

Untersuchungen über die chemische Beschaffenheit der Pflanzengewebe

mit

Bezug auf die neuesten Arbeiten Fremy's
über diesen Gegenstand.

Von

W. Kabsch.

Nachfolgende Untersuchungen wurden durch einige Abhandlungen Fremy's hervorgerufen, welche derselbe im Jahre 1859 der Akademie der Wissenschaften in Paris vorgelegt hat..*)

Fremy kommt in diesen Arbeiten zu einer Reihe von Resultaten, welche die noch gegenwärtig unter den Phytotomen geltenden Ansichten über die Zusammensetzung und Entstehung der näheren Bestandtheile des pflanzlichen Organismus wesentlich modificiren, ja zum Theil gänzlich umwerfen. Namentlich ist es die Cellulose, deren allgemeines Vorkommen im Pflanzenreiche Fremy, gestützt auf eine Anzahl Reactionen, die er bei den verschiedenen Gewebsarten der Pflanzen gefunden, bestreitet. Welcher Pflanzenanatom hätte sich auch mit chemischen Reactionen auf Zellenmembranen verschiedener Gewebe unter dem Mikroskop beschäftigt und

*) 1) Recherches chimiques sur la cuticule.

Mémoire lu à l'Académie des sciences, séance du 4 Avril 1859.

2) Recherches chimiques sur la composition des cellules végétales.

Mémoire lu etc. 24 Janvier 1859.

3) Recherches sur la composition du bois.

Mémoire lu etc. 2 Mai 1859.

4) Action de la chaux sur le tissu utriculaire des végétaux.

Mémoire lu etc. 24 Octobre 1859.

5) Recherches sur la composition chimique des tissus des végétaux.

Journal de Pharmacie et de Chimie, t. XXXVI. p. 6.

dabei nicht äusserst wesentliche Verschiedenheiten in den zu beobachtenden Farbenercheinungen wahrgenommen. Wer hätte nicht dabei den Wunsch gefühlt, jene Substanz oder vielleicht jene Substanzen, aus welchen die Zellenmembranen der verschiedenen Gewebe bestehen, näher und bestimmter, als dies bis jetzt möglich, charakterisiren zu können.

Um so willkommener mussten die Resultate der Fremy'schen Untersuchungen erscheinen, durch welche man auf die einfachste Weise in den Stand gesetzt schien, die einzelnen Gewebe vollständig von einander zu trennen und die sie bildenden Elementar-substanzen in ihren verschiedenen chemischen Reactionen genau festzustellen.

Eine Anzahl der Fremy'schen Behauptungen widersprach jedoch so sehr allgemein anerkannten und bewiesenen Grundsätzen der Anatomie und Entwicklungsgeschichte, dass ich mich veranlasst fand, die Untersuchungen Fremy's zu wiederholen. Die von mir erhaltenen Resultate stehen nun allerdings den Behauptungen Fremy's fast durchgehends entgegen. Ich lege meine Untersuchungen hiermit dem botanischen Publikum zur Prüfung vor, hoffend, hierdurch etwas zur Entscheidung in dieser hochwichtigen Frage beigetragen zu haben.

Es kam mir bei dieser Arbeit, die sich grösstentheils nur auf die Wiederholung der Untersuchungen Fremy's erstrecken sollte, anfänglich hauptsächlich nur darauf an, die vornehmlich vom chemischen Standpunkte aus gewonnenen Resultate einer Beleuchtung und Prüfung zu unterwerfen, welche feststellen sollte, wie weit die Angaben Fremy's mit den in der Pflanzenphysiologie und Entwicklungsgeschichte als richtig allgemein anerkannten Thatsachen sich im Einklang befinden oder ihnen entgegenstehen. Die den Behauptungen Fremy's so widersprechenden Resultate, die ich im Laufe der Untersuchung erhielt, veränderten erst die ursprüngliche Bestimmung der Arbeit. —

Da ich ohnehin genöthigt sein würde, des Verständnisses wegen, den grössten Theil der Abhandlungen Fremy's zu citiren, so scheint es mir am zweckmässigsten, gleich eine Uebersetzung der betreffenden Arbeiten, wenigstens in ihren Hauptsätzen, vorangehen zu lassen und glaube dies um so eher verantworten zu können, als jene Abhandlungen, soweit mir bekannt, noch in keiner deutschen botanischen Zeitschrift einer näheren Besprechung unterworfen worden sind.

Ich beginne mit einer Abhandlung,*) in welcher Fremy die Resultate früherer Arbeiten zusammenfasst. Von den letzteren ist es dann namentlich eine (*Récherches sur la composition chimique du bois*), welche ich mich genöthigt sehe, fast in ihrer ganzen Vollständigkeit wiederzugeben.

Ueber die chemische Zusammensetzung der Pflanzengewebe.

Nachdem ich in auf einander folgenden Veröffentlichungen die neuen Thatsachen, welche aus meinen Untersuchungen über die Pflanzengewebe hervorgegangen, niedergelegt habe, glaube ich hier die vorzüglichsten Resultate, die ich erhalten, kurz wiederholen zu müssen, um daraus schliesslich einige allgemeine Folgerungen zu ziehen.

Man hat bis jetzt angenommen, dass die Pflanzengewebe als wesentliche Grundlage einen Elementarbestandtheil haben — die Cellulose. Hiernach würden die Verschiedenheiten, welche diese Gewebe in ihren chemischen Eigenschaften, in ihrer Härte und Dicke zeigen, von wechselnden Anhäufungen der Cellulose und von Inkrustationen derselben durch verschiedene organische und mineralische Stoffe abhängig sein.

Meine Untersuchungen über die Pflanzengewebe haben mich zu ganz anderen Resultaten geführt. Indem ich jedem Gewebe eine besondere chemische Zusammensetzung, die in einem gewissen Grade von seiner physiologischen Bestimmung abhängt, anwies, stellte ich somit eine merkwürdige Analogie zwischen der Constitution der pflanzlichen und der thierischen Gewebe fest.

In der That ist gegenwärtig die physiologische Chemie genug vorgeschritten, um klar zu beweisen, dass die thierischen Gewebe nicht durch ein und denselben organischen Elementarbestandtheil (*principe immédiat organique*) gebildet sind: die einen haben albuminöse Substanzen zur Grundlage, die anderen enthalten Körper, welche sich unter verschiedenen Einflüssen in Leim und Chondrin umbilden; man findet sogar in den thierischen Geweben wahre stärkmehlartige Substanzen. Mit einem Wort in dem Grade, in

*) *Récherches sur la composition chimique des tissus des végétaux* par M. C. Fremy. (Journal de Pharmacie et de Chimie, t. XXXVI. p. 6.)

welchem sich die Elementar-Analyse vervollkommnet, dringt sie mehr in die innere Constitution der Gewebe ein und zeigt, dass deren Zusammensetzung nicht die Einfachheit darbietet, welche man Anfangs angenommen hatte.

Man wird ohne Zweifel sagen, dass die Abweichungen, welche ich beobachtet habe, nicht hervorstechend genug seien, um in die Wissenschaft neue Elementarbestandtheile einzuführen und in den Organen der Pflanzen jene Einfachheit der Zusammensetzung zu zerstören, welche der Geist immer mit soviel Eifer annimmt. Da es unmöglich ist, ein organisches Gewebe zu reinigen, ohne es bedeutend zu verändern, so wird man ferner sagen, die zu beobachtenden Unterschiede seien von den verschiedenen Graden der Anhäufung von organischer Materie oder von seiner Inkrustation durch fremde Substanzen abhängig.

Es wird mir leicht sein, auf diese Einwürfe zu antworten. Ich glaube nicht entfernt, dass die mineralischen Substanzen, welche sich in den Pflanzengeweben vorfinden, dort keine wichtige physiologische Rolle spielen; aber wenn diese Substanzen einfach dem organischen Theil der Gewebe beigemengt sind, und es ist dies der gewöhnliche Fall, so gebe ich nicht zu, dass sie die chemischen Charaktere des organischen Elementarbestandtheils, welcher diese Gewebe bildet und charakterisirt, modificiren können. Im thierischen Organismus behält die Substanz, welche den Leim liefert, ihre chemischen Charaktere eben so gut bei, wenn sie, wie in der Haut der Thiere, fast rein, als wenn sie, wie in den Knochen mit 65pCt. mineralischer Substanzen gemengt ist.

Die Verschiedenheiten, welche ich beobachtet habe, können auch nicht dem Aggregationszustande zugeschrieben werden. Ich kenne nicht ein einziges Beispiel, welches zeigt, dass die chemischen Eigenschaften eines Körpers sich mit dem Aggregationszustande seiner Molekule verändern. Zu einer Zeit, da die Erscheinungen der Isometrie unbekannt waren, konnte man seine Zuflucht zur Aggregation nehmen, um Abweichungen in den Eigenschaften eines Körpers zu erklären, wenn seine Zusammensetzung nicht verschieden war; aber gegenwärtig sind diese Auslegungen nicht mehr zulässig. Somit werden die chemischen Eigenschaften eines Elementarbestandtheils sich niemals durch Zwischenlagerung von fremden Substanzen oder durch verschiedene Aggregationszustände verändert finden. Die organische Elementar-Analyse würde

keine Sicherheit mehr darbieten, wenn diese Regel umgestossen würde.*)

Im vegetabilischen oder thierischen Organismus können die Unterschiede, welche die Elementarbestandtheile trennen, ohne Zweifel sich in verschiedenen Graden darbieten; aber man würde einen der interessantesten Theile der Physiologie verkennen, wenn man noch unter denselben Benennungen isomerische Substanzen, welche vom chemischen Gesichtspunkte aus gut marquirte Verschiedenheiten zeigen, zusammenwerfen wollte. Die Fortschritte der Chemie erlauben uns jetzt Unterscheidungen aufzustellen, welche früher unmöglich waren, und man muss sich entschliessen, Trennungen von Arten vorzunehmen, welche zwar die Nomenklatur ein wenig verwickeln können, welche aber natürliche Folgerungen der Fortschritte der Wissenschaft sind, selbst wenn sie eine Einfachheit der Zusammensetzung zerstören, die nur allein auf der Unvollkommenheit der analytischen Methode beruhte.

Dies sind die Grundsätze, welche mich bei meinen Untersuchungen geleitet haben. Es gelang mir, folgende Gewebe zu charakterisiren:

Cellulose-Gewebe,
Pectose-Gewebe,
Epidermal- oder Cuticular-Gewebe,
Vascular-Gewebe.

1) Cellulose-Gewebe. Man weiss, dass im thierischen Organismus eine gewisse Anzahl Elementarbestandtheile, wie das Ossein und die Chondrin gebende Substanz, vorhanden, welche durch isomerische Beziehungen unter einander verbunden sind und sich in verschiedenen Geweben befinden, das eine in den Knochen, die andere in den Knorpeln. Der vegetabilische Organismus bietet gleichfalls isomerische Bestandtheile dar, welche ein aufmerksames Studium allein unterscheiden kann. Diese Substanzen setzen die Cellulose-Gewebe zusammen; sie können sich ausserdem in wechselnden Mengen mit mineralischen oder organischen Stoffen ver-

*) Also deshalb? das ist gerade so unzulässig, als wenn man behaupten wollte, in der anorganischen Natur dürfte nur die eben jetzt bekannte Anzahl Elementarstoffe vorhanden sein, denn die Analyse würde sonst alle Sicherheit verlieren, da man ja auf Körper, welche man nicht kennt, nicht zu prüfen im Stande wäre.

einigen, welche aber ihre besonderen Eigenschaften nicht verändern.

Die Cellulose-Körper zeigen gemeinschaftliche generische Merkmale. Sie haben zur Grundlage eine organische Substanz, welche in ihrer Zusammensetzung als Kohle und Wasser dargestellt werden kann; unter dem Einfluss einiger Reagentien, wie Schwefelsäure, Salpetersäure, Kali, erlangen sie die Eigenschaft, durch Jod blau gefärbt zu werden. Man muss sich hüten, die Färbung mit derjenigen zu verwechseln, welche direkt durch Einwirkung von Jod auf Stärke hervorgebracht wird; während die Jodstärke dem Einfluss des kalten Wassers sehr lange widersteht und wenn sie bei 100° entfärbt wird, in der Kälte ihre Farbe wieder annimmt, ist die durch Einwirkung von Jod auf die mittelst Reagentien veränderten Cellulose-Gewebe hervorgebrachte blaue Substanz weniger stabil als die vorhergehende, und entfärbt sich unmittelbar durch kaltes Wasser. Die Cellulose-Gewebe lösen sich in Schwefelsäure, ohne sich zu färben, bilden zuerst eine Verbindung, welche durch Wasser niedergeschlagen wird und verwandeln sich dann in Dextrin und Glukos; Chlorwasserstoffsäure wirkt fast ebenso. Ich übergehe hier die wohlbekannten Veränderungen, welche sie durch Salpetersäure erleiden. Sie lösen sich in Kupferoxyd-Ammoniak manchmal unmittelbar, öfter aber erst nach Behandlung mit Reagentien. Sehr concentrirte Kalilauge löst sie bei verschiedenen Temperaturen.

Die angeführten Reagentien beweisen doch, ungeachtet ihrer Unzulänglichkeit, bestimmt, dass zwischen den Elementarbestandtheilen, welche diese Gewebe zusammensetzen, ebenso beträchtliche Verschiedenheiten bestehen als die sind, welche den Leim von Chondrin, das Eiweiss vom Casein, die Stärke von der Cellulose etc. trennen.

Wenn man die Schwierigkeiten erwägt, die sich bei der Untersuchung der Gewebe, welche man durch neutrale Lösungsmittel weder reinigen noch charakterisiren kann, darbieten, so wird man erkennen, dass diese Verschiedenheiten wichtig sind. So wirkt Schwefelsäure von verschiedener Concentration nicht auf dieselbe Weise auf die Gewebe: die einen lösen sich sogleich wie die, welche das Mark bilden und in der Rinde vorkommen; die anderen widerstehen der Einwirkung dieses Agens viel länger, wie die Holzfasern. Salzsäure und Kali zeigen dieselben Verschiedenheiten.

