

Neuer Baustoff für umweltfreundliche und bautechnische Sanierung in der Denkmalpflege

Erprobung und wissenschaftliche Bewertung eines
neuen Plattenmaterials im Rahmen eines Modellprojektes
zur denkmalgerechten Sanierung eines mittelalterlichen
Handwerkerhauses in der Nürnberger Altstadt

Förderprojekt der
Deutschen Stiftung Umwelt
AZ 27918

Antragstitel:

Nutzung der Typha-Pflanze als Ausfachungsmaterial für
historische Fachwerkgebäude zur Anpassung an die Aus-
wirkungen des anthropogenen Klimawandels. Erprobung
und wissenschaftliche Bewertung des neuen Verfahrens
am Beispiel eines denkmalgeschützten Fachwerkhauses
in Nürnberg.

Inhalt

Grußwort <i>Hubert Weinzierl</i>	5
Geleitwort <i>Paul Bellendorf, DBU</i>	6
Vorwort <i>Julia Ludwar, BLfD</i>	7
Einleitung <i>Werner Theuerkorn, Antragsteller Projekt</i>	9
Anlass und Ziel des Sanierungsprojektes Pfeifergasse 9, Nürnberg <i>Inge Lauterbach, Altstadtfreunde Nürnberg e.V.</i>	12
Aufgabenstellung: Rahmenbedingungen für die Baupraxis <i>Alexandra Fritsch</i>	15
Neuer Baustoff aus Rohrkolben <i>Werner Theuerkorn</i>	20
Bestimmung von Materialkennwerten <i>Martin Mach</i>	28
Bestimmung von Materialkennwerten zur Voroptimierung des Baustoffs <i>Theo Großkinsky / Dr. Cornelia Fitz</i>	35
Aufbau der Versuchsanlage und Produktion des Plattenmaterials <i>David Theuerkorn</i>	40
Einbau des Plattenmaterials im Fachwerk als Dämmmaterial und Aussteifung und im Massivbereich als Innendämmung <i>Helmut Knodt</i>	45
Rechnerische und messtechnische Überprüfung der Wandkonstruktionen <i>Martin Krus</i>	50
Einordnung der Ergebnisse aus denkmalpflegerischer Sicht und Ausblick auf Strategien zur energetischen Sanierung in der Baudenkmalpflege <i>Uli Walter</i>	59

Projektbeteiligte

Altstadtfreunde Nürnberg e. V.

vertreten durch:

Dr. Inge Lauterbach und Karl-Heinz Enderle

Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug

vertreten durch:

Dipl.-Ing. Alexandra Fritsch und Dipl.-Ing. (FH) Helmut Knodt

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege

vertreten durch:

Dr. Bernd Vollmar, stellvertr. Generalkonservator

Dipl.-Chem. Martin Mach, Referat ZV, Laboruntersuchungen

Dr. Uli Walter, Abt. AIII, Denkmalpflegerische Betreuung

Dipl.-Ing. Julia Ludwar, Referatsleiterin Bauarchiv

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

vertreten durch:

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer, Institutsleiter

Dr. Martin Krus, Dipl.-Ing. Theo Großkinsky, Raumklimasysteme

Typha Technik und Naturbaustoffe

vertreten durch:

David und Johannes Theuerkorn

Büro für Denkmalpflege und Baustoffentwicklung

vertreten durch:

Dipl.-Ing. Werner Theuerkorn

Grußwort

Hubert Weinzierl

Auf unserer Suche nach einem materiell zukunftsfähigen, die Tiere, die Pflanzen, die Landschaften, das Klima einbeziehenden Kultur- und Wirtschaftsentswurf gibt uns die paludikulturelle Wunderpflanze Rohrkolben über seinen in diesem Heft dokumentierten Pilot-Einsatz zur Dämmung eines alten Fachwerkbaus in Nürnberg für den Bereich des Bauens und Dämmens hinaus eine Idee über ein sehr konkretes Detail eines solchen Entwurfs.

Der Rohrkolben-Bau- und Dämmstoff ist einfach herzustellen. Die jährliche Ernte von Rohrkolbenbeständen ist eine Landschaftspflegemaßnahme, die Freiflächen und Strukturvielfalt schafft und die biologische Vielfalt begünstigt. Das Material ist vollständig kompostierbar und rückführbar in den Stoffkreislauf. Rohrkolbenanbau ist aktiver Klimaschutz. Er dient der Gewässerreinigung, schafft Wasserretentionsflächen, erlaubt die Wiedervernässung drainierter Niedermoorböden und bindet in hohem Maße Kohlendioxid. Er wirkt gegen Erosion und ermöglicht eine nachhaltige Bewirtschaftung. Er sichert Landwirten dauerhaft hohe Erträge eines nachwachsenden Rohstoffes

mit noch dazu einem 4 - 5 fachen Flächenenertrag von Holz in Wäldern.

Der Kosmopolit Rohrkolben eröffnet so weltweit im Bereich der Bau- und Dämmstoffe den Einstieg in eine Kreislaufwirtschaft im Sinne eines biologischen Cradle-to-Cradle-Wirtschaftens. Seine landwirtschaftliche Nutzung fördert durch die Wiedervernässung von Niedermoorböden den Klimaschutz genauso wie der resultierende Bau- und Dämmstoff die Raumklimatisierung fördert und klimaschädliche Gebäudeenergie einspart.

Ich bin froh und stolz, dass die DBU mit dem hier dokumentierten erfolgreich abgeschlossenen Pilotprojekt exemplarisch einen ganz wesentlichen Beitrag geleistet hat zu den gesuchten neuen Lebensqualitäten, zu einer wirtschaftlichen Zukunft im Einklang mit der Natur. Ich wünsche dem Multitalent Rohrkolben in unser aller ökologischem Nachhaltigkeits-Interesse nachhaltigen ökonomischen Erfolg.

Hubert Weinzierl

Geleitwort

Paul Bellendorf

Die gebaute Substanz ist ein essentieller Teil unseres kulturellen Erbes und es sollte uns allen ein Interesse sein dieses dauerhaft zu erhalten. Durch die anstehende Energiewende werden aber an historische Altbauten neue Anforderungen gestellt, die diese von Haus aus nur schwer erfüllen können. Der allseits zu beobachtende Sanierungsaktionismus mit seinen zentimeterdicken Platten vor der Fassade macht leider auch vor historischen Altbauten nicht halt. Es müssen neue Materialien und Konzepte entwickelt werden, die eine denkmalverträgliche Optimierung der Bauhülle zulassen.

Der anthropogene Klimawandel führt u. a. zu einer Verschiebung in den Niederschlagsmustern. Diese Entwicklung wird insbesondere Gebäude aus Fachwerk, die eine hohe Feuchteanfälligkeit besitzen, betreffen. Die Projektgruppe erprobte daher den Einsatz eines aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnenen Dämmstoffes (Typha-Platten), um ein den Gegebenheiten angepasstes und auf die sich bereits abzeichnenden Probleme eingestelltes Material anbieten zu können.

Die vorliegende Maßnahme stellt eine vorbildliche Querschnittsmaßnahme dar, die unter Beachtung unterschiedlichster Umweltgesichtspunkte eine aktuelle Lösung für ein komplexes Problem vorlegt. Die unter den Zeichen des Klimawandels notwendige Anpassung historischer Gebäude konnte unter der Nutzung eines Materials, das gut in den historischen und inhomogenen Bauverbund von in mehreren Jahrhunderten gewachsener Gebäude eingebracht werden kann und das über sehr günstige Materialparameter verfügt, erreicht werden. Neben der natürlichen Entstehung der Produktrohstoffe, die einen

günstigen Umweltfaktor darstellen, ist darüber hinaus insbesondere die gute Eignung des Materials als Dämmstoff zu nennen, womit eine ebenfalls drängende Frage, die der energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Fachwerkgebäuden, in Teilen lösbar zu sein scheint. Die Nutzung des Materials begünstigt darüber hinaus kleine und mittelständische Unternehmen, die hier eine Produktnische besetzen können.

Als kompetente Partner standen dem Antragsteller, das Büro für Denkmalpflege und Baustoffentwicklung in Postmünster, das Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen, das Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug, die Firma Typha-Technik GbR, das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege und ganz besonders der Verein der Altstadtfreunde Nürnberg e.V., als Hausherr, zur Verfügung. Das nun abgeschlossene Projekt an der Pfeiffergasse 9 zeigt deutlich, dass die Magnesitgebundenen Typha-Platten ein geeignetes Innendämmmaterial auch und besonders für denkmalgeschützte Bausubstanz ist, welche ein hohes, leider noch allzu sehr schlummerndes, Potential in sich bergen. Wir freuen uns über den Erfolg der modellhaften Maßnahme und hoffen damit einen Beitrag geleistet zu haben, dass das schlummernde Potential der Typha-Platten geweckt wurde und in Zukunft auch andernorts Anwendung findet.

Dr. Paul Bellendorf
Förderungsbereich „Umwelt und Kulturgüter“ der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Vorwort

Julia Ludwar

Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung sind für Denkmalpfleger keine neuen Vokabeln. Das Prinzip des Bewahrens von historischem Baubestand, das Prinzip des Reparierens statt des Abreißens und die Verwendung regional verfügbarer Ressourcen sind seit jeher Leitlinien denkmalpflegerischen Handelns. Nachhaltigkeit war und ist somit ein Hauptanliegen der Denkmalpflege und zwar schon lange, bevor der Begriff in heutiger Zeit geradezu inflationäre Verbreitung gefunden hat. Schon aus diesem Grund kann und will sich die Denkmalpflege den nachvollziehbaren Anliegen der Nutzer nach einem bezahlbaren Gebäudebetrieb in Zeiten steigender Energiepreise nicht verschließen. Immer öfter sind daher Fragen zur möglichen Verbesserung der Energieeffizienz auch von denkmalgeschützten Gebäuden zu beantworten. Dabei ist stets ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der alle Aspekte eines Gebäudes mit einbezieht, darunter auch die im historischen Bestand bereits gespeicherte graue Energie, eine realistische Betrachtung der energetischen Voraussetzungen, die ein Gebäude mitbringt, das Nutzerverhalten, mögliche kompensatorische Maßnahmen und allen voran die zu schützenden Denkmalwerte.

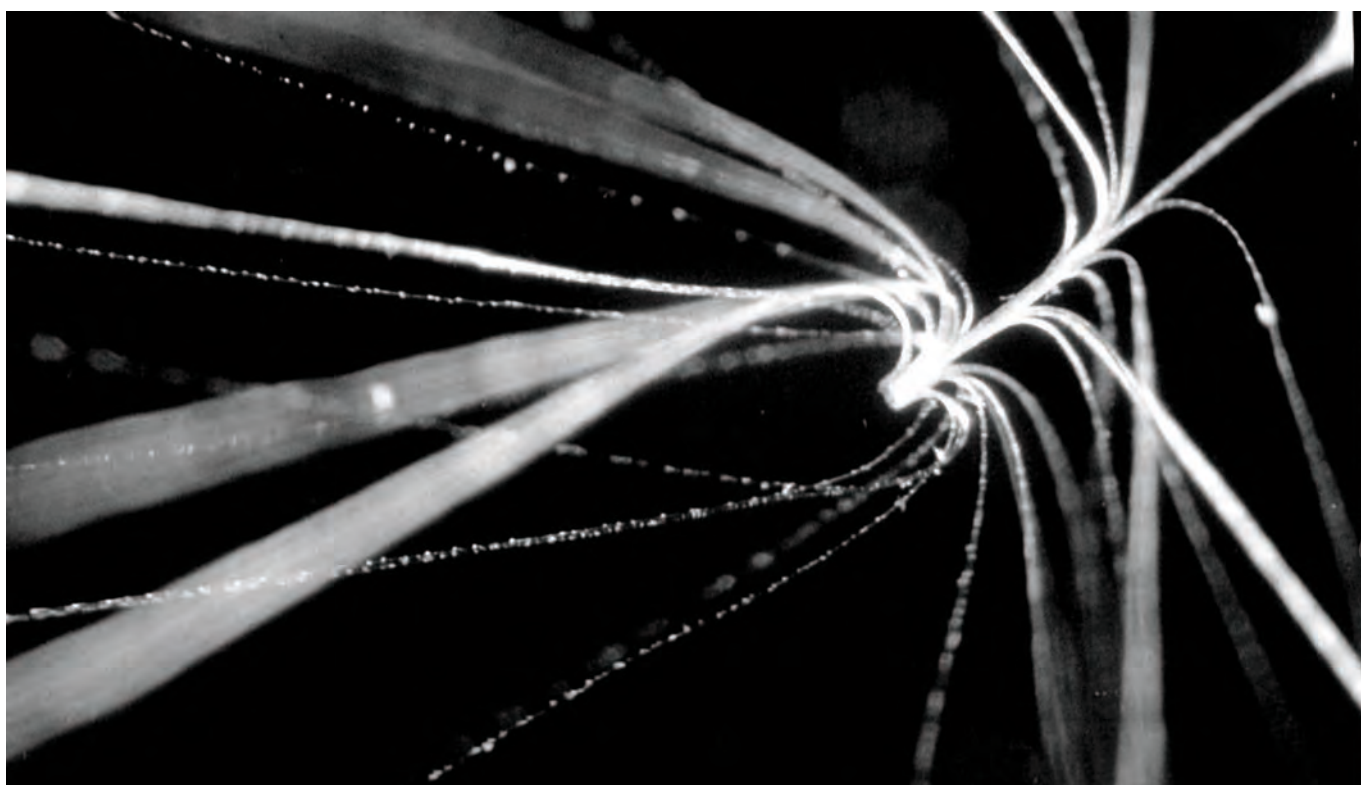
Zu den Aspekten der Nachhaltigkeit muss heute in Zeiten immer schnelleren Flächenverbrauchs und immer weiter wachsenden Ausstoßes von Industrieprodukten – im Dämmstoffsektor nimmt dabei immer noch die chemische Industrie mit den erdölbasierten Dämmstoffen den Löwenanteil des Marktes ein – mehr denn je die ökonomische wie ökologische Gesamtbilanz der verwendeten Produkte beachtet werden. Besonders beängstigend ist auch der Umbau der Landwirtschaft in eine intensivierte Bewirtschaftung der Flächen z.B. durch Energiepflanzenanbau. Es sind daher auch in diesem Bereich ganzheitliche Lösungsansätze gefragt.

Mit dem Typha-Material – egal ob als Plattenmaterial oder im Mörtel verwendet – steht nun ein Werkstoff zur Verfügung, der auch tatsächlich die Bezeichnung „nachhaltig“ verdient. Denn beim Typha-Board wird der

Stoffkreislauf in vorbildlicher Weise durchlaufen: vom regional möglichen Anbau des Rohmaterials bis hin zur Schadstofffreiheit, welche auch eine spätere Entsorgung vereinfacht. Zudem bietet der Anbau von Typha Chancen in vielfacher Hinsicht: Rohrkolbenbestände sind inzwischen selten geworden. Sie dienen zahlreichen ebenfalls besonders seltenen Tierarten als sommerlicher Lebensraum. Die Ernte des Rohrkolbens erfolgt traditionell im Winter und beeinträchtigt die sensiblen Lebensgemeinschaften des Sommers nicht. Zudem können Rohrkolbenpflanzungen zur natürlichen Klärung von Abwässern eingesetzt werden.

Bauphysikalisch hat das Material im vorliegenden Projekt einer Fachwerkinstandsetzung Vorteile gegenüber anderen Dämmstoffen gezeigt. Insbesondere die Vielseitigkeit der Einsatzmöglichkeiten machen Typha im historischen Baubestand interessant. Für Bauherren und Nutzer dürften die brandschutztechnischen Eigenschaften das Material besonders attraktiv machen: Gerade die Verwendung von regionalen, nachwachsenden Rohstoffen wie Holz, Lehm und Stroh macht für viele Besitzer von Fachwerkgebäuden die Faszination dieser Bauweise aus. Der Griff zu Dämmmaterialien aus eben solchen nachwachsenden, natürlichen Rohstoffen ist daher sehr nachvollziehbar, erforderte bisher aber meist einen Kompromiss, da andere organische Faserdämmstoffe in der Regel aus Brandschutzgründen mit Flammschutzmitteln und mit Bioziden gegen Ungezieferbefall behandelt werden. Mit dem Typha-Board steht nun ein Material mit natürlich flammhemmenden Eigenschaften zur Verfügung, dem eine weite Verbreitung im Bereich der Instandsetzung und energetischen Ertüchtigung insbesondere von Holz- und Fachwerkbauten zu wünschen ist.

Dipl.-Ing. Julia Ludwar M.A.,
Leiterin des Fortbildungs- und Beratungszentrums
für Denkmalpflege - Bayerisches Bauarchiv
Thierhaupten (Bayer. Landesamt für
Denkmalpflege)



Einleitung

Werner Theuerkorn

Entwicklung der Nutzung von Typha für Bauzwecke

Der Beginn der Idee, Rohrkolben für Baustoffe zu nutzen war eine Zufallsentdeckung vor 25 Jahren bei der Suche nach einer geeigneten Faserverstärkung für belastbare Lehmputze. Sie waren gedacht als Fortführung der traditionellen, holzschützenden Innen – und z.T. auch Außenputze auf Holzblockhäusern. Sie sollten dabei ökonomisch schneller und einfacher aufgebracht werden können.

Dazu mussten die Massen wesentlich gemagert werden. Die so fehlende Bindigkeit sollte mit einer leicht einmischbaren Feinfaser ergänzt werden.

Die Samenflugschirmchen von *Typha latifolia* erwiesen sich für den Zweck als Glückstreffer und als Faserbündel von ca. 60 Einzelfasern der Palette der Synthetikfasern in vieler Hinsicht überlegen. Die Vorstellung von der Rückführbarkeit in den Stoffkreislauf war von da an ein wichtiger Begleiter bei der Entwicklung von Materialien, die ja zunächst und vor allem zum Einsatz im Gleichklang mit historischer Bausubstanz entwickelt wurde.

Eine kleine Eigenproduktion mit einfachen Mitteln erlaubte den erfolgreichen Praxistest an ca. fünfzig, meist denkmalgeschützten Objekten. Eine mit der Fraunhofer Gesellschaft geförderte Patentanmeldung, daraus sich entwickelndes Interesse von industriellen Produzenten und schließlich eine gewisse Verbreitung der Nutzungsidee durch die Putzproduktion führten bald zur Beschäftigung mit der Pflanze selbst. Im Blick waren ihre Verarbeitung, ihre

Wachstumsbedingungen, ihre Erträge und vor allem die Eigenschaften der Blattmasse, die bei weitem den Hauptanteil der oberirdischen Biomasse ausmacht.

Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse ließen die vorausgegangenen Produkte in den Hintergrund treten – allein wegen der begrenzten

Möglichkeiten einer nicht von der Industrie gestützten Entwicklung, die im „Nebenberuf“ geleistet werden musste. Erst im Laufe des hier dargestellten von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts gewannen diese und spätere Nebenaspekte wieder aktuelle Bedeutung.

Jene strukturellen Eigenschaften der Typha-Blattmasse, die für die Entwicklung neuer Baustoffe interessant sind, sollen hier nur kurz angerissen werden, soweit sie für die Darstellung der Entwicklungslinie erforderlich sind:

- niedriges spezifisches Gewicht von ca. 40 kg/m³ auf Grund eines Schwammgewebes, das die Blattkammern ausfüllt
- ein komplexes und zugleich stabiles Stützgewebe, das hohe Druck- und Zugfestigkeit der Blätter in Richtung ihrer Achsen bewirkt, dabei aber elastische Verformbarkeit schon durch geringe Drücke senkrecht auf die Blattachsen erlaubt
- Spaltbarkeit der Blätter in Längsrichtung mit einfachen Mitteln. Sie ist für die schwammige Masse überraschend und dabei aber Voraussetzung für die Erzeugung weitgehend symmetrischer, stabförmiger Partikel, welche die o. g. strukturellen Eigenschaften behalten. Sie stellen somit den eigentlichen, industriell verwertbaren Rohstoff dar.

Linke Seite oben:
Aufplatzender Samen-
stand von Rohrkolben,
Foto Werner Theuerkorn

Linke Seite unten:
einzelnes Samenflug-
schirmchen als Faser-
bündel, Foto Werner
Theuerkorn

Bei dieser Strukturanalyse schien zunächst eine Sandwichkonstruktion mit voneinander abgegrenzten Funktionsbereichen naheliegend, die alle bei entsprechender Verklebung mit Typha-Partikeln technisch schlüssig bedient werden:

- Die Deckschichten aus regellos oder auch mit Richtungsbevorzugung ausgeworfenen, beleimten Stabpartikeln mit relativ hohem Drücken aufgepresst.
- Die Kernschichten mit ihren zur Plattenebene senkrecht stehenden Blattabschnitten, die wenig verdichtet sind.

Sandwich-Platten, Foto
Werner Theuerkorn



Dieses Sandwich vermag, was die Biegesteifigkeit betrifft, bei geringem Gewicht erstaunliches zu leisten und dürfte nach wie vor das Material sein mit dem günstigsten Verhältnis von Durchbiegung zu Gewicht. Es überzeugt auf den ersten Blick und war die Basis zu einer Anregung, ein Förderprojekt bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zu beantragen zur Klärung der mit dem Anbau verbundenen Fragen.

Dies kam 1998 zu Stande nach einer Patentanmeldung 1997, welche noch rasch die grundsätzlichen Rechte an bis dahin erkannten Möglichkeiten sichern sollte. Unter der Leitung des Lehrstuhls für Vegetationsökologie Prof. Dr. J. Pfadenhauer und Dr. Ulrich Wild der Technischen Universität München wurden bei einer Fördersumme von knapp 2 Mio. DM mit großem Erfolg die wesentlichen Fragen geklärt, die mit der Etablierung von Typha-Beständen in Grundwassermooren verbunden sind. Wie oft bei solchen Projekten rückten die vegetationsökologischen Aspekte soweit in den Vordergrund, dass man sich im Verwertungsteil mit der Beantwortung von Fragen der

regellos ausgeworfene
Stabpartikel, Foto Werner
Theuerkorn

Erntetechnik, der möglichen Beimischung von Typha zu marktgängigen Produkten und der Entwicklung eines Einblasdämmstoffs begnügen musste.

Als im Nachgang Interesse von mehreren Seiten für das Rohrkolbenthema erwachte, zeigte sich, dass die bis dahin entwickelten Produktlinien nicht geeignet waren, die Hürden bei Industrie und Landwirtschaft zu überwinden:

Der Einblasdämmstoff konnte das nicht leisten, obwohl erfolgreich beim „Haus im Moos“ getestet, weil der Rohstoff im Vergleich mit Abfällen der Papierproduktion nicht konkurrenzfähig war. Die Beimischung zu Produkten, die auf dem Markt etabliert waren, stieß vor allem auf die Bedenken, mit der Beimischung von Typha der eigenen Produktgrundlage Konkurrenz zu machen.

Was das Sandwich betraf, das ja am deutlichsten die Alleinstellungsvorteile durch die Verwendung von Typha aufweist, erwies sich das erforderliche enorme Anfangsinvestitionsvolumen für eine Produktion als entscheidendes Hindernis: Die Industrie forderte bei so hohen Einstiegssummen Garantien für die Belieferung in ausreichenden Rohstoffmengen; die Landwirtschaft war, auf Grund der zu erwartenden, hohen Hektarerlöse sehr wohlgewillt in den Anbau vor allem auf Niedermoorböden einzusteigen, verlangte aber Abnahmegarantien, möglichst auch noch von staatlicher Seite.

Dieses Henne-Ei-Problem begann sich erst einer Lösung zu nähern, als sich im Verlauf der nächsten Jahre die Idee für ein neues Produkt aus Rohrkolben Blattpartikeln entwickelte, das einfacher herzustellen war als das Sandwich: Kein Komplizierter Schichtaufbau, keine Parallelordnung in der Kernschicht, nur regelloses Ausstreuen der beleimten Partikel parallel zur Plattenebene und mäßiges Verdichten.



Was zunächst als die weniger attraktive Low-tec Möglichkeit dastand, gewann einige Jahre später neue Bedeutung im Rahmen dieses aktuellen zweiten DBU-Projekts.

Das neue Produkt diente zunächst als einer der Vorschläge, mit denen man 1997 in ein tech 2b-Projekt in Österreich eintrat. Dabei wurde die Tauglichkeit von Typha für Wärmedämmverbundsysteme ausgelotet. Es zeigte sich, dass wegen der strengen Anforderungen an Wärmedämmverbundsysteme bezüglich der Quellfähigkeit eine Verwendung des Baustoffs nicht in Frage kam.

