

Schlussbericht des BMBF-Projektes „Buche-Küstentanne

Teilprojekt 6 (TP6):

Überprüfung der Dauerhaftigkeit von Holzwerkstoffen und Dämmstoffen gegenüber holzabbauenden Pilzen unter Berücksichtigung von Weiß-, Braun- und Moderfäule und Schimmelbefall und Entsorgung von Dämmstoffen durch Kompostierung

Autor des Berichtes:

Prof. Dr. Ursula Kües (Projektleiter)

Berichtszeitraum:

01.11.2005 bis 31.03.2009

Am Teilprojekt beteiligte Personen:

Prof. Dr. Ursula Kües (Projektleiter)

Ihtzaz Malik (von 01.11.2006-31.1.2007)

Dr. Mónica Navarro-González (seit 1.3.2007)

weitere zeitweilige Projektmitarbeiter:

Dong-Sheng Wei, DAAD-Stipendiat

Banyat Cherdchim, Stipendiat der Prince of Songkla-Universität Thailand

Vorhabensbezeichnung:

Forst-Holz-Wertschöpfungskette Buche/Küstentanne

Anschrift:

Abt. für Molekulare Holzbiotechnologie und technische Mykologie

Büsgen-Institut

Universität Göttingen

Büsgenweg 2

37077 Göttingen

1) Aufgabenstellung

Aufgabe des Teilvorhabens TP 6 der Abteilung Molekulare Holzbiotechnologie und technische Mykologie des Büsgen-Instituts (früher Abteilung Molekulare Holzbiotechnologie des Instituts für Forstbotanik) im Rahmen des NHN-Verbundprojektes war es, Holzwerkstoffe aus Buchen bzw. Buchen/Küstentannen (OSB-, MDF- und Spanplatten) und Dämmstoffe aus Buchenfaserstoff, die im Rahmen der Partnerprojekte TP3, TP4 und TP5 hergestellt wurden, nach konventionellen Methoden und im Vergleich dazu das Massivholz auf ihr Verhalten bei Befall mit typischen Weiß-, Braun- und Moderfäulepilzen bzw. Schimmelpilzen zu untersuchen (Befall, Gewichts- und Festigkeitsverlust des Holzes, Verlust spezifischer Holzkomponenten).

2) Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Zu Beginn des Vorhabens waren außer einigen Beobachtungen an lebenden Bäumen aus der Literatur nahezu keine Kenntnisse zum Verhalten von *A. grandis* Holz gegenüber Pilzen vorhanden. Es war daher erforderlich, nicht nur produzierte Holzwerk- und Dämmstoffe, sondern auch Vollholz intensiv zu untersuchen. Vollholzproben und Proben von Holzwerkstoffen und Dämmstoffen aus Buche und/oder Küstentanne wurden zur Untersuchung aus anderen Teilprojekten sowie direkt aus den Aufforstungen in Syke, Niedersachsen erhalten.

3) Planung und Ablauf des Vorhabens

Methodisch wurde zur Evaluierung von Vollholz und Holzprodukten im Verhalten gegenüber Pilzen auf bestehende Normteste zurückgegriffen: EN113 zum Feststellen von Masseverlust bei Vollholz und bei Holzwerkstoffen nach Inkubation mit definierten Pilzen (*Trametes versicolor*, *Coniophora puteana*, *Chaetomium globosum*), DIN53931 zum Beurteilen der Resistenz gegen Schimmel (*Aspergillus niger*, *Penicillium pinophilum*, *Trichoderma viride*, *Paecilomyces varioti*, *C. globosum*, *Ulocladium chartarum*) von Dämmstoffen und die komplexe Methode EN14855 zur Beurteilung der Kompostierbarkeit von Dämmstoffen. Proben definierter Größe wurden dabei unter definierten Umweltbedingungen jeweils für 3 bzw. 4 Monate inkubiert und Effekte von Pilzen danach nach verschiedenen Kriterien (Masseverlust, Stabilitätsverlust, Morphologieveränderungen, chemische Veränderungen, etc.) evaluiert. Inkubationsphasen wurden dabei genutzt, um einerseits mit modernen molekularen Methoden spontanen Pilzbefall auf Holz in der Natur sowie unter feuchten Raumbedingungen zu verfolgen

und auftretende unbekannte Fäule- und Schimmelpilze zu definieren und andererseits andere einfachere Methoden zur Kompostierung von Dämmstoffen auszutesten. Pilz-DNA-Sequenzdaten wurden gesammelt zur Erstellung von Datenbanken zur molekulare Identifizierung von Pilzarten auf Holz.

4) Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Küstentanne (*Abies grandis*) ist als Neophyt aus dem westlichen Nordamerika in Europa eingeführt worden. Ihr Holz fand bislang Verwendung als Industrieholz, Holzschliff und Bauholz sowie in der Papierindustrie. Sowohl für den erfolgreichen Anbau der Küstentanne als auch für bisherige und neue Verwendungsarten des Holzes sind Kenntnisse im Verhalten mit schädlichen Pilzen von Bedeutung. Dazu gehören Lignin abbauende Weißfäulepilze, Zellulose und Hemizellulose abbauende Braun- und Moderfäulepilze, sowie hygienisch bedenkliche Schimmelpilze, die Holz im Aussehen beeinträchtigen und durch Ausscheiden von flüchtigen Komponenten und/oder durch heftige Sporulation Allergien, Mykosen und Toxikosen bewirken können.

