

- (1928) S. 1604, B. 63 (1930) S. 282, 2984. — ¹⁷ O. Engel und E. Wedekind, DRP. 581806 (1932/33); Papierfabr. Bd. 31 S. 473; Z. angew. Chem. Bd. 46 (1933) S. 760. — ¹⁸ H. Staudinger und E. Dreher, B. 69 (1936) S. 1729; G. F. Wright und H. Hibbert, J. Amer. chem. Soc. Bd. 59 (1937) S. 125; Pulin Behari Sarkar, Sci. and Culture Bd. 2 (1937) S. 411. — ¹⁹ F. Brauns, Pulp and Paper Magazine of Canada Bd. 37 (1937) S. 569; K. Storch, Cellulosechem. Bd. 17 (1936) S. 43. — ²⁰ K. Freudenberg, Tannin, Zellulose, Lignin, S. 117, 126. Berlin: Julius Springer 1933. — ²¹ A. v. Wacek, B. 63 (1930) S. 2984; Z. Papier, Pappe, Zellulose u. Holzstoff Bd. 56 (1938) S. 29; E. Harris, J. Amer. chem. Soc. Bd. 58 (1936) S. 894; E. Wedekind, Papierfabr. Bd. 35 (1937) S. 141. — ²² E. Hägglund und B. Sundroos, Biol. Z. Bd. 146 (1924) S. 222. — ²³ J. Amer. chem. Soc. Bd. 52 (1930) S. 793. — ²⁴ K. Freudenberg, W. Bilz und Chr. Niemann, B. 62 (1929) S. 1554. — ²⁵ A. Bell, A. Cramer, G. Wright und H. Hibbert, B. 71 (1938) S. 752. — ²⁶ Ältere Literatur vgl.: W. Fuchs, Die Chemie des Lignins, S. 83—88. Berlin: Julius Springer 1926. — ²⁷ K. Freudenberg, M. Meister und E. Flickinger, B. 70 (1937) S. 500; J. H. Payne, E. Fukunaga und R. Kojima, J. Amer. chem. Soc. Bd. 59 (1937) S. 1210; G. Wright und H. Hibbert, J. Amer. chem. Soc. Bd. 59 (1937) S. 125; J. Compton und H. Hibbert, Canad. Journ. of Research Bd. 15 B (1937) S. 38. — ²⁸ K. Freudenberg, H. Zocher und W. Dürr, B. 62 (1929) S. 1814. — ²⁹ K. Freudenberg, Tannin, Zellulose, Lignin, S. 122. — ³⁰ K. Freudenberg, F. Sohns und A. Janson, A. 518 (1935) S. 62. — ³¹ A. 532 (1937) S. 104. — ³² Vgl. dazu auch: Pulin Behari Sarkar, Sci. and Culture Bd. 1 (1935) S. 60; J. Indian chem. Soc. Bd. 12 (1935) S. 470, 542, 547. — ³³ A. Bell, A. Cramer, G. Wright und H. Hibbert, B. 71 (1938) S. 750 (Fußnote!). — ³⁴ K. Freudenberg und F. Sohns, B. 66 (1933) S. 262. — ³⁵ M. J. Hunter, G. F. Wright und H. Hibbert, B. 71 (1938) S. 734, dort auch Literatur über diese Gruppe. — ³⁶ J. Amer. chem. Soc. Bd. 59 (1937) S. 125, Bd. 71 (1938) S. 734, 746. — ³⁷ K. Freudenberg, Tannin, Zellulose, Lignin, S. 131. — ³⁸ A. v. Wacek, B. 63 S. 282; vgl. auch K. Freudenberg und Mitarbeiter, B. 71 (1938) S. 1821. — ³⁹ Ältere Literatur in den mehrfach erwähnten Monographien von W. Fuchs (1926) und K. Freudenberg (1933). — ⁴⁰ G. Tomlinson und H. Hibbert, J. Amer. chem. Soc. Bd. 58 (1936) S. 345, 348; W. Hawkins, G. F. Wright und H. Hibbert, ebenda Bd. 59 (1937) S. 2447; O. Alvfeldt und E. Hägglund, Svensk Pappers Tidn. Bd. 40 (1937) S. 236. — ⁴¹ J. Buckland, G. H. Tomlinson jr. und H. Hibbert, J. Amer. chem. Soc. Bd. 59 (1937) S. 597. — ⁴² A. Bell, W. Hawkins, G. Wright und H. Hibbert, J. Amer. chem. Soc. Bd. 59 (1937) S. 598. — ⁴³ Y. Hachihama und W. Takemura, J. Soc. chem. Ind. Bd. 40 (1937) S. 354; J. Payne, E. Fukunaga und R. Kojima, J. Amer. chem. Soc. Bd. 59 (1937) S. 1210. — ⁴⁴ Zusammenfassung in Jahresbericht 1937 des Vereins der Zellstoff- u. Papierchemiker und Ingenieure, Adolf Scheufelen-Festschrift. — ⁴⁵ K. Freudenberg, Tannin, Zellulose, Lignin, S. 119ff., 137, ferner K. Freudenberg, K. Engler, E. Flickinger, A. Sobek und F. Klink, B. 71 (1938) S. 1810. — ⁴⁶ Zusammenfassung: Cellulosechem. Bd. 13 (1932) S. 113. — ⁴⁷ Zusammenfassung: A. v. Wacek, Öst. Chemiker-Ztg. Bd. 36 (1933) S. 84, 94; Z. Papier, Pappe, Zellulose u. Holzstoff Bd. 56 (1938) S. 27. — ⁴⁸ A. 513 (1934) S. 229. — ⁴⁹ R. D. Haworth, Geo. Sheldrick und C. R. Mavin, J. chem. Soc. London 1935 S. 636. — ⁵⁰ R. Haworth und W. Kelly, J. chem. Soc. London 1937 S. 1645. — ⁵¹ J. pharmac. Soc. Japan Bd. 56 (1936) S. 68, C 36 II S. 2926. — ⁵² Svensk kem. Tidskr. Bd. 48 (1936) S. 230, C 37 I S. 896. — ⁵³ J. Amer. chem. Soc. Bd. 54 (1932) S. 1518. — ⁵⁴ E. Harris, J. D'Ianni und H. Adkins, J. Amer. chem. Soc. Bd. 60 (1938) S. 1467. — ⁵⁵ K. Freudenberg, H. Zocher und W. Dürr, XI. Mitteilung über Lignin B. 62 (1929) S. 1814. — ⁵⁶ Vgl. z. B. K. Freudenberg, M. Meister und E. Flickinger, B. 70 (1937) S. 500. — ⁵⁷ R. Hilpert, I. Pfützenreuter, B. 71 (1938) S. 2220. — ⁵⁸ H. Friese, V. Högn und H. Wille, B. 70 (1937) S. 1072. — ⁵⁹ Zur Morphologie vgl. Monographie K. Freudenberg, S. 139ff. und W. Voss, R. Bauer und J. Pfirschke A. 534 (1938) S. 95. — ⁶⁰ H. Friese, B. 70 S. 1059. — ⁶¹ Vgl. dazu auch F. E. Brauns und D. Brown, Ind. Engng. Chem. Bd. 30 (1938) S. 781. — ⁶² Vgl. z. B.: B. Posanne: v. Ehrenthal, Lehrbuch der chem. Technologie des Papiers, Leipzig 1923. — ⁶³ Zur Theorie des Sulfitkochprozesses vgl. besonders die Arbeiten von E. Hägglund, Verein d. Zellstoff- u. Papier-Chemiker u. Ing. Jahresbericht 1936 S. 115 (XXXV. Mitteilung Papierfabr. 1938 S. 266) und B. Holmberg¹⁴, Svensk Pappers Tidn. Bd. 39 (1936) Spezialnummer S. 113; A. Klein, Verein d. Zellstoff- u. Papier-Chemiker u. Ing. Jahresbericht 1931 S. 36. — ⁶⁴ Freudenberg, Monographie S. 128. — ⁶⁵ E. Hägglund und G. Carlsson, Biochem. Z. Bd. 257 (1933) S. 467. — ⁶⁶ B. 70 S. 506 und Papierfabr. 1937, Jahresbericht S. 84. — ⁶⁷ F. E. Brauns und D. S. Brown, Ind. Engng. Chem. Bd. 30 (1938) S. 779. — ⁶⁸ Collegium B. 193 (1937). — ⁶⁹ Collegium B. 217 (1937). — ⁷⁰ Zusammenfassung siehe Gordon M. Kline, Modern Plastics Bd. 14 (1937) S. 39, 46. — ⁷¹ Chem. Ind. Rev. Bd. 57 (1938) S. 116.