Wichtig in diesem Zusammenhang war mehr die Tatsache, dass die messtechnischen Versuche vom Fraunhofer Institut für Bauphysik gemacht wurden und von da an eine gemeinsame Weiterentwicklung der Produktlinien mit anderem Fokus angegangen wurde, vor allem der Verwendung als Massivbaustoff.

In dieser Zeit kam die Anfrage von Alexandra Fritsch vom Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug in Nürnberg, die die Baustoffentwicklung seit Jahren beobachtet hatte. Sie wollte herausfinden, ob man für ein denkmalgeschütztes Gebäude in der Altstadt einen Baustoff als Ausfachungsmaterial und Innendämmung generieren könnte, an den sich sehr spezielle Anforderungen richten würden: Erfüllung der EnEV 2009 bei einer Wandstärke unter 20 cm, Aussteifung der Gefache, homogener Wandaufbau ohne Hilfskonstruktionen, diffusionsoffen und kombinierbar mit historischen Gefachefüllungen; schlicht ein Katalog von Forderungen, die von den marktgängigen Produkten nicht erfüllbar waren.

Die Abwägung der Chancen, mit der neuen Produktidee in die Reichweite dieser Anforderung zu kommen, geschah zusammen mit dem Fraunhofer Institut für Bauphysik. Sie erforderte weitere Versuche vor allem in Richtung der

erforderlichen Quell- und Putzmörtel und führte zu vorsichtigem Optimismus. Es war bald klar, dass eine definitive Antwort auf die gestellten Fragen nur im Rahmen eines geförderten Projekts möglich sein würde, mit gemeinsamer Anstrengung und Risikobereitschaft aller Beteiligten: Die Altstadtfreunde Nürnberg als Bauherr, das Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug als Planer, das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege, das Fraunhofer-Institut für Bauphysik, die Firma Typha-Technik als Materiallieferant und das Büro Theuerkorn als Initiator und Antragsteller.

Ein einige Jahre zurückliegender Hinweis von Dr. Stock, dass von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt eventuell eine Weiterführung des Donaumoosprojekts in Richtung Produktentwicklung gefördert werden könnte, führte zur Aufnahme eines Kontakts mit Herrn Töpfer. Erst mit seiner geduligen und wirksamen Hilfe gelang es, den Förderantrag zu stellen wie er dann im Jahr 2010 genehmigt wurde.

Betrachtet man das Projektergebnis kann man feststellen, dass sich Engagement und Risikobereitschaft gelohnt haben. Es gibt nunmehr sehr konkrete Erkenntnisse bezüglich eines Baustoffs, mit dem man manche Zukunftsaufgaben anders und besser lösen kann als mit den bisher zur Verfügung stehenden Mitteln.

„Alles muss sich ändern, damit es bleiben kann, wie es ist.“

Dieser paradox anmutende Satz gilt auch für den Einsatz von Baustoffen:

Wir haben allen Anlass uns abzuwenden von einer sektorisierenden Betrachtungsweise, bei der ein lösbar erscheinendes Problem das nächste unlösbare in sich trägt. Wir brauchen Ansätze, die umfassend genug sind, unsere Lebensgrundlagen im Auge zu behalten.



Links:
Kolloquium 5.10.2011,
I. Lauterbach, L. Töpfer,
M. Krus, Foto A. Fritsch

Rechts:
Schlußkolloquium
17.9.2012 P. Bellendorf,
D.Theuerkorn, M. Krus,
H. Knodt, N. Lenk, I.
Lauterbach

Anlass und Ziel des Sanierungsprojektes Pfeifergasse 9, Nürnberg

Inge Lauterbach

Pfeifergasse 9 – die nachhaltige Sanierung eines Baudenkmals

Die Nürnberger Altstadt wurde im Zweiten Weltkrieg zu etwa 90% zerstört und damit auch ein Großteil des historischen Baubestandes. Während die wichtigsten öffentlichen Gebäude wieder aufgebaut wurden, waren die verbliebenen privaten Wohnhäuser vielfach dem Verfall preisgegeben. Seit 1973 haben sich die Altstadtfreunde Nürnberg e.V. für den Erhalt solcher Gebäude eingesetzt und seither 24 Baudenkmäler gerettet. Davon wurden 18 in Eigenleistung denkmalgerecht wieder hergerichtet, die übrigen an sanierungswillige Privatpersonen weiter vermittelt.

Die Pfeifergasse 9

Mit der letzten Stadtumwallung entstanden im 15. Jahrhundert im Jakober Viertel der Nürnberger Altstadt kleine, fachwerksichtige

Handwerkerhäuser mit begrünten Innenhöfen. Das Anwesen Pfeifergasse 9 mit Vorder- und Rückgebäude – das jüngste Sanierungsobjekt der Altstadtfreunde – stammt im Kern aus dieser Zeit, der vorwiegende Fachwerkbestand datiert jedoch ins 17. Jahrhundert. Im Zuge von Bauveränderungen und Nachverdichtungen wurden umfassende Reparaturen an den Fachwerkfassaden vorgenommen und ergänzende Seiten- und Rückgebäude angefügt. Das Anwesen liegt im Bereich des Stadterneuerungsgebietes Altstadt-Süd. Um das leer stehende, stark geschädigte Baudenkmal zu retten und einen weiteren Beitrag zur Verbesserung der Wohnqualität im Jakober Viertel zu leisten, haben die Altstadtfreunde es 2003 erworben und ab 2008 saniert.

Wie bei allen Sanierungen der Altstadtfreunde stand die Sicherung und nachhaltige

Links:
Straßenansicht Bestand
2003, Foto Alexandra
Fritsch

Rechts:
Straßenansicht nach der
Sanierung 2011, Foto
Alexandra Fritsch



Instandsetzung des Baudenkmals bei maximalem Erhalt originaler Bausubstanz im Vordergrund, aber ebenso der Beitrag zur Stadterneuerung, d.h. die Schaffung von Wohnraum mit heutigem Wohnkomfort und die Stadtbildpflege.

Als neue Herausforderung kam in den letzten Jahrzehnten die energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden hinzu, um sowohl die Fachwerksichtigkeit der Fassade für das Stadtbild zu erhalten, als auch einen Beitrag zur Energieeinsparung zu leisten. Nach Voruntersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege und des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik boten die von der Firma Typha-Technik neu entwickelten Materialien die Möglichkeit, eine denkmalgerechte und zugleich nachhaltige Gebäudesanierung zu erzielen und damit die Vereinbarkeit von Denkmalschutz und energetischer Nachrüstung nachzuweisen.

Darüber hinaus erfüllen eine zeitgemäße, qualitätsvolle Ausstattung wie Galerieanbauten und moderne Sanitär- und Kücheneinrichtungen heutige Wohnansprüche. Wohnbehaglichkeit bieten die Räume mit dem ökologischen Wandkonzept einschließlich Wandbeheizung und der Verwendung biologischer Baumaterialien bis hin zu den Farbanstrichen.

Mit der Instandsetzung des Anwesens Pfeifergasse 9 wurde erneut ein Denkmal gerettet und die Stadtreparatur in einem nach dem Krieg vergessenen Altstadtbereich fortgeführt. Vom Gelingen der Sanierung haben sich bei der Einweihung neben Oberbürgermeister Dr. Ulrich Maly, Staatsminister Dr. Wolfgang Heubisch und Landeskonservator Prof. Dr. Egon Greipl auch Tausende Nürnberger Bürger überzeugt.



Links:
Hofansicht Bestand 2003,
Foto Alexandra Fritsch

Rechts:
Hofansicht nach der
Sanierung 2011, Foto
Johannes Fritsch



Aufgabenstellung: Rahmenbedingungen für die Baupraxis

Alexandra Fritsch

Einleitung:

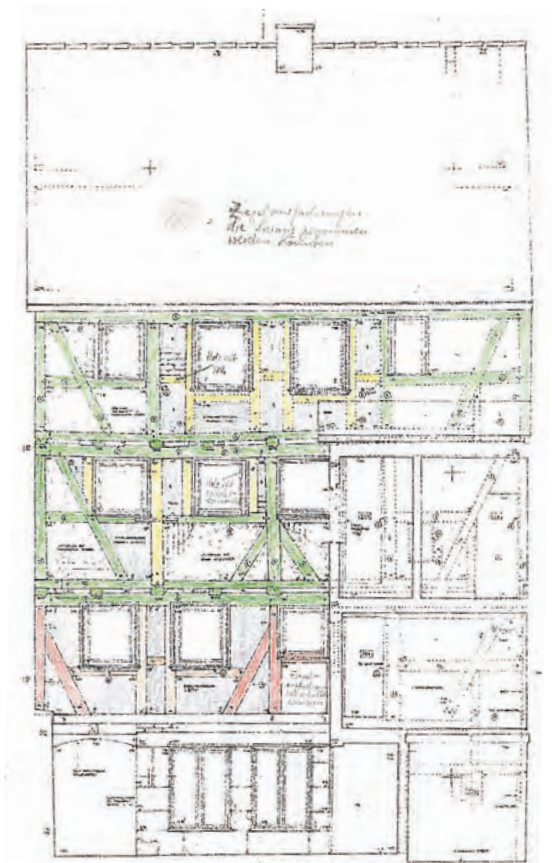
Die energetische, denkmal- und umweltgerechte Sanierung des Anwesens Pfeifergasse 9 stellte Eigentümer und Planer vor eine anspruchsvolle und komplexe Aufgabe.

Zur Einhaltung der Energieeinsparverordnung 2009 mit einer fachwerksichtigen Außenwandkonstruktion als Zielvorgabe waren modellhaft neue Lösungsansätze zu entwickeln. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Planern, Statikern, Bauphysikern, Produkthersteller, Denkmalpflegern und Eigentümer wurden im Rahmen des DBU Projektes innovative Wege aufgezeigt, die das historische Erscheinungsbild wahren und hierbei Fassade und Gebäudesubstanz denkmalgerecht weiterentwickeln.

Die Aufgabe erforderte hierbei die Abkehr von der einseitigen Betrachtung des Dämmens und die Suche nach einem ganzheitlichen Ansatz zur Konsolidierung der Denkmalsubstanz im Zusammenspiel mit den Erfordernissen der Energieeffizienz, der Statik, der Bauphysik sowie des Klima- und Umweltschutzes.

Die Bauanalyse als Handlungsgrundlage

Planungsgrundlage waren restauratorische und bautechnische Analysen. Hierdurch wurden strukturelle Defizite des Gebäudes benannt, die durch die bauzeitliche Gebäudeanlage, Bauveränderungen und durch Klimaeinflüsse zu konstruktiven Problemen, Materialschäden und Materialverlusten geführt hatten.



Links:
Analyse der Fachwerkkonstruktion der Hoffassade, Baualtersplan Eberhard Holter

Rechts:
Vorzustand der Hoffassade, Foto Alexandra Fritsch

Linke Seite:
Fertiggestellte Fachwerkwand der Hoffassade, Foto Johannes Fritsch

Links und Rechts:
Originaler Materialbe-
stand, Foto: Alexandra
Fritsch

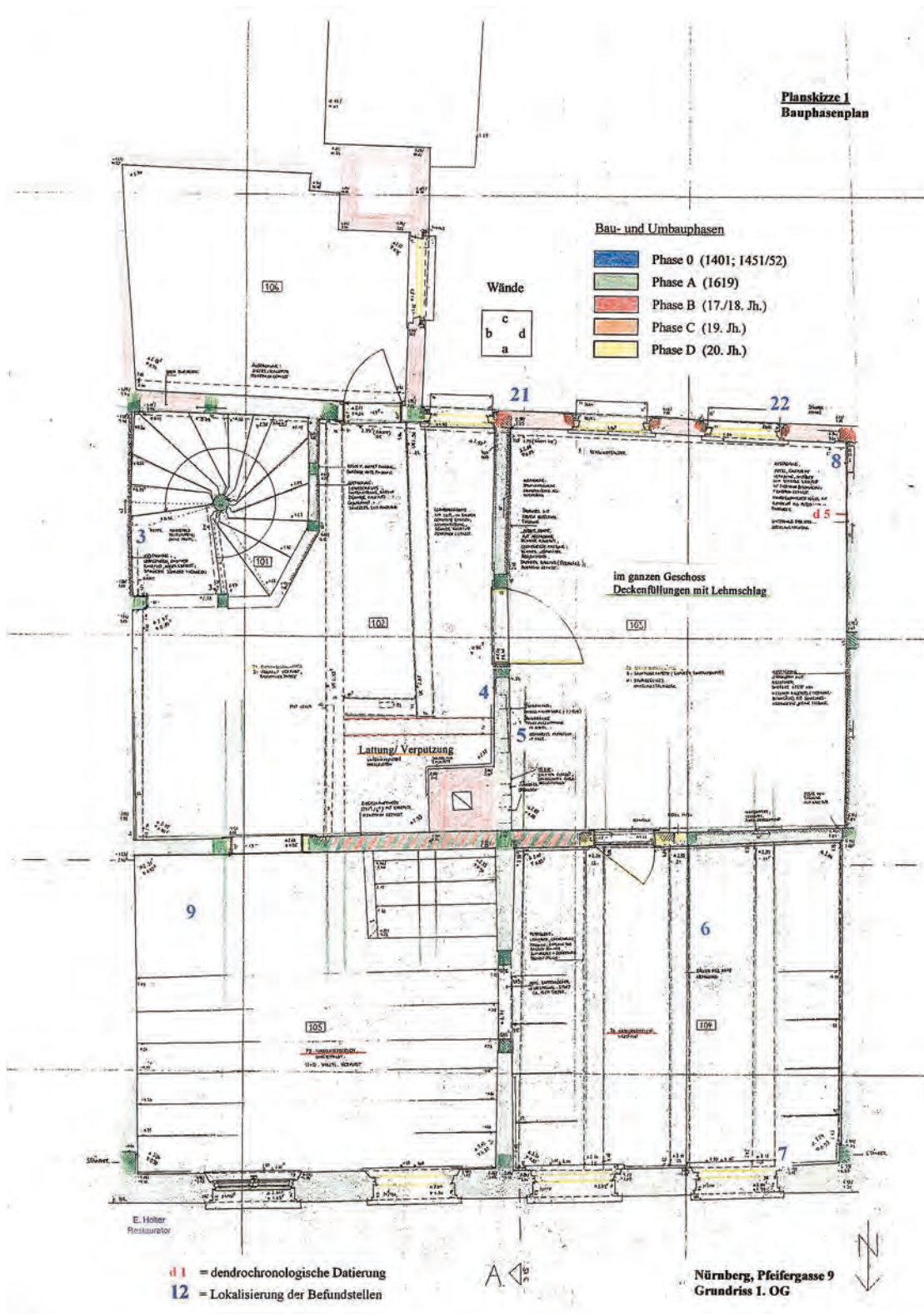


Unten:
Verformungen durch
assymetrischen Gebäu-
deaufbau mit Frackdach,
Plangrundlage Martina
Engelhardt

Planungsrelevante Gebäudemerkmale waren die kleinen Raumzuschnitte der Grundrissanlage mit 12-16 m² mit dünnen, nicht fluchtgerechten Außenwänden. Das asymmetrisch aufgebaute Gebäude mit einem Frackdach, massivem Unterbau und Fachwerkgeschossen zeigte starke Verformungen und Defizite in der Bauwerksaussteifung.

Die vorgefundenen Baumaterialien waren im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss der Straßenseite Sandstein und Mischmauerwerk, die Fachwerkwände der Obergeschosse und die Geschossdecken waren noch teilweise mit dem originalen Lehmflechtwerk oder Lehmwickeln, aber auch mit Vollziegeln und diversen neuzeitlichen Reparaturmaterialien verschiedener Instandsetzungsmaßnahmen ausgefüllt.





Bestandsaufnahme der
Konstruktion und Grund-
rissstruktur, Baualtersplan
Eberhard Holter

Baufaufgabe und Materialanforderungen

Das durch die Analysen definierte Anforderungsprofil war:
 Erhalt historischer Ausfachungen mit materialverträglicher, statischer und wärmetechnischer Aufwertung und Ersatz für umweltgeschädigte, technisch mangelhafte Gefachefüllungen.
 Herstellen einer homogenen Außenwandkonstruktion mit einem Material, das als Gefache- und Innendämmung von Fachwerk dienen und dabei die Funktion der Gefügeaussteifung übernehmen konnte. Der Wandaufbau sollte mit einer Wandheizung jedoch ohne Dampfsperre konzipiert werden, um ein gesundes Wohnklima zu schaffen und Folgeschäden durch Verletzung der Sperrschicht bei Installationseinbauten zu vermeiden.
 Es waren geringe Außenwandstärken von maximal 20 cm erforderlich, um die Flächenbilanz der Wohnungen nicht weiter zu verringern. Das Baumaterial selbst sollte an die verformte, unregelmäßige Fachwerkkonstruktion anpassbar und mit geringstmöglichem Wassereintrag einbaubar sein, um historische Lehmkonstruktionen zu schützen und Reversibilität an Putz- und Malschichten des Bestandes herzustellen.
 Für die Massivwände war ein diffusionsoffenes Innendämmsystem sowie für die Fachwerkbrandwände ein geeignetes Ausfachungsmaterial zu suchen.

Ein geregelter Feuchteaustausch und Schimmelresistenz bei Sichtfachwerk und Innendämmung der Konstruktion stellten weiterhin die zentrale Frage nach der richtigen Baustoffwahl.

Baustoffevaluierung und Baustoffwahl

Das stets wachsende Angebot moderner und scheinbar billiger Baustoffe stellt einen Bruch in der Tradition der Bauausführung dar und erfordert vor ihrem Einsatz am Baudenkmal einer gründlichen Evaluierung, um Folgeschäden zu vermeiden.

Im Falle der Baustoffevaluierung für die Pfeifergasse 9 wurde auf das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte

Bild links oben:
 originale Ausfachung mit
 Lehmflechtwerk, Foto
 Alexandra Fritsch



Bild links unten:
 Mischung von Reparatur-
 materialien schädigten das
 Baugefüge, Foto Alexand-
 ra Fritsch



Bild rechts:
 Magnesitgebundene
 Typha-Platte, Foto Typha-
 Technik



Projekt „Ökologisches Pilotprojekt unter wissenschaftlicher Begleitung Lange Gasse 7 in Quedlinburg“ aufgebaut, dem eine ähnliche Aufgabenstellung zu Grunde lag. Dies waren die Aspekte größtmöglicher Erhalt der Originalsubstanz, Verwendung ökologischer Baustoffe in Kombination mit Innendämmsystemen und Wandheizung. Die durch das Fachwerkzentrum Quedlinburg durchgeführte wissenschaftliche Studie untersuchte vier verschiedene ausgewählte Baumaterialien, welche in einem Modellobjekt eingebaut und bezüglich ihrer Auswirkung auf Bausubstanz und Energieverbrauch messtechnisch und technologisch bewertet wurden.

Das vorab geschilderte Anforderungsprofil für die Pfeifergasse 9 konnte mit den Materialien der Quedlinburger Studie nur teilweise erfüllt werden.

Die Anknüpfung an das Rohrkolbenprojekt Donaumoos, ein weiteres DBU Förderprojekt der Jahre 1997-1999, half bei der weiterführenden Materialsuche. Hier wurden bereits Plattenwerkstoffe und Plattenelemente aus Rohrkolben (Typha) vorgestellt, die in die Betrachtungen einbezogen wurden. Für diese gab es in der Zwischenzeit eine Weiterentwicklung als Magnesit gebundener Plattenwerkstoff. Es lagen für diesen bereits an Probekörpern ermittelte Kennwerte zu dynamischer Steifigkeit, Diffusionsoffenheit, Wärmedämmwert, Schimmel- und Brandresistenz vor, welche das Fraunhofer Institut für Bauphysik ermittelt hatte und damit einen neuen Ansatz in den Materialeigenschaften zeigte.

Ergebnis der Prüfung auf Materialeignung für die Pfeifergasse

Die in Quedlinburg bewerteten ökologischen Marktprodukte sind vorwiegend nur lot- und fluchtrecht einbaubar. Bei Wandstärken von 250-375 mm erreichen sie das Ziel EneV2009 nicht. Sie erfordern zum Teil statische Zusatzmaßnahmen zur Lastabtragung. Der Feuchteintrag beim Einbau von Lehmbauprodukten ist problematisch im gesamten Bauablauf sowie in seiner Auswirkung auf die Fachwerkhölzer, die historischen Lehmgefache und Putze. Die Notwendigkeit des Einsatzes kunststoffhaltiger Spachtelmassen oder Kleber zur Befestigung und Herstellung der Hohlraumfreiheit erfüllen nicht die Anforderung an Reversibilität und ökologischen Gleichklang mit den historischen Bauteilen.

Die Magnesit gebundene Typhaplatte zeigt erstmals an einem Produkt gute Dämmeigenschaft ($\lambda = 0,052$) vereint mit hoher, statischer Belastbarkeit in Plattenebene ($\sigma > 0,5 \text{ N/mm}^2$), die eine sehr schlanke, homogene Wandkonstruktion ermöglicht und zur Gefügeaussteifung beiträgt. Unter minimalem Feuchteintrag ist sie in die verformte Wandkonstruktion ohne Hilfskonstruktion integrierbar. Vorteilhaft ist hierbei die einfache Verarbeitbarkeit des Materials mit allen gängigen Holzbearbeitungswerkzeugen. Der Einbau ist reversibel mit Schraubverbindungen ohne Zusatz von Klebern oder Füllstoffen herstellbar. Die erforderliche Fugendichtigkeit ist in einem Produktsystem mit Typha-Fugenquellmörtel zu erreichen.

Das Plattenmaterial hat Putzträger-eigenschaft und kann direkt mit Wandheizungssystemen bestückt werden.

Das Naturprodukt Rohrkolben (Typha) ist als ergänzendes Material innerhalb eines Gefaches mit Lehmflechtwerk und Lehmputz verträglich einsetzbar.

Fazit:

Die Rohrkolbenplatte zeigte vorab Vorteile, die Anlass gaben, diese bei der Sanierung der Pfeifergasse einzusetzen. Sie gab zusätzlich die Möglichkeit des breitgefächerten Einsatzes bei Fachwerk, Massivwand und Brandwand.

Der neue Baustoff wurde im Rahmen des DBU-Projektes in gleicher Weise wie in Quedlinburg evaluiert und somit die Grundlage für einen Vergleich in Einzelaspekten sowie im Gesamten geschaffen.



messtechnische Evaluierung, Foto Alexandra Fritsch

Neuer Baustoff aus Rohrkolben

Werner Theuerkorn

Kultivierung

Vorkommen

Rohrkolben (botanisch *Typha spec.*) ist eine ausdauernde Sumpfpflanze, die in 10-15 verschiedenen Arten weltweit von der tropischen bis in die gemäßigte Zone verbreitet ist. Kultiviert werden die in Mitteleuropa häufigen Arten *Typha angustifolia* – schmalblättriger Rohrkolben- und *Typha latifolia* – breitblättriger Rohrkolben. Eine Florenverfälschung ist damit ausgeschlossen. Beide Arten bilden in unseren Breiten bis zu 3m hohe, sehr dichte Bestände; die Konkurrenz anderer Pflanzen ist deshalb unbedeutend. Da die Wildpflanze in natürlichen Reinbeständen gedeiht, sind auch beim Anbau keine Probleme wie Bodenmüdigkeit u. ä. zu erwarten.

Typha Bestand Donau-
moos, Foto TU München



Produktivität

Mit einer oberirdischen Biomassenproduktion bis zu 25 t Trockenmasse pro Hektar und Jahr übertrifft der Rohrkolben fast alle landwirtschaftlichen Kulturen der gemäßigten Zone. Sie entspricht der Produktivität (und

damit auch der CO₂-Bindung) des tropischen Regenwaldes. Vom Erntegewicht entfallen bis zu 2 t/ha auf die Samenstände, die einer gesonderten Verwertung zugeführt werden.

Dauerkultur

Nach Etablierung des Bestandes erfolgt die Vermehrung vegetativ über Wurzelausläufer. Die Rhizome der einzelnen Stöcke werden zwar nur etwa zwei bis drei Jahre alt, bilden aber während der Vegetationsperiode ständig Ausläufer, aus denen neue Pflanzen entstehen. Eine Mutterpflanze bildet bei ungestörter Ausbreitung bis zu 35 Tochterpflanzen pro Saison und besiedelt ca. 1 - 2 m².

