

recht umfassend. Man kann eine kürzere Umtriebszeit des Waldes, eine höhere quantitative und qualitative Produktion und weitere Möglichkeit den Verband auszudehnen, um dadurch die Forstkulturen zu verbilligen, erwarten. Mit anderen Worten, dies würde größere ökonomische Voraussetzungen für die Forstwirtschaft in ihrer Ganzheit schaffen und damit die Möglichkeiten für eine intensivere und allgemein durchgeführte Forstpflge verbessern.

Aber das wird auch Forderungen nach einer bedeutend größeren Kapazität und einer moderneren Technik bei den Forstpflanzschulen stellen.

Noch ist die Plantagensamenproduktion nicht angelaufen, aber wenn es soweit ist, muß alles beizeiten so geordnet sein, damit dieses wertvolle Forstkultivierungsmaterial wirklich auf eine zufriedenstellende Art und Weise gepflanzt werden kann, um von solchem Nutzen zu werden, wie es die ganze Veredlungsarbeit erwartet.

Man könnte einwenden, daß das, was nun an den verschiedenen Orten in dieser Frage getan wird, auf Hypothesen beruht und daß Hypothesen keine Tatsachen sind, selbst wenn sie ziemlich gut begründet erscheinen. Es ist auch mit ziemlicher Sicherheit zu erwarten, daß jedes Programm, das wir heute zu machen versuchen, mit fortschreitender Arbeit Änderungen unterworfen werden wird. Aber das ist eine Tatsache, die aller menschlichen Tätigkeit zugrunde liegt und das befreit uns nicht von der Notwendigkeit, schon jetzt das Bestmögliche zu tun, mit dem Ausgangspunkt von jener Lage, die wir heute klar überblicken können. Darum ist es besonders erfreulich, daß nun auf die Initiative der Forstverwaltung und des Forstforschungsinstitutes hin ein Zusammenarbeitsausschuß mit den Repräsentanten des gesamten schwedischen Forstwesens gebildet worden ist, mit der Aufgabe seine Aufmerksamkeit diesen Fragen zu widmen. Dies dürfte dafür bürgen, daß nichts von wesentlicher Bedeutung übersehen wird, was zu einer allgemein annehmbaren Lösung des gesamten Problems führt.

Über die Änderung der dynamischen Festigkeit und der chemischen Zusammensetzung des Holzes durch den Angriff holzzerstörender Pilze

Von H. VON PECHMANN und O. SCHAILE

(Veröffentlichung des Instituts für Holzkunde und Forstnutzung der Forstlichen Forschungsanstalt München)

Mit 17 Abbildungen

Einleitung

Die nachstehend besprochenen Untersuchungen stellen die Fortführung von Arbeiten dar, die R. TRENDELENBURG vor etwa 10 Jahren begonnen und über die er 1940 einen ersten Bericht (30) veröffentlicht hat. Sein früher Tod hinderte ihn daran diese Versuche weiterzuführen und auszuwerten. Außer der ursprünglichen Versuchsfrage: Der Eignung der Schlagbiegeprüfung zum Nachweis einer erfolgten Pilzzerstörung, ergaben sich im Laufe der Arbeit noch weitere Fragestellungen, die auch zur mikroskopischen

und chemischen Untersuchung anreizten. In ihrer Gesamtheit scheinen die verschiedenartigen Versuchsergebnisse zu unserer Kenntnis der Pilzbiologie und der im Holz durch die Pilze bewirkten Abbauvorgänge einiges beizutragen, so daß eine kurze Darstellung der wesentlichen Resultate gerechtfertigt erscheint.

Die mykologischen Untersuchungen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, hat Fräulein ELISABETH GRAESSLE mit großer Gewissenhaftigkeit vorgenommen. Die chemischen Analysen hat Regierungschmierat Dr. O. SCHAILE ausgeführt. Ermöglicht wurden die Arbeiten in der Hauptsache durch die geldliche Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft, wofür an dieser Stelle der geziemende Dank ausgesprochen sei.

Über die Lebensbedingungen der holzerstörenden Pilze, besonders über ihre Ansprüche an Temperatur und Feuchtigkeit sind wir durch die Forschungen der letzten Jahrzehnte ziemlich gut unterrichtet. Weniger gründlich ist unsere Kenntnis der Abbauvorgänge. Verschiedene Untersuchungen haben sich zwar schon vor längeren Jahren mit der Zusammensetzung vermorschter Hölzer beschäftigt, doch handelt es sich dabei vor allem um schon weitgehend abgebautes Holz; auch fehlen meist Angaben über die Dauer der Pilzeinwirkung. Praktische Bedeutung haben aber weniger Analysen völlig vermorschten Holzes, als vielmehr Untersuchungen über den Einfluß kurzfristigen Pilzangriffs auf die Holzeigenschaften. Daß faules Holz für nahezu alle Verwendungszwecke wertlos ist und insbesondere keine Festigkeit mehr aufweist, ist allgemein bekannt. Hingegen herrscht bei vielen Holzverbrauchern eine völlige Unkenntnis über die Beeinträchtigung der Brauchbarkeit, die schon beginnende Pilzersetzung am Holz hervorrufen kann. Es ist also von erheblichem Interesse zu erfahren, welche Eigenschaften des Holzes durch die Einwirkung holzerstörender Pilze am raschesten beeinflußt werden, mit welcher Geschwindigkeit der Abbau voranschreitet und welche Zusammenhänge zwischen den einzelnen Abbauerscheinungen und der Festigkeit des Holzes bestehen. Sehr aufschlußreich sind in diesem Zusammenhang die Untersuchungen an verstocktem Rotbuchenholz, die KOLLMANN kürzlich veröffentlicht hat (19).

Der meist benutzte Weiser für einen erfolgten Pilzangriff bzw. für das Maß des Abbaus ist die Gewichtsabnahme des befallenen Holzes, die mit fortschreitendem Substanzverlust immer deutlicher in Erscheinung tritt. Vor allem die Holzschutzmittelprüfung bedient sich dieses leicht anzuwendenden Maßstabes. Leider ist dieser Maßstab besonders im Anfang der Pilzeinwirkung nicht zuverlässig. Das Holz kann nämlich schon beträchtliche Zerstörungen bzw. Änderungen seiner Eigenschaften aufweisen, bevor das Gewicht überhaupt eine merkbare Abnahme zeigt. Die Erklärung für diese Erscheinung hat GÄUMANN (15) gegeben: Viele Pilze zerlegen chemisch mehr Holz als sie verbrauchen können; der Gewichtsverlust gibt daher kein eindeutiges Bild der Gesamteinwirkung. Immerhin steht er in einem festen Verhältnis zu den tatsächlichen Abbauvorgängen. Die erwähnten Zusammenhänge kommen auch in den nachfolgenden Zahlentafeln deutlich zum Ausdruck.

Einen vorzüglichen Überblick über den Stand der Forschung geben CARTWRIGHT und FINDLAY (12).

Um für die Praxis der Holzverwendung sichere Anhaltspunkte zu gewinnen, sind Freilandversuche unentbehrlich, da sie über den Ablauf der Zersetzung unter natürlichen Umständen Auskunft geben. Allerdings haftet

ihnen der Mangel an, daß sie durch viele schwer kontrollierbare Umstände beeinflusst werden und daß sich in der Regel eine Vielzahl von Pilzen gleichzeitig oder aufeinanderfolgend einfindet. Zu den störenden Einflüssen, die eine Verallgemeinerung der Ergebnisse von Freilandversuchen erschweren, gehört auch das für das Gedeihen der Pilze höchst bedeutsame örtliche Kleinklima, sowie der Witterungsablauf des Jahres. So war beispielsweise im Trockensommer 1947 das Pilzwachstum durch die Dürre örtlich stark gehemmt und der Pilzbefall sommergefällter Nadelholzstämmen trotz starker Rißbildung durch das ungemein rasche Trocknen des Holzes auf Schlagflächen und luftigen Lagerplätzen überraschend gering.

Um das Verhalten einzelner Pilzarten zu beobachten, sind wir auf Laboratoriumsversuche angewiesen, die zudem in kürzerer Zeit Ergebnisse bringen als Freilandversuche. Will man sich insbesondere über die Beeinträchtigung der Holzfestigkeit durch Pilzeinwirkung Auskunft verschaffen, so können z. B. Proben aus einem Stammabschnitt verglichen werden, der auf einer Seite Fäulniserscheinungen bzw. Pilzbefall zeigt, während die Gegenseite noch gesund ist — oder es müssen Proben gleichen Holzes über Reinkulturen von Pilzen eine bestimmte Zeit gelagert und dann auf ihre verbliebene Festigkeit geprüft werden, die mit der gesunder Proben verglichen wird.

Auf dem letzteren Verfahren beruhen Untersuchungen von LONGYEAR und CARTWRIGHT (12), die schon nach kurzfristigem Pilzangriff beträchtliche Festigkeitsabnahmen der Proben feststellen konnten, während gleichzeitig das Gewicht noch nicht nennenswert beeinflusst war. Ähnliche Versuche von LIESE und STAMER (23) ergaben eine recht beachtliche Abnahme der Druckfestigkeit von Kiefernspilnholz, das 1 und 2 Monate dem Angriff des Kellerschwammes (*Coniophora cerebella*) und des echten Hausschwammes (*Merulius domesticus*) ausgesetzt war.

Weitere Arbeiten von CARTWRIGHT (12) und von TRENDELENBURG (30) zeigten, daß die dynamische Festigkeit noch erheblich rascher und nachdrücklicher als die statischen Festigkeitseigenschaften durch die Pilze beeinflusst wird. TRENDELENBURG hat auf Grund dieser Feststellungen eine sehr brauchbare Methode entwickelt, die mittels der Schlagbiegeprüfung die Pilzerstörung jeden Grades mit großer Sicherheit nachzuweisen gestattet. Alle nachstehend besprochenen Versuchsergebnisse sind nach diesem, von TRENDELENBURG vorgeschlagenen Schlagbiegeverfahren gewonnen worden.

Untersuchungsmaterial und Verfahren

Im folgenden wird über die Ergebnisse einiger Versuchsreihen berichtet, die sich über mehrere Jahre erstreckten und in erster Linie die Einwirkung verschiedener Pilzarten auf die dynamische Festigkeit des Holzes zum Gegenstand hatten. Es sollten damit Unterlagen gewonnen werden, um die Brauchbarkeit des Schlagbiegeverfahrens für Zwecke der Holzschutzmittelprüfung beurteilen zu können; deshalb wurden die wichtigsten Testpilze in die Untersuchungen einbezogen. Insgesamt kamen 9 Pilzarten zur Verwendung, nämlich der Kellerschwamm *Coniophora cerebella*, der echte Hausschwamm *Merulius domesticus*, der Porenhau Schwamm *Polyporus vaporarius*, der Tannenblättling *Lenzites abietina*, der Zaunblättling *Lenzites sepiaria*, der Zähling *Lentinus squamosus*, der Eichenwirrling *Daedalea quer-*

cina, der Buntporling *Polystictus versicolor* und *Stereum rugosum*. Sämtliche Pilzkulturen wurden von Normstämmen abgeimpft, die von der Forstlichen Hochschule Eberswalde bezogen wurden. Zum Vergleich wurde ein im Wald abgeimpfter Stamm von *Polystictus versicolor* mitverwendet. Von diesen Pilzarten gehören die ersten sieben, nämlich *Coniophora*, *Merulius*, *Polyporus*, *Lentinus*, *Daedalea* und die beiden *Lenzites*-Arten, die am Fichten- und Tannenholz die bekannte Rotstreifigkeit hervorrufen, zu den sogenannten Destruktionsfäulen. Es sind Pilze, die das Cellulosegerüst des Holzes abbauen, den Ligninanteil aber mehr oder weniger unberührt lassen. Der an Laubholzstöcken und an verarbeitetem Buchenholz im Freien überaus häufige Buntporling sowie *Stereum rugosum* hingegen gehören zur Gruppe der Weißfäulen oder Korrosionsfäulen, die bevorzugt das Lignin, aber auch die übrigen Bestandteile des Holzes aufzehren.

Der Einfachheit halber werden im folgenden die zusammenfassenden Bezeichnungen „Braunfäulen“ und „Weißfäulen“ benutzt¹⁾.

