

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz im Forst¹⁾
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger (IHK Osnabrück-Emsland) für Holz und Holzschutz²⁾

Möglichkeiten zum biologischen Schutz von Nadelholz vor Stamm- und Schnittholzbläue

Chances for biological protection of conifer wood from bluestain

Eva Ernst¹⁾, Rolf Kehr¹⁾, Johann Müller²⁾ und Alfred Wulf¹⁾

Zusammenfassung

Es wird über Versuche zum biologischen Schutz von Kiefernholz vor Verblauung berichtet. Entrindetes, während der Vegetationszeit gefälltes Rundholz sowie frisch eingeschnittene Brettware kamen zum Einsatz. Die Versuche wurden mit pigmentlosen Stämmen des Bläuepilzes *Ophiostoma piliferum* durchgeführt, indem eine Sprühbehandlung verschiedener Formulierungen erfolgte. Zum Vergleich wurden auch auf *Bacillus subtilis* und *Gliocladium virens* beruhende Präparate eingesetzt. Das Holz wurde nach der Applikation entweder im Freien oder unter Planen gelagert. Reisolationen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus dem Holz vorgenommen, und nach 10 bzw. 12 Wochen wurde das Ausmaß der Splintverblauung bestimmt. Der pigmentlose Stamm von *O. piliferum* wurde zu einem hohen Anteil aus den behandelten Varianten reisoliert. Bei den besten, im Freien gelagerten Rundholzvarianten konnte der farblose Pilz die Verblauung auf ca. 7 % gegenüber 74 % bei den Kontrollen reduzieren. Die *B.-subtilis*- und *G.-virens*-Präparate zeigten hingegen keine Bläueschutzwirkung. Der biologische Schutz von Kiefern- und Schnittholz mittels farbloser Bläuepilze erscheint daher bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen prinzipiell möglich, ist aber derzeit aufgrund wirtschaftlicher und logistischer Erwägungen nur schwer in die Praxis umzusetzen. Die Ergebnisse werden im Hinblick auf technische, organisatorische und auch naturschutzrelevante Fragestellungen diskutiert.

Stichwörter: Bläue, biologischer Bläueschutz, *Pinus silvestris*, *Ophiostoma piliferum*, *Bacillus subtilis*, *Gliocladium virens*

Abstract

The results of trials on the biological protection of Scots pine (*Pinus silvestris*) wood from fungal blue stain are reported. Debarked Pine roundwood felled during the summer period was used, and trials were also carried out on freshly sawn pine boards. The tests were carried out with albino strains of the blue stain fungus *Ophiostoma piliferum*, which were applied by spraying various formulas at a concentration of 5×10^7 spores per ml. For comparison, commercially available preparations of *Bacillus subtilis* and *Gliocladium virens* were also employed. After application of test organisms, the wood was stored either under plastic tarpaulins or in the open. Reisolations of occurring organisms were conducted and the degree of blue stain in the sapwood was determined 10 weeks (boards) and 12 weeks (roundwood) after the onset. The albino strain of *O. piliferum* was recovered to a high degree from the treated variants. In the best roundwood variants,

in which wood was stored in the open, the *O. piliferum* strain was able to reduce blueing to app. 7 % as opposed to 74 % in controls. *B. subtilis* and *G. virens* are apparently not suitable for reduction of blue stain. Under suitable circumstances, the biological protection of conifer round wood and especially boards using albino strains of blue stain fungi thus seems feasible, but currently economic and logistical limitations impede the practical application of the method. The results are discussed in the context of their technical, organisational and also conservation-oriented implications.

Key words: Bluestain, biological protection, *Pinus silvestris*, *Ophiostoma piliferum*, *Bacillus subtilis*, *Gliocladium virens*

1 Einleitung

Trotz jahrzehntelanger Bemühungen zur Vermeidung und Bekämpfung der Holzverblauung ist dieses Phänomen nach wie vor ein ernst zu nehmendes Problem, nicht nur in Deutschland. Zwar können auch Laubhölzer verblauen, aber im Wesentlichen sind Nadelhölzer betroffen, allen voran Stamm- und Schnittholz der Kiefer. In den letzten Jahren häuften sich aber auch die Meldungen über das Auftreten von Holzbläue an Stamm- und Schnittholz der Fichte, beispielsweise in Sachsen (SCHUMACHER et al., 2003).

Bläue ist eine Holzverfärbung, die von Pilzen mit braun gefärbten Hyphen hervorgerufen wird, wobei durch Lichtbrechung eine für das menschliche Auge blaue bis blau-schwarze Färbung entsteht (ZINK und FENGEL, 1989). Diese Verfärbung tritt an Stammholz bzw. an Balken und Brettern meist in Form radial orientierter Streifen oder Flecken auf. Bei sehr starkem Befall erscheint das Holz durch und durch dunkel gefärbt (LIESE und SCHMID, 1961). Etwa 100 Pilze aus den Gruppen Asco- und Deuteromyceten sind bislang als Verursacher von Bläue identifiziert worden (SCHMIDT, 1994). Viele von ihnen sind mit Borkenkäfern vergesellschaftet und werden von diesen übertragen (SAARENMAA, 1987). Weiterhin kann eine Infektion durch luftbürtige Sporen an entrindeten Holzpartien und an Hirnflächen erfolgen, wobei der Höhepunkt des Sporenfluges in den Monaten April und November liegt (PECHMANN et al., 1964).

Von den Infektionsstellen ausgehend wird das Splintholz besiedelt, wo Nährstoffe in den Parenchymzellen den Pilzen eine leicht zugängliche Nahrungsbasis bieten. Die Ausbreitung von Zelle zu Zelle erfolgt entweder über Tüpfel oder mittels dünner Perforationshyphen (Transpressorien), die die Zellwand mechanisch durchbrechen (LIESE und SCHMID, 1961, 1964). In der An-

fangsphase der Besiedlung werden die Festigkeitseigenschaften des Holzes nicht merklich beeinträchtigt, aber einige Bläuepilze können mit der Zeit durchaus einen geringen Holzabbau bewirken, sodass es beispielsweise zur Reduktion der Schlagbiegefestigkeit des Holzes kommen kann (SCHMIDT, 1994; SCHUMACHER et al., 2003). Im Wesentlichen liegt der wirtschaftliche Schaden bei verblautem Holz aber aufgrund des „Schönheitsfehlers“ in der schlechteren Vermarktbarkeit (RYPACEK, 1966).

Je nach Anspruch der einzelnen Pilzart können Bläuepilze in einem recht weiten Temperatur- und Feuchtigkeitsbereich wachsen, z. T. bei Temperaturen bis unterhalb des Gefrierpunkts und bei einer Holzfeuchte zwischen 30 und 120 % (NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER, 1995; ZIMMERMANN und BUTIN, 1973). Das Temperaturoptimum der meisten Arten liegt jedoch zwischen 18 und 28 °C, und bezüglich der Holzfeuchte sind Werte unter 100 % am günstigsten (NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER, 1995; BUTIN, 1996).

In der Praxis werden meist drei Typen von Bläue unterschieden (SCHMIDT, 1994; BUTIN, 1996). Die Stammholzbläue oder primäre Bläue tritt an berindetem Holz auf, während die Schnittholzbläue oder sekundäre Bläue eingeschnittenes, gelagertes Holz betrifft. Eine dritte Form von Bläue, die Anstrichbläue oder tertiäre Bläue, wird an bereits verarbeitetem Holz beobachtet. Auch wenn die Grenzen zwischen diesen Bläuetypen fließend sind, lassen sich doch jedem Typ einige charakteristische Pilzarten zuordnen. Stammholzbläue wird oft durch *Ophiostoma* bzw. *Ceratocystis*-Arten, insbesondere *Ophiostoma piceae*, und durch *Discula pinicola* hervorgerufen, während für die Schnittholzbläue meist *Cladosporium*-Arten verantwortlich sind. Anstrichbläue wiederum entsteht häufig durch *Aureobasidium pullulans* (SCHMIDT, 1994). Manche Erreger, die als primäre Bläue-Erreger gelten, können gleichzeitig auch eine Schnittholzbläue auslösen, z. B. *Ophiostoma piceae* (SCHUMACHER und SCHULZ, 1992; SCHUMACHER et al., 2003).

Seit vielen Jahrzehnten gibt es Anstrengungen zur Verhinderung der Bläue an Nadelstammholz und Nadelschnittholz, weil die schlechtere Vermarktbarkeit verblauten Holzes sowohl im Forst als auch in der Sägeindustrie zu empfindlichen Einbußen führt (PECHMANN und WUTZ, 1963; NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER, 1995; HEYDECK, 1997). Veränderte Einschlags- und Vermarktungsgewohnheiten, beispielsweise das forstseitige Belassen von Kiefernstammholz in Rinde bzw. dessen Entrindung erst im Sägewerk, haben dabei in den letzten Jahren mit zu einer Verschärfung des Problems geführt. Die chemischen Möglichkeiten der Bläuebekämpfung werden immer stärker eingeschränkt. Bereits Mitte der 80er Jahre hat das letzte im Forst anwendbare Bläue-Schutzmittel seine Zulassung verloren (Pflanzenschutzmittelverzeichnis 1984/86). Gleichzeitig wurden in den letzten Jahren neue Ansätze zur biologischen Bläuebekämpfung entwickelt (SEIFERT et al., 1987; BEHRENDT et al., 1995; MÜLLER und SCHMIDT, 1995; SCHMIDT und MÜLLER, 1996; MÜLLER, 2000). Im Rahmen einer forstwissenschaftlichen Masterarbeit im Institut für Pflanzenschutz im Forst der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) wurden so auch Versuche zum Einsatz biologischer Bekämpfungsmethoden durchgeführt, die nachfolgend vorgestellt werden sollen.

