

**Praxisorientierte Untersuchungen
zur Bekämpfung des Echten
Hausschwamms (*Serpula lacrymans*)
nach DIN-Vorschrift und alternativen
thermischen Verfahren**

T 3168

T 3168

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wurden Hinweise auf Personen und Gebäude anonymisiert.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2008

ISBN 978-3-8167-7652-9

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt E-1998/14

Praxisorientierte Untersuchungen zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms (*Serpula lacrymans*) nach DIN-Vorschrift und alternativen thermischen Verfahren

Kritische Betrachtung bisheriger Ausführungspraktiken und Festlegung von Eckparametern für das Heißluftverfahren (Leistungsanforderungen)

Projektleitung: Akadem. Direktor Dr. D. Grosser

Begleitung: E. Flohr, M. Grinda, I. Müller

Projekt gefördert durch

Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

München, Oktober 2005

Gliederung

1	Kritische Betrachtung bisheriger Ausführungspraktiken.....	5
1.1	Zielsetzung des Forschungsvorhabens	5
1.2	Allgemeine Feststellungen zur Bekämpfung holzerstörender Pilze	6
1.3	Alternative Bekämpfungsmaßnahmen (Sonderverfahren).....	9
1.3.1	Thermische Verfahren	9
1.3.2	Begasungsverfahren mit Brommethan	11
2	Festlegung von Eckparametern für das Heißluftverfahren zur Haus- schwammbekämpfung.....	11
2.1	Allgemeine Feststellungen.....	11
2.2	Anwendungsgrenzen	15
2.2.1	Holzbauteile	15
2.2.2	Mauerwerk.....	15
2.3	Leistungsanforderungen an das Heißluftverfahren	16
2.3.1	Grundsätzliches	16
2.3.2	Bauuntersuchung.....	17
2.3.3	Objektspezifische Vorbetrachtung und Planung der Heißluftbehandlung	18
	für den individuellen Einzelfall	
2.3.3.1	Vorbetrachtung	19
2.3.3.2	Planung der Heißluftbehandlung	19
2.3.3.2.1	Temperatursimulation	20
2.3.4	Technische Voraussetzungen.....	23
2.3.4.1	Heißluftgeräte	23
2.3.4.2	Einhausung.....	24
2.3.4.3	Messtechnik	25
2.3.4.3.1	Flüssigkeitsthermometer	26
2.3.4.3.2	Thermosensoren.....	26
2.3.4.3.3	Vergleichende Bewertung der Messverfahren	27
2.3.5	Vorbereitende Arbeiten.....	28
2.3.5.1	Freilegung zu behandelnder Holzbauteile	28
2.3.5.2	Austausch und Verstärkung von Holzbauteilen	29

2.3.5.3	Hitzeempfindliche Materialien	29
2.3.6	Durchführung der Heißluftbehandlung	32
2.3.6.1	Methoden der Wärmebehandlung	32
2.3.6.1.1	Einblasverfahren	32
2.3.6.1.2	Umluftverfahren	33
2.3.6.1.3	Feuchtegekoppeltes thermisches Verfahren	35
2.3.6.2	Anzuwendende Temperaturen	36
2.3.6.2.1	Letale Wärmedosis	36
2.3.6.2.2	Einblastemperatur, Raumtemperatur	38
2.3.6.3	Setzen der Messpunkte	39
2.3.6.3.1	Temperaturmessung in den Bauteilen	39
2.3.6.3.2	Messung der Raumtemperatur	40
2.3.6.3.3	Messprotokolle	40
2.3.6.4	Probelauf	41
2.3.6.5	Kennzeichnung der Behandlung	41
2.3.7	Überwachung der Heißluftbehandlung	42
2.3.7.1	Qualitätskontrolle durch den unabhängigen Sachverständigen	42
2.3.7.2	Abtötungskontrolle	43
2.3.8	Flankierende Maßnahmen	46
3	Bewertung des Mikrowellenverfahrens zur Schwammbekämpfung	49
4	Zusammenfassung	51
5	Schrifttum	54
Anhang: Dokumentation der Sanierungsobjekte		58
1	Lübeck, Stadtteil St. Gertrud - „Landhaus Kuhlmann“	59
2	Dresden-Hellerau – Festspielgelände, Westliche Pensionshäuser	71
3	Berlin-Hohenschönhausen - Ehemaliges Gutsarbeiterhaus	80
4	Eichstätt (Land Brandenburg) - Dorfkirche	88
5	Hamburg, Harburger Schlossstraße 43 - Klassizistisches Wohnhaus	94
6	Potsdam Sanssouci - Südwestlicher Pavillon der Großen Orangerie	103
7	Stadt Brandenburg - Villa Domlinden	107
8	Halle, Große Brauhausstraße 18 - Ehemaliges Mess- und Eichamt	110

9	Potsdam, Jägerstraße 38 – Bürgerhaus	116
10	Zwickau, Domhof 7 - Priesterhäuser	126

1 Kritische Betrachtung bisheriger Ausführungspraktiken

1.1 Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Liegt Befall durch holzerstörende Pilze vor, so sind nach der zurzeit gültigen Ausgabe der Holzschutznorm DIN 68800-4, Ausgabe November 1992 (Holzschutz. Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten) die befallenen Holzteile zu entfernen. Im denkmalpflegerischen Bereich würde jedoch bei konsequenter Einhaltung der Norm nicht selten unwiederbringliche historische Bausubstanz verloren gehen.

Um aber pilzbefallene Holzbauteile und gegebenenfalls auch andere befallene Bausubstanz belassen zu können, ist es dringend erforderlich, das Myzel abzutöten. Dies ist mit verschiedenen thermischen Verfahren möglich, indem das Holz bis zur Letaltemperatur des Myzels aufgeheizt und die Temperatur über eine längere Zeit gehalten wird. Das am häufigsten praktizierte Verfahren ist das Heißluftverfahren. Daneben werden gelegentlich zur Erwärmung elektromagnetische Wellen in Form des Mikrowellen- und des Hochfrequenzverfahrens eingesetzt. Das vor einigen Jahren propagierte Kontaktheizverfahren hat sich in der Versuchsphase als nicht praxismäßig umsetzbar erwiesen und wird nicht mehr praktiziert.

Bei kritischer Beobachtung der bisherigen Ausführungspraktiken ist allerdings festzustellen, dass vielfach reines Profitdenken im Vordergrund steht und das Heißluftverfahren wie auch die Mikrowellen- und Hochfrequenztechnik als billige Alternative zur sachgemäßen Sanierung ausgelobt und Bauherren als „ökologische Alternative“ gegen den „Einsatz von Chemie“ angepriesen wird. Der qualifizierte Einsatz thermischer Verfahren unter Berücksichtigung ihrer Möglichkeiten und Grenzen ist dagegen eher die Ausnahme (vgl. Ausführungen in Kapitel 2.1).

Ziel des vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) geförderten Forschungsvorhabens war es, gemeinsam mit Vertretern aus amtlichen Prüfanstalten, Schwammsachverständigen und Firmenvertretern Richtlinien bzw. allgemein gültige Standards für den kontrollierten Einsatz des Heißluftverfahrens sowie gegebenenfalls auch sonstiger thermischer Verfahren zu erarbeiten, um letztendlich einen Leitfaden für die sach- und fachgerechte Durchführung thermischer Verfahren zu erstellen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnten insgesamt 10 Objekte gutachterlich begleitet und ausgewertet werden. Hierbei handelte es sich bei 9 Objekten um eine Heißluftbehandlung (Tab.4, S.34). Bei einem Objekt (Objekt 10, Zwickau) kam die Mikrowellentechnik zum Einsatz.

1.2 Allgemeine Feststellungen zur Bekämpfung holzerstörender Pilze

Die zur Bekämpfung holzerstörender Schädlinge zu ergreifenden Maßnahmen sind in der Holzschutznorm DIN 68800-4 in der zurzeit gültigen Fassung vom November 1992 geregelt und in ihren wesentlichen Grundzügen beschrieben. Wichtige Erläuterungen und Ergänzungen zum Normtext finden sich im zugehörigen Kommentar (verausgabt 1998).

Die Bekämpfung eines Insektenbefalls im Holz kann mit einem chemischen Holzschutzmittel erfolgen. Alternativ können auch das Heißluftverfahren oder das Begasungsverfahren angewandt werden. Dagegen kann ein Pilzbefall im Holz - und damit insbesondere auch ein Befall durch den Echten Hausschwamm als dem mit Abstand gefährlichsten Hausfäulepilz - nicht mit chemischen Holzschutzmitteln bekämpft werden. Die Anatomie des Holzes lässt dies nicht zu. Lediglich das erneute Auswachsen des Pilzes aus befallenem Mauerwerk kann mit bekämpfend wirkenden chemischen Mitteln, sogenannten Schwammsperrmitteln, verhindert werden. In DIN 68 800-4 (Ausgabe November 1992) werden beide Arten von Schutzmitteln, d.h. die gegen Insekten bekämpfend wirksamen Mittel und die Schwammsperrmittel vereinfacht als Bekämpfungsmittel bezeichnet (Tab.1). Es handelt sich hierbei um Bekämpfungsmethoden, die sich als anerkannte Regeln der Technik bei sachgemäßer Anwendung durch Fachbetriebe seit Jahrzehnten in der Regelanierung bewährt haben und von weitgehender Allgemeingültigkeit in ihrer Anwendungstechnik sind, ohne dass sie durch zusätzliche Maßnahmen jeweils auf den speziellen Einzelfall abgestimmt werden müssen.

Tab.1: Zugelassene Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten nach DIN 68800 Teil 4, Ausgabe November 1992.

Bekämpfungsmaßnahmen	gegen Pilze	gegen Insekten	Hinweise
Chemische Bekämpfungsmaßnahmen	ja (jedoch nicht im Holz)	ja	Bei den pilzbekämpfenden Schutzmitteln handelt es sich um so genannte Schwammsperrmittel zur Verhinderung des Durchwachsens von Hausschwamm durch das Mauerwerk und somit nicht um Holzschutzmittel im engeren Sinne. Insektenbekämpfende Schutzmittel zugleich mit vorbeugender Wirksamkeit.
Heißluftverfahren	nein	ja	Ohne Wirkstoffe; nicht vorbeugend wirksam
Begasungsverfahren	nein	ja	Ohne vorbeugende Wirksamkeit. Die Anwendung unterliegt besonderen behördlichen Vorschriften und bedarf einer Konzession.

Die Schutzmittel zur Bekämpfung eines Pilzbefalls sind speziell auf eine Bekämpfung des Hausschwamms im Mauerwerk abgestellt. Als so genannte Schwammsperrmittel dienen sie der Verhinderung des Durchwachsens des Pilzes durch Mauerwerk bzw. des Wiederauswachsens aus einem befallenen Mauerwerk. Als Hauptbestandteile enthalten sie Bor-Verbindungen, quaternäre Ammonium-Verbindungen (sogenannte Quats), Quat-Bor-Verbindungen oder Carbamate. Als nicht geregelte Bauprodukte im Sinne der Landesbauordnungen sind Schwammsperrmittel zulassungspflichtig. Entsprechend benötigen sie als Verwendbarkeitsnachweis eine „*allgemeine bauaufsichtliche Zulassung*“ durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin.

Nicht möglich ist es, mit chemischen Bekämpfungsmitteln Pilze im verbauten Holz zuverlässig abzutöten. Grund hierfür ist, dass sich mit den auf einer Baustelle anwendbaren Einbringverfahren einschließlich Bohrlochtränkverfahren und Bohrlochdrucktränkverfahren Holzbauteile nicht durchgehend in Längs- und Querrichtung durchtränken lassen. Im In-

nen des Holzes werden die Hyphen also nicht überall erreicht, so dass sie unter geeigneten Feuchtebedingungen weiterwachsen. Daher gibt es auch keine Prüfnormen für chemische Schutzmittel zur Bekämpfung von Pilzen im Holz. Vielmehr wird nach einer von HINTERBERGER und GRINDA (1983) entwickelten Prüfmethode allein die Sperrwirkung des Schutzmittels in Mörtelproben gegen das Durchwachsen von Hausschwamm-Myzel abgeprüft. Das Verfahren ist zur Grundlage der Europäischen Vornorm DIN ENV 12404 (Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Bestimmung der Wirksamkeit eines Schutzmittels gegen das Überwachsen von „Echtem Hausschwamm“ *Serpula lacrymans* (Schumacher ex Fries) S.F.Gray von Mauerwerk auf das Holz - Laboratoriumsverfahren) geworden. Um ein erneutes Aufleben des Befalls zu verhindern, fordert DIN 68800-4 folgerichtig als Regelanierung den Ausbau aller vom Hausschwamm befallener Hölzer mit einem Sicherheitsabstand von 1 m bzw. unter Umständen zumindest von 0,5 m über den sichtbaren Befall hinaus.

Im denkmalpflegerischen Bereich verbietet sich allerdings fallweise der Ausbau pilzbefallener Holzbauteile und anderer Bauteile. Hier wird zu Recht gefordert, unwiederbringliche historische Bausubstanz möglichst umfassend zu erhalten. Restauratorische und denkmalpflegerische Belange werden in der Holzschutznorm jedoch bislang nur in einer Fußnote zu Abschnitt 4.2.1 berücksichtigt mit dem pauschalen Hinweis, dass bei „wertvollen, unersetzbaren Kunstobjekten“ vom Entfernen befallener Holzteile abgesehen werden kann. Verlangt werden in diesem Fall „geeignete Maßnahmen“, die das Myzel abtöten und einen Wiederbefall ausschließen, ohne dass aber solche Maßnahmen im Einzelnen genannt werden. Erst im 1998 verausgabten Kommentar finden sich in den Erläuterungen zu Abschnitt 2.2 Hinweise auf Verfahren, mit denen sich Myzel in Holzbauteilen abtöten lässt. Unmissverständlich wird aber darauf verwiesen, dass es sich dabei nicht um DIN-gerechte Sonderverfahren sondern um zusätzliche flankierende Maßnahmen handelt, deren Anwendbarkeit sich auf den jeweiligen Sonderfall, d.h. Einzelfall, beschränkt. Weiterhin führt der Kommentar aus, dass in jedem Fall die Wirksamkeit des Sonderverfahrens zum Zeitpunkt seiner Ausführung nachzuweisen und zu dokumentieren ist. Letztlich wird aber auch im Kommentar die Vorgehensweise vorsichtig offen gelassen.

1.3 Alternative Bekämpfungsmaßnahmen (Sonderverfahren)

Von alternativen Verfahren oder Sonderverfahren zur Bekämpfung sowohl holzerstörender Insekten als auch holzerstörender Pilze wird immer dann gesprochen, wenn die Bekämpfung von den Vorgaben der Holzschutznorm und damit auch von den allgemeinen Regeln der Bautechnik abweicht. Die speziell zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms von verschiedenen Anwendern angebotenen bzw. angepriesenen Verfahren sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab.2: Von der Holzschutznorm DIN 68800-4 (Ausgabe November 1992) abweichende Bekämpfungsmaßnahmen (so genannte alternative Verfahren oder Sonderverfahren) zur Hausschwammbekämpfung.

Physikalische Verfahren	
Thermische Verfahren	Heißluftverfahren
	Elektromagnetische Wellen <ul style="list-style-type: none">• Mikrowellenverfahren• Hochfrequenzverfahren
	Kontaktheizverfahren
Chemische Verfahren	
Begasungsverfahren	Einsatz von Brommethan (Methylbromid)

1.3.1 Thermische Verfahren

Unbestreitbar ist, dass mit Hitze Myzel abgetötet werden kann. Die Letaltemperaturen (Absterben des Myzels) betragen ca. 35 °C bis 55°C bei einer Einwirkungsdauer von 30 Minuten bis ca. 6 Stunden (Tab. 3). Ausdrücklich zu betonen ist jedoch, dass die in Tabelle 3 aufgelisteten letalen Wärmedosen aus Laboruntersuchungen abgeleitet sind, und sich nicht ohne weiteres auf die Praxis übertragen lassen. Für die Beheizung von Holzbauteilen sind vielmehr deutlich höhere Wärmedosen als Sicherheitszuschlag anzusetzen. Das erst kürzlich von HUCKFELD (2003) ermittelte Temperatur-Zeit-Verhältnis von 70 °C / 4 Std. erscheint ausgesprochen hoch und bedarf einer eingehenden Überprüfung, bevor daraus Rückschlüsse für die Praxis zu ziehen sind. Im Lichte der von HUCKFELD publizierten letalen Wärmedosis ergäben sich unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlages kaum noch akzeptable Rahmenbedingungen für die Praxis.

Tab.3: Letaltemperaturen für das Myzel und die Sporen des Echten Hausschwamms (aus Grosser et al. 2005: WTA-Merkblatt „Echter Hausschwamm“).

	Temperatur	Einwirkungs-dauer	Versuchsbedingungen	Autoren
Myzel	42 °C	30 Min.	Mit Oberflächenmyzel (1/2 cm dicker Strang)	Falck (1912)
	46 °C	2 Std.	Mit Substratmyzel bei trockener Luft	
	46 °C	1 Std.	Mit Substratmyzel bei feuchter Luft	
	40 °C	15 Min.	Mit Oberflächenmyzel auf Malzagar; im Wasserbad erhitzt	Liese (1931)
	40 °C	15 Min.	a) Mit Oberflächenmyzel auf Malzagar; im Wasserbad erhitzt b) Mit Substratmyzel in feuchtem Holz; im Wasserbad erhitzt	Montgomery (1936)
	58 °C	30 Min.	Mit Oberflächenmyzel auf Malzagar	Liese (1950, 1954)
	35 °C	6 Std.	Mit Oberflächenmyzel auf Malzagar	Langvad & Goksøyr (1967)
	37,5 °C	4 Std.		
	35 °C	24 -> 24 Std.	Mit Oberflächenmyzel auf Malzagar	Mirić & Willeitner (1984)
	40 °C	3 – 6 Std.		
	50 °C	30 Min. – 1 Std.		
	40 °C	3 Std.	Mit Substratmyzel in feuchtem Holz bei trockener Atmosphäre	Teichert (1996)
	45 °C	1 Std.		
46 °C	30 Min.	Mit Oberflächenmyzel auf Malzagar	Schmidt & Moreth (1996)	
50 °C	35 - 50 Min.	Mit Substratmyzel in feuchtem Holz		
55 °C	3 Std.	Mit Oberflächenmyzel auf Malzagar	Huckfeldt (2003)	
70 °C	4 Std.	Mit Substratmyzel in trockenem Holz bei trockener Atmosphäre		
Sporen ¹⁾	60 °C	32 Std.	Behandlung von unter spezifischen Wuchsbedingungen aus Kulturen gewonnene Sporen in Brutschränken	Hegarty et al. (1986)
	80 °C	4 Std.		
	100 °C	1 Std.		

¹⁾ Um eine Sporenkeimung in der Praxis mit Sicherheit zu verhüten, berechneten Hegarty und Mitarbeiter als Mindestzeit 24 Std. bei 56 °C, 18 Std. bei 70 °C, 9 Std. bei 75 °C, 8 Std. bei 80 °C, 7 Std. bei 85 °C, 6 Std. bei 90 °C und 4 Std. bei 100 °C, während derer das befallene Holz und durchwachsene Mauerwerk durchgehend und über den gesamten Querschnitt zu erhitzen sind.

Von den in Tabelle 2 genannten thermischen Verfahren bietet sich für die Behandlung historischer Bausubstanz, die bei strikter Einhaltung der zur Zeit gültigen Holzschutznorm DIN 68800-4 nur unter erheblichen Substanzverlusten saniert werden könnte oder gar nicht zu retten wäre, vor allem das Heißluftverfahren an. Die Mikrowellen- und Hochfrequenztechnik erlauben lediglich eine kleinflächige Behandlung befallener Holzbauteile. Für eine Mauerwerksbehandlung scheiden sie nach bisherigen Kenntnissen gänzlich aus, da sie nicht zuverlässig wirksam sind (vgl. auch. Kapitel 3). Das Kontaktheizverfahren - von der Gesellschaft für Prozess-Automation GmbH, Hamburg, entwickelt und unter der Bezeichnung SELAREX[®]-Verfahren Mitte der 90er Jahre in die Praxis eingeführt - hat sich wegen seiner sehr begrenzten Anwendbarkeit und wenig praktikablen Anwendungsweise nicht durchsetzen können und wird - wie bereits einleitend erwähnt - inzwischen vom Entwickler nicht mehr weiter betrieben.

1.3.2 Begasungsverfahren mit Brommethan

Zum Begasungsverfahren mit dem hochtoxischen, stark umweltschädigenden Brommethan sei an dieser Stelle lediglich festgestellt, dass es wegen seiner Umweltschädlichkeit nicht zukunftsorientiert ist und allein schon deshalb abzulehnen ist. Ferner birgt es, wie verschiedene Beispiele in der jüngeren Vergangenheit zeigten, ein hohes Gefährdungspotential des unkontrollierten Austritts. Daher wurde der Einsatz von Brommethan zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms auch nicht als mögliche Alternative im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 weiter verfolgt.

Nach Artikel 4 Abs.2 der 2.Review-Verordnung der Biozid-Produkte-Richtlinie 98/8/EG darf Brommethan ohnehin nur noch bis zum 31.08.2006 vermarktet werden.

2 Festlegung von Eckparametern für das Heißluftverfahren zur Hausschwammbekämpfung

2.1 Allgemeine Feststellungen

Das Heißluftverfahren wurde zu Beginn der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts in Dänemark von JENSEN (1931, 1933) und WICHMAND (1933) zur Bekämpfung holzerstörender Insekten entwickelt. In Deutschland gehört es seit den 50er Jahren zu den regelmäßig angewendeten Verfahren insbesondere zur Behandlung von Dachstühlen gegen den Hausbockkäfer. Als zu erreichende Mindestabtötungstemperatur der Larven sind in der Holzschutznorm DIN 68800-4 55 °C bei einer Mindestdauer von 60 Minuten festgelegt.

In Kenntnis der relativ hohen Hitzeempfindlichkeit seines Myzels (vgl. Tab.3) wurde von einigen Firmen Anfang der 90er Jahre das Heißluftverfahren auch zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms eingesetzt. Wie bereits einleitend festgestellt wurde, stand dabei vielfach ausschließlich reines Profitdenken der ausführenden Firmen im Vordergrund, das zu zumeist äußerst zweifelhaften Anwendungen führte. Aggressiv und unseriös wurde und wird nicht selten auch heute noch das Heißluftverfahren als allgemein anwendungsreife, einfach durchzuführende, unkomplizierte und billige Alternative zur normgerechten Regel-

sanierung hingestellt. Geworben wird nach wie vor mit Schlagworten wie „umweltfreundlich“, „giffrei“, „Heißluft statt Gift“ bzw. Chemie wird gleich Gift gesetzt.

In diesem Sinne abgefasst sind auch verschiedene Beiträge mit Titeln wie „*Hauschwammbekämpfung mit Heißluft*“ (PAUL 1990), „*Es geht auch ohne Chemie - Erfolge bei der Schwammbekämpfung*“ (PAUL 1996), oder - und reißerischer geht es kaum noch - „*Der Hauschwamm stirbt im Backofen*“ (PAUL 1998), „*Mit der Hitze kommt der Tod*“ (HEBEISEN und BAUER 1999). Dabei handelt es sich nicht etwa um Titel von Boulevardblättern, sondern um Beiträge in Fachzeitschriften wie „Bautenschutz und Bausanierung“ und „Bauhandwerk“. Weniger überraschend ist allerdings, dass es sich bei den Autoren um Firmenvertreter handelt.

Darüber hinaus verstanden es verschiedene Firmen, die Presse entsprechend aufmerksam zu machen. So wurde im Spiegel (ANONYMUS 1997) ausführlich auf die vermeintlichen Möglichkeiten einer Bekämpfung des Echten Hausschwamms mit Heißluft verwiesen und die Vorschriften der Norm als Verhinderer neuartiger und kostengünstiger Sanierungskonzepte dargestellt. Aus gleicher Quelle gespeist griff ebenso die Frankfurter Allgemeine Zeitung (KÜFFNER 1997) dieses Thema unter der Überschrift „Mit Hitze dem Hausschwamm der Garaus gemacht“ auf.

Aber auch Publikationen wie von ARENDT (1997) und STEINFURTH (1997) bleiben den Nachweis schuldig, dass allein mit Heißluft oder sonstigen thermischen Verfahren als gleichwertige Alternative zum in DIN 68800-4 verankerten Verfahren ein tatsächlich akuter Hausschwammbefall erfolgreich bekämpft worden ist. Bei dem von RUDOLPHI (1995a, b) beschriebenen Fallbeispiel der Anwendung von Heißluft zur Hausschwamm-Bekämpfung in einer Fachwerkkirche in Alt-Placht (Brandenburg) wurden vor der Heißluftanwendung über 50 % der alten Holzbauteile ausgebaut und durch neue Hölzer ersetzt. Zudem ergaben von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, entnommene Holzproben keine Hinweise auf einen aktiven Hausschwamm-Befall, so dass auch in diesem Fall der überzeugende praktische Beweis der erfolgreichen Anwendung der Heißluft als umweltschonende giffreie Alternative zur konventionellen Bekämpfung nach DIN 68800-4 nicht erbracht wurde. Im Widerspruch zu den Anpreisungen des Marktes stellt RUDOLPHI allerdings deutlich heraus, dass eine Heißluftbekämpfung sowohl hinsichtlich der Verfahrenstechnik als auch des Erfolgsnachweises mit einem erheblichen Aufwand

verbunden ist. So wurden z.B. zur Kontrolle der in den Holzbauteilen erreichten Temperaturen über 40 Messstellen angelegt sowie die Verteilung der Raumtemperatur mit Videoinfrarot-Aufnahmen überwacht.

Von Anbieterseite des Heißluftverfahrens wird gerne auf in Dänemark durchgeführte Schwammbekämpfungen mit Heißluft verwiesen. Hier wurden nach Mitteilung der „Varmebehandlingskontrol mod svamp (VKS)“ - ein Zusammenschluss der in Dänemark tätigen Heißluftanwender - von 1987 bis 1990 35 Objekte und schließlich bis 1994 insgesamt 50 Objekte behandelt (VKS 1995). In Dänemark wurden jedoch die Möglichkeiten des Verfahrens von Anfang an sehr differenziert bewertet. Insbesondere wird auch auf wesentliche Anwendungsbeschränkungen wie auch auf notwendige chemische Maßnahmen verwiesen (vgl. KOCH 1991; VKS 1990/1991):

- Für Kellerräume bzw. Kellerwände schließt sich eine Heißluftbehandlung aus.
- Im Erdgeschoss sind chemische Behandlungen oft unumgänglich. So ist bis zu einer Höhe von 0,3 bis 1,0 m über dem Fußboden nicht mit einer ausreichende Erwärmung zu rechnen.
- Kann eine Wiederbefeuchtung des verbliebenen Holzes nicht ausgeschlossen werden, wird ein vorbeugender chemischer Schutz empfohlen.
- Ein chemischer Schutz sollte auch immer vorgesehen werden, wenn feuchtes Holz vorgelegen hat.

Im Übrigen ist anzumerken, dass in Dänemark lange Zeit - und das betrifft die oben genannten 50 angeblich erfolgreich behandelten Objekte - mit einer unzureichenden letalen Wärmetemperatur von lediglich 40 °C und einer Einwirkungsdauer von 24 Stunden gearbeitet wurde. Von dem die Heißluftbehandlungen überwachenden Danish Technological Institute (DTI), Taastrup, musste 1994 jedoch auf Grund von Laborversuchen eingeräumt werden, dass dieses Temperatur-Zeit-Verhältnis nicht ausreichend ist und erst bei einer letalen Wärmedosis von 50 °C mit 16 Stunden Einwirkungsdauer eine sichere Abtötung gewährleistet ist (VKS 1995). Es darf somit gefolgert werden, dass nicht immer **a l l e i n** die Heißluftbehandlung zum Erfolg der Bekämpfungsmaßnahme gegen den Echten Hauschwamm geführt hat, sondern begleitende/ergänzende chemische und bauliche Maßnahmen wesentlich zum Erfolg der bis 1995 durchgeführten Bekämpfungen beigetragen haben bzw. diese entscheidend mitverantwortlich waren, dass kein Wiederbefall erfolgte.

Dies sowie die Grenzen des Heißluftverfahrens mit den daraus resultierenden Konsequenzen werden auf dem deutschen Markt jedoch gerne verschwiegen. Ebenso auch, dass in Dänemark das Verfahren überwachungspflichtig ist.

Wie sehr es erforderlich ist, Eckparameter mit Mindestanforderungen bzw. verbindliche Standards für eine qualifizierte Heißluftbehandlung, die auf wissenschaftlichen Untersuchungen und Erkenntnissen unabhängiger Gutachter basieren, zu erarbeiten, zeigte sich am Beispiel des um 1800 im klassizistischen Stil errichteten „Landhaus Kuhlmann“ in Lübeck (Objekt Nr.1). Für die ausgeschriebene Hausschwamm-Bekämpfung im Heißluftverfahren gaben vier Firmen die folgenden Angebote ab:

Firma A:	58.000 DM
Firma B:	90.456 DM
Firma C:	120.944 DM
Firma D:	ca. 190.000 DM

Bei Firma D handelte es sich um ein dänisches Unternehmen. Dies ist deshalb bemerkenswert, weil sich bestimmte deutsche Heißluftanwender einerseits gerne auf die in Dänemark gemachten Erfahrungen mit dem Heißluftverfahren berufen, andererseits das Verfahren gegenüber der konventionellen Sanierungsmethode als besonders kostengünstig darstellen. Den Zuschlag in Lübeck erhielt Firma A, die mit Abstand das kostengünstigste Angebot abgegeben hatte. Wie sich später herausstellte, wurden wesentliche Vorgaben des Leistungsverzeichnisses nicht eingehalten, Temperaturkontrollen erfolgten ausschließlich in Eigenüberwachung und konnten nicht überzeugen. Die Einhausung erfolgte unprofessionell, so dass es erfahrenen Beobachtern äußerst zweifelhaft erschien, dass das Mauerwerk überhaupt ausreichend erwärmt worden war. Letztlich ging aber die ausführende Firma kaum ein nennenswertes Risiko ein, da laboranalytisch kein akuter Hausschwammbefall nachgewiesen werden konnte und die Behandlung lediglich sicherheits halber vorgenommen wurde, da man aus denkmalpflegerischen Überlegungen Freilegungsarbeiten stark eingeschränkt hatte und entsprechend eventuell vorhandene versteckte Befallsherde nicht ausschließen wollte. Übereinstimmend wurde von den an der Baustelle anwesenden Sachverständigen ein positives, auf dem Erfolg der Heißluftbehandlung basierendes Ergebnis angezweifelt, wenn tatsächlich ein zu bekämpfender akuter Hausschwammbefall vorgelegen hätte.

2.2 Anwendungsgrenzen

Im Rahmen der objektspezifischen Vorbetrachtungen (Kapitel 2.3.3.) sind alle Problemzonen festzulegen, die für die Heißluft nicht zugänglich sind bzw. in deren Bereichen die Bausubstanz nicht ausreichend wärmebehandelbar ist. Mit anderen Worten: Es sind die jeweiligen Grenzbereiche zu den unbeheizbaren Gebäudeteilen bzw. Raumabschnitten festzulegen und zu protokollieren (vgl. Kapitel 2.3.3.1).

2.2.1 Holzbauteile

Die zu behandelnden Holzbauteile, wie Balkenlager, Mauerschwellen, Fußpfetten, Fachwerkhölzer und dergleichen müssen grundsätzlich von mindestens zwei Seiten zugänglich sein.

Sind Konstruktionshölzer nur von einer Seite der Heißluft ausgesetzt, ist prinzipiell ein Erreichen der erforderlichen Abtötungstemperatur in ihren Querschnitten nicht möglich. Aber auch der zweiseitigen Beheizung sind bei stärker dimensionierten Konstruktionshölzern mit Querschnittsabmessungen ab etwa 140 x 140 mm deutliche Grenzen gesetzt. Entweder sind kaum noch vertretbar lange Aufheizzeiten und ein entsprechend hoher Energieaufwand erforderlich, oder es lassen sich die erforderlichen Abtötungstemperaturen überhaupt nicht erreichen (vgl. Kapitel 2.3.3.2.1, Abb.1).

2.2.2 Mauerwerk

Bei Mauerwerk muss in der Regel mit erheblich längeren Heizzeiten als für Holz bis zum Erreichen der Letaltemperatur gerechnet werden. Dies gilt verstärkt für Außenmauerwerk, dessen Beheizung zudem wegen der erforderlichen Einhausung sehr aufwändig ist. Daher ist für jeden Einzelfall unter Berücksichtigung von Wandaufbau, Wandstärke und Wandfeuchte neu zu entscheiden, ob und in welchem Umfang das Mauerwerk in die Heißluftbehandlung mit einbezogen werden soll. Auch ist zu beurteilen, welcher Mehraufwand sich daraus gegenüber der chemischen Mauerwerksbehandlung nach DIN 68 800-4 oder auch - bei Innenwänden - gegenüber einem Abriss ergibt.

Befindet sich ein hoher Anteil verbauten Holzes in Kombination mit dem Mauerwerk, wie z.B. in zu erhaltenen historischen Fachwerkwänden, ist eine gleichzeitige Erwärmung des Mauerwerks unumgänglich.

Voraussetzung jeder Mauerwerksbehandlung mit Heißluft ist, dass die Erwärmung von zwei Seiten erfolgt (Kapitel 2.3.4.2). Deshalb sind zum Beispiel an Nachbargebäude angrenzende Hauswände nicht behandelbar. Seine Grenzen erreicht das Heißluftverfahren auch schnell überall dort, wo durch stärkeren Wärmeabfluss keine ausreichende Erhitzung des Mauerwerks erzielt wird. Dies ist der Fall:

- in Kellerwänden und Kellerböden.
- im Übergang zum Erdreich.
- in Erdgeschossen im Allgemeinen bis zu einer Höhe von 1,0 m über Erdgleiche bzw. Fußbodenoberkante.

Ein Heruntergehen bis auf ca. 30 cm über Erdgleiche ist unter Umständen möglich durch aufwändiges Verlegen eines separat beheizten Zuluftrohrsystems zwischen Gebäudeaußenwand und Einhausungsfolie.

Wird eine Heißluftbehandlung in Erwägung gezogen, ist ferner zu berücksichtigen:

- Nicht ausreichend lässt sich nasses oder sehr feuchtes Mauerwerk aufheizen, bzw. werden ausreichende Abtötungstemperaturen nur partiell an Stellen mit weniger hohem Feuchtegehalt erreicht.
- Sehr starke Außenmauern sowie mehrschalige Mauerwerkskonstruktionen lassen sich - wenn überhaupt - dann nur mit einem extrem hohen, sowohl ökonomisch als auch ökologisch kaum noch vertretbaren Heizöl- bzw. Propangasverbrauch aufheizen.

2.3 Leistungsanforderungen an das Heißluftverfahren

2.3.1 Grundsätzliches

Die Bekämpfungsmaßnahmen mit Heißluft erfordern grundlegende Kenntnisse und Erfahrungen. Sie dürfen deshalb nur von qualifizierten Fachleuten bzw. Fachbetrieben für Holzschutz durchgeführt werden, die eine entsprechende spezielle Qualifikation besitzen, eine sorgfältige Ausführung gewährleisten und über die erforderlichen Geräte verfügen. Man vergleiche hierzu auch die allgemein für bekämpfende Holzschutzmaßnahmen geltenden

Vorschriften der Holzschutznorm DIN 68000-4, Abschnitt 2.5. Unabdingbar ist zudem eine Qualitätskontrolle (Fremdüberwachung) durch einen unabhängigen, die Bekämpfungsmaßnahmen begleitenden Sachverständigen mit entsprechender nachweisbarer spezieller Qualifikation (Kapitel 2.3.7). Auch sollte der Auftraggeber einen solchen gegebenenfalls bereits mit der Planung und Ausschreibung beauftragen.

