

Forstpathologische Beiträge zur Erhaltung der Holzqualität bei stehendem und liegendem Holz¹

BERTHOLD METZLER

Kurzfassung

In dieser Publikation werden wissenschaftliche Ergebnisse und Projekte, die an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) durchgeführt wurden, vorgestellt. Fünf Themengebiete, den Einfluss von Pilzen auf die Holzqualität betreffend, wurden bearbeitet:

1. Bei der Epidemiologie des Buchenkrebses (Erreger: *Neonectria ditissima*) spielt der Gesundheitszustand der Überschirmung eine wesentliche Rolle. Buchen-naturverjüngungen mit Kontakt zu infiziertem Altholz wiesen einen dreifach höheren Befallsgrad auf als bei gesunder Überschirmung. In einem Buchenprovenienz-versuch konnte keine Abhängigkeit des Befallsgrads von der Provenienz nachgewiesen werden. Jedoch waren Parzellen im Umkreis von 20 m um infizierte Überschirmung signifikant am stärksten infiziert. Es zeigte sich auch ein Zusammenhang zwischen Befallsgrad und dem Abstand der Parzellen auf der Lee-Seite von infizierten Altbüchen.

2. Die Grünästung der Fichte wird sowohl in weitständigen Reinbeständen als auch in stufigen Mischbeständen zur Erziehung von Wertholz empfohlen. Sechs Jahre nach einer sorgfältig durchgeführten Grünästung waren Fäulen und holzerstörende Pilze kaum nachweisbar. Geringe Verfärbungen traten ausschließlich im asthaltigen Reifholz von wenigen Bäumen auf. *Neonectria fuckeliana* wurde aus den Aststummeln von geästeten Bäumen, insbesondere nach Ästung im Herbst, am häufigsten isoliert.

3. Fichten-Erstaufforstungen auf der Schwäbischen Alb wurden auf Stockfäulen untersucht, die von *Heterobasidion annosum* s.l. verursacht wurden. Sieben Bestände, deren Stubben aus der Erstdurchforstung etwa zwölf Jahre zuvor mit Natriumnitrit behandelt worden waren, zeigten einen um 71 % niedrigeren Befall als unbehandelt gebliebene Bestände. Wenngleich auch mittlerweile andere Mittel verwendet werden, zeigt dieses Ergebnis doch, dass die Übertragung des Pilzes von den frischen Stubben zu den Wurzeln der Nachbarbäume vermindert werden kann.

4. Trotz fachgerechter Beregnung war es in Nasslagern mit berindetem Fichten/Tannen-Stammholz zu umfangreichen Mantelfäulen gekommen. Es konnte gezeigt werden, dass Hallimasch-Arten (*Armillaria* spp.)

in der Lage sind, in wassergesättigtem Holz Luftkanäle zu erzeugen, welche die Sauerstoffversorgung für den Abbau von Lignin (Weißfäule) ermöglichen. Basierend auf diesen Untersuchungen wurden Maßnahmen entwickelt, welche diese Art von Fäulnis weitgehend ausschließen.

5. Im Rahmen eines Versuchs zur Lagerung von berindetem Fichtenrundholz unter sauerstoffarmer Atmosphäre wurde die Pilzentwicklung im Holz untersucht. Die Holzerzersetzung durch Pilze war bei etwa 1 % Sauerstoff weitgehend ausgeschlossen. Dagegen dominierten potentiell antagonistisch wirkende Pilze: *Clonostachys solani* an der Oberfläche, *Ascocoryne sarcoides* und *Acremomum butyri* (jetzt eine von mehreren Arten in *Cosmospora*) im Inneren des Holzes. In Poltern mit einem höheren Restsauerstoffgehalt von ca. 10 % kam es zu einer schwachen Entwicklung von *Stereum sanguinolentum* und von *Amylostereum areolatum*. Über den gleichen Zeitraum im Freien gelagertes Holz war stark von Holzerstörern durchsetzt, während Frischholz fast vollkommen frei von Pilzen war.

Abstract

Forest pathological contributions to the maintenance of wood quality of standing trees and cut timber

This paper presents scientific results of projects accomplished in the Forest Research Institute of Baden-Württemberg (FVA). This is illustrated by five issues dealing with the impact of fungi on timber quality:

1. The distribution of beech canker caused by *Neonectria ditissima* has been surveyed in natural regeneration. The naturally regenerating trees were significantly more affected when grown under a diseased beech shelterwood than under healthy trees. Forest stands of lower altitudes were more affected than at higher altitudes. Correspondingly, disease incidence was more than tripled in the warmer and dryer areas. Beech canker was abundant in many plots of a large beech provenance trial in Germany. Significant spatial correlation was found between canker incidence in the plantation and the distance to neighbouring diseased shelterwood. The latter evidently served as a source of inoculum. Wind dispersal zones were established which had a stronger effect in disease dispersal than the distance zones.

2. Five *Picea abies* stands in Baden-Württemberg were green-pruned up to a tree height level of ca. 10 m. Six years later the health of pruned trees and control trees

¹ Abgeleitet von der kumulativen, bisher unveröffentlichten Habilitationsschrift der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Universität Freiburg (METZLER 2008).

was assessed. Based on isolations from wood specimens obtained from 175 trees, specific infection rates are given for different tree compartments. Wood decay fungi as well as important blue-stain fungi were only rarely present. Tolerable discolorations were limited to the stub-containing core of a few trees. Wood formed after pruning did not show more fungal infections nor other related damages than the respective increment in unpruned control trees. *Neonectria fuckeliana*, proved to be the most abundant fungus in pruned trees especially in the branch stubs.

3. First rotation stands of Norway spruce in forests in the Swabian Alb region were monitored for butt rot, caused by *Heterobasidion annosum* s.l. Seven stands treated with sodium nitrite within first thinnings and untreated ones were compared regarding butt rot incidence ca. 12 years later. Among a total of 700 trees, butt rot incidence was by 71 % lower in treated than in untreated stands. Even though the applied substance is not in use any more, the experiment shows that stump treatment may principally be effective.

4. Storage of logs under water sprinkling is used as an economic method in forestry for preserving wood quality. However, *Armillaria* spp. are able to decay sapwood of logs in bark stored under water sprinkling, even at a wood moisture content of more than 150 %. This is associated with the formation of tubular air channels from the cambial region into the sapwood. The structure of these little-known aerated microenvironments is described, and proposals about their function are given. In wood of *Picea abies* and *Abies alba*, the three-dimensional structure of tubular air channels which are formed by *Armillaria* spp. was examined. These structures allow the efficiently located extrusion of water from the water-saturated wood and influx of atmospheric oxygen. By these unique tubular air channels *Armillaria* spp. are able to attack wood cells in an aerobic microenvironment in water-saturated wood.

5. As a part of a praxis-oriented experiment in wood storage under reduced atmospheric conditions, the development of fungi in the sapwood of Norway spruce timber was monitored. Wood decay fungi were completely inhibited when the oxygen level was as low as 1 %. Potentially antagonistic fungi were favoured by low oxygen levels: *Clonostachys solani* on the surface of the timber logs, *Ascocoryne sarcoides* and *Acremonium butyri* (now one of several species of *Cosmospora*) in the sapwood. At ca. 10 % O₂, a scanty development of *Stereum sanguinolentum* and *Amylostereum areolatum* could be detected. Abundant growth of both white rot and sap stain fungi occurred in unprotected timber.

Autor

PD Dr. BERTHOLD METZLER, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Waldschutz, Wonnhaldestr. 4, 79100 Freiburg/Br., E-Mail: berthold.metzler@forst.bwl.de

1 Einleitung

1.1 Holzqualität in der Natur

Alle vom Menschen geschätzten Eigenschaften des Holzes sind das Ergebnis evolutionärer Prozesse und förderten das Überleben rezenter Baumarten. Durch die differenzierte zelluläre Struktur des Xylems wird bei relativ geringem Gewicht eine hohe Steifigkeit und Elastizität erreicht, so dass baumförmiges Wachstum möglich ist. Die Optimierung von Höhenwachstum und Kronenstabilität bringt einen entscheidenden Vorteil bei der Lichtkonkurrenz gegenüber anderen Pflanzen. Ferner sind hohe Bäume eher in der Lage, Samen über größere Entfernungen zu verbreiten. Gleichzeitig erfüllt das Xylem die Funktion der Wasserleitung, was bei zunehmender Höhendifferenz zwischen Wurzeln und Baumkrone physikalisch anspruchsvoller wird. Die Art der erforderlichen Differenzierungen zeigt exemplarisch eine mikroskopische Sicht in Douglasienholz (Tafel 1, Abb. 1). Bei einem lebenden Baum kann das Holz nur in Funktionseinheit mit der mantelförmig den Stamm umschließenden Wachstumszone (Kambium) und der Assimilate leitenden und schützenden Rinde (Phloem und Borke) seine Funktionen ausüben.

Diese Funktionseinheit muss zunächst abiotischen Gefährdungen wie Sturm, Frost, Trockenheit sowie Hitze durch Feuer und Sonnenstrahlung standhalten. Die hinzu kommenden biotischen Gefährdungen sind sehr vielfältig, da das Holz für zahllose Organismen das lebensnotwendige Substrat darstellt. Die Hauptbestandteile des Holzes, Zellulose und Lignin, sind zwar schwer abbaubar, jedoch energiereich. Dies sichert entsprechend spezialisierten Destruenten einen wichtigen Vorteil. Andererseits sind Organismen, die das Phloem und das Kambium angreifen oft „Türöffner“ für Holzzerstörer. Beschädigungen des Kambiums bedeuten, sofern der Baum überhaupt überlebt, auch gravierende Störungen im weiteren Holzaufbau.

Die Bäume sind mit einer Vielzahl von sowohl physikalisch-mechanischen als auch biochemischen Schutzmechanismen zur Abwehr von Schaderregern ausgestattet. Entsprechend zahlreich sind die Anpassungen der „Interessenten“ an diesem Substrat bei der Ausbildung von physikalischen und biochemischen Werkzeugen. Das Ergebnis ist besonders augenfällig beim „Schälen“ der Rinde durch spezialisierte Wirbeltiere oder bei Schäden durch holzbohrende Insekten wie beispielsweise Borkenkäfern oder Holzwes-

pen. Der enzymatische Angriff durch Mikroorganismen vollzieht sich unsichtbar, doch sind die Ergebnisse in Form von Rindennekrosen, der Abtötung von ganzen Bäumen oder in Form von destruktiven Holzfäulen (SCHWARZE et al. 1999) spektakulär. Pilze als Verursacher dieser Schäden stehen im Fokus der vorliegenden Arbeit.

Trotz der vielfältigen Bedrohungen leben Individuen vieler Baumarten erstaunlich lange. Sogar im Stamm kernfaule Bäume können oft noch Jahrzehnte, auch Jahrhunderte überleben, solange eine ausreichende Restwandstärke durch ständigen Dickenzuwachs erhalten bleibt. Nicht selten kommt es durch Krankheiten oder Beschädigungen zum teilweisen Zurücksterben der Baumkronen und zur Ausbildung von Sekundärkronen. Dies zeigt, dass suboptimale Strukturen als Folge von Defekten und Reparaturmechanismen entstehen durchaus noch eine erfolgreiche Fortpflanzung von individuellen Bäumen ermöglichen können, auch wenn das Holz nicht mehr qualitativ hochwertig ist.

Die Langlebigkeit über die Blühreife (Mannbarkeit) hinaus sichert angepassten Baumindividuen eine nachhaltige Verbreitung. Andererseits werden durch besondere Langlebigkeit (z.B. infolge von Fäuleresistenz) evolutive Anpassungsprozesse erschwert, indem die Generationendauer verlängert und die eigene Naturverjüngung unterdrückt wird. Daher können sich evolutive Anpassungsprozesse bei Pflanzenarten mit kurzlebigen Individuen schneller vollziehen. Auch der verzögerte Abbau von Totholz ist für die Verjüngung und Weiterentwicklung einer Art eher schädlich, da der Nährstoffkreislauf behindert und der Lebensraum eingeengt wird.

1.2 Die Qualitätsminderung von Nutzholz durch Pilze

Für den Menschen ist Holz als Werkstoff für unterschiedliche Zwecke, insbesondere als Konstruktionsholz, von sehr hohem Wert. Die Holzeigenschaften vieler Baumarten verbinden Leichtigkeit und Stabilität optimal. Die Qualität unterliegt allerdings vielen Einflüssen. Pilze sind bedeutende Schadfaktoren, da sie das Innere des Holzes zersetzen und eine Fäule auslösen oder auch die Holzstruktur indirekt durch Erkrankungen von Rinde und Kambium beeinträchtigen können. Man kann davon ausgehen, dass pilzliche Schäden an Holz Ursache für beträchtliche finanzielle Verluste von Forstbetrieben sind. Allein die Schäden durch den Wurzelschwamm an der Fichte wurden in Deutschland auf jährlich 56 Mio. € geschätzt

(DIMITRI & TOMICZEK 1998). Holzverluste durch Halimaschfäule im Nasslager beliefen sich in Baden-Württemberg nach den Stürmen „Vivian“ und „Wiebke“ auf 5,1 % der eingelagerten Holzmasse nach vierjähriger Lagerung (GROSS et al. 1996). Geschlagenes Holz ist für entsprechend spezialisierte Pilze ein leicht zersetzbarer Rohstoff (HOLDENRIEDER 1992). Dies erfordert besondere Regeln und Maßnahmen bei der Behandlung des Holzes, die teils auf historischem Erfahrungswissen basieren, teils aber auch neu erarbeitet und optimiert werden müssen. Einige Aspekte, zu denen neue Ergebnisse vorliegen, werden in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit vorgestellt. Selbst die Funktion des Holzes als Energieträger, bei der die geringsten Qualitätsansprüche zu befriedigen sind, verlangt Schutz vor einer vorzeitigen Zersetzung.

Beeinträchtigungen der Stammholzqualität werden bisher im Holzhandel in Deutschland durch die Heilbronner Sortierkriterien für Rundholz (HKS) geregelt. Für die Einteilung in Güteklassen entscheidende Qualitätsmerkmale des Holzes sind Dimension, Geradschaftigkeit, Ästigkeit, Verfärbungen und insbesondere Fäulen (ANONYMUS 1988). Werden die erforderlichen Qualitätskriterien nicht erreicht, wird das Stammholz in die Klassen C oder D eingruppiert, wobei der Wert jeweils deutlich sinkt. Holz mit hohen Fäuleanteilen verliert unter Umständen seinen gesamten Wert und wird unverkäuflich („X-Holz“).

1.3 Forstpathologie

Als Teildisziplin sowohl der Phytopathologie als auch der Forstwissenschaften befasst sie sich mit Krankheiten forstlich relevanter Baumarten. Die Forstpathologie analysiert und erklärt Schäden oder Qualitätsminderungen am Holz und entwickelt Gegenmaßnahmen. Eingeschlossen sind hier auch Schäden am geschlagenen Holz, da dieses weitgehend von den gleichen Organismen des Waldes angegriffen wird, welche auch in der Natur für die Zersetzung von Totholz sorgen. Außerdem bleibt geschlagenes Holz im Rahmen der Handlungspflogenheiten oft noch geraume Zeit unter forstlicher Zuständigkeit.

Eine sinnvolle forstpathologische Vorgehensweise ist in Abb. 2 dargestellt (vergl. auch MORELET 1988). Nach einer Problemstellung zur Erkrankung einer bestimmten Baumart oder zur Wertminderung von geschlagenem Holz beginnt man in der Regel mit der detaillierten Erfassung der Schadsymptome. Die hohe Zahl von potentiellen abiotischen Schadfaktoren und biotischen Erre-

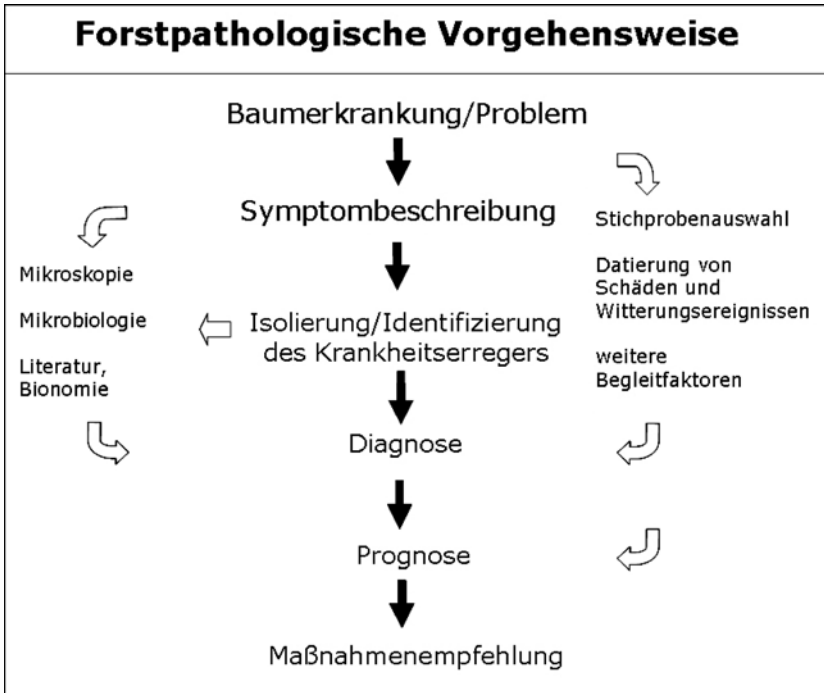


Abbildung 2. Forstpathologische Vorgehensweise bei der Beratung der Forstpraxis.

gern und die evtl. je nach Baumart und Befallsort unterschiedlichen Baumreaktionen führen zu einer hohen Vielfalt von Symptomen. Andererseits können auch unterschiedliche Schadfaktoren zu sehr ähnlichen Symptomen führen. Beispielsweise wird in der Praxis oft die Stockfäule durch den Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* s.l.) und die Wundfäule durch den Blutenden Schichtpilz (*Stereum sanguinolentum*) verwechselt. Auch ähneln sich Überwallungsstrukturen an Buchenrinde nach dem Befall durch den Kleinen Buchenborkenkäfer *Taphrorychus bicolor* mit den Baumreaktionen bei Buchenkrebs (Erreger: *Neonectria ditissima*). Bei Verwechslungen kommt es zu unpräzisen oder falschen Schlussfolgerungen.