Kupferoxyd-Ammoniak erlaubt noch schärfere Unterscheidungsmerkmale zu beobachten; so werden einige Gewebe, wie die Rinden-

fasern*), die Wände gewisser Zellen, Baumwolle, und das Perisperm von Phytelephas, sofort in Kupferoxyd-Ammoniak gelöst; andere, wie die, welche das Mark der Bäume zusammensetzen, erfordern, um gelöst zu werden, die Behandlung mit einigen Reagentien; noch andere endlich, wie die, welche das Holz und das Gewebe der Pilze ausmachen, werden nur sehr unvollständig durch dieses Reagens angegriffen, selbst wenn sie vorher mit den stärksten Säuren behandelt worden sind.

Diese Unterschiede, welche vom chemischen wie vom physiologischen Standpunkte unmöglich vernachlässigt werden können, haben mich bestimmt, besondere Benennungen aufzustellen, um die Elementarbestandtheile zu specificiren. So habe ich den Namen Paracellulose der Materie, welche im Mark der Bäume und in mehreren anderen Schlauchgeweben enthalten ist, gegeben; die Substanz, welche wesentlich die Holzfasern bildet, habe ich Fibrose genannt.

Neben diesen Cellulose-Geweben, welche man leicht unterscheiden kann, bestehen noch andere, welche die Unzulänglichkeit der Reagentien noch nicht zu charakterisiren erlaubt. Die Pflanzenphysiologie stellt zwischen ihnen oft ganz bestimmte Unterschiede auf, aber die chemische Analyse lässt uns in diesem Falle im Stich. So findet man dieselben Charaktere in der organischen Substanz, welche sich in den Rindenfasern, in den schlauchartigen Wänden gewisser Zellen und in den Haaren, wie die Baumwolle, vorfindet; ich sage nun, dass diese Organe Cellulose zur Grundlage haben, erwartend, dass neue Reagentien gestatten werden, ihre Prüfung weiter auszuführen und Unterschiede zwischen ihnen aufzustellen, welche die anatomischen Studien vorhersehen lassen.

Jedes Cellulose-Gewebe enthält Mineralstoffe, deren Natur und Menge mit dem Alter oder der Art der Pflanzen wechseln kann, aber ich gebe nicht zu, dass diese fremden Substanzen die Ursache der Erhärtung der Gewebe im Alter seien; jedes vegetabilische Organ verdickt sich durch seine eigene Substanz und nicht durch Inkrustation fremder Stoffe**).

2) Pectose-Gewebe. Wenn man das schlauchartige Gewebe einer Wurzel oder Frucht der Einwirkung von Kupferoxyd-

*) *Fibres corticales*, jedenfalls Bastfasern.

**) Daran zweifelt wohl kein Pflanzenphysiologe, aber eben so wenig daran, dass Verdickung und Erhärtung durch Inkrustation, die Herr Fremy hier in einen Topf zu werfen scheint, zwei himmelweit verschiedene Dinge sind.

Ammoniak unterwirft, so wird die Cellulose ganz gelöst, und man erhält einen organisirten Rückstand, der seiner Form nach an Zellen erinnert. Dieses Gewebe ist aus pektinsaurem Kupferoxyd gebildet, erzeugt durch die Einwirkung des Reagens auf Pectose.

Diese sonderbare Beobachtung gestattete mir, den Platz zu erkennen, welchen das Pektose-Gewebe im Pflanzen-Organismus einnimmt; man sieht, dass es innerlich die äussere Cellulose-Membran, welche das Reagens gelöst hat, auskleidet.

Diese Gewebe werden genau charakterisirt durch ihr Verhalten gegen Alkalien, welche sie in pektinsäure Salze, und gegen Säuren, die sie in Pektin verwandeln. Sie entfernen sich ebenso durch ihre Zusammensetzung von den Cellulose-Geweben, denn ihr Molekül entspricht der allgemeinen Formel $(C^8 H^5 O^7)_n$.

3) Epidermal- und Cuticular-Gewebe. Diese Gewebe entfernen sich von den vorhergehenden durch ihre Elementar-Zusammensetzung und durch alle ihre Eigenschaften; sie zeigen in gewisser Beziehung bemerkenswerthe Analogien mit den fetten Körpern. Die Elementar-Analyse zeigt, dass sie viel mehr Wasserstoff und Kohlenstoff enthalten, als die Cellulose-Gewebe. So enthält nach Mitscherlich die Oberhaut der Kartoffel 62 pCt. C und 7 pCt. H; der gewöhnliche Kork 65 pCt. C und 8 pCt. H. Ich habe in einer Cuticula der Kartoffel 73 pCt. C und 12 pCt. H gefunden.

Die Epidermal-Gewebe bieten zwei hauptsächliche Zustände dar: entweder sie werden durch Wachsthum von Aussen (juxtaposition) aus Zellen gebildet, wie beim Kork, oder sie nehmen die Form von fortlaufenden Häuten (membranes continues) an, welche keine Andeutung von Organisation zeigen. Der Kork ist durch einen Elementarbestandtheil gebildet, den Chevreul vollkommen festgestellt und Suberin genannt hat: seine Untersuchungen sind durch die neueren Arbeiten von Mitscherlich bestätigt worden.

Ich habe mich besonders mit den von A. Brongniart entdeckten cuticularen Häuten beschäftigt. Ich habe alsdann eine Methode angegeben, um sie mit Leichtigkeit zu isoliren und habe gezeigt, dass alle der Luft ausgesetzten Organe durch die Cuticular-Membran bedeckt sind und dadurch beschützt werden. Den Elementarbestandtheil, welcher die Grundlage der Cuticular-Membranen bildet, nenne ich Cutine; es ist möglich, dass der vegetabilische Organismus mehrere cuticulare Substanzen enthält —

ein Punkt, welchen aufzuklären ich mir vorbehalte. Die Cuticula ist unlöslich in Aether und verseift sich mit den Alkalien wie ein echtes Fett.

Auch die äusseren Membranen der Holzzellen, welche Hartig, Mulder und Harting studirt haben, sind von mir geprüft worden: sie sind ausgezeichnet durch ihre Unlöslichkeit in Schwefelsäure und gleichen den Membranen, welche den Kork bilden. Die Gegenwart der epidermalen und vascularen Membranen im Holzgewebe erklärt den Ueberschuss an Kohlenstoff und Wasserstoff, welchen das Holz darbietet, wenn man seine Zusammensetzung mit der der reinen Cellulose-Gewebe vergleicht.

4) Vascular-Gewebe. Wenn man gefässreiche Stengel der Einwirkung von Reagentien, welche Cellulose lösen, unterwirft, so wird man sehen, dass diese letzteren Gewebe dem Einfluss von chemischen Agentien vollständig widerstehen: so wirken die concentrirten Säuren, das Kupferoxyd-Ammoniak in keiner Weise auf die Gefässe. Diese Beobachtung genügt, um zu zeigen, dass die Substanz, welche jene zusammensetzt, ein besonderer Elementarbestandtheil ist; ich habe ihm den Namen „Vasculose“ gegeben. Dieser Körper hat einige Aehnlichkeit mit der Cutine; er ist reich an Kohlenstoff und Wasserstoff; er löst sich in concentrirter Kalilauge, aber widersteht diesem Einfluss viel länger als die Cutine.

Ich glaube, dass die vascularen Gewebe oft als Grundlage verschiedene Elementarbestandtheile haben, die Reagentien verändern die Gefässe verschiedenartig; aber ich bin nicht genug vorgeschritten, um diesen Körpern besondere Benennungen zu geben.

Diese Resultate bestätigen denn vollständig das Princip, welches ich bei Beginn dieser Untersuchungen ausgesprochen habe, dass nämlich die chemische Zusammensetzung der Gewebe verschieden ist mit den Functionen, welche sie im Pflanzen-Organismus erfüllen müssen. Ich habe in der That nachgewiesen, dass die schlauchartigen, die faserigen, die epidermal und vascularen Gewebe durch besondere Elementarbestandtheile, welche man leicht charakterisiren kann, gebildet sind.

Dass der Cuticula und dem Kork eine Substanz zu Grunde liegt, welche von der Cellulose streng zu trennen, ist eine längst bekannte Thatsache; die Abhandlung Fremy's sagt uns im Wesentlichen nichts Neues; ich mochte deshalb auf diese Arbeit gegenwärtig nicht näher eingehen, sondern mich sogleich zu der Abhandlung wenden, die von den herrschenden Ansichten am bedeutendsten abweicht — nämlich über die Cellulose, Paracellulose, Fibrose und Vasculose.

Es blieb somit nur noch die Pectose übrig von jenen Elementarbestandtheilen, welche nach Fremy das Pflanzenreich zusammensetzen. Indem ich mir vorbehalte, in einer späteren Abhandlung diesen Gegenstand und die betreffende Arbeit Fremy's *) einer besonderen Besprechung zu unterwerfen, sei es mir hier nur gestattet, vorläufig einige Andeutungen zu geben.

Schon nach Poumarade**) ist die Pektose (Pektin) ein organisches Gewebe, welche das Zellgewebe der Frucht, Wurzeln und Rinden ausmachen soll; auch Mulder***) giebt an, dass es in der Zellwand des sogenannten Collenchyms und einiger Parenchymzellen vorkommen soll; Fremy verlegt nun dieses Pektose-Gewebe unterhalb die primäre Zellenmembran (au-dessous de la membrane extérieure), Fremy stützt sich dabei auf Erscheinungen, welche an Früchten und Wurzeln nach der Behandlung mit Kupferoxyd-Ammoniak eintreten; durch dieses Reagens soll die primäre Zellenmembran gelöst werden und die darunter liegende Schicht, das Pektose-Gewebe, in der ursprünglichen Form der Zelle zurückbleiben. —

Wenn man auf feine Schnitte aus den Wurzeln von Brassica Napus und Daucus Carota †) frisches Kupferoxyd-Ammoniak einwirken lässt, so findet man schon nach mehreren Stunden, dass die Zellenmembranen aufgequollen sind und zwar so, dass je nun zwei benachbarte Zellen von zwei Membranen getrennt werden, die eine dritte, dazwischen liegende Substanz einschliessen, deren Dicke ungefähr derjenigen der beiden Membranen zusammengenommen gleichkommen mag oder sie wohl auch bisweilen übertrifft.

*) Recherches chimiques sur la composition des cellules végétales.

(Mémoire lu à l'Académie des sciences, séance du 24 Janvier 1859.)

***) Compt. rendu, t. IX. p. 660.

****) Mulder, Physiologische Chemie, p. 514.

†) Ich wendete die cultivirten Pflanzen an.

Aus der ganzen Darstellung Fremy's geht hervor, dass er genau dasselbe beobachtet hat. Um nun aber seine Deutung erklärlich zu finden, muss man sich erinnern, dass Fremy, wie aus oben von mir gegebener Uebersetzung erhellt, mit Harting, Mulder und Hartig die äussere (primäre) Zellenmembran mit der Intercellularsubstanz identificirt (wie auch später noch Wigand). Die Consequenz dieser Annahme liegt in der Anwendung bei dem vorliegenden Falle auf der Hand: die zwischen den beiden beschriebenen Membranen liegende Masse muss die aufgelöste oder in Auflösung begriffene äussere Zellenmembran sein; die darunter liegende Membran, erklärte dann Fremy, da er sie, wie ich nachweisen werde, etwas voreilig für unlöslich in Kupferoxyd-Ammoniak hielt, als aus Pektose bestehend. Die Sache verhält sich in der That aber ganz anders. Durch die Einwirkung des Cuoxam quillt die Intercellularsubstanz, jedoch ohne sich zu lösen, auf; die vorher aneinanderstossenden Membranen zeigen sich deshalb jetzt getrennt; aber auch die Cellulose-Membranen lösen sich nicht vollkommen, sondern quellen in dem Reagens theilweise nur auf, und namentlich ist es die primäre Membran, welche der Einwirkung des Reagens kräftig widersteht; und diese ist es nun, für welche Fremy den Namen „Pektose-Gewebe“ in Anspruch nimmt.

Schon Cramer*) hat nachgewiesen, dass fremde Substanzen, welche die Membranen durchdringen, die Einwirkung des Cuoxam mehr oder weniger erschweren, ja gänzlich aufheben können; und so ist es auch hier. Die primäre Zellenmembran ist von Pektose durchdrungen, oder vielleicht in der Umwandlung in Pektose begriffen und deshalb der lösenden-Wirksamkeit des Cuoxam weniger zugänglich, denn gänzlich unlöslich kann sie eigentlich nicht genannt werden, da sich hin und wieder die Einwirkung des Reagens deutlich durch Einkerbungen in die Membran kund giebt. Behandelt man Schnitte durch oben genannte Wurzeln mit verdünnter Kalilauge und verdünnter Salzsäure, so lösen sie sich darauf vollkommen in Cuoxam, ohne den geringsten Rückstand zu hinterlassen. Ich muss natürlich diesen Umstand als einen Beweis für die Richtigkeit meiner Ansicht hinstellen, obgleich ich mir nicht verhehle, dass man mir entgegenhalten könnte, das Pektose-Gewebe würde eben durch die angewendeten verdünnten Säuren und ver-

*) Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich, III. 1858. pag. 1 ff.

dünnten Alkaliën gelöst, wie dies überhaupt eine Eigenschaft der Pektose ist — obgleich anatomisch nichts zu dieser Vermuthung berechtigt; eine zweite Reaction wird aber, wie ich glaube, meine Deutung rechtfertigen. Kocht man nämlich eine Anzahl Schnitte*) anhaltend mit destillirtem Wasser und untersucht sie dann mikroskopisch, so findet man die Intercellulärsubstanz bedeutend bis zum drei- und vierfachen ihres ursprünglichen Volumens aufgequollen, die Zellenmembranen erscheinen stark und vielfach verbogen, hin und wieder sogar, wo sie dem Ausdehnungsbestreben der Intercellulärsubstanz nicht den gehörigen Widerstand entgegenzusetzen vermochten, auseinander gerissen. Chlorzink-Jodlösung wirkt hier sehr belehrend, indem bei seiner Anwendung die Zellenmembranen deutlicher vor der Intercellulärsubstanz hervortreten; sie färben sich sämmtlich blau, die Intercellulärsubstanz bleibt ungefärbt oder zeigt nur eine blassblaue Färbung oder färbt sich wohl auch, namentlich bei Anwendung einer Jodlösung, hellgelblich.

