

113. Kurt Hess, Heinz Kiessig, Wilhelm Wergin und Werner Engel: Zur Kenntnis der Bildung von Cellulose in der Zellwand.

[Aus d. Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Abteil. Hess, Berlin-Dahlem.]

(Eingegangen am 19. Februar 1939.)

1) Einleitung.

Die Zellwand junger Baumwollhaare zeigt bei Warmhauskulturen erst nach etwa dem 35. Tag nach Abfall der Blütenblätter die Röntgen-Interferenzen der Cellulose, d. h. nach Ausbildung der Primärwand bei einsetzendem Dickenwachstum¹⁾. Bei Freilandkulturen liegt dieser Zeitpunkt früher, zwischen dem 20. und 25. Tag²⁾. Vorher beobachtet man im Röntgendiagramm nur die Interferenzen einer cellulosefremden Wandkomponente, die Hess, Trogus und Wergin Primärsubstanz genannt haben, und an deren Aufbau nach den Feststellungen von Gundermann, Wergin und Hess wachs- bzw. fettartige Stoffe beteiligt sind³⁾.

Die vorliegende Untersuchung knüpft an die früher aufgeworfene Frage an, ob Cellulose am Aufbau der Primärwand überhaupt nicht beteiligt ist oder darin neben Fett-Wachs und anderen Substanzen nur in einem solchen Zustand vorkommt, daß sie röntgenmäßig nicht erfaßt wird (nicht gittermäßig geordnet, sondern in „amorphem“ Zustand oder an Grenzflächen in dünner Schicht verteilt⁴⁾).

Bisher liegen folgende Beobachtungen zu dieser Frage vor. Gundermann, Wergin und Hess haben festgestellt, daß in dem Röntgendiagramm der Primärwand neben den für Fett und Wachs charakteristischen Interferenzen mit kleinen Glanzwinkeln und den beiden für alle höheren Paraffinketten fast identischen Interferenzen entsprechend $d = 4.14 \text{ \AA}$ und $d = 3.75 \text{ \AA}$ noch eine Interferenz vorkommt, die ihrer Lage nach der 4. Ordnung der Basis der Cellulose entspricht, und die darauf hindeutet, daß in der Primärwand neben den Kohlenwasserstoffketten Cellulose in Form sehr dünner Fäden vorkommt. Ferner berichtet W. A. Sisson⁵⁾ über Versuche, nach denen Junghaare, die nach Extraktion mit Chloroform (Entfernung von Fett-Wachs) mit heißer 1-proz. Natronlauge unter Rückfluß (Entfernung einer amorphen Substanz) und anschließend mit 1-proz. Hypochlorit-Lösung gebleicht worden waren, schon in einem Alter von 5 Tagen deutlich die Interferenzen der Cellulose erkennen lassen. W. A. Sisson schätzt den Cellulosegehalt von 10 Tage alten Haaren auf 8–10% und folgert: „the principal reason why crystalline cellulose is not detected by X-ray analysis of the untreated fibers is probably because it is not present in sufficient concentration“.

Wir haben die Frage nach dem Vorkommen von Cellulose in den jungen und namentlich in den jüngsten Stadien der Wandentwicklung weitergeprüft und können den Befund von Sisson bestätigen, daß nach der Entfernung von Wachs und anderen Bestandteilen mit Hilfe von heißem

¹⁾ K. Hess, C. Trogus u. W. Wergin, *Planta* **25**, 426 [1936].

²⁾ J. Gundermann, W. Wergin u. K. Hess, *B.* **70**, 524 [1937].

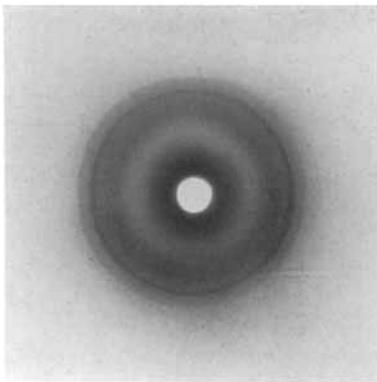
³⁾ K. Hess, *Papierfabrikant* **34**, 501 [1936]; J. Gundermann, W. Wergin u. K. Hess, l. c.; dieser Befund ist später von W. A. Sisson bestätigt worden (*Contributions from Boyce-Thompson Institute* **8**, 389 [1937]).

⁴⁾ K. Hess, C. Trogus u. W. Wergin, l. c. S. 436.

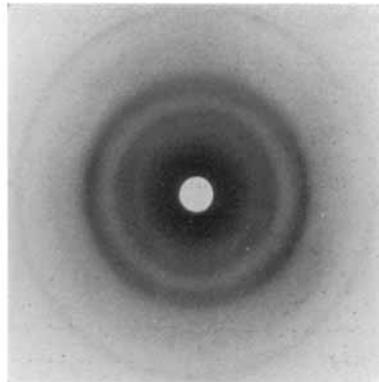
⁵⁾ *Contr. from Boyce-Thompson Institute* **8**, 397 [1937]; **9**, 243 [1938].