Ein weites Feld sind unspezifische Blatt- oder Nadelverluste, die oft zu Fehlinterpretationen Anlass geben, wenn keine näheren Untersuchungen gemacht werden. Auch greifen Praxisversuche oft zu kurz, wenn wesentliche biotische oder abiotische Einflussfaktoren ignoriert werden. Erfolg oder Misserfolg von Maßnahmen werden durch forstpathologische Begleitung besser erklärlich. Die möglichst präzise Erfassung der pathologischen Strukturen und die Art und Lokalisation der Defekte lassen meist erkennen, ob bestimmte Symptome Teil des zu bearbeitenden

Problems sind oder zufällig oder sekundär hinzugekommen sind. Diese unter dem Einfluss von biotischen oder abiotischen Faktoren entstandenen pathologischen Strukturen an Gehölzen sind sehr vielfältig und wurden umfassend von FINK (1999) analysiert und dargestellt.

Der Symptombeschreibung muss die Identifizierung des Krankheitserregers folgen. Dies geschieht in der Regel anhand von Pilzfruchtkörpern, lichtmikroskopisch, durch Isolierung und Hinzuziehung von mikrobiologischen Vergleichskulturen oder zunehmend auch durch molekularbiologische Techniken. Durch die Identifizierung des Erregers bis zur Art ist eine genauere Einschätzung des pathogenen Potentials möglich, ferner Angaben zum Wirtsspektrum, zum Infektionsort am Baum, zur Latenzzeit, zur Art der Verbreitung, zu besonderen physiologischen Bedingungen und Fähigkeiten sowie zu spezifischen Wechselwirkungen mit anderen Organismen.

Die vorgefundenen Organismen müssen als Erreger identifiziert werden. In der klassischen Phytopathologie erfolgt dies durch die Erfüllung der Koch'schen Postulate. Dies ist bei Bäumen relativ schwierig, weil die Infektionen oft an Bedingungen geknüpft sind, die teilweise während eines jahrelangen Prozesses zustande kommen und daher

im Experiment nicht leicht herzustellen sind (z.B. Vorschädigung durch klimatische Ereignisse oder vorausgehende Infektionen durch andere Organismen). Nicht selten sind einzelne Krankheits-erreger Teil von Komplexkrankheiten, die durch disponierende, auslösende und verstärkende Faktoren begleitet sein können (MANION 1991).

Diesen Synergismen bei der Entstehung von Baumkrankheiten stehen hemmende Aktivitäten von Antagonisten gegenüber. Beispielsweise sind unter den hunderten Arten von Bodenmikroorganismen viele, die als Nahrungskonkurrenten, Bildner von antibiotisch wirksamen Verbindungen oder als direkte Hyperparasiten auf Baumparasiten spezifisch hemmende Einflüsse haben.

Die vom Forstpathologen zu stellende Prognose sollte erklären, wie sich die Krankheit ohne weiteres Zutun entwickeln wird. Daraus wiederum ist zu schließen, ob und welche Gegenmaßnahmen zur Problemlösung nötig und wirtschaftlich vertretbar sind. In der Regel handelt es sich um präventive Maßnahmen. Nicht selten können auch durch genauere Kenntnisse der Vorgänge teure und nicht zielführende Maßnahmen vermieden werden.

Eine besondere Herausforderung stellen invasive Arten von Schaderregern dar, die entweder insgesamt oder mindestens hinsichtlich ihres Potentials als Schaderreger unter hiesigen Verhältnissen nicht bekannt sind (HEINIGER 2003, KEHR et al. 2005, WULF 1993). So würde auch die Einwanderung des Tannenwurzelschwamms (*Heterobasidion abietinum*) aus Südosteuropa ein bisher unbekanntes Risikopotential für unsere Tannenwälder darstellen (HOLDENRIEDER 1994).

Nicht selten setzen die Vielfalt der beteiligten Organismen, die Komplexität ihrer Interaktionen und Standort und Witterung Grenzen bei der Erfassung und der Vorhersehbarkeit von Vorgängen. Es ist die Herausforderung der Wissenschaft, solche Grenzen beharrlich zu weiten.

1.4 Die ausgewählten Themen

Die vorliegende Schrift konzentriert sich auf einige wichtige mykologische Themen, die der Autor im Rahmen seiner Tätigkeit an der FVA bearbeitet hat. Sie sind geordnet nach ihrer zeitlichen Reihenfolge in der Waldentwicklung bzw. -nutzung zwischen der Verjüngung und Rundholzlagerung.

Holzqualität wird in dieser Arbeit in erster Linie als Handelskriterium verstanden, das monetär bewertet werden kann. Maßnahmen zum Erreichen und zum Erhalt der von den Nachfragern

verlangten Holzqualität müssen also auch als Investition verstanden werden, die sich am Ende auszahlen soll. So sollen Kenntnisse und Informationen bereitgestellt werden, um beispielsweise folgende forstbetriebliche Fragen beantworten zu können: a) Soll ein Buchenaltholzschirm entfernt werden, um die Befallswahrscheinlichkeit durch Buchenkrebs zu senken? b) Ist das Risiko der Grünästung zu bestimmten Jahreszeiten tragbar? c) Ist bei Durchforstungen in Fichtenbeständen eine Stubbenbehandlung zur Minimierung der Rotfäule sinnvoll? d) Soll Nasslagerholz vor der Einlagerung entrindet werden? e) Kann die Investition der Folienverpackung bei der Holzlagerung lohnend sein?

Die Methoden und Ergebnisse geben Informationen und wesentliche Entscheidungskriterien zu waldbaulichen und ökonomischen Fragestellungen. Letztere müssen jeweils aktuell beantwortet werden, da sich das Preisgefüge (Wert bestimmter Holzqualitäten, Arbeitskosten) und die technischen Möglichkeiten der Bearbeitung und der Verwendung ständig ändern.

Zur Bearbeitung der Themen waren unterschiedliche methodische Ansätze erforderlich. Allen gemeinsam ist die systematische Stichprobenauswahl, sowie der Nachweis der jeweiligen Erreger. Die anatomischen Untersuchungen bei der Überwallung der Schnittwunden nach Grünästung waren erforderlich, um den zeitlichen Verlauf und die Lokalisation der wundbesiedelnden Pilze zu erfassen. Besonderes Augenmerk verlangte die bisher unbekannte Art der Kompartimentierung des Holzes durch Hallimasch-Arten (*Armillaria ostoyae*, *A. cepistipes* und *A. borealis*) im Nasslager, was für die Sauerstoffversorgung der Fäuleerreger von erheblicher Bedeutung ist. Sowohl bei der Grünästung als auch bei der Holzlagerung unter Schutzgas ging es unter anderem darum, die ggf. infolge forstlicher Maßnahmen in das Holz eindringenden Pilzarten zu bestimmen und deren Bedeutung für den Gesundheitszustand des lebenden Baumes bzw. für potentielle Qualitätsminderungen im lagernden Holz abzuschätzen.

Potentiell hunderte weitere Erkrankungen (BUTIN 2011, FINK 1999, SINCLAIR & LYON 2005) beeinflussen oder gefährden das Holz. Allein die vom Autor geleistete forstpathologische Beratung von Forstdienststellen erstreckt sich auf fast 2.000 Einzeluntersuchungen an 40 Baumarten und auf einige hundert verschiedene Erkrankungen. Darunter sind auch Erkrankungen der Nadeln bzw. Blätter oder der Feinwurzeln, die sich als temporäre und

chronische Minderzuwächse, jedoch weniger als spezifische Qualitätsminderung beim Holz auswirken. Ökonomisch wichtige forstpathologische Themen mit Bezug zur Holzqualität, die gegenwärtig in Baden-Württemberg eine Rolle spielen, jedoch hier nicht behandelt werden, sind beispielsweise die Wurzelhalsfäule der Erle durch *Phytophthora alni*, der Rindenkrebs der Esskastanie durch *Cryphonectria parasitica* und Wundfäulen oder Hallimasch-Erkrankungen nach Trockenheit.

2 Der Buchenkrebs und seine Ausbreitung im Bestand

Der Buchenkrebs ist eine Pilzkrankheit, welche bereits Naturverjüngungen befällt und zu einer nachhaltigen Verschlechterung der Stammform und der inneren Holzqualität führt. Anhand von zwei umfangreichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass mit erhöhtem Befall in der Nachbarschaft von erkrankten Altbuchen zu rechnen ist. Dabei spielen zusätzlich die Hauptwindrichtung und die Dauer der Exposition eine Rolle. Die vorgestellten Untersuchungen sind in METZLER & VON ERFFA (2000), METZLER et al. (2002) sowie in AUGUSTIN et al. (2005) veröffentlicht.

2.1 Symptomatik und Biologie des Erregers

Kleine Nekrosen auf der dünnen Rinde von Jungbäumen oder an dünnrindigen Zweigen von Altbäumen sind erste Anzeichen für beginnenden Buchenkrebs. Durch den Zuwachs des umgebenden Gewebes sinken diese Stellen in den Folgejahren ein und die tote Rinde reißt auf. Wegen der andauernden Pilzinfektion am Rand der Nekrosen können diese vom Baum über lange Zeit nicht überwallt werden (Tafel 1, Abb. 3). Gelegentlich kommt es zur Ringelung und damit zum Verkümmern von Trieben und Ästen. Wenn dann subterminale Äste die Leitfunktion übernehmen, wird der Stamm krumm. Wenn erkrankte Buchen nicht entfernt werden, können sie noch als Althölzer aktive Stammkrebse aufweisen (BORRMANN 1994).

Um Verwechslungen vorzubeugen, wird hier angemerkt, dass es sich bei den in der Forstpraxis gelegentlich beanstandeten „T-Flecken“ im Stammquerschnitt oft nicht um Buchenkrebs handelt, sondern um abiotisch oder durch temporären Befall durch den Kleinen Buchenborkenkäfer (*Taphrorychus bicolor*) entstandene Kambiumnekrosen, die jedoch in kurzer Zeit problemlos überwallt werden (BOSSHARD 1965, DIMITRI 1967,

PERRIN 1981, SCHÖNHERR & KRAUTWURST 1979). Zur Abgrenzung des Buchenkrebses gegen die „Buchenrindennekrose“, verursacht durch *Nectria coccinea*, wird auf die Beschreibung von SCHÜTT & LANG (1980) hingewiesen.

Der Buchenkrebs wird durch den Pilz *Neonectria ditissima*, seltener auch durch die nah verwandte Art *N. galligena* verursacht. Die Ascosporen (Abb. 4) werden vom Wind, die hydrophilen Konidien der Nebenfruchtform (Abb. 5) durch Spritzwasser bei Regen verbreitet (RICHTER 1928). Als Eintrittspforten werden Wunden durch Hagelschlag (HARTIG 1882), Blattnarben oder Aststummel (BUTIN 2011) vermutet. Nach PERRIN (1981) sollen der Boden, genetische Faktoren der Buchen und insbesondere die zu lange Überschirmung hinsichtlich der Disposition für diese Krankheit wichtige Rollen spielen.

Der Buchenkrebs ist für die Buche in Mitteleuropa insgesamt nicht gravierend, kann jedoch örtlich die Holzqualität deutlich verschlechtern (PERRIN & VERNIER 1979). Dies trifft besonders zu, wenn ein hoher Prozentsatz der Naturverjüngung betroffen ist und nur noch eine ungenügende Zahl von fehlerfreien Jungbäumen für den Endbestand zur Verfügung steht. Unter diesen Voraussetzungen ist es zweckmäßig, die wichtigsten Einflussfaktoren für die Krankheit zu kennen, um ihr gegebenenfalls durch waldbauliche Maßnahmen begegnen zu können. Ferner sollten diese Faktoren anhand von landesweiten Verbreitungsdaten verifiziert werden.

2.2 Räumliche Ausbreitung in einem Provenienzversuch

In einem Anbauversuch der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) mit 62 europäischen Buchenprovenienzen (MUHS 1991)

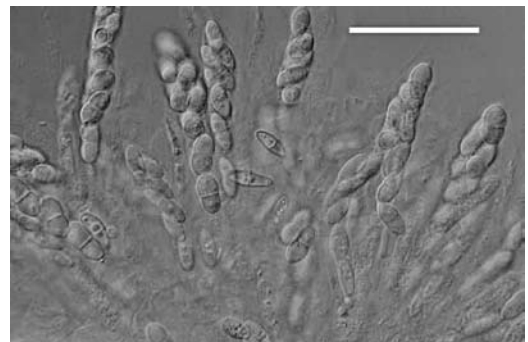


Abbildung 4. Asci mit Ascosporen von *Neonectria ditissima*. Messbalken 50 µm.

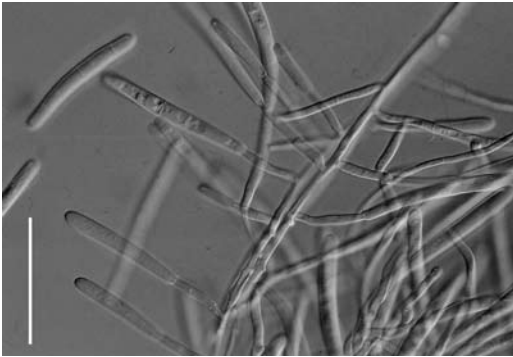


Abbildung 5. *Cylindrocarpon willkommii*-Konidienform von *Neonectria ditissima*. Messbalken 50 µm.

trat im Nord-Schwarzwald ein relativ hoher Befallsgrad mit Buchenkrebs auf. Dies wurde bei routinemäßigen waldwachstumkundlichen Messungen der BFH festgestellt und war der Anlass, das Verbreitungsmuster der Krankheit in den Versuchspartellen zu untersuchen. Die Fläche befindet sich im ehemaligen Forstbezirk Bad Wildbad auf einem flachgründigen Buntsandstein-Plateau auf 600 m NN. Der Herkunftsversuch war auf einer Sturmwurffläche von 1986 angelegt worden, wobei einzelne Buchen-Überhälter belassen wurden. Die Nachbarbestände werden von Fichten dominiert.

Nach der Identifizierung des Buchenkrebs und des Erregers *N. ditissima* wurde der Befallsgrad (Prozent infizierter Pflanzen) in den 149 Partellen ausgezählt, insgesamt an 9.015 Bäumen.

Es wurde vermutet, dass neben den Provenienzen auch die Nachbarschaft zu infizierten Überhältern eine Rolle für die Häufung und Verteilung der Erkrankung spielt (PERRIN 1981, METZLER & VON ERFFA 2000). Der Buchenkrebs in den Baumkronen der Überhälter wurde daher durch sorgfältiges Absuchen mit einem Fernglas diagnostiziert. Position und Höhe der Überhälter wurden eingemessen und in eine Karte eingetragen. Auf den Karten wurden einerseits Äquidistanzlinien von 20, 40, 60 und 80 m Radius um die infizierten Überhälter herum eingetragen und die einzelnen Partellen derjenigen Zone zugeordnet, welche die größte Fläche der Zelle bedeckte. Da insbesondere die Ascosporen (Abb. 4) aber über Regenspritzwasser auch die Konidien (Abb. 5) von *N. ditissima* mit dem Wind verbreitet werden, war zu prüfen, inwieweit neben dem Abstand auch die vorherrschende Windrichtung das Verbreitungsmuster der Krankheit beeinflusst.

Zur Erstellung von Windverbreitungszonen (WDZ: „wind dispersal zones“) wurde eine Grafik der vorherrschenden Windrichtungen einer nahe gelegenen und ähnlich exponierten Messstation der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LUBW) zugrunde gelegt. Dieses Muster wurde um 180° rotiert, um so die potentiell vorherrschende Transportrichtung der Sporenfracht zu erhalten. Es wurden verschiedene große WDZ so errechnet, dass der Flächeninhalt mit den oben beschriebenen kreisförmigen Äquidistanzonen mit Radien von 20, 40 und 60 übereinstimmt. Der Nullpunkt der Zonen (entsprechend dem Zentrum der Windrose) wurde auf jeden erkrankten Überhälter als Ausgangspunkt der Sporenverbreitung zentriert. Jede Versuchspartelle wurde entsprechend dem Verfahren bei den Äquidistanzonen derjenigen WDZ zugeordnet, welche ihren größten Anteil bedeckte.

Im Mittel waren die 149 Partellen mit insgesamt 9.015 Bäumen zu 11,6 % infiziert (METZLER et al. 2002). Dabei war ein hochsignifikanter Zusammenhang mit dem Abstand der Partellen zu infizierten Altbuchen und den Hauptwindrichtungen festzustellen. Partellen in der inneren Äquidistanzzone bis zu einem Abstand von 20 m vom nächsten infizierten Überhälter wiesen einen Befallsgrad von durchschnittlich 21,4 % auf. Der Befall sank in der 20-40 m-Zone auf 11,1 % und über 8,9 % auf 7,2 % in den Zonen 40-60 m bzw. 60-80 m. Die 0-20m-Zone unterschied sich signifikant von allen anderen Zonen.

Der Befall in den einzelnen Windverbreitungszonen nahm ebenfalls von den inneren zu den äußeren ab (Abb. 6). Die innere Zone A hat mit 20,6 % den höchsten Befallsgrad. Sie unterschied sich signifikant von allen anderen WDZ. Auch Zone B und D unterschieden sich voneinander. Die vereinigten WDZ C und D unterschieden sich bei einem Signifikanzniveau von 95 % von B.

