



Abb. 1: Schloss Erxleben. Nördliche Ansicht des Joachimbaus mit Treppenturm

Claudia Christina Hennrich, Conny Luthardt,
Simone Reep, Harald Garrecht, Christoph Diers

Schloss Erxleben

Innovative Sanierungsmethoden zur denkmalgerechten, ressourcenschonenden Sanierung denkmalbedeutender Kulturgüter als Bildungs- und Informationsprogramm

20.000 m² Leerstand und stetiger Verfall sind destruktive Strukturen in einer Gemeinde mit sieben Ortsteilen und 2873 Bewohnern. Sie führt zum Verlust europäischen Kulturguts und der Identifikation eines Ortes.

Das Schloss Erxleben wurde im Mittelalter von der Familie Alvensleben erbaut, ab 1945 als technische Schule genutzt und stand ab 1990 leer. Mittelalterliche Kamine, barocke Stuckdecken, Küchen mit Feuerstellen samt Schlot, Bibliotheksräume in Gestalt romanischer Palasträume bezeichnen die Qualität der baulichen Substanz; eingestürzte Dächer, Holzbalkendecken und Mauern den Verfall.

Die vom Deutschen Fachwerkzentrum Quedlinburg e.V. seit Dezember

2015 fortlaufend individuell angepassten Bausteine für eine substanzschonende Sanierung des Komplexes (Abb. 2), Startpunkt Joachimsbau – mit Analyse/Dokumentation des Bestands, einer dem Objekt angepassten integrativen intelligenten Planung, die zu einer innovativen, ressourcenschonenden Sanierung führt, in Begleitung internationaler Bildungsseminare – schafften ein abschnittsweise restauriertes Baudenkmal auf dem Weg in eine neue Nutzung. Mit den Bausteinen entstanden Begegnungsfelder für Bürger/Menschen verschiedener Herkunftsländer, Kooperationen mit Schulen/Hochschulen sowie die Integration von Forschung und Planung. Das Fachwerkzentrum starte-

te mit dem Seminar »Integrativer Ort BauDENKMAL«, und im Tandem mit IRT-Lippstadt und TZG MOCult Stuttgart ein Forschungsmodul zur Bekämpfung geschädigter Holzbauteile mit dem Heißluftverfahren nach DIN-Norm unter Einbeziehung der Mauerwerkswände als Weiterführung/Intensivierung der ressourcenschonenden, nachhaltigen Sanierung.

Die Wiederbelebung des Schlossbaus als Kulturträger, lokale Besonderheit und als Ortsbild-prägender Kern, die Sensibilisierung der Gemeinde durch internationale Seminare, die Zusammenführung von Forschung, Planung und traditioneller Handwerkstechnik ruft Themenfelder der Integration, Partizipation und Innovation auf.



Abb. 2: Lageplan Schloss Erxleben, rot gekennzeichnet der Joachimsbau

Geschichtlicher Einblick

Die gewaltige Schlossanlage entstand aus einer mittelalterlichen Burganlage. Sie liegt heute im Zentrum der Gemeinde Erxleben. Die Burg wurde erstmals 1273 erwähnt und befand sich bis 1945 im Besitz der Familie von Alvensleben. Die Burg besaß ein doppeltes Wallgrabensystem. Hauptumbauphasen sind in der Spätgotik und Renaissance zu verzeichnen. Ein Bergfried aus dem 14. Jahrhundert, der im 17. Jahrhundert eine Haube erhielt, ist noch erhalten.

Der zur Straße gewandte Ostflügel entstand laut Inschrift 1526 unter Einbeziehung eines Vorgängerbaus. Der runde Wendelstein und Vorhangbogenfenster verweisen auf den vermutlich 1460 erbauten Schlosstrakt, der sich bis zur Südwand des Tors der ehemaligen nördlichen Abschlusswand erstreckte. 1526 entstanden die Tordurchfahrt und das nördlich angrenzende Gebäude. 1692 erfolgten der Anbau des rechteckigen Treppenhauses in Fachwerk und der Einbau mehrerer Stuckdecken. 1564 bis 1580 wurde die Schlosskapelle, vor dem Schlosskomplex mit dem mittelalterlichen Hausmannsturm verbunden, errichtet.¹

1 Rüber-Schütte, Elisabeth, Schmitt, Reinhard: Die Schlossanlage in Erxleben. Bauforschung und Denkmalpflege. Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 7 (1999), Nr. 2, S. 137–140

Nach der Teilung des Familienbesitzes im Jahre 1554 hat vor allem Joachim I. von Alvensleben mittelalterliche Bauten erweitert. Hierzu gehörten u.a. der Joachimsbau im Süden der Burganlage (Abb. 1), der 1563 wie der Wirtschaftshof und die Brauerei mit Zwerchhäusern und einer Dachkonstruktion der Renaissance aufgestockt wurden. Im Joachimswingel kennzeichnen profilierte Deckenbalken, Unterzüge und Kamine der Renaissance die Umbaumaßnahme. 1782 bis 1788 wurde ein Putzbau (jetzt das Verwaltungsgebäude der Gemeinde) mit hohem Mittelrisalit errichtet. Im 19. Jahrhundert wurden vorwiegend die Säle im Hauptschloss neu gestaltet. Der »Ahnensaal« im 2. Obergeschoss wurde 1892 von dem Architekten Schorbach aus Hannover umgesetzt. Beim Einbau der Holzvertäfelung erfolgte der Rückschnitt der Zerrbalken im Dachgeschoss, teilweise durch Eisenstangen mit verstellbarem Spannschloss kompensiert. Der sandsteinerne Kamin zierte das Wappen derer von Alvensleben. 1905 entstand das Bibliotheksgebäude in neoromanischen Formen. Im Schloss Erxleben II war nach dem 2. Weltkrieg die Oberschule untergebracht.²