Alkali usw. aus der Primärwand Präparate erhalten werden, die im Gegensatz zu den unbehandelten Haaren die Interferenzen der Cellulose zeigen.

In Abbild. 1 ist das Röntgendiagramm von 24 Tage alten Haaren (Warmhauskultur) in unbehandeltem Zustand (nur schwach an der Luft getrocknet) wiedergegeben und in Abbild. 2 das Röntgendiagramm der Haare nach einer Extraktion mit siedendem Chloroform (Soxhlet) und anschließend mit heißer 1-proz. Natronlauge. In Abbild. 1 sind ohne weiteres die dem Fett-Wachs entsprechenden Interferenzringe ($d = 4.14 \text{ \AA}$, $d = 3.75 \text{ \AA}$) zu erkennen sowie weiter innen ein amorpher Ring ($d = 5.3 \text{ \AA}$). Entsprechend Abbild. 7 ist das Röntgendiagramm der Abbild. 2 durch Indizierung als Cellulose erwiesen.



Abbild. 1. Röntgendiagramm von 24 Tage alten Baumwollhaaren (Warmhauskultur). Vor der Extraktion, trocken.



Abbild. 2. Wie 1, nach Extraktion mit Chloroform und heißer 1-proz. Natronlauge.

Nach W. A. Sisson ist das Fehlen der Cellulose-Interferenzen vor der Extraktion dadurch zu verstehen, daß diese durch das Interferenzbild der Fett-Wachs-Phase sowie der amorphen Bestandteile verdeckt sind. Wir sind auf Grund weiterer Versuche zu der Überzeugung gekommen, daß diese Deutung des Auftretens der Cellulose-Interferenzen nach der Extraktion nicht zutrifft, sondern daß der Erscheinung ein wesentlich komplizierterer Vorgang zugrunde liegt. Da diese Versuche zu neuen Gesichtspunkten für die Bildung der Cellulose in der Wand geführt haben, sei im folgenden kurz darüber berichtet.

2) Versuchsführung und Versuchsergebnisse.

Zur möglichst sicheren Erkennung der Zusammenhänge wurden die Baumwolljunghaare in den verschiedenen Extraktionsstadien röntgenographisch und polarisationsoptisch untersucht sowie die bei den Extraktionen auftretenden Mengenverhältnisse quantitativ bestimmt.

a) Herkunft und Extraktion der Baumwollhaare: Die Untersuchung wurde an Junghaaren aus einer Freilandkultur in Ägypten (*Gossypium barbadense* subsp. *Maarad*) sowie an Haaren (derselben

Art) aus einer hiesigen Warmhauskultur durchgeführt. Da es auf die Untersuchung eines möglichst jungen Entwicklungsstadiums ankam, andererseits die Haare sich aber schon gut behandeln lassen mußten (Vorbereitung für orientierte Aufnahmen), wählten wir bei der Freilandkultur 10 Tage alte Haare (gerechnet nach Abfall der Blütenblätter). Die Kapseln wurden unmittelbar nach der Ernte von ihrer Wand befreit, die Kapselinhalte in mit sterilem Wasser gefüllte Blechkanister eingelegt und nach Zusatz von etwas Campher unmittelbar luftdicht verschlossen (verlötet). Das Material erwies sich nach dem Transport (Flugzeug) in einwandfreiem Zustand.

Die Kapselinhalte wurden von der Konservierungsflüssigkeit getrennt, kurz mit dest. Wasser gewaschen und in Haare, Septen und Kerne zerlegt, wobei die Haare von den Kernen vorsichtig mit einer Pinzette abgezogen wurden. Nach dem Zerschneiden mit einem Rasiermesser wurden die Haare erschöpfend mit kaltem Wasser (20°, Schüttelmaschine, oftmalige Erneuerung des Wassers) extrahiert, an der Luft schnell (Föhn) getrocknet und anschließend erschöpfend mit kaltem Chloroform und schließlich mit heißem Wasser extrahiert. Die bei der Extraktion ermittelten Gewichtsverhältnisse zeigt Tafel 1.

Tafel 1. Extraktion der 10 Tage alten Baumwollhaare (Ägypten).

Nr.	Behandlung	Extrahierte Substanz				Baumwollhaare	
		Gew.- %*)	% P	% N	RD**) in Ab- bild.	RD in Ab- bild.	Mikroauf- nahme in Abbild.
1	Ausgangsmaterial	0	—	—	—	3	11 u. 11 a
2	extr. mit kalt. Wasser	13.1	0.75	5.26	8	4	12 u. 12 a
3	Nr. 2 extr. mit kalt. Chloroform.	11.7	0.00	0.09	9	—	—
4	Nr. 3 extr. mit heiß. Wasser	30.8	0.25	1.58	10	5	13 u. 13 a

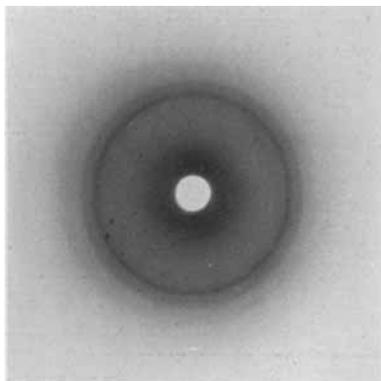
*) bezogen auf absol. trockene Ausgangshaare.