(B. = Ber. dtsh. chem. Ges.; A. = Liebig's Ann.)

Polarisationsmikroskopische Untersuchungen über den Abbau des Werkstoffes Holz durch holzerstörende Pilze¹.

Von B. Schulze und G. Theden.

(Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, Institut für Werkstoff-Biologie.)

1. Vorbemerkung und Allgemeines.
2. Versuchsordnung.
3. Ergebnisse.
 - A. Die räumliche Verteilung des Zelluloseabbaues im Holz.
 - B. Zahlenmäßige Auwertung des polarisationsmikroskopischen Verfahrens.
 - C. Erklärung der Ribbildung auf Grund polarisationsmikroskopischer Befunde.
 - D. Vergleich des polarisationsmikroskopischen Verfahrens mit dem Röntgen-Interferenz-Verfahren.
4. Zusammenfassung.

1. Vorbemerkung und Allgemeines.

Die im folgenden beschriebenen polarisationsmikroskopischen Untersuchungen stellen weitere Ergebnisse einer Arbeit dar, die mittels verschiedener Verfahren das Ziel verfolgt, tieferen Einblick in den Ablauf des Befalls und teilweisen Abbaus des Werkstoffes Holz durch holzerstörende Pilze zu gewinnen. Dabei wurde unterstellt, daß eine bessere Kenntnis dieses Geschehens sowohl die mit dem Holzschutz zusammenhängenden Fragestellungen befruchten als auch Unterlagen für die Erkennung und zeitliche Beurteilung des schon stattgefundenen Befalls beibringen könnte.

¹ Die vorliegende Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit Geldmitteln unterstützt, wofür auch an dieser Stelle bestens gedankt sei.

Über röntgenographische Untersuchungen, die in diesem Zusammenhang bereits ausgeführt worden sind, sowie über die der Untersuchung unterliegenden Holzarten und die Anordnung der Pilzversuche wurde schon in dieser Zeitschrift¹ berichtet. Ebenso wie bei dem Bericht über die bereits veröffentlichten Röntgen-Interferenz-Untersuchungen handelt es sich bei der vorliegenden Arbeit um Teilergebnisse, die immerhin an einer Reihe von Beispielen das besprochene Verfahren grundsätzlich klären.

Es konnte bereits gezeigt werden, wie der Abbau der Zellulose im Holz durch bestimmte holzerstörende Pilze sich an Hand von Röntgendiagrammen verfolgen läßt: mit fortschreitendem Abbau wird das Röntgendiagramm der Zellulose immer schwächer, um schließlich völlig zu verschwinden. Es lag nahe, diesen Abbau der Zellulose auch polarisationsmikroskopisch zu verfolgen, denn eine Minderung des kristallinen Anteils der Zellwand muß sich auch in einer Veränderung ihrer Doppelbrechung bemerkbar machen.

Derartige polarisationsmikroskopische Untersuchungen gingen wegen ihrer einfachen Durchführbarkeit unseren Versuchen mit Röntgenaufnahmen voraus und wurden laufend fortgeführt.

In gegenseitiger Unabhängigkeit hat K. Lohwag polarisationsmikroskopische Untersuchungen² an Fichten-

holz, das von *Merulius lacrimans*, und an Tannenholz, das von *Fomes Hartigii* angegriffen war, vorgenommen. Seine Beobachtungen über die veränderte Doppelbrechung der Zellwände pilzbefallenen Holzes werden inhaltlich durch die hier gemachten Erfahrungen bestätigt.

2. Versuchsanordnung.

Es standen sowohl mit Nikolschen Prismen wie mit Polarisationsfiltern nach Bernauer (Carl Zeiss) ausgerüstete Polarisationsmikroskope zur Verfügung.

Zur Untersuchung kamen von Hand angefertigte Radial-, Quer- und Tangentialschnitte aus Holzklötzchen von der Abmessung $0,75 \times 2,5 \times 5$ (cm³), die unter genau festgelegten Bedingungen von holzerstörenden Pilzen bestimmte Zeit angegriffen worden waren.

Die Präparate wurden zwischen gekreuzten Polarisations-einrichtungen betrachtet. Die Faserrichtung des Holzes war dabei etwa 45° gegen die Auslöschungsrichtung der Polarisations-einrichtungen geneigt. Die Stellung der Polarisations-einrichtungen ist aus den dunklen Armen der Hoftüpfel-Kreuze zu erkennen.

Für die subjektive Beobachtung erwies es sich als günstig, unter Einschaltung eines Gipsplättchens Rot I oder Rot II zu arbeiten: dann leuchten die zellulosehaltigen Teile blau und gelb, während auf dem roten Grund die von der Zellulose befreiten Zellwände dunkelbraun erscheinen.

Die Lichtbildaufnahmen wurden unter Benutzung von Polarisationsfiltern mit dem Ultraphot hergestellt. Um auch hier in einer einzigen Aufnahme sowohl die zellulosehaltigen doppelbrechenden, d. h. zwischen gekreuzten Polarisations-einrichtungen hellleuchtenden Zellwände zu zeigen, wie auch zugleich die von ihrer Zellulose befreiten zwischen gekreuzten Polarisations-einrichtungen dunklen, ist bei einem Teil der Abbildungen der Bildgrund mit ein wenig gewöhnlichem Licht etwas aufgehellt, so daß sich das zellulosefreie Gewebe gerade noch dunkel gegen ihn abhebt.

