Holz zerstörende Pilze an acetyliertem Holz

Von Pilzen befallene Stadtmöblierung aus acetyliertem Brettschichtholz aus dem Berliner Park am Gleisdreieck

Von Johann Müller*, Gerald Koch**, Eckhard Melcher** und Tanja Potsch**

Acetyliertes Holz wird vornehmlich für die Anwendung im bewitterten Außenbereich empfohlen, bislang überwiegend für nicht-tragende Anwendungen. Als tragende Konstruktion wurde acetyliertes Holz 2009 und 2010 in den Niederlanden für zwei nahezu baugleiche Schwerlastbrücken und 2018 in Deutschland für einen Aussichtsturm anlässlich der Landesgartenschau in Baden-Württemberg eingesetzt. Seit 2019 besteht eine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik für acetyliertes Holz im konstruktiven Bereich. Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit einem aktuellen Fall, in dem industriell hergestelltes acetyliertes Holz unter Praxisbedingungen nach relativ kurzer Gebrauchsdauer durch Holz zerstörende Pilze geschädigt wurde.

Die Verbesserung der Eigenschaften von Holz mittels chemischer Modifizierung durch Umsetzung mit Essigsäureanhydrid wird intensiv seit Ende der 1950er-Jahre untersucht (Militz 1991), obwohl die Acetylierung von Fichtenholzlignin (Fuchs 1928) oder Buchenholzlignin (Horn 1928) bereits vor mehr als 90 Jahren beschrieben wurde. Im Fokus der Forschung stehen bspw. die Dimensionsstabilisierung durch Verbesserung des Quell- und Schwindverhaltens (z. B. Rowell und Banks 1985) oder die Erhöhung der Resistenz gegenüber einem biologischen Angriff (z. B. Rowell et al. 1987). Zahlreiche Laborprüfungen und Freilandtests (z. B. Beckers et al. 1994 u. 1995) belegen, dass die biologische Dauerhaftigkeit von acetyliertem gegenüber naturbelassenem Holz mit zunehmenden WPG (weight percent gain) verbessert wird.

Bei der Acetylierung werden in der Regel wenig dauerhafte, gut tränkbare Holzarten – vorzugsweise Monterey-Kiefer (*Pinus radiata* D, PNRD) – mit Essigsäureanhydrid unter Druck und Wärme behandelt, wobei die Hydroxylgruppen des Holzes und das Essigsäureanhydrid unter Abspaltung von Essigsäure reagieren. Im Ergebnis wird das Holz nicht nur schwerer, sondern je nach Acetylierungsgrad stehen weniger freie OH-Gruppen zur Verfügung, die später mit Wasser in Wechselwirkung treten können. Die eingesetzten Rohstoffe sowie die vorherrschenden Reaktionsbedingungen und die freiwerdende Essigsäure erfordern nicht nur ein entsprechendes Know-how, sondern auch eine geeignete Technik, weshalb der mehrstufige Prozess in Anlagen aus Edelstahl (wegen des Korrosionsschutzes) ausgeführt wird. Da unabhängig von der Nachbehandlung noch Restmengen an Essigsäure im Holz verbleiben, werden z. B. für Terrassen wegen möglicher Korrosionswirkungen Verbindungsmittel (Nägel, Schrauben, usw.) aus Edelstahl empfohlen. ▶ http://www.info-holzterrasse.de/portfolio/acetyliertes-holz-accoya/?print=pdf.

Abbildung 1 Schwerlastbrücke über eine Autobahn in Sneek (Niederlande) Foto: J. Müller 03/2018

Abbildung 2 Aussichtsturm „Krähennest“ in Lahr Foto: J. Müller 10/2018

Verwendung acetylierter Hölzer

Acetyliertes Holz wird vornehmlich für die Anwendung im bewitterten Außenbereich empfohlen. In den Niederlanden wurden in den Jahren 2009 (Miebach 2009) und 2010 zwei nahezu baugleiche Schwerlastbrücken (Abbildung 1) aus acetyliertem Holz errichtet. Für die technische Umsetzung musste aufgrund einer „mangelnden Verfügbarkeit und der enormen Herstellungskosten von Edelstahlschrauben“ ein besonderer Aufwand bezüglich des Korrosionsschutzes betrieben werden (Anonymus 2009).

