa 25 Jahren Standzeit der Innendämmung – nachgewiesen. Der umgebaute Gutshof erfüllte bereits zum damaligen Zeitpunkt die Anforderungen der Energieeinsparverordnung von 2009.

1 Einführung

Altbauten bergen große energetische Einsparpotenziale. Heizenergiesparende Maßnahmen an denkmalgeschützten bzw. gestalterisch anspruchsvollen Fassaden lassen sich häufig nur mit Innendämmungen realisieren.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) vom April 2009 [2] begrenzte beim Einbau innenraumseitiger Dämmschichten (Anlage 3 zu § 9, Abs. 1.c) bei bestehenden Gebäuden den Wärmedurchgangskoeffizienten U mit $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Diese Anforderung wird erfüllt, wenn z. B. auf eine 38 cm dicke Außenwand aus Ziegelsichtmauerwerk eine Innendämmung von 8 cm Dicke ($\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$) aufgebracht wird.

Seit Inkrafttreten der zweiten Änderungsverordnung zur Energieeinsparverordnung im Mai 2014 (ENEV 2014) werden von Seiten des Gesetzgebers keine Anforderungen mehr an Innendämmungen gestellt.

In welchen Anwendungssituationen Innendämmungen mit Dämmstärken, die die Einhaltung der Anforderungen der EnEV 2009 zum Ziel haben, schadensfrei möglich sind, wurde vom AIBau im Rahmen einer vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung geförderten Forschungsarbeit [1] an insgesamt 28 ausgeführten Objekten, mit mehrjähriger Standzeit der Innendämmung, untersucht.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit insgesamt zeigen, dass in keinem der beschriebenen/besichtigten Gebäude Schäden festzustellen waren, die auf den Einbau der Innendämmung zurückzuführen gewesen wären. Zwölf der insgesamt 28 Gebäude erfüllten die Anforderungen der EnEV 2009 ($U\text{-Wert} \leq 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Zehn weitere Gebäude halten den nach EnEV 2002-2007 gültigen Grenzwert $U \leq 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für Innendämmungen ein. Hinsichtlich der Einzelfeststellungen wird auf den Volltext des Forschungsberichts [1] verwiesen.

2 Praxisbeispiel: Umbau eines denkmalgeschützten Gutshofes

Die Gebrauchstauglichkeit von Innendämmungen wurde u. a. bei einem unter Denkmalschutz stehenden im Jahr 1986 modernisierten Gebäude nachgewiesen (Bild 1). Die damalige Vorgabe des Bauherrn war die Einhaltung eines mittleren k -Wertes von $0,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Der umgebaute Gutshof erfüllte somit bereits zum damaligen Zeitpunkt die Anforderungen der Energieeinsparverordnung von 2009. Der Verlust der Wohnraumfläche oder die Höhe der Baukosten waren von untergeordneter Bedeutung. Es konnte somit ein umfassendes und konstruktiv aufwändiges Modernisierungspaket vorgeschlagen und ausgeführt werden. Das mit der Umbaumaßnahme beauftragte Architekturbüro stimmte sämtliche Details, die die Innendämmmaßnahme betrafen, mit Bauphysikern ab [3].



Bilder 1+2: Ansichten des Gutshofes links aus dem Jahr 1980 vor dem Umbau und rechts im Jahr 2010

Alle Detailpunkte wurden zudem mit hoher Zuverlässigkeit und Sorgfalt ausgeführt und die Arbeiten regelmäßig überwacht. Etwas mehr als 25 Jahre nach diesen Modernisierungsmaßnahmen konnte der Zustand des Gebäudes überprüft werden (Bild 2). Hierbei wurden keine Feuchtigkeits- und Schimmelpilzerscheinungen oder andere Schäden (wie z. B. Schäden, die durch eine mangelhafte Luftdichtigkeit verursacht wurden) festgestellt. Im folgenden Beitrag werden die typischen Details u. a. dieses Gebäudes vorgestellt.

3 Regelquerschnitt bei Innendämmungen

Das Aufbringen einer Innendämmung verändert die Temperatur- und Feuchtebedingungen im Regelquerschnitt der Außenwände. An der Grenzschicht zwischen der Rückseite der Innendämmung und der Innenoberfläche der zu dämmenden Außenwand sinkt im Winterhalbjahr die Temperatur ab und die relative Luftfeuchte steigt an. Tauwasserausfall in bauteilschädigenden Mengen und Schimmelpilzbildung müssen in dieser Zone verhindert werden. Auch das Austrocknungspotential der bestehenden Wand wird durch eine Innendämmung herabgesetzt. Dies kann bei einer Schlagregenbeanspruchung einschaliger Außenwände, die nach dem Prinzip des Regenspeichers funktionieren, zu einer starken Erhöhung des Feuchtegehaltes führen.

Zur Planung und Ausführung dauerhaft schadensfreier Innendämmungen müssen daher die diffusionstechnischen Eigenschaften und die aus bauphysikalischer Sicht maximal mögliche Schichtdicke des aufzubringenden Systems sowie die vorhandene Schlagregenbeanspruchungen der Außenwand und die hieraus resultierende Schlagregenschutzfunktion ermittelt werden.

Ein rechnerischer Nachweis kann bei kapillar speicherfähigen Grenzschichten nicht durch das einfache Bewertungsverfahren nach Glaser erfolgen. Hierbei werden die tatsächlich ablaufenden, komplexen Feuchtetransportvorgänge aus der Überlagerung von

Sorption, Diffusion und Kapillarität nämlich nicht berücksichtigt. Dynamische Simulationsberechnungen (wie z. B. mit dem Programm WUFI des Fraunhofer Instituts für Bauphysik) berücksichtigen die instationären Randbedingungen, so dass die Auswirkungen möglicher Dämmvarianten bereits vor der Ausführung abgeschätzt und bewertet werden können. Allerdings müssen zur realistischen Abschätzung hygrothermischer Prozesse eine Vielzahl von Parametern bekannt sein. Je nach vorhandenen Randbedingungen kann auch ein vereinfachter Nachweis nach dem Planungsleitfaden Innendämmung nach WTA I [4] erfolgen.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Wasserdampfdiffusion – wie es das Nachweisverfahren in DIN 4108 Teil 3 [5] beschreibt – liegt es nahe, die innenseitigen Schichten möglichst dampfdicht zu gestalten, um Wasserdampf erst gar nicht in die Wand eindringen zu lassen. Dabei wird übersehen, dass dann auch keine Austrocknung mehr nach innen stattfinden kann. Diese ist aber bei Schlagregenbeaufschlagten Fassaden u. U. von großer Bedeutung. Vor der Auswahl und Dimensionierung des Dämmsystems und ggf. weiterer dampfsperrender Schichten ist daher nicht nur zu klären, welches Innenklima vorliegt, auch die Schlagregenbeanspruchung der Konstruktion ist zu berücksichtigen. Grundsätzlich ist bei Innendämmungen zwischen diffusionsdichten, diffusionshemmenden und diffusionsoffenen Systemen zu unterscheiden. Während bei einschaligem Sichtmauerwerk sämtliche Einflussgrößen genauer erfasst und bei der Dimensionierung und Auswahl des verwendeten Systems berücksichtigt werden müssen, ist bei Ziegelwandkonstruktionen mit Außenputz selbst bei diffusionsoffenen Dämmstoffen wie Mineralwolle nicht immer zwangsläufig eine innenseitige dampfsperrende Schicht erforderlich, wenn die Grenzschicht zur bestehenden Wand kapillar speicherfähig ausgebildet ist. Die inneren dampfdichten Schichten sind bei solchen Konstruktionen eher zur Erzielung einer ausreichenden Luftdichtheit von Bedeutung, da auf jeden Fall ein Hinterströmen der Dämmung mit Innenraumluft vermieden werden muss.

Welcher Schlagregenbeanspruchung die Wand ausgesetzt ist und ob der Schlagregenschutz mit einer vorübergehenden Speicherung von Wasser im Querschnitt verbunden ist, ist in jedem Fall zu untersuchen. Bei beidseitig verputztem Ziegelmauerwerk gewährleistet die äußere Putzschicht einen ausreichenden Schlagregenschutz. In einschaliges Ziegel- und Bruchsteinsichtmauerwerk kann Schlagregen eindringen, der bei trockenen Wetterbedingungen nach außen und möglichst auch nach innen austrocknen können muss. Insbesondere, wenn solche Konstruktionen nur eine geringe Wanddicke haben ($< 37,5$ cm) und wenn eine hohe Schlagregenbeanspruchung vorliegt, muss das vorhandene Feuchtigkeitsspeicherungs- und Austrocknungspotenzial der Außenwand ermittelt werden.

Auch die Möglichkeit eines Feuchteintrages aus ggf. im Wandquerschnitt aufsteigender Feuchte muss untersucht und bei der Ausführung einer Innendämmung berücksichtigt werden.

Bei dem eingangs beschriebenen Gutshofgebäude wurde als Schutz gegen aufsteigende Feuchte eine nachträgliche Querschnittsabdichtung abschnittsweise eingebaut (Bild 3). Die Außenwände wurden zur Verbesserung des Schlagregenschutzes weiß geschlämmt (Bild 4). Das Dämmsystem auf der Innenseite der Außenwände besteht aus einer 12 cm dicken Mineralwolle-Dämmschicht ($\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$) mit Dampfsperre und innerer Vormauerschale. Die Fensterleibungen und die Flanken der einbindenden Bauteile (Stahlbeton-Decken und Mauerwerkswände) wurden mit in die Dämmmaßnahme einbezogen.

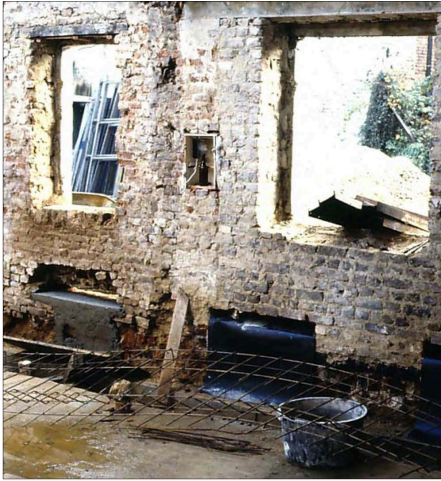


Bild 3:

Abschnittsweiser Einbau einer Querschnittsabdichtung (Bild 3) und Außenansicht des Gebäudes mit weiß geschlämmter, denkmalgeschützter Fassade (Bild 4).

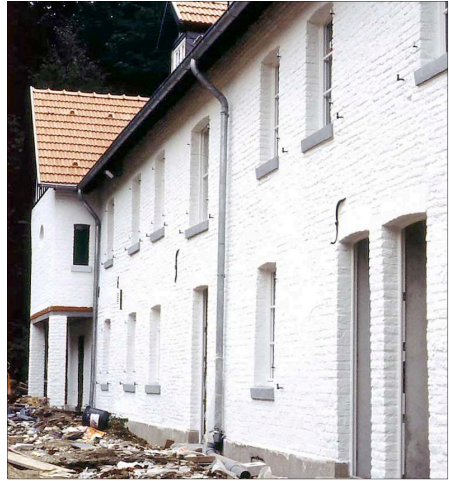


Bild 4:

Bei der Dimensionierung der Innendämmung ist selbstverständlich, dass der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 [6] an jeder Stelle eingehalten werden muss. Die maximal mögliche Dämmschichtdicke ist von den vorhandenen Randbedingungen abhängig. Die Wirksamkeit von Innendämmungen wird durch die unvermeidlichen Unterbrechungen der Dämmebene – Fenster, Türen, Innenwände und -decken – herabgesetzt. Je besser der gewählte Wärmeschutz des Innendämmsystems ist, desto größer wird der Einfluss der längenbezogenen Wärmebrückenverluste entlang der Ränder und Unterbrechungen (Ψ -Werte).

Dieser Zusammenhang wird z. B. in Veröffentlichungen von Karl Gertis bereits im Jahr 1985 [7] und u. a. auch vom Passivhaus Institut aus Darmstadt in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2005 [8] aufgegriffen. Es wird hier beispielhaft für ein betrachtetes Gründerzeitgebäude ermittelt, dass dessen wirtschaftliche Obergrenze bei etwa 10 cm Dämmschichtdicke ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) liegt (Bild 5).

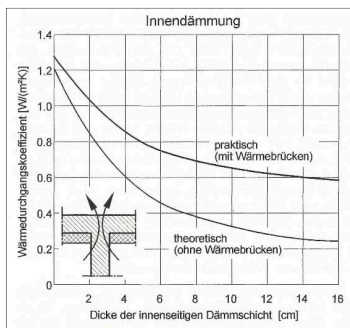


Bild 5:

Einfluss linearer Wärmebrücken auf den Wärmedurchgangskoeffizienten [7] (Bild 5) und Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der Dämmschichtdicke der Innendämmung [8] (Bild 6).

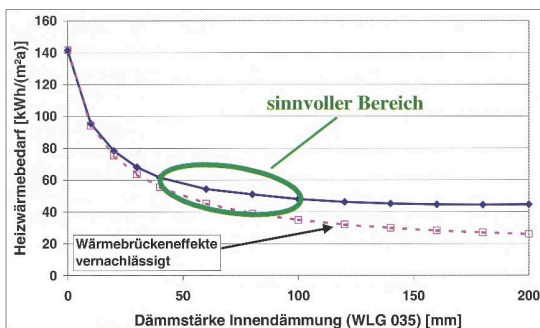


Bild 6:

Die weitere Erhöhung der Schichtdicke verringert bei gleicher konstruktiver Gestaltung der Wärmebrücken den Primärenergieaufwand nur noch unwesentlich. Werden Wärmebrücken mit entsprechend notwendigem Aufwand (z. B. Dämmung aller flankierenden Bauteile) weiter reduziert, könnten in diesem Fall bis zu 15 cm Dämmschichtdicke sinnvoll sein.

Innenseitig auf die Außenwand aufgebrachte Dämmschichten verändern zum einen die Schalldämmung der Außenwand gegenüber Außenlärm, aber zum anderen auch die Schallübertragung zwischen benachbarten Innenräumen Schall-Längsleitung). Innendämmungen mit hoher dynamischer Steifigkeit (z. B. verputzte Polystyrolhartschaumplatten oder Mehrschichtenleichtbauplatten), die vollflächig am Untergrund verklebt werden, ergeben ungünstige Resonanzfrequenzen im bauakustischen Messbereich, was meist eine Verschlechterung des vorhandenen Schallschutzes zur Folge hat. Innendämmungen, die als biegeeweiche Schalen konstruiert werden, können sich aber auch positiv auf den Schallschutz auswirken.

Zum Brandschutz zwischen fremden Nutzungseinheiten führen die Bauordnungen der einzelnen Länder in Abhängigkeit von Art und Nutzung des Gebäudes aus, welche brandschutztechnischen Eigenschaften Baustoffe und Bauteile aufweisen müssen. Gebäude mit einer Höhe von bis zu sieben Metern sind jedoch meist von diesen Regelungen ausgenommen.

4 Fenster: Unterbrechungen des Innendämmsystems in der Fläche

Im Bereich von Fenstern und einbindenden Bauteilen (Innenwände/Decken) wird die Dämmebene unterbrochen. An diesen Rändern sinkt die Oberflächentemperatur stark ab. Unter bestimmten Voraussetzung kann dann das sog. Schimmelpilzkriterium von

12,6 °C Oberflächentemperatur nicht mehr erfüllt werden. Die im unsanierten Gebäude noch in unkritischem Maße vorhandenen Wärmebrücken werden durch den Einbau von Innendämmungen verstärkt. An den Fensteranschlüssen müssen zur Vermeidung von Schäden auch nach dem Einbau der Innendämmung folgende drei Funktionen gewährleistet sein: Schlagregenschutz, Luftdichtheit und Vermeidung von Wärmebrücken. Die äußere Fuge zwischen Blendrahmen und der Außenwand ist schlagregendicht auszuführen (Bild 7-1). Die Luftdichtheitsschicht und die innere Dämmebene müssen innenseitig an der Fensterkonstruktion angeschlossen werden (Bild 7-2). Dabei sollte die Dämmung den Fensterrahmen möglichst hinterfahren (Bild 7-3). Im Bereich der seitlichen Leibungen wird dies meist ausgeführt, aber auch im Sturz und Brüstungsbereich ist die Dämmung bis hinter den Rahmen zu führen. Die Bilder 7 und 8 zeigen die bei dem Gutshof gewählte Ausführung des Fensteranschlusses.