2 Rüber-Schütte, Elisabeth, Schmitt, Reinhard: Die Schlossanlage in Erxleben. Bauforschung und Denkmalpflege. Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 7 (1999), Nr. 2, S. 141

Bausubstanz des Brauhauses aus dem 15. Jahrhundert

Die Außenwände des Joachimbaus bestehen aus Bruchsteinmauerwerk in Kalk-Sandmörtel³ und weisen Dicken von mehr als einem Meter im Erdgeschoss und bis 50 cm im 1. Dachgeschoss auf. Das Erdgeschoss ist tonnenüberwölbt. Die oberen Stockwerke schließen mit einer Holzbalkendecke. Gesondert zu betrachten waren zwei Räume im 1. Obergeschoss mit tonnengewölbtem Deckenabschluss. Historische Innenwände wurden in Fachwerkbauweise errichtet.

Das 1. und 2. Obergeschoss zeichnen sich durch große repräsentative Räume aus. Fachwerkwände aus Eiche mit Ständer, Schwell, Rähm und zwei Riegelagen wechseln mit massivem Bruchsteinmauerwerk mit Renaissancesandsteingewänden. Die Decken schließen mit Deckenbalken, in die Lehmwickel seitlich in Nuten eingelassen sind. Die Deckenbalken liegen 40 bis 50 cm auf der Mauerwerkskrone auf.

Bei dem Dachwerk aus dem 16. Jahrhundert (ursprünglich zierten Zwerchhäuser die Dachgeschossebene) han-

3 Materialprüfanstalt Stuttgart, 29.06.2018, Untersuchungsbericht Erxleben, Mauerwerk: Untersuchung von Materialproben mit Phasenanalyse bzw. mit Röntgendiffraktometrie; Mörtelanalyse: Es wurden insgesamt 2 Proben mit Röntgenbeugung zur Phasenanalyse untersucht. Die Bindemittelfraktion < 0,063 mm wurde nach vorsichtiger Probenzerkleinerung abgesiebt und röntgenfein aufgemahlen. Die Proben wurden mit einem Bruker AXS D8 Röntgendiffraktometer mit Cu-Kα-Strahlung untersucht.

In beiden Mörtelproben wurde Kalziumkarbonat als Bindemittel festgestellt. Gips ist nur in Spuren bzw. als geringe Vergipfung als Folge von Umwelteinflüssen festzustellen.

delt es sich um ein Sparrendach mit zwei Kehlbalkenebenen mit liegenden Stuhlsäulen.

Projektidee und Projektziele

Die Ursache für regionale klimatische Veränderungen wie häufigeres Auftreten von Extremereignissen – Hitzeperioden, Stürme, Starkregen und Hochwasserereignisse – ist in dem anthropogenen Klimawandel zu sehen. Die auftretenden Ereignisse können zu Schäden oder zur Zerstörung wertvoller Kulturdenkmale führen. Begünstigt wird dieser Umstand, wie auch im Schloss Erxleben, wenn die Kulturdenkmale durch jahrzehntelangen Leerstand keine Beachtung finden. Die immer häufiger auftretenden Stürme führten so zur Lösung von Bereichen der Dacheindeckung des Joachimsbaus und das defekte bzw. bei den Renaissancetrakten fehlende Dachentwässerungssystem führte bei vermehrtem Starkregen zur Durchfeuchtung des Mauerwerks. Dies bildete wiederum eine Nahrungsgrundlage für den tierischen und pflanzlichen Befall in der Bausubstanz wie den Echten Hausschwamm.

Projektziel: ressourchenschonende Ertüchtigung der historischen Substanz

Da chemische Mittel zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms im Mauerwerk (Bohrlochtränkung mit quartären Ammonium-Borverbindungen) diesen in der befallenen Holzkonstruktion nicht abtöten, ist meist ein allzu großflächiger Rückschnitt originaler Bausubstanz inklusive einem sogenannten Gesundschnitt von einem Meter oder ein Austausch durch gegen Pilzbefall resistente oder vorbeugend geschützte Holzbauteile die Folge. In Baudenkmalen ist damit oftmals ein

Verlust historischer Bauteile und aller darauf enthaltener Herstellungs- und Bearbeitungsspuren (z. B. Abbundzeichen) oder Farbfassungen verbunden.

Laut DIN 68 800-4 ist die Hausschwammanierung und die Abtötung des Gewöhnlichen und des Bunten Gescheckten Nagekäfers mit Heißluft seit 2012 als Sonderverfahren zugelassen. In der DIN werden verschiedene Kerntemperaturen im Holz zur Abtötung des Insekts angegeben. Bei der thermischen Behandlung wird eine Eiweißdenaturierung der Schadinsekten in jedem Entwicklungsstadium (Ei, Larve, Käfer) vorgenommen, welche deren Abtötung bewirkt. Zudem werden Myzel und Fruchtkörper des Echten Hausschwamms zerstört und durch das Abtrocknen des Holzes dem Hausschwamm die Lebensgrundlagen (Wärme, Wasser, Holz) genommen. Zusätzlich wird eine Trocknung des Gebäudes vorgenommen. Der Ausbreitung des Hausschwamm-Myzels in angrenzende Fachwerkwände bzw. in aufliegende Deckenbalken oder in der Mauerkrone eingebettete Mauerlatten kann so substanzschonend entgegengewirkt werden.

