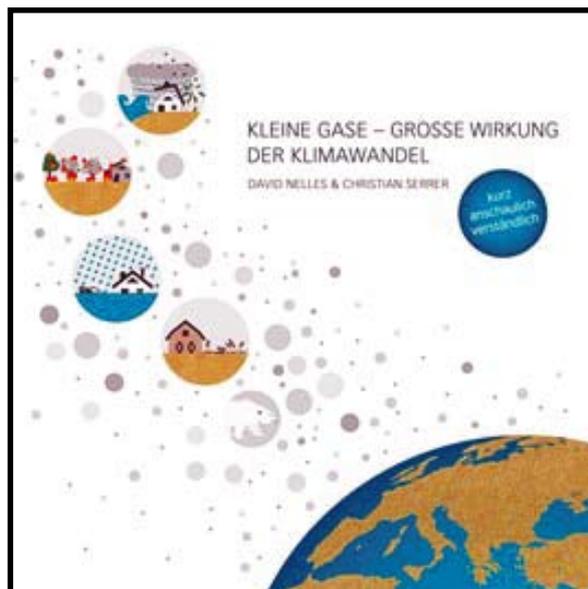


jedermann verständliches Buch über die Ursachen und Folgen des Klimawandels zu schreiben.

Das Buch „Kleine Gase – Große Wirkung: Der Klimawandel“ wurde am 04. Dezember 2018 in München veröffentlicht – mittlerweile gehört es zu den meisten jemals verkauften Büchern über den Klimawandel. Verfügbar ist es für 5 Euro im Buchhandel und über www.klimawandel-buch.de und.

David Nelles und Christian Serrer

E-Mail: info@klimawandel-buch.de



Bekämpfung von Holz zerstörenden Organismen mit selbstregulierenden Heizkabeln

Johann Müller, Eckhard Melcher, Johannes Welling

Holz zerstörende Insekten und Pilze kommen in und außerhalb von Gebäuden vor. Deren Bekämpfung hat sich – ebenso wie seit einigen Jahren die Hitzebehandlung des Echten Hausschwamms – sinnvollerweise auf den Innenbereich spezialisiert. Zwar werden Außenwände, wie beispielsweise eine Fachwerkkonstruktion, in diese Maßnahmen einbezogen, aber über Bekämpfungen an direkt bewitterten Holzkonstruktionen wird kaum berichtet. In der Regel werden befallene Konstruktionshölzer der Einfachheit halber ausgewechselt.

Schäden durch Holz zerstörende Organismen an direkt bewitterten Holzelementen – z.B. Aussichtstürmen [1] – treten oftmals nur an bestimmten Teilen einer Konstruktion auf,

wie etwa ein Insektenbefall an der Sonnenseite oder ein Pilzbefall an unzureichend geschützten Stellen. In vielen Fällen wird die Sanierung eines Schädlingsbefalls im Außenbereich dadurch erschwert, da der Transport von notwendigem Equipment, wie beispielsweise die Heizluftbekämpfung sie erfordert, zu einem erhöhten Kostenaufwand führt. Da auch chemische Bekämpfungsmittel im bewitterten Bereich nur bedingt in Frage kommen, wurden Untersuchungen durchgeführt, wie eine Bekämpfung eines örtlich begrenzten Befalls unter den in der Praxis vorgefundenen Bedingungen mit vertretbarem Technikaufwand durchführbar ist.

1. Ausgangssituation

Thermische Verfahren zur Bekämpfung eines Schädlingbefalls haben sich seit Jahrzehnten sowohl im Vorrats- [2] als auch Materialschutz [3] bewährt. Neben dem etablierten Heiß- bzw. Warmluftverfahren, kommen beim Holzschutz vermehrt elektrophysikalische Verfahren [4] zum Einsatz, wobei vorrangig die Mikrowellentechnik angewendet wird [5, 16].

Kontaktverfahren, bei denen die Wärme mittels Heizstäben oder Heizmatten zugeführt wird, haben sich in der Praxis bisher kaum durchsetzen können. Ein Grund hierfür dürfte die aufwändige Temperaturregelung sein, um eine Überhitzung des Holzes zu vermeiden [6]. Diese Regeltechnik kann jedoch entfallen, wenn die eingesetzten Heizelemente selbstregulierend arbeiten; derartige Heizkabel werden seit Jahren angeboten.

