

Bedarf des Baumarktes, der Papier- und Kunstseidenindustrie nicht zu decken. Japan ist infolgedessen auf regelmäßige Einfuhren von Holz und Zellstoff, die in der Hauptsache aus den V. St. von Nordamerika und aus Kanada stammen, angewiesen. Die Bewegung der wichtigsten Posten in der japanischen Nutzholzbilanz geben die Zahlentafeln 5 bis 7 wieder.

Zur Herstellung billiger Papiere werden auch heimische Faserpflanzen und Reisstroh verwendet. Trotzdem kann der heimische Bedarf Japans an Holz für Bauzwecke, Papier- und Kunstfaserherstellung nicht ohne Inanspruchnahme ausländischer Hölzer befriedigt werden. Gegenwärtig ist die Handelsbilanz durch die Einfuhr von Holz mit fast 60 Mill. Yen belastet.

## Röntgen-Interferenzuntersuchungen einheimischer Holzarten im gesunden Zustand und nach Pilzanriff.

Von B. Schulze, G. Theden und O. Vaupel.

(Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, Institut Werkstoff-Biologie, und der Reichs-Röntgenstelle beim Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem.)

### Inhalt:

1. Vorbemerkung und Allgemeines.
2. Versuchsanordnung.
3. Die *Micell*-Anordnung im Röntgendiagramm.
4. Der geometrische Aufbau des Holzes im Röntgendiagramm.
5. Die verschiedenen Holzarten im Röntgendiagramm.
6. Der Pilzanriff im Röntgendiagramm.

### 1. Vorbemerkung und Allgemeines.

Die im folgenden beschriebenen Röntgen-Untersuchungen stellen die ersten Ergebnisse einer Arbeit dar, die mittels verschiedener Verfahren das Ziel verfolgt, tieferen Einblick zu gewinnen in den Ablauf des Geschehens, das durch den Befall und teilweisen Abbau des Werkstoffes Holz durch holzerstörende Pilze gegeben ist. 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.

Zur Untersuchung gelangen:

Holzarten: Birke (*Betula spec.*), Buche (*Fagus silvatica*), Douglasie (*Pseudotsuga Douglasii*), Eibe (*Taxus baccata*), Eiche (*Quercus spec.*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Fichte (*Picea excelsa*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Kiefer (*Pinus silvestris*), Lärche (*Larix europaea*), Linde (*Tilia spec.*), Pappel (*Populus alba*), Robinie (*Robinia pseudacacia*), Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum*), Tanne (*Abies pectinata*), Weide (*Salix alba*).

Holzerstörende Pilze: Warzen- (oder Keller-) Schwamm (*Coniophora cerebella*), Poren-Hausschwamm (*Poria vaporaria*), „Echter Hausschwamm“ (*Merulius lacrimans domesticus*), Tannen-Blättling (*Lenzites abietina*), Säge-Blättling (*Lenzites lepidus*), Leder-Porling (*Polystictus versicolor*), Eichen-Wirrschwamm (*Daedalea quercina*), Rottfäule-Schwamm der Kiefer (*Trametes pini*) und andere.

Die Einwirkung der Pilze auf die jeweiligen Holzproben erfolgt in Kolle-Schalen in der beim Klötzchen-Verfahren üblichen Weise. Nur werden hier in jede Schale zwei völlig unbehandelte Klötzchen von  $1,5 \times 2,5 \times 5$  [cm<sup>3</sup>] Abmessung eingebaut. Für die Röntgenversuche wurden 0,75 cm dicke Klötzchen benutzt. Die Versuchsdauer beträgt 1, 3, 6 und in manchen Fällen 10 Monate. Die Vergleichsmöglichkeit der verschiedenen Versuchsreihen wurde sichergestellt durch sorgfältigste Auswahl des Holzes, eine den anatomischen Verhältnissen entsprechende Entnahme und fortlaufende Bezifferung der Klötzchen hintereinander und schließlich gleichmäßige Verteilung auf die verschiedenen Pilz- und Versuchsgruppen.

Die Eigenart der langwierigen Untersuchungen bringt es mit sich, daß zunächst nur die im einzelnen festgestellten Ergebnisse mitgeteilt werden können, ihre Auswertung und Ergänzung muß dem Abschluß und der gegenseitigen Deutung der Befunde der verschiedenen Untersuchungsverfahren vorbehalten bleiben.

Die Untersuchung von Holz mittels Röntgenstrahlen gibt auf Grund der auftretenden Beugungs-Erscheinungen (Interferenzen) ein getreues Abbild des Feinbaues, insbesondere der Art und Anordnung der kristallinen Teilchen, der Mizelle oder Kristallite.

Da die pilzlichen Zerstörer des verbauten Holzes ganz überwiegend Cellulose, den Hauptbestandteil des Holzes,

abbauen, bestand die Aussicht, diesen Vorgang auch röntgenographisch verfolgen zu können. Zu diesem Zwecke war das von den verschiedenen untersuchten Holzarten ursprünglich erhaltene Röntgendiagramm zu vergleichen mit solchen, die das gleiche Holz nach erfolgtem Pilzanriff lieferte, wobei Einwirkungszeit und Pilzart wechselten.

Die bei der Ausarbeitung eines geeigneten Verfahrens und dem Studium des Schrifttums gemachten Erfahrungen ließen es zweckmäßig erscheinen, auch die Untersuchung gesunden Holzes auf breiter Grundlage vorzunehmen.

### 2. Versuchs-Anordnung.

#### a) Röntgenaufnahmen.

Für die Röntgenaufnahmen wurde die Strahlung einer Elektronenröhre mit Kobaltanode benutzt, die in einer „Kristalloflex-Apparatur“ (Siemens & Halske) mit 30 kV Röhrenspannung und 10 mA Röhrenstrom betrieben wurde. Durch eine Eisenfolie von 0,02 mm Dicke konnte die Kobalt-K<sub>β</sub>-Strahlung gänzlich und die normale Bremsstrahlung zum großen Teil ausgefiltert werden, so daß klare Diagramme erhalten wurden, deren Reflexe lediglich von der Kobalt-K<sub>α</sub>-Strahlung ( $\lambda = 1,7852 \text{ \AA}$ ) herrührten. Für die Aufnahmen wurde eine Plankamera mit Rundblende (Bohrung 1,0 mm Durchmesser) verwandt; unmittelbar hinter dieser befand sich das Präparat (Abb. 1).