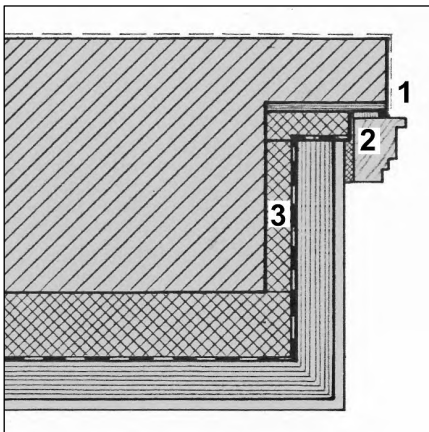


Bild 7:
Anschluss des Innendämmsystems an die Fenster des Gutshofes



Bild 8:

Bei denkmalgeschützter Bausubstanz darf in der Regel die Lage der Fenster nicht verändert werden, sodass in den Fensterleibungen meist nicht der Raum für eine normal dicke Dämmschicht zur Verfügung steht.

Die Dicke ist dennoch mindestens so zu wählen, dass Schäden durch Temperaturabsenkungen im Leibungsbereich vermieden werden. Bei wenig Platz sollten Dämmstoffe mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit verwendet werden. Zusätzlich kann ggf. der Leibungsputz entfernt werden, wobei der Schlagregenschutz und die Luftdichtheit nicht eingeschränkt werden dürfen.

Ausreichend hohe Oberflächentemperaturen werden bei Ziegelwänden bereits mit 2 cm Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,030 W/mK erreicht.

Die Dämmung im Bereich der Fensterleibung kann auch dann dünner ausgeführt werden, wenn die Möglichkeit besteht, zusätzlich zum vorhandenen ein weiteres, neues Fenster in die innere Dämmebene einzubauen (Bilder 9 und 10).

Beim Einbau eines zweiten Fensters in der Dämmebene ist zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden jedoch darauf zu achten, dass die Fugen der äußeren Fensterebene luftdurchlässiger als die Fugen der inneren sind. Bei dem auf den Bildern 9 und 10 gezeigten Gebäude wurden die Dichtungen des alten Fensters aus diesem Grund entfernt.

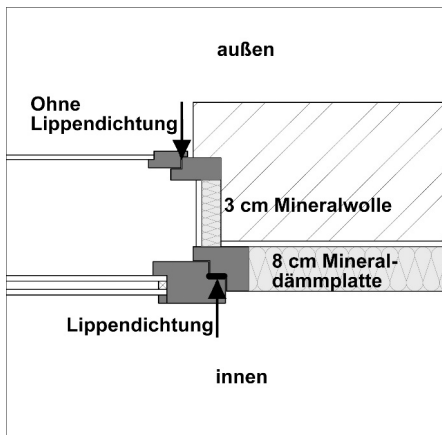


Bild 9:

Praxisbeispiel zum Einbau eines zweiten Fensters im Bereich der inneren Dämmebene.

Bild 10:

Werden im Rahmen der energetischen Modernisierung die Fenster komplett ausgetauscht und bestehen keine Denkmalschutzanforderungen, dann kann durch die Positionierung des neuen Fensters im Bauteilquerschnitt der Verlauf der Isothermen günstig beeinflusst werden. Bei den Berechnungsbeispielen ist zu erkennen, dass bei einer geringen Tiefe der inneren Leibung die Oberflächentemperaturen höher sind als bei einem weiter nach außen eingebauten Fenster (Bilder 11 und 12). Noch ungünstiger ist der außen bündige Einbau von Fenstern bei innengedämmten Gebäuden.

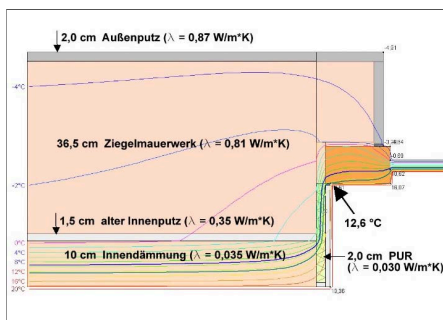


Bild 11:

Verlauf der Isothermen (Linien gleicher Temperatur) bei einem mittig im Bauteilquerschnitt (Bild 11) und einem in der Dämmebene (Bild 12) eingebauten Fenster.

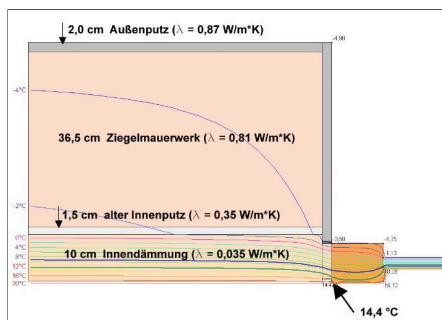


Bild 12:

5 Einbindende Bauteile: Unterbrechungen des Innendämmsystems an den Rändern

Bei in innengedämmte Außenwände einbindenden massiven Bauteilen (Wänden und Decken) hängt die Erforderlichkeit einer Flankendämmung vom Flächengewicht und von der Rohdichte der Bauteile ab. In den meisten Fällen kann auf eine zusätzliche Flankendämmung verzichtet werden, wenn lediglich Oberflächentemperaturen von $> 12,6\text{ °C}$ (Schimmelpilzkriterium) angestrebt werden (Bild 13). Bei Trennbauteilen zu niedrig beheizten Zonen (z. B. Treppenhäuser von Mehrfamilienhäusern) können im Bereich der Einbindestellen die Oberflächentemperaturen das Schimmelpilzkriterium unterschreiten. Diese Stellen sind dann in das Innendämmsystem einzubeziehen. Die Wärmeverluste sind ohne Begleitdämmung jedoch immer sehr hoch und können sich negativ auf die Energiebilanz des gesamten Gebäudes auswirken.

Bei Stahlbetondecken ist aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit meist eine Begleitdämmung erforderlich (Bild 14). Eine Ausnahme stellen zweischalige Außenwandkonstruktionen mit nachträglicher Dämmung des Schalenzwischenraumes dar.

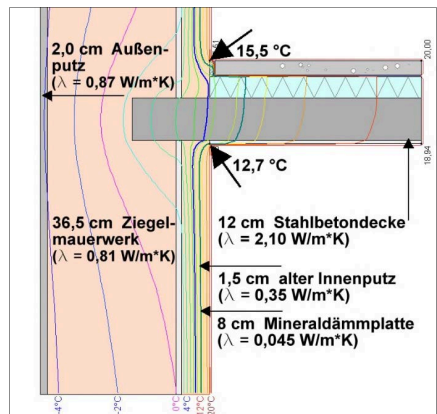
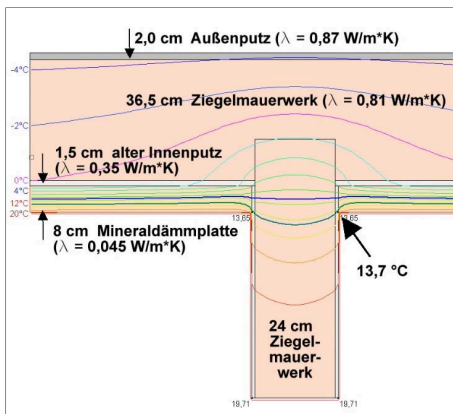


Bild 13:

Verlauf der Isothermen (Linien gleicher Temperatur) bei einer in die innengedämmte Außenwand einbindenden Ziegelinnenwand (Bild 13 – Horizontalschnitt) und einer einbindenden Stahlbetondecke (Bild 14 – Vertikalschnitt).

Bild 14:

Bei dem eingangs beschriebenen Gutshof wurden neue Stahlbetondecken eingebaut. In die neuen Geschossdecken wurden als unterseitige verlorene Schalung ab Innenkante der bestehenden Außenwand ca. 1,0 Meter breite Streifen aus Mehrschichten-Leichtbauplatten mit ca. 3,5 cm Dicke eingelegt. Die Deckenunterseiten wurden verputzt. Diese Begleitdämmung wurde eingebaut, um die Oberflächentemperaturen an der Unterseite der Decke zu erhöhen (Bild 15).

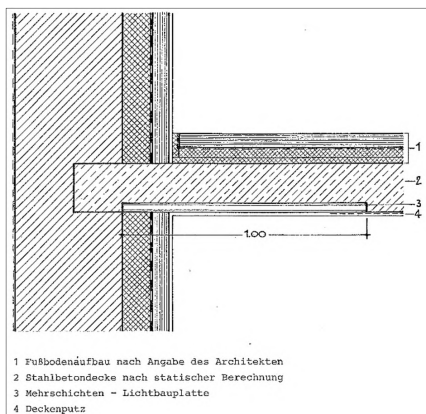


Bild 15:

Detail zur Begleitdämmung der in die Außenwand einbindenden neuen Stahlbetondecke des Gutshofes (Bild 15) und nachträgliche Ertüchtigung/Unterstützung von Holzdeckenbaken mit Stahlelementen (Bild 16).



Bild 16:

Hinsichtlich des Wärmeschutzes sind die Deckenaufleger von Holzbalkendecken als unproblematisch zu bewerten. Dennoch sollten Wärmeverluste durch eine im Deckenpaket fortgeführte Dämmebene reduziert werden.

Ausschlaggebendes Kriterium für Schäden an den Balkenköpfen von Holzbalkendecken können hygrothermische Randbedingungen sein. Durch am Auflagerpunkt reduzierte Außenwandquerschnitte liegen die Balkenköpfe in einer ggf. stärker feuchtebelasteten Mauerwerkszone. Eine innenliegende Dämmung erhöht die relative Feuchte im alten Wandquerschnitt. Die Schädigung der in die Außenwand einbindenden Holzbauteile ist durch Sicherstellung des Schlagregenschutzes und Vermeidung des Feuchteintrages aus der Raumluft zu verhindern.

Bei sich aus der Baukonstruktion (z. B. einschaligen Sichtmauerwerkskonstruktionen mit Schlagregenbelastung) oder der Nutzungsgeschichte (z. B. langfristiger Leerstand eines Gebäudes) ergebenden Anlässen ist daher eine Überprüfung der Deckenaufleger von Holzbalkendecken zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit unbedingt notwendig. Es muss geklärt werden, wie stark die Balken ggf. geschädigt sind und ob nicht eine Unterstützung (Bild 16) oder ein Ersatz der Holzbauteile erforderlich ist.

6 Fazit

Innendämmungen sind bei fachgerechter Planung und sorgfältiger Ausführung auch auf hohem Wärmeschutzniveau schadensfrei möglich. Der Einfluss von Wärmebrücken steigt jedoch mit zunehmendem Dämmniveau stark an.

7 Literatur

- [1] Oswald/Zöller/Liebert/Sous: Energetisch optimierte Gründerzeithäuser: Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung von April 2009, Forschungsarbeit gefördert vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung / Initiative Zukunft Bau, Bonn; Abschlussbericht, Aachen 2010
- [2] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009
- [3] Planung, Koordination: Architekturbüro Schmid, Mönchengladbach; Bauphysikalische Entwurfsplanung und Beratung: Dipl.-Ing. Dahmen und Prof. Dr.-Ing. Oswald, Aachen.
- [4] Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden (Merkblatt 6-4); Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Ausgabe: 2016-10)
- [5] DIN 4108-3 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, 2014-11
- [6] DIN 4108-2 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2013-02
- [7] Gertis: Wärmedämmung innen oder außen? Fraunhofer IRB Verlag, 1985
- [8] Feist, W.: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, Protokollband 32: Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2005

(Leerseite)

Numerische Simulation und experimentelle Untersuchungen an Innendämmsystemen

P. Strangfeld/H. Stopp
Cottbus

Zusammenfassung

Wandflächenheizsysteme besitzen für Neubauten wie auch bei der Sanierung im Bestand als Trockenbauvariante ein großes innovatives Potenzial. Das hygrothermische Verhalten und die energetischen Belange im Zusammenhang mit der erforderlichen Innendämmung einer Außenwand werden an ungestörten Wandflächen mittels numerischer Simulation quantifiziert. Die Berechnungen präsentieren neben den Energieströmen im Bereich der gedämmten bzw. ungedämmten Wandheizungsareale der Außenwand auch die feuchtetechnischen Auswirkungen auf die Konstruktion. Die Wandheizung im Zusammenspiel mit einer Innendämmung kann das durch die Innendämmung beeinträchtigte Austrocknungspotential wieder ansteigen lassen, ohne dies mit einem hohen Wärmebedarf zu koppeln.

In Vor-Ort-Messungen werden am Beispiel von Holzbalkenköpfe im innengedämmten Außenmauerwerk u.a. die Auswirkungen von Schlagregenereignissen auf die Feuchtebilanz im Mauerwerksinneren dargestellt.

Weitere messtechnische Untersuchungen von Wandheizelementen zeigen das sorptive Potential dieser Platten. Sie können nicht nur ihre ursprüngliche Aufgabe als Wärmequelle für die Gebäudebeheizung wahrnehmen, sondern bieten auch die Möglichkeit über die sorptive Anlagerung und Abgabe die relative Luftfeuchte von Räumen gezielt zu beeinflussen.

1 Einführung

Obwohl „auf dem Bau“ das Traditionsbewusstsein fest verankert scheint, zeigt die in letzter Zeit einsetzende Vielfalt an Innendämm- und Flächenheizsystemen die Kreativität und Aufgeschlossenheit der Bauwirtschaft den anstehenden Problemen gegenüber. Allerdings existieren Schwachstellen, wenn es sich beispielsweise um erhaltenswerte oder denkmalgeschützte Fassaden handelt, bei denen ein Einsatz von WDVS ausscheidet. Die Alternative in Form einer Innendämmung wird zwar nicht mehr pauschal verteufelt und alle gestandenen Dämmstoffhersteller bieten mehr oder weniger sinnige eigene Varianten an. Insbesondere die kapillaraktiven Innendämmung [1] geht zurück auf fundierte Untersuchungen in den 80-igern, die umfänglich sowohl modellhaft und rechnerisch als auch experimentell und materialtechnisch die Feuchtebewegung in kapillaraktiven Baustoffen im Differenzklima einer neuen Bewertung unterzogen haben [2], [3]. Lücken bestehen trotz zwischenzeitlich erfolgreicher Lösungen [4] aber immer noch, wenn es um spezifische Fragestellungen geht. Innengedämmtes Außenmauerwerk mit eingebundenen Holzbalkenköpfen wird nachwievor kontrovers diskutiert. Die in [5],[6] dargestellte und praktizierte Lösung muss objektspezifisch betrachtet werden und konzentriert sich auf die Frage, wieviel Aufwand darf den Ausführenden am Bau, den Nutzern und letztlich der Volkswirtschaft zugemutet werden, um dem Bautenschutz und der Umwelt gerecht zu werden. Hier ist zwischen Wärmeenergieverlusten und industriellem- bzw. handwerklichem Aufwand abzuwägen. Und das muss auf der Basis solider Bauphysik erfolgen, die zunehmend den baulichen Bestand wiederentdeckt.

2 Innendämmung und Flächenheizung

Der vorliegende Beitrag beschränkt sich nur auf Innendämmsysteme von Außenwänden, und hier insbesondere auf die Erfahrungen mit einem Wandheizungssystem.

Die Auslegung einer Raumheizung erfolgt anhand der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 [7].

Für eine Raumheizung kommen wahlweise Plattenheizkörper, Konvektoren, Strahler oder Flächenheizungen zum Einsatz. Die Auswahl einer geeigneten Heizungsart hängt von vielen Faktoren ab. Neben den Gestaltungsanforderungen des Bauherrn spielen die thermische Behaglichkeit und technische Anforderungen eine Rolle. Während im Neubau aufgrund der geringeren Wärmeverluste der Gebäude und der niedrigen Systemtemperaturen moderner Heiztechnik zunehmend Fußbodenheizungen zum Einsatz gelangen, ist die Auswahl der Raumheizung bei der Sanierung von Bestandsgebäuden komplexerer Natur. Maßgebend sind dabei die verfügbaren Aufbauhöhen für den eventuellen Einsatz von Fußbodenheizungen, die Systemtemperaturen des vorhandenen bzw. geplanten Wärmeerzeugers und nicht zuletzt der Umfang der Sanierungsarbeiten. In Gebäuden, die vollumfänglich energetisch saniert werden, bestehen bessere technische Voraussetzungen für den Einsatz von Flächenheizungen. Mit

der Applikation von Innendämmungen kann der Heizwärmebedarf soweit reduziert werden, dass auch für Bestandsgebäude annähernd der Neubaustandard nach EnEV erreicht werden kann [8].