Zu Beginn des Projektes wurde eine Literatursuche zu holzbewohnenden und -zerstörenden Pilzen auf Küstentanne durchgeführt, wobei insbesondere die ISI-Datenbank Web of Science (Thomson-Reuters) und Datensammlungen des United States Department of Agriculture benutzt wurden. In den USA sind Fälle von Befall und Abbau des Holzes der lebenden Küstentanne durch Weißfäulepilze (*Armillaria* spp., *Phellinus weirii*, *Heterobasidion* sp., *Echinodontium tinctorium*) beschrieben, wobei Schwächung durch vorherigen starken Raupenbefall, Standortfaktoren und Alter der Forsten wichtige Rollen spielten. In europäischen Anpflanzungen wurde bislang nur in Ausnahmefällen Befall durch Fäulepilze (*Armillaria* sp.) beobachtet, wobei lokale Standortfaktoren und genetische Herkünfte des Saatguts mitverantwortlich sein könnten. Im Vergleich zu anderen Nadelhölzern ist *A. grandis* als hoch-resistent gegenüber europäischen *Heterobasidium* sp. beschrieben worden.

Nur wenig ist in der Literatur über den Abbau von Tot- bzw. Gebrauchsholz zu finden. In Testserien war die Gebrauchsdauer von Pfosten aus unbehandeltem *A. grandis* Holz bei Bodenkontakt im Vergleich zu anderen Hölzern meist länger. Bei Sperrholz wurde unter Außenbedingungen ein Befall und zum Teil starker Abbau durch Braunfäulepilze beobachtet. Daten zu anderen Holzwerkstoffen mussten erstellt werden.

In den Standardtesten EN113 und DIN53531 zur Untersuchung von Holz und Holzprodukten werden bekannte Pilze mit definiertem Wuchs- und Abbauverhalten eingesetzt,

um grundsätzliche Aussagen über Resistenten des Holzes machen zu können. Dagegen können zahlreiche andere bekannte oder unbekannte Pilze in der Natur und bei Gebrauch des Holzes auftreten. Zur schnellen und sicheren Identifizierung von Schadpilzen stehen heute molekularbiologische Methoden zur Verfügung, die sich artkonservierte DNA-Sequenzen (ITS-Bereiche der ribosomalen Gene) zu Nutzen machen. Sequenzeinträge sind für einige Pilze in öffentlichen Datenbanken (National Center of Biotechnology Information, Bethesda USA; MykoBank, CBS Utrecht) schon vorhanden, aber bei der überwiegenden Anzahl von Pilzen müssen solche Erkennungsdaten für zukünftige Anwendungen noch gewonnen werden. Arbeiten der Abteilung Molekulare Holzbiotechnologie und technische Mykologie im Rahmen des Buchen/Küstentannen-Projektes tragen dazu bei.

- ERIKSSON, K.-E.L.; BLANCHETTE, R.A.; ANDER, P. 1990: Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer, Berlin, 407 S.
- INSTITUT FÜR HOLZTECHNOLOGIE DRESDEN GEMEINNÜTZIGE GMBH (Hrsg.) 2009: Mykologisches Kolloquium. Molekularbiologische Pilzdiagnostik. 7./8. Mai 2009 in Dresden. IHB, Dresden, 95 S.
- HOEGGER, P.J.; KÜES, U. 2007: Molecular detection of fungi in wood. In: KÜES, U. (Hrsg.) Wood production, wood technology, and biotechnological impacts. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, S. 159-178
- KLOESER, L.; KÜES, U.; SCHÖPPER, C.; HOSSEINKHANI, H.; SCHÜTZE, S.; DANTZ, S.; MALIK, I.; VOS, H.; BARTHOLME, M.; MÜLLER, C.; POLLE, A.; KHARAZIPOUR, A. 2007: Panel boards and conventional adhesives. In: KÜES, U. (Hrsg.) Wood production, wood technology, and biotechnological impacts. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, S. 297-346
- KÜES, U.; NAVARRO-GONZÁLEZ, M.; CHERDCHIM, B.; MAJCHERCZYK, A. 2009: Anfälligkeit von lebendem und totem Holz der Küstentanne gegenüber Pilzen. In: 3. Mykologisches Kolloquium. Molekularbiologische Pilzdiagnostik. 7./8. Mai 2009 in Dresden. IHB, Dresden, 14 S.
- PELZ, S.; MEHLIN, I.; Becker, G.; BÜCKING, M. 2003: Eigenschaften und Verwendungsoptionen von *Abies grandis* und *Abies procera*. Forst u. Holz, 58, 290-296
- RÖHRIG, E. (Hrsg.) 1978: Grundlagen für den Anbau von *Abies grandis*. Schriften Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Nds. Forstl. Versuchsanstalt, Band 95, 95 S.
- UMWELTBUNDESAMT 2005: Leitfaden zur Untersuchung und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Dessau-Roßlau, 63 S.

5) Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Proben von Vollholz und Holzprodukten wurden von den Partnern TP2, TP3, TP4 und TP5 erhalten und nach erfolgter Untersuchung mit Pilzen und Rückkoppelung mit diesen Partnern mit Daten an den Projektpartner TP7 zur FTIR-Analyse weitergereicht.