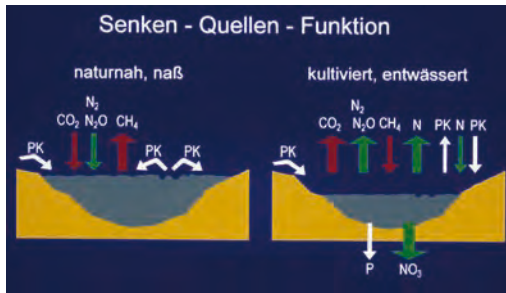
Standortbedingungen

Rohrkolben gedeihen gut auf Feuchtstandorten mit niedrigem bis sehr hohem Nährstoffangebot und möglichst voller Besonnung. *Typha angustifolia* bevorzugt dauerhaft überflutete Standorte, *Typha latifolia* Bereiche mit wechselndem Wasserstand. Diese unterschiedlichen Ansprüche erlauben eine Anpassung der Kultur an verschiedene Standortbedingungen.

Gewässerschutz

Nährstoffverträglichkeit und Nährstoffentzug

Rohrkolben verträgt auch Nährstoffstöße und ständiges Nährstoffüberangebot gut. Die Nährstoffmenge, die dem Boden über die Ernte der oberirdischen Biomasse entzogen wird, beträgt maximal 700 kg Stickstoff und 100 kg Phosphor pro Hektar und Jahr. Insgesamt können 20 - 80% der in das System eingebrachten Nährstoffe auf diese Weise festgelegt werden. Zum Erntezeitpunkt am Ende der Vegetationsperiode ist der größte Teil der übers Jahr gespeicherten Nährstoffe bereits in die Rhizome eingelagert. Nach dem Absterben der Rhizome werden die Nährstoffe infolge des Sauerstoffmangels in Feuchtböden nicht remineralisiert und wieder freigesetzt, sondern zum überwiegenden Teil als Niedermoorhumus auf Dauer festgelegt.



Salz- und Säureverträglichkeit

Die einheimischen Typha-Arten sind in hohem Maße salz- und säureverträglich, sie gedeihen sogar im Brackwasserbereich.

Herbizidbeständigkeit

Als einkeimblättrige Pflanze sind die Rohrkolben auch beständig gegenüber den meisten gebräuchlichen Herbiziden. Auch in größerer Konzentration stellen Einschwemmungen solcher Mittel kein Problem dar. Dies macht sie zum Beispiel für Pufferstreifen zwischen intensiv genutzten Agrarflächen und Gewässern geeignet.

Belastbarkeit

Typha wird seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich in verschiedenen Typen von Pflanzenkläranlagen eingesetzt und hat sich auch im Hochlastbereich bewährt (Beispiel: Rohrkolbenkläranlage eines Tanklagers von Mobiloil in Bremerhaven).

Landnutzungskonzepte

In Typha-Kulturen kann das Nährstoffüberangebot von Abwässern nahezu völlig verwertet werden. Die Hauptverursacher von Gewässerverschmutzungen wie häusliche und gewerbliche Abwässer aus kommunalen und privaten Kläranlagen sowie überschüssige Nährstoffe aus der Landwirtschaft dienen dabei als wichtigste Nährstofflieferanten. Verschmutzungen durch Abwässer aus Sammelkläranlagen treten punktuell und konzentriert auf und sind damit anders zu behandeln als Belastungen aus der Landwirtschaft, die sich aus diffusen Quellen speisen. Dies verlangt unterschiedliche Anlagen- bzw. Landnutzungskonzepte.

Behandlung punktueller Abwasseraufkommen

Reinigungsleistung und Bemessung von Pflanzenkläranlagen

Pflanzenkläranlagen stellen eine Alternative zu herkömmlichen technischen Anlagen

dar. Die ertragsorientierte Bewirtschaftung von Rohrkolbenfeldern kann die Kosten der Abwasserreinigung verringern. Solche Anlagen können größer ausgelegt werden als gegenwärtig.

Einsatzmöglichkeiten

Es kommen zwei verschiedene Bau- und Funktionsprinzipien in Frage:

Das Flächenklärteichverfahren

Beim Flächenklärteichverfahren fließt das mechanisch vorgereinigte Abwasser oberirdisch durch nur einige Zentimeter tiefe, dicht mit Rohrkolben bewachsene Klärteiche. Die Blätter verlangsamen die Fließgeschwindigkeit und filtern absetzbare Schwebstoffe aus. Ferner wirken sie als Tropfkörper (Aufwuchsfläche für Bakterien), wobei die organische Fracht abgebaut und den Rohrkolbenbeständen als Dünger verfügbar gemacht wird.

Das Wurzelraumverfahren

Hier wird das Abwasser ausschließlich unterirdisch durch bewachsene Bodenfilter geleitet. Das Wurzelwerk gewährleistet die dauerhafte Durchlässigkeit des Bodens und versorgt die an seiner Oberfläche lebenden Bakterien mit Sauerstoff.

Diese Methode ermöglicht die Hygienisierung des Abwassers und eine noch weitergehende Festlegung oder Eliminierung der Nährstoffe, insbesondere Stickstoff und Phosphor. Sie ist somit auch als dritte Reinigungsstufe geeignet. Haupteinsatzgebiet von Pflanzenkläranlagen ist bisher die Abwasserreinigung für Anschlusswerte bis ca. 500 Einwohnergleichwerte. Durch die Verwertung der oberirdischen Biomasse werden diese Verfahren auch für größere Anlagen konkurrenzfähig. Der relativ hohe Flächenbedarf ist bei einer landwirtschaftlichen Nutzung von untergeordneter Bedeutung. Typha-Felder eignen sich auch zur Nachrüstung von konventionellen Anlagen, die überlastet sind oder für erhöhte Reinigungsanforderungen ausgelegt werden sollen.

Diffuse Quellen

Definition

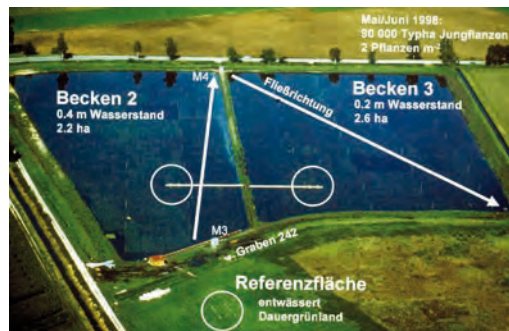
Als diffuse Quellen bezeichnet man alle Belastungen, die nicht aus Kanalisationssystemen bzw. öffentlichen oder gewerblichen Kläranlagen stammen. Darunter fallen Abwässer von Kleineinleitern, (landwirtschaftliche) Drainageabwässer und sogenannte „flächige Abträge“ in die Gewässer, z.B. Erosionsmaterial,

Düngemittel Abschwemmungen u.ä.
Hauptproblem in diesem Bereich ist der überhöhte Einsatz von Nährstoffen in der Landwirtschaft und deren Verlagerung ins Grund- und Oberflächenwasser.

Vorbeugung

Vermindert werden können diese Einträge durch Schaffung ausreichend breiter Pufferstreifen zwischen Gewässern und landwirtschaftlich genutzten Flächen. Typha-Kulturen ermöglichen eine zugleich wirtschaftliche und umweltschonende Nutzung solcher Bereiche.

Typha Kultur im Rahmen des DBU-Projekts im Donaumoos, Foto TU München



Gewässersanierung

Auch bereits eingeleitete Verschmutzungen sind mit dem Anbau von Rohrkolben zu behandeln. Kleinere Fließgewässer können durch künstlich angelegte Aufweitungen spürbar entlastet werden.

Niedermoorproblematik

Die landwirtschaftliche Nutzung von Niedermoorböden ist ein schwerwiegendes Problem.

Durch ihre Entwässerung werden gespeicherte Nährstoffe freigesetzt. Pro Jahr wird auf diese Weise in Deutschland eine Stickstoffmenge in Grund- und Oberflächenwasser eingeleitet, die etwa 90 Millionen Einwohnergleichwerten entspricht, also fast dem Abwasseraufkommen aller deutschen Haushalte. Dazu kommt noch der Eintrag von Düngemitteln und Erosionsmaterial von diesen Flächen.

Außerdem werden 40 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr abgegeben, das ist die Menge, die bei der Verbrennung von 16 Millionen Tonnen Braunkohle entsteht. Das heißt, die CO₂-Freisetzung aus Niedermooren beträgt ca. vier Prozent der Gesamtmissionen in der Bundesrepublik.

Die Bewirtschaftung von Niedermooren in ihrer gegenwärtigen Form ist also

keine nachhaltige Nutzung, wie sie das Landwirtschaftsgesetz vorschreibt, sondern Raubbau an natürlichen Ressourcen und eine erhebliche Umweltbelastung. Eine Verhinderung der Stickstofffreisetzung und eine nachhaltige Nutzung sind nur durch eine Wiedervernässung der Niedermoore möglich.

Typha ist eine der wenigen Kulturen, die eine naturnahe, standortgerechte, den Niedermooren stabilisierende Nutzung überhaupt ermöglicht. Darüber hinaus schafft sie den Landwirten Erträge, die sie mit keiner gängigen Feldfrucht erzielen könnten.

Zusätzliche Umweltaspekte

Rohrkolbenkulturen schaffen ökologisch wertvolle Feuchtflecken, die neben der Nährstoff- und CO₂-Bindung noch weitere wichtige Funktionen erfüllen:

Wasserretention

Die Wasserrückhaltefähigkeit von Feuchtgebieten verlangsamt den Abfluss von Niederschlägen, puffert dadurch Hochwasserspitzen und fördert die Grundwasseranreicherung.

Lebensraum für Tiere

Rohrkolbenanlagen bieten (trotz Bewirtschaftung) Lebensraum für viele Tierarten, die wegen der weitgehenden Vernichtung von Feuchtbiosphären gefährdet sind.

Der einzige Eingriff ist die Ernte der oberirdischen Biomasse im Winter. Während der übrigen Zeit bleiben die Bestände ungestört.

Lebensraum für Tiere, Foto TU München



Winterernte Typha, Foto TU München



Mögliche Anbauflächen und Baustoffpotential

In Deutschland gibt es 18.000 km² Moorböden, im europäischen Teil Russlands sind es etwa 200.000 km². Würden von den deutschen Niedermoorflächen nur 10% mit Rohrkolben bewirtschaftet und blieben auch sonst alle

geeigneten Flächen unberücksichtigt, so würde dies jährlich ca. 2,7 Millionen Tonnen Rohrkolben Trockenmasse hervorbringen. Daraus ließen sich 25 - 50 Mio. m³ Baumaterial herstellen. Bei einem mittleren Wert von 300 €/m³ entspricht das einem Erlös von 7,5-15 Mrd. Euro.

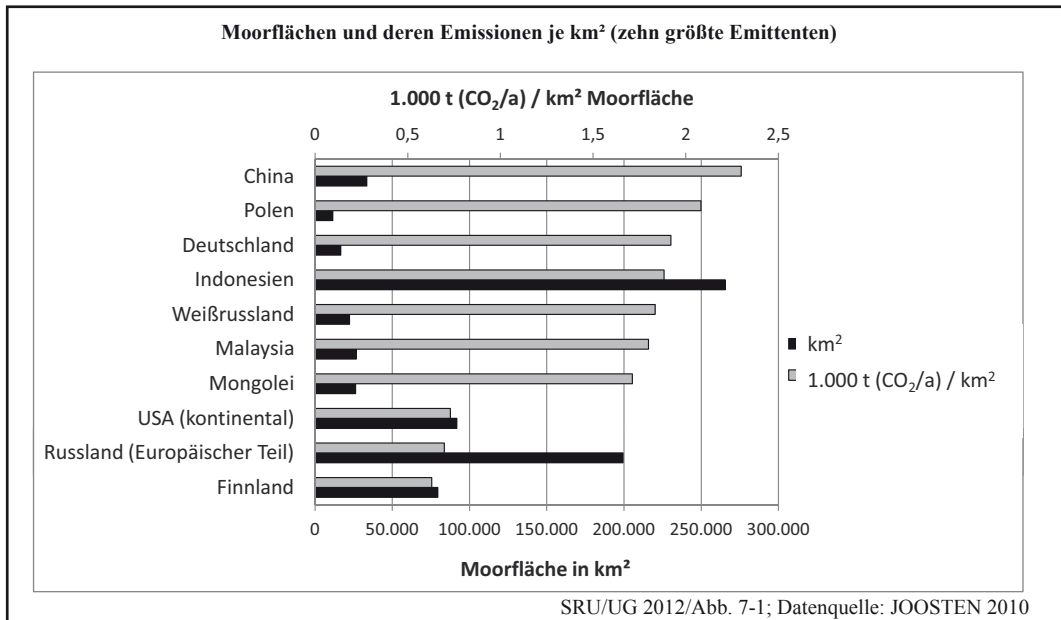


Tabelle entnommen aus SRU-Umweltgutachten 2012

Pflanzenstruktur als Voraussetzung für die technische Verwertung

Die spezifische Struktur der Blätter macht sie besonders für die Herstellung von konstruktiv einsetzbaren Baustoffen und Dämmstoffen geeignet.



Aufbau der Blätter

Die bis zu drei Meter lang werdenden Blätter von *Typha angustifolia* und *latifolia* wachsen direkt aus dem Rhizom. Aus einem Spross fächern sich ca. 10 bis 20 Blätter mit sichelförmigem Querschnitt auf. Die glatte, zähe Außenhaut umschließt ein inneres Kammersystem, das mit einem feinen, leichten Gespinst gefüllt ist.



gekammertes Blattsystem, Foto Typha Technik

Außenhaut (Epidermis)

Sie besteht aus einem geschlossenen, schaumartigen Zellgewebe, das dicht mit längs verlaufenden Faserbündeln durchzogen ist. Für zusätzliche Stabilität sorgen kräftige, hohle Faserstränge, die auf der Innenseite der Haut (subepidermal) ebenfalls in Längsrichtung verlaufen.

Typha Spross mit Blattfächer, Foto TU München

Kammersystem

Ausgesteift wird die dünne Außenhaut durch ein inneres Kammersystem, das von längs durchgehenden und in Querrichtung versetzt angeordneten Scheidewänden (Diaphragmen) gebildet wird.

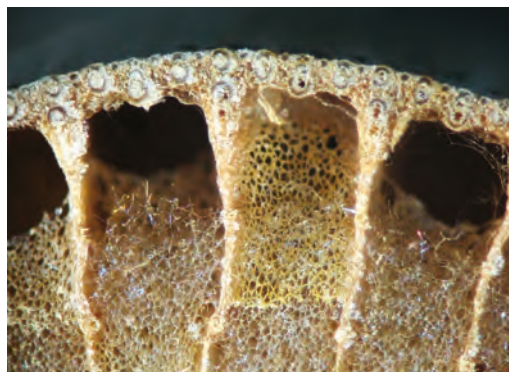
Die in Richtung der Blattachse verlaufenden Kammerwände verbinden als Stege die beiden Blattseiten. Sie bestehen aus einem doppelagigen geschlossenen Zellverband, in den ebenfalls durchgehende Längsfasern eingebettet sind. Die Ansatzstellen an die Blatthülle sind verstärkt. Die Querwände dagegen sind durchlässig, um den Luftaustausch innerhalb des Blattes zu ermöglichen. Sie sind einem räumlichen Netz vergleichbar mit vorwiegend rechteckigen und dreieckigen Maschen.

Die Kammern sind an der Basis der Blätter gedrungener, in der Spitze länglicher. Ihre Länge variiert bei ausgewachsenen Blättern zwischen 3 und 4 mm, die Breite zwischen 2 und 3 mm.

Anschnitt eines Typha Blattes, Foto Chr. Gruber BLfD



Verstärkung Blatthülle, Foto Chr. Gruber BLfD



Schwammgewebe

Die Kammerung ist mit einem feinen, fädigen Schwammgewebe gefüllt, das seinerseits wieder mit vertikalen Einzelfasern durchspannt ist. In jeder Längskammer verlaufen mehrere dieser Fasern durch das ganze Blatt.

Wärmedämmung

Maßgebend für die Wärmeleitfähigkeit eines Werkstoffes ist das spezifische Gewicht.

Je geringer es ist, desto besser ist die Wärmedämmung. Wichtig ist außerdem noch die Anzahl und Größe der Luftporen. Bei gleicher Rohdichte hat das Material mit vielen kleinen Poren eine bessere wärmedämmende Wirkung, als das mit weniger und größeren Hohlräumen. Die Kammerung der Blätter und das feine Schwammgewebe bilden eine Mikroporenstruktur, wie es kaum ein anderes industriell verwertbares Pflanzenmaterial aufweist.

Messungen an verschiedenen Plattenvarianten haben einen bemerkenswerten Umstand aufgezeigt: Die Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,035 W/mK ist in Richtung der Blattachsen ca. 20% höher als senkrecht dazu. Dies hat vor allem für die Entwicklung von Wandbaustoffen große Bedeutung.

Festigkeit

Die Blätter sind durch die Kombination von zugfesten Längsfasern und elastischem Schwammgewebe auch in getrocknetem Zustand reiß- und bruchfest, flexibel und formstabil. Sie nehmen auch nach häufigem Komprimieren immer wieder ihre ursprüngliche Form an und zeigen keine Schäden an Hülle und Infrastruktur. Diese Eigenschaften erleichtern den Transport, die Lagerung und die Verarbeitung erheblich. Das Verhalten der Blattmasse auf Zug und Druck ist in Richtung der Blattachsen vollkommen verschieden als senkrecht zu ihnen: Längs der Achsen widersteht das Blattmaterial hohen Druckbeanspruchungen von ca. 1 N/mm² und noch höheren Zugbelastungen. Schon bei sehr geringen Drücken von 0,01 N/mm quer zur Faserrichtung beginnt eine elastische Verformung der Blattmasse, die sehr weitgehend im reversiblen Bereich bleibt.

Wie sich gerade bei der im Projekt eingesetzten isotropen, Magnesit gebundenen Plattenvariante gezeigt hat, sind es diese beiden unterschiedlichen Eigenschaften, welche die besonderen Qualitäten des Werkstoffs bewirken.

Fäulnisresistenz

Um dem aggressiven Sumpfklima standhalten zu können, rüstet sich die Pflanze mit Gerbstoffen (Polyphenolen) aus. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz im Baubereich. Es erspart den Einsatz problematischer, chemischer Zusätze, die bei der Kompostierung hinderlich und im Zusammenspiel mit historischer Substanz zerstörend wirken kann.

Spaltbarkeit

Die im Querschnitt sichelförmigen Blätter lassen sich mit geeigneten Messern ähnlich wie Holz in stabförmige Partikel spalten. Angesichts der „schwammigen“ Blattstruktur ist dieser Umstand überraschend. Er ist darauf zurückzuführen, dass scharfe Messer, die in der Lage sind das Schwammgewebe zu durchtrennen, wegen des geringen Siliziumdioxid-Gehalts von Typha auch nach längerer Schnittleistung scharf bleiben. Zudem werden die Messer in der Längskammerung geführt und erzeugen so lange Stäbe mit gleichbleibenden Querschnitten und weitgehend parallelen Längskanten. Sie können mit einfachen Geräten wie motorgetriebenen Querschneideeinrichtungen aus dem Landwirtschaftsbereich auf die erforderlichen Längen eingekürzt werden.

Diese Stäbe sind das Ausgangsmaterial für die industrielle Herstellung von Baustoffen aus Typha. Sie transportieren die vorbeschriebenen statischen und bauphysikalischen Eigenschaften in das Produkt. Über ihre gezielte Ausrichtung können den Materialien die gewünschten Eigenschaften gegeben werden. So ist es zum ersten Mal möglich, einen Wandbaustoff herzustellen, der nennenswerte Wärmedämmung mit statischer Belastbarkeit vereint.



Verklebung

Der Klebstoff ist die alleinige Zutat zum Rohstoff. Er bewirkt die dauerhafte Verbindung der Partikel zu einem Baustoff. Deshalb beeinflusst er wesentlich seine Eigenschaften.

Es gibt eine ganze Reihe von synthetischen Klebern, die in der Lage sind, Typha zu dauerhaften und strapazierfähigen Körpern zu verbinden, weil ihre Klebekraft verglichen mit mineralischen Stoffen hoch ist. Der Mangel dieser Kleber liegt vor allem darin, dass sie sich für eine Rückführung in den Stoffkreislauf nicht eignen und in der Regel ziemlich teuer sind. Mineralische Bindemittel wie Zement oder Magnesit sind preisgünstig und inert

bei der Kompostierung, haben aber nur geringe Klebekraft. Dieser Mangel führt bei bekannten, zementgebundenen Produkten wie Holzwolle-Leichtbauplatten dazu, dass enorme Klebermengen aufgewendet werden müssen, um ihnen ausreichende Materialfestigkeit zu geben. Dies vermindert wiederum ihre Wärmedämmfähigkeit ohne sie dadurch wirklich stabil zu machen.

Der Grund hierfür ist, dass die einzelnen Holzpartikel wegen ihrer hohen Druckfestigkeit mit wenig Druck nicht einander angenähert werden können. Es handelt sich also hier eher um eine Verkittung der Holzstreifen an ihren Berührungspunkten. Der Wärmedämmeffekt beruht vor allem auf den zwischen den Partikeln entstehenden Lufträumen, da weder der Rohstoff Holz selbst noch der Kleber Zement günstige Lambda Werte haben.

Die mineralisch gebundene Platte aus Typha-Blattmassepartikeln

Demgegenüber beruht die wärmetechnische, statische und bauphysikalische Wirkung des Typha-Boards auf gänzlich anderen Prinzipien.

- Der Rohstoff, also die einzelnen Typha-Stäbe an sich haben, vor allem wenn sie parallel zur Plattenebene angeordnet sind, eine niedrige Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,035 W/mK. Dies ist um Faktor 4 günstiger als bei Holz.
- Wegen des nachgiebigen Verhaltens der Partikel gegenüber Drücken senkrecht auf sie, können die Oberflächen schon mit geringen Drücken einander angenähert werden. Die freien Lufträume zwischen ihnen verschwinden weitgehend, auch wenn die Stäbe regellos und parallel zur Plattenebenen liegen. Damit wird die Wärmeleitung durch Konvektion verringert.
- Zugleich wird über die Annäherung der Oberflächen die Voraussetzung für ihre Verklebung geschaffen. Wegen der niedrigen Drücke, unter denen sich die Oberflächen einander annähern lassen, reicht die Klebekraft mineralischer Bindemittel aus, um ein stabiles Plattenmaterial herzustellen.

Dieses Prinzip der regellos ausgeworfenen, aber parallel zur Plattenebene liegenden mit Magnesit gebundenen Typha-Blattpartikel ist die Grundlage für das Material, welches im Projekt Pfeifergasse weiterentwickelt und eingesetzt wurde. Neben seinen Vorzügen der stofflichen Eigenschaften war die relativ unkomplizierte

gespaltene Blattpartikel,
Foto Typha Technik

Herstellungsmöglichkeit in einer kleinen Produktionsanlage von Vorteil. Es musste kein Einstieg in ein kostenträchtiges, komplexes, industrielles Verfahren, wie es z.B. für das Typha-Sandwich erforderlich gewesen wäre, erfolgen.

regellose Anordnung der Blattpartikel parallel zur Plattenebene, Foto TU München



Materialoptimierung

Die Rahmenbedingungen, die durch die Bausubstanz in der Pfeifergasse definiert wurden, erforderten eine Optimierung des bereits vorliegenden Plattenmaterials. Mithilfe von Probekörpern verschiedener Produktvarianten wurden die jeweiligen Kenndaten ermittelt und bewertet.

Ziel war die Ermittlung eines günstigen Verhältnisses von Wärmeleitfähigkeit, Druckfestigkeit in Richtung der Plattenebene, Masse für den sommerlichen Wärmeschutz und dem Dampfdiffusionsverhalten.

Die Variablen waren hierbei die Partikelgröße und der Partikelzuschnitt, Grad der Verdichtung und Anteil des Bindemittels.

Durch effektive Zusammenarbeit des Zentrallabors des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, der Fraunhofer Instituts für Bauphysik und der Produktionswerkstatt konnte über die Beprobung von zwei Sätzen à 9 Varianten ein zielführendes Ergebnis ermittelt werden. Hierbei spielten die Mikroskopien und die Stoffanalysen des Bayerischen Landesamtes eine bedeutende Rolle. Durch sie wurde deutlich, dass die Sprühbeimung wesentlich verbessert werden musste.