An Holzarten wurden Buche, Fichte und Kiefer verwendet; von der Kiefer neben Splintholz auch einige Kernproben. Ferner in kleinem Umfang noch zwei tropische Laubhölzer, nämlich Okoumé und Abachi.

Wie oben erwähnt, wurden die Versuche nach dem Verfahren durchgeführt, das TRENDELENBURG vorgeschlagen und eingehend beschrieben hat (30). Zum Verständnis des folgenden sei das Wesentliche dieser Methode kurz vorangestellt: Die Pilzkulturen werden in den üblichen Kolleschalen auf mit Nährlösung getränkter Schlifffappe angesetzt. Etwa 14 Tage später, wenn die Kulturen sich gut ausgebreitet haben, werden die Holz-

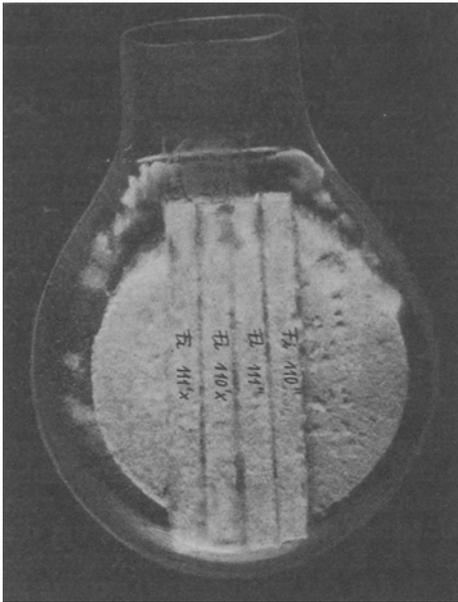


Abb. 1. Kolleschale mit 4 Schlagbiegestäben

proben in die Schalen eingebracht. Soweit entspricht die Arbeitsweise genau der Vorschrift des Normblattes Din DVM 2176, Blatt 1 (Prüfung von Holzschutzmitteln). Lediglich auf die Verwendung von Glasbänken für die Proben wurde verzichtet. Als Holzproben dienten kleine Schlagbiegestäbe in den Abmessungen $8,5 \times 8,5 \times 120$ mm, die einen für die Schlagbiegeprüfung günstigen Schlankheitsgrad besitzen und sich in die Kolleschalen bequem einbauen lassen (Abb. 1). Die Stäbe werden aus astreinen, geradfaserigen Spaltstücken, die doppelte Stablänge und -breite haben, herausgearbeitet (Abb. 2). Man gewinnt auf diese Weise immer vier weitgehend ähnliche Stäbe, die annähernd aus denselben Jahrringen zusammengesetzt sind und daher auch in ihren Festigkeitseigen-

¹⁾ Nach BJÖRKMAN müßte korrekt zwischen Destruktionsfäulen, Korrosionsfäulen und Weißfäulen unterschieden werden. Wir folgen hier der auch von CARTWRIGHT und FINDLAY benutzten Einteilung.

schaften weitgehend übereinstimmen. Von einer solchen Serie werden jeweils 2 Stäbe über den Pilzreinkulturen gelagert, die zwei restlichen aber aufbewahrt²⁾, um an ihnen die zum Vergleich benötigte Festigkeit des gesunden Holzes zu ermitteln. Pilz- und Vergleichsstäbe werden vor Versuchsbeginn im Trockenofen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen; außerdem wird zur Ermittlung der Querschnittsflächen der radiale und tangential Durchmesser mit einer genau arbeitenden Meßschraube bestimmt. Nach Ablauf der Versuchszeit werden die Stäbe aus den Kolleschalen ausgebaut, von anhaftendem Mycel befreit, wieder getrocknet und gewogen um ihre Gewichtsabnahme zu bestimmen und dann, ebenso wie die Vergleichsstäbe, mit einem kleinen Pendelschlagwerk auf ihre Schlagbiegefestigkeit geprüft. Vergleicht man dann die gemittelte Bruchschlagarbeit (in cmkg je cm^2) der 2 Pilzstäbe mit jener der gesunden Stäbe, so ergibt sich die Restfestigkeit und hieraus die „Festigkeitsminderung“ der ersteren; die Einzelwerte der nachstehenden Übersichten beruhen demnach jeweils auf 4 Probestäben, nämlich 2 Pilzstäben und 2 Vergleichsstäben.

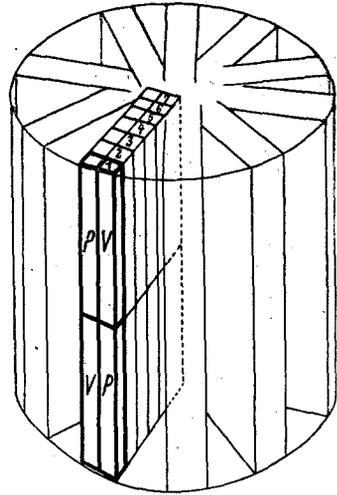


Abb. 2. Schema der Probeentnahme

Die Versuchszeiten wurden von 10 Tagen bis zur Dauer von 50 oder 60 Tagen abgestuft, um den Ablauf der Pilzeinwirkung verfolgen zu können. Einzelheiten hierüber sowie die jeweiligen Probenzahlen sind in den nachfolgenden Zahlentafeln 1 mit 4 enthalten.

Ein Teil der Proben wurde nach Beendigung des mykologischen Versuches noch chemisch untersucht. Um genügend Holzmehl für die Cellulose- bzw. Ligninbestimmung, sowie die NaOH-Auszüge zu gewinnen, wurden jeweils nach dem oben geschilderten Verfahren hergestellte Stabpaare mittels einer feinen Kreissäge verspannt, und zwar von den Pilzstäben wie auch von den zugehörigen (gesunden) Vergleichsstäben. So beruht also jeder Analysenwert in den Zahlentafeln 5 mit 10 jeweils auf 2 Probestäben. Die Celluloseanalysen wurden nach der Methode von KÜRSCHNER (20), die Ligninbestimmungen nach SCHWALBE und ENDER (27) ausgeführt. Die Alkalilöslichkeit wurde mittels 1% Natronlauge nach der Vorschrift der Forest Products Laboratories untersucht.

Ergebnisse der Pilzversuche

Bei den Festigkeitswerten, die in den nachstehenden Zahlentafeln aufgeführt sind, ist zu berücksichtigen, daß die kleinen Stabquerschnitte von 0,72 qcm sehr schnell durchwachsen werden; bei größerem Querschnitt, wie etwa bei Balken, dauert die Zerstörung natürlich entsprechend länger. Immerhin zeigt der Laboratoriumsversuch sehr klar das typische Verhalten der einzelnen Pilzarten. Schon die äußerlich erkennbare Veränderung der Pilzstäbe ist charakteristisch. So bewirkt z. B. der Kellerschwamm, wie der

²⁾ Bei den hier ausgewerteten Versuchsreihen wurden auch die Vergleichsstäbe in Kolleschalen über Nährlösung gelagert.

Zahlentafel 1

Buche

Versuchsdauer Tage	<i>Coniophora cerebella</i>		<i>Merulius domesticus</i>		<i>Polyporus vaporiarius</i>		<i>Polystictus versicolor</i>		<i>Daedalea quercina</i>	
	Gewichts- verlust o/o	Festigkeits- minderung o/o	Gewichts- verlust o/o	Festigkeits- minderung o/o	Gewichts- verlust o/o	Festigkeits- minderung o/o	Gewichts- verlust o/o	Festigkeits- minderung o/o	Gewichts- verlust o/o	Festigkeits- minderung o/o
10	(8) +1,0 +1,9...0,2	(8) 27 4...66	(4) +0,4 +0,4...+0,5	(4) 8 4...12	(6) +0,6 ¹⁾ +0,6...+0,8	(6) 6 1...11	(6) 0,5 ¹⁾ +0,1...1,2	(6) 23 20...28	—	—
20	(4) 2,5 0,6...4,7	(4) 61 36...82	(8) 1,3 ²⁾ 0,0...3,3	(8) 31 4...60	(7) 0,4 0,0...1,5	(7) 32 14...62	(4) 2,1 1,5...3,2	(4) 26 22...30	—	—
30	(11) 6,5 1,9...8,8	(11) 84 61...94	(20) 2,6 0,7...7,8	(20) 56 13...94	(18) 3,8 1,9...5,8	(18) 71 38...85	(10) 7,7 5,6...9,0	(10) 45 37...50	(6) 0,5 0,2...1,0	(6) 17 5...37
40	(16) 8,0 4,3...11,3	(16) 85 60...96	(11) 9,2 5,9...13,2	(11) 92 86...96	(6) 8,1 7,3...9,5	(6) 89 87...94	(6) 10,9 ³⁾ 9,0...13,1	(6) 60 54...66	(6) 3,4 2,8...4,0	(6) 54 49...57
50	(13) 12,0 9,3...15,5	(13) 91 86...93	(4) 15,7 13,3...18,7	(4) 96 95...98	(4) 12,2 11,5...13,7	(4) 94 93...95	(8) 13,9 11,5...17,8	(8) 66 52...77	(6) 6,9 5,8...9,4	(6) 86 80...93
60	—	—	—	—	—	—	—	—	(6) 9,5 8,1...11,7	(6) 92 87...95

Die in Klammern gesetzten Zahlen bedeuten die Anzahl der Werte, die auf je 2 Pilzstäben und 2 Vergleichsstäben beruhen.

¹⁾ Hierbei auch einige Werte mit 15 tägiger Versuchsdauer.

²⁾ Hierbei auch einige Werte mit 25 tägiger Versuchsdauer.

³⁾ Hierbei auch einige Werte mit 45 tägiger Versuchsdauer.

Zahlentafel 2
Fichte

Versuchsdauer Tage	<i>Coniophora cerebella</i>		<i>Merulius domesticus</i>		<i>Polyporus vaporarius</i>		<i>Lenxites abietina</i>		<i>Lenxites septaria</i>	
	Gewichts- verlust %/o	Festigkeits- minderung %/o	Gewichts- verlust %/o	Festigkeits- minderung %/o	Gewichts- verlust %/o	Festigkeits- minderung %/o	Gewichts- verlust %/o	Festigkeits- minderung %/o	Gewichts- verlust %/o	Festigkeits- minderung %/o
10	(3) + 0,9 + 1,4 ... + 0,5	(3) 15 12 ... 18	(4) + 0,3 + 0,5 ... + 0,2	(4) 12 1 ... 22	(4) + 0,3 ¹⁾ + 0,6 ... 0,0	(4) ²⁾ 15 10 ... 23	—	—	—	—
20	(4) 2,3 ²⁾ 2,0 ... 2,9	(4) 55 50 ... 63	(4) 1,5 1,2 ... 1,8	(4) 55 36 ... 78	(14) 2,2 ³⁾ 0,6 ... 4,4	(14) 43 21 ... 58	(3) 0,4 0,2 ... 0,6	(3) 13 5,6 ... 18	—	—
30	(12) 5,4 2,5 ... 9,6	(12) 62 45 ... 76	(6) 3,2 1,8 ... 4,4	(6) 62 44 ... 84	(12) 7,0 4,2 ... 8,2	(12) 72 66 ... 80	(6) 2,2 1,2 ... 3,3	(6) 22 12 ... 28	(2) 0,8 0,7 ... 1,0	(2) 34 33 ... 36
40	(8) 13,3 ⁴⁾ 6,3 ... 19,1	(8) 82 67 ... 93	(8) 6,0 3,6 ... 8,2	(8) 72 62 ... 88	(4) 12 9,6 ... 15,0	(4) 86 82 ... 89	(6) 4,4 3,1 ... 5,6	(6) 30 16 ... 43	(2) 4,2 3,7 ... 4,8	(2) 59 58 ... 59
50	—	—	(8) 8,0 4,5 ... 13,4	(8) 78 58 ... 93	(2) 17,7 17,2 ... 18,2	(2) 91 91 ... 92	(20) 15,1 ⁴⁾ 5,6 ... 26,8	(20) 75 18 ... 98	(4) 9,1 5,4 ... 12,9	(4) 75 63 ... 90
60	—	—	—	—	—	—	—	—	(10) 12 6,6 ... 17,4	(10) 84 62 ... 95

Die in Klammern gesetzten Zahlen bedeuten die Anzahl der Werte, die auf je 2 Pilzstäben und je 2 Vergleichsstäben beruhen.