Dennoch bleibt das Heißluftverfahren ein individuell auf das Gebäude zugeschnittener und geplanter Einzelfall. Diese Individualität erfordert neben der Eigenüberwachung durch den ausführenden Fachbetrieb auch eine Überwachung und Qualitätskontrolle durch einen qualifizierten Sachverständigen. Die thermische Behandlung kann – entgegen der chemischen Behandlung durch Injektagen – seine Wirkung auch in möglichen Hohlräumen des Wandquerschnitts entfalten. Eine punktuell durchgeführte Versuchsmessung in einem Versuchswandquerschnitt ergab bei einer Raumtemperatur von 65 °C eine konstante Erwärmung der mas-



Abb. 3: Ertüchtigung des Dachwerks und Erneuerung der Dacheindeckung

siven Wandscheibe auf 50 °C in einer Tiefe von 20 cm.

Zielstellungen des Projekts

Die Durchführung des thermischen Verfahrens sollte mit messtechnischer Begleitung als Dokumentations- und Forschungsprojekt durchgeführt werden, um einen Handlungsleitfaden für die optimale Umsetzung des thermischen Verfahrens zu erstellen.

Im Schloss Erxleben ist die Erfassung der Verteilung der Wärme zur Abtötung des Hausschwamm-Myzels in den massiven Außenwänden ein weiterer Baustein des Modellprojekts. Die Abtötung des Schwamm-Myzels durch Wärme sollte daher nicht nur im Deckenbalken- oder Ständerquer-



Abb. 4: Historische Fachwerkwand (Längswand)

schnitt überprüft und nachgewiesen werden, sondern auch im Bereich des Außenmauerwerks bzw. Deckenaufbaus (Stakenhölzer, Lehmschlag, Sandschüttung und Dielung).

Maßnahmen zum Erhalt der Gebäudesubstanz im Joachimsbau

Der erste Schritt zum Erhalt eines solchen Kulturdenkmals muss eine effektive Sicherung der Gebäude sein, um dem systematischen Verfall Einhalt zu gebieten. Der Startschuss begann mit dem ehemaligen Brauereigebäude. Hier waren Maßnahmen zur Instandsetzung des Dachwerks sowie der Dacheindeckung und -entwässerung, zur Instandsetzung des Außenmauerwerks und zur Schließung der Geschossdecken erforderlich (Abb. 3).

Mittelständische, möglichst regionale Betriebe wurden in den Prozess der Sicherungsarbeiten einbezogen. Die Gebäudesicherung unterteilte sich in den Arbeitsprozess unmittelbar vor der thermischen Behandlung sowie Instandsetzungsmaßnahmen der Gefüge in Abstimmung mit dem Holzschutzgutachter.

Hinsichtlich der Instandsetzung der historischen/bauzeitlichen Fachwerkwände (Abb. 4) und Dachkonstruktion des Joachimsbaus im Schloss Erxleben wurde 2017 eine holzschutztechnische Untersuchung beauftragt und im November desselben Jahres vom Holzschutzgutachter und Bausachverständigen Dipl.-Ing. Roland Becker, begleitet von der Projektleitung, durchgeführt. Gegenstand der Untersuchung war die Feststellung der holzzerstörenden Insekten und Pilze, das Ausmaß des Befalls und der Schädigung tragender Bauteile (Abb. 5). Zudem wurden der tragfähige Restquerschnitt festgestellt so-

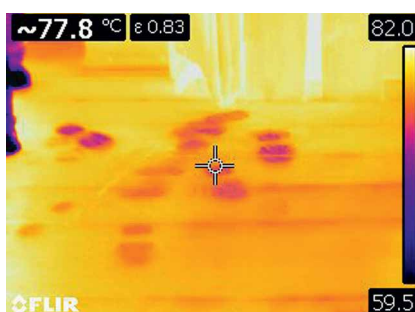
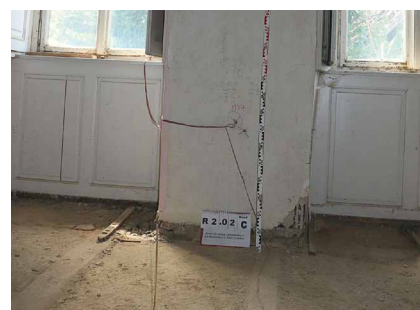
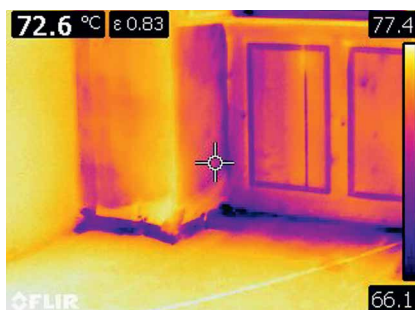


Abb. 5: Wand- (oben) und Deckenfelder (unten) mit Mess-Sensoren/Thermografie

wie Festlegungen für den Rückschnitt getroffen und in den Bestandsplänen kartiert (Abb. 6).

Durch die holzschutztechnische Untersuchung wurde ein Befall der organischen Materialien durch den Echten Hausschwamm (EH), den Bunten oder Gescheckten Nagekäfer (BGN) und Moderfäule (MF) nachgewiesen und die thermische Behandlung gegen tierische Schadinsekten mit messtechnischer/wissenschaftlicher Begleitung empfohlen.