3. Ergebnisse.

A. Die räumliche Verteilung des Zelluloseabbaues im Holz.

An dem in Abb. 1a gezeigten Radialschnitt durch gesundes Kiefernholz erkennt man, wie zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern sämtliche Zellwände sich infolge der in ihnen enthaltenen Zellulose hellleuchtend vom dunklen Gesichtsfeld abheben; dabei leuchten die dicken Spät-holz-wände infolge der größeren Menge doppelbrechender Zellulose heller als die zarten Frühholz-wände, diese aber fallen durch die „Hoftüpfel-Kreuze“ auf, die durch die ringförmige Anordnung der Zellulosemicelle in der gewölbten Deckwand der Höfe zustande kommen (siehe auch Abb. 2b).

In dem Schnitt, aus dem die Zellulose chemisch herausgelöst ist³ (Abb. 1b) hat das Leuchten der Zellwände einen erheblichen Rückgang erfahren, die Hoftüpfel-Kreuze sind verschwunden. Die übriggebliebene schwache Doppelbrechung wird als „Formdoppelbrechung“ gedeutet, die durch die regelmäßig angeordneten Hohlräume in dem von der Zellulose befreiten Ligningerüst zustande kommt⁴.

In dem von *Merulius* angegriffenen Holz ist stellenweise die Doppelbrechung vernichtet, während in unmittelbarer Nachbarschaft die Doppelbrechung der Zellwände sich nicht von der gesunden Holzes unterscheidet. Auf Abb. 1c findet man sowohl im Spät- als auch im Frühholz Bereiche völlig erhaltener neben solchen zerstörter Doppelbrechung.

Ein Vergleich der Abb. 2a und 2b zeigt, wie die Verwendung polarisierten Lichtes bei der Untersuchung der Abbauvorgänge des Holzes Tatbestände enthüllt, die im gewöhnlichen Licht nicht zu erkennen sind: auf Abb. 2a sind keine groben Veränderungen durch den Pilzbefall festzustellen, dagegen geht aus Abb. 2b derselben Stelle zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern hervor, daß ein Teil der Zellwände eine tiefgreifende Umwandlung erfahren hat: die rechte Seite der Abbildung bleibt dunkel; die Zellwände haben ihre Doppelbrechung verloren, kein Hoftüpfelkreuz leuchtet dort auf, wo es nach der Anwesenheit

eines Hoftüpfels zu erwarten wäre. Das besagt, daß in all diesen Zellen die Zellulose durch die Lebenstätigkeit des Pilzes vernichtet worden ist.

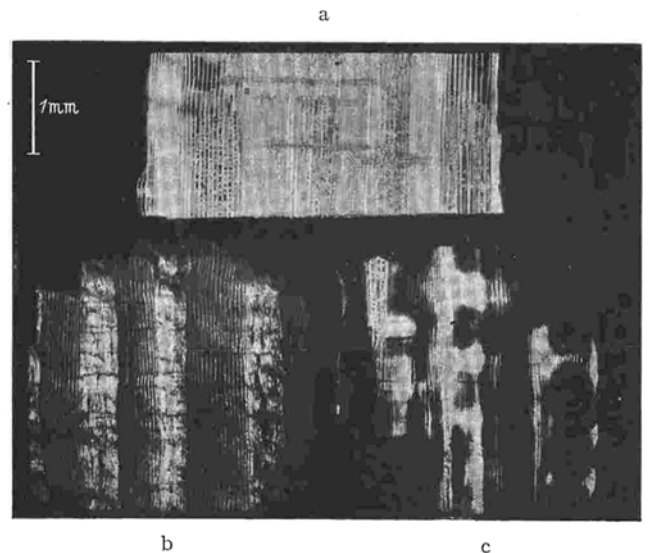


Abb. 1. Radialschnitte durch Kiefernholz zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern*.
a) Gesundes Holz. b) Chemisch von Zellulose befreites Holz. c) Von *Merulius lacrimans domestica* 6 Monate lang angegriffenes Holz.

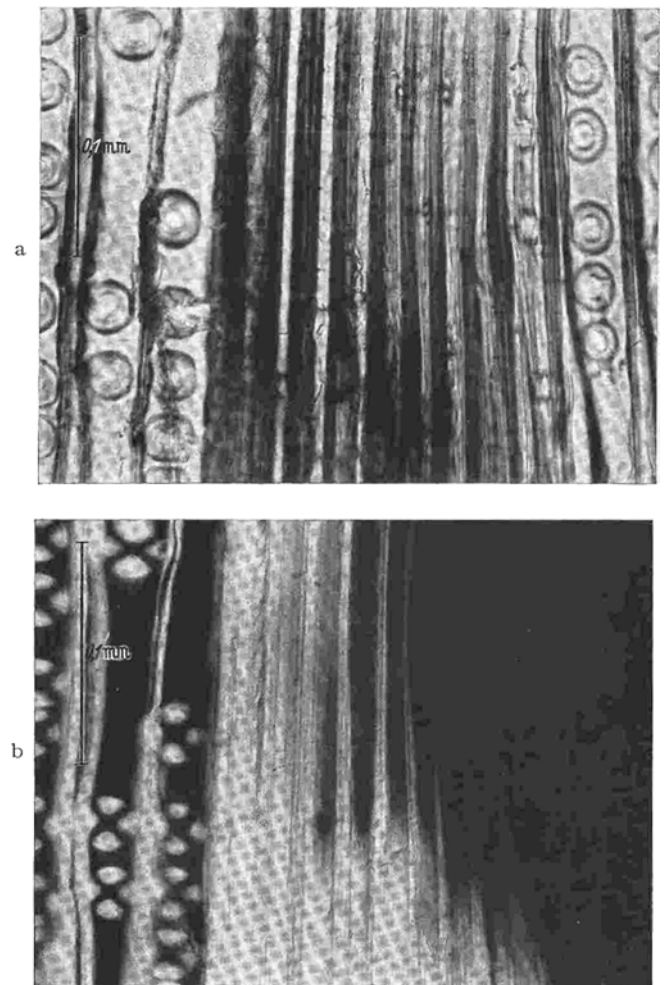


Abb. 2. Radialschnitt durch Kiefernholz, das 6 Monate von *Merulius lacrimans domestica* angegriffen worden ist, a) in gewöhnlichem Licht, b) zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern.

* Sämtliche Bilder sind Aufnahmen von G. Theden, Staatliches Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, Institut für Werkstoff-Biologie.

