

Über die Strukturen von Zellulosefasern des Holzes.

Von S. Pienkowski in Warschau.

Mit 3 Abbildungen. (Eingegangen am 2. Juni. 1930).

Es wurde die Gleichrichtung der Cellulosekristallite im Holz auf röntgenographischem Wege untersucht. Man konnte feststellen, daß der Grad der Gleichrichtung von der Dicke der Jahresschicht und der Kompaktheit des Holzes abhängt. Im Zusammenhang damit wird als Deutungsmöglichkeit der Resultate die regelmäßige Orientierung der Cellulosekristallite in den Zellwänden des Holzes angegeben.

Der Hauptbestandteil des Holzes, die Cellulose, ist vielfach mittels X-Strahlen untersucht worden. Diese Untersuchungen haben gezeigt, daß Cellulosen verschiedener Herkunft eine Ansammlung von Kristalliten immer derselben, schon ziemlich genau erforschten Struktur darstellen.

Die Röntgenanalyse der natürlichen Faserstoffe hat ferner erwiesen, daß die Kristallite in der Cellulose teilweise gleich orientiert sind.

Die vorliegenden Untersuchungen über die Holzstruktur, welche vom Verfasser in letzter Zeit durchgeführt worden sind, haben interessante Resultate über den Grad dieser Gleichrichtung ergeben.

Die X-Strahlanalyse wirft Licht auf die Feinstruktur des Holzes. Während die Anatomie der Zellengewebe die Kenntnis der Anordnung der einzelnen Zellen im Holz ermöglicht, die schon zusammengesetzte Bestandteile der Faser sind, reicht die Röntgenanalyse viel tiefer, indem sie Aufklärung gibt über die Anordnung der Kristallite, deren unzählbare Menge sich in einer Zelle zusammensetzt.

Die Eigenschaften des Holzes müssen sowohl vom anatomischen Aufbau als auch von der Feinstruktur abhängen, ähnlich wie die Eigenschaften von Metalldrähten oder Walzblechen nicht nur vom Aufbau der Kristallite, sondern auch vom Grad ihrer Gleichrichtung abhängig sind.

In vorliegenden Untersuchungen wurden Holzschichten von 0,5 mm Dicke mit einem 0,5 bis 1 mm breitem Röntgenstrahlbündel von einer Cu-Antikathode durchstrahlt. Die X-Strahlen wurden entweder in einer Gasröhre oder in einer Coolidge Lampe bei 60 kV Spannung und 15 bis 20 mA Stromstärke erzeugt. Mittels einer Ni-Folie von 0,02 mm Dicke als Filter wurden die X-Strahlen monochromatisiert, so daß tatsächlich wirksam nur die K_{α} -Strahlen des Kupfers waren.

Mit Rücksicht auf das kleine Streunungsvermögen der Cellulosefaser für diese Strahlen mußten zur Erhaltung genügend geschwärzter Platten Expositionszeiten bis zu 30 Stunden angewendet werden.

Anfänglich wurden zur Untersuchung so ausgeschnittene Holzschichten gebraucht, daß das Strahlenbündel entweder (*A*) in der Richtung des Baumstammradius oder (*B*) senkrecht zum Baumstammradius, oder endlich (*C*) parallel zur Baumachse verlief. Da jedoch im Falle *C* gleichmäßig geschwärmte Kreisringe auf den Debyeaufnahmen auftreten, die auf vollständig regellose Kristallverteilung schließen lassen und da die Fälle *A* und *B* keine Unterschiede aufweisen, so wurden weiterhin hauptsächlich in der Richtung des Baumradius durchstrahlte Holzplatten untersucht.

Der Grad der Gleichrichtung der Cellulosekristallite hängt vor allem von der Struktur des Zellengewebes selbst ab.

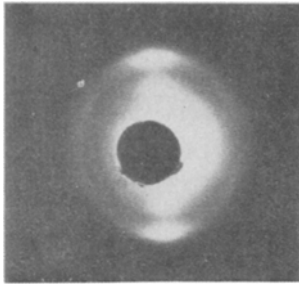
Um festzustellen, welchen Einfluß die Feuchtigkeit des Holzes auf den Grad der Gleichrichtung der Kristallite ausübt, wurde die zu untersuchende Platte in zwei Teile geteilt, von denen die eine erst nach zwei- und dann vierwöchiger Trocknung im warmen Luftstrom (60 bis 70° C) untersucht wurde. Bei Anwendung von verschieden lange getrockneten Platten zeigte sich, daß die erste Phase des Trocknungsprozesses eine kleine, aber deutliche Verminderung der Dispersion der bevorzugten Richtungen hervorruft, die weitere Trocknung jedoch keinen merkbaren Einfluß mehr hat. Diese Dispersionsveränderung beim Trocknungsprozeß läßt sich leicht erklären; die Deutung ist weiter unten angegeben.

