

Funktion von u mit der Darrohichte als Parameter dargestellt ist. Äquidistanten Werten der Rohwichte sind nicht äquidistante Werte des Elastizitätsmoduls zugeordnet, da dieser der Formel (11) gemäß hyperbolisch von der Rohwichte abhängt.

Zusammenfassung.

In der Untersuchung wird klargestellt, in welcher Weise der Spätholzanteil, die Rohwichte, die Jahrringbreite und der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes die Elastizitätsmoduli beim finnischen Kiefernholz beeinflussen. Indem das Holz als Doppelmaterial mit abwechselnd aufeinanderfolgenden Früh- und Spätholzlamellen von unterschiedlichen Eigenschaften angesehen wird, und unter der Annahme, daß das Holz bezüglich seiner elastischen Eigenschaften durch einen rhombischen Kristall approximiert werden kann, läßt sich die Abhängigkeit der Elastizitätsmoduli des Holzes vom Spätholzanteil vollends ergründen (Formeln

5, 8 und 12). Wenn aus den entsprechenden Gleichungen und der die Rohwichte des Holzes als Funktion des Spätholzanteils angegebenden Gleichung (2) der Spätholzanteil eliminiert wird, erhält man die Elastizitätsmoduli des Holzes als Funktionen der Rohwichte (Formeln 6, 9 und 13). Die Abhängigkeit der Elastizitätsmoduli E_L und E_T vom Spätholzanteil und von der Rohwichte ist linear, die des Elastizitätsmoduls E_R dagegen hyperbolisch. Die Werte der in den Gleichungen auftretenden Parameter sind derart gewählt worden, daß sich die graphischen Darstellungen der Gleichungen möglichst gut den Versuchsergebnissen anschließen. Das den Elastizitätsmodul E_L betreffende Versuchsmaterial kann als hinreichend groß angesehen werden, wogegen zur Bestimmung der Elastizitätsmoduli E_T und E_R eine verhältnismäßig beschränkte Zahl von Versuchswerten verfügbar war. Demzufolge ist der Wert des Elastizitätsmoduls E_L voraussichtlich genauer als die Werte der Elastizitätsmoduli E_T und E_R .

Untersuchungen über den Abbau von Kiefern- und Buchenholz durch holzerstörende Pilze und deren Einfluß auf einige physikalische Eigenschaften des Holzes.

Von Andreas Buro¹.

Bundesanstalt für mechanische und chemische Materialprüfung, Berlin-Dahlem, Abt. Holzschutz und Holztechnologie.

Einleitung. — *Versuchsausführung.* — *Abbau der Versuchshölzer.* — *Die Wirkung des Abbaus durch Pilze auf die Ausgangsdimensionen, die Sorptionsfähigkeit und das Quellvermögen des Holzes.* — *Zusammenfassung.* — *Schrifttum.*

Einleitung.

Die folgenden Untersuchungen sollen der besseren Kenntnis der Vorgänge beim Abbau des Holzes durch Pilze dienen. Einige physikalische Eigenschaften des von Pilzen angegriffenen Holzes wurden bestimmt, und aus den erhaltenen Werten wurde auf die Art der Vorgänge beim enzymatischen Abbau des Holzes zu schließen versucht. Gleichzeitig ergänzen die Meßergebnisse das noch unzureichende Beobachtungsmaterial über die Gebrauchseigenschaften braun- oder weißfaulen Holzes.

Die Untersuchungen bilden die Grundlage für Versuche zur Klärung des Einflusses von Hitzebehandlungen und Kunstharzvergütungen auf die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen die Zerstörung durch Pilze. Über diese Versuche soll später berichtet werden.

Versuchsausführung.

Es war notwendig, die Untersuchungen auf die wichtigsten Holzarten zu beschränken. Ausgewählt wurde nicht-angeblautes Kiefernspinnholz und Buchenholz, das keine Anzeichen von Einlauf oder Verstockung aufwies.

Die Festlegung der Abmessungen der Probekörper entschied drei Forderungen: ausreichende Meßgenauigkeit in den Hauptquellungsrichtungen; leichte Durchdringbarkeit für Gase und Flüssigkeiten; die Proben sollten möglichst klein sein, so daß aus einem gleichmäßigen Stück Holz eine große Zahl von Proben hergestellt werden konnte. Dementsprechend wurden als Maße für die Probekörper $30 \times 30 \times 5$ mm³ festgelegt. Die kleinste Dimension lag in Faserrichtung, und die Jahrringe verliefen senkrecht bzw. parallel zu den Außenkanten. Die Wahl der holzerstörenden Pilze wurde nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen: Bei der Holzzersetzung sollten mehrere Fäuletypen entstehen. Das Tempera-

turoptimum der Pilze mußte nach Möglichkeit etwa gleich sein. Dementsprechend wurden ausgewählt:

für die Zerstörung von Kiefernspinnholz
Coniophora cerebella (Pers.) Duby. (Stamm 422);
Lentinus lepideus Fr. (Normstamm);

für die Zerstörung von Buchenholz
Coniophora cerebella (Pers.) Duby. (Stamm 422);
Polystictus versicolor (Linn.) Fr. (Stamm Bayer 206).

Die genannten Stämme wurden verwendet, da sie sich bei Versuchen von G. Theden und von M. Gersonde (beides unveröffentlicht) besonders angriffsfreudig gezeigt haben.

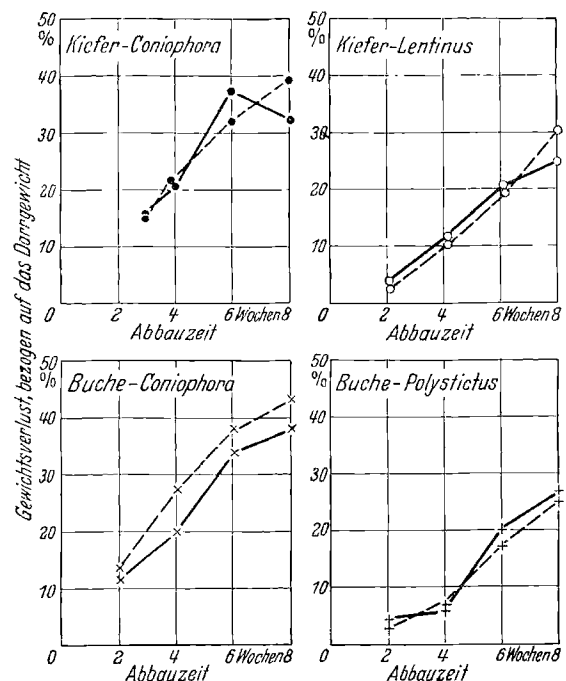


Bild 1. Gewichtsverlust in % (bezogen auf das Darrgewicht) von Kiefernholz durch *Coniophora* und *Lentinus* und von Buchenholz durch *Coniophora* und *Polystictus* bei 24° (ausgezogene Linie) und 28° C (gestrichelte Linie) in Abhängigkeit von der Versuchszeit. (Mittelwerte von je vier Proben.)

¹ Für zahlreiche Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskripts möchte ich auch an dieser Stelle Herrn Dozent Dr. Günther Becker, Frau Dr. Gerda Theden und Herrn Prof. Dr. Herbert Zycha meinen herzlichen Dank aussprechen.

Der Abbau der Proben erfolgte wie bei der Normprüfung nach DFN 52176 in Kolleschalen. Als Nährboden diente Fichtenschliffpappe, die mit einer Malzextraktlösung getränkt war. Die Proben wurden auf Glasbänkechen mit einer Höhe von 4,5 mm gelagert. In jede Kolleschale wurden 4 Klötzchen eingebaut. Die Kolleschalen wurden bei 24 und 28° C aufgestellt und die Proben nach 2, 4, 6 und 8 Wochen abgebaut. Nach dem Ausbau wurden die Proben von anhaftendem Mycel gereinigt, einer vierstündigen Trocknung bei 105° C unterworfen und nach der Bestimmung des Darrgewichtes gemessen.

Die Sorptionsfähigkeit der Holzproben wurde im Thermostaten bei 50° C bestimmt. Die Proben wurden dazu in einheitlich großen verschlossenen Glasgefäßen auf einer Glasplatte über gesättigten Salzlösungen (nach Obermiller) aufgestellt, so daß sie bis auf die Standfläche von der Luft unspült waren. Etwa 50 Proben wurden gleichzeitig in einem Behälter klimatisiert. Nach 15 Tagen zeigten die Proben keine Gewichtsveränderungen mehr. Jede wurde einzeln entnommen und ihr Wassergehalt durch Wägung auf 0.01 g genau bestimmt. Es zeigte sich, daß die aufgenommene Wassermenge unabhängig von der Zahl der im Glasgefäß aufbewahrten Proben war. — Um Fehler durch den Hysteresiseffekt zu vermeiden, wurden die Proben vor der Bestimmung der Sorptionsfähigkeit gedarrt, so daß sich das Feuchtgleichgewicht stets durch Wasseraufnahme aus der Luft einstellen mußte.

Abbau der Versuchshölzer.