2 Bisherige Ansätze zur Bläueverhütung

2.1 Einschlagstechnische Möglichkeiten

Als sicherster Schutz gegen Stammholzbläue gilt die zeitgemäße Fällung von Oktober bis Januar und eine baldige Aufarbeitung der Stämme (BUTIN, 1996; HEYDECK, 1997). In der kalten Jahreszeit liegen die Temperaturen einerseits außerhalb des Optimalbereichs der Bläuepilze, andererseits ist das Holz bei rascher

Aufarbeitung nur für kurze Zeit Bläuepilzsporen ausgesetzt, und diese haben durch die hohe Holzfeuchte kaum Möglichkeiten, im Holz eine deutlich sichtbare Bläue auszulösen. Wird das Holz während der Vegetationsperiode gefällt und ist eine sofortige Verarbeitung nicht möglich, sollte es berindet und schattig gelagert werden, damit die hohe Feuchtigkeit erhalten bleibt (BAVENDAMM, 1954). Hierbei muss aber ein Schutz vor Borkenkäferbefall gewährleistet sein, um eine Übertragung von Bläuepilzen durch die Insekten zu vermeiden (v. PECHMANN und WUTZ, 1963).

Die oben skizzierten Maßnahmen sind zwar grundsätzlich als sinnvoll und effektiv anzusehen, lassen sich aber aufgrund technischer Neuerungen und veränderter Arbeitsorganisation vielfach nicht mehr im nötigen Maße in der Praxis durchsetzen. Auch muss festgestellt werden, dass die zunehmend milde Winterwitterung das „Zeitfenster“ für eine bläuefreie Holzernte bei den Baumarten Kiefer und Fichte nochmals einschränkt. Die derzeit hohen Borkenkäferpopulationen mit ihrem Potenzial zur Übertragung von Bläueinfektionen tun ein Übriges.

2.2 Mechanische und chemische Maßnahmen

KRENN (1988) konnte mit dichten Abdeckungen über einige Monate hinweg Käfer- und Bläuebefall bei berindetem Kiefernstammholz verhindern. Beregnungsversuche mit nicht entrindetem Fichtenholz verliefen im Hinblick auf die Verblauung positiv (v. AUFSSESS, 1974), allerdings wurde auch beobachtet, dass dieses Holz nach der Auslagerung bläueanfälliger war (v. AUFSSESS und PECHMANN, 1970). Für die einfachste und billigste, aber auch unsicherste Form der Schutzbehandlung für Rundholz halten NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER (1995) die Trockenlagerung. Hierzu müssen die Stämme entrindet und in bodenfreien, gut durchlüfteten Poltern gelagert werden. Zwar erscheint dieses Verfahren für Fichte, Lärche und Douglasie ausreichend erprobt zu sein, aber bei Kiefer ist dadurch kein zuverlässiger Bläueschutz gegeben (MÜLLER 2000, 2002). Als weitere Möglichkeit sehen NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER (1995) eine Abdeckung von Stammholz in Rinde mit dichten Folien, weil dadurch zum einen die Infektion mit Bläuepilzen vermindert, andererseits eine hohe Holzfeuchtigkeit erhalten wird. Da die Abdeckung jedoch nur einen temporären Schutz gegen Käferbefall bietet, ist auch hier bei längerer Lagerung mit Bläue zu rechnen.

An im Wald lagerndem Rundholz sind in Deutschland, wie erwähnt, seit längerer Zeit keine Fungizide zur Bekämpfung der Bläue zugelassen. Im Bereich der Holzbe- und -verarbeitung ist die Lage hingegen anders. Hier stehen eine Reihe von Holzschutzmitteln, die u. a. auf quaternären Ammoniumverbindungen und Dithiocarbamaten beruhen, zur Behandlung der sekundären Bläue an Schnittholz zur Verfügung. Das früher oft gegen Schnittholzbläue eingesetzte Fungizid Natriumpentachlorphenolat darf in Deutschland wegen seiner Giftigkeit nicht mehr verwendet werden (HEYDECK, 1997). Nicht zuletzt wegen ökologischer Bedenken und aufgrund von Aspekten des Verbraucherschutzes ist die Suche nach ökologisch unbedenklichen und dennoch wirksamen alternativen Präparaten seit längerem Bestandteil der Forderungen (NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER, 1995).

2.3 Möglichkeiten biologischer Bläueverhütung

Ein sehr interessanter Ansatz zur biologischen Verhinderung der Bläue liegt in der Anwendung pigmentloser Stämme bekannter Bläuepilze. Solche farblosen Stämme treten als Mutanten weltweit gelegentlich auf, setzen sich aber aufgrund fehlender Fruchtkörperbildung und somit fehlender sexueller Fortpflanzungsmöglichkeit ökologisch nicht durch (BEHRENDT et al., 1995; ZIMMERMANN et al., 1995). Das Grundprinzip ihres Einsatzes beruht auf der Besetzung der ökologischen Nische

„Splinholz“, noch bevor holzverfärbende Pilze sich ansiedeln können. Der farblose Pilz baut dabei offenbar bestimmte Holz-inhaltsstoffe ab, die somit anschließend anderen Bläuepilzen nicht mehr zur Verfügung stehen (BEHRENDT et al., 1995). Im Gegensatz zu anderen, antagonistisch wirkenden Organismen ist hier die Eigenschaft des unpigmentierten Pilzes von Vorteil, dass er sich bis auf die Pigmentierung in seinem Verhalten nicht von „normalen“ Bläuepilzen unterscheidet und sich daher ebenso rasch wie diese im frisch eingeschlagenen Holz etablieren kann. Es kommt zwar zu einer Pilzbesiedlung des Holzes, aber diese ist für das Auge nicht sichtbar und verhindert das Eindringen und die Entwicklung anderer Bläuepilze, die zu sichtbaren Veränderungen führen würden. Voraussetzung für die effektive Anwendung an Stammholz ist jedoch die vorherige Entrindung, da die Pilzsporen auf möglichst großer Fläche mit der Holzoberfläche in Kontakt kommen müssen. Eine weitere Voraussetzung ist, dass das Holz nicht vorverblaut ist, denn die farblosen Pilzstämme können bereits vorhandene Bläuepilze nicht verdrängen, sondern nur im Vorfeld den Lebensraum einnehmen.

In der Papierindustrie wird das Präparat Cartapip®97, das aus gefriergetrockneten Sporen eines nicht pigmentierten Stammes des Bläuepilzes *Ophiostoma piliferum* besteht, bereits seit einigen Jahren zur Reduzierung des Harzgehalts in Hackschnitzeln verwendet. Die Anwendung dieses Präparats an Stamm- und Schnittholz brachte in mehreren Versuchsreihen erste Erfolge. BEHRENDT et al. (1995) beispielsweise konnten damit die Ausbreitung von Bläue in frischem Schnittholz von *Pinus resinosa* erheblich eindämmen. MÜLLER und SCHMIDT (1995) sowie SCHMIDT und MÜLLER (1996) testeten das Präparat im Rahmen von Lagerungsversuchen mit Schnittware von *Pinus sylvestris*. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigten, dass das Mittel die Verblauung von Kiefern schnittholz während des Abtrocknens mindern kann. Die von MÜLLER (2000) durchgeführten Versuche zur Trockenkonservierung von Kiefern rundholz ergaben jedoch, dass der innere Splintholzbereich bei Starkholz nicht rechtzeitig von dem farblosen Pilz besetzt werden konnte, bevor andere Bläuepilzsporen, vermutlich über tiefe Trockenrisse, diesen Bereich besiedelten. Auch die Behandlung der offenen Schnittstellen an berindetem Industrieholz konnte eine Verblauung nicht verhindern. Ausschlaggebend dürfte dabei gewesen sein, dass der Bläuesporeneintrag von Insekten durch die Rinde nicht zu unterbinden war. Zusätzliche Versuche (MÜLLER, 2000) zeigten jedoch, dass die Verblauung von Kiefern schnittholz bei einer Freilufttrocknung mit ausreichendem Lagenabstand durch den Einsatz des Sporenpräparats deutlich vermindert werden kann.

Bezüglich anderer in Frage kommender biologischer Gegenspieler konnten SEIFERT et al. (1987) durch Aufbringen des Bakteriums *Bacillus subtilis* auf *Pinus banksiana*-Klötze eine kurzfristige Hemmung des Bläuepilzes *Ophiostoma piliferum* und des Schimmelpilzes *Trichoderma harzianum* feststellen. Das Bakterium verzögerte jedoch lediglich die Holzverfärbung und konnte sie nicht vollständig verhindern. In Screening-Versuchen konnten KREBER und MORELL (1993) eine Minderung des Bläuebefalls durch Aufbringung des Pilzes *Gliocladium virens* um 63 % feststellen. Da dieser Pilz jedoch pigmentiert ist, wurden bei der Auswertung auch grünliches Luftmyzel und Sporenbelaag auf der Holzoberfläche festgestellt, was sowohl ästhetisch als auch hygienisch betrachtet nicht optimal ist.