Das fachgerechte Vorgehen ist durch folgende Maßnahmen und Teilarbeiten gekennzeichnet:

- Detaillierte Bauuntersuchung durch einen geprüften Holzschutz-Sachverständigen.
- Abgeleitet aus der Bauuntersuchung objektspezifische Vorbetrachtung und Planung der Wärmebehandlung für den individuellen Einzelfall (gegebenenfalls unter Einschaltung des die Maßnahme begleitenden unabhängigen Sachverständigen mit spezieller Qualifikation – siehe einleitenden Absatz zu diesem Kapitel).
- Bei Einschaltung eines Sachverständigen mit spezieller Qualifikation Bewertung der Angebote durch diesen.
- Vorbereitende Arbeiten (wie Austausch/Verstärkung von Holzbauteilen, Ausbau/Schutz nicht hitzebeständiger Materialien und Gegenstände).
- Beseitigung der Feuchteursache(n); siehe auch Erläuterung im Kapitel 2.3.8.
- Durchführung der eigentlichen Heißluftbehandlung.
- Durchführung erforderlich werdender chemischer Bekämpfungsmaßnahmen.
- Durchführung erforderlich werdender vorbeugender Holzschutzmaßnahmen.

2.3.2 Bauuntersuchung

Gemäß DIN 68800-4, Abschnitt 2.3 ist Voraussetzung jeder Bekämpfungsmaßnahme gegen holzerstörende Pilze und Insekten, dass durch qualifizierte Fachleute oder Sachverständige zunächst die Art der Schadorganismen und des Befallsumfanges festgestellt wird. Die Ergebnisse sind dem Auftraggeber in einem Untersuchungsbericht vorzulegen.

Handelt es sich um einem Pilzbefall, sind im allgemeinen zur detaillierteren Untersuchung Teilfreilegungen, wie von eingemauerten Balkenköpfen, Balkenlagern, Mauerschwellen, Traufbereichen, Fachwerkhölzern und dgl., erforderlich.

Der Untersuchungsbericht hat im Einzelnen zu umfassen:

- Bestimmung der vorliegenden Pilzart(en) – gegebenenfalls Laboruntersuchungen zu exakten Artbestimmung (ohne dass aber eine solche grundsätzlich zu fordern ist).
- Abschätzung der Pilzaktivität; (liegt aktiver Befall, nicht aktiver, aber sich im Zustand des latenten Wachstums oder der Trockenstarre befindlicher Befall oder lässt sich aus der Historie des Bauwerks auf erloschenen Altbefall schließen?).
- Beschreibung des Befallsumfanges.
- Beschreibung des Zerstörungsgrads der befallenen Holzbauteile (Schadensintensität)
- Beschreibung der Befallsursache(n), d.h. in aller Regel Feststellung der Ursache(n) des hohen Feuchteintrages.
- Darstellung der Schadensgeschichte des Gebäudes.

Der Untersuchungsbericht dient sodann als Grundlage für die Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes. Zu verweisen ist allerdings darauf, dass aufgrund der versteckten Lebensweise des Echten Hausschwamms der Untersuchungsbericht häufig nur Teilbefunde und grobe Schätzwerte liefern kann. Das Gesamtschadensausmaß kann nämlich vielfach erst nach Entfernen von Putz, Fliesen, Bodenbelägen, befallener Wand- und Deckenbekleidungen, Fußbodenbrettern, Türstöcken, Fußleisten und anderen Teilfreileigungsarbeiten beurteilt werden. Diese Maßnahmen sind jedoch aus Kosten- und/oder nutzungstechnischen Gründen im Rahmen von Voruntersuchungen im notwendigen Umfang häufig nicht möglich oder vom Auftraggeber unerwünscht (vgl. hierzu GROSSER et al. (2005): WTA-Merkblatt „Echter Hausschwamm“).

Liegt erhaltenswürdige denkmalgeschützte Bausubstanz vor und soll zur Abtötung des Hausschwamm-Myzels in den betroffenen Bauteilen eine Heißluftbehandlung durchgeführt werden, so bedarf diese als Sonderlösung einer objektspezifischen Vorbetrachtung und Planung.

2.3.3 Objektspezifische Vorbetrachtung und Planung der Heißluftbehandlung für den individuellen Einzelfall

Im Unterschied zur Insektenbekämpfung stellt die Heißluftbehandlung zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms stets eine Sonderlösung für den jeweiligen Einzelfall dar und bedarf entsprechend einer detaillierten objektspezifischen Vorbetrachtung und Planung.

Diese erfolgen in Abhängigkeit vom Willen des Auftraggebers entweder durch den Heißluftanwender, den die Behandlung fremdüberwachenden Sachverständigen (Kapitel 2.3.7) oder in Abstimmung zwischen Anwender des Heißluftverfahrens und Sachverständigen. Da grundsätzlich zur Qualitätskontrolle ein unabhängiger Sachverständiger einzuschalten ist, ist dem Auftraggeber anzuempfehlen, diesen bereits in die Vorbetrachtung und Planung mit einzubinden.

Im Rahmen der Vorbetrachtungen und der Planung sind vielfach weitere Teilfreilegungen notwendig, insbesondere wenn solche im Vorfeld der Bauuntersuchung nur bedingt durchgeführt werden konnten.

2.3.3.1 Vorbetrachtung

Im Rahmen der Vorbetrachtung ist zu prüfen, festzustellen bzw. festzulegen:

- Prüfung der grundsätzlichen Eignung des Gebäudes für eine Heißluftbehandlung bzw. der notwendigen Zugänglichkeit der befallenen Bauteile für die Heißluft. Hierzu gehört u.a. die Untersuchung des Wandaufbaus sowie des Untergrunds (vgl. Kapitel 2.2).
- Ermittlung des zu behandelnden Gebäude- bzw. Raumvolumens bzw. der zu behandelnden schwammbefallenen Flächen.
- Festlegung des Behandlungsbereiches bzw. der Grenzen zu den wärmetechnisch nicht erreichbaren Bereichen.
- Festlegung erforderlich werdender chemischer Maßnahmen entsprechend Holzschutznorm (DIN 68 800-3, Ausgabe April 1990, DIN 68 800-4, Ausgabe November 1992).
- Abklärung der Restrisiken nach der Behandlung.

Besonderer vertraglicher Regelungen bedürfen die:

- Festlegung der Verantwortlichkeiten auf der Baustelle.
- Festlegung rechtlicher Regelungen zur Gewährleistung und Haftung (Risiken).

2.3.3.2 Planung der Heißluftbehandlung

Zur Planung der Heißluftbehandlung gehören vor allem:

- Festlegungen zur Einhausung und zur Beheizung (Komplettbeheizung, Beheizung in mehreren Abschnitten).
- Festlegung der Lage und der Anzahl der Temperatur-Messstellen.
- Festlegungen zur erforderlichen Kapazität der Heißluftmaschinen, zur Aufstellung der Maschinen, Tankbehälter und dgl. (= Baustelleneinrichtung).
- Festlegungen zur Temperatur:
 - Maximale Einblastemperatur / Oberflächentemperatur.
 - Zu erreichende letale Wärmedosis.
 - Bei feuchtegeregelter Wärmebehandlung zusätzlich Festlegung der Luftfeuchte.
- Festlegungen zur Heißluftführung d.h. zur Luftverteilung innerhalb des Behandlungsreiches.

Erkenntnisse und Festlegungen der erforderlichen Maßnahmen aus Vorbetrachtung und Planung sind zugleich Grundlage für einen vom Anwender des Heißluftverfahrens zu erstellenden Kostenvoranschlag.

2.3.3.2.1 Temperatursimulation

Wertvolle Hinweise für den Ablauf der Heißluftbekämpfung und den Zeitbedarf für die Aufheizung von Holzbauteilen und Mauerwerk liefern Simulationsprogramme. Diese fehlen jedoch bislang weitgehend oder sind nur intern verfügbar, wie das vom Danish Technological Institute (DTI), Taastrup, angewendete Verfahren.

Mit Hilfe des computergestützten Simulationsprogramms TCD (Temperature Calculation and Design) der schwedischen Firma FIRE SAFETY DESIGN, Lund, wurde daher im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 der Zeitbedarf für die Aufheizung von insgesamt 7 Holzquerschnitten unter verschiedenen Aufheizbedingungen (Zugänglichkeit, Raumtemperatur und Eigentemperatur der Holzoberfläche) berechnet (FLOHR 2003). Das Programm TCD stellt ein zweidimensionales Temperaturberechnungsprogramm dar, basierend auf der Finite-Elemente-Methode. Durchgeführt werden können mit dem Programm thermische Analysen von Strukturen aus unterschiedlichen Materialien und bauphysikalischen Eigenschaften. Es betrachtet den thermischen Zustand innerhalb des definierten finiten Elements. Außerdem werden die Wärmeübergangswiderstände an der Oberfläche der Bauteile berücksichtigt.

FLOHR führte insgesamt 252 Berechnungen durch und fasste diese zu einer Graphik zusammen (Abb.1). Ziel der Berechnungen war die Erstellung eines Temperatur-Zeit-Diagramms für die Erwärmung von Konstruktionshölzern auf 55 °C am thermisch ungünstigsten Punkt ihres quadratischen Querschnitts. Bei einer zwei- und dreiseitigen Beheizung ist das nicht der geometrische Mittelpunkt, wie dies in der Praxis vielfach angenommen wird. Die Querschnitte wurden idealisiert, d.h. Trockenrisse und Fehlkanten, wie sie in der Praxis häufig anzutreffen sind, blieben unberücksichtigt. Für die tatsächlichen Heizzeiten ergeben sich entsprechend geringfügig kürzere Heizdauern gegenüber den theoretisch ermittelten Werten. Es ist die unmittelbar am Bauteil herrschende Lufttemperatur zugrunde gelegt. Diese ist nicht identisch mit der Ausblastemperatur am Heißluftgerät. In Abhängigkeit der Entfernung zwischen Heißluftgerät und Bauteil bestehen diesbezüglich mehr oder weniger große Unterschiede, die zu berücksichtigen und gegebenenfalls messtechnisch zu erfassen sind. Bei einer zwei- und dreiseitigen Beheizung kommt es an den dem Heißluftstrom nicht zugänglichen Flächen zu einer kontinuierlichen Abkühlung. Für die Berechnung wurden diese mit permanent 20 °C angenommen.

Mit Hilfe der in Abbildung 1 wiedergegebenen Graphik lassen sich ausgehend von den Ausgangstemperatur des Holzes mit 0 °C, 10 °C, 20 °C und 30 °C (Winter- und Sommersituation) und der Heißlufttemperatur an der Holzoberfläche direkt in einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit die ungefähren Heizzeiten für verschieden dimensionierte Holzbauteile bei zwei-, drei- und vierseitiger Beheizung bestimmen. Die Graphik verdeutlicht zudem, dass der zweiseitigen Beheizung bei stärker dimensionierten Holzbauteilen deutlich Grenzen gesetzt sind. Nur einseitig erreichbare Konstruktionshölzer sind grundsätzlich nicht ausreichend beheizbar.

Hinzuweisen ist darauf, dass die Verlängerung der Heizzeiten keine nennenswerte Erhöhung der Temperatur im Querschnitt der behandelten Holzbauteile zur Folge hat, solange mit gleichen Oberflächentemperaturen gearbeitet wird. Erst wenn letztere erhöht werden, steigen auch die Querschnittstemperaturen an.

Bezüglich der erforderlichen Luftförderleistung ist anzumerken, dass eine Überdimensionierung zu keinerlei Zeitersparnis bei den Heizzeiten führt, sondern vielmehr zu Lasten der Energiebilanz geht. Umgekehrt entstehen bei zu geringer Luftförderleistung erhebliche Zeitverluste und damit erhebliche zusätzliche Personalkosten.

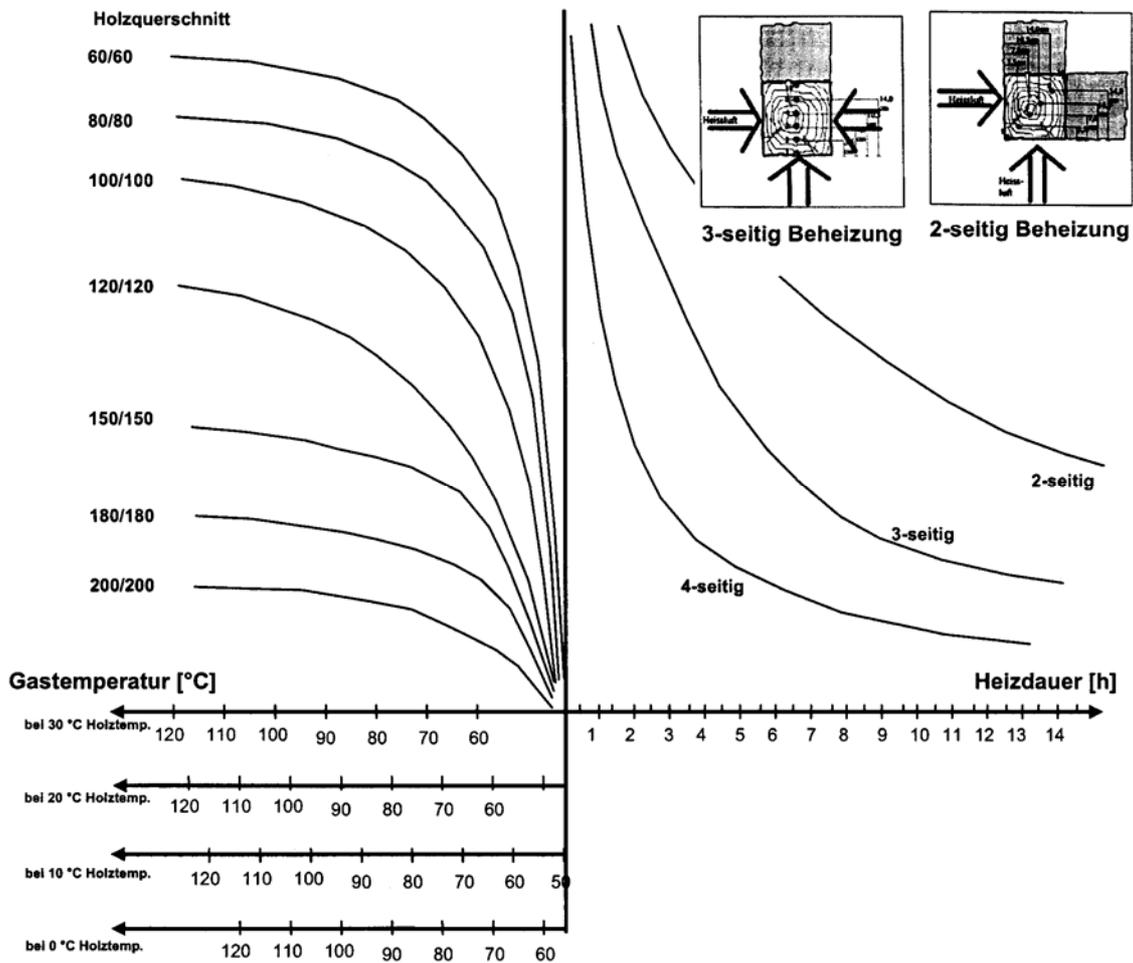


Abb.1: Temperatur - Zeit - Diagramm zur Erwärmung von Konstruktionsholz auf 55 °C mit Heißluft

Erläuterungen

Werte beziehen sich auf den thermisch ungünstigen Querschnitt.

Trockenrisse und Fehlkantigkeit sind nicht berücksichtigt und können den Heizvorgang beschleunigen
Temperaturschwankungen im Luftstrom führen zur Verlängerung der Heizzeit.

Bei der 2 und 3-seitigen Heißluftbehandlung werden die kalten Seiten mit permanent 20 °C angenommen.

Ablesebeispiele

Bei einer Ausgangstemperatur des Holzes von 20 °C und einer Lufttemperatur von 100 °C an der Oberfläche eines 150x150 mm starken Balkens beträgt die Aufheizzeit bei vierseitiger Beheizung 2 Stunden, bei dreiseitiger Beheizung 5½ und bei zweiseitiger Beheizung über 13 Stunden, um am thermisch ungünstigsten Punkt 55 °C zu erreichen.

2.3.4 Technische Voraussetzungen

2.3.4.1 Heißluftgeräte

Für die Erzeugung der Heißluft werden von den ausführenden Firmen eingesetzt:

- Ölbetriebene Heißluftgeräte.
- Propangasbetriebene Heißluftgeräte.

Die Heißluftzufuhr und –verteilung erfolgt über Rohrleitungen. Üblich ist die Verwendung starker, zusammensteckbarer Metallrohre mit entsprechenden Formstücken sowie flexibler Schlauchsysteme wie z.B. Aluminiumschläuche. Die Rohrdurchmesser sind der jeweiligen Maschinenleistung angepasst und liegen vielfach in der Größenordnung von 360 bis 380 mm.

Heizgeräte mit Ölbrennern müssen DIN 4787-1 und DIN EN 230, Heizgeräte mit Gasbrennern DIN 4788-1, 2 und 3 entsprechen. Grundsätzlich zu achten ist darauf, dass nur betriebssichere Geräte eingesetzt werden sowie turnusmäßige Wartungen durchgeführt werden.

Die einzusetzenden Heißluftgeräte müssen außer der erforderlichen Temperatur eine ausreichende Luftmenge und Luftdruckleistung erzeugen, um im Behandlungsbereich die Kaltluft zu verdrängen und die Heißluft gleichmäßig zu verteilen. In Abhängigkeit von der Bauart der Heißluftmaschinen beträgt die Heizleistung der zurzeit eingesetzten Geräte zwischen 140 und 350 bis 400 kW. Die bewältigten Luftmengen liegen zwischen 4000 und 9000 bis 10000 m³/Std. Der Heizölverbrauch beträgt 20 bis 30 l/Std., der Propangasverbrauch 6 bis 12 l/Std.

Öl- und propangasbetriebene Geräte sind in gleicher Weise für die Wärmebehandlung geeignet. Allerdings besitzt Propangas gegenüber Heizöl in zweierlei Hinsicht gewisse Vorteile. Bei ölbetriebenen Heißluftmaschinen ist zu berücksichtigen, dass eine extrem trockene Luft in die behandelten Gebäude bzw. Räumlichkeiten eingebracht wird. Diese führt zu einer starken Austrocknung aller Bauteile, die bei feuchtem Mauerwerk durchaus erwünscht ist, bei Holzbauteilen aber zu einem störenden Harzaustritt und einer stärkeren Rissbildung führen kann. Günstiger auf den Feuchtehaushalt wirkt sich dagegen die Verbrennung von Propangas aus, da beim Verbrennungsvorgang Wasser freigesetzt wird,

so dass die Holzbauteile weniger stark austrocknen. Zudem ist aufgrund des geringeren Kohlenstoffanteils bei der Verbrennung von Flüssiggas die CO₂-Emission geringer als bei Heizöl.

Eine spezielle Entwicklung stellt das so genannte feuchtegekoppelte thermische Verfahren dar, wie es seit längerer Zeit in Klimakammern zur schonenden Hitzebehandlung von durch Insekten befallenen Kunst- und Kulturgegenständen praktiziert wird. In speziell für die Behandlung von Gebäuden bzw. geschlossenen Räumlichkeiten entwickelten Propan- gasbrennern mit Luftmischkammern wird die erhitzte Luft über eine computergesteuerte Einheit mit entkalktem Wasser vor dem Ausblasen angefeuchtet und die Luftfeuchte unabhängig von der Einblastemperatur konstant gehalten (Kapitel 2.3.6.1.3).

2.3.4.2 Einhausung

Im Unterschied zur Insektenbekämpfung ist gewöhnlich eine Einhausung der zu behandelnden Bereiche erforderlich. Die Einhausung kann entweder als zeltähnliche Komplett- einhausung (vgl. z.B. Objekte 2, 3 und 9) erfolgen, oder das Gebäude wird in einzelne Teilbeheizungsgebiete unterteilt, die nacheinander behandelt werden (vgl. z.B. Objekt 1). Zu bevorzugen ist allerdings die Komplett-einhausung. Eine Zerlegung in thermisch behandelbare Einzelsegmente ist eher kritisch zu betrachten und sollte niemals von der Gerätekapazität her diktiert sein. Im Falle kleinerer lokal begrenzter Befallsbereiche werden diese entsprechend mit Folien abgeplant. Dabei können grundsätzlich die den zu beheizenden Bereich umgebenden Trennwände, Decken und Böden als Teil der Einhausung genutzt werden (vgl. Objekte 4, 6 und 7).

Als Einhausungsmaterial sind hitzebeständige, faserverstärkte Kunststoffbahnen zu verwenden. Bewährt haben sich glasfaserverstärkte Polyethylenfolien. Zu erhalten sind sie als handelsübliche Baufolien. Kunstfaserverstärkte Folien sind weniger hitzeresistent. Bei den aus Dänemark stammenden so genannten Wintermatten handelt es sich um zweischichtige Kunststoffmatten mit einem Mineralfaserkern. Sie zeichnen sich durch eine besonders gute Wärmedämmung aus. Auch wärmereflektierende Isolierfolien sind erhältlich.

Zur Befestigung der Folien wird das Gebäude bzw. der zu behandelnde Gebäudeteil eingerüstet oder es werden an den Außenwänden Hilfskonstruktionen aus Lattengerüsten,

Abstandhaltern oder ähnliche Tragsysteme angebracht. Beim Umluftverfahren (Kapitel 2.3.6.1.2) ist grundsätzlich eine „selbst stehende“ - d.h. starre - Einhausung über Abstandhalter oder eine Einrüstung erforderlich. Besonders zu beachten ist, dass die Planen bzw. Folien einen ausreichenden Abstand zur Gebäudeoberfläche aufweisen, damit die Heißluft zirkulieren kann und eine zweiseitige Erwärmung des Mauerwerks sowohl von der Innenseite als auch von der Außenseite her gewährleistet ist. Eine einseitige Beheizung des Mauerwerks nur von der Gebäude-Innenseite her führt lediglich zu einer Erwärmung von ca. 2 °C auf der nicht beheizten Seite.

Der Mindestabstand zwischen Außenwand und Isolierhülle sollte unabhängig von der Art der Wärmebehandlung (Kapitel 2.3.6.1) 30, besser 50 cm betragen. Die einzelnen Folienbahnen müssen sich ausreichend überlappen, um die Anschlüsse zwischen den Bahnen mit einem Klebeband gut schließen zu können. Geeignet hierfür sind selbstklebende Kunststoffstreifen sowie Klebefolien, wie sie für Dampfsperren üblich sind. Ferner sind ausreichende Abluftöffnungen zu schaffen und diese gegebenenfalls gezielt während der Wärmebehandlung zu variieren, um im Gebäude jeweils eine optimale Temperaturverteilung zu schaffen. Äußerst fehlerhaft war zum Beispiel die Gebäudeumhüllung beim Landhaus Kuhlmann (Objekt 1).

Werden **Holzbauteile**, wie z.B. Deckenbalken, unter Folien beheizt, dürfen die Abdeckfolien an keiner Stelle diesen aufliegen. Auch hier ist für einen ausreichenden Abstand zu sorgen, z.B. dass die Folie über aufgenagelte Latten mit einer Mindesthöhe von ca. 5 cm gespannt wird.

2.3.4.3 Messtechnik

Der Erfolg jeder Heißluftbehandlung ist vom Einhalten einer Mindesttemperatur über eine Mindestzeitdauer abhängig (Kapitel 2.3.6.2.1). Entsprechend ist der Temperaturverlauf während der gesamten Wärmebehandlung durch Messungen zu kontrollieren und zu dokumentieren. Diese dürfen nicht durch Berechnungen irgendwelcher Art (aus Bauteilquerschnitten, Umgebungstemperatur, Heizzeiten u.a.) oder gar durch „bloße Erfahrung“ ersetzt werden. Gleichfalls hat eine regelmäßige Kontrolle der Temperatur der Raumluft zu erfolgen. Anerkannte Temperaturmessgeräte für das Heißluftverfahren sind:

- Handelsübliche Flüssigkeitsthermometer (Quecksilberthermometer, Alkoholthermometer).
- Bimetallthermometer.
- Elektrische Thermometer (Thermosensoren).

Üblich hiervon sind Flüssigkeitsthermometer und elektrische Thermometer, während Bimetallthermometer kaum einmal Verwendung finden.

2.3.4.3.1 Flüssigkeitsthermometer

Bei den Flüssigkeitsthermometern sollten statt der häufig anzutreffenden Quecksilberthermometer Alkoholthermometer verwendet werden, da es immer wieder zum Bruch von Thermometern kommt und sodann giftiges Quecksilber freigesetzt wird. Nachteil der Flüssigkeitsthermometer ist das lästige Ablesen im Behandlungsbereich.

2.3.4.3.2 Thermosensoren

Thermosensoren bieten als wesentliche Vorteile (1) die externe Beobachtung des Temperaturverlaufes durch Fernmessungen sowie (2) eine kontinuierliche Temperaturüberwachung. Mit Hilfe von Datenloggern und PCs werden die Messwerte ständig aufgenommen, angezeigt und verarbeitet. Dies ermöglicht, sofort auf Veränderungen im Temperaturverlauf mit Korrekturen der Luftströme zu reagieren, z.B. mit Änderung der Heiztemperatur der Heißluftgeräte, Umverteilung der Zuluftrohre oder Verlegung der Abluftöffnungen für den Luftüberdruck.

Als Thermosensoren geeignet sind:

- Thermoelemente
Die Temperaturmessung beruht auf dem thermoelektrischen Effekt (Seebeck-Effekt), der durch Kombination zweier unterschiedlicher Leiter als Thermospannung nachgewiesen und messtechnisch nutzbar gemacht wird.
- Platin-Widerstandssensoren (Platin Temperatursensoren)
Diese nutzen die temperaturabhängige Widerstandsänderung von Platin-Messfühlern (übliche Temperaturfühler Pt100 – 3 Leiter [100 Ω bei 0 °C, 3-Leiteranschluss]).
- Thermistoren
Die Temperaturmessung basiert auf der temperaturabhängigen Widerstandsänderung von thermisch empfindlichen Halbleiterresistoren bestehend aus gesinterten Metall-

oxyden (NTC-Halbleiter = negativer Temperaturkoeffizient) oder aus halbleitender ferroelektrischer Keramik (PTC-Halbleiter = positiver Temperaturkoeffizient).

Für welches System sich ein Heißluftanwender letztlich entscheidet, ist weniger eine Frage der Temperaturbereiche und -toleranzen der verschiedenen Sensortypen sondern vielmehr eine Frage ihrer Handhabbarkeit, letztendlich aber des Preises.

2.3.4.3.3 Vergleichende Bewertung der Messverfahren

Wiederholt wurden gegen die Verwendung von Flüssigkeitsthermometern Bedenken wegen Messwertverfälschungen aufgrund der Wärmeleitfähigkeit ihres Glaskörpers erhoben. Wie verschiedene Vergleichsmessungen mit elektrischen Temperaturfühlern gezeigt haben, sind diese Bedenken unbegründet, und mit Flüssigkeitsthermometern sind ebenso exakte Temperaturmessungen möglich wie mit Thermosensoren. Von entscheidender Bedeutung für die Messgenauigkeit ist unabhängig von der Wahl der Temperaturmessmethode vielmehr die Dämmung der Thermometer bzw. Messfühler in den Bohrungen gegenüber der Umgebungsluft. Daher müssen die Bohrungen nach Einführen der Thermometer bzw. Messfühler sorgfältig mit einem Dämmstoff (z.B. einem Wattedropfen) abgedichtet werden, um jeglichen Kontakt mit der wesentlich heißeren Umgebungsluft zu vermeiden. Ergaben sich in der Praxis Abweichungen zwischen manueller und elektronischer Temperaturerfassung, lag es nicht an der jeweiligen Messtechnik sondern an Ausführungsfehlern (z.B. ungenügende Abdichtung der Bohrlöcher, fehlerhafte Kalibrierung der Thermosensoren; Flüssigkeitsthermometer und Thermosensoren unterschiedlich tief eingesetzt).

Für die praktische Anwendung empfiehlt sich für den Heißluftanwender eine elektronische Messwerterfassung, mit deren Hilfe sich die jeweils herrschenden Temperaturen detailliert verfolgen lassen bzw. der gesamte Verfahrensablauf kontrollieren lässt, so dass die Luftströme innerhalb der Behandlungsbereiche optimiert und Strömungshindernisse geortet werden können. Parallel dazu sind jedoch stets zusätzlich Flüssigkeitsthermometer zu setzen und manuell ein Messprotokoll mitzuschreiben, einerseits um eine Kontrollfunktion ausüben zu können, andererseits gegen einen möglichen Ausfall der elektronischen Temperaturüberwachung oder einen Datenverlust am Datenlogger gewappnet zu sein. Weiterhin kann ein manuelles Messprotokoll vom Bauherren gegengezeichnet werden, so dass

der Vorwurf einer Manipulation der elektronischen Messdaten ausgeschlossen werden kann.

2.3.5 Vorbereitende Arbeiten

Neben den in Kapitel 2.3.2 genannten Arbeiten gehören zu den wesentlichen vorbereitenden Arbeiten:

- Freilegung aller zu behandelnden Holzbauteile.
Der Aufwand zum Freilegen von zu behandelnden Bauteilen hängt vom Behandlungsbereich ab. Es muss berücksichtigt werden, ob es sich dabei um einzelne Bauteile, um Bauteilgruppen oder um ein ganzes Bauwerk handelt.
- Austausch und/oder Verstärkung von Holzbauteilen ohne ausreichende Resttragfähigkeit.
- Ausbau und/oder Schutz nicht hitzebeständiger Materialien.

2.3.5.1 Freilegung zu behandelnder Holzbauteile

Nicht behandelbar sind verdeckt liegende Bauteile wie Balkenköpfe sowie nur einseitig beheizbare Konstruktionsteile. Die Heißluft muss mindestens von zwei Seiten auf die zu behandelnden Holzbauteile einwirken können, um die erforderlichen Abtötungstemperaturen an der thermisch ungünstigsten Stelle zu erreichen. Diese ist nicht, wie vielfach unterstellt wird, die Querschnittsmitte (vgl. Kapitel 2.3.3.2.1).

Sämtliche pilzbefallenen Holzbauteile, die nicht mindestens zweiseitig für die Heißluft zugänglich sind wie z.B. eingemauerte Balkenköpfe, Mauerschwellen und Traufbereiche, müssen freigelegt werden. Das heißt, dass gegebenenfalls umfangreiche Freilegungs- bzw. Freistemmungsarbeiten erforderlich sind. Zu beachten ist ferner, dass bei stark dimensionierten Konstruktionshölzern mit Querschnitten ab 150 x 150 mm selbst die zweiseitige Beheizung problematisch wird bzw. dieser deutliche Grenzen gesetzt sind (Kapitel 2.3.3.2.1).

Bei der Behandlung von ganzen Bauteilgruppen bzw. eines kompletten Gebäudes können die Freilegungsarbeiten reduziert werden, da die gesamte Konstruktion einschließlich des Mauerwerks beheizt wird.

2.3.5.2 Austausch und Verstärkungen von Holzbauteilen

Werden die Hyphen nachweislich abgetötet und kann ein Wiederbefall ausgeschlossen werden, können alle teilgeschädigten Hölzer, die noch eine ausreichende Tragfähigkeit des gesunden Restquerschnittes besitzen, in der Konstruktion verbleiben. Inwieweit dabei braunfaule und zersetzte Holzschichten bis auf das gesunde Holz abzuheilen sind, wird in Fachkreisen kontrovers diskutiert. Bei einer sauberen zimmermannsmäßigen Lösung sollte jedoch auf ein Abheilen nicht verzichtet werden.

Einigkeit besteht in Fachkreisen darüber, dass weitgehend zerstörte Hölzer ohne ausreichende Resttragfähigkeit ausgebaut bzw. zurückgeschnitten und verstärkt werden müssen. Der Rückschnitt kann auf das unbedingt Erforderliche begrenzt werden, und verbleibende teilgeschädigte Abschnitte können wie zuvor beschrieben bebeitelt werden. Notwendig werdende Verstärkungen sind jeweils so anzubringen, als seien auch die teilbeschädigten Abschnitte abgetrennt worden.

Inwieweit verbleibende Befallshölzer vorbeugend pilzwidrig zu schützen sind, ist abhängig von den jeweils vorliegenden Verhältnissen und für den Einzelfall zu entscheiden. Alles neu einzubauende Holz ist entsprechend DIN 68800-4, Abschnitt 4.3.1 mit einem bauaufsichtlich zugelassenen Holzschutzmittel vorbeugend zu schützen. Bezüglich der Gefährdung sind die Gefährdungsklassen nach DIN 68800-3, Abschnitt 2.3 maßgebend.

2.3.5.3 Hitzeempfindliche Materialien

Für die Insektenbekämpfung mit Heißluft fordert DIN 68800-4, Abschnitt 5.3.2, dass vor Durchführung der Heißluftbehandlung zu prüfen ist, ob hitzeempfindliche Materialien beeinträchtigt d.h. geschädigt werden könnten. Hiervon ist der Auftraggeber schriftlich in Kenntnis zu setzen. Diese Vorgabe gilt selbstverständlich ebenso für die Hausschwammbekämpfung. Im Kommentar zur Norm wird darauf verwiesen, dass umgekehrt der Auftraggeber alle ihm bekannten, aber augenscheinlich nicht erfassbaren Risiken zu benennen hat.

Gemäß Norm-Kommentar ist durch eine schriftliche Vereinbarung festzulegen, wer die notwendigen Vorsichtsmaßnahmen trifft - der Auftraggeber oder der Auftragnehmer. Diese Vorgabe hat für die Hausschwammbekämpfung sehr viel mehr Relevanz als für die her-

kömmliche Insektenbekämpfung auf Dachstühlen, da erstere nicht selten denkmalgeschützte Bereiche mit wertvollen historischen Stuckdecken, Wand- und Deckenmalereien und dergleichen einschließt. Entsprechend sind die jeweiligen Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten von vornherein festzulegen! Der Aufwand für den Schutz hitzeempfindlicher Materialien kann sehr erheblich sein und ist deshalb zwingend erforderlicher Bestandteil des Vertrages zwischen den jeweils Beteiligten (wie Bauherr, Architekt, Denkmalbehörde und Ausführer).

Als Vorsichtsmaßnahmen kommen insbesondere in Betracht:

- Ausbau der betreffenden Materialien bzw. Gegenstände
- Abdichten mit Planen, z.B. aus Aluminiumfolien, Mineralwollekernen
- Belüftung mit Kaltluft
- Begrenzung der Raumtemperatur (bei entsprechend verlängerter Beheizungsdauer)
- Zufuhr von Feuchte (kontrollierte Temperatur-Luftfeuchte-Regelung)

Zu den hitzeempfindlichen Materialien bzw. Baustoffen gehören vor allem:

- Funktionseinbauten, z.B. Orgeln, Seilzüge
- Teerpappen
- Bitumenbahnen

Für diese ist nach DIN 52123 eine Wärmestandfestigkeit bis 70 °C gefordert. Ab 70 °C muss daher mit einem Verlaufen und Abrutschen der Bahnen gerechnet werden.

- Unterspannbahnen
- Gipskarton-Verbundplatten

Bereits bei Temperaturen von 70 °C können mit der Baustoffklasse B2 als normal entflammbar gekennzeichnete Gipskarton-Verbundplatten ihre Festigkeit verlieren und bei Behandlung mit Temperaturen von ca. 100 °C völlig zerstört werden.