5) Ergebnisse

5.1 Testen von Produkten aus anderen Teilprojekten

A. Massivholz

Abies grandis (Küstentanne) und *Fagus sylvatica* (Buche) Massivholz wurde nach Norm EN113 im Vergleich zu *Pinus sylvestris* auf Abbauverhalten gegenüber Pilzen getestet. Buchenholz verhielt sich in den Abbautesten wie in der Literatur beschrieben (Pandey und Pitman 2004, J. Pol. Sci. Part A, 42, 2340-2346; Faix et al. 1991, J. Anal. Appl. Pyrolys., 21, 147-162), d.h. es wird sowohl von Braunfäule als auch von Weißfäule stark angegriffen. Die Ergebnisse von wiederholten Testen zeigten, dass *A. grandis* Holz stark durch Braunfäulepilze wie *Coniophora puteana* abgebaut wird und gegen Weißfäulepilze *Trametes versicolor* dagegen etwas resistenter ist (s. das Beispiel eines Versuchs in Abb. 1). Inkubation mit dem Schimmelpilz *Chaetomium globosum* hatte negative Wirkung auf das Aussehen des Holzes, aber nicht auf Masseverlust. Andere *T. versicolor* Stämme zeigten eine noch geringere Aggressivität gegenüber *A. grandis* und kaum Abbau des Holzes. Andere Weißfäulepilze (u.a. *Pleurotus ostreatus*, *Heterobasidion* Arten, *Armillaria* Arten) wurden mit *A. grandis* Holz getestet, aber ein Abbau erfolgte nicht oder nur kaum (s. Zwischenbericht 2007).

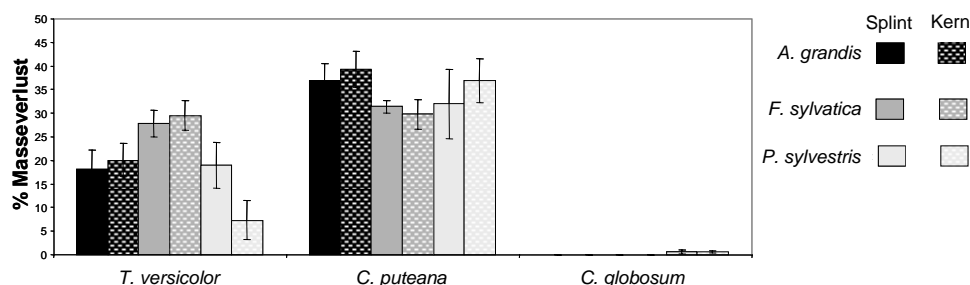


Abb. 1: Masseverlust bei *Abies grandis* und *Fagus sylvatica* Kern- und Splintholz in Mini-Block-Testen nach der Norm EN113 mit den spezifisch in der Norm aufgeführten Pilzstämmen.

Bestimmungen zu holzchemischen und holztechnischen Eigenschaften von *A. grandis*, *F. sylvatica* und *P. sylvestris* Holz nach Pilzbefall wurden durchgeführt und Ligningehalt nach Halse (1926, Papier-J., 14, 121-123) bestimmt. Wie bei Braunfäule bei einem starken Abbau der Zellulose und Hemizellulosen zu erwarten, zeigten die Ergebnisse, dass nach Inkubation mit *C. puteana* der relative Ligningehalt in allen behandelten Proben nach entsprechend hoch war (s. *A. grandis* als Beispiel in Abb. 2A). Behandlung mit dem Weißfäulepilz *T. versicolor* und dem Moderfäulepilz *C. globosum* führte dagegen bei *A. grandis* Splintholz nicht zu Veränderungen des relativen Ligningehal-

tes. Lediglich bei Behandlung des Kernholzes mit *T. versicolor* ist eine Reduktion im relativen Ligningehalt zu sehen (Abb. 2A). Interessant ist, dass das mit *T. versicolor* behandelte Splint- und Kernholz eine erheblich höhere Wasseraufnahme zeigt als unbehandeltes Holz oder Holz, das mit *C. globosum* bzw. *C. puteana* inkubiert wurde (Abb. 2B). Auch wenn der Masseverlust bei *T. versicolor*-Behandlung vergleichsweise gering war, muss doch eine wesentliche Veränderung an den Zellwänden stattgefunden haben, insbesondere am hydrophoben Lignin, was auch durch FTIR-Analysen bestätigt wurde. Die Wasseraufnahme von mit *C. puteana* behandeltem Kernholz war leicht erhöht, obwohl das hydrophobe Lignin in relativ höheren Anteilen vorhanden war (Abb. 2B). Deutliche Unterschiede im Verhalten von Splintholz und Kernholz wurden aber nicht festgestellt. Zur Kontrolle eingesetztes Kieferholz verhielt sich in den meisten Punkten vergleichbar wie die *A. grandis* Holzproben. Durch *C. puteana* beschädigtes Buchenholz hatte ebenfalls einen erhöhten relativen Ligningehalt, während mit *T. versicolor* behandeltes Holz einen reduzierten Ligningehalt zusammen mit einer erhöhten Wasseraufnahme aufwies und sich der relative Ligningehalt übereinstimmend mit nicht erfolgten Abbau und Masseverlust bei Behandlung mit *C. globosum* nicht veränderte (s. Zwischenbericht 2008).