In Deutschland wurde als tragende Konstruktion ein Aussichtsturm in Lahr anlässlich der Landesgartenschau in Baden-Württemberg im Jahre 2018 mit einer Zustimmung im Einzelfall mit vorhabenbezogener Bauartgenehmigung (Jacob-Freitag 2018) errichtet (Abbildung 2).

Mit der 2019 durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) erteilten bauaufsichtlichen Zulassung kann nun auch in Deutschland acetyliertes Holz im konstruktiven Bereich eingesetzt werden, wobei allerdings der zulässige Querschnitt auf Abmessungen von 100 bis 250 mm (Breite) und 25 bis 100 mm (Dicke/Höhe) begrenzt ist. (Auszug aus der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung/allgemeinen Bauartgenehmigung Nr. Z-9.1-865 für „Accoya Schnittholz“).

Bisher wird acetyliertes Holz in Deutschland nur im Garten- und Landschaftsbau (Abbildung 3) oder Fensterbau (siehe: www.baulinks.de/baumaterial/technisch-modifiziertes-holz.php) verwendet.

Im Rahmen einer Besichtigung der in Berlin im Park am Gleisdreieck 2011 aufgestellten Sitzgruppen aus acetyliertem Brettschichtholz aus *Pinus radiata* wurden im Frühjahr 2016 Pilzfruchtkörper an den Hirnholzenden, sowie Öffnungen an den Klebefugen vorgefunden (Abbildung 4). Deutlicher wurde der Befall ein Jahr später, als an nahezu allen Bänken kleine Fruchtkörper zu finden waren.

Dass die Sitzbank nicht nur durch eine Pilzart befallen war, zeigte sich bereits im November 2017, als ein anderer, größerer Fruchtkörper (Abbildung 5) entdeckt wurde.

Diese Befunde waren Anlass, sowohl die vorkommenden Pilze als auch die Sitzbank eingehender zu untersuchen, worüber nachfolgend berichtet wird. Die Untersuchungen und Probennahmen erfolgten mit Zustimmung des Parkbetreibers Grün Berlin GmbH.

Abbildung 3 Sitzbänke aus acetyliertem Brettschichtholz im Park am Gleisdreieck Berlin Foto: J. Müller 04/2016

Abbildung 4 Detail: Fruchtkörper am Hirnholz Foto: J. Müller 04/2016

Abbildung 5 Fruchtkörper, erstmals entdeckt im November 2017 Foto: J. Müller 01/2018

Abbildung 6 Längsriss in der Bank – Position des Fruchtkörpers seitlich auf Höhe des Gliedermaßstabs Foto: J. Müller 03/2019

Das Untersuchungsobjekt

2011 wurden im Park am Gleisdreieck in Berlin massive Holzbänke aus acetylierten Brettschichtholzelementen mit den Abmessungen 400 × 48 × 20 cm aufgestellt. Die Brettschichtholzelemente liegen jeweils auf zwei Stützfüßen aus pulverbeschichtetem Stahl, mit denen sie über eine Metallplatte mit vier Edelstahlschrauben (V2A) verbunden sind. Im untersuchten Bereich weist die Oberseite der Sitzfläche einen Riss auf (Abbildung 6), der sich vom Hirnholzende des Holzelements deutlich über die Position des Fruchtkörpers hinaus erstreckt. Der Abstand des Risses von der Rückseite beträgt etwa 9 cm, während sich der Fruchtkörper rund 5 cm von der Oberseite entfernt befindet.

Ergebnisse und Befunde

Mikroskopische und genetische Bestimmung der Pilzisolate

Erste mykologische Untersuchungen für eine mikroskopische Charakterisierung des Pilzbefalls erfolgten durch Dr. Ralf Möller (Labor für Holzschutz und Baubiologie, Bühl).

Die mikroskopischen Untersuchungen der Fruchtkörper haben ergeben, dass es sich bei den Isolaten um den Gemeinen Spaltblättling (*Schizophyllum commune*), einen Weißfäule verursachenden Pilz, und um einen Blättling (*Gloeophyllum*), einen Braunfäule verursachenden Pilz, handelt.