Es ist leicht einzusehen, dass dieser Vorgang beim Kochen mit Wasser, wodurch also doch nichts als ein Aufquellen der Pektose bemerkt werden konnte, da die gewöhnliche Intercellulärsubstanz und ebenso die Cellulose sich vollkommen indifferent gegen Wasser verhalten — ich sage also, dass dieser Vorgang in der oben beschriebenen Weise nicht hätte stattfinden können, wenn die Deutung Fremy's die richtige wäre; in diesem Falle hätte sich ein Aufquellen der unter der äusseren Membran, also nach dem Innern der Zelle zu befindlichen Membranen zeigen müssen, was durchaus nicht stattgefunden.

Hiermit fällt natürlich auch das pektinsäure Kupferoxyd, welches sich nach Fremy gebildet haben soll, zusammen. Eine Blaufärbung der zurückbleibenden Membranen findet allerdings statt, dies ist aber eine gewöhnliche Reaction des Cuoxam auf Zellengewebe, wie sie von Cramer**) und später von Weiss und Wiesner***) vielfach beobachtet worden.

Nach diesen Untersuchungen muss also die Pektose wenigstens für die beiden genannten Wurzeln als die Intercellulärsubstanz angesehen werden, welche die Zellen verbindet und die namentlich

*) Namentlich ist hierbei *Daucus Carota* zu empfehlen, bei welcher Pflanze an und für sich die Intercellulärsubstanz bedeutend entwickelt ist.

**) A. a. O.

***) Sitzungsbericht der mathematisch-naturwissensch. Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. 1861. Bd. XLIV.

bei *Daucus Carota* beträchtlichen Intercellularräume ausfüllt.*) In den jüngeren Wurzeln ist sie in geringerem Maasse vorhanden; alle Umstände sprechen dafür, dass sie sich durch allmälige Umwandlung der primären Zellenmembran vermehrt. Ob die Pektose, wie Schacht dies im Allgemeinen für die Intercellulärsubstanz wahrscheinlich gemacht hat, ursprünglich aus der Membran der Mutterzellen hervorgeht, kann ich nicht entscheiden. Hierüber, wie überhaupt das Vorkommen der Pektose auch in anderen Fällen betreffend, behalte ich mir, wie gesagt, weitere Untersuchungen vor.

Uebergehend nun zu den Cellulose-Geweben, will ich zuerst, wie ich dies bereits erwähnt, die betreffende Arbeit Fremy's, soweit mir dies nothwendig erscheint, wiedergeben.

Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung des Holzes.

Jedes Gewebe scheint eine besondere chemische Zusammensetzung und Eigenschaften zu besitzen, die bis zu einem gewissen Grade von der Rolle abhängen, welche es bestimmt ist, in der Vegetation zu spielen. Die Arbeiten, welche ich gegenwärtig verfolge, haben zum Zweck, diesen so wichtigen Punkt in der Wissenschaft festzustellen.

Schon Chevreul hat uns in seinen schönen Untersuchungen über den Kork gelehrt, dass dieses Gewebe nicht mit der Cellulose zusammengeworfen werden darf und dass es durch das Hervorbringen von Korksäure ausgezeichnet ist, sobald man es der Einwirkung von Salpetersäure unterwirft. Die neueren Arbeiten von Mitscherlich über die Pflanzenzellen und vorzüglich über die Oberhaut der Kartoffeln, welche ein wahrer Kork ist, haben die Beobachtungen unseres berühmten Collegen bestätigt.

Ebenso habe ich gezeigt, dass die Pflanzengewebe eine eigenthümliche Substanz, welche ich unter dem Namen Pektose beschrieben habe und welche bei mikroskopischen Beobachtungen oft mit der Cellulose verwechselt worden war, enthalten können.

Man hatte angenommen, dass die Cuticula aus Cellulose, durch-

*) Auch Mulder und Harting sprechen sich schon dafür aus, dass in manchen Fällen die Intercellulärsubstanz aus Pektose bestehen möge.

drungen von stickstoffhaltiger Materie und Kieselerde, bestehe*); meine Untersuchungen zeigten, dass diese Substanz sich von der Cellulose sowohl durch ihre Eigenschaften, als durch ihre Zusammensetzung entfernt. Das Gewebe der Pilze zeigt gleichfalls besondere Eigenschaften, welche jetzt nicht mehr gestatten, sie mit den organischen Geweben zu vermengen, welche zur Grundlage die Cellulose haben, wie Cramer in seinen wichtigen Untersuchungen dargethan hat. Endlich ist auch die Substanz, welche das Mark der Bäume bildet und die ich mit dem Namen Paracellulose bezeichnet habe, ein bemerkenswerthes Beispiel von Elementarbestandtheilen, welche unter sehr verschiedenen Einflüssen eine isomerische Modification erleiden und sich in Cellulose umwandeln können, die in Cuoxam unmittelbar löslich ist.

Man hatte gelehrt, das Holz sei aus Cellulose, mehr oder weniger mit organischen Inkrustationen durchdrungen, gebildet; meine Erfahrungen dagegen finden sich im vollkommenen Widerspruche mit dieser Art, die Zusammensetzung des Holzes auszuliegen. Wenn man den Namen Cellulose für die Substanz beibehält, welche in Kupferoxyd-Ammoniak unmittelbar löslich ist und welche die Baumwolle, die Rindenfasern oder das Perisperm von Phylephas zusammensetzt, so finde ich diese Cellulose in dem Holzgewebe nicht. Was denjenigen Theil des Holzes betrifft, welcher „inkrustirende Substanz“ genannt wird, ist es mir unmöglich gewesen, ihn chemisch zu charakterisiren, und ich begreife, dass die ausgezeichnetsten Physiologen jetzt seine Existenz leugnen (?).

In Erwägung, dass Beobachtungen über ein Gemenge verschiedener organischer Gewebe schwere Irrthümer nach sich ziehen können, war ich bemüht, in meinen Untersuchungen über die Holzgewebe die verschiedenen Organe, welche sie zusammensetzen, zu isoliren, um getrennt ihre specifischen Kennzeichen festzustellen. Alle Botaniker betrachten das Holz als bestehend aus Fasergefäßbündeln (*faisceaux fibro-vasculaires*), welche durch strahlenförmig vom Mark zur Rinde sich erstreckende Zellgewebstreifen von einander getrennt sind. Ich gebe hier wörtlich die Ausdrücke A. de Jussieu's wieder. In gewissen Theilen dieser Holzmasse finden sich Haufen abrollbarer Spiralgefäße, Ringgefäße, netzförmige und punktirte Gefäße.

*) Von neueren Botanikern wohl kaum mehr.

Ich musste somit, um die Zusammensetzung und die chemischen Eigenschaften des Holzes zu ermitteln, die drei Theile, welche das Holzgewebe ausmachen, nämlich die Fasern, das Zellgewebe und die eigentlichen Gefässe, isoliren und besonders studiren.

Um die Holzgewebe rein und ganz frei von der faserigen oder schlauchartigen Substanz zu erhalten, liess ich zuerst verdünnte Kalilauge einwirken, welche den Gerbstoff, die albuminösen und pektinartigen Stoffe entfernte; ich unterwarf dann das organische Gewebe der Einwirkung von Chlorwasserstoffsäure von verschiedenem Concentrationsgrade, indem ich mit einer durch mehrere Volumen Wasser verdünnten Säure begann und aufstieg bis zur Behandlung mit rauchender Salzsäure; hierdurch löste sich das Schlauchgewebe theilweise und die Holzfasern wurden in Cuoxam löslich. Zuletzt wendete ich kalte concentrirte Schwefelsäure an, welche die schlauchartigen und faserigen Theile, die der Einwirkung der Salzsäure und des Cuoxam entgangen waren, auflöste: Waschungen mit Wasser, Alkohol und Aether vervollständigten diese Bereitungsweise. Ich erhielt nun die Holzgefässe vollkommen rein.

Vom chemischen Gesichtspunkte schien es mir zweckmässig, einen Unterschied zwischen denjenigen Theilen des Holzes aufzustellen, welche sich in Säuren lösen, und denjenigen, welche der Einwirkung dieser Reagentien widerstehen; ich bezeichne deshalb unter dem Namen „Vasculose“ die Materie, welche die Gefässe (les vaisseaux et les trachées) bildet. Diese Substanz ist durch ihre Unlöslichkeit in Salzsäure oder concentrirter Schwefelsäure und in Kupferoxyd-Ammoniak ausgezeichnet; sie löst sich dagegen in concentrirter kochender Kalilauge; sie zeigt daher einige Analogie mit der Cutine und entfernt sich, wie man sieht, ganz von der Cellulose.

Die Schlauchsubstanz, welche die Markstrahlen bildet, betreffend, war es mir leicht zu erkennen, dass diese Materie identisch mit derjenigen ist, die im Mark der Bäume vorkommt: sie ist, wie sie, unlöslich in Cuoxam und wird angreifbar durch dieses Reagens, sobald man sie der Einwirkung von Säuren und Alkalien oder dem Einfluss trockener und feuchter Wärme unterworfen hat. Die Markstrahlen des Holzes haben also zur Grundlage die „Paracellulose“.

Kochende concentrirte Kalilauge, welche die Holzgefässe löst,

bewirkt gleichfalls eine Lösung der Markstrahlen; man erhält so eine alkalische Flüssigkeit, welche auf Zusatz von Säuren eine wenig gefärbte organische Materie fallen lässt, die identisch mit dem Product, das Peligot durch Einwirkung von Alkalien auf das Holz erhalten, sein muss. Die schlauchartige Substanz des Markes, der Bast (fibres corticales) und die Baumwolle verhalten sich ebenso.

Die Löslichkeit der Cellulose und der Paracellulose in sehr concentrirter Kalilauge erlaubt mir, das dritte Organ des Holzgewebes, nämlich die Holzfasern, zu charakterisiren. Wenn man Holzspäne der Einwirkung von verdünnter Kalilauge unterwirft, so nimmt dieselbe nur eine gelbe Farbe an und wirkt noch nicht zerstörend auf das Holzgewebe, aber wenn die Lauge so concentrirt ist, dass sie auf die Markstrahlen und Gefäße einwirken kann, findet sich das Pflanzengewebe sogleich zerstört. Um diesen merkwürdigen Vorgang zu verfolgen, ist es räthlich, in einem gläsernen Kolben zu operiren und die Temperatur, bei welcher die Desorganisation des Holzes erfolgt, nicht zu überschreiten, denn dann würden sich auch die Holzfasern verändert finden. Verdünnt man nun mit Wasser und entfernt die Kalilauge, welche die Körper, die aus der Einwirkung des Kali auf die Gefäße und Holzfasern hervorgehen, in Lösung enthält, so bleiben die Holzfasern zurück; oft von einer vollkommenen Weisse und absoluten Reinheit, wenn man sie mit Wasser, Alkohol und Aether gewaschen hat. Dieser Versuch, wiederholt an verschiedenen Hölzern, hat immer dieselben Resultate gegeben; vornehmlich benutzte ich Eichen- und Tannenholz.

Decaisne hat die auf die angegebene Weise erhaltenen Holzfasern mikroskopisch untersucht und erkannt, dass sie ihre gewöhnlichen Formen zeigen; nur wenn das Alkali zu lange eingewirkt, hatten sie eine beträchtliche Erweiterung erlitten, welche zum Theil ihre charakteristische Punktirung verschwinden liess. Haben die Holzfasern nun, indem sie sich durch Einwirkung von concentrirter Kalilauge erweiterten, einen Theil ihrer Substanz verloren? Ich glaube nicht, weil sie bei dieser Behandlung ihre Form und ihre Festigkeit behalten haben: doch behalte ich mir diese Frage vor, und ich werde sie zu lösen versuchen, wenn ich den Einfluss, welchen Aetzkali auf die isolirten Holzfasern ausübt, geprüft haben werde.

Schon das beschriebene Verfahren zeigt, dass die Substanz,

welche die Holzfasern ausmacht, nicht zusammengeworfen werden darf mit denen, welche vorher beschrieben worden sind: ich werde ihm den Namen „Fibrose“ geben. Sie zeichnet sich erstens aus durch ihre Unlöslichkeit in Kalilauge, welche die Gefässe und die Markstrahlen löst, zweitens durch ihre Löslichkeit in concentrirter Schwefelsäure, welche die Gefässe nicht löst, und drittens durch ihre Unlöslichkeit in Kupferoxyd-Ammoniak, welches die Cellulose unmittelbar löst und die Holzfasern nur angreift, sobald sie durch chemische Agentien verändert worden sind.

Die Einwirkung der concentrirten Schwefelsäure giebt übrigens noch einen Unterschied zwischen Fibrose und Cellulose. Fibrose löst sich wie die Cellulose, aber wenn man zu der sauren Flüssigkeit sogleich Wasser zufügt, sieht man die organische Materie alsbald in der Form einer dicken und durchsichtigen Gallerte niederfallen.

Wenn man die Cellulose mit einer kleinen Menge Schwefelsäure behandelt, kann man ebenfalls eine Flüssigkeit erhalten, aus welcher durch Wasser die Cellulose gefällt wird, aber diese schwefelsaure Verbindung scheint mir viel weniger beständig zu sein, als die, welche aus der Fibrose hervorgegangen. Die holzige Materie der Fruchtkerne und die steinigen Ausscheidungen, die in manchen Pflanzentheilen, namentlich in dem Schlauchgewebe gewisser Birnen vorkommen, haben die grösste Aehnlichkeit mit dem Holz. Ihre oberen Lagen sind reich an Kohlenstoff und Wasserstoff, sie nähern sich in ihren Eigenschaften und Zusammensetzung sehr dem Kork, während das Innere aus Fibrose gebildet ist.*)

Ich habe ebenso die äusseren Membranen der Holzzellen, welche durch ihre Unlöslichkeit in Schwefelsäure ausgezeichnet sind, geprüft; sie scheinen mir grosse Aehnlichkeiten mit den epi-

*) Das ist eine Behauptung, die jedes Grundes entbehrt. Die steinigen Ausscheidungen der Birnen sind an ihrer Oberfläche, wie im Innern, von derselben anatomischen Zusammensetzung. Anatomische Verschiedenheiten würden aber sicher vorhanden sein, wenn die äusseren Lagen (couches epidermiques) wirklich eine andere chemische Zusammensetzung hätten als der Kern. Und vom mechanischen Gesichtspunkte aus, wie ist es wohl Herrn Fremy gelungen, diese äusseren Lagen rein von den inneren zu trennen, um, wie er mit so vieler Sicherheit angegeben, ihre chemischen Verschiedenheiten, ihren Reichthum an Kohlenstoff und Wasserstoff, ihre Aehnlichkeit mit dem Korke darzuthun?

dermalen Substanzen, von denen ich vorher gesprochen habe, zu bieten.