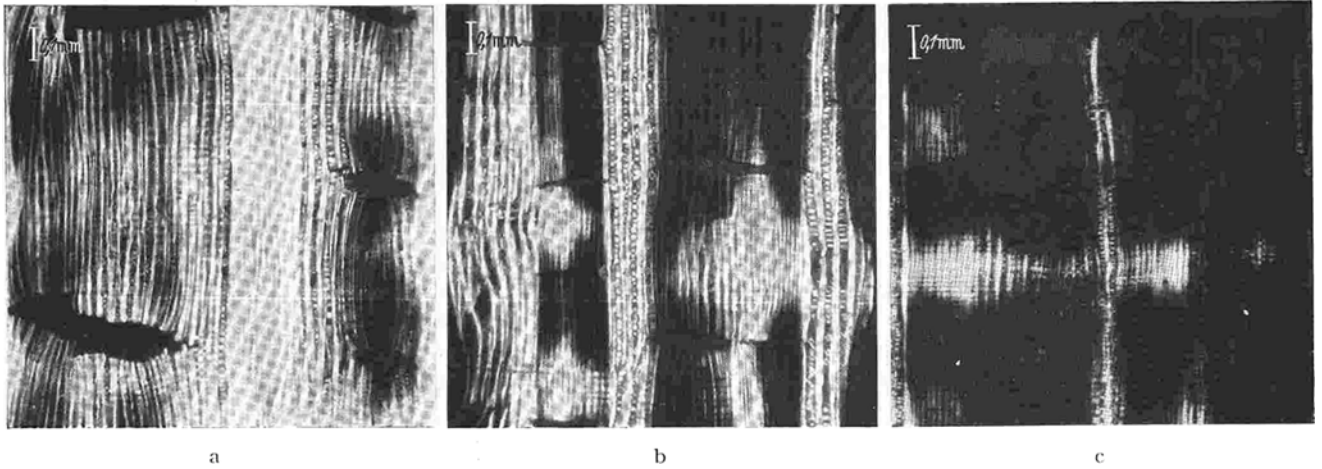


Abb. 3a, b und c. Radialschnitte durch Kiefernholz, das 3, 6 und 10 Monate von *Merulius lacrimans domesticus* angegriffen worden ist, zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern. Fortschreitender Verlust der Doppelbrechung.

Die schon aus dem Mitgeteilten ersichtliche hervorragende Brauchbarkeit des polarisationsoptischen Verfahrens zur Verfolgung des Zelluloseabbaues im Holz wird nun besonders deutlich bei seiner Anwendung auf die hier

unter genau festgelegten Bedingungen gewonnenen Versuchshölzer. An Hand der Bildreihen 3a bis c und 5a bis c läßt sich der fortschreitende Abbau der Zellulose durch holzerstörende Pilze verfolgen.

Nach 3monatigem Angriff von *Merulius lacrimans domesticus* auf Kiefernholz macht sich erst an einzelnen Stellen die Zerstörung der Zellulose durch eine Schwächung oder Vernichtung der Doppelbrechung bemerkbar (Abb. 3a). Nach weiteren 3 Monaten hat die Zerstörung schon einen beträchtlichen Hundertsatz aller Zellwände erfaßt (Abb. 3b), und nach 10monatiger Einwirkung ist nur noch in einigen Bezirken ein Rest der ursprünglichen Doppelbrechung übriggeblieben (Abb. 3c).

Es fällt auf, daß bestimmte Stellen im Holz eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen den Verlust ihrer Zellulose aufweisen.

1. Die Tracheiden des ersten im Jahre gebildeten Frühholzes, etwa 4 an der Zahl, kenntlich daran, daß sie ohne Übergang an die engstlumigen Spätholzzellen grenzen, weisen eine durchschnittlich bessere Erhaltung ihrer Doppelbrechung auf als das übrige Gewebe.

2. Oft haben auch die Zellwände in der unmittelbaren Nachbarschaft von Markstrahlen ihre Doppelbrechung bewahrt, während im Gewebe ringsum die Zellulose völlig verschwunden ist.

Abb. 4 mag noch zur Verdeutlichung der bevorzugten Erhaltung der Doppelbrechung im frühesten Frühholz und in der Markstrahl-Nachbarschaft beitragen.

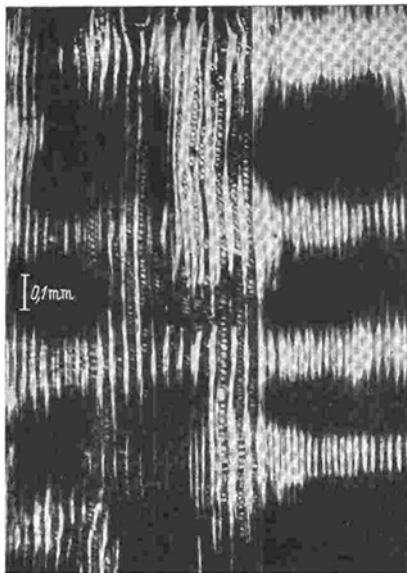


Abb. 4. Radialschnitt durch Kiefernholz, das 10 Monate von *Poria vaporaria* angegriffen worden ist, zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern.

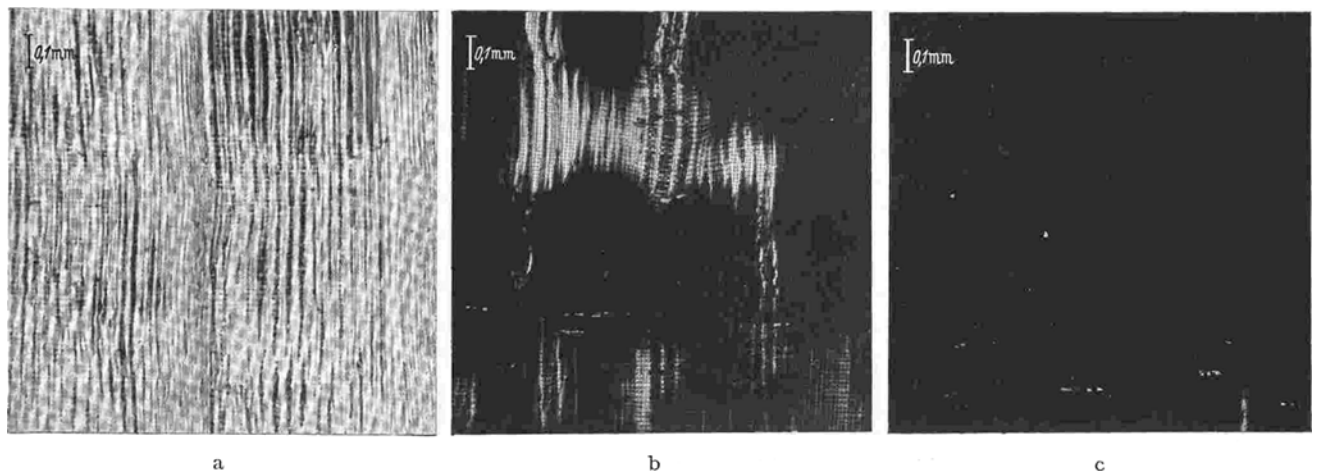


Abb. 5a, b und c. Radialschnitte durch Fichtenholz, das 3, 6 und 10 Monate von *Poria vaporaria* angegriffen worden ist, zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern. Fortschreitender Verlust der Doppelbrechung.