1) Hierbei einige Werte mit 15 tägiger Versuchsdauer.

2) Hierbei einige Werte mit 16- und 23 tägiger Versuchsdauer.

3) Hierbei einige Werte mit 18- und 25 tägiger Versuchsdauer.

4) Ergänzt mit einer neuen Versuchsreihe, deren Werte nur auf einem Pilzstab und einem Vergleichsstab beruhen.

Zahlentafel 3
Kiefer (Splint)

Versuchsdauer Tage	<i>Coniophora cerebella</i>		<i>Lentinus squamosus</i>		<i>Polyporus vaporarius</i>	
	Gewichtsverlust %	Festigkeitsminderung %	Gewichtsverlust %	Festigkeitsminderung %	Gewichtsverlust %	Festigkeitsminderung %
10	(4) 0,9 ¹⁾ + 0,5...1,7	(4) 37 ¹⁾ 19...49	(1) + 0,1	(1) 6	(4) + 0,6 + 0,5... + 0,7	(4) 7 + 3...12
20	(11) 4,2 ²⁾ 2,6...5,7	(11) 59 ²⁾ 49...69	(2) 0,8 0,6...0,9	(2) 21 17...25	(2) 2,7 2,1...3,2	(2) 45 40...50
30	(6) 5,4 3,9...6,6	(6) 59 34...71	(2) 4,1 3,8...4,3	(2) 51 44...59	(3) 6,0 5,8...6,9	(3) 62 52...67
40	(6) 8,5 7,3...9,6	(6) 76 68...81	(2) 6,2 6,0...6,5	(2) 76 74...77	(2) 11,4 11,2...11,7	(2) 87 86...89
50	(7) 16,4 ⁴⁾ 10,7...26,6	(7) 79 ⁴⁾ 61...93	(7) 9,2 ³⁾ 8,1...10,4	(7) 83 ³⁾ 79...85	(22) 16,6 ⁴⁾ 9,6...24,2	(22) 93 ⁴⁾ 79...100

Die in Klammern gesetzten Zahlen bedeuten die Anzahl der Werte, die auf je 2 Pilzstäben und je 2 Vergleichsstäben beruhen.

¹⁾ Hierbei auch Werte mit 15 tägiger Versuchsdauer.

²⁾ Hierbei auch Werte mit 25 tägiger Versuchsdauer.

³⁾ Hierbei auch Werte mit 55 tägiger Versuchsdauer.

⁴⁾ Ergänzt mit einer neuen Versuchsreihe, deren Werte nur auf einem Pilzstab und einem Vergleichsstab beruhen.

Hauschwamm, nach 30—40 Tagen eine kräftige Bräunung, der Porenhauschwamm eine mehr graurötliche, rosenholzartige Tönung, die Weißfäulepilze erzeugen eine schmutzig gelbweiße Verfärbung, die vom gesunden Holz deutlich absticht. Noch kennzeichnender aber ist das Bild der Schlagbiegebrüche. Schon nach 30—40 Tagen zeigt bei allen Holzarten ein kurzfasriger stumpfer Bruch, daß das Holz spröde geworden ist; besonders auffällig ist diese Erscheinung bei den Buchenstäben, die ausschließlich muschelige, stumpfe oder treppenförmige Bruchflächen zeigen. Dazu kommt bei Buche ein häufiges Auftreten von Scherbrüchen mit einem Aufspalten in der Markstrahlenebene, allerdings nur unter der Einwirkung der Braunfäulepilze: 26 % der Buchenstäbe, die 30 und mehr Tage vom Hauschwamm, Porenhauschwamm und Kellerschwamm angegriffen wurden, zeigen diese auffällige Spaltung (Abb. 3). Bei den Weißfäulen kommen Scherbrüche ebensowenig vor wie bei den gesunden Proben. Das rasche Nachlassen der Scherfestigkeit, das sich hier ausprägt, erklärt sich vielleicht dadurch, daß die Markstrahlen von den Braunfäulen — wie die mikroskopische Untersuchung zeigt — immer besonders rasch zerstört werden; vermutlich bildet der Nährstoffvorrat des Markstrahlengewebes einen besonderen Anreiz für die Pilze.

Eine Übersicht über die erzielte Festigkeits- und Gewichtsabnahme findet sich in den Zahlentafeln 1—4. Als wesentlichste Ergebnisse lassen sich daraus folgende entnehmen:

Alle Braunfäulepilze haben im Verlauf von einigen Wochen die dynamische Festigkeit der Proben nahezu restlos zerstört. In der Geschwindigkeit des Abbaues ergaben sich zwischen den einzelnen Pilzarten allerdings gewisse Unterschiede. Als besonders zerstörungskräftig erwiesen sich der Kellerschwamm, der an Buche schon nach 30 Tagen eine durchschnittliche Festigkeitsminderung von 84 % erzielte, der Porenhau schwamm und der echte Hauschwamm; etwas langsamer wirken die Rotstreifepilze und der Eichenwirrling. Der typische Abbauverlauf, der nach wenigen Wochen zu einem nahezu völligen Verlust der dynamischen Festigkeit der Proben führt, ist aber allen untersuchten Braunfäulen gleichmäßig eigen. Einen Vergleich verschiedener Pilze zeigt die Abb. 4. Offensichtlich benötigen die Pilze eine verschieden lange Anlaufzeit; ist diese überwunden, so verläuft die Kurve des Eichenwirrlings aber fast genau so wie die des echten Hauschwamms. Aus der Zahlentafel 1, wie aus der Abbildung wird weiterhin deutlich, daß der Weißfäulevertreter *Polystictus versicolor* sich stark abweichend von den Braunfäulen verhält. Er zeigt zwar schon eine sehr frühzeitig einsetzende, aber in der weiteren Folge mehr allmähliche Einwirkung auf die Festigkeit. Die *Polystictus*-Kurve fällt nicht annähernd so steil ab wie die Kurven der Braunfäulepilze.

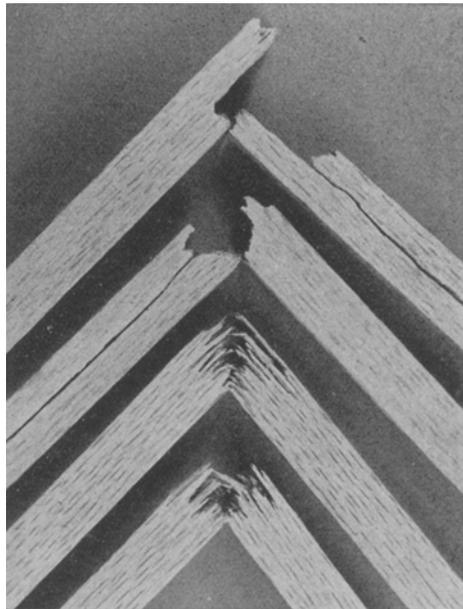


Abb. 3. Schlagbiegebruch von Pilzstäben (Buche; *Coniophora cerebella*, Versuchsdauer 50 Tage) und (unten) von gesunden Vergleichsstäben

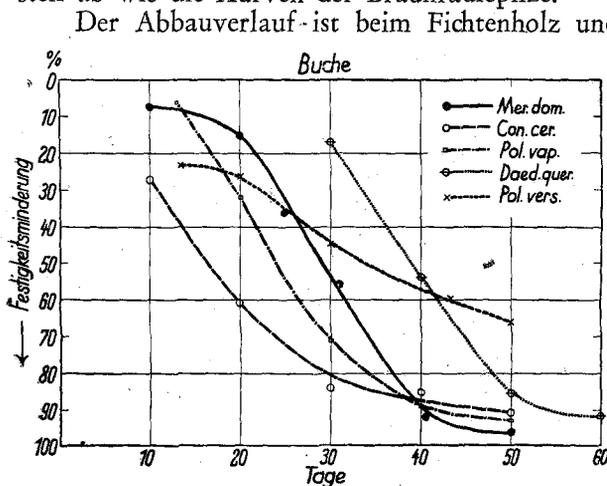


Abb. 4. Verlauf des Festigkeitsabbaues von Buchenholz durch den Angriff von *Merulius domesticus*, *Coniophora cerebella*, *Polyporus vaporarius*, *Daedalea quercina*, *Polystictus versicolor*

Der Abbauverlauf-ist beim Fichtenholz und Kiefernspiltholz grundsätzlich derselbe wie beim Buchenholz. Doch scheint beispielsweise der Hauschwamm im Buchenholz zunächst etwas langsamer Fuß zu fassen, wie im Nadelholz; aber schon nach 4 Wochen wandelt sich das Bild und die verbliebene Festigkeit der Buchenstäbe bricht nun rasch vollständig zusammen (Abb. 5).

Das Kiefernkerholz ist erheblich dauerhafter und gegenüber dem Angriff der meisten Pilzarten viel widerstandsfähiger,

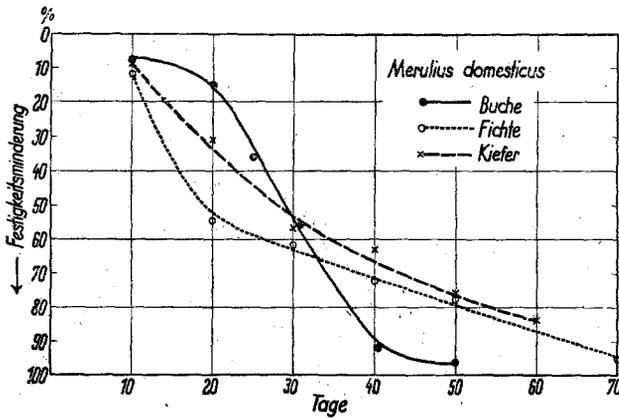


Abb. 5. Zeitlicher Verlauf der Festigkeitsminderung von Buche, Fichte und Kiefer unter der Einwirkung von *Merulius domesticus*

wie Kiefernspint- oder wie Fichten-, Tannen- oder Buchenholz. Dies kommt sehr gut dadurch zum Ausdruck, daß *Merulius domesticus* und *Coniophora cerebella* in 60 Tagen erst eine ganz geringe Festigkeitsminderung des Kiefern Kernholzes bewirken konnten. Eine Gewichtsabnahme war nach dieser Zeit überhaupt noch nicht festzustellen. Hingegen vermögen der Zählung

und der Porenhausschwamm auch das Kiefern Kernholz sehr wirksam zu zerstören, wenn auch nicht ganz so rasch, wie das Splintholz (Zahlentafel 4).

Von den tropischen Weichhölzern liegen nur wenige Werte vor, aus denen keine weitgehenden Schlüsse gezogen werden können. An Abachiholz ergaben die beiden benutzten Pilzarten *Polystictus versicolor* und *Merulius domesticus* deutliche Ausschläge. Okouméholz hingegen scheint Kernstoffe zu enthalten, die dem Hausschwamm den Angriff erschweren. Bis zur Dauer von 40 Tagen war bei dieser Holzart durch Hausschwammangriff kein Gewichtsverlust festzustellen; auch die Festigkeitsminderung war kaum nennenswert. *Polystictus* scheint Okoumé eher anzugreifen (Gewichtsverlust bis 8,7 % bei gleichzeitiger Festigkeitsminderung um 56 %).

Zahlentafel 4
Kiefer (Kern)

Versuchsdauer Tage	<i>Lentinus squamosus</i>		<i>Polyporus vaporarius</i>	
	Gewichtsverlust %	Festigkeitsminderung %	Gewichtsverlust %	Festigkeitsminderung %
20	0,2	5	+ 0,8	27
	0,0	21	0,6	9
	0,1	13	+ 0,2	18
30	2,0	56	1,1	38
	1,6	43	1,8	55
	1,8	50	3,8	58
40	3,9	62	4,0	30
	3,3	64		
	3,6	63		
50	5,0 ¹⁾	50 ¹⁾	4,0	55
	6,5	61	13,2	87
	5,7	55	8,6	71

¹⁾ Versuchsdauer 55 Tage.

