

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 105 (1954)
Heft: 2

Artikel: Die praktische Bedeutung der Forschung für die Zelluloseindustrie
Autor: Rutishauser, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766647>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 04.05.2025

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

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen Journal forestier suisse

105. Jahrgang

Februar 1954

Nummer 2

Die praktische Bedeutung der Forschung für die Zelluloseindustrie¹

Von Dr. M. Rutishauser, Attisholz

(33.32)

Die Produktion der freien Welt an Zellulose hat im Jahre 1951 die Rekordhöhe von 25 000 000 Tonnen (1, 14) erreicht. Davon wurden rund 85 % von der Papierindustrie aufgenommen, während der Rest als Rohstoff für die chemische Weiterverarbeitung diente. Um diese enorme Zellulosemenge herstellen zu können, wurden ca. 175 000 000 Ster Holz verarbeitet. Dies entspricht ungefähr $\frac{1}{10}$ des gesamten finnischen Waldbestandes oder 10 % der jährlichen Weltholzerzeugung. In der gleichen Zeit produzierte die Schweiz 88 467 Tonnen (wovon Attisholz 82 %) und benötigte dafür ca. 620 000 Ster. — Aus diesen Zahlen ist leicht ersichtlich, welche große Bedeutung der Wald für die Zelluloseindustrie, und umgekehrt, welche Wichtigkeit die Zellstoffindustrie mit all ihren Abnehmern für die Waldwirtschaft hat. Das ist der Grund, weshalb hier etwas über die uns beschäftigenden Probleme mitgeteilt werden soll.

Unsere Industrie ist relativ jung. Vor knapp 100 Jahren gelang es dem französischen Forscher P a y e n (11), Holz in seine Hauptkomponenten: Zellulose und Inkrusten, zu zerlegen. Man kann sich leicht vorstellen, welchen großen Einfluß die wissenschaftliche Forschung auf die sich in der Folge anbahnende Entwicklung der Zelluloseindustrie gehabt haben muß. Es ist erfreulich, daß die Schweiz, und in ganz besonderem Maße die Hochschulen von Zürich, sehr große und grundlegende Beiträge an diese aufklärenden Arbeiten geleistet haben. Man darf sicher ohne Überheblichkeit sagen, daß sich diese Tradition bis heute aufrechterhalten hat, indem gerade in den letzten Jahren hier in Zürich grundlegende Erkenntnisse auf dem Gebiete der Morphologie und Chemie des Holzes und seiner Nebenbestandteile erarbeitet wurden.

Wie auf andern Fachgebieten, zerfällt die Forschung auch hier in eine *Grundlagenforschung* und eine *Ziel- oder Zweckforschung*. — Die Grundlagenforschung war bis vor ungefähr 40 Jahren fast ausschließlich

¹ Nach einem Referat, gehalten am Vortragsabend der Forstabteilung der ETH, vom 14. Dezember 1953.

Sache der Hochschulinstitute. Man unternahm die Arbeiten im Bestreben, gewisse Grundlagen abzuklären und dadurch zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Die Ergebnisse wurden in der Regel in der Fachliteratur veröffentlicht und waren somit jedermann zugänglich. Mit dem raschen Aufblühen der Zelluloseindustrie in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts steigerte sich die Anzahl der Probleme so stark, daß sich die Hochschulinstitute unmöglich mit allen, zu deren Lösung notwendigen Arbeiten befassen konnten. So kam es in verschiedenen Staaten allmählich zur Gründung der sogenannten Zentrallaboratorien der Zellulose- und Papierindustrie. Solche Laboratorien existieren heute in Norwegen, Finnland, Schweden, England, den USA, Australien usw. Die Kosten dieser Zentrallaboratorien werden in der Regel von der Industrie und dem Staate gemeinsam getragen, wobei der Staat die Grundforschung, die Industrie die technische (Ziel-) Forschung finanziert. In vielen Fällen arbeiten diese Laboratorien eng mit Hochschulen zusammen und beteiligen sich auch am Unterricht. — Daneben gingen einzelne Zellulosekonzerne dazu über, eigene Forschungslaboratorien zu errichten. In vielen dieser Institutionen wird auch Grundlagenforschung betrieben, doch liegt der Hauptakzent selbstverständlich auf der *Zielforschung*. Während man von der Tätigkeit der Zentrallaboratorien in der Öffentlichkeit relativ viel und ausführlich hört, so hüllen sich die Forschungsstellen der einzelnen Fabriken meist in Schweigen. Die gemachten Anstrengungen sollen in erster Linie der Lösung eigener Probleme dienen, die eigene Leistungsfähigkeit steigern und nicht der Konkurrenz zugute kommen.

Im folgenden soll versucht werden, einiges über die Forschung und deren Auswirkung für die Entwicklung der Zelluloseindustrie mitzuteilen. Das Hauptgewicht wird dabei nicht auf irgendwelchen Details der Grundlagenforschung, sondern auf der Zielforschung liegen. Diese Forschungsart wird dort, wo man sie auf die Dauer mit Erfolg anwenden will, nach streng wissenschaftlichen Methoden durchgeführt!

Um die ganzen Zusammenhänge besser verstehen zu können, müssen die Anfänge der Holzgrundforschung kurz dargestellt werden, denn Holz ist heute noch unser Hauptausgangsstoff.

Zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts untersuchten die Franzosen Gay-Lussac und Thenard (7), und später die Deutschen Petersen und Schödlér (13) eine große Anzahl Hölzer auf ihren *elementaren Aufbau*. Es wurde dabei festgestellt, daß praktisch alle Hölzer etwa 50% Kohlenstoff und 6,1% Wasserstoff enthalten. Fast der ganze Rest, d. h. über 43%, entfällt auf Sauerstoff, und nur ganz geringe Anteile bestehen aus Stickstoff und mineralischen Substanzen (Asche). Diese relative Gleichheit verleitete zur Auffassung, daß Holz eine uniforme oder homogene Substanz sei. Obschon 1819 der Franzose Bracconnot (2) beobachtete, daß sich bei der Einwirkung von starker Schwefelsäure auf Buchenholzspäne die Holzsubstanz teilweise auflöste, blieb man bis zu den schon erwähnten Arbeiten von Payen (12), 1838, bei der irrtümlichen Ansicht, daß Holz ein chemisch einheitliches Material sei.

Payen behandelte verschiedene Hölzer mit Salpetersäure, Alkalien, Alkohol und Äther und bemerkte, daß sich gewisse Anteile des Ausgangsstoffes auflösten. In allen Fällen blieb eine mehr oder weniger feste Substanz zurück, welche immer die gleiche chemische Bruttoformel $C_6H_{10}O_5$ aufwies, d. h. mit Stärke isomer war. Payen studierte den Rückstand auch unter dem Mikroskop und stellte fest, daß es sich um eine Agglomeration von pflanzlichen Zellen handelte, und er prägte für den neuen Stoff, ausgehend von «la cellule», den Namen «Cellulose». Payen interessierte sich auch für den in Lösung gehenden Teil des Holzes und bemerkte dabei, daß sich dieser in der Elementaranalyse durch einen wesentlich höheren Kohlenstoffgehalt von der Zellulose unterschied. Der Forscher taufte diese neue Substanz, von welcher er annahm, daß sie die Zellulose *mechanisch* einhülle, auf den Namen «*matières incrustantes*». Fast gleichzeitig stellte der Deutsche Schleiden (16) eine spezifisch auf Zellulose reagierende Lösung her, indem er 66prozentiger Schwefelsäure 1% Jod beimischte. Dieses Reagenz färbte die von Payen isolierten Fasern wie gewöhnliche Zellulose blau an, während es mit dem ausgehenden Holz, und auch mit dem sogenannten Holzschliff, nicht reagierte. Diese Erscheinung betrachtete Payen als einen guten Beweis für die Richtigkeit seiner Inkrustierungstheorie. Es ist nicht weiter erstaunlich, daß die damals neue Theorie umstritten war. Während Erdmann (5) noch behauptete, daß Holz eine chemische Verbindung zwischen Zellulose und ihren Begleitstoffen sei, erkannte Schulze (17) als erster, daß die sogenannten Inkrusten für die Verholzung der pflanzlichen Zelle verantwortlich seien. Er prägte deshalb für die Inkrusten den Namen «*Lignin*». Nach weiteren jahrelangen Forschungsarbeiten, an denen sich zur Hauptsache deutsche und französische Gelehrte beteiligten, erkannte man allmählich, daß es verschiedene Zellulosen geben müsse. Aufbaumäßig bestanden wohl alle aus Polysacchariden, doch waren die einen Arten durch wässrige Säuren abbaubar, während die «richtige» Zellulose diesen Angriffen ziemlich starken Widerstand entgegensetzte. Schulze (18) war an diesen Arbeiten mitbeteiligt und schuf für die leicht hydrolisierbaren Anteile die neue Begriffsbezeichnung «*Hemicellulosen*». Er schlug auch vor, daß man unter eigentlicher Zellulose denjenigen Teil zu betrachten habe, welcher von verdünnten Säuren und Alkalien nicht angegriffen werde und erst durch energische Säurebehandlung zu (β - δ)-Glukose (Traubenzucker) abbaubar sei.