Wichtige Maßnahmen vor der thermischen Behandlung:

1. Instandsetzung des Dachwerks und der Eindeckung/Dachentwässerung,
2. Rückbau jüngerer Einbauten, von PVC-Böden, Sperrholz, Leichtbauwänden (optimale Brutstätten des *Xestobium rufovillosum de Geer*), Abnahme von Zementputzen,
3. Sicherung der Deckenfelder.

Dachwerk

Ein weiterer Abschnitt ist die Ertüchtigung des Dachwerks und der Holzkonstruktion aus dem 16. Jahrhundert. Bei dem Dachwerk handelt es sich um ein Sparrendach mit zwei Kehlbalkenebenen mit liegenden Stuhlsäulen. Die

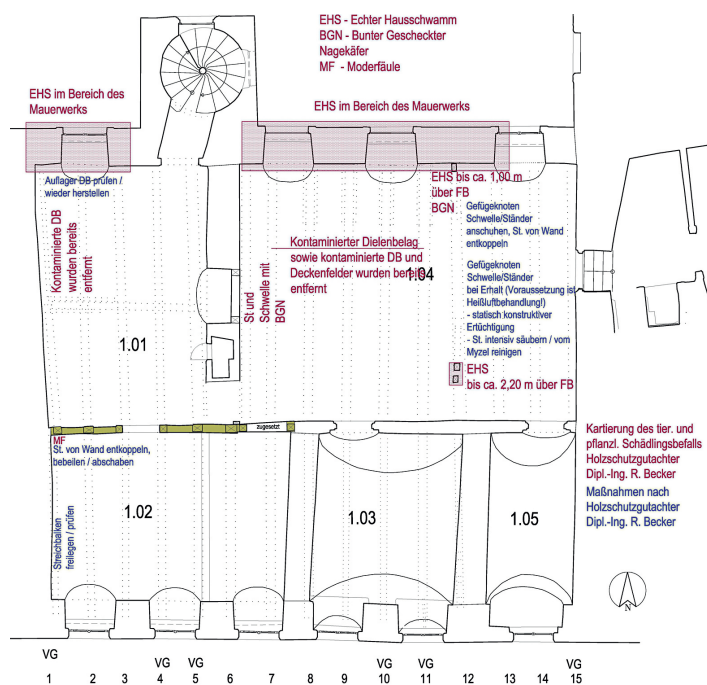


Abb. 6: Grundriss 1. Obergeschoss mit Kartierung des Holzschutzgutachters

Vollgespärre in Achse 5/6 und 10/11 zapfen in Sattelhölzer oberhalb der Deckenbalkenebene des 2. Obergeschosses. Alle anderen Sparren überblatten die bis zu den Außenmauern geführten Kehlbalken der 1. Dachgeschossebene. Kopfbänder sind in liegende Stuhlsäulen und Kehlbalken geblattet. In Längsrichtung steifen in die liegenden Stuhlsäulen eingezapfte Längsrähme aus. Im Dachgeschoss zapfen Längsstreben in diese und blatten in die Stuhlsäulen.

Ertüchtigung

Im 1. Obergeschoss wurden die geschädigten Bereiche der Deckenbalken im nördlichen und südlichen Abschnitt zurückgeschnitten und angeblattet. Hierbei wurde versucht, den Rückschnitt mit Blattordnung, unter Beachtung der geschädigten Holzbereiche, so auszurichten, dass möglichst wenige Deckenfelder (Lehmwickel mit Lehmputz/Kalkschlemmen) verloren gehen. Sparren mit liegendem Stuhl (Vollgespärre) wurden im Fußpunkt ertüchtigt und mit Versatz im Sattelholz eingelassen. Geschädigte Kehlbalken der 1. Dachgeschossebene wurden mit Balkenpassstück und beidseitigem Blattstück ergänzt. Die nördlich und südlich angeordneten Längsrähme unterhalb der in die Sparren eingezapften 1. Kehlbalkenebene wurden im Schadensbereich ausgesetzt oder mit Schrägschnitt verbunden. Seitlich angeordnete Bohlen verstärken den so ausgebildeten Gefügeknoten.

Baumaßnahme Keller

Das stehende Grundwasser in den Kellerräumen, ebenso bedingt durch den antropogenen Klimawandel, stellte ein weiteres Problem für die Gebäudesubstanz dar. Der Starkregen der letz-

ten Jahrzehnte führte zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels. Als das Gebäude sich noch in Nutzung befand, hielt eine Pumpanlage in einem Brunnen-schacht den Keller frei von Grundwasser. Dies war nach Leerzug des Joachimsbaus nicht mehr gegeben. Seitdem wurden die Außenmauern ständig vom Grundwasser »umspült«. Die Nässe stieg in den Außenmauern bzw. in der Längswand des Kellers auf und förderte das Wachstum des Hausschwamms und Pilzbefalls. Zudem wurden Fugen des Natursteinmauerwerks ausgespült, was abschnittsweise zum Einsturz der vorderen Wandschale führte. Die hohe Luftfeuchtigkeit bedingte zudem das Durchrosten der Eisenträger, einhergehend mit einer Reduzierung der Tragfähigkeit der Kellerdecke.

Während der Sanierungsmaßnahme wurden der Keller beräumt, belüftet, ein Sickerschacht freigelegt und abgängige Wandschalen wieder aufgemauert.