Somit beschreiben die WDZ das Risiko der Buchenkrebs-Erkrankung besser als die Äquidistanzonen. Vergleichbare Ergebnisse zum Einfluss der vorherrschenden Windrichtung erzielten HOUSTON et al. (1979) bei Verbreitungsstudien an der Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagisuga*. Der geringfügig höhere Befall in der inneren Äquidistanzzone gegenüber der entsprechenden WDZ deutet darauf hin, dass im unmittelbaren Nahbereich die Windverbreitung eine geringere Rolle spielt, vermutlich bedingt durch die Verbreitung der Konidien im Regenspritzwasser. Residuen in der statistischen Analyse von AUGUSTIN et al. (2005) sind damit zu erklären, dass es inner-

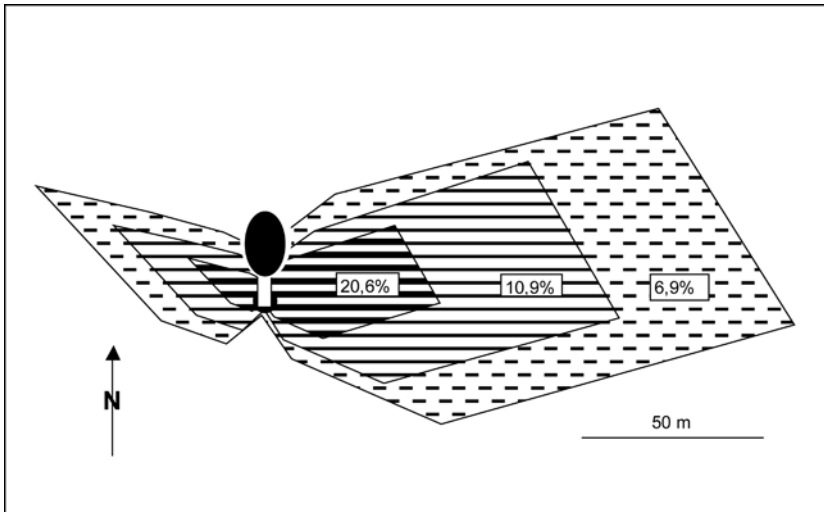


Abbildung 6. Windverbreitungszonen, abgeleitet aus den Abstandszonen in Verbindung mit den Hauptwindrichtungen am Standort.

halb der Kulturen bereits zur Sekundärverbreitung der Krankheit gekommen ist.

Der durchschnittliche Befallsgrad der Provenienzen schwankte zwischen 1,7 und 34,8 %. Allerdings konnte im Rahmen der Varianzanalyse kein signifikanter Einfluss der Provenienz errechnet werden. Die unterschiedlichen Befallsgrade der Provenienzen erklären sich durch deren ungleiche Verteilung in den WDZ; der Einfluss der Entfernung von erkrankten Überhältern bzw. der WDZ überwog bei weitem.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Übertragung von Buchenkrebs von infizierten Überhältern nicht nur auf Naturverjüngungen sondern auch auf unmittelbar benachbarte Kulturen erfolgen kann.

2.3 Ausmaß und Verbreitungsmuster der Krankheit in Baden-Württemberg

Aus der Forstpraxis waren Bedenken geäußert worden, dass Waldbauverfahren zugunsten von stufigen Beständen dem Befall mit Buchenkrebs Vorschub leisten könnten (KLEIN 1997). Daher musste untersucht werden, in welchem Umfang die Krankheit derzeit in Baden-Württemberg verbreitet ist und ob gegebenenfalls die Bestandesstruktur mit dem Befall in Zusammenhang steht. Für die Studie wurden in Baden-Württemberg 11 repräsentative Forstbezirke mit hohem Buchenanteil ausgewählt. In diesen Forstbezirken wurden alle buchendominierten Bestände, die eine Buchennaturverjüngung im Alter zwischen 1 und 30 Jahren und einen Altholzschirm aufwiesen, in die Untersuchung einbezogen.

Die Auswahl der Probekreise in den Beständen erfolgte zufällig, jedoch wurden Flächen ohne oder mit nur spärlicher Verjüngung ausgeklammert. Pro Bestand wurden so durchschnittlich etwa sieben Probekreise von 25 m² (W. NAIN, pers. Mitt.) angelegt. Die Verjüngung wurde differenziert nach gesunden und mit Buchenkrebs befallenen Bäumen ausgezählt. Das Durchschnittsalter lag im Bereich zwischen 3 und 38 Jahren. Zur Auswertung wurden Altersstufen gebildet.

Als Grundlage für alle durchgeführten Berechnungen hinsichtlich der Intensität des Buchenkrebsses diente der prozentuale Anteil kranker Pflanzen in der Naturverjüngung der einzelnen Probekreise („Befallsgrad“). Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass stammzahlreiche Probekreise nicht überrepräsentiert werden.

Der Deckungsgrad des Altholzschirms wurde direkt über den Probekreisen separat für Buchen und Mischbaumarten geschätzt. Um den Einfluss der Randbäume erfassen zu können, wurde der Deckungsgrad zusätzlich in einem gedachten Trichter mit einem Neigungswinkel von 45° um die Probekreise herum ermittelt („45°-Trichter“). Die Identität des Erregers *N. ditissima* wurde stichprobenartig anhand von Pilzfruktifikationen (Perithezien oder Konidienlager) bestätigt.

Insgesamt wurden 59.792 Jungbuchen bonitiert. 457 Probekreise (57 %) waren völlig befallsfrei. In fünf Forstbezirken gibt es insgesamt 17 Probekreise mit 50-100 % befallenen Jungbäumen. Der Maximalwert von 100 % infizierten Jungbäumen wurde in zwei Probekreisen erreicht.

In 83 der 111 untersuchten Bestände war Buchenkrebs in der Naturverjüngung zu finden. Der durchschnittliche Befallsgrad pro Bestand lag bei 4,8 %. Sieben Bestände aus fünf Forstbezirken, repräsentiert mit insgesamt 60 Probekreisen, wiesen einen Befall von über 20 % bis maximal 40,7% auf. 16 Bestände hatten weder Befall in der Überschirmung noch in der Naturverjüngung.

Im Durchschnitt aller Probekreise in allen beteiligten Forstbezirken liegt der Befallsgrad mit 5,3 % im Vergleich mit Literaturangaben (PERRIN & VERNIER 1979, SAGHEB-TALEBI 1996) relativ niedrig. Wirtschaftlicher Schaden ist bei einem Befallsgrad von unter 10 % nicht zu erwarten, da immer noch eine sehr große Zahl gesunder Bäume für den Endbestand zur Verfügung steht. Bei einem Befallsgrad von über 25 % dürfte jedoch ein Risiko für den Endbestand bestehen. Dies ist in unserer Untersuchung bei 5,2 % der Probekreise und bei 4 der 111 Bestände der Fall.

Untersucht man den Befallsgrad differenziert nach Altersstufen, erkennt man, dass die Buchen auf den Probekreisen bis zu einem Alter von fünf Jahren nur schwach (1,6 %) befallen waren. Der maximale Befall liegt mit 8,9 % bzw. 7,3 % in den beiden Altersstufen oberhalb 15 Jahren.

Eine Abhängigkeit des Befallsgrades in der Naturverjüngung von Überschirmung durch alle vorhandenen Baumarten war nicht festzustellen. Auch wenn man nur den Überschirmungsgrad allein durch Altbuchen direkt über den Probekreise oder im 45°-Trichter berücksichtigt, ergibt sich ebenfalls kein Zusammenhang zwischen Überschirmungsintensität und Buchenkrebsbefall in der Naturverjüngung.

379 Probekreise (47 %) hatten Kontakt mit infiziertem Altholz direkt über dem Probekreis oder innerhalb des 45°-Trichters. Hier war mit durchschnittlich 8,2 % ein erhöhter Anteil infizierter Naturverjüngung festzustellen. Diesen Wert wiesen auch die 104 Probekreise auf, bei denen der leichter zu diagnostizierende Klebastbefall bei den Altbäumen vorlag. Dagegen sind die Probekreise, die nur mit gesunden Bäumen überschirmt waren, durchschnittlich nur zu 2,4 % befallen. Diese Unterschiede sind bei einer Wahrscheinlichkeit von 99% signifikant.

Auf die Bedeutung der Erkrankung im Altholzschirm für die Übertragung der Krankheit hat erstmals PERRIN (1981) hingewiesen. KLEIN (1997) sieht in der langen Überschirmungszeit bei im Femelverfahren verjüngten Beständen einen wesentlichen Grund für eine Zunahme von Buchenjüngwüchsen mit Krebsbefall im Forstbezirk

St. Märgen. Flächen, die nach angesamter Verjüngung rasch geräumt wurden, blieben gesund. SAGHEB-TALEBI (1996) fand ebenfalls den höchsten Befall am Rand von Femellöchern. Eine besondere Bedeutung beim Übergang von der Überschirmung zur Naturverjüngung schreiben GERWEN (1980) und PERRIN (1981) den Vorwüchsen zu, die nach ihrer Beobachtung besonders oft verkrebst sind. Sie sind als Sporenquelle näher an der übrigen Verjüngung und sind damit für die Infektion von besonderer Bedeutung.

Mit der Beimischung anderer Baumarten in der Überschirmung sinkt der Anteil der vom Krebs befallenen Buchen in der Naturverjüngung um über 40 %.

Wegen der ungleichen Verteilung der Altersstufen auf die verschiedenen Höhenlagen wurden für diese Auswertung nur die Probekreise mit Naturverjüngung in einem Durchschnittsalter zwischen 6-15 Jahren berücksichtigt. In der Höhenstufe 601-750 m ist der Befallsgrad am geringsten. In Höhenlagen unter 300 m N.N. ist mit 9,0 % signifikant häufiger Buchenkrebs festzustellen als oberhalb 600 m.

Bei Buchen auf kalkbeeinflussten Standorten zeigte sich, dass mit abnehmendem Ariditätsindex der Befallsgrad zunimmt, so dass die wärmeren und trockeneren, in geringerer Höhenlage stockenden Bestände deutlich stärker betroffen waren. Da mit Ausnahme der untersuchten Flächen im Forstbezirk Schopfheim fast alle in diese Studie einbezogenen Standorte kalkbeeinflusst sind, wurde die Bedeutung der geologischen Gegebenheiten nicht weiter quantifiziert. Bemerkenswert ist allerdings, dass gerade die Schopfheimer Flächen (teils auf Granit, teils mit Buntsandstein überlagert) die geringsten Befallszahlen aufweisen.

2.4 Konsequenzen für den Waldbau

Für den waldbaulichen Umgang mit vom Buchenkrebs befallenen Beständen wird ein abgestuftes Vorgehen nach dem Befallsgrad in der Naturverjüngung vorgeschlagen:

1) Bei Befall bis 10 % der Stammzahl: Unbedenklicher Befall; es sind deshalb keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

2) Der Befall 11-25 % wird als Warnstufe angesehen: Der Umfang des Befalls ist verstärkt zu beobachten, Schlag- und Jungbestandspflege sind zu intensivieren und kranke Vorwüchse zu entfernen. Zu großzügiges Aushauen erkrankter Jungbäume muss jedoch vermieden werden. Dies würde die Ästigkeit der verbleibenden

Buchen fördern und wäre damit hinsichtlich der Wertholzerzeugung kontraproduktiv. Anstehende Eingriffe ins Altholz sollten auf von Krebs befallene Buchen konzentriert werden.

3) Bei einem Befall von 25-100 % ist mit wirtschaftlich fühlbaren Schäden zu rechnen: Zusätzlich zum obigen Verfahren sollte die Entfernung kranker überschirmender Bäume beschleunigt erfolgen. Eine wesentliche Reduzierung der Krankheit im Zuge der Selbstdifferenzierung eines Bestandes ist nicht zu erwarten. Eher ist damit zu rechnen, dass es zu weiteren Infektionen kommt und dass so eine nennenswerte Zahl erkrankter Buchen mit entsprechend geringer Holzqualität in den Endbestand einwächst. Mischbaumarten sind zu begünstigen. Allerdings muss auch die potentielle Wertentwicklung der noch vorhandenen Überschilderung gegen die potentiellen Wertverluste in der Verjüngung abgewogen werden.

3 Grünästung der Fichte – Infektionsrisiko und Überwallung

Die Ästigkeit von Schnittholz ist ein wesentliches Qualitätskriterium, je nach Verwendung im Hinblick auf die Ästhetik oder auf die mechanische Stabilität (Abb. 7). Das Problem stellt sich insbesondere bei Koniferen, deren dürre Äste meist lange erhalten bleiben. Die Entfernung dieser Äste (Trockenästung) ist eine unumstrittene Methode um das Einwachsen der toten Äste („Schwarzäste“) weitgehend zu vermeiden, welche keinen festen Halt im Holz haben und daher bei Brettware oft unter Zurücklassung eines Astlochs herausfallen. Die kontrollierte Entfernung auch von grünen Ästen im unteren Kronenbereich von Bäumen im Stangenholz- und jungen Baumholzalter führt in den folgenden Jahrzehnten zum Zuwachs von astfreiem Holz. Diese Grünästung gilt seit geraumer Zeit bei der Douglasie als obligatorisch und problemlos, solange sie nicht im Frühjahr durchgeführt wird, da hier ein Infektionsrisiko durch die Rindenschildkrankheit der Douglasie, verursacht durch den Pilz *Phacidium coniferarum*, besteht (BUTIN 2011). Auch für *Picea abies* ergibt sich die verstärkte Notwendigkeit der Grünästung, da bei zeitgemäßen, stammzahlärmeren Fichtenbeständen die basalen Äste wegen der helleren Lichtverhältnisse länger grün bleiben und deshalb stärker werden. Frühere Empfehlungen gegen die Grünästung der Fichte basierten

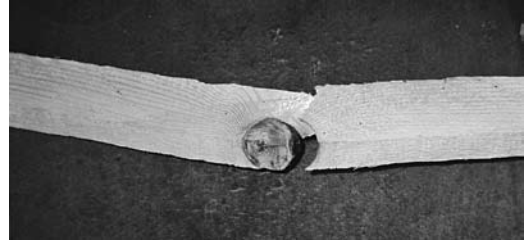


Abbildung 7. Ästigkeit verursacht Qualitätsmangel bei Schnittholz und ist die Ursache von Sollbruchstellen.

meist auf Untersuchungen an unsauber durchgeführten Ästungen, beispielsweise mit der Axt oder anderen ungeeigneten Ästungswerkzeugen (MAYER-WEGELIN 1952, BANERJEE 1955, RISLEY & SILVERBORG 1958). Spätere Untersuchungen an sorgfältiger geästetem Material ergaben deutlich bessere Resultate hinsichtlich der pilzlichen Infektionen (SCHLEGL-BECHTOLD 1985) und auch der Holzqualität (LENZ et al. 1991, SAUTER & MESSINIS 1996). Allerdings fehlten immer noch differenziertere Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Standorte und unterschiedlicher Jahreszeiten der Ästung.

Basis der hier vorgestellten Ausführungen sind die Arbeiten von METZLER (1997a, b) über die pilzliche Infektionsrate in verschiedenen Baumkompartimenten und eventuell damit verbundene Auswirkungen auf die Holzqualität unter dem Einfluss der Ästungsjahreszeiten Sommer und Herbst. Es wird nach Standorten unterschiedlicher Wüchsigkeit differenziert und die Überwallung qualitativ und quantitativ beschrieben.

3.1 Methodik der Untersuchung

Fünf Fichtenbestände waren in den Jahren 1978, 1979 und 1980 nach einem Versuchsplan von H. PRANGE und S. SCHÖNHAR (ehem. FVA Baden-Württemberg) geästet worden. Die Bestände liegen jeweils in den damaligen Forstbezirken Biberach (Oberschwaben), Gaildorf, Lorch (Schwäbisch-Fränkischer Wald), Pfalzgrafenweiler (Schwarzwald), sowie Villingen-Schwenningen (Baar). Das Alter der Bestände war damals 20 bis 25 Jahre, die Oberhöhen 14 bis 16 m. Der durchschnittliche jährliche Volumenzuwachs betrug zwischen 12 m³/ha im Bestand „Pfalzgrafenweiler“ und 15 bis 17 m³ in den anderen Beständen. Die Ästung wurde mit der Handsäge ggf. auf der Leiter bis zu einer Höhe 10 m durchgeführt. Es wurden mindestens 8-9 grüne

Astquirlen der oberen Krone belassen. Je ein Kollektiv pro Bestand wurde im Juli bzw. Oktober geästet. Durch die Verteilung der Ästungen auf drei Jahre sollten die Besonderheiten des jährlich spezifischen Witterungseinflusses auf das Infektionsrisiko ausgeglichen werden. Ein weiteres Kollektiv pro Bestand wurde als Kontrolle ungeästet belassen. Zwischen dem Ästungszeitpunkt und der Auswertung etwa 13 Jahre später waren am wechselfeuchten Standort Villingen-Schwenningen 8 % der geästeten und 4 % der ungeästeten Bäume durch Sturm ausgefallen, am Standort Lorch 13 % bzw. 9 %. Ansonsten waren Ausfälle gering und gleichmäßig über die geästeten und ungeästeten Kollektive verteilt (M. Flöss, pers. Mitt.).

In den Jahren 1993 und 1994 wurden die Versuchsbäume gefällt. Für jeden der sechs Ästungszeitpunkte (drei Jahre mit je zwei Jahreszeiten) sowie für die ungeästeten Kontrollen wurden je fünf Bäume untersucht, insgesamt 150 geästete und 25 ungeästete Bäume. Bäume aus den gleichen fünf Standorten wurden von KLÄDTKE & YUE (1997) auf ihr Wachstum hin untersucht.

Für die Untersuchung der Infektionen und der Überwallung wurden von jedem Baum drei Stammscheiben mit je ca. 6 cm Dicke aus dem Bereich von Astquirlen aus der Höhe von ca. 2 m, 7 m und 10 m entnommen. Die Ästungsnarben sind auf der Rinde auch noch Jahrzehnte nach der Ästung zu erkennen. Insgesamt enthielten diese Stammscheiben 1.840 Aststummel, 1.496 von ihnen waren von grünen Ästen. 344 waren Stummel von Ästen, die bereits bei der Ästung dürr waren, diese insbesondere aus den unteren Baumhöhen. Letztere wurden getrennt ausgewertet. Von den 315 Ästen der ungeästeten Vergleichsbäume waren 123 zum Zeitpunkt der Probenahme noch grün, 192 bereits dürr. Dicke und Vitalität der Äste wurden nach Längsschnitt der einzelnen Äste ermittelt.