Da nach meinen Untersuchungen das Holz aus mit der Cellulose isomerischen Geweben gebildet ist und aus Substanzen, die reich sind an Kohlenstoff, wie die, welche die Gefässe und die äusseren Membranen der Holzzellen ausmachen, ist es begreiflich, dass das Holz, der Analyse unterworfen, mehr Kohlenstoff und Wasserstoff als die reine Cellulose enthält.

Das sind die hauptsächlichsten Beobachtungen, welche ich über die chemische Constitution des Holzes gemacht habe; sie entfernen sich vollständig, wie man sieht, von denen, welche bis jetzt gültig gewesen. Statt das Holz zu betrachten als wesentlich gebildet aus einer einzigen Materie, der Cellulose, welche sich allmählig durch mineralische und organische Substanzen inkrustire, isolire ich aus dem Holzgewebe die drei Organe, die es zusammensetzen, und welche die Botaniker so genau beschrieben haben, d. h. die Gefässe, die Holzzellen (fibres) und das Gewebe, das die Markstrahlen bildet und ich zeige, dass diese Organe durch Elementar-Bestandtheile gebildet sind, welche sich unter einander durch sehr bestimmte Merkmale unterscheiden.

Ich leugne somit im Holz die Gegenwart jener inkrustirenden Substanzen, die, indem sie sich in die Zellen oder Fasern ablagern, die Härte des Holzgewebes vermehren. Ich denke nicht, dass die Substanz, welche zuerst die Wände einer Zelle bildet durch Inkrustation oder Anhäufung, Holzfasern oder Gefässe hervorbringen kann, weil Unterschiede in der Anhäufung der Moleküle eines Körpers seine chemischen Eigenschaften nicht ändern, wie Chevreul schon seit langé gezeigt hat. Vielmehr liegt die Ursache der sich mit dem Alter der Pflanze vermehrenden Festigkeit und Härte des Holzes darin, dass die Verdickungsschichten, welche im jungen Holze nur dünne Gewebe bilden, mit der Zeit zahlreicher und dichter geworden sind; aber die chemische Zusammensetzung dieser Gewebe hat keine Veränderungen erlitten. Die Schichten, welche im alten Holz erhärten, die Schläuche der Markstrahlen oder die Holzfasern sind von derselben Natur, wie die, welche schon in einem kaum gebildeten Stengel bestehen, wie ich es an Asparagus erkannt habe.

Die näheren Angaben Fremy's, in Betreff des Untersuchungs-ganges, der Art und Weise, wie er zu seinen Resultaten gelangt ist, sind offenbar, es muss dies auf den ersten Augenblick auffallen, nicht mit jener Genauigkeit dargestellt, die wir sonst bei wissenschaftlichen Arbeiten zu finden pflegen und die es uns leicht macht, durch Wiederholung der Versuche die erhaltenen Resultate zu controlliren. Ich gestehe, dass es gerade diese Ungenauigkeit war, die mich misstrausch gegen eine Arbeit machte, deren Resultate mir sonst als ein wichtiger Beitrag zur Kenntniss der Cellulose erschienen.

Freilich erhoben sich auch einige andere Bedenken gegen die Richtigkeit einzelner Behauptungen, die allgemein anerkannten, erfahrungsgemäss richtigen Grundsätzen der Physiologie und Anatomie allzu schroff entgegen standen, und ehe ich zu der Wiederholung der Versuche selbst schreite, möchte ich die Hauptpunkte jener Angaben einer kurzen Besprechung unterwerfen.

Fremy giebt die Anwesenheit fremder, die Zellenmembran durchdringender Substanzen zu, aber er leugnet, dass in diesen inkrustirenden Substanzen die Ursache jener mannigfachen, abweichenden chemischen und physikalischen Eigenschaften, welche die Zellenmembran je nach ihrem Vorkommen im Pflanzenreiche zeigt, zu suchen sei. Fremy stützt sich dabei zum Theil darauf, dass nach seiner Ansicht die chemischen Eigenschaften eines Körpers durch fremde Beimengungen nicht verändert werden können. In der analytischen Chemie kommt es aber so häufig vor, dass Farbenerscheinungen, z. B. an Niederschlägen, durch die Anwesenheit fremder Körper beeinträchtigt werden oder auch ganz ausbleiben, als Analogon möchte ich namentlich eine allerdings neuere Beobachtung von Wormley und J. Riese anführen, wonach Morphinum zu Strychnin gemischt, eine Abnahme der Farbenerscheinungen bei der Strychnin-Reaction bewirkt. Vielleicht, dass Fremy seinen Ausspruch nur auf die Löslichkeitsverhältnisse bezog — aber auch dafür finden sich Analogien; so quillt Seide, welche im rohen Zustande in Nickeloxydul-Ammoniak ziemlich leicht löslich ist, gefärbt angewendet, in diesem Reagens nur auf. Je bekannter diese That-sachen sind, um so unerklärlicher erscheint es, diesen Ausspruch aus Fremy's Feder zu vernehmen; ich würde an ein Missverständnis von meiner Seite geglaubt haben, wenn ein solches nicht bei dem klar ausgesprochenen Gedanken unmöglich wäre.

Aber gesetzt, die Angabe Fremy's wäre richtig, und jene

Folgerung, nach welcher, wenn eine gewisse Eigenschaft eines Körpers im Allgemeinen nicht vorkommt, überhaupt die Möglichkeit ihres Vorkommens auch in einzelnen Fällen nicht vorhanden wäre — ich sage, gesetzt, diese Folgerung wäre logisch und stichhaltig, so gelangten wir nun zu der Frage: Was setzt Fremy Besseres an die Stelle der alten Annahme? Fremy macht die abweichenden Eigenschaften der Zellenmembranen von besonderen isomerischen Elementarbestandtheilen, welche die Grundlage der verschiedenen Gewebe bilden sollen, abhängig. — Die fertigen Holzzellen und Gefäße der Bäume sind in Kupferoxyd-Ammoniak vollkommen unlöslich, quellen nicht einmal immer und dann nur schwach darin auf; durch vorgängige Behandlung mit Kalilauge und Salzsäure werden sie in jenem Reagens zum Theil löslich und lösen sich ganz, wenn man sie zuvor der Einwirkung von chloresaurom Kali und Salpetersäure unterwirft. Andere Zellen und Gefäße, wie z. B. in den fleischigen Wurzeln und Blättern, lösen sich schon in Cuoxam nach vorgängiger Behandlung mit Kalilauge und Salzsäure und noch andere sind unmittelbar mehr oder weniger vollständig in jenem Reagens löslich; ferner im jugendlichen, noch unverholzten Zustande bedürfen die Holzzellen und Gefäße nur einer Behandlung mit verdünnter Kalilauge und Salzsäure, um sich in Cuoxam zu lösen, während sie verholzt, wie gesagt, die vorhergegangene Einwirkung von chloresaurom Kali und Salpetersäure nöthig haben. Rechnet man hierzu noch die äusseren Erscheinungen, welche nach der Behandlung mit Reagentien eintreten, wie bei der Beobachtung der Holzzellen namentlich unter Wasser an den Verdickungen der Zellwand kaum irgend welche Schichtung beobachtet werden kann, wie die Schichten jedoch schon nach Einwirkung heisser Kalilauge deutlicher hervortreten und noch im erhöhten Maasse nach Einwirkung von chloresaurom Kali und Salpetersäure oder Chromsäure, so zeigen schon diese allgemein bekannten Verhältnisse, dass durch die inkrustirende Substanz die ganze Reihe der Erscheinungen auf eine viel ungezwungenere Weise erklärt werden kann, als mittelst der Annahme Fremy's, wenn diese überhaupt, namentlich bei Berücksichtigung der Entwicklungsstadien und des allmäligen und beständigen Entwicklungsprozesses, den die Zellenmembran erleidet, als zulässig anerkannt werden darf. Freilich glaubt Fremy nicht daran, dass aus der Substanz der Zellen (Cambium) durch Inkrustation und Verdickung Holzzellen und Gefäße hervorgehen können, sondern meint, die Wände und

Verdickungsschichten seien stets von derselben Natur, in den ältesten Zellen so, wie sie sich in den jüngsten Bildungsstadien vorfinden; Vasculose, Fibrose etc. treten also demnach gleich Anfangs als solche und nicht anders auf, sie entstehen nicht durch allmälige Umbildung aus der Cellulose.

Diese Behauptung erscheint allerdings als eine Consequenz der Theorie Fremy's — muss aber einfach als „unmöglich“ bezeichnet werden. Wäre sie wahr, dann würden die Hauptsätze der Entwicklungsgeschichte, namentlich der bekannte Erfahrungssatz, dass alle Zellenarten der Pflanze aus einer einzigen Form, dem Urparenchym, hervorgehen, leere Erfindungen, Hirngespinnste sein. Und wie wollte wohl Fremy dann die verschiedenen Reactionen, die eine kaum gebildete Holzzelle, ein noch saftführendes Gefäss gegen Chlorzink-Jodlösung, Schwefelsäure, Cuoxam etc. den alten, verholzten Zellen und Gefässen gegenüber zeigt, erklären. Da finden sich eben unlösbare Widersprüche. —

Aber Fremy könnte sich in diesem letzten Punkte geirrt haben. Vasculose, Fibrose etc. könnten sich in der That erst später im Laufe des Lebensprozesses aus der Cellulose entwickelt haben. Allerdings würden hierdurch die neuen Lehrsätze ihre Bestimmtheit und feste Begrenzung verlieren, aber sie würden dann wenigstens nicht den Fundamentalsätzen der Entwicklungsgeschichte entgegenstehen. Die von Fremy aufgestellten Elementarbestandtheile der Gewebe würden somit nur in den ausgebildeten entwickelten Holzzellen, Gefässen, Markstrahlen etc. zu unterscheiden sein, und um hier ein maassgebendes Urtheil fällen zu können, war es nöthig, die Untersuchungen Fremy's sämmtlich zu wiederholen.

Hierbei konnte ich mich nur im allgemeinen Ganzen nach Fremy's Angaben richten; im Besonderen musste ich meinen eigenen Weg verfolgen, da in der Arbeit Fremy's keine näheren Details über Concentration der angewendeten Reagentien, über die Zeitdauer der Einwirkung, über Temperatur etc. zu finden sind.

Als verdünnte Aetzkalilauge wendete ich eine Lösung von 1 Theil geschmolzenem Kalihydrat in 5 Theilen destillirtem Wasser an; als verdünnte Salzsäure 1 Theil Salzsäure von 1,12 spec. Gew. mit 3 Theilen destillirtem Wasser verdünnt; die angewendete concentrirte Salzsäure hatte ein spec. Gew. = 1,12 — 1,80, der rauchenden Salzsäure des Handels; das spec. Gew. der verwendeten Schwefelsäure war = 1,845. —

Abschnitte von Kiefernholz von der Dicke, wie man sie zur mikroskopischen Untersuchung anzuwenden pflegt oder nur wenig dicker und aus Queer-, Tangential- und Radialschnitten bestehend, wurden mit der 15 — 20 fachen Menge verdünnter Aetzkalilauge übergossen und 24 Stunden lang einer Temperatur von 30—35° C. ausgesetzt. Die darauf vorgenommene mikroskopische Untersuchung zeigte die gewöhnlichen Verhältnisse des Holzes nur deutlicher, als vor der Behandlung mit Kalilauge.

Das Holz wurde nun mit destillirtem Wasser wiederholt ausgekocht und dann mit verdünnter Salzsäure 24 Stunden lang bei derselben Temperatur behandelt; die mikroskopische Untersuchung liess keine wesentlichen Veränderungen wahrnehmen. Concentrirte Salzsäure (spec. Gew. = 1,12), welche ich nun zur Einwirkung auf die Holzsnitte verwendete, bewirkte, dass das Holz zum Theil braun gefärbt wurde. Da sich aber weiter keine Veränderung wahrnehmen liess, so wendete ich die rohe concentrirte Salzsäure des Handels an. Nach 24 stündiger Einwirkung bei 35° zeigte sich das Holz stark braun gefärbt bis zu völliger Undurchsichtigkeit; an eine theilweise Lösung der Markstrahlen, wie dies doch nach den Angaben Fremy's hätte stattfinden müssen, war auch nicht im Allerentferntesten zu denken.

Da, wo der Verkohlungsprozess nicht bis zur vollständigen Undurchsichtigkeit fortgeschritten war, liess sich die Structur des Holzes besonders bei heller Beleuchtung noch sehr genau erkennen; die Markstrahlen mit ihren zackigen Verdickungsschichten waren noch äusserst deutlich und in ihrem ganzen Verlaufe erkennbar zu sehen; die Holzzellen ebenfalls, Tüpfel und Tüpfelräume erscheinen nur etwas aufgequollen und an einigen Stellen zeigten sich die Holzzellen in Folge der Auflösung der Intercellularsubstanz isolirt. Auch nach dreitägiger weiterer Einwirkung der Salzsäure waren keine anderen Veränderungen wahrzunehmen und als darauf das Holz anhaltend mit roher Salzsäure gekocht wurde, erschien nur der Verkohlungsprozess weiter fortgeschritten und ein grosser Theil der Zellen aus ihrer gegenseitigen Verbindung gelöst; die zahlreichen, von mir untersuchten Schnitte zeigten ohne Ausnahme, dass die Salzsäure ganz gleichmässig auf Markstrahlen wie Holzzellen zersetzend eingewirkt hatte.

