Thermisches Kontaktverfahren für innen und außen

Bekämpfung von Holz zerstörenden Insekten und Pilzen mit sich selbst regulierenden elektrischen Heizkabeln

Von Johann Müller*, Eckhard Melcher** und Johannes Welling**

Holz zerstörende Insekten und Pilze treten sowohl in als auch außerhalb von Gebäuden auf. Die Bekämpfung von Schadinsekten im Holz hat sich jedoch – ebenso wie seit einigen Jahren die Hitzebehandlung des Echten Hausschwamms – sinnvollerweise auf den Innenbereich spezialisiert. Zwar werden Außenwände, wie beispielsweise Fachwerkkonstruktionen, in diese Maßnahmen einbezogen, aber über Bekämpfungen an direkt bewitterten Holzkonstruktionen wird kaum berichtet. In der Regel werden befallene Konstruktionshölzer bei einem überschaubaren Schaden ausgewechselt. Allerdings kommt es auch vor, dass Außenkonstruktionen derart geschädigt sind, dass sie insgesamt ersetzt werden müssen.

Schäden durch Insekten und Pilze an direkt bewitterten Rundholzkonstruktionen, vorwiegend Aussichtstürmen (Müller et al. 2015), treten oftmals nur in einzelnen Konstruktionsbereichen auf, wie beispielsweise ein Insektenbefall an der Sonnenseite oder ein Pilzbefall an unzureichend baulich geschützten Stellen.

Die Möglichkeiten der Bekämpfung von Holzschädlingen im Außenbereich sind allerdings begrenzt, da die Objekte oftmals gar nicht oder nur eingeschränkt mit größeren Fahrzeugen erreichbar sind. Der Transport von technischen Geräten, wie sie beispielsweise für die Heißluftbekämpfung erforderlich sind, ist zu entsprechenden Anwendungsorten in vielen Fällen erschwert oder wirtschaftlich nicht vertretbar. Chemische Bekämpfungsmittel dürfen dagegen in der Regel im bewitterten Bereich nicht eingesetzt werden, da die Gefahr der Auswaschung besteht. Es wurden deshalb Überlegungen dazu angestellt, ob und wie eine Bekämpfung eines örtlich begrenzten Befalls unter den in der Praxis vorgefundenen Bedingungen mit vertretbarem Technikaufwand durchführbar ist. Das hier vorgestellte Verfahren könnte sowohl in Gebäuden als auch im Außenbereich eingesetzt werden und damit eine Möglichkeit bieten, den Befall von direkt bewitterten Holzkonstruktionen bei frühzeitiger Feststellung durch eine gezielte thermische Bekämpfung zu stoppen und die Konstruktion zu retten, wobei eine Wiederbefeuchtung durch bauliche Maßnahmen zu verhindern ist.

Übliche thermische Bekämpfungsverfahren

Thermische Verfahren zur Bekämpfung eines Schädlingsbefalls haben sich seit Jahrzehnten in der Praxis beim Vorrats- und Materialschutz bewährt. Neben dem etablierten Heiß- bzw. Warmluftverfahren kommen im Holzschutz vermehrt elektrophysikalische Verfahren zum Einsatz, wobei neben dem Hochfrequenzverfahren vorrangig die Mikrowellentechnik angewendet wird (Mölder et al. 2013, Hoyer et al. 2014).

Kontaktverfahren, bei denen die Wärme mittels Heizstäben oder Heizmatten in das Holz eingebracht wird, haben sich in der Praxis bisher kaum durchgesetzt. Ein Grund hierfür dürfte die erforderliche aufwendige Temperaturregelung sein, um eine Überhitzung des Holzes zu vermeiden (Teichert 1996). Der zusätzliche Regelaufwand kann jedoch entfallen, wenn die eingesetzten Heizelemente selbstregulierend arbeiten; entsprechend funktionierende Heizkabel sind seit Jahren auf dem Markt.

Heißluftverfahren vs. elektrophysikalische Erwärmung

Heißluftverfahren wurden bereits in den 1930er-Jahren (Grosser 2013) entwickelt und seitdem erfolgreich eingesetzt. Zur Erzeugung der Wärme werden Heißluftgeneratoren verwendet, von denen die erforderliche Wärmemenge über Schlauchleitungen an bzw. in die zu beheizende Konstruktion geführt wird. Vorher muss das betroffene Bauwerk in der Regel eingehaust werden, damit die Wärme möglichst im Objekt verbleibt. Es wird so lange Heißluft in den abgeschlossenen Raum eingeblasen, bis die für die Abtötung erforderliche Temperatur im Holzinneren erreicht ist, wobei diese dann über einen Zeitraum von mind. 1 h beibehalten werden muss. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist der enorme Energieaufwand, der vor allem dadurch bedingt ist, dass der Heißluftstrom nicht im Kreislauf geführt werden kann. Zudem müssen neben dem befallenen Holz fast immer große Massen sonstigen Materials (Mauerwerk, Dachbedeckung usw.) ungewollt miterwärmt werden.