Man ist sich heute darüber einig, daß die damaligen Begriffe unklar waren; dennoch legten besonders die Arbeiten von Payen den Grundstein zur industriellen Zellulosefabrikation. Aufbauend auf Payens Bemühungen und weiteren Zielforschungsergebnissen des Engländers Watt, des Amerikaners Burgess und des Franzosen Mellier, wurde im Jahre 1860 in Royersford (Pennsylvania, USA) die erste Zellstofffabrik der Welt in Betrieb genommen. Die Inkrusten wurden in jenem Falle mit einer 5,5prozentigen Natronlauge durch sechsstündiges Kochen bei einer Temperatur von 150 ° C aus dem Holzverband herausgelöst. Das erzielte Endprodukt wird *Natronzellulose* genannt, und da bei diesem Prozeß Natronlauge, also ein Alkali, als wirksames Chemikalien verwendet wird, spricht man von einem *alkalischen Aufschlußverfahren*. Nur sechs Jahre später, d. h. 1866, erhielt der Amerikaner Tilghman ein englisches und ein USA-Patent für ein *saures Aufschlußverfahren*. Die Inkrusten wurden hier mit Hilfe von schwefliger Säure, oder noch besser, mit einer Lösung von Kalziumbisulfit entfernt. Diese Erfindung beruht mehr auf einer zufälligen Beobachtung als auf Forschungsergebnissen, und es ist deshalb auch nicht erstaunlich, daß es Tilghman nie gelang, sein Verfahren zur technischen Reife zu entwickeln. Mehr Erfolg hatte der Schwede Ekman, der 1874 in Bergvik (Mittelschweden) die erste Sulfitzellulosefabrik der Welt in Betrieb setzte, und die deutschen Brüder R. und A. Mitscherlich, welche das neue Verfahren in den darauffolgenden Jahren wesentlich verbesserten.

In diese Pionierzeit, d. h. 1881, fällt auch die Gründung der ersten Zellulosefabrik in der Schweiz durch den Chemiker Dr. Benjamin Sieber in Attisholz.

Kurz vorher, 1879, entwickelte der Deutsche Dahl einen weitem *alkalischen* Aufschlußprozeß, das sogenannte *Sulfatverfahren*. Die wirksamen, d. h. inkrustelösenden Stoffe, sind hier Natronlauge (NaOH) und Natriumsulfid. Der Chemikalienverlust bei diesem Prozeß wird durch Glaubersalz, d. h. *Natriumsulfat* (Na_2SO_4) ersetzt, was ihm zu dem Namen «*Sulfatverfahren*» verhalf.

Es ist klar, daß während dieser Entwicklungsjahre von den einzelnen Fabriken Zielforschung getrieben wurde. Nur so läßt sich die rasche Entwicklung der jungen Industrie erklären. Über diese Forschungen wurde, aus schon erwähnten Gründen, der Nachwelt nicht viel überliefert. Wir wissen, daß sich das Hauptinteresse dieser Zielforschung, übrigens auch der Grundlagenforschung, auf die Zellulose konzentrierte. Die angewandten Untersuchungsmethoden waren aber sehr uneinheitlich und nach modernen Begriffen vielleicht oft auch etwas fragwürdig. Es war deshalb nicht möglich, die erzielten Erkenntnisse miteinander zu vergleichen oder auf diesen aufbauend sichere Schlüsse über die chemische Zusammensetzung des Holzes und die Vorgänge beim Aufschluß des Holzes zu machen. Einiges Licht brachten in erster Linie die um die Jahrhundertwende von schwedischen Wissenschaftlern gemachten Anstrengungen. Schweden war damals wegen seines Holzreichtums und Mangels an andern Rohstoffen ein Vorposten in der technischen Entwicklung der Zelluloseindustrie. Deren Führer waren so weitsichtig, die große Bedeutung der Forschung für die Entwicklung der jungen Industrie klar zu erkennen. Deshalb wurden schon früh bedeutende Mittel für die wissenschaftliche Ergründung der chemischen Vorgänge beim Holzaufschluß zur Verfügung gestellt.

Besondere Verdienste erwarb sich auch *Klason*, 1890—1913 Professor für Chemie und chemische Technologie an der Techn. Hochschule in Stockholm. Diese Tradition wird heute von *Hägglund* fortgeführt.

Klason, *Hägglund* und ihre zahlreichen Mitarbeiter haben in jahrelangen Bemühungen mit großem Geschick an der Erforschung der verschiedenen holzchemischen Verfahren gearbeitet. Wenn es gelungen ist, in der Zellulosetechnik von der reinen Empirie zu wissenschaftlich begründeten Operationen überzugehen, dann verdanken wir dies in starkem Maße den beiden Forschern. Trotzdem müssen wir bescheidenerweise sagen, daß uns sowohl der Holzaufbau als auch der Holzaufschluß auch heute noch viele ungelöste Probleme aufgibt. Es ist unmöglich, die Zusammensetzung, die Beschaffenheit und Entstehung der einzelnen Komponenten der Holzsubstanz rein chemisch zu erfassen, sondern man ist genötigt, diese Betrachtungsweise physiologisch-chemisch zu ergänzen.

Um die Zusammenhänge richtig verstehen zu können, müßte man gleichzeitig Biologe, Chemiker und Technologe sein. Forscher von solch integrierendem Wissen sind aber selten, und zudem müßten ihnen be-

deutende Mittel, wie gut ausgebaute Laboratorien und große Kredite, zur Verfügung stehen. Heute arbeiten zwar namhafte Gelehrte in den verschiedenen Ländern an Teilproblemen, so z. B. F r e u d e n b e r g, A d l e r, W a c e k, P u r v e s usw. am Lignin, S t a u d i n g e r, F r e y - W y ß l i n g, R å n b y, K r a t k y usw. an der Zellulose, aber man kann sich als Praktiker des Eindrucks nicht erwehren, daß den Arbeiten oft die richtige Koordinierung fehlt. R u n k e l (15) hat über diese Probleme eine interessante Darstellung verfaßt.

Chemisch am besten erforscht und aufbaumäßig abgeklärt sind die *Zellulose*, die *Hemizellulosen*, die *Extraktstoffe* (Harze, Terpene, Fette, Wachse, Glukoside) sowie die *Mineralstoffe*. Dagegen weiß man über Lignin nichts bestimmtes, und es gibt auch heute noch namhafte Forscher, wie H i l p e r t, welche dessen Existenz überhaupt verneinen. Die Mehrzahl der Holzchemiker und Zellulosemacher glaubt jedoch nicht an die Hilpertsche Hypothese, wonach Lignin erst beim Holzaufschluß gebildet wird.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen sollen die Probleme der *Zelluloseherstellung* eingehender behandelt werden. *Zellstoff* wird gewonnen, indem man Holz mit geeigneten Chemikalien, welche sauren oder alkalischen Charakter haben können, behandelt. Dabei gehen die Inkrusten und Extraktstoffe ganz oder teilweise in Lösung. Die Forschung hat gezeigt, daß beim alkalischen Aufschlußverfahren in erster Linie Lignin und Harze, beim sauren Aufschluß vorab Lignin und Hemizellulosen angegriffen werden. Diese Selektivität macht sich der Zellulosetechniker zunutze, indem er die für die aufzuschließende Holzart geeignete Aufschlußmethode wählt. Diese ist aber nicht nur für das Ausgangsmaterial, sondern auch für das Endprodukt von Bedeutung.

Es ist bekannt, daß das Lignin als Hauptanteil der inkrustierenden Komponenten stark auf die sogenannte Mittellamelle der verholzten Pflanzenfasern konzentriert ist, während man annehmen kann, daß sowohl Primär- als auch Sekundärwand relativ ligninarm sind. In den Mikrobildern 1—3 wird veranschaulicht, wie sich der Ligninlösungsvorgang abspielt. Man sieht topographisch deutlich, wie die Inkrusten mit zunehmender Reaktionsdauer eliminiert werden, so daß der vorher stabile Faserschlauch in Figur 3 stark zusammenfällt. Figur 4 zeigt Tannenfasern in der Aufsicht, die Figuren 5—8 geben einen kurzen Überblick auf papiertechnisch häufig verwendete Fasern.

