

Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse
Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft
Band: 56 (1946)

Artikel: Beiträge zur Kenntnis des färberischen Verhaltens von pflanzlichen Membranen
Autor: Haller, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-39761>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Beiträge zur Kenntnis des färberischen Verhaltens von pflanzlichen Membranen.

Von Prof. Dr. R. Haller.

Eingegangen am 12. April 1946.

Über den Bau der Bastfasern besteht eine reichliche Literatur, welche in den folgenden Mitteilungen entsprechend berücksichtigt worden ist. Wir finden aber fast alle diese Untersuchungen dem Zwecke dienend, diagnostische Merkmale zur Unterscheidung der verschiedenen Bastfasern festzustellen, um in strittigen Fällen, beispielsweise für die Unterscheidung von Flachs und Hanf, eindeutige Reaktionen beizubringen. Da nun aber in neuerer und neuester Zeit, veranlaßt durch die infolge der durch die Kriege gesperrten Zufuhren von Baumwolle, eine Anzahl vorher für die Technik bedeutungsloser Bastfasern der Textiltechnik nutzbar gemacht wurden, ist die Differenzierung aller dieser neuen Produkte neuerdings zu einem Problem geworden. Dieses Problem soll uns nun aber für die Folge nicht beschäftigen, vielmehr ist der Zweck vorliegender Arbeit der, den eigenartigen Aufbau der Bastfasern und das Färbevermögen der diese Fasern bildenden oder mit denselben zusammenhängenden Schichtungen zu studieren, ebenso wie die Bedingungen festzustellen, unter denen in Quellungsmitteln die von der Baumwolle her besonders bekannten perlschnurartigen Quellungsbilder entstehen.

Bei den Untersuchungen, welche sich vor allem auf die isolierten Bastfaserzellen erstreckten, wurde besonderer Wert darauf gelegt, die Mazeration der nativen Faser so zu gestalten, daß der chemische Charakter der einzelnen Lamellen so unverändert als möglich erhalten bleibt. Eine Mazeration mit dem bekannten S c h u l t z e s c h e n Mazerationsgemisch kommt daher für die vorliegenden Untersuchungen nicht in Frage.

Seit den Arbeiten von C r a m e r¹ kennen wir eine seinerzeit als für Baumwolle allein charakteristisch angesehene Reaktion, die in Kupferoxydammoniak eigenartigen Quellungserscheinungen, welche sich als perlschnurartige Gebilde darstellen. Später hat W i e s n e r² die Deutung für dieses Phänomen gegeben und gezeigt, daß die nur schwer quellbare Cuticula der Baumwollfaser durch die leicht quellbare Zellwand zerrissen und dann von der quellenden Zellwand zu manschettenähnlichen Gebilden zusammengeschoben wird. Dadurch kommen die tonnenförmigen Quellungen zustande. Diese Auffassung besteht auch

heute noch zu Recht, obwohl spätere Bearbeiter dieser Materie die tonnenförmigen Anschwellungen auf ein neues Strukturelement, sogenannte « Querlamellen », zurückführen wollten³. Die Nichtexistenz solcher Querelemente, welche sowohl bei der Baumwolle als auch bei Bastfasern vorhanden sein sollten, wurde vom Verfasser einwandfrei, auch mit Hilfe von Modellversuchen, bewiesen⁴. Damit war die Angelegenheit der Querelemente endgültig erledigt.

C r a m e r hat seinerzeit an Bastfasern (loc. cit.) diese eigenartigen Quellungserscheinungen in dem von ihm eingeführten Kupferoxydammoniak nicht beobachtet⁵, vermutlich, weil er Fasern unter der Hand hatte, welche schon gewissen chemischen Reinigungsoperationen unterworfen waren. Ich selbst konnte aber seinerzeit⁶ an rohem Hanfmaterial den Baumwollfaserquellungen in Kupferoxydammoniak überraschend ähnliche Erscheinungen feststellen. Auch A. H e r z o g erwähnt eine solche Beobachtung an Hanffasern in seinem Werk über die Untersuchung von Flachs und Hanf, Seite 39. Inzwischen scheint aber dieses Verhalten von Bastfasern nicht weiter verfolgt worden zu sein, wenigstens findet man in der einschlägigen Literatur keine weiteren diesbezüglichen Mitteilungen⁷. Ich selbst habe aber in einer Arbeit, welche die Erkennung von contonisiertem Hanf in Fasergemischen, insbesondere mit Baumwolle zum Zwecke hatte, auf die Erscheinung hingewiesen, daß unter schonenden Bedingungen isolierte Bastfaserzellen die perlschnurartigen Quellungen analog der Baumwolle ebenfalls zeigen können⁸. Auch H e ß hat an Ramiefasern mit CuOXam perlschnurartige Quellung festgestellt^{8a}.

Zu der Frage, wie diese Quellungsformen zustande kommen, haben sich in neueren Arbeiten noch verschiedene Forscher geäußert. Zunächst ist da eine Arbeit von S c h l o t m a n n⁹, welche sich unter anderem mit der Existenz der obenerwähnten « Querelemente » befaßt und mit dem Verfasser zum Schlusse kommt, daß die alte W i e s n e r s c h e Erklärung für die Kugelquellung von Samenhaaren und Bastfasern in Quellungsmitteln auch heute noch zu Recht besteht. G r i f f i o e n¹⁰ kommt zu folgendem Schluß:

1. Natronlauge verursacht immer regelmäßige, kugelfreie Quellung.
2. Salze quellen ebenfalls regelmäßig.
3. Schwefelsäure und Kupferoxydammoniak geben Kugelquellung bei Monocotyledonen, Gynnospermen sowie bei dikotylen Holzfasern, während bei dikotylen Bastfasern regelmäßige Quellung erfolgt.
4. Es ist möglich, daß Längshäute existieren, aber nur als Schichtgrenze, nicht als Lamellengrenze; es ist fraglich, ob die Fibrillen von besonderen Häuten umgeben sind.

Nun sei bezüglich der Arbeit von G r i f f i o e n betont, daß er sein Untersuchungsmaterial einer recht weitgehenden Vorbehandlung unter-

worfen hat, welche zweifellos das Lamellensystem der Bastfasern nicht intakt gelassen haben wird, was besonders von der Behandlung mit Chlor und Natriumsulfit gilt. Er scheint außerdem übersehen zu haben, daß auch bei dikotylen Bastfasern, besonders denen der Hanfpflanzen, tonnenförmige Quellungsfasern schon beobachtet worden waren.

Die Ursache dieser eigenartigen Quellungserscheinungen liegt darin, daß in unserem Fall die Faser aus zwei Schichten besteht, von denen die eine dem Quellungsmittel gegenüber unverändert bleibt, während die zweite eine bedeutende Volumenvergrößerung erleidet, welche sodann zur Sprengung der nicht quellbaren Lamelle führt. Im Falle der Baumwolle beispielsweise ist es die mit verhältnismäßig großen Mengen Nichtzellulosen oder, wie sie Heß bezeichnet, «begleitenden Kohlehydraten» inkrustierte Cuticula, welche der Quellung Widerstand leistet, während die mächtige, aus Zellulose bestehende Zellwand der Quellung und später der völligen Lösung anheimfällt.

Ich habe diese Verhältnisse nun an einer Anzahl von Bastfasern verfolgt, deshalb, weil eine orientierende Untersuchung in der gekennzeichneten Richtung ergeben hatte, daß nicht alle der als Textilfasern gebräuchlichen oder wenigstens empfohlenen das gleiche Verhalten Quellungsmitteln gegenüber zeigten.