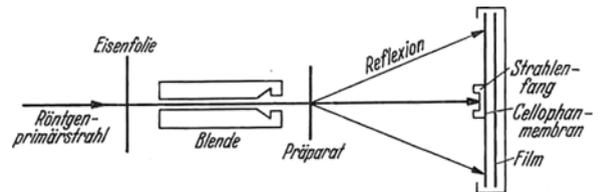


Abb. 1. Versuchsanordnung.

Die Reflexionen wurden auf doppelschichtigem Agfa-Sino-Film, verbesserte Qualität 1937, aufgefangen, dessen Vorderseite durch eine dünne lichtundurchlässige Zellophan-Membran gegen Tageslicht geschützt war. Ein auf der Zellophan-Membran angebrachtes Bleischiebchen fing den Primärstrahl ab. Der stets gleiche Abstand des Filmes vom Präparat wurde durch eine Aufnahme von Goldpulver mit bekanntem Gitterparameter ( $a = 4,070 \text{ \AA}$ ) zu 3,61 cm bestimmt. Die Belichtungszeit betrug bei normalen Präparaten (80  $\mu$ ) 60 Minuten.

#### b) Präparate.

Die Präparate wurden zwecks geringstmöglicher Einwirkung auf das Holz nach dem Gefrierschnitt-Verfahren mit dem Grundschnitten-Mikrotom der Firma Leitz her-

gestellt. Es kamen Quer-, Radial- und Tangentialschnitte zur Untersuchung, doch wurden aus den in Abschnitt 4 dargelegten Gründen Tangentialschnitte bevorzugt. Wenn in folgendem nichts über die Schnittführung erwähnt ist, handelt es sich also um Tangentialschnitte.

Für die Schnittdicke erwies sich 80  $\mu$  als geeignet: einerseits genügt sie, um Röntgenbilder hinreichender Deutlichkeit zu erhalten, andererseits gestattet sie eine weitgehende Trennung nach dem anatomischen Bau, so daß in den einzelnen Proben gleichartige Zellen in gleicher Verteilung zur Untersuchung gelangen.

### 3. Die Micell-Anordnung im Röntgendiagramm.

Die Röntgendiagramme des Holzes sind durchweg Cellulose-Diagramme (Abb. 2 und 8). Trotzdem gleicht kaum ein Holz-Diagramm genau dem andern. Abgesehen

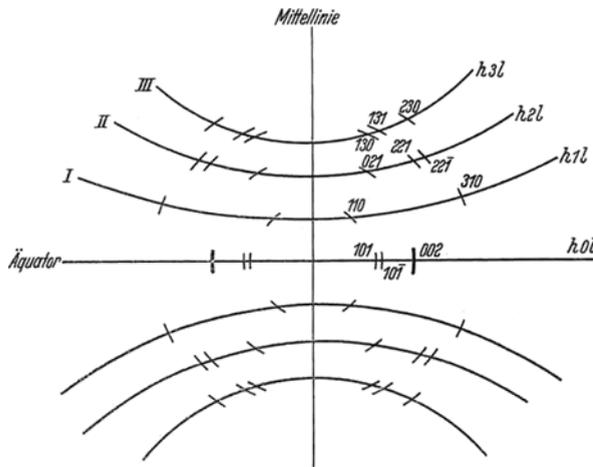


Abb. 2. Schema des Cellulose-Diagramms. Wichtigste Interferenzpunkte mit ihren Miller'schen Indices. (Nach Frey-Wyssling.) I, II und III Schichtlinien.

von dem Einfluß der Zellwanddicke, die bei sonst gleichen Bedingungen sich in unterschiedlicher Schwärzungstiefe äußert, sind die Verschiedenheiten der Diagramme durch die verschiedenartige Anordnung der Micelle bedingt.



Abb. 3. Schema des Punkt-Diagramms.

Abb. 4. Schema des Doppel-Diagramms.

Bei Beschränkung auf den Fall, daß alle Cellulose-Ketten senkrecht zum einfallenden Röntgenstrahl liegen, lassen sich folgende 4 Grundformen der Micell-Anordnung und der dazu gehörenden Diagramme unterscheiden<sup>1</sup>:

1. Sämtliche Micelle der durchstrahlten Holzprobe liegen einander parallel: Punkt-Diagramm (Abb. 3).

2. Die Micelle sind in zwei gegeneinander geneigten Richtungen angeordnet. Die Micelle je einer Richtung erzeugen für sich ein Punkt-Diagramm, dessen Mittellinie parallel zur Micell-Richtung liegt: Doppel-Diagramm (Abb. 4).

3. Die Richtung der Micelle wechselt gleichmäßig innerhalb eines gewissen Winkels: Sichel-Diagramm (Abb. 5).

<sup>1</sup> Die Skizzen geben nur die Veränderungen der starken, von den (002)-Ebenen herrührenden Reflexe wieder; für alle anderen Punkte gilt Entsprechendes.

4. Es besteht keine bevorzugte Richtung in der Anordnung der Micelle: Ring-Diagramm (Abb. 6).

Micelle, die mit ihrer Achse zum Röntgenstrahl nicht senkrecht stehen, liefern gleichfalls Interferenzen. Da jeder bestimmten Micell-Richtung ein einfaches Punkt-Diagramm zugeordnet werden muß, werden dann Diagramme des ver-

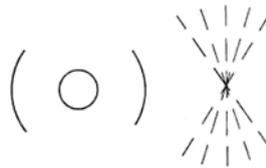


Abb. 5. Schema des Sichel-Diagramms.