Anwendungsrelevante Zusatzkomponenten

Von Beginn an war erkannt, dass das Typha-Plattenmaterial in der Anwendung im Fachwerkbereich ergänzend wichtiger Zusatzelemente bedarf. Gerade bei einem Material, das aussteifende Wirkung hat und in der Ebene der Konstruktion liegt, sind dichte, jedoch Feuchte transportierende und kraftschlüssige Verbindungen zu den

Gefachehölzern von entscheidender Bedeutung. Sie können durch ein Material erreicht werden, das im Wesentlichen aus den gleichen Elementen besteht wie die Platte selbst. Hierfür wird die Blattmasse von Typha in einem besonderen Verfahren gemahlen und mit umweltfreundlichen Zusatzkomponenten versehen, die es quellfähiger machen.

Dieses Material kann mit Druckluftspritzen in eine ca. 1 cm breite Fuge zwischen Platte und Holz eingebracht werden und sich in der Fuge ausbreiten. Dringt Feuchtigkeit von außen ein, quillt es auf, verschließt Undichtigkeiten und bietet so doppelte Sicherheit.

Bei alten Fachwerken sind häufig im Holzwerk Klüfte und Spalten anzutreffen. Hier ist nicht immer dauerhaft eine Durchströmung auszuschließen, die ein sehr großes Schadenspotential aufweist. Zur Abdichtung wurde deshalb ein Material ähnlich dem Fugenmörtel entwickelt, das aber feiner und damit auch in schmalere Öffnungen einbringbar sind.

Während des Bauablaufs stellte sich heraus, dass auf Grund der verformten, nicht fluchtenden und nicht lotrechten Wandflächen Ausgleichmaterial in Form von dünnen 1 bis 2 cm starken Platten als Ergänzung hilfreich waren. Diese wurden bei Bedarf durch konisches Aushobeln oder Anschleifen an die Bestandskonstruktion angepasst.

Für die Außenputze stellten die im Projekt eingebundenen Bauphysiker fest, dass es wünschenswert wäre, sie in besonderem Maße diffusionsoffen zu gestalten. Dies geschah im Wesentlichen durch die Verwendung von Kalk-Tuff-Sanden in zwei Sieblinien, bei denen auch das Einzelkorn porös ist, und dem sparsamen Einsatz von langjährig gelagertem Löschkalk. Darüber hinaus wurde der Masse ca. 1% der Typha Samenflugschirmchen zugemischt. Dies erhöhte erheblich die Bindigkeit, Zugfestigkeit und Elastizität der Putze.

Als Innenputz, vor allem in jenen Bereichen, wo das Typha-Plattenmaterial als reine Innendämmung auf Mischmauerwerk eingesetzt wurde, diente jener Lehmputz, der 25 Jahre zuvor bei Anfang der Beschäftigung mit dem Thema Typha entwickelt worden war. Er erhält seine Wirksamkeit von einem Fasergemisch aus Gerstengrannen und den Samenflugschirmchen von Typha. Er blieb in der Pfeifergasse ohne Rissbildung, obwohl die Plattenelemente nur stumpf gestoßen wurden.

Weitergehende Anwendungen

Mit dem Fortschreiten der Bauarbeiten in der Pfeifergasse und den durchwegs positiven Erfahrungen beim Materialeinsatz, zeigten sich zwei weitere Anwendungsfelder, die zunächst nicht im Blick waren.

Die Gefachefüllungen der Kommunwände konnten mit den Typha-Platten in einfacher Weise hergestellt werden. Vorangegangen waren Brandtests, die zeigten, dass sich die Anforderung von F60 an die Wandkonstruktion mit dem Typha-Material herstellen ließ.

Als ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich mit großen Zukunftsperspektiven war der Platteneinbau als Innendämmung auf Mischmauerwerk im Erdgeschoss und 1. Obergeschoss in der Pfeifergasse. Hier wurden an die verformten, unregelmäßigen Wände Plattenmaterial mit Befestigungsdübeln ohne Kleber und Dampfsperre aufgebracht. Mit Verwendung der oben beschriebenen Lehmputze konnte auf die Nut- und Federverzahnung und Putzgitter verzichtet werden, was die Belegung der Fenster- und Türlaibungen erleichterte. Die WUFI Berechnung der Bauphysiker belegte anschließend sogar die Unbedenklichkeit von Hohlräumen zwischen Platten und Wandkonstruktion.

Literatur

- [1] Prof. Dr. J. Pfadenhauer, S. Heinz; Multitalent Rohrkolben - Ökologie, Forschung, Verwertung
Broschüre zum Abschlussbericht des DBU-Projektes „Rohrkolbenanbau in Niedermooren - Integration von Rohstoffgewinnung, Wasserreinigung zu einem nachhaltigen Nutzungskonzept“ im Donaumoos 1998-2001, TU München, Lehrstuhl für Vegetationsökologie
- [2] Theuerkorn, Reizky, Lenz, Kleyn; Rohrkolben, ein nachwachsender Rohstoff; 1991 verfasst, 1998 veröffentlicht
- [3] Prof. Dr. Ing. M. Faulstich; SRU-Umweltgutachten 2012, Verantwortung in einer begrenzten Welt, Berlin
- [4] W. Ripl; Wasser, Landschaft, Gesellschaft; 1982

innendämmung auf
Mischmauerwerk im
Erdgeschoss, Foto Uwe
Kabelitz



Bestimmung von Materialkennwerten

Martin Mach

Lichtmikroskopische Darstellung des Typha-Grundmaterials

Wunschgemäß wurde die Struktur des, von Werner Theuerkorn im Zentrallabor des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege eingereichten, *Typha* sp. Rohmaterials nach Skalpellchnitt mit Hilfe eines Stereo-Auflichtmikroskopes („Präpariermikroskop“) vom Typ Zeiss Stemi 2000 photographisch dokumentiert. Die Beleuchtung erfolgte mit Hilfe einer Schott Kaltlichtquelle, zwei Lichtleitern sowie Diffusoren zur Kontrastminderung. Die lichtmikroskopische Aufnahmeserie zeigt insbesondere das feinteilige Blattschaumgewebe (Aerenchym) und das dickwandigere, vorrangig auf Zug belastbare, innere Blattstützgewebe (Sklerenchym), welches allem Anschein nach die Windstabilität und Beulsicherheit des Blattes verbessert. Bei etwas höheren lichtmikroskopischen Vergrößerungen wird zudem eine ausgesprochen dünnwandige, weil irisierende Kammerstruktur des Blattschaumgewebes erkennbar, die – dank der luftposterähnlichen Struktur – günstige Speicher- und Isolationseigenschaften sowie

eine gute Wärmedämmfähigkeit aufweisen dürfte. Stellvertretend aus der Vielzahl der Aufnahmen seien hier lediglich zwei dieser

Oben:
Anschnitt eines Typha-
Blattes, Stereomikroskop,
Bildbreite ca. 1 cm, Foto:
Chr. Gruber, BLfD

Unten:
Anschnitt einer Typha-
Blattspitze, Stereomikro-
skop, Bildbreite ca. 1 cm,
Foto: Chr. Gruber, BLfD



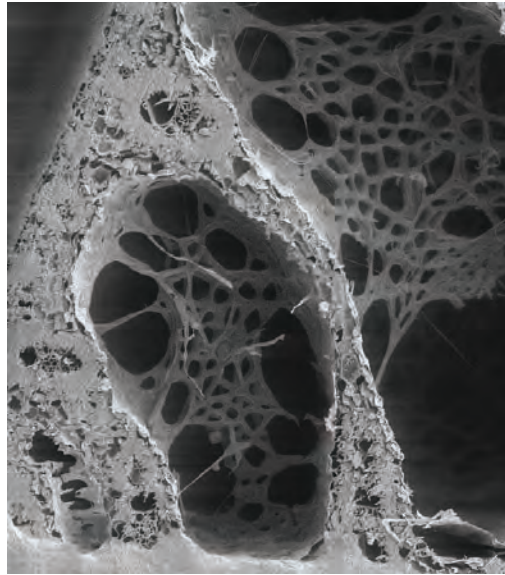
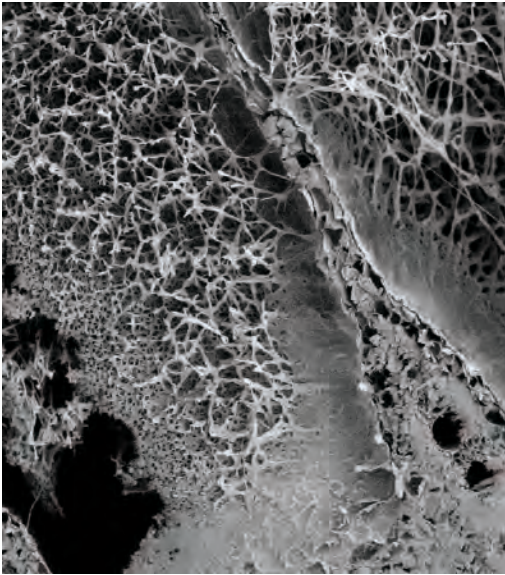
lichtmikroskopischen Photos wiedergegeben:
Lichtmikroskopische Aufnahmen aus der
genannten Bildserie wurden bereits in zwei
Artikeln abgedruckt [LAUTERBACH 2012] und
[FRITSCH & THEUERKORN 2013].



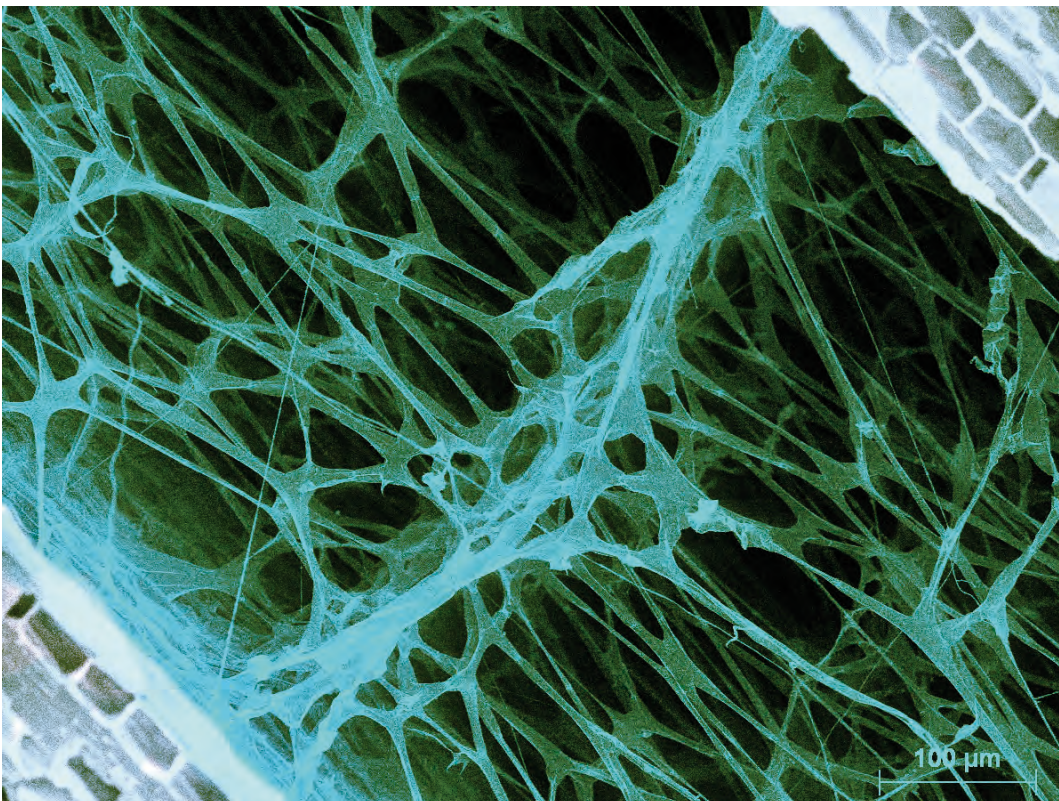
Elektronenmikroskopisches Abbild des Typha-Grundmaterials

Die elektronenmikroskopischen Abbildungen entstanden am Zeiss-Rasterelektronenmikroskop des BLfD Zentrallabors. Um eine gute Bildqualität zu erzielen, wurden die Präparate mit Gold beschichtet („gesputtert“) und bei niedriger Beschleunigungsenergie als Mischergebnisse von Rückstreuerelektronenbild („BSE“, back-

scattered image) und Sekundärelektronenbild („SE“) aufgenommen. Erklärtes Ziel war die räumliche Darstellung noch feinerer Strukturen wie zum Beispiel der „Etagenvernetzung“ zwischen den vertikalen Stützwänden, sowie der unterschiedlich gekammerten Volumenbereiche, wie sie auf den folgenden Abbildungen zu sehen sind.



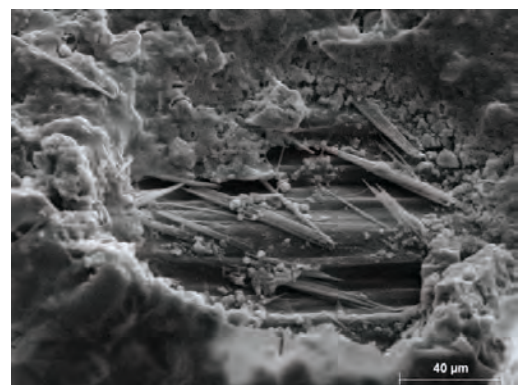
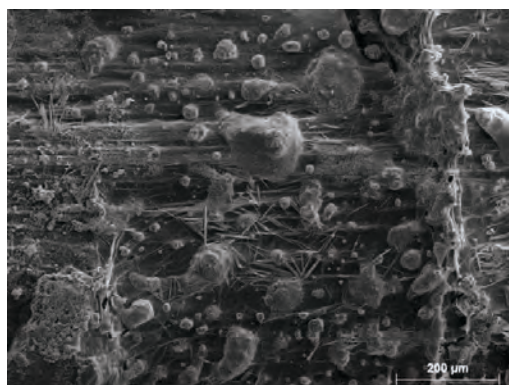
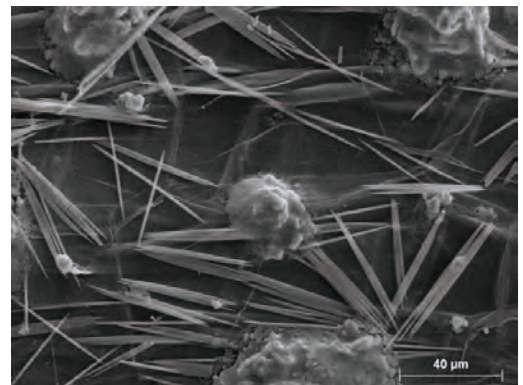
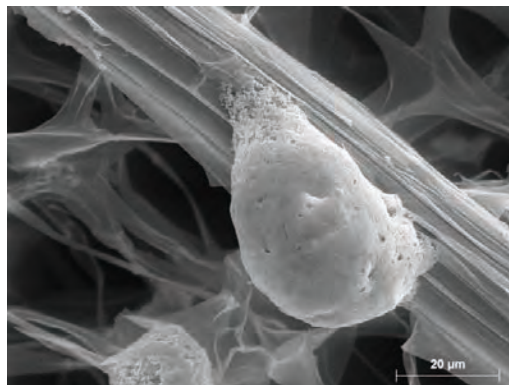
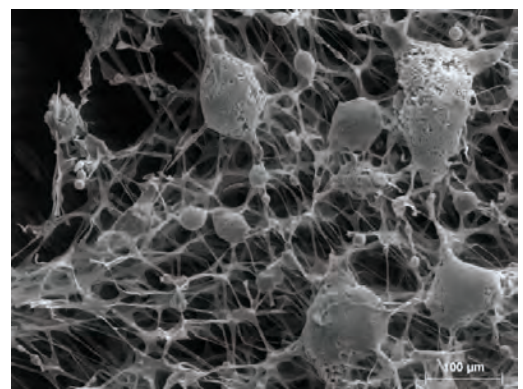
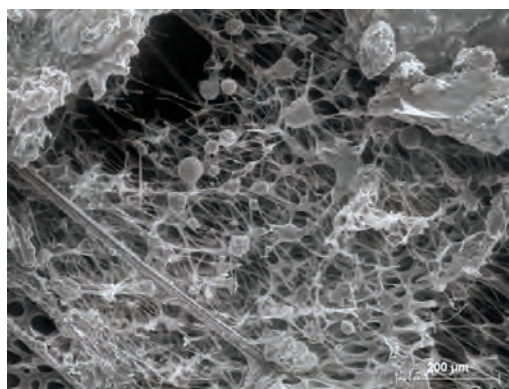
Unterschiedliche Kammerdimensionen und Ausformungen von vertikalen Stützwänden, Aufnahme: Chr. Gruber, BLfD Zentrallabor



Feinstruktur eines Typha-Blattes zwischen zwei vertikalen, inneren Stützwänden, Aufnahme: Chr. Gruber, BLfD Zentrallabor

Elektronenmikroskopisches Abbild des Typha-Magnesit-Verbundsystems

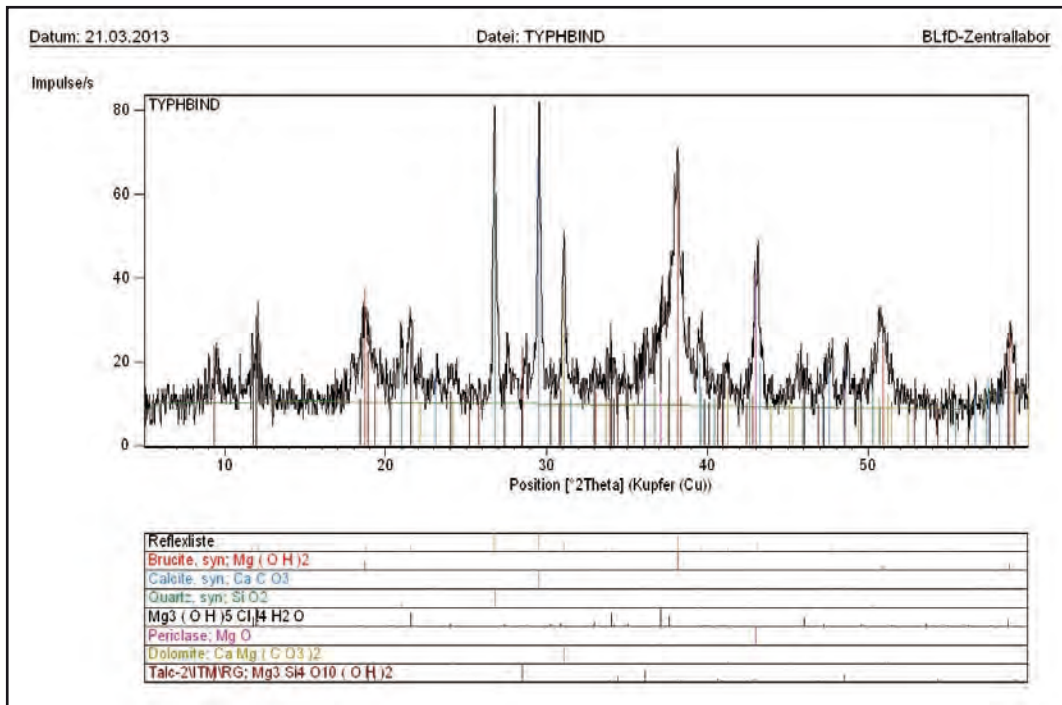
Die REM-Aufnahmen des Verbundsystems zeigen, dass der Magnesitbinder quasi tröpfchenartig an die Typha-Fasern anschließt, wobei die Anbindungsstruktur, wie zum Beispiel in der linken Bildspalte, zweite Aufnahme von oben, an das Zusammenspiel zwischen Nerven- und Muskelfasern in der Biologie erinnert (Doyère'scher Nerven Hügel).



Rasterelektronenmikroskopische (REM) Aufnahmen zur Darstellung des Typha-Magnesit-Verbundsystems, Aufnahmen: Chr. Gruber, BLfD Zentrallabor.

Elektronenmikroskopische Analytik des Typha-Magnesit-Verbundsystems

Die röntgendiffraktometrische Analyse (XRD) des Magnesitbinders vermittelt eine Vorstellung von der chemischen Zusammensetzung nach dem Aushärten:



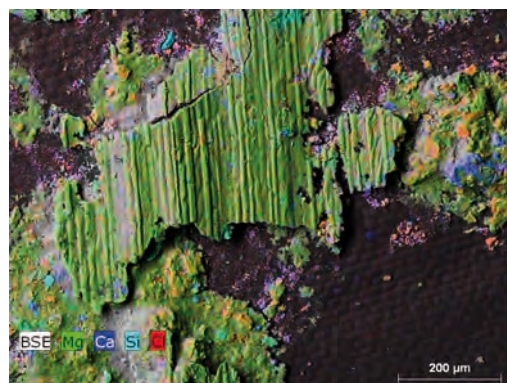
Röntgendiffraktometrische Analyse (XRD) des Magnesitbinders, Analyse: V. Tucic, BLfD Zentrallabor

Entsprechend der XRD-Analyse sollte sich der Binder in der nachfolgenden, elektronenmikroskopischen Analyse durch hohe Gehalte an Magnesium, Calcium, Silicium, aber auch etwas Chlorid zu erkennen geben.

Die rasterelektronenmikroskopischen Analysen wurden mit Hilfe eines Bruker „X-Flash“ EDX Detektors an, mit Kohlenstoff bedampften Proben vorgenommen. Hierbei wird die chemische Elementverteilung als Falschfarbenbild der jeweiligen Morphologie überlagert.



Die Aufnahmen zeigen, dass sich, der Elementverteilung nach zu urteilen, die Komponenten des Binders heterogen auf dem Fasermaterial verteilen, beispielsweise Magnesium und Chlorid hier anscheinend in unterschiedlicher Fasernähe anzutreffen sind.



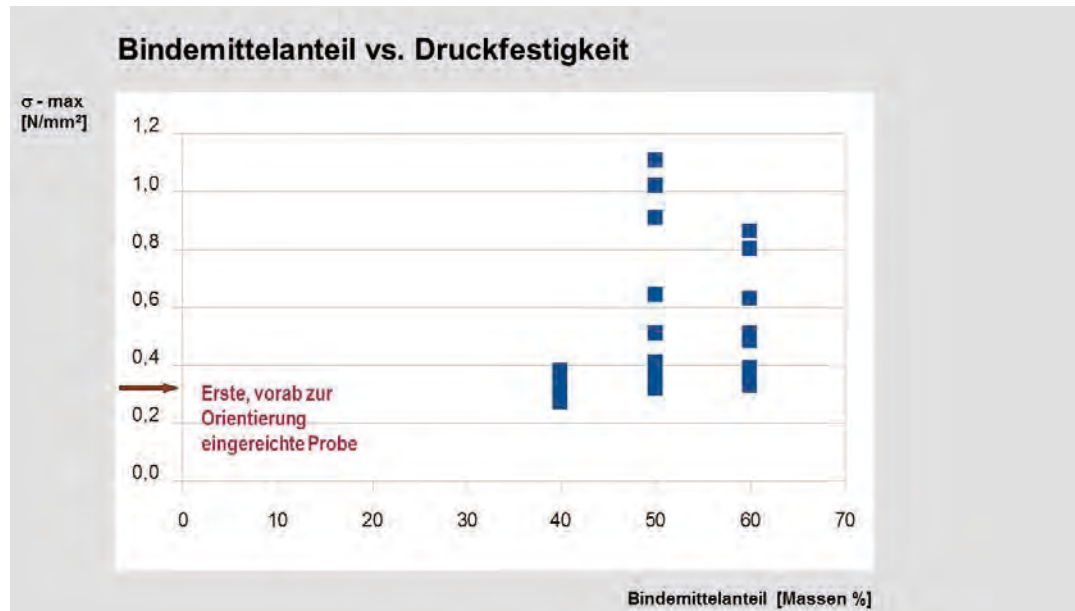
Rasterelektronenmikroskopische Darstellungen der Elementverteilung im Typha-Magnesit-Verbundsystem (I) und (II), Aufnahmen: Chr. Gruber, BLfD

Bestimmung der Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit wurde an prismatischen Prüfkörpern mit Hilfe einer Universal-Zug-Druckprüfmaschine (Hersteller: Fa. Zwick) ermittelt. Eine tabellarische Zusammenfassung der ermittelten Zahlenwerte sowie ein Beispiel eines Druckfestigkeits-Prüfprotokolles befinden

sich im Anhang. Für jeden Probentypus wurden mindestens drei Druckfestigkeits-Einzelbestimmungen durchgeführt. Der belastende Druck wirkte jeweils parallel (nicht senkrecht) zur Materialschichtung. Die beiden folgenden Diagramme veranschaulichen die Ergebnisse:

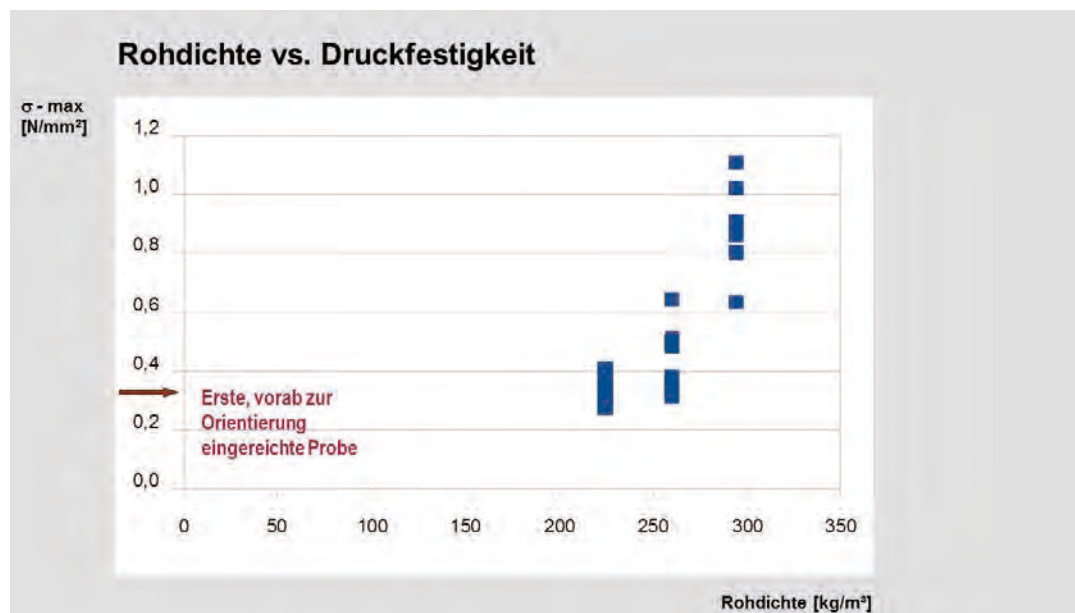
Druckfestigkeit von Typha-Magnesit-Systemen mit Bindemittelanteilen von 40%, 50% und 60%, Messungen: Dr. M. Kocher, Herr V. Tucic, BLfD Zentrallabor



Die Abhängigkeit der Druckfestigkeit (oben) vom Bindemittelanteil ist nicht völlig eindeutig. Zwar steigt die durchschnittliche Druckfestigkeit mit zunehmendem Bindemittelanteil deutlich an, dieser Anstieg wird jedoch von einer ausgeprägten Heterogenität der Ergebnisse überlagert.