Drei Baumkompartimente wurden mikrobiologisch untersucht: Der Aststummel selbst sowie Reifholz und Splint jeweils ca. 2 cm vom Aststummel entfernt. Aus jedem Kompartiment wurde pro Ast eine Rondelle von ca. 20 mm³ ausgestanzt und zur Feststellung der enthaltenen Pilzkeime auf SNA-Agar inkubiert (METZLER et al. 1993).

3.2 Pilzliche Infektionsrate

Die höchste pilzliche Infektionsrate bezogen auf die 20 mm³ Holzproben auf SNA-Agar (NIRENBERG 1981) wurde in den Astbasen der ungeästeten Kontroll-Bäume gefunden (34,4 %). Davon waren

die Totäste mit 50,0 % der Proben am meisten mit Pilzen infiziert, dagegen nur 9,4 % der lebenden Äste. Das kann durch den natürlichen Abgang dieser Äste im Zuge der Beschattung der unteren Äste, sowie mit der Flora der natürlichen Astreinigung erklärt werden (BUTIN & KOWALSKI 1990).

Im Reifholz war die Gesamt-Infektionsrate der geästeten Bäume signifikant höher als in dem der ungeästeten Bäume. Im Splintholz konnten keine statistisch gesicherten Unterschiede gefunden werden. Holzerstörende Pilze fehlten nahezu vollständig im geästeten Material. Nur neun solcher Isolate wurden in den 4.357 Proben gefunden, mindestens drei davon standen in Verbindung mit Ästungsfehlern. Bei vier dieser neun Isolate handelte es sich um *Stereum sanguinolentum*.

Klassische Bläuepilze wie *Ophiostoma* spp. oder *Ceratocystis* spp. fehlten sowohl im geästeten Material als auch in den Kontrollen. – Eine *Phialophora*-Art (Stamm FVA 342) war nicht selten in den Basen toter Äste von Bäumen der Kontroll-Gruppe zu finden, ebenso in den Stummeln der trocken geästeten Bäume.

In der Gruppe der „Sonstigen Pilze“, denen keine Holzentwertung nachgesagt werden kann, oder die als Antagonisten von Holzerstörern oder Bläuepilzen eine Rolle spielen, zeigen sich die deutlichsten Einflüsse der Grünästung. *Neonectria fuckeliana* (Konidien siehe Abb. 8) war mit 39 % der Pilzisolat der mit Abstand häufigste Pilz, der aus grün geästeten Bäumen isoliert wurde. Das am häufigsten damit infizierte Baumkompartiment waren die Aststummel, besonders diejenigen, welche im Herbst geästet worden waren. Bemerkenswerterweise ist dieser Pilz auch in der Lage, das Reifholz der betreffenden Bäume zu besiedeln und zwar besonders in den höheren Baumetagen. *N. fuckeliana* ist kaum in den ungeästeten Kontrollbäumen und auch nur selten in trocken geästeten Bereichen zu finden. In ungeästeten Bäumen wurde *N. fuckeliana* ausschließlich an Trockenästen beobachtet.

Neonectria fuckeliana ist die einzige Pilzart mit signifikant höherer Infektionsrate in verfärbtem Holz. Dieser Pilz ist gut bekannt als Besiedler von frischen Rindenwunden an Fichte und wurde auch häufig von grün geästeten Fichten (SCHLEGL-BECHTOLD 1985) und von leicht rötlich braun verfärbtem Holz isoliert (ROLL-HANSEN 1962). Die Verfärbungen sind jedoch so gering, dass sie für die Holzqualität als unbedeutend angesehen werden. Es ist anzunehmen, dass

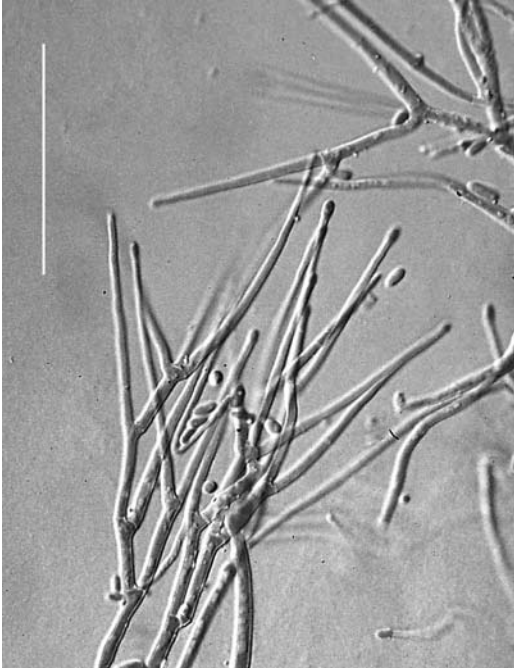


Abbildung 8. *Neonectria fuckeliana* Konidienform. Messbalken 50 µm.

zeitweiser Sauerstoffzutritt nach der Ästung evtl. gemeinsam mit der *N. fuckeliana*-Infektion zu einer Oxidation von phenolischen Substanzen geführt hat. Nach Abschluss der Wundheilung ist der Sauerstoffzutritt unterbunden, so dass keine weitere Verfärbung mehr stattfindet.

Pezicula livida ist spezialisiert auf die Basis belassener Äste, welche sich im Absterbeprozess befinden. Diese Art wurde auch von KOWALSKI & KEHR (1993) als einer der häufigsten Besiedler von geschwächten, jedoch noch lebenden Astbasen der Fichte gefunden. Seine maximale Populationsdichte scheint der Pilz im Frühstadium der natürlichen Astreinigung zu erreichen, um dann von *Phialocephala*- und *Phialophora*-Arten verdrängt zu werden (BUTIN & KOWALSKI 1990). Eher gleichmäßig verteilt sind die beiden nächst häufigsten Pilze im Holz: *Sarea difformis* (Anamorph: *Epithyrium resiniae*) und *Zalerion arboricola* (Abb. 9). Erstgenannte zeigt eine Präferenz für belassene Äste und für Aststummel nach Trockenästung. Deutlich spezialisiert auf letzteres Kollektiv ist auch *Corniculariella* cf. *abietis*. Als wichtigstes Ergebnis dieser Studie kann festgehalten wer-

den, dass Holz zerstörende Pilze durch eine sorgfältig durchgeführte Grünästung nicht gefördert werden. Bakterien sind besonders häufig in Aststummeln nach Sommerästung festzustellen. Sie fehlen fast vollständig im ungeästeten Kollektiv. Sie sind offenbar nicht in der Lage, auf das Splint- oder Reifholz überzuwechseln und haben hier keine wirtschaftliche Bedeutung.

3.3 Holzqualität

Mikrobielle Infektionen im Xylem lebender Bäume können zu Holzverfärbungen oder Fäulen führen, sie können den Wassertransport stören oder je nach Art der Organismen als Endophyten ohne erkennbare Wirkung bleiben.

Holzersetzung konnte nur in wenigen punktuellen Fäulen von weniger als 2 cm Durchmesser im Bereich von Aststummeln festgestellt werden. Einige gelbliche streifenförmige Verfärbungen im Holz waren beschränkt auf das (asthaltige) Reifholz von geästeten Bäumen. Derartige Verfärbungen, die ein Volumen von 5 dm³ überschritten, wurden an zwei der 75 im Sommer geästeten und in sechs der 75 im Herbst geästeten Bäumen festgestellt. Sie traten vorwiegend im Höhenbereich von sechs bis acht Metern auf und werden in diesem Umfang nicht als ökonomisch bedeutsam gewertet.

Der nach der Ästung astfreie Zuwachs ist das ökonomisch wertvollste Baumkompartiment. Dieses war vollständig frei von Holzverfärbungen oder Fäulen mit Ausnahme von zwei punktuellen Erscheinungen in zwei der 150 Bäume als Folge von Rinden- oder Astringverletzungen.

Dem verfärbten Holz benachbarte Aststummel waren durchschnittlich erst 6,13 Jahre nach



Abbildung 9. *Zalerion arboricola*, einer der häufigsten Besiedler von toten Aststummeln an *Picea abies*. Messbalken 50 µm.

Ästung überwallt, andere durchschnittlich nach 5,50 Jahren. Dies deutet darauf hin, dass eine verzögerte Überwallung Pilzinfektionen begünstigt haben könnte.

Harzgetränkte Aststummel waren bei 40 % der Äste mit einem Durchmesser von über 25 mm (ohne Rinde) signifikant häufiger nach der Ästung im Herbst (gegenüber Sommer) festzustellen. Entsprechend konzentrieren sich die verharzten Äste auf die höheren Baumetagen. Die Produktion von Harz und dessen gerichteter Austritt an Verletzungen ist ein wichtiger Mechanismus, mit dem Wunden an Bäumen geschlossen und Pilzinfektionen weitgehend ausgeschlossen werden können. Dieses dürfte für die Holzqualität unbedeutend sein, da nur der asthaltige Kern betroffen ist.

3.4 Auswirkungen von Ästungsfehlern

Wenn bei der Ästung der Astring (soweit überhaupt vorhanden) verletzt wurde, führte dies zu häufigeren Pilzinfektionen und Holzverfärbungen. Die Überwallungsgeschwindigkeit wurde dadurch nicht negativ beeinflusst. Allerdings sind auch hier vermehrt Pilzinfektionen und Verfärbungen festzustellen. Das versehentliche Belassen von Aststummeln (meist 1-2 cm lang) führte zu einer durchschnittlich um drei Jahre verlängerten Überwallungszeit.

Das größte Risiko bei einer Ästung sind Kambiumverletzungen (Tafel 1, Abb. 10). Diese entstehen beispielsweise, wenn Äste abreißen, bevor sie vollständig mit der Säge abgetrennt sind. An solchen Verletzungen sind die meisten Holzverfärbungen festzustellen, und die Überwallungszeit verlängert sich im Durchschnitt um mehr als zwei Jahre.

3.5 Trockenästung

Nach Trockenästung ist das Splintholz nicht zusätzlich mit Keimen belastet. Die Aststummel dagegen weisen eine qualitativ ähnliche Pilzpopulation auf wie die austrocknenden Äste des ungeästeten Kollektivs. Gleichmaßen sind etwa 45 % der Proben infiziert und zwar vorwiegend durch *Sarea difformis*. Offensichtlich sind die belassenen Totäste und die überwallten Aststummel von Totästen ökologisch ähnlich. Interessanterweise ist die Isolierungsrate aus dem Reifholz in der Nähe von abgeschnittenen Dürrästen deutlich höher als in der Nähe von belassenen oder von grün abgeschnittenen Ästen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Trockenästung zwangsläufig besonders im unteren

Stammbereich stattfand, wo *Ascocoryne sarcoides*, *A. cylinchium* und *Neobulgaria premnophila* natürlich vorkommen (DELATOUR 1976, ROLL-HANSEN & ROLL-HANSEN 1979b, HUSE 1981, HALLAKSELA 1993).

3.6 Überwallungsgeschwindigkeit

Die Überwallungsgeschwindigkeit ist für den ökonomischen Erfolg einer Ästung aus zwei Gründen entscheidend: 1) Je eher homogenes Holz mit gleichmäßigem Faserverlauf hinzuwächst, um so eher und besser ist der angestrebte Zweck der Ästung erreicht. 2) Die Sauerstoffzufuhr, welche für die holzerstörende Aktivität von Pilzen essentiell ist, wird durch die vollständige Überwallung gehemmt.

Die durchschnittliche Überwallungszeit betrug 5,5 Jahre. Auf den gut wüchsigen Standorten Gaidorf und Lorch verkürzte sie sich auf nur 4,6 Jahre. Am Standort Pfalzgrafenweiler war sie jedoch durch den geringen Radialzuwachs auf 6,9 Jahre verlängert (METZLER 1997b). LENZ et al. (1991) gaben mit 2,5 Jahren eine sehr viel kürzere durchschnittliche Überwallungszeit an, was sich damit erklärt, dass für die Berechnung nicht das Ästungsjahr sondern nur die Jahrringe ab der Schnittkante bis zu ihrem Zusammenschluss zugrunde gelegt wurden. Die Jahrringe vom Ästungszeitpunkt bis zum Erreichen der Schnittkante wurden nicht berücksichtigt. Eine nur schwache Beziehung der Überwallungszeit mit dem Astdurchmesser und der größere Einfluss des Zuwachses wurde von BUES (1996) beobachtet.

3.7 Folgen für die Forstpraxis

Erste Priorität bei der Ästung hat der sorgfältige Schnitt. Verletzungen am Stammholz führen zu einer erhöhten Infektionsrate mit Holz entwertenden Pilzen. Ferner ist, wie auch beim Belassen von Aststummeln, die Zeitspanne bis zur Produktion von störungsfreiem Holz unnötig verlängert.

Die Ästungszeitpunkte Sommer und Herbst unterscheiden sich graduell, wobei der Sommerästung im Hinblick auf Holzverfärbungen und die pilzliche Infektionsrate der Vorzug zu geben ist.

4 Präventive Maßnahmen gegen die Stockfäule der Fichte

Die Stockfäule der Fichte wird überwiegend durch den Wurzelschwamm *Heterobasidion par-*

viporum (*H. annosum* s.l.) verursacht, in geringerem Maß durch Hallimasch-Arten (*Armillaria* spp.), selten durch andere Pilzarten (GRABER 1994, SCHÖNHAR 1994, 1996).

Durch NIEMELÄ & KORHONEN (1998) wurde die bisherige Sammelart *H. annosum* s.l. in drei Arten aufgetrennt: *H. annosum* s.str., die hauptsächlich Kiefern und Douglasien befällt, *H. abietinum* die bevorzugt auf Tannen Südeuropas vorkommt sowie *H. parviporum*, die die Fichte bevorzugt. Eine aktuelle Darstellung zu Verbreitung und Ökologie dieser Arten geben KORHONEN & HOLDENRIEDER (2005). In Baden-Württemberg herrscht *H. parviporum* vor, während *H. annosum* s.str. und *H. abietinum* nur selten isoliert werden (METZLER et al. 2011). Da in den älteren Untersuchungen die Arten dieses Komplexes nicht explizit unterschieden wurden, wird im Folgenden der Sammelartname *H. annosum* s.l. verwendet.

Durch die Fäule werden in erster Linie Starkwurzeln und das Reifholz im Stammfuß (Tafel 1, Abb. 11) zerstört, im fortgeschrittenen Stadium wird von innen her auch der Splint angegriffen. *Heterobasidion annosum* s.l. führt zu einer stark verminderten Standfestigkeit der Bäume. Befallene Einzelbäume erleiden Stockbrüche und destabilisieren das Bestandesgefüge durch erhöhte Sturmanfälligkeit. Wesentlich stärker als durch andere Erreger werden die Stämme bis zu einer Höhe von mehreren Metern, teilweise bis zur gesamten Stammlänge entwertet.

H. annosum s.l. gilt in Deutschland als der forstökonomisch bedeutendste Krankheitserreger der Fichte. Die jährlichen finanziellen Verluste durch diesen Pilz werden auf rund 56 Mio. Euro geschätzt (DIMITRI & TOMICZEK 1998). GRABER (1994) beziffert den Schaden durch Stockfäule in der Schweiz auf bis zu 25.000 SFr./ha während einer Umtriebszeit.

Der Befall der Bäume durch *H. annosum* s.l. kann in geringem Maß durch Stammwunden wie Schäl- oder Rückeschäden erfolgen, weitaus bedeutender ist jedoch der Infektionsweg über Wurzelkontakte (RISHBETH 1950, SCHÖNHAR 1976). Bei zunächst unbefallenen Fichtenbeständen (z.B. Erstaufforstungen) werden nach den ersten forstlichen Eingriffen frische Stubben durch Basidiosporen von Fruchtkörpern (Tafel 2, Abb. 12) infiziert. Nach der Keimung der Sporen durchdringt das Myzel das Stockholz und erreicht so Kontakt zu Wurzeln von Nachbarbäumen. Die Verbindung der Infektionen mit Durchforstungen beschreiben KORHONEN et al. (1998) sehr anschaulich: „Der Wurzelschwamm folgt den Fuß-

stapfen des Menschen in den Wald“. Stubben aus Durchforstungen während des Frühherbstes sind dabei am meisten gefährdet, da hier das Maximum der Sporendeposition festzustellen ist (SYLVESTRE-GUINOT & DELATOUR 1978).

Aus der Schlüsselstellung der Baumstümpfe und der Wurzelkontakte für die Übertragung des Schadpilzes ergeben integrierte Bekämpfungsansätze: a) Ein weiter Pflanzverband und/oder Beimischung von anderen Baumarten soll den Wurzelkontakt zwischen den anfälligen Fichten verringern. b) Durchforstungen sollten im Winter bei Frost durchgeführt werden, wenn keine Sporen des Schadpilzes verbreitet werden. – Die frischen Stubben sind nur innerhalb von etwa vier Wochen nach Fällung der Bäume für *H. annosum*-Sporen infizierbar (SCHÖNHAR 1979).

Wenn *H. annosum* sich bereits im Wurzelsystem eines Bestandes etabliert hat, ist die Ausbreitung mit ökonomisch vertretbaren Maßnahmen nicht mehr zu beeinflussen. Als sinnvoll hat sich deshalb die Prävention in noch nicht oder nur wenig befallenen Erstaufforstungen erwiesen. In mehreren europäischen Ländern, besonders in Skandinavien und Großbritannien, werden Koniferenstubben nach Eingriffen in Erstaufforstungen routinemäßig chemisch oder biologisch behandelt (PRATT & JOHANSSON 1998), um die Etablierung des Erregers auf der frischen Schnittfläche zu erschweren.

Wirkungsuntersuchungen an den behandelten Stubben werden meist innerhalb von 6-12 Monaten durchgeführt. Entscheidendes Erfolgskriterium ist jedoch der Befallsgrad im verbleibenden Bestand (SCHÖNHAR 1988, VOLLBRECHT & JOERGENSEN 1995). Um entsprechende Erfahrungen zu erweitern, wurden für die hier vorgestellte Untersuchung Fichtenbestände mit Stockbehandlungen etwa 12 Jahre nach der Erstdurchforstung untersucht (METZLER & KUBLIN 2003).