Bei der Untersuchung verschiedener Holzproben wurden bedeutende Unterschiede im Grad der Gleichrichtung der Kristallite festgestellt. Diese Unterschiede sind nicht nur durch die Verschiedenheit der Holzgattungen bedingt, trotzdem der Grad der Gleichrichtung je nach der Holzgattung variieren kann und man in verschiedenen Holzarten nicht ganz identische Kristallitverteilung erhält. Dennoch kommt hier der Holzgattung keine entscheidende Rolle zu und sie zeichnet sich mit keiner charakteristischen Eigenschaft aus.

Holzplatten, die aus demselben Baumstamm aus Schichten von verschiedenem Alter (3 bis 42 Jahre) ausgeschnitten waren, haben ebenfalls keine charakteristischen Unterschiede in der Gleichrichtung der Kristallite aufgewiesen, nach denen man sie hätte klassifizieren können. Das Alter der Schicht hat keinen Einfluß auf den Dispersionsgrad.

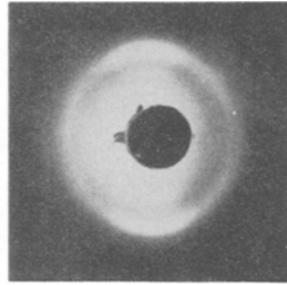
Bedeutende Unterschiede sind dagegen in Platten festgestellt worden, die aus derselben Jahresschicht an Stellen verschiedener Dicke ausgeschnitten waren. Fig. 1 zeigt Faserdiagramme von zwei Föhrenplatten, von denen

eine (a) aus den dünnen (0,7 mm) und die andere (b) aus dickeren (4 mm) Teilen derselben Jahresschicht gewonnen waren. Die dünneren Schichten



(a)

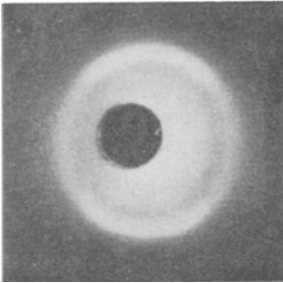
0,7 mm Jahresschichtdicke.



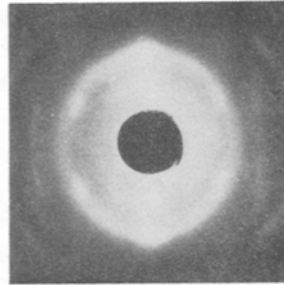
(b)

4 mm Jahresschichtdicke.

Fig. 1. Föhrenholz.

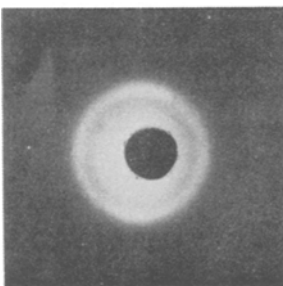


1,5 mm Jahresschichtdicke.

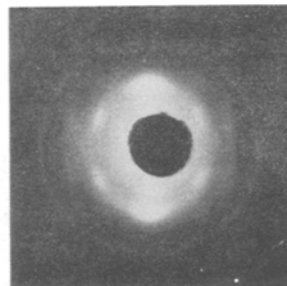


4 mm Jahresschichtdicke.

Fig. 2. Ulmenholz.



0,8 mm Jahresschichtdicke.



4 mm Jahresschichtdicke.

Fig. 3. Eschenholz.

weisen kleinere Dispersion auf als die dickeren. Dasselbe wurde für Pappel- und Fichtenholz festgestellt.

Diese drei Holzarten gehören zu der Klasse von Bäumen, in der bei großem Jahreszuwachs die sogenannte dicke Zone auftritt, welches breite Zellen enthält und schwaches, wenig kompaktes Holz liefert. Diese Holzgattung ist um so mehr kompakt, je dünner die Jahresschicht ist, da dort flache und kleine Zellen überwiegen. In diesen hochwertigen, kompakten Schichten sind die Cellulosekristallite exakter gleichgerichtet.

Es gibt jedoch eine andere Holzgattung, deren Faserdiagramme aus Teilen verschiedener Dicke derselben Jahresschicht nicht den vorher beschriebenen Charakter aufweisen. Als typische Beispiele sind hier die Ulme und die Esche zu nennen. Fig. 2 und 3 stellen die entsprechenden Diagramme dar.

Aus den Photographien erkennt man einen bedeutenden Unterschied im Grad der Gleichrichtung der Kristallite in derselben Jahresschicht. Hier jedoch, im Gegensatz zum vorher besprochenen Falle des Föhren- und Fichtenholzes, weisen diejenigen Teile, die einem großen Jahreszuwachs entsprechen, genauere Gleichrichtung auf, als die dem kleinen Jahreszuwachs entsprechenden. Wie ein Vergleich der Fig. 1 und 2 zeigt, sind die Unterschiede in der Dispersion der paratropen Richtungen für diese Baumgattung viel größer als für die vorhergehende. Die Untersuchung einer ganzen Anzahl von Exemplaren dieser Holzgattung hat immer dasselbe Resultat ergeben.