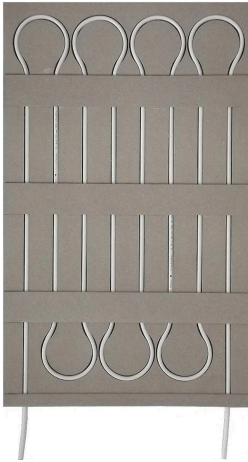


Bild 1: Wandflächenheizungssystem „Thermo-flair®“ mittels 19mm Holzverbundplatte (ThE)

Bei Wandflächenheizungen werden oft herkömmliche Rohrsysteme eingesetzt, die auf die Wand montiert und anschließend verputzt werden. Sehr gut geeignet als Wandheizung sind Kapillarrohrmatten, die eine geringe Konstruktionshöhe erfordern und eine große Temperaturhomogenität erreichen [9].

Letztlich könnte man eine flächig beheizte Wand als eine um 90° gekippten Fußbodenheizung betrachten, allerdings mit einem wichtigen Unterschied, dass die Auflasten hier verschwindend gering sind. Und das hat grundsätzliche Auswirkungen auf den Schichtaufbau und die thermischen Wirkungen. Infolge des Wegfalls einer lastverteilenden Schicht, kann die Heizung nunmehr flinker wirken. Das setzt allerdings dünne, wenig speicherwirksame Deckschichten voraus. Man darf davon ausgehen, dass diese Heizungsvarianten sich langfristig durchsetzen werden, da sie neben den Vorteilen bzgl. Energieeinsatz, Behaglichkeit, Raumbedarf und Hygiene weitere vorteilhafte Einsatzmöglichkeiten besitzen. Es soll daher ein System auf der Basis von Holzverbundplatten (Bild 1) nachfolgend näher bearbeitet werden.

3 Berechnungen

Die positiven Eigenschaften von Flächenheizungen werden häufig benannt, ohne hierfür den quantitativen Nachweis zu liefern. Es werden daher sowohl das hygrothermische Verhalten hinsichtlich des Bautenschutzes als auch energetische Wirkungen unter vorgegebenen Randbedingungen näher beleuchtet. Auch finden sich Ergebnisse zum gezielten Wärmeenergieeintrag von Heizleitungen am unteren

Wandabschluss einer ausgeklinkten Innendämmung bzw. die damit erreichten Temperatur- und Feuchteverteilungen im Bereich von im Mauerwerk eingebundenen Holzbalkenköpfen.

3.1 Software, Randbedingungen, Wandkonstruktion

Die folgenden Aussagen zum gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport beruhen auf dem Programmpaket „Delphin“ (IBK, TU Dresden). Bei einer ungestörten Wandfläche kann man sich auf eindimensionale Berechnungen beschränken. Anders liegen die Verhältnisse, wenn Einschlüsse im Mauerwerk oder konstruktive Inhomogenitäten mehrdimensionale Transportvorgänge erzwingen. Eingebettete Holzbalkenköpfe lassen sich näherungsweise als rotationssymmetrisch annehmen und dann mit Zylinderkoordinaten auf zweidimensionale Berechnungen zurückführen [10].

Für die Randbedingungen kommen Testreferenzjahre TRY, die den zeitlichen Verlauf der einzelnen Klimakomponenten (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und -richtung, direkte und diffuse Sonnenstrahlung, nächtliche Abstrahlung,...) über einen längeren Zeitraum für verschiedene, regionale Zonen repräsentieren zum Ansatz. Für die Berechnung der Temperatur- und Feuchtevorgänge wird hier das TRY Essen, West angesetzt, da als Hauptwindrichtung in Deutschland die westlichen Richtungen fungieren. Bei extremen Belastungen gelten die Wetterdaten von Holzkirchen im Alpenvorland als sinnvoller Ansatz.

Für das Raumklima werden vorerst zeitlich konstant 20°C Lufttemperatur und 50% rel. Luftfeuchte angesetzt.

Tabelle 1: eindimensionale Wandkonstruktionen auf Originalaufbau (365mm Ziegel-Mauerwerk, beidseitig verputzt: innen 10mm MGI, außen 20mm MGII).

Variante	Innendämmung	neue Innenoberfläche
MW1	-	-
MW2	-	19mm MDF-Holzverbundplatte
MW3	-	19mm Flächenheizsystem ThE
MW4	40mm Isofloc	19mm MDF-Holzverbundplatte
MW5	40mm Isofloc	19mm Flächenheizsystem ThE

3.2 Hygrothermische Betrachtungen

Für die hygrothermischen Untersuchungen dient die Auswertung der Berechnungen für die gekoppelten Temperatur- und Feuchtefelder.

Zunächst interessiert die hygrische Dauerbeständigkeit des Gesamtsystems. Dazu werden die Porenluftfeuchten auf der raumabgewandten Außenseite der MDF-Holzverbundplatten bzw. auf der Innenoberfläche der Originalkonstruktion und die

Temperaturschwankungen innerhalb des Wandquerschnittes dargestellt, Bilder 2 und 3.

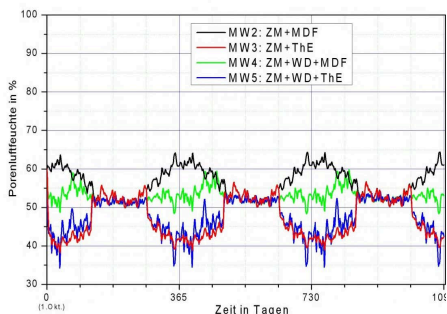


Bild 2: Verlauf der Porenluftfeuchte über 3 Jahre an der raumabgewandten Seite der MDF-Platte bzw. des Flächenheizelementes (ThE)

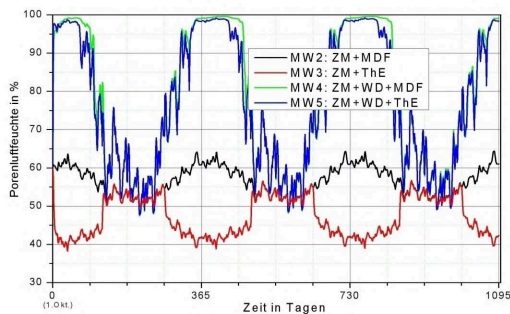


Bild 3: Verlauf der Porenluftfeuchte an der raumzugewandten Seite des Originalmauerwerks

3.3 Energetische Betrachtungen

Neben der hygrothermischen Belastung einer Konstruktion, die den Bautenschutz anbelangt, interessieren heute in besonderem Maße energetische Fragestellungen. Erst die Lage der Heizkörper von Zentralheizung an bzw. in den Außenwänden lenkt die Aufmerksamkeit auf die damit verstärkt verbundenen Wärmeverluste. Diese fallen bei einer Flächenheizung infolge der niedrigeren Vorlauftemperaturen meist geringer ins Gewicht, hängen aber sehr stark vom Wandaufbau und der Heizflächenanordnung ab. Zunächst erfolgt eine energetische Bewertung am Beispiel einer Westfassade ohne Nachtabsenkung der Heizung. Die Tabelle enthält die für die gesamte Heizperiode von Oktober bis April über die Geschoßhöhe gemittelten Wärmestromdichten für die verschiedenen Varianten.

Tabelle 2: Mittlere, nach außen gerichtete Wärmestromdichten q an einer Westfassade in der Heizperiode unter vorgenannten Randbedingungen

Variante	q in W/m^2
MW1:Originalwand (365-Ziegel-MW, Westorientierung)	24,2
MW2: (ZM-West+ MDF-Holzverbundplatte)	20,6
MW3: (ZM-West + ThE Flächenheizung)	38,3
MW4: (ZM-West + 40mm Isofloc + MDF-Holzverbundplatte)	9,4
MW5: (ZM-West + 40mm Isofloc + ThE Flächenheizung)	13,8

Im Vergleich zur unsanierten Originalwand verringert sich der Wärmeverlust durch Anbringung einer passiven Wandplatte (MDF-Holzverbundplatte) ohne Zusatzdämmung von 24,2 auf 20,6 W/m²; erhöht sich aber im Heizfall (ThE) auf 38,3 W/m². Bei zusätzlicher Berücksichtigung einer 4cm dicken Wärmedämmung ($\lambda=\lambda(w)$ mit $\lambda_0=0,04\text{W/m.K}$) zwischen Wand und MDF-Platte bzw. ThE verringert sich der Wärmeverlust in beiden Fällen auf 13,8 bzw. 9,4 W/m².

Um die Verhältnisse und insbesondere den Einfluss der solaren Einstrahlung besser quantifizieren zu können, werden die Berechnungsergebnisse für die Nord- und Süd-fassaden dargestellt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Mittlere, nach außen gerichtete Wärmestromdichten q an einer Südfassade und Nordfassade in der Heizperiode bei den gleichen klimatischen Randbedingungen

Variante	q in W/m ²
MW6: (ZM-Süd+ MDF-Holzverbundplatte)	20,6
MW7: (ZM-Süd+ ThE Flächenheizung)	34,4
MW8: (ZM-Nord + 40mmWD + MDF-Holzverbundplatte)	12,6
MW9: (ZM-Nord + 40mm WD + ThE-Flächenheizung)	18,6

Hierin kommt deutlich zum Ausdruck, dass es kaum verantwortlich erscheint, auf Grund der vermeintlich hohen solaren Gewinne bei einer nach Süden gerichteten Außenwand in der kalten Jahreszeit auf eine wärmedämmende Schicht zwischen der Flächenheizung und dem Außenmauerwerk zu verzichten. Die Berechnungen erfolgen unter wärme-feuchtegekoppelten Bedingungen, schließen den immer wieder ins Spiel gebrachten Austrocknungseffekt des Mauerwerks also ausdrücklich ein. Ganz offensichtlich reichen die in der Heizperiode eingetragenen Energiemengen nicht aus, um gravierende Materialveränderungen zu bewirken. Im folgenden Abschnitt demonstrieren die bildhaften Darstellungen der Materialfeuchten eine lediglich zyklisch wiederkehrende Feuchteverschiebung, die – wie im Falle der Holzbalkenköpfe – bei nicht professioneller Herangehensweise auch negative Folgen zeitigen kann.

Die Tabellen 2 und 3 enthalten nur pauschal die zeitlich gemittelten Verlustwärmestromdichten über die gesamte Heizperiode. Dabei sei erwähnt, dass auch ohne Wandflächenheizung infolge des in der kalten Jahreszeit aufrecht zu erhaltenden Temperaturgradienten Wärmeströme nach außen abfließen. Die Bilder 4 und 5 repräsentieren den zeitlichen Verlauf der Wärmestromdichten als Jahresgang. Während bei einer aufgetragenen Wärmedämmung von 40mm zwischen der Heizung und dem Mauerwerk die mittlere Wärmestromdichten nach innen und außen etwa symmetrisch verlaufen, überwiegt bei der ungedämmten Variante der Abfluss nach außen und liegt etwa 2,5 mal so hoch wie mit einer eingebrachten Zwischendämmung.

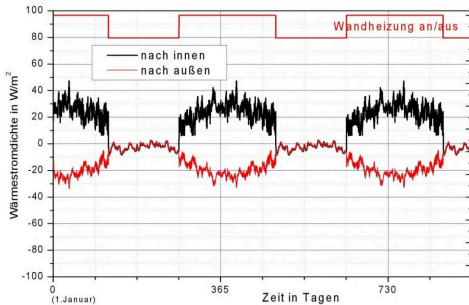


Bild 4: Verlauf der mittleren Wärmestromdichten bei einer Wandflächenheizung auf 40mm Wärmedämmung

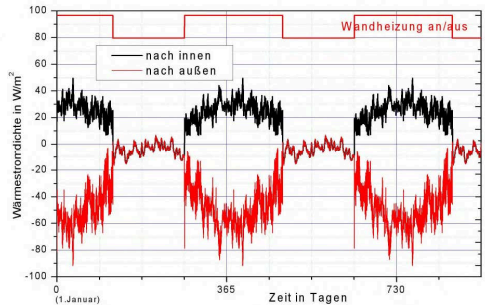


Bild 5: Verlauf der mittleren Wärmestromdichten bei einer Wandflächenheizung, ohne Wärmedämmung

3.4 Austrocknung feuchter Wandbereiche

Heizkörper und deren Vor- und Rücklaufleitungen in Außenwandnähe sind mit mehr oder weniger großen Wärmeenergieeinträgen in das Mauerwerk bzw. in die Wandkonstruktion verbunden. Das führt gewollt oder ungewollt zumindest zeitweise zur Austrocknung von Wandbereichen.

Wie die Untersuchungen belegen, verursachen erhöhte Temperaturgradienten aber zunächst nur eine Feuchteverschiebung, die nicht zwangsläufig den Gesamtfeuchtegehalt der Außenwand nachhaltig reduzieren muss.

Das Bild 6 repräsentiert die überhygroskopischen Feuchtmengen im äußeren Drittel der teilweise innengedämmten Ziegelmauerwerkswände. Sie entsprechen, wie weitere Berechnungen ausweisen, fast der Gesamtfeuchte der Konstruktion. Kondensatmengen bleiben also marginal und lediglich die Schlagregenereignisse verursachen überhygroskopische Feuchtemengen.

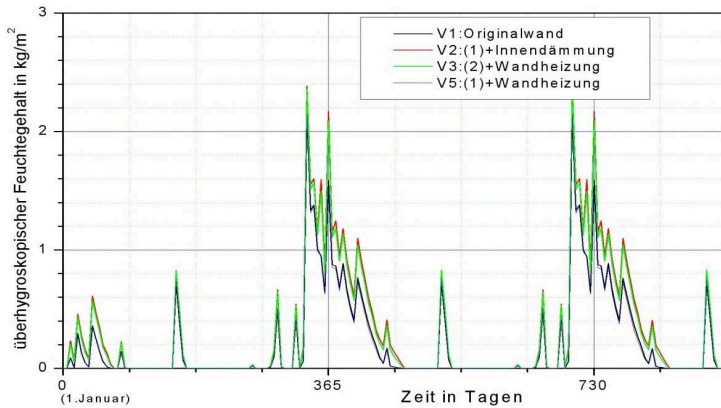


Bild 6: Zeitgang der überhygroskopischen Feuchtemengen im äußeren Drittel der Wandkonstruktionen

In ungünstigen Fällen kommt es zu lokalen Feuchteerhöhungen mit verstärkten Schadensbildern. Die innengedämmte Variante (V2) zeigt gegenüber der ungedämmten Originalwand (V1) ein höheres Feuchtepotential. Eindringener Schlagregen kann hier schlechter abtrocknen. Sobald eine Wandheizung aktiv ist (V3 und V5), wird das Feuchteverhalten der Wand positiv beeinflusst. Die Kombination von Innendämmung und Wandheizung (V3) erreicht ein Feuchtepotential unterhalb der reinen Innendämmung (V2). Die Variante der Wandheizung ohne einen dämmenden Unterbau (V5) bedeutet zwar ein hohes Trocknungspotential, welches aber mit hohen Wärmeverlusten verbunden ist (Bilder 4 und 5).