Ich hatte die Absicht, festzustellen, welche der verschiedenen Elemente des Hautsystems der Bastfaser für dieses Phänomen vorzugsweise verantwortlich seien. Wir unterscheiden bekanntermaßen an den technischen Bastfasern, also dem intakten Bastzellenbündel, drei Hautsysteme: Zunächst die eigentliche Zellwand der Bastzelle, die mächtig ausgebildete Sekundärlamelle, welche das Lumen der Zelle unmittelbar umschließt, dann die der Cuticula der Baumwollfaser entsprechende Primärlamelle als unmittelbar auf der Zellwand aufgelagert, der Zellwand selbst angehörend, zuletzt noch die Mittellamelle, gewissermaßen der verbindende Kitt der einzelnen Bastfaserzellen, welche das Verbindungselement der benachbarten Bastzellen darstellt. Die chemische Zusammensetzung dieser verschiedenen Häute ist verschieden, ebenso im allgemeinen ihre Quellungsfähigkeit in Quellungsmitteln, wobei aber die Art des Quellungsmittels eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Anschließend daran möge noch auf die auch für die Diagnose wichtigen Inhaltsmasse der Bastfaserzellen aufmerksam gemacht werden, die ich nicht ohne weiteres den die Bastfaser aufbauenden Lamellen zuzählen möchte. Es kann zwar sein, daß dieselbe gewissermaßen als Auskleidung der Sekundärlamelle zu fungieren hat, also vielleicht einen homogenen Überzug der Innenwand der Bastfaserzelle darstellt, es kann aber ebensogut sein, daß es sich hierbei nur um die protoplasmatischen Inhaltsmassen der seinerzeit lebenden Zelle handelt, die nun in den sogenannten nativen Bastfasern im Lumen der einzelnen Zellen zurückgeblieben sind. Daß das letztere wahrscheinlicher ist als das erstere,

geht daraus hervor, daß sich dieser Zellinhalt beispielsweise in essigsaurem Saffranin sehr intensiv rot färbt, auch gegenüber andern Färbungen ein recht positives Verhalten zeigt. Ein Ablösen einer Innenhaut bei Quellungsprozessen habe ich bei Bastzellen niemals beobachten können. In den meisten Fällen, wie beispielsweise beim Flachs und bei den Ramiefasern, findet man bei der Quellung die Inhaltsmasse als wurmförmige, mehr oder weniger zusammenhängende Gebilde mit scheinbar rundem Querschnitt.

Es besteht nun kein Zweifel, daß die Grundsubstanz aller der oben gekennzeichneten Lamellen Zellulose ist und daß das verschiedene chemische Verhalten derselben, ebenso ihr unterschiedliches Verhalten gegen färbende Mittel, auf bis heute nur ungenügend bekannten chemischen Individuen beruht, welche je nach der Art der Faser als Pektin, Wachse, Fettstoffe, beide letzteren vorzüglich in der Cuticula der Baumwollfaser, aber auch mehr oder weniger kräftig in der Flachs- und Hanf-Bastfaser vertreten, bezeichnet werden. Diese Substanzen alle sind zweifellos in größerem oder geringerem Anteil mit dem eigentlichen Zellulosegerüst in adsorptiver Verbindung¹¹. Ein größerer oder kleinerer Anteil dieser Substanzen wird sicherlich das Verhalten in Quellungsmitteln beeinflussen, denn wir wissen von früher her, daß die Einlagerung der verschiedensten Körper in reinen Zellulosemembranen, wie beispielsweise in gebleichte Baumwollfaser, die Reaktion der reinen Zellulose weitgehendst zu beeinflussen vermögen¹².

Um eine Differenzierung dieser verschiedenen Schichten zu ermöglichen und um festzustellen, welche dieser Schichten vorzugsweise an der charakteristischen Quellung beteiligt sind, können sich zumindest Färbungen als zweckmäßig erweisen. Wir kennen nun eine Anzahl derselben, welche sich als spezifisch für gewisse Lamellen erwiesen haben. Es sind dies:

1. Rutheniumrot, welches beispielsweise die Cuticula der Baumwolle färbt; ebenso färbt dieses Färbemittel die Mittellamelle von Bastfasern, ebenso die Inhaltsstoffe von Flachs und Hanf.
2. Eine Serie von organischen Farbstoffen, teils basischen Charakters, teils sauren Charakters, findet sich in der Literatur vielfach erwähnt, doch ist hier eine eingehende Untersuchung noch ungenügend erfolgt.
3. Die verschiedenen Jod-Reaktionen.
4. Die Blaufärbung, welche erfolgt, wenn Fasern, speziell Jute, in ein Gemisch von $\frac{1}{10}$ n.FCl₃ + $\frac{1}{10}$ n.K₃FeCy₆ eingelegt werden¹³. Diese Reaktion, welche von Cross und Bevan als für die sogenannten Ligno-Zellulosen charakteristisch angegeben wird, konnte aber vom Verfasser auch für bestimmte Baumwollarten festgestellt werden (loc. cit.). Eine Anwendung dieser Reaktion auf andern Bastfasern wurde leider nicht vorgenommen.

5. Die Ausnützung der Affinität vieler der die Faser begleitenden Kohlehydrate zu Metallsalzen, vorzugsweise Zinn, Gold und Silber ¹⁴.
6. Färbungen auf Grund von Naphtholen und Entwicklung in Diazosalzen.

Gewisse Aufschlüsse sind aber zu erwarten bei Anwendung von Quellungsmitteln auf die nach obigen gekennzeichneten Färbeverfahren behandelten Fasern. Die Art der Quellungsmittel muß natürlich der jeweiligen Färbung angepaßt werden. In gewissen Fällen ist die Verwendung des von mir seinerzeit empfohlenen Äthylendiamin-Kupfers ¹⁵ angezeigt. In andern Fällen wird sich eine Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,535 vorzüglich verwenden lassen ¹⁶, wieder in andern Fällen leistet Natronlauge von 38° Bé gute Dienste; wesentlich ist, daß die Quellungsmittel die jeweilige Färbung des Fasermaterials intakt lassen. So eignet sich beispielsweise Äthylendiamin-Kupfer nicht für die Quellung in Ferrichlorid-Ferricyankalium erhaltene Färbung, wohl aber die Schwefelsäure obengekennzeichneter Konzentration. Für Rutheniumrot-Färbung wieder kann nur das Äthylendiamin-Kupfer für die Quellung verwendet werden, da die Schwefelsäure die Färbung zerstört.

Zinkchloridlösung, welche als Quellungsmittel empfohlen wird, eignet sich für den vorliegenden Zweck gar nicht.

Da nun, wie schon längst festgestellt wurde, die charakteristischen Quellungsbilder abhängig sind vom Gehalt der jeweiligen Lamellen an begleitenden Kohlehydraten, so wird man an Fasermaterial, das schon eine gewisse chemische Aufbearbeitung durchgemacht hat, die typische Reaktion unter Umständen vermissen. Bei der Untersuchung ist daher der Vorgeschichte des Untersuchungsmaterials die größte Aufmerksamkeit zu schenken.

Was die Anwendung von Rutheniumrot bei der Untersuchung von Bastfasermaterial anbelangt, so hat hier Herzog ¹⁷, wenigstens für Flachs und Hanf, eingehende Versuche angestellt. Er hat das Rutheniumrot gleichzeitig mit Kupferoxydammoniak auf die Faser einwirken lassen und auf diesem Wege eine sehr scharfe Differenzierung der protoplasmatischen Inhaltsmassen und damit auch gute Unterscheidungen von Flachs und Hanf erzielt.

Eine ähnliche Methode habe ich seinerzeit bei der Untersuchung des Aufbaus der Baumwollfaser verwendet durch Zusatz von Saffranin zu einer Lösung von Äthylendiamin-Kupfer ¹⁸.

Ich habe Wert darauf gelegt, die Untersuchungen an Material mit gleicher Vorgeschichte vorzunehmen, da ja bekannt ist, daß chemische Eingriffe einschneidende Veränderungen, besonders im Verhalten Quellungsmitteln gegenüber, verursachen können. So habe ich denn überall Fasermaterial verwendet, das lediglich eine Röste durchgemacht hatte.