Das Heißluftverfahren und seine Durchführung

Die wichtigste Komponente der thermischen Behandlung ist eine langsame und kontrollierte Erhöhung der Temperatur, um Schäden an dem Objekt vorzubeugen (Verdrehen von Hölzern, starke Rissbildung), die zu statischen Beeinträchtigungen führen können. Die im Schloss Erxleben eingesetzten Heißluftgebläseanlagen mit einer Mehrstufentechnik ermöglichen eine exakte Leistungs- und Temperaturregelung und somit eine schonende Behandlung der Bausubstanz.

Die Anlagen verfügen über eine getrennte Rauchgasführung, um das Einblasen von Kohlenmonoxyd und Rußpartikeln zu verhindern, die wieder-

um zu Verschmutzungen und Brandgefahr sowie zu unkontrollierter Feuchteentwicklung führen können.

Durch den Einsatz der Mehrstufenbrennertechnik lassen sich die Temperaturverläufe steuern. Begonnen wurde mit einer Einblastemperatur von 30°C. Ein Temperaturdelta von maximal 20° zwischen der Einblastemperatur und der Bautemperatur wurde nicht überschritten. Die Einblastemperatur wurde auf maximal 75°C begrenzt. Eine entsprechend lange Laufzeit wurde eingeplant, um bei diesen objektschonenden Temperaturen alle erforderlichen Werte zu erreichen.

Ein verzweigtes Rohrverteilungssystem sorgte im Gebäude für eine gleichmäßige Verteilung der Luftströme, ohne jedoch Bausubstanz unmittelbar anzublasen. Fensteröffnungen und Zugänge zum angrenzenden Bau wurden mit Holzkonstruktionen und einer Spezialfolie aus Polyamiden, Polyethylen und Aluminium geschlossen, die über einen hohen Isolierwert verfügt. Decken bzw. Fußböden sind gleichzeitig von beiden Seiten behandelt worden.

Die ausführende Firma installierte zusätzlich eine Loggermesstech-

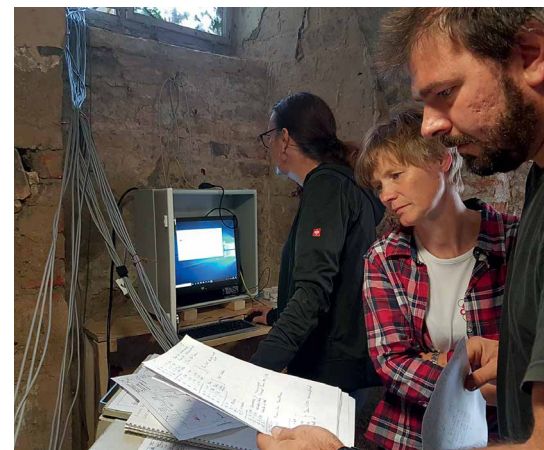


Abb. 7: Auswertung der Messergebnisse

Tab. 1: Zusammenfassung der messtechnischen Anforderungen nach DIN 68800-4 und DIN CEN/TR 15003

DIN 68800-4 [1]	
	Mindesttemperatur 55 °C für die Dauer von mindestens 60 Minuten an allen Stellen des zu behandelnden Holzes zur Bekämpfung Holz zerstörender Insekten
	Mindesttemperaturen beim Echten Hausschwamm 50 °C für die Dauer von 16 Stunden; 55 °C für die Dauer von 8 Stunden oder 60 °C für die Dauer von 2 Stunden
	Temperatur muss an den wärmetechnisch ungünstigsten Holzteilen erfasst werden
	Temperatur der Raumluft muss gemessen werden
	Umbauter Raum bis 200 m ³ mindestens 6 Messstellen im Holz und für Raumluft je Maschine eine Messstelle. Pro weiterer 200 m ³ zwei weitere Messstellen im Holz
	Messwerte müssen mindestens alle 60 Minuten erfasst und dokumentiert werden
	Dokumentation der Messstellen
	Oberflächentemperatur darf 120 °C nicht überschreiten
DIN CEN/TR 15003 [2]	
	Mindesttemperatur 50 °C für die Dauer von mehr als 16 Stunden an allen Teilen der Konstruktion bei Befall mit Echten Hausschwamm
	Temperatur der Raumluft muss in wärmetechnisch ungünstigen Räumen gemessen werden
	Bauteiltemperaturen müssen an den wärmetechnisch ungünstigsten Konstruktionsteilen und an den Außenwänden erfasst werden
	Messwerte müssen zum Start und Ende der Heißluftbehandlung und dazwischen mind. alle 12 Stunden gemessen und dokumentiert werden
	Dokumentation der Messstellen

[1] DIN 68800-4:2012-02 Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz und zerstörende Pilze und Insekten
 [2] DIN CEN/TR 15003:2012-11 Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Kriterien für Heißluftverfahren zur Bekämpfung von Holz zerstörenden Organismen

nik mit 24 Stabfühlern der Baureihen PT-100 bzw. PT-1000 zur externen Überwachung und Temperaturkontrolle in allen Kernbereichen. Die Einbauorte und Bohrtiefen wurden in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Holzschutz und der Projektleitung des Fachwerkzentrums festgelegt (Abb. 8).

