

Lignin als biologische Barriere gegen Schimmelpilze in Innenräumen

Vanessa Hörmann · Monika Goßmann ·
Carmen Büttner · Christian Ulrichs

Eingegangen: 24. Oktober 2012 / Angenommen: 30. Oktober 2012
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Zusammenfassung Das Wachstum von acht Pilzarten (*Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium culmorum*, *F. solani*, *F. verticillioides*, *Mucor* sp. und *Trichoderma* sp.), deren Auftreten in Innenräumen bekannt ist, konnte durch den Zusatz von Lignin in Malzextraktagar gehemmt, bzw. verhindert werden. Dieser Effekt konnte aber nur bei relativ hohen Konzentrationen, von mind. 10 % und nicht für *Penicillium* sp. beobachtet werden. Kein Pilzisolat konnte jedoch in den Versuchen Lignin abbauen. In einem weiteren Versuch, auf einem speziellen Ligninputzagar, der ausschließlich Putzteilchen als Nährstoff enthielt und einen hohen pH-Wert von 8 hatte, zeigten die Isolate, die hier getestet wurden (*Alternaria alternata*, *Fusarium verticillioides*, *Mucor* sp., *Trichoderma* sp. und *Penicillium* sp.), bei Ligninkonzentrationen bis zu 5 % keine Wachstumshemmung. Höhere Ligninkonzentrationen führten zu mangelhafter Qualität der Baustoffe, die sich z. B. in Rissbildungen äußerte. Außerdem färbte sich der Putz durch eine Ligninzugabe braun.

Schlüsselwörter Schimmelpilze · Putz · Ligninsulfonat · Ascomycota

V. Hörmann (✉) · C. Ulrichs
Landwirtschaftlich Gärtnerische Fakultät, Fachgebiet Urbane
Ökophysiologie der Pflanzen, Humboldt-Universität zu Berlin,
Lentzeallee 55/57, 14195 Berlin, Deutschland
E-Mail: hoermannv@gmail.com

M. Goßmann · C. Büttner
Landwirtschaftlich Gärtnerische Fakultät, Fachgebiet
Phytomedizin, Humboldt-Universität zu Berlin,
Lentzeallee 55/57, 14195 Berlin, Deutschland

Lignin as a Mold Barrier in Building Construction Materials

Abstract Many different fungi grow indoors as mold in the presence of moisture. Some of these fungi can cause allergic or toxic reactions, while a few may cause infections in susceptible individuals. A comprehensive treatment of this complex topic would take volumes. Therefore many groups search for alternative management strategies of these fungi. It has been tested if the growth of nine fungi (*Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium culmorum*, *F. solani*, *F. verticillioides*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp. and *Trichoderma* sp.) which are common in interior buildings could be inhibited by mixing lignin into wall plaster. In maltextract agar lignin concentrations above 10 % inhibited mould growth except for *Penicillium* sp. However, none of the mould species showed and degradation of lignin. Further investigations on a lignin-plaster-agar, which contained only plaster as nutrient and had a high pH at 8, showed no inhibition on the tested fungi (*Alternaria alternata*, *Fusarium verticillioides*, *Mucor* sp., *Trichoderma* sp. and *Penicillium* sp.) at concentrations up to 5 %. Higher lignin concentrations lead to insufficient quality of building materials, e. g. cracking. Furthermore the color of the building materials turned from greyish-white in an exotherm reaction into brown, become not any more suitable for construction purposed.

Keywords Mold · Plaster · Ligninsulfonat · Ascomycota

Einleitung

Die Kontaminationen von Wänden in Innenräumen mit Schimmelpilzen stellen sowohl in Alt- als auch in Neu-