4 Messungen

4.1 Feuchteverläufe innengedämmter Holzbalkendecken

Als Messobjekt steht ein mit Innendämmung aus Calciumsilikat saniertes, zweigeschossiges Mehrfamilienhaus für Langzeitmessungen zur Verfügung [11]. Die in diesem Objekt seit seiner Sanierung im Jahre 1998 kontinuierlich unter gleichbleibenden Nutzungsbedingungen eines Büros untersuchten Holzbalkenköpfe befinden sich im 1. OG auf der Nordseite des Gebäudes. Vier Balkenköpfe sind mehrfach mit Sensoren zur Temperatur/ Luftfeuchte - und tiefenabhängigen Materialfeuchtemessung über die Widerstandsmethode bestückt worden. Während die Holzbalkenköpfe H1 – 3 dauerhaft durch den Wärmeeintrag der Heizung erfasst werden (ausgeklinte Wärmedämmung im Bereiche der Sockelleiste), lässt sich dieser am H4 zeitweise unterbinden, wobei er für die übrigen durch einen angelegten Bypass erhalten bleibt. Einen Ausschnitt der grafisch aufbereiteten Materialfeuchtemesswerte präsentiert das Bild 7. Der obere Bildteil zeigt die Aktivitäten des Bypasses an. Erwartungsgemäß

nimmt die Holzfeuchte nach der Sanierung, jahreszeitlich periodisch schwankend, zunächst kontinuierlich ab. Der Vorgang wird durch einen markanten Wetterverlauf im Juli/ August 2005 unterbrochen. Nach den ungewöhnlich nassen und niedrig temperierten Monaten Juli und August 2005 mit zwei sog. Vb-Wetterlagen, die auch im kontinental geprägten Osten Deutschlands intensive Niederschläge mit sich bringen (Bild 7), kommt es fast sprungförmig an allen Balkenköpfen H1...H4 zu einer beträchtlichen Holzfeuchteerhöhung gegenüber den bereits erreichten Feuchte-werten. Diese mündet nach dem Einsetzen der Heizperiode Ende September bei den Balkenköpfen H1...H3 in ein Plateau bzw. fällt teilweise sogar wieder ab, während sie bei H4 mit gesperrtem Bypass an allen Messstellen X weiter ansteigt und ein wesentlich höheres Maximum als 2004 erreicht. Außerdem liegt der Maximalwert von H4 zum Jahreswechsel 2005/06 bei weiterhin gesperrten Bypass über allen anderen Feuchte-werten: im Gegensatz zu 2003/04, wo offensichtlich durch den Heizenergieeintrag über den geöffneten Bypass die maximale Holzfeuchte von H4 z.T. unter denen von H3 und H1 bleibt. Die beiden Effekte belegen nicht nur qualitativ den positiven Einfluss eines Heizkanals in Fußbodennähe auf den Feuchtezustand der Holzbalkenköpfe, sondern quantifizieren diesen auch messtechnisch an der ungünstigsten Stelle für den vorliegenden Messzeitraum.

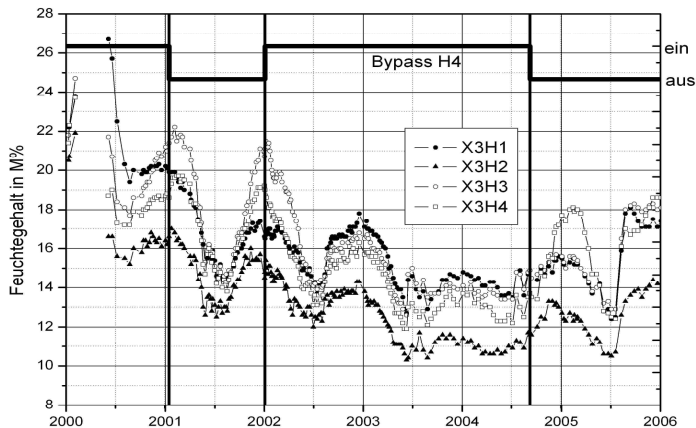


Bild 7: Vergleich des Verlaufs der Holzfeuchten zwischen den Holzbalken H1...H4 an den Messstellen X3

4.2 Feuchteverläufe von Wandheizungsplatten

In einer Versuchszelle werden die Strömungs-/Lüftungsverhältnisse an einer Wandheizungsplatte im Einbauszustand detailliert messtechnisch untersucht. Der Zweck der Versuchsreihe ist es, zu überprüfen inwieweit die Feuchteanlagerung und -abgabe

eines Wandspeicherelementes über Veränderungen der Luftströmung verbessert werden kann. Eine weitere Untersuchung zielt auf das Trocknungsverhaltens bei bauteil-integrierter Heizung ab. Es ist zu erwarten, dass sich das Trocknungsverhalten bei erhöhten Temperaturen verbessert.

Als Wandspeicherelement wird eine Konstruktion mit in MDF-Verbundplatten integrierten Flächenheizsystem gewählt. Die 8 Holzverbundplatten mit integriertem Heizungsrohr und einer Gesamtfläche von 6,8 m² werden an einem Tragesystem in einem Abstand von 20 cm von der Wand der Prü fzelle montiert. Zwischen Unterkante der Platten und dem Fußboden ist ein Abstand von 10 cm eingehalten, zwischen Oberkante und Decke ein Abstand von 20 cm.

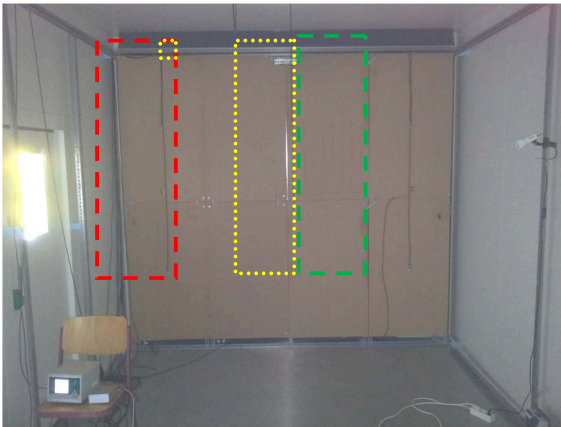


Bild 8: Aufbau des Wandspeicherelementes in der Versuchszelle

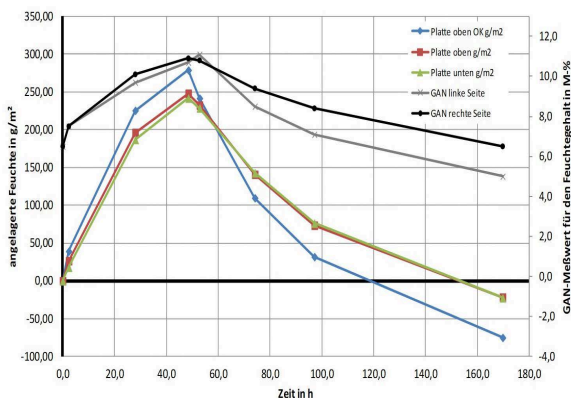


Bild 9: Feuchteanlagerung am Wandspeicher, Luftführung Variante B, Vorlauf 40°C

Die gravimetrisch ermittelte Feuchteanlagerung an dem Probestück auf der beheizten Seite (blaue Kurve) weist deutlich auf eine intensivere Austrocknung auf der beheizten Seite in allen untersuchten Fällen hin.

Es ist zu erkennen, dass sich im beheizten Bereich, aufgrund der höheren Temperaturen, niedrigere relative Luftfeuchten einstellen, was die Trocknung begünstigt. Bei der geringen Vorlauftemperatur von 30°C ist die Lufttemperatur an den unbeheizten Platten nur geringfügig höher als die Zulufttemperatur (durch Wirkung der in den Raum eingebrachten Heizenergie). Es stellt sich im Mittel eine etwas höhere relative Luftfeuchte an der Oberfläche ein, als es der Zuluftfeuchte entspricht. Bei einer Vorlauftemperatur von 40°C (Bild 9) ist die Erwärmung auch auf der unbeheizten Seite so groß, dass niedrigere relative Luftfeuchten und damit eine erheblich bessere Trocknung erkennbar wird.

Ein Einfluss der Strömungsführung auf das Trocknungsverhalten ist bei den Versuchen mit Bauteilheizung nicht erkennbar. Dominierenden Einfluss hat offensichtlich die Vorlauftemperatur der Heizung bzw. die Übertemperatur der wärmeabgebenden Oberfläche relativ zur Raumlufttemperatur.

5 Fazit

Das langjährig begleitete Praxisbeispiel demonstriert deutlich, dass der Holzfeuchteverlauf die tatsächlichen hygrothermischen Verhältnisse im Wandquerschnitt nur über Langzeitmessungen widerspiegeln kann. Die wechselnden außenklimatischen Randbedingungen, insbesondere die Einwirkung von Schlagregenereignissen auch bei optisch kaum wahrnehmbarer Rissbildung in Putzen oder Fugen des Vormauerwerks, bilden sich nur phasenverschoben und sehr individuell im Feuchteverlauf wider. Eingetragene Einbaufeuchten benötigen in der Regel mehrere Jahre bis sie jahreszeitlich schwankend den quasistationären Zustand erreicht haben. Moderate Innendämmmaßnahmen bedeuten in der Regel keine feuchtetechnische Gefährdung von Holzbauteilen im Wandquerschnitt, wenn dauerhaft konvektive Feuchteinträge oder solche durch Schlagregen vermieden werden

Der umfangreiche Bestand an Gebäuden mit Holzbalkendecken und gleichzeitig erhaltenswerten Fassaden erzwingt mit der Vorgabe energiesparender Maßnahmen den verstärkten Einsatz von Innendämmsystemen. Wandflächenheizsysteme gestatten durch die Anwendung moderner Simulationsverfahren eine individuelle lokale Anpassung des erforderlichen Wärmeenergieeintrages zum Schutz eingebauter Holzbauteile und damit eine Reduzierung der Verlustenergie auf ein insgesamt betrachtet volkswirtschaftlich vertretbares Minimum.

Zudem wird es künftig möglich sein, Flächenheizungssysteme unter bestimmten materialtechnischen Voraussetzungen nicht nur thermisch, sondern auch hygrisch zu nutzen, um das Raumklima passiv günstig und energiesparend zu beeinflussen. Dabei gelangt nicht nur die rezeptiv zielgerichtet veränderte, hygrisch vorteilhafte Wirkung

des Grundkörpers zum Einsatz, sondern es werden auch Additive parallel zu den Heizführungen direkt eingelegt. Die hieraus folgende sog. passive Klimatisierung bildet den Gegenstand aktueller Forschung, die u.a. vom BMWi gefördert wird.

Literatur

- [1] Stopp,H.; Strangfeld, P.: The hygrothermic performance of external walls with inside insulation. In proceedings of the conference: Performance exterior envelopes of whole buildings VIII: Integration of building envelopes. Clearwater Beach FL, U.S.A., Dec. 2001.
- [2] Häupl, P.; Stopp, H.: Feuchtetransport in Baustoffen und Bauwerksteilen (Bd. 1 Modellierung und analytische Lösungen). TU Dresden 1987
- [3] Häupl.P.; Stopp,H. ; Strangfeld,P.: Softwarepaket COND zur Feuchteprofilbestimmung in Umfassungskonstruktionen. Bautenschutz &Bausanierung 12 (1989)
- [4] Stopp, H; Strangfeld, P. et al : Hygrothermische Untersuchungen der Balkenköpfe von Einschubdecken bei innengedämmten Außenwänden unter Einbeziehung der Heizungstechnik. Report Bau und Wohnforschung F 2431, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Germany, 2004.
- [5] Stopp ,H.; Strangfeld, P.:Investigation of the hygrothermal performance of wooden beam ends embedded in inside insulated outside walls. Wit-Press Southhampton, Boston, 2006.
- [6] Stopp.H.; Strangfeld, P.; et al: Messergebnisse und bauphysikalische Lösungsansätze zur Problematik der Holzbalkenköpfe in Außenwänden mit Innendämmung. Zeitschrift Bauphysik, Verlag Ernst&Sohn, 32, H.2, 2010.
- [7] DIN EN 12831: 2004-04: Heizungsanlagen in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
- [8] Staar, A.: Möglichkeiten und Potenziale zur energetischen Ertüchtigung denkmalgeschützter Gebäude am Beispiel der Sanierung eines historischen Schulgebäudes, Masterthesis, Hochschule Lausitz (FH) 2011
- [9] Glück, B.: Thermische Bauteilaktivierung – Nutzung von Umweltenergie und Kapillarrohren, C.F. Müller Verlag, Heidelberg 1999
- [10] Programm Delphin, TU Dresden, bauklimatik-dresden.de
- [11] Gnoth, S.; Jurk, K.; Strangfeld, P.: Hygrothermisches Verhalten eingebetteter Holzbalkenköpfe im innengedämmten Außenmauerwerk. Zeitschrift Bauphysik, Verlag Ernst&Sohn, 27, H.2, 2005.

Innendämmung von Fachwerk nach WTA-Merkblatt (E) 8-5

J. Gänßmantel
Dormettingen

Zusammenfassung

Neben dem reinen Schutz des Fachwerkgebäudes und seinen Bewohnern vor klimatischen Einflüssen werden an die Außenwände zunehmend ergänzende Anforderungen gestellt. Dabei sind zum Beispiel die des Gesetzgebers an die Energieeinsparung oder die des Nutzers an die Behaglichkeit zu berücksichtigen. In Abhängigkeit des jeweiligen Gebäudestandortes, des Ausfachungsmaterials und der Nutzung ergibt sich die Notwendigkeit eines Schlagregenschutzes sowie einer nachträglichen bzw. zusätzlichen Wärmedämmung der Außenwand. Da bei Fachwerkbauten mit Sichtfachwerk die zusätzliche Wärmedämmung nur innen vorgesehen werden kann, müssen hier besondere bauphysikalische Anforderungen beachtet werden.

Das Merkblatt 8-5 "Fachwerkinstandsetzung nach WTA V: Innendämmung" ergänzt seit 2001 das Merkblatt 8-1 "Fachwerkinstandsetzung nach WTA I: Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkgebäude" im wichtigen Bereich der Wärmedämmung von Fachwerkaußenwänden. Um die Praxisbewährung einer anerkannten Regel der Technik sicher zu stellen, ist eine regelmäßige Überprüfung und Anpassung erforderlich. Nach 2008 wurde daher ab 2013 die Aktualisierungsarbeit von einer WTA-Arbeitsgruppe wiederaufgenommen und das Ergebnis 2017 in Form des Gelbdruckes (E) 8-5-17 der Fachöffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Das Merkblatt gibt Hinweise für die Verwendung von Innendämmungen nach dem aktuellen Stand von Forschung und Praxis. Bewährte Innendämmungen werden dazu nach verschiedenen Kriterien bewertet. Die zur Verfügung stehenden Materialien werden ausführlich mit den spezifischen Hinweisen zu Kennwerten, Wärmedämmeigenschaften, konstruktiven Erfordernissen und möglichen Anwendungsproblemen erläutert. Möglichkeiten und Grenzen der jeweiligen Anwendung werden benannt. Abschließend werden häufige Fehlerquellen angeführt, die bei Planung und Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen mit Innendämmungen unbedingt zu vermeiden sind.

1 Einführung

1.1 Grundsätzliche Fragen

Innendämmungen werden zur Verbesserung des Wärmeschutzes vielfach dann angewendet, wenn andere Möglichkeiten der Anordnung von Wärmedämmschichten ausscheiden. Bei beheizten Gebäuden, die keine bauliche Veränderung der Fassadenansicht erlauben wie zum Beispiel Sichtfachwerkgebäude, ist die Innendämmung die einzige Möglichkeit zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste.

Wer eine (Innen-)Dämmung plant, muss sich zunächst fragen, welches Ziel er damit verfolgt. Geht es darum, die Wohnraumhygiene zu verbessern oder stehen eher energetische Überlegungen im Vordergrund. Vermeidung von Kondensatbildung an der Oberfläche und damit von Schimmelpilzbildung in Folge zu hoher relativer Feuchte an der Oberfläche und Verbesserung der thermischen Behaglichkeit lassen sich mit einer Erhöhung der Oberflächentemperatur bereits mit geringen Schichtdicken an Innendämmung realisieren. Die Verbesserung der Energieeffizienz eines Gebäudes geht jedoch meist mit einer deutlich höheren Dämmstoffdicke einher. Mit steigendem Dämmniveau nehmen jedoch der Planungsaufwand und auch die Anforderungen an die Ausführungsqualität zu, da die bauphysikalischen Risiken zunehmen. Die energetisch motivierte, maximale Dämmstoffdicke ist nicht zwingend die optimale Lösung für das Gesamtsystem „Bestandsgebäude“.