4.1 Behandelte Bestände

Die Probeflächen für diese Studie liegen auf flachgründigem Kalkverwitterungslehm oder auf Hang-Terra fusca in einer Höhenlage von ca. 700 m N.N. im ehemaligen Forstbezirk Gammertingen/Schwäbische Alb. Die Vornutzung war landwirtschaftlich als Schafweide, Wiese oder Acker. In den 1980er Jahren waren hier zahlreiche, damals ca. 8-15-jährige Fichten-Erstaufforstungsflächen im Kommunal- und Kleinprivatwald erstmalig durchforstet worden. Auf einem Teil der Flächen waren die Stubben unmittelbar

danach mit einer wässrigen 10%igen Natrium-Nitrit-Lösung mit dem Pinsel nass gestrichen worden (SCHÖNHAR 1977, Anonymus 1987). Für die hier vorgestellte Untersuchung (METZLER & KUBLIN, 2003) wurden sieben so behandelte Flächen von jeweils ca. 0,5-1,5 ha Größe sowie gleich viele benachbarte unbehandelte Vergleichsflächen ausgewählt, die hinsichtlich Vornutzung, Pflanzverband, Eingriffzeitpunkt und -stärke möglichst ähnlich waren. Die Proben wurden im Zuge einer weiteren Durchforstung im Frühjahr 1996, durchschnittlich etwa 12 Jahre nach der Erstdurchforstung, entnommen. Aus jeder behandelten und unbehandelten Fläche wurden je 50 frische Stöcke, also insgesamt 700, zufällig ausgewählt und auf Pilzbefall und Fäule untersucht.

4.2 Der Behandlungserfolg

Durch die Stubbenbehandlung bei der Jungbestandspflege blieb im verbleibenden Bestand der Befall durch *H. annosum* etwa 12 Jahre später bei 2,9 % der Stammzahl, während er in den unbehandelten Parzellen auf 9,7 % anstieg. Anders ausgedrückt heißt dies, dass der Befall im behandelten Kollektiv um 71 % geringer war gegenüber dem unbehandelten Kollektiv.

Unsere Untersuchung zeigt exemplarisch die Wirksamkeit einer Stubbenbehandlung. Allerdings kann das damals noch benutzte Natrium-Nitrit heute nicht mehr in der Praxis eingesetzt werden, da die Anwendung in der Forstpraxis eine amtliche Zulassung als Pflanzenschutzmittel erfordert. Da sie zumindest in der Ausgangskonzentration warmlütertotoxisch ist und damit ein Risiko für den Anwender und für Wildtiere darstellt, hätte sie kaum Aussicht auf Zulassung. Die in der Lebensmittelindustrie eingesetzten Konzentrationen liegen etwa um den Faktor 1.000 niedriger.

Alternative Mittel, insbesondere Harnstoff und der antagonistische Pilz *Phlebiopsis gigantea*, werden in anderen europäischen Ländern, vor allem in Skandinavien und Großbritannien, in großem Umfang mit speziellen Zusatzaggregaten beim Harvester-Einsatz in der Holzernte ausgebracht (PRATT & JOHANSSON 1998, THOR 2001). Eine Verwendung ist auch bei uns unter den gegenwärtigen gesetzlichen Bedingungen als Mittel zur Bodenverbesserung nach Düngemittelverordnung und auch nach § 6a des Pflanzenschutzgesetzes zulässig. *P. gigantea* scheint keine diffundierenden fungitoxischen Verbindungen zu produzieren, welche *H. annosum* hemmen, jedoch überwächst sie *H. annosum* in vitro, wobei

der Schadpilz abstirbt. Die Wirkung von Harnstoff beruht auf der Anhebung des pH-Wertes an der Stubbenoberfläche nach der Hydrolyse und der damit verbundenen Begünstigung von anderen Pilzarten aus der konkurrierenden mikrobiellen Begleitflora (PRATT et al. 1998). Als weiteres Mittel ist die Bor-Verbindung DOT im Gespräch, die jedoch als Fungizid, das insbesondere gegen Basidiomyceten toxisch wirkt, amtlich zugelassen werden müsste (PRATT 1996).

Insbesondere in Skandinavien und Großbritannien werden jährlich Fichtenbestände auf über 116.000 ha behandelt, außerdem über 93.000 ha anderer Baumarten (THOR 2003). 56 % davon werden mit dem Antagonisten *P. gigantea* behandelt, 42 % mit Harnstoff, 2 % mit der Bor-Verbindung DOT. Auf der Datenbasis von etwa 600 Durchforstungen haben VOLLBRECHT & JOERGENSEN (1995) errechnet, dass gegenüber unbehandelten Beständen die Stockbehandlung mit 20 % Harnstoff die jährliche Ausbreitung von Stockfäule auf etwa ein Drittel, die mit Natrium-Nitrit auf etwa die Hälfte reduzierte. Das Ergebnis ist auch deshalb wichtig, weil das Untersuchungsmaterial aller Behandlungsvarianten unterschiedliche Standorte, Nutzungsgeschichte und Ausgangsbefall (nicht nur Erstaufforstungen) beinhaltete. Die Wirksamkeit der Anwendung von Harnstoff wurde von RENFER (2004) bestätigt.

4.3 Perspektiven

Der Wurzelschwamm *H. annosum* verursacht in vielen Fichtenbeständen, besonders auf kalkhaltigen Böden, hohe wirtschaftliche Verluste für die Waldbesitzer. Der wichtigste Verbreitungsweg dieses Pilzes in einem Bestand beginnt bei der Infektion frischer Stubben durch windverbreitete Sporen und führt über Wurzelverwachsungen zu den Nachbarbäumen. Durch die Stubbenbehandlung kann dieser Infektionsweg unterbrochen werden. Die vorliegende Untersuchung unterstützt die Erkenntnis, dass fachgerecht durchgeführte Stockbehandlungen hohe Erfolgsaussichten zur Verhinderung der Stockfäule des verbleibenden Bestandes haben.

Die manuelle Stubbenbehandlung galt bei uns bisher als zu arbeitsaufwändig. Die skandinavische Harvester-technik (Tafel 2, Abb. 14), die in Kombination mit einem antagonistischen Pilzpräparat im Rahmen eines Stützpunktversuchs der Forstdirektion Tübingen in Zusammenarbeit mit der FVA Baden-Württemberg getestet wurde, bietet jedoch neue Perspektiven (METZLER et al.

2005). In den behandelten Flächen wurde eine Befallsreduktion um 80 % erreicht. Die Ergebnisse führten 2006 zu einem Erlass des Regierungspräsidiums Tübingen mit einer Empfehlung zugunsten der Stockbehandlung.

5 Schäden durch Hallimasch im Nasslager

Die Beregnung von Rundholz hat sich als ökonomisch tragbare Konservierungsmethode vielfach bewährt, um größere Holzmengen nach Sturmkatastrophen aus dem Markt nehmen zu können (MOLTESEN 1971, PEEK & LIESE 1974, GIBBS & WEBBER 1996). Damit soll Holzwertung sowohl durch Fäule und Bläue erregende Pilze als auch durch holzbohrende Insekten verhindert werden (LIESE & KARSTEDT 1971).

Nach den Stürmen „Vivian“ und „Wiebke“ 1990 wurden in Deutschland 15 Mio. Festmeter Holz unter Beregnung gelagert (SCHMIDT 1994, Tafel 3, Abb. 15). Nach dem Sturm „Lothar“ im Dezember 1999 wurden allein in Baden-Württemberg 4 Mio. Festmeter auf über 100 Nasslagerplätzen beregnet.

Unter den Gegebenheiten Süddeutschlands werden hauptsächlich Fichte und Tanne, in geringem Umfang auch Kiefer und Douglasie nach dieser Methode eingelagert. Für Buche eignet sich die Methode wegen der kaum vermeidbaren Holzverfärbungen nur beschränkt. Für Eichenholz ist die Beregnung nicht erforderlich, da geringere Mengen anfallen und eine einjährige Waldlagerung meist unproblematisch ist.

Physikalisches Prinzip der Beregnung ist es, eine möglichst hohe Holzfeuchte zu gewährleisten und so den Sauerstoff weitgehend auszuschließen. Während im Splintholz die Holzfeuchte durch die Beregnung wieder erhöht werden kann, ist dies beim Reifholz nicht oder kaum der Fall (SCHUMACHER & GROSSER 1995). Entscheidend für den Konservierungserfolg der Beregnung ist, dass eine ausreichende Beregnungsintensität gewährleistet ist. Wenn dies nicht der Fall ist, kommt es zu teilweiser Austrocknung des Holzes, was wiederum Fäulnis durch verschiedene Holzzerstörer wie *Gloeophyllum sepiarium*, *Heterobasidion annosum* s.l. oder *Stereum sanguinolentum* zur Folge hat (SCHUMACHER & GROSSER 1995, GIBBS et al. 1996).

Allerdings hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass Hallimasch-Arten (*Armillaria* spp.), im Gegensatz zu anderen holzzerstörenden Pilzen, auch in vorschriftsmäßig beregneten Poltern

eine langsam vordringende Mantelfäule verursachen können (METZLER 1994, GROSS & METZLER 1995). Jedenfalls sind die Stämme auch unter Beregnung sehr anfällig für Hallimasch-Wachstum unter der Rinde. Innerhalb weniger Jahre können ganze Polter befallen sein. Entgegen früherer Annahmen wird auch das Splintholz angegriffen. In den ersten zwei Jahren sind die entsprechenden Holz- bzw. Qualitätsverluste meist tolerierbar. Nach vier Jahren lag nach einer Studie an 27.000 Fm in 17 Nasslagerplätzen der durchschnittliche Holzverlust bei 5,1 % (GROSS & METZLER 1995). Allerdings waren auch hier im Gegensatz zu Plätzen mit Beregnungsmängeln keine Schäden durch weitere holzzerstörenden Organismen festzustellen.

Sehr bald nach Entdeckung des überraschenden Phänomens waren im Hallimasch-befallenen Holz charakteristisch ausgebildete Luftkanäle entdeckt worden, denen eine besondere Bedeutung bei der entstehenden Holzfäule zugeschrieben wird (METZLER 1994) und deren Entstehung und Funktion näher zu untersuchen war. Die weiteren hier vorgelegten Untersuchungen (GROSS & METZLER 1995, METZLER & HECHT 2004) wurden an den genannten Praxispoltern, an Versuchspoltern der FVA, Abt. Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung (jetzt Waldnutzung), sowie in Laborexperimenten durchgeführt.

5.1 Schadbild

Im Zusammenhang mit Hallimasch-Myzelfächern unter der Rinde waren in der Anfangsphase nur punktuelle, selten stammungsgreifende oberflächliche Fäulen festgestellt worden. Allein das Auftreten von Fächermycel oder Rhizomorphen ist ohne zusätzliche Beil- oder Nagelprobe kein sicheres Anzeichen von holzzerstörendem Befall. Die Fäule wurde bei maschineller Entrindung besonders deutlich (Tafel 2, Abb. 13). Geschädigt war stets der periphere Splintbereich (Mantelfäule), niemals der Kern. An regulär beregneten Poltern konnte kein Befall durch Insekten oder andere Pilze als Hallimasch-Arten festgestellt werden.

Die entsprechenden Hallimasch-Isolate aus Baden-Württemberg wurden als *Armillaria cepistipes* und als *A. ostoyae* bestimmt. Anhand der Zersetzungssymptome am Holz konnte kein Unterschied zwischen den Arten festgestellt werden.

5.2 Infektions- und Ausbreitungsmuster im Polter

Die wahrscheinlichste Erstinfektionsquelle in einem Polter ist die Einlagerung von einzelnen

Stämmen mit Hallimaschbefall im Kambium. Insbesondere unter den Bedingungen der zuvor praktizierten Lebendlagerung wird oft ein hoher Prozentsatz des Sturmholzes innerhalb einer Vegetationsperiode befallen (ACHHAMMER 1992). Für den regelmäßigen Erstbefall von Poltern durch Sporenflug oder durch Rhizomorphen vom Waldboden aus konnten keine Hinweise gefunden werden.

Die Laborergebnisse zeigen, dass bereits nach wenigen Wochen des Kontakts Hallimaschmycel in das Holz eindringen und mit der Holzersetzung beginnen kann. Jedoch fallen Fäulen, die in den Poltern an den wenigen Primärherden bereits in den ersten beiden Jahren auftreten, zahlenmäßig nicht ins Gewicht. Das plötzliche Auftreten von umfangreichen Splintfäulen spätestens im vierten Jahr der Einlagerung erklärt sich mit dem exponentiellen Ausbreitungsmuster der Mycelfächer unter der Rinde der eingelagerten Stämme.

5.3 Beregnungsqualität

Das Auftreten von Hallimasch wurde unabhängig vom Beregnungssystem beobachtet. Die große Zahl untersuchter Polter mit bekanntem Beregnungsregime und die Tatsache, dass Schädigungen selbst im Versuchspolter bei optimalen Beregnungs- und Einlagerungsbedingungen auftraten, zeigen, dass Beregnungsfehler nicht die Ursache für den Befall mit Hallimasch sein können.

5.4 Anatomische Befunde an befallenem Holz

Die Besonderheiten beim Abbau von wassergesättigtem Holz durch den Hallimasch wurden durch METZLER & HECHT (2004) anatomisch detailliert untersucht. Holzfäule ist unter diesen Bedingungen nur möglich, weil eine spezielle pilzliche Aktivität gasgefüllte Räume im wassergesättigten Holz erzeugt und spezielle pilzliche Strukturen wasser- und gasgefüllte Räume voneinander trennen. Es ist deutlich, dass die gasgefüllten Bereiche mit der Außenluft in Verbindung stehen, so dass gasförmiger Sauerstoff in das Holz hinein diffundieren kann.

Die anatomische Untersuchung von frischen, noch wassergesättigten Splintholzproben zeigte radial in das Holz verlaufende helle Streifen. Von der Kambialfläche aus gesehen oder in tangentialen Schnitten erscheinen diese Striche als ovale Schnittflächen. Mit Hilfe des Durchlichtmikroskops konnte gezeigt werden, dass diese hell

erscheinenden Bereiche innerhalb des wassergesättigten Holzes mit Gas gefüllt sind und dass der optische Kontrast durch die unterschiedliche Lichtbrechung zu erklären ist.

Bei frühen Befallsstadien sind die Striche dünner (ca. 0,5 mm) und sie reichen nur wenige Millimeter in das Holz. Im späteren Stadium können sie 3 mm im Durchmesser erreichen und bis zu 4 cm lang werden, d.h. sie durchziehen den gesamten Splint (METZLER 1994). Im mikroskopischen Schnitt ist erkennbar, dass die Grenze zwischen dem gas- und dem wassergefüllten Bereich jeweils durch eine röhrenförmige pseudoparenchymatische Barriere (PPB) aus Pilzzellen gebildet wird, die quer durch die Tracheiden verlaufen kann. Man erkennt im Tangentialschnitt, dass in der Regel Holzstrahlen in diese röhrenförmigen, gasgefüllten Strukturen eingefasst sind und sich viel Pilzmycel darin befindet.

Die Tracheidenwände weisen innerhalb der gasgefüllten Röhren zahlreiche Löcher von 1-2 μm infolge von penetrierenden Hyphen auf (Abb. 16). Diese Bohrlöcher scheinen sich zu größeren rechtwinkligen Perforationen zu vergrößern, welche wiederum zu noch größeren fensterartigen Durchbrechungen fusionieren und dabei Durch-

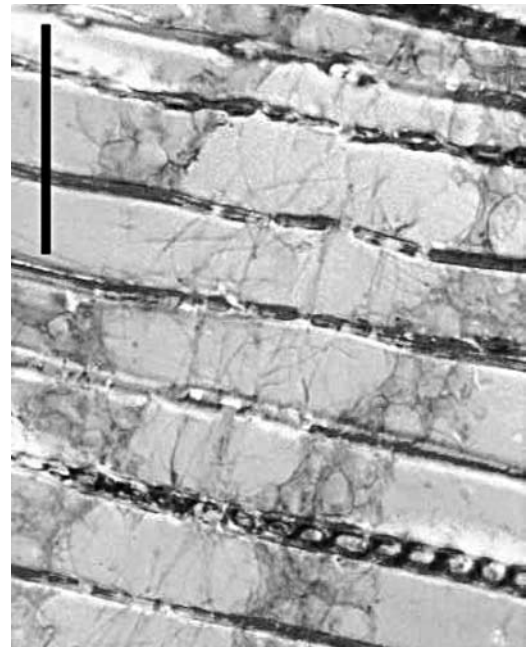


Abbildung 16. Zersetzung von Fichtenholz innerhalb eines Hallimasch-Luftkanals. Messbalken 100 μm .

messer von über 10 µm erreichen können (METZLER & HECHT 2004).

5.5 Einfluss von Substrat und Temperatur

In Laborversuchen konnte gezeigt werden, dass sich die Wachstumsgeschwindigkeit von Rhizomorphen bei Temperaturerhöhung von 10 °C auf 15 °C etwa vervierfacht (Tafel 3, Abb. 17). Der maximale Einzelwert von 40 mm/Woche wurde bei 25 °C gemessen (GROSS & METZLER 1995).

Die radiale Eindringtiefe des Mycels in das Holz innerhalb von 6 Wochen wurde an Mikrotomschnitten mikroskopisch ausgewertet. Sie steigt mit der Temperatur an und erreichte ab 15 °C 12-15 mm. In erster Linie werden zunächst die Holzstrahlen und Harzkanäle besiedelt, in geringerem Umfang auch die Tracheiden. Bei 20-30 °C sind schon kleinräumig die typischen pilzlichen pseudoparenchymatischen Barrieren ausgebildet und es treten bereits vereinzelt Hyphendurchbrüche in den Zellwänden auf („Bohrlöcher“).