Um die Möglichkeit zu schaffen, einzelne Bastfaserzellen daraus ohne Schädigung des Lamellensystems isolieren zu können, wurde das Rohmaterial in eine warme Lösung von einprozentigem Natriumbikarbonat eingelegt und einige Stunden darin belassen, dann gut ausgewaschen und so der weiteren Untersuchung zugeführt. In diesem Zustand lassen sich die technischen Fasern leicht auseinanderzupfen, und es finden sich in solchen Präparaten immer mehr oder weniger isolierte Bastfaserzellen.

Mit Rutheniumrot liegen die Verhältnisse klar. Dies hat, wie schon betont, A. Herzog genau studiert¹⁹, wobei er unter gleichzeitiger Anwendung von Quellungsmitteln eine vorzügliche Differenzierung der einzelnen Schichten, besonders der Mittellamelle und der Inhaltsstoffe, erzielte. Was die organischen Farbstoffe anbelangt, so sind hier die Wirkungen derselben hinsichtlich differenzierter Färbung der einzelnen Lamellen noch ungenügend studiert. Behrens²⁰ wollte mit Malachitgrün in Kombination mit Benzopurpurin 10 B eine gute Differenzierung der verschiedenen Lamellen erhalten; A. Herzog betont aber, daß Chlorzink-Jod in einfacher Weise dasselbe leistet, da von diesem Reagenz die reine Zellulosemembran violett, die Mittellamelle und Sekundärlamelle gelbbraun gefärbt werden. Chlorzinkjod hat aber den Nachteil, daß es sich mit den üblichen Quellungsmitteln nicht gut verwenden läßt. Immerhin ist eine Differenzierung nach meinen Erfahrungen auch mit Chlorzinkjod zu erzielen, wenn die mit diesem Reagenz behandelte Faser mit Filtrierpapier vom Überschuß befreit wird und man dann Schwefelsäure von 1,535 spezifischem Gewicht zufließen läßt. Die Inhaltsmassen der Bastfasern behalten unter diesen Bedingungen ihre gelbbraune Farbe, während merkwürdigerweise vorzugsweise die Mittellamelle, aber auch die Sekundärlamelle eine intensive indigoblaue Färbung annimmt. Die Sekundärlamelle selbst färbt sich klar blau an.

Nach meinen Erfahrungen eignen sich beispielsweise Jodgrün, Methylgrün, Neutralviolett kaum zur Differenzierung der verschiedenen Lamellen, wogegen Magdalarot als sehr brauchbarer Ersatz von Rutheniumrot gelten kann; es färbt die sekundäre Zellulosemembran gar nicht, wohl aber Mittellamelle und Primärlamelle intensiv blaurot. Erika A extra, ein substantiver Farbstoff von außerordentlich hoher Dispersität in wässriger Lösung, färbt eigenartigerweise vorzugsweise die Mittellamelle, nicht aber Primär- und Sekundärlamelle. Gentianaviolett wiederum färbt die Mittellamelle, dann die Primärlamelle sehr intensiv, nicht aber die Sekundärlamelle der Bastfaserzelle. Cyanin färbt sehr intensiv die Inhaltsmassen der Bastzellen, kaum aber die Primärlamelle, die Sekundärlamelle gar nicht. Die Mittellamelle wird ebenfalls kaum angefärbt. Der Farbstoff eignet sich offenbar vorzugsweise zur Färbung von proteinhaltigen Körpern, nicht aber zur Färbung von Pektinen. Mit Eosin erhält man nach meinen Erfahrungen nur ganz uncharakteristische Färbungen, ebensowenig wie mit Ponceau in saurer Lösung.

Hingegen gibt Saffranin mit Malachitgrün sehr gute Differenzierung der Mittellamelle und der Inhaltmassen der Bastzelle. Auch Nachtblau färbt Mittellamelle und Primärlamelle kräftig an, verändert aber bei der Untersuchung in Äthylendiamin-Kupfer den Farbton in Saffraninrot. Nach meinen Erfahrungen sind aber die substantiven Farbstoffe wenig geeignet zur differenzierten Färbung der verschiedenen Lamellen der Bastfasern.

Man kennt eine eigenartige Reaktion der Wolle, die seinerzeit J a q u e m i n ²¹ aufgefunden hat, nach welcher Wolle in einer mit Ammoniak entfärbten Fuchsinlösung eine intensive rote Färbung annimmt. Man erklärte das Zustandekommen dieser Reaktion mit dem amphoteren Charakter der Wolle und wollte aus diesem Verhalten auf chemische Bindung von Wollsubstanz mit der Farbbase schließen.

Ich habe nun die überraschende Beobachtung gemacht, daß native Bastfasern, und zwar alle von mir im Rahmen dieser Arbeit untersuchten, diese Reaktion ebenfalls, und zwar sehr intensiv, zeigen. Flachs, Hanf, Ramie, Yukka, Jute färben sich in der mit Ammoniak entfärbten Fuchsinlösung intensiv rot. Auch Fichtenholz zeigt diese Färbung. Daß es sich hier um eine Reaktion der Begleitstoffe der Bastfasern handelt, unterliegt keinem Zweifel und wird auch durch die mikroskopische Untersuchung der gequollenen gefärbten Bastfasern bestätigt. Die aus Zellulose bestehende Sekundärwand der Zelle zeigt sich bei der Quellung völlig ungefärbt, wogegen Primärlamelle, Mittellamelle und die Innenauskleidung der Bastzellen schwach differenziert beobachtbar sind. Nur die Jutefaser zeigt auch eine klar rosa gefärbte Sekundärwand; wir wissen aber, daß diese Faser in ihrem chemischen Aufbau von den andern Bastfasern stark abweicht. Bemerkenswert ist, daß auch native Baumwolle nur schwach, aber deutlich, ebenfalls eine Rosafärbung in ammoniakalischer Fuchsinlösung annimmt. Unter dem Mikroskop, bei der Quellung in Äthylendiamin-Kupfer, erkennt man deutlich die rosa gefärbte Cuticulamembran und die vollkommen farblos gebliebene Zellwand. Wir können aus dieser Färbung auf eine chemische Verwandtschaft von Cuticula der Baumwollfaser und den Lamellen der Bastfasern schließen, wenigstens soweit es die Begleitzkörper anbelangt.

Ergänzend möge noch mitgeteilt werden, daß wiederholte, abwechselnd in Chlorperoxyd und Natriumsulfit behandelte Bastfasern die Reaktion in ammoniakalischer Fuchsinlösung nicht mehr zeigen. Bemerkenswert ist ferner, daß sich die Bastfasern auch in Fuchsinlösung, welche mit Hydrosulfit entfärbt wurde, intensiv rot färben.

Was nun die verschiedenen *Jodreaktionen* anbelangt, so wurde weiter oben das Verhalten von Bastfasern in Chlorzink-Jod erwähnt. Aber noch viel charakteristischere Bilder erhält man bei Verwendung von Jod-Jodkali, dann Schwefelsäure von 1,535 spezifischem Gewicht.

Wenn man natives Bastfasermaterial zunächst in Jod-Jodkali einlegt, den Überschuß mit Filtrierpapier abpreßt und dann die gekennzeichnete Schwefelsäure zufließen läßt, so erhält man eine sehr schöne Differenzierung der verschiedenen Schichten der Bastfasern. Die Inhaltsstoffe bleiben gelbbraun gefärbt, die Mittellamelle wird sehr gut erkennbar an ihrer oliven Färbung, die Primärlamellen der Bastfaserzellen bleiben gelbbraun gefärbt und sind leicht an den Einschnürungen zwischen den tonnenförmigen Anschwellungen der aus der Schwefelsäure quellenden Bastfaserzellwände zu beobachten. Die Sekundärlamelle selbst quillt sehr stark auf und zeigt eine reine blaue Färbung.