**) RD = Röntgendiagramm.

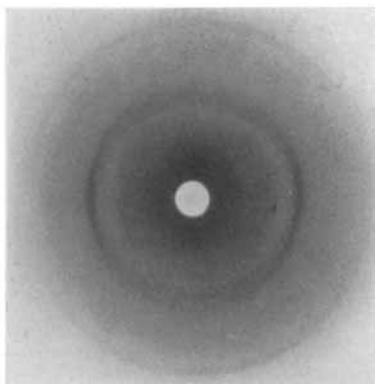
Die Warmhauskulturen wurden unmittelbar nach der Ernte verarbeitet. Diese Kulturen sind im Herbst 1938 geerntet worden und hatten ungünstige Sonnenverhältnisse. Nach der Größe der Kapseln sowie der Wandstärke der Haare zu urteilen, entsprachen die 10 Tage alten Kapseln der Freilandkultur etwa 24—27 Tage alten Kapseln unserer Warmhauskultur. Die vergleichende Untersuchung an frischem Material wurde daher an 24 bis 27 Tage alten Kapseln durchgeführt. Die Reihenfolge in der Anwendung der Extraktionsmittel mußte aus unten angegebenen Gründen umgekehrt werden. Die wie oben abgetrennten Haare wurden zuerst mit Chloroform erschöpfend extrahiert und nachfolgend mit kaltem Wasser.

b) Röntgenuntersuchung: In allen Fällen wurden zur Röntgenaufnahme Haarbündel benutzt, die senkrecht zur Faserachse durchstrahlt wurden. Zur Herstellung des Bündels wurden die Haare im feuchten Zustand auf einer Glasplatte lang gestreckt, parallel ausgerichtet und zusammengeschoben. Das Bündel wurde nach dem Trocknen in ein Keesom-Röhrchen eingeführt. Aufnahmebedingungen: Röntgenröhre 35 kV, 10 mA, Cu-K_α-Strahlung, Nickelfilter; Belichtungsdauer 6 Stdn.; 1. Blende Ø 0.7 mm, 2. Blende Ø 0.5 mm, Abstand der Blenden 5 cm; Plattenabstand 40 mm; Agfa-Sino-Film. Die Röntgenaufnahmen der Haare vor und nach den der Tafel 1 entsprechenden Extraktionen sind in Abbild. 3—5 wiedergegeben.

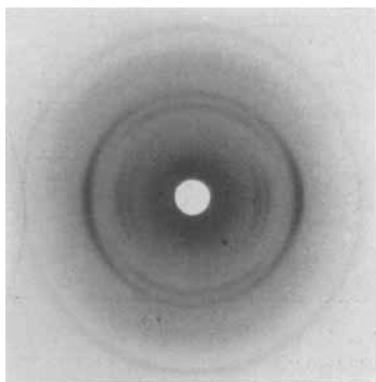
Die Haare der Freilandkultur (Ägypten) (Abbild. 3) lassen vor der Extraktion mit großer Deutlichkeit die für Fett-Wachs charakteristischen Interferenzen erkennen. Von den Cellulose-Äquatorinterferenzen ist nicht die geringste Andeutung bemerkbar (im Original ist nur schwach [040] vorhanden). Im Gegensatz zu dem Röntgendiagramm in Abbild. 1 (Warmhausmaterial) ist bei den ägyptischen Haaren im Röntgenbild der innere amorphe



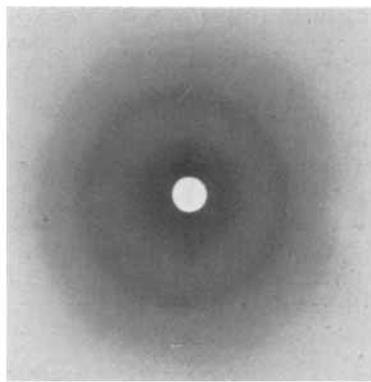
Abbild. 3. Röntgendiagramm von 10 Tage alten Baumwollhaaren (Ägypten). Vor der Extraktion, trocken.



Abbild. 4. Wie 3, nach Extraktion mit kaltem Wasser.



Abbild. 5. Wie 4, nach anschließender Extraktion mit Chloroform und heißem Wasser.



Abbild. 6. Wie 3, nach Extraktion mit Chloroform.