Das von *Poria vaporaria* 3 Monate lang angegriffene Fichtenholz (Abb. 5a) weist an einigen Stellen eine Schwächung der Doppelbrechung auf, die freilich in der Abbildung nur gerade noch zu erraten ist. Nach 6 Monaten hat die Zerstörung große Fortschritte gemacht (Abb. 5b), und nach 10 Monaten ist bis auf zwei kleine Stellen im Spätholz (oben und unten auf Abb. 5c) und

aufweist, d. h. zu einem großen Teil noch nicht vollständig vernichtet, sondern erst mehr oder weniger geschwächt ist. Ähnlich zeigt das von *Merulius lacrimans domesticus* angegangene Fichtenholz ausgedehnte Übergangsgebiete mit beeinträchtigter Doppelbrechung zwischen den Stellen, die ihr Leuchten zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern unverändert erhalten, und denen, die es völlig eingebüßt

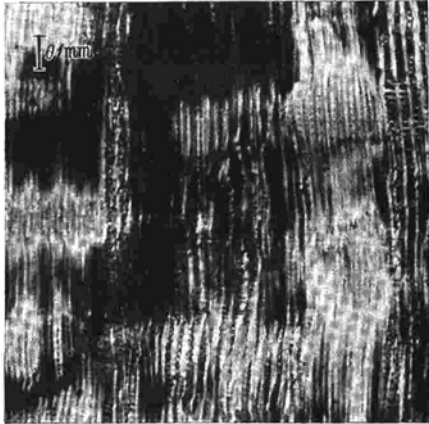


Abb. 6. Radialschnitt durch Kiefernholz, das von *Coniophora cerebella* angegriffen worden ist, zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern.

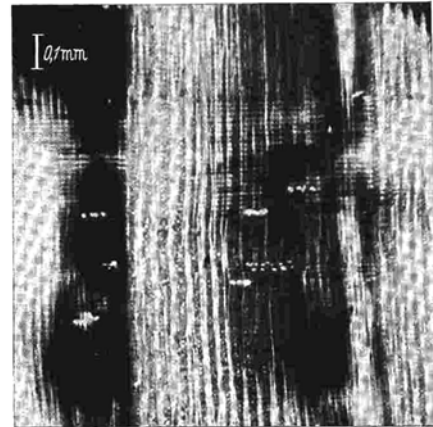


Abb. 7. Radialschnitt durch Fichtenholz, das von *Merulius lacrimans domesticus* angegriffen worden ist, zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern.

einige schwach leuchtende Stellen im Frühholz die Doppelbrechung vollständig vernichtet. Die helleuchtenden Vierecke längs der Markstrahlen sind Kalziumoxalat-Kristalle. Die bevorzugte Erhaltung der Doppelbrechung in frühesten Frühholz und längs der Markstrahlen ist beim Fichtenholz zwar auch festzustellen, jedoch nicht so regelmäßig und deutlich wie bei der Kiefer.

haben. Weiter zeigt Abb. 7 die an dem Fichtenholz bei *Coniophora*-, *Merulius*- und *Poria*-Angriff regelmäßig beobachtete Tatsache, daß die Vernichtung der Doppelbrechung im Spätholz weiter fortgeschritten ist als im Frühholz. Im Gegensatz dazu erfolgt beim Kiefernholz der Abbau der Zellulose durch dieselben Pilze im Spät- und Frühholz gleichzeitig, oder es eilt sogar der Verlust

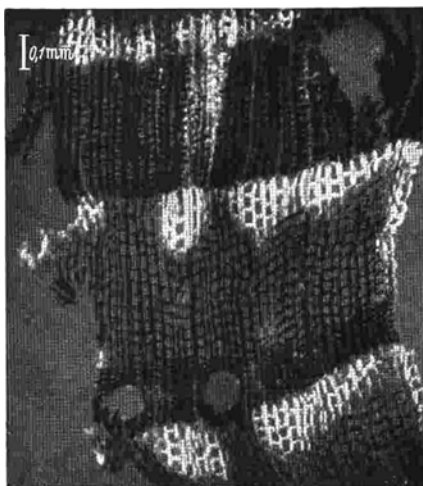


Abb. 8. Kiefer-*Merulius lacrimans domesticus*.



Abb. 9. Kiefer-*Coniophora cerebella*.

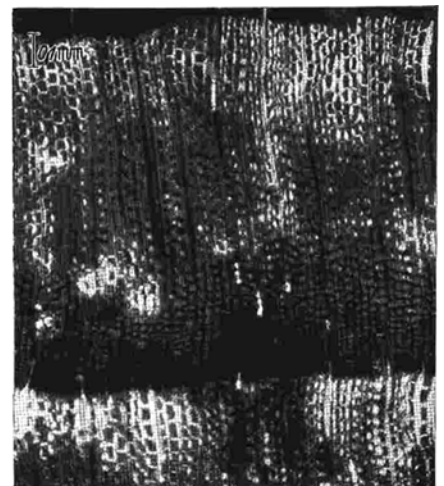


Abb. 10. Fichte-*Merulius lacrimans domesticus*.

Abb. 8, 9 und 10. Querschnitte durch Holz, das von holzerstörenden Pilzen weitgehend zersetzt ist (über 60% Gewichtsverlust), zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern.

Ein Vergleich der Abb. 3b, 6 und 7 miteinander lehrt, daß die räumliche Verteilung von zerstörter und erhaltener Doppelbrechung je nach Holz- und Pilzart recht verschieden sein kann. Bei dem Kiefernholz, an dem *Merulius lacrimans domesticus* sein Zerstörungswerk ausgeübt hat, sind die in der Doppelbrechung zerstörten und die erhaltenen Bezirke ausgedehnt und ziemlich scharf gegeneinander abgegrenzt im Vergleich zu dem Bilde, das das von *Coniophora* angegriffene Kiefernholz bietet: auf kleinem Raum wechselt dort Zerstörung und Erhaltung miteinander ab, wobei die Doppelbrechung alle Stufen der Zerstörung

der Doppelbrechung im Frühholz derjenigen im Spätholz voraus. Auch bei Fichtenholz kann allerdings das Spätholz eine bedeutend bessere Erhaltung nach erfolgtem Pilzangriff aufweisen als das Frühholz, z. B. bei der Einwirkung von *Lenzites abietina*.