1.2 Möglichkeiten und Grenzen von Innendämmungen

Zunächst einmal macht eine Innendämmung außen „nichts kaputt“. Das heißt, wertvolle – zum Beispiel unter Denkmalschutz stehende oder reichlich verzierte – Fassaden wie das Sichtfachwerk bleiben erhalten. Da außen nichts verändert wird, gibt es auch keine Probleme mit den Bebauungsgrenzen. Das heißt, bauordnungsrechtlichen Problemen kann man damit aus dem Weg gehen. Sporadisch genutzte und beheizte Räume können durch die innenseitig angebrachte Dämmung deutlich schneller aufgeheizt werden, da die massiven Außenwände nicht miterwärmt werden müssen, was zudem spürbar Heizenergie einspart.

Andererseits leisten innenseitig gedämmte Außenwände selten einen nennenswerten Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz. Nicht zu vernachlässigen ist der ggf. ungünstigere Brandschutz, wenn die Innendämmung aus entflamm- oder brennbaren Dämmstoffen besteht. Weiter ist zu beachten, dass eine Innendämmung die Wohn- und Nutzfläche reduziert und den Gebrauch einer Wohnung beeinträchtigen kann – so ist es zum Beispiel nicht in jedem Fall mit üblichen Befestigungsmitteln möglich, an einer innenseitig gedämmten Wand Lasten zu montieren.

Durch die Anbringung einer Innendämmung können weiterhin die schallschutztechnischen Eigenschaften des bestehenden Bauteils verändert werden. Neben der prinzipiellen Verbesserungsmöglichkeit einer zweischaligen Konstruktion besteht das Risi-

ko der Resonanzfrequenzverschiebung in den hörbaren Bereich und damit einer Verschlechterung des bestehenden Schallschutzniveaus.

Entscheidender sind jedoch die möglichen bauphysikalischen Probleme, die mit einer Innendämmung einhergehen. Dazu gehören die Gefahr von Tauwasserbildung im Bauteil sowie schwierig zu lösende Wärmebrückendetails (Gebäudeecken, einbindende Wände usw.) und Bauteilanschlüsse (Balkenköpfe!). Auch ein reduziertes Trocknungspotential und die damit verbundene Schimmelpilzgefahr bei Hohlkonstruktionen sind nicht zu unterschätzen. Dem nicht genug, kann bei undichten raumseitigen Konstruktion feucht-warme Raumluft in das Bauteil eindringen und an der kalten Außenwand hinter der Innendämmung kondensieren.

1.3 Besondere Anforderungen im Gebäudebestand „Sichtfachwerk“

In Altbauten ist die Frage des Wärmeschutzes oft nur ein bauphysikalischer Aspekt von vielen, wenn eine Sanierung ansteht; zu berücksichtigen sind auch Feuchteeinwirkung, Schlagregenbelastung sowie die Erfordernisse zum Brand- und Schallschutz. Die Randbedingungen für das Innen- und Außenklima sind ebenso festzulegen wie die geeignete Konstruktion und Bauweise. Diese ganzheitliche Vorgehensweise ist besonders bei Fachwerkkonstruktionen anzuraten.

Referat 8	Fachwerk / Holzkonstruktionen
8-1-14/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA I – Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkgebäude (überarb. Fassung Sept. 14)
8-2-07/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA II – Checkliste zur Instandsetzungsplanung und –durchführung (überarb. Fassung Mai 2007)
8-3-10/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA III – Ausfachungen von Sichtfachwerk (überarb. Fassung Oktober 2010)
8-4-15/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA IV – Außenbekleidungen (überarb. Fassung April 2015)
8-5-08/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA V – Innendämmsysteme (überarb. Fassung: Mai 2008)
8-6-09/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA VI – Beschichtungen auf Fachwerkwänden – Ausfachungen/Putze (überarb. Fass. Sept. 2009)
8-7-10/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA VII – Beschichtungen auf Fachwerkwänden – Holz (überarb. Fassung Oktober 2010)
8-8-06/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA VIII – Tragverhalten von Fachwerkbauten (überarb. Fassung Oktober 2007)
8-9-14/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA IX – Gebrauchsanleitung für historische Fachwerkhäuser (überarb. Fassung Sept. 2014)
8-10-11/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA X – EnEV: Möglichkeiten und Grenzen (überarb. Fassung Mai 2011) Hinweis: Das Merkblatt 8-10 Ausgabe: 05.2011/D bezieht sich inhaltlich auf die EnEV2009. Eine Anpassung des Merkblattes an die EnEV2013 ist derzeit in Arbeit.
8-11-16/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA XI – Schallschutz bei Fachwerkgebäuden (überarb. Fassung vom Oktober 2016)
8-12-11/D	Fachwerkinstandsetzung nach WTA XII – Brandschutz von Fachwerkgebäuden und Holzbautteilen (überarb. Fassung vom Mai 2011)
8-13-13/D	Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA I – Schwingungen, Durchbiegungen, Tragfähigkeit
8-14-14/D	Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II – Balkenköpfe in Außenwänden

Bild 1: Mehrere WTA-Merkblätter beschäftigen sich mit den Möglichkeiten und Grenzen, inwieweit historische Holzfachwerkbauten nach den Anforderungen der EnEV instandgesetzt werden können.

Das WTA-Referat 8 „Fachwerk/Holzkonstruktionen“ hat daher seit 1992 kontinuierlich insgesamt 14 wissenschaftlich fundierte, praxisorientierte WTA-Merkblätter zu Erhalt und Instandsetzung historischer Holzfachwerkbauten erarbeitet. Darin wurden Mindestanforderungen und Grenzwerte für den jeweiligen Anwendungsfall festgelegt, um die Auswahl möglicher Baustoffe, Konstruktionen und Varianten zu erleichtern. In den Merkblättern finden sich zudem viele praktische Anhaltspunkte für die richtige Verarbeitungsweise unter fachwerktypischen Aspekten.

Bei einer Innendämmung einer Sichtfachwerkfassade wird als anerkannte Regel der Technik das WTA-Merkblatt 8-1 zugrunde gelegt. [1] Dieses legt ohne besonderen feuchtetechnischen Nachweis einen maximalen Wärmedurchlasswiderstand der Innendämmung von $\Delta R_i \leq 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$ zugrunde, um einem dauerhaften Überschreiten der zulässigen Holzfeuchtigkeit vorzubeugen – andernfalls ist laut WTA ein besonderer Nachweis zu führen (siehe hierzu Abschnitt 3.3). Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass es je nach Einzelfall ratsam sein kann, Innendämmungen zu verwenden, deren wärmetechnische Funktion begrenzt ist, damit ggf. in die Konstruktion eindringende Feuchte (besonders von außen über die Fugen) keinen negativen Einfluss auf die energetische und hygienische Situation im Bauteil bzw. im Innenraum hat. Dann sind so genannte diffusionsoffene, Kondensat tolerierende oder diffusionshemmende, Kondensat begrenzende Innendämmungen materialtechnisch gut geeignet. Bei der Planung einer Instandsetzung sind somit stets die komplexen bauphysikalischen Vorgänge einschließlich der Wärme- und Feuchtespeicherung zu beachten.



Bild 2: Sichtfassaden mit Fugen und Schlagregenbelastung stellen hohe Anforderungen an den kombinierten Wärme- und Feuchteschutz bei der Anwendung der EnEV, insbesondere bei Innendämmungen: Beispiel Quedlinburg.

1.4 Bemessung und Dimensionierung

Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei Innendämmungen um Bausysteme handelt. Neben dem Material der Innendämmung muss die raumseitige Bekleidung/Oberfläche ebenso berücksichtigt werden wie die Montage des Dämmmaterials

und die vorhandene, bauseitige Konstruktion (Holzfachwerk mit Ausfachungen). Eine fachgerechte Planung ist nur möglich, wenn alle genannten Bauteilschichten in die Überlegungen einbezogen werden. Wesentliche hygrothermische Einflussgrößen sind

- der Wärmedurchgangswiderstand (R) der Innendämmung und der Bestandskonstruktion,
- die Schlagregenbeanspruchung der bestehenden Konstruktion,
- die Strahlung auf die Außenoberfläche,
- die äußere klimatische Belastung,
- das (nutzungsabhängige) Innenraumklima,
- der erforderliche Diffusionswiderstand des Innendämmsystems (sd-Wert), um das Austrocknungspotenzial der Außenwand sowie die eventuell in der Konstruktion entstehenden Tauwassermengen beurteilen zu können,
- der kapillare Feuchtetransport innerhalb der Baustoffe und
- der Wassergehalt des Bauteils.

Darüber hinaus müssen die bauphysikalischen Auswirkungen von Innendämmsystemen gesondert betrachtet werden.

1.5 Bestandsaufnahme

Abhängig von der vorgefundenen Substanz wird definiert, welches Ziel man mit der Innendämmung letztendlich verfolgt (beispielsweise das Erreichen des hygienischen Mindestwärmeschutzes). Dies ist mit den Anforderungen der Nutzung und häufig mit den Vorstellungen des Denkmalschutzes in Einklang zu bringen. Das eigentliche Ziel einer Instandsetzung gibt letztendlich der Bauherr und Auftraggeber vor. Auch auf dessen Absichten und Wünsche ist die Bestandsaufnahme auszurichten, damit die Innendämmung nicht zu Folgeschäden führt.

Eine Objektbegehung mit zumindest visuellen Überprüfungen ist zwingend erforderlich. Nur so lässt sich die vorhandene Situation sicher und umfassend beurteilen. Hierbei steht weniger die wärmetechnische Güte der bestehenden Konstruktion im Vordergrund – diese lässt sich notfalls auch mit Hilfe von Bestandsplänen und Materialangaben abschätzen. Vielmehr geht es um die bauphysikalische Gesamtsituation des Gebäudes einschließlich des Feuchte-, Schall- und womöglich auch des Brand-schutzes.

Zu erfassen und zu protokollieren sind in jedem Fall die folgenden Kriterien:

- Standorteinschätzung des Gebäudes (geschützte Lage, exponierte Lage usw.)
- Allgemeiner Zustand der Außenwände bzw. der Bestandskonstruktion
- Feuchtezustand der Bestandskonstruktion, insbesondere des Holzfachwerks
- Schlagregenschutz (Bekleidungen, Anstriche usw.) und Schlagregenbelastung
- Exponiertheit der Einzelfassaden
- weitere Feuchtequellen (Regenwasserabführung, Sockelanschluss usw.)
- raumklimatische Belastungen
- Schadensfeststellung (ggf. mit Kartierung) sowie Objektdatenerfassung



Bild 3: Bestands- und Schadensaufnahme bei einem verputzten Fachwerkgebäude: Ölpapier auf Holzfachwerk behindert Austrocknung von Feuchtigkeit, Putzdicke auf Putzträger ca. 30-35 mm bewirkt Flächenlast von rund 50 kg/m².

Auf der Basis dieser Grundlagen können nun die eigentliche Bemessung der Innendämmung und die Materialauswahl erfolgen. Die Beschaffung dieser Basisinformationen auf der Basis einer Gebäudezustandsanalyse fällt grundsätzlich in den Bereich des Architekten und Planers; Planungsaufgaben können jedoch auch von ausführenden Fachunternehmen übernommen werden. Der jeweilige Planer muss daher im Rahmen der Bestandsaufnahme eine Prüfung des (innen zu dämmenden) Bauteils und des Untergrundes sicherstellen und mindestens die Eignung und Tragfähigkeit des Untergrundes sowie die Eignung des geplanten Innendämmsystems beurteilen.

2 Bauphysikalische Besonderheiten

2.1 Temperatur – und Feuchtwirkungen im Bauteil

Eine zusätzliche innere Dämmschicht bewirkt in erster Linie aufgrund ihres Wärmedurchlasswiderstandes einen Temperaturabfall innerhalb der Dämmschicht. Neben der gewünschten Reduzierung des Wärmedurchgangs ergeben sich im Jahresverlauf stärkere Temperaturänderungen in den außerhalb der Dämmung liegenden Bauteilschichten als zuvor.

Während kalter Perioden verlagert sich der Gefrierpunkt von außen weiter nach innen. Dadurch kann es unter Umständen zu einer Eisbildung an der vormaligen Innenoberfläche bzw. außenliegenden Schichten in Abhängigkeit von der vorhandenen Struktur der Materialien kommen; bei ausreichendem Schlagregenschutz oder frostbeständigen Mauerwerksbaustoffen sind keine Schäden zu erwarten. Außerdem muss geprüft werden, ob Wasser führende Leitungen in dann frostgefährdeten Bereichen liegen. Bei länger andauernden warmen und trockenen Perioden kann eine Innendämmung die Temperaturen im Mauerwerk erhöhen und damit die Austrocknung des Bauteils verbessern.

2.2 Tauwasserbildung

Unterschiedlich feuchte Luft hat das Bestreben, die verschiedenen Wasserdampfgehalte auszugleichen. Deshalb findet zum Beispiel zwischen der Außenluft und der Raumluft über die Außenwand ein Wasserdampftransport statt. Mit der Abkühlung im Bauteil steigt die relative Feuchtigkeit in den Poren der Baustoffe langsam an. Wird im Bauteil die Taupunkttemperatur unterschritten, bildet sich Tauwasser.

Ob ein solcher Diffusionsvorgang zu einer kritischen Feuchtezunahme im Bauteil führt, hängt daher maßgeblich von den Temperaturverhältnissen in der gesamten Konstruktion und dem Diffusionsverhalten des Innendämmsystems ab. Bei diffusionsoffenen Dämmstoffen und Bekleidungen kann dieser Prozess mit Hilfe einer Dampfbremse auf ein zulässiges Maß reduziert werden. Wichtig dabei ist, dass die Dampfbremse vollflächig und unbeschädigt angebracht wird und die Bewohner darüber informiert sind, dass jeder in die Wand eingeschlagene Nagel oder sonstige Beschädigung die Wirkung der Dampfbremse aufhebt und somit die feuchte Luft ihren Weg in das Bauteil findet. Weisen die gewählten Dämmstoffe gute kapillare Leitfähigkeiten auf, kann die Anreicherung von Tauwasser vermieden werden.

Nicht nur die Luftdichtigkeit der gesamten Konstruktion ist wichtig, es muss auch gewährleistet sein, dass die Innendämmung nicht von (feuchter) Luft hinterströmt werden kann. Ansonsten kann durch Konvektion warme feuchte Raumluft in den kühlen Bereich zwischen Innendämmung und vorhandener Wandkonstruktion gelangen, wodurch sich mit der Zeit in dieser Zone immer mehr Feuchte anreichert; wird dann die Taupunkttemperatur unterschritten, fällt Tauwasser aus. Um eine unvorhergesehene Konvektion zu vermeiden, müssen insbesondere Durchdringungen sowie An- und Abschlüsse besonders sorgfältig geplant und ausgeführt werden.

2.3 Wärmebrücken

Als Wärmebrücke bezeichnet man Bereiche in der thermischen Hüllfläche eines Gebäudes, bei denen während der Heizperiode gegenüber dem ungestörten Bauteil erhöhte Wärmeströme und niedrigere innere Oberflächentemperaturen auftreten. Solche Wärmebrücken ergeben sich zum Beispiel bei einbindenden Bauteilen innen gedämmter Außenwände, bei ungedämmten Fenster- und Außentürlaibungen sowie bei komplexen Anschlussbereichen (z.B. Balkenköpfe), die durch die Temperaturabsenkung gefährdet sind. Daher sind diese Bereiche auf jeden Fall näher zu betrachten; die Einhaltung des Mindestwärmeschutzes ist im Bereich der Wärmebrücken gesondert zu betrachten.

2.4 Trocknungspotenzial

Eine zusätzliche Innendämmung beeinflusst den Trocknungsverlauf der Konstruktion. Bei einem Wandaufbau ohne Dämmung kann die eingedrungene Feuchte nach beiden Richtungen, also auch zur Raumseite hin, austrocknen. Bringt man eine Innendämmung auf, die entweder selbst diffusionshemmend ist oder eine Dampfbremse beinhaltet, wird eine Austrocknung nach innen reduziert. Im Jahresmittel senkt die Innendämmung das Temperaturniveau des außenliegenden Mauerwerks, was die Trocknung zusätzlich verlangsamt. Auf ein ausreichendes Trocknungspotenzial ist daher zu achten.