- Aus Kunststoffen hergestellte Steckdosen, Elektro-, Wasser- und sonstige Versorgungsleitungen

Je nach Polymerisationsgrad und Zusätzen weisen diese eine unterschiedliche Wärmestandfestigkeit auf.

- Stuckatur, Stuckdecken

Anmerkung: Hohe Temperaturen führen zu einer Austrocknung und damit zu Masseverlusten und Festigkeitsverlusten. ERNST (2000) stellte in ihrer im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 unter-

stützten Diplomarbeit an von ihr hergestellten Proben aus Stuckgips fest, das bei höheren Masseverlusten, wie z.B. 15 % des gesamten Dihydratanteils, Festigkeitsverluste bis zu 90 % eintreten können.

Bei Vorliegen empfindlicher Stuckfassungen mit hohen Gipsanteilen (je höher der Gipsanteil im Stuck ist, desto empfindlicher ist er gegen höhere Temperaturen) sind die maximalen Raumtemperaturen auf 70 °C zu begrenzen. Eine noch wesentlich schonendere Behandlung stellt eine kontrollierte Temperatur-Luftfeuchte-Regelung mit 70 °C bei 30 % Luftfeuchte (RF) dar (Kapitel 2.3.6.1.3). Aufschluss über mögliche Masseverluste können Probebeheizungen an kleinen entnommenen Teilen der historischen Stuckfassungen geben. Sind hohe Festigkeitsverluste zu erwarten, müssen nach der Heißluftbehandlung die Fassungen zunächst restauratorisch gefestigt werden, damit es im weiteren Bauablauf infolge mechanischer Beanspruchungen, wie z.B. durch Erschütterungen, nicht zu Ablösungen kommt.

- **Auf Harzbasis hergestellte Anstriche und Beschichtungen sowie Dispersionsfarben**

Bei diesen Stoffen besteht die Gefahr, dass sie zu fließen beginnen, so dass Schäden an wertvollen Malereien entstehen können. Als Vorsichtsmaßnahmen kommen wiederum eine Begrenzung der Temperatur oder gleichzeitige Feuchtezufuhr im behandelten Raum in Betracht.

- Leim- und Klebeverbindungen können anfällig sein gegenüber Temperaturen ab 80 °C.
- Farbfassungen /Anstriche

Die Heißluftbehandlung fördert stark die Austrocknung des Holzes. Durch das damit verbundene Schwinden kann es zu Rissbildungen, Erweiterungen vorhandener Risse und Verformungen kommen. Risttiefe und -breite sind von verschiedenen Einflussgrößen, wie Feuchtegehalt des Holzes und Aufheizgeschwindigkeit, abhängig. Hier können je nach Tragwerkskonstruktion und ausgeführten Verbindungen unter Umständen gesonderte Sicherheitsvorkehrungen erforderlich werden.

Eine Befeuchtung der eingeblasenen Heißluft, um die Holzverformungen zu unterbinden, hat sich nur bedingt bewährt. In der Praxis hat sich gezeigt, dass während der Abkühlung der Heißluft Kondensat entsteht, welches umgebende Bauteile unzulässig hoch durchfeuchtet (Kapitel 2.3.6.1.3).

Zudem kann in mehr oder weniger starkem Maße durch die Hitze verflüssigtes Harz austreten.

Des Weiteren sind gegebenenfalls als mögliche Auswirkungen durch die Erwärmung zu berücksichtigen:

- Verdampfen früher aufgebracht chemischer Holzschutzmittel
- Verdampfen von Flüssigkeiten und Druckerhöhung in geschlossenen Behältern und Leitungen

- Entstehung von Spannungsrissen an Nicht-Holzbauteilen infolge thermischer Ausdehnung

2.3.6 Durchführung der Heißluftbehandlung

2.3.6.1 Methoden der Wärmebehandlung

Zur Beheizung bieten sich zwei Verfahren an:

- das Einblasverfahren
- das Umluftverfahren

Ein unmittelbarer Vergleich der beiden Behandlungsverfahren erfolgte in den beiden westlichen Pensionshäusern Dresden-Hellerau (Objekt Nr.3) an zwei fast identischen Bauwerken. Eine Weiterentwicklung des Einblasverfahrens zur schonenden Austrocknung empfindlicher Bausubstanz ist das feuchtegekoppelte thermische Verfahren.

2.3.6.1.1 Einblasverfahren

Das Einblasverfahren ist das herkömmliche Verfahren, wie es seit Einführung des Heißluftverfahrens zur Insektenbekämpfung zur Anwendung kommt.

Die Luft wird zur Verbrennung von Öl oder Gas von außen angesogen und die erhitzte Luft (mit den Abgasen) über Zuluftrohre in die Gebäudehülle eingeblasen. Dabei ist sicherzustellen, dass sich die Heißluft gleichmäßig verteilt. Hierzu ist im gesamten Behandlungsbereich ein **Luftüberdruck** erforderlich. Um diesen zu erzeugen, muss eine ausreichende Luftmenge eingeblasen werden. Durch stete Kontrolle sind die Luftströme so zu steuern, dass einerseits keine Kältepolster (Kälteinseln) entstehen, andererseits sich kein Hitze-stau entwickelt (vgl. auch Kapitel 2.3.6.3.1 und 2.3.6.4).

Zu den Vorteilen des Einblasverfahrens gehören das relativ rasche Erreichen der maximalen Luftraumtemperatur mit entsprechend kurzer Gesamtheizdauer im Vergleich zum Umluftverfahren, sowie eine relativ einfache Montage der Einhausungsfolien an der Gebäudehülle. Durch die ständige Lufteinförderung und den daraus resultierenden Überdruck werden die Einhausungsfolien nach außen gewölbt, so dass keine starre Einhausung erforderlich ist. Durch das Überdruckprinzip des Beheizens im Einblasverfahren mit ständi-

gem Luftaustausch wird die freigesetzte und an den Oberflächen der Bauteile verdampfende Baufeuchte rasch abgeführt. Damit kann das Einblasverfahren als vielfach willkommenen Nebeneffekt zu einer Bauaustrocknung beitragen. Andererseits kommt es - wie bereits erwähnt (Kapitel 2.3.5.3) - zu einer starken Austrocknung des Holzes.

2.3.6.1.2 Umluftverfahren

Beim Umluftverfahren handelt es sich um ein erst seit kurzem in die Heißluftpraxis eingeführtes Verfahren. Erprobt wurde es erstmals in Dresden-Hellerau (s.o.) Dabei zeigte sich, dass es aus weiter unten aufgeführten Gründen insgesamt erheblich höhere Kosten als das Einblasverfahren verursacht. Ferner wurden das Umluftverfahren in den Objekten Nr. 6 (Potsdam, Orangerie Sanssouci) und Nr.9 (Potsdam, Bürgerhaus) angewendet (Tab.4).

Zur Erzeugung der Heißluft werden normale Luftheizautomaten bzw. Bauheizgeräte eingesetzt. Die von ihnen maximal erreichbaren Temperaturen für die Raumluft betragen 80 °C. Die Maschinen werden innerhalb der Einhausung aufgestellt und die vorhandene Raumluft angesogen, erwärmt und wieder in den Raum abgegeben. Die gleichmäßige Verteilung der Umluft besorgen im Behandlungsbereich verteilte Zwischengebläse.

Im Unterschied zum herkömmlichen Einblasverfahren erlaubt das Umluftverfahren eine materialschonendere Aufheizung der Gebäudesubstanz. Durch ein das Verfahren kennzeichnendes langsames Auf- und Abheizen werden Materialspannungen weitgehend vermieden. Auch werden mit dem Umluftverfahren höhere Luftfeuchten gehalten, da die freigesetzte Baufeuchte in der Bauhülle verbleibt. Dies kann im Einzelfall von Vorteil sein. So schützen höhere Luftfeuchten Hölzer vor einer zu starken Austrocknung und somit vor Rissbildungen und Aufweitungen bestehender Risse infolge Schwindung. Auch wird der Harzausfluss (Kapitel 2.3.5.3) deutlich verringert.

Nachteilig sind eine deutlich verlängerte Gesamtheizdauer mit entsprechend hohen Energie- und Personalkosten. Außerdem ist eine in einem größeren Abstand von der Gebäudehülle „selber stehende“ Einhausung zur Luftabdichtung erforderlich. Hierdurch ergibt sich ein relativ hoher Aufwand für entsprechende Hilfskonstruktionen. Entweder müssen Abstandhalter montiert oder das Gebäude muss ingerüstet werden.

Tab.4: Im Rahmen des Forschungsprojektes E1998/14 gutachterlich begleitete Heißluftbehandlungen.

Objekt	Behandelter Komplex	Verfahrensweise der Wärmebehandlung	Raumvolumen (m ³) Erwärmte Fläche (m ²)	Vorgegebene Wärmedosis		Heizdauer (Std.)
				Temperatur (°C)	Expositionszeit (Std.)	
1. Landhaus Kuhlmann, Lübeck*	Teilbeheizung des EG, OG, DG in 3 Heizabschnitten	Einblasverfahren	1300 m ³ 650 m ³ 1100 m ³	60	1	36 46 26
2. Westliche Pensionshäuser, Dresden-Hellerau	Komplettbeheizung Haus 3 Haus 4	Haus 3 Einblasverfahren Haus 4 Umluftverfahren	jeweils ca. 950 m ³	55	5	34 ^{1/2} 36 ^{1/2} + 14 zum "Abtemperieren"
3. Gutsarbeiterhaus, Berlin-Hohenschönhausen	Komplettbeheizung des Hauses	Einblasverfahren	2300 m ³	55	5	52 1/2
4. Dorfkirche Eichstädt, Land Brandenburg	Teilbehandlung der Vollholzdecke im Kirchenschiff	Einblasverfahren	150 m ²	55	5	-
5. Klassizistisches Wohnhaus, Hamburg	Teilbehandlung des DG in 3 Heizabschnitten	Einblasverfahren		60	1	-
6. Orangerie, südwestlicher Pavillon, Sanssouci-Potsdam	Teilbehandlung der Decke des Zwischengeschosses	Umluftverfahren		55	5	18
7. Klassizistisches Wohnhaus, Stadt Brandenburg	Teilbehandlung der Deckenbalken zum Dachgeschoss	Einblasverfahren	200 m ²	55	5	18
8. Ehem. Mess- und Eichamt, Halle*	Teilbehandlung der Deckenbalken im Dachgeschoss	Einblasverfahren		60	1	10 ^{1/2}
9. Historisches Bürgerhaus, Potsdam	Komplettbeheizung des EG, OG, Teilbereich DG	Umluftverfahren		55	5	58

* Ohne Kontrolle mit Pilz-Prüfkörpern (Kap. 2.3.7.2)

2.3.6.1.3 Feuchtegekoppeltes thermisches Verfahren

Beim feuchtegekoppelten thermischen Verfahren - unter anderem auch als Temperatur-Luftfeuchterege lung, Temperatur-Klimarege lung und thermisch geregelte Behandlung bezeichnet - wird in Weiterentwicklung des zuvor beschriebenen herkömmlichen Einblasverfahrens die Luft angefeuchtet, um die Bausubstanz vor zu starker Austrocknung zu schützen. Dabei wird entweder dem Heißluftstrom fein zerstäubtes, entkalktes Wasser zugegeben oder im Objekt die Luft durch eine Sprühvernebelung angefeuchtet.

Zu berücksichtigen ist, dass die zweifellos schonendere Austrocknung empfindlicher Bausubstanz, wie zum Beispiel von Stuckdecken und -wänden oder Deckengemälden, mit einem zusätzlichen Feuchteeintrag infolge der Bildung von Kondenswasser in den kühleren Behandlungsbereichen erkauft wird. Eine relative Luftfeuchte von 50 %, wie sie in Dänemark zur Ausführung kommt, darf diesbezüglich bereits als kritisch angesehen werden. Schon bei nur geringen Temperaturschwankungen muss hier mit Tauwasserbildung gerechnet werden.

Beim so genannten „Therm Lignum Verfahren“, das in Deutschland verschiedentlich zur Anwendung gekommen ist, wird die relative Luftfeuchte deshalb nicht mehr wie anfangs in einem Pilotprojekt (GAGELMANN und v. ROTBERG) auf 50 % sondern nunmehr auf 30 % eingestellt und konstant gehalten. Ein Teil des hierfür notwendigen Wassers stammt aus der Verbrennung von Propangas (vgl. Kapitel 2.3.4.1). Der fehlende Anteil wird durch Hochdrucksprühvernebelung in den Behandlungsbereich gebracht. Die Einblastemperatur beträgt 85 bis 95 °C, die Raumtemperatur 70 °C.

Hinzuweisen ist darauf, dass sich die Anpassung von Temperatur und Luftfeuchte an die Klimaverhältnisse eines Gebäudes aufgrund der dort herrschenden Feuchteverhältnisse zumeist schwierig gestaltet. Daher sollte im Vorfeld einer Heißluftmaßnahme gut abgewogen werden, inwieweit tatsächlich die Notwendigkeit einer Luftbefeuchtung gegeben ist.

2.3.6.2 Anzuwendende Temperaturen

2.3.6.2.1 Letale Wärmedosis

Eine wesentliche Voraussetzung, das Heißluftverfahren zur Schwammbekämpfung zur anerkannten Regel der Technik werden zu lassen, ist die verbindliche Festlegung einer letalen Wärmedosis, wie eine solche für die Insektenbekämpfung in der Holzschutznorm DIN 68800-4 besteht. Die Norm fordert zum sicheren Abtöten eines Insektenbefalls eine letale Wärmedosis von 55 °C über eine Stunde, die an jeder Stelle des zu behandelnden Holzquerschnitts nachweislich erreicht werden muss. Im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 wurden erstmals die zur Abtötung eines Hausschwammbefalls erforderlichen Letaltemperaturen zur Abtötung eines Hausschwammbefalls direkt überprüft. Hierzu wurden in mehreren der begleiteten Objekte Pilz-Prüfkörper mit Hausschwamm-Myzel eingebaut (vgl. Kapitel 2.3.7.2).

Der Wärmeeintrag, der zum Abtöten des Myzels holzerstörender Pilze erforderlich ist, wird als **letale Wärmedosis** bezeichnet und ist eine Funktion aus Temperatur und Einwirkungszeit (Expositionszeit), d.h. sie kann aus verschiedenen Kombinationen von Temperatur und Expositionszeit bestehen. Mit steigender Letaltemperatur verringert sich die Expositionszeit und umgekehrt. Der von KUPRIK und WAZNY (1978) geprägte Begriff **Letaleffekt** beschreibt die Folge der letalen Wärmedosis, nämlich das Absterben des Myzels. Die in Laborversuchen für den Echten Hausschwamm festgestellten Wärmedosen sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Sie basieren auf Versuchen mit Oberflächenmyzel auf künstlichem Nährboden (in der Regel Malzagar) sowie mit pilzdurchwachsenen Holzproben. Um bei Anwendung des Heißluftverfahrens mit höchster Sicherheit eine Abtötung des Myzels zu erreichen, ist für die Beheizung von verbauten Holzbauteilen und myzeldurchwachsenem Mauerwerk, Schüttungen usw. ein erheblicher Sicherheitszuschlag zu den im Labor ermittelten Letaltemperaturen erforderlich. Dies erscheint auch deshalb erforderlich, da im Unterschied zum im Labor gezüchteten relativ jungen Myzel in Gebäuden ein ungleich stärker ausdifferenziertes Myzel einschließlich eines Strangmyzels vorliegt und unterstellt werden muss, dass es weniger empfindlich auf Wärmeeinwirkung reagiert. Insbesondere fehlen bislang auch Erkenntnisse über die Hitzeresistenz von Myzel im Zustand der Trockenstarre oder im Zustand des latenten Wachstums.

Der Schluss-Entwurf prCEN/TS 15003 „Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Kriterien für Heißluftverfahren zur Bekämpfung von holzzerstörenden Organismen“ vom Juli 2004 sieht zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms mit Heißluft eine auf dänischen Erfahrungen basierende letale Wärmedosis von

- 50 °C über mindestens 16 Stunden

vor.

Bei den im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 begleiteten Objekten waren aufgrund von Auswuchsversuchen mit von der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin, vorbereiteten Myzel-Prüfkörpern Temperatur-Zeit-Verhältnisse von

- 55 °C / 5 Stunden
- 60 °C / 1 Stunde

jeweils ausreichend, um den Prüfpilz in den eingebauten Prüfkörpern abzutöten (Tab.4). Vielfach wurden die beiden angewendeten Mindesttemperaturen jedoch deutlich übertroffen, wie auch die Mindestzeitdauer infolge des nach dem Abstellen der Heißluftmaschinen erfolgenden Nachheizeffektes häufig überschritten wurde. Die letale Wärmedosis von 60 °C / 1 Stunde geht auf einen Vorschlag von TEICHERT (1996) zurück. Sie scheint allerdings relativ knapp bemessen zu sein, da z.B. aus einem Prüfkörper, der einer Wärmedosis von 58 °C / 1 Std. ausgesetzt war, der Prüfpilz im Labor wieder auswuchs (Hamburg, Objekt Nr. 5). Es empfiehlt sich daher, die Mindestzeitdauer auf 2 Stunden festzulegen.

Als letale Wärmedosen für eine Heißluftbehandlung zum Abtöten von Hausschwamm-Myzel werden aufgrund bisheriger Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben E-1998/14 folgende Temperatur-Zeit-Verhältnisse vorgeschlagen:

- 50 °C / 16 Stunden
- 55 °C / 5 Stunden
- 60 °C / 2 Stunden

Erst wenn genannte Wärmedosen nachgewiesenermaßen erreicht sind, werden die Heißluftgeräte abgeschaltet. Ein erheblicher Sicherheitszuschlag ergibt sich aus der Tatsache,

dass nach dem Abschalten der Geräte in den behandelten Bauteilen die Temperaturen bekanntlich über eine gewisse Zeit noch um einige Grade weiter ansteigen und somit noch längere Zeit auf dem geforderten Niveau verbleiben.

Anzumerken ist, dass zum Abtöten der Sporen des Echten Hausschwamms extrem hohe Temperaturen und lange Einwirkungszeiten erforderlich sind (vgl. auch Tabelle 3). Allerdings ist die Gefahr einer von Sporen ausgehenden Neuinfektion wesentlich geringer als die einer Reaktivierung von lebendem Myzel aus einem bestehenden Befall. Des Weiteren ist darauf zu verweisen, dass für die Abtötung des Myzels anderer in Gebäuden vorkommender Pilzarten, wie z.B. Brauner Kellerschwamm, Weiße Porenschwämme und Blättlinge, wesentlich höhere Letaltemperaturen bzw. wesentlich längere Einwirkungszeiten erforderlich sind als für den Echten Hausschwamm.

2.3.6.2 Einblastemperatur, Raumtemperatur

Entsprechend den Regelungen für das Heißluftverfahren zur Insektenbekämpfung darf die Temperatur der Heißluft an den Oberflächen der beheizten Bauteile aus Feuersicherheitsgründen 120 °C nicht überschreiten (DIN 68800-4, Abschnitt 5.3.6). Gesteuert wird die Temperatur der einzublasenden Heißluft über einen einstellbaren Temperaturregler einschließlich eines - ebenfalls einstellbaren - Temperaturbegrenzers als Überhitzungsschutz, mit denen die Heißluftgeräte ausgerüstet sind. Die Austrittsöffnung der Zuluftrohre ist mindestens in 1 m Entfernung von leichtentflammaren Stoffen (Baustoffklasse B3 nach DIN 4102-1; Papier, Pappe und dgl.) zu halten. Zudem sind aus strömungstechnischen Gründen die Heißluftrohre grundsätzlich in den freien Raum auszurichten, um eine optimale Zirkulation der Heißluft sicherzustellen.

Die Raumtemperaturen sind den jeweiligen Erfordernissen anzupassen. Beim Einblasverfahren wird allgemein mit der maximalen Einblastemperatur von 120 °C und einer durchschnittlichen Raumtemperatur von 90 bis 100 °C gearbeitet. Liegen hitzeempfindliche Materialien vor, ist mit herabgesetzten Raumtemperaturen bei entsprechend längerer Heizzeit vorzugehen (Kapitel 2.3.5.3). Nach Erreichen der vorab festgelegten maximalen Raumtemperatur wird diese durch Regelung der Brenner konstant gehalten.

Zwangsläufig längere Behandlungszeiten ergeben sich beim Umluftverfahren, bei dem die maximale Lufttemperatur auf 80 °C begrenzt ist. Liegt empfindliche Stuckatur vor, ist gegebenenfalls für eine zusätzliche Luftbefeuchtung zu sorgen (vgl. Kapitel 2.3.6.1.3).

2.3.6.3 Setzen der Messpunkte

2.3.6.3.1 Temperaturmessung in den Bauteilen

Anzahl und Auswahl der Temperaturmesspunkte unterliegen zum einem der Sorgfalt, Erfahrung und Verantwortung des Leiters der Heißluftmaßnahme (Eigenüberwachung; Absicherung der Soll-Qualität). Zum anderen sind unabhängig davon vom begleitenden Sachverständigen im Rahmen der Qualitätskontrolle Parallelmessstellen sowie fallweise objektabhängig den jeweiligen Erfordernissen entsprechend dynamisch weitere Messpunkte einzurichten (Fremdüberwachung zur Absicherung der Ist-Qualität; Kapitel 2.3.7.1).

Die Messpunkte sind grundsätzlich an den wärmetechnisch ungünstigsten Punkten einzurichten. Die tatsächlich für die Erwärmung am ungünstigsten liegenden Stellen lassen sich erst durch einen ausreichend langen Probelauf (Kapitel 2.3.6.4) ermitteln. Dieser dient zugleich der Optimierung der Luftströme, indem gegebenenfalls die Austrittstemperaturmenge und -geschwindigkeit der Heißluft, die Lage und Richtung der Einblasöffnungen der Zuluftrohre und ihrer Verzweigungen und/oder die Lage der Ausströmöffnungen für den Luftüberdruck in der Außenhülle korrigiert werden, um innerhalb des Gebäudes bzw. Behandlungsbereiches eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Warmluft zu erzielen. Soweit erforderlich, sind nach dem Probelauf die Behandlungsgrenzen, d.h. der Grenzbe- reich zum unbeheizten Bereich zu korrigieren bzw. neu festzulegen.

Als wärmetechnisch ungünstig gelten grundsätzlich:

- Sparrenfüße, Deckenbalken (wie allgemein alle unterhalb 1 m des niedrigsten Raumpunktes liegende Holzbauteile)
- Strömungsschatten (Eckbereiche, Nischen, abgewinkelte Flächen)
- Traufbereiche
- Sockelbereiche
- Außenwände
- Mehrschalige Konstruktionen

- Erdberührende Bauteile
- Kellerwände

An seine Anwendungsgrenzen stößt das Heißluftverfahren insbesondere in erdberührenden Bereichen. Aber auch Traufbereiche, Sockelbereiche, stark durchfeuchtetes Mauerwerk und mehrschalige Konstruktionen lassen sich nur schwer oder fallweise nicht ausreichend aufheizen (vgl. Kapitel 2.2).

2.3.6.3.2 Messung der Raumtemperatur

Um auszuschließen, dass an den Oberflächen des beheizten Raumes die Temperaturen den zulässigen Mindestwert von 120 °C übersteigen, muss die Lufttemperatur an den voraussichtlich am heißesten werdenden Oberflächenstellen durch Messen kontrolliert werden. Das heißt, dass an jeder Austrittsöffnung eine Messstelle einzurichten ist. Ferner ist die Raumtemperatur in Bereichen der zu erwartenden Höchsttemperaturen zu messen. Ist zum Schutz hitzeempfindlicher Teile eine Begrenzung der Lufttemperatur vertraglich zugesichert, sind zur Kontrolle der Raumthermik gegebenenfalls an kritischen Stellen weitere Messstellen erforderlich. Um die Erwärmung und die Gesamttemperatur-Verteilung kontrollieren zu können, müssen des Weiteren auch in kritischen Bereichen minimaler Lufttemperaturen Messpunkte gesetzt werden. Hierzu gehört vor allem der unmittelbare Bodenbereich (Setzen von Luftmesspunkten direkt am Boden). Erforderlich sind ferner Messpunkte außerhalb des Gebäudes zwischen Einhausungsfolie und Gebäudeaußenwand.

2.3.6.3.3 Messprotokolle

Flüssigkeitsthermometer sind abhängig von der Gebäudegröße mindestens zweistündlich und letztmalig eine Stunde nach Abstellen der Heißluftgeräte abzulesen und die gemessenen Temperaturen in einem entsprechenden Messprotokoll einzutragen. Bei kontinuierlicher elektrischer Fernmessung mit Thermosensoren müssen die Messintervalle mit einer Genauigkeit von $\leq 0,5$ Stunden aus den Messdiagrammen und Messtabellen abzulesen sein. So weit es der Behandlungsbereich zulässt, wie z.B. in nicht ausgebauten Dachbereichen, sind die Messpunkte dauerhaft zu kennzeichnen und zu nummerieren. Des Weiteren ist ihre Lage in einer Grundriss-skizze zu dokumentieren. Bei Messfühlern, die in Mauerwerk eingebracht werden, ist deren Lage nicht nur horizontal sondern auch vertikal anzugeben. Ebenso ist ihre Einbringtiefe festzuhalten. Gleiches gilt für die Luftmesspunk-

te. Des Weiteren sind in der Messskizze oder einer zweiten Grundrisskizze die Austrittsöffnungen der Zuführrohre bzw. -schläuche bzw. deren Verteilung im Behandlungsbereich einzutragen.

2.3.6.4 Probelauf

Beim Einblasverfahren ist grundsätzlich zunächst ein Probelauf (vgl. auch Kapitel 2.3.6.3.1) durchzuführen, um im gesamten Behandlungsbereich einen Luftüberdruck sowie eine gemeinsame und gleichzeitige Erwärmung aller Behandlungsbereiche sicherzustellen. Es dürfen sich weder Stellen mit kühlerer Luft (Kälteinseln) noch solche mit einem Heißluftstau bilden. Der Probelauf zeigt auch, ob die Brenner korrekt eingestellt sind und es zur vollständigen Verbrennung des Heizöls kommt. Andernfalls kann es zur Rußbildung kommen, die unbedingt zu vermeiden ist. Erforderlichenfalls sind Temperaturregelungen durch Veränderung der Wärmeflüsse durch Korrektur der Einblastemperatur, der Einblasrichtung der Zuluftrohre bzw. -schläuche und/oder der Ausströmöffnungen vorzunehmen.

Beim ohne Luftüberdruck arbeitenden Umluftverfahren ist die Warmluftverteilung mit Beginn der Aufheizphase in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und erforderlichenfalls durch Umstellen der Heißluftgeräte und/oder Zwischengebläse zu optimieren.

2.3.6.5 Kennzeichnung der Behandlung

Für die Insektenbekämpfung fordert DIN 68800-4, Abschnitt 7.2 eine Kennzeichnung der Heißluftbehandlung. Die Angaben hierzu sind entweder direkt in den oder in der Nähe der behandelten Räumlichkeiten auf einer dauerhaften Karte anzubringen.

Für die Hausschwammbekämpfung sollte analog eine Kennzeichnung der Heißluftbehandlung an einem geeigneten zugänglichen Ort dauerhaft angebracht werden. Der Auftragnehmer ist zu verpflichten, die Messpunkte dauerhaft zu markieren, den Temperaturverlauf zu protokollieren sowie die Lage der Messstellen und die Anordnung der Heißlufteinführung in einer Messskizze wiederzugeben (Kapitel 2.3.6.3.3). Zudem hat der begleitende Sachverständige (Kapitel 2.3.7.1) im Rahmen der Qualitätskontrolle eine ausführliche Dokumentation zu erstellen.

Sind mit der Heißluftbekämpfung chemische Bekämpfungsmaßnahmen verbunden, sind diese gemäß DIN 68800-4, Abschnitt 7.1 zum Nachweis der eingesetzten Schutzmittel an mindestens einer Stelle entweder direkt oder in der Nähe der behandelten Räumlichkeiten auf einer dauerhaften Karte zu kennzeichnen. Zudem ist der Auftraggeber anzuhalten, eine Kopie dieser Kennzeichnung den Dokumenten zur Heißluftbehandlung beizulegen.

2.3.7 Überwachung der Heißluftbehandlung

Unabhängig von der Pflicht des Ausführungsbetriebes die Heißluftbehandlung lückenlos zu überwachen, um die geforderte Soll-Qualität zu sicherzustellen (Eigenüberwachung der Soll-Qualität) hat prinzipiell eine Überwachung durch einen qualifizierten unabhängigen Sachverständigen zu erfolgen (Fremdüberwachung der Ist-Qualität). Qualifiziert bedeutet, dass er

- mit der Biologie der holzerstörenden Pilze im Allgemeinen und des Echten Hauschwamm im Besonderen vertraut ist
- die Verfahrenstechniken und Durchführungspraktiken des Heißluftverfahrens beherrscht.

Anzustreben ist die Gründung einer „Gütegemeinschaft Heißluft“ zur Bestellung von Sachverständigen sowie zur Zertifizierung des Heißluftverfahrens ausführender Betriebe.

2.3.7.1 Qualitätskontrolle durch den unabhängigen Sachverständigen

Dem Sachverständigen obliegen im Wesentlichen folgende Aufgaben:

- Abnahme der Einhausung und der Verteilung der Zuluftrohre bzw. -schläuche nach dem Probelauf
Erforderlichenfalls sind vom Sachverständigen Korrekturen an der Einhausung und an den Heißluftströmen anzuordnen (Kapitel 2.3.4.2 und 2.3.6.3.1).
- Festlegung der Temperaturmesspunkte
- Setzen eigener, unabhängiger Messpunkte mit Flüssigkeitsthermometern und deren mindestens zweistündlichen Kontrolle
- Ständige Überwachung des Temperaturverlaufes

Ergeben sich im Temperaturverlauf verschiedener Messpunkte stärkere Abweichungen von der Gesamtheit der Messpunkte, so sind vom Sachverständigen Korrekturen in der Luftverteilung anzuordnen, wie z.B. durch Änderungen der Lage oder Richtung der Zuluftrohre bzw. -schläuche und/oder der Abluftöffnungen.

- Kontrolle und Abnahme der zu erreichenden Abtötungstemperatur (Solltemperatur) und der Haltezeit (Sollexpositionszeit)
- Aus der Beobachtung des Wärmebehandlungsablaufes heraus resultierend gegebenenfalls Setzen zusätzlicher Flüssigkeitsthermometer zur Überprüfung kritischer Bereiche, bis auch hier die letale Wärmedosis eingehalten wird.
- Festlegung des Zeitpunktes zum Abschalten der Heißluftgeräte
- Abnahme der Messdiagramme und des Messprotokolls des Ausführenden der Heißluftbehandlung
- Erstellung eines Überwachungsprotokolls mit:
 - Protokollen der Temperaturkontrollen
 - Grundrisszeichnungen mit Eintragung der Messpunkte; fakultativ Skizze mit Verteilung der Zuluftrohre
 - Zusammenfassende Bewertung der Maßnahme
- Endabnahme

2.7.2 Abtötungskontrolle

Werden zur Bekämpfung von holzerstörenden Pilzen oder Insekten nicht DIN-gerechte Sonderverfahren angewandt, ist gemäß Kommentar zum Abschnitt 2.2 der Norm „in jedem Fall sicherzustellen, dass deren Wirksamkeit zum Zeitpunkt der Ausführung nachgewiesen und dokumentiert ist“.

Während für einen Insektenbefall durch Einsetzen von Larven ein Nachweis der Wirksamkeit gut möglich ist, stößt der Wirksamkeitsnachweis bei Pilzbefall auf erhebliche Schwierigkeiten. Sämtlichen bislang entwickelten Verfahren zur Vitalitätsprüfung von aus Gebäuden entnommenen Pilzproben sind in ihrer Aussagekraft mehr oder weniger enge Grenzen gesetzt. Im Einzelnen handelt es sich um die folgenden Nachweismethoden:

- Isolierung des Pilzes aus befallenem Holz und Kultivierung auf einem künstlichen Nährboden.

Wenn sich Pilze zuverlässig aus befallenen Holz isolieren ließen, wäre das das ultimative Verfahren, um aktiven lebenden Befall von inaktivem totem Befall unterscheiden zu können. Eine Kultivierung scheidet jedoch nicht selten daran, dass „vor Ort“ stets auch Schimmelpilze, Bakterien und/oder Hefen vorkommen und als wesentlich rascher wachsende Konkurrenten ein Weiterwachsen des Hausschwamms auf dem Nährboden verhindern.

- Zytologische Färbung mit Fluorochromen, die Plasma, Zellkerne oder Zellorganellen von lebenden Zellen anfärben.

Ein sicherer Nachweis scheint nur bei verhältnismäßig frischen bzw. stark stoffwechselaktiven Oberflächenmyzelien und Strängen möglich. Bei Myzel im Zustand eines latenten Überdauerns oder im Zustand der Trockenstarre (so genannte „schlafende Stadien“) reagieren Plasma und Zellorganellen dagegen kaum noch auf die Farbstoffe. Umgekehrt zeigen die Zellkerne selbst in toten Hyphen noch eine Farbreaktion.

- Farbreaktionen auf Grund enzymatischer Prozesse in der Zellatmung.

Tests dieser Art basieren auf der Stoffwechselaktivität der Mitochondrien. Wie zuvor bei den Fluorochromen ergibt sich nur bei sehr vitalen Hyphen eine deutliche Farbreaktion. „Schlafende Stadien“ dürften dagegen wiederum kaum erfasst werden.

- Nachweis von Adenosin-Triphosphat (ATP).

Alle lebenden Zellen enthalten als primäres Stoffwechselprodukt ATP. Aus Gebäuden stammendes Hausschwamm-Myzel ist in aller Regel mit Myzelien und Sporen von Schimmelpilzen, Bläuepilzen, Bakterien und Hefen „verunreinigt“. Das heißt, dass auch auf abgestorbenem Myzel vielfach ATP nachgewiesen wird, ohne aber aus diesem selbst herzurühren.

G r u n d s ä t z l i c h zu hinterfragen ist, ob es überhaupt möglich ist, eine signifikante Anzahl von zu entnehmenden Proben zu bestimmen, die den gesamten Befallsbereich repräsentiert. So beobachtete THEDEN (1972) bei ihren Untersuchungen zum Absterben holzerstörender Pilze im trockenen Holz, dass nach einer kürzeren Trockenperiode der Hausschwamm aus allen befallenen Holzproben wieder auswuchs, nach längeren Perioden der Trockenheit aber nur noch aus einer kleinen Anzahl von Proben. In einigen Versuchsreihen zeigte nur eine von zehn Proben ein Auswachsen von frischem Myzel. Für die Praxis bedeuten diese Versuchsergebnisse, dass man nie sicher sein kann, auch tatsächlich die Stellen zu beproben, an denen der Pilz noch immer lebensfähig ist.