bauten ein häufiges Problem dar (Eike-Hennig 2000). Als Saprophyten sind pilzliche Organismen fest in den ökologischen Kreislauf eingebunden, treten aber auch als materialzerstörende Schimmelpilze auf. Von ihnen können unter anderem Tapete, Farben, Metall, Gestein und mineralische Baustoffe abgebaut werden (Kück et al. 2009). Entscheidend für das Auftreten ist u. a. eine ausreichende Feuchtigkeit sowie verwertbare organische Substanz, wobei sich diese Pilze auch auf Materialien, die nur wenig verfügbare Nährstoffe haben, gut entwickeln. Der Einfluss von Pilzen auf Gebäude bezieht sich im Wesentlichen auf die Bildung von Stoffwechselprodukten (z. B. organische Säuren, Enzyme und Chelate), die sie in die Umgebung ausscheiden und die mineralischen Bestandteile solubilisieren. Wie schnell und in welchem Ausmaß Materialien von Pilzen zerstört werden, hängt stark von Umwelteinflüssen wie Temperatur, pH-Wert, Wasseraktivität (a_w), Redoxpotential, osmotischem Druck und Interaktion mit anderem Mikroorganismen ab (Weber, 1993; Kück et al. 2009). Neben der Zersetzung der Bausubstanz bergen Schimmelpilze auch zahlreiche gesundheitliche Gefahren, die von Allergien und Mykotoxikosen bis zu Endomykosen reichen können (Roth et al. 1990; Kück et al. 2009). Handelsübliche Baustoffe, die einen Schimmelpilzbefall in Innenräumen vermeiden sollen, sind entweder kostenaufwändig und können unter bestimmten Umständen eine Schimmelbildung nur herauszögern oder sie enthalten chemisch-organische Wirkstoffe, die sich nachteilig auf die menschliche Gesundheit auswirken können (Schröters 2009; Vill 1997).

Lignin gehört zu den Hauptbestandteilen höherer Pflanzen und Farne und bildet die größte Aromatenquelle weltweit. Aufgrund seiner molekularen Struktur ist das Ligninpolymer gegenüber chemischer und biologischer Degradation resistenter als andere Pflanzensubstanzen. Nur eine kleine Anzahl an Mikroorganismen ist dazu fähig, Lignin enzymatisch zu zersetzen. Dazu gehören in erster Linie die sogenannten Weißfäulepilze aus der Abteilung der Basidiomycota (z. B. *Phanerochaete chrysosporium* oder *Trametes versicolor*). Schimmelpilzen, die i. d. R. cellolytisch sind, können Lignin kaum bis gar nicht abbauen (Kirk und Farrell 1987). Gewonnen wird es hauptsächlich aus Schwarzlauge, einem Abfallstoff der Papierindustrie (Zhang und Chuang 2001). Obwohl im Jahr bis zu 50 Mio. Tonnen Lignin anfallen, gibt es bis jetzt keinen Bereich in dem es in großem Maßstab eingesetzt wird (Gosselink et al. 2004). Dieser erneuerbare Rohstoff ist relativ kostengünstig, zudem gesundheitlich und ökologisch unbedenklich (Williams und Elliot 1997). Weiterhin ist Lignin bereits als Vergütungsmittel für Baustoffe zugelassen, sodass bei einer Entwicklung eines neuen „Ligninputzes“ der monetäre und zeitliche Aufwand für das Zulassungsverfahren eingespart werden könnten. Solch ein „Ligninputz“ könnte auf biologischer Basis und ohne chemische Zusätze ein Schimmelpilzwachstum

verhindern und v. a. in Feuchträumen, wie Küche und Bad, Anwendung finden.

Ob das Wachstum ausgesuchter Schimmelpilze, deren Auftreten in Innenräumen bekannt ist, durch den Zusatz von Lignin in Wandputz gehemmt, bzw. unterdrückt werden kann ist in den vorliegenden Untersuchungen geprüft worden. Dafür wurden die Pilzisolat auf diversen Nährmedien (Malzextraktagar und Putzagar), denen verschiedene Konzentrationen eines Ligninpräparats zugesetzt wurden, kultiviert. Weiterhin wurde ein Ligninabbau-Versuch durchgeführt und untersucht, ob sich die Baustoffeigenschaften durch den Zusatz von Lignin verändern.

Material und Methoden

Es wurden folgende Pilzisolat aus der eigenen Pilzsammlung in die Untersuchung einbezogen: *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium culmorum*, *F. solani*, *F. verticillioides*, sowie nicht näher bestimmte Arten der Gattungen *Mucor*, *Penicillium* und *Trichoderma*.