Zu den Versuchen wurde ausgesuchtes, geradfaseriges Holz verwendet. Es muß aber erwähnt werden, daß man bei der Wiederholung eines mykologischen Versuches mit gewissen Abweichungen der Ergebnisse rechnen muß. Sie werden hervorgerufen durch die unterschiedliche natürliche Widerstandskraft des Holzes, die bei allen Baumarten gegeben ist. Es sei nur an das von MAYER-WEGELIN (24) festgestellte raschere Verstocken von Buchen, die auf Kalkböden erwachsen sind, gegenüber Buntsandsteinbuchen erinnert oder an den von GAUMANN nachgewiesenen Einfluß der Meereshöhe auf die Dauerhaftigkeit des Lärchenholzes (15). Auch die Pilzstämme zeigen in ihrem Verhalten gewisse Schwankungen und ein örtlich vorkommender Stamm kann in Wüchsigkeit und Zerstörungskraft, vermutlich auch in seinen Ansprüchen an die Lebensbedingungen von den benutzten Normstämmen abweichen. Dies zeigte beispielsweise der Vergleich zwischen einer im Wald abgeimpften Kultur von *Polystictus versicolor* mit dem Normstamm: Die neue Kultur erwies sich zwar unter den gegebenen Verhältnissen als etwas weniger zerstörungskräftig, aber der typische Abbauverlauf war genau derselbe (Abb. 6).

Kennzeichnend für das Verhalten der Pilze ist auch das Verhältnis der bewirkten Festigkeitsminderung zum erzielten Gewichtsverlust der Holzproben. Daß die Pilzarten in dieser Hinsicht nicht gleichmäßig arbeiten, sondern daß bei gleichem Gewichtsverlust des Holzes verschieden starke Festigkeitsminderungen erfolgen können, wurde schon von LIESE und STAMER (23) festgestellt. Sehr eng erscheint der Zusammenhang zwischen beiden Größen beim Porenhaußschwamm zu sein (Abb. 7), ganz ähnlich bei den übrigen Braunfäulen. Nur der Tannenblätling — *Lenzites abietina* — zeigt eine weniger klare Übereinstimmung; er bewirkte im Gegensatz zu den übrigen Pilzen bei einem Teil der Proben zwar eine intensive Zerstörung der äußersten Holzschichten, aber nur geringe Tiefenwirkung. Bemerkenswert ist das von den Braunfäulen stark abweichende Verhalten des Buntporlings, der das Gewicht verhältnismäßig rascher als die Braunfäulen beeinträchtigt (Abb. 8). Auch bei Abbau durch diesen Pilz besteht offensichtlich zwischen Festigkeitsminderung und Gewichtsabnahme ein sehr enges Verhältnis,

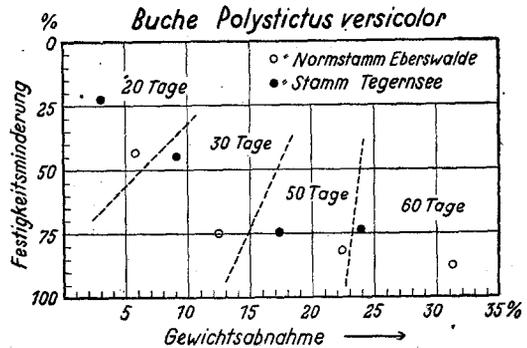


Abb. 6. Vergleich zwei verschiedener Stämme von *Polystictus versicolor* an Buchenholz

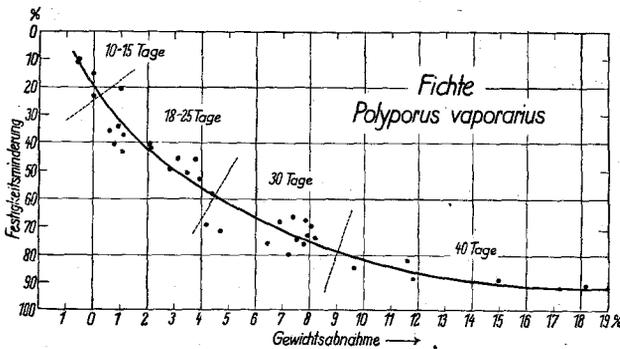


Abb. 7. Festigkeitsminderung und Gewichtsabnahme von Fichtenholz durch die Einwirkung von *Polyporus vaporarius*

ist das von den Braunfäulen stark abweichende Verhalten des Buntporlings, der das Gewicht verhältnismäßig rascher als die Braunfäulen beeinträchtigt (Abb. 8). Auch bei Abbau durch diesen Pilz besteht offensichtlich zwischen Festigkeitsminderung und Gewichtsabnahme ein sehr enges Verhältnis,

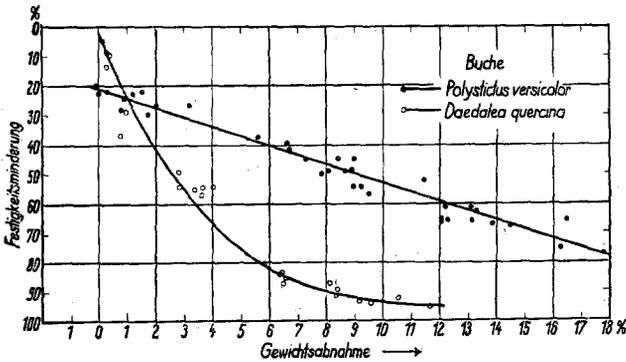


Abb. 8. Festigkeitsminderung und Gewichtsabnahme von Buchenholz durch die Einwirkung von *Polystictus versicolor* und *Daedalea quercina*

wie aus Abb. 8 deutlich hervorgeht; nur entsprechen denselben Gewichtsverlusten bei den Destruktionsfäulen erheblich höhere Festigkeitseinbußen. Der Vergleich der beiden Kurven auf der Abbildung macht deutlich, daß der Buntporling Gewicht wie Festigkeit gleichmäßig fortschreitend verringert, während die Festigkeit stärker

der Eichenwirrling als typischer Destruktionsfäulepilz als jener beeinträchtigt.

Das Verhältnis zwischen Gewichtsabnahme und Festigkeitsminderung ist bei den typischen Braunfäulen, wie *Polyporus vaporarius*, *Coniophora cerebella* und *Merulius domesticus* annähernd dasselbe. Wenn 5% Gewichtsverlust erreicht sind, hat die Festigkeit schon um rund 60% abgenommen. Berechnen wir z. B. bei Kiefernproben, die von *Lentinus squamosus* angegriffen wurden, den Wert des Quotienten Festigkeitsminderung in Prozent : Gewichtsverlust in Prozent, so ergeben sich für die verschiedenen Versuchszeiten folgende Werte:

30 Tage	27,9
40 „	17,7
60 „	11,7
70 „	10,3

Die Schlagbiegeprüfung liefert also schon nach kurzfristiger Pilzeinwirkung sehr deutliche Ausschläge und ist daher ein besonders empfindlicher Weiser für eine beginnende Pilzerstörung des Holzes.

Untersuchungen der statischen (Druck-, Zug-, Biege- usw.) Festigkeit wurden bei den hier besprochenen Versuchsreihen nicht vorgenommen. Über verschiedene Festigkeitsprüfungen an rotstreifigem Fichtenholz soll in anderem Zusammenhang berichtet werden. Um aber die hohe Empfindlichkeit der dynamischen Festigkeit zu unterstreichen, seien zum Vergleich einige aus dem Schrifttum entnommene Angaben über die Abnahme der statischen Festigkeit bei Pilzangriff beigefügt.

Die Verminderung der Druckfestigkeit von Kiefernholz durch den Angriff von *Coniophora cerebella* und *Merulius domesticus* wurde von LIESE und STAMER (23) untersucht. Vergleichen wir beispielsweise die dabei mit *Coniophora* erzielten Ergebnisse mit unseren Zahlen in der nachstehenden Übersicht, so sehen wir, daß die dynamische Festigkeit durch den Pilzangriff viel rascher zerstört wird als die statische Druckfestigkeit (s. Tabelle S. 453).

Auch aus den von ARMSTRONG (1) veröffentlichten Kurven kann man entnehmen, daß die Abnahme der Druck- und Biegefestigkeit von Fichtenholz durch den Angriff von *Trametes serialis* bei weitem nicht so hoch ist, als die Minderung der Schlagbiegefestigkeit, die wir bei gleichem Gewichtsverlust unter der Einwirkung verschiedener Braunfäulen feststellen konnten.

Versuchsdauer	Gewichtsverlust %	Abnahme der Druckfestigkeit %	Gewichtsverlust %	Abnahme der Schlagbiegefestigkeit %
30 Tage . . .	7 6	27,7 16,7	5,4	59,2
60 Tage . . .	13 13	51,7 49,2	8,9	80,0

nach LIESE und STAMER

Das Bild rundet sich ab, wenn man noch die Feuchtigkeit zum Vergleich heranzieht, die die pilzbefallenen Probestäbe beim Ausbau aus den Kollerschalen aufweisen. Auch in dieser Hinsicht unterscheiden sich nämlich die Braunfäulepilze wieder scharf von den Weißfäulen. Besonders unter dem Einfluß der ersteren waren die Proben immer erheblich feuchter als die ebenso in Kollerschalen über Nährlösung gelagerten gesunden Vergleichsstäbe. Einzelne Pilzarten, insbesondere *Merulius domesticus*, *Lenzites sepiaria* und *Coniophora cerebella* bewirken eine zunehmende Feuchtigkeit des befallenen Holzes mit Dauer und Stärke des Angriffs (Abb. 9). Daß *Merulius*-krankes Holz sehr begierig Wasser aufsaugt, hat im übrigen bereits R. HARTIG (17) beobachtet. FALCK hat gezeigt, daß von *Lenzites sepiaria* zersetztes Holz wesentlich mehr Wasser als gesundes Holz aufzunehmen vermag und das Wasser sehr schnell aufsaugt (13). Es scheint also eine Steigerung der Affinität des Holzes zum Wasser durch diese Braunfäulen herbeigeführt zu werden, was, wie G. THEDEN (29) andeutet, durch die vom Pilz verursachte Auflockerung des Zellwandgefüges bewirkt sein mag, im übrigen aber auch mit dem durch die Pilzenzyme bewirkten chemischen Vorgang der Hydrolyse im Zusammenhang stehen kann.

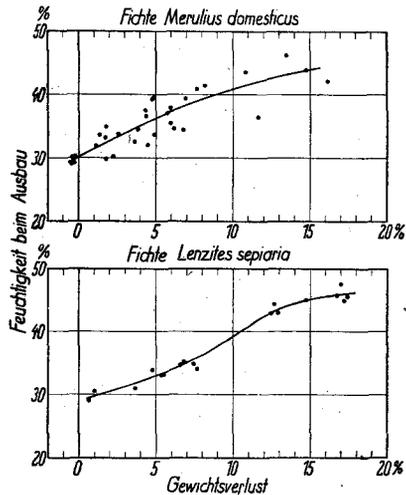


Abb. 9. Ausbaufeuchtigkeit und Gewichtsverlust von Fichtenstäben unter der Einwirkung von *Merulius domesticus* und *Lenzites sepiaria*

Durch den Weißfäulepilz *Polystictus versicolor* wird hingegen die Substratfeuchtigkeit nicht erhöht, sondern vielmehr zunächst verringert, wie aus Abb. 10 deutlich hervorgeht. Als Ergänzung dazu hat das Ergebnis einiger Versuchsreihen mit vergleichsweiser Verwendung von gedarrtem und waldfrischem Holz Interesse, aus denen sich ergab, daß *Polystictus* trotz hinreichendem Feuchtigkeitsvorrat in den Kollerschalen durch die Trockenheit des gedarrten Holzes offensichtlich in seinem Angriffsvermögen behindert wurde. Auf die Wiedergabe weiterer Einzelheiten aus diesen Versuchsreihen muß aus Raummangel verzichtet werden. Die vorstehende Feststellung, die sich im übrigen mit Untersuchungsergebnissen von BAVENDAMM (4) deckt, hat insofern praktische Bedeutung, als sie den besonderen Wert guter Trocknung von Buchen- und sonstiger empfindlicher Laubholzschnittware unterstreicht.