2. Verfahrensbeschreibungen

Das Heißluftverfahren wurde bereits in den 1930er Jahren [7] entwickelt und seitdem erfolgreich eingesetzt. Zur Erzeugung der Wärme werden Heißluftgeneratoren verwendet, von denen die Wärme über Rohrleitungen an bzw. in die zu beheizende Konstruktion geführt wird. Jedoch muss das betroffene Bauwerk in der Regel zuvor thermisch von der Umgebung abgetrennt werden, damit die warme bzw. heiße Luft möglichst im Objekt verbleibt. Dem so

vorbereiteten Objekt wird nun so lange Wärme zugeführt, bis die vorgeschriebene Temperatur erreicht ist, wobei diese dann über einen Zeitraum von mind. einer Stunde beibehalten werden muss. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist der enorme Energieaufwand, der vor allem dadurch bedingt ist, dass nicht zu behandelnde Bauteile, wie Mauerwerk oder Fußböden, zwangsweise miterwärmt werden.

Im Gegensatz dazu wird bei den ebenfalls seit den 1930er Jahren [8] angewandten elektrophysikalischen Verfahren (Hochfrequenz- und Mikrowellenverfahren) die Wärme durch Wechselwirkung der elektromagnetischen Strahlung mit dipolaren Molekülen (z. B. Wassermolekülen) erzeugt. Wärmeentwicklung und -verteilung im Holz hängen dabei von zahlreichen Faktoren ab, wie z.B. Anordnung der Antennen und deren Abstand zur Holzoberfläche [9].

2.1 Direkte Erwärmung des Holzes

Bei der Kontakt erwärmung wird die Wärme durch Wärmeleitung über die Kontaktflächen in das zu behandelnde Material übertragen und dort weitergeleitet. Wie bei anderen thermischen Verfahren auch, muss im Vorfeld sichergestellt werden, dass an den Bauteilen keine Schäden als Folge der Behandlung resultieren, wie farbliche Veränderungen der Holzoberfläche, lokale Rissbildungen oder die Entzündung leicht brennbarer Stoffe.

In Fachkreisen wurde ein Verfahren unter der Bezeichnung »Selarex« bekannt, welches Teichert [6] als Sonderverfahren vorgestellt und als ergänzende Maßnahme zu einer Bekämpfung empfohlen hat. Die Ausstattung besteht aus einem Steuergerät mit Temperaturregler, einer Zeitschaltuhr und einer Fehlerstromüberwachung sowie elektrisch betriebenen Heizstäben und flexiblen Heizmatten inklusive Rauch- und Feuermelder. Diese relativ umfangreiche Ausrüstung dürfte ein Grund dafür gewesen sein, weshalb das Verfahren keine größere Bedeutung in der praktischen Schädlingsbekämpfung erreicht hat.

2.2 Selbstregulierende Heizkabel

Im Gegensatz zu konventionellen Heizkabeln bestehen selbstregulierende Heizkabel aus zwei parallel verlaufenden Drähten, die durch eine leitende Kunststoffmasse elektrisch miteinander verbunden sind. Das eigentliche Heizelement sind daher nicht die Drähte, sondern der Kunststoff, wobei sich der Widerstand der Kunststoffmasse mit steigender Temperatur erhöht und dadurch der Leistungsumsatz sinkt; umgekehrt steigt die Leistung bei Abkühlung an. Folglich wird die lokale Temperatur des Kunststoffs den Stromfluss zwischen den beiden parallel verlaufenden elektrischen Leitern begrenzen. Vorteilhaft hieran ist, dass das Heizkabel auf kaltem Material zunächst eine hohe Leistung abgibt, diese aber mit zunehmender Oberflächentemperatur

abnimmt. Dies führt dazu, dass die Selbstregulierung nicht gleichmäßig über die gesamte Länge des Kabels erfolgt, sondern durch die lokale Oberflächentemperatur bestimmt wird. Hieraus resultiert, dass der Leistungsumsatz beispielsweise an feuchten Stellen des Holzes höher ist, als an einer trockenen Holzoberfläche mit reduzierter Wärmeleitung.