Messtechnische Begleitung des Heißluftverfahrens

Das Konzept für die messtechnische Begleitung basiert zum einen auf den Normen DIN 68800-4 und DIN EN/TR 15003 und zum anderen auf den im Rahmen des Projekts zu klärenden Fragestellungen. Während sich DIN 68800-4 mit den Maßnahmen zur Bekämpfung eines Befalls durch Holz zerstörende Pilze und Insekten bei verbautem Holz und Holzwerkstoffen befasst, legt DIN CEN/TR 15003 die Mindestleistungsanforderungen an eine Heißluftbehandlung fest, die zur Anwendung gegen verschiedene Gruppen von Holz zerstörenden Organismen, wie Käfern und den Echten Hausschwamm, vorgesehen ist. In Tab. 1 sind die messtechnischen

Anforderungen beider Normen dargestellt. Aus der tabellarischen Übersicht geht hervor, dass die Art des Organismenbefalls einen entscheidenden Einfluss auf die Mindesttemperatur, die Dauer der Behandlung, die Messpositionen und die Aufzeichnungsrate der Messwerte hat.

Festgelegt wurde seitens des Holzschutzgutachters, dass Bauteiltemperaturen von 50 °C in einer Mauerwerkstiefe von 20 cm zur Abtötung des Echten Hausschwammes ausreichend sind. Um jedoch umfassendere Kenntnis bzgl. der Temperaturverteilung im Außenmauerwerk und in der Gewölbedecke zu gewinnen, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts mithilfe eines kabelgebundenen, kontinuierlich messenden Monitoringsys-

tems, das auf der 1-Wire-Technologie basiert, die normativen Anforderungen umgesetzt. Hierzu wurde in den nördlichen und südlichen Außenwänden der zu erwärmenden Stockwerke Temperatursensoren in unterschiedlichen Mauerwerkstiefen eingebaut. Mithilfe dieser Sensoren konnten die Bauteiltemperaturen bis in eine Tiefe von 60 cm und die raumseitige Oberflächentemperatur erfasst werden. Des Weiteren wurden die Raumklima – Lufttemperatur und relative Luftfeuchte – in jeweils zwei Räumen des 1. und 2. Obergeschosses gemessen. Zusätzlich zu diesen Messstellen erfolgte der Einbau weiterer Temperatursensoren im Bereich der Decken. In den Decken der oberen Stockwerke wurden Temperatursensoren mittig sowohl in die Balkenlagen als auch in die Gefache eingebracht. Die Gewölbedecke dagegen wurde, analog zu den Außenwänden, mit gestaffelten Tem-

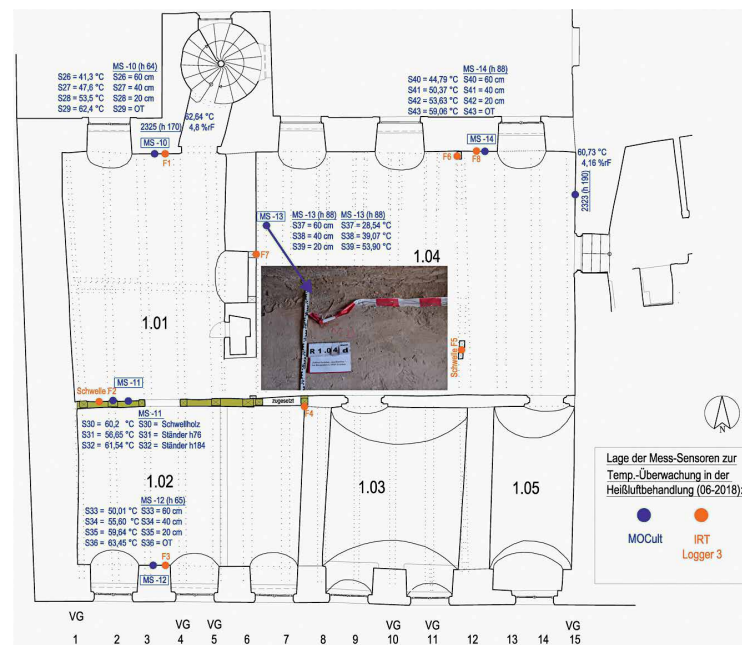


Abb. 8: Exemplarische Dokumentation der Messstellen im 1. Obergeschoss

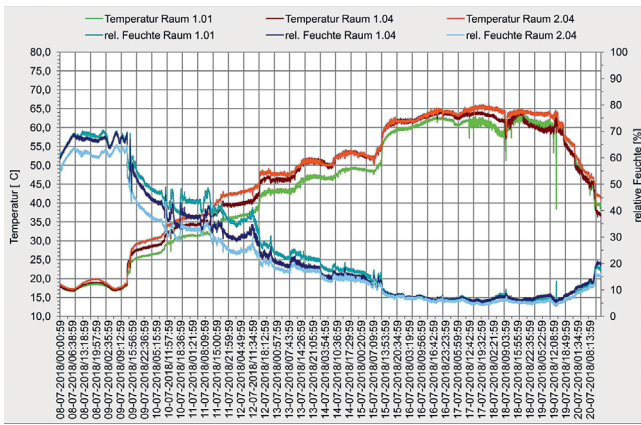


Abb. 9: Raumklima während der Heißluftbehandlung

peratursensoren versehen (vgl. Abb. 8 – Messstelle 13). Zur Komplettierung des Monitorings wurde an ausgewählten Stellen der Innenwände im Holzwerk Temperatursensoren eingebaut. In Abb. 8 sind die Messstellen des 1. Obergeschosses dargestellt. Insgesamt wurden im Rahmen der messtechnischen Begleitung 55 Sensoren an 14 Messstellen installiert. Alle Datenpunkte wurden im Minutentakt abgerufen und mittels PC archiviert.