Im Gegensatz dazu wird bei Strahlungsverfahren die Wärme sowohl an der Oberfläche als auch im Inneren des Holzes durch Wechselwirkung der elektromagnetischen Strahlung mit dipolaren Molekülen (z. B. Wasser) erzeugt, indem diese in Schwingung versetzt werden. Wärmeentwicklung und -verteilung im Holz hängen dabei von zahlreichen Faktoren ab (Steinbach 2006).

Direkte Erwärmung des Holzes

Bei der Kontakterwärmung erfolgt die Wärmeübertragung in das befallene Material durch Wärmeleitung, also direkt von der Wärmequelle auf bzw. in das Holz. Wie bei allen anderen thermischen Verfahren auch, muss im Vorfeld sichergestellt werden, dass an den zu behandelnden Bauteilen keine Schäden entstehen. Als Folge einer Überhitzung könnten beispielsweise farbliche Veränderungen auf der Holzoberfläche oder durch starke Trocknung lokale Rissbildungen entstehen. Auch besteht bei Überhitzung Brandgefahr.

In Fachkreisen wurde ein Verfahren unter der Bezeichnung „Selarex" bekannt. Teichert (1996) hat die Technik als Sonderverfahren vorgestellt und als ergänzende Maßnahme zu einer Bekämpfung empfohlen. Neben elektrisch betriebenen Heizstäben und flexiblen Heizmatten bestand die Ausstattung aus einem Steuergerät bzw. Schaltkoffer mit Temperaturregler, einer Zeitschaltuhr und einer Fehlerstromüberwachung, zudem war ein Rauch- und Feuermelder vorgesehen. Diese offenbar notwendige Gesamtausstattung dürfte ein Grund dafür gewesen sein, dass das Verfahren keine größere Bedeutung in der praktischen Schädlingsbekämpfung erreichte.

Selbstregulierende Heizkabel

Im Gegensatz zu herkömmlichen Heizkabeln bestehen selbstregulierende Heizsysteme (Kabel oder Bänder) nicht aus einer Leitung, die als Ohm'scher Widerstand fungiert, sondern aus mindestens zwei parallel verlaufenden Drähten, die durch eine leitende Kunststoffmasse elektrisch miteinander verbunden sind. Das eigentliche Heizelement ist hier nicht der Leiter, sondern der leitende Kunststoff. Bei lokal ansteigender Temperatur erhöht sich der Widerstand in der Kunststoffmasse und der Leistungsumsatz sinkt, umgekehrt steigt die Leistung bei Abkühlung des Systems.

Folglich werden selbstregulierende Kabel nicht auf eine bestimmte Temperatur aufgeheizt. Vielmehr begrenzt die lokale Temperatur des Heizkabels den Stromfluss zwischen den beiden parallel verlaufenden elektrischen Leitern. Hieraus ergibt sich der praktische Vorteil, dass das Heizkabel auf kaltem Material zunächst eine hohe Leistung angibt und mit zunehmender Erwärmung der Oberfläche die Leistung und damit die Temperatur sinken. Diese Selbstregulierung erfolgt nicht einheitlich über die gesamte Länge des Kabels, sondern entsprechend der lokalen Temperatur der Oberfläche des Objektes. Für die Praxis bedeutet dies, dass der Leistungsumsatz beispielsweise an feuchten Stellen des zu behandelnden Holzes, wo eine gute Wärmeableitung in das Holz erfolgt, höher ist, als an einer trockenen Holzoberfläche mit reduzierter Wärmeleitung.

Anders als bei einer Steuerung kann die Betriebstemperatur des Heizkabels aber nicht direkt beeinflusst werden. Vielmehr ist der Betriebstemperaturbereich eine Eigenschaft des Heizkabels, welche bei der Beschaffung gewählt werden kann.

Bauartbedingt ergibt sich für selbstregulierende Kabel eine flache Form. Dies ermöglicht einen guten, flächigen Kontakt zur Holzoberfläche, ergibt jedoch einen größeren Biegeradius als bei runden Kabeln. Alternativ können die Heizkabel hochkant in eine Nut eingesetzt und dann gebogen werden, wenn die Wärme beispielsweise über Kupferbleche an die Holzoberfläche geleitet wird.