Bauartbedingt weisen selbstregulierende Kabel eine flache Form auf, wodurch sich ein guter Kontakt mit der Holzoberfläche ergibt. Allerdings ist der Biegeradius bedingt durch die Form des Kabelquerschnitts größer als bei runden Kabeln. Vielmehr stellt der Temperaturbereich eine Eigenschaft des Heizkabels dar, welche im Zuge der Beschaffung zu berücksichtigen ist. Zudem ist der „Temperaturbereich“ eine wesentliche Eigenschaft des Heizkabels, welche im Zuge der Beschaffung zu berücksichtigen ist.

2.3 Datenerfassung mittels Temperaturlogger

Um das Erreichen der Mindesttemperatur sowie die Einhaltung der Behandlungszeit nachzuweisen, müssen beide Größen erfasst werden. Hierfür wurde das System MILAN, bestehend aus einem Datenlogger und einem Verbund von maximal 48 digitalen Temperatursensoren mit einem Messbereich von -55 bis +125 °C auf MicroLAN-Basis, entwickelt. Beide Komponenten bilden zusammen ein

Netzwerk, das in vier voneinander unabhängige Teilnetze mit einer Kapazität von jeweils 12 Sensoren aufgeteilt werden kann und über den Datenlogger gesteuert wird.

2.4 Vorgaben der DIN 68800-4

Zur Bekämpfung eines Insektenbefalls mit dem Heißluftverfahren oder mit elektrophysikalischen Verfahren muss gemäß der Norm DIN 68800-4:2012 [14] an allen Stellen des zu behandelnden Holzes eine Mindesttemperatur von 55 °C erreicht und für mindestens 60 min gehalten werden.

Zur Bekämpfung des Echten Hausschwammes mittels Heißluftverfahren werden im informativen Anhang E der DIN 68800-4 wahlweise folgende Temperatur-Zeit-Verhältnisse vorgeschlagen: 16 h bei 50° C, 8 h bei 55 °C oder 2 h bei 60 °C.

3. Versuchsdurchführungen und Praxistests

Erste Untersuchungen wurden zunächst an trockenem Holz (Holzfeuchte ca. 20 %) mit unterschiedlichen Querschnitten durchgeführt, wobei 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 wurden. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass sowohl Nadelholz (Fichte, Kiefer, Douglasie und Lärche) als auch Eichenholz mit Querschnitten bis zu 20 cm x 20 cm innerhalb

weniger Stunden auf die geforderte Temperatur von 55 °C erwärmt werden kann. Um die Wirksamkeit der Maßnahme auch de facto zu beweisen, wurden Fliegenlarven (Angelmaden) in aus runden Holzdübeln angefertigte Minibehältnisse eingesetzt und so im Vorfeld in das zu erwärmende Holz eingebracht. Parallel erfolgte stufenweise eine Optimierung des Verfahrens zur Schädlingsbekämpfung mittels selbstregulierender Heizkabel, indem nach jedem Versuch eine Schwachstellenanalyse vorgenommen und beim nächsten Test die Anwendungstechnik entsprechend angepasst wurde.

Ergänzend zu den Untersuchungen an trockenem wurde auch feuchtes Holz verwendet. Hierbei zeigte sich, dass ein Fichtenkantholz mit den Abmessungen 12 cm x 12 cm x 200 cm und Holzfeuchten von ca. 40 % im Reif- bzw. über 150 % im Splintholz bei nur dreiseitiger Erwärmung innerhalb von 220 Minuten auf 55 °C erwärmt werden kann. [10]

Praxisnahe Untersuchungen zur Bekämpfung von Holz zerstörenden Insekten erfolgten an einer Fachwerkstütze (Kiefernholz) und Nagelbindern einer Dachkonstruktion (Kiefern- und Lärchenholz) einer ca. 20 Jahre alten Halle. Das naturbelassene Holz war sowohl vom Hausbock (*Hylotrupes bajulus*) als auch vom Gemeinen Nagekäfer (*Anobium punctatum*) befallen. Für die Behandlung wurden Heizkassetten entsprechend der Dimension der Stütze und diagonalen Streben

(18 cm x 18 cm) mit rückseitig aufgebrachter Dämmung angefertigt, wobei sich das Anbringen der Heizkabel und der Wärmedämmung in Bereichen mit Anschlüssen, Laschen und Verbindungsmitteln (Abb. 1) schwierig gestaltete.