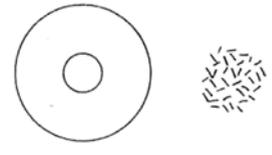


Abb. 6. Schema des Ring-Diagramms.

schiedensten Aussehens (Punkt- bis Ring-Diagramme) erhalten, je nach der Mannigfaltigkeit der vorhandenen Anordnung. Eine derartige Mannigfaltigkeit ist im Hinblick auf den verwickelten Bau der Holzfaser in der Tat zu erwarten.

Unter der wahrscheinlich zutreffenden Voraussetzung der Parallelität der Micelle in den einzelnen Fibrillen und Lamellen kann noch ihre Richtung von Lamelle zu Lamelle wechseln. Aus den Lamellen bauen sich die Schichten der Zellwände auf, die ihrerseits verschiedenste Strukturen, z. B. Tüpfel oder Verdickungen, aufweisen. Von dem Röntgenstrahl-Bündel werden aber zahlreiche (mehrere hundert) Zellwände zugleich getroffen.

Nach dem Gesagten können Punkt-Diagramme nach Abb. 8 nur dann zustande kommen, wenn bei anatomisch gleichförmigem Holz in fast allen Zellen weitaus die Hauptmasse der Micelle parallel oder höchstens um wenige Grade geneigt zur Achse der einzelnen Fasern angeordnet ist.

Ein Sichel-Diagramm kann der Ausdruck wechselnder Micell-Richtung in den einzelnen Zellwänden oder auch von Zelle zu Zelle in der durchstrahlten Probe sein, kann aber auch auftreten, wenn die Micelle höchste Ordnung einhalten, z. B. wenn sie schraubenförmig mit durchweg gleicher Steigung zur Zellachse angeordnet sind (Schraubenstruktur). Unter Umständen tritt dabei die Überlagerung durch das Doppel-Diagramm hinzu.

### 4. Der geometrische<sup>1</sup> Aufbau des Holzes im Röntgendiagramm.

Es bestehen gesetzmäßige Beziehungen zwischen dem geometrischen Bau des Holzes und seinem Röntgendiagramm. Das vorliegende Schrifttum enthält darüber bisher Unklarheiten.

1. Die parenchymatischen Zellen des Holzes erzeugen bei beliebiger Schnittrichtung Ring-Diagramme. Wir erhielten derartige Diagramme u. a. bei einem Tangentialschnitt, der das parenchymatische Gewebe an der Jahring-Grenze der Esche erfaßte, oder einem Schnitt durch einen Eichen-Markstrahl, sowie beim Holunder-Mark.

2. Prosenchymatische Zellen liefern im Querschnitt gleichfalls ein Ring-Diagramm, wie unsere Aufnahmen von Holz-Querschnitten zeigten. Im Tangential- oder Radialschnitt dagegen erzeugen prosenchymatische Holzzellen Diagramme, die eine bestimmte Ordnung der Micelle hinsichtlich ihrer Längsachsen anzeigen, d. h. es entstehen Punkt-, Sichel- oder Doppel-Diagramme bzw. deren Überlagerungen.

<sup>1</sup> Im Sinne der Vereinheitlichung der Bezeichnungen für die Grundbegriffe der Werkstoff-Kunde sind die in der „Systematik der Bleibenden Formänderungen“ von E. Seidl [Mitt. Dtsch. Mat.-Prüf.-Anst. Sonderheft Bd. 33, (1937)] eingeführten Bezeichnungen verwendet.

Ein grundsätzlicher Unterschied bei Radial- und Tangentialen Schnitten besteht nicht; dagegen können von ein

was einmal auf eine Verschiedenheit der radialen und tangentialen Zellwände zurückgeführt werden kann, zum

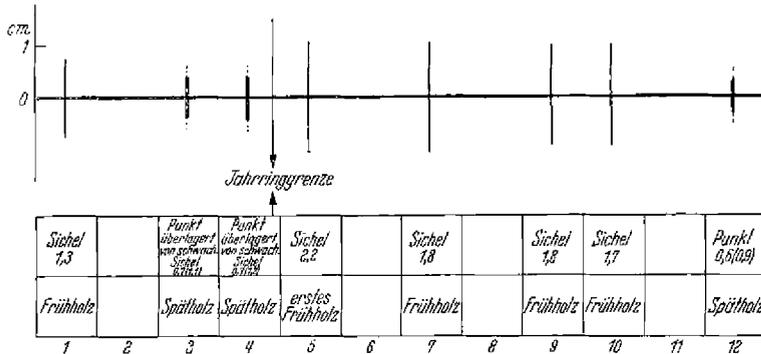


Abb. 7. Längenausdehnung (in cm) der (002)-Reflexe von entsprechend der Bezifferung nebeneinanderliegenden, 80  $\mu$  dicken, tangential geschnittenen Kiefernholz-Proben.

andern aber, wie unsere Untersuchungen ergaben, darauf, daß bei radialen Schnitten stets gleichzeitig Früh- und Spätholzzellen erfaßt werden, bei einem dünnen Tangentialschnitt aber eine Trennung beider besonders im Grade der Micell-Orientierung oft stark unterschiedlichen Zellarten möglich ist. Wie groß diese Unterschiede schon in einem ganz kleinen Holzbereich sind, zeigt Abb. 7. Aus einem kleinen Stückchen Kiefernholz wurden hintereinanderliegende 80  $\mu$  dicke Tangentialschnitte hergestellt. Die Längenausdehnung ihres (002)-Reflexes ist als senkrechte Linie dargestellt, die Intensität des Reflexes durch die Strichstärke angedeutet. Man erkennt, daß das Frühholz in der vorliegenden Kiefernholz-Probe

und demselben Holzbereich bei verschiedener Schnittführung wohl verschiedene Diagramme erhalten werden,

(002)-Reflexe geringerer Intensität, aber größerer Längenausdehnung liefert. Die geringere Intensität des Frühholz-