Was nun die bekannte Reaktion der Jute anbelangt, welche von Cross und Bevan (loc. cit.) aufgefunden wurde, so scheint mir diese Reaktion nicht allein für die genannte Bastfaser Bedeutung zu haben. Es wurde schon oben darauf aufmerksam gemacht, daß auch gewisse Baumwollarten die blaue Färbung in einem Gemisch gleicher Volumina der normalen Lösungen von *Ferrichlorid* und *Ferricyankalium* geben. Ich habe nun diese Reaktion bei einer ganzen Reihe von Bastfasern versucht und dieselbe immer positiv gefunden, wenn es sich um natives Material gehandelt hat. Ja sogar gewöhnliche Texas-Baumwolle gibt die Reaktion in zwar wenig ausgeprägter Art, aber unter dem Mikroskop deutlich erkennbar. Flachs, Hanf, Ramie, Typha, Nesselfaser, Jukka geben die indigoblaue Färbung sehr deutlich. Hat man natives Material zur Anwendung gebracht, so ist die Färbung rein indigoblau, hat die Faser aber schon einige Reinigungsoperationen durchgemacht, dann nimmt sie im Reaktionsgemisch eine dunkelgrüne Farbe an. Weitgehend gereinigte und gebleichte Fasern färben sich im Reaktiv hellgrün an. Instrukтив werden die Bilder unter dem Mikroskop bei Anwendung von Quellungsmitteln; dabei kommt Äthylendiamin-Kupfer weniger in Betracht, da das blaue Pigment auf der Faser sehr alkaliempfindlich ist und sich in diesem Reagenz rasch und vollständig nach Gelbbraun verfärbt. Dagegen gibt Schwefelsäure von 1,535 spezifischem Gewicht sehr gute Resultate. Man erkennt dann deutlich die blau gefärbten Inhaltmassen der Bastzellen, die sich mit dunkelblauer Farbe abhebende Mittellamelle, die Sekundärlamelle und die meist hellblau gefärbte Primärlamelle der Bastfaserzelle. In vielen Fällen erkennt man an isolierten Bastzellen die Bildung tonnenförmiger Quellungen, welche oft umschlungen sind von einem Band der dunkelblaugefärbten Primärlamelle. An den Baumwollfasern können wir unter denselben Umständen die besonders im zusammengeschobenen Zustande deutlich blaugrün gefärbte Cuticula erkennen, während die eigentliche Zellwand völlig farblos erscheint.

Ich untersuchte weiter den Einfluß von *Mazerationsmitteln* auf die Bildung dieser blauen Färbung. Die verschiedenen Mazerationsmethoden, welche ich anwandte mit dem Zweck, die Isolierung der einzelnen

Bastfaserzellen zu bewirken, um das Verhalten derselben genauer studieren zu können, waren die folgenden :

1. einprozentige Kalilauge,
2. konzentriertes Ammoniak,
3. Wasserstoffsuperoxyd 30 %,
4. Natriumhypochlorit in einer zehnprozentigen Lösung,
5. 1 % Natriumpersulfat,
6. 1 % Natriumperborat,
7. 1 % Natriumperkarbonat,
8. 1 % Ammooxalat,
9. 1 % p-Toluolsulfochloramid-Natrium (Aktivin).

Von allen diesen Mazerationsmitteln, welche warm auf die negative Faser einwirkten, war merkwürdigerweise nur ein einziges, das die Ferri-Ferricyanid-Reaktion kräftig beeinflusste, die Behandlung mit p-Toluolsulfochloramid-Natrium, wobei aber das Reagenz in alkalischem Medium die Färbung nicht verhindert, während sie im sauren (H_2SO_4)-Medium vollkommen ausbleibt. Nach dieser Behandlung färbt sich die Faser im gekennzeichneten Reaktionsmittel kaum. Unter dem Mikroskop erkennt man bei Einwirkung von Schwefelsäure 1,535 spezifischen Gewichts, daß der einzige Sitz einer schwachen Färbung die Primärlamelle ist, die besonders an Stellen, wo sie die gequollene Zellwand umfaßt, unverkennbare grünblaue Färbung zeigt. Die Mittellamelle, soweit sie überhaupt noch vorhanden ist, ist kaum gefärbt. Das einzige Mazerationsmittel übrigens, das einen eigentlichen Zerfall in die Bastzellen bewirkt, ist das Natrium-Hypochlorit, doch auch hier färbt sich die zerfallene Faser im Ferri-Ferricyankalium hellgrün.

Ich habe nun noch eine Anzahl von Mazerationsversuchen angestellt, und zwar in folgender Weise :

10. Die native Faser wird in verdünnte Ferrichloridlösung gebracht, dadurch färbt sich die Faser gelbbraun. Nach gründlichem Auswaschen erwärmt man mit einer Lösung von p-Toluolsulfochloramid-Natrium. Da $\text{Fe}(\text{OH})_3$, das sich in der Mittellamelle vorzugsweise abgelagert hatte, als Katalysator auf das Oxydationsmittel wirkt, sollte die Wirkung der letzteren auf die Mittellamelle beschränkt und die Primärlamelle könnte dann möglicherweise intakt bleiben und mit Färbungen gesondert nachgewiesen werden. Die Reaktion mit Ferrichlorid-Ferricyankalium bleibt aber nach dieser Behandlung völlig aus, so daß wohl beide Lamellen zerstört worden sind.
11. Dasselbe Resultat erhält man, wenn statt Aktivin Natrium-Hypochlorit in verdünnter Lösung angewendet wird.

12. Anders die Wirkung von verdünnter Salpetersäure. Nach dieser Behandlung zeigt die Faser mit Ferrichlorid-Ferricyankalium eine ausgesprochene blaue Färbung. Unter dem Mikroskop in Äthylen-diamin-Kupfer gequollen, beobachtet man an vielen Fasern die tonnenförmigen Anschwellungen neben den Einschnürungen der Primärlamelle, welche also intakt geblieben ist und bei scharfer Beobachtung unverkennbar eine blaue Färbung zeigt. Man erkennt aber die Primärlamelle außerordentlich deutlich, wenn die in HNO_3 behandelte Faser fein zerzupft in Jod-Jodkali gelegt wird, dann mit Filtrierpapier abgepreßt eine Schwefelsäure von 1,535 spezifischem Gewicht zufließen gelassen wird. Die Sekundärlamelle quillt sehr stark an, wobei die Primärlamelle als dunkle Ringe die gequollene Bastzellwand umschlingt. Auch mit Rutheniumrot ist die Primärlamelle sehr deutlich differenzierbar.
13. Bromlösung unterdrückt die Ferrichlorid-Ferricyankalium-Reaktion vollständig, was auf Zerstörung sowohl der Mittellamelle als auch der Primärlamelle schließen läßt. Dasselbe Resultat erhält man mit einer Faser, welche erst in
14. Ferrichlorid, dann mit Bromwasser behandelt wurde, während Fasern, welche in
15. Natrium-Hypobromit behandelt waren, vollständig zerfallen. Eine ganz vorzügliche Differenzierung erhält man bei
16. Behandlung der nativen Faser in 2 Teilen Alkohol plus 1 Teil konzentrierter Salzsäure. Nach 24 Stunden Behandlung wäscht man aus und legt in Ferrichlorid-Ferricyankalium-Lösung ein. Die Faser färbt sich nicht so intensiv blau wie die native Faser, aber in Schwefelsäure von 1,535 spezifischem Gewicht erkennt man die vorzügliche Differenzierung des Lamellensystems der Faser. Ebenso deutlich ist die Kennzeichnung besonders der Primärlamelle in Behandlung der nach obengekennzeichneter Methode mazerierten nativen Faser in Zinnchlorür, dann Goldchlorid. Die Primärlamelle färbt sich in K a s s i u s s chem Goldpurpur und ist deutlich erkennbar beim Quellen in Schwefelsäure von 1,535 spezifischem Gewicht.
17. Behandlung der Faser in Kaliumpermanganat, dann in verdünnter Natriumhypochloritlösung, gibt nach Entfernung der Mangano-Manganite mit Bisulfit eine Faser, die weitgehend in die Bastfasern zerfallen und bei der die Mittellamelle sowohl wie die Primärlamelle der Zerstörung anheimgefallen sind.
18. E r i c h S c h m i d t hat seinerzeit eine Methode angegeben zur Entfernung der Ligninsubstanzen aus Hölzern²², in welcher er Chlorperoxyd empfiehlt mit nachträglicher Behandlung in Natriumsulfitlösung. Er legt das Material in eine verdünnte Lösung von Chlorperoxyd während zweimal 24 Stunden ein, wäscht gut aus und behandelt dann die Masse in einer Lösung von Natriumsulfit.