Ich kann mir den Irrthum Fremy's nur auf die Weise erklären, dass er seine Schnitte nicht genau parallel den Markstrahlen gemacht, sondern in schiefer Richtung; man sieht bei solchen

- Schnitten die Markstrahlen bekanntlich nicht zusammenhängend, den ganzen Schnitt quer durchsetzend, sondern abgebrochen, nur theilweise sich durch den Schnitt erstreckend. Da, wo die Holzzellen in der Richtung der Markstrahlen nicht von diesen durchschnitten werden, hat vielleicht Fremy an eine durch die Salzsäure erfolgte Auflösung derselben gedacht, so unwahrscheinlich dies auch für einen, der mit dem Bau und der Untersuchungsmethode der Hölzer vertraut ist, erscheinen mag. —

Durch die weiteren Manipulationen sollte schliesslich nach Fremy's Methode eine vollkommene Isolirung der Gefässe bewirkt werden können. Da die Coniferen keine Gefässe in ihrem Holztheil besitzen, so waren sie natürlich keine brauchbaren Objecte zu diesen Versuchen und ich bediente mich deshalb des Holzes der Laubbäume und zwar, der harten Hölzer sowohl, wie von der Eiche und Buche, als auch der weichen, wie von der Linde und Weide. Die Erscheinungen sind bei allen Bäumen so wenig von einander verschieden, dass ich die Beschreibungen von einander zu trennen nicht für nöthig halte. Im Allgemeinen kann man nur sagen, dass die Einwirkung der Reagentien auf die weichen Hölzer eine etwas bedeutendere ist und zwar gilt dies namentlich von der lösenden Kraft des Kupferoxyd-Ammoniak und der Schwefelsäure.*)

Holzschnitte von verschiedenen Laubbäumen wurden nun in der angegebenen Weise auf einander folgend mit Kalilauge, verdünnter und concentrirter Salzsäure behandelt. Die Erscheinungen waren dieselben, wie sie sich bei der Kiefer gezeigt, nur die Einwirkung auf die Intercellularsubstanz muss hier als eine sichtbarere bezeichnet werden; die Zellen fanden sich leichter und bei weitem häufiger isolirt vor, und auch die nicht isolirten Zellen hingen mit geringerer Festigkeit zusammen, als dies bei den Nadelhölzern der Fall war. Jedenfalls aber war auch hier an eine Lösung der Markstrahlen durchaus nicht zu denken.

Kupferoxyd-Ammoniak soll nach Fremy die Holzzellen vornehmlich lösen, und die darauf folgende Behandlung mit kalter concentrirter Schwefelsäure den noch zurückgebliebenen Rest von Holzzellen und Markstrahlen hinwegnehmen und so eine vollkommene Isolirung der Gefässe bewirkt werden.

*) Nur bei der Behandlung mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure findet, wie ich später noch näher angeben werde, das umgekehrte Verhältniss statt.

Nachdem die Salzsäure sorgfältig durch Auskochen mit Wasser und Weingeist aus den Schnitten entfernt worden, brachte ich dieselben in frisch bereitetes Cuoxam. Nach 24—48 stündiger Einwirkung zeigte sich bei der mikroskopischen Untersuchung, dass die grösste Einwirkung auf die Holzzellen stattgefunden hatte, dieselben waren zum Theil gelöst und da, wo eine Lösung nicht stattgefunden, stark aufgequollen. Auf die Markstrahlencellen hatte sich eine solche Einwirkung nicht gezeigt, die begrenzenden Linien derselben waren deutlich und sehr scharf zu sehen, doch war eine theilweise Lösung der Verdickungsschichten eingetreten, aber ohne dass an den zurückbleibenden eine bedeutendere Quellung wahrzunehmen gewesen wäre. Auf die Gefässe war das Reagens allem Anscheine nach ohne sichtbaren Einfluss geblieben.

Concentrirte kalte Schwefelsäure auf dies so vorbereitete Holz einwirken gelassen, löste dasselbe in kurzer Zeit fast vollständig; nur sehr geringe Spuren blieben zurück. An diesen konnten noch Markstrahlen wie Holzzellen wie Gefässe wahrgenommen werden, wenn auch nicht geleugnet werden kann, dass die Gefässe vorwiegend vorhanden waren.

Die Gefässe der Hölzer widerstehen demnach in der That der Einwirkung chemischer Agentien und namentlich zuletzt der Schwefelsäure kräftiger, als die übrigen Bestandtheile des Holzes, aber es gelingt nicht, sie vollkommen von Markstrahlen und Holzzellen zu befreien, rein darzustellen, und die Angabe Fremy's, „die Gefässe wären unlöslich in Schwefelsäure“, ist unrichtig.

Fremy's Untersuchungen haben sich, einseitig genug, nur auf die Hölzer erstreckt, wenn aber seine neuen Namen, die er für die Wissenschaft erobert, allgemeine Geltung im Pflanzenreiche haben sollten, so musste doch auch das Verhalten der Zellen und Gefässe saftiger Pflanzentheile studirt werden. Da zeigen sich nun ganz andere Verhältnisse. —

Wenn man fleischige Wurzeln (z. B. *Daucus Carota*) oder Blätter in oben angegebener Weise mit Kalilauge und Salzsäure behandelt, und dabei besonders die concentrirte rohe Salzsäure drei auch vier Tage einwirken lässt, so erscheint der grössere Theil der Schnitte gelöst; der zurückbleibende Rest besteht ganz allein aus Gefässen, ich habe sie mit wenigen Ausnahmen ganz rein, ohne eine Spur anhängender Zellen gefunden. Sie finden sich

etwas braun gefärbt, hin und wieder mehr oder weniger tief eingeschnürt, manchmal zum Theil wohl auch schon der zerstörenden Kraft der Salzsäure erlegen; aber die Möglichkeit ist doch vorhanden, auf diesem Wege die Gefässe rein darzustellen, und wenn man wollte, könnte man diesen Umstand als eine Bestätigung der Fremy'schen Theorie ansehen. Jedoch es finden sich andere Verhältnisse, die gerade das Gegentheil darthun. Behandelt man solche Schnitte aus fleischigen Pflanzentheilen mit Kupferoxyd-Ammoniak, so quellen die Gefässe auf — bei den Hölzern nicht; unterwirft man nun zuvor die Schnitte der Einwirkung von Kalilauge und Salzsäure selbst nur im verdünnten Zustande, so lösen sie sich, Gefässe wie Zellen, in Cuoxam, ohne irgend einen Rückstand zu hinterlassen, auf — die Bestandtheile der Hölzer verhalten sich ganz anders. Wie schnell lösend Schwefelsäure wirkt, brauche ich kaum zu erwähnen; Jeder, der sich dieser Säure einmal als Reagens unter dem Mikroskope bedient hat, kennt die oft nur zu schnelle Wirkung.

Das sind aber Unterschiede, die sich zwischen Gefäss und Gefäss zeigen, welche viel bedeutender sind, als diejenigen, die man zwischen Holzzelle und Holzgefäss wahrnehmen kann. Ich muss diesen Umstand als ein wesentliches Moment betrachten, das auf das Bestimmteste gegen Fremy spricht.

Lässt man auf die mit Kalilauge und Salzsäure behandelten Holzschnitte sofort concentrirte Schwefelsäure ohne vorhergegangene Behandlung mit Kupferoxyd-Ammoniak einwirken, so zeigen sich interessante Verhältnisse, die, soviel mir bekannt, noch nicht beobachtet und die ich deshalb hier nicht unerwähnt lassen kann, obgleich die daraus folgenden Schlüsse nur eine Reihe bereits bekannter Thatsachen bestätigen.

Nach 12stündiger Einwirkung (auch noch nach 24 Stunden) erwies sich auch hier der nicht gelöste Rückstand grösstentheils aus Gefässen bestehend, obgleich auch Holzzellen noch reichlich vertreten und auch Markstrahlen vorhanden waren. Eigenthümlich und bemerkenswerth ist aber die Art und Weise der Einwirkung der Schwefelsäure. Dieselbe löst nämlich die Holzzellen wie die Gefässe von Aussen nach Innen und zwar der Reihe nach Verdickungsschicht um Verdickungsschicht, so dass zuletzt nur die innerste Zellenmembran, welche, wie schon lange nachgewiesen, die Porenkanäle auskleidet, zurückbleibt. Sie erscheint nur ein

wenig zusammengeschrumpft, so dass ihr Durchmesser, mit dem Durchmesser des Lumens der Holzzellen, die nicht der Einwirkung von Schwefelsäure ausgesetzt gewesen, verglichen, etwas geringer ausfällt. Die Zellen waren meist bräunlich gefärbt, zum Theil zeigten sie sich aber farblos und äusserst durchsichtig.

Bei der Behandlung von Kiefernholz auf dieselbe Weise traten an den Holzzellen auch ähnliche Erscheinungen ein, wenngleich nicht so ausgeprägt, wie dies bei Eichenholz und besonders bei Buchenholz der Fall war; auch war hier die Zellenmembran meist stark braun gefärbt, mitunter fast schwarz und undurchsichtig, wahrscheinlich in Folge nach der Behandlung mit Kalilauge und Salzsäure zurückgebliebener Harzbestandtheile.

Ich habe die Zellen häufig noch dicht neben einander liegend gefunden, wie sie im ursprünglichen Zustande gelegen hatten. Die einzelnen Porenkanäle dieser Zellen entsprachen einander, wie dies ja als gesetzmässig bekannt; nur die Intercellularsubstanz, die primäre Zellenmembran und die grösste Anzahl der Verdickungsschichten waren verschwunden — die Zellen zeigten sich gleich einem Säckchen mit regelmässigen zackenartigen Auswüchsen.

Schacht hat etwas ganz Aehnliches an einem fossilen Leguminosenstamm beobachtet und ich verweise auf die bei dieser Gelegenheit von Schacht gegebene Abbildung*), die sehr gut das von mir Beobachtete verdeutlicht.

Wie die Holzzellen, so verhielten sich auch die Gefässe. Da, wo dieselben in einer passenden Stellung lagen, konnte man äusserst deutlich die trichterförmigen Tüpfelkanäle und den dazwischen liegenden Tüpfelraum oder vielmehr das den Tüpfelraum auskleidende Häutchen wahrnehmen, während die primäre Zellenmembran und alle Verdickungsschichten bis auf die jüngste Bildung vollkommen gelöst waren; es beweist also auch die Beobachtung die Richtigkeit der Behauptung, dass der Tüpfelraum von einem selbständigen Häutchen ausgekleidet wird.

Den Versuch Schacht's nachzumachen, dürfte nicht leicht Jedermann im Stande sein; nach der hier angegebenen, leicht zu wiederholenden Methode ist aber Jeder auf eine einfache Weise in den Stand gesetzt, sich selbst von der Anwesenheit eines den Tüpfelraum auskleidenden Häutchens, wie einer innersten Zellen-

*) Schacht, Anatomie u. Physiologie der Gewebe. I. p. 27.

membran, welche in die Poren dringt und ein vollkommen geschlossenes Säckchen bildet, zu überzeugen.

Man könnte sich verwundern, dass diese innerste gewöhnlich als zartes Häutchen beschriebene Verdickungsschicht der Einwirkung der Schwefelsäure länger widerstehen soll, als die anderen älteren Verdickungsschichten und die primäre Zellenmembran. Es bestätigt sich eben nur durch diese Beobachtung eine ganze Reihe anderer Beobachtungen, die über diesen Gegenstand bereits veröffentlicht worden sind.

Die innerste, zuletzt angelegte Membran ist in der That nicht so zart, wenigstens nicht zarter als die übrigen Verdickungsschichten, was schon der Umstand beweist, dass Schacht sie noch bei geeigneter Behandlung im Braunkohlenholz auffinden konnte. Diese innerste Membran ist auch nicht aus einem anderen Stoffe zusammengesetzt, wie man vielleicht annehmen könnte, sondern alle Erscheinungen deuten darauf hin, dass sie sich von den anderen Verdickungsschichten nur durch die Abwesenheit der inkrustirenden Substanz unterscheidet. Es scheint mir aber auch in dem Verhalten der Schwefelsäure eine Andeutung zu liegen, dass die inkrustirende Substanz keine Secretion der Zelle ist (wenigstens nicht ausschliesslich), sondern dass hauptsächlich eine stetige, allmälige Umwandlung der Zellensubstanz zu Grunde liegt. Die Cellulose würde demnach in den älteren Verdickungsschichten eine beständige Abnahme erleiden.

Wenn nun das Umwandlungsproduct, die inkrustirende Substanz durch chemische Agentien aus den Zellschichten entfernt werden, so ist es klar, dass diese dann der Einwirkung der Schwefelsäure weniger widerstehen werden als die jüngste, aus reiner, dichter Cellulose bestehende Bildung. Dass letztere in Schwefelsäure schliesslich nicht unlöslich, habe ich bereits bemerkt. Dass ausser diesen Umwandlungsproducten auch wirkliche inkrustirende, ausserhalb der Zellenmembran gebildete und dieser nur infiltrirte Substanzen vorkommen können und auch wirklich vorkommen, brauche ich kaum zu erwähnen.

Als eine unmittelbare Folgerung aus dieser Wirkungsweise der Schwefelsäure ist zu schliessen, dass die Verdickungsschichten nicht parallel der primären Zellenmembran angelegt werden können, sondern dass sich Kreissegmente bilden, die von einem Punkte der primären Zellenmembran ausgehen und stets wieder zur primären Zellenmembran zurückkehren. Es lassen sich übrigens diese halbkreisförmige

migen Verdickungen auch direct beobachten, indem man nicht allzu selten Zellen finden kann, wo die Schwefelsäure zwei und drei Schichten unaufgelöst zurückgelassen hat. Da, wo sie die Porenkanäle bilden, sind sie von fast unmessbarer Zartheit, dicker nach dem Innern der Zelle zu werdend. Auch der Umstand, dass sich die Porenkanäle nach Innen zu häufig trichterförmig erweitern, würde mit dieser Darstellungsweise gut übereinstimmen. —

Wollte man aber mit Fremy die inkrustirende Substanz leugnen, so würde keine oder nur eine sehr gezwungene Erklärung der angeführten Beobachtung möglich sein. Man wäre genöthigt, jenem innersten Häutchen eine hervorragende Festigkeit und Widerstandskraft gegen die Schwefelsäure zuzusprechen, wozu durchaus keine Veranlassung vorhanden. Dadurch würde aber auch der Zelle eine vitale Kraft untergelegt werden, die sie durchaus nicht besitzt, nämlich die, zu verschiedenen Zeiten ihres Lebens nach einer Art Selbstbestimmung verschiedene Produkte hervorzubringen. Die Zahl und Mächtigkeit der Verdickungsschichten sind in denselben Organen oft in dicht neben einander liegenden Zellen nicht unbedeutend verschieden. Wollte man der innersten Schicht besondere Eigenschaften zulegen, so müsste man an eine Prädestinationsfähigkeit der Zelle glauben, mit deren Hülfe es ihr möglich wäre, vorher zu bestimmen, wann die Zeit der letzten Verdickungsschichtbildung herangekommen. Das führt aber ad absurdum.