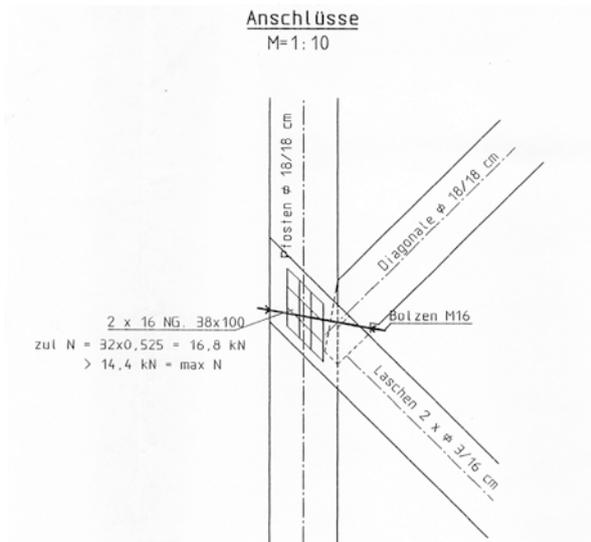


Abb. 1: Schematische Darstellung einer behandelten Konstruktion

Dabei wurden Bereiche, die nicht mit Heizkabeln versehen waren, über extra angepasste Kupfer(-leit-)bleche erwärmt.



Abb. 2: Detailaufnahme der zu behandelnden Stütze mit angebrachtem Kupferblech

Die Bleche wurden ca. 5 cm unter die Heizkassetten geschoben und somit von diesen erwärmt (Abb. 2). Abschließend wurden an die Heizkassetten angrenzende Bereiche der zu behandelnden Holzelemente (beispielsweise in Längsrichtung der Stützen) mit Dämmstoffen isoliert, um die Wärmeabgabe an die Umgebung möglichst gering zu halten.

Die Stützen und Streben konnten – abhängig von der Außentemperatur, Dämmung und Aufbringung der Heizkabel – in der Regel in einem Zeitraum von 5 bis 7 Stunden auf 55 °C in Bauteilmitte erwärmt werden. Allerdings führte die thermische Behandlung des Kiefernholzes im Bereich von Ästen zu einem beachtlichen Harzaustritt (Abb. 3). Harzfluss beginnt bekanntlich bei Temperaturen oberhalb von 55–60 °C.



Abb. 3: Harzaustritt an einer Kiefernstütze nach einer Bekämpfungsmaßnahme

4. Thermische Pilzbekämpfung in feuchtem Holz

Ob auch ein Pilzbefall mittels selbstregulierender Heizkabel bekämpft werden kann, wurde am Thünen-Institut für Holzforschung geprüft. Das hierfür eingesetzte Fichtenholz war zuvor wenige Tage nach dem Fällen eingeschnitten und luftig gelagert worden. Zu Versuchsbeginn betrug die elektrisch gemessene Holzfeuchte in einer Tiefe von 3 cm 30 % bis 35 %, im inneren Bereich des Kantholzes 40 % bis 50 %. Für die Untersuchungen wurden vorab 24 handelsübliche Buchenholzdübel mit dem Schmetterlingsporling (*Trametes versicolor*) beimpft und für sechs Wochen im Klimaraum belassen (Abb. 4).



Abb. 4: Mit dem Schmetterlingsporling bewachsene Buchenholzdübel

Für den Bekämpfungsversuch wurden zunächst sechs durch Pilze befallene Dübel auf halber Höhe des Kantholzes horizontal in eigens dafür vorgesehene Bohrlöcher (Abb. 5) eingeschlagen.



Abb. 5: Anordnung der Bohrlöcher zum Einbringen der Temperaturfühler und des infizierten Holzdübels

Anschließend wurden jeweils zwei Temperaturfühler von oben in einem Abstand von 1 cm neben dem Impfdübel senkrecht in das Holz eingebracht.