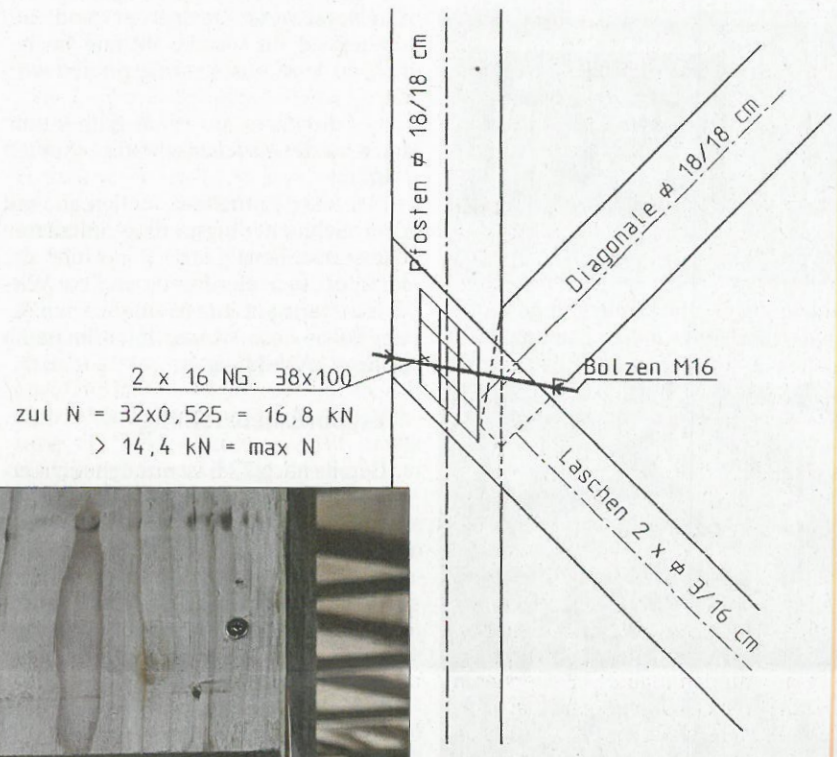

Abbildung 1 Schematische Darstellung der zu behandelnden Konstruktion

Abbildung 2 Detailaufnahme der zu behandelnden Stütze mit angebrachtem Kupferblech (hier noch ohne Dämmung) und Versorgungskabeln

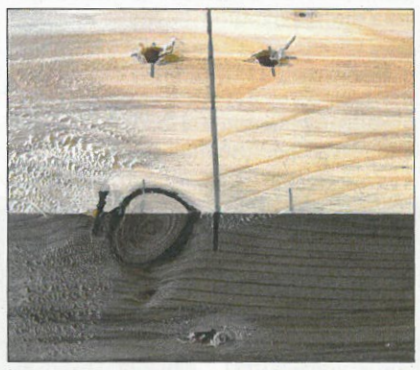

Abbildung 4 Anordnung der Bohrlöcher zum Einbringen der Temperatursensoren und des Holzdübels

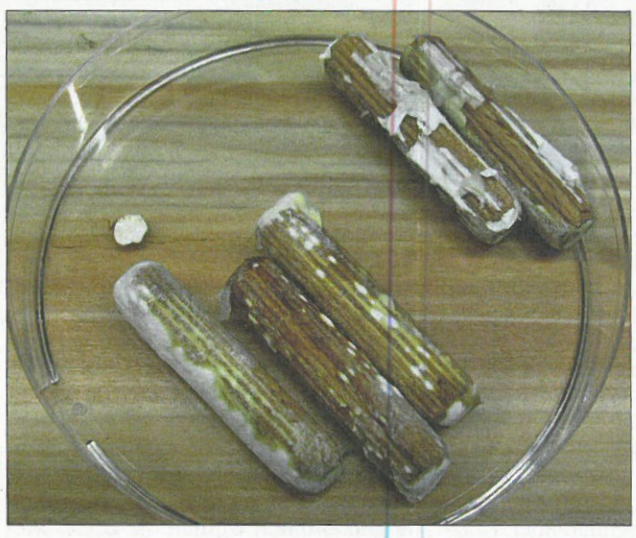

Abbildung 3 Mit dem Schmetterlingsporling bewachsene Buchenholzdübel

Für die Untersuchungen wurden Heizkabel mit einer Länge von etwa 190 cm und einer Leistung von 48 W/m, sowie ein Heizkabel mit einer Länge von 200 cm und einer Leistung von 75 W/m eingesetzt.

Datenerfassung mittels Temperaturlogger

Auch wenn selbstregulierende Heizkabel keine Temperaturregelung benötigen, muss der Verlauf der Temperatur im Holz erfasst werden, damit eine Erfolgskontrolle möglich ist. Hierzu wurde eigens ein Logger für Sensornetze auf Micro-Lan-Basis entwickelt. Das System „Milan" besteht aus einem Datenlogger und einem Verbund von maximal 48 digitalen Temperatursensoren mit einem Messbereich von –55 bis +125 °C. Beide Komponenten bilden zusammen ein Netzwerk, das seinerseits in vier voneinander unabhängige Teilnetze mit einer Kapazität von jeweils 12 Sensoren aufgeteilt werden kann und über den Datenlogger gesteuert wird.

Vorgaben der DIN 68 800-4

Zur Bekämpfung eines Insektenbefalls mit dem Heißluftverfahren oder mit elektrophysikalischen Verfahren muss gemäß der DIN 68 800-4 an allen Stellen des zu behandelnden Holzes eine Mindesttemperatur von 55 °C erreicht und für die Dauer von mindestens 60 min gehalten werden.