Die Zelle wird so lange thätig sein, als das Organ, dem sie angehört, seine Function zu erfüllen hat. Die Saftströmung, der endosmotische Prozess, dürfte aber nicht vollkommen gleichmässig durch sämtliche Zellen des Organs und zu allen Zeiten stattfinden und hierin würde dann wohl die Ursache der Verschiedenheiten in der Bildung von Zahl und Mächtigkeit der Verdickungsschichten zu suchen sein.

Einen Beweis für die Richtigkeit obiger Behauptung liefert auch die Schwefelsäure in einer anderen Weise angewendet, nämlich auf die rohen Holzschnitte, die noch keiner anderweitigen Behandlung mit Reagentien unterworfen.

Hier erfolgt die Auflösung nie von Aussen nach Innen, sondern immer von Innen nach Aussen, so dass zuletzt, bei geeigneter sorgfältiger Behandlung, ein Netzwerk der primären Zellenmembran, welche hier der Schwefelsäure am längsten widersteht, zurückbleibt, selbstverständlich zugleich mit der verkittenden Intercellularsubstanz; auch dies wird sich nur zwanglos erklären lassen, wenn

man bei der Annahme der inkrustirenden Substanz stehen bleibt. Diese würde dann in der concentrirten Schwefelsäure gleich der Intercellularsubstanz schwierig löslich sein und die Cellulose der Verdickungsschichten, namentlich aber der primären Zellenmembran, vor der Einwirkung der Schwefelsäure mehr oder weniger schützen. Die Umwandlung der Cellulose wird im Allgemeinen mit dem Alter der Verdickungsschichten abnehmen, die jüngste Bildung aus reiner Cellulose bestehen, die älteste, d. i. die primäre Zellenmembran am meisten von dem Umwandlungsprodukt durchdrungen sein und daher der Schwefelsäure am kräftigsten widerstehen.

Was nun die Paracellulose betrifft, unter der Fremy die Membran der Markzellen, Markstrahlzellen und anderer schlauchartiger Gewebe begreift, so richtet sich, abgesehen von der Unbestimmtheit des letzteren Ausdrucks, die Sache auch in Hinsicht auf Fremy's Charakterisirung nach dem Vorhergehenden von selbst.

Will Fremy Alles das „Paracellulose“ nennen, was sich in Kupferoxyd-Ammoniak nicht unmittelbar löst, dagegen in Schwefelsäure und Kalilauge löslich ist, so gehörten, wenn wir auf die Anschauungen Fremy's eingehen wollten, der grösste Theil der Membranen im Pflanzenreich hierher und die wahre Cellulose wäre nur sehr schwach vertreten, denn die Zahl der Zellen, deren Membran sich unmittelbar in Cuoxam löst, ist verhältnissmässig sehr klein, meist erfolgt nur ein Aufquellen und erst nach vorangegangener Einwirkung gewisser chemischer Agentien werden die Membranen löslich. Die Art der Reagentien und die Intensität der Einwirkung, welche nöthig ist, um den gewünschten Erfolg hervorzubringen, ist aber, wie ich auch schon angegeben, in den verschiedenen Organen der Pflanze äusserst verschieden, wodurch unter allen Umständen eine scharfe Trennung unmöglich gemacht wird; oder man müsste so viele neue Namen schaffen, als verschiedene Gewebe im Pflanzenreich vorkommen und noch mehr.

Wir hätten nun noch die Einwirkung der Kalilauge, wodurch nach Fremy eine Auflösung der Markstrahlen und Gefässe und vollkommene Isolirung der Holzzellen hervorgerufen werden soll, zu untersuchen.

Holzschnitte von verschiedenen Nadel- und Laubbölzern (namentlich von Kiefern- und Eichenholz, welche Fremy bei seinen Versuchen anführt) wurden mit Kalilauge (ein Theil geschmolzenes Aetzkali in $1\frac{1}{2}$ Theile Wasser gelöst) anhaltend gekocht, einige Tage bei einer Temperatur von $30 - 35^{\circ}$ C. digerirt und zuletzt wiederum

gekocht. Durch diese Operationen waren ungefähr $\frac{2}{3}$ des Wassers, wie eine nachträgliche alkalimetrische Prüfung ergab, verdampft, so dass also zuletzt eine Lösung von 1 Theil Aetzkali in $\frac{1}{2}$ Theil Wasser eingewirkt hatte.

Die anatomische Untersuchung ergab nun allerdings, dass die Gefässe der Laubhölzer theilweise verschwunden waren; d. h., sie zeigten sich eigentlich mehr zerrissen und die Gefässmembran erschien zum Theil übereinandergeschlagen. Es möchte sich schwer beweisen lassen, ob da, wo die Gefässmembran gänzlich zu fehlen schien, eine wirkliche Auflösung derselben durch die Kalilauge stattgefunden oder ob nur in Folge deren Einwirkung die Membranen erweicht, durch das Kochen zerrissen worden und schliesslich, wie dies an einigen Stellen auch unzweifelhaft stattgefunden, sich übereinandergeschlagen und zurückgelegt hatten. Eine theilweise Lösung der Gefässe ist mir übrigens auch unter den angegebenen Umständen nicht durchaus unwahrscheinlich, da durch noch stärkere Concentration der Lauge eine solche in der That erfolgt, wie ich sogleich näher angeben werde. Sicher ist jedoch, dass auch durch das anhaltendste Kochen bei der oben bezeichneten Concentration der Lauge eine vollständige Auflösung der Gefässe nicht erfolgt; immer zeigen sich an den Seitenwandungen die zerrissenen, unregelmässig zerschlitzen Reste der Gefässmembran.

Besteht nun für diese letzteren in der That ein, wenn auch nicht ganz unzweifelhaftes Wirken der Kalilauge, so muss für die Markstrahlen jede Einwirkung der Lauge bestimmt verneint werden. Dieselben verhielten sich den Holzzellen vollkommen gleich, sie widerstanden der Einwirkung der Lauge auf das heftigste und zeigten durchaus keine Veränderungen in ihrer Structur und zwar dies gleichmässig bei Hölzern mit und ohne Gefässe.

Die Intercellularsubstanz wurde allmählig gelöst, so dass bei gelindem Druck auf das Deckgläschen die einzelnen Zellen der Markstrahlen sowie der Holzzellen sich mehr oder weniger vollkommen von einander trennten. Wurden die so mit Kalilauge behandelten Schnitte mit Wasser und Alkohol gut ausgekocht und der Einwirkung von concentrirter Salzsäure zuerst bei einer Temperatur von 30° C., zuletzt bei anhaltender Siedhitze unterworfen, so löste sich das Holz gleichmässig zum grössten Theil auf, nur verhältnissmässig geringe Spuren blieben zurück; aber an diesen, in Folge des weit vorgeschrittenen Verkohlungsprozesses, zum

Theil fast undurchsichtigen Resten konnten noch ebenso Markstrahlen wie Holzzellen und sogar noch, wenn auch geringe, Reste von Gefässen nachgewiesen werden. Es blieb kein Zweifel, die Lösung der einzelnen Bestandtheile des Holzes war in ganz gleichem Maasse vor sich gegangen.

Wenn das Eindampfen der Kalilauge mit den betreffenden Holzschnitten aber so lange unter anhaltendem Kochen fortgesetzt wurde, bis sich bereits ein grosser Theil des Aetzkali in fester Form abgeschieden, so waren in der darauf folgenden anatomischen Untersuchung nur in einzelnen Fällen noch Reste der Gefässmembran zu sehen, im Allgemeinen mussten sie als gelöst betrachtet werden.

Es war klar, die Membran der Gefässe war der Zerstörung durch die Kalilauge früher verfallen als die der Holzzellen. Wenn somit in dieser Beziehung die Beobachtung Fremy's richtig ist, so muss ich ihm doch bestimmt entgegen treten, wenn er meint, die Holzzellen wären zu der Zeit, wo die Gefässe bereits aufgelöst, von der Kalilauge noch unverändert. Das war nie der Fall, sondern sie zeigten sich stets mehr oder weniger aufgequollen, dagegen konnte ich, wie gesagt, in keinem Falle beobachten, dass die Markstrahlen früher als die Holzzellen der Einwirkung der Kalilauge unterlegen wären, selbst dann nicht, als die Holzschnitte mit der Kalilauge bis zur Trockene abgedampft wurden; beim Schmelzen mit dem trockenen Kali geschah die Lösung oder vielmehr Umwandlung beider gleichmässig.

Fremy rechnet die Membran der Markstrahlzellen mit den Markzellen zu seiner „Paracellulose“. Es bestehen aber zwischen beiden ebenso bedeutende Verschiedenheiten, wie zwischen den Membranen der übrigen Organe der Pflanzen überhaupt, selbst bei verschiedenen Pflanzenfamilien.

Zu vergleichenden Versuchen benutzte ich hauptsächlich das Mark von *Sambucus nigra*. Dies zeigte sich nun offenbar in Schwefelsäure z. B. leichter löslich als die Markstrahlzellen der Coniferen, desgleichen in Kalilauge, obgleich es von diesem Reagens viel schwieriger angegriffen wurde als das Parenchymgewebe einjähriger Pflanzen. Eine vollkommene Lösung in Kalilauge fand erst durch Verdampfen bis fast zum Erstarren der Lauge nach dem Erkalten statt. Auch für die Löslichkeit in Kupferoxyd-Ammoniak finden sich Unterschiede: die Markstrahlzellen im Allgemeinen lösen sich erst nach vorangegangener Behandlung mit

chlorsaurem Kali und Salpetersäure, die Markzellen schon nach aufeinanderfolgender Einwirkung von Kalilauge und Salzsäure.

Die Markzellen verschiedener Pflanzen verhalten sich keineswegs gleich, so z. B. werden die stark verdickten Markzellen von *Hoya carnosa* von der Schwefelsäure weit schwieriger angegriffen als die schwach verdickten Markzellen von *Ribes* oder *Sambucus*; jene nähern sich in ihrem Verhalten zu Reagentien überhaupt mehr den Holzzellen.

Schon beim Erhitzen der Holzschnitte mit Kalilauge von der zuerst angegebenen Concentration wurde die Verbindung der Zellen untereinander so gelockert, die Intercellularsubstanz soweit gelöst, dass ein gelinder Druck auf das Deckgläschen hinreichte, um die einzelnen Zellen von einander zu trennen. Wird aber die Kalilauge durch Abdampfen gehörig concentrirt, so trennen sich die Zellen unmittelbar und man erhält unter dem Mikroskop ein Gewirr von isolirten Holzzellen, die bei nicht sorgfältiger Untersuchung ohne jede Beimischung von Markstrahlzellen und Gefässen, wie es nach Fremy auch geschehen soll, als vollständig von diesen beiden Bestandtheilen des Holzes befreit erscheinen. Es erhellt aber bei genauerer Betrachtung, dass die Markstrahlzellen keineswegs gelöst, sondern nur in Folge der Auflösung der Intercellularsubstanz entfernt und oft nicht gleich wahrnehmbar im Gesichtsfelde des Mikroskops sind; die Reste der Markstrahlzellen kann man noch häufig genug an den einzelnen isolirten Holzzellen wahrnehmen und gelingt es, einen Schnitt auf den Objectträger zu bringen, dessen Zellen noch nicht aus ihrem gegenseitigen Verbande gelöst sind, so sind die Markstrahlen sogar ihrem ganzen Verlaufe nach vorhanden; ein geringer Druck auf den Objectträger genügt aber, die Zellen auseinander zu treiben, die einzelnen Markstrahlzellen verschwinden unter dem Haufen der Holzzellen und sind nur noch in Resten hin und wieder auf isolirten Holzzellen zu erkennen.

Somit glaube ich zu der Behauptung berechtigt zu sein, dass durch Behandlung mit Kalilauge eine Reindarstellung der Holzzellen nicht möglich ist.

Das Verhalten der Gefässe zur Kalilauge, welches allerdings für die Ansicht Fremy's zu sprechen scheint, erklärt sich, wie ich glaube, einfach durch sich selbst, wenn man berücksichtigt, dass die weiten Gefässe den verhältnissmässig schmalen Holzzellen gegenüber der Einwirkung der Aetzlauge eine viel grössere Fläche

darbieten und dass ferner die zahlreichen und weiten Poren der Gefässe die Absorbition resp. Umwandlung der Gefässmembran wesentlich begünstigen müssen. Und in der That nur bei Hölzern, welche sehr weite Gefässe enthalten, wie dies bei der Eiche der Fall ist, an der ja auch Fremy seine Hauptversuche gemacht, kann die Auflösung der Gefässmembran vollständig beobachtet werden, viel weniger ist dies schon bei der Buche, Erle, Birke der Fall und da, wo die Gefässe verhältnissmässig schmal sind, wie z. B. im Hoize von Ribes-Arten, ist kaum eine hervorragende Einwirkung auf die Gefässmembran wahrzunehmen.

Das wäre die Wiederholung der Untersuchungen Fremy's. — Das Resultat ist fast durchgehends ein so negatives gewesen, dass schon allein durch den Ausfall dieser Untersuchungen ein Urtheil über die Fremy'sche Anschauungsweise gefällt scheint.