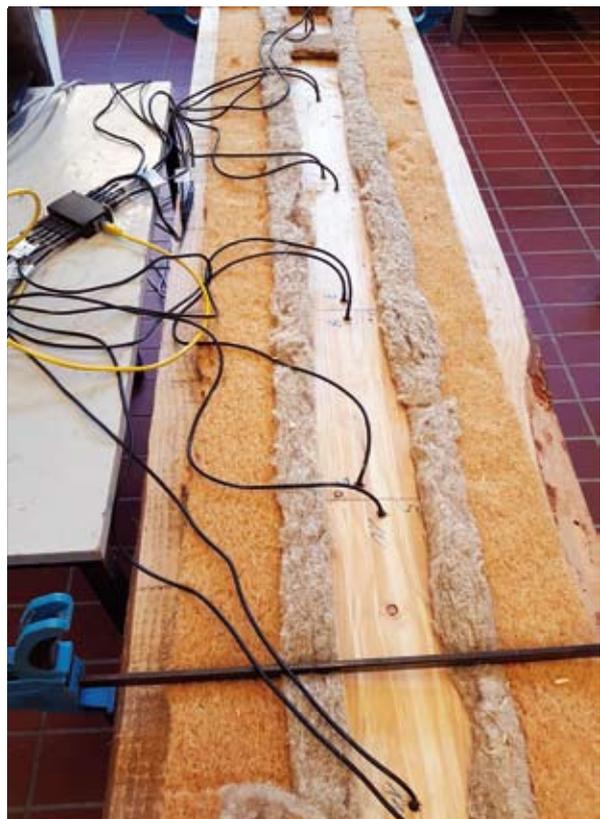


Abb. 6: Versuchsaufbau mit noch fehlender Dämmung der Oberseite

Die Enden der Messfühler reichten dabei bis zur Mitte der Dübel, wodurch eine Temperaturerfassung in unmittelbarer Nähe der Dübel gegeben war. Danach wurden dreiseitig (unten 3, seitlich jeweils 2) die selbstregulierenden Heizkabel (48 W/m) und hierauf außenseitig eine 10 cm starke Wärmedämmung (Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)]: 0,040) angebracht (Abb. 6).

Wegen der Sensorkabelzuführung und der oberseitig zur Fixierung der seitlichen Heizplatten und Dämmstoffe angebrachten Klemmen war die Wärmedämmung an der Oberseite nicht optimal und zudem mit 6 cm Stärke auch geringer als die Dämmung der anderen Seitenflächen.

Die Erwärmung des Holzes startete unmittelbar nach dem Versuchsaufbau, wobei die Temperaturänderung an den 12 Messpunkten kontinuierlich erfasst und über ein Display verfolgt werden konnte. Bereits nach ca. zwei Stunden wurde die gemäß DIN 68800-4:2012 geforderte Mindesttemperatur an allen Messpunkten erreicht bzw. überschritten. Dabei variierte die Temperatur zwischen 55 und knapp 60 °C (Abb. 7); etwa eine halbe Stunde später lagen die Werte im Mittel bei ca. 62 °C.

Danach wurde die Stromzufuhr der Heizkabel unterbrochen. Dennoch stieg die Temperatur infolge des fortlaufenden Temperatenausgleichs weiter an, wobei örtlich eine Maximaltemperatur von 65 °C gemessen wurde.



Abb. 7: Holzinnentemperatur an den 12 Messpunkten nach ca. zwei Stunden

Nach einer Gesamtversuchsdauer von 240 min wurden die Dübel aus dem Balken entnommen. Als Kontrollproben dienten jeweils sechs infizierte Dübel, die a) in Holz eingebracht wurden, welches aber nicht erwärmt wurde,

b) in ein auf 65 °C temperiertes Holz eingebracht wurden, welches anschließend mit Alufolie umwickelt und danach für 90 min im Trockenschrank bei 65 °C gelagert wurde,

c) direkt auf Aluschalen für 90 min parallel mit b) im Trockenschrank exponiert wurden. Nach der Entnahme wurden alle mit dem Schmetterlingsporling infizierten Dübel unabhängig von ihrer Exposition zwecks Vitalitätsprüfung auf Kunststoffnetzen in Petrischalen über Wasser im Klimaraum gelagert.

5. Ergebnisbeurteilung

Bereits nach 72 Stunden ist aus den nicht erwärmten Kontrollproben (a) frisches Myzel ausgewachsen (Abb. 8).