Alle diese Zellstoffe sind nach dem *sauren Sulfitverfahren* aufgeschlossen. Bei alkalischen Aufschlüssen spielt sich der Auflöseprozeß rein visuell ähnlich ab. Immerhin ist es der Forschung erst in allerletzter Zeit gelungen, den Chemismus des Sulfitaufschlusses abzuklären. K l a s o n, F r e u d e n b e r g, H ä g g l u n d und deren Mitarbeiter haben in langen Versuchen festgestellt, daß der Ligninlösevorgang in

zwei Stufen erfolgt. In einem *ersten Schritt* wird das Lignin sulfiert. Diese Reaktion beginnt schon bei einer Temperatur von 60—70° C und schreitet bei Temperaturerhöhung langsam fort. Es bildet sich eine feste *Ligninsulfonsäure*, welche je nach Verhältnis 4—7 % Schwefel enthält. Als *zweite Stufe* folgt bei steigender Temperatur die Hydrolyse der Ligninsulfonsäure, wobei gleichzeitig gewisse Zucker mit in Lösung gehen. Diese Zuckerbildung läßt den Schluß zu, daß die Zucker, welche aus den Hemizellulosen gebildet werden, mit dem Lignin (und möglicherweise auch mit der Zellulose) gewisse Verbindungen bilden, welche bei der sauren Hydrolyse aufgespaltet werden. — Die beiden Stufen verlaufen streng gesetzmäßig, und der Zellulosemacher weiß aus Erfahrung, daß er sich nicht ungestraft über diese Gesetze hinwegsetzen darf. Die Folgen sind die *Schwarzkochung*, welche durch eine Polymerisation der festen Ligninsulfonsäure in Form der ersten Stufe hervorgerufen wird. — Falls diese Regeln in der Praxis eingehalten werden, gelangen wir einerseits zu *ungebleichten* Zellulosefasern, welche je nach Führung des Prozesses noch gewisse Anteile an Lignin und Hemizellulosen enthalten, und anderseits zur *Sulfitablauge*. Diese enthält ca. 50 % Holzsubstanz. Sie stellt eine wässrige Lösung von ligninsulfonsaurem Kalzium, gewissen Zuckerarten und anorganischen Substanzen, wie SO₂, CaO usw., dar. — Weniger gut abgeklärt sind die chemischen Vorgänge beim Sulfatprozeß, doch beschäftigt sich die Forschung intensiv mit diesem Problem, und es ist anzunehmen, daß auch dieser Auflösungsmechanismus in absehbarer Zeit aufgeklärt sein wird.

Statistiken zeigen, daß der *Verbrauch an Zellulose* in ständigem Steigen begriffen ist. Die Jahresproduktion betrug um die Jahrhundertwende ca. 1/2 Million Tonnen, 1938 = 13 Millionen Tonnen, um 1951 die Rekordhöhe von 25 Millionen Tonnen zu erreichen. Das kommt einer Verfünfzigfachung in 50 Jahren resp. einer Verdoppelung während der letzten 15 Jahre gleich. Diese Produktionssteigerung fällt nicht ausschließlich mit dem Neu- und Ausbau von Fabriken zusammen. Großen Anteil an der Entwicklung hatten die Betriebsleute, welche mit Hilfe der Forschung (hauptsächlich Zielforschung!) Möglichkeiten fanden, die grundlegenden Operationen besser abzuklären und diese Umsetzungsoperationen zu beschleunigen. Dies mußte erreicht werden, ohne daß dabei Ausbeute oder Qualität der Endprodukte Schaden litten. Der Praktiker wußte schon lange aus Erfahrung, daß der ersten Stufe des Aufschlußprozesses ganz besondere Bedeutung zukam. Dabei ist die vollständige Imprägnierung der Holzsubstanz mit den inkrustelösenden Chemikalien für den ganzen weiteren Prozeß von großer Wichtigkeit. Es gelang der Zielforschung nicht nur, diese Imprägnierungsvorgänge weitgehend abzuklären, sondern auch Mittel und Wege zu finden, diese zeitlich abzukürzen. — Auch das Laboratorium von Attisholz hat sich weit-

gehend mit diesen Fragen befaßt. Daß diese Bemühungen erfolgreich verliefen, geht aus den Attisholz-Jahresproduktionszahlen hervor (1936/37: 40 990 Tonnen; 1950/51: 60 982 Tonnen, ohne Erhöhung des Kochervolumens). Besonders zu erwähnen ist die in unserem Laboratorium entstandene Dissertation von Z. Kaufmann (10), welche in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Guyer von der ETH ausgeführt wurde.

In der folgenden Darstellung wird gezeigt, für welche Zwecke heute die erzeugte Zellulose hauptsächlich *Verwendung* findet. Es ist verständlich, daß die Fasern den Anforderungen der verschiedenen Verarbeitungsgebiete entsprechen müssen. Auch hier sind wir auf die Forschung angewiesen, die einerseits feststellt, welche Eigenschaften und Zusammensetzung die geeigneten Faserrohstoffe haben müssen, und andererseits mit den Betriebsleuten Rezepte ausarbeitet, wie diese gewünschten Eigenschaften in der Praxis erzeugt werden können.

Es werden heute noch 85 % der produzierten Zellulose auf Papier verarbeitet. Attisholz erzeugt allein zu diesem Zweck über 30 verschiedene Typen. Es ist wichtig, daß zu deren Herstellung schon der *Kochprozeß*, bei welchem die Inkrusten mehr oder weniger vollständig gelöst werden sollen, nach genauen Vorschriften geführt werden muß. Dabei sind, neben dem Ausgangsmaterial Holz, vor allem die Zusammensetzung der verwendeten Kochsäure sowie der Verlauf des Zeit-Temperatur-Diagrammes von großem Einfluß. Stark gepufferte Kochsäuren und niedere Endtemperatur ergeben harte, glasige Fasern, welche bis gegen 10 % Lignin und bedeutende Mengen Hemizellulose (10—15 %) enthalten. Dagegen erhält man bei Verwendung von Kochflüssigkeit mit hohem Gehalt an freier schwefliger Säure und hohen Endtemperaturen eine Masse mit wenig Inkrusten (1—3 %) und dafür hohem α -Zellulosegehalt. Wie aus den Abbildungen 5—8 ersichtlich ist, kann man schon äußerlich einen Unterschied feststellen, und ganz besonders in papiertechnischer Hinsicht differieren die beiden Fasern ganz beträchtlich. Harte Fasern lassen sich dank ihres hohen Hemizellulosegehaltes sehr leicht schmierig mahlen und ergeben mechanisch widerstandsfähige, durchscheinende Papiere, während weiche Fasern eine eher langsame Mahlentwicklung haben und besonders für die Herstellung opaker, saugfähiger Papiere geeignet sind.

Die auf obige Weise hergestellten Zellstoffe enthalten also noch mehr oder weniger große Mengen Restinkrusten (Lignin und Hemizellulose), Harze und andere Verunreinigungen. Diese können durch geeignete Bleichmethoden weitgehend eliminiert werden.

Es liegt auf der Hand, daß starkes Aufschließen und nachheriges Bleichen auf Kosten der Ausbeute gehen. Dieses ist ein Grund, weshalb wir uns in der Schweiz nur sehr schwer zur Erzeugung von Edelfaser-

Holzaufschluß

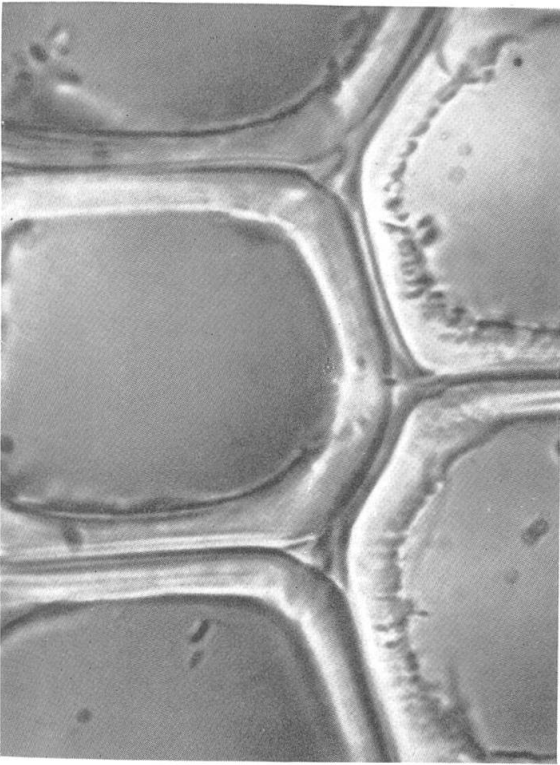


Abb. 1 1200×
Querschnitt von Fichtenholz. Beginn der
Ligninauflösung in der Mittellamelle