Hingegen zeigt sich eine klare Relation zwischen der Druckfestigkeit und der jeweiligen Rohdichte des im Zentrallabor eingereichten Materials: Die Druckfestigkeiten streuen zwar immer noch deutlich, steigen jedoch mit zunehmender Rohdichte stark (siehe folgendes Diagramm).

Druckfestigkeit von Typha-Magnesit-Systemen mit unterschiedlichen Rohdichten, Messungen: Dr. M. Kocher, Herr V. Tucic, BLfD Zentrallabor



Anhang

Probe	Rohdichte kg/m ³	Bindemittel	Bindemittel Anteil M %
1A	260	Magnesit	50
1B	260	Magnesit	60
1C	260	Magnesit	40
2A	225	Magnesit	50
2B	225	Magnesit	60
2C	225	Magnesit	40
3A	295	Magnesit	50
3B	295	Magnesit	60

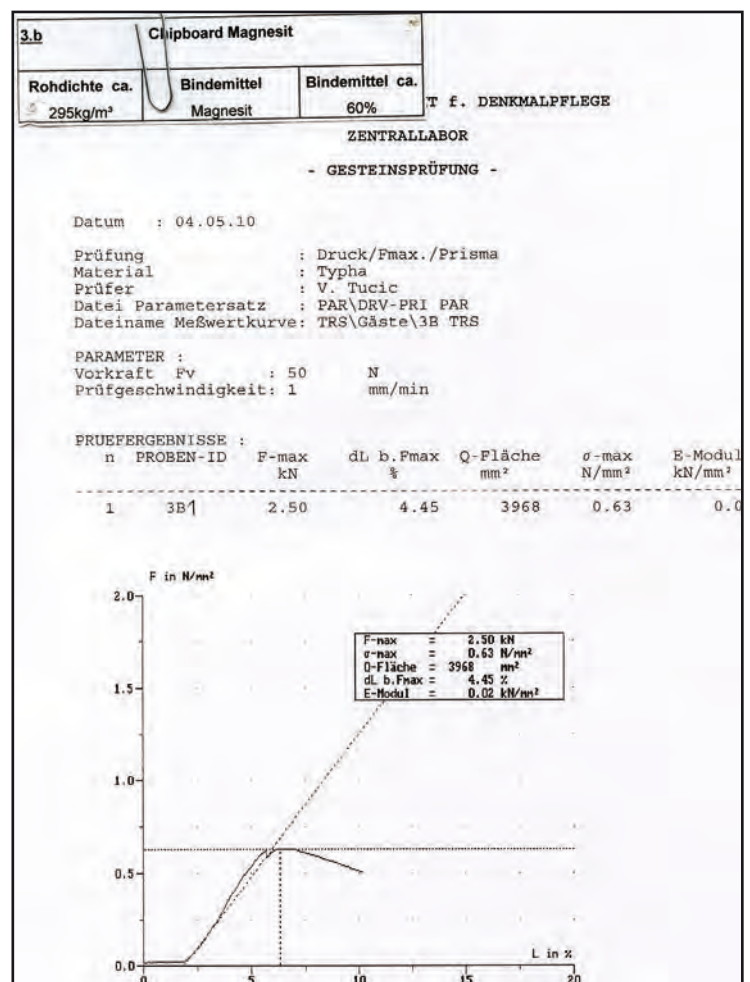
Tabellarische Zusammenstellung der Druckfestigkeitsmessungs-Ergebnisse an unterschiedlich hergestelltem Typha-Magnesit-Verbundwerkstoff

Tabelle links oben:
Angaben des Herstellers

Tabelle links unten:
Druckfestigkeitsmessung an jeweils 3 Prismen pro Probe und daraus resultierende Mittelwerte

Rechts unten:
Beispiel eines Druckfestigkeits-Prüfprotokolls

Probe	F - max. [kN]	σ - max. [N/mm ²]	Mittelwert [F/- σ]
1A1	2,56	0,64	
1A2	1,84	0,48	2,15/-0,54
1A3	2,06	0,51	
1B1	1,91	0,51	
1B2	1,49	0,38	1,81/-0,46
1B3	2,03	0,50	
1C1	1,24	0,31	
1C2	1,55	0,34	1,46/-0,34
1C3	1,59	0,38	
2A1	1,57	0,41	
2A2	1,44	0,36	1,43/-0,36
2A3	1,29	0,32	
2B1	1,47	0,39	
2B2	1,40	0,36	1,35/-0,36
2B3	1,18	0,33	
2C1	1,21	0,31	
2C2	1,11	0,29	1,17/-0,29
2C3	1,18	0,27	
3A1	4,24	1,02	
3A2	3,36	0,91	4,09/-1,01
3A3	4,68	1,11	
3B1	2,50	0,63	
3B2	2,99	0,80	2,97/-0,76
3B3	3,43	0,86	



Literaturverweise

Lauterbach, Inge (2012), Pfeifergasse 9 – die nachhaltige Sanierung eines Baudenkmals.
In Nürnberger Altstadtberichte, Band 37/2012, S. 48.

Fritsch, Alexandra; Theuerkorn, Werner (2013), Fachwerksanierung und Energieeffizienz.
In Denkmalpflege Informationen, Nr. 154, Ausgabe März 2013, S. 15.



Bestimmung von Materialkennwerten zur Vorooptimierung des Baustoffs

Cornelia Fitz / Theo Großkinsky

Vor Einbau des neuartigen Baustoffs bestand die Aufgabe, das Material für den Einsatz im Fachwerkgebäude hinsichtlich seiner bauphysikalischen Eigenschaften zu optimieren. Dabei sind als wesentliche Eigenschaften die Wärmeleitfähigkeit, der Diffusionswiderstand, die kapillare Leitfähigkeit, die Sorptionsfähigkeit sowie für den sommerlichen Wärmeschutz auch die Rohdichte zu nennen.

Eingesetzte Messverfahren

Für ein besseres Verständnis bei der Beurteilung und beim Einsatz der Kennwerte werden im Folgenden kurz deren Bedeutung und die zugehörigen Messverfahren dargestellt.

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit wird mit dem Ein- und Zweiplattenverfahren in Anlehnung an

DIN 52612 oder DIN EN 12664 bestimmt.

Die Proben werden zwischen einer Heiz- und einer Kühlplatte angeordnet. Im stationären Temperaturzustand fließt ein konstanter Wärmestrom durch die Proben. Die Wärmeleitfähigkeit wird bestimmt aus dem Wärmestrom, der mittleren Temperaturdifferenz zwischen den Probenoberflächen und den Abmessungen der Proben. Die Prüfung muss bei mindestens drei verschiedenen Mitteltemperaturen durchgeführt werden, die sich jeweils um mindestens 8 K unterscheiden. Im Bauwesen übliche Mitteltemperaturen liegen zwischen 0°C und 50°C. Für diese Untersuchungen stand ein spezieller Plattenapparat für kleinere Prüfkörper mit Abmessungen von 24 cm x 24 cm zur Verfügung (siehe Bild unten).



Bild 1: Fotografische Ansicht der Messeinrichtung zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit, Foto IBP

Diffusionswiderstandszahl

Die Diffusionswiderstandszahl beschreibt den Wasserdampfdiffusionswiderstand eines Materials im Vergleich zu einer Luftschicht gleicher Dicke. Die Diffusionswiderstandszahl von Luft ist dementsprechend gleich 1, wogegen die der Baumaterialien meist deutlich höher liegt. Für die Bundesrepublik Deutschland ist die Durchführung der Messung von Dampfdiffusionskoeffizienten gemäß DIN EN ISO 12572 genormt. Dabei wird nach Trockenbereichsverfahren für einen Feuchtigkeitsbereich zwischen 0 bis 50 % r. F.,

allgemein als „dry-cup“-Verfahren bekannt, und Feuchtbereichsverfahren für einen Feuchtigkeitsbereich zwischen 50 bis 100 % r. F. („wet-cup“) unterschieden. Die Messung erfolgt unter isothermen Bedingungen. Eine plattenförmige Probe des zu prüfenden Materials wird als oberer Abschluss auf ein Gefäß aufgesetzt und dampfdicht mit dem Gefäßrand verbunden. Im Gefäß wird durch ein Trocknungsmittel oder eine gesättigte Salzlösung eine konstante relative Luftfeuchtigkeit eingestellt. Die Gefäße werden in einen Klimaraum mit konstanter Temperatur und

Luftfeuchte gebracht. Unter dem Einfluss des Wasserdampfpartialdruckgefälles zwischen den an die Probenoberfläche angrenzenden Lufträumen diffundiert Wasserdampf durch die Proben hindurch. Nach Einstellen eines stationären Diffusionsstromes ergibt sich eine pro Zeiteinheit konstante Gewichtsänderung des Messgefäßes, welche dem Diffusionsstrom entspricht. Bild 2 zeigt die eingebauten Prüfkörper während der Messung.

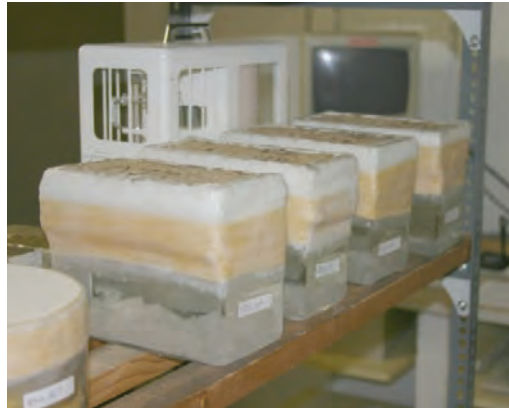


Bild 2: Auf die Prüfgefäße dicht aufgebrachte Typha-Platten während der Diffusionswiderstandsmessung, Foto IBP

Wasseraufnahmekoeffizienten

Der Wasseraufnahmekoeffizient beschreibt die Feuchtaufnahme eines Materials über die Benetzungsfläche. Bei Materialien mit zeitlich konstanter Porenstruktur erfolgt die Wasseraufnahme stets linear mit der Wurzel der Zeit.

Zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN EN ISO 15148 werden die Proben an den Seitenflächen abgedichtet und mit der Saugfläche nach unten 2 bis 10 mm tief in ein Wasserbad eingetaucht. Die Proben werden vor dem Eintauchen in das Wasserbad und dann in bestimmten Zeitabständen gewogen. Vor der zweiten und den folgenden Wägungen wird an der Saugfläche oberflächlich anhaftendes Wasser mit einem feuchten Schwammtuch entfernt. Trägt man die flächenbezogene Wasseraufnahme über der Wurzel der Zeit auf, ergibt sich für die meisten mineralischen Baustoffe eine Gerade. Aus der Steigung der Geraden kann der Wasseraufnahmekoeffizient (w -Wert) ermittelt werden. Ergibt sich keine mit der Wurzel der Zeit lineare Wasseraufnahme, wird der w -Wert aus der Wasseraufnahme nach 24 Stunden ermittelt. Der Wasseraufnahmekoeffizient beschreibt nur die Wasseraufnahme eines Baustoffes über die Oberfläche, nicht aber die Verteilung des Wassers innerhalb des Materials. Mit Hilfe von Kapillartransportkoeffizienten,

deren messtechnische Bestimmung aber einen hohen apparatetechnischen Aufwand bedeutet, lassen sich für die Wasseraufnahme die Feuchteverteilungen berechnen. Diese für hygrothermische Berechnungen wesentlichen Transportkoeffizienten können mit guter Näherung auch aus Standardstoffkennwerten (dem w -Wert, der freien Wassersättigung und dem Bezugsfeuchtegehalt) approximiert werden.

Freie Sättigung

Die freie Sättigung ist die gewichts- oder volumenbezogene Menge an Wasser, die ein Material bei Wasserlagerung ohne zusätzliche äußere Kräfte (Überdruck oder Vakuum) aufnimmt. Sie liegt aufgrund eingeschlossener Luftporen stets unterhalb der Menge, die das Material aufgrund seiner offenen Porosität aufnehmen könnte.

Zur Bestimmung der freien Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck gemäß DIN 52103 werden entsprechend vorbereitete und gewogene Prüfkörper in ein Wasserbad, gefüllt mit Leitungswasser, auf einen Gitterrost gelegt. Die Prüfkörper werden zunächst für 1 Stunde nur bis zur Hälfte eingetaucht. Dann werden sie mit 20 mm $\pm$ 5 mm Wasser überdeckt und in regelmäßigen Zeitintervallen gewogen. Oberflächlich anhaftendes Wasser wird mit einem feuchten Schwammtuch entfernt. Die freie Wasseraufnahme ist beendet, wenn Gewichtskonstanz erreicht ist, d. h. der Prüfkörper ändert sein Gewicht in 24 Stunden um nicht mehr als 0,1 M.-%. Anschließend werden die Prüfkörper bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank getrocknet (Trocknungstemperatur 110 °C bzw. 40 °C für gipshaltige Baustoffe oder für Baustoffe, bei denen höhere Temperaturen zu vermeiden sind, bei Kunststoffen 70 °C). Die Bestimmung der Wasseraufnahme von Beschichtungsstoffen erfolgt analog. Dazu werden die Materialien auf Aluminiumbleche aufgebracht.

Sorptionsfeuchte

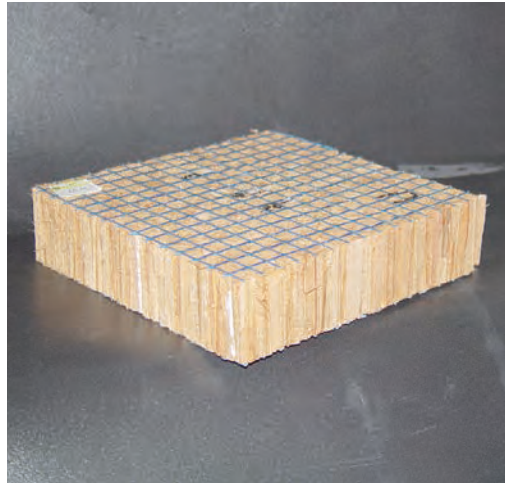
Zur Bestimmung der Sorptionsfeuchte gibt es ein allgemein angewandtes, sehr einfaches Verfahren. Die Probe wird in einem über einer Salzlösung oder mit Hilfe eines Klimaschranks eingestellten Klima gelagert und der Ausgleichsfeuchtegehalt durch Wiegen der Probe ermittelt. Durch schrittweises Variieren der relativen Luftfeuchte von relativ niedrigen (< 50 % r. F.) zu hohen Feuchten (bis 95 % r. F.) erhält man die Adsorptionsisotherme bzw. bei umgekehrter Vorgehensweise die Desorptionsisotherme. Messungen oberhalb von

95 % r. F. sollten nicht durchgeführt werden, da in diesem Bereich bei hygroskopischen mineralischen Baustoffen die Sorptionsisotherme extrem steil ist. Kleine nicht auszuschließende Schwankungen der relativen Luftfeuchte (z.B. durch Temperaturschwankungen) bewirken nämlich bereits sehr große Änderungen der Sorptionsfeuchte. Zur Bestimmung der

Sorptionsisotherme von Beschichtungsstoffen werden diese auf Aluminiumbleche aufgebracht. Die Ermittlung einer Sorptionsisotherme dauert je nach Probenmaterial und der Anzahl der Feuchtestufen aufgrund der sehr langsamen Einstellung der Ausgleichsfeuchte mehrere Wochen bis Monate. Das Messverfahren ist innerhalb der DIN EN ISO 12571 normiert.

Einfluss des Plattenaufbaus

Im Folgenden wird eine Auswahl der untersuchten Plattenvarianten vorgestellt, um an ihnen den Einfluss des Aufbaus auf die bauphysikalischen Eigenschaften darzustellen. Bild 3 zeigt ein Plattenmaterial mit senkrecht zur Plattenebene orientierten stabförmig aus der Blattmasse geschnittener Partikel, zusammen mit den bestimmten Materialkennwerten. Dabei beschreibt λ die Wärmeleitfähigkeit, μ den Wasserdampfdiffusionswiderstand, $w(6h)$ den Wasseraufnahmekoeffizienten nach 6 Stunden Wasserkontakt, u_{80} den Sorptionswassergehalt bei 80 % rel. Luftfeuchte und ρ die Rohdichte des Materials.



λ	0,056 W/mK
μ	1,8
$w(6h)$	1,2 kg/m ² ·h
u_{80}	16,8 M.-%
ρ	75 kg/m ³

Bild 3: Plattenmaterial mit senkrecht zur Plattenebene orientierten stabförmig aus der Blattmasse geschnittener Partikel, zusammen mit den Materialkennwerten, Foto IBP

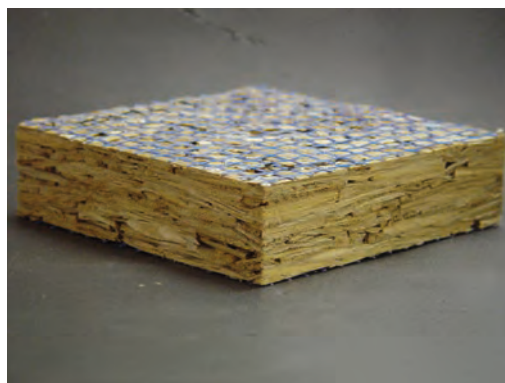
Man erhält auf diese Weise einen sehr diffusionsoffenen Baustoff mit geringer Rohdichte und mittlerer Wärmeleitfähigkeit. Verwendet man größere, weniger genau zugeschnittene Partikel, wie beim im Bild 4 dargestellten sogenannten Chip-Board ergibt sich eine nochmals höhere Wärmeleitfähigkeit, weswegen hier auf die Bestimmung weiterer Materialkennwerte verzichtet wurde.



λ	0,062 W/mK
μ	-
$w(6h)$	-
u_{80}	-
ρ	125 kg/m ³

Bild 4: Chip-Board mit überwiegend senkrecht zur Plattenebene orientierten, gröberen Partikel, zusammen mit den Materialkennwerten, Foto IBP

Erstellt man mit dem gleichen Material eine Platte mit überwiegend parallel zur Plattenebene liegenden Chips ergibt sich eine merklich niedrigere Wärmeleitfähigkeit, wie anhand von Bild 5 erkennbar.

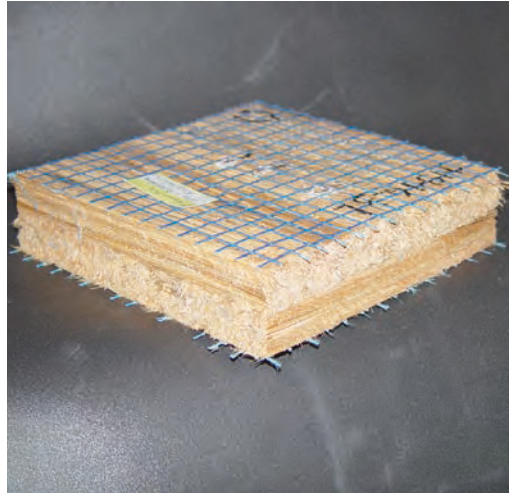


λ	0,041 W/mK
μ	46
$w(6h)$	1,3
u_{80}	-
ρ	120 kg/m ³

Bild 5: Chip-Board mit überwiegend waagrecht zur Plattenebene orientierten, gröberen Partikel, zusammen mit den Materialkennwerten, Foto IBP

λ	0,039 W/mK
μ	44
$w(6h)$	
u_{80}	16,0 M.-%
ρ	100 kg/m ³

Bild 6: Plattenmaterial aus zwei senkrecht zueinander stehenden Schichten mit liegender Orientierung, zusammen mit den Materialkennwerten, Foto IBP



Die Erstellung eines Plattenmaterials aus zwei senkrecht zueinander stehenden Schichten mit liegender Orientierung bringt eine weitere geringe Absenkung der Wärmeleitfähigkeit (Bild 6). Allerdings steigt damit auch der Herstellungsaufwand merklich an.

λ	0,040 W/mK
μ	10
$w(6h)$	
u_{80}	
ρ	95 kg/m ³

Bild 7: Faserboard mit weitgehend ungerichtetem Material, zusammen mit den Materialkennwerten, Foto IBP



Fasert man das Blattmaterial komplett auf, erreicht man auch völlig ohne Ausrichtung ein Plattenmaterial, das nahezu die gleiche Wärmeleitfähigkeit wie das Plattenmaterial aus zwei senkrecht zueinander stehenden Schichten mit liegender Orientierung aufweist (Bild 7).

Fazit:

Zusammenfassend lässt sich aus diesen Untersuchungen erkennen, dass eine parallel zur Plattenebene ausgerichtete Orientierung der Partikel zu einer Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit und eine Erhöhung des Dampfdiffusionswiderstandes führt. Bei sehr feiner Auffaserung lässt sich ein Material herstellen, das die Wärmeleitfähigkeit anderer klassischer Dämmstoffe nahezu erreicht. Allerdings ist dieses Produkt von seinen Eigenschaften und auch bezüglich seines Aussehens dem der Holzfaserdämmplatte sehr ähnlich. Da letztere bereits seit langem erfolgreich auf dem Markt vertreten ist, wird unsererseits einem sehr ähnlichem Produkt aus Rohrkolben wenig Marktchancen eingeräumt. Hinzu kommt, dass durch die Auffaserung wesentliche positive Eigenschaften von

Typha verloren gehen. Außerdem zeigen die Untersuchungen am Fachwerkgebäude in Nürnberg, dass dort aufgrund vorhandener statischer Probleme vor allem nach einem Dämmstoff gesucht wird, der auch eine aussteifende Wirkung mit sich bringt. Ein weiterer Nachteil der beschriebenen Produkte liegt darin, dass entweder Kunststoffnetze oder organische Kleber eingesetzt werden, sodass diese Produkte nicht ohne Weiteres in den Kreislauf rückführbar wären. Aus diesem Grund wurde ein anderer Entwicklungsweg eingeschlagen, bei dem das Augenmerk nicht ausschließlich auf die Erzielung einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit gerichtet ist, sondern die Kombination unterschiedlicher positiver Eigenschaften, wie Festigkeit, Nachhaltigkeit und Einfachheit in der Herstellung.