Bedingt durch seinen hohen Holzfeuchtebedarf befällt der Gemeine Spaltblättling saprophytisch Stubben und lagernde Laubholzstämme, wo er zu den Erstbesiedlern zählt (Schmidt 1994). Bekannt ist auch, dass dieser Pilz in den Tropen zu den aktiveren Weißfäuleerregern zählt während in Laborversuchen nur geringe Masseverluste an heimischen Hölzern bestimmt wurden (Schmidt 1994). Allerdings zeigen Untersuchungen von Padhiar et al. (2010) und Suprati (2010), dass der Gemeine Spaltblättling auch unter Laborbedingungen – zumindest an Tropenhölzern – Masseverluste von mehr als 20 % verursachen kann.

Da die Lichtmikroskopie keine eindeutige Unterscheidung zwischen dem Zaunblättling (*Gloeophyllum sepiarium*) und dem Balkenblättling (*Gloeophyllum trabeum*) zuließ, wurden Teile des Fruchtkörpers zur molekularbiologischen Artbestimmung an das Institut für Holztechnologie, Dresden, weitergegeben. Die generierten ITS-Sequenzen waren zu über 99 % zu mehreren Sequenz-Daten (GQ337913.1 und KY433982.1) homolog, die für *Gloeophyllum trabeum* in der NCBI-Datenbank hinterlegt sind, wodurch dieser Pilz eindeutig identifiziert wurde.

Bohrwiderstandsmessungen im pilzbefallenen Bereich

Zur Untersuchung des Umfangs der Schädigung wurden am 27. März dieses Jahres im Bereich um den Fruchtkörper zehn Bohrwiderstandsmessungen mit dem Gerät „Resi B 300“ (Hersteller: IML Instrumenta Mechanik Labor System GmbH, Wiesloch) durchgeführt. Dabei wurde das Gerät zur besseren Führung auf einen Unterbau aus Holzklötzen fixiert (Abbildung 7). Die parallel zur Sitzfläche geführte Bohrnadel erreichte die schräge Holzoberfläche

Fortsetzung auf Seite 789

Abbildung 8 Feuchtes Bohrmehl am Bohrer Foto: J. Müller

Abbildung 7 Versuchsaufbau zur Bohrwiderstandsmessung im März 2019 Foto: J. Müller

* Dr. Johann Müller, Dörpen, ist Fach- und Wissenschaftsjournalist sowie Sachverständiger für Holz.
** PD Dr. Gerald Koch, Dr. Eckhard Melcher und Tanja Potsch sind am Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, tätig.

Holz zerstörende Pilze an acetyliertem Holz

Fortsetzung von Seite 788

nach 2 bis 2,5 cm, was bei der Beurteilung bzw. Auswertung der Ergebniskurven zu berücksichtigen ist. Das Gerät verfügt über eine Gesamtbohrlänge von 300 mm, weshalb die von der Rückseite der Bank eingebrachten Bohrungen hier lediglich bis gut über die Mitte der 48 cm breiten Sitzbank reichten.

Entnahme von Bohrkernen

Zur weiteren Untersuchung des Pilzbefalls wurden im Mai dieses Jahres aus dem befallenen Bereich zwei Bohrkerne entnommen. Die erste Bohrung traf offensichtlich einen stark zerstörten Holzbereich, denn am Bohrer klebte feuchtes Bohrmehl (Abbildung 8), und die Probe im Bohrzylinder zerbröckelte bei der Entnahme in Bruchstücke von wenigen Millimetern.

Mit der zweiten Bohrung konnte dann ein insgesamt festerer Bohrkern in einem Stück entnommen werden.

Mikroskopische Untersuchung der Bohrkerne

Die entnommenen Bohrkerne wurden am Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, mithilfe verschiedener mikroskopischer und spektroskopischer Methoden (Licht- und Elektronenmikroskopie, zelluläre UV-Spektroskopie) eingehend untersucht. Hierzu wurden die beiden Bohrkerne zunächst in drei etwa gleich große Segmente aufgeteilt und in Epoxidharz (Spurr 1969) eingebettet. Anschließend wurden Semi-Dünnschnitte (Dicke 1µm) aus den eingebetteten Proben gefertigt, die dann mikroskopiert und spektroskopiert wurden. Die zelluläre UV-Spektroskopie (UMSP) eignet sich dabei in besonderer Weise, auch sehr frühe Stadien eines mikrobiellen (enzymatischen) Abbaus einzelner Zellwandschichten zu detektieren, die unter dem Lichtmikroskop noch nicht erkennbar sind (Rehbein und Koch 2011).