Zur Bekämpfung des Echten Hausschwammes mittels Heißluftverfahren werden im informativen Anhang E der DIN 68 800-4 wahlweise folgende Temperatur-Zeit-Verhältnisse vorgeschlagen: 16 h bei 50 °C, 8 h bei 55 °C oder 2 h bei 60 °C, wobei es sich bei den angegebenen Zeiträumen um Mindestzeiten handelt, für die die jeweilige Temperatur an der thermisch ungünstigsten Stelle der Querschnitte gehalten werden muss. Eine Grundlage für diese Festlegung bildete hierbei die Forschungsarbeit „Praxisorientierte Untersuchungen zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms (*Serpula lacrymans*) nach DIN-Vorschrift und alternativen thermischen Verfahren" (Grosser 2010), wobei es sich um eine „kritische Betrachtung bisheriger Ausführungspraktiken und Festlegung von Eckparametern für das Heißluftverfahren" handelt.

Versuchsdurchführungen

Das Verfahren zur Schädlingsbekämpfung mittels selbstregulierender Heizkabel wurde stufenweise optimiert, indem nach jedem Versuch eine Schwachstellenanalyse vorgenommen und beim nächsten Test eine entsprechende Anpassung der Anwendungstechnik vorgenommen wurde.

Erste Untersuchungen wurden zunächst an trockenem Holz (Holzfeuchte ca. 20 %) mit unterschiedlichen Querschnitten durchgeführt. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass sowohl Nadelholz (Fichte, Kiefer, Douglasie und Lärche) als auch Eichenholz mit Querschnitten bis zu 20 cm × 20 cm innerhalb weniger Stunden auf die gemäß DIN 68 800-4 (2012) geforderte Temperatur von 55 °C erwärmt werden können. Um die Wirksamkeit der Maßnahme auch nachzuweisen, wurden in einigen Versuchen der Einfachheit halber Fliegen-Larven (Angelmaden) in extra aus runden Holzdübeln angefertigte Mini-Behältnisse eingesetzt, die dann in das zu erwärmende Holz eingebracht wurden.

Demgegenüber wurden bei im Freien befindlichen Douglasien- und Tannenrundhölzern die 55 °C in einer Tiefe von 10 cm erst nach 24 h erreicht, bzw. in einem Bereich mit vielen Metallbolzen mit 52 °C knapp verfehlt. Bei den Versuchen an starkem Rundholz wirkten sich offenbar vor allem das Absinken der Außentemperatur über Nacht und starker Wind negativ aus. Dass die letale Wirkung auch bei Temperaturen unter 55 °C und längerer Dauer (hier 24 h) eintritt, zeigte sich daran, dass in 12 bis 14 cm Tiefe eingesetzte Larven die Behandlung nicht überlebten.

Ergänzend zu den Untersuchungen an trockenem Holz wurde auch feuchtes Holz über die Heizkabel erwärmt. Hierbei zeigte sich, dass ein Fichtenkantholz mit den Abmessungen 12 cm × 12 cm × 200 cm und Holzfeuchten von

Fortsetzung auf Seite 710

* Dr. Johann Müller, Dörpen, ist Fach- und Wissenschaftsjournalist sowie Sachverständiger für Holz.
** Dr. Eckhard Melcher und Dr. Johannes Welling (Institutsleiter) sind am Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, tätig.

Thermisches Kontaktverfahren für innen und außen

Fortsetzung von Seite 709

40 % im Reifholz bzw. 180 % im Splint bei nur dreiseitiger Erwärmung innerhalb von 220 min auf 55 °C erwärmt werden kann. Nach 10 h wurden Temperaturen zwischen 80 °C und etwa 100 °C über den gesamten Holzquerschnitt erreicht (Müller 2019).

Praktische Versuche zur Insektenbekämpfung

Praxisnahe Untersuchungen zur Bekämpfung von Insekten wurden in einer rund 20 Jahre alten Halle mit einer Fachwerkstützenkonstruktion und einer Dachkonstruktion aus Nagelbindern durchgeführt. Das unbehandelte Holz war sowohl vom Hausbock als auch vom Gemeinen Nagekäfer befallen. Für die Behandlung wurden Heizkassetten entsprechend der Masse der Stütze (18 cm × 18 cm) mit rückseitig aufgebrachter Dämmung angefertigt, wobei sich das Anbringen der Heizkabel und der Wärmedämmung in Bereichen mit Anschlüssen, Aufdoppelungen (Laschen) und Verbindungsmitteln (Abbildung 1) schwierig gestaltete.

Mit zugeschnittenen Kupferblechen konnte die Wärme jedoch in für die Heizkabel nicht erreichbare Ecken geleitet werden (Abbildung 2).

Die zu behandelnden Holzelemente wurden mit entsprechend zugeschnittenen Dämmstoffen isoliert, um die Wärmeabgabe an die Umgebung möglichst gering zu halten).