Die Gewichtsverluste durch den Abbau (Mittelwerte für je 4 Proben) sind in Bild 1 über der Versuchszeit aufgetragen. Da sich die Gewichtsverluste bei den beiden Versuchstemperaturen nicht wesentlich voneinander unterscheiden, kann im folgenden auf die Trennung beider Versuchsreihen verzichtet werden. — Um einen besseren Eindruck der Abhängigkeit des Abbaus von der Versuchszeit zu erhalten, wurde die Abbaugeschwindigkeit für die Zeiträume 0 bis 2, 2 bis 4, 4 bis 6 und 6 bis 8 Wochen aus den Mittelwerten beider Versuchsreihen als je Woche abgebaute Holzmenge in % Gewichtsverlust berechnet. Diese ist in Bild 2 für die ganze Versuchszeit dargestellt.

Es zeigen sich bemerkenswerte Unterschiede zwischen den einzelnen Pilzarten. Die Abbaugeschwindigkeit der ersten zwei Wochen müßte noch zergliedert werden, da in den ersten Tagen bis zum Heranwachsen des Mycels an die Proben naturgemäß kein Gewichtsverlust auftritt. Die anfängliche Abbaugeschwindigkeit muß also wesentlich höher liegen, als aus den hier berechneten Daten hervorgeht. Bedeutung gewinnt diese Überlegung besonders bei *Coniophora* und *Polystictus*, die ohnehin eine erhöhte Abbaugeschwindigkeit beim Befallsbeginn zeigen. Diese Erscheinung kann durch die vorwiegende Verwertung der enzymatisch leichter löslichen Bestandteile des Holzes erklärt werden. In der folgenden Zeit sinkt die Abbaugeschwindigkeit wieder, da möglicherweise die Fermente erst allmählich eine Aufschließung der schwerer löslichen Bestandteile bewirken können. Die maximale Abbaugeschwindigkeit erreichten alle untersuchten Pilze nach fünf Wochen. Danach fallen die Kurven stark ab. Der Kieferkernholz-Zerstörer *Lentinus* zeigt im Gegensatz zu *Coniophora* und *Polystictus* einen sehr gleichmäßigen Anstieg und Abfall der Abbaugeschwindigkeit.

Die Wirkung des Abbaus durch Pilze auf die Ausgangsdimensionen, die Sorptionsfähigkeit und das Quellvermögen des Holzes.

Die Beurteilung der Abbauvorgänge erfolgte an mehr oder weniger stark zerstörten Hölzern, die nach dem Ausbau aus den Kolleschalen gedarrt und deren physikalische Eigenschaften im Anschluß einer näheren Untersuchung unterworfen wurden. Die gemessenen Werte konnten mit den Eigenschaften nicht zerstörter und ebenfalls gedarrter Hölzer verglichen werden. — Es mag hier der Einwurf erhoben werden, daß das teilweise abgebaute Holz durch das Darren in starkem Maße in seinen

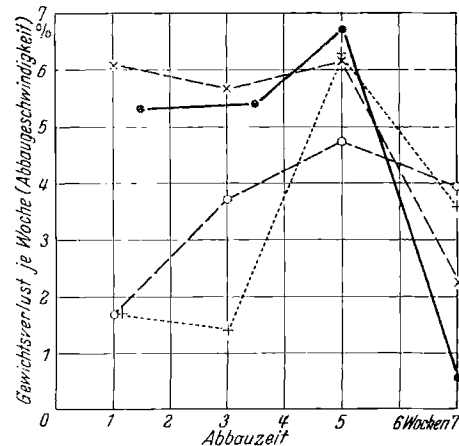


Bild 2. Gewichtsverlust in % je Woche (Abbaugeschwindigkeit) von Kiefer- und Buchenholz, das durch *Coniophora*, *Lentinus* oder *Polystictus* angegriffen worden ist, in Abhängigkeit von der Versuchszeit. (● — ● Kiefer-*Coniophora*, ○ — ○ Kiefer-*Lentinus*, x — x Buche-*Coniophora*, + + + + + Buche-*Polystictus*.)

wesentlichen Eigenschaften verändert wird und daher nicht mehr als Untersuchungsobjekt geeignet ist. Das scheint besonders deutlich, wenn man die Dimensionen nach dem Ausbau der Proben im gequollenen Zustande mißt und diese mit den Werten bei einer erneuten Quellung durch Wasserlagerung nach dem Darren vergleicht, wie es in Tabelle 1 geschehen ist.

Tabelle 1. Abmessungen von Proben im gequollenen Zustande.

- a) im gesunden Zustande.
 - b) nach dem Ausbau aus den Kolleschalen (Durchschnittswerte von verschiedenen Abbaustufen).
 - c) die Proben sind nach dem Ausbau aus den Kolleschalen gedarrt und danach wieder in Wasser gequollen worden.
- (Alle Angaben in cm. Durchschnittswerte aus 50 Messungen)

| Holzart Pilzart Holzrichtung | Kiefer | | | | Buche | | | |
|------------------------------------|-------------------|-------|-----------------|-------|-------------------|-------|-----------------|-------|
| | <i>Coniophora</i> | | <i>Lentinus</i> | | <i>Coniophora</i> | | <i>Lentinus</i> | |
| | rad. | tang. | rad. | tang. | rad. | tang. | rad. | tang. |
| a | 5,10 | 5,19 | 5,10 | 5,19 | 5,12 | 5,56 | 5,11 | 5,55 |
| b | 5,08 | 5,15 | 5,09 | 5,16 | 5,11 | 5,27 | 5,10 | 5,54 |
| c | 2,92 | 2,91 | 5,01 | 2,98 | 5,08 | 5,12 | 5,10 | 5,52 |

Der Tabelle 1 sind folgende Tatsachen zu entnehmen: Die Größe der Proben im wassergesättigten Zustande beim Ausbau aus den Kolleschalen entspricht bei dem weißfaulen Buchenholz etwa der Größe des gesunden, gequollenen Holzes; die Größe der braunfaulen Proben ist um 0,1 bis 0,9 mm, also ebenfalls nur gering, verkleinert. Ferner ergibt sich, daß gedarrtes, von Braunfäulepilzen zerstörtes Holz bei einer erneuten Quellung bei weitem nicht mehr so groß wird, wie es beim Ausbau aus der Kolleschale im wassergesättigten Zustande gewesen ist.

Zur Erklärung dieser Erscheinung mag folgende Überlegung dienen: Die Quellung des Holzes erfolgt nur durch eine chemische oder physikalische Bindung des Wassers, dessen hohe dielektrische Eigenschaften die Anziehung zwischen den Strukturteilen innerhalb der Zellwand, die der Quellung entgegenwirkt, mindert. Erleidet nun das Holz in gequollenem Zustande Veränderungen, die es beim Trocknen über seine ehemalige Größe schrumpfen lassen oder seine Quellfähigkeit herabsetzen müssen, so kann der diesen Veränderungen entsprechende Zustand erst eintreten, wenn das Wasser zwischen den einzelnen Strukturteilen in der Zellwand entfernt wird, wobei sich die Anziehung zwischen diesen vergrößert und gleichzeitig die Proben so weit schwinden, wie es der im gequollenen Zustande erlittenen Veränderung entspricht. — Nehmen die getrockneten Proben nun wieder Wasser durch Sorption auf, so können sich jetzt erst die Herabsetzung der Ausgangsmaße oder die Verminderung der Quellfähigkeit auf die Abmessungen der Proben im gequollenen Zustande auswirken.

Ein wesentlicher Einfluß des Darrens auf die physikalischen Eigenschaften pilzzerstörten Holzes ist aus folgenden Gründen nicht wahrscheinlich: Durch die Einwirkung von Hitze auf Holz wird dessen Sorptionsfähigkeit ziemlich gleichmäßig bei allen relativen Luftfeuchtigkeiten herabgesetzt, wie in einer späteren Veröffentlichung noch dargelegt werden soll. Sorptionsfähigkeit und Quellbarkeit verändern sich fast gleichmäßig, und die Hitzebehandlung erzielt bei den hier verwendeten Probeformen und Trockenzeiten erst bei wesentlich höheren Tem-

0,5 × 1,0 × 7,0 cm³ (7 cm in Faserrichtung) gemessen. Die Meßgenauigkeit betrug dabei ± 0,07%. — Die Volumenänderung des Holzes durch den Abbau wurde aus der Kombination der unmittelbar gemessenen radialen und tangentialen sowie der interpolierten axialen Dimensionsänderung bestimmt. Die betreffenden axialen Dimensionsänderungen sind so gering, daß eventuelle Unterschiede in der axialen Schwindung, die sich aus den verschiedenen Probeformen der beiden Versuchsreihen ergeben könnten, vernachlässigt werden dürfen.