3 Eigene Versuche zum biologischen Bläueschutz

Die im Folgenden beschriebenen Versuche wurden im Sommer 2001 im Institut für Pflanzenschutz im Forst der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig im Rahmen einer Masterarbeit

der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt. Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der Erprobung und Verbesserung der von MÜLLER und SCHMIDT (1995), SCHMIDT und MÜLLER (1996) sowie MÜLLER (2000) erzielten Erfolge mit dem farblosen Stamm von *Ophiostoma piliferum* an Kiefernstamm- und - schnittholz im Freiland, der auch für die hier vorgestellten Versuche verwendet wurde (Abb. 4 und 5). Aus Gründen der Vereinfachung wird der Versuchspilz im Folgenden als „*O. piliferum*/farblos“ bezeichnet. Weiterhin wurden Versuche mit Handelspräparaten von *Bacillus subtilis* und dem Pilz *Gliocladium virens* durchgeführt, da es bei diesen Organismen in der Literatur Hinweise auf eine mögliche Wirkung gegen Holzverblauung gibt und sie recht häufig im Rahmen des biologischen Pflanzenschutzes Anwendung finden (SEIFERT et al., 1987; KREBER und MORELL, 1993).

3.1 Vorversuche

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass die optimale Wachstumstemperatur von *O. piliferum*/farblos auf 2 %-Malzagar zwischen 25 und 30 °C liegt. Der Pilz war außerdem in der Lage, bei Temperaturen von 15 bis 25 °C mindestens 4 cm tief in Kiefern splintholz einzudringen. Im Labor war an Versuchsklötzen diese Eindringtiefe bei Temperaturen von 5 und 10 °C nach spätestens 21 Tagen erreicht.

Für die Freilandversuche wurden Flüssigkulturen von *O. piliferum*/farblos in größerem Maßstab angesetzt, um genügend Behandlungsflüssigkeit zu haben. Dazu wurden 4 g flüssiger Malzextrakt (Malzin, Firma Diamalt) pro 200 ml Leitungswasser aufgelöst und in 250 ml Erlenmeyerkolben 20 bis 25 Minuten lang autoklaviert. Nach Beimpfung wurden die Kolben sieben Tage lang bei Zimmertemperatur und diffusum Tageslicht auf dem Schüttler inkubiert. In diesem Zeitraum bildete der Pilz reichlich Sporen und Myzel aus. Die Sporenkonzentration wurde durch Thomakammerzählung bestimmt und für die Versuchsdurchführung durch Verdünnung mit sterilem Leitungswasser auf die gewünschte Konzentration eingestellt. *Bacillus subtilis* und *Gliocladium virens* wurden als fertige Handelspräparate bezogen („FZB 24“ von der FZB Biotechnik GmbH, Berlin und „Soilgard“ von Andermatt Biocontrol AG, Grossdietwil/CH) und gemäß Herstellerangaben eingesetzt.

3.2 Behandlung von entrindetem Rundholz

Die Versuche fanden auf der forstlichen Versuchsfläche Essehof der BBA statt, 10 km östlich der BBA Braunschweig. Die Fläche besteht aus ca. 40 ha Kiefernbeständen vom Alter 50 und aufwärts, mit Mischanteilen von Birke und Eiche, und aus ca. 20 ha Freifläche. Die Böden sind überwiegend schwach nährstoffversorgt, auch die Wasserversorgung im Versuchsbestand ist eher schwach.

In der letzten Maiwoche 2001 wurden 28 Kiefern mit ca. 25–30 cm Brusthöhendurchmesser gefällt, auf einen Zopfdurchmesser von 20 cm abgelängt und in 8 m lange Stammstücke geteilt. In der Folgeweche wurden an beiden Seiten der Versuchshölzer 10 cm der angetrockneten Stammenden abgeschnitten, bevor die Hölzer in der Mitte nochmals geteilt wurden. Insgesamt standen so 56 Hölzer à 3,80 m Länge zur Verfügung. Die Hölzer wurden von Hand geschält und mit einer Rückenspritze einzeln rundum mit den verschiedenen Behandlungsflüssigkeiten tropfnass besprüht, bevor sie auf einer fest umrissenen Teilfläche (ca. 1 Morgen groß) in 8 Poltern à 7 Stück, jeweils auf zwei Querhölzern, in genügendem Abstand voneinander gestapelt wurden. Die Hirnflächen der Stämme wurden zum Schutz vor Austrocknung mit Polyvinylacetat (als 10 %-Lösung in Ethylacetat) versiegelt.

Tab. 1. Behandlungsvarianten der Versuche mit Kiefernrundholz

Variante	Konzentration	Hersteller	Polter in Plane	mit Emulsion
1: Kontrolle		-	X	
2: Kontrolle		-		
3: <i>Bacillus subtilis</i> „FZB 24“	> 2,5·10 ⁸ Sporen/ml	FZB Biotechnik GmbH, Berlin	X	
4: <i>O. piliferum</i> /farblos	5·10 ⁷ Sporen/ml	Eigenproduktion	X	
5: <i>O. piliferum</i> /farblos	5·10 ⁷ Sporen/ml	Eigenproduktion	X	X
6: <i>O. piliferum</i> /farblos	5·10 ⁷ Sporen/ml	Eigenproduktion		
7: <i>O. piliferum</i> /farblos	5·10 ⁷ Sporen/ml	Eigenproduktion		X
8: <i>Gliocladium virens</i> „Soilgard“	1,2·10 ⁹ Sporen/ml	Andermatt Biocontrol (Grossdietwil (CH))	X	

Sechs Behandlungsvarianten und zwei Kontrollvarianten wurden durchgeführt, die sich dadurch ergaben, dass unterschiedliche Inokulationsflüssigkeiten mit einer Lagerung ohne bzw. mit Planenabdeckung kombiniert wurden (Tab. 1). Die biologischen Wirkstoffe wurden mit Leitungswasser unter Zusatz von 0,1 % Tween 80 angesetzt, einem Detergens, das die Oberflächenspannung von Wasser reduziert und somit für eine bessere Sporenverteilung sorgt. Die Kontrollvarianten wurden mit 0,1 % Tweenlösung besprüht. Bei einigen Varianten wurde der Behandlungsflüssigkeit zusätzlich eine titanoxidhaltige Emulsion zugesetzt, welche die auf der Holzoberfläche liegenden Sporen in den ersten Tagen nach der Applikation vor Schädigung durch UV-Strahlung schützen sollte. Pro Polter wurden ca. sieben Liter Impfflüssigkeit verbraucht.

Die Hälfte der Polter wurde nach der Behandlung in feste Planen eingeschlagen, um bezüglich der Austrocknung einen Poltereffekt zu simulieren, der bei nur sieben Hölzern je Polter sonst nicht zustande gekommen wäre. Die Plane wurde um das Holz herum geschlagen und beschwert, aber nicht vollständig abgedichtet. Die nicht in Folie eingeschlagenen Polter wurden mit einem zur Windseite hin offenen Regenschutz versehen, um ein Abwaschen der aufgetragenen Sporenlösungen und somit eine im Vergleich zur Planenvariante unterschiedliche Inokulationsdichte zu vermeiden. Nach 6 Wochen wurden die Planen und der Regenschutz der nicht unter Planen gelagerten Varianten entfernt, da zu diesem Zeitpunkt davon ausgegangen werden konnte, dass die Pilzsporen ausgekeimt und in die Hölzer eingedrungen waren.

Im Abstand von 14 Tagen wurden mit einem forstlichen Zuwachsbohrer aus jedem Polter 5 Bohrkerne entnommen. Nach der Entnahme wurden die entstandenen Löcher mit Silikon verschlossen, um punktueller Austrocknung sowie verstärktem Eindringen von Mikroorganismen an den betroffenen Stellen vorzubeugen. Ziel der Bohrkernentnahme war in erster Linie die Feststellung der Besiedlungstiefe des Holzes durch *O. piliferum*/farblos und die Suche nach anderen Pilzinfektionen. Im Labor wurden aus den Bohrkernen ca. 2 mm dicke Stücke aus den Tiefen 1, 2, 3, 4 und 5 cm herausgeschnitten, unter der Impfbank 10 Sek. lang in 96 % Ethanol oberflächlich desinfiziert und anschließend auf Agarplatten aus 2 % Malzextrakt und Zusatz von 50 ppm Streptomycin sowie 50 ppm Cycloheximid aufgeimpft. Insgesamt wurden pro Entnahmeterrain 200 Platten beimpft.

Die zu Beginn der Rundholzversuche gemessene Holzfeuchte lag im Splintholz bei durchschnittlich 129 %, im Kernholz dagegen bei durchschnittlich 32 %. Mit Hilfe von Datenloggern wurden Temperatur und Luftfeuchte in den Poltern überwacht. Luftfeuchtemessungen ergaben bei den in Plane gehüllten Poltern einen relativ konstanten Wert von 100 %. Nach dem Entfernen der Plane schwankte die Luftfeuchte zwischen 60 und 100 %. Mit Sicherheit war also der Austrocknungsprozess der Polter ohne Plane von Anbeginn schneller als bei den in Plane eingeschlagenen Varianten. Die Temperaturen in den Poltern unter Plane la-

gen im Vergleich zu den abgedeckten Poltern durchgehend 2 °C höher. Zudem waren die Schwankungen der Temperatur im frei gelagerten Polter deutlicher ausgeprägt. Da die Versuche in der Vegetationszeit (Juni bis Mitte August) durchgeführt wurden, lagen die Temperaturen durchweg in einem für das Pilzwachstum günstigen Bereich.