Jede neue Theorie, selbst wenn sie nicht im Stande ist, die alten Anschauungen zu erschüttern oder gar zu verdrängen, hat wenigstens stets den Vortheil für die Wissenschaft, dass sie gewöhnlich eine Anzahl Untersuchungen hervorruft, die oft nicht unwesentlich dazu beigetragen haben, unseren Gesichtskreis zu vergrössern und auf Grund dieser die alte Theorie selbst in Einzelheiten weiter auszubauen. Diese Folgen scheinen mir auch aus den Untersuchungen Fremy's hervorzugehen; in mir wenigstens haben sie die Ueberzeugung hervorgebracht, dass das abweichende Verhalten, welches die Membranen verschiedener Gewebe bei der Behandlung mit chemischen Agentien zeigen, keineswegs allein die Folge der inkrustirenden Substanz sein kann. Es bestehen Verschiedenheiten, die durch jene Substanz nicht oder nur gezwungen erklärt wurden, wenn dieselben auch nicht so scharf begrenzt und charakterisirt sind, so durchgreifend für bestimmte Pflanzenorgane oder Gewebe, um die Annahmen Fremy's, die Aufstellung einer Anzahl neuer Namēn, zu rechtfertigen.

Ehe ich aber zu einer umfassenden Schlussbetrachtung übergehe, habe ich noch die Wirkungsweise einiger anderen Agentien, die sich zu den Membranen der Gewebe ebenso verschieden verhalten, wie die von Fremy angegebenen, zu erwähnen. Ich meine die Chromsäure und das sogenannte Schultze'sche Macerationsverfahren. —

Chromsäurelösung (1 Theil krystallisirte Chromsäure in 4 Theilen destillirtem Wasser gelöst) bewirkt, wie bekannt, ähnlich wie die Schwefelsäure eine vollkommene Lösung der Cellulose,

doch zeigen sich einige Unterschiede, wie wir sehen werden. Auch die Einwirkung der Chromsäure auf die verschiedenen Gewebe in der Pflanze ist nicht gleichmässig. Bei den Holzgeweben werden zuerst die Gefässe gelöst, dann erst die Holzzellen und Markstrahlen, wobei der Lösung ein Aufquellen der Wandung vorhergeht, namentlich bei den Holzzellen ist dieses zu beobachten, weniger bei den Markstrahlzellen; die Porenkanäle werden dabei immer kleiner und verschwinden endlich ganz. Wenn aber auch die Gefässe durch die Chromsäurelösung leichter angegriffen werden als die Holzzellen etc. (wie ich glaube aus demselben Grunde, den ich oben bei der Kalilauge angegeben habe), so geschieht dies doch nicht in dem Maasse, dass dadurch eine Trennung der Membransubstanz der Gefässe von der, welche Holzzellen und Markstrahlzellen zusammensetzt, bewirkt werden könnte. Eine bedeutendere Verschiedenheit in der Einwirkung findet aber bei fleischigen Pflanzentheilen statt; da werden die weniger verdickten Parenchymzellen viel schneller gelöst als die Gefässe und bei vorsichtiger Verdünnung mit Wasser im geeigneten Augenblicke gelingt es, die Gefässe oder wenigstens einen Theil derselben von den übrigen das betreffende Organ zusammensetzenden Zellen zu trennen. Vollständig ist jedoch auch diese Trennung nicht möglich; immer wird entweder schon ein Theil der Gefässe mit in Lösung gegangen oder im anderen Falle ein Theil des Parenchymgewebes mit zurückgeblieben sein.

Der Schwefelsäure gegenüber besteht das abweichende Verhalten der Chromsäurelösung darin, dass letztere in allen Fällen zuerst die Intercellularsubstanz und auch die inkrustirende Substanz löst, ehe sie die primäre Zellenmembran und die Verdickungsschichten angreift, während die Schwefelsäure, wenn sie unmittelbar angewendet wird*), bekanntlich zuerst die Cellulose löst und dann erst die Intercellularsubstanz.

Es zeigen sich in Folge hiervon unter dem Mikroskop zwei gänzlich verschiedene Erscheinungen in der Einwirkung dieser beiden Säuren auf die Membran der Pflanzenzellen.

Man verfolgt die Einwirkung am besten bei den verdickten Parenchymzellen oder Gefässen des Holzes. Bei der Schwefelsäure geschieht die Wirkung vom Innern der Zelle nach Aussen;

*) Lässt man die Einwirkung von Kalilauge und Salzsäure vorangehen, so verhält sie sich, wie ich oben angegeben, anders.

im günstigen Falle gelingt es, die Verdickungsschichten so zu entfernen, dass allein die primäre Zellenmembran zurückbleibt, und da, wo die Intercellularsubstanz entwickelter ist, sogar auch die primäre Zellenmembran zu lösen, so dass sich nur ein Netzwerk von Intercellularsubstanz zeigt. Schwefelsäure ist deshalb nicht geeignet, beim Studium der Strukturverhältnisse der Gewebe und namentlich der Verdickungsschichten angewendet zu werden. Bei der Chromsäure dagegen erfolgt die Auflösung von Aussen nach Innen. Zuerst treten die Verdickungsschichten und Porenkanäle äusserst deutlich hervor, es ist, als wenn ein Schleier von ihnen hinweggezogen würde; die Verdickungsschichten zeigen sich dunkelbraun gefärbt und von einander scharf abbegrenzt, die einzelnen Schichten, stets von ungleicher Mächtigkeit, werden von einander durch einen sehr schmalen Raum getrennt, aus dem offenbar durch die Chromsäure eine Substanz entfernt worden, welche die Verbindung der Schichten miteinander vielleicht ebenso vermittelt, wie die Intercellularsubstanz die Verbindung der Zellen untereinander. Sicher ist, dass diese Substanz, welche neben den die Membranen durchdringenden Stoffen (den eigentlichen inkrustirenden Stoffen) bestehen muss, und die Schichten allseitig umgiebt, die Sichtbarkeit derselben in den meisten Fällen verhindert; die Schichten treten hervor, sobald diese Substanz durch Kalilauge, Chromsäure oder das Schultze'sche Macerationsverfahren entfernt worden ist.

Zu gleicher Zeit wird aber auch die Intercellularsubstanz gelöst, die Zellen fallen bei einem gelinden Druck auf das Deckglas auseinander. Die Chromsäure ist in Folge dieses Verhaltens ein ausgezeichnetes Mittel zum Studium der Holzgewebe, sie übertrifft in ihrer Wirkung die Kalilauge wie das Schultze'sche Macerationsverfahren und ist ausserdem in ihrer Anwendung ungleich bequemer, da sie keine Erwärmung beansprucht.

Durch Abspülen mit Wasser, vielleicht mittelst einer kleinen Spritzflasche, hat man es in seiner Gewalt, diese eben angegebene Einwirkung der Chromsäure in einem beliebigen Stadium zu fixiren, der schliesslichen Auflösung der Zellen vorzubeugen. Diese Auflösung der Zellen erfolgt dann bei gehöriger Einwirkung der concentrirten Lösung stetig von Aussen nach Innen, wobei jedoch nicht wie unter früher bezeichneten Umständen bei der Schwefelsäure die äusseren Verdickungsschichten schneller als die innerste Zelle und Poren auskleidende Membran aufgelöst werden. Bleiben wir bei der Anschauung stehen, dass die Zellenmembranen wäh-

rend ihres Vegetationsverlaufes und je nach ihren physiologischen Functionen eine allmälige Veränderung erfahren, so scheint demnach die Chromsäure gleichmässiger als die Schwefelsäure auf die unveränderten und veränderten Schichten der Zelle zu wirken.

Behandelt man die Holzschnitte erst mit Kalilauge und heisser Salzsäure, ehe man sie der Einwirkung der Chromsäure unterwirft, so werden sämtliche Membranen der Zellen fast momentan gelöst und es lässt sich nicht entscheiden, ob die Wirksamkeit der Chromsäure eine ähnliche ist, wie die der Schwefelsäure unter denselben Umständen. —

Im Allgemeinen schliesst sich das Macerationsverfahren von Schultz in seiner Wirksamkeit dem eben Gesagten an, nur dass der Gegensatz zur Wirksamkeit der Schwefelsäure hier noch entschiedener hervortritt als bei der Chromsäure. Zuerst wird die inkrustirende Substanz (anorganisch) und der Holzstoff, worunter ich hier vorläufig jede durch einen Umwandlungsprozess der Cellulose entstandene und die Membran durchdringende oder umgebende Substanz verstehen will, entfernt — die Schichtungen treten deutlicher hervor; bei weiterer Einwirkung wird die Inter-cellularsubstanz gelöst — die Zellen trennen sich von einander, zuletzt quellen die Verdickungsschichten auf und lösen sich, und zwar ziemlich gleichmässig, dagegen widersteht die äussere primäre Zellenmembran der Einwirkung etwas länger. Alle die Zustände kann man, bei genügender Vorsicht während des Erwärmens, von einander getrennt, genau wahrnehmen.

Die Elemente des Holzes verhalten sich ziemlich gleich, Holzparenchym und prosenchymatische Holzzellen wie Markstrahlen und Gefässe unterscheiden sich nicht von einander; nur die sehr weiten Gefässe der Hölzer scheinen etwas eher der Einwirkung des Reagens zu unterliegen, jedenfalls wohl auch aus demselben Grunde, den ich bei der Kalilauge angegeben. Bei *Pinus silvestris* werden übrigens ausnahmsweise die Markstrahlencellen, welche sich durch einen grossen Tüpfel auszeichnen, früher gelöst als die Holzzellen, was wohl durch eben diesen Tüpfel, der sich in den Zellen vorfindet, bedingt sein dürfte, da die Markstrahlen, welche jenen grossen Tüpfel nicht besitzen, dafür aber mit eigenthümlichen, zierlichen Verdickungen versehen sind, sich ganz so wie die Holzzellen verhalten.

Auffallend erscheint für den ersten Blick, dass das Splintholz der Einwirkung des Reagens kräftiger widersteht als das Kernholz,

und ebenso weiches Holz kräftiger als hartes, wenigstens unter den Laubbäumen, das Holz der Coniferen wird allerdings fast am schnellsten gelöst. Noch anomaler scheint das Verhalten der einzelnen Bestandtheile des pflanzlichen Organismus, wenn man sie einer vergleichenden Untersuchung unterwirft.

Es zeigte sich nämlich, dass bei der Behandlung von Schnitten durch die verschiedenen Theile eines noch lebensfähigen Zweiges von *Fraxinus* mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure zuerst, wie zu erwarten stand, das Cambiumgewebe gelöst wurde, dann ziemlich gleichmässig Markstrahlen, Gefässe und Holzzellen und zuletzt merkwürdiger Weise das Mark. Dasselbe widerstand so bedeutend der auflösenden Wirkung des Reagens, dass es fast allein zurückblieb, alle übrigen Bestandtheile des Holzes waren gelöst bis auf einige isolirte Holzzellen, die der Einwirkung entgangen waren, vielleicht auch, dass die letzteren etwas widerstandsfähiger sind als Markstrahlen und Gefässe.

Noch auffallender ist der Unterschied, wenn man Schnitte durch das Mark von *Sambucus* z. B. gleichzeitig mit Schnitten eines Coniferen-Holzes dem Schultze'schen Mecerationsverfahren unterwirft; letztere lösen sich sehr bald auf, während das Hollundermark kaum angegriffen erscheint, ein längeres Kochen gehört dazu, um dasselbe in vollkommene Lösung überzuführen.

Es scheint mir für dieses von der Einwirkung anderer chemischer Agentien abweichende Verhalten nur folgende Erklärung vorhanden zu sein:

Das Macerationsverfahren wirkt, ehe es die Cellulose angreift, auf die durch einen Umwandlungsprozess aus der Cellulose entstandene Holzsubstanz (Xylogen) und auf die anderen die Membran durchdringenden organischen Stoffe ein. Die auf diese Weise verdünnte, gewissermaassen durchlöcherete Membran wird der weiteren Einwirkung des Reagens weniger widerstehen können als eine Membran, die eine solche theilweise Umwandlung in Holzsubstanz nicht erfahren, und besonders wenn letztere wie im Allgemeinen bei den Zellen des Markes, eine gewisse Festigkeit und Zähigkeit besitzt. Aus dem gleichen Grunde wird Splintholz oder weiches Holz, bei dem die Holzsubstanz noch nicht oder nur wenig entwickelt ist, schwieriger angegriffen werden als Kernholz und hartes Holz. Dass dagegen bei weichen grünen Pflanzentheilen das parenchymatische Gewebe schneller gelöst wird als die Gefässe, brauche ich kaum zu erwähnen.

Von den übrigen chemischen Agentien wirkt nur die Chromsäure ähnlich, wenn auch die Unterschiede nicht so scharf hervortreten als bei diesem Macerationsverfahren.

Ueberblickt man die ganze Reihe von Beobachtungen, die in dem Vorangehenden niedergelegt sind, so drängt sich vor Allem als Hauptresultat die Ueberzeugung auf, dass in der That Abweichungen in dem Verhalten der Pflanzenmembran gegen chemische Agentien vorkommen, welche sich nicht gut und zwanglos allein durch die sogenannte inkrustirende Substanz erklären lassen, dass aber diese Abweichungen sich durchaus nicht in so scharf bestimmten Grenzen darbieten, um, wie Fremy will, zu der Annahme verschiedener Arten von Cellulose zu berechtigen. Eine Paracellulose, Fibrose, Vasculose, d. h. isomere Modificationen von Cellulose, welche bestimmte Gewebe zusammensetzen und sich durch gewisse Reactionen wesentlich von einander unterscheiden sollen, können hiernach nicht als vorhanden angenommen werden.