2.5 Schlagregenschutz

Im Gegensatz zu einer außenliegenden Wärmedämmung, die das Bauteil Außenwand vor weiterer Feuchtigkeitszufuhr von außen zum Beispiel durch Niederschläge schützt, wird bei einer zusätzlichen Innendämmung die Außenwand weiter mit Feuchtigkeit beaufschlagt.

Grundsätzlich stellt Schlagregen immer eine hohe Feuchtebelastung der Konstruktion dar. Die Überprüfung der Schlagregenbeanspruchung sowie des Schlagregenschutzes der bestehenden Konstruktion ist daher im Rahmen der genannten Bestandsanalyse unbedingt erforderlich und von entscheidender Bedeutung. Sie ist eine grundlegende Voraussetzung zur Bemessung und Dimensionierung einer Innendämmung, unabhängig von der Konstruktion der Außenwand. [2]

Neben überhöhten energetischen Anforderungen oder durch Nutzungsanforderungen an ein Bestandsgebäude kann auch falsch verstandener Denkmalschutz die Ursache für die Gefährdung historischer Gebäudesubstanz sein. Als Beispiel dient hier das vielfach in Orts- und Gestaltungssatzungen festgelegte Erhalten von Sichtfachwerk, das bei erhöhter Schlagregenbelastung zur dauerhaften Schädigung und damit zum Verlust des Bestandes führen kann.

Bereits vorhandene bauliche Holzschutzmaßnahmen wie Dachüberstände und Verkleidungen aus Holz, Ziegel, Schiefer usw. sollten beibehalten oder erneuert werden; baulicher (= konstruktiver) Holzschutz geht vor chemischem oder physikalischem Holzschutz. [3] Je nach Witterungsbelastung ist bei Bedarf zu prüfen, ob eine geplante Fachwerksichtigkeit ohne schädigende Feuchtebelastung ausführbar ist. [1]



Bild 4: An diesem Fachwerkbauwerk sind alle Möglichkeiten des konstruktiven Schlagregenschutzes ausgenutzt: hoher Dachüberstand sowie Vordächer und Teilverschalung an der Wetterseite (Neuhausen ob Eck, Baden-Württemberg).

3 Innendämmsysteme bei Sichtfachwerk

3.1 Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten

Bei allen Innendämmsystemen – unabhängig von ihrer bauphysikalischen oder bautechnischen Einteilung – ist immer ein auf die spezielle örtliche Situation abgestimmter Systemaufbau einzuhalten. Alte Innenputzflächen können bei ausreichender Tragfähigkeit oft belassen und als Untergrund verwendet werden, sofern keine erhöhte Durchfeuchtung vorliegt oder zerstörende Salze an dem Putz nagen. Jedoch sollte man alte Gipsputze vorbeugend entfernen, da man nie genau weiß, ob diese Putze dauerhaft feuchtebeständig bleiben.

Bei der Verwendung von Putzträgern ist darauf zu achten, dass die Montage vollflächig erfolgt. Bei Fachwerkaußenwänden sind Putzträger, wie zum Beispiel korrosionsgeschützte Drahtgewebe (dreidimensional, mit Gewebeeinlage usw.), in der tragfähigen Ausfachung (nicht im Holzfachwerk) zu verankern, damit später keine Risse entstehen. Dies gilt übrigens auch bei Außenbekleidungen.

Bei fachwerksichtigen Außenwänden ist eine möglichst luftdichte Innenabdeckung einzubringen, die unterschiedlich hergestellt werden kann und besonderer Sorgfalt in der Ausführung bedarf. Die Luftdichtheit der Gesamtkonstruktion kann entweder auf der Ebene des Altputzes (auf der Raumseite der Fachwerktragkonstruktion) oder auf der Innenseite des Dämmaufbaus hergestellt werden (z. B. durch eine luftdichte Ausführung der Innenbekleidung oder einer evtl. vorhandenen dampfbremsenden Schicht im Dämmaufbau). [4]

3.2 Allgemeine Einteilung von Innendämmsystemen

Bei Innendämmsystemen wird aus bauphysikalischer Sicht grundsätzlich zwischen folgenden Funktionsweisen unterschieden: [5]

Diffusionsoffene (Kondensat tolerierende) Systeme

Kleber, Dämmstoff und Endbeschichtung sind wasserdampfdurchlässig, so dass eine bestimmte Menge Wasserdampf in die Gesamtkonstruktion durch Diffusion einwandern kann. Dies führt im Winter zu einer erhöhten Porenluftfeuchte an den Übergängen von Dämmplatte zum Kleber sowie zur Wand. Diese wird in den Baustoffen zwischengespeichert, bis sie in der Sommerperiode wieder nach innen in den Raum verdunsten kann. Diese Kondensat tolerierenden Systeme sind so eingestellt, dass im Sommer mehr Feuchte verdunstet als im Winter anfallen kann. Darunter fallen zum Beispiel die sog. kapillar aktiven bzw. leitfähigen Innendämmungen. Diese Innendämmsysteme sind für Fachwerk gut geeignet, ausreichenden Schlagregenschutz vorausgesetzt.

Diffusionshemmende (Kondensat begrenzende) Systeme

Durch den speziell eingestellten Wasserdampfdiffusionswiderstand des Dämmstoffsystems dringt relativ wenig Wasserdampf in die Konstruktion ein. In diese Kategorie der Kondensat begrenzenden Systeme werden auch die Systeme mit sog. feuchtevariablen bzw. feuchteadaptiven Dampfbremsen eingeordnet. Diese Innendämmsysteme haben sich bei (schlagregengeschütztem) Fachwerk ebenfalls bewährt.

Diffusionsdichte Systeme

Diffusionsdichte Innendämmsysteme haben – bedingt durch ihre Materialstruktur oder durch die Endbeschichtung – einen sehr hohen Diffusionswiderstand (s_d -Wert > 1500 m). Dadurch wird das Eindringen von Wasserdampf in die Konstruktion über die Dämmflächen verhindert, allerdings auch die Austrocknung von Feuchtigkeit aus der Wandkonstruktion über die Innendämmung in den Raum. Aus diesem Grund haben sich diese Systeme bei Sichtfachwerk nicht bewährt.

3.3 Feuchtetechnischer Nachweis von Innendämmungen bei Fachwerk

Um ein Innendämmsystem umfassend beurteilen zu können, muss ein Planer nicht nur den Wärmedurchgang berechnen, sondern auch die gesamte Konstruktion feuchtetechnisch analysieren. Man muss sich darüber im Klaren sein, dass ein innenseitig zu dämmendes Bauteil zwei grundlegenden Feuchtebelastungen ausgesetzt ist, die in einem geeigneten Nachweisverfahren zu betrachten sind. Zu dem bereits angesprochenen Feuchteeintrag durch Wasserdampfdiffusion von innen kommt noch die Belastung durch Schlagregen von außen dazu. Sobald die Innendämmung angebracht ist, wird die innere Oberfläche der Außenwand zur kritischen Zone: sie bildet nun die

Trennschicht zwischen den kalten Außenbauteilschichten und dem Innendämmsystem. In diesem Bereich darf die relative Luftfeuchtigkeit in den Baustoffporen erfahrungsgemäß 95 % r. F. nicht überschreiten – auch nicht kurzfristig. Bei höheren Werten muss mit Tauwasserausfall gerechnet werden. Um sicherzugehen, dass eine solche Situation auf keinen Fall eintritt, ist ein geeigneter Nachweis zu führen.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass bei Sichtfachwerkkonstruktionen die o. g. Doppelbelastung (geringer Schlagregen von außen + Wasserdampfdiffusion von innen) durch das Festlegen eines Grenzwertes für den Wärmedurchlasswiderstand des Innendämmsystems berücksichtigt wird. Auf Grund der vorliegenden Erfahrungen bei der Fachwerkinstandsetzung nach WTA ergeben sich folgende Empfehlungen für den feuchtetechnischen Nachweis einer schadensfreien Innendämmung in Abhängigkeit von der wärmetechnischen Verbesserung durch die Innendämmung ΔR_i . Basis sind mitteleuropäische Klimadaten: [1] [4]

- Für langfristig praxisbewährte Bauteile gemäß Auswahltabelle WTA-Merkblatt 8-5 sind keine rechnerischen Nachweise notwendig (siehe hierzu Abschnitt 3.4).
- Wird die Innendämmung so bemessen, dass die Bedingung $\Delta R_i \leq 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt ist, so ist grundsätzlich kein feuchtetechnischer Nachweis erforderlich.
- Bei einem größeren ΔR_i ist in der Regel eine feuchtetechnische Berechnung hinsichtlich des Tauwasserausfalls im Inneren von Bauteilen zumindest nach DIN 4108-3 zu führen. [6] Besser geeignet sind numerische Berechnungsverfahren auf Grundlage der WTA-Merkblätter 6-1 und 6-2. [7], [8] Außerdem sind die Vorgaben der DIN 68800 sowie der WTA-Merkblätter 6-5 und 6-8 zu beachten. [9] [10] [11]

Die zulässige mittlere Schichtdicke der Innendämmungen in den Verfahren ohne besonderen feuchtetechnischen Nachweis ergibt sich aus der Anforderungsbedingung $\Delta R_i = d_i/\lambda_i \leq 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$ zu $d_i \leq 0,8 \times \lambda_i \text{ (m)}$.

Die Wärme- und Feuchtetransporte in einem Bauteil mit einer Innendämmung $\Delta R_i > 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$ lassen sich in der Regel mit einer computergestützten Simulation nachweisen. Dabei werden sämtliche hygrischen Transportphänomene im Bauteilquerschnitt, also nicht nur Diffusion, sondern auch Kapillarität und Sorption (Feuchtigkeitsgehalt in einem Baustoff in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit) rechnerisch berücksichtigt. Damit ist man dann in der Lage, die Konsequenzen einer geplanten Innendämmung realitätsnah zu beurteilen und kann so die für die vorhandene Konstruktion optimale Art und Dicke eines Innendämmsystems festlegen.

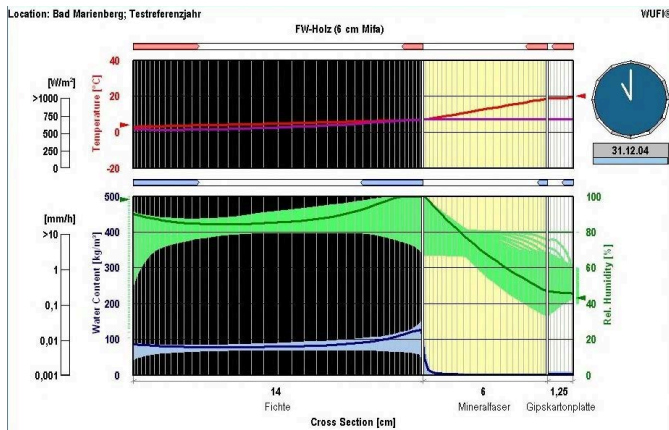


Bild 5: Beispiel einer hygrothermischen Simulationsrechnung für Innendämmung bei Sichtfachwerk [12]

3.4 Auswahl von Innendämmsystemen für Fachwerk nach WTA-Merkblatt (E) 8-5

Für die Sonderkonstruktion „Fachwerk“ konnten bisher die besonderen bauphysikalischen Anforderungen und Kriterien zur Materialauswahl gemäß WTA-Merkblatt 8-5 (Ausgabe 05.2008) „Innendämmungen“ angewandt werden. [5]

Das Merkblatt gibt Hinweise für die Verwendung von Innendämmungen nach dem aktuellen Stand von Forschung und Praxis. Dazu werden zunächst die bauphysikalischen Anforderungen an Wärme-, Feuchte- Schall- und Brandschutz sowie die bautechnischen Bedingungen zur Verarbeitung präzisiert. Bewährte Innendämmungen werden anschließend nach verschiedenen Kriterien bewertet. Die zur Verfügung stehenden Materialien werden ausführlich mit den spezifischen Hinweisen zu Kennwerten, Wärmedämmeigenschaften, konstruktiven Erfordernissen und möglichen Planungs- und Ausführungsfehlern dargelegt. Möglichkeiten und Grenzen der jeweiligen Anwendung werden benannt, typische Fehlerquellen sind aufgelistet.

Von Anfang an war als zentraler und wichtiger Bestandteil des Merkblattes für die technisch-konstruktive Auswahl eines Innendämmsystems eine Auswahltablette erarbeitet worden, die als Hilfestellung für die Wahl des geeigneten Innendämmsystems zu verstehen ist. Dazu waren neben der üblichen Materialdicke und des Wärmeschutzes auch Kriterien des Feuchte-, Schall- und Brandschutzes berücksichtigt worden. Die Aussagen in der Tabelle geben Anhaltspunkte für die Verwendung der verschiedenen Innendämmarten

- plastische Dämmstoffe (bisher „Putze/Mörtel“),
- Vorsatzschalen,
- plattenartige Dämmstoffe im Verbund

J. Gänßmantel, Innendämmung von Fachwerk nach WTA-Merkblatt (E) 8-5-17

sowie der einzelnen Materialien. Die verschiedenen Bewertungskriterien sind nach dem jeweiligen Einzelfall zu gewichten. Der Tabelle folgend wird in den jeweiligen Materialerläuterungen auf die spezifischen Anwendungsbedingungen verwiesen.

			Bewertungskriterium ¹⁾					
			1	2	3	4	5	6
			Erforderliche Systemdicke	Feuchteschutz (Diffusion)	Feuchteschutz (kapillartät)	Vermeidung von Feuchtekonvektion	Schallschutz	Brandschutz
1.	Putze/Mörtel							
	1.1	Wärmedämmputz	●	●	●	●	○	**)
	1.2	Leichtlehm	○	●	●	●	○	**)
	1.3	Wärmedämmlehm	●	●	●	●	○	**)
	1.4	Verfüllmörtel	○	●	●	●	○	●
	1.5	Zelluloseputz	●	○	○	●	○	○
2.	Vorsatzschalen							
	2.1	Gemauerte Vorsatzschalen	○	●	●	●	●	●
	2.2	Ständerwerk mit Dämmstoff	●	*)	○	○	●	**)
3.	Dämmplatten							
	3.1	HWL-Platte	●	●	○	○	○	**)
	3.2	Calcium-Silikat-Platte	●	●	●	○	○	●
	3.3	Leichtlehmplatte	○	●	●	○	○	**)
*): ○ mit feuchteadaptiver Dampfbremse o. Ä.								
**): ○/● in Abhängigkeit vom gewählten Dämm- oder Zuschlagsstoff								
○ weniger geeignet ● bedingt geeignet ● geeignet								
1) Für die Bewertungskriterien werden im Merkblatt Einstufungen zur Systemeignung benannt.								

Bild 6: Bewertung der Einsatzmöglichkeiten von Innendämmsystemen bei Sichtfachwerkgebäuden, Stand 2008 [13]

Die Tabelle enthält diejenigen Innendämmsysteme, die als theoretisch richtig und praktisch bewährt im Sinne einer anerkannten Regel der Technik bei Fachwerkkonstruktionen anwendbar und auch auf andere Bestandskonstruktionen übertragbar sind.

Die Bewertungskriterien wurden im aktualisierten WTA-Merkblatt E-8-5-17 überarbeitet und (teilweise) umbenannt in (siehe hierzu auch Bild 6, von links nach rechts): erforderliche Systemdicke, Austrocknungspotenzial, Tauwassertoleranz, Belastung durch Einbaufeuchte, Vermeidung von Feuchtekonvektion. Dazu kommt noch eine Einstufung der grundsätzlichen Schall- und Brandschutzeigenschaften. Die verschiedenen Bewertungskriterien sind nach dem jeweiligen Einzelfall zu gewichten.

Die Auswahltablette selbst wurde angepasst, ergänzt und erweitert. Bei der Systemart „Vorsatzschalen“ wurde die alte Kategorie „Ständerwerk mit Dämmstoff“ neu aufgeteilt in „Trockenbaukonstruktion mit Dämmstoffmatten“ und „Holzrahmenbau-Konstruktion mit Einblasdämmung“. Bei der Systemart „Dämmplatten“ erfolgte eine Ergänzung durch Innendämmungen aus Holzweichfaser-, Mineral- und Schilf-

Dämmplatten und die Aktualisierung der Bezeichnungen der bisherigen Dämmplatten. Die alte Systemart „Putze/Mörtel“ wurde neu benannt in „Plastische Dämmstoffe“ ohne weitere Änderungen der Einzelkategorien.