Magnesitgebundene Typhaplatte

Durch die Bindung mit einem Magnesitkleber und die in der Plattenebene isotrope Ausrichtung der Blattpartikel entstand ein Produkt, das außer Pflanzenbestandteile und einem rein mineralischen Kleber keine weiteren Zusätze aufweist und somit vollständig kompostierbar wäre, aber auch gute statische Eigenschaften aufweist. In der folgenden Grafik (Bild 8) ist die Abhängigkeit der gemessenen Wärmeleitfähigkeit von der Rohdichte dargestellt. Diese Rohdichte ergibt sich aus unterschiedlicher Verdichtung in der Plattenpresse und variierenden Magnesitanteilen, wie sie in Tabelle 1 aufgeführt sind.

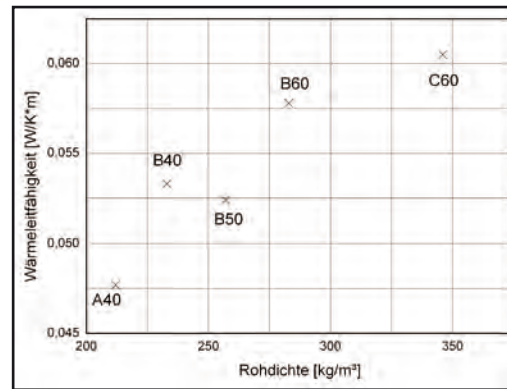


Bild 8: Wärmeleitfähigkeit der magnesitgebundenen Typhaplatte in Abhängigkeit von der Rohdichte, Diagramm IBP

Wie zu erwarten, nimmt mit steigender Rohdichte tendenziell die Wärmeleitfähigkeit zu. Aufgrund des besonders positiven Produktes aus Stabilität und Wärmeleitfähigkeit wurde für die weiteren Untersuchungen die Magnesitplatte mit der Kennzeichnung 1a (B50), die trotz höherer Dichte und Festigkeit wie die Platte 1c (B40) eine geringere Wärmeleitfähigkeit aufweist. Für dieses Material wurde deshalb die komplette Bandbreite der hygrothermischen Materialkennwerte ermittelt (Tabelle 2).

Bei dieser Platte handelt es sich somit um ein Material, das trotz relativ hoher Rohdichte, einer hohen Festigkeit eine relativ niedrige Wärmeleitfähigkeit von 0,055 W/mK aufweist, kapillaraktiv ist und eine mittlere Diffusionsoffenheit zeigt, wodurch in vielen Anwendungsfällen auf den Einsatz einer Dampfbremse verzichtet werden kann.

Probe	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit [W/Km]	Magnesitanteil	Rohdichte [kg/m³]	Probenbezeichnung
IBP	IBP	IBP	Lt. Herst.	Lt. Herst.	Lt. Herst.
Fo232_A40	212	0,048	40%	220	2.c.
Fo232_A50	237	-	50%	220	2.a.
Fo232_A60	243	-	60%	220	2.b.
Fo232_B40	233	0,053	40%	256	1.c.
Fo232_B50	257	0,052	50%	256	1.a.
Fo232_B60	283	0,058	60%	256	1.b.
Fo232_C40	-	-	-	-	-
Fo232_C50	318	-	50%	290	3.a.
Fo232_C60	346	0,061	60%	290	3.b.

Tabelle 1: Auflistung der Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit der untersuchten magnesitgebundenen Typhaplatte bei Variation des Magnesitanteils und der Verdichtung in der Plattenpresse, Tabelle IBP

Materialkennwert	Einheit	Wert
Rohdichte	kg/m³	270
Porosität	Vol.-%	75
Diffusionswiderstandszahl Dry-cup (23 0/50)	-	28
wet-cup (23 50/93)	-	20
Wasseraufnahmekoeffizient	kg/m²√h	1,1
Sorptionsfeuchtegehalt 23 °C 65 % r.F.	Vol.-%	0,65
23 °C 80 % r.F.	Vol.-%	1,2
23 °C 93 % r.F.	Vol.-%	2,9
23 °C 97 % r.F.	Vol.-%	6,9
Freie Sättigung	Vol.-%	59
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	0,055

Tabelle 2: Auflistung der an der Platte 1a ermittelten hygrothermischen Kennwerte, Tabelle IBP

Aufbau der Versuchsanlage und Produktion des Plattenmaterials

David Theuerkorn

Magnesitgebundene
Typha-Platte, Foto Typha-
Technik



Typhabündel im LKW,
Foto Typha-Technik



Rohstoff im Lager, Foto
Typha-Technik



Vorversuche mit den Probekörpern

Zu Beginn des Projekts stand die qualitative Optimierung der Produktentwicklung. Es wurden mit vorhandenem Rohstoff aus dem letzten Jahr Probestücke erstellt und hinsichtlich der Ermittlung der relevanten Kennwerte untersucht. Diese Prüfkörper konnten noch mit der vorhandenen Laboranlage produziert werden, da es sich nur um geringe Mengen und kleine Plattenformate handelte.

Es wurde ein Prüfplan mit neun Varianten erstellt. Diese unterschieden sich voneinander in den beiden wesentlichen Variablen: Dem Anteil an Bindemittel (Magnesit) und dem Grad der Verdichtung.

Von diesen neun Varianten wurden jeweils kleine Serien hergestellt und gingen an das Labor des Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BlfD) zur Ermittlung der Druckfestigkeit und der strukturellen Eigenschaften, sowie an das Institut für Bauphysik (IBP) der Fraunhofergesellschaft zur Beprobung hinsichtlich der spezifischen Wärmeleitfähigkeit und der Diffusionswiderstände.

Sobald die Ergebnisse der beiden Projektpartner vorlagen, konnte die Entscheidung für die Produktvariante getroffen werden, die im gewonnenen Spektrum die günstigsten Eigenschaften zeigte, d.h. das beste Verhältnis von Wärmedämmung, Festigkeit und Diffusionsoffenheit aufwies.

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen des BlfD erleichterten zudem die Beantwortung struktureller Fragen wie Partikelgröße und Art der Benetzung mit dem Bindemittel.

Rohstoffbeschaffung und Lagerung

Für die Herstellung der Probekörper für die Vorversuche konnte noch auf vorhandenen Rohstoff zurückgegriffen werden. Um die gesamte erforderliche Menge zu produzieren, musste parallel zu den Vorversuchen neues Material besorgt werden. Hierzu wurde auf bestehende Kontakte im Donaudelta in Rumänien zurückgegriffen, um dieselbe Rohstoffqualität wie bei den Vorversuchen zu haben.

Die Verhandlungen mit dem rumänischen Ernter wurden schon Ende letzten Jahres geführt um die rechtzeitige Lieferung sicherzustellen.

Im Donaudeelta wurde das Rohmaterial geschnitten, gebündelt, und per LKW von Tulcea nach Deutschland transportiert.

Aufbau der Versuchsanlage

Zeitgleich wurde mit dem Umbau bzw. Neubau der Anlagenkomponenten begonnen, um die geforderten Mengen für die Baustelle in Nürnberg im vorgegebenen Zeitrahmen produzieren zu können.

Dabei wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Konstruktion der Schneidetechnik Längsschnitt
- Umbau der Schneidetechnik Querschnitt
- Aufbau von Fördertechnik und Zwischenspeicher
- Konstruktion der Beleimtrommel mit integrierter Wiegeeinrichtung
- Bau der Pressformen
- Konstruktion der Hydraulikpresse
- Aufbau der Trocknungsvorrichtung

Längsschneideeinrichtung

Die Maschine zum Längsschneiden der Typha-Blattbündel besteht aus einem Messerblock von jeweils gegenläufigen HSS-Kreismesserpaaren im Abstand von ca. 2 mm, die elektrisch angetrieben die Blattbündel durch den Block ziehen und in Streifen bzw. Stäbe von 2 – 5 mm zerlegen. Diese Maschine wurde komplett neu gebaut, weil die entsprechende Komponente der Laboranlage keine ausreichende Leistung bot.

Querschneideeinrichtung

Die längsgeschnittenen Stäbe mit einer Länge von 1 – 1,5 m werden in einer Querschneideeinrichtung in Abschnitte von ca. 10 cm zerlegt. Dabei führt sie ein kurzes Förderband aus dem Längsschnitt zum Querschnitt, von wo sie dann in den Zwischenspeicher gefördert werden. Für diese Maschine wurde ein alter Heu- und Futterschneider aufgearbeitet und umgebaut.

Beleimtrommel

Über ein Förderband werden die verarbeitungsgerecht zugeschnittenen Partikel dem Silo entnommen und der Beleimtrommel zugeführt. Dieser Vorgang ist kontrollierbar über Wägezellen, die zwischen der Trommel und dem ca. 2 m hohen Stahlrohruntergestell angebracht sind. Die Höhe des Gestells erleichtert den Befüllvorgang der Pressformen. Mithilfe einer Druckluftanlage, die die Partikel im Herabfallen besprüht, wird das Pressgut in der Trommel beleimt. Auch dieser Vorgang wird über die Wägezellen gesteuert.



Typha-Stäbe nach Längsschnitt, Foto Typha-Technik



Längs- und Querschneideeinrichtung, Foto Typha-Technik



geschnittene Partikel, Foto Typha-Technik



Bindemittel-Sprühauto-
mat, Foto Typha-Technik

Beleimtrommel, Foto Typha-Technik



Einbringen der Pressform in die Presse, Foto Typha-Technik



Pressvorgang, Foto Typha-Technik



Pressformen

Auf Grund der Gefachformate in der Pfeifergasse sollten die Platten ein Format von 1 x 2,5 m haben. Für diese Größe wurden die Pressformen aus Siebdruckplatten mit Eschenholz-Verstärkungsrippen gebaut. Sie werden unter Druck verriegelt und der Presse sofort wieder entnommen. Auf diese Weise können täglich so viele Platten produziert werden wie Formen vorhanden sind.

Presse

Um die großen Plattenformate bewältigen zu können, wurde eine neue Presse geplant und gebaut. Dazu wurden zur Kostenminderung gebrauchte Doppel-T-Träger zu einem stabilen, statisch nachgewiesenen Stahlrahmen verschweißt. Zwei 15t-Hydraulikzylinder bringen den erforderlichen Druck auf eine Pressschiene, um die Formen auf das gewünschte Maß zu verdichten.

Trockenraum

Damit die Presszeit des Materials auf ein akzeptables Maß verkürzt werden konnte, mussten die Platten in der Form beheizt werden. Dies geschieht über Nacht in einem mit Warmluftgebläse beheiztem Trockenraum.

Arbeitsabläufe Plattenproduktion

Die einzelnen Blattbündel werden manuell dem Längsschneider zugeführt und von den Kreismesserpaaren in Stäbe gespalten. Diese werden über ein Förderband zum Querschneider (Rotationsschneidemaschine) transportiert und dort auf die gewünschte Länge abgelängt. Die geschnittenen Partikel werden in den Zwischenspeicher gefördert und von einem Förderband mit Mitnehmern dort entnommen und in die Beleimtrommel eingewogen. Während des Mischvorgangs wird das angerührte Magnesit über den Druckluftautomaten in die Trommel eingesprüht und so die Partikel benetzt. Die beleimte Masse wird in die Pressform entleert und manuell möglichst gleichmäßig verteilt. Der Deckel der Form wird aufgesetzt und die Form in die Presse geschoben und auf das gewünschte Maß verdichtet. Die Form wird in diesem Zustand verriegelt und kann der Presse wieder entnommen werden und bleibt über Nacht im Trockenraum bis die Platte ausgehärtet ist.

Herstellung der Zusatzkomponenten

Zusätzlich zum Plattenmaterial wurden folgende Systemkomponenten entwickelt und produziert:

- Fugenquellmörtel zum Anbinden an die Holzkonstruktion
- Feinfugenmasse zum Verfüllen kleiner Risse im Holz
- Dünne Ausgleichsplatten zum Anpassen an Verformungen
- Diffusionsoffener Außenputz
- Aufbereitete Typha-Samenflugschirmchen als Faserarmierung für Putze

Fugenquellmörtel

Zur Andichtung des Plattenmaterials an die Holzteile musste ein Fugenmörtel entwickelt werden.

Dieser besteht im wesentlichen aus den selben Rohstoffen wie das Plattenmaterial, enthält aber deutlich feiner aufbereitetes Typha, um die rationelle Einbringung in die Fugen mittels Druckluft-Kartuschenpresse zu ermöglichen.

Ausgleichsplatten

Nachdem die Innenseiten der Fachwerkstäbe große Ungleichheiten aufwiesen, musste eine Ausgleichsschicht eingebaut werden. Dafür wurde Plattenmaterial in 1 und 2 cm Stärke produziert.

Feinfugenmasse

Eine feinere Fugenmasse als der Quellmörtel, um kleinere Spalten im Holz zu schließen und so eine gleichmäßige Dampfdiffusion durch die Konstruktion zu bewirken.

Außenputz

Basis dieses Putzes sind zwei verschiedene Siebungen aus Kalktuff-Sand. Diese weisen besonders hohe Diffusionsoffenheit auf. Als Bindemittel dient im Wesentlichen Sumpfkalk und für eine verbesserte Reißfestigkeit sorgen die Samenflugschirmchen von Typha, die sich gleichmäßig in die Masse einmischen lassen.

Typha-Platten, Foto
Alexandra Fritsch





Einbau des Plattenmaterials im Fachwerk als Dämmmaterial und zur Aussteifung und im Massivbereich als Innendämmung

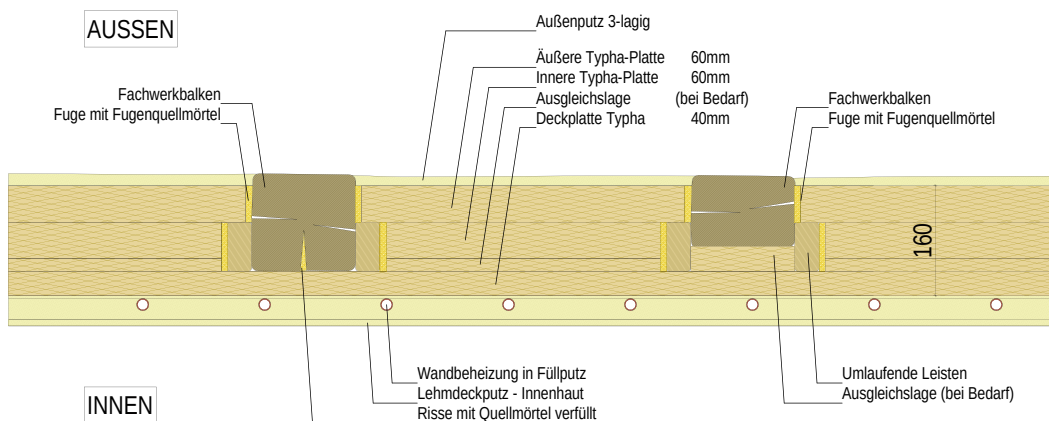
Helmut Knodt

Mit dem Einsatz der Rohrkolbenplatte in der Sanierungspraxis wurden neue Wege beschritten, die hohe Planungs- und Ausführungssorgfalt erforderte.

Die Detailausbildung des Wandaufbaus wurde sorgfältig entsprechend der Bauteilerkundung der komplexen Baukonstruktion konzipiert und die Umsetzung in enger Zusammenarbeit von Bauleitung und Handwerkern ausgeführt. Mithilfe eines Probegefaches wurde eine sehr schlanke Außenwandkonstruktion von 20 cm mit integrierter Wandheizung entwickelt.



Probegefach innen, Foto Alexandra Fritsch



Mitte:
Grundriss Wandaufbau, Plangrundlage Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug

Vorbereitung der Gefache

Nach Abschluss der zimmermannsmäßigen Instandsetzung der Fachwerkkonstruktion wurden die Gefache innen umlaufend mit marktgängigen Dachlatten, Querschnitt ca.

40 x 60 mm, verleistet. Der Abstand zwischen Leiste und Außenkante Fachwerk war definiert durch die gewählte Materialstärke der äußeren Typhaplatte zuzüglich der Außenputzstärke.



links:
zimmermannsmäßige Sanierung des Fachwerks, Foto Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug

rechts:
umlaufendes Einleisten, Foto Alexandra Fritsch

linke Seite:
Fertigstellung 2011
Innenraum mit
Kommunwand, Foto Johannes Fritsch

Zuschneiden der Typha-Platte,
Foto Alexandra Fritsch



Zuschnitt und Anpassung des Plattenmaterials

Die einzelnen Platten wurden danach passgenau entsprechend der Größe der Gefache zugeschnitten, wobei umlaufend zwischen Holz und Typhaplatte eine ca. 10 bis 15 mm breite Fuge gelassen wurde. Die Materialbearbeitung konnte mit den üblichen Holzbearbeitungsmaschinen wie Tisch-, Handkreissäge, Stichsäge oder Fuchsschwanz problemlos durchgeführt werden. Bei Bedarf wurde die Platte zur Anpassung an die Konstruktionshölzer durch abfräsen oder hobeln gedünnt.

Anpassen und Zurichten an
die Bestandskonstruktionshöl-
zer, Foto Architekturbüro
Fritsch+Knodt&Klug



Einbau und Verschraubung
der äußeren Typha-Platte mit
Ausbildung einer Fuge zum
Fachwerk, Foto Alexandra
Fritsch



Einbau ins Gefach, Ausfugen mit Quellmörtel und Verfüllen von Rissen

Zuerst wurde die äußere Typhaplatte, $d = 60 \text{ mm}$, mit Schnellbauschrauben und Beilagscheiben zur Vergrößerung der Anpressfläche von außen an der Verleistung befestigt. Eine weitere Platte, $d = 60 \text{ mm}$, wurde innen mit Fuge zur Einleistung eingepasst und an die Außenplatte geschraubt.

Im weiteren Arbeitsgang wurde die Winddichtigkeit und Kraftschlüssigkeit hergestellt. Die Anschlussfugen zwischen Holz und Typhaplatte wurden innen und außen mit Typha-Fugenquellmörtel mit einer Kartuschen-Druckluftpistole verfüllt und mit einem Fugeisen nachgedichtet und abgezogen. Dem Fugenquellmörtel wurde gemahlenes Typhamaterial beigemischt, der hierdurch die Fähigkeit erhielt, bei späterem Wasserzutritt nachzuquellen.

Vorhandene Fugen, Risse und Löcher im Holzfachwerk wurden ebenfalls sorgfältig mit Feinquellmörtel geschlossen.

Einbau und Verschraubung
der inneren Typha-Platte mit
umlaufender Verleistung und
Ausbildung einer Fuge zum
Fachwerk, Foto Alexandra
Fritsch





links:
Eindichten der Anschlussfugen mit Typha-Quellmörtel, Foto Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug

rechts:
Verfüllen von Holzrisen mit Feinquellmörtel, Foto Alexandra Fritsch

Belegen mit durchgehender Innenplatte, Wandheizung mit faserarmiertem Füll- und Deckputz

Vor dem flächigen Belegen der Innenseite der Wand mit einer etwas diffusionsdichteren Typhaplatte, $d = 40$ mm, musste partiell erst eine einheitliche Wandflucht hergestellt werden. Hierbei wurde je nach Erfordernis mit dünneren Ausgleichsplatten und Quellmörtel die Bestandskonstruktion egalisiert und eine Einbauebene für die Innenplatte geschaffen. Ziel hierbei war, die gesamte Wandkonstruktion möglichst hohlraumfrei herzustellen, um einen schadensfreien, geregelten Feuchtestrom durch die Wand zu gewährleisten.

Zur Optimierung von Raumklima und Außenwandkonstruktion wurde der Einbau einer Wandheizung beschlossen.

Aufgrund der Schraubfestigkeit und guten Verputzbarkeit der Typhaplatte konnten die Wandheizrohre direkt auf die Platten geschraubt und der Raum zwischen den Rohren mit einem Kalk-Gipsputz direkt verfüllt werden. Der darüber liegende Deckputz wurde als ein mit Samenflugschirmchen der Rohrkolbenpflanze vergüteter Lehmputz ausgeführt. Diese Putzarmierung ist ein effektives Mittel, um Rissfreiheit zu gewährleisten



Ausgleichen und Aufdoppeln zur Herstellung einer Wandebene, Foto Helmut Knodt



Belegen der Gesamtfläche und Aufschrauben der Heizrohre, Architekturbüro Fritsch+Knodt&Klug

Diffusionsoffener Außenputz mit Typha-Faserarmierung

Bei der als Sichtfachwerk konzipierten Fassade wurde der Außenputz fachwerkbündig ausgeführt. Im Aufbau wurde nach einem Spritzbewurf aus 4 mm Kalktuff-Einkornsand mit Zement-Kalk-Bindung ein Unterputz aus Kalktuffsand, Körnung bis 4 mm, Sumpfkalk und Festiger aufgebracht. Der Deckputz wurde als Kalkputz mit Kalktuffsand mit einer Korngröße bis 2 mm aufgebracht. Der abschließende Kalkanstrich mit einem zehn Jahre gelagerten



Füll- und Deckputz innen mit Wandflächenbeheizung, Foto Alexandra Fritsch

Außenputz, Foto Alexandra Fritsch



Ausfachung der Kommunwand mit Typha-Platten, Foto Helmut Knodt



Innendämmung und Lehmputz an Sandsteinwand, Foto Alexandra Fritsch



Sumpfkalk wurde dreifach aufgetragen. Auf diese Weise konnte die Wand von innen nach außen zunehmend diffusionsoffener hergestellt werden.

Ausstattung der Kommunwände mit Typha-Plattenmaterial

Die Kommunwände der Pfeifergasse 9 zu den Nachbarhäusern waren in Fachwerk ausgeführt. Im Rahmen der Sanierung war ein Brandschutzwert der gesamten Wandkonstruktion von F60 herzustellen. Durch die guten Brandschutzeigenschaften des Typha-Materials konnte auch hier das Fachwerk analog zu der Konstruktion der Außenwände mit Typha-Platten ausgefacht werden. Lediglich zur Montage der 1. Plattenlage wurden Metallanschlagwinkel verwendet.

Typha-Plattenmaterial als Innendämmung auf Massivmauerwerk

Die Außenwände von Erdgeschoss und straßenseitigem 1. Obergeschoss waren aus Burgsandstein oder im Bereich von Reparatureingriffen aus Mischmauerwerk aus Sandstein und Hochlochziegeln. Um auch hier eine wärmetechnische Aufwertung zu erzielen, wurden die Flächen mit einem mageren Kalkmörtel egalisiert, um Hohlraumfreiheit zwischen Mauerwerk und Dämmplatte herzustellen und anschließend mit 40 bis 60 mm-Typhaplatten, Wandheizung und Innenputz, wie bereits beschrieben, belegt.

Die Befestigung konnte auch bei Schiefstellung der Wand mit wenigen Dübeln befestigt werden. Die Platten wurden stumpf gestoßen. Die Fugen wurden anschließen mit dem Typha armierten Lehmputz verschlossen. Der Einbau war überaus einfach, der Arbeitsaufwand sehr gering.

Bewertung des Materialeinsatzes aus Sicht der baupraktischen Anwendung

Mit dem Magnesit gebundenen Typha-Plattenmaterial konnten die zu Maßnahmenbeginn gestellten Anforderungen voll erfüllt werden.

Dies ist vorrangig die Wiederherstellung der Fachwerksichtigkeit der Fassaden mit extrem dünnen Wandkonstruktionen von 20 cm inklusive Wandheizung unter Einhaltung der EnEV 2009. Die einmalige Kombination von Dämmung und Trageigenschaft ermöglichte außerdem die Aussteifung des verformten, asymmetrischen Traggefüges.

Neben dem Einsatz als Ausfachungsmaterial im Fachwerkbereich ist die Eignung als Innendämmung an Massivmauerwerk



Werkzeugen, die Materialverträglichkeit im Kontaktbereich mit der historischen Substanz wie Holz, Flechtwerk, Lehm, und die Reversibilität an schützenswerten Putz- und Fassungsbeständen.

Die Putzträger-eigenschaft sowie die simple Verbindungstechnik zeigen auf, dass es für das verwendete Material weite Anwendungsbereiche gibt.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Magnesit gebundenen Typha-Platte ein umweltfreundlicher Baustoff ist, der neben seiner energetischen und bautechnischen Relevanz auch ein Beitrag zum Naturschutz ist.