Eine, nur einigermaassen eingehende Prüfung muss die Unbestimmtheit, Ungenauigkeit und theilweise Unrichtigkeit in den Angaben Fremy's darthun und Thatsachen, welche die Haltbarkeit seiner Behauptungen zur Unmöglichkeit machen, aufdecken. So verhalten sich beispielsweise die Markzellen verschiedener Pflanzen je nach ihrer Verdickung ganz abweichend zu den auflösenden Reagentien, ferner die verholzten Markstrahlzellen des Holztheiles des Gefässbündels ganz anders als die nicht verholzten Markstrahlzellen des Basttheiles; ebenso zeigen die Gefässe nicht verholzter Pflanzentheile im Verhältniss zu den verholzten Gefässen viel bedeutendere Abweichungen gegen Lösungsmittel, als z. B. die Holzzellen im Allgemeinen zu den Gefässen, ja selbst die grünen, noch Saft führenden Holzzellen werden von sämtlichen Reagentien viel leichter angegriffen als die todten Luft führenden Zellen.*) — Wenn aber so bedeutende Abweichungen in den Organen, deren Elementarbestandtheile nach Fremy dieselben sein sollen, je nach ihrem Vegetationszustand oder nach ihrer Ab-

*) Jugendliche Zellen schwellen bekanntlich im Wasser mehr oder weniger bedeutend auf; ihre spätere Festigkeit und Unlöslichkeit erhalten sie wohl jedenfalls durch eine allmälige Veränderung ihres Aggregationszustandes und neben diesem natürlich auch durch Verdickung und Inkrustation.

stammung vorhanden sind, wie kann da überhaupt von verschiedenen, ihrem Vorkommen im Pflanzenreich nach scharf abgegrenzt dastehenden Zellstoffarten gesprochen werden.

Ich sehe hier von der noch viel kühneren Behauptung Fremy's ab, nach welcher alle die Zellstoff-Modificationen ursprünglich mit den Organen, deren Elementarbestandtheile sie ausmachen, in der Pflanze auftreten sollen — die gänzliche Unmöglichkeit einer solchen Annahme habe ich bereits aus Gründen der Entwicklungsgeschichte dargethan; sie bestätigt sich auch dadurch, dass die jungen noch nicht verholzten Zellen sich physikalisch und chemisch wesentlich anders verhalten als die alten verholzten Zellen desselben Organs. —

Fremy stützt sich an einem anderen Orte*) noch auf einen Versuch, wonach Pflanzenmark durch längeres Kochen oder mehrstündiges Erhitzen auf 150° in Kupferoxyd-Ammoniak löslich werden soll. Bei Wiederholung dieses Versuches stellte sich heraus, dass Kupferoxyd-Ammoniak allerdings auf die so behandelten Markzellen stärker einwirkt, eine vollständige Lösung aber nicht stattfindet; die Wandung der Zellen erscheint nur beträchtlich aufgequollen. Wollten wir auch nun diesen Einwurf gelten lassen, so kann dies aber doch nur auf die unorganischen Bestandtheile der Membran, wie auch Fremy bemerkt, Bezug haben, die organischen Zwischenlagerungen und Umwandlungen, die doch von derselben vielleicht von noch bedeutenderer Wirkung für das Verhalten der Zellenmembran sind, werden davon nicht berührt und die können in der That durch das anhaltende Erhitzen eine Veränderung erlitten haben, welche die hervorragende Einwirkung des Kupferoxyd-Ammoniak wohl erklärlich machen dürfte.

Auch Pelouze**) scheint sich zu der Meinung Fremy's hinzuneigen. Er schliesst das wirkliche Vorkommen von verschiedenen Zellstoff-Modificationen aus dem Umstande, dass die aus ihrer Lösung in Kupferoxyd-Ammoniak gefällte Cellulose in Salzsäure viel leichter löslich ist, als die natürlich vorkommende, und dass ferner die mit schmelzendem Kali bei 150—190° behandelte Holzfaser in schwacher Kalilauge sich sehr leicht löst. Dies beweist allerdings, wie in Folge der Einwirkung chemischer Agentien Cellulose in isomere Modificationen übergeführt werden kann,

*) Compt. rend. T. 48, p. 358.

**) Compt. rend. T. 48, p. 210 et 327.

aber nicht das Vorkommen solcher Modificationen im Pflanzenorganismus selbst.

Trotzdem möchte ich in Anbetracht des beständigen Wechsels, welchem Zelleninhalt und Zellenhülle während des Lebensprozesses der Pflanze unterworfen ist, das Bestehen solcher Modificationen des Zellstoffs nicht unbedingt leugnen. Wenn Dextrin in Cellulose übergeht, Cellulose in Dextrin, Stärke in Cellulose oder Dextrin und umgekehrt etc., so lässt sich offenbar mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit annehmen, dass bestimmte Uebergangsstufen aus den in Wasser löslichen Verbindungen (Dextrin z. B.) in die unlösliche Cellulose vorkommen werden*). Diese Uebergangsformen aber feststellen, charakterisiren und sogar auf bestimmte Gewebe begrenzen zu wollen, das muss als ein nicht gerechtfertigtes und für die Wissenschaft nutzloses Unternehmen bezeichnet werden.

Sicher sind die Bedingungen, welche das abweichende Verhalten verschiedener Zellenmembranen in chemischer und physikalischer Beziehung veranlassen, sehr verschiedener Art.

Da ist zuerst der Feuchtigkeitsgehalt der Zellenmembran von grosser Bedeutung. Ich darf kaum daran erinnern, welchen Einfluss die Feuchtigkeit auf den Härtegrad und die Elasticität der Pflanzenzelle ausübt, aber auch auf das Verhalten des Zellstoffs zu seinen Lösungsmitteln ist der Feuchtigkeitsgehalt von entschiedener Wirksamkeit. Im Allgemeinen kann man sagen, dass alle saftführenden Zellen der Einwirkung chemischer Agentien geringeren Widerstand entgegensetzen als die ausgetrockneten, luftführenden derselben Art**). Auffallend tritt dies bei Kupferoxyd-Ammoniak heror: die noch Saft führenden Zellen der Hölzer quellen in diesem Reagens z. B. stets mehr oder minder auf, Schnitte dagegen von einem ausgetrockneten Holz zeigen kaum eine Quellung; lässt man solche Schnitte aber vorher von Wasser durchweichen, so bieten sich sogleich bedeutendere Quellungserscheinungen. (Vielleicht beruhen auf diesem Umstande auch die verschiedenen Re-

*) So ist sicher für die Samenschleime eine solche Modification der Cellulose anzunehmen. Cramer hält sie sogar für Cellulose selbst (drittes Heft der pflanzenphysiologischen Untersuchungen von Nägeli und Cramer). Dasselbe ist wohl auch bei der schleimgebenden Substanz der Algen (*Sphaerococcus crispus*) der Fall.

***) Das Macerationsverfahren von Schultz macht hier eine kleine Ausnahme, ich muss deshalb auf die betreffende Stelle meines Aufsatzes zurückweisen.

sultate, welche Cramer*) einerseits und Weiss und Wiesner**) andererseits bei der Behandlung der Hölzer mit Kupferoxyd-Ammoniak erhalten haben.

Ferner wichtig ist die Verdickung. Wer dürfte es nicht erklärlich finden, dass die zarten Membranen des parenchymatösen Bildungsgewebes z. B. leichter der auflösenden Kraft chemischer Agentien unterliegen, als die stark verdickten Bastzellen, Holz- zellen oder Gefässe, da erstere im Verhältniss zur Masse der Einwirkung einen viel grösseren Flächenraum darbieten.

Ausserdem ist der Aggregationszustand der Cellulose an und für sich bestimmt nicht überall gleich; die bedeutendere oder geringere Festigkeit der Membran wird auch nicht ohne Einfluss auf die Einwirkung der Reagentien bleiben.

Von bedeutender Wirkung muss auch die inkrustirende Substanz, sei sie nun organischer oder anorganischer Natur, sein; das sehen wir namentlich bei solchen Zellenmembranen, deren Gehalt an inkrustirender Substanz sehr bedeutend ist, so dass bei den verkiesten Zellen z. B. nach dem Glühen derselben ein vollkommenes Kieselskelet von der Form der Zelle zurückbleibt. Dass auch kohlsaurer Kalk in der Zellenmembran sich findet, ist bekannt; oxalsaurer Kalk ist kürzlich erst von mir in der Membran der Samenschopfhaare von *Asclepias*-Arten***) nachgewiesen worden. Um auch für die organischen Infiltrationen an ein Paar bekannte Beispiele zu erinnern, so erwähne ich der Stärke in den Zellen von *Cetraria islandica*, des hornartigen Albumens vieler Pflanzen (*Cyclamen*) des Embryo von *Schotia* etc.

Die Pektose in den Zellen der fleischigen Wurzeln und Früchte dürfte wohl eher als ein Umwandlungsprodukt der Cellulose, und nicht als Infiltration zu betrachten sein. Jedenfalls würden wir hier noch einige Stoffe mehr aufzuführen haben, wenn wir im Stande wären, Zelleninhalt und Zellenmembran gesondert der Analyse zu unterwerfen, oder wenn die mikrochemische Methode zuverlässiger und ausgebildeter wäre.

Die Angabe Fremy's, dass durch die inkrustirende Substanz die Löslichkeitsverhältnisse der Cellulose nicht wesentlich verän-

*) A. a. O.

**) A. a. O.

***) W. Kabsch, Ueber die Haare des Samenschopfes der *Asclepiadeen*. Bot. Zeitung, 1863. Nr. 5.

dert werden, muss hiernach entschieden zurückgewiesen werden. Aber auch physikalisch werden jene Stoffe die Zellenmembran verändern, sie im Allgemeinen härter, aber weniger elastisch machen.

Ausser dieser inkrustirenden Substanz sind auch die Umwandlungsprodukte der Cellulose und zwar von all den angegebenen Punkten am meisten zu berücksichtigen. Offenbar sind diese Umwandlungsprodukte nicht immer dieselben; schon Payen fühlte sich veranlasst, vier verschiedene Verbindungen, sämmtliche reicher an Kohlenstoff und Wasserstoff als die Cellulose, anzunehmen. Payen rechnet sie allerdings zu den inkrustirenden Substanzen, sie gehören aber sicher den Umwandlungsprodukten der Cellulose an. Die Zahl dieser Verbindungen ist aber noch viel mannigfaltiger als Payen angenommen; je nach dem Gewebe oder der Pflanze, von der sie abstammen, scheinen sie verschiedenen zu sein. Ja, ich glaube, es liegt sehr wohl die Berechtigung vor, anzunehmen, dass diese Umwandlungsprodukte zwar allerdings chemische Verbindungen sind, aber nicht von solcher Bestimmtheit, um ihre Zusammensetzung durch allgemein gültige Formeln wiedergeben zu können. Sie werden nicht nur bei verschiedenen Pflanzen, sondern im Pflanzenindividuum selbst je nach den Organen und dem Ernährungsverhältniss variiren.

Dass die Cellulose überhaupt chemischen Umwandlungen unterworfen ist, davon geben die Cuticularschichten, die Entstehung des Korkes, der Cuticula und wahrscheinlich auch der Inter-cellularsubstanz unwiderlegbar Zeugniß. Aber auch die von mir mitgetheilte Einwirkungsweise der Schwefelsäure muss hierfür als beweisend angesehen werden, und zwar speciell noch dafür, dass die sogenannte Holzsubstanz nur ein Umwandlungsprodukt der Cellulose ist und der inkrustirenden Substanz nicht beigezählt werden darf. Die Einwirkungsweise der Schwefelsäure war eine ganz verschiedene, je nachdem diese Umwandlungsprodukte durch vorgängige Behandlung mit Kalilauge und Salzsäure entfernt worden oder nicht. Infiltrirte, die primäre Zellenmembran nebst den Verdickungsschichten gleichmässig durchdringende Stoffe hätten ein solches Verhalten der Schwefelsäure nicht veranlassen können; in diesem Falle würden sicher die nach Entfernung der inkrustirenden Substanz zurückbleibenden Membranen gleichmässig und nicht in der oben beschriebenen Weise von dem Reagens angegriffen worden sein. Freilich wird man oft nicht bestimmt unter-

scheiden können, was zur inkrustirenden Substanz, die also ausserhalb der Zellenmembran entstanden und derselben nur infiltrirt ist und was zu den Umwandlungsprodukten der Zellenmembran selbst zu rechnen, doch dürfte die Mikrochemie, die uns jetzt noch im Stich lässt, dies bei weiteren Untersuchungen noch aufhellen. So glaube ich, dass die Pektose im Allgemeinen, schon der einzelnen Fälle wegen, wo sie die Intercellularsubstanz vertritt, ein Umwandlungsprodukt der Zellenmembran ist und derselben nicht bloss infiltrirt.

Wie dem aber auch sei, soviel steht fest, dass, wenn wir uns die Atome in der Zellenmembran selbst während des Lebensverlaufes der Pflanze in beständiger Bewegung denken, in einer chemischen Action, deren Produkte je nach dem Organe, der Pflanze, je nach dem Alter der Zelle und der Nahrung, die ihr geboten wird, verschieden ausfallen, so könnte man geneigt sein, jene allerdings oft bedeutenden Abweichungen der Zellenmembranen in chemischer und physikalischer Beziehung von diesen Verhältnissen allein abhängig zu machen.

Diese Abweichungen müssen aber erklärlich, selbstverständlich, ja unausbleiblich erscheinen, wenn wir auch die anderen oben angegebenen Punkte, welche entweder sämmtlich oder nur zum Theil ihren Einfluss geltend machen, berücksichtigen. Sicher haben wir nicht nöthig, zu der künstlichen durch keine beweisenden That-sachen gerechtfertigten Anschauungsweise Fremy's zu greifen.

Selbst für die Gewebe der Pilze und Flechten, für die man mit viel grösserem Recht schon von mehreren Seiten einen besonderen Elementarstoff geglaubt hat beanspruchen zu müssen, dürfte es schwer fallen, bestimmte allseitig durchgreifende Charaktere festzustellen. Aber eine sorgfältige Prüfung der verschiedenen Pilz- und Flechtengattungen mit denselben chemischen Reagentien würde, wie ich glaube, darthun, dass wenigstens für die grosse Mehrzahl derselben ein Elementarstoff vorhanden ist, der sich scharf von der Cellulose unterscheiden lässt.

Zürich, im Februar 1863.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1863

Band/Volume: [3](#)

Autor(en)/Author(s): Kabsch W

Artikel/Article: [Untersuchungen über die chemische Beschaffenheit der Pflanzengewebe mit Bezug auf die neuesten Arbeiten Fremy's über diesen Gegenstand. 357-399](#)