Im übrigen sind die Festigkeitsuntersuchungen an pilzkranken Hölzern auch für die praktische Holzverwendung von erheblichem Interesse. Der

Umstand, daß von allen mechanischen Eigenschaften die dynamische Festigkeit des Holzes bei weitem am stärksten beeinträchtigt wird und daß schon eine beginnende Pilzeinwirkung eine sehr beträchtliche Minderung der Festigkeit hervorrufen kann, weist nachdrücklich auf die großen Gefahren hin,

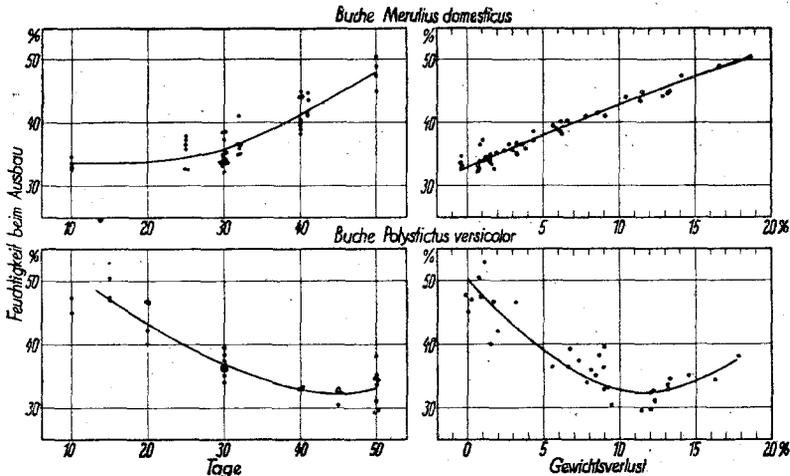


Abb. 10. Ausbaufeuchtigkeit von Buchenstäben unter der Einwirkung von *Merulius domesticus* und *Polystictus versicolor*

die mit der Verwendung auch nur leicht anbrüchigen oder unzureichend geschützten und der Fäulnis ausgesetzten Holzes verbunden sind. In der Praxis tritt ein Bruch von hölzernen Baugliedern, von Brückenträgern, Geländern, Fahrzeugteilen usw. nur selten durch statische Belastung, sondern in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle durch dynamische Überbeanspruchung, also durch plötzliche Belastung (Schlag, Stoß usw.) ein. Wie die Untersuchungen ergaben, bewirken die wichtigsten Lagerfäulen sämtlich ein rasches Sprödwerden des Holzes, wenn sich auch bei stärkeren Holzdurchmessern dieser Vorgang nicht in Tagen, wie bei den Versuchsstäben, sondern in Monaten vollzieht. Braunfäulebefall, auch noch geringen Grades mit erst schwacher Verfärbung, Rotstreifigkeit usw. ist bereits ein nicht zu übersehendes Anzeichen schwindender dynamischer Festigkeit.

Das mikroskopische Bild der Pilzstäbe

Von Holz, das durch Pilzangriff seine Festigkeit verloren hat und das schon äußerlich an der Farbänderung oder auch mittels der Nagelprobe als faul oder anbrüchig zu erkennen ist, wäre zu erwarten, daß es auch in mikroskopischer Vergrößerung deutliche Anzeichen des Abbaues aufweisen würde. Daß dies nicht in dem zu vermutenden Ausmaß der Fall ist, wurde schon von verschiedenen Autoren festgestellt. Beim Ausführen von Mikrotomschnitten offenbart sich allerdings die starke Hinfälligkeit des pilzkranken Holzes und es lassen sich brauchbare Schnitte, besonders Querschnitte, nur nach sorgfältigem Einbetten herstellen. Allerdings ist Pilzmycel schon nach wenigen Wochen des Angriffs überall im Holz der Proben anzutreffen. Wesentlich erleichtert wird diese Feststellung, wenn man die Pilzfäden mittels der von CARTWRIGHT (11) vorgeschlagenen Färbemethode mit Safranin und Pikrinanilinblau besser sichtbar macht. Sie erscheinen dann

schwarzblau auf dem Grund des mattrot gefärbten Holzes und es zeigt sich, daß nahezu jede Zelle Mycel enthält. Weitlumige Organe, wie die Frühholztracheiden des Nadelholzes oder die Laubholzgefäße sind nicht selten von einem dichten Mycelgewirr des Kellerschwamms oder des Porenhau Schwamms ausgefüllt. Auch im Nährgewebe sieht man meist eine Häufung der Mycelfäden. Wiewohl die Proben also schon nach kurzfristiger Pilzeinwirkung nach jeder Richtung dicht durchwachsen sind, bewirkt aber der Angriff der Braunfäulen bis zur völligen Vermorschung keine merkliche Verdünnung der Zellwände. Der Zellverband erscheint auch in fortgeschrittenem Abbaustadium nahezu unverändert, was durch den Ligninanteil bewirkt wird, der selbst bei weitgehender Auflösung der Cellulose die Form der Zellwände aufrecht erhält. Die auffälligste Veränderung ist das Auftreten von Bohrlöchern, die bei manchen Braunfäulen einen viel größeren Durchmesser erreichen als die feinen Mycelfäden. Leicht festzustellen sind z. B. die Bohrlöcher, die der Porenhau Schwamm im Fichtenholz erzeugt und die nach allen Richtungen die Zellwände durchbrechen (Abb. 11). Andere Pilze benützen fast ausschließlich die Tüpfelkanäle. *Lenzites sepiaria* z. B. bewirkt nur vereinzelte und feine Durchbohrungen.

Ein weniger auffälliges Merkmal sind Schwindrisse, die durch manche Braunfäulepilze im Nadel- wie im Buchenholz entstehen können. Sie zeigen sich schon nach 40tägigem Angriff von *Merulius domesticus*, *Polyporus vaporarius* und *Lentinus squamosus*. In fortgeschrittenem Abbaustadium (etwa nach einer Versuchsdauer von 60—70 Tagen) sind die Spätholztracheiden der Kiefer und Fichte durchwegs von den spiralig verlaufenden Rissen durchzogen. Schließlich sind in Kiefernholz, das von *Polyporus vaporarius* oder *Lentinus squamosus* angegriffen ist, längs der Markstrahlen auch gewisse Auflösungserscheinungen festzustellen. Während das übrige Zellgefüge noch unversehrt erscheint, sind die Markstrahlparenchymzellen oft schon teilweise abgebaut; von diesen ausgehend werden auch die benachbarten Tracheidenwandungen in Mitleidenschaft gezogen (Abb. 12, 13). Dauert der Angriff länger wie 60 Tage, so sind oft an Stelle der Markstrahlen nur noch klaffende Spalten vorhanden.

Im ganzen aber sind die sichtbaren Veränderungen der mikroskopischen Struktur beim Vorliegen einer typischen Destruktionsfäule mit schon weit fortgeschrittenem Festigkeitsabbau noch recht geringfügig. Dagegen bewirkt eine Weißfäule, wie sie z. B. *Polystictus versicolor* hervorruft, und wobei alle Bestandteile des Holzes



Abb. 11. Spiegelschnitt durch Fichtenholz mit Myzel von *Polyporus vaporarius* und Bohrlöchern. Versuchsdauer 40 Tage

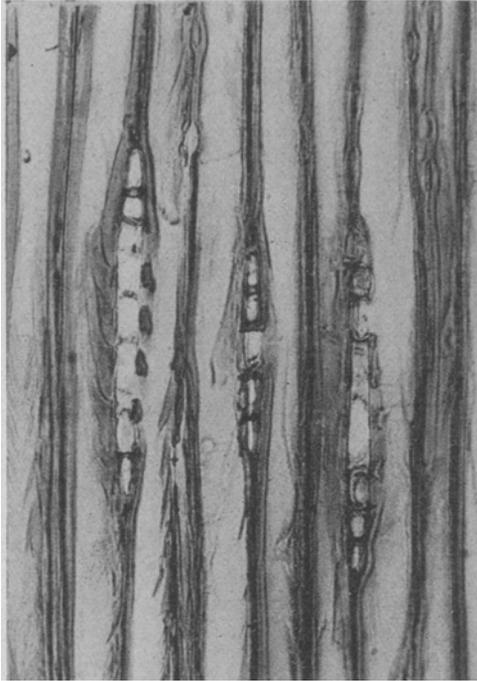


Abb. 12. Fladenschnitt durch Kiefernholz mit Befall von *Polyporus vaporarius*. Versuchsdauer 40 Tage (250 fach)

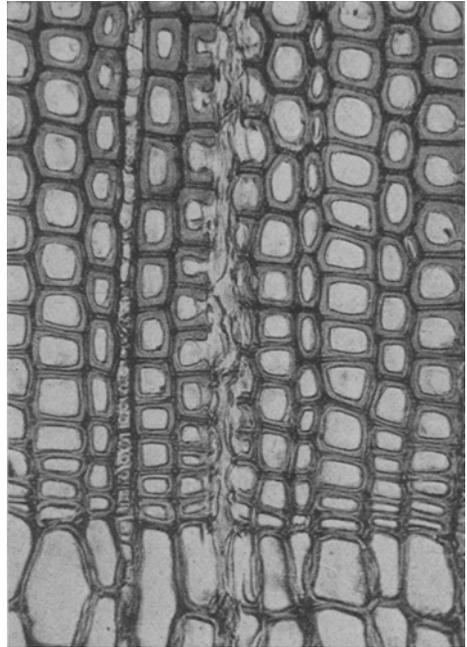


Abb. 13. Querschnitt durch Kiefernholz mit Befall von *Lentinus squamosus*. Versuchsdauer 55 Tage (250 fach)

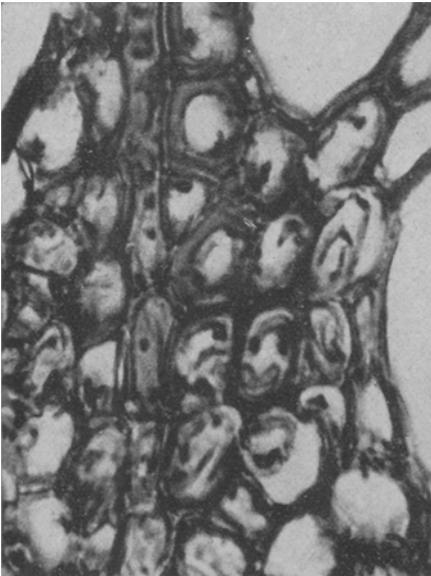


Abb. 14. Querschnitt durch Buchenholz nach 60tägigem Angriff von *Polystictus versicolor*. Die dunklen Punkte sind durchgeschnittene Myzelfäden

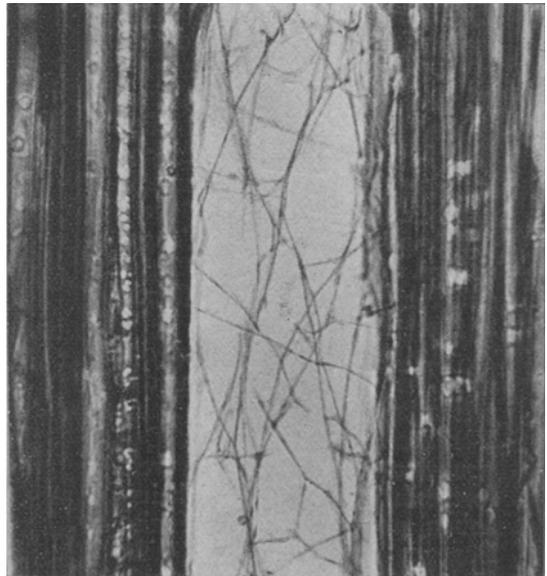


Abb. 15. Spiegelschnitt durch Buchenholz nach 60tägigem Angriff von *Polystictus versicolor*

abgebaut werden, eine deutliche Schwächung der Zellwandungen, die auch im mikroskopischen Bild sichtbar werden kann.

Wieweit die Auflösung der Zellwandungen von Buchenholz-Hartfasern durch 60tägige Einwirkung von *Polystictus* fortgeschritten ist, zeigt in starker Vergrößerung die Abb. 14. Im Längsschnitt durch dasselbe Holz (Abb. 15) erkennt man das feine, straffgespannte Mycel sowie eine Anzahl kleiner Bohrlöcher, die der Buntporling in großer Menge erzeugt.

Weitere Einblicke in die Abbauvorgänge vermittelt nach Untersuchungen von SCHULZE und THEDEN (25) sowie von YAZAWA (31) das Polarisationsmikroskop. An windgeworfenen Tannen- und Fichtenhölzern konnte YAZAWA feststellen, daß sich der Abbau der Cellulose in den Zellwänden durch gewisse holzerstörende Pilze am Verschwinden der Doppelbrechung verfolgen läßt. Bemerkenswert ist, daß durch *Fomes pinicola* und *Lenzites sepiaria*, die beide typische Destruktionsfäulevertreter sind, im Fichtenholz die Doppelbrechung zerstört wurde, während der Angriff von *Polystictus abietinus*, der zur Gruppe der Korrosionsfäulen gehört, die Doppelbrechung nicht beeinflusst hatte.