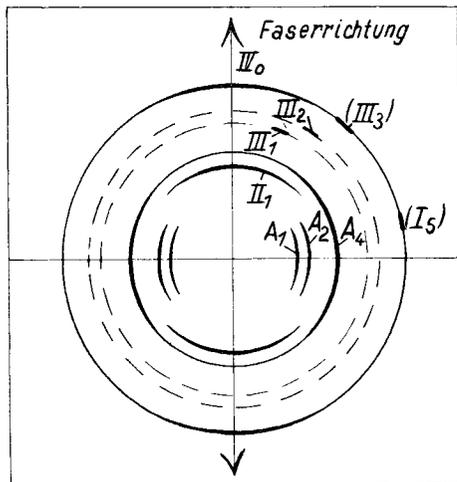
Ring nicht mehr zu erkennen, was höchst wahrscheinlich dadurch bedingt ist, daß die diesem Ring zugrunde liegende Substanz beim Transport nach Dahlem von der wäßrigen Konservierungsflüssigkeit aufgenommen worden ist oder sonstwie verändert wurde. Bei der erschöpfenden Extraktion mit kaltem Wasser (Abbild. 4) verschwinden die Interferenzen der Fett-Wachs-Phase völlig, und es erscheinen die charakteristischen Interferenzen der Cellulose in Form eines verhältnismäßig gut ausgebildeten Faserdiagrammes. Bei

der anschließenden Extraktion mit Chloroform und heißem Wasser nehmen Intensität und Schärfe dieser Interferenzen noch wesentlich zu (Abbild. 5). Extrahiert man die unbehandelten Haare ausschließlich mit Chloroform,

so verschwinden die Fett-Wachs-Interferenzen (Abbild. 6), die Interferenzen der Cellulose treten dabei aber nicht auf. Im Röntgendiagramm ist nur ein verhältnismäßig schwacher amorpher Interferenzring ($d = 4.1\text{--}4.6 \text{ \AA}$) zu erkennen.

In Abbild. 7 ist schematisch die Indizierung des Diagramms der Abbild. 5 wiedergegeben, woraus hervorgeht, daß es sich um das Faserdiagramm der Cellulose handelt. Die Interferenzen sind in Tafel 2 zahlenmäßig mit denen der Ramie-Cellulose verglichen.

Vergleicht man das Röntgendiagramm nach der Kaltwasserextraktion (Abbild. 4) bzw. nach der Heißwasserextraktion (Abbild. 5) mit dem Röntgendiagramm der Haare vor der Extraktion



Abbild. 7. Indizierung der Cellulose entsprechend Röntgendiagramm Abbild. 5.

(Abbild. 3) bzw. der nur mit Chloroform extrahierten Haare (Abbild. 6), dann erkennt man, daß die Interferenzen der Cellulose in den Diagrammen nach der Wasserextraktion so stark ausgebildet sind, daß man sie auch in den Diagrammen vor der Wasserextraktion erwarten sollte, wenn in den Haaren

Tafel 2. Ausmessung der Aufnahmen von Abbild. 5 (Indizierung in Abbild. 7). 10 Tage alte Baumwollhaare (Ägypten) mit kaltem Wasser, Chloroform und heißem Wasser extrahiert.

Reflex	Netzebene	d in \AA gemessen	d in \AA von Ramie
A ₁	(101)	6.11	5.98
A ₂	(101)	5.31	5.36
A ₄	(002)	3.95	3.89
II ₁	{ (120) (021)	4.35	4.32
III ₁	{ (130) (031)	3.21	3.16
III ₂	{ (131) (131)	2.97	2.90
IV ₀	(040)	} 2.64	2.59
III ₃	{ (230) (032)		2.62
I ₅	{ (310) (21 $\bar{2}$) (311)		2.62

vor der Wasserextraktion die Cellulose gittermäßig geordnet vorkommen würde. Die Abwesenheit der Cellulose-Interferenzen in den Junghaaren der Baumwolle (Primärwand) kann daher nicht dadurch begründet werden, daß die Interferenzen durch das Diagramm der Nichtcellulosestoffe (Wachs, Eiweiß, Phosphatide) verdeckt sind.

Für die kristalline Wachsphase geht dies ohne weiteres aus Vergleich von Abbild. 4 und Abbild. 6 hervor, indem nach Entfernung der etwa 12% betragenden Wachsmenge durch ausschließliche Extraktion mit Chloroform keine Interferenzen sichtbar werden (sondern nur ein schwacher, unscharfer Interferenzring), obwohl die Wachinterferenzen in der Nähe der Hauptinterferenz A_4 der Cellulose liegen und diese bei ungünstigen Aufnahmebedingungen hätten verdecken können. Für die amorphen Cellulosebegleiter, die bei der Wasserextraktion abgeführt werden, bestätigt sich unsere Folgerung durch die Mengenverhältnisse bei der Extraktion. Dem Auftreten der Cellulose-Interferenzen in Abbild. 4 nach der Kaltwasserextraktion steht ein Substanzverlust von nur 13% gegenüber. Es ist nicht zweifelhaft, daß Mengen dieser Größenordnung einer amorphen Substanz nicht ausreichen, um ein derartig deutliches Cellulosediagramm zu verdecken.