Um einer möglichen Kondensatbildung vorzubeugen, wurde nach der ersten Aufheizphase (08.07.2018) auf die Befeuchtung der Warmluft verzichtet. Dies hatte einen drastischen Rückgang der relativen Raumluftfeuchte zur Folge, sodass sich bei der gewünschten Mindesttemperatur von 50°C in einer Mauerwerkstiefe von 20 cm raumseits eine relative Luftfeuchte von 14 % eingestellt hat. Abb. 9 zeigt auch, dass die Lufttemperatur im Raum während der Haltephase nicht höher als 66°C steigt.

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen der nördlichen und südlichen Außenwände des 1. Obergeschosses (Abb. 10) zeigt, dass die Mindesttemperatur von 50°C bis in eine Mauerwerkstiefe von 40 cm zielsicher erreicht und über 16 Stunden gehalten wird.



Abb. 11: Holztragwerk in Raum 1.01

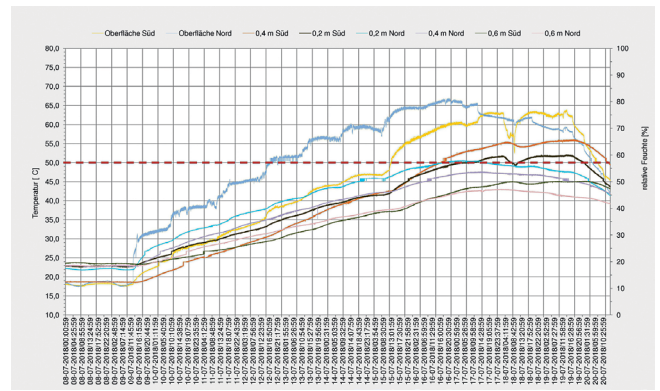


Abb. 10: Bauteiltemperaturen 1. Obergeschoss, südliche Außenwand Raum 1.02 und nördliche Außenwand Raum 1.04

Fazit

Folgende Fragen konnten im Zuge der Sanierung und geklärt werden:

- ▶ Ist die thermische Durchdringung historischer Fachwerkwände im Innern mit unterschiedlichen Holzquerschnitten und Putzstärken gegeben, um eine Abtötung des Bunt- und Gescheckten Nagekäfers zu erreichen?

Die Analyse der Messdaten der sich mittig im Holztragwerk einstellenden Temperaturen ergibt, dass sich Temperaturen oberhalb 55°C ausbilden (vgl. Abb. 11). Es ist daher davon auszugehen, dass im Holztragwerk nicht nur der Echte Hausschwamm, sondern auch Holz zerstörende Insekten abgetötet werden

- ▶ Ist eine Durchdringung der Wärme in den Tonnengewölben aus Bruchstein möglich?

Die im Gewölbeboden erfassten Messdaten in Abb. 12 zeigen, dass die normativ geforderte Mindesttemperatur bis zu einer Tiefe von 20 cm erreicht wird. Dies resultiert u. a. aus der Tatsache, dass die Heißluftbehandlung in den Stockwerken oberhalb der Gewölbedecke durchgeführt wurde und die Gewölbedecke nur teilweise abgeräumt war.

- ▶ Ist die Durchdringung der Wärme bei Bauteilen mit vollständigem Deckenaufbau gegeben, also mit Lehmputz,

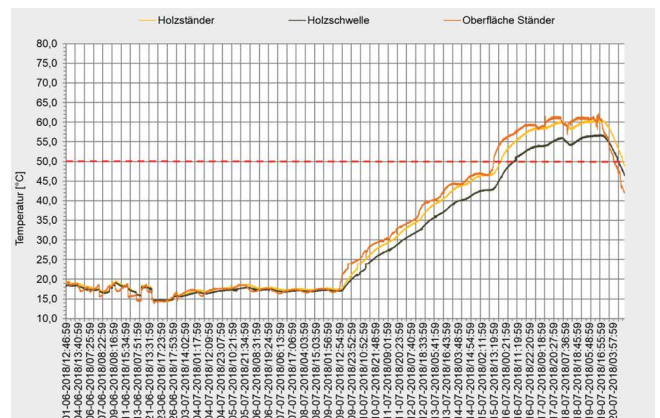


Abb. 12: Gewölbeboden – Raum 1.04

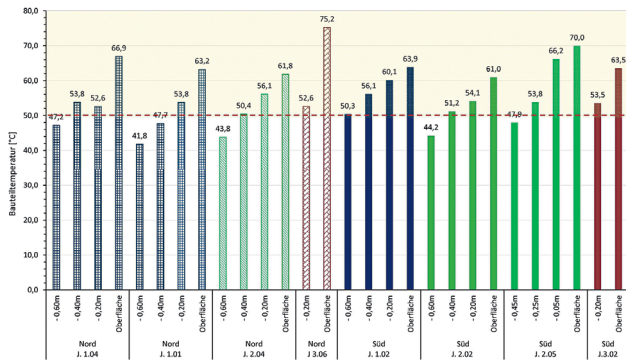


Abb. 13: Bauteiltemperaturen nördliche und südliche Außenwände

Stakenhölzern, Lehmschlag, Sandschüttung und Die- lung?