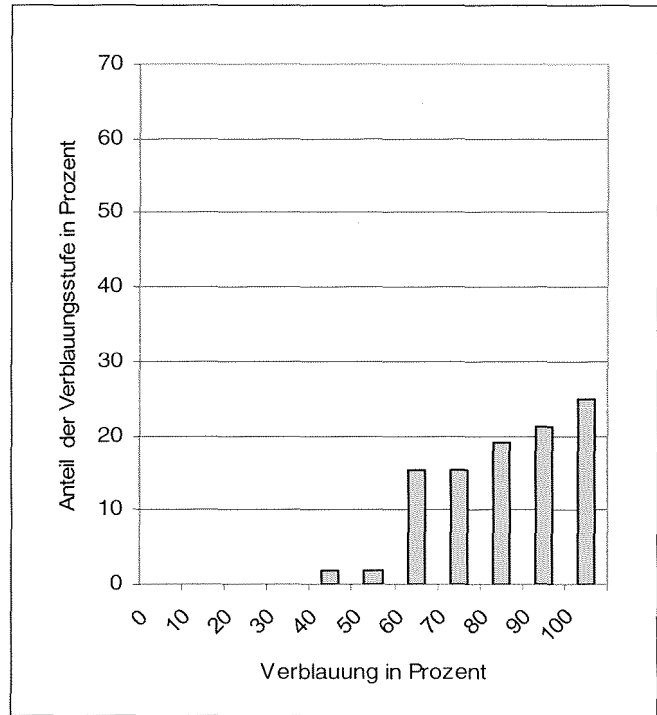
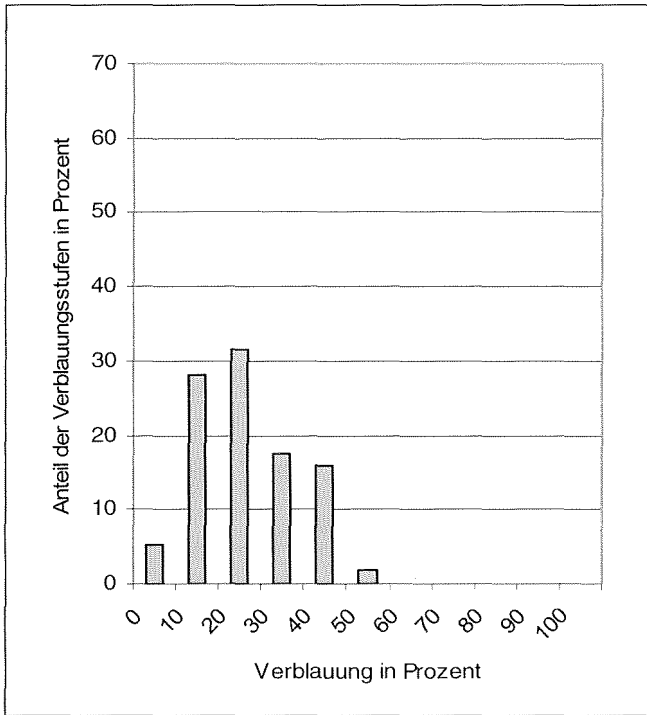
84 Tage nach Versuchsbeginn wurden die Polter aufgelöst und die Stämme mit einer Blockbandsäge in 2 cm dicke Bretter aufgesägt. Die optische Bewertung der Holzverblauung erfolgte, bezogen auf den Splintanteil der Bretter, in 10 % Stufen an beiden Brettseiten.

Die Auswertung ergab eine deutlich geringere Verblauung bei den mit *O. piliferum*/farblos behandelten Varianten gegenüber den entsprechenden Kontrollen (Tab. 2, Abb. 1). Die stark unterschiedliche Verblauung der Kontrollen mit und ohne Planenabdeckung (Tab. 2, Variante 1 und 2) zeigt, dass die Lagerung unter Plane zum einen durch die Erhaltung der hohen Holzfeuchtigkeit und möglicherweise auch durch die Verhinderung einer stärkeren Sporenkontamination im Versuchszeitraum zu einer geringeren Verblauung führte. Allerdings ist zu vermuten, dass auch die Kontrollvariante unter Plane im Verlaufe der Zeit ähnlich hohe Verblauungsprozente wie die frei lagernde gezeigt hätte, wenn der Versuch nicht bereits nach 12 Wochen ausgewertet worden wäre. Insofern müssen sich alle Inokulationsvarianten, die unter Plane gelagert wurden (Tab. 2, Varianten 3, 4, 5 und 8) mit der relativ geringen Verblauung der Kontrollvariante unter Plane (21,5 %) messen lassen. Hierbei schneidet nur die emulsionsfreie Variante von *O. piliferum*/farblos sehr gut ab (Tab. 2: Variante 4). Das mit 14,8 % beachtliche Ergebnis von *G. virens* (Tab. 2, Variante 8) wird dadurch relativiert, dass hier bei den Re-Isolationen recht häufig *O. piliferum*/farblos isoliert wurde, also eine Kontamination stattgefunden haben muss. Vermutlich ist also auch hier *O. piliferum*/farblos für die Reduktion der Verblauung verantwortlich.

Die Zugabe einer Lichtschutzemulsion zur *O. piliferum*-Behandlungsflüssigkeit brachte bei der Variante unter Plane (Tab. 2, Variante 5) ein schlechteres Ergebnis als die entsprechende

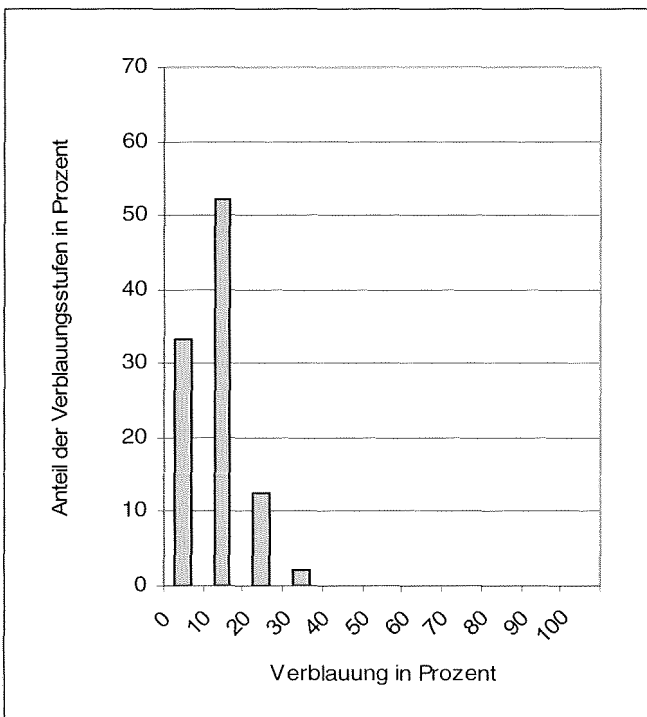
Tab. 2. Durchschnittliche Splintverblauung des in Bretter aufgeschnittenen Kiefernrundholzes 12 Wochen nach Versuchsbeginn

Variante (Details in Tab. 1)	durchschnittliche Splintverblauung nach 12 Wochen
1: Kontrolle unter Plane	21,5 %
2: Kontrolle frei lagernd	74 %
3: <i>Bacillus subtilis</i> unter Plane	25,6 %
4: <i>O. piliferum</i> /farblos unter Plane	8,3 %
5: <i>O. piliferum</i> /farblos unter Plane, mit Emulsion	31,7 %
6: <i>O. piliferum</i> /farblos frei lagernd	6,6 %
7: <i>O. piliferum</i> /farblos frei lagernd, mit Emulsion	32,2 %
8: <i>Gliocladium virens</i> unter Plane	14,8 %

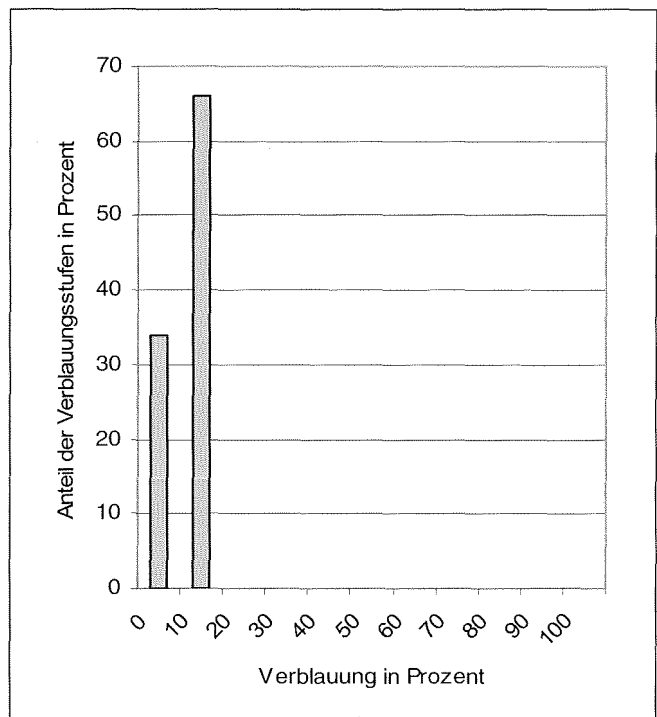


a

b



c



d

Abb. 1. Anteil der Verblauungsstufen des Splintholzes 12 Wochen nach der Behandlung von Kiefernrundholz.

a Variante 1, Kontrolle unter Plane

b Variante 2, Kontrolle frei lagernd

c Variante 4, *O. piliferum*/farblos unter Plane

d Variante 6, *O. piliferum*/farblos frei lagernd

Kontrolle (Tab. 2, Variante 1). Am frei lagernden Polter hingegen war die Emulsionsvariante (Tab. 2, Variante 7) immerhin deutlich besser als die entsprechende Kontrolle (Tab. 2, Variante 2), aber immer noch deutlich schlechter als nach der Anwendung der

reinen *O. piliferum*/farblos-Lösung (Tab. 2, Variante 6). Über die Ursachen der nachteiligen Auswirkungen der Emulsion kann nur spekuliert werden, denn in den Abimpfungen war auch in der Emulsionsvariante der Pilz regelmäßig im Holz nachzuweisen.

