

MITTHEILUNGEN
AUS DEM
FORSTLICHEN VERSUCHSWESEN
ÖSTERREICHS.

HERAUSGEGEBEN
VON DER
K. K. FORSTLICHEN VERSUCHSANSTALT IN MARIABRUNN.



DER GANZEN FOLGE XXIII. HEFT.

ÜBER DEN
LIGNINGEHALT EINIGER NADELHÖLZER.

VON
DR. ADOLF CIESLAR,
K. K. ADJUNCT DER FORSTLICHEN VERSUCHSANSTALT IN MARIABRUNN.



WIEN.
K. U. K. HOF-BUCHHANDLUNG W. FRICK.
1897.

MITTHEILUNGEN

AUS DEM

FORSTLICHEN VERSUCHSWESEN

ÖSTERREICHS.

HERAUSGEGEBEN

VON DER

K. K. FORSTLICHEN VERSUCHSANSTALT IN MARIABRUNN.

~~~~~  
DER GANZEN FOLGE XXIII. HEFT.  
~~~~~

W I E N.

K. U. K. HOF-BUCHHANDLUNG W. FRICK.

1897.

MITTHEILUNGEN
AUS DEM
FORSTLICHEN VERSUCHSWESEN ÖSTERREICHS.
—o XXIII. HEFT. o—

ÜBER DEN LIGNINGEHALT
EINIGER
NADELHÖLZER.

VON

DR. ADOLF CIESLAR,
K. K. ADJUNCT DER FORSTLICHEN VERSUCHSANSTALT IN MARIABRUNN.



WIEN.

K. U. K. HOF-BUCHHANDLUNG W. FRICK.

1897.

~~~~~  
**ALLE RECHTE VORBEHALTEN.**  
~~~~~

Vorwort.

In den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien publicierten Rudolf Benedikt und Max Bamberger*) eine grössere Abhandlung: „Ueber eine quantitative Reaction des Lignins“, welche, im Laboratorium für allgemeine und analytische Chemie an der technischen Hochschule in Wien ausgeführt, der Akademie in der Sitzung vom 19. Juni 1890 vorgelegt wurde. Diese Arbeit basiert auf S. Zeisel's Methoxylbestimmungs-Methode, welche von den genannten zwei Forschern auf Holz ausgedehnt und zur Bestimmung des Ligningehaltes desselben als vollkommen geeignet erprobt wurde.

Bald nach dem Erscheinen der genannten Publication wandte sich der seither verstorbene Professor Dr. Benedikt an das hohe k. k. Ackerbauministerium, indem er dasselbe auf die Ergebnisse der verhältnismässig wenig umständlichen und dabei doch genauen Ligninuntersuchungen aufmerksam machte, andererseits auch anfragte, ob es nicht wissenschaftlichen und praktischen Wert besässe, eine Reihe von Ligninbestimmungen von Hölzern in der Weise vorzunehmen, dass hiebei forstwirtschaftlich und wissenschaftlich massgebende Momente beleuchtet werden.

Es ist nun nicht zu leugnen, dass angesichts der nur lückenhaften Erforschung, welche die Frage des Ligningehaltes und der Ligninvertheilung im Holzkörper unserer Waldbäume bisher gefunden, der Gegenstand vom Standpunkte der Wissenschaft einer weiteren Bearbeitung wert erscheint.

Andererseits nimmt nach der bisher in der Literatur ziemlich allgemein geltenden Ansicht der Grad der Verholzung, das heisst der Ligningehalt des Holzes Einfluss auf wichtige Eigenschaften desselben; es war also von vornherein nicht abzulehnen, dass den von Prof. Benedikt angeregten Ligninuntersuchungen des Holzes unserer Waldbäume voraussichtlich auch eine praktische Bedeutung zukomme.

Das hohe k. k. Ackerbauministerium genehmigte sohin über Antrag der forstlichen Versuchsanstalt unter Bewilligung eines Specialcredits an Prof. Benedikt die Vornahme der Ligninuntersuchungen, und beauftragte die forstliche Versuchsanstalt, einen Plan für dieselben auszuarbeiten.

*) R. Benedikt und M. Bamberger: Ueber eine quantitative Reaction des Lignins. (Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien, mathem.-naturwiss. Classe; Bd. XCIX Abth. II b, Juni 1890.)

Im Herbste 1891 konnte an die Fällung der ersten Fichten- und Weisstannen-Probestämme im k. k. Forstbezirke Rekawinkel des Wienerwaldes geschritten werden, ebenso wurden in derselben Zeit Schwarzföhrenscheiben aus Stixenstein und Fichtenprobestücke aus dem k. k. Forstbezirke Zell am See im Salzburgischen bezogen. Die Auswahl der zu untersuchenden Stämme geschah nach besonderen Gesichtspunkten, in welchen wirtschaftliche und wissenschaftliche Momente zum Ausdruck gelangten.

Nach genauer Untersuchung der Holzproben auf spezifisches Trockengewicht, Jahrringbreite, Zuwachs und Spätholzgehalt wurden dieselben in fein geraspelttem Zustande dem chemischen Laboratorium der technischen Hochschule in Wien zugemittelt. Im Jahre 1892 lieferte Prof. Benedikt, welcher die Ligninuntersuchungen im Vereine mit Herrn Prof. M. Bamberger durchführte, 24 Analysen, im Herbste 1893 weitere 21, im Ganzen also Ligninanalysen von 45 Holzproben. Dieselben sind in der Tabelle I auf Seite 12–17 unter den Nummern 1–33 und 53–64 verzeichnet.

Beim ersten Angriffe einer wissenschaftlichen Verarbeitung des Analysenmaterials wurde es offenbar, dass die Untersuchungen auf weiteres Holzmaterial ausgedehnt werden müssten, um greifbare Erfolge und eine sichere Schlussziehung zu ermöglichen. Im Jahre 1895 wurden denn abermals Probestämme der Fichte und solche der Zirbelkiefer im k. k. Forstbezirke Wald in Oberpinzgau erworben und die aus denselben gewonnenen Holzproben der Ligninbestimmung zugeführt. Da inzwischen die forstliche Versuchsanstalt mit einem chemischen Laboratorium ausgestattet worden war, konnten die Ligninuntersuchungen im eigenen Hause durchgeführt werden, mit welcher Aufgabe seitens der Anstaltsdirection Herr Adjunct Dr. Ed. Hoppe betraut wurde.

Diese Ligninanalysen, welche sich auf die Holzproben 34–52 und 65–82 der eben genannten Tabelle beziehen, wurden im Frühjahr 1896 fertiggestellt.

Der Plan einer gemeinsamen Bearbeitung der Ergebnisse mit Prof. Benedikt wurde durch den Tod des Letzteren zu meinem tiefsten Bedauern hinfällig gemacht. Dankbaren Herzens gedenke ich der Anregung, welche der dahingeshiedene Gelehrte zur Inangriffnahme der Arbeit gegeben, und der thatkräftigen Förderung, die er derselben im Vereine mit Prof. Dr. M. Bamberger durch Ausführung so zahlreicher Analysen erwiesen hat.

Herzlichst danke ich Herrn Adjuncten Dr. Ed. Hoppe für die mühevollen Analysenarbeit, welcher er sich in selbstloser Weise unterzogen hatte. Mein verbindlichster Dank gilt auch den Herren k. k. Forst- und Domänen-Verwaltern D. Arnold, seinerzeit in Zell am See, und J. Mertlitsch, früher in Wald, welche um die richtige Auswahl der Probestämme sich im hohen Masse verdient gemacht haben.

Mariabrunn, im Juni 1897.

A. Cieslar.

Einleitung.

Die Wandung der Holzzellen unserer Waldbäume ist zur Zeit der Entstehung aus dem Cambiumring in der Hauptsache aus Cellulose zusammengesetzt; sehr bald jedoch erfährt sie eine stoffliche Veränderung, die man unter dem Begriffe der Verholzung zusammenfasst. Ueber den Chemismus und die Physiologie des Verholzungsprocesses hat sich im Laufe der letzten Jahre eine reiche Literatur angehäuft, ohne dass die von vielen Forschern betriebene fleissige Arbeit abschliessende Resultate gezeitigt hätte. Die vorstehende Abhandlung verfolgt nicht den Zweck, sich mit dieser Seite der Frage zu beschäftigen, vielmehr soll sie darlegen, in welchem procentischen Gewichtsantheile die die Verholzung bewirkenden Substanzen im Holze der verschiedenen Coniferen vorkommen, ferner wie sich diese Substanzen, welche wir kurzweg unter dem Sammelbegriffe „Lignin“ oder „Holzstoff“ zusammenfassen wollen, nach ihrer Quantität im Baumstamme vertheilt finden; die Abhandlung soll uns also unterrichten über den Ligningehalt und die Ligninvertheilung im Stammholze einiger Nadelbäume. Diese Fragestellung schien berechtigt, da über den Gegenstand bisher nur ausserordentlich wenige und mangelhafte Daten in der Fachliteratur verzeichnet sind, andererseits eine nähere Erkenntnis der Verhältnisse des Ligningehaltes und der Ligninvertheilung im Stamme auch als voraussichtlich willkommener Beitrag zur Lehre von der mechanischen Festigkeit der Hölzer angesehen werden dürfte. Weitere Ziele für die im Vorstehenden behandelte Forschungsarbeit sind in den späteren Darlegungen ausgeführt.