Es ist also gewiß, daß der Zusammenhang zwischen der Schichtdicke und dem Grad der Gleichrichtung der Kristallite ein allgemeiner ist.

Auch im Fall der zweiten Baumgruppe wird dieser Zusammenhang leicht verständlich, wenn man die anatomischen Eigenschaften dieser Baumgattung berücksichtigt. Hier nämlich weisen die dickeren Jahresschichten festeres, kompakteres Holz auf, während in den dünnen Schichten der Einfluß des Frühlingszuwachses mehr ausgeprägt ist; da dieser jedoch Holz mit vielen großen Zellen liefert, so sind diese Teile weniger kompakt. Deshalb weisen die Faserdiagramme der hochwertigen, kompakten Teile, mit denen man es in den dicken Schichten zu tun hat, exaktere Gleichrichtung auf als diejenigen der großzelligen Teile.

Zu demselben Resultat hat uns aber auch die Untersuchung der ersten Baumgruppe geführt. Trotzdem sich also gezeigt hat, daß der Zusammenhang zwischen der Jahresschichtdicke und dem Dispersionsgrad der bevorzugten Richtungen ein geradezu entgegengesetzter für Holzarten beider Kategorien ist, so weist dieses Resultat auf dieselbe allgemeine Eigenschaft hin; in den kompakteren Holzteilen ist die Dispersion der bevorzugten Richtungen der Cellulosekristallite viel kleiner.

Andererseits sei bemerkt, daß in diesen kompakteren Teilen die Zellen stark abgeflacht sind und kleines Volumen des Innenraumes haben, so daß der größte Teil der Zellwänden parallel zur Stammachse verläuft. In weniger kompakten Holzteilen dagegen sind die Zellen mehr aufgebläht, der Innenraum nimmt größeres Volumen ein und infolgedessen ist ein kleinerer Teil der Zellwänden parallel zur Baumachse.

Die obigen Resultate der Röntgenanalyse würden also dafür sprechen, daß der Grad der Gleichrichtung der Cellulosekristallite um so größer ist, je größer der Teil der parallel zur Stammachse verlaufenden Zellwänden ist.

Für diesen Schluß scheint auch die oben erwähnte Verkleinerung der Dispersion der bevorzugten Richtungen beim Trocknungsprozeß zu sprechen.

Bekanntlich schrumpft das Holz beim Trocknen in der Richtung der Fasern sehr unmerklich, höchstens um einige Zehntel Prozent, in der Querrichtung dagegen bis zu zehn und mehr Prozent zusammen. Daraus folgt, daß die Dimensionsverkleinerung in der Querrichtung vielfach überwiegt gegenüber der Längenänderung, so daß also in getrocknetem Holz die Zellwänden in höherem Grade parallel zur Stammachse werden; was mit exakterer, mittels X-Strahlen feststellbarer Gleichrichtung der Kristallite verbunden ist.

Diese Ergebnisse führen zu einem interessanten Schluß. Die regelmäßige Anordnung der Zellwänden würde nicht genügen, die erhaltenen Faserdiagramme zu deuten, da ja die X-Strahlen durch die Kristallbestandteile der Zellwänden und nicht durch letztere selbst gebeugt werden. Parallele Anordnung der Zellwänden, in denen die Kristallitlagerung vollständig regellos wäre, könnte keine Diagramme mit Häufungsstellen der Schwärzung auf den Debyeringen ergeben. Daraus folgt, daß die Cellulosekristallite ein relativ zur Zellwandung regelmäßig gelagertes Gefüge bilden.

Die hier dargestellten Resultate der Röntgenanalyse sind im Einklang mit der längst bekannten Tatsache, daß die Festigkeit des Holzes um so größer ist, je kompakter die betreffende Holzgattung ist.

Weitere Untersuchungen sind im Gange.

Zusammenfassung.

1. Es wurden große Unterschiede im Dispersionsgrad der Cellulosekristallite bei Baumteilen verschiedener Dicke derselben Jahresschicht festgestellt.

2. Im Einklang mit der anatomischen Struktur tritt exaktere Gleichrichtung auf.

a) bei Ulmen- und Eschenholz in den dickeren Teilen derselben Jahresschicht.

b) bei Föhren-, Fichten- und Pappelholz dagegen in den dünneren Teilen.

3. Der Trocknungsprozeß des Holzes verkleinert im schwachen Grade die Dispersion.

4. Der Grad der Gleichrichtung der Kristallite ist größer, wenn das Holz kompakter ist, und hängt wahrscheinlich von der Größe des zur Baumachse parallelen Teiles der Zellwandungen ab. Dies weist darauf hin, daß die Cellulosekristallite ein relativ zur Zellwandung regelmäßig gelagertes Gefüge bilden.

Warschau, Institut der Experimentalphysik der Universität.