Nährmedien

Für den Versuch auf ligninhaltigem Malzextraktagar wurden 24 g Malzextrakt der Firma Roth (X976.2) in 1,0 L destilliertem Wasser in einer Duran Flasche angerührt. Zusätzlich wurde dem Nährmedium Magnesiumligninsulfonat (Lignex Mg F der Fa. Chemische Werke Zell-Wildhausen GmbH) in verschiedenen Konzentrationen (0, 5, 10, 15 und 20 %) zugesetzt. Anschließend wurde der pH Wert der Lösung durch zu Tropfen einmolarer NaOH auf 5,5 erhöht.

Um die tatsächlichen Umweltbedingungen, die in Innenräumen herrschen, besser nachstellen zu können, wurde ein spezieller Putzagar, abgewandelt nach Schuchardt (2000), hergestellt. Zunächst wurden vier Putze, auf Grundlage eines Renovier- und Putzmörtels von der Fa. Sakret, mit verschiedenen Ligninkonzentrationen (0, 1, 3 und 5 %) hergestellt. Nachdem der Putz vollständig getrocknet war, wurde er mit einem Hammer grob zerkleinert und anschließend in einer Kugelmühle (Fa. Retsch, Model MM 301) mit einer Frequenz von 30 /s für 30 bis 60 Sekunden so fein gemahlen, dass er ein Drahtsiebboden bis 100 µm passierte. In einen Liter destilliertem Wasser wurden 40 g des gemahlene Putzes gemischt. Der pH-Wert lag bei allen Varianten bei ca. 11,5 und wurde mittels 25 %iger HCl auf $8 \pm 0,3$ eingestellt.

Beiden Nährmedien wurden vor dem Autoklavieren bei 121 °C für 20 min., 15 g Agar Agar (Fa. Becton, Dickinson and Company, 214030) zugesetzt. Nachdem das Nährmedium autoklaviert war, wurden in Petriplatten je 20 ml davon gefüllt.

In Vitro-Versuche zur Untersuchung der Wirkung von Lignin auf das Pilzwachstum

Auf dem ligninhaltigen Malzextraktagar (LMA) wurde das Wachstum der neun Pilzisolat in Abhängigkeit der Ligninkonzentration untersucht. Das Nährmedium wurde durch pilzbewachsene, runde, 5 mm große Agarstücke, die mittig auf das Nährmedium gelegt wurden, beimpft. Jede Variante wurde zehn Mal wiederholt, bei 23 °C Dauerdunkel inkubiert und alle fünf Tage bonitiert. Die Bonitur wurde beendet, wenn alle Platten, auf denen sich ein Pilzwachstum zeigte, voll bewachsen waren, spätestens aber nach 50 Tagen. Analog wurde der Versuch über eine Dauer von 15 Tagen auf Ligninputzagar (LPA) mit den Arten durchgeführt, die auf LMA ein Wachstum zeigten: *Alternaria alternata*, *Fusarium verticillioides*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp. und *Trichoderma* sp.

Die Bonitur wurde wie folgt durchgeführt: Bei den kreisförmig wachsenden Pilzkolonien wurde zunächst der Durchmesser der Kolonie auf dem Plattenboden gekennzeichnet und anschließend mit einem Lineal gemessen. Danach wurde der radiale Pilzzuwachs errechnet, in dem von dem jeweils gemessenen Wert 5 mm abgezogen wurden (Größe des Impfstücks) und die Zahl dann durch zwei dividiert wurde.

Ligninabbau-Versuch

Um zu testen, ob die hier verwendeten Pilzisolat Lignin abbauen können, wurde ein Ligninagar mit nur 0,1 % Malzextrakt und 0,025 % Magnesiumligninsulfonat hergestellt, mit den Pilzen beimpft und für drei bis 14 Tage bei 23 °C Dauerdunkel inkubiert. Bevor das Myzel und die Sporen mit einer Rasierklinge von der Platte entfernt wurden, wurde das Myzelwachstum auf dem Boden der Petriplatte markiert. Anschließend wurde ein Reagenz aus gleichen Teilen 1 % wässriger Lösung FeCl_3 und $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ hergestellt und die Petriplatten für fünf bis zehn Minuten mit 10 ml dieses Reagenz überflutet. Als Kontrolle wurde ebenfalls eine Petriplatte, auf der kein Pilz inkubiert war, mit diesem Reagenz behandelt. Das Reagenz färbt die Phenole des Testagars grün. Wurde Lignin und damit die Phenole abgebaut, ist das Nährmedium unter und/oder um das Pilzwachstum herum weniger stark gefärbt (Sundmann und Näse 1971).