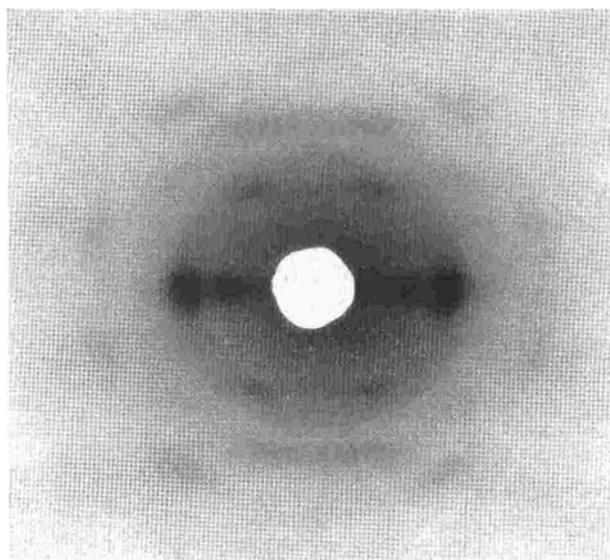


Abb. 8. Cellulose-Diagramm von Fichten-Spätholz\*.

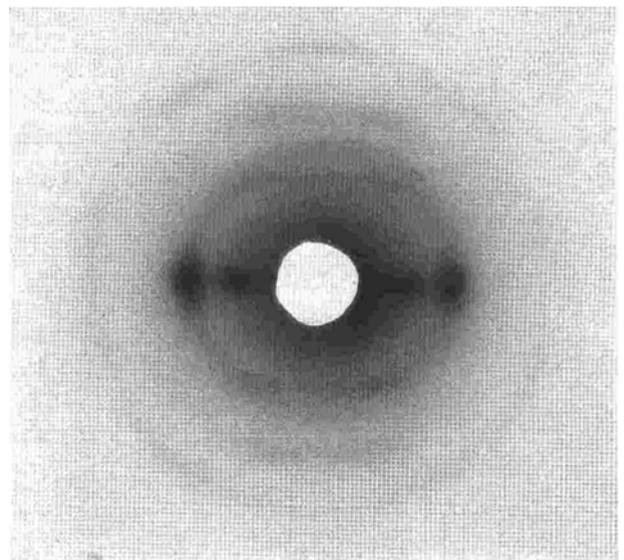


Abb. 9. Kiefern-Spätholz. Punkt-Diagramm.

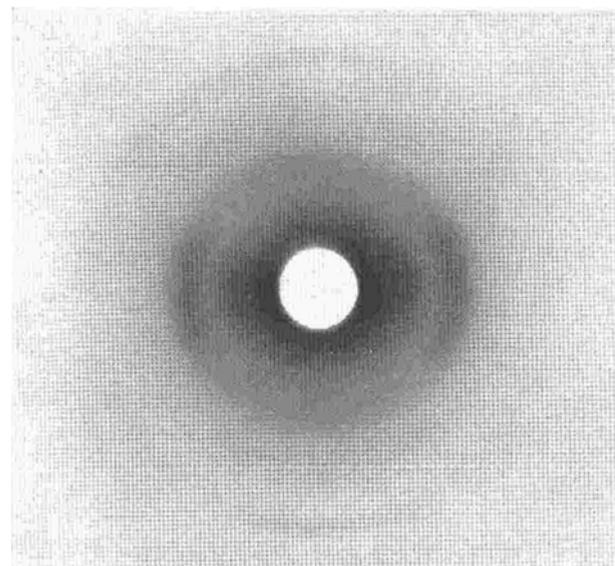


Abb. 10. Kiefern-Spätholz. Sichel-Diagramm.

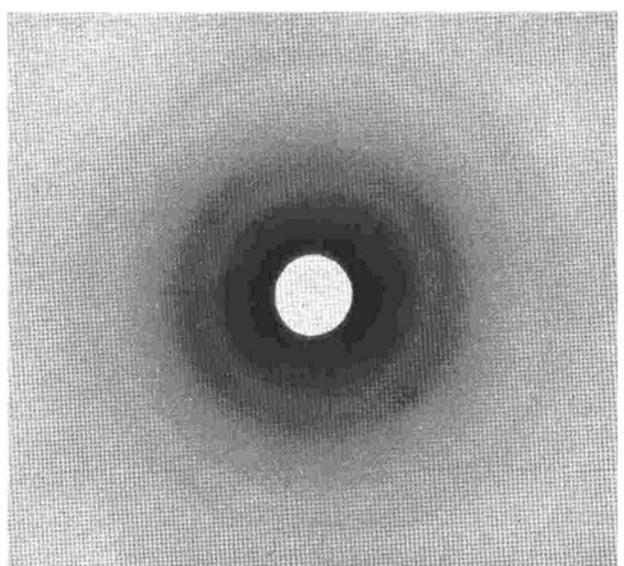


Abb. 11. Kiefern-Spätholz. Sichel-Diagramm, von Doppel-Diagramm überlagert.

\* Abb. 8 bis 16 sind Aufnahmen von G. Theden im Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, Reichs-Röntgenstelle.

diagramms erklärt sich aus der wesentlich kleineren Anzahl von Micellen, die in den dünnen Wänden des Frühholzes vorhanden sind und zur Reflexion beitragen, die größere Längenausdehnung des Reflexes aus der stärkeren Neigung der Micelle zur Achse der Faser. So können selbst aus einem Jahrring heraus Röntgendiagramme sehr verschiedenen Aussehens unter sonst gleichen Bedingungen gewonnen werden.

Das oben erhaltene besondere Ergebnis, das einen bestimmten Unterschied zwischen Frühholz und Spätholz aufdeckt, kann aber nicht verallgemeinert werden. Dia-

Zusammenstellung 1. Veränderlichkeit der (002)-Reflexe — alle Proben: Kiefern-Spätholz aus demselben Brett.