Die räumliche Verteilung von erhaltener und zerstörter Doppelbrechung ist auch aus Querschnittsbildern ersichtlich. Vergleicht man die Abb. 8 und 9, die dieselbe von verschiedenen Pilzen angegriffene Holzart, und Abb. 8 und 10, die verschiedene vom gleichen Pilz zersetzte Holzarten zeigen, miteinander, so bestätigen sich die bereits

angedeuteten Gesetzmäßigkeiten: *Coniophora cerebella* läßt im Kiefernholz zahlreiche kleine Stellen erhaltener und nur geschwächerter Doppelbrechung stehen, während *Merulius* am selben Holze größere, scharf begrenzte Gebiete unverändert läßt, am Fichtenholz dagegen den Spätholzanteil bevorzugt angreift und im Frühholzanteil die Doppelbrechung der Zellwände weithin nur herabsetzt, ohne sie völlig zu vernichten. Weiterhin zeigen die Querschnittsbilder die bevorzugte Erhaltung längs der Markstrahlen, besonders deutlich Abb. 9. Im frühesten Frühholz weist vor allem Abb. 8 ganze Nester von Zellen auf, deren Doppelbrechung unangetastet erscheint, obwohl gerade dieses Holz im allgemeinen besonders stark zerstört ist.

Die geschilderten Gesetzmäßigkeiten lassen sich auf allen Stufen der Zerstörung verfolgen, im Anfang sind sie nur weniger deutlich.

Ob und wie weit die aufgezeigten Unterschiede für die untersuchten Holz- und Pilzarten allgemein kennzeichnend sind, läßt sich heute noch nicht entscheiden. Es muß erst noch Klarheit darüber geschaffen werden, von welchen weiteren Bedingungen die räumliche Verteilung erhaltener und zerstörter Zellulose in den Zellwänden abhängt.

Tatsache ist, daß überhaupt derartige Unterschiede bestehen und daß unter den hier eingehaltenen Kulturbedingungen bestimmte Zuordnungen möglich sind.

B. Zahlenmäßige Auswertung des polarisationsmikroskopischen Verfahrens.

Auch eine zahlenmäßige Erfassung der Holzzerstörung durch Pilze, wie sie sich im Polarisationsmikroskop zeigt, wurde versucht. Hierbei wurden an mehreren Schnitten die einzelnen Tracheiden nach der Erhaltung oder Zerstörung ihrer Doppelbrechung ausgezählt, wobei je 1 mm Länge der Tracheiden zur Berücksichtigung kam.

Nun ist selbst an solchen Stellen, an denen eine Tracheide zum Teil gut erhaltene, zum Teil zerstörte Doppelbrechung aufweist, jedoch die Begrenzung ziemlich scharf ist, eine Abschätzung des zerstörten Anteiles verhältnismäßig leicht. Wo aber viele Tracheiden Zwischenstufen zwischen Erhaltung und Zerstörung zeigen (siehe z. B. Abb. 6), haftet der Auszählung eine recht beträchtliche Unsicherheit an. Immerhin ergab sich, daß bei Auszählungen durch denselben Beobachter die Ergebnisse nur um wenige Hundertteile schwankten. Zahlentafel 1 bringt Ergebnisse solcher Auszählungen.

Bei den angeführten Holz- und Pilzarten beginnt eine das gesamte Klötzchen durchsetzende, deutliche Zerstörung der Doppelbrechung erst bei einem Gewichtsverlust von etwa 25%. Örtliche Zerstörungen der Doppelbrechung am Rande der Klötzchen sind allerdings schon viel früher nachweisbar. Beispielsweise konnte am Rande eines Kiefernholzklötzchens, das nach *Lenzites abietina*-Angriff erst weniger als 1/2% seines Gewichtes verloren

Zahlentafel 1. Anteil der Tracheiden mit zerstörter Doppelbrechung in Holz, das verschieden stark von holzerstörenden Pilzen angegriffen worden ist.

Holz-Art	Versuchspilz	Versuchsdauer in Monaten	Gewichtsverlust des Klötzchens %	Tracheiden mit vernichteter Doppelbrechung %	
Kiefer	<i>Coniophora cerebella</i>	3	27	0	
		6	31	12	
		10	48	20	
	"	"	6	46	69
			10	62	79
			10	62	75
	"	<i>Poria vaporaria</i>	3	27	15
			6	51	53
			10	66	85
	"	<i>Merulius lacrimans domesticus</i>	3	38	25
6			46	72	
			48	72	
			48	72	
10			48	77	
			50	69	
			55	67	
10	69	97			
Fichte	<i>Coniophora cerebella</i>	3	19	0	
		6	31	23	
		10	59	94	
	"	<i>Poria vaporaria</i>	3	31	9
			6	61	95
			10	65	98
	"	<i>Merulius lacrimans domesticus</i>	3	43	9
			6	55	26
			10	62	78
10	63	85			

) deutet an, daß die Ergebnisse von verschiedenen Stellen desselben Klötzchens gewonnen wurden.

hatte, an einigen Randstellen der Verlust der Doppelbrechung bereits beobachtet werden. Dies erscheint wichtig mit Rücksicht auf den Nachweis frühesten Angriffe auf die Holzmasse durch holzerstörende Pilze. Nach 3monatigem Angriff ist der Doppelbrechungsverlust noch oft im Innern des Klötzchens geringer als in den äußeren Teilen; so hatten nach 3monatigem *Merulius*-Angriff an einem Klötzchen mit einem Gewichtsverlust von 43% im Innern erst 20% der Tracheiden die Doppelbrechung verloren, während es weiter außen schon 52% waren. Bei weiter fortgeschrittenem Pilzangriff ist ein einwandfreier Unterschied zwischen Innen und Außen gewöhnlich nicht mehr festzustellen, wohl aber kommt es oft vor, daß der Abbau der Zellulose sich nicht gleichmäßig auf das ganze Klötzchen verteilt, sondern an einem Ende stärker ist als am andern. Ein besonders auffälliges Beispiel dafür bietet ein Kiefernholzklötzchen nach 6monatigem *Poria vaporia*-Angriff, das an einem Ende noch seine Doppelbrechung unverändert erhalten, am anderen aber zu 70% verloren hatte und an einer dazwischen liegenden Stelle 50% zerstörte Tracheiden aufwies; der Gewichtsverlust des ganzen Klötzchens betrug 47%.

Wie die Zahlentafel 1 zeigt, steigt zwar mit wachsendem Gewichtsverlust die Anzahl der Tracheiden, die ihre Doppelbrechung verloren haben, aber eine strenge Abhängigkeit zwischen beiden Werten ergibt sich nicht. Das ist zunächst darauf zurückzuführen, daß die Gewichtsverluste Mittelwerte für die ganzen Klötzchen sind, während für die polarisationsmikroskopischen Untersuchungen nur einzelne Holzstellen herausgegriffen werden, die, wie gesagt, oft verschieden stark angegriffen sind. Weiterhin ist zu bedenken, daß bei der gleichen Zahl zerstörter Tracheiden der Gewichtsverlust verschieden ausfallen muß, je nachdem vorzugsweise Früh- oder Spätholz zellen der Zerstörung anheim gefallen sind.