Ligninhaltige Putze

Um festzustellen, ob der Putz durch die Zugabe des Ligninpräparats veränderte Haftungseigenschaften hat, wurden verschiedene „Ligninputze“ hergestellt und auf eine Wand aufgebracht. Es wurden drei Putze gewählt: Ein handelsüblicher Gipsputz (Fa. Knauf), ein Renovier- und Putzmörtel (Fa. Sakret) und ein Sanierputz (Fa. MEM). Den

Putzen wurde je einmal kein Lignin, je einmal 10 % und einmal 25 % des Ligninpräparats zugesetzt. Anschließend wurde der Putz bzw. die Putz-Lignin-Mischung mit Wasser angerührt, bis eine verarbeitungsfähige Konsistenz erreicht wurde. Je Variante wurde ca. 200 g angerührter Putz in eine zuvor angefertigte Maske gespachtelt. Nach ca. vier Monaten wurden die 10×10 cm großen Putzplatten mit Hilfe eines Beiteils wieder entfernt.

Statistische Auswertung

Die Daten wurden mittels Rangvarianzanalyse unter Nutzung einer speziellen Anova-Typ-Statistik (Statistiksoftware SAS in der Version 9.2, Prozedur MIXED unter Nutzung der AnovaF-Option) verglichen. Für die paarweisen Vergleiche wurde die Bonferroni-Korrektur zur Einhaltung der multiplen Irrtumswahrscheinlichkeit 1. Art von 5 % angewendet. Da Ränge ausgewertet wurden, beziehen sich die Testergebnisse auf die Mediane, nicht auf die arithmetischen Mittelwerte.

Ergebnisse

Hemmung des Myzelwachstums durch Ligninzusätze

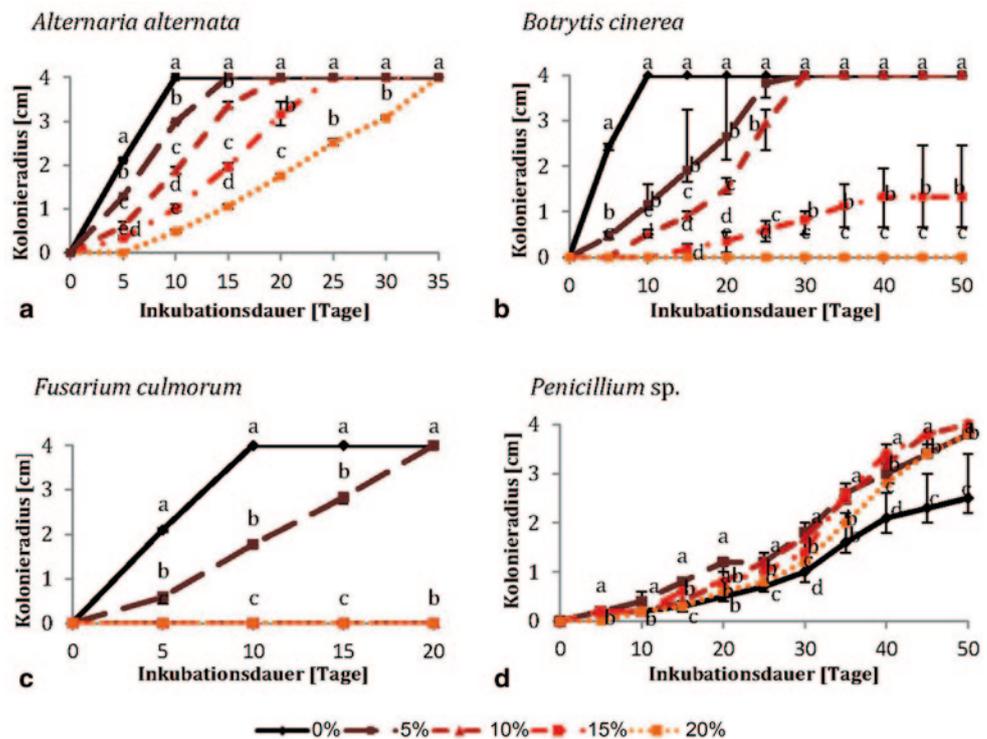
Das Myzelwachstum konnte durch steigende Ligninkonzentrationen im Malzextraktagar (MA) bei allen Pilzisolaten, außer bei *Penicillium* sp., gehemmt werden (Abb. 1). *Fusarium solani* und *F. culmorum* zeigten bei Ligninkonzentrationen über 5 % kein Wachstum, ebenso *Cladosporium herbarum* bei 15 und 20 % und *Botrytis cinerea* bei 20 %. Bei *Alternaria alternata*, *F. verticillioides*, *Mucor* sp. und *Trichoderma* sp. wurde das Myzelwachstum auf MA bei steigenden Ligninkonzentrationen z. T. stark verlangsamt. Zu jedem Boniturtermin vergrößerte sich der Kolonieradius signifikant zum vorherigen Termin, ausgenommen die Varianten auf denen sich kein Pilzwachstum zeigte oder das Wachstum stagnierte.