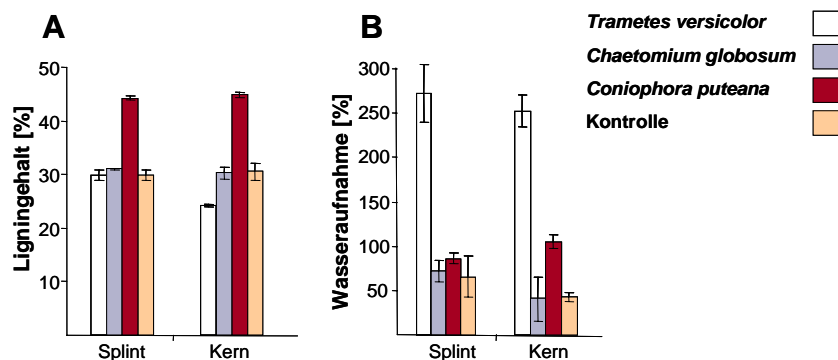


Abb. 2: Mechanisch-technologische Eigenschaften von *A. grandis* Massivholz nach 16 Wochen Inkubation mit Pilzen nach der Norm EN113. A. Relativer Ligningehalt der Proben, B. prozentuale Wasseraufnahme.

Die relativ gute Resistenz von Küstentannenholz gegenüber Weißfäulepilzen ließ vermuten, dass das Holz chemikalische Abwehrmassnahmen besitzt. Um die verantwortlichen Komponenten zu finden, wurden wasser- und acetonlösliche Holzextraktstoffe gewonnen. Aliquots wurden auf Inhibitionsfähigkeit von Pilzen getestet. Sehr starke inhibitorische Effekte wurden z.B. gegenüber dem Pilz *Coprinopsis cinerea* festgestellt (Abb. 3), eine geringere Inhibition des Wachstums trat bei verschiedenen Weißfäulepilzen auf (s. Zwischenbericht 2008). In Testen nach Norm EN113 mit extrahiertem

Küstentannenholz zeigte sich das Holz nicht mehr geschützt gegenüber einem Angriff von *T. versicolor* und sogar der saprotrophische Pilz *C. cinerea* konnte zu geringen Mengen einen Abbau verursachen (s. Zwischenbericht 2008).

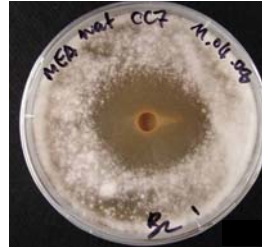


Abb. 3: Wachstumsinhibition bei dem saprotrophen Pilz *Coprinopsis cinerea* durch Holzextraktstoffe der Küstentanne (Kües et al. 2009).

Extraktstoffe aus Küstentannenholz wurden in ihrer chemischen Zusammensetzung gaschromatographisch analysiert, um mögliche Hemmstoffe von Pilzwachstum zu identifizieren. Neben toxischen Phenolen waren auch bekannte Stoffe der Enzyminduktion bei Pilzen vorhanden und die Aktivität der Extraktstoffe auf Induktion einer ligninolytischer Enzymproduktion bei Weißfäulepilzen wurde nachgewiesen (Zwischenberichte 2007, 2008). Vermutlich aufgrund dieser induzierten Enzymproduktion ist der Schutz des Holzes gegenüber einigen Weißfäulepilzen nicht vollkommen. Entsprechend lassen sich chemische Veränderungen an mit *T. versicolor* inkubiertem *A. grandis* Holz nachweisen (s. Zwischenbericht 2008).

B. Mitteldichte Faserplatten - MDF

Getestete MDF aus Küstentannenfasern aus Teilprojekt TP4 verhielten sich gegenüber dem Weißfäulepilz *T. versicolor* vergleichsweise resistent (ca. 5% Masseverlust, s. als Beispiel Abb. 4A), während der Braunfäulepilz *C. puteana* alle getesteten MDF aus Küstentannenfasern stark abbaute, nicht aber solche aus 100% Buchenfasern (s. Zwischenberichte 2007, 2008). Getestete MDF-Platten aus 100% Küstentannenfasern wurden vergleichbar zu MDF aus 100% Buchenfasern von dem Moderfäulepilz etwas in ihrer Masse etwas angegriffen, wenn auch nicht so stark wie durch den Braunfäulepilz (ca. 5% Masseverlust, Abb. 4A). In Übereinstimmung mit den Masseverlustdaten veränderte sich der relative Ligningehalt nur in MDF, das mit dem Braunfäulepilz behandelt wurde (Abb. 4B). FTIR-Analysen bestätigten die Resultate.

Die kompakte gepresste Struktur der MDF-Platten, chemische Veränderungen beim Pressen bei hohen Temperaturen oder Zugabe von konventionellen Harnstoff-Formaldehyd-Binder (UF-Harz) und anderen Zusatzstoffen (Paraffin zur Reduktion der Be-

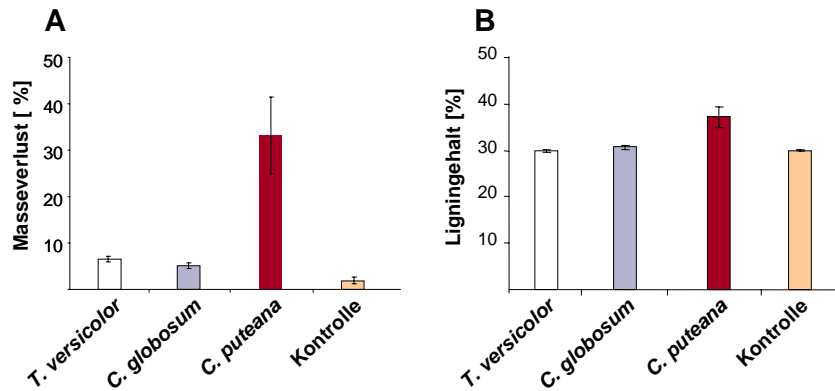


Abb. 4: Masseverlust bei 8 mm MDF aus 100% Küstentanne durch Pilze (A.) und Veränderung des Ligningehalts durch Inkubation mit Pilzen (B.).