Das Fehlen der Cellulose-Interferenzen in den Junghaaren vor der Extraktion mit Wasser wird kaum anders als durch die Annahme verständlich, daß in den Junghaaren Cellulose nicht in dem gittermäßig geordneten Zustand der reifen Haare vorkommt, sondern in einem Zustand, der erst bei der Kaltwasserextraktion in den geordneten übergeht.

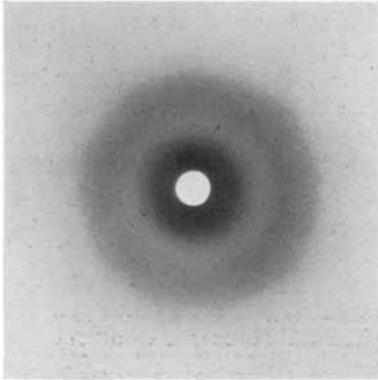
Auch bei den im Warmhaus gezogenen Haaren beobachten wir Ähnliches. Ein Unterschied im Verhalten dieser im frischen Zustand unmittelbar untersuchten Haare gegenüber den aus Ägypten bezogenen besteht darin, daß nach der Extraktion der frischen Haare mit Wasser allein noch keine Veränderung des Röntgendiagramms gegenüber dem unbehandelten Material festzustellen ist, sondern daß die Cellulose-Interferenzen erst nach vorangehender Extraktion von Fett-Wachs durch Chloroform oder Äther-Alkohol und nachfolgender Kaltwasserextraktion erscheinen. Auch in diesem Fall sind die Cellulose-Interferenzen nach der Extraktion so ausgeprägt, daß man nicht annehmen kann, daß diese der Beobachtung in den nicht extrahierten Haaren entgehen. Auch beim Vergleich des Röntgendiagramms in Abbild. 1 mit den ausgeprägten Cellulose-Interferenzen der nach Sisson extrahierten Junghaare (Chloroform, heiße 1-proz. Natronlauge) in Abbild. 2 erkennt

Tafel 3. Ausmessung der Aufnahmen von Abbild. 9. Chloroformlöslicher Extrakt aus 10 Tage alten Baumwollhaaren (Ägypten).

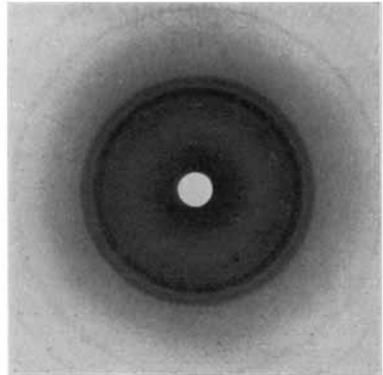
Intensität	d in Å gemessen	Carnaubawachs d in Å*)
schw. (breit).....	~4.64	4.51
s. st.	4.16	4.14
st.	3.75	3.75
s. schw.	2.98	2.98
m.	2.48	2.48
schw.	2.24	2.24
s. schw.	~2.12	

*) Nach J. Gundermann, W. Wergin u. K. Hess, B. 70, 517 [1937].

man deutlich, daß die Abwesenheit der Cellulose-Interferenzen in Abbild. 1 nicht durch Überlagerung durch das Röntgendiagramm der extrahierten Substanzen verursacht sein kann.

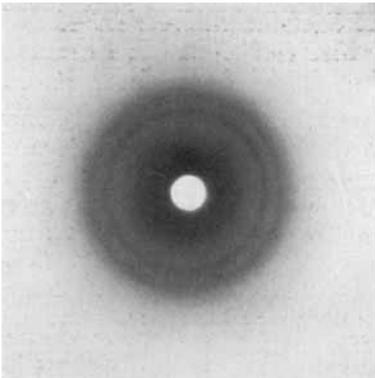


Abbild. 8. Röntgendiagramm des Kaltwasserextraktes aus 10 Tage alten Haaren (Ägypten).



Abbild. 9. Röntgendiagramm des Chloroformextraktes aus 10 Tage alten Haaren (Ägypten).

Die Röntgendiagramme der herausgelösten Haarbestandteile sind in Abbild. 8, 9 und 10 wiedergegeben. Der in kaltem Wasser lösliche Anteil zeigt einen breiten Interferenzring mit einem mittleren Durchmesser entsprechend dem Netzebenenabstand $d = 4.5 \text{ \AA}$. Die Ausmessung des Diagramms des chloroformlöslichen Bestandteiles ergibt entsprechend Tafel 3 eine Übereinstimmung der Interferenzlagen mit denen des Carnaubawachses. Die entscheidenden langen Gitterperioden sind noch nicht endgültig untersucht worden; ein Bestandteil mit $d = 50 \text{ \AA}$ ist bereits sichergestellt.



Abbild. 10. Röntgendiagramm des Heißwasserextraktes aus 10 Tage alten Haaren (Ägypten).

Die Ausmessung des Röntgendiagramms des in heißem Wasser löslichen Extraktes zeigt Tafel 4.