Zuvörderst möge es mir gestattet sein, in kurzen Zügen darzustellen, wie weit uns der gegenwärtige Stand der Forschung über das Wesen, also über die physiologische Seite der Verholzung unterrichtet, wobei ein flüchtiger historischer Rückblick kaum zu umgehen sein wird.¹⁾

Mit dem Gegenstande hat sich bereits in den Dreissigerjahren unseres Jahrhunderts Payen²⁾ näher beschäftigt. Dieser Forscher stellte fest, dass alle Zellmembranen nach gehöriger Reinigung aus einem und demselben Stoffe, der Cellulose, bestehen, für welche er die Formel $C_{12}H_{24}O_{10}$ construirte. Veränderungen der Membrane, seien sie chemischen oder physiologischen Charakters, erfolgen durch An- und Einlagerung organischer und unorganischer Verbindungen, welche Payen „incrustirende Substanzen“ nennt. Diese incrustirende Substanz (*matière ligneuse*) fand Payen reicher an Kohlenstoff und Wasserstoff als Cellulose, und nach der Formel $C_{17\frac{1}{2}}H_{24}O_{10}$ zusammengesetzt; er schied sie nach dem Verhalten der in concentrirter Kalilauge löslichen Bestandtheile des Holzes gegen verschiedene Lösungsmittel wie Alkohol, Aether, Ammoniak u. s. w. in Lignose, Lignone und Lignireose.

¹⁾ Vergl. Sachsse, Die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlehydrate und Protein-substanzen. Leipzig 1877, p. 144 ff.

²⁾ Annales des sciences naturelles, Tome II, Bot. 1839, 1840, T. XIV., 1841, T. XVI.; ferner Mémoires sur les développements des végétaux 1844. cf. auch M. Niggli, Ueber die Verholzung der Pflanzenmembranen. XXXVII bis XXXIX. Jahresber. der Pollichia. 1881.

Gegen diese Lehren Payen's trat Schleiden auf, welcher die Verholzung nicht durch Einlagerung von Substanzen, sondern durch die Verschiedenheit der die Membranen bildenden Stoffe erklärte. Fromberg und Baumhammer¹⁾ bestätigten durch ihre Untersuchungen Payen's Annahmen, dass nach Reinigung von pflanzlichen Geweben durch Säuren und Alkalien bei allen Pflanzen ein Stoff von gleicher Zusammensetzung zurückbleibe, die Cellulose von der Formel $C_{24}H_{42}O_{21}$, während sie für die incrustirende Substanz die Formel $C_{40}H_{46}O_{18}$ berechneten. Mulder stellte den Satz auf, dass ein grosser Theil der die Membranen bildenden Schichten schon von der Entstehung an aus anderen Verbindungen als Cellulose bestehe.

H. v. Mohl²⁾ wandte sich 1847 gegen diese Lehre Mulder's und ging, indem er die Cellulose als Grundlage aller Pflanzenmembranen hinstellte, auf Payen's Standpunkt zurück. Trotzdem leugnete Fremy in einer 1859 der Pariser Akademie vorgelegten Abhandlung über die Zusammensetzung des Holzes die Cellulose als Grundsubstanz der vegetabilischen Membranen und die Existenz einer incrustirenden Substanz, wie sie Payen und Mohl annahmen. Fremy stellte eine grössere Anzahl chemisch verschiedener Substanzen auf, welche sich an der Bildung der einzelnen Gewebelemente betheiligen und die letzteren von ihrer Entstehung an aufbauen sollen. Die Härte und Festigkeit des Holzes werde nicht durch Einlagerung von incrustirenden Substanzen bewirkt, sondern dadurch, dass die Schichten, welche in jungen Pflanzen nur dünne Wände bilden, mit der Zeit zahlreicher und dichter werden, ohne dass ihre chemische Zusammensetzung eine Veränderung erleiden würde.

Fremy's unhaltbare Hypothesen wurden sehr bald durch Kabsch³⁾ Untersuchungen widerlegt. Kabsch betrachtet Payen's incrustirende Substanz als Umwandlungsproduct der Cellulose; er nimmt also wie Payen und Mohl an, dass die Membranen sämtlicher vegetabilischen Organe im jugendlichen Zustande aus Cellulose bestehen, hingegen aber erklärt er die Verholzung nicht durch moleculare Einlagerung incrustirender Substanzen (wie Payen), sondern durch chemische Veränderungen der Cellulose. Ueber diese zwei Möglichkeiten ist die Wissenschaft bis heute noch nicht weggekommen.

Auch F. Schulze nimmt das Lignin oder den Holzstoff als ein chemisches Umwandlungsproduct der Cellulose an. Von ihm rührt eine indirecte, bisher vielfach angewandte, wenn auch etwas umständliche Methode der Ligninbestimmung im Holze her. Wenn man nämlich verholzte Membranen nach vorheriger Behandlung mit Alkohol, Aether, verdünnten Alkalien und Säuren, wodurch sie von den in ihnen enthaltenen organischen und anorganischen Substanzen befreit werden, 14 Tage lang in kalter Schulze'scher Mischung (Salpetersäure und chlorsaures Kali) behandelt, so löst sich das hypothetische Lignin vollständig auf und der Rückstand zeigt die Reactionen reiner Cellulose; auf diese Weise kann man aus der Differenz der in Analyse gezogenen Holzmenge und der gewonnenen Cellulose die Menge der incrustirenden Substanzen in einem Holzgewebe bestimmen.

Heute ist es bereits festgestellt, dass das „Lignin“ kein chemisches Individuum, sondern ein Gemisch verschiedener Substanzen ist, worauf ich weiter unten näher eingehen werde. Sachsse ist der Ansicht, dass je nach Umständen, unter welchen die Umwandlung der Cellulose erfolgt, eine sehr grosse Anzahl verschiedener Verbindungen aus Cellulose hervorgehen dürfte, die sämtlich in der Membran verbleiben.

¹⁾ Mulder, Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. Uebersetzt von Kolbe, I. p. 199 und 488.

²⁾ Botan. Zeitg. 1847; Mohl, Die vegetabilische Zelle, p. 192.

³⁾ In Pringsheim's Jahrbüchern der wissenschaftlichen Botanik III. p. 357.

Die Cellulosemolecüle liegen als solche entweder zwischen den Molecülen ihrer Umwandlungsproducte, oder sie sind mit diesen in chemischer Verbindung zu denken. Sachsse ¹⁾ neigt der Ansicht zu, dass das Holz ein einfaches Gemenge sei, bestehend aus Cellulosepartikeln, welche dicht incrustirt sind mit anderen aus ihnen entstandenen oder aus dem Zellinhalt eingewanderten Verbindungen. Für diese Auffassung spräche vor allen Dingen die Nothwendigkeit der Anwendung sehr energisch wirkender Mittel, wie chloresaures Kali und Salpetersäure, wenn man Cellulose aus Holz isoliren will; handelte es sich hier um Spaltung einer Cellulose-Verbindung, so würden vermuthlich viel einfachere Mittel zum Ziele führen. J. Sachs ²⁾ ist hinwieder der Ansicht, dass die Molecüle des Lignins durch chemische Metamorphose eines Theiles der Zellstoffmolecüle entstehen, in der Zellwand, an jener Stelle, wo wir sie finden. Die Theorie der blossen — molecularen — Incrustirung oder Infiltration der vorhandenen Cellulosemolecüle und jene der chemischen Metamorphose der letzteren stehen somit heute einander scharf gegenüber, wiewohl letztere Annahme zahlreichere Anhänger zu besitzen scheint. So hat sich z. B. Bevan ³⁾ auf Grund seiner Arbeiten decidirt dahin ausgesprochen, dass die Verholzung in einer chemischen Verbindung und nicht in einer molecularen Incrustation bestehe. Die Existenz einer „Grundsubstanz“, der Cellulose, in jeder verholzten Zellwand wird heute kaum mehr gelehrt.