Die ausgewählten Pilze wuchsen auf LPA langsamer als auf LMA. Allerdings konnte das Wachstum hier nicht nennenswert gehemmt werden. Das Pilzisolat von *Penicillium* sp zeigte erst nach 20 Tagen ein Wachstum, eine makroskopische Bonitur war, wie bei den anderen Pilzisolaten, daher nicht möglich. Wie bei dem Versuch auf LMA war aber wieder zu beobachten, dass das Pilzisolat bei steigenden Ligninkonzentrationen besser wuchs.

Ligninabbau-Versuch

Da sich nach der Behandlung mit dem Reagenz auf allen Platten eine gleichmäßige Grünfärbung zeigte, kann davon

Abb. 1 Wachstumsverlauf der Isolate von *Alternaria alternata* (a), *Botrytis cinerea* (b), *Fusarium culmorum* (c) und *Penicillium* sp. (d) auf Malzextraktagar mit verschiedenen Ligninkonzentrationen (0–20 Vol.%), bis 50 Tage Inkubationsdauer, Darstellung der Mediane, Vergleiche mittels Rangverfahren pro Boniturtermin (Anova-Typ-Statistik), signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet



ausgegangen werden, dass zumindest keine Phenole durch die Pilzisolat abgebaut wurden.

Eigenschaften der ligninhaltigen Putze

Die Putzvarianten ohne Lignin ließen sich erwartungsgemäß gut verarbeiten. Bei einem Zusatz von 10 % Lignin ließ sich der Putz, aufgrund der klebrigen Konsistenz durch den Ligninzusatz, zwar etwas schwerer anrühren, war aber immer noch gut zu verarbeiten. Der Putz mit 25 % Lignin war durch seine viel zähere Konsistenz wesentlich schwerer anzurühren, trotz anfänglicher Aggregatbildung konnte aber eine homogene Masse hergestellt werden. Die Putze mit 25 % Lignin konnten nicht so einfach auf die Wand aufgetragen werden, v. a. der Sanierputz haftete anfangs nur schwer. Beim Anrühren aller Ligninputze fand eine exotherme Reaktion statt und der normalerweise helle (weiß bis graue) Putz, färbte sich durch das Lignin zunehmend braun (Abb. 2). Alle Putzvarianten hafteten nach dem Austrocknen gut an der Wand. Teilweise wurden die Ligninputze im Verlauf des Trocknens jedoch poröser und schrumpften stärker zusammen, als es bei den Putzvarianten ohne Lignin der Fall war. Bei manchen Varianten bildeten sich Risse (Abb. 2). Am stärksten äußerte sich das bei dem Sanierputz mit 25 % Lignin. Dieser Umstand kam auch beim Entfernen der Putzplatten zum Tragen. Die Putzplatten ohne Lignin ließen sich ohne Probleme in einem Stück von der Wand entfernen, wohingegen die Putzplatten mit steigender Lig-



Abb. 2 Putze mit verschiedenen Ligninkonzentrationen (0, 10 und 25 M.%) auf einer Backsteinwand, 1 Gipsputz, 2 Renovier- und Putzmörtel, 3 Sanierputz, 12 Tage nach Aufbringung



Abb. 3 Sanierputzplatten mit verschiedenen Ligninkonzentrationen (0, 10 und 25 M.%, von *links* nach *rechts*) nach dem Entfernen von der Wand

ninkonzentration beim Entfernen zerbröckelten und in mehrere große und kleine Teile zerfielen (Abb. 3).