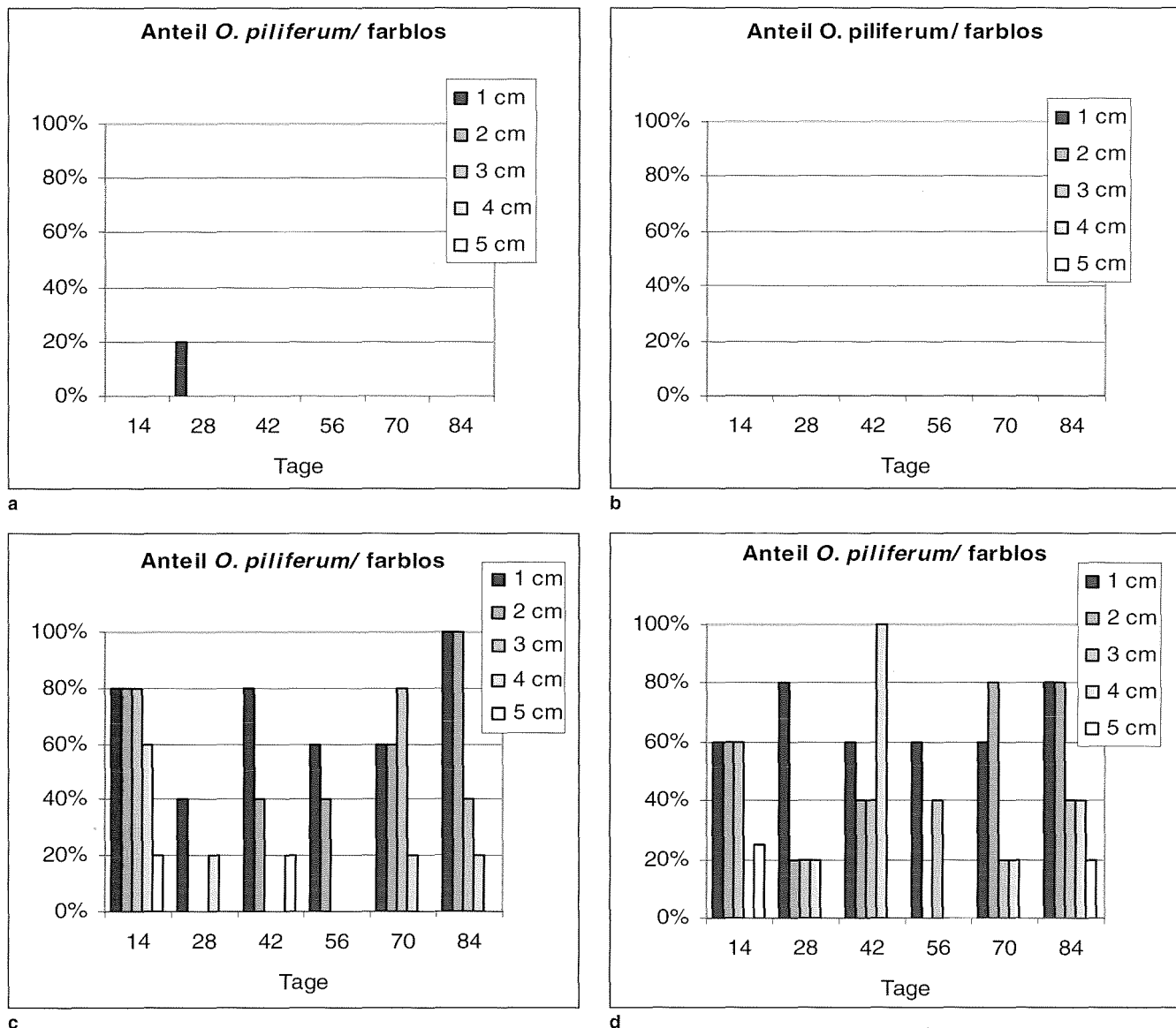


Abb. 2. Re-Isolationsrate von *O. piliferum*/farblos in den Splinttiefen 1–5 cm in Abhängigkeit der Versuchsdauer
 a Variante 1, Kontrolle unter Plane
 b Variante 2, Kontrolle frei lagernd
 c Variante 4, *O. piliferum*/farblos unter Plane
 d Variante 6, *O. piliferum*/farblos frei lagernd

Jedenfalls ist nach diesen Ergebnissen der Zusatz irgendwelcher Stoffe mit Ausnahme des verwendeten Tween 80 (zur Reduktion der Oberflächenspannung) nicht anzuraten.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Re-Isolationsrate von *O. piliferum*/farblos im Vergleich zwischen der Kontrolle und den emulsionsfreien *O. piliferum*-Varianten mit und ohne Plane. Es ist deutlich erkennbar, dass *O. piliferum*/farblos von Anbeginn das Holz rasch besiedeln konnte, sowohl in der frei lagernden Variante als auch in der Variante unter Plane (Abb. 2c und 2d, Abb. 6), und in beiden Fällen bereits nach 14 Tagen zumindest vereinzelt in 5 cm Splinttiefe nachzuweisen war. Gegen Ende der Versuche waren bei allen mit *O. piliferum*/farblos behandelten Varianten nahezu 100 % des äußeren Splints durchwachsen, und auch in 4 bis 5 cm Tiefe kam der Pilz noch in wechselnden Anteilen vor. Dies ist angesichts der Temperaturen während der Vegetationsperiode auch zu erwarten, aber dennoch in Anbetracht der anfänglich noch sehr hohen Splintfeuchte von deutlich über

100% ein Beweis für die Eignung des Pilzes. In den Kontrollvarianten wurde *O. piliferum*/farblos nur in einem einzigen Fall re-isoliert, sodass keine besorgniserregende Kontamination der Kontrollpolter vorlag (Abb. 2a).

Die Untersuchung der Bohrkerns auf andere Pilzarten außer *O. piliferum*/farblos ergab, dass im Durchschnitt der mit *O. piliferum*/farblos behandelten Varianten die übrige Pilzflora im Vergleich zu den Kontrollbehandlungen und auch der Behandlung mit *B. subtilis* und *G. virens* zurückgedrängt wurde (Daten hier nicht gezeigt). Allerdings konnten gerade in der besten Variante (Tab. 2, Variante 6) am Ende der Versuchsdauer auch zahlreiche weitere Pilze in 5 cm Splinttiefe re-isoliert werden, was zeigt, dass die Infektionsrate mit diesen Pilzen an sich wenig aussagekräftig ist. Entscheidend für eine optisch wahrnehmbare Verbläuung sind die beteiligte Pilzart und die lokale Intensität des Befalls, und beides wurde offenbar in den als gut eingestuft Varianten 4 und 6 von *O. piliferum*/farblos dergestalt beeinflusst,

dass kaum Verblauung entstand. Es lässt sich also festhalten, dass *O. piliferum*/farblos andere Pilzarten nicht komplett aus dem Holz fernhalten kann, aber unter günstigen Bedingungen offenbar das Einwachsen der wirklich entscheidenden Bläuearten weitgehend verhindert.

In den Bohrkernen aus Variante 3 (*B. subtilis*) wurde ab 70 Tagen nach Versuchsbeginn *O. piliferum*/farblos zu geringen Anteilen in 2 bis 4 cm Tiefe gefunden, was auf eine spätere Kontamination schließen lässt. Für einen Bläueschutzeffekt war diese späte Einschleppung des Pilzes zu spät, was sich auch im Verblauungsprozent äußert (Tab. 2, Variante 3), denn zu diesem Zeitpunkt hatten sich bereits zahlreiche Bläuepilze etabliert. Es konnte keine Bläueschutzwirkung des *B. subtilis*-Präparats festgestellt werden und sie wäre auch bei einer frei lagernden Variante nicht zu erwarten, da das Präparat die Pilzbesiedlung offenkundig nicht ausreichend behindert.

Erstaunlich hoch war die Besiedlung mit *O. piliferum*/farblos in Variante 8, die eigentlich mit *G. virens* behandelt worden war. Zu allen Zeitpunkten der Probeentnahme kam *O. piliferum*/farblos im Splint des Holzes mit Anteilen bis zu 60 % vor, sodass von Anfang an eine Kontamination vorgelegen haben muss. Obwohl bei der Versuchsplanung und Durchführung auf einen genügenden Polterabstand geachtet wurde, ist es doch wahrscheinlich, dass das Polter der Variante 8 durch Abdrift bei einer der *O. piliferum*-Behandlungen kontaminiert wurde. *Gliocladium virens* selbst wurde in dieser Variante nur bei der letzten Probenahme in lediglich zwei Bohrkernstückchen gefunden und konnte sich demnach nicht im Holz etablieren. Ob dies ohne die *O. piliferum*/farblos-Kontamination anders gewesen wäre, lässt sich schlecht einschätzen. Die festgestellte befriedigende Bläueschutzwirkung der Variante muss demnach auf das Vorhandensein von *O. piliferum*/farblos zurückgeführt werden (Tab. 2, Variante 8). Jedenfalls zeigt dieser Vorfall, wie effektiv *O. piliferum*/farblos das Holz zu besiedeln vermag, denn die Sporenkonzentration auf der Holzoberfläche muss bei der Abdriftkontamination um ein Vielfaches geringer als in den eigentlichen *O. piliferum*/farblos-Varianten gewesen sein.

3.3 Behandlung von Schnittholz

Frisch gefällte Kiefernstämmen (BHD über 20 cm) wurden in 12 Abschnitte von je 4 m Länge geteilt und auf der Blockbandsäge zu 20 mm starken Brettern geschnitten. Diese wurden in sechs Varianten (Tab. 3) mit einer Motorspritze von beiden Seiten mit der jeweiligen Behandlungsflüssigkeit besprüht und dann, zum Teil unter Verwendung von Zwischenleisten, wieder als originäres Stammstück aufgestapelt. Die behandelten Brettstapel wurden neben den entsprechend behandelten Varianten der Rundholzversuche behandelt und gelagert, um Kontaminationen durch andere Varianten zu vermeiden. Nach 10 Wochen wurde wie bei den Rundholzversuchen die prozentuale Verblauung des Splintholzes in 10 %-Stufen für beide Brettseiten bewertet.