Der Tabelle folgend wird in den jeweiligen Materialerläuterungen auf die spezifischen Anwendungsbedingungen verwiesen. Weiterhin wurden sämtliche Systemskizzen für die verschiedenen Innendämmungen vereinfacht und vereinheitlicht, so dass man auf einen Blick die Bestandskonstruktion und das jeweilige Innendämmsystem leichter erkennen kann.

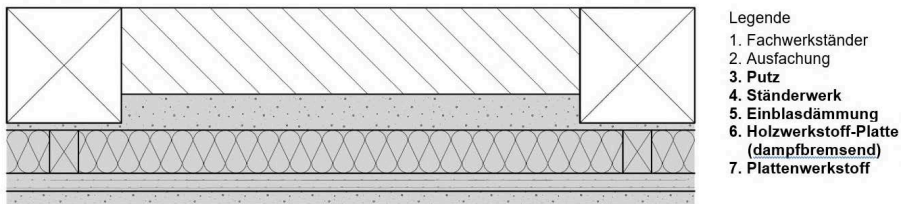


Bild 8 : Schema-Skizze Innendämmung mit Ständerwerk und Einblasdämmung

Bild 7: Neue Systemskizzen im Merkblatt E-8-5-17 – Beispiel [4]

Auch neue Innendämmstoffe wurden ergänzend zur Auswahltablelle als Stand der Technik spezifiziert wie zum Beispiel eine magnesitgebundene Typha-Platte oder eine Korkdämmplatte mit lehmhaltigen Zuschlägen. Aufgrund der noch fehlenden, gesicherten praktischen Langzeiterfahrungen zu diesen Materialkompositionen ist stets eine einzelfallbezogene, bauphysikalische Betrachtung erforderlich.

Da Wandflächenheizsysteme, die einen verhältnismäßig hohen Strahlungswärmeanteil abgeben, mit einer Innendämmung kombinierbar sind und die Wärmeabgabe in die Konstruktion zu einer Verbesserung des Feuchteschutzes beitragen kann, erfolgt ein Querverweis auf die WTA-AG 6-19, in der die besonderen Anforderungen an diese anlagentechnische Komponente gegenwärtig bearbeitet werden.

Abschließend sind im Merkblatt wie bisher auch die häufigsten Fehlerquellen zusammengestellt, die bei Planung und Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen mit Innendämmungen unbedingt zu vermeiden sind. Die zitierten, nationalen und internationalen Literaturangaben verweisen auf die Möglichkeiten zusätzlicher Informationen. Neu ist der Abschnitt „Begriffsbestimmungen“, in dem die wichtigsten, im Merkblatt verwendeten, technischen Termini erläutert werden. [14]

3.5 Beispiele für Ausführungen nach WTA-Merkblatt 8-5

Plastisch verarbeitbare Innendämmungen, wie z. B. Wärmedämmlehme und -putze haben den Vorteil, dass sie direkt an den Untergrund ankoppeln, wodurch keine Hinterströmung der Dämmschicht stattfinden kann. Da sie feucht eingebaut werden, bedarf es der Tragfähigkeit und Feuchtebeständigkeit des Untergrundes. Für die Phase der Aushärtung muss ein entsprechend trockenes Baustellenklima vorherrschen, da ansonsten das Risiko einer unbeabsichtigten Schimmelpilzbildung nicht ausgeschlossen werden kann.

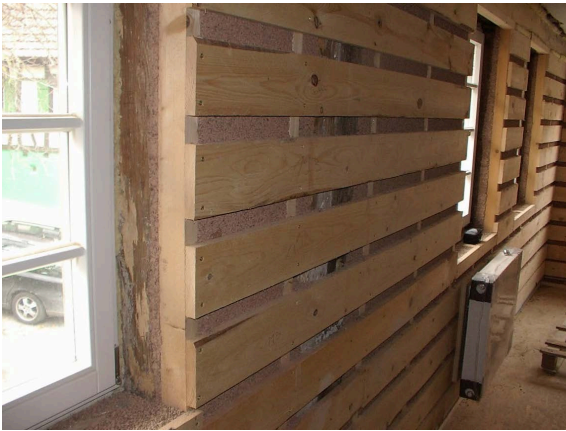


Bild 8: Praxisbeispiel Wärmedämmlehm



Bild 9: Praxisbeispiel Wärmedämmputz

Dämmplatten sind einfach zu verarbeiten, weil sie bereits trocken und ausgehärtet sind. Ohne einen planebenen Untergrund besteht bei unsachgemäßer Verklebung al-

lerdings die Gefahr, dass die Dämmschicht hinterströmt wird. Die Montage darf nur mit einem auf die Dämmplatte abgestimmten Klebemörtel erfolgen.



Bild 10: Praxisbeispiel Holzwolle-Bauplatte: Fachwerk als nicht planebener Untergründe erschwert die fachgerechte und hohlraumfreie Applikation der Platten.

Trockenbaukonstruktionen mit Dämmstoffmatten und Holzrahmenbau-Konstruktionen mit Einblasdämmung ermöglichen den hohlraumfreien und trockenen Einbau von Innendämmungen und vergleichsweise hohe Wärmedurchlasswiderstände. Langzeit-Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass diese Innendämmungen bei fachgerechter Planung und Anwendung dauerhaft funktionieren. [15]

4. Anschlüsse und Wärmebrücken

4.1 Grundsätzliches

Am Übergang von gedämmten zu nicht gedämmten Bereichen sinkt die Temperatur im Bauteil sowie an dessen Oberfläche. Besonders gefährdet sind bei innenseitig gedämmten Gebäuden ungedämmte Fensterbereiche mit denkmalgeschützter Einzelverglasung, ungedämmte Fenster- und Außentürleibungen, Anschlüsse von Innenwänden und Decken sowie der Bereich um Balkenköpfe im Außenmauerwerk.

4.2 Fenster

Wenn man als Innendämmung plastische Dämmstoffe vorsieht, lassen sich damit gut denkmalgerechte Lösungen für alte Fensterkonstruktionen finden. So kann man beispielsweise einfach verglaste Fenster mit Kastenfenstern kombinieren, indem man die Fensterleibungen dämmt, wie im nächsten Abschnitt beschrieben. Die Innendämmung wird dann direkt ohne einen Luftspalt an die Einfassung des Kastenfensters angeschlossen und dort abdichtet.

4.3 Fenster- und Außentürleibungen

An diesen Stellen ist der Wärmeschutz ohnehin kritisch, da die eingebauten Fenster und Türen bereits für sich als Schwachstelle gelten. Aufgrund der beengten Verhältnisse kann die Dämmung im Leibungsbereich oft aber nur in sehr geringer Dicke ausgeführt werden. Deshalb sollte idealerweise ein kapillar aktiver Dämmstoff mit hoher Dämmwirkung gewählt werden.

4.4 Anschlüsse Innenwände

Abhängig vom Dämmniveau und den Wärmedurchlasswiderständen der Außen- und Innenwände müssen Wandanschlüsse unter Umständen zusätzlich „in den Raum hinein“ gedämmt werden. Diese „raumgreifenden“ Dämmzonen an Innenwänden können ab 30 cm bis zu einem Meter in den Raum reichen. Würde man auf eine zusätzliche Dämmung der Innenwand von der Außenwand her verzichten, könnte sich am Übergang vom gedämmten zum ungedämmten Bereich die Oberflächentemperatur abrupt absenken. In der Folge käme es zu kritischen Werten bei der Oberflächenfeuchte, wodurch ein Befall mit Mikroorganismen quasi vorprogrammiert wäre.

Eine ideale Begleitdämmung sind plastische Innendämmmaterialien, wie zum Beispiel Wärmedämmputze oder -lehme, weil dabei der alte Putz soweit abgeschlagen werden kann, wie sich später der Dämmbereich erstrecken soll. Im Bereich der Außenwand sollte die Schichtdicke des Wärmedämmputzes oder -lehms stets etwas dicker sein und langsam in Richtung des alten Putzes auslaufen. Besonders Lehme weisen ein günstiges Sorptionsverhalten auf und können daher wärmebrückenbedingte Feuchterhöhungen gut abpuffern.

Neben dem Dämmkeil und der Begleitdämmung kann man auch auf so genannte Temperaturleitbleche zurückgreifen, die dann später mit der Innenbekleidung beschichtet werden. Im einfachsten Fall ist dies ein Rippenstreckmetall, das verputzt wird. Aufgrund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit „zieht“ es die Wärme aus der Innenwand in das Inneneck und erhöht dort die Oberflächentemperatur.

4.5 Anschlüsse Decken

Es ist ratsam, umlaufende Stuckprofile mit Holzkonstruktion vor dem Auftrag der Innendämmung zu entfernen. So lässt sich die Dämmung möglichst weit in den Bereich der Decken führen. Nach Abschluss der Arbeiten können die Stuckprofile gekürzt, wieder montiert und neu mit Gips beschichtet werden. Alternativ können Spezialstuckprofile mit geringer Rohdichte und verlängertem Deckenschenkel verwendet werden.

4.6 Balkenköpfe

Das Auflager von Holzbalken in Außenwänden ist seit Jahrhunderten schon ein kritischer Punkt an Baukonstruktionen, weil immer wieder feuchtebedingte Schädigungen aufgetreten sind.

Gemäß DIN 68800-2 (Ausgabe 2012), Absatz 9.2 sind Balkenköpfe von Holzbalkendecken in Außenwänden aus Mauerwerk oder Stahlbeton der Gebrauchsklasse GK 0 zuzuordnen, wenn durch bauliche Maßnahmen dafür gesorgt wird, dass im Bereich der Balkenköpfe keine unzuträgliche Erhöhung des Feuchtegehaltes durch Tauwasserbildung oder andere Einflussfaktoren auftreten kann, z. B. durch zusätzliche außen liegende Wärmedämmschicht. Andere Konstruktionen wären gemäß DIN 68800-1 (Ausgabe 2011), Tab. 1, Spalte 2 („Gelegentlich feucht ($> 20\%$), mittlere relative Luftfeuchte über 85% oder zeitweise Befeuchtung durch Kondensation“) in die Gebrauchsklasse GK2 einzuordnen und erfordern entweder den Einsatz von Holzarten der Dauerhaftigkeitsklasse 1 - 3 oder chemisch vorbeugende Holzschutzbehandlungen. [9]



Bild 11: „Ewiges“ Praxisproblem bei Balkenköpfen und Fachwerk: Fehlender Schlagregenschutz

Grundsätzlich bleiben Holzbalkenköpfe schadensfrei, wenn die Holzfeuchte dauerhaft $< 20\text{ M.-%}$ beträgt. Weitere wichtige Einflussfaktoren für mögliche Feuchteschäden sind die Ausbildung der Vorsatzschale, des Auflagers und der Wärmedämmung sowie der chemische Holzschutz. Mögliche Ursachen für zu hohe Feuchteaufnahme an den Balkenköpfen sind daher zum Beispiel: [16]

- Balkenköpfe zu dicht eingepackt oder beschichtet, z.B. durch Teerpappen, teerhaltige Anstrichstoffe oder dichten Außenputz und dadurch fehlende Austrocknungsmöglichkeit
- hohe Schlagregenbelastung der Fassade in Verbindung mit unzureichendem Schlagregenschutz

- Kondensatbildung durch die Konvektion von Raumlufteuchte im Bereich des Balkenaufagers usw.
- eindringendes Regenwasser an Zierelementen, z.B. Stuckkanten
- unbemerkte Leckagen an Fallrohren, Abflussleitungen und sonstigen Wasser führenden Rohrleitungen in Wänden und Decken

Bei einer Innendämmung besteht grundsätzlich unabhängig vom verwendeten Material das Risiko, dass der aufgrund seiner exponierten Lage in der Außenwand ohnehin gefährdete Balkenkopf in verstärktem Maße Schaden nimmt. Holzbalken durchbrechen die Dämmebene und reichen bis in das kalte Mauerwerk, der Balkenkopf wird dadurch kühler und feuchter. Bei anfallendem Kondensat wird der Balken unter Umständen einer (weiter) erhöhten Feuchtebelastung ausgesetzt. Balken, die von der Raumseite her luftumspült sind, können zusätzlichen Feuchtebelastungen durch Konvektion ausgesetzt sein, da sich die feuchtwarme Raumlufte am Balkenkopf abkühlt und feuchter wird.

Mit hohem Aufwand kann der Balken freigelegt und mit geeignetem Dämmmaterial umschlossen werden, wodurch eine annähernd durchgehende Wärmedämmebene erreicht und der Balken warm und trocken gehalten wird. Des Weiteren sind Details zu beachten, wie zum Beispiel die Auswirkung der durch die Innendämmung zusätzlich eingebrachten Lasten, die Verformungsneigung und Rissbildung des Holzes usw. Eine allgemeingültige konstruktive Lösung, die für jedes Auflager anwendbar wäre, gibt es deswegen nicht. Grundsätzlich gilt: Die hygrothermischen Bedingungen an den Balkenköpfen dürfen sich durch die (Wärme dämmenden) Sanierungsmaßnahmen nicht verschlechtern. Die Bewertung der Kriterien Tragfähigkeit, Schallschutz, Brandschutz, Wärmeschutz und Feuchtigkeitsschutz muss ggf. rechnerisch nachgewiesen werden.

Bei Innendämmungen ist in jedem Fall auf einen dichten, allseitigen Anschluss an den Balkenkopf zu achten. Hier ist sehr viel aufwändige Detailarbeit notwendig, die auch eine entsprechend aufwändige und detaillierte Planung voraussetzt. Der Anschluss an die Innendämmung durchdringende Deckenbalken ist somit dauerhaft luftdicht auszuführen! Die detaillierte konstruktive Gestaltung ergibt sich aus der verwendeten Dämmung. Nachträgliche Verformungen oder Rissbildungen im Balken können sich allerdings kontraproduktiv auswirken!

Bauphysikalisch sinnvoll ist die lückenlose Führung der Dämmebene unter Berücksichtigung und Anarbeitung durchbindender Bauteile. Dies bedeutet, idealer Weise den eingebundenen Holzbalkenkopf an allen fünf Seiten zu dämmen. Aus Gründen des Brandschutzes sind dafür nicht brennbare Dämmstoffe (Baustoffklasse A1 nach DIN 4102) zu verwenden (gilt auch für Entkopplungsstreifen). Die Luftdichtigkeitsebene muss zwangsläufig auf der Raumseite der Dämmebene liegen. Die weiterhin erforderliche Schlagregendichtheit der Fassade muss ohnehin unbedingt gewährleistet sein.

Eine Beheizung der Balkenköpfe durch Verlegung von Heizrohren im Wandwinkel und Unterbrechung der Dämmebene kann den Wassergehalt am Balkenkopf ggf. geringfügig senken. [17] Idealerweise werden in die Anschlusspunkte stationäre Feuchte- und Temperatursensoren eingebaut, um die hygrothermische Situation an den Balkenköpfen nach der Sanierung überwachen zu können.