Auf der Suche nach einem für die Praxis verlässlichen Verfahren zum Nachweis der Abtötung des Echten Hausschwamms wurden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Pilz-Prüfkörper nach folgender Methode entwickelt und im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 in mehreren Objekten eingesetzt (GRINDA 2003):

Prüfkörper aus Kiefernspiltholz wahlweise mit den Abmessungen von 50 x 50 x 15 mm³ und 20 x 20 x 20 mm³ wurden in strömendem Dampf 20 Minuten und am darauf folgenden Tag noch einmal 10 Minuten sterilisiert, in Kolleschalen für 6 bis 8 Wochen dem Angriff einer Reinkultur des Echten Hausschwamms (*Serpula lacrymans*, Stamm BAM 315) ausgesetzt und dann unter sterilen Bedingungen in Flaschen mit Schraubverschluss (Abmessungen etwa 55 x 55 mm² x 140 mm² (Höhe) umgesetzt. In den Flaschen lagerten die Prüfkörper auf einem Wattebausch, um sie nicht direkt mit möglicherweise bei der Heißluftbehandlung entstehendem Kondenswasser in Berührung zu bringen. Die Flaschen mit dem befallenen Holz wurden in das Mauerwerk bzw. in Aussparungen im Holz des zu behandelnden Gebäudes eingebaut. Nach der Heißluftbehandlung werden die Flaschen entnommen und die Prüfkörper im Labor unter sterilen Bedingungen auf einen sterilen Malz-Agar-Nährboden in Kolleschalen umgesetzt. Die Kolleschalen lagerten sodann in einem Klimaraum mit 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte und wurden über einen Zeitraum von 6 Wochen beobachtet.

Aus Prüfkörpern in nicht eingebauten, außerhalb des Behandlungsbereiches gelagerten Flaschen (Nullproben) sowie aus Prüfkörpern, in denen die letale Wärmedosis nicht erreicht wurde, wuchs der Pilz wieder aus. Wurde die notwendige Temperatur erreicht und ausreichend lange gehalten, wuchs der Pilz nicht wieder aus.

Für die Praxis erwiesen sich das Prüfkörperformat und die Abmessungen der dafür erforderlichen Flaschen als ungünstig. Daher wurden für weitere Versuche kleinere Prüfkörper mit den Abmessungen 50 x 8 x 8 mm³ vorbereitet und in normale Reagenzgläser („Röhrchen“) mit einem Durchmesser von 15 mm eingebracht. Die Röhrchen wurden mit einem Wattestopfen verschlossen. Ihr gegenüber den Flaschen wesentlich geringerer Durchmesser erlaubt es, sie in Bohrlöcher der Konstruktionshölzer und des Mauerwerks einzusetzen, wodurch sich der Einbauaufwand wesentlich verringert.

Im Verlaufe der Tests wurden statt Reagenzgläsern sterilisierte Extraktionshülsen aus Zellulose eingesetzt. Diese erlauben eine bessere Anpassung der Klimaverhältnisse im Prüfkörperbehälter an die Verhältnisse im Holz und im Mauerwerk. Von der BAM geplant ist, die Extraktionshülsen zusätzlich mit Temperatur-Messstreifen zu versehen, die das Erreichen einer vorgegebenen Temperatur durch einen bleibenden Farbumschlag anzeigen.

Die hier beschriebene Methode der Vitalitätsprüfung mit im Labor gezüchtetem Myzel hat sich bei den im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 begleiteten Objekten bewährt. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass es sich bei den eingebauten Pilz-Prüfkörpern um einen frischen Befall handelt, d.h. der Pilz befindet sich einem aktiven Wachstums- und Zerstörungsstadium. In diesem Stadium lässt sich das Myzel sehr viel leichter abtöten als im Zustand der Trockenstarre. Weitere Versuche mit befallenen Prüfkörpern, in denen der Pilz kontrolliert in einen Zustand der Trockenstarre überführt wurde, sind deshalb erforderlich, um die üblicherweise am Bau herrschenden Bedingungen möglichst exakt zu simulieren. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Solange aber die verschiedenen Aktivitätsstufen unter besonderer Berücksichtigung der „schlafenden Stadien“, zu denen der Hausschwamm befähigt ist und mit denen in einem befallenen Gebäude stets gerechnet werden muss, nicht mit einzubauenden Prüfkörpern simuliert werden können, ist es auch nicht sinnvoll, derzeit den Einbau von Kontrollproben mit im Labor gezüchteten Pilzproben als Wirksamkeitsnachweis zu verlangen. Um so mehr ist es daher zwingend erforderlich, die für die Abtötung des Hausschwamms erforderliche letale Wärmedosis (Kapitel 2.6.2.1) zu gewährleisten und durch einen unabhängigen Sachverständigen (Kapitel 2.3.7.1) überprüfen zu lassen.

2.3.8 Flankierende Maßnahmen

Wie aus den insgesamt 9 gutachterlich begleiteten und ausgewerteten heißluftbehandelten Objekten hervorgeht, ist das Heißluftverfahren in aller Regel nicht uneingeschränkt zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms anwendbar. Vielmehr stößt es auf eine Reihe von Anwendungsgrenzen, so dass die Bekämpfung mit Heißluft nur in den seltensten Fällen als alleinige Maßnahme in Frage kommt (vgl.

Kapitel 2.2). Entsprechend erfordert das Heißluftverfahren in Abhängigkeit vom jeweiligen Einzelfall einen mehr oder weniger hohen Aufwand an flankierenden konventionellen Maßnahmen in Sinne von DIN 68800-4. Ebenso wenig lässt sich das Heißluftverfahren routinemäßig anwenden, sondern bedarf als Bestandteil eines integrierten Sanierungskonzeptes einer kompetenten Konzeptionierung sowie eines weit über das normale Maß hinausgehenden Überwachungsaufwands.

Beseitigung der Befallsursache

Ein Befall durch den Echten Hausschwamm setzt generell Holzfeuchten im Bereich der Fasersättigung (ca. 30 %) und eine relative Luftfeuchte von über 90 % voraus. Entsprechend fordert DIN 68800-4 Abschnitt 4.2.3 für die Regelsanierung, dass die Ursache erhöhter Feuchte festgestellt und beseitigt wird. Unerlässliche Voraussetzung sind daher konstruktive Veränderungen, die ein erneutes Eindringen von Feuchte sicher verhindern oder die Abkopplung der Holzbauteile von möglichen Feuchtequellen gewährleisten. Diese Forderungen haben für die Heißluftbekämpfung um so mehr zu gelten, da eine solche keinerlei vorbeugenden Schutz bietet. Lässt sich eine erneute Durchfeuchtung des Holzes nicht sicher verhindern, müssen die verbleibenden und neu eingebauten Holzbauteile gemäß ihrer Gefährdungsklasse nach DIN 68800-3 vorbeugend imprägniert werden.

Häufige Ursachen erhöhter Feuchten in Holzbauteilen und Mauerwerk von Gebäuden sind neben einem mangelhaften Bauunterhalt insbesondere die folgend aufgeführten Baufehler.

Allgemeine Baufehler

Hierzu zählen:

- mangelhafter und fehlender Schutz gegen Feuchte im Mauerwerk
- mangelhafte Dachkonstruktion sowie fehlende oder falsch angeordnete Wasserabläufe, die das Einsickern von Regen- und Schmelzwasser ermöglichen
- Lüftungsfehler, die zu Kondenswasserbildung führen
- allseitig ummauerte Balkenköpfe ohne ausreichende Luftumspülung. Eine Umhüllung mit Bitumenschweißbahnen oder ähnlichen Materialien schützt nicht vor Feuchteaufnahme. Vielmehr wird dadurch die Feuchteabgabe behindert.
- aufsteigende und seitlich eindringende Feuchte bei Bodenplatten oder Kellermauerwerk
- abschließende Anstrich- und Putzsysteme, die den Feuchteaustausch behindern

- verlorene Holzschalung bei Um- und Neubauten

Spezielle Baufehler bei der Altbausanierung

Erhöhte Feuchten treten nicht selten nach Umbaumaßnahmen und Sanierungen in Altbauten auf. Neben den zuvor genannten Baufehlern sind Feuchteerhöhungen vor allem zurückzuführen auf:

- fehlende, unzureichende oder falsch angeordnete Wärmedämmungen, Dampfsperren oder Dampfbremsen, die zur Bildung von Tauwasser führen, das nicht verdunsten kann und in Verbindung mit Wärme ein günstiges Klima für die Entwicklung holzerstörender Pilze schafft
- Ein- und Anbringen feuchteundurchlässiger Sperrschichten, wie z.B. PVC-Beläge, Linoleum, rückseitig beschichtete Teppichböden, andere Unterlagsböden und Folien
- mangelhaften oder fehlenden Schutz gegen Erd- und Mauerfeuchte, nachdem frühere Schutzsysteme infolge Alterung, Abnutzung und Rissbildung sowie durch Wurzeleinwuchs funktionsuntüchtig geworden sind
- mangelhafte, fehlende oder falsch ausgeführte Abdichtung (Sperrung) nicht unterkellerten Gebäude oder Gebäudeteile sowie auf einen falschen Fußbodenaufbau
- Einbau undichter Feuchträume (ungenügend oder gar nicht abgedichtete WCs, Dusch- und Baderäume)
- Einbringen zusätzlicher Feuchte durch nicht ausreichend trockene Bau- und Füllstoffe
- nicht fachgerechten Einbau feuchten Holzes, das an seiner Austrocknung gehindert wird
- Überdeckung der Holzfenster mit Kunststoffprofilen; auf unsachgemäßen Einbau von Isolierglasfenstern in die alten Fensterzargen

3 Bewertung des Mikrowellenverfahrens zur Schwammbekämpfung

Seit etwa 15 Jahren wird bis in die jüngste Vergangenheit zur Abtötung holzerstörender Insekten wie auch holzerstörender Pilze und speziell des Echten Hausschwamms immer wieder die Mikrowellentechnik in die Diskussion gebracht bzw. seitens verschiedener Geräteentwickler hierfür geworben. Die Mikrowellentechnik beruht darauf, dass durch die Einwirkung der Mikrowellen als elektromagnetische Wellen Wassermoleküle in Schwingungen gebracht werden und dabei Wärme erzeugt wird. Somit handelt es sich im Prinzip bei der Mikrowellentechnik wie beim Heißluftverfahren um ein thermisches Verfahren (vgl. Tab.2, Seite 9). Im Unterschied zum Heißluftverfahren, bei dem Holz und Mauerwerk von außen nach innen erwärmt werden, erfolgt beim Mikrowellenverfahren wie auch beim im Wirkungsprinzip vergleichbaren Hochfrequenzverfahren (s.u.) die Erwärmung von innen heraus.

Vom theoretischen Ansatz her ist nicht zu bezweifeln, dass mit elektromagnetischen Wellen holzerstörende Insekten wie auch Myzelien holzerstörender Pilze abgetötet werden können, sobald es gelingt, die erforderlichen Abtötungstemperaturen im Holz und/oder Mauerwerk zu erzielen. Zweifel bestehen allerdings nach wie vor darüber, inwieweit sich das Mikrowellenverfahren mit den bislang zur Verfügung stehenden Technologien effektiv sowie in der gebotenen Zuverlässigkeit auf die Praxis übertragen lassen.

Bereits der Bekämpfung holzerstörender Insekten sind in der praktischen Anwendung in mehrfacher Hinsicht deutliche Grenzen gesetzt. So erlaubt die Mikrowellentechnik lediglich eine kleinflächige Behandlung befallener Holzbauteile. Die Behandlungsfläche entspricht der jeweiligen Strahlungs-Austrittsöffnung der Antenne. Somit ist die Mikrowellentechnik aus wirtschaftlichen Gründen kaum großflächig oder großräumig anwendbar, und ihre Anwendung bleibt auf Sonderfälle, wie zur Behandlung von Treppenteilen, Türrahmen, Möbeln und der gleichen beschränkt. Zudem bestehen verschiedene anwendungstechnische und sicherheitstechnische Probleme. Metallteile heizen sich rascher auf als Holz, so dass unerkannt im Holz befindliche Metalle zu Verkohlungen der umgebenden Holzsubstanz führen. Zu berücksichtigen sind auch gesundheitliche Risiken, da die Strahlung weit über die zu behandelnden Flächen hinaus wirkt.

Noch sehr viel engere Grenzen als bei der Insektenbekämpfung sind der Mikrowellentechnik bei der Bekämpfung holzerstörender Pilze gesetzt. Insbesondere fehlt jeglicher Nachweis dafür, dass mit den bislang zur Verfügung stehenden Mikrowellensystemen im

Mauerwerk, in Putzträgern, im Putz und der gleichen Pilzmyzel zuverlässig abgetötet werden kann. So konnte auch bei der im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes gutachterlich begleiteten Mauerwerksbehandlung (Objekt 10, Zwickau) in weiten Teilen des Mauerwerks keine nennenswerte Erwärmung erzielt werden. Vielmehr wurde jeweils ein nur kleiner Bereich des Mauerwerks oberflächlich ausreichend erwärmt, wobei dieser der Fläche der Strahlungs-Austrittsöffnung der Antenne entsprach. Zugleich bestätigte das Objekt Zwickau, dass inhomogene Baustoffe wie Mauerwerk nicht gleichmäßig erwärmt werden können. Dies kann fallweise zu lokalen Überhitzungen bei gleichzeitig zu geringer Erwärmung anderer Stellen führen. Weiterhin zeigte sich, dass die aus erwärmten Bereichen dampfförmig ausgetriebene Feuchtigkeit in den kühler verbleibenden Mauerwerksbereichen kondensiert. Dadurch werden zusätzlich günstige Voraussetzungen für ein Myzelwachstum geschaffen.

Als Fazit ist somit zusammenfassend festzustellen, dass die bisherigen Mikrowellensysteme zur Abtötung holzerstörender Pilze für die Praxis kaum geeignet sind. Dies gilt insbesondere für die Behandlung von Mauerwerk. Allenfalls könnte eine kleinflächige Behandlung befallener Holzbauteile in Frage kommen, vorausgesetzt, sie lassen sich gleichmäßig über ihren gesamten Querschnitt erwärmen. Entsprechendes gilt auch für das Hochfrequenzverfahren. Zur weniger kritischen Beurteilung der Hochfrequenztechnik in Dänemark ist anzumerken, dass hier an der Entwicklung der Geräte bzw. der Umsetzung des Verfahrens eine große Versicherungsgesellschaft, die unter anderen Gebäude gegen Holzschädlinge versichert, maßgeblich beteiligt war und somit entsprechend Geschäftsinteressen bestehen, dass das Verfahren auch eingesetzt wird. Wohl wissend, dass sich aus oben erläuterten Gründen im Mauerwerk Hausschwamm-Myzel nicht zuverlässig abtöten lässt, erstreckt sich die Anwendung der Hochfrequenztechnik ausschließlich auf Holzbauteile, während das Mauerwerk in herkömmlicher Art und Weise chemisch behandelt wird. In Deutschland haben sich die früheren Anbieter der Hochfrequenztechnik zwischenzeitlich wegen sowohl unzureichender Effektivität als auch stark eingeschränkter Anwendbarkeit des Verfahrens aus wirtschaftlichen Gründen aus dem Markt zurückgezogen.

4 Zusammenfassung

Ziel des vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) großzügig geförderten Forschungsvorhabens war es, gemeinsam mit Vertretern aus amtlichen Prüfanstalten, Schwamm-sachverständigen und Firmenvertretern Eckparameter bzw. allgemein gültige Standards für den Einsatz des Heißluftverfahrens sowie anderer thermischer Verfahren zu erarbeiten, um letztendlich hierauf basierend eine Richtlinie mit Mindestanforderungen für eine sach- und fachgerechte Durchführung thermischer Verfahren zu erstellen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden insgesamt 10 Objekte gutachterlich begleitet und ausgewertet. Bei neun Objekten handelte es sich um eine Heißluftbehandlung, bei einem Objekt um eine Behandlung von Mauerwerk mit Mikrowellen.

Heißluftverfahren

Als wesentliches Ergebnis des Forschungsvorhabens ist zunächst festzustellen, dass das Heißluftverfahren keine grundsätzliche Alternative zur bewährten konventionellen Methode der Hausschwamm-Bekämpfung, wie diese in der Holzschutznorm DIN 68800-4 verankert ist, darstellt. Vielmehr ist es als ein auf den jeweiligen Einzelfall abgestelltes Sonderverfahren mit wesentlichen Anwendungsbeschränkungen einzustufen. Die zu behandelnden Holzbauteile müssen generell zweiseitig zugänglich sein. Stärker dimensionierte Konstruktionshölzer mit Querschnittsabmessungen ab etwa 140 x 140 mm lassen sich nur noch schwer ausreichend erwärmen bzw. nur mit extrem langen Aufheizzeiten und damit mit kaum noch vertretbarem Energieaufwand. Im Mauerwerk ist in Kellerwänden und Kellerböden wie auch allgemein in Erdgeschossen bis zu einer Höhe von 1,0 m über Erdgleiche bzw. Fußbodenoberkante keine ausreichende Erwärmung möglich. Nicht ausreichend bzw. umfassend lässt sich zudem nasses oder sehr feuchtes Mauerwerk aufheizen. Starke Außenmauern sowie mehrschalige Mauerwerkskonstruktionen erfordern einen sowohl ökonomisch als auch ökologisch kaum noch vertretbaren Energieaufwand. Zu berücksichtigen ist ferner, dass wie bei der herkömmlichen Regelsanierung nach DIN 68800-4 nicht mehr tragfähige Holzbauteile auszutauschen bzw. zu ergänzen sind. Zudem ergibt sich vielfach die Notwendigkeit, verbleibende und neu eingebaute Holzbauteile gemäß DIN 68800-3 in Abhängigkeit der bestehenden Gefährdungsklasse vorbeugend chemisch zu schützen. Des Weiteren ist wie bei der DIN-Regelsanierung die Ursache erhöhter Feuchte von Holz und Mauerwerk festzustellen und zu beseitigen. Somit erfordert das Heißluftverfahren in Abhängigkeit vom jeweiligen Einzelfall einen mehr oder weniger hohen Aufwand an flankierenden konventionellen Maßnahmen im Sinne von DIN 68800-4. Eine routinemäßige Anwendung, wie diese für die Bekämpfung holzerstörender Insekten möglich und in DIN 68800-4 geregelt ist, schließt sich somit für die Bekämpfung des Echten Hausschwamms aus. Als Bestandteil eines integrierten Sanierungskonzeptes bedarf die Heiß-

Luftanwendung einer kompetenten Konzeptionierung sowie eines weit über das normale Maß hinausgehenden Überwachungsaufwands. Neben der Eigenüberwachung durch den die Heißluftbehandlung ausführenden Betrieb ist eine Fremdüberwachung und Qualitätssicherung durch einen Heißluftfachverständigen unabdingbar.

Das fachgerechte Vorgehen umfasst folgende Maßnahmen:

- Detaillierte Bauuntersuchung durch einen Holzschutzsachverständigen
- Objektspezifische Vorbetrachtung und Planung der Wärmebehandlung für den individuellen Einzelfall. Dem Auftraggeber wird anempfohlen, den die Behandlung fremdüberwachenden Sachverständigen bereits in die Vorbetrachtung und Planung mit einzubinden bzw. durch diesen das Angebot des Heißluftanwenders überprüfen zu lassen.
 - Im Rahmen der Vorbetrachtung sind u.a. die grundsätzliche Eignung des Gebäudes für eine Heißluftbehandlung bzw. die notwendige Zugänglichkeit der befallenen Bauteile für die Heißluft zu prüfen sowie der Behandlungsbereich bzw. die Grenzen zu den wärmetechnisch nicht erreichbaren Bereichen festzulegen.
 - Zur Planung der Heißluftbehandlung gehören vor allem: Festlegungen zur Einhausung und Beheizung, Festlegungen zur erforderlichen Kapazität der Heißluftmaschinen, zur Aufstellung der Maschinen und zur Heißluftführung, Festlegungen zur Temperatur (Einblastemperatur, letale Wärmedosis) und bei einer feuchtegeregelten Wärmebehandlung zur Luftfeuchte.
Wertvolle Hinweise für den Ablauf einer Heißluftbekämpfung und den Zeitbedarf für die Aufheizung von Holzbauteilen und Mauerwerk liefern Simulationsprogramme. Hierzu wurden orientierend erste Berechnungen durchgeführt und eine entsprechende Graphik erstellt.
- Vorbereitende Arbeiten: Austausch/Verstärkung von stark zerstörten Holzbauteilen; Ausbau/Schutz nicht hitzebeständiger Materialien und Gegenstände
- Durchführung der eigentlichen Hitzebehandlung
- Durchführung erforderlich werdender chemischer Bekämpfungsmaßnahmen
- Durchführung erforderlich werdender vorbeugender Holzschutzmaßnahmen
- Beseitigung der Feuchteursache

Die technischen Voraussetzungen für eine Heißluftbehandlung unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Heißluftgeräte, die Einhausung und Messtechnik, die erforderlichen vorbereitenden Arbeiten sowie die eigentlichen Durchführungsarbeiten werden im Einzelnen beschrieben und hierzu detaillierte Hinweise gegeben.

Aufgrund der aus den gutachterlich begleiteten Objekten gesammelten Erfahrungen sind an das Heißluftverfahren zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms folgende Mindestanforderungen zu stellen:

- Grundsätzliches
 - Die Bekämpfungsmaßnahmen dürfen nur von sachkundigen Fachleuten bzw. Fachbetrieben für Holzschutz mit spezieller Qualifikation durchgeführt werden.
 - Unabdingbar ist zwecks Qualitätskontrolle eine Fremdüberwachung durch einen unabhängigen die Bekämpfungsmaßnahmen begleitenden Sachverständigen mit entsprechender spezieller Qualifikation
- Anforderungen an die letale Wärmedosis

Alle zu behandelnden Bauteile müssen unabhängig von der Art des Materials einer zur Abtötung des Myzels ausreichenden letalen Wärmedosis ausgesetzt sein. Für die praktische Anwendung haben sich folgende Temperatur-Zeit-Verhältnisse als ausreichend erwiesen: 50 °C /16 Stunden, 55 °C /5 Stunden, 60 °C / 2 Stunden.
- Anforderungen an die Einhausung

Bei der Behandlung von Mauerwerk muss die Einhausung gewährleisten, dass die Heißluft zirkulieren kann. Für Außenwände sind deshalb die Abplanungen in ausreichendem Abstand zur Gebäudeoberfläche anzubringen. Der Mindestabstand Außenwand - Isolierhülle soll mindestens 30 cm, vorzugsweise jedoch mindestens 50 cm betragen. Zu achten ist ferner auf ausreichende Abluftöffnungen
- Anforderungen an die Messtechnik

Während der gesamten Heißluftbehandlung ist der Temperaturverlauf in den behandelten Bauteilen sowie in der Raumluft lückenlos durch Messungen zu kontrollieren und zu dokumentieren. Die Messpunkte sind generell an den wärmetechnisch ungünstigsten Punkten einzurichten. Diese sind durch einen ausreichend langen Probelauf zu ermitteln.
- Anforderungen an die Abtötungskontrolle

Zur Abtötungskontrolle waren in der Mehrzahl der gutachterlich begleiteten Objekte Prüfkörper mit im Labor gezüchtetem Hausschwamm-Myzel eingebaut worden. Da diese aber die verschiedenen Aktivitätsstufen einschließlich der „schlafenden Stadien“, zu denen der Hausschwamm befähigt ist, simulieren, stellen sie keinen zuverlässigen Wirksamkeitsnachweis dar. Um so mehr ist es daher zwingend erforderlich, die für die Abtötung des Hausschwamms erforderliche letale Wärmedosis zu gewährleisten und durch einen unabhängigen Sachverständigen überprüfen und dokumentieren zu lassen.

Mikrowellentechnik

Mit der bislang zur Verfügung stehenden Technik sind einerseits keine großflächigen Behandlungen möglich. Zum anderen wird Mauerwerk nicht gleichmäßig und damit ausreichend zuverlässig erwärmt, um darin befindliches Hausschwamm-Myzel sicher abzutöten.

5 Schrifttum

ANONYMUS 1997: „Aus dem Fenster springen“. Hausschwamm bedroht die Bausubstanz von hunderttausend Häusern in Deutschland. DIN-Vorschriften verhindern den Einsatz neuartiger Sanierungsmethoden.

Der Spiegel Nr.20: 76-77.

ARENDDT, C. 1997: Schwammbekämpfung durch Wärme.
BauSanierung Nr.3: 45-49.

DIN 68 800-3 (Ausgabe April 1990). Holzschutz – Vorbeugender chemischer Holzschutz.

DIN 68 800-4 (Ausgabe November 1992). Holzschutz – Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten.

DIN ENV 12404 – 1997-04. Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten; Bestimmung der Wirksamkeit eines Schutzmittels gegen das Überwachsen von „Echtem Hausschwamm“ *Serpula lacrymans* (Schumacher ex Fries) F.S. Gray vom Mauerwerk auf das Holz - Laboratoriumsverfahren.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DGfH Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (Hrsg.) 1998: Kommentar DIN 68800-4. In: Beuth Kommentare Holzschutz baulich – chemisch – bekämpfend. Erläuterungen zu DIN 68800-2, -3, -4.
Beuth Verlag GmbH Berlin, Wien, Zürich.

ERNST, S. 2000: Der Stand der Technik bezüglich Bekämpfung des Echten Hausschwamms mittels Heißluftverfahren.
Diplomarbeit. an der Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, F.A.Finger-Institut für Baustoffkunde. 206 S.

FALK, R 1912: Die Merulius-Fäule des Bauholzes. In: A. MÖLLER (Hrsg.): Hausschwammforschungen Bd.1: 338-340.
Jena: Gustav Fischer Verlag

FLOHR, E. 2003: Temperatursimulation.
Unveröffentlicht; Ausarbeitung für Forschungsvorhaben E-1998/14.

GAGELMANN, M., von ROTBERG, W. 1999: Hausschwammbekämpfung durch kontrollierte Gebäudeerwärmung. 5.Internationales Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen – „MSR '99“, Esslingen, Nov./Dez. 1999: 273-282.
Freiburg: Aedificatio Publishers.

GRINDA, M. 2003: Nachweis der Abtötung des Echten Hausschwamms durch „alternative“ Verfahren zur Bekämpfung des Pilzes im Mauerwerk.
Unveröffentlichte Ausarbeitung für Forschungsvorhaben E-1998/14.

- GROSSER, D., FLOHR, E., EICHHORN, M. 2005: Der Echte Hausschwamm- Erkennung, Lebensbedingungen, vorbeugende Maßnahmen, bekämpfende chemische Maßnahmen, Leistungsverzeichnis. WTA-Merkblatt. München: WTA-Publications.
- HEBEISEN, G., BAUER, C. 1999: Mit der Hitze kommt der Tod. Bekämpfung des Echten Hausschwammes mittels Heißluftverfahren. Bautenschutz und Bausanierung 22 (6), Praxis S.12-13.
- HEGARTY, B., BUCHWALD, G., CYMOREK, S., WILLEITNER, H. 1986: Der Echte Hausschwamm – immer noch ein Problem? Material und Organismen 21 (2): 87-99.
- HINTERBERGER, A., GRINDA, M 1983: Prüfverfahren für Schutzmittel gegen Schwamm im Mauerwerk. Holz-Zentralblatt 109, Nr.63: 905-906.
- HUCKFELDT, T. 2003: Ökologie und Cytologie des Echten Hausschwamms (*Serpula lacrymans*) und anderer Hausfäulepilze. Dissertation an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie. 152 S.
- JENSEN, K. 1931: Neue Wege der Hausbockbekämpfung. Techn. Gemeindeblatt 34: 32-36.
- JENSEN, K. 1933: Wärme als Bekämpfung gegen Hausböcke. Mitt. Ges. f. Vorratsschutz 9: 15-21.
- KOCH, A. P. 1991: The current status of dry rot in Denmark and control strategies. In: JENNINGS, D. H., BRAVERY, A. F: Fundamental biology and control strategies. S.147-154. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- KÜFFNER; G. 1997: Mit Hitze wird dem Hausschwamm der Garaus gemacht. Frankfurter Allgemeine Zeitung 10.06.1997.
- KUPRIK, W., WAZNY, J. 1978: Letaltemperaturen für die holzerstörenden Pilze *Coniophora puteana* Fr. und *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.) Karst. Material u. Organismen 13 (1): 1-12.
- LANGVAD, F., GOKSØYR 1967: Effects of supraoptimal temperatures on *Merulius lacrymans*. Physiologia Plantarum 20: 702-712.
- LIESE, J. 1931: Beobachtungen über die Biologie holzerstörender Pilze. Angewandte Botanik 13 (2): 138-150.
- LIESE, J. 1950: Zerstörung des Holzes durch Pilze und Bakterien. In: MAHLKE-TROSCHEL u. LIESE, J. (Hrsg.): Handbuch der Holzkonservierung. 3. Aufl., S. 44-111. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag.

- LIESE, J.1954: Holzschutz
Berlin: VEB Verlag Technik. 140 S.
- MIRIĆ, M., WILLEITNER, H. 1984: Lethal temperatures for some wood-destroying fungi with respect to eradication by heat treatment.
Int. Res. Group Wood Preservative, Document No. IRG/WP/1229. 8 S.
- MONTGOMERY; H.B.S 1936: An investigation on the temperatures lethal to some wood-decaying fungi.
Transactions British Mycological Society 20: 293-298.
- PAUL, O. 1990: Hausschwammbekämpfung mit Heißluft.
Bautenschutz und Bausanierung 13: 12-15.
- PAUL, O. 1996:Es geht auch ohne Chemie. Erfolge bei der Schwammbekämpfung.
Bauhandwerk Nr.4: 27-30.
- PAUL, O1998: Der Hausschwamm stirbt im Backofen.
Bautenschutz und Bausanierung 21 (6): 35-37.
- RUDOLPHI A. 1995: Versuch der Schwammbekämpfung mit Hilfe des Heißluftverfahrens.
Holzschutzkonferenz des DHBV (Deutscher Holz- und Bautenschutzverband, Köln) am 13.05.1995 in Berlin. Tagungsunterlagen.
- RUDOLPHI 1995b: Bekämpfung holzerstörender Pilze.
Gesellschaft für Ökologische Bautechnik Berlin MbH (GFÖB), Berlin (Vervielfältigung).
- SCHMIDT, O, MORETH, U 1996: Biological characterization of *Poria* indoor brown-rot fungi.
Holzforschung 50: 105-110.
- STEINFURTH, A. 1997: Echter Hausschwamm: Erfahrung, Wissenstand und Bekämpfung in Dänemark.
Bautenschutz und Bausanierung Heft 16 (1997): Anwendung u. Forschung S:16-25.
- TEICHERT 1996: Untersuchungen über eine Wärmebehandlung von verbautem Holz zum Abtöten von Schwammbefall.
Diplomarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie. 89 S.
- THEDEN, G. 1961: Untersuchungen über die Fähigkeit holzerstörender Pilze zur Trockenstarre.
Angew. Botanik 35 (3): 131-145.
- THEDEN, G. 1972: Das Absterben holzerstörender Pilze in trockenem Holz.
Material u. Organismen 7 (1): 1-10.
- VKS (Varmbehandlingskontrol mod svamp) 1990/1991: Wärmebehandlung von Hausschwamm.
Informationsschriften des Firmenzusammenschlusses VKS, Taastrup, Dänemark.

VKS (Varmbehandlingskontrol mod svamp) 1995: Heat treatment why and how.
Informationsschrift des Firmenzusammenschlusses VKS, Taastrup (Dänemark)

WICHMAND, H. 1933: Husbukken og den bekaempelse.
Teknologisk Instituts Forlag, København.

Anhang

Dokumentation der Sanierungsobjekte

Im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 gutachterlich begleitete Objekte

1. Lübeck, Stadtteil St. Gertrud - "Landhaus Kuhlmann"	59
2. Dresden-Hellerau - Festspielgelände, Westliche Pensionshäuser	71
3. Berlin-Hohenschönhausen - Ehemaliges Gutsarbeiterhaus	80
4. Eichstätt (Land Brandenburg) - Dorfkirche	88
5. Hamburg, Harburger Schlossstraße 43 - Klassizistisches Wohnhaus.....	94
6. Potsdam Sanssouci - Südwestlicher Pavillon der Großen Orangerie.....	103
7. Stadt Brandenburg - Villa Domlinden	107
8. Halle, Große Brauhausstraße 18 - Ehemaliges Mess- und Eichamt	110
9. Potsdam, Jägerstraße 38 - Bürgerhaus.....	116
10. Zwickau, Domhof 7 - Priesterhäuser	126

1	Lübeck, Stadtteil St. Gertrud - „Landhaus Kuhlmann“ Jahr der Sanierung: 2000 Gutachterliche Überwachung: Dr. U. Schümann, Schwerin
----------	---

1 Gebäudebeschreibung

Das denkmalgeschützte Gebäude (Abb. 1 und 2) befindet sich in Lübeck, Stadtteil St. Gertrud, am Jerusalemsberg 4. Es wurde um 1800 im klassizistischen Stil errichtet. Auftraggeber war der römisch kaiserliche Konsul Johann Kuhlmann. Die Entwürfe für das Gebäude lieferte der Baumeister Christian Frederik Hansen, der 1802-1804 in Lübeck wohnte. Vollendet wurde der Bau vermutlich durch Joseph Christian Lillie, der schon zuvor für Hansen als Bauführer tätig gewesen war.

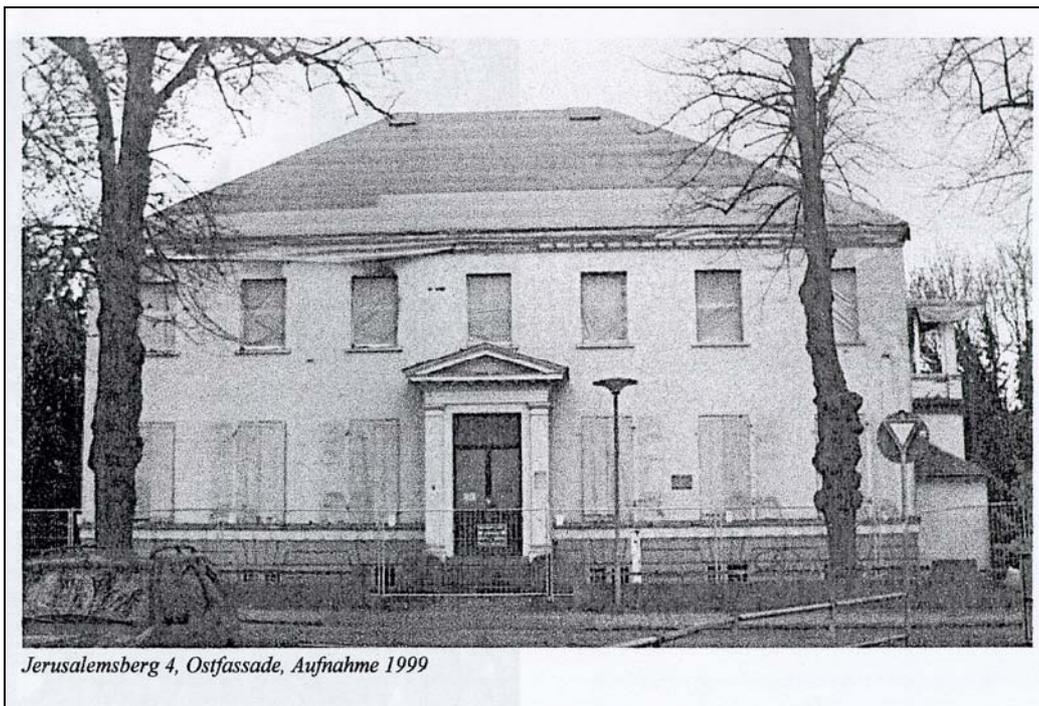


Abb. 1: Vorderansicht (Ostfassade) mit Portikus. Foto: 1950er Jahre.



Abb. 2: Rückansicht (Westfassade) mit Wintergarten. Foto: 1950er Jahre.