(002)-Reflexe		Anzahl der Holzproben, die diese Reflexe gaben
Kennzeichnung	Länge in cm	
Punkt . .	0,6	2
	0,7	4
	0,8	2
Sichel . .	1,0	1
	1,3	1
	1,4	1
	1,5	1
	1,7	2
	1,8	3
	2,0	1

gramme, die insgesamt an Spätholz ein und desselben Brettes erhalten sind, können Röntgenbilder wechselnden Aussehens erzeugen. Einen solchen Befund veranschaulicht Zusammenstellung 1.

Aus den Untersuchungen an anderen Nadelholz-Proben ist lediglich ein Hang festzustellen: beim Frühholz eine

geringer steile Anordnung der Micelle auszubilden als beim Spätholz. Noch weiter abweichende Verhältnisse liegen bei den Laubhölzern vor, wie später ausgeführt wird.

5. Die verschiedenen Holzarten im Röntgendiagramm.

Clark, Ritter und Sisson glaubten bei der Untersuchung von fünf Holzarten feststellen zu können, daß die

Zusammenstellung 2. Röntgendiagramme von Nadelhölzern.

Holzart	Bezeichnung	Ort der Probenentnahme	Anzahl der Proben	Diagramm
Kiefer (Pinus silvestris)	T	Spätholz	(viele)	Punkt, Sichel, Sichel-Doppel <sup>1</sup> (s. Zusammenstellung 1)
	W	Frühholz	(viele)	Sichel
		Spätholz	3	Sichel-Doppel
	β	Spätholz	2	Punkt
		Spätholz	4	Punkt, Punkt-Sichel, Sichel
	Y	Spätholz	1	Punkt, Sichel <sup>1</sup>
k	Spätholz	3	Punkt	
Fichte (Picea excelsa)	S	Spätholz	(viele)	Punkt
	x	Frühholz	(viele)	Punkt, kurze Sichel
		Spätholz	2	Punkt
	α	Spätholz	1	Punkt
	f	Spätholz	1	Punkt
	fe	Frühholz	1	Punkt
Spätholz		1	Sichel	
Tanne (Abies pectinata)			3	Punkt
			3	Punkt-Sichel <sup>2</sup> , Sichel
Lärche (Larix europaea)			5	Punkt-Sichel, Sichel, Sichel-Doppel <sup>1</sup>
			2	Sichel, Sichel-Doppel

<sup>1</sup> Je eine Probe erzeugt an den Enden der Sichel Schwärzungsmaxima; Überlagerung durch ein Doppel-Diagramm.  
<sup>2</sup> Überlagerung der beiden Diagramm-Formen.

Zusammenstellung 3. Röntgendiagramme von Laubhölzern.

Holzart	Ort der Probenentnahme	(002)-Reflexe			Überlagerung durch Ring	
		Kennzeichn.	Länge in cm	Schwärzungstiefe		
Buche (Fagus silvatica)	Spätholz	Punkt	0,7	stark	mäßig	
	Frühholz	Punkt	0,8	mäßig	mäßig	
Buche (Fagus silvatica)		Punkt	0,6	stark	schwach	
						Linde (Tilia spec.)
Eiche (Quercus spec.)	Spätholz	Punkt	0,8	mäßig	mäßig	
	Frühholz	Punkt	0,5	stark	mäßig	
	Frühholz	Punkt	un-scharf	schwach	mäßig	
Eiche (Quercus spec.)	Spätholz	Punkt	0,7	stark	mäßig	
	Frühholz	—	un-scharf	sehr schwach	stark	
Birke (Betula spec.)	Spätholz	Punkt	0,7	stark	schwach	
	Frühholz	Punkt	0,7	stark	schwach	
Birke (Betula spec.)	Spätholz	Sichel	1,0	mäßig	schwach	
	Frühholz	Punkt	0,9	stark	schwach	
Robinie (Robinia pseudo-acacia)	Spätholz	—	un-scharf	sehr schwach	stark	
	Frühholz	Punkt	0,9	stark	stark	
Pappel (Populus alba)	Spätholz	Sichel	1,1	mäßig	mäßig	
	aus der Mitte d. Jahrring-ringes	Punkt	0,8	stark	schwach	
Weide (Salix alba)	Frühholz	Punkt	0,9	mäßig	schwach	
	Spätholz	Sichel	1,2	stark	schwach	
Esche (Fraxinus excelsior)	Spätholz	Sichel	1,0	stark	schwach	
	Frühholz	Punkt	0,8	stark	schwach	
Esche (Fraxinus excelsior)	Spätholz	Sichel	1,1	stark	mäßig	
	Jahrring-Grenze	—	—	nicht vorhanden	stark	
Esche (Fraxinus excelsior)	Frühholz	Sichel	1,5	mäßig	mäßig	
	Spätholz	Sichel	1,0	stark	mäßig	
Esche (Fraxinus excelsior)	aus der Mitte d. Jahrring-ringes	Punkt	0,9	stark	schwach	
	Frühholz	Sichel	1,2	mäßig	mäßig	
Birnbaum (Pirus communis)	Spätholz	Sichel	1,4	schwach	stark	
	Frühholz	Sichel	1,1	stark	mäßig	
Hainbuche (Carpinus betulus)			Sichel	1,6	stark	stark
			Spätholz	Sichel	2,0	mäßig
Roßkastanie (Aesculus hippocastanum)	Spätholz	Sichel	2,0	mäßig	mäßig	
	Frühholz	Sichel	2,0	mäßig	mäßig	

erhaltenen Diagramme verschieden genug seien, um die einzelnen Arten zu kennzeichnen.