So werden alle Ligninsubstanzen herausgelöst, und nur die begleitenden Kohlehydrate bleiben zurück. Man kann die Methode noch intensivieren durch Verwendung einer Lösung von Chlorperoxyd in Eisessig. Man verdünnt dieses Reaktiv mit Wasser und verwendet es in obiger Weise mit derselben Nachbehandlung. Ich habe nun diese Methode auch auf natives Bastfasermaterial übertragen, obwohl ja nur ein kleiner Teil der bekannten Bastfasern Ligninsubstanzen enthält; nach meinen Feststellungen mit Phloroglucin-

- Salzsäure nur die native Jutefaser.

Das Resultat, welches ich mit dieser Methode mit Bastfasern erzielt habe, war sehr bemerkenswert. Die nach der Behandlung gut ausgewaschene Faser färbt sich im Ferrichlorid-Ferricyankalium-Gemisch kaum blau. Wenn man aber die Faser in Schwefelsäure quellend untersucht, stellt man zunächst fest, daß durchwegs die perlschnurartige Quellung erfolgt ist, was schon allein auf die Unversehrtheit der Primärlamelle schließen läßt. Außerdem erkennt man aus der isolierten und zum Teil zusammengeschobenen Primärlamelle deutlich eine grünblaue Färbung, so daß die diese Färbung bewirkenden Substanzen in der Primärlamelle erhalten geblieben sind. Ebenso verhalten sich Fasern, die in Rutheniumrot und in Zinnchlorür-Gold gefärbt wurden. Von der Mittellamelle ist kaum mehr eine Spur zu sehen.

Bemerkenswert ist, daß nach dieser Chlorperoxydbehandlung, beispielsweise beim Hanf, der nach den obengekennzeichneten Mazerationsmitteln noch da und dort eine Faser zeigt, welche in Äthylendiaminkupfer die perlschnurartige Quellungsform zeigt, die isolierten Fasern restlos dieser geschilderten Quellung anheimfallen. Es muß also aus der Primärlamelle eine Substanz entfernt werden, welche in mehr oder weniger hohem Maße die Quellungsfähigkeit der Bastzelle beeinflußt²³.

Sehr charakteristische Bilder erhält man mit der so vorbehandelten Hanffaser nach Färbung in Cibanaphthol RA und Entwicklung in Echtschwarzsatz B. Bei der Quellung in Schwefelsäure findet man die Bastzellwand blaß blau quellend, aber davon schwach abgegrenzt die Primärlamelle, die sich intensiver gefärbt zeigt als die eigentliche Zellwand. Noch charakteristischer und schärfer differenziert werden die Bilder, wenn an Stelle von Schwefelsäure als Quellungsmittel Äthylendiaminkupfer angewendet wird.

Man erzielt eine noch bessere Differenzierung der verschiedenen Lamellen, wenn eine schon in dem Ferrichlorid-Ferricyankalium-Gemisch indigoblau gefärbte Faser mit Ammoniakflüssigkeit erhitzt wird. Die blaue Färbung macht dann einer gelben Platz, herrührend vom gebildeten Ferrihydroxyd, das selbstverständlich überall dort abgelagert ist, wo sich vorher das Turnbellsblau befand. Wäscht man nun gut aus und färbt in der Wärme in einer Lösung von Alizarin SW (Alizarin-monosulfosaurem Natron), so färbt sich die Mittellamelle rotviolett, die Pri-

märlamelle im Gegensatz dazu nur blaß rosa. Inhaltmassen färben sich ebenfalls dunkelviolett in der Farbe des Eisen-Alizarin-Lackes.

Eine Färbung, welche sich streng nur auf die Mittellamelle beschränkt, erhält man, wenn die native Faser in eine Lösung von 1 % Natriumbichromat gebracht und dann gut ausgewaschen wird. Behandelt man sodann eine solche Faser in der Wärme in einer Lösung von Alizarinrot SW, so erfolgt eine violettrote Färbung der Faser. Untersucht man dieselbe in Äthylendiamin-Kupfer, so erkennt man, daß es ausschließlich die Mittellamelle ist, welche sich gefärbt hat. An Stellen, welche die perlschnurartigen Quellungen zeigen, kann man feststellen, daß die Primärlamelle, welche sich um die Quellungen gewunden hat, vollkommen ungefärbt geblieben ist. Chrom scheint also lediglich von der Substanz der Mittellamelle aufgenommen zu werden, woraus man den Schluß ziehen darf, daß der chemische Aufbau von Mittellamellen-substanz und derjenigen der Primärlamelle verschieden sein muß.

Eine weitere Methode der Differenzierung der verschiedenen Schichten der Bastfasern besteht in der Ausnützung, die Eigenschaft gewisser Begleitkörper, Metalloxyde aus Metallsalzlösungen zu fixieren. Auf dieser Eigenschaft beruhte die Bildung vom K a s s i u s schen Goldpurpur nach Behandlung der Faser zuerst in Zinnchlorürlösung, dann nach gründlichem Auswaschen in Goldchloridlösung ²⁴.

Nach meinen Feststellungen eignet sich aber für diese Zwecke statt dem Goldchlorid sehr gut eine Lösung von Alizarin SW. Kocht man die in Zinnsalz behandelte Faser in einer Lösung dieses Farbstoffes, so färbt sich ausschließlich die Mittellamelle intensiv scharlachrot. Ähnliche Färbungen mit diesem Farbstoff erhält man, wenn man statt Zinnsalze Salze des Ceriums und des Erbiums anwendet; letzteres Metall gibt besonders intensive Färbungen. Merkwürdigerweise geben Silbernitratlösungen und Lösungen von Goldchlorid wenig befriedigende Resultate. Legt man die Faser in diese Lösungen ein und behandelt man dieselben dann nach gutem Auswaschen mit Phenylhydrazinchlorhydrat-Lösung, so beobachtet man eine sehr schwache Färbung, so daß offenbar Gold und Silber kaum aufgenommen worden sind.

Wenn Bastfasern in eine verdünnte Lösung von Kaliumpermanganat eingelegt werden, so färbt sich die Faser nach einiger Zeit braun. Untersucht man nun in Quellungsmitteln, vorzugsweise Äthylendiamin-Kupfer, so stellt man fest, daß das Mangano-Manganit ausschließlich in der Substanz der Mittellamelle eingelagert worden ist und dieselbe intensiv braun gefärbt hat. Die eigentliche Zellwand, selbst der Bastzelle, ist vollkommen ungefärbt geblieben.

Verwendet man verdünnte Eisenchloridlösung, in welche man die Bastfaserbüschel eingelegt, und erwärmt sie darin zum Kochen, so färbt sich die Flüssigkeit braun, und auch die Faser nimmt eine solche Färbung an.

Wäscht man nun gut aus und legt die gelbbraun gefärbte Faser in eine mit H_2SO_4 angesäuerte Ferrocyankaliumlösung ein, so färbt sich die Faser blau. Unter dem Mikroskop in Schwefelsäure von 1,535 spezifischem Gewicht als Quellungsmittel beobachtet, erkennt man eine sehr schöne Differenzierung von Mittellamellensubstanz und der primären Lamelle, welche letztere die einzelnen Bastzellen als feine blaue Linie begrenzt.