Wie schon oben erwähnt, ist nach den neueren Untersuchungen das Lignin kein chemisches Individuum, sondern ein Gemisch verschiedener Substanzen, unter welchen Coniferin, Vanillin, ⁴⁾ Gerbstoffe, zwei Gummiarten, ein mit Salzsäure sich gelb färbender Körper und stickstoffhaltige Substanzen zu erwähnen wären. C. Schulze und B. Tollens ⁵⁾ schliessen aus ihren umfangreichen Untersuchungen, dass Cellulose und die Pentaglykosen-substanz, d. h. Holzgummi nicht als einfaches Gemenge, sondern in inniger Vereinigung, vielleicht als chemische Verbindung, in der verholzten Zellwand vorhanden sind; daneben nehmen sie als dritten Bestandtheil das eigentliche Lignin an.

G. Lange ⁶⁾ fand durch seine Untersuchungen die Ansicht Hoppe-Seyler's bestätigt, dass Lignin Aether der Ligninsäure mit Cellulose sind. A. Ihl ⁷⁾ nennt als Bestandtheil der verholzten Zellwandung auch Zimmtaldehyd und in kleiner Menge andere Derivate des Allylbenzols, wie Eugenol, Safrol und Anethol; diese Stoffe finden sich in Verbindung mit Terpenen, Harzen, Kampherarten und Gummi. Das Lignin stellt Ihl zu den Gummiharzen.

Die Kraft, mit welcher die Cellulose mit den incrustirenden Substanzen verbunden ist, schwankt bei den verschiedenen Hölzern ausserordentlich. Im Guajakholze lässt sich z. B. durch Behandlung mit Alkalien die Cellulose nur ausserordentlich schwer ausscheiden, während dies bei Kiefernholz verhältnismässig leicht geschieht. Die neueste Forschung, besonders die Arbeiten W. Hoffmeisters ⁸⁾ lehren auch, dass die eigentliche Cellulose, die man gegenwärtig bei der Trennung von den die Verholzung bedingenden Substanzen nicht unverändert

¹⁾ Sachsse, l. c., pag. 144 ff.

²⁾ J. Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie.

³⁾ E. Bevan, The chemistry of Cellulose (Pharm. Journ. Transact. III., p. 570—573).

⁴⁾ M. Singer, Beiträge zur näheren Kenntnis der Holzsubstanz und der verholzten Gewebe. (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften in Wien. Bd. LXXXV, 1882, pag. 414.)

⁵⁾ C. Schulze und B. Tollens, Untersuchungen über das Holzgummi (Xylan) und die Pentosane als Bestandtheile der incrustirenden Substanz der verholzten Pflanzenmembran (landw. Versuchsstat. XL, 1892, p. 367 ff.).

⁶⁾ G. Lange, Zur Kenntnis des Lignins. (Zeitschr. f. phys. Chemie XIV.)

⁷⁾ A. Ihl, Was ist Holzsubstanz? Einwirkung von Alkalien und doppelt-schwefelsaurem Kalk auf Holz. (Chem. Ztg. 1891, p. 201 ff.)

⁸⁾ W. Hoffmeister, Die Cellulose und ihre Formen. Das Cellulosegummi. (Landw. Versuchsstationen, Bd. 39, 1891, p. 461 ff.)

darzustellen vermag, je nach Holzart verschieden constituirte sein dürfte; dafür spräche z. B. die leichte Wandlungsfähigkeit der Cellulose aus dem Lindenhölze gegenüber jener aus Kiefernholz. Hoffmeister stellt denn auch die Frage, „ob es eine völlig einheitliche Form der Cellulose in darstellbarer Menge in den Pflanzen gibt, oder ob nicht vielmehr nur untrennbare Uebergangsformen sich finden, welche weiter in der lebenden Pflanze fortwährend Umwandlungen erfahren und auch nur so entweder als ursprüngliche oder durch die Behandlung beeinflusste Uebergangsformen zu gewinnen sind“.

Okamura¹⁾ beschäftigte sich im Besonderen mit Studien über den Gehalt verschiedener Hölzer an Holzgummi, da er diesem Gegenstande besondere Bedeutung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit des Holzes beimass. Hölzer mit hohem Holzgummigehalt, wie z. B. Buchenholz, sind viel weniger dauerhaft als gummiarmer, wie etwa Fichtenholz. Das ausserordentlich dauerhafte Holz der *Cryptomeria japonica* Don. weist nach Okamura's Untersuchungen nur einen Holzgummigehalt von 1.724 %, jenes der *Fagus Sieboldi* Endl. hingegen einen solchen von 19.716% auf. Die Extraction des Holzgummis erfolgte aus geraspeltem Holze mit 5%iger Natronlauge.

Methode der Ligninbestimmung. Untersuchungsmaterial.

Die Ligninbestimmungen, welche in den letzten Jahren zum Theile von F. Schulze, sodann von Prof. Ebermayer und jüngst von Benedikt und Bamberger ausgeführt worden waren, sowie die Rolle, welche man dem Grade der Verholzung in der Beeinflussung der technischen Eigenschaften der Hölzer ziemlich allgemein zuschrieb, liess es nicht uninteressant erscheinen, sich mit der Frage des Ligningehaltes und der Ligninvertheilung im Nadelholzstamme näher zu befassen, zumal in der von Benedikt und Bamberger zur Anwendung gebrachten Zeisel'schen Methoxyl-Bestimmungsmethode ein ziemlich einfacher Weg gewiesen war zur Erreichung hinlänglich genauer Analysenzahlen über Ligningehalte. Einige Worte mögen über die angewandte Methode aufklären.²⁾

Kocht man Holz mit Jodwasserstoffsäure von 1.70 specifischem Gewicht, nachdem man letztere mit 8% Essigsäureanhydrit versetzt hatte, so bildet sich eine ziemliche Menge Methyljodid; dasselbe wird in einem Kugelapparate, dessen nähere Einrichtung hier unerörtert bleiben möge, gereinigt und in einer 40%igen mit Weingeist versetzten Silbernitratlösung aufgefangen. Das Methyljodid wird von der Silberlösung begierig aufgenommen und erzeugt in derselben einen weissen krystallinischen Niederschlag von Silberjodid-Silbernitrat. Aus diesem Doppelsalze wird nach Entfernung des Alkohols Silberjodid, das aus warmer, wässriger Lösung quantitativ abgeschieden wird. Aus der gewonnenen Menge des Jodsilbers lässt sich die Menge des Methyls berechnen, welches durch die Jodwasserstoffsäure gebildet worden war. Diese Methylmenge, in Zehntelprocenten ausgedrückt, nennt Benedikt die Methylzahl.

Benedikt und Bamberger stellten sich die Frage, welche Bestandtheile des Holzes, mit Jodwasserstoffsäure gekocht, unter Bildung von Methyljodid zerfallen. Die beiden Forscher fanden, dass reine Cellulose, gereinigte Baumwolle, Filtrirpapier kein Methyljodid liefern; aus technischer Sulfitcellulose konnten nur geringe Mengen gewonnen werden. Ferner wurde eine ganze Reihe verschiedener Hölzer mit Wasser ausgekocht, getrocknet und sodann

¹⁾ J. Okamura, Ueber den Gehalt verschiedener Holzarten an Holzgummi. (Landw. Versuchsstationen, Bd. 45, 1895, p. 437 ff.)

²⁾ R. Benedikt und M. Bamberger, Ueber eine quantitative Reaction des Lignins. (Aus den Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften in Wien, Math.-naturw. Cl., Bd. XCIX, Abth. II, 1890.)

tagelang erst mit Alkohol, dann mit Aether extrahirt. Die extrahirten Hölzer wiesen dieselben Methylzahlen auf, wie die nicht extrahirten.