Wir haben unsere Untersuchungen auf Proben verschiedenster Holzarten und Herkunft ausgedehnt. Eine kurze Übersicht über die Ergebnisse ist in den Zusammenstellungen 2 und 3 enthalten. Die Aufnahmen an Kiefer (Zusammenstellung 2) bestätigen die große Mannigfaltigkeit der Micell-Orientierung im Spätholz (Abb. 9 bis 11), desgleichen den bekannten Zug des Frühholzes zu weniger steiler Micell-Anordnung. Im Gegensatz zur Kiefer neigt die Fichte mehr dazu, ihre Micelle in geringerem Winkel zur Zellachse auszubilden. Bei dem Ausnahmefall „fe“ handelt es sich bemerkenswerterweise um drehwüchsiges Holz. Erste Versuche an anderen Nadelhölzern liefern Diagramme, die denen von Kiefer und Fichte sehr nahekommen.

Größere Schwierigkeit bereitet die Auswertung der von Laubhölzern gewonnenen Röntgendiagramme (Zusammen-

stellung 3). Eine neue Veränderlichkeit tritt auf: Das Ring-Diagramm, das die von gerichteten Micellen herrührenden Reflexe überlagert, ist in seiner Stärke sehr wechselnd und erreicht zuweilen hohe Intensität. Deswegen darf es auch bei der Kennzeichnung der einzelnen Röntgenbilder nicht wie bei den Nadelhölzern vernachlässigt werden. Weiterhin findet man die bei den Nadelhölzern festgestellten Gesetzmäßigkeiten für Früh- und Spätholz-Diagramme nicht mehr bestätigt; so erzeugt zuweilen gerade das Frühholz kräftigere und sich mehr dem Punkt-Diagramm nähernde Bilder als das Spätholz. Ferner fällt bei Laubhölzern die gleichmäßigere Streuung der Micell-Achsen über einen verhältnismäßig kleinen Winkel zur Achse der Faser auf. Die zunächst verwirrend erscheinende Mannigfaltigkeit klärt sich, wenn man zur Deutung des jeweiligen röntgenographischen Befundes den mikroskopischen heranzieht. Im Gegensatz zum Nadelholz, das fast ausschließlich aus Tracheiden besteht, enthält das Laubholz entsprechend einer weitergehenden Arbeitsteilung der physiologischen Aufgaben weitere Zellarten. Bezüglich der

Verbindung aller Aufbauteile besteht größte Mannigfaltigkeit, die in den verschiedenartigen Röntgenaufnahmen zum Ausdruck kommt.

Infolgedessen ist es unmöglich, allein aus dem Röntgenbild die vorliegende Holzart zu bestimmen. Selbst die Unterscheidung von Laub- und Nadelholz ist ohne weiteres nicht möglich. Ein aus den vorgetragenen Befunden herauszulesender „Nadelholz-Typ“ kann nur statistisch gewertet werden. Von Laubhölzern können sowohl Diagramme des „Nadelholz-Typs“ als auch solche anderer Art erhalten werden. Im Einzelfall läßt sich daher eine Entscheidung, ob Laub- oder Nadelholz vorliegt, nicht treffen.

### 6. Der Pilzangriff im Röntgendiagramm.

Zur Untersuchung der Frage, ob der Angriff von Pilzen sich im Röntgenbild des befallenen Holzes bemerkbar macht, wurden verschiedene Holzproben zunächst der Einwirkung von *Coniophora cerebella*, *Poria vaporaria*, *Merulius lacrimans domesticus* und *Trametes pini* ausgesetzt. In der Zusammenstellung 4 sind die bisherigen

#### Röntgendiagramme von Fichten-Spätholz.

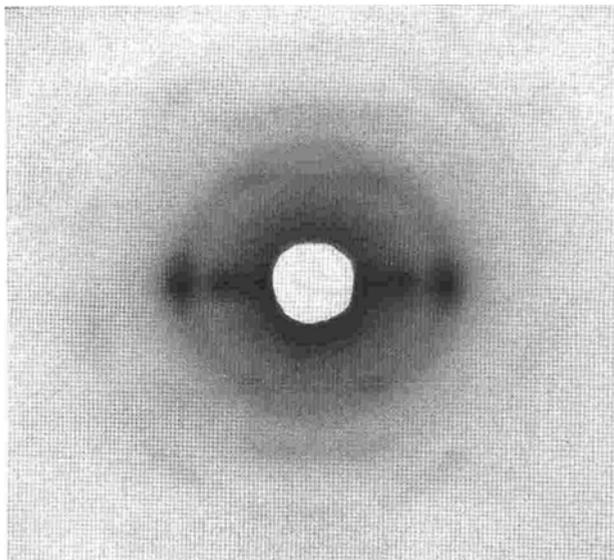


Abb. 12. Im ursprünglichen Zustande.

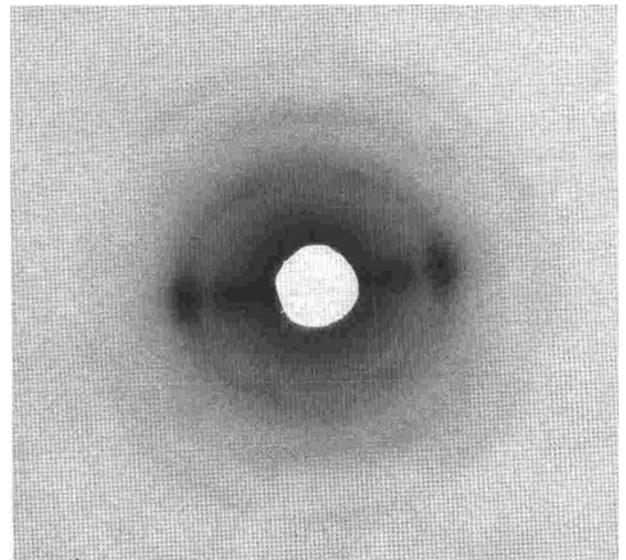


Abb. 13. Nach 1 monatiger Einwirkung von *Poria vaporaria*.