Eine weitere Möglichkeit von differenzierenden Färbungen besteht in der Verwendung von Naphtholen, und zwar derjenigen, welche sich von der B-Oxy-Naphthoesäure ableiten, weil sie mehr oder weniger substantiven Charakter haben. Ich habe zu dem Zweck das Naphthol-AS-SW, identisch mit dem Cibanaphthol RA, dem B-naphthalid der 2—3-Oxy-naphthoesäure verwendet. Löst man von diesem Naphthol in verdünnter NaOH $\frac{1}{10}$ n. in der Wärme auf, beläßt in dieser Lösung Bastfasern einige Zeit, wäscht dann gut aus und entwickelt in einer verdünnten Lösung von Echtblau B-Salz oder Echtschwarzsatz B, so erhält man dunkelblaue Färbungen, welche unter dem Mikroskop bei Zuhilfenahme von Schwefelsäure 1,353 spezifischen Gewichts außerordentlich charakteristische Bilder geben. Vor allem fällt die intensive blaugefärbte Sekundärlamelle auf, leicht erkenntlich an der spiraligen Umschlingung der gequollenen, aber nur sehr blaß gefärbten Primärlamelle, der Zellwand der Bastfaserzelle. Das Bild ist ein außerordentlich charakteristisches.

Eine ganz eigenartige Färbung erhält man mit Echtschwarzsatz G (p-amino-Diphenylamin-p-Toluol) in alkalischer Lösung. Behandelt man native Baumwollfaser in dieser Lösung, so färbt sich dieselbe braun. Untersucht man die Faser in Äthylendiamin-Kupfer, so findet man, daß die braune Färbung ihren Sitz in der Cuticula und in den Inhaltsmassen der Zelle hat. Ebensolche braune Färbung erhält man in gleicher Weise bei sämtlichen nativen Bastfasern, und zwar ist diese Färbung bei Jute am intensivsten, aber auch beim Flachs sehr deutlich. Beim Hanf werden Innenhaut, Mittellamelle, dann die Primärlamelle intensiv gefärbt und vorzüglich bei Anwendung von Quellungsmitteln differenzierbar. Bei Flachs ist besonders die Innenhaut kräftig gefärbt, ebenso die Mittellamelle, wogegen wiederum die Primärlamelle unauffindbar bleibt. Die übrigen nativen Bastfasern verhalten sich wie Hanf und Jute. Die bisherigen Untersuchungen wurden orientierungshalber zunächst nur an nativer Hanffaser ausgeführt. Nachdem sich als Mazerationsflüssigkeiten als besonders geeignet vorzugsweise verdünnte Salpetersäure und alkoholische Salzsäure sowie Chlorperoxyd erwiesen haben, wurden diese drei Mittel auch auf die folgenden Bastfasern angewandt: 1. Flachs, 2. Ramie, 3. Yukka, 4. Jute.

Während man beim Hanf nach dem gekennzeichneten Mazerationsverfahren stets Bastzellen beobachten kann, welche die rosenkranz-

förmigen Quellungsfasern zeigen, fehlen dieselben bei der *Flachsfaser* auch nach Anwendung der verschiedensten Mazerationsverfahren, auch nach Behandlung in Chlorperoxyd, dann Natriumsulfit, vollständig; man wird immer gleichförmige Quellung beobachten. Alle angewendeten Färbeverfahren, Ferri-Ferricyankalium, Zinn-Gold, dann Rutheniumrot, auch Saffranin, lassen bei der Quellung auch nicht eine Spur der Primärlamelle erkennen. Dagegen sind durch diese Färbungen, besonders mit Saffranin, die Inhaltsmassen der Bastzelle in aller Schärfe zu sehen. Auch Relikte der Mittellamelle wird man finden. Es darf daher nach diesen Befunden die Existenz einer Primärlamelle beim Flachs, wie wir sie beim Hanf nach bestimmten Vorbehandlungen der nativen Faser und entsprechenden Färbungen eindeutig nachweisen können, bezweifelt werden. Möglich ist, daß eine gesonderte Lamelle als Begrenzung der Sekundärlamelle vorhanden ist, doch muß dann deren chemische Zusammensetzung anders geartet sein als die der andern Bastfasern. Möglicherweise, daß diese Membran frei von jenen begleitenden Kohlehydraten ist, welche bei den andern Bastfasern die von der Sekundärmembran verschiedene Quellungsfähigkeit bestimmen.

Tatsache ist, daß auch andere Forscher, unter andern A. Herzog²⁵, betonen, wie schwierig die Deutung der Quellungsbilder beim Flachs ist, wobei er noch besonders darauf hinweist, daß sogar die Mittellamelle in der Regel nicht mit Sicherheit als solche nachgewiesen werden kann. Mit der Ferri-Ferricyankalium-Reaktion und der Zinn-Gold-Reaktion ist es mir aber immer gelungen, an nativen Fasern die Mittellamelle nachzuweisen, nie aber die Primärlamelle. Auch die wurmförmigen Inhaltsmassen waren mit aller Schärfe zu erkennen.

Die in Chlordioxydlösung behandelte *Ramiefaser* verhält sich völlig anders. Eine blaue Färbung im Ferrichlorid-Ferricyankalium-Gemisch tritt kaum ein, auch unter dem Mikroskop ist keine Färbung festzustellen. Quellung in Schwefelsäure 1,535 spezifischen Gewichts führt zu keinen kugelförmigen Quellungsformen. Dagegen ist eigentümlicherweise die Zinnchlorür-Gold-Reaktion stark positiv, und es sind bei der Quellung scheinbar Mittellamellen-Relikte zurückgeblieben, welche wohl keinerlei Ferri-Ferricyanid aufgenommen haben, wohl aber Zinn. Auch die vorherige Behandlung mit Cibaphthol RA, dann Entwickeln mit Echtschwarzbase B führt zu einer intensiv blauen Färbung, welche aber bei der Quellung keinerlei charakterische Differenzierungen zeigt. Bei der *Yukkafaser* finden wir wieder andere Verhältnisse: Die Faser, welche mit verdünnter Salpetersäure behandelt war, färbt sich im Ferrichlorid-Ferricyankalium-Gemisch sehr intensiv blau. Auch nach Behandlung in Stannochlorid, dann mit Goldchlorid, zeigt sich eine intensive Rotbraunfärbung. Auch Rutheniumrot färbt kräftig. Mit Quellungsmitteln beginnen sich die einzelnen Bastfaserzellen vom Bündel loszulösen, und man beobachtet überall die Bildung von Kugelquellungen, wobei die Primär-

lamelle sehr deutlich erkennbar ist. Nach Behandlung in Alkohol-Salzsäure stellt man mit Quellungsmitteln deutliche Einschnürungen fest, wie sie oben geschildert wurden; auffallend ist der außerordentlich starke Querzerfall der einzelnen Bastzellen in Schwefelsäure, doch ist als Übergang dazu das Zwischenstadium der Kugelquellung unverkennbar. Die Primärlamelle ist durch die blaue Färbung der Bastzellenoberfläche sowie besonders die manschettenartigen Einschnürungen deutlich kenntlich.

Die Yukkafaser in Chlordioxydlösung behandelt, färbt sich in Ferri-Ferricyankalium nur schwach an. Bei der Quellung mit Schwefelsäure tritt an sämtlichen isolierten Bastzellen die perlschnurartige Quellung ein, welche zum raschen Zerfall der Faser in sehr verschieden lange Bruchstücke führt; zurück bleiben nur die Ringe der zusammengeschobenen Primärmembran, welche deutlich blau gefärbt sind. Diese Membran hat die Chlordioxydbehandlung ausgehalten, während mit dieser Färbung von der Mittellamelle nichts mehr nachzuweisen ist. In Zinnchlorür-Gold färbt sich die Yukkafaser nach Chlordioxydbehandlung sehr intensiv, und zwar ausschließlich die Primärlamelle.