Diskussion

Aufgrund seiner komplexen Struktur mit vielen unterschiedlichen chemischen Bindungen und der Nichthydrolysierbarkeit, ist Lignin normalerweise nur von Weißfäulepilzen aus der Abteilung Basidiomycota vollständig abbaubar. Dass die in dieser Arbeit getesteten Pilze trotzdem, zum Teil gut oder sogar besser, auf den ligninhaltigen Nährmedien wuchsen, kann verschiedene Gründe haben. Auch Braun- und Weichfäulepilze der Basidio- und Ascomycota und anamorphe Pilze sind in der Lage, Lignin teilweise abzubauen (Kirk und Farrell 1987; Eriksson et al. 1990; Ruiz-Duenas und Martinez 2009). Zu letzteren zählen Schimmelpilze aus den Gattungen *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus* und *Trichoderma*. Diese Pilze können z. B. auch auf gelagertem Holz wachsen (Kück et al. 2009). Lignin ist im nativen Zustand u. a. durch seine hydrophoben Eigenschaften schwer enzymatisch abzubauen, doch ändert sich dieser Zustand nach der chemischen Gewinnung. Um es von der Cellulose zu trennen wird die Löslichkeit des Lignins erhöht, indem wasserlösliche Gruppen in das Molekül eingebaut werden und/oder der Grad der Polymerisation reduziert wird. Sowohl Ligninsulfonat, als auch Kraftlignin, das bei dem am häufigsten eingesetzten Kraftverfahren entsteht, sind wasserlöslich (Roberts, 1996). In diesem Zustand können Ligninderivate auch von sonst nur cellulosezerstörenden Pilzen (*Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Trichoderma* spp., u. a.) gut abgebaut werden, wie zahlreiche Beispiele aus der Literatur zeigen (Fischer 1953; Kern 1983; Singh und Flegel 1986; Rakotonirainy 2012). Weiterhin gibt es viele Berichte über das Vorkommen lignolytischer Enzyme in Schimmelpilzen. Beispielsweise wurde nachgewiesen, dass Aryl-Alkohol-Oxidase und Laccase von *Botrytis cinerea* gebildet werden (Goetghebeur et al. 1992; Howard et al. 2003). Pant und Adholeya (2007) konnten die Produktion sowohl von Ligninperoxidase, als auch von Laccase und Manganperoxidase durch *Penicillium pinophilum* und

Alternaria gaisen nachweisen. Auch wenn vermutet wird, dass diese Enzyme in Schimmelpilzen weniger dem Ligninabbau dienen, sondern viel mehr bei anderen physiologischen Prozessen von Bedeutung sind (Thurston 1994; Bratt et al. 1988), ist es denkbar, dass dieses Enzyme Lignin degradieren, wenn sie sekretiert werden. Die Fähigkeit bestimmte Enzyme zu synthetisieren, ist zwar stark von den Umweltbedingungen abhängig (Kirk und Farrell 1987; Ahammed und Prema 2002), doch hat jeder Pilz für die Enzymsynthese spezifische Ansprüche an seine Umgebung, sodass sich wahrscheinlich nie für alle in Innenräumen vorkommenden Pilze gleichermaßen ungünstige Bedingungen herstellen ließen. Weiterhin kann es zu synergistischen oder antagonistischen Effekten kommen, da sich immer mehrere verschiedene Pilzspezies, Bakterien, Milben u. a. auf feuchten Wänden etablieren (Thrasher und Crawley 2009). Alle getesteten Pilzisolat zeigten bei dem Ligninabbau-Versuch negative Ergebnisse, was aber auch an den für die Enzymsynthese schlechten Bedingungen oder der fehlenden Sekretion der Enzyme gelegen haben kann. Weiterhin konnte bei dem durchgeführten Test nur der Abbau von Phenolen nachgewiesen werden (Sundmann und Näse 1971). Das Ligninpolymer besteht nur zu ca. 10 % aus Phenolen und enthält zwölf verschiedene Typen chemischer Verbindungen (Hammel 1997; Higuchi 1990). Aussagekräftiger wäre ein Test mit ^{14}C -markiertem Lignin, bei dem die Fähigkeit von Mikroorganismen $^{14}\text{CO}_2$ zu produzieren, gemessen werden kann (Srebotnik et al. 1994). Es ist beispielsweise denkbar, dass bestimmte Pilze nur die nicht-phenolischen Komponenten des Lignins, wie Methoxylgruppen, abspalten und nutzen.