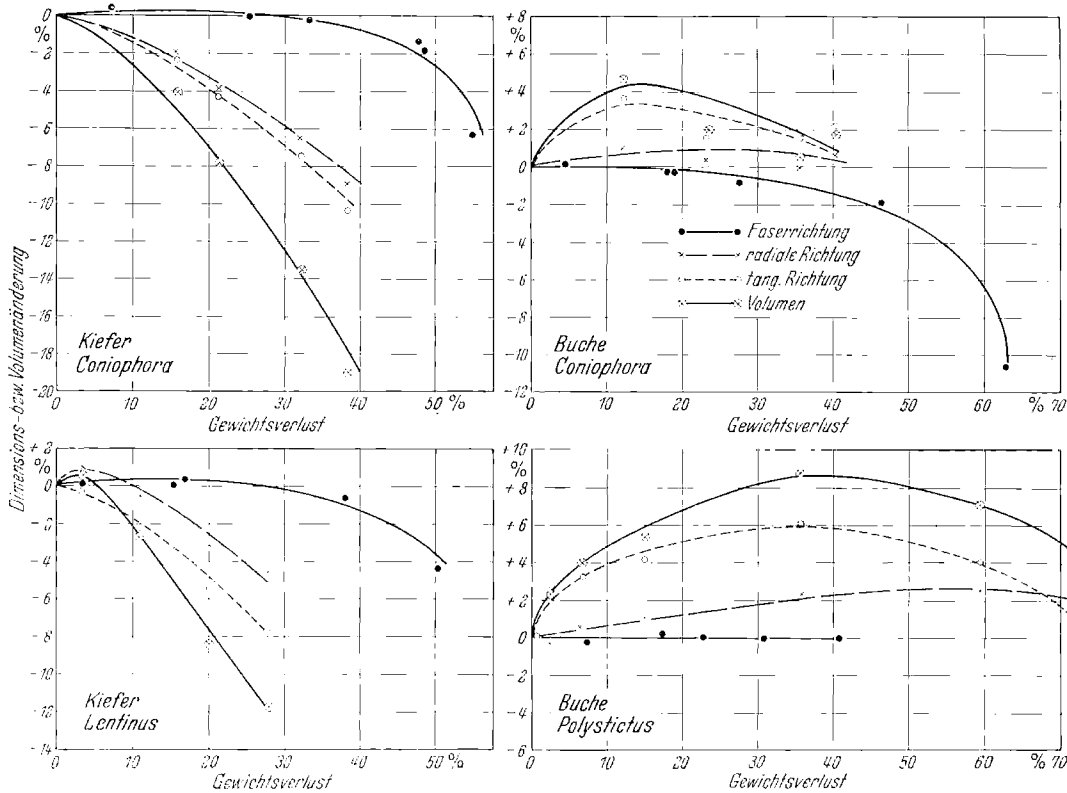


Bild 5. Änderung der Dimensionen bzw. des Volumens gedarrten Kiefern- und Buchenholzes in % in Abhängigkeit vom Gewichtsverlust durch *Coniophora* und *Lentinus* bzw. *Polystictus*.

peraturen größere Veränderungen der genannten physikalischen Eigenschaften. Wie aus den folgenden Messungen und Beobachtungen hervorgeht, treten alle diese für die Hitzebehandlung des Holzes typischen Veränderungen durch das Darren der pilzzerstörten Hölzer nicht ein.

Diese Feststellung schließt natürlich nicht aus, daß durch das Darren im pilzzerstörten Holz chemische Umsetzungen erfolgen. Es ist dabei besonders an die Bildung von Kondensaten des Lignins zu denken, das durch die Pilzeinwirkung, wie aus enzymatischen Abbaustudien von F. P. Nord und W. J. Schubert (1951) zu entnehmen ist, nicht mehr so fest an die Kohlenhydrate gebunden zu sein scheint.

V Versuchsergebnisse.

Die verschiedenen Untersuchungen im vorigen Abschnitt sind alle an denselben Proben vorgenommen worden, so daß es statthaft ist, die Werte untereinander in Beziehung zu setzen. Die Tabellen mit den einzelnen Zahlenwerten sowie die Berechnungen und Angaben über die statistische Sicherheit der vorliegenden Ergebnisse können aus Raumangel nicht wiedergegeben werden. Es sei daher nur erwähnt, daß die in den Bildern erkennbaren größeren Abweichungen der Eigenschaften angegriffenen Holzes von denen des gesunden Holzes als statistisch gesichert (Grenzwahrscheinlichkeit kleiner als 5%) angesehen werden dürfen.

Die Änderung der Ausgangsdimensionen.

Als Ausgangsdimensionen sollen im folgenden die Abmessungen der Proben in gesundem, darrtrockenem Zustand verstanden werden.

Die Werte für die Dimensionsänderungen in Faserrichtung wurden in Sonderversuchen mit langgestreckten Stäbchen von

Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargelegt. Die einzelnen Punkte stellen mit wenigen Ausnahmen Mittelwerte aus 8 Proben dar.

Die Änderung der Sorptionsfähigkeit des Holzes.

Bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit treten erhebliche Schwankungen in der Wasseraufnahme bei stärker abgebauten Proben ein. Messungen, die sehr extreme Werte ergaben, wurden als untypisch bei der Mittelwertbildung ausgeschlossen. Die Schwankungen in der Wasseraufnahme sind wahrscheinlich nicht auf Versuchsfehler, sondern auf die Ungleichmäßigkeit des Abbaus innerhalb der einzelnen Probe zurückzuführen.

Bild 4 zeigt die Holzfeuchtigkeit

in % bei verschiedenen Luftfeuchten und unterschiedlichem Abbaugrad.

Die Änderung des Quellvermögens des Holzes.

Bild 5 zeigt die Dimensions- bzw. die Volumenänderung in % für die verschiedenen Luftfeuchtigkeiten in Abhängigkeit vom Gewichtsverlust. Bei der Berechnung der Veränderung des Ausgangsvolumens konnte die Quellung in Faserrichtung vernachlässigt werden, da die Werte in dem betrachteten Abbaubereich sehr gering waren.

Besprechung der Versuchsergebnisse.

Die Änderung der Ausgangsdimensionen des Holzes.

In allen beobachteten Fällen rief der Abbau durch Pilze eine Veränderung der Ausgangsdimensionen hervor. Dabei verkleinerten oder vergrößerten sich die Proben am stärksten in tangentialer, etwas schwächer in radialer und am wenigsten in axialer Richtung. Die Ungleichmäßigkeit dieser Dimensionsänderungen entspricht somit der von der Quellung bekannten Anisotropie des Holzes.

Die Wirkung von Braunfäulepilzen auf Kiefernholz. Die Einwirkungen von *Coniophora* und *Lentinus* auf die Ausgangsdimensionen von Kiefernspiltholz sind innerhalb der biologischen und meßtechnischen Fehlergrenzen als gleich anzusehen (Bild 3). — Die Beziehung zwischen Gewichtsverlust und Schrumpfung ist eindeutig.

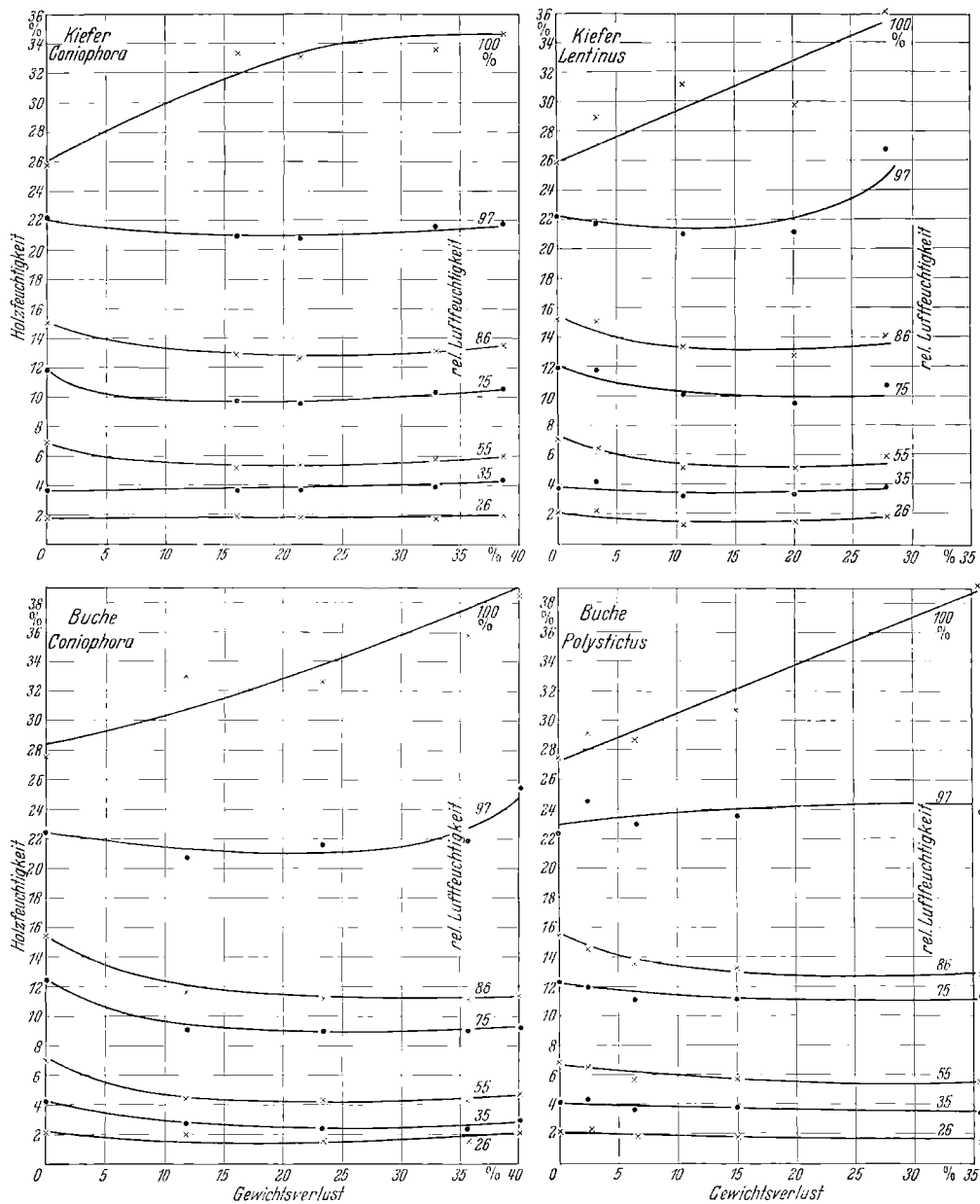


Bild 4. Die Holzfeuchtigkeit von Kiefern- und Buchenholz in % des Darrgewichtes bei verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten in Abhängigkeit vom Gewichtsverlust durch *Coniophora* und *Lentinus* bzw. *Polystictus*.