Die ohne Zwischenleisten gelagerten Varianten lieferten allesamt keine zufrieden stellenden Ergebnisse. Am schlechtesten schnitt hierbei die Kontrolle ab (Tab. 3, Variante 2). Doch auch

der Verblauungsanteil der Varianten mit *O. piliferum*/farblos (Tab. 3, Variante 4), *B. subtilis* (Tab. 3, Variante 5) und *G. virens* (Tab. 3, Variante 6) waren inakzeptabel hoch. Vermutlich wurde die Brettware beim Einschnitt, dem anschließenden Transport und beim Aufstapeln im Bestand bereits mit so vielen Bläueorganismen kontaminiert, dass die für Pilze sehr günstigen Bedingungen bei der Lagerung ohne Zwischenleisten zu einer rasch einsetzenden Verblauung führten. Dadurch musste in Variante 4 *O. piliferum*/farblos mit zahlreichen anderen, bereits direkt nach dem Einschnitt am Holz haftenden Bläuepilzsporen konkurrieren und konnte nicht die volle, aus dem Rundholzversuch bekannte Schutzwirkung entfalten.

Abbildung 3 zeigt die prozentualen Verblauungsstufen im Vergleich zwischen der Kontrolle und der Behandlung mit *O. piliferum*/farblos mit und ohne Zwischenleisten. Bei fehlenden Zwischenleisten zeigt *O. piliferum*/farblos (Abb. 3d) immerhin im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 3b) noch eine geringe Bläueschutzwirkung, in der Praxis wäre der Wirkungsgrad dennoch nicht ausreichend. Bei den Varianten mit Zwischenleisten hat die rasche Austrocknung der Bretter, die ja im Bestand Wind und Wetter ausgesetzt waren, selbst in der Kontrollvariante zu einer nur geringen Verblauung geführt (Abb. 3a), aber in der Praxis müsste dennoch ein gewisser Anteil der Bretter aussortiert werden. Hier hat die Anwendung von *O. piliferum*/farblos zur völligen Bläuefreiheit geführt (Abb. 3c, Abb. 7).

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Versuche haben gezeigt, dass geschältes und nicht vorverblautes, frisches Kiefernrundholz während der Vegetationszeit durch die Anwendung farbloser Bläuepilzstämmen prinzipiell vor Verblauung geschützt werden kann. Die Stämme müssen frisch gefällt sein und nach Fällung und Entrindung rasch behandelt werden, bevor sich die in der Umgebung vorkommenden Bläuepilze etablieren können. Weder das Einschlagen des Polters in eine Plane noch die Zugabe einer Lichtschutzemulsion hat in unseren Versuchen die Schutzwirkung des farblosen Pilzes erhöht. Bei Anwendung in größerem Rahmen müsste ein gefriergetrocknetes Präparat des farblosen Pilzes verwendet werden, da die Flüssigkultur eine geringe Haltbarkeit hat und sich daher weniger für eine flexible Praxisanwendung eignet. Starke Regenfälle unmittelbar nach der Anwendung wären im Hinblick auf das Haften der Sporen zumindest für die Stämme im oberen Polterbereich problematisch, sodass eine Anwendung bei solchen Witterungsbedingungen nicht empfehlenswert wäre.

Die Optimaltemperatur für den in unseren Versuchen verwendeten Pilzstamm liegt zwischen 15 und 30 °C, weshalb der Einsatz während der Vegetationsruhe noch überprüft werden müsste. Bei niedrigen Temperaturen (Herbst- und Winteranschlag) ist aufgrund der schlechteren Bedingungen für das Pilzwachstum die Bläuegefahr zwar zunächst gering, aber bei Lagerung bis in das Frühjahr hinein und während milder Witterungsphasen droht dennoch eine Verblauung, der man prinzipiell biologisch vorbeugen könnte. Auch wenn die Herbst- und

Tab. 3. Behandlungsvarianten und Ergebnis der Versuche mit Kiefern Schnittholz

Variante	Konzentration	Hersteller	Lagerung Zwischen- leisten	durchschnittliche prozentuale Verblauung nach 10 Wochen
1: Kontrolle	–	–	X	4,1 %
2: Kontrolle	–	–		65,7 %
3: <i>O. piliferum</i> /farblos	1·10 ⁷ Sporen/ml	eigene Herstellung	X	0 %
4: <i>O. piliferum</i> /farblos	1·10 ⁷ Sporen/ml	eigene Herstellung		25,4 %
5: <i>Bacillus subtilis</i>	5 g FZB 24/Liter	FZB Biotechnik GmbH		33,3 %
6: <i>Gliocladium virens</i>	10 g SoliGard/Liter	Andermatt Biocontrol AG		20,6 %

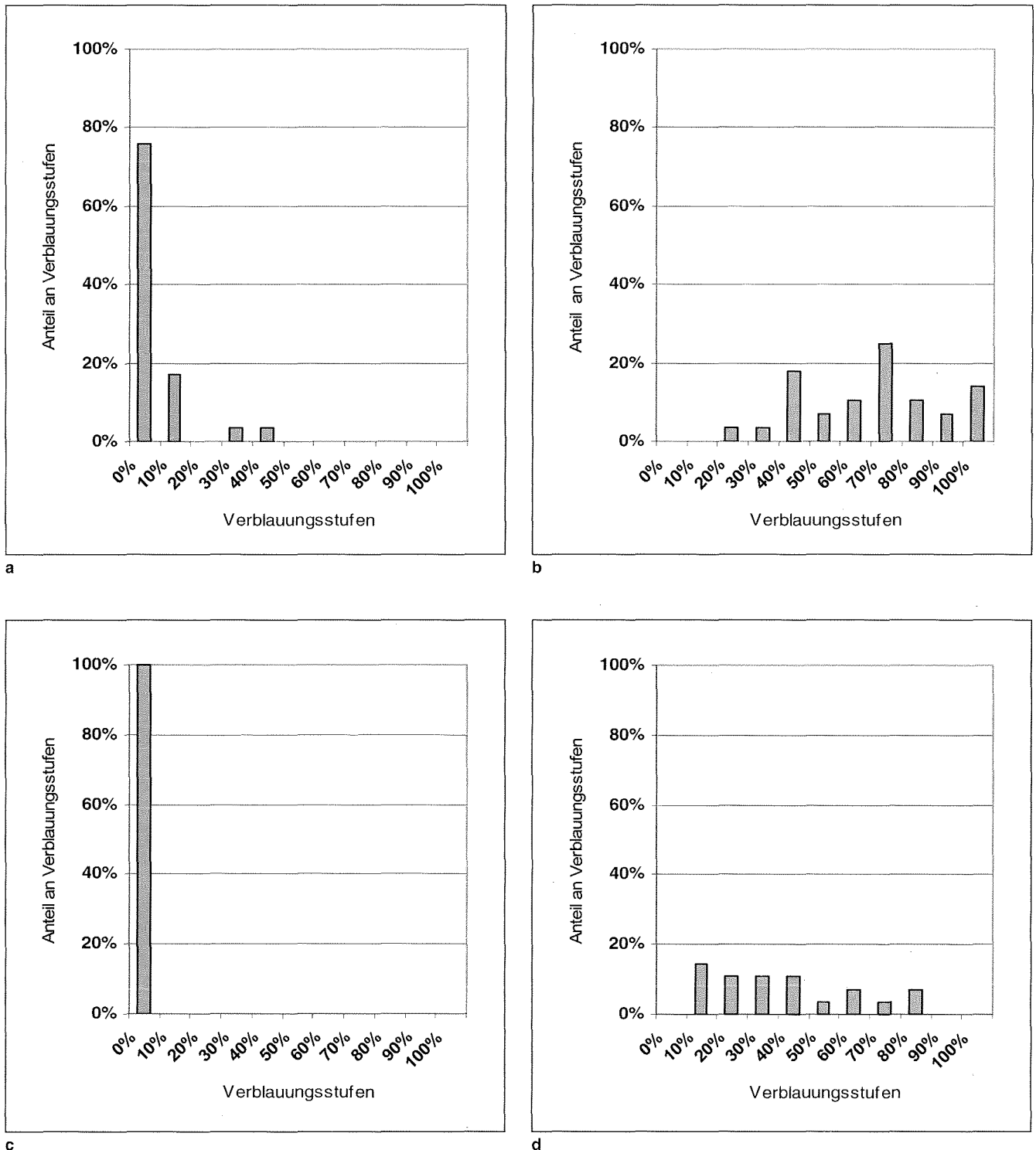


Abb. 3. Anteil der Verblauungsstufen des Splintholzes 10 Wochen nach der Behandlung von Kiefern-schnittholz
 a Variante 1, Kontrolle mit Zwischenleisten, 29 Bretter
 b Variante 2, Kontrolle ohne Zwischenleisten, 28 Bretter
 c Variante 3, *O. piliferum*/farblos mit Zwischenleisten, 28 Bretter
 d Variante 4, *O. piliferum*/farblos ohne Zwischenleisten, 28 Bretter