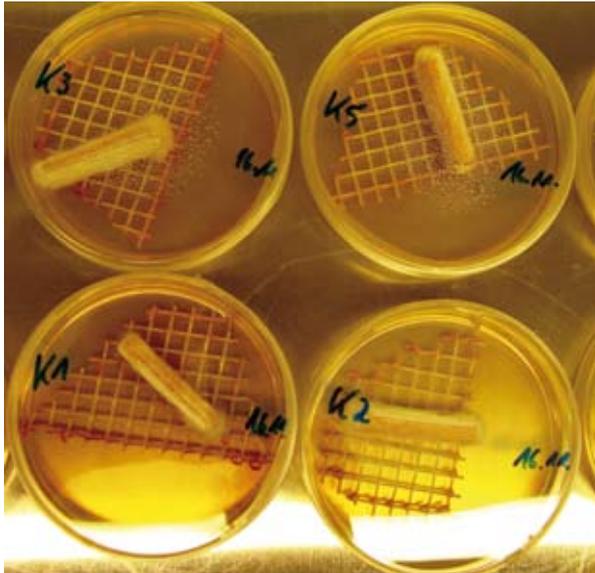


Abb. 8: An unbehandelten Proben auswachsendes Myzel

Nach ca. 10 Tagen ist auch aus Dübeln (Kontrolle c), die pur auf Aluschalen im Trockenschrank gelagert wurden, der Schmetterlingsporling ausgewachsen (Abb. 9).

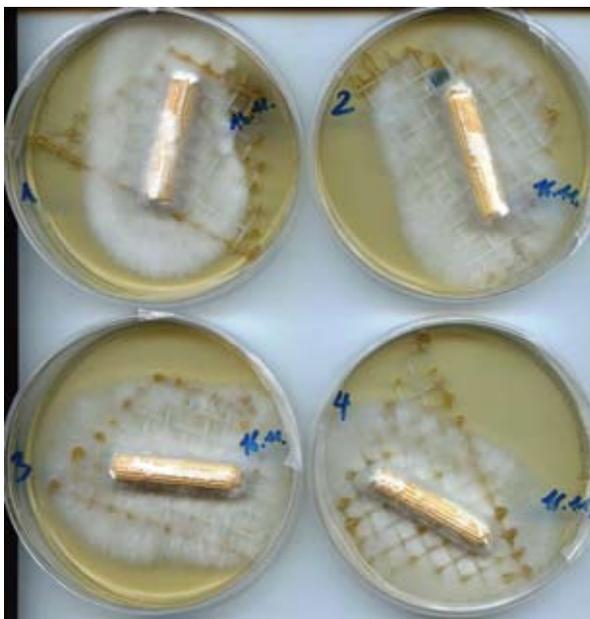


Abb. 9: Dübel mit ausgewachsenem Myzel, die für 90 min im Trockenschrank bei 65 °C thermisch behandelt wurden

Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da bereits Snell [11] 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 Alufolie eingeschlagenem Holz im Trockenschrank befanden, kein Auswachsen des Schmetterporlings beobachtet werden.

Gleiches gilt auch für die Dübel, die sich im Holz befanden, welches über selbstregulierende Heizkabel thermisch behandelt wurden.



Abb. 10 a: Fremdinfekte (Schimmelpilze) an Buchendübeln, die in einem mit Alufolie ummantelten Holz im Trockenschrank bei 65 °C für 90 min exponiert wurden

Allerdings wiesen beide Chargen einen deutlichen Befall an unterschiedlichen Schimmelpilzen auf, der auf Fremdinfekte infolge der »nicht sterilen« Bedingungen zurückzuführen sein sollte (Abb. 10 a und 10 b).



Abb. 10 b: Fremdinfekte (Schimmelpilze) an Buchendübeln, die sich in dem Holz befanden, welches über Heizkabel thermisch behandelt wurde

6. Fazit und Diskussion

Selbstregulierende Heizkabel bieten einige Vorteile. Bedingt durch ihre flache Form ist ein guter, direkter Kontakt über die zu behandelnde Fläche gegeben. Selbstregulierende Heizkabel können ohne Übertemperaturschutz betrieben werden

und erfordern keinerlei externe Regelungstechnik, 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.