Sie verläuft jedoch nicht geradlinig, so daß die Volumenkontraktion, wie aus Tabelle 2 ersichtlich, in den einzelnen Abbaustufen unterschiedlich ist.

Tabelle 2. Änderung des Darrvolumens von Kiefern-splintholz, das durch *Coniophora* zerstört wurde, bei jeweils 10 zu 10% Gewichtsverlust.

| | | | | |
|----------------------|--------|---------|---------|---------|
| Gewichtsverlust in % | 0...10 | 10...20 | 20...30 | 30...40 |
| Volumenänderung in % | -2,4 | -4,0 | -6,0 | -7,0 |

Dies läßt vermuten, daß die ersten Stoffe, die von den Pilzen dem Holze entzogen werden, vorwiegend solche Substanzen sind, die in dem System, das für die Änderung der Ausgangsdimensionen verantwortlich gemacht werden muß, keine so entscheidende Rolle spielen, oder daß der Angriff so unregelmäßig erfolgt, daß eine Volumenkontraktion des ganzen Holzstückes nicht möglich ist. Für die Unregelmäßigkeit des Angriffes sprechen die polarisationsoptischen Untersuchungen von B. Schulze und G.

Theden (1938). Wahrscheinlich werden jedoch beide Faktoren zusammenwirken.

Die von W. Bavendam (1945) mitgeteilte Beobachtung, daß durch *Lentinus* abgebautes Holz weniger schrumpft als durch *Coniophora* zerstörtes Kiefernholz, kann nicht bestätigt werden. Es ist anzunehmen, daß die von W. Bavendam beobachteten Unterschiede auf einen ungleichen Abbaugrad der miteinander verglichenen Proben zurückzuführen sind.

Die Wirkung eines Braunfäulepilzes auf Buchenholz. Bei einem Abbau bis zu 30% durch *Coniophora* findet keine Verringerung, sondern eine Vergrößerung der radialen und tangentialen Ausgangsdimensionen statt, und zwar vergrößern sich die Proben bis zu einem Gewichtsverlust von 10 bis 15%. Stärker abgebautes Holz schrumpft wieder und erreicht bei 30 bis 40% Gewichtsverlust seine Ausgangsgröße (Bild 3). Eine stärkere Verringerung der Ausgangsdimensionen ist erst bei einem Gewichtsverlust von über 40% zu erwarten. — Die Längenänderung verhält sich ungefähr der beim Kiefernholz beobachteten entsprechend.

Die Wirkung eines Weißfäulepilzes auf Buchenholz. Das Maximum der Vergrößerung des Ausgangsvolumens durch *Polystictus* liegt bei 35% Gewichtsverlust (Bild 3). Die Vergrößerung (8%) ist etwa doppelt so hoch wie die des von *Coniophora* zerstörten Buchenholzes (4%). Die tangential Ausgangsdimension wird erst bei einem Gewichtsverlust von 75 bis 80% wieder erreicht. Bemerkenswert ist, daß sich die größte Volumenänderung während des ersten Angriffes des Pilzes vollzieht, wie aus Tabelle 3 entnommen werden kann. Im Gegensatz zu den Braunfäulepilzen ruft *Polystictus* keine Änderung der Ausgangsdimension in axialer Richtung bis zu dem beobachteten Gewichtsverlust von 40% hervor. Nach einer Aufnahme von G. Theden tritt auch noch keine Änderung bei 74% Gewichtsverlust ein.

Versuch einer Deutung. Das Holz erfährt durch den Abbau eine Dimensionsänderung, die eine spezifische Abhängigkeit vom Gewichtsverlust zeigt. Es liegt nun nahe, aus Art und Stärke der auftretenden Dimensionsänderungen Rückschlüsse auf die feineren Vorgänge beim Abbau zu ziehen.

Tabelle 5. Änderung des Darrvolumens von Buchenholz, das durch *Polystictus* zerstört wurde, bei jeweils 10 zu 10% Gewichtsverlust.

| | | | | | | |
|----------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Gewichtsverlust in % | 0...10 | 10...20 | 20...30 | 30...40 | 40...50 | 50...60 |
| Volumenänderung in % | +4,7 | +2,5 | +1,1 | +0,2 | -0,6 | -1,2 |

Die Anschauungen über die Quellung des Holzes in einer Flüssigkeit besagen, daß die Zellwand durch Wassereinlagerung verdickt wird, also senkrecht zu ihrer Oberfläche quillt, während eine Ausdehnung parallel zur Oberfläche der Zellwand durch die gegenseitige Absperrung, der sich in bestimmten Winkeln überschneidenden Fibrillen, fast vollständig verhindert wird. (A. Frey-Wyssling 1940, 1945 und R. Keylwerth 1944/45.) Daneben soll nach A. Frey-Wyssling (1945) die Anisotropie der Quellung zum Teil durch Zahl und Stärke der Mittellamellen bewirkt werden. Danach müssen also für die tangentiale Quellung hauptsächlich die radial ausgerichteten Zellwände verantwortlich gemacht werden und für die radiale Quellung die tangential orientierten.

Den Abbau des Holzes durch Braunfäuleerreger kann man sich nun so vorstellen, daß von den Hyphen ausgeschiedene Enzyme auf dem gleichen Wege wie ein beliebiges Quellungsmittel in die Interfibrillar- und Intermicellarräume eindringen und dort bevorzugt Kohlenhydrate abbauen. Da die Interfibrillaren und die Intermicellaren parallel zu den Fibrillen bzw. Micellen verlaufen (F. Kollmann 1951, A. Frey-Wyssling 1951), ist anzunehmen, daß diese auch einigermaßen parallel zu ihren Längsachsen abgebaut werden. Die einzelne Fibrille würde demnach gleichzeitig von außen (Interfibrillaren) und von innen (Intermicellaren) zerstört werden, während die einzelnen Micellen so abgebaut werden, daß ihr Kern vorerst erhalten bleibt. Daher besteht auch das Absperrsystem, das eine Schrumpfung parallel zur Oberfläche der Zellwand verhindert, zunächst weiter. Die Schrumpfung kann sich nach dieser Vorstellung in den ersten Abbaustadien nur wie bei der Schwindung gequollenen Holzes durch eine Ver-

dünnung der Zellwände auswirken. Wird durch die Wirkung der Enzyme der Durchmesser der Fibrillen und Micellen verringert, so ist bei Entzug des Quellungswassers und Wirksamwerden der Adhäsionskräfte eine Kontraktion der Zellwand über ihre ursprüngliche Dicke hinaus wahrscheinlich. Erst bei Zerstörung des Absperrsystems können auch andere Bewegungen in der Zellwand stattfinden, wie es unten bei der Längenschrumpfung besprochen werden soll.

Für den Grad der Verminderung der Ausgangsdimensionen in tangentialer Richtung wird jedoch noch ein anderer Faktor maßgebend, der auf der unterschiedlichen Dichte des Holzes beruht. — E. Vintila (1939) konnte für die einheimischen Nadelhölzer große Unterschiede im Schwindmaß des Früh- und Spätholzes nachweisen. Daraus schloß er, daß im gedarrten Zustande das Frühholz unter einer Druck- und das Spätholz unter einer Zugspannung in tangentialer Richtung stände. Dies bedeutet, daß Spätholz sich beim Darren nicht vollständig kontrahieren kann, da es durch das geringere Schwindungsbestreben des Frühholzes gehemmt wird. — Bei polarisationsoptischen Untersuchungen zerstörten Kiefernholzes konnte nun eine viel stärkere Zerstörung des Frühholzes als des Spätholzes festgestellt werden (Bild 6). Die Frühholzzellen müssen demnach einen erheblichen Teil ihrer Widerstandsfähigkeit gegen den Druck des Spätholzes bei der Schwindung eingebüßt haben. Wird diese Widerstandsfähigkeit gleich Null, so muß sich nach den Zahlen von E. Vintila die tangentiale Ausgangsdimension um $\approx 3\%$ verkürzen. — Die mikroskopischen Beobachtungen ergaben ferner, daß die gemeinsamen Wände von Markstrahlzellen und Tracheiden, die ja in radialer Richtung orientiert sind, fast vollkommen zerstört wurden. Dies muß ebenfalls die Schrumpfung in Jahrringrichtung verstärken.