kurven ist ein Abbau (Zerstörung) des Holzgewebes im Bereich zwischen dem Fruchtkörperansatz an der Rückwand der Sitzfläche bis etwa 2 cm über den Längsriss an der Oberfläche hinaus nachweisbar. Dabei scheint die Holzzerstörung im Inneren des Querschnitts oberhalb des Fruchtkörpers (Abbildung 10) stärker zu sein als auf Höhe des Fruchtkörpers (auf der Rückseite gemessen). Ursache hierfür dürfte die bessere Feuchteversorgung sein, wobei Regenwasser über den Riss in das Holzinnere gelangt. Allerdings können keine detaillierteren Aussagen zum Umfang der Holzzerstörung oder zur Ausdehnung des Pilzbefalls getroffen werden, da dies eine zerstörende Prüfung der acetylierten Sitzbank erfordern würde. Eine solche war im Rahmen dieser Untersuchungen jedoch nicht mehr möglich, da das Bankelement inzwischen abtransportiert und durch ein neues Element ersetzt wurde (Mitteilung der Grün Berlin GmbH vom 8. August 2019 an den Erstautor).

Spektroskopische und mikroskopische Holzuntersuchungen

Die zellulären UV-spektroskopischen Untersuchungen zeigen den enzymatischen Abbaus des Holzgewebes im Bereich der entnommenen Bohrkerne.

In Abbildung 11 ist eine repräsentative Flächen-Scanning-Aufnahme bei einer Wellenlänge von 280 nm (= Absorptionsmaximum von Nadelholz-Lignin) mit einer Ortsauflösung von 0,25 × 0,25 µm (einzelne Farbpixel) dargestellt. Die farblich blau markierten Bereiche der Zellwandschichten, vor allem im Bereich der Sekundärwände (mit Pfeilen markiert), belegen eine deutliche Abnahme der Absorptionswerte des Lignins, wie sie für einen mikrobiellen Abbau des Holzgewebes beschrieben werden (Bauch et. al. 1976 und Rehbein & Koch 2011). Weiterhin können lokal starke Abnahmen der Absorptionswerte im Bereich der Mittellamellen nachgewiesen werden, was darauf hinweist, dass der Holzabbau durch eine Weißfäule erfolgt.

Die elektronenmikroskopischen Bilder (FESEM) der Bohrkernproben zeigen zudem deutlich, dass das acetylierte Holz stellenweise extrem von Hyphen durch- und überwachsen ist (Abbildung 12) und sich ein Pilzrasen (Abbildung 13) ausgebildet hat.

Der Nachweis von Ascomyceten (vor allem Schimmelpilze) ist als klares Indiz zu werten, dass zumindest an der beprobten Stelle im Holzinneren eine hohe Materialfeuchte vorherrschte. Neben Ascomyceten wurden auch Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen, die für den beschriebenen enzymatischen Zellwandabbau verantwortlich sind. Dies ist nicht überraschend, da Holz zerstörende Pilze sehr wohl acetyliertes Holz durchwachsen können (Strohbusch 2019). Bekannt ist ferner, dass selbst bei einem WPG von knapp 20 % sowohl der *Poria placenta* als auch der Balkenblättling (*Gloeophyllum trabeum*) an durch Auswaschung beanspruchten acetylierten Kiefernproben einen Masseverlust zwischen 3 und 8 % verursachten (Beckers et al. 1994). Allerdings ist die nach nur sechs Jahren Exposition beobachtete Fruktifizierung des Balkenblättlings erstaunlich. Melcher und Müller (2016) beschreiben zwar ebenfalls eine frühe Fruchtkörperbildung, allerdings fand diese an unzureichend geschütztem Douglasienrundholz statt.