Harze und Gerbstoffe, wie sie in den besonders ligninreichen und deshalb auch mit hohen Methylzahlen ausgestatteten Kernhölzern vorkamen, haben auf die Grösse der Methylzahl keinen Einfluss, weil ja — wie oben erwähnt — mit Alkohol und Aether extrahirte Hölzer dieselben Methylzahlen aufweisen, wie die nicht extrahirten. Dasselbe gilt, wenn auch nicht in ganzem Umfange, von Vanillin und Coniferin. Hingegen aber wird das Holzgummi in der Methylzahl zum Ausdrucke gelangen, wie directe Untersuchungen Benedikt's gezeigt haben. Benedikt fand nämlich für Holzgummi die Methylzahl 13·6, während das zu seiner Bereitung verwendete Buchenholz eine solche von 26·2 zeigte. (Nach Okamura's Untersuchungen ist Buchenholz an Holzgummi sehr reich.)¹⁾

Es ist also mit aller Sicherheit anzunehmen, dass durch die Methylzahlen Holzgummi, dann in geringerem Maaße Vanillin und Coniferin als ständige Begleiter verholzter, vegetabilischer Zellwandungen, vor Allem aber das Lignin zum Ausdrucke gelangen; dies ist umso zuverlässlicher anzunehmen, als die auf diesem Wege gefundenen Ligningehalte jenen nach F. Schulze's Macerationsmethode erlangten stets sehr nahe liegen. Von den beiden Methoden lässt sich übrigens eine völlige Uebereinstimmung der Resultate niemals erwarten, da die eine die Summe der Nicht-Cellulose als Differenz ergibt, die andere ein relatives Maaß für jene im Sammelbegriffe „Lignin“ enthaltenen Substanzen ist, welche kein Methoxyl enthalten.²⁾

Benedikt hebt übrigens mit Recht hervor, dass die gefundenen Zahlen nur einen relativen Werth besitzen, da die Methylzahl des reinen Lignins nicht bekannt ist. Benedikt hat nun eine von Schulze gefundene Ligningehaltszahl des Eichenholzes als richtig angenommen, sodann eine eigene Methylzahlbestimmung für Eichenholz benützt, um auf diesem Wege die Methylzahl für Lignin zu berechnen. Aus den nachfolgenden Ausführungen wird sich ergeben, dass Benedikt auf diesem Wege einen Fehler begangen hat, da nicht angenommen werden darf, dass das von Schulze auf Lignin untersuchte Eichenholz im Ligningehalte mit dem von Benedikt analysirten übereinstimme; hätte Benedikt benachbarte Holzstücke irgend eines Baumstammes sowohl der Schulze'schen als auch seiner eigenen Lignin-Bestimmungsmethode unterworfen, hätte er eine Methylzahl für Lignin erhalten, welche von der Wahrheit gewiss nur wenig abgewichen wäre. Die in den Tabellen enthaltenen Ligningehalte sind mit der von Benedikt gefundenen Methylzahl des Lignins (52·9) berechnet, sie besitzen also lediglich relativen Wert, was übrigens zu vergleichenden Studien vollkommen genügt. Benedikt und Bamberger haben die Methode ausserordentlich vervollkommnet, so dass die Bestimmung der Methylzahl mit $\frac{1}{10}\%$ Genauigkeit ermöglicht wurde.

Als an die Untersuchung über Ligningehalt und Ligninvertheilung geschritten werden sollte, wurden, wie naheliegend, Nadelhölzer zu denselben herangezogen. Es war von vorneherein nicht beabsichtigt, mit der Feststellung des Ligningehaltes eine Methode kennen zu lernen, nach welcher die technischen Eigenschaften der so untersuchten Hölzer in der Praxis mit Sicherheit geprüft werden sollten; hiefür gibt es directere und verlässlichere Wege; vielmehr hat es sich in erster Linie darum gehandelt, die Frage des Ligningehaltes in wissenschaftlicher Richtung zu beleuchten und zu ergründen, ob auf diese Weise sich nicht den bisher schon bekannten Erklärungsgründen für die technischen Eigenschaften weitere hinzufügen liessen.

¹⁾ cf. diese Abhandlung pag. 10, Anmerkung 1.

²⁾ Im Lignin gibt es eben, wie oben gesagt, in geringen Mengen auch Substanzen, welche mit Jodwasserstoffsäure Aethyljodid und Allyljodid, aber kein Methyljodid geben.

Tabelle I.

Nummer der Holzprobe	Holzart	Herkunft des Probestammes	Des Standortes		Des untersuchten Stammes									
			Meereshöhe	Ex- position und Neigung	Nummer respective Bezeichnung	Alter am Stock- abschnitte	Scheitelhöhe	Brusthöhen- Durchmesser	Schaftholzmasse	durchschnittlich- jährl. Flächenzuwachs während der unter- suchten Zeitperiode	Kronenansatzhöhe (vom Boden)	Stellung im Bestande		
													m	Jahre
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Fichte	K. k. Forstbezirk Rekawinkel im Wienerwalde	400	nördlich sanft	I	50	12·1	14·5	0·1122	1·192	6·5	gedrängt u. beherrscht		
2													1·091	"
3														
4	}	dto.	400	nördlich sanft	II	56	23·2	34·4	0·9894	30·348	5·35	frei und herrschend		
5													11·757	"
6														
7	}	dto.	400	nördlich sanft	V	57	15·5	15·5	0·1679	2·533	10·1	gedrängt u. beherrscht		
8													1·787	"
9														
10	}	dto.	400	nördlich sanft	VI	57	23·6	33·6	0·9323	34·525	10·9	frei und herrschend		
11													17·420	"
12														
13	}	K. k. Forstbezirk Zell am See (Salzburg)	1190	westl. 38°	I	116	34·0	59·0	4·93	26·717	12·8	herrschend		
14													14·876	"
15														
16	}	dto.	1510	westl. 40°	II	124	31·8	43·0	2·23	15·549	13·3	herrschend		
17													9·959	"
18														
19	}	dto.	1780	westl. 30°	III	124	21·0	38·0	0·73	10·564	7·1	herrschend und frei		
20													5·039	"
21														
22	}	dto.	1400	nördl. 35°	I N	153	35·8	45·0	2·65	28·539	10·7	herrschend und frei		
23													13·697	"
24														
25	}	dto.	1400	nördl. 40°	II N	156	31·6	46·0	2·24	17·758	8·5	herrschend und frei		
26													10·356	"
27														
28	}	dto.	1400	südl. 30°	I S	154	19·4	41·0	0·81	7·136	2·6	herrschend und frei		
29													3·154	"
30														

Die Holzprobe			Der untersuchten Holzprobe						Verhältniss des in Gewichts- prozenten ausgedrückten Lignin- gehaltes (Colonne 20) zum spezifischen Trocken- gewichte (Colonne 18)	Mittleres Alter der untersuchten Holzprobe in Jahren	
rührte her		umfasste die Jahrringe von..... bis	durchschnittliche Jahrringbreite	spezifisches Trocken- gewicht ($H_2O = 100$)	Methylzahl bezogen auf absolut trockenes Holz	Ligningehalt bezogen auf gleiche Holzgewichte	100Raumtheile, absolut trocken, enthalten				
von Stamm- scheibe (Signum)	aus <i>m</i> Stammhöhe						organische Substanz	Lignin			
											%
14	15	16	mm	17	18	19	20	21	22	23	24
A	vom Stocke	1882—1891	0·30	52·09	23·40	44·2	33·4	14·76	0·848	5	
B	4·0	1882—1891	0·30	57·44	22·19	41·9	36·8	15·42	0·729	5	
C	8·0	1882—1891	0·23	47·96	23·93	45·2	30·7	13·88	0·942	5	
A	vom Stocke	1887—1891	2·80	45·97	22·44	42·4	29·4	12·46	0·922	2·5	
B	7·7	1887—1891	1·70	45·63	22·37	42·3	29·2	12·35	0·927	2·5	
C	15·4	1887—1891	2·36	45·57	22·48	42·5	29·2	12·41	0·932	2·5	
A	vom Stocke	1882—1891	0·91	60·00	22·24	42·0	38·4	16·12	0·700	5	
B	5·0	1882—1891	0·41	59·12	22·49	42·5	37·8	16·06	0·719	5	
C	10·0	1882—1891	0·49	55·41	22·46	42·5	35·5	15·09	0·767	5	
A	vom Stocke	1888—1891	2·97	39·39	22·13	41·8	25·2	10·53	1·061	2	
B	7·9	1888—1891	1·94	40·41	22·63	42·8	25·9	11·08	1·059	2	
C	15·8	1888—1891	4·14	38·43	21·79	41·5	24·6	10·21	1·079	2	
A	vom Stocke	1880—1891	1·41	43·30	23·55	44·5	27·7	12·32	1·028	6	
B	11·3	1880—1891	1·10	41·56	23·33	44·1	26·6	11·73	1·061	6	
C	22·6	1880—1891	1·55	36·99	23·36	44·2	23·7	10·47	1·188	6	
A	vom Stocke	1877—1891	1·20	36·36	24·02	45·4	23·3	10·58	1·249	7·5	
B	10·6	1877—1891	0·96	38·91	23·65	44·7	24·9	11·13	1·149	7·5	
C	21·2	1877—1891	1·53	35·62	23·03	43·5	22·8	9·92	1·221	7·5	
A	vom Stocke	1877—1891	0·82	46·21	22·99	43·4	29·6	12·85	0·939	7·5	
B	7·0	1877—1891	0·70	42·64	21·89	41·4	27·3	11·30	0·971	7·5	
C	14·0	1877—1891	0·74	45·47	21·94	41·5	29·1	12·08	0·912	7·5	
A	vom Stocke	1880—1891	1·53	45·08	23·19	43·8	28·9	12·66	0·971	5·5	
B	11·9	1880—1891	1·41	39·60	23·56	44·5	25·4	11·30	1·124	5·5	
C	23·8	1880—1891	1·33	40·29	22·45	42·4	25·8	10·94	1·052	5·5	
A	vom Stocke	1877—1891	0·95	41·24	23·73	44·9	26·4	11·85	1·089	10	
B	10·5	1877—1891	0·87	34·86	23·64	44·7	22·3	9·97	1·282	10	
C	21·0	1877—1891	0·97	38·02	22·79	43·1	24·3	10·47	1·134	10	
A	vom Stocke	1872—1891	0·58	38·25	23·85	45·1	24·5	11·05	1·179	10	
B	6·5	1872—1891	0·40	36·82	23·22	43·9	23·6	10·36	1·192	10	
C	13·0	1872—1891	0·48	39·17	22·63	42·8	25·1	10·57	1·092	10	