5.6 Konkurrenzkraft des Hallimasch

Im Gegensatz zu den Rhizomorphen zeigte das „normale Mycel“ der Hallimasch-Isolate im Laborversuch nur eine geringe Konkurrenzkraft gegenüber antagonistischen Organismen (GROSS & METZLER 1995). Das frische Mycel konnte sich nur auf autoklavierten Splintholzproben mit Bast etablieren. Auf berindetem, nicht sterilisiertem Holz sowie in Dualkulturen auf Agar wurden sie von folgenden aus Fichtenholz isolierten Pilzen gehemmt: *Cylindrocarpon destructans*, *C. magnusianum*, *Volutella ciliata*, *Phialophora spec.*, sowie von zwei weiteren unbestimmten Pilzarten. Der Zygomycet *Mortierella mutabilis* hatte keinen hemmenden Einfluss auf die Hallimasch-Isolate.

5.7 Die Rolle des Sauerstoffs

Generell sinkt unter Sauerstoffmangel die Fähigkeit von Pilzen, Holzfäulen zu erregen (METZLER et al. 1993). Insbesondere der Abbau von Lignin ist stark von Sauerstoff abhängig. CWIELONG et al. (1993) zeigten, dass das Wachstum von *Heterobasidion annosum* auf Ligninsulfat in einer Atmosphäre mit 2 % Sauerstoff nur noch 1,3 % der Rate bei Normalatmosphäre beträgt. Im Gegensatz dazu blieb die Wachstumsrate bei 2 % Sauerstoff auf Glucose als Kohlenstoff-Quelle bei 84 %. Damit wurden Studien zur Substratabhängigkeit von GUNDERSEN (1961) an *H. annosum*, von HALL & LEBEN (1985) an *Perenniporia*

compacta (syn. *Polyporus compactus*) und von SCHEFFER (1986) an verschiedenen Holzerstörern bestätigt.

Flüssiges Wasser enthält nur wenige ppm Sauerstoff. Die Diffusionsrate von Sauerstoff in wassergesättigten Stämmen ist sehr gering und normalerweise nicht ausreichend für holzerstörende pilzliche Aktivität (ZABEL & MORRELL 1992). Aus diesem Grund ist wassergesättigtes Holz weitgehend haltbar, und die Beregnung ist normalerweise eine praktikable Methode, Rundholz in diesem Zustand zu konservieren.

Obwohl das Wachstum von Hallimasch-Rhizomorphen unter sauerstoffarmen Bedingungen nachlässt (MÜNCH 1909, SMITH & GRIFFIN 1971, RISHBETH 1978) fand REITSMA (1932) deutliche Hinweise, dass durch die Rhizomorphen eine Kanalisierung von Sauerstoff von aeroben zu anaeroben Bereichen in Agar-Kulturen stattfindet. Das umfangreiche Wachstum von Hallimasch-Rhizomorphen und -Mycelfächern unter der Rinde von beregnetem Stammholz kann so erklärt werden, zumal sich im Phloem- und Kambialbereich leicht verfügbare Zucker befinden, so dass der Pilz in dieser Phase nicht vom Ligninabbau abhängig ist. Durch diese Untersuchungen konnte die Sauerstoffversorgung des Hallimasch im wassergesättigten Holz durch die anatomisch einzigartige Struktur seiner pilzlichen Luftkanäle erklärt werden (METZLER & HECHT 2004).

5.8 Zusammenfassung des Befallsverlaufs

Der gesamte Ablauf von der Primärbesiedelung eines Polters bis zur Fäule in optimal beregnetem Holz kann nun folgendermaßen dargestellt werden:

- a) Unwillkürliche Einschleppung von Hallimasch in das Nasslager durch einzelne befallene Stämme. Insbesondere Holz aus Lebendlagerung ist häufig unter der Rinde infiziert.
- b) Schnelle Ausbreitung von Mycelfächern und Rhizomorphen im Kambialbereich der berindeten Stämme über weite Polterteile. Die Geschwindigkeit ist temperaturabhängig und steigt zwischen 10 und 20°C stark an.
- c) Einwachsen von Hallimaschhyphen in die Holzstrahlen unter anaeroben oder mikroaeroben Bedingungen. Dies wird begünstigt durch die dort verfügbaren Kohlenstoffquellen, z.B. Stärke.
- d) Hyphenwachstum in der Umgebung der Holzstrahlen im Xylem, wobei eine röhrenförmige pseudoparenchymatische Barriere (PPB) gebildet wird.

e) Durch die physiologische Aktivität der Pilzhyphen entsteht innerhalb dieser röhrenförmigen Barrieren Kohlendioxid und es kommt zu einer Absenkung des pH-Wertes unterhalb pH 4,6 (METZLER 1994). Je nach Temperatur kommt es so bald zu einer Übersättigung der CO₂-Konzentration, wodurch dieses in den gasförmigen Zustand übergeht. Die damit verbundene beträchtliche Volumenausdehnung führt zur Verdrängung des Wassers aus den präformierten Röhren (Sektflascheneffekt).

f) Die nun gasgefüllten Röhren stehen in Verbindung mit der Außenluft. Die Diffusionsrate von Sauerstoff im gasgefüllten Raum ist im Vergleich zu der Rate in Wasser drastisch, d.h. etwa um den Faktor 10.000 erhöht. So kann Sauerstoff leicht in das Holz diffundieren. Der nun verfügbare Sauerstoff ermöglicht zunächst lokal den Abbau von Lignin, also die Entstehung von Weißfäule durch den Hallimasch.

g) Im Verlauf dieser Fäuleentwicklung entstehen „Bohrlöcher“ durch die Hyphen und dann größere Durchbrechungen der Tracheidenwände, was die Sauerstoffdiffusion zusätzlich begünstigt.

h) Das Mark von aus dem Holz herauswachsenden Rhizomorphen ist ebenfalls luftgefüllt und steht in direktem Kontakt zu den röhrenförmigen Luftkanälen im Holz. Damit ist ein zusätzlicher Ferntransport von Sauerstoff durch eine wässrige Umgebung möglich.

5.9 Maßnahmen gegen Hallimaschbefall in Nasslagern

a) Da länger lebend gelagertes Sturmholz eine besonders hohe Befallsrate mit Hallimasch aufweist, sollte dieses nicht oder nur nach dem Prinzip „last in, first out“ eingelagert werden.

b) Die schnelle Besiedelung ganzer Polter durch den Hallimasch ist an die Berindung gebunden. Eine nennenswerte Ausbreitung in Poltern mit entrindetem Holz findet nicht statt (SCHUMACHER & WEGENER 1998).

c) Die Ausbreitung des Pilzes und der Holzabbau sind stark temperaturabhängig. Wenige Grade Temperaturerhöhung, besonders im Bereich zwischen 10 und 15 °C, beeinflussen diese Aktivitäten beträchtlich. Deswegen sollten möglichst höher gelegene und damit kühlere Beregnungsplätze gewählt und möglichst kühles Beregnungswasser verwendet werden.

In Kapitel 6 ist eine weitere Konservierungsmethode durch direkten Sauerstoffausschluss (Folienverpackung) beschrieben, welche das Wachstum von Hallimasch ausschließt.

6 Pilzentwicklung bei Holzlagerung unter Schutzgasatmosphäre

Bei längerer konventioneller Waldlagerung besteht für Rundholz die Gefahr der Entwertung durch Pilz- und Insektenbefall. Die Wertverluste bei Fichte können nach einjähriger Lagerung bei 40-50 % liegen (AMMER 1963, KUHN 1991). Bei Buche taugt das Holz durch den zunächst abiotisch verursachten Einlauf und die dann einige Monate später einsetzende Verstockung (pilzliche Zersetzung) nur noch zu Brennholz. Windwurfkalamitäten wie in Baden-Württemberg durch die Stürme „Vivian“, „Wiebke“ (1990) und „Lothar“ (1999) einerseits und den Wunsch der Sägeindustrie nach kontinuierlicher Versorgung mit Rundholz andererseits verlangen nach verlässlichen Methoden, um die Holzqualität von Frischholz auch über die warme Jahreszeit zu erhalten. Ziel ist es, zu der Methode der Beregnung (siehe Kap. 5) Alternativen zu entwickeln.

Die Aktivität von Holz entwertenden Pilzen lässt erst bei sehr niedriger Sauerstoffkonzentration nach. Mit einer gasdichten Verpackung des Holzes können durch die Atmung des Holzes und der vorhandenen Mikroorganismen eine Reduzierung des Sauerstoffs und eine Erhöhung des CO₂-Gehalts erreicht werden (McKEE & DANIEL 1966, SCHEFFER 1986). Durch künstliche Zugabe von Inertgas erreicht man bereits von Anfang an einen niedrigen Sauerstoffgehalt. YDE-ANDERSON (1973) konnte so folienverpacktes Buchenholz über ein Sommerhalbjahr konservieren.

Im Rahmen eines praxisrelevanten Gemeinschaftsprojektes zur Entwicklung alternativer Holzschutzverfahren (BORT & HÖRGER 1991, MAHLER 1992) wurde einjährig lebend gelagertes Fichten-Sturmholz abgestockt und für ein weiteres Sommerhalbjahr in verschiedenen Versuchsvarianten gelagert: weitgehend gasdichte Folienverpackung (Tafel 3, Abb. 18), teilweise mit Begasung durch Kohlendioxid oder Stickstoff, sowie konventionelle Waldlagerung. Ziel war es, durch die Folienverpackung nicht nur die Holzfeuchte von der Einlagerung an zu stabilisieren, sondern auch durch eine möglichst gute Abdichtung der Folien eine kontrollierte sauerstoffarme Innenatmosphäre zu schaffen und zu erhalten. Die dabei auftretenden Gesetzmäßigkeiten sollten erkannt werden, so dass Prognosen zur Entwicklung der Holzqualität bei längerer Lagerungsdauer gegeben werden können (METZLER et al. 1993).

Für die Bonitur der Holzverfärbung durch Bläuen und Holz zerstörende Pilze wurden Stammschei-

ben aus 35 cm Entfernung von den Stirnseiten verwendet. Die stärksten Verfärbungen traten bei ungeschützter Waldlagerung mit 36 % der Querschnittsfläche auf. Nach der Handelsklassensortierung für Rohholz (HKS) entspricht dies nur noch Güteklasse D (ANONYMUS 1988). Auch bei einem verpackten Polter, das bei der Einlagerung nicht begast worden war, waren 28 % verfärbt, wobei der Sauerstoffgehalt bei Öffnung 9,2 % betragen hatte. Die Polter mit 12,1 bzw. 10,4 % Sauerstoff wiesen intermediäre Verfärbungsintensitäten auf. Deutlich bessere Werte zeigte ein Polter mit 7,8 % Sauerstoffgehalt und nur 4 % verfärbter Querschnittsfläche. Das Holz aus dem Polter mit dem geringsten Sauerstoffgehalt entsprach mit 1 % Verfärbung annähernd dem Frischholz.

6.1 Mykologische Untersuchung des Splintholzes

Die Oberfläche der Stämme im CO₂-Polter „1.0“ war an den Mantelflächen und an den Splintholz-Stirnflächen dicht vom wattigen Mycel des antagonistischen Pilzes *Clonostachys solani* bedeckt (Tafel 4, Abb. 19). Holzerstörende Pilze, die in anderen verpackten Poltern auftraten, zeigten sich makroskopisch kaum in Form von Fruchtkörpern, sondern nur als besondere Mycelkru-

sten oder als typische Mycelstränge (Tafel 4, Abb. 20). Aus den Stämmen der Variante „Waldlagerung“ wuchsen vereinzelt Fruchtkörper von *Schizophyllum commune*, *Bjerkandera adusta* und *Stereum sanguinolentum*.

Von jedem Polter waren fünf Stämme aus der Mittellage ausgewählt worden. Davon wurden je 10 Proben (also insgesamt 50 pro Polter) von je ca. 10 mm³ aus dem Inneren des Splintholzes im Abstand von 35 cm von den Stirnflächen entnommen. Bei Frischeinschlag enthielten nur 4 % von ihnen lebende Pilzsporen oder -myzelien. Beim CO₂-Polter „1.0“ wuchsen aus 26 %, beim Stickstoff-Polter „2.0“ aus 52 % und beim ungeschützten Freiland-Polter „4.1“ aus 90 % der Splintholzproben Pilzmyzelien aus. Eine Übersicht über die Isolate aus den einzelnen Poltern ist in Abb. 21 differenziert nach drei Pilzgruppen dargestellt.

Holzerstörende Basidiomyceten ließen sich aus dem CO₂-Polter „1.0“ wie beim Frischeinschlag nicht isolieren. Der Stickstoff-Polter „2.0“ erbrachte je zwei Isolate von *Stereum sanguinolentum* und *Amylostereum areolatum*. Besonders viele Holzerstörer waren bei „Waldlagerung“ im Polter „4.1“ festzustellen: Neben dem besonders häufigen *S. sanguinolentum* traten auch *Bjerkandera adusta* und *Schizophyllum commune* auf.

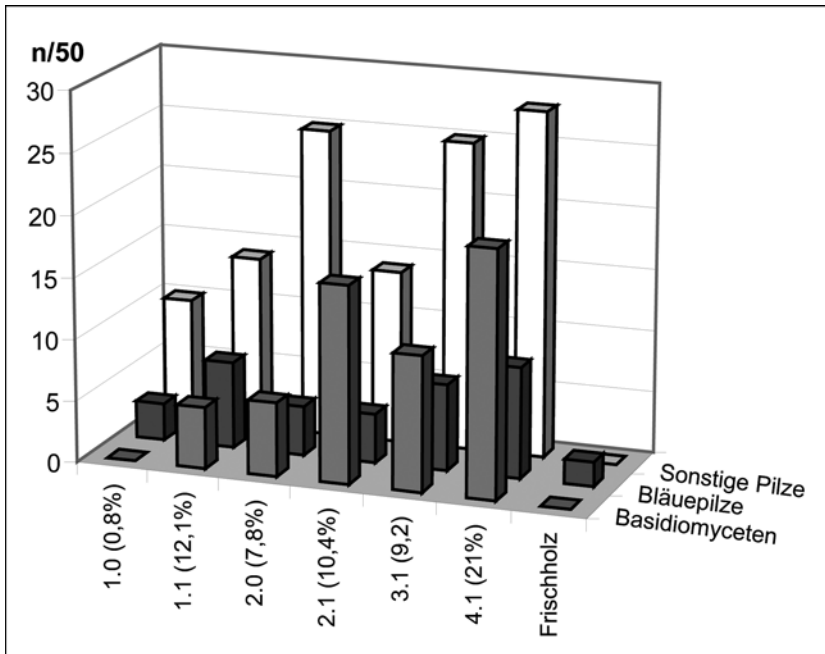


Abbildung 21. Anzahl Isolate von Holz zersetzenden Basidiomyceten, Bläuepilzen und sonstigen Pilzen aus Fichtenholz (je 50 Einzelproben) bei Lagerung in unterschiedlicher Sauerstoffatmosphäre bzw. bei Frischholz. Ordinatebeschriftung: Polternummer mit Sauerstoffgehalt (%).

Das Vorkommen von *Heterobasidion annosum* war auf einzelne Stämme der Polter „1.1“ und „2.1“ beschränkt.

Die Bläuepilze, vertreten vor allem durch *Ophiostoma piceae* (Tafel 4, Abb. 22), zeigten ebenfalls bei „Waldlagerung“ die stärkste Entwicklung. Ansonsten waren hier die Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten etwas geringer. *Oidiodendron griseum* war der häufigste Bläuepilz in den begasten Poltern.

Bei den Arten der „sonstigen Pilze“ waren deutliche Unterschiede sichtbar: Bei Waldlagerung war die Zahl der Isolate und Arten am höchsten. Bei den häufigsten Arten handelt es sich um *Trichoderma harzianum* und *T. koningii*, gefolgt von *Cytospora mougeotii* und *Nectria fuckeliana*. *Trichoderma* spp. waren auch im unbegasten Polter „3.1“ häufig. Im CO₂-Polter „1.0“ und im Stickstoff-Polter „2.0“ dominierten *Ascocoryne sarcooides* bzw. *Acremonium butyri* (jetzt eine von mehreren Arten in *Cosmospora*; GRÄFENHAN et al. 2011).

6.2 Sauerstoff als limitierender Faktor für Holzerstörer

Während bereits leicht erhöhte Konzentrationen von Kohlendioxid für Säugetiere letal wirken können, ist dies für eine Reihe holzerstörender Pilze nach HINTIKKA & KORHONEN (1970) nicht der Fall. Selbst in einer Atmosphäre mit 50 % CO₂ und einem Restsauerstoffgehalt von ca. 10 % wuchsen viele Holzerstörer noch gut. Daher ist anzunehmen, dass das Pilzwachstum in den Versuchspoltern besonders durch den niedrigen Sauerstoffgehalt von teilweise unter 1 % (0,01 atm) und weniger durch das Kohlendioxid gehemmt wird. SCHEFFER (1986) ermittelte bei mehreren Holzerstörern und Bläuepilzen erst für einen Sauerstoffgehalt von 0,8 % (= 0,008 atm) eine wesentliche Wachstumshemmung auf einem Agarmedium mit löslichen Zuckern. Allerdings wird zum Ligninabbau deutlich mehr Sauerstoff benötigt, da die Spaltung des Lignins nicht hydrolytisch (wie bei Zellulose), sondern oxidativ erfolgt. Der Holzabbau durch verschiedene Fäulepilze sinkt bei 10 % (0,1 atm) O₂ auf ca. 60 %, bei 1 % (0,01 atm) O₂ auf ca. 10 % gegenüber der Aktivität unter natürlichen Atmosphäre ab (HIGHLEY et al. 1983). *Phanerochaete chrysosporium* baut bereits bei 5 % (0,05 atm) O₂-Gehalt kein Lignin mehr ab (KIRK et al. 1978).

Während also die Höhe des Kohlendioxidgehalts in diesem Zusammenhang fast außer Acht gelassen werden kann, ist der Sauerstoff für

das Pilzwachstum entscheidend und zwar substratspezifisch.