netzbarkeit) könnten Gründe für die verbesserte Resistenz gegenüber dem Weißfäulepilz *T. versicolor* sein. Nach den sehr guten Ergebnissen mit MDF-Proben aus Küstentannenfasern in Pilzresistenztesten gegenüber Weißfäulepilzen wurden weitere Tests angesetzt mit Proben aus Industrieversuchen der Firma Pfeleiderer und mit Proben aus Pilotversuchen, in denen der konventionelle Kleber UF teilweise durch Weizenprotein als natürlicher Kleber ersetzt wurde. Alle nach EN113 getesteten mit konventionellen Kleber hergestellten MDF-Proben unabhängig vom zugefügten Anteil an *A. grandis*-Fasern (zwischen 40% und 100%) zeigten sich gegenüber *T. versicolor*, *C. globosum* und *C. puteana* vergleichsweise resistent (jeweils ca. 5-7% Masseverlust). Bei Zugabe von Weizenprotein als naturnahem Kleber wurde ein Abbau von MDF aus 100% *A. grandis* Fasern durch *T. versicolor* festgestellt (ca. 20% Masseverlust in EN113-Testen). Solche negativen Effekte durch Zugabe von Weizenprotein traten nicht bei MDF aus 100% *P. sylvestris* Fasern auf, während MDF aus Buchenfasern auch ohne Ersetzen des konventionellen Klebers durch einen naturnahen Kleber stark abgebaut wurde (ca. 40-50% Masseverlust).

Extensiver Befall mit *C. globosum* führte bei allen getesteten MDF zu einem leichten Masseverlust (s. Beispiel in Abb. 4A) und zu unansehnlichen Myzelbewuchs einschließlich starker Sporenbildung auf der Oberfläche der Prüfstücke. Mit der fein-rauhen Faser Oberfläche von MDF ergibt sich für Schimmelpilze möglicherweise eine verbesserte Haftungsgrundlage für die Besiedlung und damit ein potentiell verstärktes hygienisches Problem. MDF-Proben aus 100% Küstentannen-, 100% Buchen- und 100% Kiefernfasern wurden daher frei in Räumen mit unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten (zwischen 30 und 90-95%) aufgehängt. Optische Untersuchungen zeigten keine Veränderungen der Form und generellen Struktur bei allen getesteten MDF und es gab auch bei hohen Luftfeuchtigkeiten generell nur wenig Wachstum von Pilzen auf diesen

Proben. Bei allen MDF-Typen war ein Pilzbefall oberflächlich erst nach 15 Wochen Inkubation sichtbar und dann nur bei den Proben, die bei 90-95% Luftfeuchte inkubiert wurden, wobei MDF aus Buche am stärksten betroffen war (Abb. 5). Anhand von Fruchtkörperformen (Abb. 5D) konnten mindestens fünf verschiedene Ascomyzeten (einschließlich *C. globosum*) unterschieden werden neben einer Anzahl verschiedener mitosporischer Pilze, die zur molekularen Charakterisierung isoliert wurden (s. 1.2).

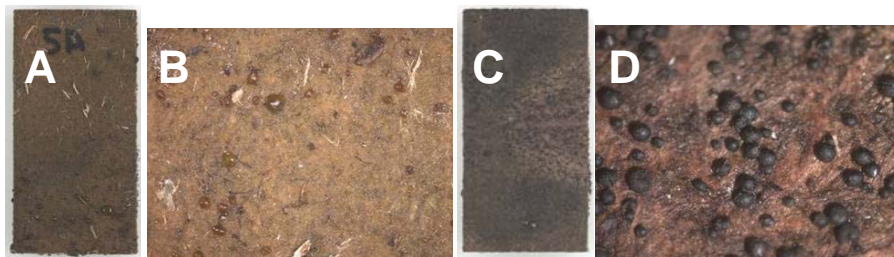


Abb. 5: Spontaner Schimmelbewuchs und Fruchtkörperbildung auf MDF-Miniblöcken (5 cm x 2,5 cm x 0,8 cm) aus **A.** *Abies grandis* und **C.** *F. sylvatica* Fasern (**B.** und **D.** zeigen jeweils vergrößerte Ausschnitte) nach 15 Wochen Inkubation bei 90-95% Luftfeuchtigkeit.

C. Spanplatten

Ergebnisse zu EN113-Testen mit Spanplatten aus Küstentannenholz aus TP4 zeigen, dass diese in der Regel im Vergleich zum getesteten *A. grandis* Massivholz und MDF weniger resistent gegenüber *T. versicolor* waren (s. Abb. 6A als Beispiel). Generell waren keine auffälligen Unterschiede festzustellen, ob Platten vollständig aus *A. grandis* Spänen oder aus *A. grandis*-*F. sylvatica*-Gemischen hergestellt worden waren oder ob sie einen Sandwich-Aufbau (aussen *A. grandis*, innen *F. sylvatica*) hatten (s. Zwischenberichte 2007, 2008). Übereinstimmend mit dem starken Masseverlust bei Inkubation mit dem Braunfäulepilz *C. puteana* und dem leichten Masseverlust bei Inkubation mit dem Moderfäulepilz *C. globosum* erhöhte sich bei Spanplatten der relative Ligningehalt stark bzw. ein wenig (s. Abb. 6B als Beispiel). Wenn Prüfstücke mit dem Weißfäulepilz *T. versicolor* behandelt wurden, war der relative Ligningehalt in Platten entsprechend dem beobachteten hohen Masseverlust reduziert.