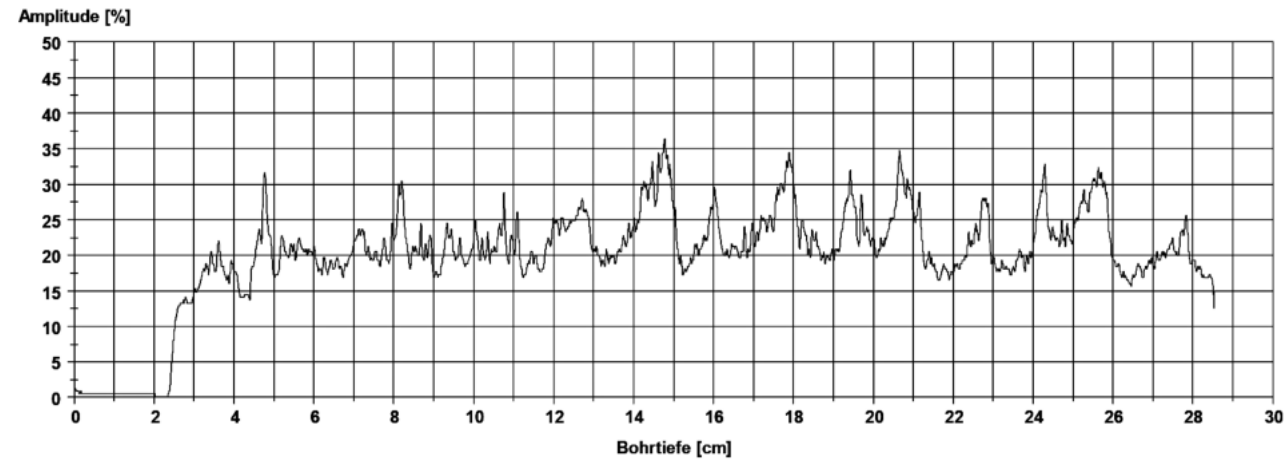

Abbildung 9 Bohrwiderstandsdiagramm der vierten Messung (etwa 11,5 cm vom oberen Rand und rund 7 cm unterhalb des Fruchtkörpers)

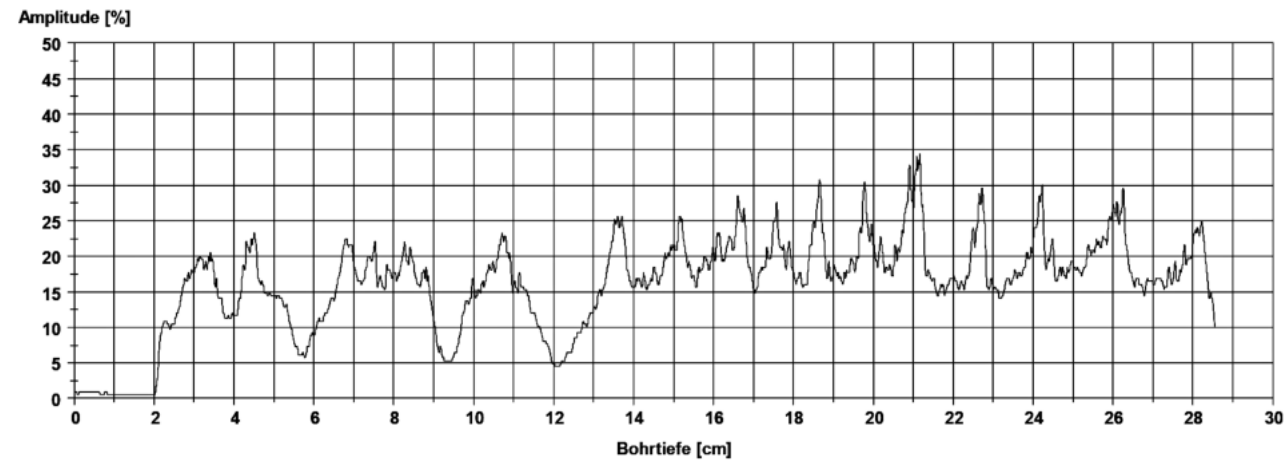

Abbildung 10 Bohrwiderstandsdiagramm der siebten Messung (etwa 4,5 cm vom oberen Rand; nah am Fruchtkörperansatz)