Materialverträglichkeit von historischem Materialbestand mit Typha-Ergänzung, Foto Alexandra Fritsch

sowie der gute Brandschutz, der auch brandschutztechnische Anforderungen erfüllen kann, hervorzuheben.

In der Pfeifergasse 9 wurden etwa 300 m² Typha-Plattenmaterial in den Materialstärken 40 und 60 mm verbaut. Das entspricht ca. 15 m³ Dämmmaterial. Aufgrund der isotropen Struktur des Materials war der Verschnitt mit 5 - 10% äußerst gering.

Die biege-steife Platte konnte auch bei verformter Bausubstanz ohne zusätzliche Hilfskonstruktionen mit nur geringem Eintrag von Wasser eingebaut werden. Hervorzuheben ist die einfache Verarbeitbarkeit mit allen gängigen



Typha-Pflanze, Foto Typha-Technik

unten:
fertiggestellte Fachwerkfassade, Foto Uwe Kabelitz



Rechnerische und messtechnische Überprüfung der Wandkonstruktionen

Martin Krus

Rechnerische Untersuchungen zum Einsatz der magnesitgebundenen Typhaplatte als Innendämmung auf Mauerwerk

Das Fachwerkgebäude in der Pfeiffergasse, Nürnberg besitzt wie viele derartige Gebäude ein massives Erdgeschoss aus Mauerwerk. Um auch dieses energetisch zu sanieren, wurde der Einbau einer Innendämmung mit der magnesitgebundenen Typhaplatte in einer Materialstärke von 4 cm vorgesehen, die mit einem faserbewehrten Lehmputz versehen wird. Die Platten werden dabei lediglich auf Stoß eingebaut und mit Dübeln an der Innenseite der Außenwand befestigt. Da aus finanziellen Gründen hierfür keine begleitende messtechnische Untersuchung geplant war, wurde die Schadensfreiheit dieser Maßnahme über hygrothermische Berechnungen überprüft. Für die rechnerische Untersuchung von gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportvorgängen liegt am IBP ein erprobtes und vielfach validiertes eindimensionales und zweidimensionales EDV-Programm WUFI®-Pro vor [1]. Bisherige Beschreibungen des Feuchtetransportverhaltens

von Baustoffen mit Hilfe dieser Verfahren haben eine gute Übereinstimmung zwischen rechnerischer Aussage und praktischer Untersuchung am Objekt ergeben [2-8]. Als Klimarandbedingungen werden die Klimadaten von Holzkirchen verwendet, um damit auch Aussagen für ungünstigere Witterungsbedingungen als in Nürnberg treffen zu können. Für das Innenklima dienen Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtelast (entspricht normal genutztem Wohnraum). Als Wärmeübergangskoeffizienten wird innenseitig von $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ und außenseitig von $17 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgegangen. Die Materialkennwerte für das Mauerwerk und den Lehmputz werden der WUFI®-Materialdatenbank entnommen. Für die Typhaplatte werden die daran bestimmten hygrothermischen Materialkennwerte zugrunde gelegt. Mit Hilfe des Prognosetools WUFI®-Bio [9; 10] wird gegebenenfalls beurteilt, ob das Wachstum von Schimmelpilzen möglich ist. Bild 9 zeigt den implementierten Wandaufbau. Da eine vollflächige Auflage der Typhaplatte auf dem Ziegelmauerwerk nicht sicher zu garantieren ist, wurde zwischen Dämmung und Mauerwerk eine dünne Luftschicht angenommen.

Bild 9: Für die Anwendung als Innendämmung auf Mauerwerk implementierter Wandaufbau. Der Blaue Pfeil zeigt auf die kritische Stelle der Konstruktion, die bei den Berechnungen besonders betrachtet wird, Diagramm IBP

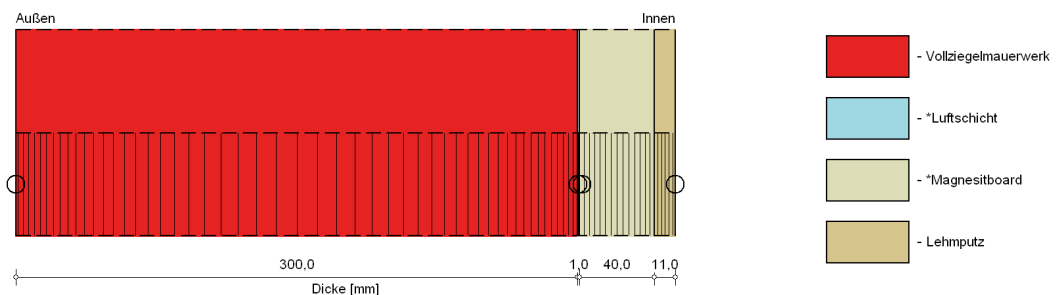
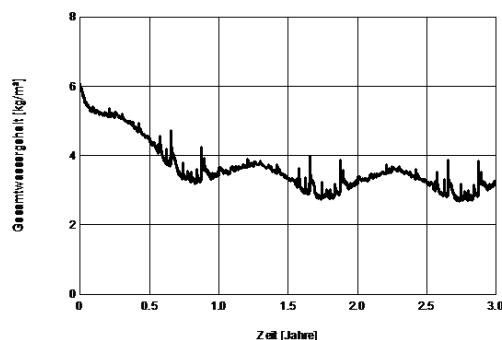


Bild 10: Berechneter Verlauf des Gesamtwassergehaltes der innenseitig mit der Typhaplatte gedämmten Außenwand, Diagramm IBP.



In Bild 10 ist der berechnete Verlauf des Gesamtwassergehaltes dargestellt. Ausgehend von einer Anfangsfeuchte entsprechend der Ausgleichsfeuchte bei 80 % r. F. trocknet der Wandaufbau zunächst etwas aus und zeigt dann einen typischen jahreszeitlich schwankenden Verlauf auf.

Betrachtet man die kritischste Stelle der Wand, zwischen Außenwand und Innendämmung (im Bild mit einem Pfeil markiert), sind auch hier die typischen Jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchte zu

erkennen. Allerdings werden an dieser Stelle nur maximale relative Luftfeuchten von ca. 65 % erreicht (Bild 11). Eine Schimmelpilzbildung kann somit ausgeschlossen werden.

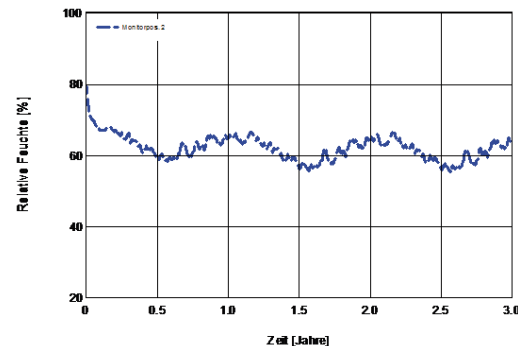
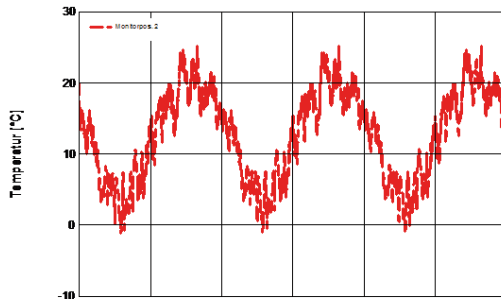


Bild 11: Zeitlicher Verlauf der Temperatur (links) und der relativen Luftfeuchte (rechts) zwischen Außenwand und Innendämmung, Diagramm IBP

Die Berechnungsergebnisse bedeuten, dass bei sorgfältiger Ausführung mit einer guten dauerhaften Abdichtung kein Feuchteschaden zu erwarten ist. Da dies aber nicht immer gegeben sein wird, stellt sich natürlich auch die Frage der Fehlertoleranz der Konstruktion. Um darauf eine Antwort zu finden, wurde im Folgenden bewusst von einer Undichtigkeit ausgegangen,

die eine Hinterströmung der Dämmplatte mit warmfeuchter Luft aus dem Innenraum zur Folge hat. Bei den folgenden Berechnungen wurde von einer Hinterströmung mit 1 Liter pro Stunde und laufendem Meter Wandlänge ausgegangen. Wie aus Bild 12 ersichtlich führt dies zu einer nur geringfügig langsameren Austrocknung der Wand.

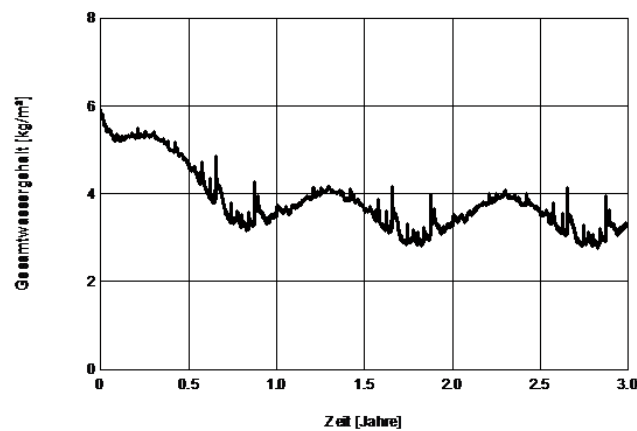


Bild 12: Berechneter Verlauf des Gesamtwassergehaltes der innenseitig mit der Typhaplatte gedämmten Außenwand bei einer Hinterströmung mit 1 l/mh, Diagramm IBP

Bild 13 zeigt die Situation hinter der Dämmung. Durch die einströmende warme Luft werden die Minimaltemperaturen von knapp unter 0 °C auf knapp über den Gefrierpunkt angehoben.

Gleichzeitig steigt zu diesem Zeitpunkt die maximale Luftfeuchte auf Werte von bis ca. 75 % r. F. Auch bei diesem Niveau ist noch keinerlei Schimmelwachstum zu befürchten.

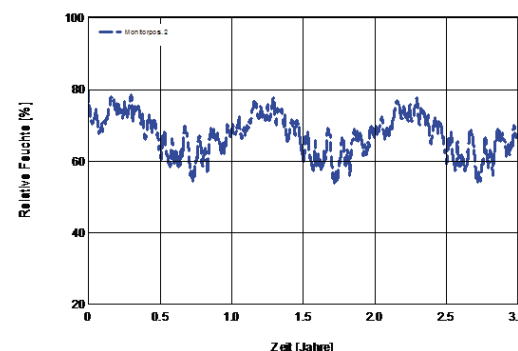
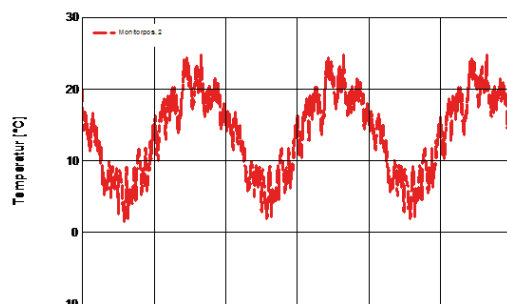
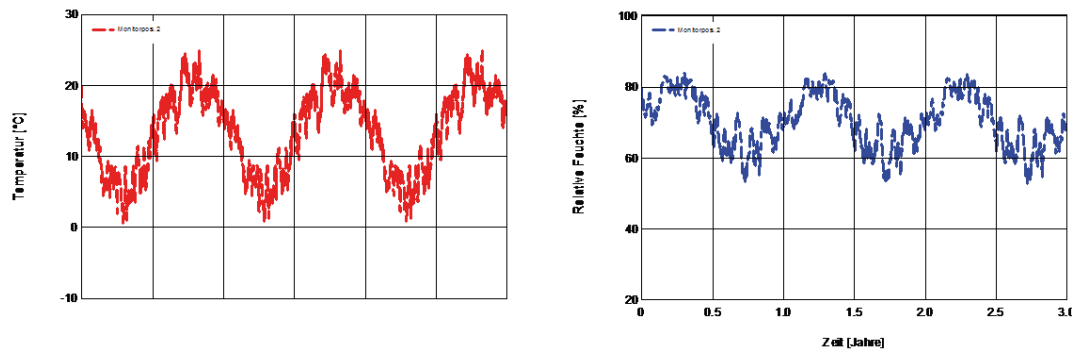


Bild 13: Zeitlicher Verlauf der Temperatur (links) und der relativen Luftfeuchte (rechts) zwischen Außenwand und Innendämmung bei einer Hinterströmung mit 1 l/mh, Diagramm IBP

Das Ergebnis für eine weitere Erhöhung der Hinterströmung auf insgesamt einem Kubikmeter pro Tag und laufendem Meter Wandlänge zeigt Bild 14. Nun werden im Winter zeitweise auch 80 % r. F. überschritten, sodass eine Schimmelpilzbildung nicht unbedingt auszuschließen wäre. Um dies zu überprüfen, wird deshalb der berechnete Verlauf der Temperatur und der relativen Luftfeuchte an dieser Stelle in das

Schimmelpilzprognoseprogramm WUFI®-Bio eingelesen. Wie anhand des in Bild 15 dargestellten Ergebnisses zu erkennen ist, überschreitet auch unter diesen Bedingungen der Sporenwassergehalt nie den Grenzwassergehalt, sodass kein Schimmelpilzwachstum auftritt. Der Wandaufbau mit dieser Innendämmung weist somit eine beträchtliche Fehlertoleranz auf, was zum Teil auch in der relativ niedrigen Dämmstoffdicke begründet ist.

Bild 14: Zeitlicher Verlauf der Temperatur (oben) und der relativen Luftfeuchte (unten) zwischen Außenwand und Innendämmung bei einer Hinterströmung mit 1 m³/md, Diagramm IBP



Ergebnis der Berechnungen mit WUFI®-Bio für den Bereich hinter der Innendämmung. Trotz Hinterströmung ist kein Schimmelpilzwachstum zu erwarten.

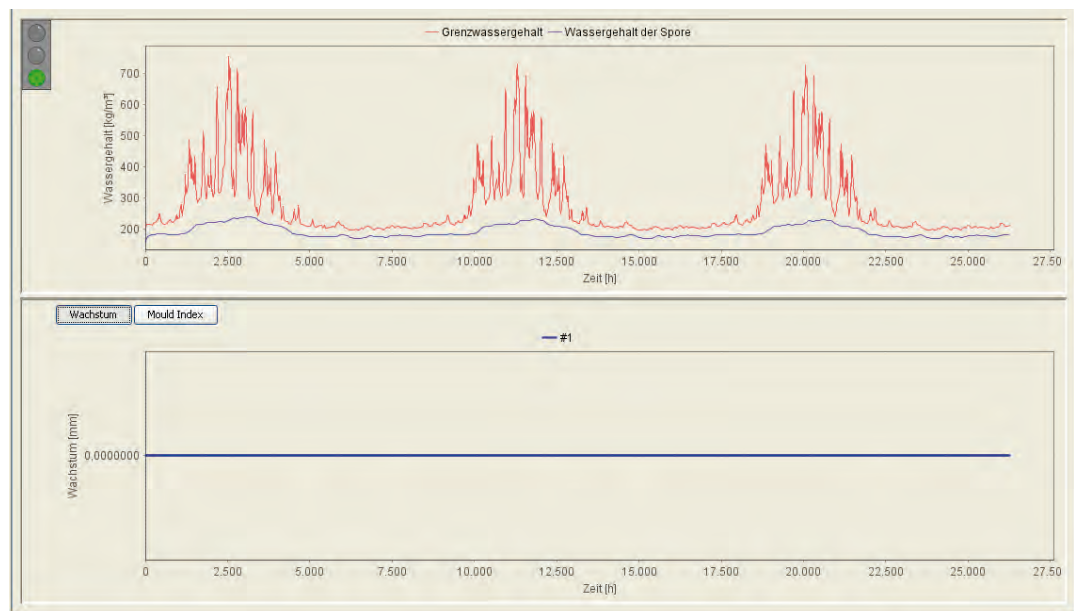


Bild 15: Ergebnis der Berechnungen mit WUFI®-Bio für den Bereich hinter der Innendämmung, Diagramm IBP

Messtechnische Überprüfung der Wandkonstruktionen

An dem Fachwerkgebäude in der Pfeiffergasse der Altstadt Nürnberg wird das voroptimierte Typha-Plattenmaterial sowohl als Gefach- als auch als Innendämmung verbaut. In einem ausgesuchten Wandbereich sollen messtechnische Untersuchungen durchgeführt werden, um die Funktionsfähigkeit und die Schadensfreiheit der Maßnahme zu untersuchen und zu dokumentieren.

Aufbau der Messlinie

Über den Querschnitt des ausgesuchten Gefaches verteilt werden Messfühler zur Bestimmung der Temperatur, der relativen Luftfeuchte, der Holzfeuchte und des Wärmestroms eingebaut. Bild 16 zeigt die Messstellen für die Temperatur und die relative Luftfeuchte mittig unterhalb des Außenputzes sowie vier Holzfeuchtemessstellen im äußeren Bereich der umgebenden Holzbalken. Zwischen den beiden 6 cm dicken Typhaplatten wurde ein Temperaturfühler eingebaut (Bild 17).



Bild 16: Äußere Sensorik an der Grenzsicht 1, unterhalb des Außenputzes, Foto IBP



Bild 17: Temperaturfühler an der Grenzsicht 2, zwischen den beiden Dämmstoffplatten im Gefach, Foto IBP

Die Wärmefluss-scheibe sowie ebenfalls ein Luftfeuchte- und ein Temperaturfühler wurden unterhalb der Innendämmung auf die zweite Dämmplattenebene aufgebracht (Bild 18).

Vor dem Aufbringen des Innenputzes wurde auf der Innendämmung ein weiterer Temperaturfühler aufgebracht (Grenzsicht 4). Alle Sensoren wurden verkabelt und mit der Messwerterfassungsanlage verbunden



Bild 18: Temperaturfühler, Wärmefluss-scheibe sowie Feuchtefühler an der Grenzsicht 3, unterhalb der Innendämmung auf der zweiten Dämmplattenebene, Foto IBP

Bild 19 zeigt die provisorische Montage des Gerätekastens sowie die bereits aufgebrachte Wandflächenheizung im August 2010.



Bild 19: Ansicht der provisorischen Montage des Gerätekastens sowie der bereits aufgebrachten Wandflächenheizung im August 2010, Foto IBP

Bild 20: Ansicht nach Fertigstellung im Februar 2011 der mit einem Innenputz versehenen Wand mit endgültiger Position des Gerätekastens, sowie den Oberflächen-temperaturfühler und den Kombisensor für Raumlufttemperatur und -feuchte (im Unterboden des Gerätekastens), Foto IBP



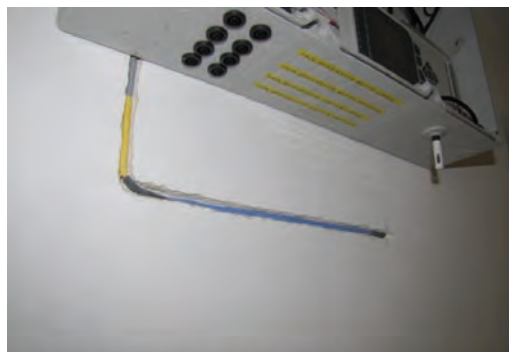
Bild 20 zeigt die Situation im Februar 2011 nach Fertigstellung der mit einem Innenputz versehenen Wand mit endgültiger Position des Gerätekastens, sowie den Oberflächen-temperaturfühler und den Kombisensor für Raumlufttemperatur und -feuchte (im Unterboden des Gerätekastens).

Bild 21: Ansicht des Gerätekastens mit eingebautem Datenlogger (links) sowie der Unterseite mit Kombisensor für das Raumluftklima und Messausgängen für die Holzfeuchtemessungen und den in den Innenputz eingelassenen Sensor für die Innenoberflächentemperatur, Foto IBP



Im Gerätekasten ist ein Datenlogger zur Erfassung und Speicherung der Daten eingebaut, der mit einem Modul zur Datenübertragung per UMTS an das Fraunhofer Institut für Bauphysik versehen ist (Bild 21). Dadurch kann die Funktionsfähigkeit der Datenerfassung sowie die Plausibilität der Ergebnisse von Holzkirchen aus ständig überprüft werden. In Bild 22 ist eine Ansicht der Unterseite des Gerätekastens abgebildet. Deutlich erkennbar ist der Kombisensor, aber auch die Messausgänge für die Holzfeuchtemessungen. Die Holzfeuchte muss diskontinuierlich durch Anschließen des Holzfeuchtemessgerätes vor Ort erfolgen, da eine kontinuierliche Messung derzeit noch mit zu großem finanziellem Aufwand verbunden ist. Der Betreuer vor Ort sowie später die Mieterin haben sich aber bereit erklärt, diese Messungen in regelmäßigen Abständen durchzuführen und zu protokollieren und die Ergebnisse den Mitarbeitern am IBP mitzuteilen.

Bild 22: Unteransicht des Gerätekastens mit eingebautem Datenlogger (links) sowie der Unterseite mit Kombisensor für das Raumluftklima und Messausgängen für die Holzfeuchtemessungen und den in den Innenputz eingelassenen Sensor für die Innenoberflächentemperatur, Foto IBP



Um eine bessere Zuordnung der Messstellen zu deren Position zu ermöglichen ist in Bild 23 der schematische Wandaufbau zusammen mit der Position der Grenzschichten bzw. Messstellen dargestellt.

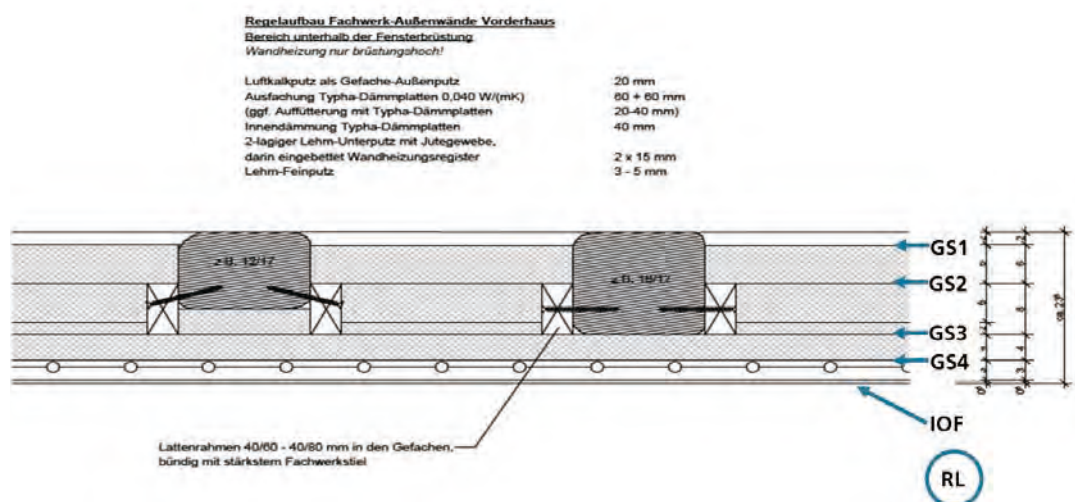


Bild 23: Schematischer Wandaufbau zusammen mit der Position der Grenzschichten bzw. Messstellen, Plangrundlage Architekturbüro Fritsch+KnodtKlug

Messergebnisse

Die Messperiode dauerte von Februar 2011 bis Ende Oktober 2012.

Während der ersten Winterperiode (2010/11) ist die Wandheizung in dem Messraum nicht in Betrieb gewesen. Der Raum wird in dieser Zeit durch die benachbarten Räume temperiert. Im zweiten Winter (2011/2012) ist die Wandheizung in Betrieb.

Bild 24 zeigt den Verlauf der Grenzschnitttemperaturen als Stundenmittelwerte für einen Zeitraum von Januar 2011 bis September 2012. Deutlich zu erkennen ist die typische Temperaturschichtung von innen (Raumlufttemperatur RLLT bzw. innere Oberflächentemperatur IOFT) nach außen an der Grenzschnitt 4 (GS4T).

In der Zeit ohne Wandheizung stellen sich im Winter Raumlufttemperaturen von 16 bis 25°C ein. Ist die Wandheizung in Betrieb, herrschen Raumlufttemperaturen von 20 bis über 25°C. Die hohen Raumlufttemperaturen entstehen durch eine Nachregulierung und Überspringen der Beheizung während der kalten Winterperiode im ersten Quartal 2012. Man erkennt den Kälteeinbruch an den kalten Außenoberflächentemperaturen von unter -10°C.

Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit sind in Bild 25 die Messergebnisse als Tagesmittelwerte abgebildet. Mit dargestellt ist hier auch der Zeitpunkt, ab dem die Wandheizung in Betrieb genommen wurde. Davor wurde der Raum über die offene Tür zum geheizten Nebenraum mit beheizt, was auch aus den niedrigeren Raumlufttemperaturen in der ersten Winterperiode erkennbar ist (Bild 26). Die Inbetriebnahme der Wandflächenheizung ist an den anfänglichen Regelungsversuchen der Mieterin mit deutlicher Übersteuerung zu erkennen (blauer Kreis in Bild 25).

Die Raumluftfeuchte bewegt sich im ganzen Messzeitraum in einem behaglichen Bereich zwischen 40 und 60% relativer Feuchte. Auch hier sind im ersten Quartal 2012 die Regelungsversuche durch starkes Absinken der Feuchte erkennbar.

Der in Bild 27 dargestellte Verlauf der Temperatur und Feuchte an der Grenzschnitt 1 zeigt, dass bedingt durch die mit dem Außenputz eingebrachte Baufeuchte zunächst hohe Feuchten von knapp oberhalb 90 % r. F. vorliegen, aber eine relativ schnelle Abtrocknung stattfindet, sodass im 2. Winter 80 % nur noch knapp überschritten wird und in Folge eine weitere Trocknung auf 60 % stattfindet. Da die Messstelle nahe an der Außenoberfläche liegt,

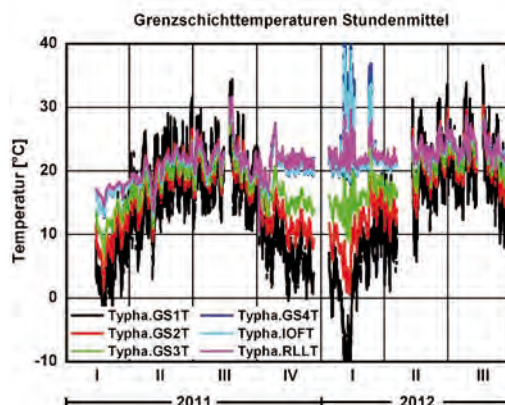


Bild 24: Verlauf der Grenzschnitttemperaturen als Stundenmittelwerte für den Zeitraum von Januar 2011 bis September 2012, Diagramm IBP

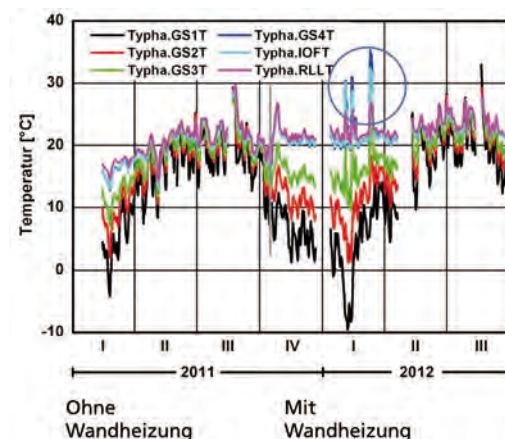


Bild 25: Gemessener Verlauf der Grenzschnitttemperaturen als Tagesmittelwerte für den Zeitraum von Januar 2011 bis September 2012, Diagramm IBP

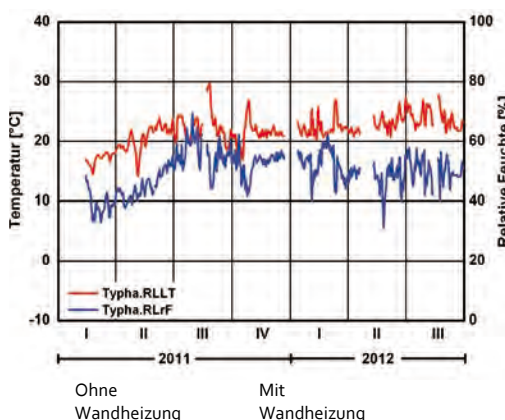


Bild 26: Gemessener Verlauf der Raumluftfeuchte und -temperatur, Diagramm IBP

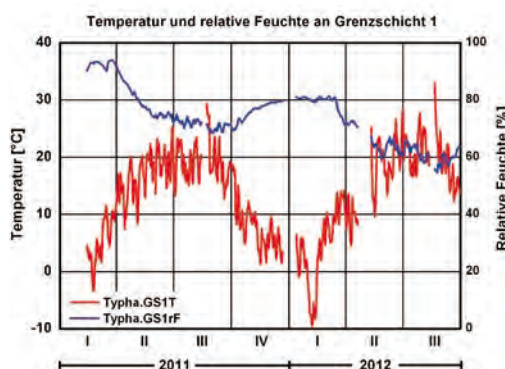
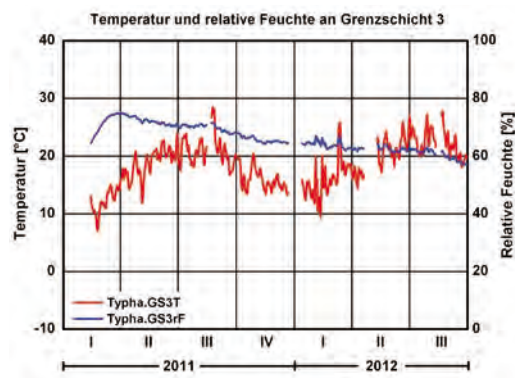


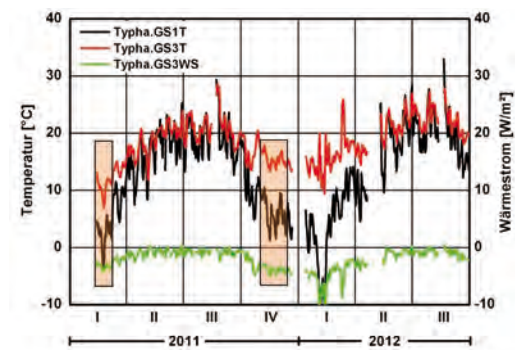
Bild 27: Verlauf der Temperatur und Feuchte an der Grenzschnitt 1, Diagramm IBP

Bild 28: Verlauf der Temperatur und Feuchte an der Grenzschicht 3, Diagramm IBP



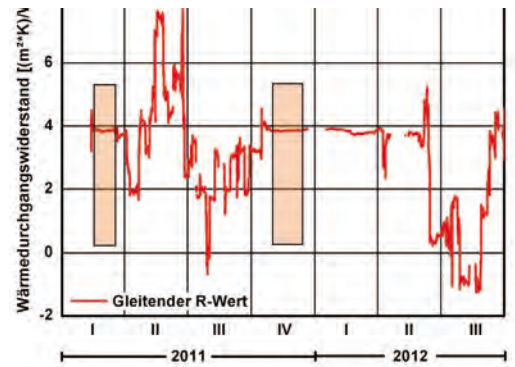
werden dort Temperaturen bis unter -10 °C erreicht.
An der deutlich weiter innen liegenden Grenzschicht 3 unterhalb der Innendämmung ergeben sich wesentlich moderatere Temperaturverläufe (Bild 28). Hier ist zunächst ein leichter Anstieg der Feuchte zu beobachten, was in dem zeitlich verzögertem Abtrocknen des Innenputzes nach außen begründet ist. Der Maximalwert bleibt aber deutlich unterhalb von 80 % und im weiteren Verlauf findet auch hier eine Abtrocknung auf um die 60% statt.

Bild 29: Hinter der Innendämmung (Grenzschicht 3) gemessener Wärmestrom zusammen mit dem Verlauf der Temperatur an der Grenzschicht 1 und 3. Die Balken zeigen Zeitbereiche, die für eine Beurteilung des Wärmewiderstandes geeignet sind, Diagramm IBP



In Bild 29 ist der hinter der an Innendämmung (Grenzschicht 3) gemessene Wärmestrom zusammen mit dem Verlauf der Temperatur an dieser Stelle sowie außen an Grenzschicht 1 dargestellt. Aus diesem Wärmestrom bezogen auf die Temperaturdifferenz kann die Dämmeigenschaft des Aufbaus berechnet werden. Allerdings sollten dazu die Differenz der Temperaturen möglichst groß sein, um nicht durch Werte nahe Null zu dividieren und damit hohe Schwankungsbreiten zu erhalten.

Bild 30: Aus den Messwerten (Bild 29) berechneter gleitender Wärmewiderstand (R-Wert). Die Balken zeigen Zeitbereiche, die für eine Beurteilung des Wärmewiderstandes geeignet sind, Diagramm IBP



In Bild 30 ist der aus den Messwerten berechnete gleitende Wärmewiderstand (R-Wert) dargestellt. Man erkennt deutlich das stark schwankende Ergebnis zu Zeiten mit geringem Temperaturgradienten. Betrachtet man dagegen die Bereiche mit deutlichem Temperaturabstand (in beiden Bildern mit einem roten Balken hinterlegt), ergibt sich ein nahezu konstanter R-Wert von knapp unterhalb 4 m²K/W.

Tabelle 1: Für die in den Bildern 14 und 15 gekennzeichneten Zeiträume ermittelte R-Werte sowie daraus unter Einbeziehung der zusätzlichen Innendämmung berechnete bezogene Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)
*Bezogene Werte, Tabelle IBP

Zeitraum	R*-Wert [m²K/W]	U*-Wert [W/m²K]
5.3. - 21.3.11	3.84	0,25
10.11. - 22.12.2011	3.86	0,25

In Tabelle 1 sind für beide gekennzeichneten Zeiträume ermittelten R-Werte aufgelistet sowie der daraus unter Einbeziehung der zusätzlichen Innendämmung berechnete bezogene Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) aufgelistet. Dabei ist zum Einen zu berücksichtigen, dass es sich hier um die Ergebnisse der Ausfachung handelt. Rechnet man den Einfluss der Balken des Gefaches mit ein, ergibt sich aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit des Holzes für den Gesamtaufbau ein Wert von 0,31 W/m²K. Hierbei handelt es sich allerdings nicht um den normgerechten U-Wert, da die Messung auch die Wärmegewinne durch solare Einstrahlung (diesbezüglich hat auch die Diffusstrahlung einen nicht unerheblichen Einfluss) beinhaltet,

weshalb dieser Wärmedurchgangswiderstand als bezogener U-Wert bezeichnet wird. Berechnet man aus den Materialkennwerten den „echten“ U-Wert ergeben sich somit etwas höhere Werte von 0,29 W/m²K für das Gefach und 0,35 W/m²K für den Gesamtaufbau.

Der Verlauf der Holzfeuchten, die mit einem Handgerät gemessen wurden, stellt sich folgendermaßen dar. Zwischen dem Ende des 4. Quartals 2011 und dem Anfang des 1. Quartals gab es Messausfälle durch Urlaub und Fehlern am Kabel. Aufgrund der mit dem Außenputz eingebrachten Baufeuchte und der relativ guten Saugfähigkeit des Holzes ergeben sich anfänglich sehr hohe Holzfeuchten von bis über 100 Masse-%. Es findet dann aber eine schnelle Abtrocknung statt, sodass im weiteren Verlauf die Holzfeuchten aller vier Messstellen an der Oberfläche des Holzes unmittelbar unterhalb des Außenputzes bei ca. 20 Masse-% liegen.

Zusammenfassende Bewertung

Mit Hilfe der durchgeführten Optimierungen in Bezug auf den Plattenaufbau und dessen Materialeigenschaften ist ein Produkt entwickelt worden, das zahlreiche positive Eigenschaften in sich vereint. Erstmalig liegt hier ein Material vor, das eine relativ hohe Tragfähigkeit aufweist und gleichzeitig ein gutes Dämmvermögen zeigt, aus einem nachwachsendem Material bei geringem Energieeinsatz gefertigt wird, dabei große umwelttechnische Vorteile mit sich bringt. Zudem besitzt es für den Einsatz eine geringe Schimmelpilzanfälligkeit, was gerade bei nachwachsenden Dämmstoffen häufig ein Problem darstellt. Das Material ist hinreichend diffusionsoffen, um Austrocknungsvorgänge nicht zu behindern, aber diffusionsdicht genug, um in vielen Anwendungsfällen auf eine Dampfbremse verzichten zu können.

Die rechnerischen Untersuchungen zur Innendämmung zeigen, dass zumindest bei moderater Dicke die Typhaplatte direkt an die Wand gedübelt und mit einem Innenputz versehen bauphysikalisch schadensfrei funktionieren und dabei sogar eine gute Fehlertoleranz beim Einbau erlauben. Beim Einbau der Typhaplatte im Fachwerkgebäude in Nürnberg ist es gelungen, durch eine Kombination von Gefachdämmung und Innendämmung für den Wandaufbau einen Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. 0,35 W/m²K zu erreichen und das bei einer Gesamtwandstärke von lediglich 20 cm einschließlich Wandheizung. Dies ist für ein Fachwerkgebäude ein außerordentlich gutes Ergebnis. Die am Objekt über zwei Heizperioden

durchgeführten Messungen der Temperaturen und Luftfeuchten in verschiedenen Tiefen der Konstruktion belegen die bauphysikalische Tauglichkeit. Ausgehend von etwas höheren Anfangsfeuchten aufgrund der mit dem Innen- und Außenputz eingebrachten Baufeuchten trocknet der Gefachausbau schnell ab und bleibt bei niedrigen unkritischen Feuchten. Die durchgeführten Messungen des Wärmestroms bestätigen die rechnerischen positiven Ergebnisse. Auch die Holzfeuchtemessungen, die nahe der Außenoberfläche durchgeführt wurden, zeigen, dass eine schnelle Abtrocknung auf relativ niedrige unkritische Holzfeuchten stattfindet.

Insgesamt ergibt die gesamte mit Hilfe der magnesitgebundenen Typhaplatte durchgeführte Dämmmaßnahme ein aus bauphysikalischer und denkmalpflegerischer Sicht äußerst positives Ergebnis.

Literatur

- [1] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [2] Holm, A. und Künzel, H.M. (1998): Feuchte- und Temperaturbelastung von Mineralwollplatten in Wärmedämmverbundsystemen. wksb 43, H. 41, S. 2-6.
- [3] Krus, M., Künzel, H.M. (1996): Vergleich experimenteller und rechnerischer Ergebnisse anhand des Austrocknungsverhaltens von Ziegelwänden. Internationales Symposium of CIB W67 Energy and Mass Flow in the Life Cycle of Buildings. Wien, 4.-10. August 1996, S. 493-498.
- [4] Krus, M., Künzel, H.M., Kiehl, K. (1996): Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk. Bauforschung für die Praxis, Band 25, IRB-Verlag Stuttgart.
- [5] Künzel, H.M. (1999): Praktische Beurteilung des Feuchteverhaltens von Bauteilen durch moderne Rechenverfahren. WTA-Schriftenreihe, Heft 18, Aedificatio Verlag.
- [6] Künzel, H.M., Krus, M. (1995): Beurteilung des Feuchteverhaltens von Natursteinfassaden durch Kombination von rechnerischen und experimentellen Untersuchungsmethoden. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 1, H. 1, S. 5-19.
- [7] Künzel, H.M., Kiehl, K., Krus, M. (1995): Feuchtemigration und langfristige Feuchteverteilung in exponierten Natursteinmauern. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 1, H. 4, S. 267-279.
- [8] Künzel, H.M. und Kiehl, K. (1998): Feuchte- und Wärmeschutz von Sichtmauerwerk mit und ohne Fassadenhydrophobierung. Mauerwerksbau aktuell 98, S. D.50-D.56. Werner-Verlag, Düsseldorf 1998.
- [9] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).
- [10] Sedlbauer, K. und Krus, M. Schimmelpilze in Gebäuden – Biohygrothermische Berechnungen und Gegenmaßnahmen. Berlin: Ernst und Sohn Verlag S. 435-531, Bauphysik-Kalender 2003.



Einordnung der Ergebnisse aus denkmalpflegerischer Sicht und Ausblick auf Strategien zur energetischen Sanierung in der Baudenkmalpflege

Fachwerk sanieren und dämmen mit Typha - Eine zukunftssträchtige Perspektive für die Denkmalpflege

Uli Walter

Fachwerk in Franken ist ein hochgradig emotionales Thema. In der öffentlichen Wahrnehmung wird das Bild der fränkischen Städte und Dörfer von den steilen Fachwerkgiebeln eng gereihter Bürgerhäuser und den Fachwerk-Ensembles der Bauerndörfer geprägt. Fachwerk ist für Franken typisch – sagen die Einwohner selbst und freuen sich, wenn Gäste und Besucher dies bestätigen. Von der Farbigkeit der Hölzer – rot, ocker, braun und grau – erwartet man physiologische oder psychologische Wirkungen auf den Betrachter, von heiter über traditionell bis elegant. Die identitätsstiftende und landschaftsprägende Funktion des Fachwerks hat durchaus seine historische Berechtigung. Die Bildquellen der Vergangenheit, seien es Dürers Reisezeichnungen, die Tafelgemälde der Gotik und der Renaissance oder die frühen Fotografien des 19. Jahrhunderts, bestätigen, dass die vorindustrielle Baukultur Frankens ohne Fachwerk schlichtweg undenkbar ist. Aber: Die aktuelle Begeisterung für die Konstruktionsweise, die ja nicht nur die Hauslandschaft Frankens, sondern auch die anderer Landstriche Deutschlands prägt, hat ihre engere Tradition vorrangig in der Fachwerk-Romantik des 19. und 20. Jahrhunderts. Denn natürlich hatten nicht alle Fachwerkhäuser Frankens immer auch fachwerksichtige Fassaden. Im Verlauf ihrer Geschichte wurden Fachwerkfassaden nicht selten baulich verändert, nachträglich verputzt oder mit anderen Materialien wie Naturschieferplatten verkleidet. Insofern muss nicht jede Fachwerkreilegung der heutigen Zeit immer die richtige Lösung sein.

In striktem Gegensatz zur Fachwerk-Euphorie (die manche Kritiker auch als Fachwerk-Hysterie empfinden), stehen die bautechnischen Probleme bei der Sanierung der gegliederten Bauweise. So schön die pittoreske Erscheinung anmutet, so groß können die bautechnischen Probleme sein. Nicht nur an den Fassaden, sondern auch bei der inneren Gebäudekonstruktion ist die Holz-Ständerbauweise häufig dem direkten Eintrag von Wasser ausgesetzt (Regen, Schnee, Leckstellen im Wasserkreislauf) und dies womöglich über Generationen. Wenn das eingedrungene Wasser nicht abdampfen

kann, ist der Schaden vorprogrammiert. Auch der dauernde Niederschlag von feuchter Luft an versteckten Stellen der Holzkonstruktion kann ähnlich negative Wirkungen hervorrufen. Die Folgen sind nicht selten Konstruktionsverformungen, verursacht durch verfaulte Ständerfüße oder sich auflösende Holzverbindungen. Tierische und pflanzliche Schädlinge wie Anobien, Holzbock oder Hausschwamm tragen ihrerseits zur Verformung bei. Und letztlich sind auch unsachgemäße Umbauten der Bewohner dafür verantwortlich, bedingt beispielsweise durch Nutzungsänderungen, durch den Wunsch nach besserem Wohnen oder durch fehlgeschlagene Sanierungen. Viele Fachwerkhäuser, besonders die mehrgeschossigen, weisen daher nach innen oder nach außen kippende Fassaden auf, andere bauchen in der Mitte aus oder neigen sich bedenklich in eine Richtung. Die Reparatur und statische Nachbesserung des Holztragwerks ist besonders dann eine technische, handwerkliche und finanzielle Herausforderung, wenn das Gebäude unter Denkmalschutz steht und infolgedessen möglichst viel an historischer Bausubstanz erhalten werden muss.

In der heutigen Praxis der Denkmalpflege kommen unberührte, das heißt unsanierte Fachwerkfassaden so gut wie gar nicht mehr vor. Jedes Fachwerk ist im Verlauf seiner oft mehrhundertjährigen Geschichte entweder ganz oder teilweise repariert, ertüchtigt oder erneuert worden. Grund dafür sind die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der verwendeten Baustoffe Holz, Naturstein, Ziegel und Mörtel. Das tragende Holzgerüst des Fachwerks hat naturgemäß ein anderes Schwind- und Quellverhalten als die angrenzenden Füllungen, die in der Regel aus vermörtelten und verputzten Bruchsteinen oder aus verputzten Ziegelsteinverbänden bestehen. Auch das beste Leinöl und die allerbeste Ölfarbe können bei unterlassener Pflege leider nicht verhindern, dass das organische Bauholz Wasser aufnimmt. Die unterschiedlichen Materialbewegungen verursachen im Anschlussbereich von Holz zu Ausfachung zunächst kleine, harmlos erscheinende Risse. Dabei ist es gleichgültig, ob die Ausfachung aus einem unregelmäßigen

Linke Seite:
Treppenraum an Kom-
munwand mit Brand-
schutzanforderung und
Typha-Ausfachung, Foto
Johannes Fritsch

Konglomerat oder aus einem regelhaft versetzten Stein- oder Ziegelverband besteht. Sicher ist lediglich, dass ein zu harter, beispielsweise zementhaltiger Mörtel die unerwünschte Rissbildung extrem fördert. Ein weicherer Mörtel, gemischt aus örtlichen Sanden und trocken gelöschtem Kalk, ist dagegen besser geeignet. Er wird in Mittelfranken „Kalkspatzenmörtel“ genannt und ist an den kleinen weißen Kalkstückchen im ansonsten braunen Mörtelgemisch zu erkennen. Auch ein gezielter Kellenschnitt zwischen Fachwerk und Füllung soll der Sache dienlich sein. Die oben beschriebenen Haarrisse im Randbereich zwischen Holz und Mörtel können sich an der Wetterseite des Hauses bald zu millimetergroßen Rissen ausweiten. Die Schadensentwicklung nimmt damit ihren ungebremsten Verlauf: Wasser dringt in das Materialgefüge ein, schädigt das Holz und wäscht den Mörtel aus. Im Winter führt die Volumensvergrößerung des gefrierenden Wassers zu einer natürlichen Fassadenerosion, die sich in Form von abplatzendem Putz und herabfallenden Steinbrocken äußert. Bei stark verformten Fassaden soll es sogar vorgekommen sein, dass vierseitig gelockerte Gefache einfach auf die Straße kippten.

Vor dem Hintergrund dieser systemimmanenten Schadensbilder ist es nun mehr als interessant, dass mit dem in der Nürnberger Pfeifergasse erstmals auf Praxistauglichkeit getesteten Typha-Board ein hoffnungsvolles Alternativmaterial zur Verfügung steht. Die technischen und bauphysikalischen Eigenschaften der gepressten Rohrkolbenplatten sind in den vorausgegangenen Beiträgen so ausführlich und kompetent beschrieben und analysiert worden, dass es an dieser Stelle keiner Wiederholung mehr bedarf. Wichtiger ist es, die offenkundigen Materialvorteile zu benennen und die vorrangigen Anwendungsbereiche für die Praktische Denkmalpflege zu erkennen:

- In denjenigen Fällen, bei denen historische Ausfachungen nicht mehr vorhanden sind oder aus denkmalpflegerischen Gründen nicht erhalten werden müssen, wird die Typha-Fachwerksanierung in Zukunft eine technisch und gestalterisch optimale Lösung sein.
- Die Typha-Platten wirken innerhalb des Gefaches aussteifend und unterstützen auf diese Weise die Tragfunktion des Fachwerks. Sie können auch bei verformten und nicht lotrechten Wänden eingesetzt werden.
- Die Plattenstärke des Typha-Boards kann der Konstruktionstiefe des Fachwerks angepasst werden. Polsterartig vorstehende Ausfachungen sind nicht zu erwarten. Fachwerk und Gefacheputz liegen in einer Ebene. Die Verwendung von Kalkmörtel ist möglich.
- Das Material eignet sich für die zerstörungsfreie Stabilisierung und wärmetechnische Verbesserung historischer Gefache und Putze und ist reversibel einsetzbar.

Zu den entscheidenden Materialvorteilen gehört nicht zuletzt die die besonders hohe Dämmwirkung des Materials. Fachwerksanierung und Innendämmung können mit einem einzigen Material erfolgen. Dies hat bauphysikalische Vorzüge, weil der sonst übliche Schichtenaufbau um ein Element verringert wird. Abzuwarten bleibt die langfristige Materialentwicklung des in Nürnberg erstmalig verwendeten Fugenmörtels, in den Blütenstände bzw. gemahlene Rohrkolben eingestreut sind. Nach den Herstellerangaben soll der Mörtel quellfähig sein und sich beiden Nachbarn, nämlich Holz und Typha, optimal anpassen. Wenn dies über die Jahre und Jahrzehnte hinaus nachweislich der Fall sein sollte, wäre – so nebenbei – eine systemimmanente Grundproblematik des Fachwerkbaus gelöst.

Habent sua fata monumenta.