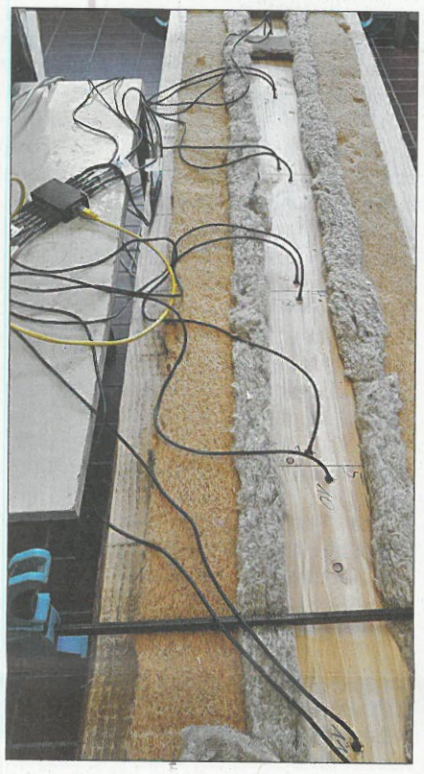

Abbildung 5 Nahezu vollständiger Versuchsaufbau, es fehlt die Dämmung an der Oberseite.

Thermische Pilzbekämpfung in feuchtem Holz

Ob mittels selbstregulierender Heizkabel auch ein Pilzbefall erfolgreich bekämpft werden kann, wurde in einem ersten Test am Thünen-Institut für Holzforschung in Hamburg geprüft. Das hierfür eingesetzte Fichtenholz wurde wenige Tage nach dem Fällen mit einer Stammholzsäge eingeschnitten und luftig gelagert. Vor dem Versuchsaufbau betrug die elektrisch gemessene Holzfeuchte in einer Tiefe von 3 cm 30 % bis 35 %. Im inneren Bereich des Kantholzes lag die Feuchte bei 40 % bis 50 % und damit deutlich über Fasersättigung.

Für die Untersuchungen wurden vorab 24 konventionelle Buchenholzdübel mit dem Schmetterlingsporling (*Trametes versicolor*) beimpft und für sechs Wochen im Klimaraum belassen (Abbildung 3).

Für den Bekämpfungsversuch mit selbstregulierenden Heizkabeln wurden sechs befallene Dübel auf halber Höhe des Kantholzes horizontal in eigens dafür vorgesehene Bohrlöcher eingebracht (Abbildung 4). Von oben wurden jeweils zwei Temperaturfühler in einem Abstand von 1 cm neben dem Impfdübel senkrecht in das Holz eingebracht. Die Enden der Sensoren reichten dabei bis zur Position des Dübels, wodurch eine Temperaturerfassung in unmittelbarer Nähe der Dübel gegeben war.

Danach wurden die Heizkabel (48 W/m) dreiseitig (unten drei, seitlich jeweils zwei) angebracht und hierauf außenseitig eine 10 cm starke Wärmedämmung (Wärmeleitfähigkeit λB [W/(m*K)]: 0,040) angebracht (Abbildung 5). Wegen der Sensorkabelzuführung und der oberseitig zur Fixierung der seitlichen Heizplatten und Dämmstoffe aufgelegten Klemmen war die Wärmedämmung an der Oberseite nicht optimal, sondern eher behelfsmäßig (wie dies an entsprechenden Stellen auch in der Praxis häufig der Fall sein wird) und mit 6 cm dicken Dämmstoffen geringer als seitlich und unten.

Unmittelbar nach Beendigung des Versuchsaufbaus wurde die Erwärmung des Holzes über die Heizkabel gestartet, wobei die Temperaturänderung an den zwölf Messpunkten kontinuierlich erfasst und über ein Display verfolgt werden konnte.