Wenn der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre und damit evtl. die Aktivität der Pilze gegen Null geht, muss das nicht bedeuten, dass diese Mikroorganismen absterben. In gänzlich sauerstofffreier Atmosphäre kann *Schizophyllum commune* über ein bis zwei Jahre überleben, eine Reihe von anderen Holzerstörern und Bläuepilzen über viele Monate (SCHEFFER 1986). Unter annähernd sauerstofffreien Bedingungen ist eine Abtötung von im Holz vorhandenen Pilzen kaum zu erreichen. Bei der Auslagerung des Holzes in Normalatmosphäre ist also die Aktivität von evtl. latent vorhandenen Pilzen zu berücksichtigen.

Hohe Holzfeuchtigkeit behindert über die niedrige Diffusionsrate von Sauerstoff in Wasser die Aktivität von Holzerstörern (WORRALL & PARMETER 1983, METZLER & HECHT 2004). Deshalb wird Fichtenholz üblicherweise nur mit einer Splintfeuchte oberhalb von 100-120 % für eine Nasslagerung vorgesehen (HÜTTE & SCHUMACHER 1992). Wenn in der Folienverpackung der natürliche Wassergehalt des Holzes weitgehend erhalten bleibt, ist dies somit von großem Vorteil. Die Splintholzfeuchte blieb bei den verpackten Poltern zwischen 113 % und 154 %. Bei Waldlagerung sank sie auf 30 %, während die Zahl der Pilzarten, die Menge der Isolate sowie das Ausmaß der entsprechenden Verfärbungen stark zunahm. Das langsame Trocknen der berindeten Stämme während der Sommermonate hält das Holz lange in dem für Pilze optimalen Bereich zwischen 30-100 % Feuchtigkeit. Hier können auch während des Versuchszeitraums zusätzliche Pilzinfektionen über die Luft stattgefunden haben, während bei den verpackten Poltern der pilzliche Erstbefall überwiegend zwischen Aufarbeitung und Einlagerung erfolgt sein muss. Besonders gravierend ist bei normaler Waldlagerung der Befall durch *S. sanguinolentum*, einen der häufigsten Rotstreifepilze (VON PECHMANN et al. 1967). FRÜHWALD et al. (1988) führen die Vermehrung von *Heterobasidion annosum* s.l. in berechneten Poltern auf unzureichende Holzfeuchtigkeit von knapp 100 % zurück. ZYCHA & KNOPF (1963) sowie AMMER (1963) ermittelten für die Holzersetzer *Hypholoma fasciculare* und *H. capnoides* eine noch höhere Feuchtigkeitstoleranz im Holz. Die Bedeutung des Sauerstoffgehalts in der umgebenden Gasatmosphäre zeigt sich am CO₂-Polter „1.0“ mit dem niedrigsten O₂-Gehalt: Hier wurde das geringste Pilzwachstum beobachtet. Das Fehlen von holzerstörenden Pilzen und das

geringe Vorkommen der übrigen Pilze stehen hier im Einklang mit der hervorragenden Holzqualität; teilweise erschien sogar das Kambium noch vital. Die Verfärbungen in den übrigen Poltern lassen sich auf Bläuen und die Aktivität von holzerstörenden Pilzen zurückführen.

6.3 Die Rolle antagonistischer Pilze

Der auffällige Bewuchs auf Rinde und Stirnfläche durch *Clonostachys solani* im CO₂-Polter (Tafel 4, Abb. 19) lässt vermuten, dass neben der Gasatmosphäre auch ein biologischer Antagonismus gegen Bläuepilze und Holzerstörer gewirkt haben könnte. Verschiedene *Clonostachys* bzw. *Gliocladium*-Arten verhalten sich gegen andere Pilze sehr konkurrenzstark, so dass sie für die biologische Bekämpfung von pilzlichen Pflanzenkrankheiten getestet werden (METZLER 1991). Außerdem wachsen sie noch bei extrem niedrigen Sauerstoffkonzentrationen (KENDRICK 1985) und können unter dieser Voraussetzung einen zusätzlichen Vorteil erhalten.

Nach BODDY et al. (1985) verändert sich in sauerstoffarmer Atmosphäre auch das Konkurrenzverhalten von Holzerstörern untereinander. In den beiden Poltern mit dem niedrigsten Sauerstoffgehalt „1.0“ und „2.0“ sticht die Häufigkeit von *Ascocoryne sarcoides* hervor, welche häufig aus lebendem Holz verschiedener Baumarten isoliert wird (DELATOUR 1976, ROLL-HANSEN & ROLL-HANSEN 1979, SCHMIDT 1985). Offenbar ist dieser Pilz an sauerstoffarme Substrate angepasst. Wenn *A. sarcoides* als Erstbesiedler auftritt, wird der Holzabbau durch *H. annosum* (DELATOUR & SYLVESTRE-GUINOT 1978), *Coniophora puteana*, *Onnia tomentosa* (ETHERIDGE 1957) sowie *Fomitopsis pinicola* (WHITTAKER 1962) deutlich vermindert. VON AUFESS (1978) bezeichnet *A. sarcoides* als Moderfäuleerreger. Über einen nennenswerten Holzabbau durch diese Pilzart ist jedoch nichts bekannt.

6.4 Perspektiven

Durch drastische Verringerung des Sauerstoffgehalts unter 2 % mittels Folienverpackung ist es möglich, die Ausbreitung Holz abbauender Pilze zu unterdrücken und Holz über längere Zeiträume in qualitativ gutem Zustand zu lagern. Praktische Bedeutung könnte dieses Verfahren vor allem bei wertvollen und empfindlichen Hölzern erlangen. Weitere Versuche mit verschweißter Folie und somit zuverlässig niedrigerem Sauerstoffgehalt in den Poltern wurden von MAIER & METZLER (1998) und MAIER (2005) durchgeführt. Im gefundenen Pilzspektrum ist zwar ein antago-

nistisches Potential gegen Holzerstörer sichtbar. Gegenüber dem Einfluss des Sauerstoffentzugs dürfte dessen Einfluss auf Holz entwertende Pilze eher geringer sein.

Dank

Diese Schrift fasst Forschungsergebnisse aus einem längeren Zeitraum zusammen, in dem mich sehr viele Kollegen und Vorgesetzte bei der Arbeit unterstützt haben. Stellvertretend besonders bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. FRANZ OBERWINKLER, der mir an der Universität Tübingen die Mykologie nahe gebracht hat und bei Prof. Dr. HANS-ULRICH MOOSMAYER und Dr. HANS-JOCHEN SCHRÖTER, die mir die Arbeiten an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) ermöglicht haben. Mein Dank gilt auch den Kollegen Dr. MARTIN GROSS, Dr. JOACHIM KLÄDTKE, der Kollegin Dipl.-Biologin ULRIKE HECHT und allen weiteren Koautoren, deren Kooperation und Diskussionen mich bei Projekten motiviert und fachlich weiter gebracht haben. Im Labor haben mich GUDRUN SEIFFERT und GABRIELE ZIPFEL über viele Jahre zuverlässig unterstützt. Alles wäre nicht möglich gewesen ohne die bereitwillige Unterstützung sehr vieler weiterer Kollegen an der FVA und in der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg.

Literatur

- ACHHAMMER, M. (1992): Lebendkonservierung sturmge-worfener Fichten im Forstamt Riedenburg. – Diplomarbeit, Technische Universität München.
- AMMER, U. (1963): Untersuchungen über das Wachstum von Rotstreifepilzen in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit. – Forstw. Cbl., **82**: 321-392.
- ANONYMUS (1987): Bekämpfung der durch *Fomes an-nosus* verursachten Rotfäule in Fichtenbeständen. – Merkblatt der FVA Baden-Württemberg, Freiburg Nr. 16 (2. Aufl.).
- ANONYMUS (1988): Sortiermerkblätter für Stammholz. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg und Baden-Württembergische Sägewerksverbände. – Faltblatt.
- AUFESS, H. VON (1978): Beobachtungen über die Auswirkungen moderner Durchforstungsverfahren auf die Entstehung von Wundfäulen in jungen Fichtenbeständen. – Forstwiss. Cbl., **97**:141-156.
- AUGUSTIN, N., KUBLIN, E., METZLER, B., MEIERJOHANN, E. & WÜHLISCH, G. VON (2005): Analyzing the spread of beech canker. – Forest Science, **51**: 438-448.
- BANERJEE, S. (1955): A disease of Norway spruce associated with *Stereum sanguinolentum*. – Indian J. Mycol. Res., **1**: 1-30.
- BODDY, L., GIBBON, O. M. & GRUNDY, M. A. (1985): Ecology of *Daldinia concentrica*: Effect of abiotic variables and interspecific interactions. – Trans. Br. Mycol. Soc., **85**: 201-211.
- BORRMANN, K. (1994): Buchenkrebs im Naturschutzgebiet. Vorkommen des Buchenkrebs (*Nectria ditissima*) im NSG Heilige Hallen. – Der Wald, **44**: 15-17.

- BORT, U. & HÖRGER, R. (1991): Konservierung von Holz in kontrollierter Atmosphäre – erste Erfahrungen über Einlagerungs- und Begasungstechnik. – Versuchsbericht der FVA Baden-Württemberg, Abt. AWF, 1/91.
- BOSSHARD, H. H. (1965): Mosaikfarbkernholz in *Fagus sylvatica*. – Schweiz. Z. Forstwesen, **116**: 1-11.
- BUTIN, H. (2011): Krankheiten der Wald- und Parkbäume. – Stuttgart (Ulmer)
- BUES, C. T. (1996): Zur Holzqualität weitständig gepflanzter und „geschneitelter“ Fichten aus dem Frankwald. – Forst und Holz, **51**: 45-49.
- BUTIN, H. & KOWALSKI, T. (1990): Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen. V: Die Pilzflora von Fichte, Kiefer und Lärche. – Eur. J. For. Path., **20**: 44-54.
- CWIELONG, P., LETTOJÄRVI, T. & HÜTTERMANN, A. (1993): Die Bedeutung des Sauerstoffs für die Physiologie von *Heterobasidion annosum*, dem Erreger der Rotfäule der Fichte. – Allg. Forst u. Jagdz., **164**: 199-203.
- DELATOUR, C. (1976): Microflore interne des tissus ligneux de l'épicéa commun sur pied. – I. Inventaire de la microflore naturelle. – Ann. Sci. For., **33**: 199-219.
- DELATOUR, C. & SYLVESTRE-GUINOT, G. (1978): Microflore interne des tissus ligneux de l'épicéa commun sur pied II. Etude in vitro de la microflore naturelle. – Ann. Sci. For., **35**: 285-298.
- DIMITRI, L. (1967): Untersuchungen über die Ätiologie des „Rindensterbens“ der Buche. – Forstw. Cbl., **86**: 257-276.
- DIMITRI, L. & TOMICZEK, C. (1998): Germany and Austria. – In: WOODWARD, S., STENLID, J., KARJALAINEN, R. & HÜTTERMANN, A. (eds.): *Heterobasidion annosum* – Biology, Ecology, Impact and Control. – 355-368; Wallingford (CABI).
- ETHERIDGE, D. E. (1957): Comparative studies of *Coryne sarcoides* and two species of wood destroying fungi. – Can. J. Bot., **35**: 595-603.
- FALCK, R. (1918): Eichenerkrankung in der Oberförsterei Lödderitz und in Westfalen. – Zeitschr. Forst Jagdw., **50**: 123-132.
- FINK, S. (1999): Pathological and regenerative plant anatomy. – Bd. 14/6, 1094 S; Stuttgart (Borntraeger).
- FRÜHWALD, A., KRAUSE, H.A., SCHWAB, E. & WAHL, G. (1988): Einfluß einer zweijährigen Wasserberieselung von Fichtenrundholz aus Waldschadensgebieten auf die Holzqualität. – Forschungsb. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, 110 S.
- GERWEN, C.P. VAN (1980): Kanker bij beuk, een gevaar voor verjonging onder scherm. – Nederlands bowbouw tijdschrift, **52**: 1-5.
- GIBBS, J. N., WEBBER, J., GREIG, B. & THOMPSON, D. (1996): Fungal stain and decay in wet stored logs. – Forestry Commission Bull., **117**: 17-25.
- GRABER, D. (1994): Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz: Schadensausmaß, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Maßnahmen. – Schweiz. Z. Forstwesen, **145**: 905-926.
- GRÄFENHAN, T., SCHROERS H.-J.; NIRENBERG, H. I. & SEIFERT, K. A. (2011): An overview of the taxonomy, phylogeny, and typification of nectriaceous fungi in *Cosmospora*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Stilbella*, and *Volutella*. – Stud. Mycol., **68**: 79.
- GROSS, M. & METZLER, B. (1995): Auftreten und Ausbreitung von Hallimasch in Beregnungspolter. – Holz als Roh- und Werkstoff, **53**: 147-153.
- GROSS, M., METZLER, B. & SCHUMACHER, P. (1996): Hallimaschbefall an beregnetem Sturmholz. – Allg. Forstz. **51**: 329-332.
- GUNDERSEN, K. (1961): Growth of *Fomes annosus* under reduced oxygen pressure and the effect of carbon dioxide. – Nature, **190**: 649.
- HALL, T. J. & LEBEN, C. (1985): A new method for evaluating decay: The effect of oxygen on *Polyporus compactus* in red oak. – Can. J. Forest Res., **15**: 1021-1024.
- HALLAKSELA, A. M. (1993): Early interactions of *Heterobasidion annosum* and *Stereum sanguinolentum* with non-decay fungi and bacteria following inoculation into stems of *Picea abies*. – Eur. J. For. Path., **23**: 416-430.
- HARTIG, R. (1882): Lehrbuch der Baumkrankheiten. – 198 S.; Berlin (Springer Verlag).
- HEINIGER, U. (2003): Das Risiko eingeschleppter Krankheiten für die Waldbäume. – Schweiz. Z. Forstwes., **154**: 410-414.
- HIGHLEY, T. L., BAR-LEV, S. S., KIRK, T. K. & LARSEN, M. J. (1983): Influence of O₂ and CO₂ on wood decay by heartrot and saprot fungi. – Phytopathology, **73**: 630-633.
- HINTIKKA, V. & KORHONEN, K. (1970): Effects of carbon dioxide on the growth of lignicolous and soil-inhabiting Hymenomycetes. – Comm. Inst. Forest. Fenn., **69**: 1-28.
- HOLDENRIEDER, O. (1992): Zur Biologie von holzbewohnenden Pilzen. – Schweiz. Z. Forstw., **143**: 739-748.
- HOLDENRIEDER, O. (1994): Krankheiten der Tanne (*Abies* spp.). – Schweiz. Beitr. Dendrologie, **43**: 11-21.
- HOUSTON, D. R., PARKER E. J. & LONSDALE, D. (1979): Beech bark disease: patterns of spread and development of the initiating agent *Cryptococcus fagisuga*. – Can. J. For. Res., **9**: 336-344.
- HÜTTE, G. & SCHUMACHER, P. (1992): Neues Verfahren zur Schätzung der Holzfeuchtigkeit von Fichtenrundholz. – Allg. Forstz., **47**: 1026-1027.
- HUSE, K. J. (1981): The distribution of fungi in sound-looking stems of *Picea abies* in Norway. – Eur. J. For. Path., **11**: 1-6.
- KEHR, R., METZLER, B., SCHRÖDER, T. & WULF, A. (2005): Rindenkrebs der Esskastanie auf dem Vormarsch. Hinweise zur Erkennung und Handlungsoptionen. Jahrbuch der Baumpflege 2005. – 192-198; Braunschweig (Thalacker Verlag).
- KENDRICK B. (1985): The Fifth Kingdom. – 363 S.; Waterloo Ontario Canada (Mycologue Publ.).
- KIRK, T. K., SCHULTZ, E., GÖNNERS, W. J., LORENZ, L. F. & ZEIKUS, J. G. (1978): Influence of culture parameters on lignin metabolism by *Phanerochaete chrysosporium*. – Arch. Microbiol. **117**: 277-286.