Tabelle I.

Nummer der Holzprobe	Holzart	Herkunft des Probestammes	Des Standortes		Des untersuchten Stammes							Stellung Bestände	
			Meereshöhe	Ex- position und Neigung	Nummer respective Bezeichnung	Alter am Stock- abschnitte	Scheitelhöhe	Brusthöhen- Durchmesser	Schaftholzmasse	durchschnittlich- jährl. Flächenwachs während der unter- suchten Zeitperiode	Kronensatzhöhe (vom Boden)		
													Jahre
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
31	Fichte	K. k. Forstbezirk Zell am See (Salzburg)	1400	südl. 30°	II S	150	19·0	35·0	0·60	6·203	2·2	frei und mit- herrschend	
32										3·216			
33										1·798			
34	K. k. Forstbezirk Wald im Pinzgau (Salzburg)	K. k. Forstbezirk Wald im Pinzgau (Salzburg)	900	nordöstl. 5—10°	1	85	26·4	34·0	—	19·540	9·3	nach drei Seiten frei; frohwüchsig	
35									15·353				
36									26·306				
37									12·754				
38									18·301				
39									8·305	„			
40	}	dto.	900	nordöstl. 5—10°	2	85	29·6	42·0	—	32·849	11·8	seitlich schwach beschrmt	
41									15·510				
42									12·410	„			
43									8·344	„			
44									6·031	„			
45									1·257	„			
46	}	dto.	1650	nordöstl. 15—20°	I	108	8·0	—	3·874	0·35	freistehend, schlechtwüchsig		
47								1·682					
48								1·040					
49	}	dto.	1650	nordöstl. 15—20°	II	160	16·0	—	9·431	1·40	räumig, doch im seilt. Schutze, gutwüchsig		
50								6·335	„				
51								5·167	„				
52		Mariabrunn	227	eben	M	22	—	—	11·285	—	freistehend		
53	Weisstanne	K. k. Forstbezirk Rekawinkel im Wienerwalde	400	nördlich sanft	III	100	21·1	17·8	0·2805	4·606	15·8	gedrängt u. beherrscht	
54										3·317			„
55										2·200			„
56	}	dto.	400	nördlich sanft	IV	94	24·6	36·2	1·2330	22·619	15·2	frei und herrschend	
57										13·622			„
58										15·758			„

*) Sp. bedeutet Holz aus dem Splintantheile, K. bedeutet Kernholz.

(Fortsetzung.)

Die Holzprobe			Der untersuchten Holzprobe						Verhältniss des in Gewichts- procenten ausgedrückten Lignin- gehaltes (Colonne 20) zum spezifischen Trocken- gewichte (Colonne 18)	Mittleres Alter der untersuchten Holzprobe in Jahren
rührte her		umfasste die Jahrringe von..... bis	durchschnittliche Jahrringbreite	spezifisches Trocken- gewicht ($H_2O = 100$)	Methylzahl bezogen auf absolut trockenes Holz	Ligningehalt bezogen auf gleiche Holzgewichte	100 Raumtheile, absolut trocken, enthalten			
von Stamm- scheibe (Signum)	aus Stammhöhe						organische Substanz	Lignin		
							%	%		
14	15	16	17 mm	18	19	20 %	21 %	22 %	23	24
A	vom Stocke	1872—1891	0·57	38·56	23·86	45·1	24·7	11·14	1·169	10
B	6·3	1872—1891	0·44	45·14	23·93	45·2	28·9	13·06	1·001	10
C	11·6	1872—1891	0·48	39·92	22·94	43·4	25·6	11·11	1·087	10
1/1 Sp. *)	1·55	1890—1895	2·8	39·24	24·23	45·80	25·2	11·54	1·161	3
1/1 K. *)	„	1860—1865	3·8	37·51	26·74	50·55	24·0	12·24	1·340	33
1/2 Sp.	8·80	1890—1895	2·3	34·02	23·97	45·31	21·8	9·88	1·332	3
1/2 K.	„	1860—1865	4·8	30·21	26·72	50·51	19·4	9·80	1·672	33
1/3 Sp.	17·60	1890—1895	3·7	35·02	23·85	45·09	22·5	10·15	1·288	3
1/3 K.		1876—1881	4·4	34·19	23·50	44·42	21·9	9·73	1·299	17
2/1 Sp.	1·55	1890—1895	3·0	32·40	24·77	46·82	20·8	9·74	1·445	3
2/1 K.		1856—1861	3·0	33·25	25·95	49·06	21·3	10·45	1·475	37
2/2 Sp.	9·83	1890—1895	1·5	35·71	23·56	44·54	22·9	10·20	1·247	3
2/2 K.	„	1856—1861	4·2	32·18	25·34	47·90	20·6	9·87	1·488	37
2/3 Sp.	19·96	1890—1895	3·0	41·10	24·08	45·52	26·3	11·97	1·107	3
2/3 K.		1882—1887	3·0	42·57	24·49	46·29	27·3	12·64	1·087	11
I/1 Sp.	0·12	1890—1895	0·70	27·88	23·72	44·84	17·9	8·03	1·608	3
I/2 Sp.	2·66	1890—1895	0·60	41·47	23·28	44·01	26·6	11·71	1·061	3
I/3 Sp.	5·32	1888—1895	0·50	40·00	23·95	45·27	25·6	11·59	1·132	4
II/1 Sp.	1·40	1890—1895	0·80	34·76	23·99	45·35	22·3	10·11	1·305	3
II/2 Sp.	5·30	1890—1895	0·77	33·98	24·80	46·88	21·8	10·22	1·379	3
II/3 Sp.	10·60	1890—1895	1·07	38·00	22·90	43·29	24·4	10·56	1·139	3
—	vom Stocke	1890—1895	3·60	40·30	23·69	44·78	25·8	11·55	1·111	3
A	vom Stocke	1882—1891	0·64	62·69	24·96	47·2	40·2	18·97	0·753	5
B	7·0	1882—1891	0·58	50·86	23·18	43·8	32·6	14·28	0·861	5
C	14·0	1882—1891	0·54	44·56	23·72	44·8	28·5	12·77	1·005	5
A	vom Stocke	1887—1891	2·00	51·85	23·58	44·5	33·2	14·77	0·858	2·5
B	8·2	1887—1891	1·62	42·69	24·40	46·1	27·3	12·58	1·079	2·5
C	16·4	1887—1891	2·70	40·72	24·22	45·8	26·0	11·91	1·125	2·5

Tabelle I.