Es stellt sich mit Abschluss der Untersuchungen an im kleinem Maßstab produzierten Spanplatten die Frage, inwieweit auch im Großansatz produzierte Spanplatten sich mit destruktiven Pilzen gleich verhalten. Weitere Dauerhaftigkeitsteste mit Proben aus Industrieversuchen von Pfeleiderer zeigen generell, dass Spanplatten aus Küstentannenholz sich analog Platten aus anderem Nadelholz verhalten mit einer vergleichbar guten Resistenz gegenüber *C. globosum* und *C. puteana* (ca. 5% Masseverlust) und bei einem Masseverlust von 30-40% einer geringen Resistenz gegenüber *T. versicolor*.

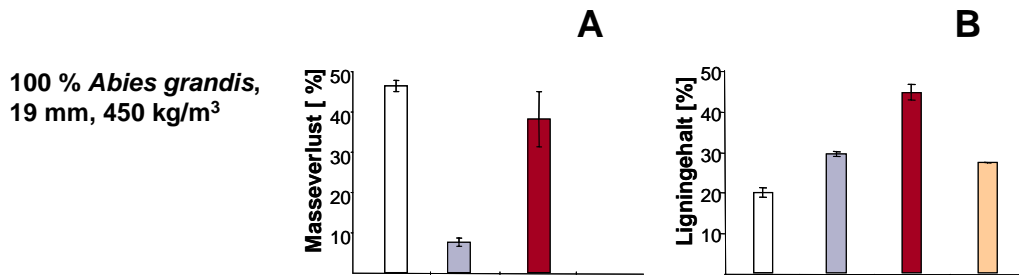


Abb. 6: Masseverlust (A) bei Spanplatten aus 100 % Küstentannenspänen und Veränderung des Ligningehalts (B) durch Behandlung mit Pilzen

D. Oriented Strand Platten (OSB)

OSB-Platten aus TP3 aus unterschiedlichen Herstellungen aus *F. sylvatica* Strands wurden ebenfalls nach EN113 getestet. Der Grad des Abbaus von OSB war unabhängig von Trocknungstemperaturen der Strands, wurde aber stark durch Presstemperaturen beeinflusst. Abbau bei allen Pilzen war am niedrigsten bei mittleren Presstemperaturen (180°C). Bei OSB-Platten, die mit PMDI (Polymeres Diphenylmethandiisocyanat) geklebt wurden, war der Abbau durch den Weißfäulepilz *T. versicolor* höher, bei OSB-Platten, die mit MUPF (Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehyd) geklebt wurden, war der Abbau durch den Braunfäulepilz *C. puteana* dramatisch gestiegen. Die Ursache des erhöhten Abbaus waren möglicherweise temperaturinduzierte chemische Veränderungen an phenolischen und anderen Komponenten in den Holzextraktstoffen und/oder in den Zellwänden der Buchenstrands. Da bei niedriger Presstemperatur (140°C) z. T. höhere Abbauraten auftraten, ist es möglich, dass durch weitere Erhitzung der Buchenprodukte bis 180°C über temperaturbedingte Modifikation in der Tat ein chemischer Schutz verursacht wird wie es von hitzebehandeltem Buchen-Thermoholz bekannt ist.

E. Dämmplatten

a. Dauerhaftigkeitsteste von Dämmstoffen aus Buchenfasern nach EN113

Proben von Dämmplatten aus Fasern von *F. sylvatica*, die in TP5 mit Kartoffelstärke und -pulpe als Bindemittel, sowie unter Zugabe von Zeitungspapier hergestellt wurden, wurden nach der Norm EN113 mit Pilzen inkubiert. In allen Fällen trat ein relativ starker Abbau der Dämmstoffe durch *T. versicolor* und *C. puteana* auf und ein schwacher Abbau durch *C. globosum*. Die geringsten Abbauraten durch den Weißfäulepilz *T. versicolor* wurden bei Proben mit Kartoffelstärke erhalten und der höchste Abbau mit Proben mit Kartoffelpulpe. Zeitungspapier-Buchenfaserdämmstoffe unterschieden

sich nicht wesentlich im Abbauverhalten zu Dämmstoffen aus reinen Buchenfasern. Auffällig war die erhöhte Fruchtkörperproduktion des Zellulose-abbauenden Moderfäulepilz *C. globosum* auf den mit Zeitungspapier produzierten Dämmstoffen.