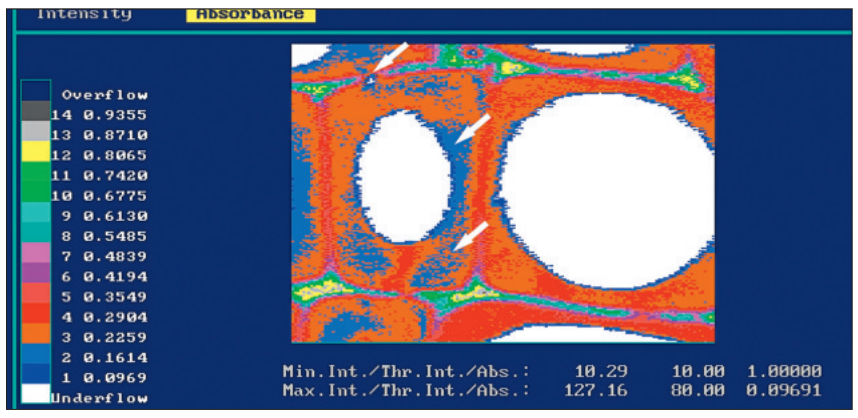

Abbildung 11 UV-spektroskopische Flächen-Scanning-Aufnahme des befallenen Holzgewebes bei einer Wellenlänge von 280 nm = Absorptionsmaximum von Nadelholz-Lignin (Ortsauflösung der kalibrierten Farbwerte für die UV-Absorptionen 0,25 µm x 0,25 µm)

Ergebnisse der Holzuntersuchungen

Bohrwiderstandsmessungen

Die Untersuchungen des Holzgewebes mithilfe der Bohrwiderstandsmethode zeigten in der Nähe des Fruchtkörperansatzes von *Gloeophyllum trabeum* (Abbildung 10) im Vergleich zu weiter hiervon entfernt durchgeführten Messungen (Abbildung 9) Bereiche mit deutlich verringertem Bohrwiderstand, insbesondere unterhalb des Risses. Nach visueller Auswertung der Messkurven ist ein Abbau (Zerstörung) des Holzgewebes im Bereich zwischen dem Fruchtkörperansatz an der Rückwand der Sitzfläche bis etwa 2 cm über den Längsriss an der Oberfläche hinaus nachweisbar. Dabei scheint die Holzzerstörung im Inneren des Querschnitts oberhalb des Fruchtkörpers (Abbildung 10) stärker zu sein als auf Höhe des Fruchtkörpers (auf der Rückseite gemessen). Ursache hierfür dürfte die bessere Feuchteversorgung sein, wobei Regenwasser über den Riss in das Holzinnere gelangt. Allerdings können keine detaillierteren Aussagen zum Umfang der Holzzerstörung oder zur Ausdehnung des Pilzbefalls getroffen werden, da dies eine zerstörende Prüfung der acetylierten Sitzbank erfordern würde. Eine solche war im Rahmen dieser Untersuchungen jedoch nicht mehr möglich, da das Bankelement inzwischen abtransportiert und durch ein neues Element ersetzt wurde (Mitteilung der Grün Berlin GmbH vom 8. August 2019 an den Erstautor).

Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass acetyliertes Holz nicht nur durch Mikroorganismen besiedelt, sondern auch durch Holz zerstörende Pilze befallen werden kann. Hierzu ist eine ausreichend hohe Materialfeuchte (Holzfeuchte) erforderlich, die zudem über einen längeren Zeitraum gegeben sein muss, damit die Sporen keimen können.

Wasser- und Sporeneintrag erfolgen über Risse (Abbildung 6) oder sich auflösende Klebefugen (Abbildung 4). Sowohl Risse, als auch sich auflösende Klebefugen wirken wie Wasserfallen, wodurch es im modifiziertem Holz zu einem Anstieg der Holzfeuchte kommt. Die Folge ist, dass sich auf und in dem Holz Algen, Ascomyceten und Basidiomyceten ansiedeln können. Nicht auszuschließen ist, dass diese Organismenvielfalt den Blättlingsbefall förderte. Allerdings überrascht dessen frühes Auftreten, was Folge einer unzureichenden Acetylierung sein kann.