Weiterhin waren die eingesetzten Mengen des Ligninsulfonats wahrscheinlich zu gering, um andere Nährstoffe (im Fall dieser Arbeit Malzextrakt bzw. Putzbestandteile) einzuschließen und unzugänglich zu machen, sodass die Pilze diese verwerten können, selbst wenn sie das Ligninsulfonat nicht abbauen. Laut Kirk (1983) ist ein durchschnittlicher Ligningehalt von mind. 20 % in pflanzlichem Gewebe nötig, um einen effektiven Schutz vor einer Biodegradation der Cellulose etc. zu gewährleisten. Ligninsulfonat wird aber üblicherweise nur in Mengen von 0,2 bis 2 M. %, in Baustoffe eingemischt, bereits 2 bis 3-fach höhere Dosen können zu starken Erstarrungsverzögerungen und zu verminderter Druckfestigkeit führen (Johnston 1987). Auch bei den Versuchen der vorliegenden Arbeit konnten negative Einflüsse auf die Baustoffeigenschaften beobachtet werden, z. B. kam es durch das Einmischen von 10 % Ligninsulfonat in Putz zu Rissbildungen nach dem Austrocknen. Zudem wäre es in der Baupraxis ungünstig, dass der Zusatz des Lignins den Putz braun färbt.

Es ist wahrscheinlich, dass durch einen Ligninzusatz im Putz zwar einige, aber nicht alle in Innenräumen vorkommenden Pilze gehemmt werden können. Eine allgemeingültige Schlussfolgerung kann aber vorerst nicht gezogen

werden, da es zu synergistischen und/oder antagonistischen Effekten, zwischen den verschiedenen Mikroorganismen, die sich auf einer Wand etablieren können, kommen kann und auch die tatsächlichen Wachstumsbedingungen an einer Wand *in vitro* nur annähernd nachgestellt werden können. Um diese Faktoren näher zu beleuchten und einschätzen zu können, müssten weiterführende Untersuchungen, am besten unter Realbedingungen in einem Raum in dem sich bereits Schimmelpilze etabliert haben, durchgeführt werden.