Winterfällung von Nadelholz aus verschiedenen Gründen (Vermeidung von Rückeschäden, Forstschutzgründe) die Regel sein sollte, so haben doch logistische und organisatorische Probleme in den letzten Jahren immer wieder eine Abkehr von diesem Prinzip erfordert. Vor allem die rechtzeitige Abfuhr von bläuegefährdetem Holz aus dem Wald ist nicht immer ge-

währleistet, so dass oftmals bereits vorverblautes Material in den Sägewerken angeliefert wird. Hier könnte die rechtzeitige Behandlung des Rundholzes Abhilfe schaffen, wobei das logistische Haupthindernis sicherlich darin liegt, dass es vor der Behandlung geschält werden müsste, um dem Pilz genügend Zugang zur Holzoberfläche zu geben. Heutzutage erfolgt

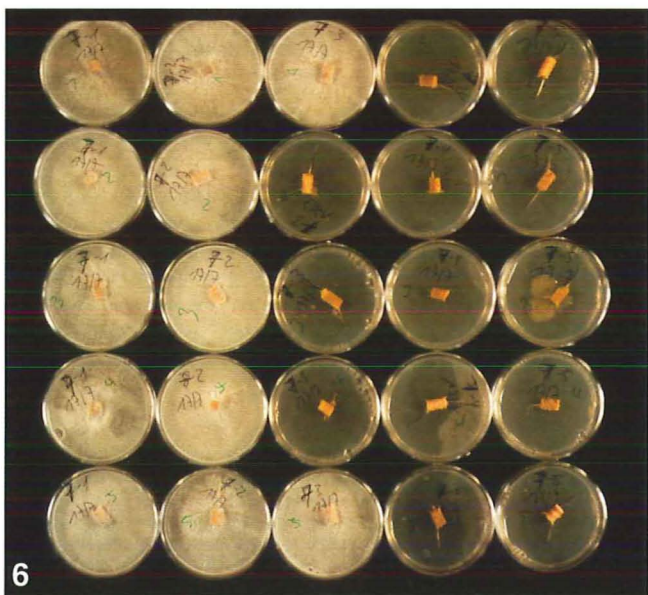
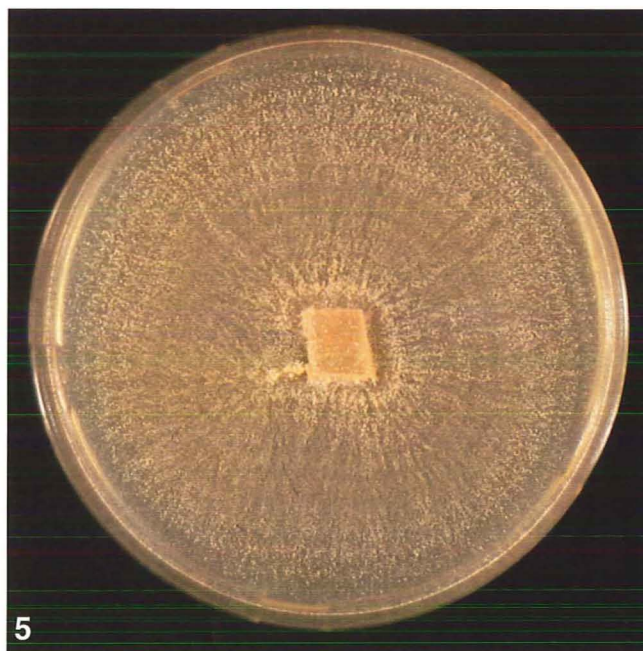
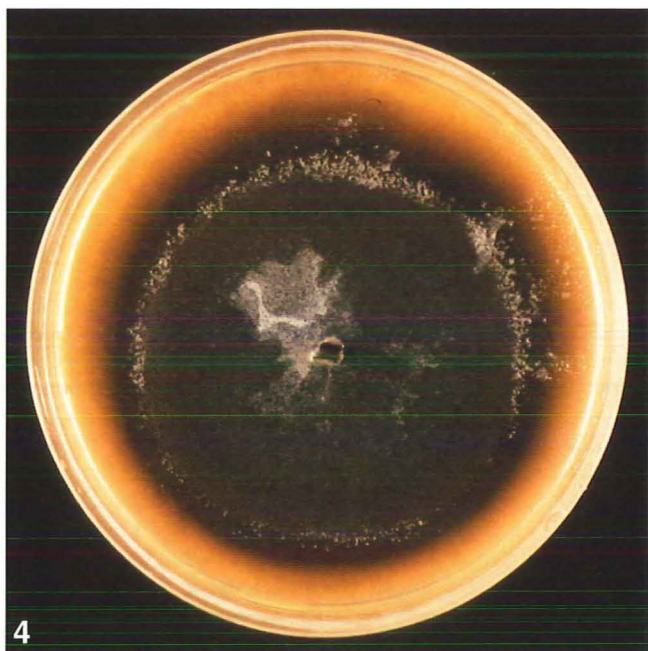


Abb. 4. Normal pigmentierte Kultur des Bläuepilzes *Ophiostoma piliferum*.

Abb. 5. Pigmentlose Kultur von *Ophiostoma piliferum*.

Abb. 6. Re-Isolation der pigmentlosen Kultur von *Ophiostoma piliferum* aus unterschiedlichen Splinttiefen 21 Tage nach der Behandlung von Kiefernstammholz (linke Reihe senkrecht 1 cm Tiefe, rechte Reihe senkrecht 5 cm Tiefe).

Abb. 7. Mit *O. piliferum*/farblos behandeltes (oben) bzw. unbehandeltes (unten) Kiefern Brett 10 Wochen nach Versuchsbeginn.

die Entrindung bekanntlich häufig nicht mehr im Wald, sondern im Sägewerk.

Bei den Versuchen von MÜLLER (2000) zum biologischen Schutz von Kiefernstarkholz waren die Ergebnisse im Hinblick auf die Verblauung nicht so günstig, wobei dort etwas früher im Jahr und bei deutlich niedrigeren Außentemperaturen behandelt wurde, was das Einwachsen des farblosen Bläuepilzes verzögert haben kann. Zudem konnten dort offenbar durch tief gehende Trockenrisse Bläuepilzsporen über die Luft in tief gelegene Splintholzschichten eingetragen werden und dann während der recht langen Abtrocknungsphase des in-

neren Splintholzes (bis 9 Monate) eine intensive Verblauung hervorrufen. Bei den Versuchen von MÜLLER wurde die Mykoflora der behandelten Hölzer nicht in solchem Umfang und in solch engen Zeitabständen wie in der vorliegenden Arbeit untersucht, sodass letztlich eine Vergleichbarkeit der beiden Versuchsanordnungen kaum möglich ist. Fest steht, dass der temporäre biologische Bläueschutz von Kiefernstammholz, auch bei gesicherter temporärer Bläueschutzwirkung, sich in der Praxis schwerlich wird durchsetzen können. Dies liegt sowohl an den oben skizzierten logistischen Gründen als auch an prinzipiellen Problemen (Rissbildung, ungenügender Trock-

nungsfortschritt etc.) bei der Trockenkonservierung von Kiefernrundholz (MÜLLER, 2000, 2002).

Anders sieht die Situation bezüglich Schnittholz aus. In der Sägeindustrie wäre der Einsatz farbloser Bläuepilze als Alternative zu fungiziden Holzschutzmitteln durchaus denkbar, aber an zwei Bedingungen gekoppelt. Zum einen gelingt ein biologischer Bläueschutz nur an nicht vorverblautem Holz, zum anderen muss die Behandlung zu allen Jahreszeiten durchführbar sein und logistisch in den Betriebsablauf passen. Aus diesen Gründen erscheint eine Sprühbehandlung mit wässrigen Mitteln, gerade im Winter bei z. T. tiefen Temperaturen, als sehr problematisch. Eventuell käme eine Tauchbehandlung der Schnittware vor einer Zwischenlagerung in Frage, wobei Fragen der Standardisierung bzw. Konservierung der Behandlungsflüssigkeit zuvor noch gelöst werden müssten. Auch das nicht für eine technische Trocknung vorgesehene Schnittholz dürfte sich auf diese Weise mit farblosen Bläuepilzen behandeln lassen, sofern es anschließend mit Zwischenleisten gestapelt wird. So bietet sich nach MÜLLER (2002) etwa die Freiluftmodeltrocknung vor dem endgültigen Einschnitt von Listenbauholz an, wobei der farblose Pilz bei einem geeigneten Verfahren die Verblauung von Kiefern mindern oder verhindern könnte. Die Lösung der entsprechenden technischen und logistischen Probleme ist eine klassische Aufgabe für den Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Praxis.

Bezüglich der „Freisetzungproblematik“ farbloser Bläuepilze im Rahmen von Freilandanwendung sind verschiedene Aspekte zu beachten. Zum einen handelt es sich bei dem hier eingesetzten *O. piliferum* um einen weltweit verbreiteten Pilz, der auch bei uns zu den häufigsten an Kiefern auftretenden Bläuepilzen zählt und bei dem immer wieder farblose Mutanten auftreten. Insofern ist die Verwendung eines farblosen Stammes dieses Pilzes keine „Florenverfälschung“ im eigentlichen Sinne. In Kultur produziert der Pilz zahlreiche vegetative Myzelkonidien, was überhaupt erst die Anwendung im Rahmen des biologischen Bläueschutzes ermöglicht. In der Natur werden diese Konidien im Rahmen der Anwendung wahrscheinlich in Abhängigkeit von der vorherrschenden Witterung in der unmittelbaren Nähe der Behandlungsstelle verdriftet und möglicherweise auch von Insekten und anderen Organismen weitergetragen. Dies zeigt auch die Kontamination einiger der anderen Behandlungsvarianten im Rahmen unserer Versuche. Entscheidend ist jedoch, dass der Pilz offenbar aufgrund der fehlenden Melaninbildung nicht in der Lage ist, die Fruchtkörper (Perithezien) der Hauptfruchtform und somit Ascosporen zu produzieren (ZIMMERMANN et al., 1995). Auch in unseren Laborversuchen fanden wir niemals Anzeichen für die Ausbildung von Perithezien. Somit fehlt dem Pilz die Möglichkeit, sich in der Natur sexuell fortzupflanzen und mit anderen Stämmen von *O. piliferum* zu kreuzen. Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass SCHRÖDER et al. (2000) trotz umfangreicher Monitoringversuche im weiteren Umfeld von Versuchsaufbauten keine Ausbreitung des farblosen Stammes nachweisen konnten.