Im Einzelnen handelt es sich um ein siebenachsiges, vollständig unterkellertes, zweigeschossiges Gebäude mit traufständigem Walmdach. Die Außenwände bestehen aus Ziegelmauerwerk. Die schlicht verputzte Vorderfassade auf der Ostseite erhebt sich über einen grauen Sockel mit Fugenrillen. Abschluss des Sockels bilden Platten mit wellenförmigen Ornamenten. Die Mittelachse wird durch einen vorspringenden Portikus mit kurzer Freitreppe betont. Der Nordfassade sind zwei Anbauten vorgesetzt, von denen einer eine durch ein Glasdach gedeckte Terrasse besitzt. An der Westseite befindet sich ein Wintergarten mit Freitreppe. Der Portikus und der unterkellerte Wintergarten kamen vermutlich 1886 hinzu.

Die Innenwände bestehen überwiegend aus Holzfachwerk mit Ausmauerung und Putz. Bei den Geschossdecken handelt es sich um Holzbalkendecken mit Parkett- und Dielenfußböden. Die im südlichen und mittleren Teil des Erdgeschosses vorhandene Wand- und Deckenstuckatur gilt denkmalpflegerisch als höchstwertig. Besonders repräsentativ ausgestattet ist der so genannte „Schinkelsaal“ im südlichen Gebäudeteil (Abb. 3 und 4).



Abb. 3: Stuckatur im Schinkelsaal.

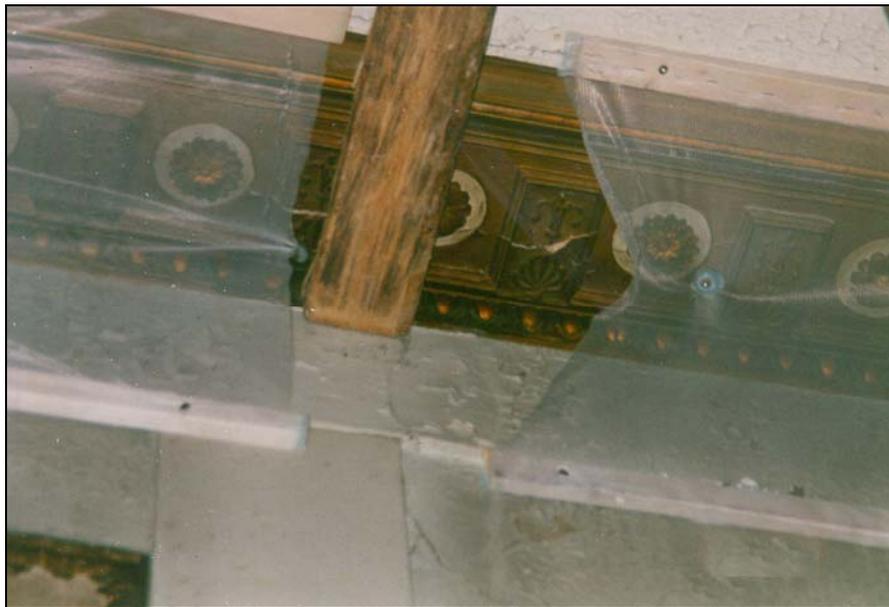


Abb. 4: Stuckkehle im Schinkelsaal; zum Schutz mit Gaze abgespannt.

2 Schadenssituation

In Rahmen einer holzschutztechnischen Untersuchung des Sachverständigen Dr. U. Schümann im Jahre 1996 zur Vorbereitung von Umbau und Modernisierung des Gebäudes wurden in mehreren Bereichen der Geschossdecken des Erdgeschosses und des 1. Obergeschosses sowie im Traufbereich der Dachkonstruktion starke Schäden durch den Echten Hausschwamm und andere Braunfäulepilze festgestellt.

Im September 1998 brach im leerstehenden Gebäude ein Brand aus, durch den der Dachstuhl und Teile des nördlichen Gebäudeabschnittes vollständig zerstört wurden. Ferner wurden durch den Brand mehrere Fachwerkkinnenwände und die Geschossdecken zum Dach durch den Brand so stark geschädigt, dass sie abgebrochen werden mussten. Die historisch wertvollen Räume mit reicher Stuckgestaltung im Erdgeschoss wurden nur in geringem Umfang durch den Brand beeinträchtigt. Durch das Löschwasser und nachfolgendes Niederschlagswasser traten allerdings weitere Schäden am Stuck auf. So hatten sich insbesondere im Vestibül des Mitteltrakts Teile des Deckenputzes und der Stuckrosette gelöst.

Zum Schutz vor Witterungseinflüssen war nach dem Brand auf einem neu eingebauten Ringanker ein provisorisches Dach aus Stahl errichtet worden.

Nach dem Brand ergab sich gegenüber dem Holzschutzgutachten von 1996 eine veränderte Situation im Gebäude. So musste vor allem festgestellt werden, in welchem Umfang nach dem Brand noch Befall durch den Echten Hausschwamm vorlag, um ein entsprechendes Sanierungskonzept auszuarbeiten. Da seitens der Denkmalbehörde die Erhaltung aller noch vorhandenen historischen Fassungen gefordert wurde, kam nur eine weitgehend zerstörungsfreie Bekämpfung des Befalls in Frage. Zur Abtötung des vorhandenen Hausschwammbefalls sollte daher das Heißluftverfahren eingesetzt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes E-1998/14 wurden zwecks exakter Feststellung von Schadensart und -umfang unter den 1999 vorgefundenen Bedingungen an zahlreichen Stellen Holzproben und vorgefundene Myzelproben entnommen und zur Bestimmung von Art und Aktivität an das Untersuchungslabor der Goritas, Dänemark, und die Holzforschung München, TU München, versandt. Die Untersuchungen in Dänemark und München von jeweils ca. 20 Befallsproben ergaben durchweg Befall durch Pilze mit ver-

gleichsweise hohen Feuchteansprüchen wie Moderfäulepilze, Schimmelpilze, Schleimpilze und Rindenpilze. Von den typischen Hausfäulepilzen wurden an einzelnen Proben der Braune Kellerschwamm sowie Pilze aus der Gruppe der Weißen Porenschwämme nachgewiesen. Nur in einer Probe der in Dänemark untersuchten Proben lag augenscheinlich Befall durch den Echten Hausschwamm vor. Nach Aussage des dänischen Labors handelte es sich dabei aufgrund einer dort entwickelten so genannten Vitalitätsfärbung um vitales, lebensfähiges Myzel. In der Holzforschung München vorgenommene Auswuchsversuche ergaben an den dort analysierten Proben keine brauchbaren Ergebnisse, da sich ausnahmslos Schimmelpilze entwickelten.

Aufgrund der entnommenen und untersuchten Holzproben lag also im „Landhaus Kuhlmann“ nach dem Brand nur noch ein lokaler Befall durch den Echten Hausschwamm vor. Dennoch wurde sich für eine umfangreiche Schwammbekämpfung mittels Heißluft im südlichen und mittleren Gebäudeteil entschieden. Als Argument hierfür wurde angeführt, dass man aufgrund des im Sachverständigengutachten von 1996 festgestellten Hausschwammbefalls und des hohen Löschwassereintrages sowie des Eindringens von Niederschlagswasser durch das defekte Dach in verschiedenen Gebäudeteilen von einem verdeckten Befall ausgehen muss. Ein weiterer Grund, sich durch eine Heißluftbehandlung vor einem Wiederbefall absichern zu wollen, war, dass im südlichen Teil des Erdgeschosses im „Schinkelsaal“ und benachbarten Eckzimmer wegen denkmalpflegerischer Bedenken keine Öffnungen an der Wand- und den Fensterverkleidungen vorgenommen werden durften, um diese auf versteckt wachsendes und unerkanntes Myzel des Echten Hausschwamms zu untersuchen.

3 Heißluftbehandlung

Für die ausgeschriebene Hausschwammbekämpfung im Heißluftverfahren hatten vier Firmen folgende Angebote abgegeben:

Firma A:	58.000 DM
Firma B:	90.456 DM
Firma C:	120.944 DM
Firma D:	ca. 190.000 DM

Diese großen Unterschiede erklären sich daraus, dass für die Heißluftbehandlung zur Hausschwamm-Bekämpfung bislang allgemein gültige bzw. verbindliche Standards im Sinne anerkannter Regeln der Technik fehlen. Bei Firma D handelt es sich um ein dänisches Unternehmen. Dies ist deshalb bemerkenswert, weil sich in der Vergangenheit bestimmte deutsche Firmen gerne auf die in Dänemark mit dem Heißluftverfahren erzielten Erfolge beriefen, andererseits das Verfahren gegenüber der konventionellen Sanierungsmethode gemäß Holzschutznorm als besonders kostengünstig darstellen. Den Zuschlag erhielt Firma A, da sie mit Abstand am kostengünstigsten angeboten hatte.

Als letale Wärmedosis war vom Sachverständigen $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ für mindestens 1 Stunde beschrieben worden. Hierzu wurden die zu behandelnden Bereiche mit ölbetriebenen Brennern im herkömmlichen Einblasverfahren auf eine Raumtemperatur von etwa $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufgeheizt (Abb. 5).



Abb. 5: Ölbrenner mit Zuluftröhren zur Heißluftbehandlung von Abschnitt 1.

Die Heißluftbehandlung erfolgte in drei Teilbeheizungen mit entsprechender Außenisolierung (Einhausung) des Gebäudes und Abplanungen im Innenbereich (Abb. 6 und 7). Der erste Abschnitt umfasste im südlichen Gebäudeteil das Erdgeschoss (mit der wertvollen Wand- und Deckenstuckatur im Schinkelsaal und südöstlichen Eckzimmer), Obergeschoss sowie das Vestibül, der zweite Abschnitt in den südlichen und mittleren Gebäudeabschnitten die Kellerdecke und den Sockelbereich des Mauerwerks mit Erwärmung des gesamten Kellers und der dritte Abschnitt im mittleren Gebäudebereich das Erdgeschoss (ohne Vestibül) und Obergeschoss. Die beheizten Raumvolumen betrugen 1300 m^3 (1. Abschnitt), 650 m^3 (2. Abschnitt) und 1100 m^3 (3. Abschnitt). Bei allen Teilbeheizungen kamen jeweils 4 Heißluftgeräte à 244 kW Leistung zum Einsatz. Die Temperaturüberwachung erfolgte mit Flüssigkeitsthermometern sowie elektronisch mit Messfühlern (Thermosensoren). Es wurden in den einzelnen Abschnitten 25, 26 und 20 Thermometer sowie 14,

8 und 5 Messfühler sowohl in Holzbauteile als auch in das Mauerwerk gesetzt. Eine Fremdüberwachung durch den Sachverständigen wurde nicht vorgenommen. In Tabelle 1 sind die Heizzeiten angegeben, die jeweils erforderlich waren zum Erreichen der gewünschten Abtötungstemperatur von 60 °C. Eine besonders lange Heizdauer mit 46 Stunden ergab sich für den 650 m³ Teilbereich 2 infolge hoher Wärmeverluste durch Abfluss von Heißluft in den anliegenden Erdboden.

Tab.1. Notwendige Heizdauer für Mauerwerk und Holz

Heizabschnitte	Raumvolumen (m ³)	Stärke der Außenwände	Heizdauer gesamt	Erreichen von 60°C im thermisch ungünstigsten Messpunkt	
				Im Holz nach	Im Mauerwerk nach
1. Abschnitt	~1300	~50	36h	32h	35h
2. Abschnitt	~ 650	~60	46h	34h	45h
3. Abschnitt	~1100	~50	26h	20,5h	24h



Abb. 6: Einhausung des Abschnitt 1 an der Südwestseite.



Abb. 7: Abplanung mit Kunststoffbahnen zwischen Abschnitt 1 und 2 im Obergeschoss.

Baustellenbesichtigung

Während der Beheizung wurde vom Holzschutzfachverband Norddeutschland e.V. (HFN) unter Mitwirkung des schleswig-holsteinischen Landesamt für Denkmalpflege und der Gebäudemanagement Schleswig-Holstein GmbH (GMSH) ein Seminar mit Baustellenbesichtigung durchgeführt. Dabei wurden von den eingeladenen Sachverständigen und Praktikern erhebliche Mängel in der Durchführung der Heißluftbehandlung festgestellt und ihre Wirksamkeit stark in Zweifel gezogen. Wesentliche Kritikpunkte waren zu recht unter anderem:

- In Abweichung von der Ausschreibung wurden für die Einhausung statt hitzebeständiger, wärmedämmender Folien einfache Kunststoffplanen verwendet.
- Die Außenisolierung (Außenplane) war entgegen den Maßgaben im Leistungsverzeichnis zwischen über mehrere Meter durchgängige Latten angebracht, wobei die innere Lattung direkt dem Mauerwerk auflag und somit keine Querlüftung zuließ (Abb. 8). Zudem endete die Abplanung unverständlicherweise 1,5 m über dem Erdreich (Abb. 6). Der Nachweis, dass tatsächlich Lufttemperaturen von 80 bis 100 °C erreicht worden waren, die notwendig gewesen wären, um das Außenmauerwerk durchdringend auf 60 °C zu erwärmen, fehlte. Hierzu hätten unbedingt Temperaturfühler auf der Außenwandoberfläche oder im Luftstrom zwischen Außenplane und Mauerwerk installiert werden müssen.

- Beim ca. 60 cm starken Kellermauerwerk wurde vollständig auf eine Außenisolierung verzichtet, d.h. somit nur von der Innenseite her erwärmt. Nach allgemeiner Erfahrung ist ohne Abplanung von außen selbst bei wochenlanger Hitzeeinwirkung ein ausreichendes Durchheizen nicht möglich. Im Winter - die Heißluftbehandlung erfolgte im Februar - ist zudem der Abkühleffekt von der Außenseite besonders groß.
- Vielfach wurden die Messpunkte nicht an wärmetechnisch kritischen Stellen platziert. Auch fehlten sie teilweise in Bereichen, in denen Fäuleschäden vorlagen.
- Für die manuelle Messung der eingesetzten Thermometer fehlten Messprotokolle, um sie vom Bauherren gegenzeichnen zu lassen.

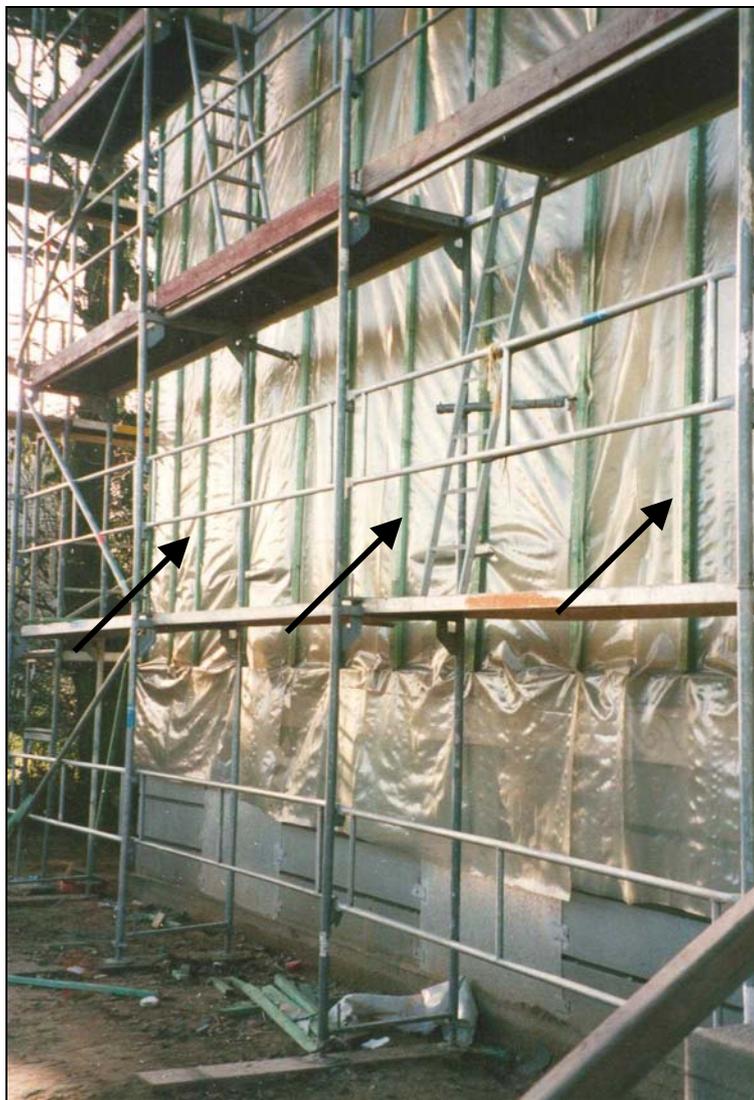


Abb. 8: Einhausung mit durchgehender Lattung (Pfeile) angebracht.

Nicht plausibel lassen sich auch die Messdiagramme für die drei Teilbeheizungen erklären (Abb. 9). Diese weisen für das Mauerwerk und das Holz einen annähernd identischen

Kurvenverlauf auf. Da es sich dabei aber um Baustoffe handelt, die sich bezüglich ihrer Wärmekapazität und Wärmeleitung sehr unterschiedlich verhalten und zudem noch in recht unterschiedlicher Dimension vorlagen, müsste sich auch ein differenzierterer Kurvenverlauf ergeben.

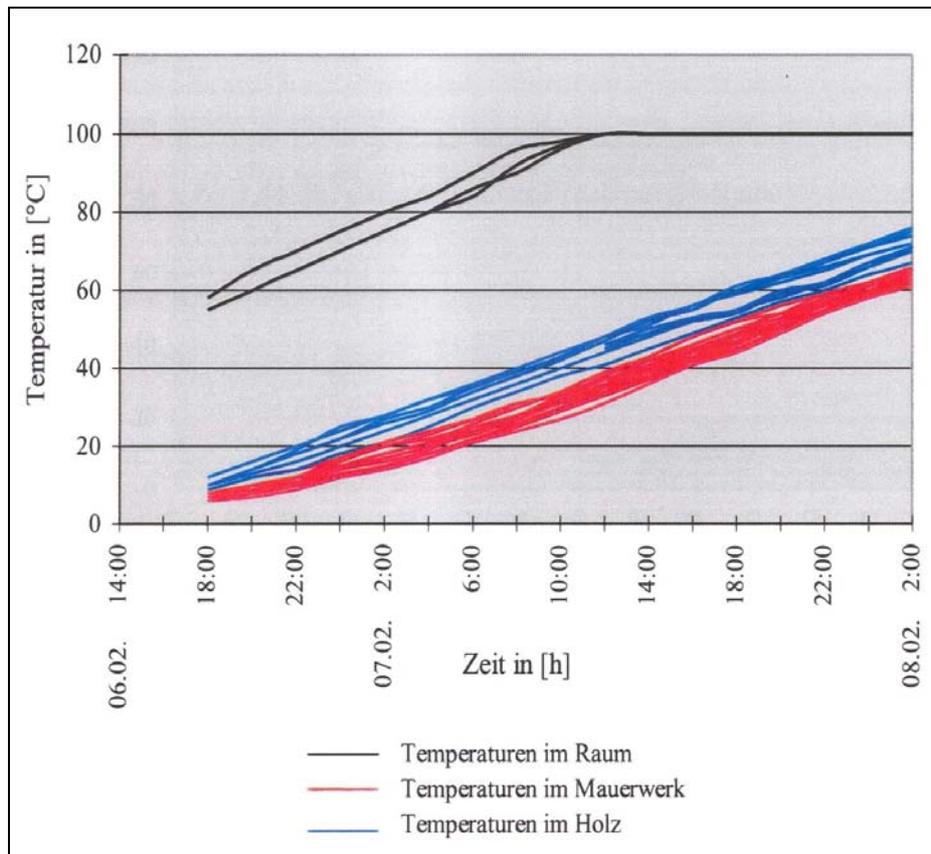


Abb. 9: Temperaturverlauf in Abschnitt 1.

4 Zusammenfassung

Die Heißluftbehandlung im Landhaus Kuhlmann diente nicht der Abtötung eines vorliegenden ausgedehnten Lebendbefalls durch den Echten Hausschwamm. Aufgrund eines 1996 festgestellten umfangreichen Hausschwammbefalls, eines erhöhten Feuchteeintrags nach einem Brand und stark eingeschränkter Freilegungsarbeiten wollte man nicht ausschließen, dass in den nach dem Brand erhalten gebliebenen Gebäudeteilen versteckt noch lebensfähiges Hausschwamm-Myzel vorhanden ist. Aufgrund dessen und der denkmalpflegerischen Maßgabe, pilzbefallenes Holz im Sinne der Schonung der im Gebäude vorhandenen Stuckatur im Gebäude zu belassen, wurde sich für eine Heißluftbehandlung entschieden.

Im Rahmen einer Baustellenbesichtigung, zu der Sachverständige und Praktiker geladen waren, stellte sich heraus, dass wesentliche Vorgaben des Leistungsverzeichnisses nicht eingehalten worden waren. Zu bemängeln war die nicht fachgerechte Einhausung, so dass erfahrene Beobachter bezweifelten, dass das Mauerwerk ausreichend durchhitzt wurde. Nicht frei von Zweifel sind auch die von der die Heißluftbehandlung ausführenden Firma in Eigenüberwachung vorgenommenen Temperaturmessungen.

Es zeigte sich am Beispiel Landhaus Kuhlmann, dass es unbedingt erforderlich ist, dass von einem unabhängigen Sachverständigen die Einhausung und die Lage der Messpunkte abgenommen werden bzw. eine Fremdüberwachung des Temperaturverlaufes erfolgen muss.

2	<p>Dresden-Hellerau - Festspielgelände, Westliche Pensionshäuser</p> <p>Jahr der Sanierung: 2000</p> <p>Gutachterliche Überwachung: I. Müller, Berlin und M. Grinda, Berlin</p>
---	--

1 Gebäudebeschreibung

Die Pensionshäuser befinden sich auf dem ehemaligen Festspielgelände in Dresden-Hellerau. Die nach Entwürfen von Heinrich Tessenow errichteten Bauten sind **eingetragene Baudenkmale** mit besonderem kulturhistorischem Wert. Die Gartenstadt Hellerau ist zu Beginn des 20. Jahrhunderts nördlich von Dresden entstanden. Unter Berücksichtigung der Topographie erfolgte eine Trennung von Fabrik-, Versorgungs- und Wohnflächen. Daher gilt Hellerau bis heute als ein Modell Arbeiten, Wohnen und Kultur sowie handwerklich/industrielle Produktion und künstlerisches Schaffen beispielhaft zu vereinen.

Die Anlage des Festspielgeländes zeichnet sich durch eine starke Symmetrie aus. Den Eingang der Anlage flankieren beidseitig als Zwillingbauten die Pensionshäuser. Je zwei Pensionshäuser sind durch einen flachen, langgestreckten Zwischenbau verbunden. Das jeweils eingeschossige Gebäude mit ausgebautem Dachgeschoss wird über einen mittigen Zugang mit einer Freitreppe erschlossen. Die ebenfalls auf einer Freitreppe stehenden vier Säulen tragen das mit Gauben versehene Zeltdach. Die schlicht gestaltete Fassade springt hinter den vorgelagerten Säulen zurück. Auf der Rückseite befindet sich ein Erker mit rechteckiger Grundfläche (Abb. 1).



Abb.1: Sanierte und restaurierte Pensionshäuser 1 und 2.

Von **außerordentlich hoher denkmalpflegerischer Wertigkeit** sind in den „Westlichen Pensionshäusern“ die Wandaufbauten nach dem so genannten **Tessenow-Wand-Prinzip**, das 1909 das Patent des kaiserlichen Patentamtes erhielt. Dabei handelt es sich um eine tragende Brett-Ziegel-Verbundkonstruktion, die die Herstellung besonders billiger landhausmäßiger Gebäude ermöglichte.

Beim Tessenow-Prinzip bestehen die Wände aus einer rahmenähnlichen Konstruktion aus massiven Fußschwellen, Bundschwellen und Eckständern mit tragenden Brettständern in Querstellung zur Wand zwischen Fuß- und Bundschwellen. Die Brettständer stehen in einem Abstand von ca. 27 cm und werden durch in Längsrichtung der Wand hochkantig eingelegte Ziegel am seitlichen Ausknicken gehindert, also ausgesteift und tragfähig gemacht. In den Außenwänden sind die Ziegel jeweils zweireihig unter Bildung einer Luftisolierschicht verlegt (Abb. 2 und 3).

In den Pensionshäusern beträgt die Stärke der Umfassungswände 20 cm. Ihre Rahmenkonstruktion setzt sich aus 10 cm starken Schwellen und Rähmbalken (Pfetten), massiven Eckständern (20 cm / 20 cm) und eingestellten Brettern (2,4 cm) in einem Achsmaß von ca. 30 cm zusammen.

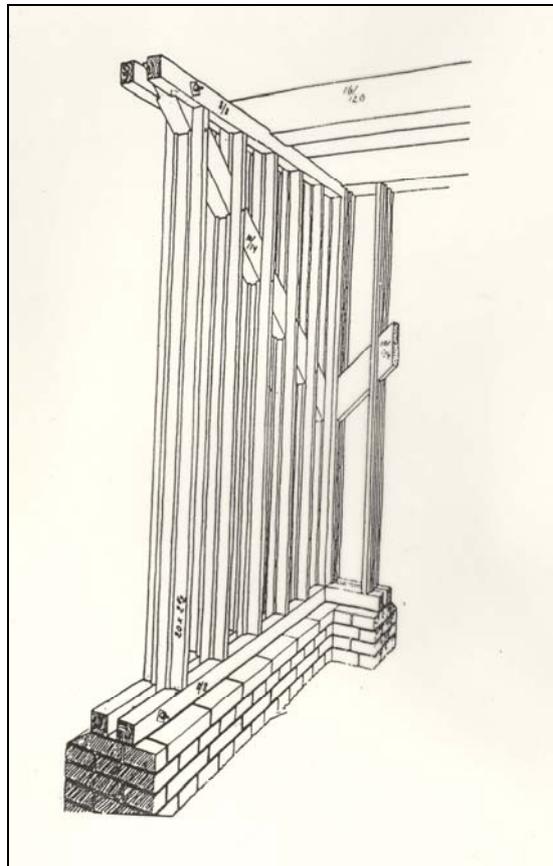


Abb. 2: Das Tessenow-Wand-Prinzip, Patentzeichnung.

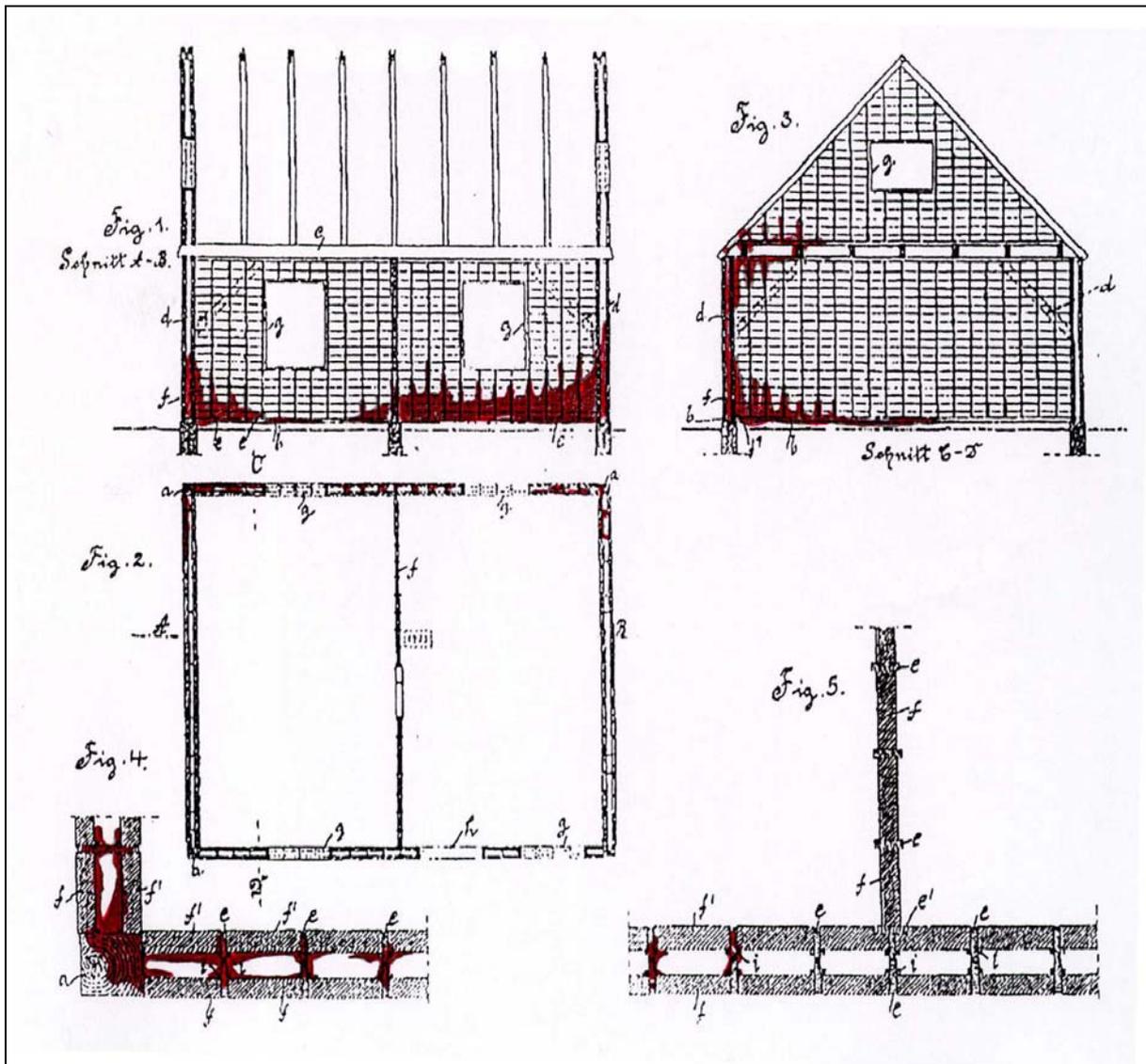


Abb. 3: Das Tessenow-Wand-Prinzip, Patentzeichnung. Rot: festgestellter Hausschwamm-Befall.

2 Schadenssituation

In beiden Pensionshäusern wurden im Rahmen holzschutztechnischer Gutachten umfangreiche Schäden durch holzerstörende Pilze und Insekten festgestellt. Vor allem waren sie aber durch den Echten Hausschwamm verursacht. Insbesondere hatte er sich in den „Tessenow-Wänden“ von den Hohlräumen aus auf die Bretter und Ziegel ausgebreitet und das konstruktive Holz-Ziegel-Verbundsystem als Ganzes befallen.

Nachdem in den beiden Pensionshäusern 1 und 2 die Tessenow-Wände 1995/96 der Sanierung zum Opfer gefallen waren und dies zu heftiger Kritik geführt hatte, wurde größter Wert auf eine substanzerhaltende Sanierung gelegt. Ein Ausbau der schwammbefallenen Hölzer des Wandsystems gemäß Holzschutz-Norm hätte zwangsläufig zum Verlust des gesamten Wandaufbaus geführt. Um die Hölzer belassen zu können, wurde sich zum Ab-

töten des Hausschwamms für eine Heißluftbehandlung als alternatives Sonderverfahren entschieden.

3 Sanierungsmaßnahmen

Im Folgenden wird vornehmlich auf die Heißluftbehandlung eingegangen.

3.1 Heißluftbehandlung

Für sämtliche an den beiden Häusern erforderlichen Baumaßnahmen waren diese witterungsgeschützt mit einer entsprechenden Dachkonstruktion und seitlichen Abplanungen eingehaust worden (Abb. 4 und 5). Die Rüstung stand in einem größeren Abstand zu den Häusern, so dass die für die Heißluftbehandlung erforderlichen Arbeiten unmittelbar an den Gebäuden durchgeführt werden konnten.

Für die Heißluftbehandlung erfolgte eine separate Einhausung mit faserverstärkten Kunststoffbahnen, die in den jeweils erforderlichen Abständen zur Außenhülle der Häuser angebracht wurden (Abb. 5).



Abb. 4: Pensionshäuser 3 und 4 mit Einhausung zum Witterungsschutz.



Abb. 5: Separate Dachkonstruktion gegen Witterungseinflüsse und Einhausung der Heißluftbehandlung.

Als letale Wärmedosis war vom Sachverständigen I. Müller, Berlin, 55 °C über die Dauer von 3 Stunden bei einer maximalen Raumtemperatur von 80 °C bestimmt worden. Das Pensionshaus Nr. 3 wurde mit ölbetriebenen Heizgeräten im Einblasverfahren erwärmt (Abb. 6). Im Pensionshaus Nr. 4 erfolgte eine Direktbeheizung mit Propangasbrennern im Umluftverfahren (Abb. 7).



Abb. 6: Die vom Ölbrenner erzeugte Heißluft wird in das Gebäude eingeblasen.



Abb. 7: Modifiziertes Trocknungsgerät für die Direktbeheizung im Umluftverfahren.

Die Überwachung der Temperaturverläufe erfolgte in beiden Häusern sowohl elektronisch mit Messfühlern (Eigenüberwachung der ausführenden Firmen) als auch mit Flüssigkeitsthermometern (Fremdüberwachung durch den Sachverständigen) (Abb. 8). Mit den Messfühlern war zugleich eine kontinuierliche Kontrolle der Wärmezufuhr gewährleistet, so dass sofort auf Veränderungen des Raumklimas reagiert werden konnte. In den beiden Gebäuden wurden jeweils 13 Messpunkte in verschiedenen Holzbauteilen sowie im Mauerwerk angelegt. Die Temperaturverläufe sind in den Messdiagrammen der Anlage 1 und 2 wiedergegeben.

Zur Erfolgskontrolle der Heißluftbehandlung wurden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, vorbereitete Prüfkörper in Form hausschwammbefallener Hölzer in Glasflaschen teils eingebaut, teils ausgelegt (Abb. 9).



Abb. 8: Elektronische Messfühler und Flüssigkeitsthermometer an einem Messpunkt im Mauerwerk.



Abb. 9: Ausgelegter Prüfkörper mit hausschwammbefallenem Kiefernklötzchen und Flüssigkeitsthermometer.

Ergebnisse

Die Gesamtbeheizungsdauer betrug im Umluftverfahren 36 Stunden. Eine nur unwesentlich kürzere Behandlungszeit ergab sich für das Einblasverfahren, da in einem Messpunkt erst relativ spät die Zieltemperatur von 55 °C erreicht werden konnte. Ansonsten zeigte sich aber, dass mit dem Einblasverfahren ungleich rascher die maximale Lufttemperatur erzielt wird, und damit die Gesamtheizdauer wesentlich kürzer ist. Wie aus den beiden als Anlage 1 und 2 beigefügten Messdiagrammen der elektronischen Temperaturüberwachung ersichtlich ist, wurde mit Ausnahme von 2 Messpunkten die erforderliche letale Wärmedosis erreicht. Bei diesen Stellen handelte es sich um Bereiche, in denen von vornherein ein Ausbau der Befallshölzer vorgesehen war.

In allen Bereichen, in denen die geforderte Letaltemperatur von 55 °C erreicht und für mindestens 3 Stunden gehalten wurde, wuchs aus den dort platzierten Prüfkörpern im Labor kein Myzel wieder aus. Dagegen wuchs aus Prüfkörpern, die in Testbereichen eingebaut / ausgelegt waren, in denen die Letaltemperatur von 55 °C nicht erzielt bzw. nicht lange genug gehalten wurde, das Myzel wieder aus.

3.2 Chemische Bekämpfungsmaßnahmen gemäß DIN 68800-4

Nicht aufgeheiztes Mauerwerk wurde nach der Wärmebehandlung gemäß DIN 68800-4 mit einem Schwammsperrmittel behandelt. Dies betraf das Kellermauer- und Sockelmauerwerk unterhalb der Fußschwellen sowie das Mauerwerk des nicht wärmebehandelten Zwischenbaus von Haus Nr. 3 und 4.