Nummer der Holzprobe	Holzart	Herkunft des Probestammes	Des Standortes		Des untersuchten Stammes							Stellung im Bestande
			Meereshöhe	Ex- position und Neigung	Nummer respective Bezeichnung	Alter am Stock- abschnitte	Scheitelhöhe	Brusthöhen- Durchmesser	Schaftholzmasse	durchschnittlich- jährl. Flächenzuwachs während der unter- suchten Zeitperiode	Kronenansatzhöhe (vom Boden)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
59	Schwarzföhre	Stixenstein bei Neunkirchen in Niederösterreich	500	südlich sanft	Df. I	29	6·5	7·0	0·0171	2·859	3·5	geschlossen
60										1·543	"	
61										2·262	"	
62	}	dto.	500	südlich sanft	Df. III	29	7·3	7·0	0·0178	1·334	5·2	geschlossen
63										0·803	"	
64										0·834	"	
65	Zirbelkiefer	K. k. Forstbezirk Wald im Pinzgau (Salzburg)	1650	nordöstl. 15–20°	I	170	12·5	—	0·801	9·945	0·50	frei
66										5·961	"	
67										16·964	"	
68										6·334	"	
69										1·723	"	
70										1·896	"	
71	}	dto.	1650	nordöstl. 15–20°	II	120	12·0	—	0·311	7·162	1·00	unter theilweisem Schutze, gutwüchsig
72										6·358	"	
73										8·270	"	
74										1·627	"	
75										4·197	"	
76										0·162	"	
77	}	dto.	1650	nordöstl. 15–20°	III	75	8·16	—	0·069	12·233	1·17	frei und frohüchsig
78										3·510	"	
79										6·773	"	
80										1·004	"	
81										2·928	"	
82										0·305	"	

Anmerkung. Die Methylzahlbestimmungen der Proben 1 bis 33, sowie jene der Proben 53 Laboratorium der k. k. technischen Hochschule zu Wien, die Analysen der übrigen Holzproben (34 bis 52) ausgeführt.

(Schluss.)

Die Holzprobe			Der untersuchten Holzprobe						Verhältniss des in Gewichts- procenten ausgedrückten Lignin- gehaltes (Colonne 20) zum spezifischen Trocken- gewichte (Colonne 18)	Mittleres Alter der untersuchten Holzprobe in Jahren
rührte her		umfasste die Jahrringe von..... bis	durchschnittliche Jahringbreite	spezifisches Trocken- gewicht ($H_2O = 100$)	Methylzahl bezogen auf absolut trockenes Holz	Ligningehalt bezogen auf gleiche Holzgewichte	100 Raumtheile absolut trocken enthalten			
von Stamm- scheibe (Signum)	aus <i>m</i> Stammhöhe						organische Substanz	Lignin		
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	vom Stocke	1886—1891	1·03	60·27	20·59	38·9	38·6	15·01	0·645	3
B	2·17	1886—1891	0·88	56·14	20·26	38·3	36·0	13·79	0·682	3
C	4·34	1888—1891	1·36	52·41	20·21	38·2	33·6	12·83	0·729	3
A	vom Stocke	1880—1891	0·40	62·98	20·53	38·8	40·3	15·64	0·616	6
B	2·6	1880—1891	0·48	58·29	20·49	38·7	37·3	14·43	0·664	6
C	5·2	1887—1891	0·76	50·60	20·78	39·2	32·4	12·70	0·774	2·5
I/1 Sp.	0·77	1890—1895	1·04	34·90	23·17	43·80	22·4	9·81	1·255	3
I/1 K.		1826—1831	1·25	37·70	25·82	48·81	24·2	11·81	1·295	67
I/2 Sp.	4·18	1890—1895	1·96	30·49	23·81	45·01	19·5	8·78	1·476	3
I/2 K.	"	1826—1831	2·28	31·78	24·88	47·03	20·4	9·59	1·479	67
I/3 Sp.	8·30	1890—1895	0·68	41·25	23·62	44·65	26·4	11·79	1·082	3
I/3 K.	"	1826—1831	1·18	37·66	26·85	50·76	24·1	12·23	1·348	67
II/1 Sp.	0·37	1890—1895	0·86	38·45	23·16	43·78	26·4	11·56	1·139	3
II/1 K.	"	1826—1831	1·15	35·51	25·97	49·09	22·8	11·19	1·332	67
II/2 Sp.	4·07	1890—1895	1·56	35·66	23·84	45·07	22·9	10·32	1·264	3
II/2 K.	"	1832—1837	1·56	35·82	24·07	45·50	23·0	10·46	1·270	61
II/3 Sp.	8·14	1890—1895	1·83	35·69	22·71	42·93	22·9	9·83	1·203	3
II/3 K.		1864—1869	1·04	40·29	23·71	44·82	25·8	11·56	1·112	29
III/1 Sp.	0·16	1890—1895	2·86	38·57	23·28	44·01	24·7	10·87	1·141	3
III/1 K.	"	1870—1875	1·95	41·74	23·70	44·80	26·8	12·01	1·073	23
III/2 Sp.	2·72	1890—1895	2·36	37·53	23·52	44·46	24·1	10·71	1·184	3
III/2 K.	"	1870—1875	2·03	45·25	24·23	45·80	29·0	13·28	1·012	23
III/3 Sp.	5·44	1890—1895	2·00	38·34	23·78	44·95	24·6	11·06	1·172	3
III/3 K.		1884—1886	2·70	48·00	24·55	46·41	30·8	14·29	0·967	10·5

bis 64 wurden von weil. Prof. Dr. R. Benedikt im Vereine mit Prof. Dr. M. Bamberger im chemischen und 65 bis 82) von Dr. Ed. Hoppe im Laboratorium der k. k. forstlichen Versuchsanstalt zu Mariabrunn

Die für die Untersuchung bestimmten Stämme wurden stets im Herbst gefällt, entastet, die für die Cubirung nothwendigen Daten wurden im Walde erhoben und sodann erfolgte die Entnahme je einer 10 cm dicken Stammscheibe aus der Höhe des Stockabschnittes, aus einem Drittel und aus zwei Drittel Stammhöhe. Der Stellung der Probestämme im Bestande, der Kronenentwicklung, der Höhe des Kronenansatzes wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Bei einzelnen Stämmen wurde der Festgehalt des Kronenreisiges auf xylometrischem Wege bestimmt. Die Erhebung der Jahrringbreite, des Flächenzuwachses, des spezifischen Trockengewichtes, des Spätholzantheiles an den für die Ligninbestimmung ausgespaltenen Holzstückchen erfolgte im Laboratorium. Die Holzstücke wurden sodann in fein geraspeltem Zustande dem chemischen Laboratorium überantwortet.

Die Nationale der untersuchten Stämme, sowie die Daten über die betreffenden Standorte sind in Tabelle I verzeichnet; es sind dort auch die spezifischen Trockengewichte, die Jahrringbreiten, die Mengen der organischen Substanz in 100 Raumtheilen absolut trockenen Holzes, die Methylzahlen und die aus denselben berechneten Ligningehalte bezogen auf gleiche Holzgewichte und gleiche Holzvolumina verzeichnet. Ueber den weiteren Inhalt dieser Tabelle belehrt ein Blick in dieselbe.

Als ich daran ging, das Programm für die Lignin-Untersuchungen zu verfassen, stellte ich die Erkenntnis über die Grösse des Ligningehaltes in den verschiedenen Nadelhölzern, sowie über dessen Vertheilung im Stamme als erstes Forschungsziel hin. Weitere Studien sollten sich auf den Unterschied des alpinen und des im Wiener Walde erwachsenen Fichtenholzes richten, es sollte der Ligningehalt des in verschiedenen Baumaltern erzeugten Holzes erforscht werden, ferner der Einfluss der mehr oder minder räumigen Stellung der Probestämme (Durchforstungen und Lichtungen) auf den Gehalt des Lignins. Hinsichtlich des Einflusses der sonstigen Standortsfactoren auf die Ligninerzeugung wurden verschiedene Meereshöhen und Expositionen in Betracht gezogen, doch in letzterer Beziehung lediglich ein negatives Resultat erreicht. Endlich war als selbstverständliches Ziel der Untersuchungen jenes festgehalten worden, Einblick in die Physiologie der Verholzung zu thun.

Im Laufe der Untersuchungen haben sich da und dort neue Gesichtspunkte ergeben, welche aus dem Inhalte der Abhandlung entnommen werden wollen. Im Zuge der Arbeit kam ich zu der Ueberzeugung, dass das zur Verfügung stehende Analysenmaterial bei Weitem nicht genügend war, um alle die Fragen mit Sicherheit zu beantworten, immerhin aber hat es genügt, um zum Mindesten in einigen Beziehungen Positives zu schaffen. Auch wird es vielleicht möglich sein, aus der vorliegenden Arbeit neue Anregungen zu schöpfen, sowie neue, richtigere Forschungswege wie Forschungsziele zu erkennen.

Das in der Tabelle I (pag. 12 bis 17) enthaltene Material soll die Grundlage für die nachfolgenden Erörterungen bieten.