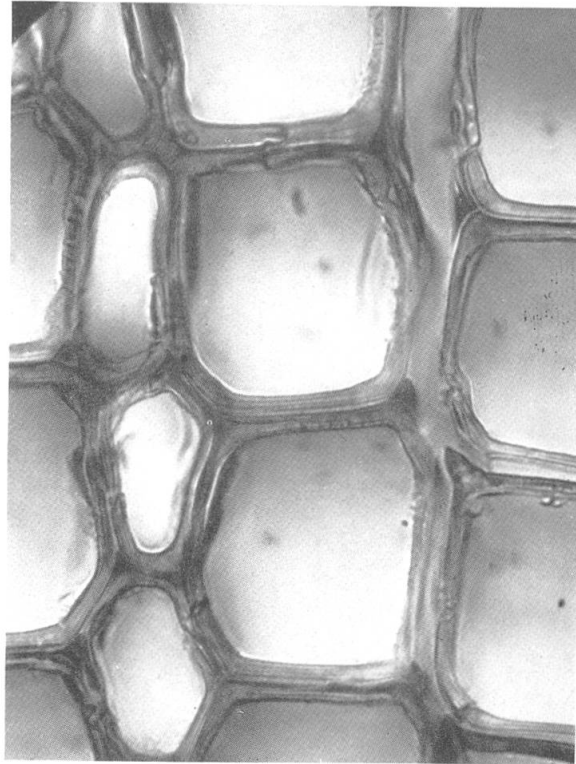


Abb. 2 550×
Mittellamelle aufgelöst

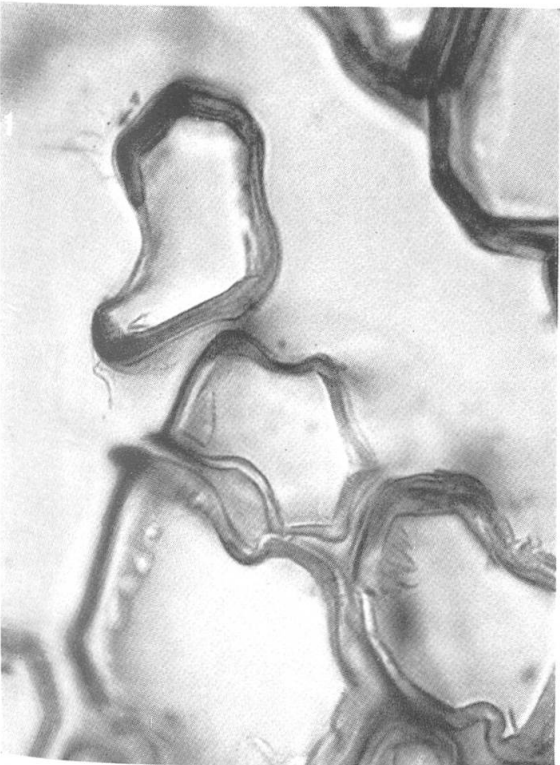


Abb. 3 550×
Isolierte Frühholzzellen verlieren ihre
starre Form

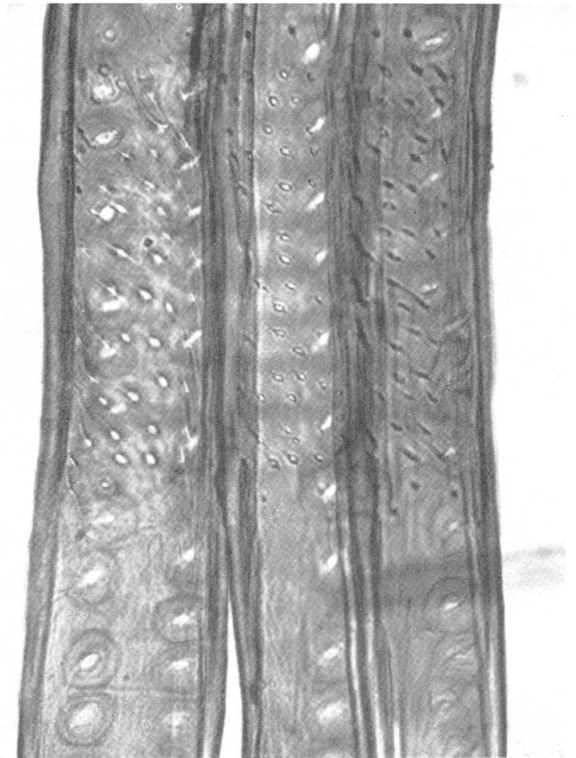


Abb. 4 270×
Isolierte Fichtenfasern. Seitenansicht

Verschiedene Zellstofffasern

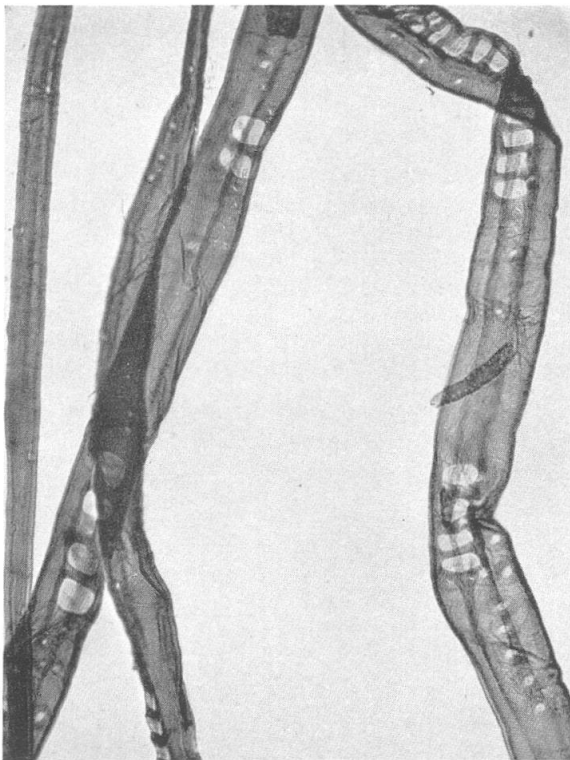


Abb. 5 180×
Kiefernfasern mit Fensterstüpfeln



Abb. 6 130×
Pappelfasern und Gefäßzellen

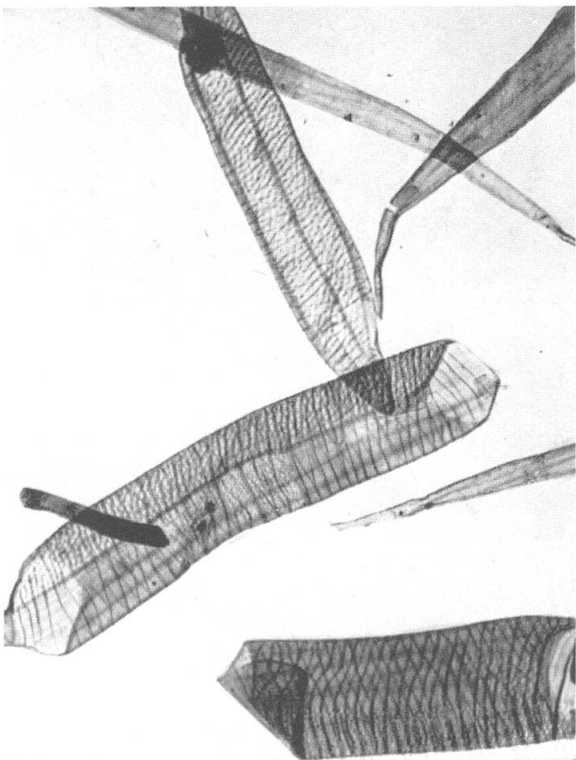


Abb. 7 130×
Lindenfasern; Gefäße mit schrauben-
förmiger Wandverstärkung

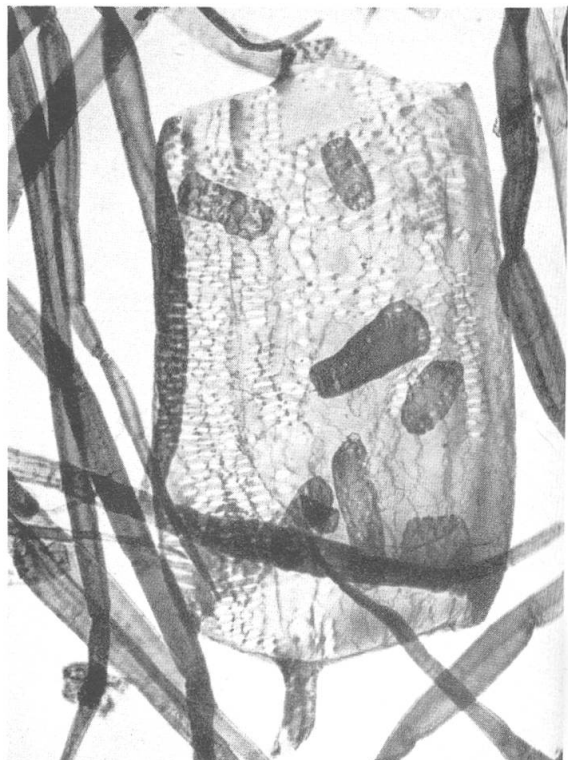


Abb. 8 130×
Okuméfasern (*Aucoumea klaineana*)