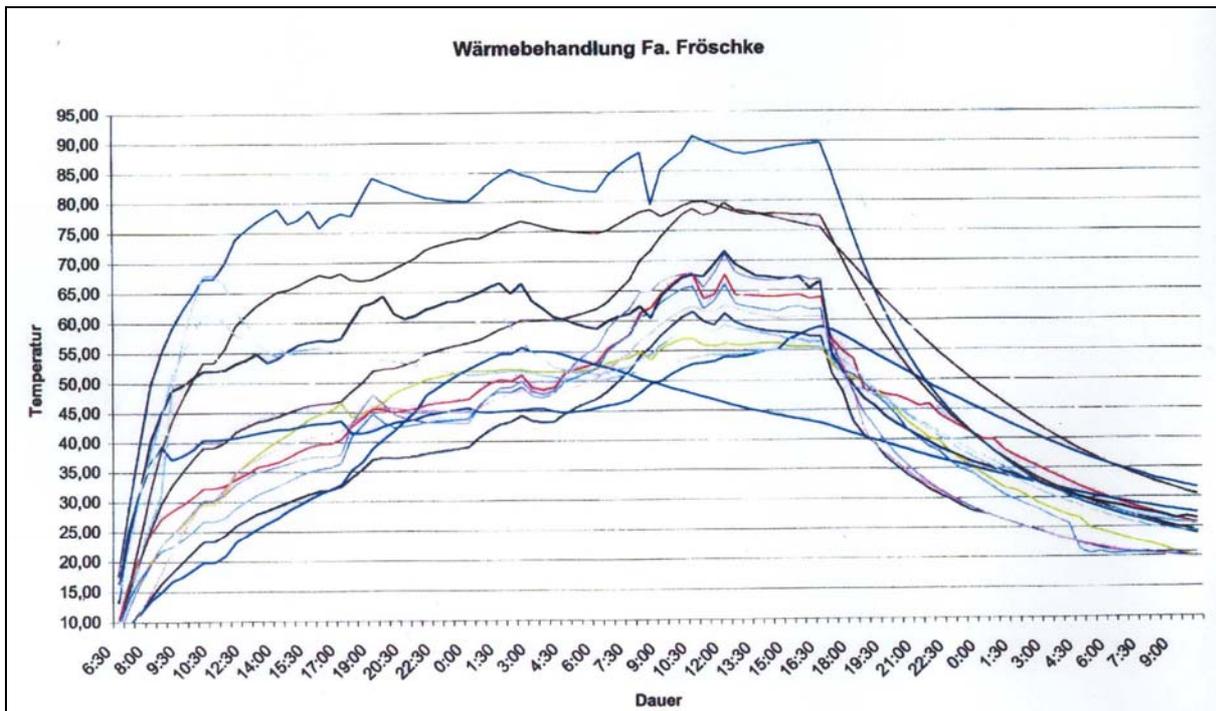
Nicht mehr tragfähige Holzbauteile wurden ausgebaut. Die Fußschwellen der Innenwände wurden im Bohrlochdruckinjektionsverfahren vorbeugend chemisch geschützt.

4 Zusammenfassung

Bei den westlichen Pensionshäusern auf dem Festspielgelände in Dresden-Hellerau handelt es sich um eingetragene Baudenkmale mit besonderem kulturhistorischem Wert. Die einmaligen Wandaufbauten nach dem so genannten Tessenow-Wand-Prinzip aus dem Jahre 1909 waren stark von Hausschwamm-Myzel durchsetzt. Um die historische Wandkonstruktion in vollem Umfang erhalten zu können, wurde zum Abtöten des Myzels das Heißluftverfahren eingesetzt. Als Technologien kamen sowohl das herkömmliche Einblasverfahren als auch erstmalig zur Schädlingsbekämpfung das so genannte Umluftverfahren zum Einsatz. In allen Bereichen der beiden Gebäude, in denen die vorgegebene letale Wärmedosis von 55 °C / 3 Std. erreicht wurde, konnte das Myzel nachweislich abgetötet werden. Der Nachweis erfolgte durch eingebaute und ausgelegte Prüfkörper mit myzel durchwachsenen Kiefernklötzchen, aus denen nach der Heißluftbehandlung im Labor kein Myzel mehr auswuchs.

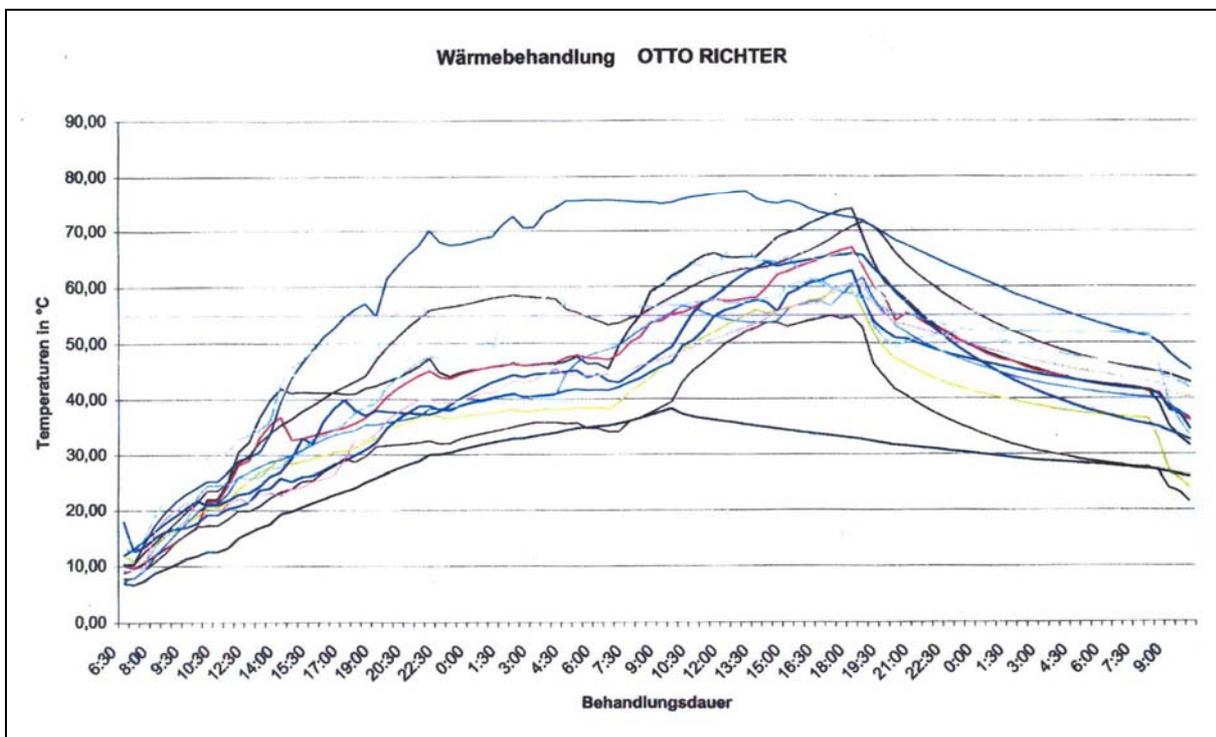
Nicht behandeltes oder nur unzureichend erwärmtes Mauerwerk wurde gemäß Holzschutznorm mit einem Schwammsperrmittel behandelt.

Anlage 1



Messdiagramm der Wärmebehandlung Haus Nr. 3 im Einblasverfahren.

Anlage 2



Messdiagramm der Wärmebehandlung Haus Nr. 4 im Umluftverfahren.

3	Berlin-Hohenschönhausen - Ehemaliges Gutsarbeiterhaus Jahr der Sanierung: 2000 Gutachterliche Überwachung: I. Müller, Berlin und M. Grinda, Berlin
----------	---

1 Gebäudebeschreibung

Das **denkmalgeschützte** Gutsarbeiterhaus in Berlin-Hohenschönhausen, Ortsteil Falkenberg, Dorfstraße 4, wurde 1856 als einfaches Wohnhaus für 8 Gutsarbeiterfamilien errichtet, teilweise unter Verwendung alter Konstruktionshölzer. Das älteste festgestellte Holzbau teil ist das Rähm an der Straßenseite, dessen Holz aufgrund dendrochronologischer Untersuchungen aus einem 1788 gefällten Baum stammt. Der besondere kulturell-historische Wert des Hauses besteht darin, dass es ein seltenes, noch erhalten gebliebenes Beispiel für das ländliche Wohnen im Umfeld von Berlin ist. Bis in die 60er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde das Haus als Wohnhaus, danach als Lagerraum einer Baufirma genutzt. Seit 1978 befand es sich dann bis zu seiner Sanierung im Leerstand.

Das eingeschossige, massiv errichtete Gebäude hat ein Kehlbalkendach mit doppeltem Stuhl. Die Decken sind Lehmwickeldecken, unterbündig, mit sichtbaren Deckenbalken unterseitig gekalkt. Im Dachgeschoss befinden sich an den Giebeln jeweils eine Dachkammer, in traditionellem Fachwerk mit Lehmausfachungen und Lehmwickeldecken (Kehlbalkenlage). Die Außenwände auf der Straßenseite und des Westgiebels sowie die Schwarzküchen im Inneren bestehen aus Ziegelmauerwerk, am Außenbau unverputzt. Alle übrigen Wände sind mit Lehmstrohsteinen (Lehmbauweise, Abb. 1) errichtet und mit Kalkmörtel außen und mit Lehm und einer Kalkschlämme innen verputzt.

Das Haus ist im Großen nicht unterkellert, besitzt aber noch 5 halbhohere Kriechkeller (im Ursprung mit erhöhtem Bettalkoven überdeckt). Die Fußböden sind teilweise mit in Sand verlegten Ziegeln oder als Lehmstampfböden hergestellt gewesen; die großen Räume waren wohl gediebt.

Zum Zeitpunkt der Behandlung war der Bau im Rohzustand. Die meisten Fußböden waren ausgebaut. Der Dachstuhl war bereits zimmermannsmäßig saniert (Abb. 2). Ebenso waren die Decken zum Dachgeschoss konstruktiv bereits wieder hergestellt (Abb. 3) und wurden gerade frisch mit noch nassen Lehmwickeln eingestakt.



Abb. 1: Gebäudeinneres mit Wänden aus Lehmstrohsteinen.



Abb. 2: Blick in den sanierten Dachstuhl mit witterungsfester Abplanung.



Abb. 3: Freigelegter Deckenbalken. Die Lehmwickeldecke des Dachbodens wurde aus statischen Gründen teilweise abgebrochen und neu eingestakt.

2 Schadenssituation

Im Rahmen mehrerer holzschutztechnischer Gutachten durch die Sachverständige für Holzschutz Frau S. Kenawi, Berlin, wurde massiver Befall durch den Echten Hauschwamm festgestellt. An beiden Traufseiten des Hauses war der Bereich der Balkenlage stark von Myzel durchwachsen. Großflächige Fruchtkörper an der Unterseite der Decken belegten, dass eindeutig Lebendbefall vorlag (Abb. 4). Des Weiteren wurden starke Durchwachsungen des Erdgeschoss-Mauerwerks beobachtet. Nach grober Einschätzung der Sachverständigen waren davon über 50 % betroffen.



Abb. 4: Fruchtkörper als Hinweis für Lebendbefall.

Eine Regelsanierung gemäß DIN 68800-4 hätte nicht nur zum Ausbau einer großen Anzahl von Deckenbalken, sondern auch zum Rückbau großer Teile des Mauerwerks geführt. Insbesondere wären das Lehmmauerwerk und die Lehmwickeldecken verloren gegangen. Zudem hätte das natürliche Austrocknen der Lehmwickel sehr lange gebraucht und eine zusätzliche Gefährdung mit sich gebracht. Denkmalschutzbehörde und Bauherren ordneten deshalb zur Abtötung des Hausschwammes eine das gesamte Gebäude umfassende Heißluftbehandlung einschließlich des Mauerwerks an. Außerdem sollten mit der Beheizung die feuchten bis nassen Lehmwickel und eingelagerten Baumaterialien, wie z.B. neu gefertigte Lehmsteine, mit durchgetrocknet werden.

3 Sanierungsmaßnahmen

3.1 Heißluftbehandlung

Das Haus wurde komplett eingehaust und als Ganzes einschließlich des Mauerwerks behandelt (Abb. 5 und 6).



Abb. 5: Kompletteinhausung des Gebäudes.



Abb. 6: Öffnung in der Plane zur Abluftsteuerung.

Das zu erwärmende Raumvolumen betrug ca. 2300 m³. Die letale Wärmedosis betrug 55 C für eine Mindestzeitdauer von 5 Stunden. Die Beheizung erfolgte im Einblasverfahren mit zwei großen ölbetriebenen Heißluftmaschinen (zweistufig) und einer kleinen Heißluftmaschine (einstufig) (Abb. 7). Die Überwachung des Temperaturverlaufes erfolgte durch die die Heißluftbehandlung ausführende Firma elektronisch mit Messfühlern (Eigenüberwachung). Es wurden über das Gebäude verteilt insgesamt 10 Messpunkte gesetzt. Von den die Wärmebehandlung begleitenden Sachverständigen I. Müller und M. Grinda wurden unabhängig hiervon an über 20 Stellen Quecksilberthermometer sowohl in Holzbauteile als auch in das Mauerwerk eingebracht (Fremdüberwachung).



Abb. 7: Einblasen der Heißluft über Zuluftrohre in das Gebäude mit ölbetriebenen Brennern.

Zur Kontrolle der Wirksamkeit der gewählten Abtötungstemperatur waren im Rahmen des Forschungsprojektes E-1998/14 sowohl von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, als auch von der Holzforschung München (HFM), TU München, Prüfkörper mit vitalem Hausschwamm vorbereitet und eingebaut worden. Bei den Prüfkörpern der HFM handelte es sich um Kulturröhrchen mit auf Malzagar abgeimpftem Hausschwamm mit üppiger Myzelentwicklung an der Glaswand sowie auf und in einem eingelegten Holzklötzchen. Die Prüfkörper der BAM bestanden aus eckigen Glasflaschen mit schwamminfizierten Kiefernklötzchen (Abb. 8).



Abb. 8: Prüfkörper mit pilzbewachsenen Kiefernklötzchen.

Ergebnisse

Die Gesamtheizdauer betrug 52 ½ Stunden. In den Holzbauteilen wurden die Abtötungstemperaturen von 55 °C und die Mindestzeitdauer der Beheizung weit überschritten. Beim Durchheizen des Mauerwerkes gab es dagegen erhebliche Probleme. So wurden die Abtötungstemperaturen an einer Reihe von Messpunkten nicht erreicht. Auch konnte die Mindestzeitdauer von 5 Stunden an zahlreichen Punkten nicht eingehalten werden.

30 cm über Oberkante Fußboden wurden die erforderlichen Temperaturen nicht durchgängig erreicht. Die zum Teil gute Wärmeleitung - je nach Feuchtigkeit des Mauerwerkes - hat die Wärme gut in den Erdboden abgeleitet. Es muss davon ausgegangen werden, dass die unteren 60 bis 80 cm nicht ausreichend durchwärmt wurden. Im Bereich der Mauerkrone wurde das Mauerwerk dagegen mit großer Sicherheit ausreichend durchwärmt.

Als Ursachen für die nicht ausreichende Durchwärmung können angeführt werden:

- Im Bereich Erd-Luft-Zone ist eine ausreichende, sichere Erwärmung nicht möglich.
- Das feuchte bis nasse Mauerwerk hat der Aufheizung in Folge entstehender Verdunstungskälte stark entgegengewirkt.
- Die Zeitdauer für die gesamte Beheizung war zu kurz bemessen.
- Die Maschinenleistung für das gesamte Gebäude bzw. das Raumvolumen von 2300 m³ war zu knapp bemessen. Es hätte mindestens eine Heißluftmaschine mehr zur Verfügung stehen müssen.

Aus keinem der 22 BAM-Prüfkörper, die eingebaut worden waren, wuchs im Labor wieder Myzel aus. Die 4 nicht eingebauten Nullproben wiesen weiterhin ein Myzelwachstum auf. Bei den 29 eingebauten HFM-Proben zeigte das Myzel bis auf eine Ausnahme mehr oder weniger starke Verfärbungen. Im Labor erfolgte ein Weiterwachsen des Myzels nur bei den 6 Nullproben. Die Wachstumsversuche mit den eingebauten Myzelproben ergaben ausschließlich das Auskeimen von Schimmel- und Bläuepilzen, Bakterien und Hefen aufgrund von Verunreinigungen infolge der Verwendung luftdurchlässiger Verschlusskapseln für die Kulturröhrchen. Dass trotz Nichterreichens der Abtötungstemperaturen von 55 °C in den Prüfkörpern das Myzel in den Prüfkörpern abgetötet wurde, könnte dadurch bedingt sein, dass aufgrund der extrem hohen Baufeuchte auch eine extrem feuchte Heißluft entstand. Bekannt ist, dass Pilze gegen feuchte Hitze ungleich empfindlicher als gegen trockene Hitze sind.

3.2 Mauerwerksbehandlung gemäß Holzschutz-Norm

Die unteren Bereiche des Mauerwerks wurden in den vom Hausschwamm durchwachsenen Bereichen bis in eine Höhe von 1,60 m mit einem Schwammsperrmittel gemäß DIN 68800-4 behandelt.

4 Zusammenfassung

Das denkmalgeschützte Gebäude wurde als Ganzes mit Heißluft im Einblasverfahren behandelt. Die letale Wärmedosis betrug 55 °C für eine Mindestzeitdauer von 5 Stunden. Zweck der Heißluftbehandlung war, die Originalsubstanz der vom Hausschwamm durchwachsenen Lehmwände und Lehmwickeldecken möglichst umfassend zu erhalten.

Die Wärmebehandlung konnte nach 52 ½ Stunden erfolgreich für die Behandlung der Hölzer der Geschosdecke und des Dachgeschosses abgeschlossen werden. Probleme gab

es beim Durchheizen des Mauerwerks. Insbesondere konnten in den unteren Bereichen entweder die Abtötungstemperaturen von 55 °C oder die Mindesthaltezeit von 5 Stunden nicht erreicht werden.

Anmerkung

Im Mai 2002 gab es einen Brandschaden durch Brandstiftung. Trotz der außerordentlich hohen Löschwasserbelastung kam es bis Ende 2003 an keiner Stelle des Gebäudes zu einem Wiederaufleben des früheren Hausschwamm-Befalls.

4	Eichstädt (Land Brandenburg) - Dorfkirche Jahr der Sanierung: 2000 Gutachterlicher Überwachung: I. Müller, Berlin
---	--

1 Gebäudebeschreibung

Bei der Dorfkirche Eichstädt handelt es sich um einen in ihrer Grundanlage aus dem 14. Jahrhundert stammenden Feldsteinbau mit südlicher Eingangshalle und Westturm (Abb. 1).



Abb.1: Dorfkirche Eichstädt, Südostansicht.

Das dicke, überschwere, zweischalige Mauerwerk mit Wandstärken von 1 m (Kirchenschiff) und 1,7 m (Turm) unterstreicht den wehrhaften Charakter eines mittelalterlichen Kernbaus. In der Barockzeit wurde das Kirchenschiff um eine Fensterachse nach Osten erweitert. Hier beträgt die Dicke der Außenwände nur noch 0,54 m.

Die Dachkonstruktion des Kirchenschiffes (Abb. 2) und der Eingangsvorhalle wurde 1788 errichtet. Von ausgesprochen hohem denkmalpflegerischem Wert ist hier die aus querliegenden Balkenstücken, den so genannten Dippeln, gebildete Deckenfüllung (Abb. 3), wobei es sich um die Wiederverwendung von auf das Jahr 1556 datierten Kiefernholzern der Vorgängerdachkonstruktion aus der Spätgotik handelt.

Die Holzbauteile im Turm (Fachwerk, Decken, Glockenstuhl, Dach und Laterne) stammen aus dem Jahr 1756. Der Turmbereich bleibt jedoch in der folgend beschriebenen Schadenssituation unberücksichtigt, da dieser nicht in die im Jahre 2000 durchgeführten Sanierungsmaßnahmen einbezogen war.

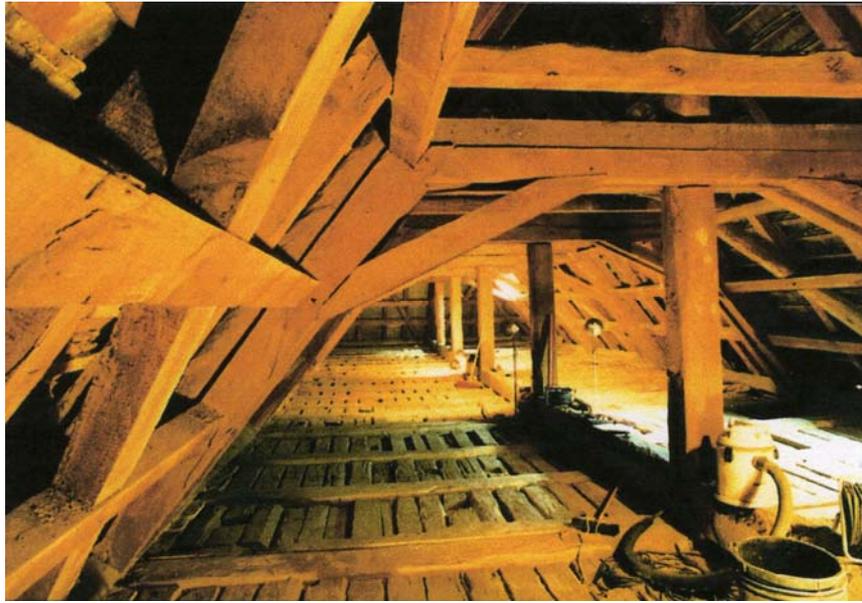


Abb.2: Dachstuhl des Kirchenschiffs - Blick nach Osten. Errichtet 1756 als einseitig nach Osten abgewalmtes Kehlbalkendach mit doppelt liegendem, abgestrebtem Stuhl, Hängesäulen und einem Mittelüberzug über den Deckenbalken. Die Dippel zwischen den Deckenbalken stammen von der Vorgängerkonstruktion des Daches und sind dendrochronologisch auf 1556 datiert.

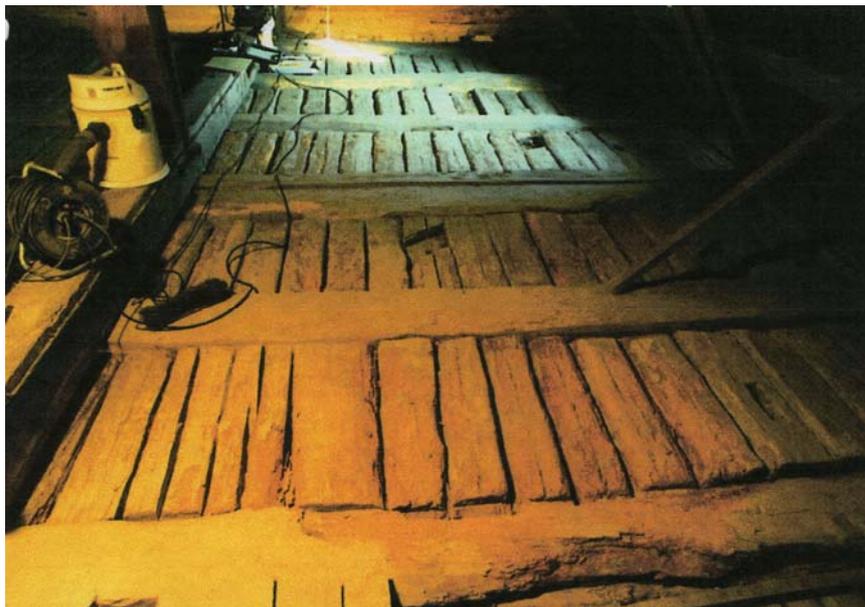


Abb.3: Dachstuhl, Südseite - Dippeldecke mit Altschäden durch Nassfäulepilze.

2 Schadenssituation in der Dachkonstruktion des Kirchenschiffes

Im Rahmen einer umfangreichen holzschutztechnischen Untersuchung des Sachverständigen Ingo Müller, Berlin, im Jahre 1997 wurden im Dachbereich des Kirchenschiffes umfangreiche Schäden im Traufbereich bzw. Auflagerbereich der Deckenbalken sowie im Oberflächenbereich an der Dippeldecke durch den Echten Hausschwamm, verschiedene Nassfäulepilze sowie Insekten (Hausbockkäfer, Anobiiden) festgestellt. Der Hausschwamm-Befall betraf den Traufbereich auf der West- und Ostseite, das Mauerwerk sowie die Dippeldicke im Übergang zur Eingangsvorhalle. Hiervon wurde der in den Wandbereichen vorliegende Befall als aktiv eingestuft.

3 Sanierungsmaßnahmen

Mit einer normgerechten Regelsanierung nach DIN 68800-4 wären ca. 60% der originalen Bausubstanz der Deckenkonstruktion verloren gegangen. Um die bauhistorisch einzigartige Dippeldecke zum Dachgeschoss in ihrer Gesamtheit zu erhalten, wurde sich darauf verständigt, diese einer Heißluftbehandlung zu unterziehen.

Die Mauerkrone und die verbliebenen Hölzer im Auflagerbereich wurden regelkonform nach DIN 68800-4 behandelt. Mit dem Rückschnitt der Balkenaufleger unter Verkürzung des Sicherheitsabstandes auf 0,5 m erfolgte zugleich eine Abkopplung der Hölzer vom Außenmauerwerk. Im Folgenden wird jedoch ausschließlich auf das Heißluftverfahren als Teilmaßnahme zur Erhaltung der Vollholzdecke aus Dippeln näher eingegangen.

Heißluftbehandlung als Teilmaßnahme zur Erhaltung der Dippeldecke

Durchgeführt wurde die Heißluftbehandlung als eine Teilbeheizung, indem die Dippeldecke von unten und oben abgeplant, d.h. eingehaust, wurde. Als zu erzielende letale Wärmedosis im Holz wurden 55 °C über eine Mindestzeitdauer von 5 Stunden zugrunde gelegt. Die Beheizung erfolgte im Einblas-Überdruckverfahren mit ölbetriebenen Heißluftgeräten. Eingesetzt wurde eine große Heißluftmaschine (zweistufig) und eine kleine Heißluftmaschine (einstufig) mit zusammen 350 kW Heizleistung. Eingeblassen wurde die Heißluft in den abgeplanten Luftraum des Kirchenschiffs (Abb. 4). Die Einblastemperatur betrug an der großen Maschine zunächst 200 °C für 7 Stunden, später 160 °C sowie an der kleinen Maschine 120 °C. Wie in Abbildung 4 dargestellt, wurden die Planen über der Dippeldecke durch den Überdruck der eingeblassenen Luft aufgebläht, so dass die Heißluft auch von oben an die Holzdecke gelangen konnte. Zugleich ermöglichte die gewählte Abpla-

nung durch Anheben der Planen an den Rändern eine gezielte Steuerung der Wärme- und Luftmengenverteilung im Rücklauf der Temperaturmessungen. Die behandelte Deckenfläche betrug ca. 150 m².

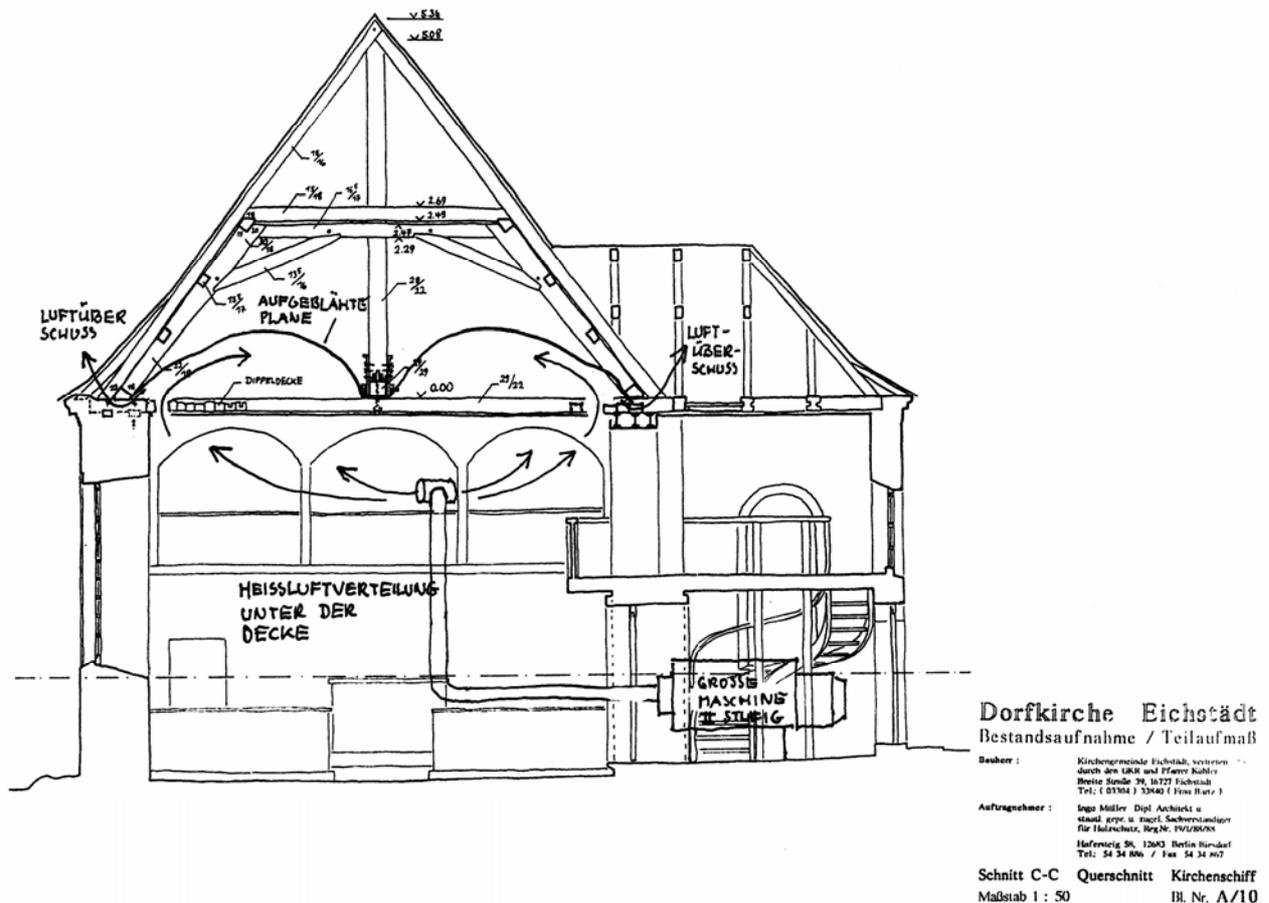


Abb. 4: Kirchenschiff und Dachgeschoß im Querschnitt mit Darstellung der Heißluftzuführung und -verteilung.

Der Temperaturverlauf wurde von der die Heißluftbehandlung ausführenden Firma elektronisch mit Temperatur-Messfühlern überwacht (Eigenüberwachung). In den Deckenbalken wurden insgesamt 5 Messstellen eingerichtet. Die Raumlufttemperatur wurde an 2 Stellen gemessen. Unabhängig hiervon wurden vom die Wärmebehandlung gutachterlich begleitenden Sachverständigen I. Müller, Berlin, 10 Flüssigkeitsthermometer in die Deckenbalken eingebaut sowie 3 Thermometer zur Messung der Raumluft installiert und in regelmäßigen Abständen abgelesen (Fremdüberwachung).

Zur Überprüfung des Abtötungserfolges wurden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, vorbereitete und in Glasröhrchen eingesetzte Prüfkörper aus Kiefersplintholz mit aktivem Hausschwamm-Befall in die Holzbauteile eingebaut. Als Prüfröhrchen dienten Reagenzgläser mit einem Durchmesser von 16 mm und einer Länge von 100 mm, die nach dem Einbringen der 50 x 8 x 8 mm großen Prüfkörper mit einem sterilen Zellstoffstopfen verschlossen wurden. Insgesamt wurden über den Dachstuhlbereich verteilt 18 Prüfkörper in Deckenbalken und Dippelhölzer sowie 2 Prüfkörper in Sparren eingesetzt. 3 Prüfkörper wurden als Nullproben außerhalb des beheizten Bereiches gelagert.

Ergebnisse

Die Gesamtheizdauer betrug 28 1/2 Stunden. Sie erforderte eine Gesamtheizleistung von rund 10.000 kWh und einen Heizölverbrauch von 190 Litern. Die Abtötungstemperatur von 55 °C wurde an allen Kontrollstellen erzielt. Ebenso wurde mit Ausnahme eines elektronischen Messpunktes die einzuhaltende Mindestzeitdauer von 5 Stunden erreicht. Die Handmessungen des Sachverständigen an fast identischer Stelle ergaben dagegen für insgesamt 16 Stunden Temperaturen von über 55 °C, so dass davon ausgegangen werden kann, dass der elektronische Messfühler defekt war.

Von den 18 in die Dippeldecke eingebrachten Pilzprüfkörpern wuchs der Prüfpilz aus einer im Nordabschnitt des Dachstuhls platzierten Probe im Labor wieder aus. Der hier platzierte elektronische Messfühler hatte mit bis zu 80 °C extrem hohe Temperaturwerte angezeigt. Somit kann gefolgert werden, dass auch dieser Messfühler einen Defekt hatte und vielmehr in diesem Bereich die zur Abtötung des Hausschwamm-Myzels erforderlichen Temperaturen nicht erreicht worden sind. Die drei außerhalb des Behandlungsbereiches verwahrten Kontroll-Prüfkörper waren ausnahmslos noch vital.

Flankierende Maßnahmen

Die Mauerkrone und anschließendes Mauerwerk sowie die Auflager der Deckenbalken wurden – wie bereits erwähnt - den Vorgaben der Holzschutznorm DIN 68800-4 entsprechend behandelt. Beim Rückschnitt der Balkenaullager wurde in Übereinstimmung mit der Norm mit verkürzten Sicherheitsabständen gearbeitet. Eine zusätzliche normgerechte Nachbehandlung erfolgte im nördlichen Deckenbereich, wo das Myzel des Prüfkörpers nach der Wärmebehandlung nicht abgetötet worden war.

4 Zusammenfassung

Ziel der Heißluftbehandlung war die Erhaltung einer bauhistorisch besonders wertvollen Dippeldecke aus dem Jahre 1756 mit der Wiederverwendung von Hölzern aus der spätgotischen Vorgängerdachkonstruktion von 1556 für die Dippel. Eine Regelsanierung nach DIN 68800-4 hätte zu einem Verlust von ca. 60 % der originalen Bausubstanz geführt. Die letale Wärmedosis betrug 55 °C für eine Mindestzeitdauer von 5 Stunden. Von den 20 zwecks Überprüfung des Abtötungserfolges in die Holzbauteile eingebauten Prüfkörpern mit Hausschwamm-Myzel wuchs aus einer Probe das Myzel im Labortest wieder aus. Im Bereich dieses Prüfkörpers erfolgte normkonform eine chemische Nachbehandlung.