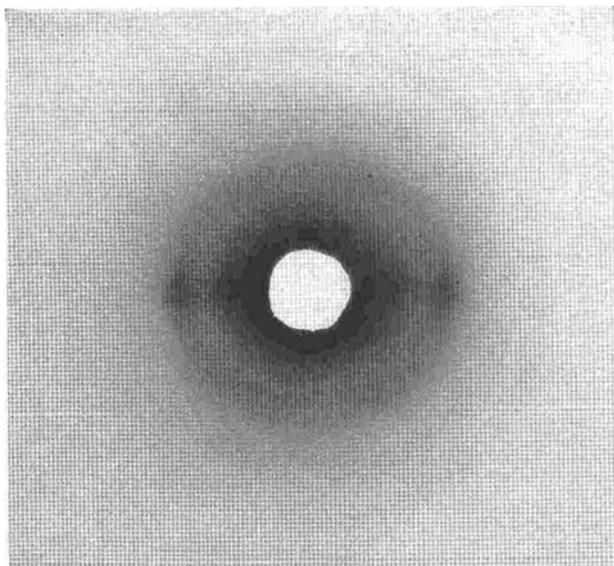


Abb. 14. Nach 3 monatiger Einwirkung von *Poria vaporaria*.

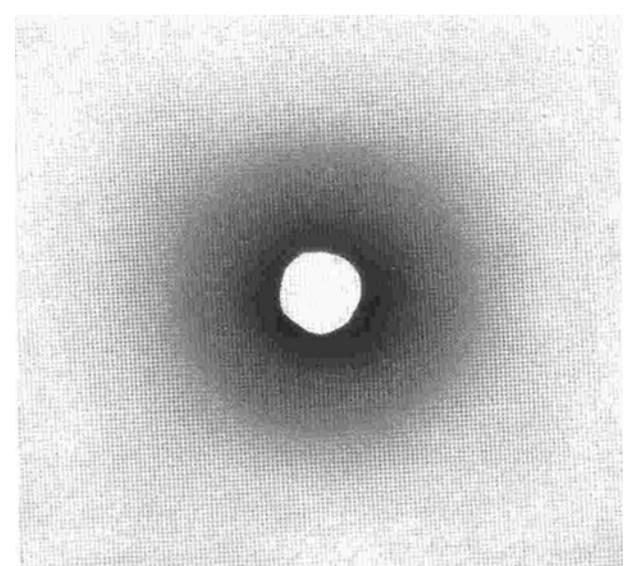


Abb. 15. Nach 6 monatiger Einwirkung von *Poria vaporaria*.

Ergebnisse an Kiefer und Fichte (Abb. 12 bis 15) aufgeführt. Die drei erstgenannten Pilze zeigen ein ähnliches Verhalten: während sich 1 monatige Einwirkung im Röntgen-Zusammenstellung 4. Die Veränderung des Cellulose-Diagramms durch den Angriff der Pilze *Coniophora cerebella*, *Poria vaporaria*, *Merulius lacrimans domesticus*, *Trametes pini* auf Kiefern- und Fichtenholz.

Befallszeit in Monaten	<i>Coniophora</i>	<i>Poria</i>	<i>Merulius</i>	<i>Trametes</i>
Kiefer				
1	unge- schwächt	unge- schwächt	unge- schwächt	unge- schwächt
3	wenig geschwächt	wenig geschwächt	wenig geschwächt	unge- schwächt
6	deutlich geschwächt	sehr geschwächt	wenig geschwächt	unge- schwächt
Fichte				
1	unge- schwächt	unge- schwächt	unge- schwächt	unge- schwächt
3	wenig geschwächt	deutlich geschwächt	deutlich geschwächt	unge- schwächt
6	sehr geschwächt	ganz ver- schwunden	fast ver- schwunden	unge- schwächt

genbild noch nicht bemerkbar macht, tritt nach 3 monatigem Angriff eine deutliche Schwächung sämtlicher Interferenzen zutage, die sich nach sechs Monaten weiter verstärkt hat und in einem Falle (*Poria* auf Fichte) bis zum völligen Verschwinden des Cellulose-Diagrammes geht. Im übrigen sind Anzeichen dafür vorhanden, daß die erfaßten feineren Unterschiede in den Röntgendiagrammen im Zusammenhang mit Ergebnissen anderer Prüfverfahren zu wichtigen Feststellungen über den Verlauf des Abbaues durch die verschiedenen Pilze führen werden. Das Röntgendiagramm nach Abb. 15 ist identisch mit Diagrammen, die wir von Präparaten erhielten, aus denen die Cellulose nach Freudenberg und Mitarbeitern völlig entfernt worden war. Eine grundsätzliche Veränderung im Diagramm (etwa Vergrößerung der Reflexe oder Übergang zu vollen Ringen infolge Verlustes der Micell-Orientierung) tritt jedoch nicht ein. Die Ergebnisse können nur so gedeutet werden, daß die genannten drei Pilze lediglich die Cellulose abbauen, ohne die Ordnung des micellaren Aufbaus als solche zu zerstören.

Anders verhält sich *Trametes pini*: auch nach 6 monatigem Angriff werden keine Änderungen des Röntgendiagrammes sichtbar. Da dieser Pilz zunächst das keine Röntgen-Interferenzen liefernde Lignin abbaut, war dieses Ergebnis zu erwarten. Es besteht aber die Möglichkeit, daß bei der allgemein geringeren Angriffsfreudigkeit des Pilzes Veränderungen irgendwelcher Art auch im Cellulose-Diagramm nach längerer Zeit sich bemerkbar machen. Noch laufende Versuche werden hierüber Auskunft geben<sup>1</sup>. Über den Pilzangriff auf Laubhölzer und weitere Nadelhölzer und seine Auswirkungen im Röntgendiagramm sind die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen und bleiben einer späteren Mitteilung vorbehalten.

Bei den Versuchen war noch die Frage zu klären, ob nicht der Pilz selbst sich im Röntgenbilde bemerkbar macht. Aufnahmen an reinem *Merulius*-Strangmycel (Abb. 16) ergeben die für tierisches und pflanzliches Chitin kennzeichnenden Interferenzen; seine Reflexe werden auf den Aufnahmen der pilzbefallenen Holzproben jedoch nicht sichtbar – zweifellos, weil die Menge des in den Röntgen-

Präparaten vorhandenen Mycels zu gering ist, um deutliche Interferenzen zu liefern.