Immerhin erscheint es lohnend, diese zahlenmäßige Beziehung weiter zu verfolgen, da zu erwarten ist, daß — nach Klärung einiger in Abschnitt A angedeuteter Vorfragen — dieses Verfahren eine einigermaßen sichere und zahlenmäßig leicht faßbare Beurteilung des Zersetzungsgrades an einem vorgelegten befallenen Holz ermöglichen wird.

C. Erklärung der Ribbildung auf Grund polarisationsmikroskopischer Befunde.

Infolge der Einwirkung bestimmter Pilze wird das Holz bekanntlich von Rissen und Spalten zerklüftet. Für einige Eigentümlichkeiten dieser Ribbildung vermag die Heranziehung polarisationsmikroskopischer Befunde eine einleuchtende Erklärung zu geben.

So ist es auffällig, daß Klötzchen, die einen Pilzangriff mittlerer Dauer erlitten haben, nach dem Ausbau aus den Kolleschalen oft stärker mit Rissen und Spalten durchsetzt sind als diejenigen, die derselbe Pilz besonders weitgehend abgebaut hat. Abb. 11 zeigt, wie mit durch *Merulius lacrimans domesticus* hervorgerufenem steigendem Gewichtsverlust die Rissigkeit des Holzes zunächst zunimmt, jedoch nach sehr starker Zersetzung wieder zurückgeht. Auch aus den Abb. 3a, b und c ist dies ersichtlich. Zwanglos erklärt sich diese Erscheinung aus dem ungleichmäßigen Abbau der Zellulose, wenn man außerdem bedenkt, daß die von ihrer Zellulose befreiten Zellwände ihre Festigkeit zum größten Teil eingebüßt und eine beträchtliche Schrumpfung³ erfahren haben: denn wenn auf den mittleren Zersetzungsstufen zerstörtes Gewebe mit noch gut erhaltenem abwechselt, so sind die Bedingungen für das Auftreten von Spannungen gegeben; diese führen dann an den mechanisch geschwächten Stellen zur Ribbildung, wie Abb. 12 er-

läutert. Wenn aber im Verlauf weiterer Zerstörung kaum noch gut erhaltenes Gewebe übriggeblieben ist, so treten keine Spannungen auf, und die Ribbildung bleibt aus, ob-

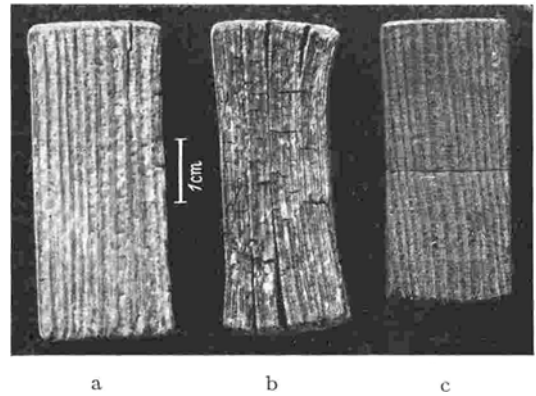


Abb. 11. Oberseite von Kiefernholzklötzchen nach Pilzangriff durch *Merulius lacrimans domesticus*.
a 4 Monate, Gewichtsverlust 40%. b 6 Monate, Gewichtsverlust 56%.
c 10 Monate, Gewichtsverlust 71%.

schon die durchschnittliche Festigkeitsminderung des Holzes noch bedeutend fortgeschritten sein mag.

Oft ist auf gleichen Zersetzungsstufen, aber bei verschiedenen Pilz- und Holzarten die Ribbildung verschieden, wofür Abb. 13 ein Beispiel gibt. Die polarisationsmikroskopische Untersuchung deckt die Ursache auf: *Lentinus squamosus* greift das gesamte Holzgewebe recht gleichmäßig an und gibt demnach wenig Anlaß zu Spannungen. Die Ribbildung ist gering. Dagegen läßt *Lenzites* bei starker örtlicher Zerstörungskraft zwischendurch, besonders im Spätholz, ganze Zellgruppen unangetastet und veranlaßt auf diese Weise starke Spannungen, durch die das Holz an vielen Stellen zerrissen wird.

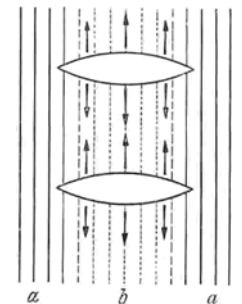


Abb. 12. Schema der Ribbildung in pilzbefallenen Holz durch ungleichmäßigen Abbau der Zellulose.
a Erhaltenes Gewebe.
b Gewebe, das geschrumpft ist und seine Festigkeit eingebüßt hat.

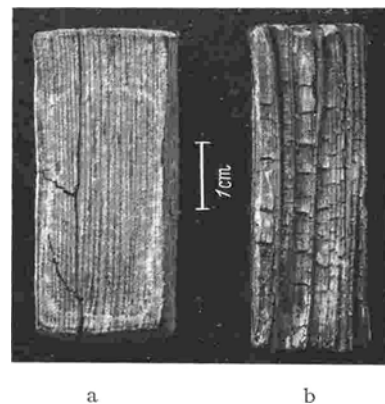


Abb. 13. Unterseite von Kiefernholzklötzchen
a nach 6monatigem Angriff durch *Lentinus squamosus*, Gewichtsverlust 60%.
b nach 6monatigem Angriff durch *Lenzites abietina*, Gewichtsverlust 60%.

D. Vergleich des polarisationsmikroskopischen Verfahrens mit dem Röntgen-Interferenz-Verfahren.

Vergleicht man das hier Mitgeteilte mit den Verfahren und Ergebnissen der Röntgen-Interferenz-Untersuchungen, so ist folgendes festzustellen:

f. Die durch Röntgenuntersuchung hinsichtlich des fortschreitenden Verschwindens der Zellulose in den Zell-

wänden des Holzes durch die Lebenstätigkeit holzerstörender Pilze erhaltenen Ergebnisse werden durch das polarisationsmikroskopische Verfahren bestätigt, und zwar auch in den einzelnen Zügen, z. B. ergab sich für das Fichten-Spätholz nach 6monatigem Angriff von *Merulius lacrimans domesticus* und *Poria vaporaria* ein annäherndes und vollständiges Verschwinden des Zellulosedigrammes, entsprechend konnte nun an demselben Fichtenholz nach dem Angriff dieser Pilze besonders weitgehende Zerstörung der Doppelbrechung im Spätholz festgestellt werden*.

2. Das polarisationsmikroskopische Verfahren ist im Vergleich zu Röntgen-Interferenz-Untersuchungen bedeutend weniger zeitraubend und kostspielig.

3. Während Röntgen-Interferenz-Untersuchungen an pilzbefallenen Hölzern über den durchschnittlichen Abbau der Zellulose in einigen hundert Holzzellen Auskunft geben, läßt sich mit dem polarisationsmikroskopischen Verfahren die Zerstörung der Zellulose in jeder einzelnen Zellwand verfolgen.