In der Decke zwischen 1. und 2. Obergeschoss (Raum 2.06) konnten Temperaturen im Deckenbalken 57,95 °C (Kerntempe- ratur) und im Deckenfeld 59,46 °C gemessen werden. Im Raum 2.02 – nach Süden ausgerichtet – lagen die Tempera- turen bei 61,40 °C im Deckenbalken (Kerntemperatur) und 63,65 °C im Deckenfeld.

- ▶ Ist ein Entkernen der befallenen Bauteile – Die- lung, Fuß- bodenunterkonstruktion, abgehängte Deckenaufbauten – notwendig?

Die geforderten Mindesttemperaturen wurden in allen De- ckenabschnitten erreicht. Dennoch sind ein behutsamer Ausbau der Die- lung und die Entfernung von Aufschüttun- gen ratsam.

- ▶ Sind Wärmeströme in Höhe der geforderten Kerntempe- ratur innerhalb der massiven Wandflächen zur Abtötung des Echten Hausschwamms gegeben?

Abb. 14 zeigt das Tiefenprofil der erreichten Maximaltem- peraturen aller untersuchten Außenmauerwerke. Hier wird deutlich, dass bei den nördlichen Mauerwerken die norma- tive Mindesttemperatur von 50 °C zielsicher nur bis zu ein- er Tiefe von 20 cm eingehalten werden kann.

An der Nordfassade wurden in allen Wandquerschnitten Temperaturen von 50,00 °C 16 Stunden gehalten. Lediglich in Raum 1.02 wurde die geforderte Temperatur um 2 °C un- terschritten, möglicherweise bedingt durch den kompakteren Wandaufbau (Nord: Raum 1.01: Fühlertiefe 40 cm, 47 °C; Raum 1.04 40 cm, 50,37 °C; 60 cm, 44,97 °C; Raum 2.04 40 cm, 50,23 °C).

- ▶ Wie verhalten sich Wärmeströme bei verkleideten Mauer- werksflächen – hier Dachpappe mit Kalkzementputz? Im Raum 2.02 wurde die Innenverkleidung der Mauer- werkflächen mit Dachpappe und Kalkputz (5 cm dick) bzw. Holzbekleidung belassen. Die Temperaturmessung zeigt hier keine nennenswerten Differenzen, jedoch einen leich- ten Anstieg im Vergleich zu Wandoberflächen ohne Be- kleidung (Temperaturvergleich Raum 2.02/2.05: Fühlertiefe: 20 cm/25 cm; Temperaturvergleich: 53,86 °C / 53,29 °C; 40 cm/45 cm = 47,67 °C/46,43 °C).

FÖRDERER DES PROJEKTS

Deutsche Bundesstiftung Umwelt
 Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt
 Deutsches Stiftung Denkmalschutz
 Landesverwaltungsamt Magdeburg (Landkreis Börde)

INFO/KONTAKT

Claudia Christina Hennrich

Geschäftsführung Deutsches Fachwerkzentrum Quedlinburg e.V.

Studium TU Berlin; Auslandsaufenthalt Irland; Mitarbeiterin BTU Cottbus, Lehrstuhl Bautechnikgeschichte; seit 2002 Geschäftsführerin DFWZ Qlb; Projektleiterin, Mitarbeit in einzelnen Restaurierungsbereichen, Bauforschung, wie in den Jugendbauprojekten Goldstraße 25 und, Schlossberg 11 in Quedlinburg, Bunter Hof in Osterwieck, Schloss Il Joachimsbau in Erxleben und Schloss Stolberg sowie im Projekt »Integrativer Ort Baudenkmal«.

Conny Luthardt

Mitarbeiterin Deutsches Fachwerkzentrum Quedlinburg e.V.

Seit 2006 Mitarbeiterin DFWZ im verformungsgetreuen Aufmaß und der Bauforschung, wie in den Projekten Schlossberg 11 in Quedlinburg, Schloss Blankenburg, Schloss Gotha, Schloss Stolberg, Schloss Il Joachimsbau in Erxleben, Bunter Hof in Osterwieck; Mitarbeit im Projekt »Integrativer Ort Baudenkmal«.

Dipl.-Ing. Simone Reeb MBA

Mitarbeiterin TTI GmbH – TGZ MOCult, Stuttgart

2003 bis 2006 Diplomstudium Bauingenieurwesen an der Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft; 2006 bis 2008 Masterstudium Baumanagement an der Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft; seit 07/2012 Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Stuttgart am Institut für Werkstoffe im Bauwesen und im Ingenieurbüro MOCult an der Universität Stuttgart.

Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht

Geschäftsführender Direktor der MPA Universität Stuttgart

1985 Diplomabschluss Bauingenieurwesen an der Universität Karlsruhe; 1992 Promotion; 2006 bis 2012 Professur an der Technischen Universität Darmstadt und Leitung des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen am Institut für Massivbau; seit 2012 Professur an der Universität Stuttgart am Institut Werkstoffe im Bauwesen sowie geschäftsführender Direktor der MPA Universität Stuttgart (Otto-Graf-Institut (FMPIA)).

Christoph Diers

Inhaber IRT Denkmal- und Bautenschutz, Lippstadt

Christoph Diers befasst sich seit nahezu 30 Jahren mit thermischen Verfahren in der Denkmalpflege. Damit hat er sein Interesse an Kunst und Geschichte mit seiner beruflichen Tätigkeit vereinbart. Bevor er sich mit dieser Thematik selbstständig machte, hat er den Beruf des Tischlers erlernt und diese Ausbildung erfolgreich mit einer Meisterprüfung abgeschlossen.