Es sei schließlich noch auf die auffallende Beobachtung hingewiesen, daß die Interferenzen des Fett-Wachs-Anteils der Haare nach der Kaltwasserextraktion verschwunden sind. Berücksichtigt man, daß bei der Kaltwasserextraktion entsprechend dem mikroskopischen Befund

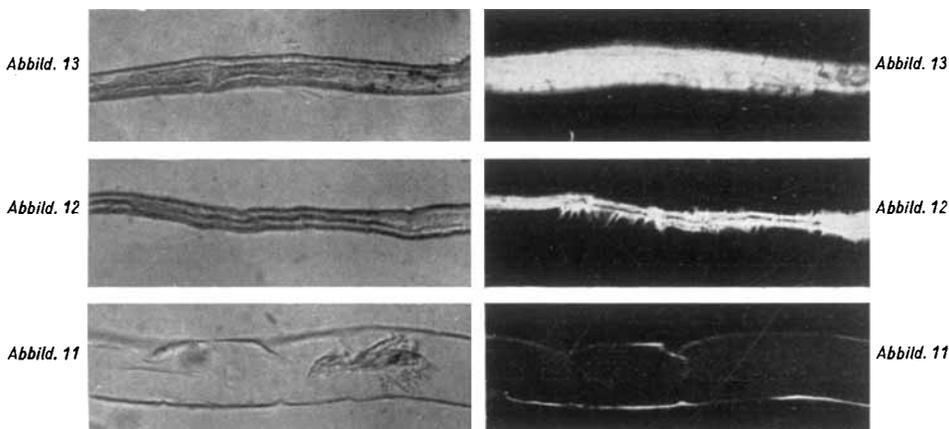
Tafel 4. Ausmessung der Aufnahmen von Abbild. 10. Wasserlöslicher (heiß) Extrakt aus 10 Tage alten Baumwollhaaren (Ägypten).

Intensität	m. (breit)	m.	s. schw.
d in \AA gemessen	4.2	5.0	~ 2.8

wahrscheinlich infolge der starken Schüttelwirkung eine Abscheidung der Lipoidbestandteile in Form von zusammengeballten Klumpen erfolgt, die bei der Röntgenaufnahme nicht mitverwendet wurden, so wird das Ergebnis des Röntgenbefundes ohne weiteres verständlich, wenn man annimmt, daß bei der Extraktion das Fett-Wachs der Haare von der Lipoidausscheidung mit aufgenommen worden ist*).

c) Polarisationsoptische Untersuchung: Zur polarisationsoptischen Untersuchung wurden ebenfalls sowohl die Haare aus den ägyptischen Freilandkulturen, als auch die Haare aus der hiesigen Gewächshauskultur herangezogen. In Abhängigkeit von den Extraktionen wurden zwei auffallende Erscheinungen beobachtet:

- 1) Eine wesentliche Abnahme des Haardurchmessers, die offenbar größer ist als dem Verlust an extrahierter Substanz entspricht,
- 2) eine außerordentlich starke Änderung der Doppelbrechung.



Mikroaufnahmen von 10 Tage alten Baumwollhaaren (Ägypten) in gewöhnlichem (Abbild. 11–13) und polarisiertem (Abbild. 11a–13a) Licht; Vergr. 175:1.

Abbild. 11. Haar vor der Extraktion. Abbild. 12. Haar nach Kaltwasserextraktion.
Abbild. 13. Wie 12, nach Chloroform und Heißwasserextraktion.

Aus dem Vergleich von Abbild. 11 (10 Tage altes Haar der ägyptischen Kultur, ϕ 26 μ) mit Abbild. 12 (nach der Kaltwasserextraktion, ϕ = \sim 10 bis 13 μ) geht hervor, daß die Verringerung des Durchmessers \sim 50–60% beträgt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Breite der Haare sowie ihr gesamtes äußeres Aussehen während des Transportes, d. h. in Berührung mit der wäßrigen Konservierungsflüssigkeit, keine merkliche Änderung gegenüber den frischen Haaren unmittelbar nach der Ernte zu erkennen gibt, so daß die starke Veränderung im wesentlichen nur durch die erschöpfende Kaltwasserextraktion verursacht worden ist. Neben der scharfen Schrumpfung

*) Anm. b. d. Korr.: Diese Annahme konnten wir inzwischen bestätigen. Das Röntgenbild der mechanisch von den Haaren getrennten Klumpen zeigt die Fett-Wachs-Interferenzen.

der Haare beobachtet man das Auftreten von kompakten formlosen Massen, die die Haare zum Teil miteinander verkleben und deren Bildung darauf zurückzuführen ist, daß die aus den Haaren abgeführten nicht löslichen Bestandteile sich außerhalb des Faserverbandes infolge des starken Schüttelns bei der Extraktion zusammengeballt haben.