Fasereigenschaften

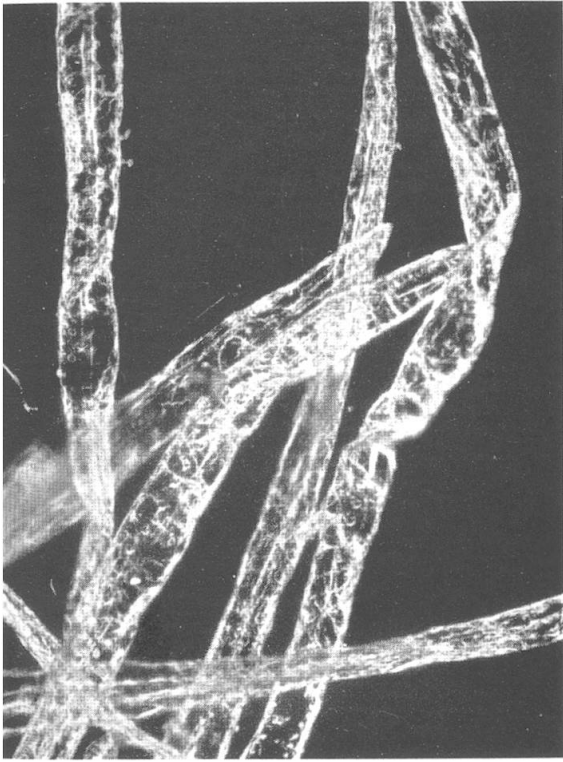


Abb. 9 100×
«Harte» Fichtenfasern (Dunkelfeld)

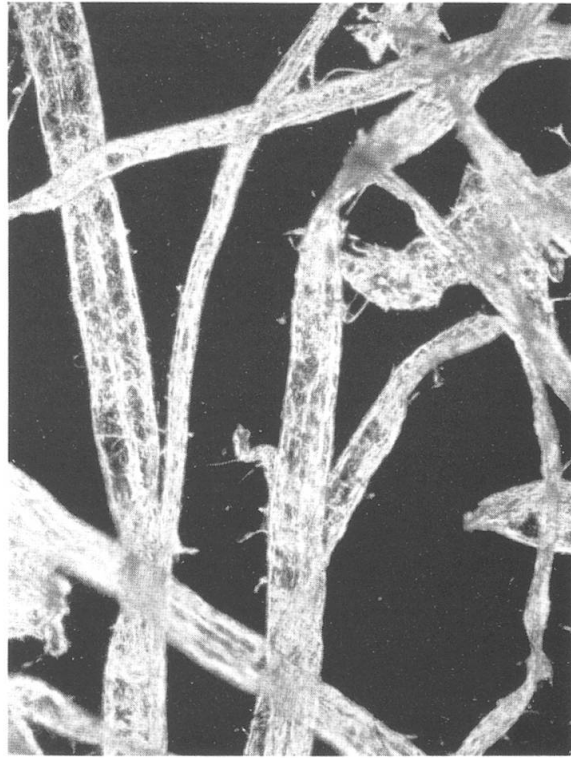


Abb. 10 100×
«Weiche» Fichtenfasern (Dunkelfeld)

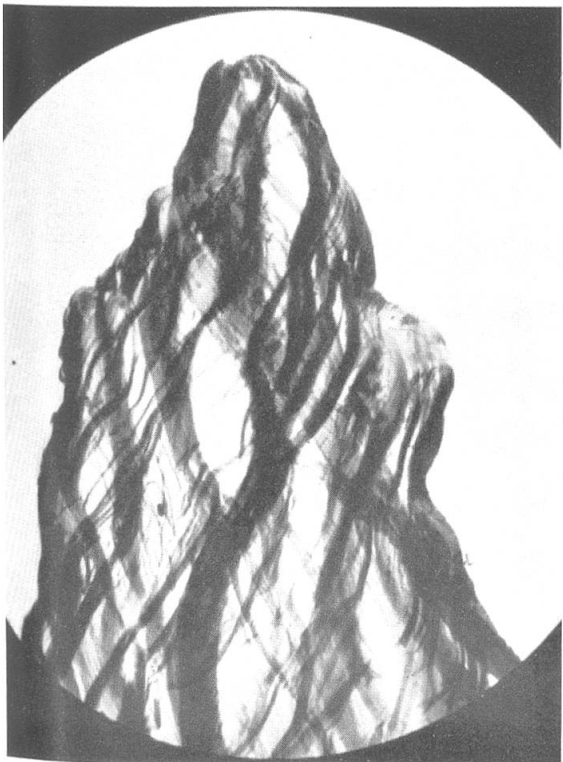


Abb. 11 190×
Gequetschtes Faserende



Abb. 12 130×
Defibrillierung gemahlener Fichtenfasern

Faserstruktur

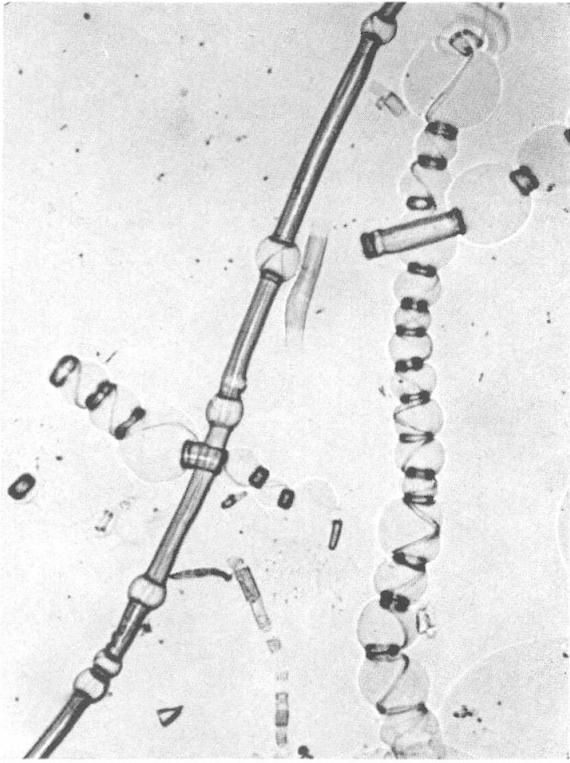


Abb. 13 110×
Kugelquellung von Holzfasern

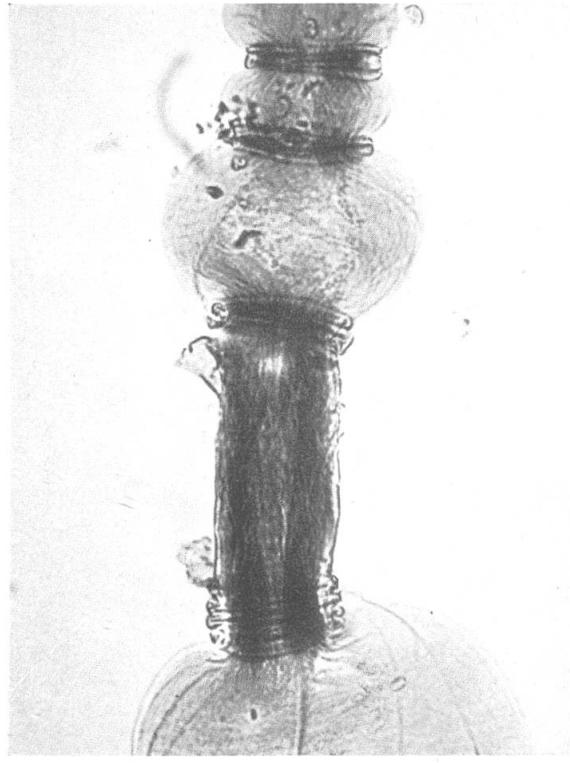


Abb. 14 270×
Kugelquellung von Holzfasern

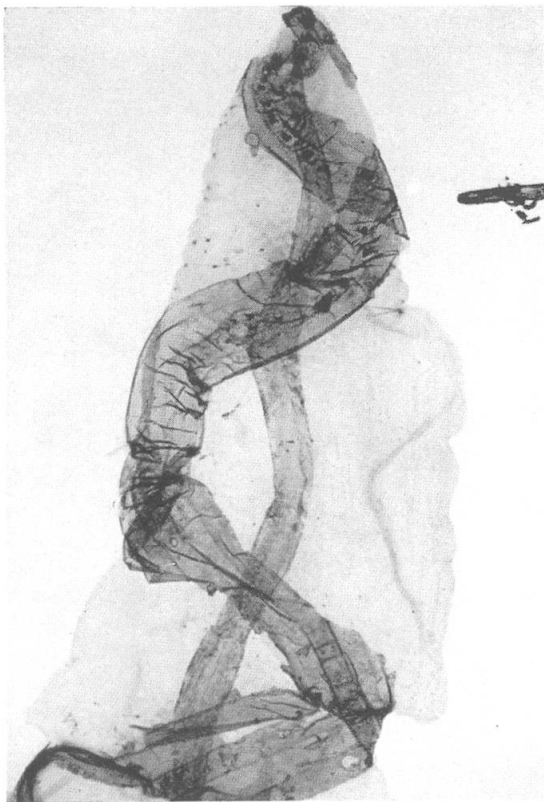


Abb. 15 110×
Fichtenfaser; gequollene Sekundärwand,
resistente Kambialwand u. Tertiärlamelle