Zu beachten ist allerdings, dass insbesondere in der Nähe der Heizkabel Temperaturen weit über 55 °C vorherrschen. Diese hohen Temperaturen sind notwendig, um einen ausreichenden Wärmetransport in das Holzinnere zu ermöglichen. Problematisch hingegen ist, dass sich im Holz enthaltenes Harz verflüssigen und an der Holzoberfläche austreten kann. Zudem können dunkle Verfärbungen an der Holzoberfläche entstehen, wenn Heizkabel mit hoher Leistung gewählt werden. Folglich ist von Fall zu Fall abzuwägen, welche Heizkabelleistung angemessen ist.

Auch das verwendete Temperaturerfassungs-System hat sich grundsätzlich als praxistauglich erwiesen. Jedoch bedarf es noch einiger Optimierungen, da beispielsweise die Erwärmung zu geringfügigen Formänderungen der Bohrlöcher führte, wodurch sich einige Sensoren nur sehr schwer wieder aus dem Holz ziehen ließen.

Die Praxistests zur Insektenbekämpfung belegen, dass die Anwendung des Kontaktverfahrens grundsätzlich geeignet

ist. Allerdings sind auch bei diesem Verfahren die örtlichen Besonderheiten im Detail zu berücksichtigen, um Folgeschäden durch die Sanierungsmaßnahme zu vermeiden.

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 bspw. aus der Zusammenstellung von Huckfeldt & Schmidt [12] eindeutig hervor, dass die Letaltemperatur abhängig von Rahmenbedingungen ist, wie 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 drei Stunden bei 70 °C abgestorben, während dies beim Zaunblättling (*Gloeophyllum trabeum*) bei 75 °C erst nach drei bis vier Stunden zu beobachten ist. 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 einer Stunde bei 68 °C ab, während für den Echten Hausschwamm dies bereits nach drei Stunden und 40 °C der Fall ist.

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

Diskussionswürdig in diesem Zusammenhang ist, ob ein Abtötungserfolg generell in allen Konstruktionsteilen erreicht werden muss und wie dieser ggf. nachgewiesen werden soll. Ist beispielsweise die Feuchtequelle in einem Schadensfall beseitigt worden und eine Trocknung des Holzes innerhalb weniger Wochen gewährleistet, dürfte eine parallel durchgeführte Wärmebehandlung den Pilz derart geschwächt haben, dass kein nennenswerter Holzabbau mehr stattfindet.

Anmerkung: Dieser Artikel basiert auf einer Veröffentlichung der Autoren im Holz-Zentralblatt. [17]

Quellen

1] Müller, J.; Schmidt, H.; Melcher, E.: *Evaluierung von frei bewitterten, tragenden Holzbauteilen ohne Erdkontakt, die mit Holzschutzmitteln behandelt wurden.*

Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015

[2] Halverson, S. L.; Burkholder, W. E.; Bigelow, T. S.; Nordheim, E. V.; Misenheimer, M. E.: High-power microwave radiation as an alternative insect control method for stored products. *Journal of Economic Entomology* 89 (1996) No. 6, pp. 1638–1648, <https://doi.org/10.1093/jee/89.6.1638>

[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (ed.): *International Standards for Phytosanitary Measures 15 (ISPM 15) – Regulation of wood packaging material in international trade*. Rome, 2017

[4] Krajewski, A.: Wood-boring insect control in constructions by high temperature and microwaves. In: Concu, G. (ed.): *Wood in Civil Engineering*. London: IntechOpen, 2017. Chapter 5, pp. 92–109, <http://dx.doi.org/10.5772/66094>

[5] Mölder, H.; Järvik, J.; Pilt, K.; Märss, M.; Reiska, R.: Microwave treatment against the attack of wood boring in timber structures. *Agronomy Research* 11 (2013) No. 2, pp. 497–504

[6] Teichert, M.: *Untersuchungen über eine Wärmebehandlung von verbautem Holz zum Abtöten von Schwammbefall*. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie, 1996

[7] Grosser, D.: *Praxisorientierte Untersuchungen zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms (Serpula lacrymans) nach DIN-Vorschrift und alternativen thermischen*