4. Bemerkenswert sei noch, daß auch die Art der Diagramme (Punkt-, Sichel-, Ringdiagramm) ihre Bestätigung durch polarisationsoptische Micell-Richtungs-Messungen finden

* Wegen weiterer Einzelheiten sei auf Zusammenstellung 4 der Röntgen-Interferenz-Untersuchungen verwiesen; diese Zeitschrift S. 86.

kann, so daß bei derartigen Untersuchungen eine gegenseitige Ergänzung beider Verfahren wünschenswert erscheint.

4. Zusammenfassung.

Mittels des Polarisationsmikroskops läßt sich am Verschwinden der Doppelbrechung der Abbau der Zellulose durch holzerstörende Pilze in den Zellwänden des Holzes verfolgen. Der Abbau pflügt nicht das ganze Holz gleichförmig zu betreffen, sondern ist an einigen Stellen schon weit fortgeschritten, während in deren Nachbarschaft die Zellulose noch erhalten ist. Aus dieser ungleichmäßigen Zerstörung des Holzes erklären sich bestimmte Erscheinungen der Rissigkeit pilzersetzen Holzes. Die Ergebnisse der polarisationsmikroskopischen Untersuchung stimmen mit denen der Röntgen-Interferenz-Untersuchung überein; doch das polarisationsmikroskopische Verfahren erweist sich für die hier in Betracht kommenden Anforderungen in verschiedener Hinsicht dem Röntgen-Verfahren als überlegen.

Schrifttum.

- ¹ B. Schulze, G. Theden und O. Vaupel, Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 1 (1937) S. 75. -- ² K. Lohwag, Mikrochemie Bd. 23 (1937) S. 198. -- ³ K. Freudenberg, H. Zocher und W. Dürr, Ber. dtsh. chem. Ges. Bd. 62 (1929) S. 1811. -- ⁴ A. Frey-Wyssling, Die Stoffausscheidung der höheren Pflanzen, S. 63ff. Berlin 1935.

Oberfräsen mit hoher Drehzahl für die Holzbearbeitung.

Von Paul Lenke VDI, Gera.

Entwicklung der Oberfräse. -- Erreichung der hohen Drehzahl. -- Lagerung. -- Schwerpunktgefahr. -- Schnittgeschwindigkeiten. -- Vorschubgeschwindigkeit. -- Maschinenbeschreibungen. 1. Übliche Ständer-Oberfräse mit Kopiereinrichtung. 2. Kleine Ständer-Oberfräse für leichte Arbeiten. 3. Universal-Kopier-Oberfräse. 4. Grat- und Nutenfräsen. -- Oberfräswerkzeuge. -- Das einschneidige Oberfräswerkzeug. -- Nachschärfen der Oberfräswerkzeuge. -- Beseitigung des falschen Schwerpunktes. -- Wirtschaftlichkeit und Schlußwort.

Wohl kaum eine andere Maschine hat in der Holzverarbeitung soviel neue Wege und Arbeitsmöglichkeiten geschaffen wie die Oberfräse. Es waren viele Jahre notwendig, ehe dieser so vielseitig verwendbaren Maschine der Eingang in die Holzindustrie verschafft wurde. Erst in den Nachkriegsjahren, in den Jahren der stetigen Erzeugungssteigerung, wurde die Oberfräse erkannt und von allen einschlägigen Industrien herangezogen. Die Forderung nach einem fertigen Enderzeugnis war für die Anschaffung einer Oberfräse ausschlaggebend.

Heute hat sich die Oberfräse schon soweit durchgesetzt, daß man ganz allgemein von Oberfräsindustrien sprechen kann. Ich denke dabei unter anderem an die Spielwarenindustrie. Jedem aufmerksamen Beobachter wird aufgefallen sein, daß mit der Billigkeit des Holzspielwaren-Einzelstückes dessen Schönheit und Natürlichkeit gestiegen ist. Wie gediegen erscheinen, um nur einige Beispiele zu nennen, kleine Hunde, Pferdchen usw., die mit der Oberfräse bearbeitet sind.

Viele andere Industriezweige, wie Nähmaschinenwerke, Haus- und Küchengeräte-, Karosserie- und Rüstungsindustrien, Radio-, Stuhl- und Büromöbelfabriken, Bürstenfabriken, der Flugzeugbau usw., haben ebenfalls die Oberfräse zu ihrem wirksamen Helfer gemacht.

Auch auf den Gebieten der Kunststoffbearbeitung und der verwandten Leichtmetallbearbeitung ist die Oberfräse zu finden und beweist damit ihre vielseitige Verwendbarkeit.

Entwicklung der Oberfräse.

An sich dürfte die Oberfräse schon sehr alten Ursprungs sein, d. h. wenn man vom Namen „Oberfräse“ ausgeht. Von „oben gefräst“ wird seit langer Zeit. Der Aufbau der Stimmstöcke und Klaviaturen erfordert ein Fräsen von oben, bei kleinsten Fräscrabmessungen und größter Frässauberkeit. Somit dürften wohl diese Industriezweige den Grundgedanken zur Entwicklung der Oberfräse angeregt haben. Weiter war für die Entwicklung bestimmend, daß ungünstige Absatzlage und wechselnde Mode der Holzindustrie immer schwierigere Aufgaben stellten. Profile mußten in rascher Aufeinanderfolge geändert werden, um einerseits die Käufer zufriedenzustellen und andererseits auch preiswürdig zu bleiben. Was es für die Beschaffung von Werkzeugen bedeutet, Profile zu ändern, ist allen Fachleuten bekannt. Nichts lag deshalb näher als Maschinen mit hoher Drehzahl zu entwickeln, die kleinste Werkzeugabmessungen möglich machten. Mit der Verkleinerung des Werkzeuges sank der Rohstoffverbrauch und verringerten sich die Werkzeugkosten. Die Drehzahlsteigerung war aber nicht so ohne weiteres möglich, weil die betrieblichen Voraussetzungen noch fehlten. Riementriebe waren bei dieser Geschwindigkeit nicht betriebssicher genug und verursachten durch den Riemenzug eine starke Überlastung der Lagerstellen. Man ging deshalb vorerst einen anderen Weg über die Vermehrung der Schneidenzahl. Mehr Schneiden und kleinere Werkzeugdurchmesser war die Lösung. Es war aber vergessen worden, daß die Schnitzauberkeit damit herabsank. Für die Schnitzauberkeit sind nämlich Fräsgeschwindigkeit und Vorschub ausschlaggebend, niemals die Schneidenzahl. Man muß dabei bedenken, daß das Zumschnittbringen aller Schneiden praktisch unmöglich ist. Es sei denn, daß eine hohe Präzision angewendet würde, die aber im an sich rohen Holzbetrieb kaum erreicht werden kann. Zum anderen tritt bei mehreren Schneiden noch der Umstand des behinderten