Den stärksten biologischen Einfluss entfaltet der Pilz natürlich in dem behandelten Holz, wo er, durchaus gewollt, die Artenzusammensetzung der Holzmykoflora beeinträchtigt und verändert. Angesichts der eingeschränkten Fortpflanzungsmöglichkeit des farblosen Stammes ist eine dauerhafte Etablierung im Ökosystem Wald wenig wahrscheinlich. Selbst wenn dies der Fall wäre, bestünden die ökologischen Folgen lediglich in einer geringfügigen Verdrängung der bereits hier vorhandenen (und im Holz unerwünschten) pigmentierten Stämme desselben Erregers.

Farblose Bläuepilze haben, wie die pigmentierten Stämme, die Fähigkeit zu einem geringen Holzabbau, der bei starkem Befall und längerer Inkubation auch die physikalischen Eigenschaften des Holzes etwas beeinträchtigen kann (SCHMIDT, 1994; SCHU-

MACHER et al., 2003). Bei massivem Einsatz farbloser Bläuepilze und entsprechend langer Aufrechterhaltung einer geeigneten Holzfeuchte könnte also eine derartige Beeinträchtigung stattfinden. Auch wenn es eigentlich das Ziel ist, die Holzfeuchte nach einer Behandlung durch luftige Lagerung rasch in den unbedenklichen Bereich unter 30 % zu bekommen, sollten dennoch Versuche zu den physikalischen und anatomischen Auswirkungen der farblosen Bläuepilze zumindest an Holzarten, die für statische Zwecke verwendet werden könnten, durchgeführt werden. Möglicherweise ergeben sich sogar Vorteile im Hinblick auf eine bessere Tränkbarkeit, wie dies erste Versuchsergebnisse andeuten (SCHMIDT und MÜLLER, 1996), zumal diese Pilze in der Holzindustrie zum Harzabbau in Hackschnitzeln eingesetzt werden.

Bezüglich des Verbraucherschutzes lässt sich feststellen, dass Pilzarten wie *O. piliferum*, die an primärer und sekundärer Bläue beteiligt sind, nach Trocknung des Holzes absterben. Bei erneuter (ungewollter) Befeuchtung des Holzes führen meist ganz andere Pilzarten wiederum zur tertiären Bläue (SCHMIDT, 1994; BUTIN, 1996). Da eine Konidienbildung der farblosen Bläuepilze am Myzel nur unter ausgesprochen feuchten Bedingungen möglich ist, muss eine biologische Beeinträchtigung durch trockenes, verarbeitetes Holz nicht erwartet werden. Daraus ergibt sich auch, dass im Gegensatz zu chemischen Mitteln die Bläueschutzwirkung farbloser Pilzstämme mit Trocknung des entsprechenden Holzes unter 30 % Holzfeuchte erlischt. Solche Präparate wären daher keinesfalls als Schutzanstrich oder zur Tränkung gegen die tertiäre Bläue an Bauholz einsetzbar.

Danksagung

Für technische Assistenz bei der Durchführung der Laborarbeiten und der Freilandversuche danken wir MARION KRENZ, JUTTA MARTENS, UTA SCHEIDEMANN, HENNING THIELE und REINHOLD TRAUTMANN vom Institut für Pflanzenschutz im Forst der BBA. Dank gebührt auch Prof. Dr. OLAF SCHMIDT vom Ordinariat für Holzbiologie der Universität Hamburg für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- AUFSESS, H. VON, 1974: Erfahrungen über den Schutz des Rundholzes gegen Lagerschäden. Allg. Forstzeitschrift **29**, 368–373.
- AUFSESS, H. VON, H. VON PECHMANN, 1970: Erfahrungen über die Auswirkungen längerer Wasserlagerung auf die Qualität von Nadelstammholz. Forstw. Cbl. **89**, 65–77.
- BAVENDAMM, W., 1954: Bläuepilze. Holz als Roh- und Werkstoff **12**, 205–208.
- BEHRENDT, C. J., R. A. BLANCHETTE, R. L. FARRELL, 1995: Biological control of blue-stain fungi in wood. Phytopathology **85**, 92–97.
- Beirat f. Bauforschung beim Bundesminister für Wohnungsbau (Hrsg.): Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe D. **11**, 27–30.
- BUTIN, H.: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. 3. Auflage, Stuttgart, G. Thieme Verl., 1996, 261 S.
- HEYDECK, P., 1997: Literaturrecherche zu organisatorischen und prophylaktischen Maßnahmen zur Verhinderung von Verblauung an lagerndem Kiefernrundholz. Forstl. Forschungsanst. Eberswalde e.V. Abt. Waldschutz 1770/03, Eberswalde.
- KREBER, B., J. J. MORELL, 1993: Ability of selected bacterial and fungal bioprotectants to limit fungal stain in ponderosa pine sapwood. Wood Fiber Sci. **25**, 23–24.
- KRENN, K.: Abdeckungsmaßnahmen zur Verhinderung von Pilz- und Insektenschäden an gelagertem Rundholz. Wien, Kooperationsabkommen FPP, 1988.
- LIESE, W., R. SCHMID, 1961: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen über das Wachstum von Bläuepilzen in Kiefern- und Fichtenholz. Holz als Roh- und Werkstoff **19**, 329–337.
- LIESE, W., R. SCHMID, 1964: Über das Wachstum von Bläuepilzen durch verholzte Zellwände. Phytopathologische Zeitschrift **51**, 385–393.
- MÜLLER, J., 2000: Praxisversuche zum Einsatz des farblosen Bläuepilzes *Ophiostoma piliferum* an Kiefernholz. Abschlussbericht, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

- MÜLLER, J., 2002: Modeltrocknung kann Kiefernbläue verhindern – Untersuchungen zur Freilufttrocknung von Kiefernmodeln und -rundholz während einer Saison. Holz-Zentralblatt **14**, 162.
- MÜLLER, J., O. SCHMIDT, 1995: Biologischer Schutz von Kiefernholz gegen Verblauen. Holz-Zbl. **121**, 2017–2018, 2020.
- NEUMÜLLER, A., M. BRANDSTÄTTER, 1995: Verblauung von Stammholz. Holzforschung und Holzverwertung Nr. 4/1995, 68–72.
- PECHMANN, H. VON, E. GRÄSSLE, A. WUTZ, 1964: Untersuchungen über Bläuepilze an Kiefernholz. Forstw. Cbl. **83**, 257–320.
- PECHMANN, H. VON, A. WUTZ, 1963: Untersuchungen über Bläuebefall und Möglichkeiten der Bläueverhütung an lagerndem Kiefernstammholz. Forstw. Cbl. **82**, 129–138.
- RYPACEK, V.: Biologie holzzeretzender Pilze. Jena, G. Fischer Verl., 1966, 211 S.
- SAARENMAA, H., 1987: Insect attack and blue stain in windthrown trees in Lapland in 1983–86. Fol. Forest. **696**, 3–17.
- SCHMIDT, O.: Holz- und Baumpilze. Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Berlin, Springer Verlag, 1994, 246 S.
- SCHMIDT, O., MÜLLER, J., 1996: Praxisversuche zum biologischen Schutz von Kiefernholz vor Schimmel und Schnittholzbläue. Holzforschung und Holzverwertung **48**, 81–84.
- SCHRÖDER, S., J. MÜLLER, K. STERFLINGER, 2000: Auflagen für den biologischen Bläueschutz erfüllt. Holz-Zentralblatt **123**, 1678.
- SCHUMACHER, P., H. SCHULZ, 1992: Untersuchungen über das zunehmende Auftreten von Innenbläue an Kiefern-Schnittholz. Holz als Roh- und Werkstoff **50**, 125–134.
- SCHUMACHER, J., A. SOLGER, S. LEONHARD, A. ROLOFF, 2003: Zunehmendes Auftreten von Stamm- und Schnittholzbläue bei der Baumart Gemeine Fichte im Freistaat Sachsen. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. **174**, 148–156.
- SEIFERT, K. A., W. E. HAMILTON, C. BREUIL, M. BEST, 1987: Evaluation of *Bacillus subtilis* C186 as a potential biological control of sapstain and mould on unseasoned lumber. Can. J. Microbiol. **33**, 1102–1107.
- VERRALL, A. F., T. C. SCHEFFER, 1949: Control of stain, mold, and decay in green lumber and other wood products. Forest Products Research Society. 16 S.
- ZIMMERMANN, W. C., R. A. BLANCHETTE, T. A. BURNES, R. L. FARRELL, 1995: Melanin and perithecial development in *Ophiostoma piliferum*. Mycologia **87**, 857–863.
- ZIMMERMANN, G., H. BUTIN, 1973: Untersuchungen über die Hitze- und Trockenresistenz holzbewohnender Pilze. Flora **162**, 393–419.
- ZINK, P., D. FENGEL, 1989: Studies on the colouring matter of bluestain fungi. Holzforschung **43**, 371–374.

Zur Veröffentlichung angenommen: März 2004

Kontaktanschrift: Dr. Johann Müller, Neudörpen 8, D-26892 Dörpen, Tel.: 04963-914014, E-Mail: J.Mueller.Doerpen@t-online.de