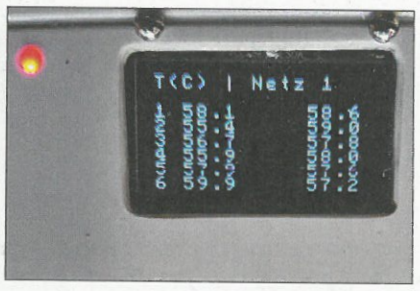

Abbildung 6: Holzinnentemperatur an den 12 Messpunkten nach rund 2 h

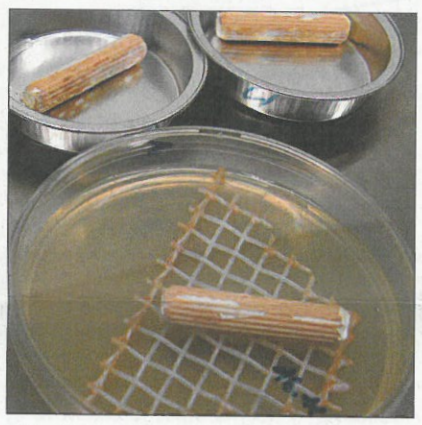

Abbildung 7 Auf Kunststoffnetz gelagerter Dübel zur Pilz-Vitalitätsprüfung

Bereits nach rund 2 h wurde die gemäß DIN 68 800-4 zur Insektenbekämpfung geforderte Mindesttemperatur an allen Messpunkten erreicht bzw. überschritten, wobei diese zwischen 55 und knapp 60 °C variierte (Abbildung 6). Nach einer weiteren etwa halben Stunde waren es im Mittel rund 62 °C. Danach wurde die Stromzufuhr an den Heizkabeln unterbrochen. An den Messpunkten stieg die Temperatur infolge des fortlaufenden Temperaturausgleichs kurzfristig weiter und erreichte stellenweise einen Maximalwert von 65 °C.

Nach einer Gesamtbehandlungsdauer von 240 min wurden die Dübel wieder aus dem Balken entfernt.

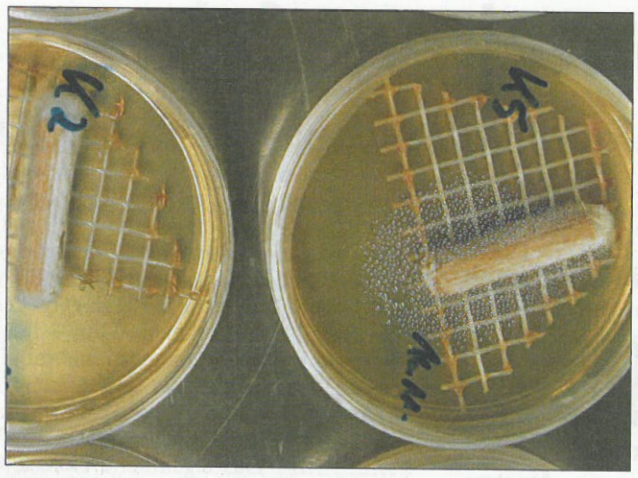

Abbildung 8 An unbehandelten Proben auswachsendes, watteartiges Myzel

Abbildung 9 Großflächig ausgewachsenes Myzel aus Dübeln, die 90 min im Trockenschrank bei 65 °C gelagert wurden.

Als Kontrollen dienten jeweils sechs befallene Dübel, die

a) in Holz eingebracht wurden, welches aber nicht erwärmt wurde;

b) in mit Alu-Folie ummanteltes Holz eingebracht wurden, welches zuvor 24 h in einem auf 65 °C beheizten Trockenschrank temperiert und anschließend für weitere 90 min im beheizten Trockenschrank exponiert wurde;

c) direkt auf Alu-Schalen für 90 min im beheizten Trockenschrank exponiert wurden.

Nach der Entnahme wurden alle mit dem Schmetterlingsporling infizierten Dübel unabhängig ihrer Exposition mit Ethanol „semi-sterilisiert" und zur Wiederbelebung auf Kunststoffnetzen in Petrischalen über Wasser im Klimaraum gelagert (Abbildung 7).

Ergebnisbeurteilung

Bereits nach 72 h ist aus den nicht erwärmten Kontrollproben (a) frisches, wattiges Myzel ausgewachsen (Abbildung 8).

Nach etwa zehn Tagen ist auch aus Dübeln (Kontrolle c), die pur auf Alu-Schalen im Trockenschrank gelagert wurden, der Schmetterlingsporling wieder ausgewachsen (Abbildung 9).

Diese Beobachtung war zu erwarten, da bereits Snell (1923) feststellte, dass in feuchter Atmosphäre Holz zerstörende Pilze in kürzerer Zeit oder bei niedrigeren Temperaturen abgetötet werden, als dies bei einer trockenen Atmosphäre der Fall ist.

Demgegenüber konnte an den Dübeln (Kontrolle b), die sich in mit Alu-Folie ummantelten Holz im Trockenschrank befanden, kein Auswachsen des Schmetterporlings beobachtet werden. Gleiches gilt auch für die Dübel, die sich in dem Holz befanden, welches über selbstregulierende Heizkabel thermisch behandelt wurde. Allerdings weisen beide Chargen einen deutlichen Befall an unterschiedlichen Schimmelpilzen auf, welcher auf Fremdinfekte infolge der teilweise nicht sterilen Bedingungen zurückzuführen ist (Abbildungen 10 a und 10 b).

Fazit und Diskussion

Selbstregulierende Heizkabel bieten einige Vorteile. Bedingt durch ihre flache Form ist ein guter, direkter Kontakt über die zu behandelnde Fläche gegeben. Weiterhin können selbstregulierende Heizkabel ohne Übertemperaturschutz betrieben werden und erfordern keinerlei Regelung, da der Leistungsumsatz mit zunehmender Kabeltemperatur sinkt, sobald die Wärmeableitung in das Holz reduziert wird. Zudem können sie ohne größeren Aufwand an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden, da sie problemlos auf jede beliebige Länge gekürzt werden können.