Literatur

- [1] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt 8-1-14/D „Fachwerkinstandsetzung nach WTA I: Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkgebäude“; 3. Ausgabe München/Pfaffenhofen 2014
- [2] Gänßmantel J.: Prüfung des Witterungsschutzes von Fassaden insbesondere bei Innendämmungen; In: Tagungsband 24. Hanseatische Sanierungstage 2013 „Messen – Planen – Ausführen“ des BuFAS e.V. in Heringsdorf, Beuth-Verlag Berlin 2013
- [3] Gänßmantel J.: Sichtfachwerk und Energieeffizienz – (k)ein Widerspruch? In: Tagungsband 23. Hanseatische Sanierungstage 2012 „Feuchte – Wärme – Schimmelpilz“ des BuFAS e.V. in Heringsdorf, Beuth-Verlag Berlin 2012
- [4] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt E-8-5-17 „Fachwerkinstandsetzung nach WTA V: Innendämmungen“; aktualisierte 3. Ausgabe (Entwurf/Gelbdruck) München/Pfaffenhofen 2017
- [5] Fachverband Innendämmung e.V. (Hrsg.): Praxishandbuch Innendämmung – Planung-Konstruktion-Details-Beispiele. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG Köln, 2016
- [6] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag, Berlin 2014
- [7] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt 6-1-01/D „Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen“; München/Pfaffenhofen 2001
- [8] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt 6-2-14/D „Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse“; München/Pfaffenhofen 2014
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN 68800 Holzschutz. Teil 1: Allgemeines; Beuth-Verlag Berlin 2011. Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau; Beuth-Verlag Berlin 2012. Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln; Beuth-Verlag Berlin 2012. Teil 4: Be-

kämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten; Beuth-Verlag Berlin 2012

- [10] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt 6-5-14/D „Innendämmung nach WTA II – Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren“; München/Pfaffenhofen 2014
- [11] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt 6-8-16/D „Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulation“; München/Pfaffenhofen 2016
- [12] Eßmann F.: Hygrothermische Simulationsberechnungen mit WUFI; tha Ingenieurbüro Eßmann, Mölln 2008 (unveröffentlicht)
- [13] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt 8-5-08 „Fachwerkinstandsetzung nach WTA V: Innendämmungen“; 2. Ausgabe München/Pfaffenhofen 2008
- [14] Gänßmantel J.: Das neue WTA-Merkblatt E-8-5-17/D: Aktualisierung des WTA-Merkblatts 8-5 »Fachwerkinstandsetzung nach WTA V: Innendämmungen« (2. Ausgabe 2008); Bausubstanz Heft 3-2017, S. 44-45; Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart
- [15] Borsch-Laaks, Robert: Fachwerkwand mit Hintermauerung und Kerndämmung. In: Tagungsband zum 2. int. Holz[Bau]Physik-Kongress, 10./11.2.2011 in Leipzig
- [16] WTA Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA-Merkblatt 8-14-14/D „Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden“ München/Pfaffenhofen 2014
- [17] Strangfeld P., Staar A., Toepel T.: Das hygrothermische Verhalten von Holzbalkenköpfen im innengedämmten Außenmauerwerk (Teil 1); Bausubstanz Heft 2-2012, S. 45-51; Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart

(Leerseite)

Autorenliste (in alphabetischer Reihenfolge)

<p>PD Dr. habil. Brischke, Christian Dipl.-Holzwirt Georg-August-Universität Göttingen Abteilung Holzbiologie & Holzprodukte Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie Büsgenweg 4, 37077 Göttingen Tel.: +49 551 39 19514 E-Mail: christian.brischke@uni-goettingen.de</p> <p>Rechtsanwalt Cosler, Markus Rechtsanwälte Delheid Soiron Hammer Friedrichstrasse 17-19, 52070 Aachen Tel +49/241/946680 Fax +49/241/9466877 Markus.Cosler@delheid.com www.delheid.com</p> <p>Deutschun, Frank Deutschun und Partner Hermann-Böse-Str.17, 28209 Bremen Tel.: 0421 8350160, Fax: 0421 83501690 zentrale@deutschun.info www.deutschun.info</p> <p>Drewer, Arnold IpeG – Institut Institut für preisoptimierte energetische Gebäudemodernisierung GmbH Mönchebrede 16, 33102 Paderborn Tel.: 05251 1478557 Fax: 05251 7099516 E-Mail: drewer@ipeg-institut.de www.ipeg-institut.de</p> <p>Dipl.-Ing. Engel, Jens Remmers Baustofftechnik GmbH Bernhard-Remmers-Str. 13 49624 Lönningen Tel.: 05432 83576 E-Mail: jengel@remmers.de www.remmers.de</p>	<p>Dipl.-Ing. Flohr, Ekkehard An der Hohen Lache 6, 06846 Dessau Tel.: 0340 6611884, Fax: 0340 6611885 Mobil: 0172 9248041 E-Mail: ing-buero-flohr@t-online.de</p> <p>Dipl.-Ing. (FH) Gänßmantel, Jürgen Ingenieur- und Sachverständigenbüro Büro Baden-Württemberg / Bayern: Silcherstr. 9, D-72358 Dormettingen Büro Rheinland-Pfalz / Saarland / Hessen: Waffenstr. 16 B, D-76829 Landau, E-Mail: buero@gaenssmantel.de www.gaenssmantel.de</p> <p>Prof. Dipl.-Ing. Gerner, Manfred Gerner Fachwerk Consulting Propstei Johannisberg, 36041 Fulda Tel.: 06613804439 E-Mail: info@fachwerk-arge.de www.fachwerk-arge.de</p> <p>Prof. Dr. Geyer, Christoph, Prof. Müller, Andreas Wehle, Barbara Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur Solothurnstrasse 102, Postfach 6096, CH-2500 Biel 6 Tel.: +41323440348 E-Mail: christoph.geyer@bfh.ch</p> <p>Dipl.-Ing. Liebert, Géraldine AIBAU gGmbH Theresienstr. 19, 52072 Aachen Tel.: 0241 - 910 507 - 0 Fax: 0241 - 910 507 - 20 E-Mail: g.liebert@aibau.de www.aibau.de</p>
---	--

Autorenliste (in alphabetischer Reihenfolge)

<p>Prof. Dr. iur. Meiendresch, Uwe Landgericht Aachen/Universität Aachen (RWTH), Trevererstraße 4, 52074 Aachen Tel.: 0241 942540358 E-Mail:uwe.meiendresch@googlemail.com www.meiendresch.eu</p> <p>Dr. Meyer-Veltrup, Linda Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik an der Leibniz Universität Hannover (HPI) Wilhelm-Busch-Str. 18, 30167 Hannover Tel.: 0511 70155-31 E-Mail meyer@hpi-hannover.de</p> <p>Dr.-Ing. Pietschmann, Peter Pietschmann Beratende Ingenieurgesellschaft mbH Kurfürstendamm 226, 10719 Berlin Tel.: 030 328980 100 Fax: 030 328980 120 Email: p.pietschmann@ing-pietschmann.de www.ing-pietschmann.de</p> <p>Reimann, Rafael, M.Sc. Apelstr. 4, 37339 Haynrode Tel.: 0162 2765267 E-Mail: rafael.reimann@gmx.de</p> <p>Remde, Magdalena, M.Sc. HTWK Leipzig - Fakultät Bauwesen Karl-Liebknecht-Straße 132 04277 Leipzig E-Mail: leni.remde@gmail.com</p> <p>Dipl.-Ing. Saxler, Jan Giffey+Saxler Architekten und Sachverständige Part GmbB Wiesenstr.43, 20255 Hamburg Tel.: 040 40113280, Fax: 040 401132869 E-Mail: j.saxler@giffey.saxler.de www.giffey.saxler.de</p>	<p>Dr. rer. nat. Schlütter, Frank Dr.-Ing. Juling, Herbert Amtliche Materialprüfungsanstalt Bremen Paul-Feller-Str. 1, 28199 Bremen Tel.: 04215370843 E-Mail: schluetter@mpa-bremen.de www.mpa-bremen.de</p> <p>Prof. Dr. Skalecki, Georg Landeskonservator Landesamt für Denkmalpflege Bremen Sandstr. 3, 28195 Bremen Tel.: 0421 3612502, Fax: 04214962502 E-Mail: georg.skalecki@denkmalpflege.bremen.de www.denkmalpflege.bremen.de</p> <p>Baumeister Spirgatis, Rainer Plinderheide 2 b, 48291 Teigte Tel: 02363 399304 Mobil: 0151 14164503 Fax: 02363 399363 E-Mail: spirgatis@DHBV.de</p> <p>Dr.-Ing. Strangfeld, Peter Prof. Dr.-Ing. habil. Stopp, Horst Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg Konrad-Wachsmann-Allee 2a, 03046 Cottbus Tel.: 0355 5818 631 E-Mail: peter.strangfeld@b-tu.de www.b-tu.de</p> <p>Prof. Vöckler, Kai Archis Interventions Nordring 56, 63067 Offenbach Mobil: 0170 8134736 E-Mail: kai@voeckler.de www.kai.voeckler.de</p>
--	---

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-rahn.de www.ib-rahn.de	Dr. rer. nat. Jürgen Göske Sachverständigenbüro Dr. Göske Dorfstrasse 16 a, 91233, Neunkirchen am Sand Tel.: 09153 979995, Mobil: 0170 8001048 Fax: 09153 979994 E-Mail: juergen.goeske@expertebe.de www.schadensanalytik.eu
--	---

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-ingeneure.de www.iaf-ingeneure.de	Dipl.-Ing. Hans-Ulli Fröba Planungs- & Ingenieurbüro Fröba Sachverständiger für Schäden an Gebäuden (SVM e.V.) Bebelstr. 14, 08209 Auerbach Tel.: 03744 82650, Fax: 03744 826599 Mobil: 0172 3683324 E-Mail: info@pb-froeba.de www.pb-froeba.de
Dipl.-Ing. Michael Müller Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH Lützowstr. 70, 10785 Berlin Tel.: 030 8977470 Fax: 030 89774799 E-Mail: mail@ib-rahn.de www.ib-rahn.de	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-rahn.de www.ib-rahn.de
Dipl.-Ing. Karl-Hans Sonnabend Ing.-Büro f. Tragwerksplanung Hakenesheide 6, 48157 Münster Tel.: 0251 922299, Mobil: 0151 58744478 Fax: 0251 922297 E-Mail: info@sonnabend-statik.de www.sonnabend-statik.de	<p>Hier könnte Ihr Eintrag stehen</p>
<p>Hier könnte Ihr Eintrag stehen</p>	<p>Hier könnte Ihr Eintrag stehen</p>

III – Sachverständige

<p>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</p>	<p>Dipl.-Ing. Architekt Klaus Breitenbach ö.b.u.v. Sachverst. f. Schäden an Gebäuden IHK Wenkenstr. 9, 32105 Bad Salzuflen Tel.: 05751 96270 / 0800 BREITENBACH, Fax: 05751 962715 Mobil: 0171/6404935 E-Mail: breitenbach-architekt@t-online.de www.breitenbach-architektur.de</p>
<p>Frank Deitschun Deitschun und Partner Hermann-Böse-Str.17, 28209 Bremen Tel.: 0421 8350160, Fax: 0421 83501690 zentrale@deitschun.info www.deitschun.info</p>	<p>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</p>
<p>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</p>	<p>Dipl.-Ing. Hans-Ulli Fröba Planungs- & Ingenieurbüro Fröba Sachverständiger für Schäden an Gebäuden (SVM e.V.) Bebelstr. 14, 08209 Auerbach Tel.: 03744 82650, Fax: 03744 826599 Mobil: 0172 3683324 E-Mail: info@pb-froebea.de www.pb-froebea.de</p>
<p>Dr. rer. nat. Jürgen Göske Sachverständigenbüro Dr. Göske Dorfstrasse 16 a, 91233, Neunkirchen am Sand Tel.: 09153 979995, Mobil: 0170 8001048 Fax: 09153 979994 E-Mail: juergen.goeske@expertepte.de www.schadensanalytik.eu</p>	<p>Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause ö.b.u.v. SV f. Holz- und Bautenschutz HWK Ostmecklenburg-Vorpommern Dorfstr. 5, 18246 Groß Belitz Tel.: 038466 20591, Fax: 038466 20592 Mobil: 0173 2032827 E-Mail : post@ingkrause.de www.ingkrause.de</p>
<p>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</p>	<p>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-rahn.de www.ib-rahn.de</p>

<p>Dipl.-Ing. Michael Müller Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH Lützowstr. 70, 10785 Berlin Tel.: 030 8977470 Fax: 030 89774799 E-Mail: mail@ib-rahn.de www.ib-rahn.de</p>	<p>Dipl.-Ing. Karl-Hans Sonnabend Ing.-Büro f. Tragwerksplanung Hakenesheide 6, 48157 Münster Tel.: 0251 922299, Mobil: 0151 58744478 Fax: 0251 922297 E-Mail: info@sonnabend-statik.de www.sonnabend-statik.de</p>
<p>Kandale Bau GmbH Geschäftsführer André Ehrhardt Rostocker Str. 14. 16431 Panketal Tel.: 030 94113-626/-445 Fax: 030 94113627 E-Mail: info@kandalebau.de www.kandalebau.de</p>	<p>WEISE - Bausachverständige Dipl.-Ing. Friedrich Karl Weise Jahnstr.24, 99423 Weimar Tel.: 03643-8626-0, Fax: 03643 8626-23 E-Mail: info@weise-baugutachten.de Web: www.weise-baugutachten.de</p>
<p>Dipl.-Ing. Heinz-Josef van Aaken Ingenieurbüro für angewandte Holztechnik Gewerbering 7, 47623 Kevelaer Tel.: 02832 2090, Tel. 2: 02832 2099 Fax: 02832 1694, Mobil : 0172 2921650 E-Mail: h.j.van-aaken@van-aaken.de www.denkmalpflege.de</p>	<p>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</p>

IV- Ausführende

<p>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</p>	<p>Kandale Bau GmbH Geschäftsführer André Ehrhardt Rostocker Str. 14. 16431 Panketal Tel.: 030 94113-626 Fax: 030 94113627 E-Mail: info@kandalebau.de www.kandalebau.de</p>
<p>Schleiff Bauflächentechnik GmbH & Co. KG Bauwerksabdichtung - Mauerwerkinstandsetzung Betoninstandsetzung - Speziallösungen Ges.-Geschäftsführer Ingo Reifgerste Brüsseler Allee 15, 41812 Erkelenz Tel. : 0243196410, Fax: 0243174368 Mobil: 01722990332 E-Mail: reifgerste@schleiff.de www.schleiff.de</p>	<p>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</p>

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	<p>Hier könnte Ihr Eintrag stehen</p>
--	---------------------------------------

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	Uwe Neisius Neisius Bautenschutzprodukte Alte Gärtnerei 29, 18225 Kühlungsborn Tel.: 038293 433030, Fax: 038293 433032 Mobil: 0171 4128460 E-Mail: neisius@t-online.de www.cavastop.com
WEBAC Chemie GmbH Fahrenberg 22, 22885 Barsbüttel Tel. 040 /670570, Fax: 040 6703227 E-Mail: info@webac.de www.webac.de	Schomburg GmbH Technischer Service Bauwerksabdichtung/-instandsetzung Aquafinstr. 2 – 8, 32760 Detmold Tel.: 05231 953167, Fax: 05231 9536612 E-Mail: info@schomburg.de www.schomburg.com
Remmers GmbH Bernhard-Remmers-Str. 13, 49624 Lönningen Tel.: 05432 830, Fax: 05432 3985 E-Mail: info@remmers.de www.remmers.de	<p>Hier könnte Ihr Eintrag stehen</p>

FORUM

„Erfolgreich sanieren - normativ oder sachverständig?“ - So lautet der Titel der 28. Hanseatischen Sanierungstage, die vom 02. bis 04.11.2017 im Maritim-Hotel im Kaiserhof des Ostseebads Heringsdorf auf der Insel Usedom stattfinden und vom Bundesverband Feuchte & Altbausanierung e.V. ausgerichtet werden. Vom beispielhaften Umgang mit Baumaßnahmen im Bestand und hier auch insbesondere unter denkmalpflegerischen Aspekten über die Möglichkeit und den Sinn eines Monitorings im Rahmen der Sanierungspraxis, den Holzschutz, der Entwicklung neuer Regelwerke, der Hohlraumdämmung von Mauerwerkskonstruktionen und neuen Aspekten hinsichtlich des

Baurechts weist die Tagung wieder ein breites und vielseitiges Spektrum an Vorträgen auf. Am Sonnabend, dem 04.11.2017 hat die Tagung dann einen weiteren Höhepunkt mit dem Vertiefungsthema Innendämmung und der anschließenden Fachdiskussion. Entsprechend dem Titel der Tagung wird bei allen Themen immer wieder die Betrachtung erfolgen, ob normative Bewertung und Sachverständigenbewertung im Einklang stehen oder zum Widerspruch führen.

Zudem wird zum 16. Mal in diesem Jahr der Nachwuchsinnovationspreis Bauwerkserhaltung vom Bundesverband Feuchte & Altbausanierung verliehen. Die prämierten Beiträge finden Sie in diesem Tagungsband.



www.beuth.de



www.baufachinformation.de



www.bufas-ev.de