Chemische Abbauerscheinungen

Die überaus auffällige Tatsache, daß von den mechanischen Eigenschaften die dynamische Festigkeit durch den Angriff bestimmter holzerstörender Pilze am schnellsten vernichtet wird, ist weder aus dem durch den Abbau bewirkten Substanzverlust, noch aus dem mikroskopischen Bild des pilzkranken Holzes zu erklären. Schwer verständlich erscheint ferner, warum bei gleicher Gewichtsabnahme durch die Braunfäulepilze die Festigkeit noch wesentlich gründlicher zerstört wird, als durch die Weißfäulen. Einiges Licht in diese Zusammenhänge bringt ein Vergleich der chemisch feststellbaren Abbauerscheinungen.

In den Zahlentafeln 5 mit 10 finden sich die Ergebnisse einer Anzahl von Analysen solcher Proben, die eine bestimmte Zeit dem Pilzangriff aus-

Zahlentafel 5
Abbau von Fichtenholz durch *Polyporus vaporarius*
Versuchsdauer 30 Tage

1	2	3	4		5		6		7	
			Löslichkeit in 1 % NaOH		Cellulosegehalt					
			Pilzstäbe	Vergleichs-	Pilzstäbe	Vergleichs-	Pilzstäbe	Vergleichs-	Pilzstäbe	Vergleichs-
Nr.	Gewichts-	Festigkeits-		stabe						
	verlust	minderung								
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
241	4,8	51	30,9	10,2	—	—	—	—	—	—
242	5,3	68	30,5	8,5	48,0	52,5	47,5	53,3	54,3	53,3
260	9,5	83	36,0	9,5	46,8	54,3	47,5	53,3	54,3	53,3
261	9,2	80	33,0	10,6	48,7	56,0	45,6	53,7	55,7	52,7
243/244	5,7	62	24,0	11,3	44,8	50,7	46,1	55,7	52,7	50,7
145/246	5,4	61	21,8	10,3	—	—	—	—	—	—
145/146	8,7	77	32,1	9,2	—	—	—	—	—	—
255/156	7,8	76	30,6	8,2	—	—	—	—	—	—
213/214	5,8	53	29,0	10,6	—	—	—	—	—	—
215/225	8,5	71	33,2	8,7	—	—	—	—	—	—
Mittel	7,1	68	30,1	9,7	46,9	53,6	46,9	53,6	53,6	53,6

Unterschied im Mittel

20,4%

6,7%

Zahlentafel 6

Abbau von Buchenholz durch *Daedalea quercina*
Versuchsdauer 40 Tage

1 Nr.	2 Gewichts- verlust %	3 Festigkeits- minderung %	4		5
			Cellulosegehalt		Vergleichsstäbe %
			Pilzstäbe %		
1040	4,3	87	42,7		48,4
1041	6,4	90	42,5		47,6
1042	6,0	91	44,8		49,5
1043	4,4	85	46,1		49,8
1044	3,8	86	45,1		50,0
1045	5,1	87	44,9		49,4
1046	5,1	86	44,1		49,7
1047	3,9	85	45,7		48,6
Mittel	4,9	87	44,5		49,1
Unterschied im Mittel			4,6 %		

Zahlentafel 7

Abbau von Buchenholz durch *Polyporus vaporarius*
Versuchsdauer 30 Tage

1 Nr.	2 Gewichts- verlust %	3 Festigkeits- minderung %	4		6		7
			Löslichkeit in 1% NaOH		Ligningehalt		Vergleichs- stäbe %
			Pilzstäbe %	Vergleichs- stäbe %	Pilzstäbe %		
508	3,7	46	39,4	16,0	19,3		20,8
509	4,0	58	38,2	16,2	21,6		21,4
649/1	3,9	46	33,4	15,1	21,5		20,5
649/2	2,6	34	34,7	15,4	20,9		21,7
677	4,4	76	37,8	15,8	21,6		21,9
678	3,4	43	37,5	13,9	21,5		21,4
609	5,2	80	42,3	17,1	—		—
Mittel	3,9	55	37,6	15,6	21,1		21,3
Unterschied im Mittel			22,0 %		0,2 %		

gesetzt waren, sowie der zugehörigen, nach Lage im Stamm genau entsprechenden und in der Struktur mit den Pilzstäben nahezu völlig übereinstimmenden gesunden Vergleichsstäbe. Da an den sämtlichen Stäben auch das Darrgewicht bzw. dessen Änderung während des Versuchszeitraums, sowie die Bruchschlagarbeit ermittelt wurde, läßt sich die Abnahme der Gewichts- und Festigkeitswerte zu den chemischen Veränderungen in Beziehung setzen. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurden die Cellulose- und Ligninwerte, wie auch der in verdünntem Alkali lösliche Anteil des Holzes stets in Prozenten des gesunden Holzgewichts ausgedrückt, wie dies auch von CARTWRIGHT und FINDLAY (12) gefordert wird.

Zahlentafel 5 bringt zunächst das Ergebnis eines erst kurzfristigen Befalls von Fichtenholz durch den Porenhäusschwamm. Aus den Spalten 6 und 7 geht hervor, daß die Fichtenproben in 30 Tagen durchschnittlich 6,7 %

Cellulose durch die Einwirkung des Porenhausschwamms verloren haben, d. h. also, daß die Gewichtsabnahme von durchschnittlich 7,1 % fast ausschließlich durch den Celluloseabbau bedingt sein muß. Dieselbe Erscheinung ist aus Zahlentafel 6 zu entnehmen: *Daedalea quercina*, der Eichenwirrling, ist ebenfalls ein Pilz der Braunfäulegruppe und auch hier liegt der Unterschied im Cellulosegehalt der Pilz- und der Vergleichsstäbe mit 4,6 Gewichtsprozenten knapp unter dem mittleren Gewichtsverlust der Pilzstäbe von 4,9 %. Das Lignin wird von diesen Pilzen bekanntlich nicht angegriffen,

Zahlentafel 8
 Abbau von Buchenholz durch *Coniophora cerebella*
 Versuchsdauer 50 Tage

1 Nr.	2 Gewichts- verlust %	3 Festigkeits- minderung %	4		5		6		7	
			Löslichkeit in 1% NaOH				Cellulosegehalt			
			Pilzstäbe		Vergleichs- stäbe		Pilzstäbe		Vergleichs- stäbe	
%		%		%		%		%		
1110	13,3	90	46,9	20,4	35,6	44,5				
1111	11,4	93	46,7	18,8	38,0	45,2				
1112	13,3	93	46,1	17,6	37,6	46,5				
1113	11,9	92	47,0	16,8	38,2	46,9				
1114	11,6	92	47,0	17,3	38,1	47,0				
1115	12,4	93	48,9	17,5	37,9	45,7				
1116	10,3	92	47,5	19,0	39,5	46,6				
Mittel	12,0	92	47,1	18,2	37,8	46,1				

Unterschied im Mittel 28,9 % 8,3 %

wie dies auch sehr klar aus Zahlentafel 7 hervorgeht. Von Interesse sind weiterhin die Spalten 4 und 5 der Zahlentafeln 5, 7 und 8, aus denen ersichtlich ist, daß die Löslichkeit des verspannten Holzes in verdünnter Natronlauge durch die Einwirkung der Destruktionsfäulen eine bedeutende Steigerung erfährt. Beim gesunden Holz gehen im wesentlichen die begleitenden Kohlehydrate oder Holzpolyosen, also im wesentlichen die Pentosane und Hexosane in Lösung. Rotfaules Holz zeigt, wie schon CAMPBELL (12) nachwies, eine bedeutende Erhöhung der Alkalilöslichkeit, die den Gewichtsanteil der Holzpolyosen im gesunden Holz bei weitem übersteigt. Hieraus ergibt sich, daß durch den Pilzangriff außer diesen noch weitere Bestandteile des Holzes, und zwar vor allem die Abbauprodukte der Gerüstcellulose, für die Natronlauge löslich gemacht werden. Aus 4 Versuchsreihen mit *Coniophora cerebella* an Buchenholz mit verschieden langer Pilzeinwirkung ergab sich die Abb. 16. Sie stellt dar, wie schon nach 30tägiger Einwirkung die NaOH-Löslichkeit gegenüber dem gesunden Holz von 19 % auf 27 %, also fast um die

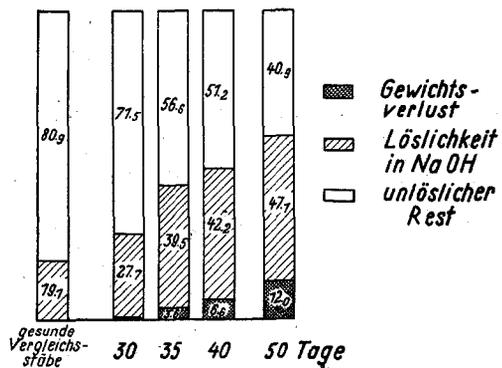


Abb. 16. Gewichtsabnahme und Steigerung der Alkalilöslichkeit von Buchenholz durch den Angriff von *Coniophora cerebella* in Prozent des Gewichtes vom gesunden Holz. Die Festigkeitsminderung betrug nach 30 Tagen 36 %, nach 35 Tagen 67 %, nach 40 Tagen 91 %

Hälfte gesteigert wird und wie im Verlauf von weiteren 20 Tagen, nachdem bereits 12 % des ursprünglichen Gewichts aufgezehrt sind, der überwiegende Teil der Restsubstanz, nämlich 47 % des Ausgangsgewichts, löslich geworden ist. Das heißt, daß unter Anrechnung des Ligninanteils, der beim Buchenholz rund 22 % beträgt, nur noch ein geringer Rest der Gerüstcellulose (etwa 18 % des ursprünglichen Holzgewichts) in nichtalkalilöslicher Form verblieben ist.

Auch die Alkoholauszüge des verspannten Holzes ergaben durch den Pilzbefall gesteigerte Werte. Gegenüber einer Löslichkeit von durchschnittlich 1,2 % bei den gesunden Vergleichsstäben stieg z. B. die Alkohollöslichkeit von Buchenholz durch den Angriff des Kellerschwamms nach 30 Tagen auf 3,2 %, nach 35 Tagen auf 4,2 %, nach 40 Tagen auf 5,3 %. Eine weitere Steigerung wurde aber bei noch länger dauerndem Angriff nicht mehr erzielt.

Daß die Cellulose im pilzersetzten Holz eine wesentlich andere Zusammensetzung aufweist als im gesunden Holz, kann als feststehend angesehen werden; beim Lignin verhält es sich bei Einwirkung von Weißfäulen wahrscheinlich ebenso (9) und zwar bewirken — wie LIESE feststellt — die vom Pilzmycel ausgeschiedenen Enzyme den Abbau der hochmolekularen Verbindungen in einfachere, leichter aufnehmbare Formen (21). So hat eine Untersuchung von BOSWELL (8) an *Merulius*-krankem Kiefernholz ergeben, daß die langen Kohlehydratketten in den ersten Stufen des Pilzangriffs unter der Einwirkung der Pilzenzyme in kleinere Einheiten zerfallen, die in verdünntem Alkali löslich sind. STAUDINGER (28) fand, daß in rotfaulem Fichtenholz die Cellulose nur einen Durchschnittspolymerisationsgrad von rund 600 aufwies. Schließlich kann auch die von YAZAWA (31) festgestellte Änderung der polarisationsoptischen Eigenschaften des von Braunfäulen befallenen Holzes nur auf den Zerfall der Cellulosemoleküle zurückzuführen sein. CARTWRIGHT und FINDLAY (12) stellten ebenfalls fest, daß der allmähliche Zerfall der Cellulose und anderer Polysaccharide mit der Verkürzung der Celluloseketten beginnt. Die Alkalilöslichkeit ist demnach weitgehend ein Maßstab dafür, wieweit die Verkleinerung der Kettenmoleküle fortgeschritten ist. Der enge Zusammenhang zwischen der Alkalilöslichkeit und der Abnahme der Schlagbiegefestigkeit aber deutet darauf hin, daß in dem Zerfall der Molekülketten die eigentliche Ursache für das Sprödewerden und Brüchigwerden des pilzkranken Holzes zu suchen ist. Kennzeichnend für die Abbautätigkeit der Braunfäulen ist, daß dabei die Hydrolysenprodukte, die Hexosen und Pentosen, sich viel rascher bilden als sie von den Pilzen aufgezehrt werden können. Wir verstehen nun, warum auch bei fortgeschrittener Festigkeitszerstörung das mikroskopische Bild noch keine tiefgreifenden Veränderungen zeigt. Die Bestimmung der NaOH-Löslichkeit ist demnach ein recht zuverlässiger Anhalt für eine erfolgte Zerstörung durch Braunfäulepilze. Es ist allerdings nicht möglich den Zerstörungsgrad unmittelbar aus dem NaOH-Wert ableiten zu wollen, da dieser nur bis zu einem gewissen Betrag ansteigt; für das Maß der Zerstörung ist wiederum die Schlagbiegeprüfung der bei weitem empfindlichste und beste Maßstab. Man kann aber aus unseren Versuchsreihen immerhin so viel ableiten, daß eine Steigerung der NaOH-Löslichkeit um 20 % oder darüber einer mindestens 50prozent. Zerstörung der Festigkeit entspricht.