Auch das verwendete Temperaturerfassungs-System hat sich prinzipiell als praxistauglich erwiesen. Jedoch bedarf es beim Einsatz der Temperatursensoren noch einiger Optimierungen, da z. B. durch die Erwärmung geringfügige Formänderungen bei den Bohrlöchern dazu führten, dass einige Sensoren bei einem zu geringen Übermaß der Bohrlöcher nach Abschluss nur sehr schwer aus dem Holz gezogen werden konnten, was leicht zu einer Zerstörung dieser führen kann.

Da jedoch die Holzoberfläche so weit wie möglich durch Heizplatten und Dämmstoff abgedeckt wird, müssen Lösungen für das Einbringen der Sensoren gefunden werden.

Die praktischen Versuche zur Insektenbekämpfung belegen, dass die Anwendung des Kontaktverfahrens grundsätzlich möglich ist. Wie bei anderen thermischen Verfahren auch, sind jedoch bei diesem Verfahren die örtlichen Besonderheiten im Detail zu berücksichtigen, um einerseits Schäden am Objekt infolge der Sanierungsmaßnahme zu vermeiden und andererseits ein schnelles Aufheizen des befallenen Holzes innerhalb kurzer Zeit bei gleichzeitigem Bekämpfungserfolg zu gewährleisten.

Daneben deuten erste Ergebnisse darauf hin, dass auch die Bekämpfung eines örtlich begrenzten Pilzbefalls mittels selbstregulierender Heizkabel möglich sein sollte. Allerdings bedarf es hierzu weiterer Untersuchungen, bevor dieses Verfahren Eingang in die Praxis der Pilzbekämpfung finden kann.

So geht z. B. aus der Zusammenstellung von Huckfeldt und Schmidt (2015), die auf verschiedenen Quellen beruht, eindeutig hervor, dass die Letaltemperatur abhängig von den Rahmenbedingungen ist, wie der Materialfeuchte, der Behandlungstemperatur, der Dauer der thermischen Behandlung und der Pilzart selbst. Beispielsweise ist in feuchtem Holz und trockener Atmosphäre das Substratmyzel des Tannenblättlings (*Gloeophyllum abietinum*) nach einer Expositionszeit von 3 h bei 70 °C abgestorben, während dies beim Zaunblättling (*Gloeophyllum trabeum*) bei 75 °C erst nach 3 bis 4 h zu beobachten war. Demgegenüber reagieren z. B. der rosafarbene Saftporling (*Oligoporus placenta*) oder der Echte Hausschwamm (*Serpula lacrymans*) wesentlich temperaturempfindlicher. So stirbt das Substratmyzel des Saftporlings in feuchtem Holz und trockener Atmosphäre nach einer Expositionszeit von 1 h bei 68 °C ab während für den Echten Hausschwamm dies nach 3 h bereits bei 40 °C der Fall ist.

Folglich ist der Nachweis zu erbringen, dass auch andere Holz zerstörende Pilze bei Anwendung dieser Methode zweifelsfrei abgetötet werden. Insbesondere sind die anzuwendenden bzw. einzuhaltenden Parameter – wie Holzfeuchte, Mindesttemperatur und Behandlungsdauer – klar zu definieren.

Diskussionswürdig erscheint in diesem Zusammenhang, ob ein Abtötungserfolg generell in allen Konstruktionsteilen erreicht werden muss und wie dieser gegebenenfalls nachgewiesen werden soll. Ist z. B. die Feuchtequelle in einem Schadensfall eindeutig festgestellt und beseitigt worden und eine Trocknung des Holzes innerhalb weniger Wochen gewährleistet, dann sollte eine parallel durchgeführte Wärmebehandlung den Pilz derart geschwächt haben, dass ein Holzabbau weitestgehend unterbunden wird.