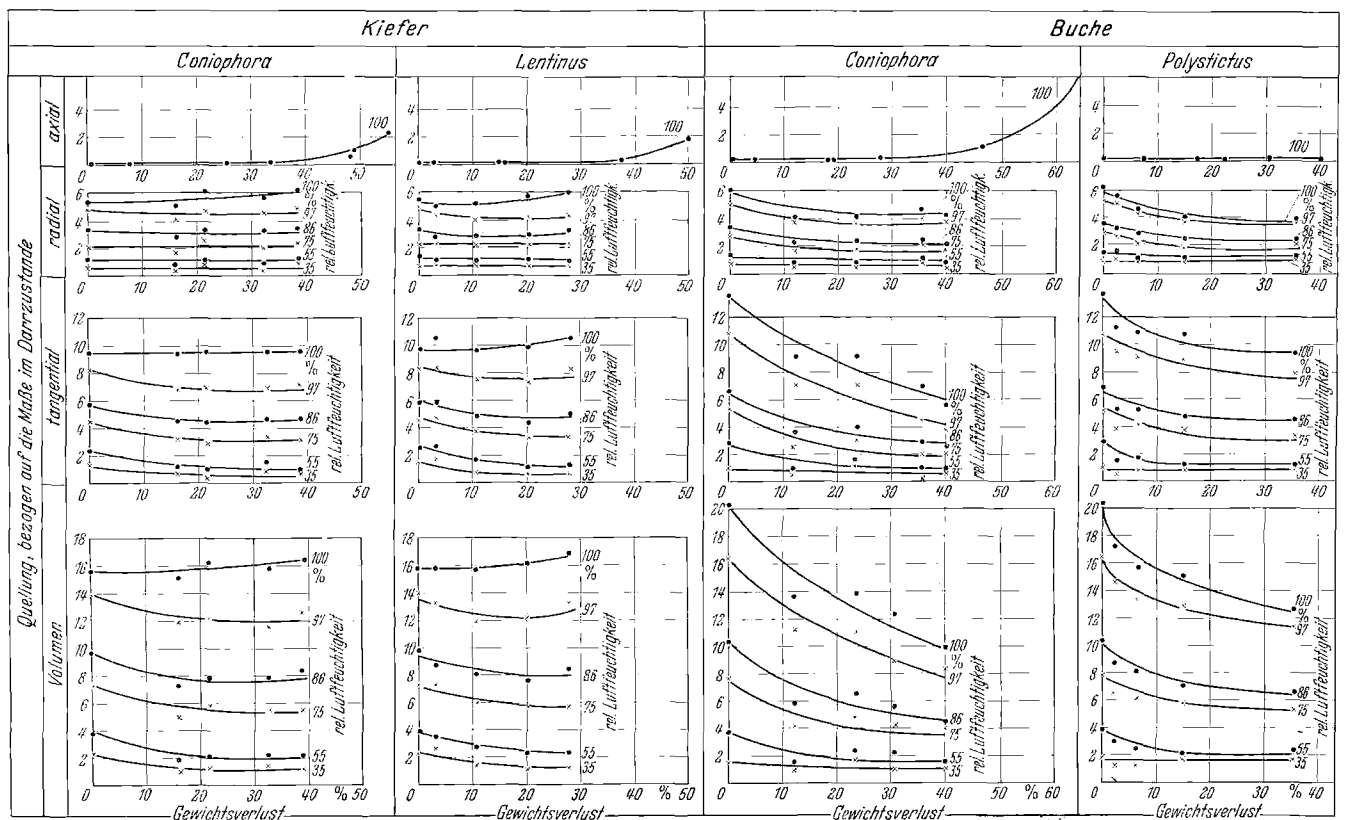
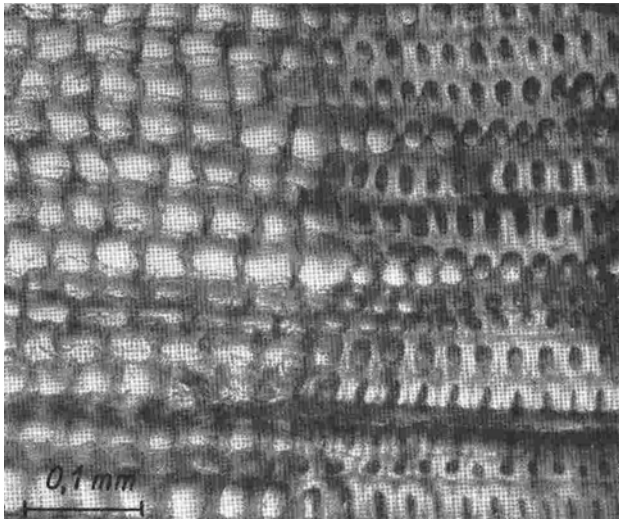
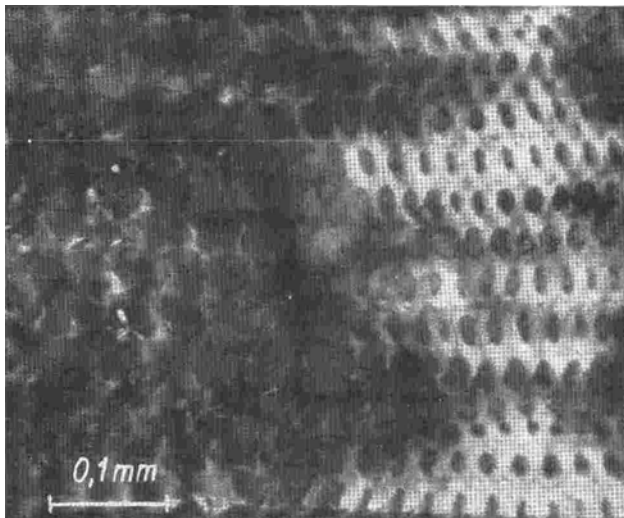


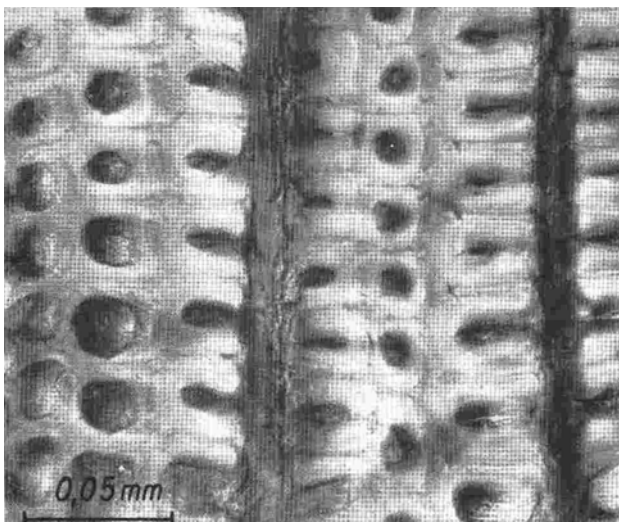
Bild 5. Die Quellung von Kiefern- und Buchenholz in % der Maße im gedarrten Zustande bei verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten. Die Quellung ist über dem Gewichtsverlust aufgetragen, den die Proben durch den Abbau durch *Coniophora* und *Lentinus* bzw. *Polystictus* erlitten haben. Die Zahlen an den Kurven geben die relative Luftfeuchtigkeit an. (Mittelwerte aus 8 Messungen.)



a Vergr. 151 ×



b Vergr. 151 ×



c Vergr. 585 ×

Bild 6. Durch *Lentius* angegriffenes Kiefernholz (51,0% Gewichtsverlust).

6a. Querschnitt im normalen Licht.

6b. Derselbe Schnitt im polarisierten Licht

6c. Derselbe Schnitt im normalen Licht. Die dunklen Streifen sind zerstörte Markstrahlen.

Beide Beobachtungen bieten gute Erklärungen für die anisotrope Schrumpfung der Ausgangsdimensionen von Nadelhölzern durch den Abbau durch Pilze.