Bei der weiteren Chloroform- und nachfolgenden Heißwasserextraktion ändert sich am Bilde des Extraktionsgutes nichts Wesentliches mehr. Man beobachtet nach dieser Behandlung, daß sich häufig auch der Protoplasmaschlauch mit größeren Einschlüssen des Plasmas von der Wand abgelöst hat und stark geschrumpft ist.

Von entscheidender Bedeutung ist die Beobachtung der Haare vor und nach der Extraktion im polarisierten Licht. Während die Haare vor der Extraktion (Abbild. 11 a) eine schwache Doppelbrechung (negativ in bezug auf die Längsachse der Haare) erkennen lassen, die nur an den Rändern deutlicher in Erscheinung tritt, zeigen sie nach der Extraktion (Abbild. 12 a und 13 a) eine außerordentlich starke Doppelbrechung.

Die Stärke der Doppelbrechung entspricht etwa der Stärke bei ausgewachsenen oder bereits stark verdickten Haarwänden. Während jedoch bei den natürlich gewachsenen, reifen oder fast reifen Haaren eine sehr gleichmäßig positive Doppelbrechung (bezogen auf die Längsachse) vorliegt, ändert sich die Richtung der Doppelbrechung bei den extrahierten geschrumpften Haaren sehr häufig, was der Beobachtung entspricht, daß auch die Schrumpfung sehr unregelmäßig ist. Doch überwiegt die positive Doppelbrechung.

Ein ähnliches Bild liefern die unmittelbar nach der Ernte untersuchten Haare aus der Warmhauskultur. Bei den nach W. A. Sisson mit heißem Chloroform und heißer 1-proz. Natronlauge extrahierten Haaren gewinnt man den Eindruck, daß die Haarwände zum Teil in langen stark doppelbrechenden Streifen aufgesplissen sind, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, daß die Behandlung mit der heißen Natronlauge noch weitere Anteile aus der Wand herausgelöst hat.

3) Schlußfolgerungen.

Der Vergleich der Röntgen- und polarisationsoptischen Untersuchungen zeigt, daß das Auftreten des Röntgenbildes der Cellulose mit dem Auftreten starker Doppelbrechung parallel geht. Dabei beweist die Beobachtung der Röntgeninterferenzen das Auftreten einer gittermäßigen Ordnung der Cellulose, die Textur des Röntgenbildes und das gleichzeitige Auftreten von Doppelbrechung die Orientierung dieser gittermäßig geordneten Bereiche, die bevorzugt in Längsrichtung der Haarachse gerichtet sind. Da diese Vorgänge in der Primärwand nach Entfernung einer Wandkomponente durch Extraktion mit Wasser erfolgen, liegt die Annahme sehr nahe, daß beide Vorgänge mit der Abführung dieser Wandkomponente in einem ursächlichen Zusammenhang stehen. Diese Wandkomponente ist nicht die früher festgestellte Fett-Wachs-Phase, sondern eine durch Wasser entfernbare amorphe Substanz, vorläufig Substanz X genannt (bzw. ein Substanzgemisch) mit Phosphor und Stickstoffgehalt (Phosphatid, Eiweiß*).

*) Anm. b. d. Korr.: Nach den bisherigen analytischen Ergebnissen sind im Kaltwasserextrakt etwa 18 % Phosphatid und 33 % Eiweiß enthalten.

Wenn es auch schwierig ist, festzustellen, inwieweit sich der bei der Kaltwasserextraktion abgeführte Komplex auf Wand und Haarinhalt verteilt, so kann doch auf Grund der festgestellten Beobachtungen mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß mindestens ein Teil dieses Komplexes der Wand entstammt und darin so angeordnet ist, daß er die gittermäßige Ordnung der Cellulose verhindert.

Die Feststellung, daß Substanz X bei dem frischen Material (Warmhaus) durch Wasser erst dann entfernbar wird, wenn die Wachphase entfernt ist, legt weiterhin die Annahme nahe, daß der Cellulose-Substanz-X-Komplex in den Jungwänden vom Wachs umhüllt ist. Die Wachskristallite dieser Umhüllung liegen offenbar im wesentlichen unregelmäßig nach allen Seiten, d. h. wenig⁶⁾ oder nicht bevorzugt in Richtung der Längsachse der Haare oder quer dazu, da das Wachs entsprechend dem Röntgendiagramm nur in unorientiertem Zustand⁷⁾ vorhanden ist. Bei dem ägyptischen Material, bei dem sich eine vorgehende Entfernung des Wachses durch Chloroform zur Erzielung einer Gitterordnung der Cellulose als nicht notwendig erwiesen hat, ist offenbar infolge des Transportes der Haare in der wäßrigen Konservierungsflüssigkeit eine Änderung in der Anordnung des Wachses vor sich gegangen, so daß hier Wasser unmittelbar angreifen konnte.

Der Nachweis einer gittermäßig stark ungeordneten Cellulose in der Primärwand, die durch geringfügige äußere Einflüsse, wie sie die Kaltwasserextraktion darstellt, in die kristalline Form übergeführt werden kann, dürfte für das Verständnis der Cellulosebildung in vivo bedeutungsvoll sein.