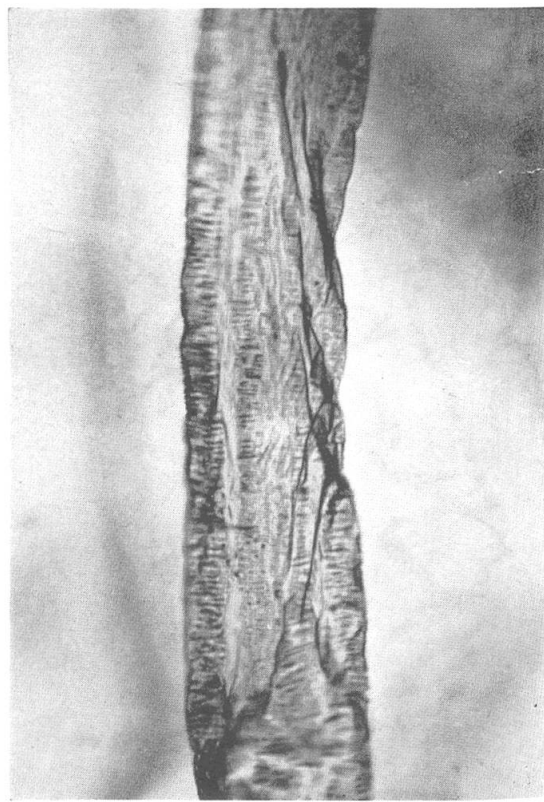


Abb. 16 500×
Isolierte Tertiärlamelle (Fichte)

Abbildungen 15 und 16 aus: Bucher, H., «Die Tertiärlamelle von Holzfasern und ihre Erscheinungsformen bei Coniferen»

stoffen, deren α -Zellulosegehalt zwischen 90 und 98 % liegt, entschließen können. Die gegenüber Skandinavien höheren Rohstoff- und Lohnkosten sowie die Minderausbeuten können nur ganz ungenügend durch bessere Preise für das edlere Endprodukt kompensiert werden.

Die zur chemischen Weiterverarbeitung gelangenden 15 % der Zelluloseweltproduktion müssen größtenteils in veredelter Form erzeugt werden. Die Holzzellstoffe ersetzen in diesem Fall die Baumwolle (Linters), aus welcher bis vor kurzer Zeit die meisten Zellulosederivate hergestellt wurden. Baumwollfasern bestehen zu fast 100 % aus α -Zellulose, und es ist den Zellulosechemikern erst nach jahrelanger Forschertätigkeit gelungen, Holzzellstoffe zu erzeugen, welche die Baumwolle vollwertig zu ersetzen vermögen. Besonders hohe Anforderungen stellen in dieser Beziehung die *Kunstseidenzellstoffe*. Dort wird nicht nur die fast vollständige Abwesenheit von Hemizellulose, Harzen und Asche verlangt, sondern die Viskosezellulose soll auch einen möglichst gleichmäßigen *Polymerisationsgrad* besitzen. Dieser Polymerisationsgrad steht in engstem Zusammenhang mit der Kettenlänge der nativen Zellulosemoleküle, wobei die «Größe» der Zellulosefaser stark von den Wachstumsbedingungen der Pflanzen bestimmt wird, also *standortabhängig* ist. In Attisholz sind wir leider nicht in der Lage, standortgleiches Holz zu verarbeiten. Unser Rohmaterial stammt nicht nur aus den verschiedensten Lagen der Schweiz, sondern wird gezwungenermaßen auch aus Finnland, Polen, der Tschechoslowakei und sogar aus Kanada importiert. Diese Ungleichheit bedeutet einen weiteren Nachteil bei der Erzeugung von Kunstseidenzellulose. Wir hoffen aber, daß uns die Forschung auch in diesem Falle behilflich ist, neue Mittel und Wege zur Überwindung dieser Schwierigkeiten zu finden.

Es seien noch Gedanken zur *Zellstoffveredlung als Gesamtproblem* hinzugefügt. Diese befaßt sich hauptsächlich mit der selektiven Ausscheidung von unerwünschten Begleitstoffen. Generell kann gesagt werden, daß die Veredlung oder Bleichung nur eine Fortsetzung des Kochprozesses mit zum Teil andern Chemikalien bedeutet. Dabei wird das Lignin zur Hauptsache durch oxydativen Abbau mit Chlor und Chlorderivaten eliminiert. — *Harz* entfernt man entweder auf chemischem Wege durch eine heiße Alkalibehandlung, oder man kann schon die Rohzellulose einer sogenannten *Faserfraktionierung* unterwerfen. Dabei scheidet man durch Siebung die kleinen, sehr harzhaltigen Markstrahl- oder Parenchymzellen und auch kleine, fein dispergierte Harzteilchen aus. — Die *Zellstoffasche* stammt nur zum kleinen Teil aus dem Holz, der größere Rest wird, da die Zellulosefaser *Basenaustauschcharakter* hat, aus dem Fabrikationswasser aufgenommen. Durch Säurebehandlung (SO_2) können zum mindesten die Kalziumsalze größtenteils in Lösung gebracht werden. Von den *Hemizellulosen* wird ein großer

Teil beim sauren Aufschluß abgebaut und in der Ablauge als Holzzucker nachgewiesen. Schwieriger liegen die Verhältnisse beim Alkalieaufschluß, weil sich ein großer Anteil der Hemizellulose als ziemlich alkali-resistent erweist. Eine schwedische Zellstoffabrik wandte vor zirka 15 Jahren als erste die sogenannte saure *Vorhydrolyse* in technischem Maßstabe an. Das zu verarbeitende Sulfatholz wird *vor* dem alkalischen Aufschluß nach geheimgehaltenen Vorschriften mit verdünnter, vermutlich Schwefelsäure, wärmebehandelt. Dabei gehen große Teile der Hemizellulose in Lösung. So wird ein geeignetes Ausgangsmaterial für die Erzielung von *hochveredelten* Sulfatzellstoffen erhalten.

In der Bleicherei werden hierauf die Resthemizellulosen durch *Heiß-* oder *Kaltalkalisierung* aus der Rohzellulose entfernt.

In den Laboratorien von Attisholz werden seit zehn Jahren faser-mikroskopische Untersuchungen durchgeführt (Dr. H. B u c h e r [3, 4]). Diese grundlegenden Forschungsarbeiten werden unter einem anderen Gesichtswinkel als von den Botanikern ausgeführt. So interessieren wir uns sowohl für den Aufbau des Holzes als auch für die Vorgänge, welche sich im Holzgefüge während des chemischen Aufschlusses (inklusive Bleichung) abspielen, und in ganz besonderem Maße für die resultierenden Fasern (siehe Abb. 9—12).

Für die chemische Weiterverarbeitung, besonders für Operationen, bei welchen die Zellulose regeneriert wird, hat der *chemische* Aufbau der Faser spezielle Bedeutung. Dr. B u c h e r (4) hat sich deshalb auch mit den Auflösévorgängen von Fasern befaßt. Die Abbildungen 13—16 zeigen, wie sich der Auflöseprozeß abspielt und welche Faserteile sich bei diesen Vorgängen speziell bemerkbar machen.

Aus den Bildern auf Tafel II geht hervor, daß sowohl die Primärwand als auch die Innenschicht der Sekundärwand einen andern Aufbau als deren Außen- und Zentralschicht haben. Wir dürfen aus diesem Grunde die Innenschicht der Sekundärwand vom chemischen Standpunkt aus als individuellen Teil der Membran betrachten. Dr. B u c h e r hat sie deshalb in seinen Arbeiten, in Anlehnung an die Terminologie der älteren Botaniker, als «*Tertiärlamelle*» von den sekundären Verdickungsschichten unterschieden. — Die Untersuchungen über die Tertiärlamelle sind noch neu und werden weiterverarbeitet. Ohne schon jetzt Bestimmtes über den *chemischen* Aufbau der Tertiärlamelle zu sagen, sind wir schon heute davon überzeugt, daß diese für den Aufschluß- und sicher auch für den Bleichprozeß von großer Bedeutung ist.