Da sporulierende Pilze ein hygienisches Problem darstellen, war es erforderlich, neuartige Dämmstoffe auf ihr Verhalten mit gängigen Schimmeln nach Norm DIN 53931 zu testen. Die Ergebnisse des Testes mit sechs verschiedenen Schimmelarten zeigten, dass Dämmstoffe mit Kartoffelpülpe vergleichsweise anfällig gegenüber Schimmelpilzen und einer massiven Sporenbildung sind. Dämmstoffe mit Kartoffelstärke verhielten sich mit Ausnahme gegenüber dem Pilz *Paecilomyces varioti* besser als die Dämmstoffe mit Kartoffelpülpe und mit allen Pilzen schlechter als die Dämmstoffe aus reinen Buchenfasern. Weiter wurde spontaner Schimmelbefall bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten mit im Raume frei aufgehängten Probestücken aller Typen von Dämmstoffen getestet. Bei hoher Luftfeuchtigkeit (75-95%) inkubierte Proben saugten alle Feuchtigkeit auf, zerbrachen durch das Gewicht des Wassers und fielen zu Boden, während bei Inkubation bei geringer Luftfeuchtigkeit (30%) keine solchen Schäden festgestellt wurden und auch kein Schimmelbewuchs. Von Proben, die bei hohen Luftfeuchtigkeit inkubiert wurden und nach Zerfall im Bodenkontakt waren, wurden Schimmelpilze isoliert zur molekularen Bestimmung der Arten (s. 1.2).

b. Kompostierung von Dämmstoffen aus Buchenfasern

Nach erfolgtem Gebrauch müssen Dämmstoffe umweltschonend entsorgt werden. Deshalb wurde die Kompostierbarkeit von Dämmstoffen aus reinen Buchenfasern bzw. aus Buchenfasern plus Kartoffelpülpe in einem geschlossenen Kompostsystem bei 65°C nach Norm EN 14855 getestet, wobei parallel Ansätze mit Avicell Cellulose als Kontrolle dienten. Anhand zuerst eines Ansteigens und dann eines Absteigens der im Kompost pro Tag gebildeten CO₂-Menge, dass in knapp drei Wochen alles Material schon stark kompostiert war unabhängig von der Art des zu kompostierenden Stoffes (s. Zwischenbericht 2008). Glühverlustanalysen zeigten, dass der zu Beginn höhere relative organische Anteil am Gemisch von Kompost mit Cellulose bzw. Dämmstoffen wie zu erwarten abnimmt und sich der relative Humifizierungsgrad der Gemische der des reinen Kompostes annähert. Wie bei Ligninumsetzung zu erwarten, nahm der relative Anteil von aggressiven Fulvosäuren im Kompost mit Dämmstoffen zu und bei Dämmstoffen mit stickstoffhaltiger Kartoffelpülpe auch der von alkalilöslichen Fulvosäuren (s. Zwischenbericht 2008).

Kompostierung nach Norm EN14855 erfolgt mit hohem Arbeitsaufwand in einem technisch sehr schwierig handhabbarem und schwer zu kontrollierbarem System. In einem zweiten offenen, in der Temperatur nicht festgesetzten und technisch sehr viel einfacherem Kompostierungsversuch wurden daher entweder grob zerkleinert oder grob zerbrochenen Proben (Dämmstoffe aus reinen Buchenfasern, mit Kartoffelpülpe, mit Kartoffelstärke) in Nylongazesäckchen in frischen Kompost (etwa 400 l) in einem 470 l Schnellkomposter eingesetzt und über 12 Wochen inkubiert (s. Zwischenbericht 2008). Ergebnisse zeigen, dass auch unter diesen Bedingungen ein rascher Abbau erfolgt – ein leichter Masseverlust war schon nach 2 Wochen sichtbar und er steigerte sich über die folgenden 12 Wochen. Schon nach zwei Wochen Inkubation war Pilzwachstum auf den Proben mit dem bloßen Auge erkennbar. REM-Aufnahmen zeigen deutlich Zersetzung der *F. sylvatica* Fasern als auch Hyphen und Sporen von Pilzen (Abb. 7). Pilze wurden zur molekularen Bestimmung von inkubierten Dämmstoffproben isoliert.

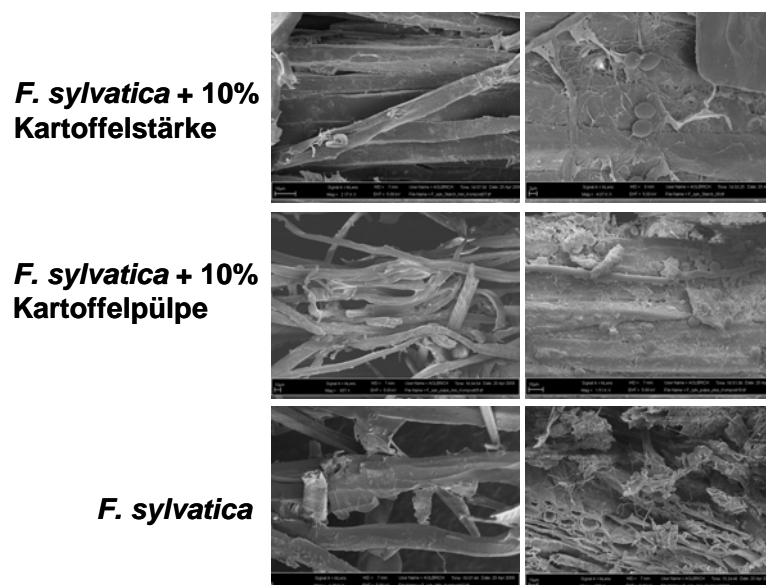


Abb. 7: REM Aufnahmen von frischen Dämmstoffen (links) und (rechts) kompostierten Dämmstoffen nach 12 Wochen Inkubation in einem 470 l Komposter.