Literatur

- Ahamed S, Prema P (2002) Influence of Media Nutrients on Synthesis of Lignin Peroxidase from *Aspergillus* sp. Appl Biochem Biotech 102–103:327–336
- Bratt R, Brown A, Mercer P (1988) A role for hydrogen peroxide in degradation of flax fiber by *Botrytis cinerea*. Trans Br Mycol Soc 91:481–488
- Eike-Hennig W (2000) Wohnungslüftung, Feuchte und Schimmel in Wohnungen – ein neues Problem? Gesundh Ing Haustechnik Bauphys Umweltech 121(2):69–81
- Eriksson K-E, Blanchette R, Ander P (1990) Microbial and enzymatic degradation of wood components. Springer, Berlin, S 407
- Fischer G (1953) Untersuchungen über den biologischen Abbau des Lignins durch Mikroorganismen. Archiv Mikrobiol 18:397–424
- Goetghebuer M, Nicolas M, Brun S, Galzy P (1992) Production and excretion of benzyl alcohol oxidase in *Botrytis cinerea*. Phytochem 31:413–416
- Gosselink R, deJong E, Guran B, Abächeri A (2004) Coordination network for lignin-standardisation, production and applications adapted to market requirements (EUROLOIGNIN). Ind Crops Prod 20:121–129
- Hammel K (1997) Fungal Degradation of Lignin. In: Cadisch G, Giller KE (Hrsg) Driven by Nature: Plant litter quality decomposition. CAB International, S 33–45
- Higuchi T (1990) Lignin biochemistry: biosynthesis and biodegradation. Wood Sci Technol 24:23–63
- Howard R, Abotsi E, Jansen van Rensburg E, Howard S (2003) Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. Afr J Biotechnol 2:602–619
- Johnston C (1987) Admixture-cement Incompatibility: a case History. Concr Internat 9(4):51–60
- Kern H (1983) Transformation of lignosulfonates by *Trichoderma harzianum*. Holzforsch 37:109–115
- Kirk T (1983) Degradation and conversion of lignocelluloses. In: Smith JE, Berry BR, Kristiansen B (Hrsg) The filamentous fungi Vol. 4 fungal technology. Edward Arnold, London, S 266–294
- Kirk T, Farrell R. (1987) Enzymatic „Combustion“: the microbial degradation of lignin. Ann Rev Microbiol 41:465–505
- Kück U, Nowrousian M, Hoff B, Engh I (2009) Schimmelpilze – Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. Springer, Berlin, S 207
- Pant D, Adhodaya A (2007) Identification, ligninolytic enzyme activity and decolorization potential of two fungi isolated from a distillery effluent contaminated site. Water Air Soil Pollut 183:165–176
- Rakotonirainy M (2012) Mycota, fungal contaminants of cultural heritage. <http://mycota-crcc.mnhn.fr>. Zugegriffen: 12. Sept. 2012
- Roberts J (1996) The chemistry of paper. The Royal Society of Chemistry, UK, S 190
- Roth L, Frank H, Kormann K (1990) Giftpilze – Pilzgifte, Schimmelpilze – Mykotoxine, Vorkommen, Inhaltsstoffe, Pilzallergien, Nahrungsmittelvergiftungen. Nikol, Hamburg
- Ruiz-Duenas F, Martinez A (2009) Microbial degradation of lignin: how a bulky recalcitrant polymer is efficiently recycled in nature and how we can take advantage of this. Microbial Biotechnol 2:164–177
- Schröters J (2009) Fachwerk.de Community. <http://www.fachwerk.de/fachwerkhaus/wissen/stoff-baustoff-111162.html>. Zugegriffen: 12. Sept. 2012
- Schuchardt S (2000) Von Schimmelpilzen in Innenräumen gebildete leicht flüchtige organische Verbindungen – Bewertung der gesundheitlichen Risiken. Dissertation. Univ. Kiel, Universitätsbibliothek-Zentralbibliothek, geschlossenes Magazin
- Singh K, Flegel T (1986) Isolation and Screening of Lignicellulolytic Fungi. Indian J Anim Nutr 3(3):151–155
- Srebotnik E, Jensen K, Hammel K (1994) Fungal degradation of recalcitrant nonphenolic lignin structures without lignin peroxidase. Proc Natl Acad Sci USA 91:12794–12797
- Sundmann V, Näse L (1971) A simple plate test for direct visualization of biological lignin degradation. Pap Timber 2:67–71
- Thrasher J, Crawley S (2009) The biocontaminants and complexity of damp indoor spaces: more than what meets the eyes. Toxicol Industrial Health 25(9–10):583–615
- Thurston C (1994) The structure and function of fungal laccases. Microbiology – UK 140:19–26
- Vill E (1997) Feuchtigkeit in Wohnungen, Haus oder Keller – Teil 1. Whg Gesundh 3(82):44–46
- Weber H (1993) Allgemeine Mykologie. Gustav Fischer, Jena
- Williams R, Elliot M (1997) Antioxidants in grapes and wine: Chemistry and health effects. In Shaihi F (Hrsg) Natural antioxidants: Chemistry, health effects and applications. AOCS Press, Champaign, S 150–173
- Zhang Q, Chuang K (2001) Adsorption of organic pollutants from effluents of a Kraft pulp mill on activated carbon and polymer resin. Adv Environ Res 3:251–258



Vanessa Hörmann (Msc. der Gartenbauwissenschaften), Jahrgang 1984, Studium der Gartenbauwissenschaften an der Humboldt Universität zu Berlin. Seit Oktober 2012 Doktorandin an der Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Urbane Ökophysiologie der Pflanzen.