Was die *Jutefaser* anbelangt, so wurde auch diese in Chlorperoxyd behandelt, zweimal 24 Stunden, dann gewaschen und zunächst in Ferri-Ferricyankalium behandelt. Die Faser färbt sich grün, nicht blau wie ohne die Vorbehandlung, und mit Schwefelsäure gequollen erkennt man die blaugefärbte, unangegriffene Primärlamelle, welche auch noch intakt bleibt, nachdem die Sekundärlamelle, die eigentliche Bastfaserzellwand, schon völlig zerfallen ist. Während bei der Schwefelsäurequellung keinerlei perlschnurartige Gebilde beobachtet werden können, treten dieselben bei Färbung in Rutheniumrot und Quellung in Äthylendiamin-Kupfer in großer Menge auf; wobei die rote Primärmembran deutlich erkennbar ist. Hier wirkt also Schwefelsäure und Äthylendiamin-Kupfer völlig verschieden, was unzweifelhaft auf eine Veränderung der Zusammensetzung der Primärmembran hinsichtlich ihrer Quellungsfähigkeit nach Behandlung in Chlordioxyd zurückzuführen ist. Wir haben also hier ein Analogon mit dem Verhalten der stark cutinisierten Membran der Flugapparate der Pappel- und Weiden-Samenhaare vor uns ²⁶.

Die Behandlung der mit Chlordioxyd behandelten Jutefaser mit Zinnsalz-Gold führt zu recht intensiver Färbung der Faser, welche in Äthylendiamin-Kupfer genau das oben geschilderte Verhalten zeigt und eine scharfe Differenzierung der Primärlamelle.

Vergleicht man parallel damit das Verhalten der nativen Jutefaser in Äthylendiamin-Kupfer, so wird man zwar auch hier sehr lebhaft Bewegungen der quellenden Faser beobachten, aber nirgends eine mit tonnenförmigen Quellungsformen finden. Erst durch die Behandlung der nativen Faser in wässriger Chlorperoxydlösung werden die Bedingungen für die Perlschnur-Quellungsformen geschaffen.

Sehr eigenartige Beobachtungen macht man an der *Flachsfaser*. Es wurde schon oben betont, daß diese Faser bei der Behandlung mit Quellungsmitteln jede rhythmische Quellungsform vermissen läßt, daß die Faser vielmehr vollkommen gleichmäßig sowohl in Schwefelsäure als auch in Äthylendiamin-Kupfer quillt. Fasern, welche in Alkohol-Salzsäure, solche, welche in verdünnter Salpetersäure, und solche, die in Chlorperoxyd in wässriger Lösung behandelt waren, zeigen zunächst kaum eine Färbung nach Behandlung in Ferri-Ferricyankalium. Unter dem Mikroskop bei Quellung in Schwefelsäure findet man nur sporadisch Inhaltmassen der Bastzelle blau oder blaßgrün gefärbt, aber keine Spur von einer gefärbten Primärmembran, von der Mittellamelle ganz zu schweigen.

In Rutheniumrot färbt sich zwar die, wie oben angedeutet, vorbehandelte Faser sehr schwach, unter dem Mikroskop in Äthylendiamin-Kupfer ist von einer Primärlamelle, welche eigentlich der Träger der Färbung sein sollte, keine Spur zu sehen, ja Zellinhaltsmassen selbst bleiben völlig ungefärbt. In Zinnchlorür-Gold färbt sich die vorbehandelte Faser makroskopisch erkennbar deutlich. Unter dem Mikroskop in Schwefelsäure aber erkennt man mit aller Deutlichkeit die rotbraun gefärbte Begrenzungszone der Zellwand, welche zum Teil sogar als kontinuierliche Schicht erkennbar ist, was so gedeutet werden muß, daß doch bestimmte Anteile der Primärlamelle nach der Behandlung im Mazerationsmittel erhalten geblieben sind. Von tonnenförmigen Anschwellungen ist aber weder im einen noch im andern Fall auch nur die Spur zu sehen.

Diese Ergebnisse lassen sich nun zunächst zu einem weiteren Unterscheidungsmerkmal für Flachs- und Hanffasern auswerten, das von praktischer Bedeutung ist. Behandelt man beide nativen Fasern in einer verdünnten wässrigen Lösung von Chlorperoxyd während zweimal 24 Stunden, wäscht gründlich aus und läßt die Faser in Äthylendiamin-Kupfer quellen, so wird man bei den Flachsfasern perlschnurartige Quellungsformen völlig vermissen, während dieselben bei der Hanffaser in hohem Maße auftreten, ja gewissermaßen die Regel bilden. Dieses verschiedene Verhalten vermehrt die Zahl der noch etwas unsicheren Unterscheidungsmethoden von Flachs und Hanf durch eine absolut zuverlässige. Als weitere Ergebnisse der obenstehenden Untersuchungen ergibt sich, daß die seinerzeit von Cross und Bevan als für Jute allein charakteristische Reaktion der Indigoblaufärbung im Gemisch von Ferrichlorid und Ferricyankalium zwar, wie ich seinerzeit feststellte, auch bei gewissen Baumwollarten (*Gossypium hirsutum* var. *religiosa* Watt.) eintritt, aber nach obigen Feststellungen für alle untersuchten nativen Bastfasern charakteristisch ist. Die Intensität der Färbung ist allerdings bei den einzelnen Faserarten verschieden.

Weiter ergab die Untersuchung, daß die organischen Farbstoffe, und zwar fast alle Klassen der in Wasser löslichen Produkte, substantive Baumwollfarbstoffe, basische Farbstoffe, dann die sauren Farbstoffe, sich im allgemeinen für die Differenzierung des Membransystems der Bastfaser nicht eignen.

Was die Jodreaktionen anbelangt, so kann mit Chlorzink-Jod allein, aber auch bei darauffolgender Einwirkung von Schwefelsäure bestimmter Konzentration eine gute Differenzierung der Lamellen erhalten werden, ebenso bei der primären Behandlung in Jod-Jodkali und darauffolgender Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure.

Eine weitere Methode der Differenzierung des Lamellensystems wurde in der Eigenschaft gewisser in der Mittellamelle und der Primärlamelle enthaltenen Substanzen gefunden, sich mit gewissen Metallsalzen zu verbinden und dann charakteristische Färbungen zu erzeugen. So wurde besonders im Stannochlorid ein Salz gefunden, welches von der Substanz der Mittellamelle vorzüglich, aber auch von jener der Primärlamelle fixiert wird, wobei man dann mit solchen im Zinnsalz behandelten Fasern nach Behandlung in verdünnten Goldchloridlösungen mehr oder weniger intensive Ablagerungen von K a s s i u s schem Goldpurpur erhält. Statt der Goldchloridlösung bietet aber auch eine warme Behandlung der mit Zinn behandelten Faser in Alizarin-SW-Lösung (alizarinmonosulfosaures Na), wobei sich die Mittellamelle und die Primärlamelle scharlachrot färben, gute Dienste. Eine sich auf der Mittellamelle beschränkende Färbung erhält man nach Behandlung der nativen Faser in einer Lösung von 1 % Natriumbichromat, Auswaschen und Färben in einer warmen Lösung von Alizarin SW. Auch mit Salzen des Ceriums und Erbiums erhält man ähnliche Resultate wie mit Zinnsalz.

Weiter wurde mit Hilfe von gewissen Naphtholen mit substantivem Charakter, zum Beispiel Cibanaphthol RA, dem B-Naphthalid der 2—3-Oxynaphtoesäure in alkalischer Lösung, die Differenzierung des Bastfaserlamellensystems erreicht. Das Naphthol wird von den verschiedenen Schichten verschieden stark aufgenommen, und man erhält dann nach der Entwicklung der im Naphthol behandelten Faser mit Echtschwarzsalz G eine dunkelblaue bis schwarze Färbung, welche mit Schwefelsäure als Quellungsmittel eine gute Differenzierung des Lamellensystems ermöglicht.

Es wurden die verschiedenen Mazerationsmethoden vergleichend geprüft und in alkoholischer Salzsäure, dann verdünnter Salpetersäure, aber besonders mit wässriger Chlorperoxydlösung die besten Resultate erzielt.