5.2 Molekulare Identifizierung von Pilzen im Holz

Pilze wurden aus diversen Holzproben und Holzwerkstoffen isoliert: aus Totholz gesammelt in den Aufforstungen Syke, aus Holzleisten, die für ein Jahr in Bodenkontakt in verschiedenen Erden in Göttingen inkubiert wurden, aus Köderversuchen mit MDF und mit Dämmstoffen und aus kompostierenden Dämmstoffen. Insgesamt wurden fast 1000 Pilzisolat erhalten, diese nach Aussehen in etwa 350 Morphotypen eingeteilt, bislang von ca. 300 Isolat die DNA isoliert und von ca. 150 DNAs die ITS-

Sequenzen isoliert und sequenziert. Zusätzlich wurden ITS-Sequenzen aus 82 holzbewohnenden Pilzen aus Stammsammlungen erstellt. Insgesamt liegen derzeit 212 verschiedene Sequenzen vor, die mit der NCBI-Datenbank analysiert wurden. Die meisten der ITS-Sequenzen sind vollkommen neu. Erste Gruppen von Pilzen sind mit Hilfe ihrer Sequenzen nach Familien, Gattungen und in Ausnahmefällen nach Arten eingeordnet worden. Bisher wurden dazu vier Publikationen erstellt: Naumann et al. (2007), Navarro-González (2008), Navarro-González et al. (2008) und Kües et al. (2009). Die molekularen Analysen werden noch weiter fortgesetzt werden und zusammenfassende Daten werden in weiteren Publikationen bekannt gegeben.

5.3 Schlussfolgerungen

Aus den durchgeführten Experimenten zur Bestimmung von Dauerhaftigkeiten von Massivholz und Holzwerkstoffen lässt sich für den allgemeinen Gebrauch von Küstentannenholz in Anwendungen festhalten, dass *Abies grandis* Holz eine vergleichsweise hohe Resistenz gegen Weißfäulepilze hat. Diese Resistenz ist offenbar durch Holzextraktstoffe mitbestimmt, die das Wachstum von getesteten Weißfäulepilzen hemmen. Diese Hemmung ist bei einigen Arten wie z. B. *T. versicolor* jedoch nicht perfekt. Solche Pilzarten können deshalb langfristig dann einen teilweisen Holzabbau verursachen. Extraktstoffe und spezifische Komponenten darin induzieren bei Weißfäulepilzen Produktion von ligninolytischen Enzymen und dies trägt möglicherweise zum partiellen Holzabbau bei.

Generell ist bei Massivholz der Küstentanne und fast allen getesteten Holzwerkstoffen mit Küstentannenanteilen keine Resistenz gegenüber Braunfäule (*C. puteana*) vorhanden. Ausnahmen waren in den Untersuchungen verschiedene MDF aus der Industrie (Pfleiderer). Allerdings wurden für die Herstellung dieser MDF Fasern der Küstentannen mit anderen Nadelholz und *F. sylvatica* gemischt. Diese Platten zeigten eine starke Resistenz gegen alle getesteten Pilze. Als weitere Ausnahme gab es bei industriellen Spanplatten lediglich einen starken Abbau durch *T. versicolor* und einen geringen Abbau durch *C. globosum*, nicht aber durch *C. puteana*. Spezifische Zusätze in der Industrie zu den Rohmaterialien (z.B. H+R Vivamelt S 52 Wachse) könnten bei dem Ergebnis eine Rolle gespielt haben. Insbesondere die industriell hergestellten Holzwerkstoffe aus Küstentanne zeigten ein ähnliches Verhalten wie herkömmliche Platten aus Nadelholzgemischen.

Beobachtungen an Serien von OSB-Platten aus Buchenstrands zeigten sehr deutlich, dass Pressbedingungen (insbesondere Temperaturen) und Klebverwendung Einfluss auf späteres Resistenzverhalten von Platten haben können. Solche potentiellen Thermoholzeffekte sollten zukünftig auch bei Holzwerkstoffen aus anderen Hölzern besser analysiert werden.

Eine gute Resistenz gegen Holzabbau ist bei allen Produkten aus allen getesteten Hölzern gegenüber dem Moderfäulepilz *C. globosum* vorhanden, auch wenn der Pilz bei höheren Luftfeuchtigkeiten oberflächlich z. B. sehr gut auf MDF Proben wuchs. Generell kann bei hohen Luftfeuchtigkeiten auf MDF aus Küstentannenfasern spontan Schimmel auftreten. Aus den erhaltenen Ergebnissen sind Holzwerkstoffe auf *A. grandis*-Basis insgesamt für Anwendungen in feuchteren Umgebungen nicht zu empfehlen. Möglicher Befall mit Schimmelpilzen schränken auch den Einsatz von Dämmstoffen aus Buchenfasern auf sehr trockenen Umweltbedingungen ein. Andererseits sind alle getesteten Dämmstoffe aus Buchenfasern sehr leicht nach Gebrauch durch Braun- und Weißfäulepilze abbaubar und sie lassen sich ohne Schwierigkeiten in wenigen Wochen kompostieren und umweltfreundlich entsorgen.

Neben einer großen Datenlage zu Abbauverhalten von Holzwerkstoffen mit spezifischen Pilzen wurden nach Isolierung einer großen Sammlung von Pilzen von Küstentannen- und Buchenholz und ihren Produkten molekulare Datensätze zur Erkennung von holzbewohnenden und holzschädigenden Pilzen geschaffen. Diese Datensätze werden in öffentliche Datenbanken eingepflegt werden, um weltweit mit ihnen in der Zukunft mögliche Schadpilze an Holz und Holzprodukten treffsicher molekular identifizieren zu können.