Schwankungen der Verholzungsgrade bei den einzelnen Nadelhölzern.

Vergleicht man die Grade der Verholzung bei den untersuchten vier Coniferen, so zeigen sich im grossen Ganzen keine ausserordentlichen Verschiedenheiten in den gefundenen Zahlen. Der Ligningehalt der Fichte schwankt zwischen 41·5% (Probe 18) und 50·55% (Probe 35), der Unterschied beträgt somit 21·8% der unteren Ligningehaltsgrenze; bei der Weisstanne liegen die gefundenen Grenzen zwischen 43·8% (Probe 54) und 47·2% (Probe 53), differiren also um 7·7%.

Sehr geringe Unterschiede im Grade der Verholzung weisen die Schwarzföhrenstämme auf, welche als geringsten Ligningehalt 38·2%, als grössten 39·2% zeigen. Zieht man die von Prof. Benedikt¹⁾ gemachten Analysen in den Kreis der Betrachtungen, so steigt die Maximalgrenze des Ligningehaltes bei der Schwarzföhre bis 40·07% und die Schwankung erreicht 4·9%.

Die Zirbelkiefer gibt uns als Grenzwerte 42·93% (Probe 75) und 50·7% (Probe 70); die Schwankung entspricht also 18·2%.

Wenn wir bedenken, dass bei der Weisstanne und Schwarzföhre jeweils nur Splintholz von ziemlich gleich alten, auf demselben Standorte erwachsenen Stämmen zur Untersuchung gelangt war, wird die oben angeführte minimale Schwankung im Verholzungsgrade, wie wir später sehen werden, ziemlich verständlich. Ueberdies umfassten die Analysen des Tannen- und Schwarzföhrenholzes viel zu wenige Stämme.

Die Lärche war gelegentlich dieser Arbeit nicht untersucht worden; es stehen nur zwei von Benedikt gefundene Zahlen²⁾ zur Verfügung, von welchen die eine einen Ligningehalt von 37·62%, die andere einen solchen von 50·68% anzeigt; das Nationale der untersuchten Hölzer ist mir nicht bekannt geworden. Berechnet man aus diesen zwei weit auseinander liegenden Zahlen die Grenze der Schwankungen — was der Wirklichkeit kaum entsprechen dürfte — so betrüge dieselbe bei der Lärche 34·7% des unteren Grenzwertes, wäre also sehr bemerkenswert. Vermuthlich wird es sich hier einmal um Splintholz, das andere Mal um Kernholz handeln.

Tabelle II.

H o l z a r t	Procentischer Ligningehalt, bezogen auf gleiche Holzgewichte		Die Schwankung ausgedrückt in Procenten der unteren Grenzwerte	A n m e r k u n g
	untere Grenze	obere Grenze		
Fichte	41·50	50·55	21·8	} untersucht wurde Splint- und Kernholz • dto.
Zirbelkiefer	42·93	50·76	18·2	
Weisstanne	43·80	47·20	7·7	} untersucht wurde nur Splintholz dto.
Schwarzföhre	38·20	40·07	4·9	
Lärche	37·62	50·68	34·7	} Herkunft der untersuchten Hölzer unbekannt

Die nebenstehende kleine Tabelle II gibt eine übersichtliche Zusammenstellung der Schwankungen der Verholzungsgrade bei den einzelnen Nadelhölzern. Aus dieser Uebersicht drängt sich als erster Grundsatz die Erkenntnis auf, dass die Schwankungen des Ligningehaltes innerhalb der einzelnen Nadelholzspecies bedeutend grösser sind als die Unterschiede in den Ligningehalten verschiedener Coniferen.

Die der Weisstanne und Schwarzföhre zugehörigen Zahlen der Tabelle müssen hierbei freilich ausser Acht gelassen werden, weil sie auf zu geringem Untersuchungsmateriale basiren, welches überdies ausnahmslos dem Splintholze entnommen worden war.

¹⁾ l. c. pag. 7.

²⁾ l. c. pag. 7.

Vergleich der Ligningehalte der untersuchten Nadelhölzer.

Wollte man unanfechtbar vergleichbare Zahlengrößen über den Ligningehalt der verschiedenen Nadelhölzer erhalten, so müsste man Holzstücke der verschiedenen Species, thunlichst auf demselben Standorte erwachsen, vom selben Alter und aus correspondirenden Stammtheilen entnommen, der Analyse unterziehen. Solch' ein Studienmaterial ist kaum erhältlich. Wenn jedoch eine grössere Anzahl von Analysen einer und derselben Holzart zur Verfügung steht, lassen sich Schlüsse immerhin ziehen.

Um vergleichbare Zahlen der Ligningehalte verschiedener Nadelhölzer zu gewinnen, müssen die Analysen von Splint- und von Kernholz für sich gesondert betrachtet werden. Etwa vorhandene Unterschiede zwischen den einzelnen Nadelhölzern können nur so zum Ausdruck kommen. Der durchschnittliche Ligningehalt eines jeden Stammes wurde durch die Berechnung des arithmetischen Mittels aus den jeweils vorhandenen drei Analysen des Splintes, beziehungsweise des Kernes erhalten. Die einfache Annahme der arithmetischen Durchschnittszahlen der Ligningehalte der einzelnen Stämme ist immerhin anfechtbar, weil die Analysenziffern nicht jeweils gleichwertigem Holzvolumen entsprechen, vielmehr die den unteren Stammtheilen zugehörigen Ligningehalte sich auf grössere Holzvolumina beziehen, als jene aus den Gipfeltheilen. Für unseren jetzt vorschwebenden Zweck wird aber die eingehaltene Rechnungsmethode genügen, da die Fehlerquellen bei allen Stämmen gleichsinnig in Wirkung treten.

Ausser den in Tabelle I enthaltenen 52 von 16 Stämmen herrührenden Analysenziffern über den Ligningehalt der Fichte habe ich weitere 6 Analysen derselben Holzart der öfter citirten Abhandlung von Benedikt und Bamberger¹⁾ entnommen. Hinsichtlich der Schwarzföhre fügte ich unseren 6 Analysen zwei weitere aus der eben genannten Arbeit an.

Die durchschnittlichen Verholzungsgrade der verschiedenen Nadelhölzer, in Procenten gleicher Holzgewichte ausgedrückt, gestalten sich folgendermassen:

H o l z a r t	Splint	Kern
Fichte .	43·81	47·96
Zirbe .	44·29	47·00
Weisstanne	45·40	—
Schwarzföhre .	39·10	—

Durch den geringsten Grad der Verholzung zeichnet sich somit die österreichische Schwarzföhre aus, sodann folgen, untereinander kaum differirend, Fichte und Zirbe; am stärksten verholzten Splint besitzt die Weisstanne mit einer durchschnittlichen Zahl von 45·40%, welche durch eine weitere in der Broschüre Benedikt-Bamberger enthaltene Analysenziffer von 46·31% noch eine kleine Erhöhung erfahren würde.

Wie wir sehen, weichen die Ligningehalte des Splintes der einzelnen Nadelhölzer nicht um ein Bedeutendes von einander ab; das Kernholz ist um ein Erkleckliches ligninreicher als der Splint.

¹⁾ l. c. pag. 6 und 7.

Einfluss des geographischen Standortes auf die Verholzung der Fichte.

Die Ergründung dieser Verhältnisse bildete schon zu Beginn der chemischen Arbeiten einen festen Programmpunkt. Die neueren Theorien des durch pflanzengeographische und botanische Studien vielfach geförderten Waldbaues, welche Optima des Vorkommens jeglicher Holzart kennen, drängten zur Behandlung dieser speciellen Frage.

Mayr¹⁾ hat z. B. gefunden, dass die parenchymatische Markstrahlzellenmasse unserer Nadelhölzer vom Standorte ausserordentlich abhängig sei. Im kühlen Bergklima, dem Optimalgebiete der Tanne und Fichte, ist die Markstrahlzellenmasse bei der Tanne am grössten, bei der Weisskiefer am kleinsten, während die Fichte in der Mitte steht; steigen wir jedoch in das wärmere und warme Hügel- und Tiefland herab, wo die Kiefer die besten Bedingungen ihres Gedeihens findet, da ändern sich die Verhältnisse vollends und die Kiefer tritt mit der Masse des Markstrahlengewebes an die Spitze. Es war naheliegend anzunehmen, dass auch der Grad der Verholzung mit den Standortsfactoren im Connex stehen könnte. Ausgehend von der Ueberlegung, dass eine so allgemeine und bei den Bäumen und Sträuchern geradezu in die Augen springende Erscheinung, wie die Verholzung der Gewebe es ist, nicht nutz- und zwecklos im Rahmen des Lebensprocesses der Holzpflanzen sein kann, war eine Abhängigkeit derselben von den Lebensfactoren ja gewiss nicht abzulehnen.