Verfahren. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005

[8] Nelson, S. O.: Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 39 (1996) No. 4, pp. 1475–1484, <https://doi.org/10.13031/2013.27641>

[9] Steinbach, S.: Holz unter Einfluss von Mikrowellen – eine Alternative bei der Bekämpfung holzzerstörender Pilze und Insekten. *Holztechnologie* 47(2006) Nr. 5, S. 37–44

[10] Müller, J.: Heißes Holz – Selbstregulierende Heizkabel zur Insektenbekämpfung. *DpS – Fachzeitschrift für Schädlingsbekämpfung* 71 (2019) Nr. 1, S. 20–21

[11] Snell, W. H.: The effect of heat upon the mycelium of certain structural-timber-destroying fungi within wood. *American Journal of Botany* 10 (1923) No. 8, pp. 399–411, <https://doi.org/10.2307/2435545>

[12] Huckfeldt, T.; Schmidt, O.: *Hausfäule- und Bauholzpilze. Diagnose und Sanierung*. 2., aktual. u. erw. Aufl. Köln: Rudolf Müller Verlag, 2015

[13] Marutzky, R.; Willeitner, H.; Radovic, B.; Hertel, H.; Grosser, D. (Hrsg.): *Holzschutz. Praxiskommentar zu DIN 68800 Teile 1 bis 4*. 2., vollst. überarb. Aufl. Berlin: Beuth Verlag, 2013

[14] DIN 68800-4:2012-02 Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungs-

maßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten

[15] Hegarty, B.; Buchwald, G.; Cymorek, S.;

Willeitner H.: *Der Echte Hausschwamm – immer noch ein Problem? Material und Organismen* 21 (1986) Nr. 2, S. 87–99

[16] 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.: *Chemikalienfreie Bekämpfung von Holzschädlingen durch dielektrische Erwärmung mit Radiowellen und Mikrowellen. Chemie – Ingenieur – Technik* 86 (2014) Nr. 8, S. 1187–1197, <https://doi.org/10.1002/cite.201300091>

[17] Müller, J.; Melcher, E.; Welling, J.: *Thermisches Kontaktverfahren für innen und außen. Holz-Zentralblatt* 145 (2019) Nr. 32, S. 709–710

Die Autoren

Dr. Johann Müller, Diplom-Holzwirt

Dr. Johann Müller studierte Holzwirtschaft an der Universität Hamburg und ist seit ca. 30 Jahren im Bereich des Holzschutzes tätig. Nach einer Tätigkeit bei einem Holzschutzmittelhersteller arbeitet Johann Müller selbstständig als Sachverständiger und Fach- und Wissenschaftsjournalist. Dazu führt er Forschungsprojekte in Zusammenarbeit mit Universitäten und Forschungsinstituten durch. Dabei werden in praxisnahen Projekten Lösungsvorschläge zur Vermeidung von Schäden erarbeitet. In der Holzschutznormung vertritt Johann

Müller den DIN-Verbraucherrat. Neudörpen 8, 26892 Dörpen, Tel. 04963/914 014, jmueller.doerpen@t-online.de

Dr. rer. nat. Eckhard Melcher

Diplom-Chemiker, seit 1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Holzbiologie und Holzschutz der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, jetzt: Thünen-Institut für Holzforschung, Sachverständigenausschuss Holzschutzmittel am Deutschen Institut f. Bautechnik (Obmann), DIN NA 042-03-03 AA Vorbeugender chemischer Holzschutz (Obmann), DIN NA 042-03-06 AA: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten (stellv. Obmann), RAL-Gütegemeinschaft: Imprägnierte Holzbauelemente, AK Analytik (Obmann), eckhard.melcher@thuenen.de

Dr. Johannes Welling, Diplom-Holzwirt

Studium der Holzwirtschaft in Hamburg, Promotion im Bereich technische Schnittholztrocknung, seit 1980 wiss. Mitarbeiter im Bereich der BMEL-Ressortforschung, zuerst bei der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, seit 2018 als kommissarischer Leiter. Ab 03/2020 tätig als Sachverständiger (welling@holz-expertise.de). johannes.welling@thuenen.de, Thünen Institut für Holzforschung, Tel. 040/73962600, www.thuenen.de/de/hf