5

Hamburg, Harburger Schlossstraße 43 - Klassizistisches Wohnhaus**Jahr der Sanierung: 2001****Gutachterliche Überwachung: Dr. A. Peylo, Lauenburg**

1 Gebäudebeschreibung

Das Gebäude (Abb. 1) stammt aus der Mitte des 19. Jahrhunderts und ist im klassizistischen Stil errichtet. Es besteht aus 4 Geschossen (KG, EG, 1. OG und DG). Das Dachgeschoss ist pyramidenförmig ausgebildet. Ungewöhnlich ist dabei die Konstruktion des Stuhles mit zwei Ebenen (Abb. 2). Die untere Ebene (A) wird von der Deckenbalkenlage, die obere Ebene (B) von der Mauerschwelle gebildet. Eine weitere Besonderheit stellt die Verwendung eines auf der Dämpfungsmauer ruhenden hölzernen mit Teerpappe abgeklebten Dachkastens zum Auffangen des Regenwassers dar.



Abb. 1: Das Sanierungsobjekt.

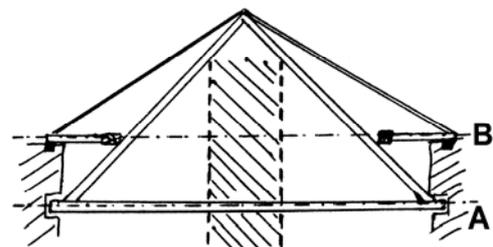


Abb. 2: Das Dach ist pyramidenförmig ausgebildet. Die Lasten werden durch insgesamt 12 diagonale Streben in die Balkenlage abgeleitet. Das massive Treppenhaus dient dabei als oberes Auflager. Horizontalkräfte werden offenbar von der als Strebe wirkenden Geschossdecke aufgenommen. Die Raumaufteilung erfolgte durch leichte Fachwerkwände.

Im Obergeschoss befinden sich Deckenmalereien im Jugendstil (Abb. 3), die vom Denkmalschutzamt als außerordentlich wertvoll eingestuft sind und unbedingt zu erhalten waren.



Abb. 3: Denkmalgeschützte Decke mit Jugendstilmalerei.

2 Schadenssituation

Durch den Holzschutzsachverständigen Dr. A. Peylo, Lauenburg, wurden im Rahmen eines holzschutztechnischen Gutachtens im Dachstuhlbereich unter anderem folgende Pilzschäden festgestellt:

- In der Ebene B war die umlaufende Mauerschwelle über weite Teile pilzzerstört. Des Weiteren zeigten die Stichbalken (Einholer), auf denen sich wiederum die Sparrenfüße abstützen, im Auflagerbereich Fäuleschäden.
Im Bereich der Balkenköpfe, bzw. von diesen ausgehend, wiesen Mauerschwelle und angrenzende Bereiche der Drenpelmauer einen intensiven Bewuchs mit Myzel des Echten Hausschwamms auf. Zusätzlich wurde an der Mauerschwelle Befall durch den Weißen Porenschwamm festgestellt.
- In der Ebene A waren die Köpfe der Deckenbalken bis auf wenige Ausnahmen stark geschädigt bzw. völlig zerstört. Ebenso war die aus Eiche bestehende Mauerlatte, auf der die Deckenbalken aufgelagert sind, weitgehend zerstört; in diesem Fall durch Weißfäuleerreger. Starke Fäuleschäden zeigten sich ferner an den Füßen der Gratsparren. Befall wiesen auch die Streichbalken auf, waren aber zu 50 % ihres Querschnitts noch erhalten.

Frisches Hausschwamm-Myzel wurde gefunden:

- im Bereich eines Gratsparrens auf dem Putz der darunter liegenden Geschossdecke
- an verschiedenen Stellen zwischen Mauerlatte und benachbarten Ziegelsteinen

- an mehreren Stellen an den Unterseiten der Dielenbretter
- Aufgrund der zahlreichen Freilegungsarbeiten sowohl in der Ebene (A) als auch in der Ebene (B) konnte festgestellt werden, dass das Mauerwerk des Drempels **nicht** von Myzelien des Echten Hausschwamms **durchwachsen** war. Vorgefundenes Myzel befand sich entweder ausschließlich auf dem Putz und/oder zwischen Putz und Mauerwerk.

Insgesamt beschränkte sich der Hausschwamm-Befall somit auf einen engen Bereich entlang der Drempelmauer, erstreckte sich hier aber nahezu über das gesamte Dachgeschoss.

Als wesentliche Ursache der Fäulnisschäden wurde der zweifellos eine Fehlkonstruktion darstellende hölzerne Dachkasten ermittelt, über dessen Undichtigkeiten lange Zeit nachhaltig Feuchte in das Mauerwerk eindringen konnte, ohne dass entsprechende Instandhaltungsarbeiten erfolgten. Anzumerken ist, dass dennoch von der Denkmalbehörde zur Auflage gemacht wurde, den Dachkasten nach den erforderlichen Ausbesserungen unverändert zu belassen.

3 Sanierungsmaßnahmen

Mit einem nach DIN 68800-4 normgerechten Ausbau aller pilzbefallenen Teile der Dachbalken einschließlich des als Sicherheitsabstand geforderten Rückschnitts von 0,5 bis 1,0 m über den sichtbaren Befall hinaus, wäre die Deckenmalerei auf einer Breite von 1,5 bis 2 m zerstört worden. D. h. es musste normentsprechend sichergestellt werden, dass in den belassenen Holzbauteilen möglicherweise noch vorhandenes Substratmyzel sicher abgetötet wird.

Die Sanierungsmaßnahmen umfassten folgende aufeinander abgestimmte und sich ergänzende Arbeiten: (1) Heißluftbehandlung, (2) bekämpfende chemische Behandlung des Mauerwerks, (3) vorbeugende chemische Behandlung der zurückgeschnittenen und beilten Holzbauteile, (4) zimmermannsmäßige Ergänzung der ausgebauten Holzbauteile.

(1) Heißluftbehandlung

Die Heißluftbehandlung (Abb. 4) erfolgte in drei Teilbeheizungen. Hierzu wurde das Dachgeschoss in drei Abschnitte abgeplant und diese in drei aufeinander folgenden Tagen nacheinander beheizt.



Abb. 4: Heizgeräte und Zuluftrohre vor dem Gebäude.



Abb. 5: Temperaturmessfühler vor dem Einsetzen in ein Bohrloch (Pfeil).

Als zu erreichende letale Wärmedosis wurde eine Mindesttemperatur von 60 °C über die Mindestdauer von 1 Std. festgelegt. Um Schäden an der Teerpappe der Dachhaut vorzubeugen, wurde die Temperatur der einzublasenden Heißluft auf ca. 85 °C beschränkt (Teerpappe ist gemäß DIN 52133 bis 100 °C stabil).

Der Temperaturverlauf in den Holzbauteilen wurde von der ausführenden Firma (Eigenüberwachung) elektronisch mit Temperaturmessfühlern kontrolliert (Abb. 5). Je Teilbeheizung wurden bis zu 10 Messfühler eingesetzt. Bis zu 3 Messfühler dienten zur Messung der Raumlufftemperatur. Die Messungen am Messgerät erfolgten manuell über einen Drehschalter. Gegenüber einer automatischen Aufzeichnung hat eine solche den Vorteil, die abgelesenen Einzelwerte unmittelbar auf ihre Plausibilität zu überprüfen. Parallel zur elektronischen Messung erfolgte eine Fremdüberwachung durch den Sachverständigen mit Alkoholthermometern.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 wurde Herr Dr. Peylo beauftragt, zur Überprüfung der Wirksamkeit der gewählten letalen Wärmedosis von 60 °C / 1 Std. Myzelproben des Echten Hausschwamms einzubauen. Von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, waren insgesamt 30 steril teils in Glasröhrchen, teils in Extraktionshülsen eingesetzte Prüfkörper vorbereitet worden. Hiervon wurden 19 gezielt in Balken mit großen Querschnitten und in strömungstechnisch ungünstig liegende Holzbauteile eingebaut (Abb. 6). 3 weitere Prüfkörper wurden in Dachgeschossbereichen platziert, die von vornherein als nicht ausreichend aufheizbar eingestuft worden waren. 8 Prüfkörper wurden als Nullproben nicht der Hitzebehandlung ausgesetzt.



Abb. 6: Gratsparren und Stichbalken mit drei eingesetzten Myzel-Prüfkörpern des Echten Hausschwamms. Proben zur Sicherheit grün markiert. Die rote Markierung kennzeichnet den Rückschnitt des Sparrenfußes sowie des eingebundenen Stichbalkens und Balkenkopfes. In der Wand war das Holz völlig zerstört. Hier lag offensichtlich ein Befallsherd. Myzel wurde auch auf den Schalungsbrettern und im Putz der darunter liegenden Decke gefunden. Sichtbar sind ferner die freigestemmte Wand sowie der beheizte Streichbalken.

Ergebnisse

Die von der ausführenden Firma mit Messfühlern und vom Sachverständigen mit Alkoholthermometern ermittelten Temperaturen stimmen weitgehend überein. Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, zeigten die Alkoholthermometer allerdings in der Regel um 1-5 °C geringere Werte als die Messfühler an. Zurückgeführt wird dies vornehmlich auf technische Schwierigkeiten bei der Kalibrierung der Messgeräte zu Beginn der Messungen. Aber auch mit den Alkoholthermometern wurde in allen vorgesehenen Bereichen die Zieltemperatur von 60 °C gemessen (Tab. 1). Bei den in der Tabelle blau hervorgehobenen Messpunkten war von vorneherein aufgrund ihrer ungünstigen Lage keine ausreichende Aufheizung erwartet und angestrebt worden. Dies gilt insbesondere für die im Mauerwerk liegenden Messpunkte in den Balkenköpfen 9 und 12. Im Balkenkopf 4 wurden dagegen trotz seiner ungünstigen Lage rasch 80 °C erreicht. Allerdings war der Balkenkopf weitgehend pilzzerstört und das Thermometer deshalb vermutlich nicht ausreichend luftdicht genug eingesetzt worden.

Die Teerpappe (Dachschalung, Messpunkt 1) wurde nicht über 84 °C, die Deckenmalerei (Decke v. unten, Messpunkt 6) nicht über 62 °C erhitzt.

Dass die Heißluftbehandlung tatsächlich auch erfolgreich war, bzw. die Zieltemperatur von 60 °C über die Dauer von einer Stunde zur Abtötung sämtlicher Myzelien geführt hatte, bestätigten die eingebrachten Myzel-Prüfkörper. Aus keinem der 19 in den als ausreichend aufheizbar angenommenen Holzquerschnitten eingebauten Prüfkörpern wuchs im Labor das Myzel wieder aus. Da zugleich aus sämtlichen 8 außerhalb des mit Heißluft behandelten Bereiches gelagerten Kontrollproben wieder Myzel auswuchs, ist sichergestellt, dass zum Zeitpunkt ihres Einbaus in allen Prüfkörpern der Pilz vital war.

Aus den 3 Prüfkörpern, die an nicht ausreichend aufheizbaren Stellen eingebaut worden waren, wuchs aus 2 das Myzel des Prüfpilzes wieder aus. Einer dieser beiden Prüfkörper befand sich in der Trennwand bei Messpunkt 8 (Tab. 1), an dem immerhin eine Temperatur von 58 °C gemessen worden war.

Von den beiden anderen Einbaustellen liegen leider keine Temperaturmessungen vor. Insbesondere die Kenntnis über die Temperaturverhältnisse an der Einbaustelle des Prüfkörpers, aus dem unerwarteterweise das Myzel nicht wieder ausgewachsen ist, wäre interessant gewesen.

Tab. 1: Temperatur-Messwerte im Vergleich. Die Messungen erfolgten am 17.9. (1-8) und 18.9. (9-15). Gleiche Messpunkte sind einander gegenübergestellt.

Meßpunkt Meßzeit	Messung Alkoholthermometer			Messung Thermoelement (Satek)			
	15:00	16:00	17:00	Meßpunkt	15:00	16:00	17:00
1, Dachschalung	80	84	84	Dachhaut	82	79	76
2, Gurt	56	60	64	3	58	64	67
3, Gratsparren	70	74	74				
4, Balkenkopf	80	80	80				
5, Strebe	58	58	62	7	59	61	63
6, Decke v. unten	60	62	62				
8, Trennwand	50	58	58				
Mauer (11)	42	44	46				
9, Balkenkopf	48	50	56				
10, Balken	58	58	60				
12, Balkenkopf	50	50	54				
13, Balken	56	58	60	2	57	61	62
Dach (14)	40	40	40				
15, Gurt	48	60	62	11	60	62	66

(2) Chemische Behandlung des Mauerwerks

Die Mauerkrone und das Drempelmauerwerk wurden normgerecht nach Freilegen des Fugennetzes mit einem anwendungsfertigen Salzpräparat auf Borbasis im Flutverfahren behandelt (Abb. 7). Oberhalb und unterhalb der Balkenköpfe wurde zusätzlich eine Bohrlochsperr angelegt. Da im Bereich der Streichbalken das Mauerwerk von oben her nicht zugänglich war, wurde von unten her im Obergeschoss unterhalb der Stuckkante eine dritte Bohrlochreihe angebracht.



Abb. 7: Fluten der Wand oberhalb der Bohrlochsperrung und Spritzen der verbliebenen Balken sowie der Deckenschalung.

(3) Vorbeugende chemische Behandlung zurückgeschnittener und bebeilter Holzbauteile

Sämtliche zurückgeschnittene und bebeilte Holzbauteile wurden mit einem vorbeugend wirksamen Holzschutzmittel auf Borbasis oberflächlich geschützt. Die Schnittflächen der Balken wie auch die Fußpunkte der Streben in der Wand zum Treppenhaus wurden mittels Druckinjektion behandelt.

Des Weiteren wurden ein 1,5 m breiter Bereich der Deckenschalung und oberhalb der Deckenbalkenlage ein 1 m breiter Bereich der Dachschalung in die Schutzbehandlung einbezogen.

(4) Zimmermannsmäßige Ergänzung der rückgeschnittenen bzw. ausgebauten Holzbauteile

Parallel zu den chemischen Holzschutzmaßnahmen erfolgten die zimmermannsmäßigen Holzergänzungen für die rückgeschnittenen und ausgebauten Holzbauteile. Neu eingebaut wurde mit einem Kupfer-HDO/Bor - Präparat im Kesseldruckverfahren imprägniertes Kiefernholz.

4 Zusammenfassung

Die Sanierung des im Dachstuhlbereich aufgetretenen Befalls durch den Echten Hauschwamm setzte sich aus einer Kombination von chemischen Holzschutzmaßnahmen, Ausbau befallener Holzbauteile und einer flankierenden thermischen Behandlung mit Heißluft zusammen. Durch die Hitzebehandlung konnten die Rückschnitte auf das sichtbar befallene Holz beschränkt bleiben. Dadurch war es möglich, im Obergeschoss eine an den Deckenbalken befestigte wertvolle denkmalgeschützte Deckenmalerei im Jugendstil vollständig zu erhalten.

Das Drempeelmauerwerk wurde nach DIN 68800-4 mit einem Schwammsperrmittel bekämpfend behandelt. Eine Heißluftbehandlung wäre auch hier theoretisch möglich gewesen, hätte aber einen unverhältnismäßig großen technischen Aufwand erfordert.

6	Potsdam, Sanssouci - Südwestlicher Pavillon der Großen Orangerie Jahr der Sanierung: 2001 Ausführende Firma: U. Sallmann, Berlin
----------	---

1 Gebäudebeschreibung

Die zum Schlosskomplex Sanssouci gehörende Orangerie wurde 1851 bis 1864 als Teil einer von Friedrich Wilhelm IV geplanten Triumph- und Höhenstraße gebaut. Italienische Renaissancevillen dienten als Vorbild. Der 300 Meter lange Bau setzt sich zusammen aus einem Mittelbau mit einer Doppelturmanlage, Seitenpavillons sowie rechts und links anschließenden langgestreckten Pflanzenhallen zum Überwintern der kälteempfindlichen Kübelpflanzen der Parkanlage.

2 Schadenssituation

Im Rahmen holzschutztechnischer Untersuchungen wurden im südwestlichen Pavillon in den nördlichen Außenwandauflagern der Decke über dem Zwischengeschoss Befall durch den Echten Hausschwamm in Kombination mit Nassfäulepilzen festgestellt. In Teilbereichen lag zusätzlich Befall durch den Troztkopf vor. Insgesamt erstreckten sich die zu sanierenden Schäden über einen 10 Balken umfassenden Auflagerbereich.

3 Sanierungsmaßnahmen

Um die historischen Originalbauteile möglichst weitgehend zu erhalten, verbot sich ein Ausbau der Hölzer in dem Umfang, wie er in der Holznorm DIN 68800-4 gefordert wird. Im Auflagerbereich wurden die Rückschnitte auf den unmittelbaren Befallsbereich beschränkt, d.h. es wurde nur zerstörtes, nicht mehr tragfähiges Holz von den Balkenköpfen abgeschnitten. Die verbliebenen Deckenbalkenbereiche wurden sodann einer Heißluftbehandlung unterzogen, um noch vorhandenes Hausschwamm-Myzel sicher abzutöten. Das Mauerwerk wurde gemäß DIN 68800-4 mit einem Schwammsperrmittel behandelt.

3.1 Heißluftbehandlung

Der Bereich der zu beheizenden Deckenbalken wurde eingehaust, indem sie von unten und oben mit einer hitzeresistenten Folie abgeplamt wurden. Die Beheizung erfolgte als Direktbeheizung mit Propangasbrennern im Umluftverfahren. Die letale Wärmedosis betrug 55 °C über eine Dauer von 5 Stunden. Die Gesamtheizdauer betrug 18 Stunden.

Die Überwachung der Temperaturverläufe erfolgte sowohl mechanisch mit Flüssigkeitsthermometern als auch elektronisch mit Messsensoren. Es wurden jeweils 5 Messpunkte eingerichtet. Zur Überprüfung des Abtötungserfolges waren im Rahmen des Forschungsprojektes E-1998/14 von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, jeweils 10 steril in Glasröhrchen und Extraktionshülsen eingesetzte Prüfkörper in Form von myzeldurchwachsenen Kiefernklötzchen vorbereitet worden. Sie wurden von der die Heißluftbehandlung ausführenden Firma Sallmann teils in die Holzbalken und das Mauerwerk eingebaut, teils an wärmetechnisch ungünstigen Stellen ausgelegt. Zwecks Vergleichs zwischen Glasröhrchen und Extraktionshülsen wurden diese jeweils paarweise eingebaut bzw. ausgelegt. Ein Prüfkörper-Pärchen diente als Nullprobe und wurde außerhalb des Beheizungsabschnittes gelagert.

Ergebnisse

Die Gesamtdauer der Beheizung betrug 18 Stunden. Die Abtötungstemperatur von 55 °C wurde spätestens nach 12 ½ Stunden erreicht. Wie aus beigefügtem Messprotokoll der elektronischen Temperaturmessung (Anlage 1) hervorgeht, wurden in allen Messpunkten erheblich höhere, deutlich über 60 °C betragende Temperaturen registriert. Mit den Flüssigkeitsthermometern wurden zwei Stunden nach dem Abschalten der Heizgeräte noch Temperaturen von 58 °C bis 70 °C ermittelt.

Aus keinem der eingebauten bzw. ausgelegten Prüfkörper wuchs im Labor das Myzel wieder aus. Das heißt, dass in den gesundgeschnittenen Deckenbalkenköpfen Pilzmyzel sicher abgetötet werden konnte. Da aus den beiden Nullproben das Myzel wieder auswuchs, ist zugleich sichergestellt, dass zum Zeitpunkt der Heißluftbehandlung in den eingebauten bzw. ausgelegten Prüfkörpern der Pilz vital war.

3.2 Behandlung des Mauerwerks

Im Befallsbereich des Außenwandmauerwerks wurde nach DIN 68800-4 der Wandputz abgenommen, loses Fugenmaterial entfernt, das Fugennetz abgeflammt und ausgesaugt und sodann die Oberfläche mit einem Schwammsperrmittel behandelt. Im Bereich der Balkenköpfe wurde ergänzend eine Bohrlochtränkung vorgenommen

3.3 Holzergänzungen

Für die zu ergänzenden Holzbauteile wurden kesseldruckimprägnierte Kiefernholzer verwendet und in den Kopfbereichen der Deckenbalken zusätzlich 4 bis 6 Borsalzpatronen eingesetzt. Als baulich-konstruktive Maßnahme wurde im Auflagerbereich für eine Belüftung der seitlichen und oberen Mantelflächen sowie für eine Wärmedämmung der Hirnfläche der Balkenköpfe gesorgt.

4 Zusammenfassung

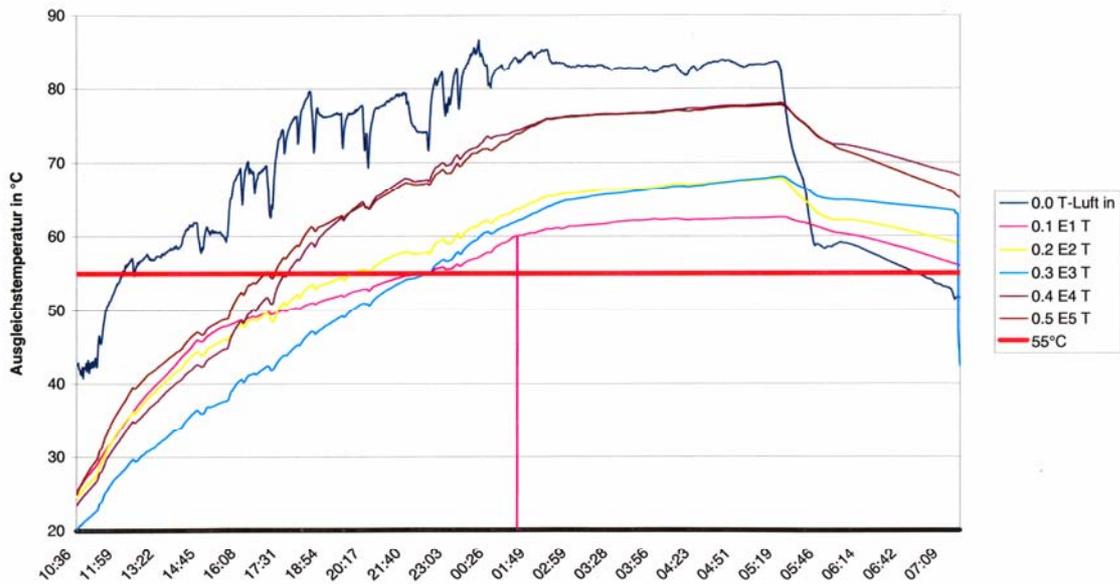
Im Auflagerbereich der nördlichen Außenwand des südwestlichen Pavillons der Orangerie des Schlosskomplexes Sanssouci lag Befall durch den Echten Hausschwamm vor. Um die historische Bausubstanz möglichst umfassend zu erhalten, wurden die Rückschnitte auf das zerstörte, nicht mehr tragfähige Holz beschränkt. Um sicherzustellen, dass aus den verbliebenen Balkenabschnitten der Pilz nicht erneut auswächst, wurde eine Heißluftbehandlung mit einer letalen Wärmedosis von 55 °C und einer Expositionszeit von 5 Stunden durchgeführt. Das Mauerwerk wurde gemäß Holzschutznorm mit einem Schwammsperrmittel behandelt. Für die erforderlichen Holzergänzungen wurde kesseldruckimprägniertes Kiefernholz verwendet und im Auflagerbereich der Deckenbalken für eine fachgerechte Konstruktion gesorgt.

Anlage 1

OTTO RICHTER GmbH - DIE FEUCHTEKLINIK
 Fachbereich SANIERUNG
 Seelenbinder Str. 137
 12555 Berlin
 Tel: 030 65 66 110
 www.feuchtechnik.de

Verantwortlicher Sachkundiger für Holzschutz:
 Ingo Thümler

Wärmebehandlung Orangerie Potsdam SW-Flügel vom 18./19.12.01 nach DIN 68800 Teil 4 Abschn. 4.2.1 Fußnote 4 (Sonderverfahren)



E1 - E6 - Elektronische Messsensoren in den Holzbauteilen
 55°C - Richttemperatur (5 Stunden)

Eingesetztes Sanierungsverfahren:
 CTS/G - Computerunterstützte Thermische Schwammbekämpfung mit Gas

7	Objekt: Stadt Brandenburg, Villa Domlinden Jahr der Sanierung: 2001 Fremdüberwachung: I. Dreger, Kleinmachnow; Begleitung zur Erfassung der Messdaten: I Müller, Berlin; Vitalitätsprüfung: M. Grinda, Berlin
----------	--

1 Gebäudebeschreibung

Bei dem Objekt Domlinden 28 in Brandenburg Stadt handelt es sich um ein zweigeschossiges Wohnhaus, das in seiner äußeren Hülle durch eine klassizistische Stuckfassade und ein Mansardendach geprägt ist.

2 Schadenssituation

In einem holzschutztechnischen Gutachten des Sachverständigen I. Dreger, Berlin, wurde in der Holzbalkendecke über dem 1. Obergeschoss unter anderem ein umfangreicher Hausschwammbefall mit massiven Schädigungen der Deckenbalken im Traufbereich und starken Myzeldurchwachsungen im Einschubbereich festgestellt. Ursache des Hausschwammbefalls waren starke Traufdurchfeuchtungen infolge einer unzureichenden und teilweise falschen konstruktiven Ausbildung der Hauptdachtraufe.

3 Sanierungsmaßnahmen

Um die Decke zum Dachgeschoss, wie vom Bauherrn gewünscht, in ihrer originalen Bausubstanz zu erhalten, wurde sich darauf verständigt, zur Abtötung des Hausschwamms eine Heißluftbehandlung durchzuführen. Im Folgenden wird ausschließlich auf das Heißluftverfahren eingegangen, da nicht bekannt ist, in welcher Art und Weise anschließend die erforderliche Regelsanierung gemäß Holzschutz-Norm DIN 68800-4 erfolgte.

Durchgeführt wurde eine Teilbeheizung der Deckenbalkenlage im Dachstuhl. Die behandelte Deckenfläche umfasste 200 m² und wurde von oben und unten eingehaust. Die zu erzielende Abtötungstemperatur betrug 55 °C für eine Mindestzeitdauer von 5 Stunden.

Die Beheizung erfolgte im Einblasverfahren mit 2 großen Heißluftmaschinen (zweistufig) und einer kleinen Heißluftmaschine (einstufig). Die Heißluft wurde von der Deckenunterseite über entsprechende Öffnungen zugeführt. Die Überwachung der Temperatur erfolgte durch die die Heißluftbehandlung ausführende Firma elektronisch mit Messfühlern (Eigenüberwachung). Es wurden insgesamt 7 Messpunkte gesetzt. Vom die Wärmebehandlung begleitenden Sachverständigen I. Müller, Berlin, wurden unabhängig hiervon insgesamt 19 Quecksilberthermometer eingebracht (Fremdüberwachung).

Zur Überprüfung des Abtötungserfolges waren im Rahmen des Forschungsprojektes E 1998/14 von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 25 Prüfkörper aus Kiefernspiltholz mit aktiven Befall durch den Echten Hausschwamm vorbereitet und in Glasröhrchen von 16 mm Durchmesser und 160 mm Länge umgesetzt worden. Diese wurden im Umfeld der Quecksilberthermometer in die Deckenbalken und Sparren eingebaut. Drei Prüfkörper wurden als Nullproben außerhalb des beheizten Bereiches gelagert, zwei waren im Prüfraum der BAM verblieben.

Ergebnisse

Die Gesamtheizdauer betrug 18 Stunden. Die Abtötungstemperatur von 55 °C wurde an allen Messpunkten erreicht und die vorgegebene Mindestdauer von 5 Stunden bei allen elektronischen Messpunkten eingehalten. Anzumerken ist, dass es in zwei mit Thermometern überwachten Balkenabschnitten Probleme bei der Durchwärmung gab, letztlich aber auch hier die letale Wärmedosis infolge des Nachheizeffektes eingehalten werden konnte. Aus den 19 eingebauten Prüfkörpern wuchs der Prüfpilz im Labor nicht wieder aus. Dagegen wuchs aus den drei außerhalb des beheizten Bereiches verwahrten Kontroll-Prüfkörpern sowie aus den zwei im Prüfraum der BAM gelagerten Prüfkörpern das Myzel aus. Demnach lag in den Prüfkörpern nachweislich vitales Myzel vor. Die auf dem Dachboden erreichten Temperaturen und die Dauer der Temperaturhaltung waren somit dort, wo die Prüfkörper eingebaut waren, ausreichend, um den Prüfpilz in den Prüfkörpern sicher abzutöten.

4 Zusammenfassung

Um die originale Bausubstanz der vom Echten Hausschwamm befallenen Balkendecke zum Dachgeschoss zu erhalten, wurde im Dachgeschoss eine Heißluftbehandlung im Ein-

blasverfahren durchgeführt. Die letale Wärmedosis betrug 55 °C / 5 Std. Aus insgesamt 19 eingebauten Prüfkörpern mit vitalem Hausschwamm-Myzel wuchs der Prüfpilz nicht wieder aus.

8	<p>Halle, Große Brauhausstraße - Ehemaliges Mess- und Eichamt</p> <p>Jahr der Sanierung: 2002</p> <p>Gutachterliche Überwachung: E. Flohr, Dessau</p>
---	--

1 Gebäudebeschreibung

Bei dem Objekt handelt es sich um ein denkmalgeschütztes 5-geschossiges Gebäude (KG, EG, 1. OG, 2. OG und DG) in L-Form mit einem Hauptgebäude (Westflügel) und Nebengebäude (Ostflügel). Es besteht aus Mauerwerk und ist auf der Ost- und Südseite mit Klinkern verblendet. Zwischen 1. OG und 2. OG sowie 2. OG und DG befinden sich Holzbalkendecken aus Kiefernholz mit Einschub und Strohlehmenschüttungen. Der Dachstuhl wird im Hauptgebäude aus einem zweifach stehenden und abgestrebten Stuhl, im Nebengebäude aus einer einfachen Hängewerkskonstruktion gebildet. Als Dacheindeckung dienen Bitumenbahnen bzw. Schindeln.

2 Schadenssituation

Durch den Sachverständigen E. Flohr, Dessau, wurden im Rahmen mehrerer holzschutztechnischer Begutachtungen folgende Pilzschäden festgestellt und detailliert dokumentiert:

- Im 2. OG und DG des Ostflügels ein umfangreicher **aktiver Befall** durch den **Echten Hausschwamm**.

Betroffen hiervon war insbesondere auch die historische Decke mit Stuckornamenten, die aus denkmalpflegerischer Sicht unbedingt zu erhalten war (Abb.1 und 2).

- In allen weiteren Geschossebenen an ca. 50 % der Balkenköpfe durch Nassfäulepilze verursachte Braunfäuleschäden in unterschiedlicher Intensität. Teils waren die Balkenköpfe vollständig zerstört, teils lediglich oberflächlich angegriffen und ohne Verlust ihrer Tragfähigkeit.

Hier galt es, originale Bausubstanz soweit wie möglich zu erhalten.



Abb. 1: Gesamtansicht der historischen Stuckdecke im 2. Obergeschoss.



Abb. 2: Frischer, im Wachstum befindlicher Fruchtkörper an der Stuckdecke.

3 Sanierungsmaßnahmen

3.1 Bekämpfung des Hausschwammbefalls im Ostflügel

Mit einem rigorosen Ausbau sämtlicher vom Hausschwamm befallener Deckenbalken bzw. ihrer Teile entsprechend den Vorgaben der Holzschutznorm DIN 68800-4 wäre zwangsläufig die darunter liegende historische Stuckdecke verloren gegangen. D.h. um die Decke

zu erhalten, musste der Rückschnitt des schwammbefallenen Holzes stark beschränkt werden. Entsprechend DIN 68800-4, Abschnitt 4.2.1 muss dann aber sichergestellt werden, dass das Myzel „durch geeignete Maßnahmen“ abgetötet wird. Als eine solche wird im Kommentar zur Norm zu Abschnitt 2.2 das Heißluftverfahren genannt.

Im Einzelnen gliederte sich die Bekämpfung in folgende Teilschritte.

1. Teilschritt: Ausbau der substanzgeschädigten Deckenbalken im Anschlussbereich zur Außenwand.

Nicht mehr tragfähige Abschnitte wurden von den Deckenbalken abgeschnitten. Der Rückschnitt erfolgte bis zum visuell gesund erscheinenden Balkenquerschnitt.

Da mit dem unumgänglichen Zurückschneiden der stark substanzgeschädigten Deckenbalken auch die Stuckdecke im Friesbereich zerstört worden wäre, war zuvor von einer Restaurierungsfirma ein ca. 0,5 m breiter Deckenstreifen entlang zur Außenmauer substanzhaltend abgenommen worden (Abb. 3).



Abb. 3: Demontierter Deckenstreifen im Anschlussbereich zur Außenwand.

2. Teilschritt: Flankierende Heißluftbehandlung

Zur Abtötung des an und in den verbliebenen Balkenabschnitten vorhandenen Pilzmyzels wurde etwa 1/3 des Dachgeschosses mit einer hitzebeständigen Folie abgeplankt und mittels eines vor dem Gebäude aufgestellten ölbetriebenen Direktbeheizers über Zugluftrohre aufgeheizt. Für die Verteilung der Heißluft im Dachraum sorgten entsprechend verlegte Rohrverteiler. Um einer möglichen zu hohen thermischen Beanspruchung der Stuckdecke

vorzubeugen, wurden die Felder zwischen den Deckenbalken zur Wärmedämmung mit Gesteinswollematten ausgelegt.

Als letale Wärmedosis wurde eine Mindesttemperatur von 60 °C über die Mindestdauer von 1 Stunde zugrunde gelegt. Zur Kontrolle der in den Holzbauteilen erreichten Temperaturen wurden insgesamt 8 Messstellen an den wärmetechnisch ungünstigsten Stellen angelegt. Die Raumtemperatur wurde an 2 Stellen gemessen. Die Messung erfolgte mit Alkoholthermometern.

Aus der von Gutachter E. Flohr durch stichprobenartige Kontrollen bestätigten Messdaten der ausführenden Firma ergibt sich eine insgesamt 10 1/2stündige Behandlungsdauer. An jeweils 2 Messstellen wurde nach 6 1/2 Std. bzw. 7 1/2 Std., an einer Stelle nach 8 1/2 und an 3 Stellen nach 9 1/2 Std. die Mindesttemperatur von 60 °C erreicht. An allen Messpunkten lag schließlich die Endtemperatur zwischen 62 und 69 °C. Die Raumtemperatur betrug bis zu 100 °C.

3. Teilschritt: Behandlung des Mauerwerks mit einem Schwammsperrmittel

Im Befallsbereich des Echten Hausschwamms wurde das Mauerwerk einschließlich des erforderlichen Sicherheitsabstandes von 1,5 m über den sichtbaren Befall hinaus im Injektionsverfahren gemäß DIN 68800-4 und WTA-Merkblatt 1-2-91 behandelt. Für das Gesims wurde das Flutverfahren eingesetzt. Zur Anwendung gelangte ein Quat-Bor-Präparat.

4. Teilschritt: Chemischer Holzschutz der verbliebenen und neu eingebauten Deckenbalken

Die verbliebenen Deckenbalken bzw. ihre Abschnitte wurden entsprechend DIN 68800-4 vorbeugend chemisch geschützt. Für die neu eingebauten Deckenbalkenteile wurde entsprechend imprägniertes Holz eingesetzt.

3.2 Behandlung der durch Nassfäuleerreger hervorgerufenen Braunfäuleschäden an den Balkenköpfen

Im Bereich der durch Nassfäuleerreger hervorgerufenen Fäuleschäden an den Balkenköpfen wurden, um die originale Bausubstanz möglichst umfangreich zu erhalten, Balkenköpfe nur dann gekürzt, wenn sie keine Tragfähigkeit mehr aufwiesen. Mussten Balkenköpfe abgeschnitten und angelascht werden, erfolgte dies unter Beibehaltung der Deckenschalung. Restliches braunfaules Holz am verbliebenen noch tragfähigen Balkenabschnitt wur-

de sorgfältig entfernt und das verbliebene gesunde Holz mittels Bohrlochtränkung chemisch behandelt (Abb. 4).