Was nun die Entstehung der perlschnurartigen Quellungsbilder anbelangt, so fällt vor allen Dingen auf, daß die Flachsfaser sich hier völlig ablehnend verhält, wobei die Art des Quellungsmittels keine Rolle spielt, ebenso die Art der Mazerationsmethode. Es ist dies um so auf-

fallender, als die Flachsfasern insbesondere mit den Hanffasern große Ähnlichkeit im Aufbau haben, welche Ähnlichkeit bekannterweise der Unterscheidung beider Fasern besondere Schwierigkeiten bereitet. Es kann dieses refraktäre Verhalten auf nichts anderes zurückzuführen sein als auf einen eigenartigen chemischen Aufbau der Primärlamelle der Flachsfaser, welche Membran ja letzten Endes für die perlschnurartige Quellung verantwortlich zu machen ist. Die Primärmembran muß gegen Quellungsmittel permeabler sein, oder aber die Quellungsmittel verändern die begleitenden Kohlehydrate chemisch derart, daß die Quellung der Primärmembran in gleichem Maße erfolgt wie die der eigentlichen Bastzellenwand, der Sekundärlamelle, so daß die Bedingungen für die Kugelquellung nicht mehr gegeben sind. In dieser Richtung weisen die Beobachtungen, welche bei der Hanffaser und in besonderem Maße bei der Jutefaser nach Behandlung mit Chlorperoxydlösung gemacht wurden, wo offenbar die in der Primärlamelle inkrustierten Nichtzellulosen zum Teil so verändert oder vielleicht entfernt worden sind, daß erst durch die modifizierten Begleitkörper die Bedingungen für die Kugelquellung geschaffen worden sind. Welcher Art diese Substanzen im chemischen Sinne sind, muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Im übrigen gibt es hier einen typischen Parallellfall bei den Samenhaaren von Pappel und Weide, welche in nativem Zustande mit Äthylendiamin-Kupfer überhaupt keine Quellung zeigen, dieselbe erst feststellen lassen, wenn die Faser in Natronlauge behandelt wurde und Kugelquellung erst nach einer darauffolgenden Einwirkung von Chlorperoxydlösung²⁷.

Außer allem Zweifel ist aber, daß der besondere Zustand der Primärlamelle die Bildung von perlschnurartigen Quellungsformen bedingt; da wo dieser Zustand bei der nativen Faser nicht vorhanden ist, kann er in einzelnen Fällen durch geeignete chemische Behandlung hervorgerufen werden. Vollkommen refraktär in dieser Hinsicht erweisen sich in gewissem Sinne die Flachsfasern, dann in besonders hohem Maße die Ramiefaser, obwohl zweifelsohne zwischen diesen beiden Fasern in chemischem Sinne keine näheren Beziehungen in der Zusammensetzung der Primärmembran bestehen.

Im allgemeinen ist es bei Bastfasern nicht so leicht, festzustellen, ob bei der Quellung gewisse, sich von der eigentlichen Sekundärlamelle der Bastzelle ablösende Schichten der Primärlamelle angehören oder aber noch Bestandteile der Mittellamelle darstellen. Es ist nämlich schon oben hervorgehoben worden, daß man beispielsweise mit der Zinn-Gold-Reaktion Reste der Mittellamelle nachweisen kann, wo dies mit andern Reaktionen nicht gelungen ist. Man wird daher gut daran tun, sich bei derartigen Differenzierungen nicht nur einer Reaktion, sondern sich aller der charakteristischen Nachweismöglichkeiten zu bedienen. Auch gewisse gleichartige Verhältnisse im Chemismus der begleitenden Kohle-

hydrate, oder sagen wir in diesem Falle besser Begleitkörper der nativen Bastfasern, sogar mit der Baumwolle, weist die Reaktion mit der alkalischen Lösung von Echtschwarzsatz G nach. Wir müssen in Mittellamelle, Primärlamelle, dann auch in der Innenauskleidung Substanzen annehmen, die mit der genannten Diazoverbindung kuppeln, also Phenole, Amide aromatischer Kerne, denn wir wissen ja, daß nur diese und nicht allipathische Verbindungen zur Kupplung mit Diazoverbindungen geeignet sind. Bei allen Bastfasern, mit Ausnahme des Flachses, konnte nur die Primärlamelle durch diese Reaktion nachgewiesen werden; ob nun das eigenartige Verhalten der Flachsfaser in Quellungsmitteln auf das Fehlen dieser kupplungsfähigen Substanzen zurückzuführen sein könnte, ist eine Frage, welche naheliegt und die zu weiteren Untersuchungen in der gekennzeichneten Richtung Veranlassung geben dürfte.

Résumé.

Dans le travail précédent, on a étudié les différentes membranes des fibres libériennes, en particulier du point de vue de leur coloration. On a cherché de nouvelles méthodes de coloration, par exemple celle avec le ferricyanure ferrique de potassium, puis différentes méthodes en employant du naphthalène substantif avec les bases correspondantes se prêtant aux combinaisons diazoïques. Des colorants sur mordant, sur la base d'un traitement antérieur avec des sels métalliques, comme par exemple l'alizarine SW furent aussi employés. L'effet de différentes méthodes de macération combinées avec différentes colorations fut aussi étudié.

De toutes ces recherches il ressort, entre autres, que l'on ne peut pas démontrer la présence d'une lamelle primaire chez le lin. De ce fait l'emploi de produits causant la dilatation comme le diamine d'éthylène de cuivre ou l'acide sulfurique de poids spécifique 1,535 ne provoquent pas les figures typiques de dilatation en forme de collier de perles.

¹ Vierteljahrschrift der naturforschenden Gesellschaft Zürich, 1858.

² Techn. Mikroskopie 100.

³ Lüdke, A., 466, 27—58 (1928); Sakostikoff, Mell. Textilberichte 11.444 (1930), 16, 215—244 (1935).

⁴ Helv. Chim. Acta XX, 199 (1937); Helv. Chim. Acta XXIV, 149.

⁵ Programm des Schweiz. Polytechnikums pro 1881—1882. Drei glückliche mikroskopische Experimente betreffend Textilfasern.

⁶ Neue Faserstoffe I, Nr. 19 (1919), S. 229.

⁷ Der Flachs, Techn. der Textilfasern, Berlin, 1930. Der Hanf und Hartfasern ebendasselbst.

- ⁸ Schweizer Textilzeitung, 1942, Nr. 1222.
^{8a} Biochem. Zeitschrift 203 (1928), S. 414.
⁹ Planta 19 (1933), S. 313.
¹⁰ Planta 24 (1935), S. 584.
¹¹ Wislicenus, Kolloid-Zeitschrift 27, 213.
¹² Hegler, Flora 48, S. 31—47.
¹³ Cross und Bevan, Cellulose 124. Haller, Färber-Ztg., 1915, 157.
¹⁴ Textile Forschung II (1920), S. 22.
¹⁵ Helvetica Chimica Acta XVI (1933), S. 383.
¹⁶ Melliands Textilberichte 1944.
¹⁷ Die Unterscheidung der Flachs- und Hanffaser, Berlin, 1926.
¹⁸ Helvetica Chimica Acta XVI (1933), S. 387.
¹⁹ Die Unterscheidung der Flachs- und Hanffaser, Berlin, 1928, S. 38 und 10 G.
²⁰ Anleitung zur mikrochemischen Analyse, Hamburg und Leipzig, 1896.
²¹ Comptes rendu 82 (1876), 261.
²² Ber. 54, 1861 (1921), Ber. 56, 25 (1923), Ber. 57, 1834 (1924). Vgl. auch Heß, Die Chemie der Zellulose, 1928, S. 148—150.
²³ Vgl. Ber. der schweiz. Botan. Gesellschaft, 53 (1943), S. 88.
²⁴ Pompa, Zeitschrift für wissenschaftliche Mikr., 20 (1903), S. 24. Haller, Textile Forschung II (1920), S. 22.
²⁵ Herzog, A., Unterscheidung der Flachs- und Hanffaser, 1926, S. 33.
²⁶ Vgl. Ber. der schweiz. Botan. Gesellschaft, 53 (1943), 88.
²⁷ Ber. der schweiz. Botan. Gesellschaft, 1942, S. 84.
-