Im Hinblick auf den Mechanismus der Cellulosebildung ergeben sich zwei Möglichkeiten:

1) Die Substanz X hat die Funktion einer Hilfssubstanz zur Bildung der Cellulose und muß nach Abschluß des Bildungsprozesses fortgeführt werden, damit sich die Cellulose gittermäßig ordnen kann.

Da die Primärwand in ihrem Aufbau aus gittermäßig ungeordneter Cellulose nach Abschluß des Streckungswachstums bei den Baumwollhaaren sich nicht zu ändern scheint, wie die bleibende schwache negative Doppelbrechung in der Primärwand nach Anlagerung der ersten Sekundärwand-schichten erkennen läßt^{7a)}, ist die Anwesenheit von Substanz X für die Dauer des Bestehens der Primärwand notwendig. In der Sekundärwand tritt sofort in vivo kristalline Cellulose auf. Hier muß also Substanz X, nachdem sie die Funktion der Cellulosebildung erfüllt hat, sofort entfernt werden, damit die gittermäßige Ordnung nicht gestört wird.

2) Hat Substanz X aber nur die Aufgabe, die Krystallisation zu verhindern und wird die Cellulosebildung vorher von einer anderen Substanz oder Substanzgruppe durchgeführt, so bleibt zwar die Notwendigkeit bestehen, daß Substanz X in der Primärwand dauernd vorhanden ist. Mit Beginn der Sekundärwandbildung aber kann dann die Produktion von Substanz X im Plasma aufhören oder so schwach werden, daß eine Anzahl von Cellulosemolekülen sich jeweils zu einem Bereich gittermäßiger Ordnung (Krystalliten) zusammenlagern kann.

⁶⁾ vergl. die schwache negative Doppelbrechung.

⁷⁾ Orientierung im Röntgenbild tritt nur bei künstlicher Streckung auf, wie W. A. Sisson gefunden hat und wie wir bestätigen können.

^{7a)} W. Wergin, Naturwiss. **25**, 830 [1937].

Versucht man, in diesem Zusammenhang dem Wachs eine Bedeutung zuzuschreiben, so dürfte diese in der Richtung liegen, daß es den Komplex Cellulose-Substanz X umhüllt und dadurch im Streckungswachstum, in dem verständlicherweise die Ausbildung starrer gittermäßig geordneter Bereiche unerwünscht ist (plastische Verformung), die Entfernung von Substanz X und damit die Ausbildung größerer Gitterbereiche verhindert. Dabei bleibe zunächst unerörtert, inwieweit dem Wachs noch andere Bedeutungen bei der Zellstreckung zukommen.

Im Rahmen dieser Betrachtungsweise dürfte das von A. Frey-Wyssling⁸⁾ für den Wachseinbau in der Primärwand gegebene Schema nicht zutreffen. Wir behalten uns vor, auf ein den Beobachtungen besser gerecht werdendes Schema für den Aufbau der Primärwand bei anderer Gelegenheit zurückzukommen.

In welcher Weise die Cellulose mit Substanz X in der Primärwand verbunden ist, läßt sich noch nicht entscheiden. Es sei aber in diesem Zusammenhang schon auf die von K. Hess und C. Trogus⁹⁾ festgestellte große Neigung der Cellulose hingewiesen, sich mit organischen basischen Gruppen, wie sie in Äthylendiamin, Tetramethyldiamin u. a. vorliegen, zu vereinigen. Auf der anderen Seite gewinnt für die in Frage stehenden Vorgänge die frühere Beobachtung¹⁰⁾ an Interesse, daß gittermäßig geordnete Cellulose bei der Veresterung mit hochmolekularen Fettsäuren (Tristearylcellulose) trotz guter Erhaltung des Faserverbandes auf Grund des Röntgendiagramms ihre Gitterordnung einbüßt und nach Verseifung der Estergruppen wieder kristallisiert.

Unser Dank gebührt mehreren Stellen, die durch Beschaffung von Materialien und Geldmitteln die Untersuchung ermöglicht haben: Hrn. Dr. Alten, dem Leiter der landwirtschaftlichen Versuchsstation des deutschen Kalisyndikates, Berlin-Lichterfelde; Hrn. Dipl. agr. Adolf Tomforde in Kairo für die Zusammenarbeit in der Beschaffung des Freilandmaterials; der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der I.-G. Farbenindustrie A.-G., Werk Leverkusen, für die großzügige Bereitstellung der notwendigen finanziellen Mittel.

⁸⁾ A. Frey-Wyssling, *Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate*, Berlin 1938, S. 226.

⁹⁾ *Ztschr. physik. Chem. (B)* **14**, 387 [1931]; K. Hess u. J. Gundermann, *B.* **70**, 1788 [1937].

¹⁰⁾ K. Hess u. C. Trogus, *Ztschr. physik. Chem. (B)* **15**, 204 [1931].