Die dargelegten Vorgänge erklären jedoch nicht die beobachtete Vergrößerung der Ausgangsdimensionen bei dem teilweise abgebauten Buchenholz. Dafür können folgende Deutungsmöglichkeiten herangezogen werden: 1. Werden feste Stoffe in den Intermicellaren oder Interfibrillaren abgelagert, so schwindet das Holz beim Darren nicht wieder bis zu seiner Ausgangsgröße. Dies kann bei der Einlagerung von Kunstharzen in die Zellwand beobachtet werden, und ist auch von A. J. Stamm (1934 und 1939) bei der Tränkung des Holzes mit Salz- oder Zuckerlösungen nachgewiesen worden. Eine derartige Einlagerung von Stoffen in die Zellwand durch Pilze wurde jedoch bisher nicht beobachtet und erscheint bei Betrachtung der großen Mengen (bis zu 8 Vol. % des Holzes), die für eine derartige Vergrößerung des Ausgangsvolumens erforderlich wären, nicht wahrscheinlich. 2. Es könnte angenommen werden, daß durch den Abbau die Kräfte gewisser Spannungen im Micellargefüge freigemacht werden. Beim Darren von gesundem Buchenholz entstehen wahrscheinlich zwischen den einzelnen Cellulosemolekülen durch Verdrehung der Ketten bei der Annäherung der einzelnen OH-Gruppen Spannungen, deren Vorhandensein E. Kollmann (1951) aus der Beobachtung ableitet, daß das Maximum der Zugfestigkeit nicht bei 0%, sondern bei etwa 8% Holzfeuchtigkeit zu finden ist. Wird durch den Abbau Buchenholz so weit verändert, daß ein derartiger Spannungszustand im Holz beim Entquellen nicht mehr eintreten kann, so wird sich das Holz auch nicht mehr bis zu seiner Ausgangsgröße in gesundem Zustande kontrahieren. — Diese Erklärung trägt jedoch nur hypothetischen Charakter, da eine sichere Deutung auf Grund der hier angestellten Versuche nicht möglich ist. — Bei stärkerem Abbau von Buchenholz durch *Coniophora* können wieder die gleichen Vorgänge in der Zellwand angenommen werden, die für das Kiefernholz bereits geschildert wurden, und die sich in einer Volumenkontraktion auswirken.

Eine Schrumpfung der Ausgangsdimensionen in Faserichtung ist erst denkbar, wenn das gegenseitige Absperrsystem der Fibrillen und Micellen, das vorher der Zellwand eine wesentliche tangentiale und axiale Dimensionsänderung, also in der Ebene der Zellwand, verwehrte, so weit zerstört ist, daß es tangentiale und axiale Bewegungen in der Zellwand nicht mehr verhindern kann. In diesem Falle würde die Schrumpfung in Faserichtung durch die Abnahme des Durchmessers der Micelle und durch ihren Steigungswinkel bedingt werden. Dies entspräche der Anschauung, die früher von A. Frey-Wyssling (1940) und anderen geäußert wurde, wonach die Anisotropie bei der Quellung des Holzes durch den unterschiedlichen Steigungswinkel der Micellen in den radialen und tangentialen Zellwänden erklärt wurde. Hier erst wäre jedoch durch die Zerstörung des Absperrsystems wirklich die Voraussetzung für einen derartigen Wirkungsmechanismus gegeben. — Für diese Erklärung spricht auch die plötzlich bei einem Gewichtsverlust durch Braunaufäulepilze von etwa 40% stark eintretende Veränderung der axialen Ausgangsdimensionen. Trifft die dargelegte Vorstellung zu, so ist zu fordern, daß stark abgebaute Proben ebenfalls eine höhere Quellung in axialer Richtung aufweisen. Dies konnte tatsächlich für alle entsprechenden Proben nachgewiesen werden (Bild 5). So erreicht Buchenholz mit einem Gewichtsverlust von 63% eine axiale Quellung von 5,6%. Zwischen der Dimensionsänderung durch den Abbau und der Quellung des Holzes ergibt sich eine fast geradlinige Beziehung (Bild 7).

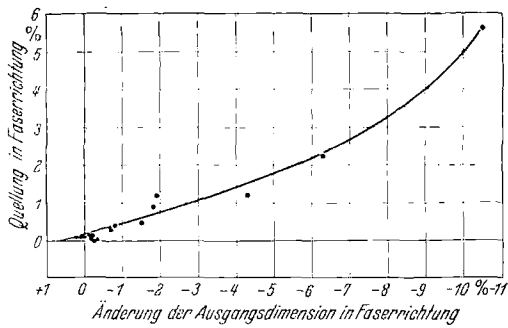


Bild 7. Beziehung zwischen der Änderung der axialen Dimensionen von gedarrtem Kiefern- und Buchenholz durch den Abbau durch Braunfäulepilze und seiner axialen Quellfähigkeit. (Alle Werte sind auf die Abmessungen im darrtrockenen Zustande bezogen.)

Polystictus bewirkt dagegen im Bereich der beobachteten Gewichtsverluste überhaupt keine Kontraktion in Faserrichtung. Es läßt sich daraus schließen, daß es dem Pilz nicht gelingt, das Absperrsystem der Fibrillen zu zerstören. Diese Vorstellung wird durch die Tatsache gestützt, daß durch *Polystictus* zerstörte Proben bei Wasserlagerung keine erhöhte Quellfähigkeit in Faserrichtung aufweisen. — Die von den Braunfäulen unterschiedliche Abbauwirkung von *Polystictus* auf Buchenholz kann durch zwei Beobachtungen erklärt werden: 1. Bei 40% Gewichtsverlust wird nur etwa die Hälfte an Kohlenhydraten abgebaut wie bei den Braunfäulen (H. v. Pechmann und O. Schaile 1950). 2. Eine Erhöhung der Alkalilöslichkeit von Kohlenhydraten, die auf eine erhebliche Zerstörung längerer Ketten hinweist, tritt im Gegensatz zu den Braunfäulen fast nicht ein.

Dem zusätzlichen Abbau von Lignin durch *Polystictus* entsprechend liegt das Maximum der Vergrößerung des Ausgangsvolumens bei etwa dem doppelten Gewichtsverlust wie bei durch *Coniophora* abgebautem Buchenholz.

Die Änderung der Sorptionsfähigkeit des Holzes.

Als Sorptionsfähigkeit soll hier das Vermögen des Holzes aufgefaßt werden, der Luft Feuchtigkeit zu entziehen, ohne daß die Luft durch Überschreiten des Taupunktes das Holz befeuchtet. Als physikalische Grundlage für diese Betrachtungen sollen die Vorstellungen übernommen werden, die F. Kollmann (1951) in seiner Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe dargelegt hat. Danach ist der Vorgang der Sorption in die Chemosorption (etwa bis 6% Holzfeuchtigkeit), die Adsorption, bei der Wasserdampf auf der inneren Oberfläche des Holzes verdichtet wird (etwa bis 15% Holzfeuchtigkeit) und die Kapillarkondensation zu unterteilen. Natürlich setzen sich die einzelnen Formen der Sorption nicht scharf gegeneinander ab, so daß in den einzelnen Bereichen der Holzfeuchtigkeit nicht nur die eine oder die andere Form wirksam ist; vielmehr handelt es sich nur um ein Überwiegen einer bestimmten Sorptionsform. Zur Abgrenzung der einzelnen Sorptionsformen ist nicht die Holzfeuchtigkeit verwendet worden, sondern diejenige relative Luftfeuchtigkeit, die bei gesundem Holz eine Feuchte von etwa 6 bzw. 15% einstellt. — Die Werte für gesundes Holz geben an, daß die Grenze für die Chemosorption etwa bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 55% und für die Adsorption bei 86% zu suchen ist.

Aus Bild 4 ist zu entnehmen, daß die Sorptionsfähigkeit bei beiden Holzarten und den verschiedenen Abbauformen prinzipiell gleich verändert wird. Für die nähere Analyse der Versuchsergebnisse sollen im folgenden die Wassermengen in % des Holzgewichtes betrachtet werden, die das Holz in

den einzelnen Sorptionsbereichen aufgenommen hat. Die entsprechenden Werte sind in % der Wasseraufnahme des gesunden Holzes in Bild 8 dargestellt.

Bei allen vier Darstellungen sinkt die Chemosorption durch den Pilzangriff bis zu einem Gewichtsverlust von ungefähr 10% und verändert sich dann nicht mehr wesentlich. Es läßt sich daraus entnehmen, daß bis zu einem Gewichtsverlust von 10% vorwiegend Stoffe abgebaut werden, die durch ihre chemische Struktur besonders befähigt sind, Wasser zu binden. Solche Stoffe sind die Hemicellulosen.

Diese Betrachtungen bestätigen auch die Ergebnisse von S. N. Basu und S. N. Ghose (1952), die einen leichteren Abbau der Hemicellulosen gegenüber der Cellulose durch Schimmelpilze feststellten. Ferner stimmt diese Vorstellung mit den Annahmen überein, die in dem Abschnitt über die Ausgangsdimensionen des Holzes aus den Kurven der Abbaugeschwindigkeiten (Bild 2) und aus der Änderung der Dimension bei Kiefernholz (Tabelle 2) gemacht wurden.

L. M. Pidgeon und O. Maass (1930) (zitiert bei F. Kollmann 1951) fanden bei 21,7% relativer Luftfeuchtigkeit und 23° C folgende Wasseraufnahmen: Holzzellstoff 5,4%, Lignin 2,1%, Fichtenholz 4,7%. Aus diesen Zahlen geht die geringe Chemosorption des Lignins gegenüber der Cellulose hervor. So wird auch verständlich, daß die Kurve der Chemosorption bei Buchenholz, das durch *Coniophora* befallen wurde, wesentlich stärker absinkt (40%) als die Kurve bei weißfäulem Buchenholz (20%), in dem Lignin und Kohlenhydrate etwa im gleichen Maße abgebaut worden sind.

Die Kurven der Adsorption aus dem Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit von 55 bis 86% zeigen meist eine leicht fallende Tendenz. Diese darf vielleicht auf eine Verringerung der inneren Oberfläche der Zellwand zurückgeführt werden, wie sie bei der Verminderung des Durchmessers der einzelnen Micellen durch den enzymatischen Abbau anzunehmen ist.