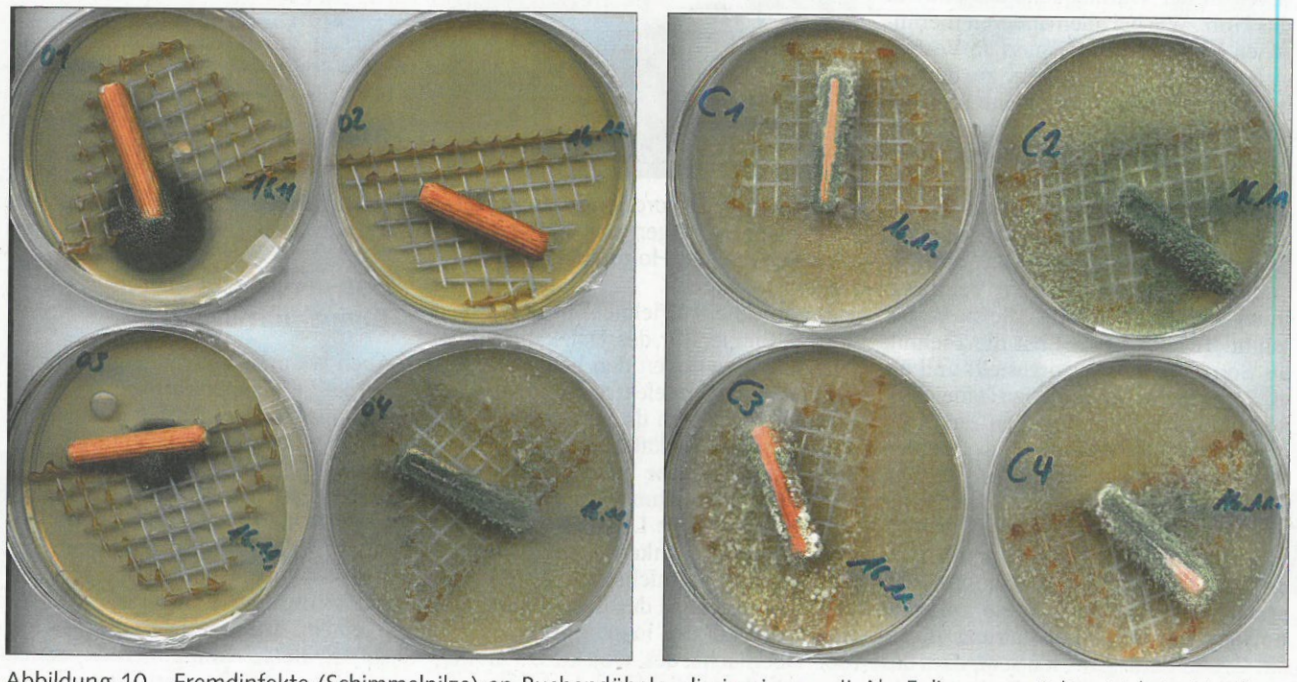

Abbildung 10 Fremdinfekte (Schimmelpilze) an Buchendübeln, die in einem mit Alu-Folie ummantelten Holz im Trockenschrank bei 65 °C für 90 min exponiert wurden (Abbildung 10 a, links) sowie Dübel, die sich in dem Holz befanden, welches über Heizkabel thermisch behandelt wurde (Abbildung 10b, rechts)

Literatur:

Autorenkollektiv 2013: Holzschutz. Praxiskommentar zu DIN 68 800 Teile 1 bis 4: Editor: R. Marutzky. Beuth Verlag. ISBN 978-3-410-21202-7

DIN 68800-4:2012-02 Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten.

Grosser, D. 2010: Praxisorientierte Untersuchungen zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms (Serpula lacrymans) nach DIN-Vorschrift und alternativen thermischen Verfahren. Abschlussbericht, Fraunhofer IRB Verlag, 133 S.

Hegarty, B.; Buchwald, G.; Cymorek, S.; Willeitner, H. 1986: Der Echte Hausschwamm - immer noch ein Problem? Material und Organismen 21 (2): 87-99.

Hoyer, C.; Pfütze, C.; Plarre, R.; Trommler, U.; Steinbach, S.; Klutzny, K.; Holzer, F.; Rabe, C.; Höhlig, B.; Kopinke, F.-D.; Schmidt, D.; Roland; U. 2014: Chemikalienfreie Bekämpfung von Holzschädlingen durch dielektrische Erwärmung mit Radiowellen und Mikrowellen. Chem. Ing. Tech. 86 (8), 1187-1197

Huckfeldt, T.; Schmidt, O. 2015: Hausfäule- und Bauholzpilze. Diagnose und Sanierung. 2. Auflage, Rudolf Müller Verlag

Mölder, H.; Järvik, J.; Pilt, K.; Märss, M.; Reiska, R. 2013: Microwave treatment against the attack of wood boring in timber structures. Agronomy Research 11 (2), 497-504

Müller, J. Schmidt, H.; Melcher, E. 2015: Evaluierung von frei bewitterten, tragenden Holzbauteilen ohne Erdkontakt, die mit Holzschutzmitteln behandelt wurden. Fraunhofer IRB Verlag, Band T 3322, ISBN 978-3-8167-9551-3.

Müller, J. 2019: Heißes Holz - Selbstregulierende Heizkabel zur Insektenbekämpfung. DpS - Fachzeitschrift für Schädlingsbekämpfung 01/2019, 20-21.

Snell, W. H. 1923: The effect of heat upon the mycelium of certain structural-timber-destroying fungi within wood. American Journal of Botany, X (8), 399-411.

Steinbach, S. 2006: Holz unter Einfluss von Mikrowellen - eine Alternative bei der Bekämpfung holzzerstörender Pilze und Insekten. Holztechnologie, Heft 5/2006, S. 37-44.

Teichert, M. 1996: Untersuchungen über eine Wärmebehandlung von verbautem Holz zum Abtöten von Schwammbefall. Diplomarbeit Universität Hamburg, Fachbereich Biologie. 89 S.