Nach Kenntnis der Autoren handelt es sich um den ersten öffentlich beschriebenen Fall, in dem industriell hergestelltes acetyliertes Holz unter Praxisbedingungen nach einer relativ kurzen Gebrauchsdauer durch Holz zerstörende Pilze geschädigt wurde.

In diesem Zusammenhang weisen die Autoren darauf hin, dass auch an den Sneeker Brücken ähnliche Beobachtungen gemacht wurden (Abbildung 14); eine Probennahme war hier aber bisher leider nicht möglich. Im Rahmen einer Brückeninspektion sollte dieser Sachverhalt daher abgeklärt werden.

▶ Eine Stellungnahme der Cerdia Produktions GmbH, Freiburg, steht auf Seite 790 dieser Ausgabe.

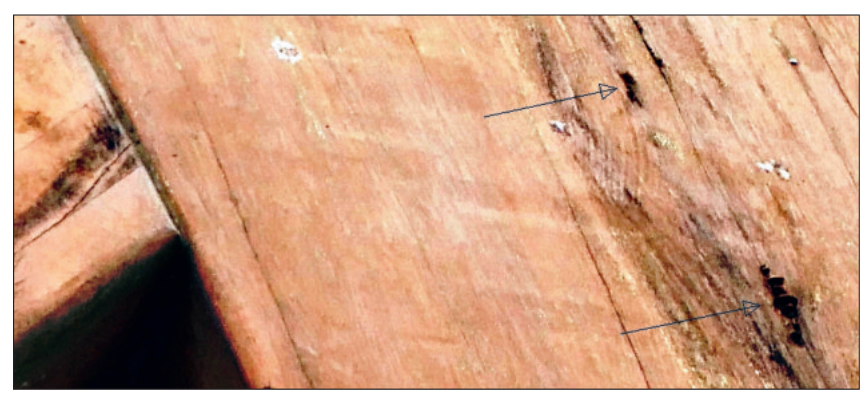

Abbildung 14 Vermutliche Fruchtkörperbildung an einer zentralen Strebe der Schwerlastbrücke in Sneek (Niederlande) Foto: J. Müller 08/2018

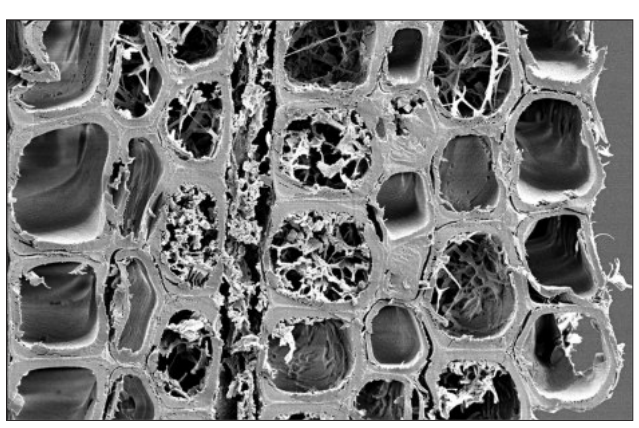

Abbildung 12 Querschnittansicht eines Bohrkernpräparates (Probe etwa 1,5 cm unterhalb der Holzoberfläche) – Pilzhyphen in den Holzstrahlen und Tracheiden Foto: T. Potsch