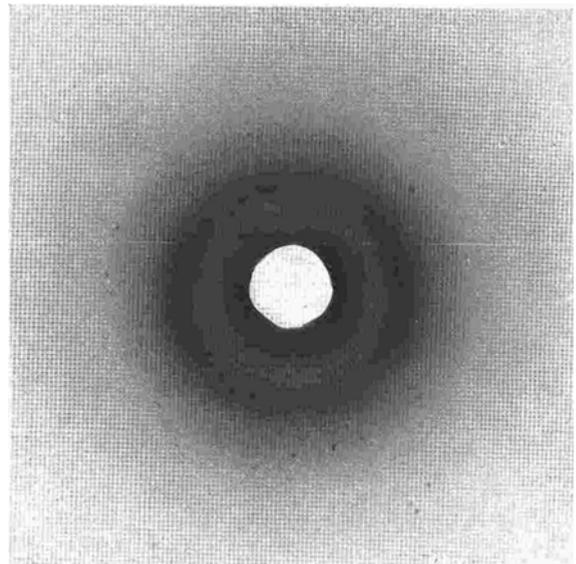


Abb. 16. Röntgendiagramm von Pilz-Chitin (*Merulius*-Strang).

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

### Schrifttum.

#### Feinbau von Holz, Cellulose, Lignin.

<sup>1</sup> R. O. Herzog und W. Jancke, Über den physikalischen Aufbau einiger hochmolekularer organischer Verbindungen. Ber. dtsh. chem. Ges. Bd. 53 (1920) S. 2162. — <sup>2</sup> R. O. Herzog und W. Jancke, Das Röntgendiagramm der Cellulose. Z. physik. Chem. Abt. A Bd. 139 (1928) S. 235. — <sup>3</sup> F. Luft, Zur Struktur der Lignits. Papierfabrikant Bd. 28 (1930) S. 787. — <sup>4</sup> G. L. Clark, G. J. Ritter und W. A. Sisson, Röntgenstrahluntersuchungen über den Bau des Holzes. Ind. Engng. Chem. Bd. 22 (1930) S. 484. — <sup>5</sup> S. Pienkowski, Über die Strukturen von Zellulosefasern des Holzes. Z. Physik Bd. 63 (1930) S. 610. — <sup>6</sup> B. Schmidt, Über die Kristallstruktur des Holzes. Z. Physik Bd. 71 (1931) S. 696. — <sup>7</sup> W. A. Sisson und G. L. Clark, Röntgenstrahlmethode für den quantitativen Vergleich der Kristallorientierung in Cellulosefasern. Ind. Engng. Chem., Anal. Edit. Bd. 5 (1933) S. 296. — <sup>8</sup> Ch. W. Stillwell, Eine Röntgenuntersuchung der Strukturvariationen von Holzfasern. Physics Bd. 4 (1933) S. 167. — <sup>9</sup> G. J. Ritter und C. W. Stillwell, Bildungsverlauf der kristallinen Struktur von Holzfasern. Paper Trade J. Bd. 98 II (1934) S. 37. — <sup>10</sup> K. Lark-Horowitz und W. I. Caldwell, Der Bau des für Violinen benutzten Holzes. Nature Bd. 134 (1934) S. 23. — <sup>11</sup> E. Brandenberger, Schweiz. Verband f. d. Materialprüfung d. Technik, Diskussionsbericht Nr 31 (1934) S. 25. — <sup>12</sup> W. A. Sisson, Röntgenstrahluntersuchungen über Kristallorientierung in Zellulosefasern. Ind. Engng. Chem. Bd. 27 (1935) S. 51. — <sup>13</sup> M. Roß, Das Holz als Baustoff I. Schweiz. Kongr. Fördg. Holzverwertung, Bern 1936. — <sup>14</sup> P. Nilakantan, Röntgenstrahluntersuchungen über Holz, Lignin und Holzcellulose. Proc. Indian Acad. Sci., Sect. A, Bd. 5 (1937) S. 166.

#### Feinbau von Chitin.

<sup>15</sup> H. W. Gonell, Röntgenographische Studien an Chitin. Z. physiol. Chem. Bd. 152 (1926) S. 18. — <sup>16</sup> K. H. Meyer, und G. W. Pankow, Konstitution und Struktur des Chitins. Helv. chim. Acta Bd. 18 (1935) S. 589. — <sup>17</sup> V. I. Iversen, K. H. Meyer und Lothmar, Über den Feinbau des pflanzlichen Chitins. Rec. Trav. chim. Pays-Bas Bd. 55 (1936) S. 61. — <sup>18</sup> A. N. J. Heyn, Untersuchungen über die Molekülstruktur von Chitinzelldwänden. Protoplasma Bd. 25 (1936) S. 373.

#### Allgemeines.

<sup>19</sup> F. Kollmann, Technologie des Holzes. Berlin 1936. — <sup>20</sup> A. Frey-Wyssling, Die Stoffausscheidung der höheren Pflanzen. Berlin 1935. — <sup>21</sup> Liese, Nowak, Peters, Rabanus, Krieg und Pflüg, Toximetrische Bestimmung von Holzkonservierungsmitteln. Beiheft 11 zur Z. angew. Chem. 1935. — <sup>22</sup> K. Freudenberg, H. Zocher und W. Dürr, Weitere Versuche mit Lignin. Ber. dtsh. chem. Ges. Bd. 62 (1929), S. 1814.

<sup>1</sup> Es ist immerhin bemerkenswert, daß ein Angriff von *Trametes pini* auf Kiefer oder Fichte auch im Kulturversuch, also am toten Holze, erfolgt. Nach Gewichts- und Festigkeitsverlust entspricht ein 6 monatiger *Trametes*-Befall etwa einem Befall durch einen der vorgenannten Pilze von 2 Monaten bei Kiefer oder 1 Monat bei Fichte.