Wie ausgeführt wurde, gehen beim Holzaufschluß ungefähr 50 % der Ausgangssubstanz in gelöster Form in die Ablauge über. Das stellt uns vor Probleme, welche uns nicht erst seit der Annahme des neuen Wasserschutzgesetzes beschäftigen! Beim alkalischen Aufschlußverfahren, welches sich bis heute im dichtbesiedelten Mitteleuropa nicht

richtig eingebürgert hat, ist das Ablaugeproblem in befriedigender Weise gelöst. Die Ablauge wird eingedickt und verbrannt. Dabei erhält man beträchtliche Mengen von Kalorien und gewinnt gleichzeitig einen großen Teil der benötigten Ausgangskemikalien zurück. Weniger erfolgreich sind bis heute die Bemühungen auf dem Gebiete der Sulfitablaugerverwertung geblieben. Obwohl schon früh erkannt wurde, daß Sulfitablauge verschiedenste Zuckerarten enthält, welche als Abbauprodukte der Hemizellulosen betrachtet werden können, kam erst der Schwede Ekström (19) im Jahre 1904 auf die Idee, diese Holzzucker auf Alkohol zu vergären. Bis aber dieser Gedanke zu einer technisch befriedigenden Lösung verarbeitet war (erneut Forschung!), vergingen mehrere Jahre. So kam es, daß Attisholz 1912 als eine der ersten außerschwedischen Firmen die Lizenz für das Ekströmsche Verfahren erwarb. 1915 wurde in unserem Betrieb in einer 9-m³-Kolonne der erste Sulfitaprit erzeugt. — Die ganzen chemischen Vorgänge der Zuckerbildung während der Kochung, die Erfassung der zuckerhaltigen Ablauge und das Auffinden der günstigsten Neutralisations- und Gärungsbedingungen waren Gegenstand umfangreicher Forschungsarbeiten. Daran haben sich eine große Anzahl von Fachleuten beteiligt, von denen erneut Klason und Hägglund sowie Höpner hervorgehoben seien. — Zurzeit erzeugt Attisholz täglich 10 000—12 000 Liter 95prozentigen Sulfitaprit. Seit 1942 sind wir auch in der Lage, aus diesem recht unreinen Sulfitaprit Trinkfeinsprit höchster Qualität herzustellen. — Bei der alkoholischen Gärung werden aber nur die sechswertigen Zucker verwertet, welche bei Verarbeitung von Tannenholz je nach Kochbedingungen 50—70 % der Gesamtzucker ausmachen. Der Restzucker, welcher zur Hauptsache aus Pentosen (fünfwertigen Zuckern) besteht, passiert die Spritfabrik unverändert und läuft in den meisten Fabriken in den Vorfluter. Nicht so in Attisholz! Den deutschen Forschern Fink und Lechner (6) gelang es 1937 erstmalig, Pentosen in einem Dauerzüchtungsverfahren mit Hilfe der Heferasse *Torula utilis* unter Zugabe von anorganischem Stickstoff zu verwerten. Auf Grund dieser Arbeiten nahmen wir 1942 Versuche in dieser Richtung auf. 1943 kam eine erste halbtechnische Anlage in Betrieb und noch im gleichen Jahre wurde auf Grund der erzielten Ergebnisse mit dem Bau einer Großanlage begonnen. Diese Hefefabrik machte uns in der Folge unendliche Mühe. Während langer Jahre waren die Aufwendungen für die Neuanlage bei weitem größer als deren Nutzen. Nur dem zähen Durchhaltewillen unserer Direktion und dem fast zehnjährigen unentwegten Einsatz der fähigsten Chemiker und Mikrobiologen unseres Labors ist es zu verdanken, daß diese Zeit der Kinderkrankheiten überwunden werden konnte. Seit einigen Monaten läuft nun die Hefefabrik so gut — wir produzieren gegenwärtig ca. 5 Tonnen Nährhefe pro Tag —, daß sie auch wirtschaftlich ohne fremde Hilfe auf eigenen Beinen

stehen kann. Dabei muß man allerdings gleichzeitig hinzufügen, daß die Pentosen zu einem sehr bescheidenen Preise in die Kalkulation eingesetzt werden.

Attisholz ist heute die einzige Sulfitzellulosefabrik der Welt, welche eine vollständige und vollkontinuierliche Abaugezuckerverwertung besitzt, in welcher zuerst die Hexosen auf Alkohol und nachfolgend die Pentosen auf Nährhefe verarbeitet werden.

Mit einer vollständigen Zuckerverwertung können wir den die Sauerstoffbilanz der Flüsse am schwersten belastenden Anteil der Abauge auf eine erfreuliche Art eliminieren.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß man auch durch äußeren Zwang zum Forschen angeregt werden kann. Wir besitzen in der Schweiz eine sehr strenge Alkoholgesetzgebung, mit der Alkoholverwaltung als ausführende Gewalt. Diese Behörde setzt die Preise und Alkoholkontingente fest, welche die einzelnen Erzeuger abliefern dürfen. Bei der Kontingentserteilung müssen in erster Linie die landwirtschaftlichen Erzeuger, also Bauernbrennereien, Mostereien und die Zuckerfabrik Aarberg, berücksichtigt werden. Bis im Jahre 1942 kam in zweiter Linie die Zellulosefabrik Attisholz. In diesem Zeitpunkte nahm die Howag in Ems die Spritfabrikation auf und verdrängte uns von diesem Platze. Die Howag besaß staatliche Abnahmegarantien, was zur Folge hatte, daß Attisholz während Jahren in ständigem Kampf um Kontingente und Spritpreise lebte (1). Dies wurde für unsern Betrieb noch ernster, als wir die Zelluloseproduktion wegen vermehrter Inlandnachfrage steigern mußten. Es wurde uns in der Folge, jedoch nicht immer, gestattet, eine der Zelluloseproduktion entsprechende Spritmenge abzuliefern. Wir durften laut Alkoholgesetzgebung auch keinen Sprit für eine Weiterverarbeitung auf andere Produkte im eigenen Betrieb abzweigen. So blieb uns nichts anderes übrig, als den überschüssigen Zucker in die Aare fließen zu lassen (!). Ein Gesetz, welches in einem rohstoffarmen Lande, wie der Schweiz, vorschreibt, wertvolle Substanzen zu vernichten, welche allein im Geschäftsjahr 1950/51 genügt hätten, um über 1 000 000 Liter Alkohol zu erzeugen, muß unseres Erachtens als höchst revisionsbedürftig bezeichnet werden. — Je mehr wir aus unseren Neben- (und nicht Abfall-)produkten herauswirtschaften können, desto eher sind wir in der Lage, dem Waldbesitzer einen guten Preis für das Holz zu bezahlen!

Unter dem Druck der Verhältnisse suchten wir deshalb in den letzten drei Jahren neue Wege einer gärtechnischen Abaugezuckerverwertung. In enger Zusammenarbeit mit Prof. Wikén von der ETH, dem an dieser Stelle für seine Hilfe gedankt werden soll, unternahmen wir grundlegende Forschungsarbeiten, um auf der Basis der Sulfitablaugenzucker zu neuen Gärprodukten, wie Milchsäure, Aceton-Butanol und eventuell

Buttersäure, zu gelangen. Die bis heute erzielten Ergebnisse sind derart befriedigend ausgefallen, daß wir den Bau einer halbtechnischen Anlage ernsthaft ins Auge fassen. Eine ausführliche Erörterung der ganzen Arbeit erfolgt demnächst in Form der Dissertation unseres Mitarbeiters, Dipl.-Ing. agr. P. G f e l l e r (8).

Bei den *Ligninanteilen* handelt es sich um weitere «Sorgenkinder». Obschon Hunderte von Wissenschaftlern sich intensiv mit dem Ligninproblem befassen, konnten bis heute nur unbedeutende Teilerfolge auf diesem Gebiet erzielt werden. So werden Ligninprodukte in der Zement-, Textil-, Eisen- und neuerdings auch in der Gummiindustrie verwendet. Auch hat man Versuche gemacht, synthetische Gerbstoffe daraus zu erzeugen und denkt an eine Verarbeitung auf Düngemittel. Die dabei gesamthaft verbrauchten Quantitäten stehen aber in keinem Verhältnis zu den ungeheuren Mengen von Ligninabfällen, welche in den Sulfitzellulosefabriken fortlaufend anfallen. Man hat nun besonders in kohlearmen Ländern angefangen, Sulfitablauge einzudampfen und zu verbrennen. Der magere, dabei entstehende Wärmegegewinn reicht aber kaum aus, die sehr teuren Anlagekosten zu amortisieren. — Als Chemiker muß man es bedauern, wenn große Werte auf diese Weise vernichtet werden müssen. Auch im Laboratorium von Attisholz werden große Anstrengungen auf dem Ligninverwertungsgebiete unternommen. Es scheint in den letzten Wochen, als ob diese Bemühungen nicht umsonst gewesen seien!