Abb. 4: Fachgerecht bebeiteter und gereinigter Deckenbalken mit Injektionspackern und Anlaschungen.

Nur oberflächlich angegriffene Balkenköpfe wurden gründlich bebeit, von Mörtel und Holzstaub gesäubert und im Injektions- und Oberflächenverfahren mit einem öligen Holzschutzmittel behandelt.

4 Zusammenfassung

Völlig zerstörte und nicht mehr tragfähige Holzbauteile wurden ausgebaut und ersetzt. Dadurch erfolgte vielfach zugleich die Abkopplung der gefährdeten Holzsubstanz vom Außenmauerwerk.

Durch Nassfäulepilze nur oberflächlich angegriffene Deckenbalkenteile und/oder von Myzel überwachsene Holzoberflächen wurden gründlich gereinigt und mit einem öligen Holzschutzmittel behandelt.

Im Bereich des Hausschwammbefalls wurden die verbliebenen Holzbauteile thermisch mit Heißluft behandelt. Mit dem **Heißluftverfahren als flankierende Maßnahme** wurde sichergestellt, dass sowohl oberflächlich an den Deckenbalken noch verbliebenes Myzel als auch sämtliches möglicherweise vorhandenes Substratmyzel in den visuell gesund erscheinenden Balkenteilen abgetötet wird.

Durch diese Kombination aus chemischen Holzschutzmaßnahmen und Holzauswechslungen nach DIN 68800-4, sowie einer flankierenden Sonderbehandlung mit Heißluft konnte die denkmalpflegerische Zielsetzung, originale Bausubstanz so weit als möglich zu erhalten, realisiert werden. Insbesondere konnten große Teile der historischen Stuckdecke im Ostflügel original gerettet werden (Abb. 5).



Abb. 5: Deckenansicht nach den Sanierungsarbeiten. Neben den alten Stuckelementen wurden vereinzelt neue Teile (Klammern) eingesetzt. Die Decke konnte zum größten Teil originalgetreu erhalten werden.

9	Potsdam, Jägerstraße 38 - Bürgerhaus Jahr der Sanierung: 2002 Gutachterliche Überwachung: I. Dreger, Kleinmachnow
----------	--

1 Gebäudebeschreibung

Bei dem Gebäude handelt es sich um ein 4-geschossiges Bürgerhaus aus der zweiten barocken Stadterweiterung der Stadt Potsdam, die ab 1733 erfolgte (Abb. 1 und 2).

Charakteristisch für den Typ dieser Häuser ist, dass die gesamte Tragkonstruktion der Außen- und Innenwände eine Fachwerkkonstruktion darstellt. Diese wurde zur damaligen Zeit für jeweils einen ganzen Straßenzug abgebunden. Durch zahlreiche bis weit in die Vergangenheit zurückreichende Eingriffe in die Gebäudesubstanz hat das bauzeitliche Erscheinungsbild allerdings starke Veränderungen erfahren.

Unabhängig hiervon gehört die gesamte zweite barocke Stadterweiterung und somit auch vorliegendes Gebäude der Jägerstraße 38 zur baugeschichtlich wertvollen Gebäudesubstanz der Stadt Potsdam und ist entsprechend unter Denkmalschutz gestellt. Das heißt, Eingriffe in die originale Bausubstanz sind auf das unbedingt Erforderliche zu reduzieren.



Abb. 1: Straßenansicht, Jägerstraße 38.



Abb. 2: Hofansicht, Jägerstraße 38.

2 Schadenssituation

Durch den Sachverständigen für Holzschutz I. Dreger, Kleinmachnow, wurden umfangreiche Schäden sowohl durch holzerstörende Pilze als auch Insekten festgestellt und detailliert dokumentiert. Betroffen hiervon waren gleichermaßen die tragenden/aussteifenden Fachwerkhölzer und Balkendecken.

Besonders gravierend war der intensive Befall durch den Echten Hausschwamm. Er erstreckte sich mit seinen teilweise überaus reichlich ausgebildeten Myzelien über alle 4 Stockwerke (KG, EG, 1. OG, DG). In verschiedenen Gebäudeteilen vorgefundene Fruchtkörper belegen zugleich, dass es sich um einen umfassenden Lebendbefall handelte (Abb. 3 bis 5). Des Weiteren lag teilweise Befall durch den Weißen Porenschwamm sowie an verschiedenen Dachstuhlholzern Befall durch weitere nicht näher identifizierte Nassfäulepilze vor. Insbesondere aber lagen im Dachgeschoss Altschäden durch erloschenen Hausbockbefall vor.

Nachdem es bereits in der Vergangenheit durch diverse Bauschäden zu erheblichen Verlusten der originalen Fachwerkkonstruktion gekommen war, wären nunmehr bei normgerechtem Ausbau aller vom Echten Hausschwamm und Weißen Porenschwamm befallener Holzbauteile die noch vorhandenen bauzeitlichen Konstruktionshölzer des Fachwerks und der Holzbalkendecken mehr oder weniger restlos verloren gegangen.



Abb. 3: Vom Echten Hausschwamm überwucherte Holzbalkendecke und Treppenunterseite.



Abb. 4: Vom Echten Hausschwamm befallener Einschub aus bauzeitlichen Füllungen.



Abb. 5: Fladenartige Fruchtkörper des Echten Hausschwamms am Fachwerkstiel der Querwand Durchfahrt.

3 Sanierungsmaßnahmen

Um die denkmalgeschützte Bausubstanz soweit als möglich zu erhalten, wurde sich für ein Sanierungskonzept aus thermisch- und chemisch-bekämpfenden, chemisch-vorbeugenden und konstruktiven Maßnahmen entschieden und folgende Verfahrensweise für die Sanierung vereinbart:

- Ausbau der Wickelstaken sowie - soweit statisch erforderlich - der vom Echten Hausschwamm zerstörten Deckenbalken.
- Im KG und EG Ausbau aller nicht tragenden Hölzer im Befallsbereich.
- Ersatzloser Ausbau der nicht bauzeitlichen Holzbalkenkellerdecke.
- Abschnittweiser ca. 1 m betragender Abtrag des stark myzeldurchwachsenen Mauerwerks im Balkenauflegerbereich der Kellerdecke.

- Behandlung der Mauergleichen mit einem Schwammsperrmittel und anschließend Aufmauern der Deckenaufleger unter Zugabe des Schwammsperrmittels zum Mörtel.
- Abschlagen des Innenputzes in den Befallsbereichen des Echten Hausschwamms, anschließend Entfernung des Fugenmörtels bis zu einer Tiefe von 1 bis 2 cm. Abschließend Behandlung mit einem Schwammsperrmittel.
- Statisch notwendige Anlaschungen der Deckenbalkenlagen, Stiele und Streben.
- Einbau einer keramischen Balkendecke über den Keller.
- Anwendung des Heißluftverfahrens zur sicheren Abtötung des Hausschwamm-Myzels in den zu verbleibenden Befallshölzern.

3.1 Heißluftbehandlung

Gemäß Schadenserhebung durch den Sachverständigen I. Dreger, Kleinmachnow, waren sämtliche verbliebene Holzbauteile mit Ausnahme des Dachraums oberhalb der Kehlbalke aufzuheizen. Als Wärmedosis wurde eine letale Temperatur von 55 °C über die Dauer von 5 Stunden vorgegeben.

Es erfolgte eine komplette Einhausung der Rüstung mit Anbindung ca. 1,0 m über dem Traufbereich (Abb. 6 und 7). Im Dachstuhl wurde zwecks Wärmedämmung von der Unterseite der Sparren bis zu den Kehlbalken eine thermische Abkopplung montiert (Abb. 8). Damit wurde einerseits eine Minimierung des aufzuheizenden Gesamtvolumens, andererseits eine gleichmäßige Durchwärmung der Holzbauteile in den Fachwerkwänden und den Geschossdecken erreicht.



Abb. 6: Straßenseitige Einhausung, aufgenommen während der Beheizung.



Abb. 7: Eingehauste Rüstung auf der Straßenseite.



Abb. 8: Dachstuhl mit Abplanung.

Eingesetzt wurden propangasbetriebene Heizgeräte im Umluftverfahren (Direktfeuerungsverfahren). Insgesamt wurden 10 Maschinen (6 Heizgeräte mit 50 kW, 4 Heizgeräte mit

150 kW Leistung) aufgestellt. Die Heizdauer betrug 61 Stunden, so dass sich eine Gesamtheizleistung von ca. 55 000 kWh ergab.

Um den Temperaturlastfall während der Beheizung relativ gering zu halten, wurde das Gebäude zu Beginn der Beheizung für eine Stunde mit halber Kapazität erwärmt. Die weiteren Heizkapazitäten wurden sodann entsprechend der Temperaturverläufe innerhalb des Gebäudes zugeschaltet bzw. umgestellt. Zur optimalen Verteilung der Luftströme innerhalb des Gebäudes und des außen liegenden Rüstungsbereiches wurden entsprechende lufttechnische Geräte (Gebläse) installiert.

Durch die ausführende Firma erfolgte eine elektronische Temperatur- und Luftfeuchteüberwachung über Datenlogger und einen PC. Insgesamt wurden 15 Messstellen in den Holzbauteilen sowie 2 Messstellen für die Raumtemperatur eingerichtet. Zur Fremdüberwachung wurden vom Sachverständigen zur Kontrolle der Temperaturverläufe 15 Flüssigkeitsthermometer auf das ganze Gebäude verteilt in den Holzbauteilen (14 Thermometer) und im Mauerwerk (1 Thermometer) installiert (Abb. 9). Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Heißluftverfahrens bzw. der gewählten letalen Wärmedosis von 55 °C / 5 Std. waren im Rahmen des Forschungsvorhabens E-1998/14 von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 20 Prüfkörper mit vom Hausschwamm durchwachsenen Kiefernklötzchen vorbereitet worden. Hiervon wurden 15 Prüfkörper an den vom Sachverständigen gewählten Temperatur-Messpunkten eingebaut. Die restlichen 5 Prüfkörper dienten als Nullproben und wurden auf der Baustelle außerhalb der beheizten Räumlichkeiten verwahrt.



Abb. 9: Elektronische Temperaturmessung.

Ergebnisse

Die von der die Heißluftbehandlung ausführenden Firma in den einzelnen Messpunkten elektronisch erfassten Temperaturverläufe sind in Anlage 1 wiedergegeben. Aufgrund der bestehenden niedrigen Außentemperaturen von ca. 5 °C - die Behandlung erfolgte im Januar - dauerte die Grundaufheizzeit über 24 Stunden, bevor an der ersten Messstelle die Zieltemperatur von 55 °C erreicht werden konnte. An der ungünstigsten Messstelle stellte sich die Zieltemperatur erst nach 55 Stunden ein. In drei Bereichen des Gebäudes wurde eine Nachbeheizung erforderlich, nachdem es hier während der Beheizung zu Regenwassereinbrüchen gekommen war.

Von den 15 eingebauten Pilz-Prüfkörpern wuchs in der BAM, Berlin, aus keiner der Prüfpilz wieder aus. Demnach haben die erreichten Temperaturen von 55 °C und die Dauer der Temperaturhaltung von 5 Stunden ausgereicht, um den Prüfpilz abzutöten. Da zugleich aus den 5 außerhalb des behandelten Gebäudes verwahrten Nullproben der Prüfpilz wieder auswuchs, ist sichergestellt, dass zum Zeitpunkt des Einbaus der Prüfkörper der Pilz vital gewesen war.

3.2 Chemische Bekämpfungsmaßnahmen

Im Anschluss an die Heißluftbehandlung wurde in den Befallsbereichen des Echten Hausschwamms das Mauerwerk gemäß DIN 68800-4, Abschnitt 4.3.3 chemisch bekämpfend behandelt.

Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Intensive Behandlung der Kellerwand unter der Kellerdecke mit einem Schwamm-sperrmittel (Fluten der abgetragenen Mauergleichen, Aufmauerung unter Zusatz des Bekämpfungsmittels; verwendet wurde eine Quat-Bor-Verbindung).
- In allen Befallsbereichen des Echten Hausschwamms eine Bohrlochbehandlung des Mauerwerks gemäß DIN 68800-4, Abschnitte 4.3.3 nach entsprechenden Vorarbeiten entsprechend Abschnitt 4.2.2.
- Vorbeugende chemische Behandlung der in den Sanierungsübergangsbereichen verbliebenen Holzbauteile.

3.3 Baulicher Holzschutz

Planung und Ausführung aller neuen Konstruktionen und Schichtaufbauten erfolgten in enger Anlehnung an die Regeln des baulichen Holzschutzes gemäß DIN 68800-2 und den Hinweisen des Beuth-Kommentars zu dieser Norm.

3.4 Holzergänzungen

Im Innenbereich wurde für die zu ergänzenden Schwellenhölzer splintfreie Eiche verbaut. Für die zu ersetzenden kleinteiligen Hölzer an der Außenfassade wurde Douglasie mit einem Splintholzanteil < 10 % verwendet. Kesseldruckimprägnierte Hölzer schieden aus, da ihre Verwendung für kleinteilige Reparaturhölzer mit einem großen Schnittflächenanteil nicht praktikabel ist.

4 Zusammenfassung

Die in dem denkmalgeschützten Gebäude noch vorhandenen bauzeitlichen tragenden/aussteifenden Fachwerkhölzer und Balken der Geschossdecken wiesen umfassende Pilzschäden auf. Insbesondere lag ein ausgedehnter, sich über alle Stockwerke erstreckender aktiver Befall durch den Echten Hausschwamm vor. Eine Entkernung der Schadensbereiche gemäß DIN 68800-4 hätte zwangsläufig zum weitgehenden Ausbau der Fachwerkwände und Deckenbalkenlage geführt.

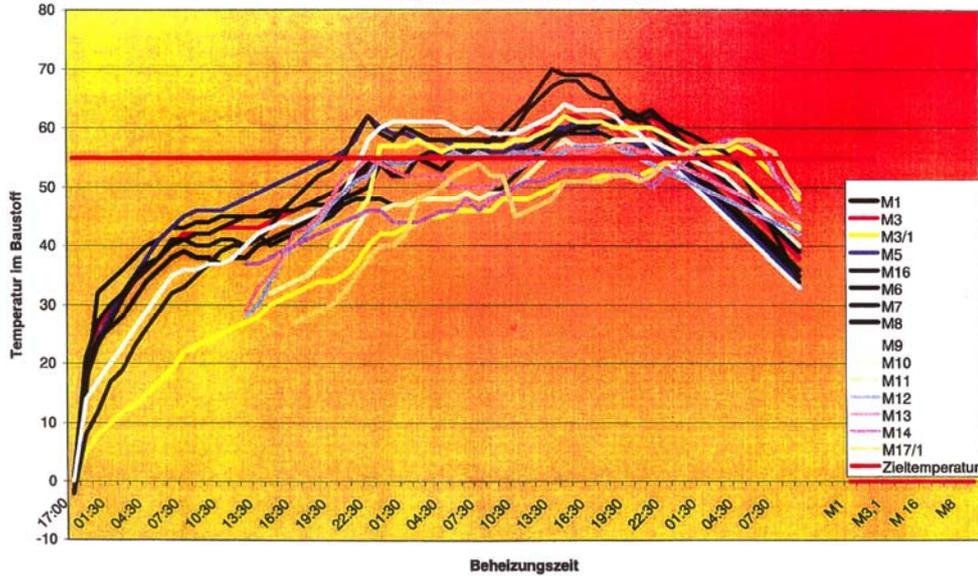
Durch eine ausgewogene Kombination aus baulich-konstruktiven, chemisch-bekämpfenden und chemisch-vorbeugenden Sanierungsmaßnahmen sowie der Anwendung des Heißluftverfahrens als flankierende Sondermaßnahme war es möglich, die denkmalpflegerische Zielsetzung, in dem bauhistorisch wertvollen Gebäude die bauzeitliche Bausubstanz weitestgehend zu erhalten, umzusetzen.

Anlage 1

OTTO RICHTER GmbH -DIE FEUCHTEKLINIK
 Fachbereich: Sanierung
 Seelenbinderstr. 137
 12555 Berlin

Projektleiter: Ingo Thümler
 Sachkundiger für Holzschutz
 Tel: 030 65 66 110
 www.feuchteklunik.de
 thuemler@otto-richter.de

Thermische Schädlingsbekämpfung Echter Hausschwamm vom 18.01.-21.01.02
DIN 68800 Teil 4 Abschn. 4.2.1 Fußnote 4 Sonderverfahren
Objekt: Jägerstraße 38 Potsdam



Eingesetztes Behandlungsverfahren: C T S - Computerunterstützte Thermische Schädlingsbekämpfung

M1	DG	Südgiebel, Kopfband
M2	DG	Elektronische Luftmessung, 9. Deckenbalken vom Südgiebel (hier nicht ersichtlich)
M 3.1	DG	Sparrenfuß, Straßenseite
M4	DG	Manuelle Messstelle, Deckenbalken Nr. 5 in Decke über OG mittig
M5	DG	Straßenseitig, rechter Gaupenstiel
M16	DG	Manuelle Messstelle, nordwestliches Traufgesims
M6	OG	Hofseitig, südöstlicher Stiel (2. Stiel von der Ecke aus)
M7	OG	Hofseitig, nordöstlicher Stiel (2. Stiel von der Ecke aus)
M8	OG	Straßenseitig, rechter (westl.) Giebelstiel
M9	OG	2. Deckenbalken vom Nordgiebel, 2,0 m vom Nordgiebel in Richtung Feld, Straßenseite
M10	OG	2. Deckenbalken vom Nordgiebel, 2,0 m in Richtung Feld, Hofseite
M11	EG	Südgiebel, 1. Stiel von Gebäudeecke Süd-Ost
M12	EG	Eckstiel, Gebäudeecke Nord-West
M13	EG	1. Feldstiel, Gebäudeecke Nord-West, ca. 0,5 m über Oberkante Fußboden
M14	EG	Hofseite, 5. Stiel von Ecke Nord-Ost
M15	EG	Lufttemperaturmessung an Treppe zum Obergeschoss (hier nicht ersichtlich)
M17/1	EG	Mauerwerk Hofseite, Ecke Süd-Ost, ca. 2,0 m über Oberkante Fußboden

10	Zwickau, Domhof 7 - Priesterhäuser Jahr der Sanierung: 2002 Gutachterliche Überwachung: E. Flohr, Dessau
-----------	---

1 Gebäudebeschreibung

Das Gebäude Domhof 5 bildet mit den Gebäuden Domhof 6, 7 und 8 als Ensemble die sogenannten Priesterhäuser (Abb. 1). Neben dem Gebäude Domhof 12 sind sie die letzten Verbliebenen, der bis in die 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts bestandenen Domhofbebauung. Die Gebäude gruppierten sich westlich um die Marienkirche und dienten seit der Reformationszeit den Bediensteten des Zwickauer Kirchen- und Schulwesens als Amtswohnung.

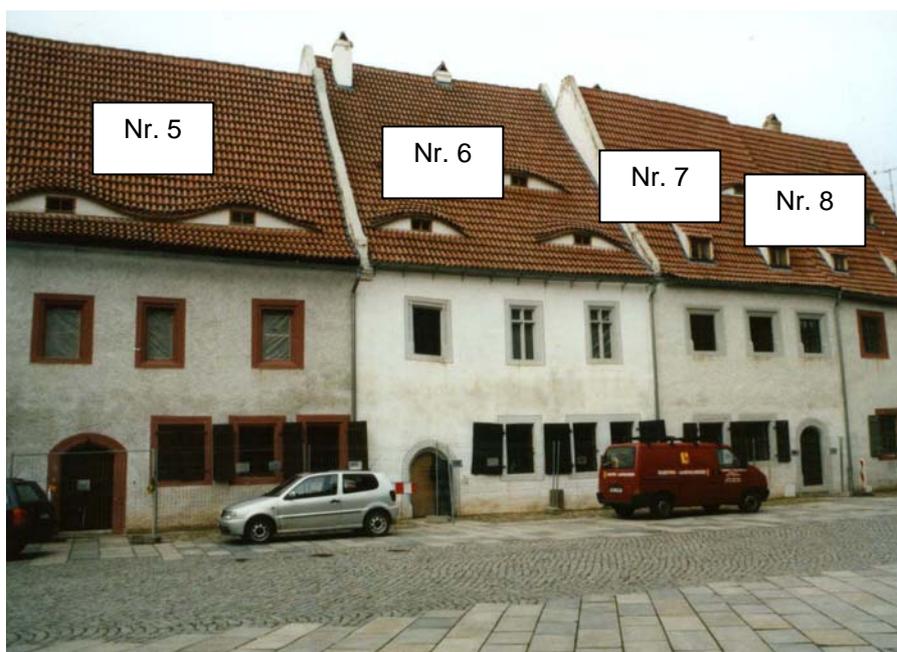


Abb. 1: Priesterhäuser 5 bis 8 in Zwickau, Ansicht von Nordost.

Das Ensemble Domhof 5 bis 8 ist von außerordentlicher bau- und kulturhistorischer Bedeutung. Dendrochronologische Untersuchungen in Gebäude Domhof 7 ergaben, dass das für die Deckenbalken verwendete Holz im Jahre 1264 gefällt worden ist. Damit gehören die Priesterhäuser in Zwickau zu den ältesten Wohnhäusern in Sachsen.

Das Gebäude Domhof 5 besteht aus einem Mischmauerwerk (Ziegel und Naturstein) sowie aus Holzbalkendecken. Das Tonnengewölbe im Keller wird aus einer ca. 28 cm star-

ken Ziegelkonstruktion gebildet (Abb. 2). Das Ziegelgewölbe bindet in seinem Fußpunkt in die aus Bruchstein errichtete Außenwand ein (vgl. Abb. 5).



Abb. 2: Blick in das Tonnengewölbe mit den beiden Kellerlichtschächten.

2 Schadenssituation

Die Priesterhäuser waren von 1993 bis 1997 umfassend saniert worden und dadurch vor einem drohenden Verfall gerettet worden, nachdem die Bausubstanz über Jahrzehnte sich selbst überlassen war.

Im Jahre 2002 musste ein auf der Innenseite des Tonnengewölbes aufgetretener Befall durch den Echten Hausschwamm bekämpft werden (Abb. 3). Als Ursache des Befalls stellten sich aus der zwischen 1993 und 1997 erfolgten Sanierung stammende Schüttstoffe und Bauabfälle heraus. Endoskopisch ließen sich zwischen den Bauabfällen Myzellappen und Myzelstränge des Echten Hausschwamms nachweisen (Abb. 4). Von dem mit organischen Baumaterialien durchsetzten Verfüllmaterial ausgehend war das Myzel sodann bis an die Innenoberfläche der Gewölbekonstruktion vorgedrungen. Abbildung 5 zeigt den Querschnitt des Kellergeschosses und die diagnostizierte Ausbreitung des Befalls.



Abb. 3: Myzel des Echten Hausschwamms auf der Mauerwerksoberfläche.

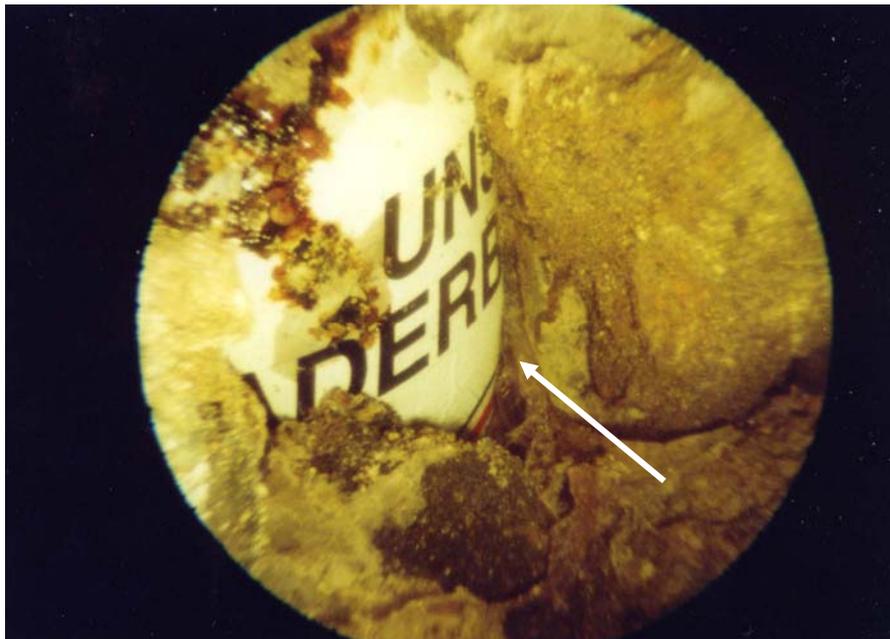


Abb. 4: Vom Myzel des Echten Hausschwamms (Pfeil) durchwachsender Bauschutt mit Bierdose.

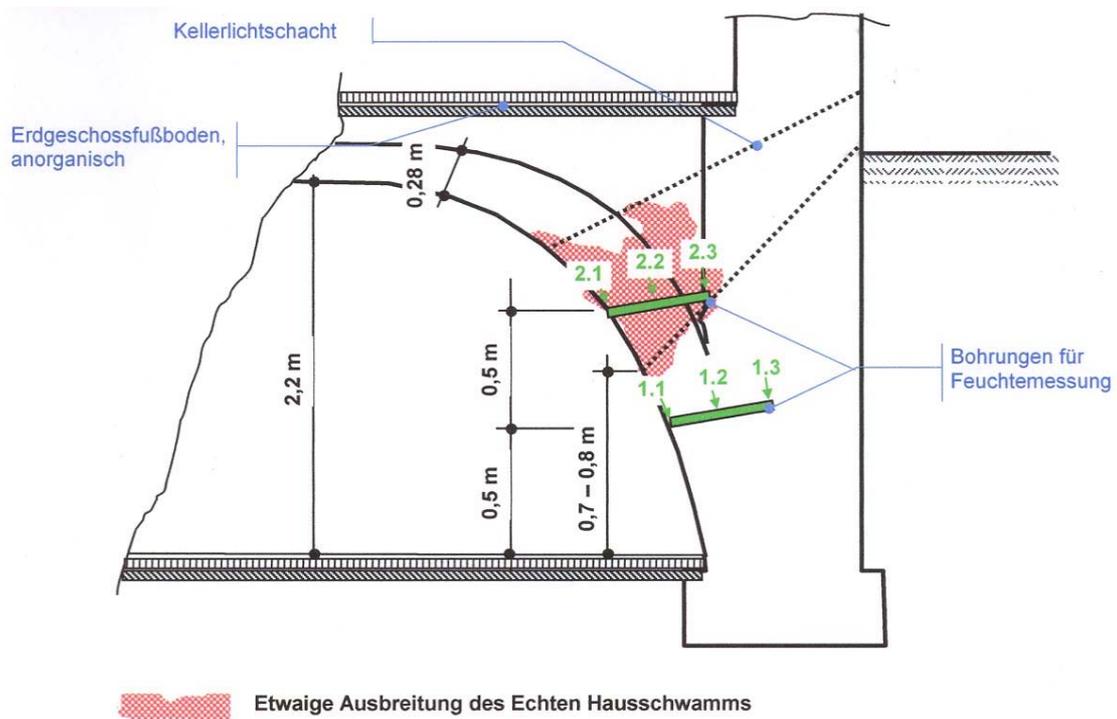


Abb. 5: Querschnitt Kellergewölbe mit Anordnung der Bohrungen für Feuchtemessung und Schwammbefall.

3 Sanierungsmaßnahmen

Nachdem vom Bauträger eine chemische Behandlung des Mauerwerks mit einem Schwammsperrmittel gemäß Holzschutz-Norm DIN 68800-4 abgelehnt worden war, erfolgte eine thermische Behandlung mittels Mikrowellen-Technik. Im Rahmen des Forschungsprojektes E-1998/14 erfolgte zur Erfolgskontrolle eine Fremdüberwachung durch den Sachverständigen E. Flohr, Dessau.

Durchführung der Mikrowellen-Behandlung

Vor der Mikrowellenbehandlung wurden an zwei Stellen in unterschiedlicher Tiefe des Mauerwerks Feuchtemessungen mit einem CM-Gerät durchgeführt (Abb. 5). Mit einer Feuchte zwischen 4,5 bis 6,5 % ergaben sich Feuchtwerte, die nur geringfügig über der hygroskopischen Ausgleichsfeuchte (Normalwert) für historische Ziegel entsprechend WTA Merkblatt 4-5-99/D liegen.

Zur thermischen Aufheizung des Mauerwerks wurden zwei Mikrowellengeräte der Herstellerfirma MTB (Mikrowellen Technik Bauwerkserhaltung) GmbH, Berlin, mit insgesamt 5,25 kW Leistungsaufnahme eingesetzt (Abb. 6). Zur Aufheizung wurde der Befallsbereich in 3 Heizabschnitte unterteilt, die nacheinander mit Heizzyklen zwischen 10 und 60 Minuten

Dauer erwärmt wurden (Abb. 6 und 7). Die jeweiligen Heizzeiten und erreichten Temperaturen sind in den Tabellen 1 bis 3 wiedergegeben.



Abb. 6: Positionierung der Mikrowellengeräte am Heizabschnitt 1.



Abb. 7: Anordnung der Strahler in Heizabschnitt 3 mit Bohrlöchern für die Hauschwamm- und Hausbockkäfer-Prüfkörper.

Die Temperaturmessung erfolgte elektronisch mit Messfühlern, die Erfassung der ermittelten Daten über PT 100. Abgelesen und protokolliert wurden die jeweils zu Ende der Heizzyklen erreichten Werte (Tab. 1 bis 3).

Tabelle 1: Heizabschnitt 1 mit einem Heizzyklus.

Heizzyklus von... bis.../t [min]	Temperaturen [°C] nach Heizzyklus						Wandober- fläche	Innenraum	rel. Luftfeuchte [%]
	Bohrung-Nr								
	1	2	3	4	5	6			
vor Heizbeginn	9	11	10	9	11	10	11	12	52
9 ³⁰ bis 9 ⁴⁰ / 10 min	10	12	11	9	12	11	95	11	58

Tabelle 2: Heizabschnitt 1 mit fünf Heizzyklen.

Heizzyklus von... bis.../t [min]	Temperaturen [°C] nach Heizzyklus						Wandober- fläche	Innenraum	rel. Luftfeuchte [%]
	Bohrung-Nr								
	1	2	3	4	5	6			
10 ⁰⁰ bis 10 ¹⁰ / 10 min	10	12	11	10	13	16	95	11	59
10 ⁴⁰ bis 10 ⁵⁰ / 30 min	10	13	11	12	16	26	75	11	52
11 ⁰⁰ bis 11 ³⁰ / 30 min	11	13	12	11	21	38	80	12	
11 ³⁵ bis 12 ⁰⁰ / 25 min	11	13	12	12	25	53	95	13	
12 ¹⁰ bis 12 ⁴⁰ / 30 min	11	13	11	12	33	64	119	14	55
12 ⁵⁰ Ausbau der Probekörper und Oberflächenmessung									
Pilzprobe				19	20	60			
Larvenprobe				20	29				

Tabelle 3: Heizabschnitt 3 mit fünf Heizzyklen.

Heizzyklus von... bis.../t [min]	Temperaturen [°C] nach Heizzyklus						Wandober- fläche	Innenraum	rel. Luftfeuchte [%]
	Bohrung-Nr								
	1	2	3	4	5	6			
13 ¹⁵ bis 14 ¹⁵ / 60 min	11	13	23				95	15	59
14 ³⁵ Abkühlung im Bohrloch				11	19	40			
14 ²⁰ bis 14 ⁵⁵ / 35 min	11	14	39				110	16	

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Mikrowellenbehandlung wurden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, vorbereitete Prüfkörper mit Hausschwamm-Myzel sowie Prüfkörper mit eingesetzten Hausbockkäfer-Larven in das Mauerwerk eingebracht (Abb. 8). Zum Einbau der Prüfkörper wurden von den beiden Fensterleibungen aus verschiedene tiefe Bohrlöcher angelegt. Die Bohrungen Nr. 1 bis 5 wurden jeweils mit einem Hausschwamm-Prüfkörper und einem Hausbockkäfer-Prüfkörper bestückt. In Bohrung Nr. 6 wurde lediglich ein Hausschwamm-Prüfkörper eingebaut. Abschließend wurden die Bohrlöcher mit Quarzsand verfüllt. Je ein Hausschwamm-Prüfkörper und Hausbockkäfer-Prüfkörper lagerte während der Mikrowellenbehandlung als Nullprobe in einem benachbarten Kellerraum.



Abb. 8: Prüfkörper vor ihrem Einbau im Mauerwerk.

Ergebnisse der Kontrollüberwachung

Aus allen eingebauten sechs Hausschwamm-Prüfkörpern sowie aus den in einem Nebenraum verwahrten Nullproben wuchs im Labor der Prüfpilz wieder aus. Aus einer Probe entwickelte sich ein für den Echten Hausschwamm atypisches Myzel (veränderte Variante infolge der Wärmebehandlung). In allen fünf Hausbock-Prüfkörpern hatten die Larven die Wärmebehandlung überlebt. Das bedeutet, dass mit den mit der Mikrowellen-Technik im Mauerwerk erreichten Temperaturen und der Dauer der Temperaturhaltung weder das Hausschwamm-Myzel noch die Hausbockkäfer-Larven abgetötet werden konnten.

4 Zusammenfassung

Wie aus den Tabellen 1 bis 3 ersichtlich ist, ließ sich allein die Wandoberfläche aufheizen, während in den Bohrungen mit Tiefen von ca. 15 cm (Bohrung Nr. 3 und 6), ca. 30 cm (Bohrung Nr. 2 und 5), 50 cm (Bohrung Nr. 4) und 75 cm (Bohrung Nr. 1) keine nennenswerte Erwärmung erzielt wurde. Lediglich in der Bohrung Nr. 6 wurde nach einer Gesamtbehandlungszeit von 95 Minuten eine Temperatur von über 50 °C sowie nach 125 Minuten von über 60 °C erreicht.

Im Rahmen des Forschungsprojektes E-1998/14 wurde von einem Holzschutz-Sachverständigen eine Mikrowellenbehandlung zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms im Mauerwerk eines Kellergewölbes durch Temperaturmessungen und Einbau von Hausschwamm-Prüfkörper mit Hausbocklarven-Prüfkörpern überwachend begleitet.

Dabei zeigte sich, dass mit der derzeitigen Mikrowellen-Technik es **nicht möglich** ist, Mauerwerk ausreichend zu erwärmen, um darin befindliches **Hausschwamm-Myzel abzutöten**. Mit der verwendeten Apparatur konnte jeweils ein nur sehr kleiner Bereich des Mauerwerks oberflächlich erwärmt werden. Flächenmäßig entsprach dieser Bereich der Strahlungs-Austrittsöffnung des Geräts.

Außerdem stellte sich heraus, dass inhomogene Baustoffe wie Mauerwerk nicht gleichmäßig erwärmt wurden (Tab. 2). Dies kann zu lokalen Überhitzungen bei gleichzeitig zu geringer Erwärmung anderer Stellen führen. Weiterhin zeigte sich bei der Entnahme der Prüfkörper, dass die aus dem erwärmten Bereich dampfförmig ausgetriebene Feuchtigkeit in den verbleibenden kühleren Mauerwerksbereichen kondensierte. Dadurch werden zusätzlich günstige Voraussetzungen für ein Myzelwachstum geschaffen.