Zahlentafel 9
Abbau von Buchenholz durch *Polystictus versicolor*
Versuchsdauer 30 Tage

1 Probe Nr.	2 Gewichts- verlust %	3 Festigkeits- minderung %	4		6		8	
			5 Löslichkeit in 1% NaOH		7 Cellulosegehalt		9 Ligningehalt	
			Pilz- stäbe %	Vergleichs- stäbe %	Pilz- stäbe %	Vergleichs- stäbe %	Pilz- stäbe %	Vergleichs- stäbe %
714	6,2	41	19,5	17,9	43,6	46,7	18,8	21,7
715	6,0	44	20,0	17,3	45,5	46,0	19,8	21,9
720	6,8	53	21,4	20,0	43,3	45,2	19,1	22,6
721	6,2	53	20,6	19,1	43,4	44,7	20,2	23,0
722	5,8	54	19,9	18,9	43,7	45,2	20,0	23,7
725	7,6	52	17,3	18,0	41,6	44,7	20,6	—
726	6,0	41	19,0	17,7	43,4	46,1	19,6	23,3
727	5,7	43	18,0	17,3	43,3	45,1	20,0	22,7
Mittel	6,3	48	19,5	18,2	43,5	45,4	19,8	22,7
Unterschied im Mittel			1,2%		1,9%		2,9%	

Zahlentafel 10
Abbau von Buchenholz durch *Stereum rugosum*
Versuchsdauer 60 Tage

1 Nr.	2 Gewichts- verlust %	3 Festigkeits- minderung %	4		5	
			Löslichkeit in 1% NaOH		Pilzstäbe %	Vergleichsstäbe %
			Pilzstäbe %	Vergleichsstäbe %		
A 4	9,3	54	23,6	19,3		
A 5	9,2	55	21,5	19,1		
Unterschied im Mittel			3,3%			

In mehrfacher Hinsicht abweichend sind die Beobachtungen, die an den untersuchten Weißfäulepilzen gemacht wurden. Auch *Polystictus* bewirkt eine typische Hydrolyse; es werden sowohl Lignin als auch Cellulose angegriffen; das Lignin allerdings, wie aus Zahlentafel 9 hervorgeht, in verstärktem Maße. Die Alkalilöslichkeit hingegen zeigt bei den Weißfäulen keine wesentliche Steigerung gegenüber gesundem Holz, sie ist also — wie schon CAMPBELL (10) feststellte — eine der wesentlichsten chemischen Grundlagen für die Unterscheidung der Weiß- von den Braunfäulen. Den untersuchten Weißfäulen fehlt demnach die den Braunfäulen eigene Fähigkeit der rasch vordringenden Aufspaltung der Cellulosemoleküle und daraus erklärt sich, warum sie bei deutlichem Gewichtsverlust keinen so jähen Absturz der Festigkeit auslösen wie jene.

Auswertung der Versuchsergebnisse für die Holzschutzmittelprüfung

Wie vorstehend gezeigt werden konnte, ist es mit Hilfe des von TRENDELENBURG entwickelten Schlagbiegeverfahrens insbesondere im Zusammenhang mit chemischen Untersuchungen möglich, einige wertvolle Einblicke in die Abbautätigkeit holzzerstörender Pilze zu gewinnen. Da das Verfahren

aber in erster Linie zur Prüfung von Holzschutzmitteln gedacht war, soll auch auf diese Möglichkeit seiner Anwendung noch kurz eingegangen werden.

Das in Deutschland allgemein angewandte und genormte mykologische Prüfverfahren für Holzschutzmittel (DIN DVM 2176) bemißt die Wirksamkeit eines Schutzstoffes danach, ob mit diesem Stoff getränkte Holzklötzchen über Reinkulturen holzerstörender Pilze eine Gewichtsabnahme erfahren. Dieses sogenannte Klötzchenverfahren wird im Normblatt als „Kurzverfahren“ bezeichnet, wiewohl die Proben volle 4 Monate dem Pilzangriff ausgesetzt bleiben müssen. Mit der für die Tränkung und vorgeschriebene Lagerung erforderlichen Zeit vergehen rund 5½ Monate, bis von einer Versuchsreihe Ergebnisse vorliegen.

TRENDELENBURG hat deshalb den Vorschlag gemacht, das von ihm entwickelte Schlagbiegeverfahren in die Holzschutzmittelprüfung einzuführen, weil damit in wesentlich kürzerer Zeit Ergebnisse erzielt werden können. Die vorstehend dargestellten Versuche mit rohen ungeschützten Schlagstäben geben für die Beurteilung der Eignung des Schlagbiegeverfahrens für den erwähnten Zweck wesentliche Unterlagen. Da mit Recht gefordert wird, daß die Pilzwidrigkeit eines Schutzmittels an wenigstens 4—5 Pilzarten erprobt werden muß, die nach ihrer Widerstandskraft gegenüber verschiedenen Giftstoffen ausgewählt sind, bevor man ein begründetes Urteil abgeben kann, mußte zunächst untersucht werden, inwieweit die wichtigsten für die Schutzmittelprüfung benutzten Testpilze eine rasche und gesetzmäßig verlaufende Festigkeitszerstörung bewirken. Dies kann nach den vorstehenden Zahlen für sämtliche 9 untersuchten Pilzarten als erwiesen gelten, wenn auch in der Geschwindigkeit der Zerstörung gewisse Unterschiede bestehen. Die für ein klares Ergebnis erforderliche Versuchsdauer war zu ermitteln und schließlich mußten diese Feststellungen an mehreren Holzarten getroffen werden. Außerdem mußte der möglichen Streuung der Versuchsergebnisse ein besonderes Augenmerk gewidmet werden, da nicht mit Unrecht die Streuung der Bruchschlagarbeit als wesentliches Bedenken gegen die Anwendung des Verfahrens in der Schutzmittelprüfung geltend gemacht wurde. Bekanntlich handelt es sich dabei um Schwankungen, die nicht etwa auf Mängel des Verfahrens zurückzuführen sind, sondern durch den oft sprunghaften Wechsel zwischen zäheren und spröderen Stellen im Holz bedingt sind, deren Ursache vermutlich im Feinbau des Holzes zu suchen ist. Bei TRENDELENBURGS Verfahren werden aber nie absolute Festigkeitswerte als Maßstab benützt, sondern es wird immer nur die Bruchschlagarbeit der Pilzstäbe an jener der zugehörigen Vergleichsstäbe gemessen. Die Streuung der Bruchschlagarbeit fällt für das Verfahren deshalb nur dann ins Gewicht, wenn sie innerhalb einer Serie von 4 aus demselben Spaltstück stammenden Stäben in störendem Umfang auftritt. Dies ist erfahrungsgemäß nur ganz selten der Fall; auch eine zur Klärung dieser Frage angestellte Überprüfung von 250 Paaren von Buchenvergleichsstäben ergab bei der überwiegenden Mehrheit nur ganz belanglose Unterschiede in der Bruchschlagarbeit. Zudem wird durch die Mittelbildung die Streuung weiter eingeschränkt. Voraussetzung ist allerdings sorgfältige Holz Auswahl und richtige Bearbeitung der Proben, die, wie dies auch beim Klötzchenverfahren gefordert wird, anatomisch gleichartig sein und einen einwandfreien Faser- und Jahrringverlauf parallel zur Stabkante aufweisen müssen. Fehlerhafte oder rotholzige Proben, schlecht brechende Vergleichsstäbe und solche mit abnorm niedriger Festigkeit sind auszuschneiden.

Im übrigen ist eine gewisse Streuung bei biologischen Versuchen unvermeidlich; sie ist schon durch das etwas launische Verhalten der Pilze bedingt und man wird bei der Wiederholung eines Versuches unter denselben Bedingungen nie genau dasselbe Ergebnis erhalten (26).

Aufschlußreich ist in diesem Zusammenhang noch ein Vergleich der Einzelwerte von Versuchsreihen mit abgestufter Versuchsdauer, wie dies in Abb. 17 dargestellt ist. Wir können hier nämlich in den ersten Wochen bei *Poly-*

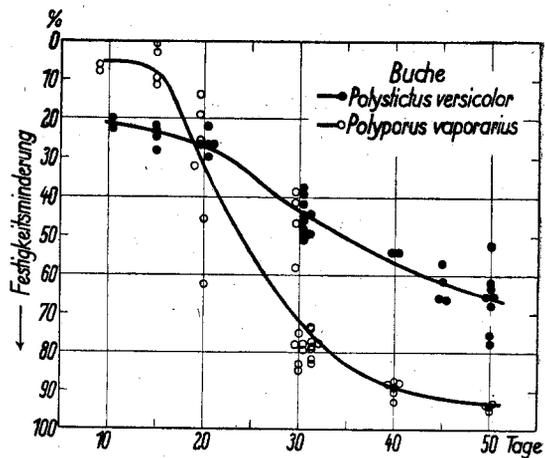


Abb. 17. Die Streuung der Festigkeitsminderung von Buchenstäben unter Einwirkung von *Polystictus versicolor* und *Polyporus vaporarius* bei verschieden langer Versuchsdauer

porus vaporarius noch eine ziemliche Streubreite beobachten, in der sich vor allem das immer etwas unterschiedliche Wachstum der einzelnen Pilzschalen ausdrückt; nach 40 Tagen aber, wenn die Vermorschung einen bestimmten Grad erreicht hat, verschwindet die Streuung nahezu vollständig. Man kann daraus noch entnehmen, daß die Ergebnisse sich deutlicher ausprägen, wenn die Versuchsdauer auf 40 oder 50 Tage ausgedehnt wird.

Das bedeutet aber, daß gegenüber dem Klötzchenverfahren 2—2½ Monate an Versuchsdauer eingespart werden können, was vor allem ins Gewicht fällt, wenn Versuchsreihen wiederholt werden müssen oder zur exakten Ermittlung von Grenzwerten usw. mehrere Versuchsreihen notwendig sind. TRENDLENBURG hat das Schlagbiegeverfahren nicht als vollwertigen Ersatz für das Normverfahren gedacht, sondern mehr zu dessen Ergänzung, zur Durchführung von Vorversuchen.

Man könnte deshalb vielleicht darauf verzichten, in die Pilzschalen zum Nachweis des Pilzwachstums neben den getränkten Proben noch eine ungeschützte Probe einzubauen. Am zweckmäßigsten und zuverlässigsten erscheint aber folgende Arbeitsweise:

Von jeder Viererserie werden immer 2 Stäbe imprägniert, zwei bleiben ungeschützt. Davon kommen je ein imprägnierter und ein roher Stab auf Glasbänke in die Pilzschale, die beiden Vergleichsstäbe werden aufbewahrt. Nach Ablauf der Versuchszeit wird die Bruchschlagarbeit des imprägnierten Pilzstabes auf die des imprägnierten Vergleichsstabes, die des rohen auf den rohen Vergleichsstab bezogen: Dies erscheint notwendig, weil durch die Tränkung, besonders mit zähflüssigen Stoffen, die Schlagbiegefestigkeit beeinflusst werden kann. Eine Pilzschale genügt so für 2 Viererserien von Stäben und ergibt 2 Werte, die grundsätzlich gemittelt werden. Benutzt man, wie dies in der Prüfnorm vorgeschrieben ist, für jede Stufe einer Versuchsreihe 2 Pilzschalen, so braucht man ebenso viele Schalen wie beim Klötzchenverfahren und erhält die gleiche Zahl gemittelter Restfestigkeitswerte, wie auch das Klötzchenverfahren Werte ergibt. Die erzielte Genauigkeit dürfte dann der des Klötzchenverfahrens mindestens gleichwertig

sein, zumal man noch die Gewichtsänderung der Stäbe zum Vergleich miteinander ziehen kann, die grundsätzlich ermittelt wird.