Damit sind unsere Forschungsprobleme keineswegs erschöpft. Es wäre die Dissertation von H u m m (9) über die Herstellung der Kochsäure (also Kalziumbisulfitlösung) zu erwähnen, welche 1927—1929, wieder in Zusammenarbeit mit der ETH, in Attisholz ausgeführt wurde. Diese Arbeit gilt heute noch als Standardwerk und wird in jedem Fachbuch über Zellulose erwähnt.

Wenn wir in die *Zukunft* blicken und realistisch auf die weitere Entwicklung unseres Fachgebietes schauen, können wir mit jeder Sicherheit der Forschung noch ein großes, weites und dankbares Arbeitsfeld voraussagen. In erster Linie wird es nötig sein, die Rohstoffversorgung der gesteigerten Nachfrage nach Zellstoff anzupassen. Neben der Steigerung der forstlichen Produktion wird man nicht darum herumkommen, in immer stärkerem Maße auch Einjahrespflanzen und pflanzliche Abfälle, wie Bagasse, Maisstroh usw., heranzuziehen. Auch die Erzeugung von Semichemicalzellulose, d. h. Faserstoffen, bei welchen man nur den Ligninanteil, nicht aber die Hemizellulose, des Holzes entfernt, wird gewzungenermaßen besonders in der Papierindustrie an Bedeutung zunehmen. Für die Verwertung der Laubhölzer dürfte dieses von großer Bedeutung sein. Auch die Zeit, wo man es als Unsinn bezeichnet, aus gutem Holze Zucker resp. Alkohol zu erzeugen, scheint nicht mehr sehr

weit zu sein. Die Zelluloseprobleme sind deshalb auch Zukunftsprobleme der Waldwirtschaft.

Zitierte Literatur

für ETH-Vortrag vom 14. Dezember 1953 in Zürich

1. Bernasconi, S. Die schweizerische Zelluloseindustrie unter besonderer Berücksichtigung der Rohstoffbeschaffung. Aarau 1952.
2. Braconnot, H. Ann. chim. et phys., **12**, 172 (1819).
3. Bucher, H. und Widerkehr, L. P. Morphologie und Struktur von Holzfasern, Zellulosefabrik Attisholz, 1947.
4. Bucher, H. Die Tertiärlamelle von Holzfasern und ihre Erscheinungsformen bei Coniferen, Attisholz 1953.
5. Erdmann, J. Ann., **138**, 1 (1866).
6. Fink, H. und Lechner, R. Z. f. angew. Chem., **49**, 775 (1936); Z. f. Spiritind., **60**, 355 (1937); **62**, 251 (1939).
7. Gay-Lussac und Thenard. Compt. rend., **8**, 51 (1839).
8. Gfeller, P. Zur Kenntnis der Vergärung von Sulfitablaugen durch saccharolytische Clostridien. Schw. Ztschr. f. allg. Pathol. und Bakteriologie, **16**, 867 (1953), vorl. Mitt.
9. Humm, W. Untersuchungen an Sulfitlaugentürmen. Zur Kenntnis der Sulfitlauge, Diss. ETH, 1929.
10. Kaufmann, Z. Über den chemischen Aufschluß von Holz nach dem Sulfitprozeß. Diss. ETH, 1951.
11. Payen, A. Compt. rend., **7**, 1052 (1838).
12. — Compt. rend., **8**, 51, 169 (1839); **10**, 941 (1840).
13. Petersen und Schödlér. Ann., **17**, 139 (1836).
14. Pulp and Paper, **28**, 25 (World Rev.Nr.), 1953.
15. Runkel, R. Zellulosechemie, **20**, 111 (1942).
16. Schleiden, M. Poggendorff's Ann., **43**, 391 (1938); Ann., **42**, 298 (1842).
17. Schulze, F. Chem. Zentr., **1857**, 321.
18. — Ber., **24**, 2286 (1891); Z. physiol. Chem., **16**, 387 (1892); **19**, 38 (1894).
19. Vogel, H. Sulfitzellstoff-Ablauge, S. 154. Basel 1948 (nachzit.).

Zusammenfassung

Die Zellulose-Weltproduktion erreichte im Jahre 1951 die Rekordhöhe von 25 Millionen Tonnen (Verwendung: 85 % Papierindustrie, 15 % chemische Industrie), wofür zirka 185 Millionen Ster Holz nötig waren. — 1838 erkannte der Franzose Payen als erster, daß Holz aus «cellulose» und «matières incrustantes» bestehe. An der sich in der Folge anbahnenden Entwicklung der holztechnischen Probleme und vor allem der Zelluloseindustrie war die Forschung maßgebend beteiligt. Die aufklärenden Arbeiten wurden von Forschern der verschiedensten Nationen bewältigt. Auch die Schweiz leistete namhafte Beiträge. — Man ist heute am besten über den Aufbau der Zellulose informiert, während auf dem Gebiete der Hemizellulose und des Lignins noch große Unklarheiten herrschen. Dies ist der Grund, weshalb die Verwertung der Zellstoffablauge, welche zirka 50 % der Holztrockensubstanz enthält, weitgehend ungelöst ist. Besondere Schwierigkeiten macht die Sulfitablauge. Wohl ist es durch intensive Forschung gelungen, die Ablaugezucker gärtechnisch aufzuarbeiten, doch gehen die Ligninanteile noch meistens verloren.

Der Verfassen macht auf die großen Anstrengungen der Wissenschaft aufmerksam, die verbleibenden Probleme zu lösen, und weist speziell auf die in den Laboratorien der Zellulosefabrik Attisholz gemachten Arbeiten auf dem Gebiet der Fasermikroskopie und der Sulfitablaueverwertung hin. — Als Zukunftsaufgaben für die praktische Forschung sieht er neben der Lösung der Ablaugefrage in erster Linie die Heranziehung neuer Faserrohstoffe und die Entwicklung entsprechender Aufschlußverfahren. Nur so wird es auf die Dauer möglich sein, den ständig steigenden Bedarf an Zellulose zu befriedigen. Im weiteren ist der Verfasser der Ansicht, daß die halbchemischen Zellstoffe in der Papierindustrie an Bedeutung zunehmen werden, und gibt der Meinung Ausdruck, daß es unklug sei, den Faseranteil von gutem Holz zu Holzzucker bzw. Alkohol zu verarbeiten.

Résumé

La production mondiale de cellulose atteint son record, en 1951, par la quantité de 25 millions de tonnes (utilisation: 85 % par l'industrie papetière, 15 % par l'industrie chimique), quantité ayant nécessité environ 185 millions de stères de bois. En 1838, le Français P a y e n reconnut le premier que le bois consistait en «cellulose» et matières incrustantes». Les recherches scientifiques ont eu une part prépondérante à la solution des problèmes subséquents à cette découverte, dans l'industrie du bois et particulièrement dans celle de la cellulose, recherches entreprises par des savants de diverses nationalités. La Suisse y contribua dans une large mesure. Actuellement, si on connaît au mieux la structure de la cellulose, celle de la hémicellulose et de la lignine est encore entourée de grandes imprécisions. C'est le motif pour lequel la mise en valeur de la lessive résiduaire de la fabrication des pâtes de bois chimiques qui, correspondant au 50 % environ des substances sèches du bois, est encore loin d'être résolue et plus spécialement celle des résidus bisulfiteux. En suite de recherches intensives on est bien parvenu à récupérer par fermentation les sucres de lessive, mais la lignine y contenue reste encore matière perdue.

L'auteur relève les efforts considérables fournis par la science pour la solution des problèmes en suspens et attire spécialement l'attention sur les travaux exécutés par les laboratoires de la Fabrique de cellulose de bois Attisholz S. A., ci-devant Dr B. Sieber, à Attisholz près Soleure dans le domaine de la microscopie des fibres et de la récupération de la lessive bisulfiteuse. Comme futur problème à résoudre, pour les recherches pratiques, l'auteur préconise en premier lieu, outre la résolution de la question des lessives, l'étude de nouvelles matières fibreuses primaires et le développement de procédés adéquats à leur désintégration. Ce n'est que de cette façon qu'on parviendra à satisfaire aux besoins constamment grandissants de cellulose. L'auteur est en outre d'avis que l'importance des pâtes semi-chimiques dans l'industrie papetière augmentera encore et croit qu'il est imprudent de transformer en sucre resp. en alcool la matière fibreuse de bon bois.