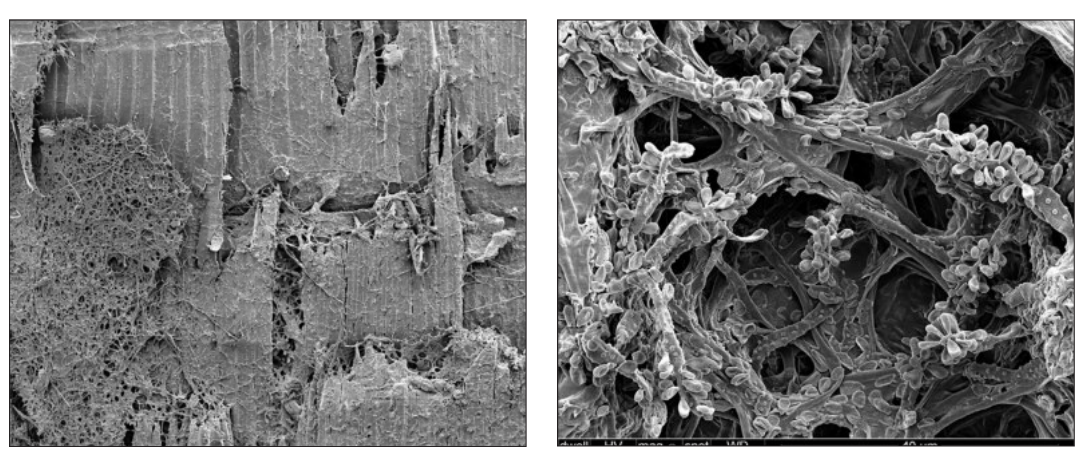

Abbildung 13 Dichtes Ascomyceten-Pilzgeflecht (linkes Bild) und ausgebildete Konidien im Detail (mündliche Mitteilung Dr. T. Huckfeldt, IF-Holz; rechtes Bild) im Radialschnitt Foto: T. Potsch

Literatur:

Anonymus (2009): Modifiziertes Holz für den Schwerlastverkehr. Holz-Zentralblatt; 135(1/2), 16-17

Bauch J., Seehann G., Fitzner H. (1976): Microspectrophotometrical investigations on lignin of decayed wood. Material und Organismen; Beiheft 3, 141-152

Beckers E. P. J., Militz H., Stevens M. (1994): Resistance of acetylated wood to basidiomycetes, soft rot and blue stain. International Research Group on Wood Preservation, Stockholm, IRG/WP 94-40021, 12 pages

Beckers E. P. J., Militz H., Stevens M. (1995): Acetylated solid wood. Laboratory durability test (part II) and field trials; International Research Group on Wood Preservation, Stockholm, IRG/WP 95-40048, 13 pages

Fuchs W. (1928): Zur Kenntnis des genuinen Lignins: Die Acetylierung des Fichtenholzes. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft Jg. 61, 948-951

Horn O. (1928): Zur Acetylierung des Buchenholzes. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft Jg. 61, 2542-2545

Jacob-Freitag S. (2018): Turm mit Kniff. Bauen mit Holz 11, 10-15

Melcher E., Müller J. (2016): Bewitterung vermeiden. Bauen mit Holz 3, 26-29

Miebach F. (2009): Schwerlastbrücke aus acetyliertem Brettschichtholz. Bauen mit Holz. Sonderdruck 2009. 6 Seiten

Militz H. (1991): Die Verbesserung des Schwind- und Quellverhaltens und der Dauerhaftigkeit von Holz mittels Behandlung mit unkatalysiertem Essigsäureanhydrid. Holz als Roh- und Werkstoff; 49, 147-152

Padhiar A., Albert S., Nagadesi P. K., Arya A. (2010): Lignin degradation by Flavodon flavus (Klotzsch.) Ryv. and Schizophyllum commune Fr. on Mangifera indica and Syzygium cumini woods. Journal of Wood Chemistry and Technology; 30, 129-139

Rehbein M., Koch G. (2011): Topochemical investigation of early stages lignin modification within individual cell wall layers of Scots pine (Pinus sylvestris L.) sapwood infected by the brown-rot fungus Antrodia vaillantii (DC.: Fr.) Ryv. International Biodeterioration & Biodegradation; 65(7), 913-920

Rowell R. M., Banks W. B. (1985): Water repellency and dimensional stability of wood. Gen. Tech. Rep. FPL-50. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 24 pages

Rowell R. M., Esenther G. R., Darrel D. Nicholas D. D., Nilsson T. (1987): Biological resistance of Southern pine and Aspen flake boards made from acetylated flakes. Journal of Wood Chemistry and Technology; 7(3), 427 - 440

Schmidt O. (1994): Holz- und Baumpilze. Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

Spurr A. R. (1969): A low viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. Journal of Ultrastructure Research; 26, 31-34

Strohbusch S. (2019): Untersuchung zum Vermögen holzzerstörender Pilze, chemisch modifiziertes Holz zu durchwachsen. Deutsche Holzschutztagung. Institut für Holztechnologie Dresden, 127-146

Suprati S. (2010): Decay resistance of 84 Indonesian wood species against fungi. Journal of Tropical Forest Science; 22(1), 81-87