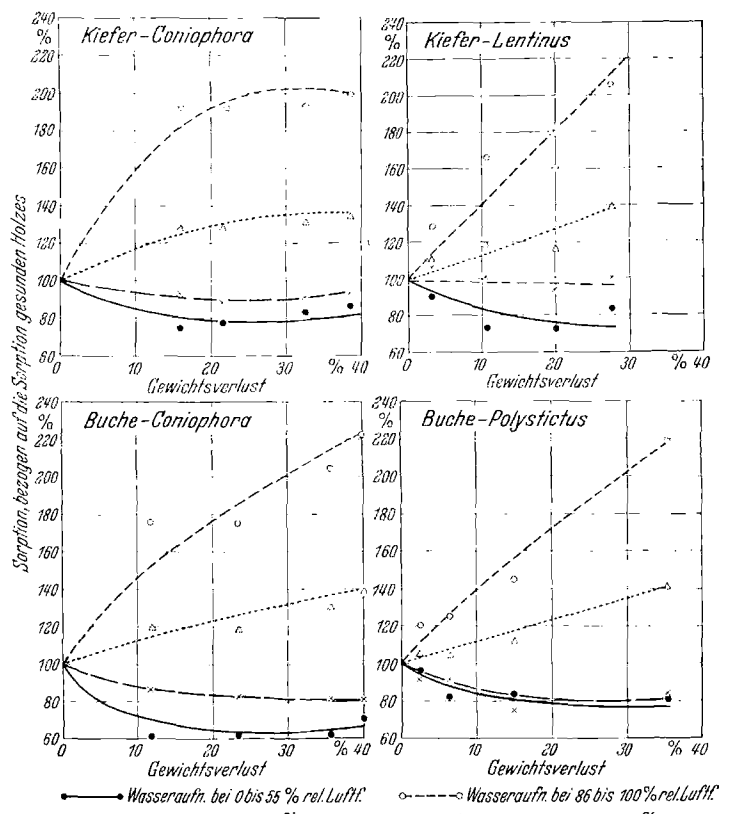


Bild 8. Wasseraufnahme pilzzerstörten Holzes in verschiedenen Luftfeuchtebereichen in % der Wasseraufnahme gesunden Holzes in Abhängigkeit vom Gewichtsverlust in %.

Die größten Veränderungen des Holzes durch den Pilzangriff lassen sich aus den graphischen Darstellungen für den Bereich der Kapillarkondensation feststellen. — Die Erhöhung der prozentualen Kapillarkondensation weist darauf hin, daß durch den pilzlichen Abbau das inter-fibrillare Kapillarsystem ganz erheblich erweitert worden ist. Unterteilt man den Luftfeuchtebereich noch einmal von 86 bis 97% und 97 bis 100%, so ergibt sich bei allen untersuchten Holzarten und Pilzen, daß die Kapillarkondensation ganz besonders in dem letzten Bereich zum Teil bis auf das 3- bis 3,5fache erhöht worden ist. Legt man die Werte von W. W. Barkas (1938) (zitiert bei F. Kollmann 1951) über die Relation zwischen Kapillarradius und relativem Dampfdruck zugrunde, so werden besonders die Kapillaren mit einem Radius über 10^{-6} cm erweitert bzw. deren Zahl erhöht. — Dieser Befund erklärt mit die höhere Wasseraufnahme von pilzzerstörtem Holz bei Wasserlagerung und die bessere Tränkstoffeindringung bei Imprägnierung, über die T. C. Scheffer (1936), K. Cartwright und W. P. K. Findlay (1946) und O. Suolahti (1948) berichtet haben, obwohl sicherlich bei diesen Vorgängen den von den Hyphen in die Zellwände gebohrten Löchern eine größere Bedeutung beizumessen ist. — Außerdem läßt sich aus der starken Erweiterung und Vermehrung gerade der großen Kapillaren ableiten, daß die chemischen Reaktionen beim enzymatischen Abbau sich zu einem erheblichen Teil in den Interfibrillaren bzw. an der Oberfläche der Fibrillen abspielen müssen.

Die Erhöhung der Kapillarkondensation auch bei weißfaulem Buchenholz zeigt an, daß hier ebenfalls innerhalb der verbleibenden Zellwand Abbauvorgänge eingetreten sein müssen. — An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß im Bereich der Kapillarkondensation nicht etwa nur die prozentuale, sondern auch die absolute Sorption erhöht worden ist, so daß es tatsächlich gerechtfertigt ist, von einer Erweiterung des kapillaren Systems der Zellwand im gequollenen Zustand zu sprechen.

Bei der Veränderung der Sorptionsfähigkeit des Holzes durch den enzymatischen Abbau kann nach den vorliegenden Untersuchungen nicht einfach von einer absoluten Erhöhung oder Minderung dieser Eigenschaft, sondern nur in bezug auf einen bestimmten Luftfeuchtebereich gesprochen werden.

Die Veränderung des Quellvermögens des Holzes.

Wird Holz in seiner gesamten Quellfähigkeit verändert, so kann dies aus drei Ursachen erfolgen:

1. Die prozentuale Sorptionsfähigkeit ist geändert, so daß mehr oder weniger Wasser je Gewichtseinheit bei gleicher relativer Luftfeuchtigkeit aufgenommen wird.
2. Die durch Sorption aufgenommene Wassermenge drückt sich durch eine Veränderung der inneren Struktur der Zellwand anders als bei unverändertem Holz in der Volumenzunahme aus.
3. Durch einen Substanzverlust ist die Rohwichte des Holzes verändert worden, so daß bei gleicher prozentualer Sorption die absolute Menge aufgenommenen Wassers sinkt.

Alle drei Faktoren zusammen bewirken die äußerlich meßbare positive oder negative Quellungsveränderung, die im folgenden als „äußere Quellungsveränderung“ bezeichnet werden soll. Ferner werden die Ausdrücke „prozentuale Sorptionsveränderung“, „innere Quellungsveränderung“ und „absolute Sorptionsveränderung“ für die unter 1., 2. und 3. erwähnten Erscheinungen gebraucht werden. Das Wort „gesamt“ vor einem dieser Ausdrücke soll bedeuten, daß es sich um An-

gaben für den gesamten Sorptionsbereich von 0 bis 100% relativer Luftfeuchtigkeit handelt.

Die Beziehungen zwischen den einzelnen Begriffen lassen sich in folgender Gleichung wiedergeben:

$$Q_a = \frac{Q_n \cdot S_p \cdot Q_i \cdot (100 - G_v)}{100 \cdot S_n}$$

Es bedeuten:

- Q_a = Äußere Quellung abgebauten Holzes in %
- Q_i = Innere Quellung abgebauten Holzes
- S_p = Sorption des abgebauten Holzes in %
- G_v = Gewichtsverlust in %
- Q_n = Äußere Quellung gesunden Holzes in %
- S_n = Sorption des gesunden Holzes in %

Nach dieser Formel berechnete Werte stimmen gut mit den empirisch bestimmten überein.

Die prozentuale Sorptionsveränderung wurde bereits in dem Abschnitt über die Änderung der Sorptionsfähigkeit des Holzes besprochen. Die innere Quellung erfaßt man durch den Ausdruck, der angibt, welche Volumenvergrößerung durch die Einlagerung von 1 g Wasser in die Zellwand erfolgt ist (= Quellung in cm^3/g Wasseraufnahme). Nach Untersuchungen zahlreicher Forscher soll dieses Verhältnis im Normalfall den Wert 1 haben. Jede Abweichung von 1 bzw. vom Wert für das gesunde Holz ist daher als innere Quellungsveränderung aufzufassen. Ist das Verhältnis > 1 , so soll im folgenden von einer positiven inneren Quellungsveränderung gesprochen werden, ist es < 1 entsprechend von einer negativen. In Bild 9 ist die innere Quellung über dem Gewichtsverlust für alle untersuchten Holzarten und Pilze aufgetragen.

Bei *Kiefernholz* tritt eine gesamte innere Quellungsveränderung durch den Abbau fast nicht ein. Die gesamte äußere Quellungsveränderung ist hier also von der prozentualen und absoluten Sorptionsveränderung abhängig. In den einzelnen Sorptionsbereichen liegen dagegen größere

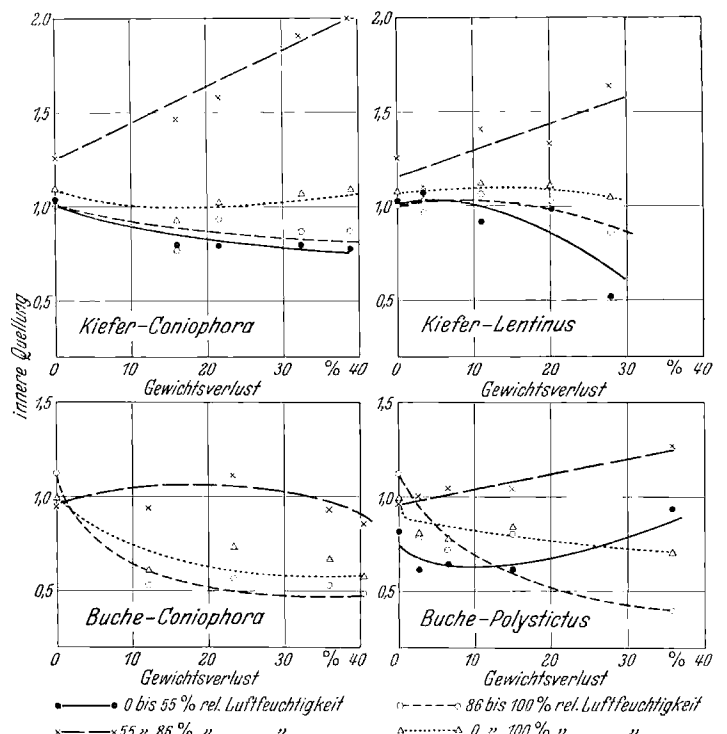


Bild 9. Verhältnis von Quellung in cm^3 zu Wasseraufnahme in g (= Innere Quellung) von unterschiedlich stark zerstörtem Kiefern- und Buchenholz in verschiedenen Bereichen der relativen Luftfeuchtigkeit.

holz, die durch den Abbau dieser Hölzer durch *Coniophora cerebella*, *Lentinus lepideus* und *Polystictus versicolor* bewirkt waren.