Es fällt nämlich auf, daß die schlanken Proben, die von den Pilzen schnell durchwachsen werden, eine wesentlich raschere Gewichtsabnahme erfahren als die beim Normverfahren benutzten Klötzchen, so daß auch die Gewichtsabnahme oft nach 50 Tagen schon etwas auszusagen vermag.

Nach diesen Grundsätzen wurden mehrere Versuchsreihen mit verschiedenen als Holzschutzmittel vorgeschlagenen Stoffen durchgeführt, die durchaus befriedigende, klare Ergebnisse erbrachten. Auf eine Besprechung im einzelnen muß hier verzichtet werden.

Nur aus 2 Versuchsreihen soll in der nachstehenden Zahlentafel 11 noch ein Ausschnitt wiedergegeben werden, weil hier dasselbe Schutzmittel einmal nach dem Klötzchenverfahren und gleichzeitig nach dem Schlagbiegeverfahren geprüft wurde; bei der Gegenüberstellung ist die Schutzstoffaufnahme, je Kubikmeter berechnet, bei den Schlagbiegestäben und den Klötzchen annähernd dieselbe. Der Klötzchenversuch läßt über den vermutlichen Grenzwert einige Zweifel offen, da der bei höherer Konzentration nach 4 Monaten auftretende Gewichtsverlust von 2% noch im Streubereich liegt. Der Schlagbiegeversuch zeigt aber, daß auch die Schutzstoffmenge von 35 kg noch unzureichend ist, denn die Festigkeitsminderung beträgt hier schon 66%; zudem haben die imprägnierten Schlagstäbe in 50 Tagen mehr an Gewicht verloren als die Klötzchen in 4 Monaten. Das Schlagbiegeverfahren hat also in kürzerer Zeit ein klareres Ergebnis geliefert als die Normmethode.

Zahlentafel 11
Prüfung des Präparates HE III
Kiefersplintholz, Pilz: *Coniophora cerebella*

Schlagbiegeverfahren: 50 Tage			Klötzchenverfahren: 4 Monate	
Schutzstoffaufnahme kg/cbm	Festigkeitsminderung %	Gewichtsabnahme %	Schutzstoffaufnahme kg/cbm	Gewichtsabnahme %
35	66,4	12,7	34	2,0
—	74,1	16,4	—	35,0
11	67,7	9,6	13	4,2
—	82,7	16,4	—	29,0

Zusammenfassend können wir feststellen, daß es mit Hilfe der Schlagbiegeprüfung möglich ist, in 50 Tagen eine Holzschutzmittelprüfung durchzuführen, die bei sorgfältiger Arbeit an Zuverlässigkeit hinter der Klötzchenmethode nicht zurücksteht. Orientierende Vorversuche mit besonders wüchsigen Pilzen bringen schon nach 30 Tagen annähernde Ergebnisse. Die dadurch erzielte Zeitersparnis beträgt also 2¹/₂—3 Monate, sie muß allerdings durch eine nicht unerhebliche Mehrarbeit erkauft werden.

Während beim Klötzchenverfahren schon Gewichtsabnahmen von mehr als 5% als Beweis eines erfolgten Pilzangriffes gewertet werden, wird man, bei dem starken Reagieren der Schlagbiegeprüfung schon auf beginnende Pilzerstörungen, erst eine Einbuße der Festigkeit um wenigstens 40% zu berücksichtigen brauchen. Damit ist auch die mögliche Streuung der Bruchschlagarbeit mit ziemlicher Sicherheit ausgeschaltet. Festigkeitsminderungen, die unter dieser Grenze liegen, können als Fingerzeig für die vermutliche Lage des Grenzwertes dessen Auffindung erleichtern.

Durch ihre hohe Empfindlichkeit gegenüber jeder Pilzeinwirkung ist die Schlagbiegeprüfung nicht nur geeignet, die mykologische Holzschutzmittelprüfung abzukürzen, sondern sie vielleicht auch zu verfeinern. Wahrscheinlich können Grenzwerte mit der Schlagbiegemethode schärfer erfaßt werden als nach dem Normverfahren. Um das Verfahren normreif zu machen, sind weitere Versuche notwendig. Vor allem wird es angezeigt sein, die Prüfung bereits bekannter und eingeführter Schutzmittel, für die nach dem Klötzchenverfahren bereits Grenzwerte vorliegen, auch nach dem Schlagbiegeverfahren durchzuführen, um damit beide Verfahren aufeinander abzustimmen.

Schrifttum

1. ARMSTRONG, F. H., The effect of progressive decay by *Trametes serialis* on the mechanical strength of the wood of Sitka spruce. *Forestry*, Vol. IX, No. 1, 1935.
2. BAVENDAMM, W., Erkennen, Nachweis und Kultur der holzfärbenden und holzzeretzenden Pilze. *Handbuch d. biolog. Arbeitsmethoden*. Wien 1939.
3. — — Weitere Dauerhaftigkeitsuntersuchungen mit luftgetrockneten und gedarrten Probeklötzchen. *Holz als Roh- u. Werkstoff* Bd. 4, 1941.
4. — — Über den Einfluß des Darrrens von Holz auf seine Pilzanfälligkeit. *Holz als Roh- u. Werkstoff* Bd. 6, 1943.
5. — — und REICHELT, H., Die Abhängigkeit des Wachstums holzzeretzender Pilze vom Wassergehalt des Nährsubstrates. *Archiv f. Mikrobiologie* Bd. 9, H. 5, 1938.
6. BARTON-WRIGHT, E. C. und BOSWELL, J. G., The Biochemistry of dryrot in wood: An investigation of the products of decay of spruce wood rotted by *Merulius lacrymans*. *The Biochem. Journal* Vol. XXV, 1931.
7. BJÖRKMANN, E. u. a.: Decay injuries in spruce forests and their importance for the production of chemical paper pulp and rayon pulp. *Bull. of the Royal School of Forestry* Nr. 4. Stockholm 1949.
8. BOSWELL, J. G., An investigation of the decay of pine wood rotted by *Merulius lacrymans*. *The Biochem. Journal* Vol. XXXII, 1938.
9. BOYCE, J. S., *Forest Pathology*. New York and London 1938.
10. CAMPBELL, W. G., The chemistry of the white rots of wood: The effect of wood substance of *Polystictus versicolor*. Vol. XXIV, 1930.
11. CARTWRIGHT, K., A satisfactory method of staining fungal mycelium in wood sections. *Ann. of Botany* Vol. 43, 1929.
12. — — und FINDLAY, W., *Decay of timber and its prevention*. London 1946.
13. FALCK, R., Die Lenzitesfäule des Coniferenholzes. *Hauschwammforschungen* H. 3, 1909.
14. GÄUMANN, E., *Untersuchungen über den Einfluß der Fällungszeit auf die Eigenschaften des Fichten- und Tannenholzes*. Bern 1930.
15. — — Der Einfluß der Meereshöhe auf die Dauerhaftigkeit des Lärchenholzes. *Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. Forstl. Versuchsw.* XXV, H. 2, 1948.
16. HÄGGLUND, E., *Holzchemie*. 2. Aufl. Leipzig 1939.
17. HARTIG, R., *Lehrbuch der Baumkrankheiten*. 2. Aufl. Berlin 1889.
18. KOLLMANN, F., *Technologie des Holzes*. Berlin 1936.
19. — — Die Eigenschaften von verstocktem Rotbuchenholz. *Forstw. Cbl.* 1950.
20. KÜRSCHNER, K. und HOFFER, K., *Technologie und Chemie der Papier- und Zellstoff-fabrikation*. Beilage zum *Wochenbl. f. Papierfabrikation* Bd. 26, 1929 und Bd. 31, 1934.
21. LIESE, J., *Zerstörung des Holzes durch Holzschädlinge in „MAHLKE-TROSCHEL“*, *Handbuch d. Holzkonservierung*. 2. Aufl. Berlin 1928.
22. — — Verhalten holzzerstörender Pilze gegenüber verschiedenen Holzarten und Giftstoffen. *Angew. Botanik* Bd. X, 1928.
23. — — und STAMER, J., Verschiedene Versuche über die Zerstörungsintensität einiger wichtiger holzzerstörender Pilze und die hierdurch verursachte Festigkeitsminderung. *Angew. Botanik* Bd. XVI, 1934.

24. MAYER-WEGELIN, H., Die Bekämpfung der Buchenstockfäule. Sperrholz 4, S. 131.
25. SCHULZE, B. und THEDEN, G., Polarisationsmikroskopische Untersuchungen über den Abbau des Werkstoffes Holz durch holzerstörende Pilze. Holz als Roh- u. Werkstoff 1938.
26. — — und STARFINGER, K., Ergebnisse einer vergleichenden Prüfung der pilzwidrigen Wirksamkeit von Holzschutzmitteln. Wiss. Abhandlg. d. D. Materialprüfungsanstalten II. Folge, H. 7, 1950.
27. SCHWALBE, C. G. und SIEBER, Die chemische Betriebskontrolle in der Zellstoff- und Papierindustrie. 3. Aufl. Berlin 1931.
28. STAUDINGER, M., Chemische Anatomie des Holzes. Holz als Roh- u. Werkstoff 1942.
29. THEDEN, G., Untersuchungen über die beim Klötzchenverfahren in den Kollerschalen vorhandenen Feuchtigkeitsverhältnisse. Holz als Roh- u. Werkstoff 1938.
30. TRENDELENBURG, R., Über die Abkürzung der Zeitdauer von Pilzversuchen an Holz mit Hilfe der Schlagbiegeprüfung. Holz als Roh- u. Werkstoff 1940.
31. YAZAWA, K., Untersuchungen über die Zerstörung durch Pilze und die mechanischen Eigenschaften abgestorbener Tannen- und Fichtenhölzer. Konuma, Saghalien, Japan 1943.

Das ertragskundliche Verhalten eines Fichtenbestandes auf Hochmoor im Forstamt St. Andreasberg (Harz)

Von J. REISCH

(Mitteilung aus dem Institut für Forsteinrichtung und Forstliche Ertragskunde der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen in Hann.-Münden)

Mit 7 Abbildungen

A. Zweck der Untersuchungen

Die Leistungsfähigkeit einer Holzart wird durch ihre Erbanlagen, den Standort und soweit es sich um Wirtschaftswald handelt, durch ihre waldbauliche Behandlung bestimmt.

Wie nun aber ertragskundlich ein über 200jähriger Fichtenbestand unter Fernhaltung menschlichen Einflusses sich verhält, sollte Gegenstand einer näheren Untersuchung im Forstamt St. Andreasberg sein.

Hierbei interessierten in erster Linie die Massenleistung, Zuwachsverhältnisse, Rindenausbildung und Stammausformung der über 200jährigen Fichten.

Weiterhin wurde versucht, die Frage Urwald oder Wirtschaftswald zu klären, um einen Aufschluß über das Zustandekommen derartig zwerghaften Zuwachses zu erhalten.

Die Außenaufnahmen fanden im Juli 1947 in der Revierförsterei Sonnenberg/FA. St. Andreasberg statt.

Die Hauptergebnisse sollen hier kurz mitgeteilt werden.

B. Untersuchungsmaterial

1. Standort: Der untersuchte Bestand des Forstorts „Drei Hörste“ im Forstamt St. Andreasberg (Harz) stockt am Rande des Bruchberghochmoors im Harzer Mittelgebirge in 780 m SH auf mittelgründiger Moorerde. Der Mineralboden erwies sich als frischer, mittelkörniger, anlehmiger Sand mit wechselnder Granitsteinbeimischung.