- KLÄDTKE, J., & YUE, CH. (1997): Wachstumsreaktionen bei Fichte nach Grünästung. – Allg. Forstz. Der Wald, **52**: 145-148.
- KLEIN, E. (1997): Buchenkrebse in Jungwüchsen und Buchen-“T-Krebse“. – Forst und Holz, **52**: 58-61.
- KORHONEN, K., CAPRETTI P., KARJALAINEN, R. & STENLID, J. (1998): Distribution of *Heterobasidion annosum* intersterility groups in Europe. – In: WOODWARD, S., STENLID, J., KARJALAINEN, R. & HÜTTERMANN, A. (eds.): *Heterobasidion annosum* – Biology, Ecology, Impact and Control. – 93-104; Wallingford (CABI).
- KORHONEN, K., & HOLDENRIEDER, O. (2005): Neue Erkenntnisse über den Wurzelschwamm *Heterobasidion annosum* s.l. - Eine Literaturübersicht. – Forst und Holz, **60**: 206-211.
- KOWALSKI, T. & KEHR, R. D. (1993): Endophytic fungal colonization of branch bases in several forest tree species. – Sydowia, **44**: 137-168.
- KUHN, C. (1991): Wertentwicklung bei Waldlagerung von Fi/Ta-Rundholz. – Schweizer Holzzeitung, **143**: 783-794
- LENZ, O., NOGLER, P. & SCHÄR, E. (1991): L'élagage et la qualité des bois d'Épicéa (*Picea abies*) et de Sapin blanc (*Abies alba*) de peuplements réguliers du Plateau suisse. – Berichte der WSL, **331**: 51 pp.
- MAHLER, G. (1992): Konservierung von Holz durch Schutzgas. – Allg. Forstz. **47**: 1024-1025.
- MAIER T. & METZLER B. (1998): Holzkonservierung unter Sauerstoffabschluß. – Mitt. Biol. Bundesanst., **357**: 304-305.
- MANION, P. D. (1991): Tree disease concepts. – New Jersey (Prentice Hall).
- MAYER-WEGELIN, H. (1952): Das Aufästen der Waldbäume – Grundsätze und Regeln. – Hannover (Verlag M. & H. Schaper).
- McKEE, J. C. & DANIEL, J. W. (1966): Long term storage of pulpwood in sealed enclosures. – Tappi, **49**: 47A-50A.
- METZLER, B. (1991): Application, nutritional factors, population dynamics and detection of antagonists. – In: BEEMSTER, A. B. R., BOLLEN, G. J., GERLAGH, M. A., RUISSSEN, B., SCHIPPERS, B. & TEMPEL, A. (eds.): 341-349; Biotic interactions and soil-borne diseases (Elsevier).
- METZLER, B. (1994): Die Luftversorgung des Hallimasch in nassem Fichtenholz. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., **46**: 292-294 .
- METZLER, B. (1996): Phytopathologische Untersuchungen an grünteästeten Fichten. In: Forstl. Vers. u. Forschungsanst. Baden-Württbg. (ed.): Waldwirtschaft und Waldökologie. Agrarforschung in Baden-Württemberg Vol. 25. – 302-307; Stuttgart (Ulmer-Verlag).
- METZLER, B. (1997a): Quantitative assessment of fungal colonization in Norway spruce after green pruning. – Eur. J. Forest Pathol., **27**: 1-11.
- METZLER, B., (1997b): Infektionsrisiko und Überwalungszeit bei grünteästeten Fichten. – Allg. Forstz./Der Wald, **52**: 149-151.
- METZLER, B. (2008): Forstpathologische Beiträge zur Erhaltung der Holzqualität bei stehendem und liegendem Holz. – Unveröffentlichte kumulative Habilitationsschrift, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- METZLER, B. & ERFFA, R. VON (2000): Zur Verbreitung von Buchenkrebs in Naturverjüngungen in Baden-Württemberg. – Einfluss von Überschirmung und Standortsfaktoren. – Forstwiss. Cbl., **119**: 297-309.
- METZLER, B., GROSS, M. & MAHLER, G. (1993): Pilzentwicklung in Fichtenholz unter Schutzgasatmosphäre. – Eur. J. For. Path., **23**: 281-289.
- METZLER, B. & HECHT, U. (2004): Three-dimensional structure of tubular air channels formed by *Armillaria* spp. in water saturated logs of silver fir and Norway spruce. – Can. J. Bot., **82**: 1338-1345.
- METZLER B. & KUBLIN, E. (2003): Langzeitwirkung von Stubbenbehandlungen auf das Stockfäulerisiko in Fichten-Erstaufforstungen. – Allg. Forst- u. Jagdz., **174**: 81-84.
- METZLER, B. & MEIERJOHANN, E. (2001): Buchenkrebs – Verbreitungsfaktoren und forstliche Bedeutung. – Allg. Forstz. – Der Wald, **56**: 1111-1112.
- METZLER, B., MEIERJOHANN, E., KUBLIN, E. & WÜHLISCH, G. VON (2002): Spatial dispersal of *Nectria ditissima* (anker of beech in an international provenance trial. – Forest Pathology, **32**: 137-144.
- METZLER, B., THUMM, H. & SCHAM, J. (2005): Stubbenbehandlung vermindert das Stockfäulerisiko an Fichte. – Allg. Forstz. – Der Wald, **60**: 52-55.
- METZLER, B., LANGER, G., HEYDECK, P., PETERS, F., SCHAM, J., RENFER, A. & LANGER, E., (2011): Survey on *Heterobasidion* species and perspectives of butt rot control in Germany. – Proceedings of XIII IUFRO Conference on “Root and Butt Rot of Forest Trees” Florence and S. Martino di Castrazzo (TN) Italy, 4-10 Sept. 2011 (im Druck).
- MOLTESEN, P. (1971): Water storage of beach roundwood in Denmark. – Mitt. Bundesforsch. f. Forst- u. Holzw. Hamburg-Reinbeck, **83**: 5-33.
- MORELET, M. (1988): Le Diagnostic des Maladies Fongiques en Forêt. – Rev. Forest. Franc., **40**: 96-104.
- MÜNCH, E. (1909): Untersuchungen über die Immunität und Krankheitsempfänglichkeit der Holzpflanzen. – Naturwiss. Zeitschr. f. Forst- u. Landwirtschaft, **7**: 54-75, 87-114, 129-160.
- MÜLLER, F. (2002): Modellierung von Sturm-, Schnee- und Rotfäulerisiko in Fichtenbeständen auf Einzelbaumebene. – Dissertation TU München.
- MUHS, H. J. (1991): Die Anlage des internationalen Buchenherkunftsversuchs 1983-1985. – In: KORPEL S., PAULE, L. (eds.): 85-89; Proc. 3. IUFRO-Buchensymposium in Zvolen 1988. Zvolen.
- NIEMELÄ, T. & KORHONEN, K. (1998): Taxonomy of the Genus *Heterobasidion*. – In: WOODWARD, J., STENLID, A. & HÜTTERMANN, A. (eds.): 27-41; *Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control Wallingford (CABI).
- NIRENBERG, H. I. (1981): A simplified method for identifying *Fusarium* spp. occurring on wheat. – Can. J. Bot., **59**: 1599-1609.

- PECHMANN, H. VON, AUFSSESS, H. VON, LIESE, W. & AMMER, U. (1967): Untersuchungen über die Rotstreifigkeit des Fichtenholzes. – *Beih. Forstw. Cbl.*, **27**: 112 S.
- PEEK, R. D. & LIESE, W. (1974): Erste Erfahrungen mit der Beregnung von Sturmholz in Niedersachsen. – *Forst- und Holzw.*, **29**: 261-263.
- PERRIN, R. (1981): De quoi souffre l'écorce du hêtre? – *Schweiz. Z. Forstwesen*, **132**: 1-16.
- PERRIN, R. & VERNIER, F. (1979): La chancre du hêtre: influence des conditions stationnelles sur la gravité de la maladie. – *Rev. Forest. Fr.*, **29**: 286-297.
- PRATT J. E. (1996): Borates for stump protection – A literature review. – *Forestry Commission Edinburgh Technical paper*, 15.
- PRATT, J. E., JOHANSSON, M., & HÜTTERMANN, A. (1998): Chemical control of *Heterobasidion annosum*. – In: WOODWARD, J., STENLID, A. & HÜTTERMANN, A. (eds.): *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. – 259-282; Wallingford (CABI).
- REITSMA, J. (1932): Studien über *Armillaria mellea*. – *Phytopath. Z.*, **4**: 461-522.
- RENFER, A. (2004): Untersuchungen zur biologischen und chemischen Kontrolle von *Heterobasidion annosum* an Fichtenstöcken. – *Diplomarbeit Universität Freiburg*.
- RICHTER, H. (1928): Die wichtigsten holzbewohnenden Nectrien aus der Gruppe der Krebserreger. – *Z. Parasitenkunde*, **1**: 24-75.
- RISHBETH, J. (1950): Observations on the biology of *Fomes annosus*, with particular reference to East Anglian Pine Plantations. – *Ann. Bot. N.S.*, **14**: 365-383.
- RISHBETH, J. (1978): Effects of soil temperature and atmosphere on growth of *Armillaria rhizomorphs*. – *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, **70**: 213-220.
- RISLEY, H. & SILVERBORG, S. B. (1958): *Stereum sanguinolentum* on Norway spruce following pruning. – *Phytopathology*, **48**: 337-338.
- ROLL-HANSEN, F. (1962): *Nectria cucurbitula* sensu WOLLENWEBER, its *Cephalosporium* state and some other *Cephalosporium* spp. from conifers. – *Medd. Norske Skovfversv.*, **17**: 293-312.
- Roll-Hansen, F. & Roll-Hansen, H. (1979): *Neobulgaria premnophila* sp. nov. in stems of living *Picea abies*. – *Botany*, **3**: 207-211.
- SACHS, L. (1984): *Angewandte Statistik*. – Berlin (Springer Verlag).
- SAGHEB-TALEBI, K. (1996): Quantitative und qualitative Merkmale von Buchenjüngwüchsen (*Fagus sylvatica*) unter dem Einfluss des Lichtes und anderer Standortsfaktoren. – *Beiheft Schweiz. Z. Forstwesen*, **78**: 1-219.
- SAUTER, U. & MESSINESIS, S. (1996): Überprüfung des Wertüstungsenerfolges an Fichten - Ein Vergleich der Hand- und Klettersägenästung unter Berücksichtigung holzbiologischer Aspekte. – *Forstw. Cbl.*, **115**: 36-50.
- SCHAEFFER, T. C. (1986): O₂ requirements for growth and survival of wood-decaying and sapwood-staining fungi. – *Can. J. Botany*, **64**: 1957-1963.
- SCHUMACHER, P. & GROSSER, D. (1995): Befall länger beregneten Fichtenstammholzes durch Hallimasch (*Armillaria* spp.) und sonstige Holzpilze. – *Holz als Roh- und Werkstoff*, **53**: 137-145.
- SCHLEGL-BECHTOLD, A. (1985): Untersuchung über Verfärbungen und Fäulen nach Grünästung an Fichte. – *Centrale Marketingges. deut. Agrarwirtschaft Bonn*.
- SCHMIDT, O. (1985): Occurrence of microorganisms in the wood of Norway spruce trees from polluted sites. – *Eur. J. For. Path.*, **15**: 1-10.
- SCHMIDT, O. (1994): Holz- und Baumpilze. – *Biologie, Schäden, Schadensverhütung und Sanierung*. – Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- SCHÖNHAR, S. (1976): Versuche zur Bekämpfung der durch *Fomes annosus* verursachten Rotfäule in Fichten-Erstaufforstungen durch eine chemische Stockbehandlung. – *Allg. Forst- u. Jagdz.*, **147**: 109-111.
- SCHÖNHAR, S. (1977): Erprobung von Chemikalien zur Verhütung einer Infektion frischer Fichtenstöcke durch *Fomes annosus*. – *Allg. Forst- u. Jagdz.*, **148**: 181-182.
- SCHÖNHAR, S. (1979): Über den Befall bei Holzlücken verwundeter Fichtenwurzeln durch Rotfäulepilze. – *Allg. Forst- u. Jagdz.*, **150**: 76-78.
- SCHÖNHAR, S. (1988): Zur Bekämpfung von *Heterobasidion annosum* in Fichten-Erstaufforstungen. – *Forst und Holz*, **43**: 209-210.
- SCHÖNHAR, S. (1994): Der Hallimasch (*Armillaria*) als Kernfäuleerreger in Fichtenbeständen der Schwäbischen Alb. – *Allg. Forst- u. Jagdz.*, **165**: 132-136.
- SCHÖNHAR, S. (1996): *Resinicium bicolor* als Kernfäuleerreger in Fichtenbeständen auf basenreichen Böden. – *Allg. Forst- u. Jagdz.*, **167**: 86-88.
- SCHÖNHAR, S. (1997): *Heterobasidion annosum* in Fichtenbeständen auf basenreichen Böden Südwestdeutschlands - Ergebnisse 30jähriger Untersuchungen. – *Allg. Forst- u. Jagdz.*, **168**: 26-30.
- SCHÖNHERR, J. & KRAUTWURST, K. (1979): Buchenschleimfluß als Folge von Käferbefall. – *Allg. Forstz.*, **34**: 868-869.
- SCHÜTT, P. & LANG K. J. (1980): *Buchen-Rindennekrose*. – *Waldschutzmerkblatt 1*. – Hamburg, Berlin (Parey Verlag).
- SCHUMACHER P. & WEGENER G. (1998): Qualität von ent-rindetem Fichtenstammholz nach dreijähriger Beregnung. – *Abschlußbericht Forschungsproj. X30 Bayerische LWF*.
- SCHWARZE, F. W. M. R., ENGELS, J. & MATTHECK, C. (1999): *Holzersetzende Pilze in Bäumen*. – Freiburg (Rom-bach Verlag).
- SINCLAIR, W. A. & LYON, H. H. (2005): *Diseases of trees and shrubs*. – Ithaca (Cornell University Press).
- SMITH, A. M. & GRIFFIN, D. M. (1971): Oxygen and the ecology of *Armillariella elegans* Heim. – *Austr. J. Biol. Sci.*, **24**: 231-262.
- SYLVESTRE-GUINOT, G. & DELATOUR, C. (1978): Recherches sur les variations saisonnières de l'inoculum aérien du *Fomes annosus* (Fr.) COOKE dans l'est de la France. – *Ann. Sci. Forest.*, **35**: 151-163.
- THOR, M. (2003): Operational stump treatment against *Heterobasidion annosum* in European Forestry –

- current situation. – IUFRO meeting “Root and butt rot” Quebec Canada Sept. 2001., Proc. 170-175.
- VOLLBRECHT, G. & JOERGENSEN, B. B. (1995): The effect of stump treatment on the spread rate of butt rot in *Picea abies* in Danish permanent forest yield research plots. – Scand. J. Forest Res., **10**: 271-277.
- WHITTAKER, E. L. (1962): The interaction of *Coryne sarcoides* and fungi associated with red heart in lodgepole pine. – Can. J. Bot., **40**: 255-256.
- WORRALL, J. J. & PARMETER, J. R. jr. (1983): Inhibition of wood-decay by wetwood of White Fir. – Phytopathology, **73**: 1140-1145.
- WULF, A. (1993): Zur Epidemiologie des Platanenkrebesses. – Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., **45**: 45-46.
- YDE-ANDERSON, A. (1973): Storing of beechwood in a carbon dioxide atmosphere. – Det forstelige Forsogsv., **33**: 1-280.
- ZABEL, R. A. & MORRELL, J. J. (1992): Wood microbiology – Decay and its prevention. – San Diego (Academic Press).
- ZYCHA, H. & KNOPF, H. (1963): Pilzinfektionen und Lagereschäden an Holz. – Schweiz. Z. Forstwesen, **9**: 531-537.

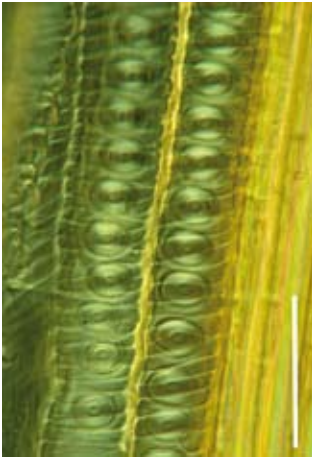


Abbildung 1. Douglasienholz, Radialschnitt; Tracheiden mit Hoftüpfeln und spiralgigen Wandverstärkungen. Messbalken 100 µm.



Abbildung 3. Starker Buchenkrebsbefall an einem jungen Stamm verursacht durch *Neonectria ditissima*.



Abbildung 10. Extreme Überwallungsstörung an einem Fichtenstamm nach Rindenverletzung bei unsauber durchgeführter Ästung.



Abbildung 11. Kernfaules Fichtenholz durch Befall mit dem Wurzelschwamm *Heterobasidion annosum* s.l.



Abbildung 12. Fruchtkörper des Wurzelschwamms (*Heterobasidion annosum* s.l.) an Fichte.



Abb. 13. Starke Mantelfäule nach vierjähriger Nasslagerung von Fichtenholz.



Abbildung 14. Harvesterschwert mit Sprüheinrichtung.



Abbildung 15. Beregnung von Sturmholz.

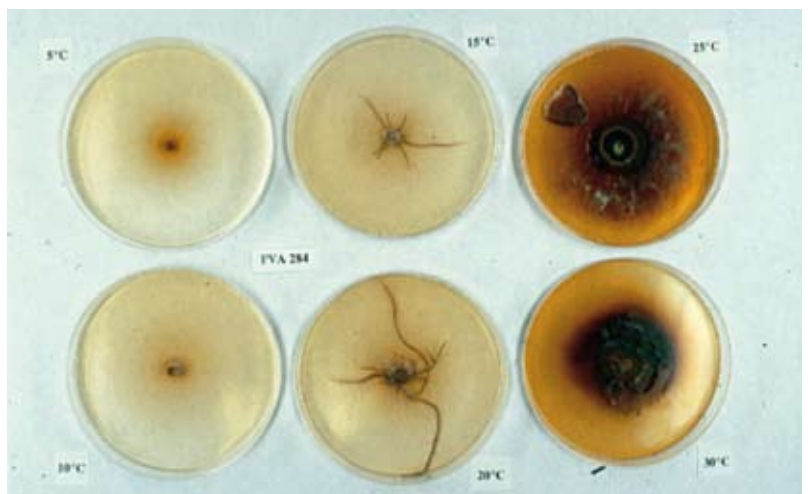


Abbildung 17. Wachstum von *Armillaria cepistipes* in Agarkultur bei verschiedenen Temperaturen



Abbildung 18. Abbau eines Versuchspolters zur Lagerung von Fichtenholz in Schutzgasatmosphäre.



Abbildung 19. *Clonostachys solani* (hier in Form von wattigem Mycel unter sauerstoffarmer Atmosphäre) ist ein Antagonist von Bläuepilzen.



Abbildung 20. Holzzerstörende Basidiomyceten bilden typische Mycelstränge auf den Stirnflächen der ungeschützten Stämme.

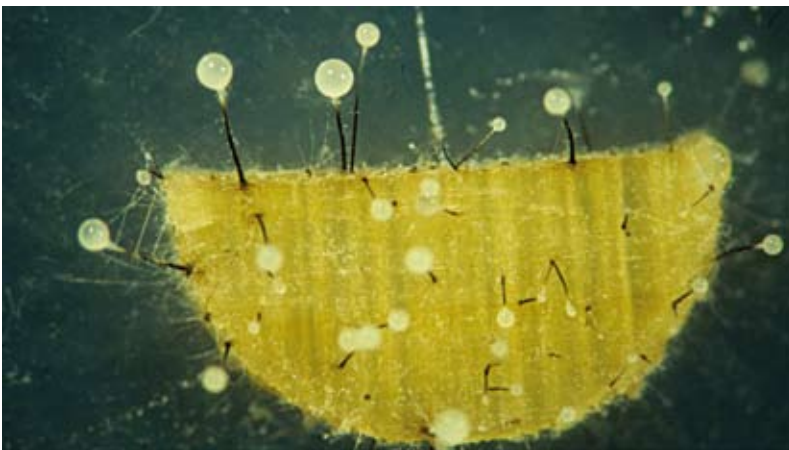


Abbildung 22. Der Bläuepilz *Ophiostoma piceae* auf einer Holzprobe in Agarkultur.