2. Kiefernholz erfuhr durch den Abbau eine Schrumpfung, Buchenholz bis zu einem gewissen Zerstörungsgrad eine Vergrößerung der Dimensionen im Darrzustand. Bei stärkerem Abbau wurden die Abmessungen von Buchenholz wieder verringert. Die Dimensionsänderungen erfolgten bei beiden Holzarten anisotrop. Es wurde versucht, diese Erscheinungen aus den Spannungen zwischen Früh- und Spätholz, der stärkeren Zerstörung der Markstrahlen beim Kiefernholz und durch die Lösung von Kräften innerhalb der Zellwand beim Buchenholz zu erklären. — Durch Braunfäulepilze wurde bei Gewichtsverlusten über 40% auch in Faserrichtung eine starke Schrumpfung hervorgerufen. Gleichzeitig verstärkte sich die Quellfähigkeit in dieser Richtung erheblich. Aus diesen Beobachtungen wird auf die Zerstörung des fibrillaren Absperrsystems geschlossen.

3. Unterschiedlich stark abgebautes Holz wurde auf seine Sorptionsfähigkeit untersucht und der Unterteilung von F. Kollmann folgend, wurden die Bereiche der Chemosorption, der Adsorption und der Kapillarkondensation getrennt betrachtet. Die Verminderung der Chemosorption deutet auf den Abbau von Kohlenhydraten, der Anstieg der Kapillarkondensation auf die Vergrößerung der Kapillarität der Zellwand hin. — Aus den Sorptionszahlen ergab sich, daß auch *Polystictus* innerhalb der Zellwand Stoffe abbaut.

4. Die prozentuale und absolute Sorptionsveränderung und die innere Quellungsveränderung, definiert als das Verhältnis von Volumenzunahme in cm^3 zu Wasseraufnahme in g durch Sorption, bedingten die meßbare Quellungsveränderung des Holzes. Die Beziehungen der einzelnen Faktoren zu der äußeren, meßbaren Quellung ließ sich in einer Gleichung ausdrücken.

5. Aus einer Betrachtung der inneren Quellung wurde auf einen ungleichmäßigen Abbau der einzelnen Micelle und eine Zunahme großer Kapillaren in der Zellwand geschlossen.

6. Bei polarisationsoptischen Untersuchungen an Kiefernholz konnte eine besonders starke Zerstörung der Markstrahlen und des Frühholzes durch die Versuchspilze beobachtet werden. Die anisotrope Quellung blieb auch erhalten, wenn die radial versteifenden Markstrahlen fast vollständig zerstört waren.

7. Durch den Befall mit *Polystictus* erhöhte sich die anisotrope Quellung des Buchenholzes besonders im Bereich der Kapillarkondensation.

Schrifttum.

1. Barkas, W. W.: Recent Work on the Moisture in Wood in Relation to Strength and Shrinkage. For. Prod. Res. Spec. Rep. No. 4 London 1958. — 2. Basu, S. N. und S. N. Ghose: Fungal Decomposition of Jute Fibre and Cellulose. J. Text. Inst., Trans. Bd. 43 (1952), T 278. — 3. Bavendam, W.: Über den Einfluß des Darrrens von Holz auf seine Pilzanfälligkeit. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 6 (1945), S. 161. — 4. Cartwright, K. und W. P. K. Findlay: Decay of Timber and its Prevention. Dept. Sci. Ind. Res. London 1946. — 5. Frey-Wyssling, A.: Die Anisotropie des Schwindmaßes auf dem Holzquerschnitt. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 3 (1940), S. 45. — 6. Frey-Wyssling, A.: Die Ursachen der anisotropen Schwindung des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 3 (1940), S. 549. — 7. Frey-Wyssling, A.: Weitere Untersuchungen über die Schwindungsanisotropie des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 6 (1945), S. 197. — 8. Frey-Wyssling, A.: Über veränderte Mikrofibrillen in Zellwänden. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 9 (1951), S. 553. — 9. Frey-Wyssling, A.: Über den inneren Aufbau der Cellulosemikrofibrillen. Makromol. Chem., Bd. 6 (1951), S. 8. — 10. Gersonde, M.: (Unveröffentlichte Untersuchungen.) — 11. Keylwerth, R.: Das Schwinden und seine Beziehungen zu Rohwichte und Aufbau des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 7 (1944/45), S. 7. — 12. Keylwerth, R.: Formänderungen in Holzquerschnitten. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 9 (1951), S. 255. — 13. Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 1951. — 14. Mayer-Wegelin, H.: Die Festigkeit verstockten Rotbuchenholzes. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 11 (1955), S. 175. — 15. Mörath, E.: Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Darmstadt 1952. — 16. Nord, F. F. und W. J. Schubert: Enzymatic Studies on Cellulose, Lignin and the Mechanism of Lignification. Holzforschung, Bd. 5 (1951), S. 1. — 17. Pechmann, H. v., und O. Schaile: Über die Änderung der dynamischen Festigkeit und der chemischen Zusammensetzung des Holzes durch den Angriff holzerstörender Pilze. Forstw. Cbl., Bd. 69 (1950), S. 441/466. — 18. Pidgeon, L. M. und O. Maaß: J. Amer. Chem. Soc., Bd. 52 (1950), S. 1055. — 19. Scheffer, T. C.: Progressive Effects of *Polyporus versicolor* on the Physical and Chemical Properties of Red Gum Sapwood. U. S. Dept. Agr. Washington. Techn. Bull. Nr. 527 (1956). — 20. Schulze, B. und G. Theden: Polarisationmikroskopische Untersuchungen über den Abbau des Werkstoffes Holz durch holzerstörende Pilze. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 1 (1958), S. 548. — 21. Stamm, A. J.: Effect of Inorganic Salts Upon the Swelling and Shrinking of Wood. J. Amer. Chem. Soc., Bd. 56 (1934), S. 1195. — 22. Stamm, A. J.: Treatment with Sucrose and Invert Sugar. Ind. and Eng. Chem., Bd. 29 (1937), S. 855. — 23. Suolahti, O.: Lahon ja Terveen Puun Kastuminen ja Kuivuminen. Helsingissä syyskulla 1948. — 24. Theden, G.: (Unveröffentlichte Untersuchungen.) — 25. Vintila, E.: Untersuchungen über Raumgewicht und Schwindmaß von Früh- und Spätholz bei Nadelholz. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 2 (1959), S. 545.

Fäulnisversuche mit nach der Wechseldruckmethode getränktem Holz.

Von Erik Rennerfelt, Experimentalfältet.

Forstliche Forschungsanstalt Schwedens.

Behandlung und Tränkung des Holzmaterials. — Aufnahme des Tränkmittels. — Die Fäulnisversuche. — Zusammenfassung. — Schrifttum.

Behandlung und Tränkung des Holzmaterials.

In einem früheren Artikel wurden die Prinzipien der Holztränkung nach der Wechseldruckmethode ausführlich beschrieben [Henriksson (1)]. Der folgende Aufsatz gibt einen Einblick in die Fäulnisversuche, die mit verschiedenem, nach dieser Methode getränktem Holzmaterial durchgeführt wurden.

Zweck der Versuche war, den Haltbarkeitseffekt von wechseldruckgetränktem Holz zu bestimmen. Dazu sollte

feuchtes, unbearbeitetes Holzmaterial verwendet werden, das mit den bei dieser Methode in Frage kommenden Mitteln getränkt war.

Laboratoriumsversuche werden gewöhnlich mit kleinen Holzklötzchen aus getrocknetem Kiefernspinnholz durchgeführt. Die Bestimmung der in den Klötzchen enthaltenen Menge Imprägnierungsmittel geschieht an Hand der aufgenommenen Tränkflüssigkeit (Gewichtsunterschied der Klötzchen vor und nach der Tränkung) und der Konzentration der Lösung. Bei der Wechseldrucktränkung von feuchtem Holz kann diese Methode nicht angewendet werden, vielmehr muß die Aufnahme des Tränkmittels durch Analyse des Holzes bestimmt werden.