Von den vorhandenen Analysen reichten nur jene der Fichten annähernd aus, um an der Klärung dieser Frage mitzuwirken. Es lagen 52 Untersuchungen von 16 Stämmen vor. Vier von diesen Stämmen waren im k. k. Forstbezirke Rekawinkel im Wienerwalde in einer Meereshöhe von circa 400 m auf Wiener Sandstein erwachsen. Die Fichte ist in diesem Theile des Wienerwaldes wie auf Meilen im Umkreise nicht autochthon, und wo sie sich hier findet, ist sie künstlich eingebracht. Eine Discussion der klimatischen Factoren dieses Standortes belehrt, dass wir uns in einer Lage befinden, die nicht das Optimum des Vorkommens der Fichte bedeutet. Die weiteren hier in Betracht zu ziehenden Fichtenstämme rührten aus den in den Salzburger Alpen gelegenen k. k. Forstbezirken Zell am See und Wald im oberen Pinzgau her, aus Meereshöhen zwischen 900 und 1780 m. Die Alpen bedeuten — neben den Karpathen, den Sudeten und den böhmischen Randgebirgen — das Optimum des Fichtenvorkommens in Oesterreich.

Zum Vergleiche wurden nur die Analysen der Splintholzschichten herangezogen. Die mittleren Ligningehalte betragen bei der

Fichte I aus Rekawinkel	43·8 %
II	42·4 %
V	42·3 %
VI	42·0 %

Im Durchschnitte zeigen also die Wienerwaldfichten einen Ligningehalt von 42·6 %.

Die aus den Alpen stammenden Fichten ergaben nachfolgende Lignin-Durchschnittszahlen für die Splintholzregion:

Fichte I aus Zell am See	44·3 %
II	44·5 %
III	42·1 %

¹⁾ Mayr, Das Harz der Nadelhölzer, Berlin 1894, pag. 19 ff.

Fichte I N	aus Zell am See	43·6 ‰
II N		44·2 ‰
I S		43·9 ‰
II S	" " " "	44·6 ‰
1	aus Wald im Pinzgau	45·4 ‰
2		45·6 ‰
I		44·7 ‰
II		42·5 ‰

Die Alpenschichte zeigt also im Mittel einen Ligningehalt von 44·4 ‰.

Wollte man aus diesen Zahlen einen Schluss ziehen, dann müsste dieser dahin lauten, dass die Fichte in ihrem Optimum des natürlichen Vorkommens günstigere, d. h. grössere Ligningehalte aufweist, als in milden ausserhalb des natürlichen Vorkommens liegenden Standorten. Jedenfalls müsste eine Erhärtung des Gesetzes durch weitere Untersuchungen folgen, um es aus dem Bereiche der Vermuthung zu bringen. Wenn wir aber an dem Gedanken festhalten, dass — innerhalb einer Holzart — das weniger ligninhaltige Holzgewebe nicht besser ist als jenes, welches stärker verholzt erscheint, so finden wir schon in dieser Negation eine Stütze unserer oben ausgesprochenen Annahme, welche sich auch mit der praktischen Erfahrung deckt, dass z. B. in milden Lagen erwachsenes Fichtenholz weniger geschätzt wird, als solches aus Gebirgsgebenden. Ich brauche wohl nicht besonders hervorzuheben, dass ich der anderen auf die Holzqualität Einfluss nehmenden Factoren nicht vergesse.

Am Schlusse dieses Capitels möchte ich noch auf den Umstand hindeuten, dass die den geringsten Ligningehalt aufweisenden Alpenfichten — Fichte III aus Zell am See mit 42·1 ‰ und Fichte II aus Wald im Pinzgau mit 42·5 ‰ Lignin — aus sehr hohen, an der oberen Grenze des baumförmigen Vorkommens der Fichte gelegenen Standorten, und zwar ersterer Stamm aus 1780 m, letzterer aus 1650 m Seehöhe herrühren. Auch in solchen Lagen befinden wir uns unter ungünstigen, das Gedeihen wenig fördernden Standortsfactoren am Rande der natürlichen Verbreitung der Fichte in verticaler Richtung.

Andererseits wäre nicht zu vergessen, dass die sehr ligninreichen Tannenholzproben von Stämmen herrühren, die in erwiesenermassen vorzüglichen natürlichen Weisstannenstandorten erwachsen waren.

Die Vertheilung des Lignins im Coniferenstamme. Beziehungen des Ligningehaltes zum Baumalter und zum specifischen Trockengewichte des Holzes.

Zieht man die Vertheilung des Lignins im Nadelholzstamme unter Zugrundelegung gleicher Holzgewichte in Betracht (Tab. III, Col. 1, 2 und 3), so findet man, dass sich in dieser Richtung mancherlei Gesetzmässigkeit zum Ausdrucke bringen lässt. Die Fichte, von welcher eine genügende Zahl von Analysen vorliegt, lässt bei dem auf gleiche Holzgewichte bezogenen Ligningehalte eine von der Stammbasis zum Gipfel fallende Tendenz erkennen. Als Mittelwerte aus allen Untersuchungen wurden gefunden:

Tabelle III.

Nummern der Holz- proben	Holzart, Provenienz und Bezeichnung des Stammes	Ligningehalt bezogen auf gleiche Holzgewichte ‰			Ligningehalt bezogen auf gleiche Holzvolumina ‰			Verhältniss des in Gewichtsprocenten ausgedrückten Lignin- gehaltes zum spezifischen Trocken- gewichte		
		an der Stamm- basis	in 1/3 Stamm- höhe	in 2/3 Stamm- höhe	an der Stamm- basis	in 1/3 Stamm- höhe	in 2/3 Stamm- höhe	an der Stamm- basis	in 1/3 Stamm- höhe	in 2/3 Stamm- höhe
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1—3	Fichte, Rekawinkel I	44·2	41·9	45·2	14·76	15·42	13·88	0·848	0·729	0·942
4—6	II	42·4	42·3	42·5	12·46	12·35	12·41	0·922	0·927	0·932
7—9	V	42·0	42·5	42·5	16·12	16·06	15·09	0·700	0·719	0·767
10—12	VI	41·8	42·8	41·5	10·53	11·08	10·21	1·061	1·059	1·079
13—15	Zell am See I	44·5	44·1	44·2	12·32	11·73	10·47	1·028	1·061	1·188
16—18	II	45·4	44·7	43·5	10·53	11·13	9·92	1·249	1·149	1·221
19—21	III	43·4	41·4	41·5	12·85	11·30	12·08	0·939	0·971	0·912
22—24	I N	43·8	44·5	42·4	12·66	11·30	10·94	0·971	1·124	1·052
25—27	II N	44·9	44·7	43·1	11·85	9·97	10·47	1·089	1·282	1·134
28—30	I S	45·1	43·9	42·8	11·05	10·36	10·57	1·179	1·192	1·092
31—33	II S	45·1	45·2	43·4	11·14	13·06	11·11	1·169	1·001	1·087
34, 36, 38	Wald im Pinzgau 1 Splint	45·80	45·31	45·09	11·54	9·88	10·15	1·161	1·332	1·288
35, 37, 39	1 Kern	50·55	50·51	44·42	12·24	9·80	9·73	1·340	1·672	1·299
40, 42, 44	2 Splint	46·82	44·54	45·52	9·74	10·20	11·97	1·445	1·247	1·107
41, 43, 45	2 Kern	49·06	47·90	46·29	10·45	9·87	12·64	1·475	1·488	1·087
46—48	I Splint	44·84	44·01	45·27	8·03	11·71	11·59	1·608	1·061	1·132
49—51	II Splint	45·35	46·88	43·29	10·11	10·22	10·56	1·305	1·379	1·139
	Mittelwerthe	47·80	47·30	46·40	11·67	11·49	11·40	1·146	1·141	1·086
53—55	Tanne, Rekawinkel III	47·2	43·8	44·8	18·97	14·28	12·77	0·753	0·861	1·005
56—58	IV	44·5	46·1	45·8	14·77	12·58	11·91	0·858	1·079	1·125
	Mittelwerthe	45·8	44·9	45·3	16·87	13·43	12·34	0·805	0·970	1·065
59—61	Schwarzföhre, Stixenstein Df. I	38·9	38·3	38·2	15·01	13·79	12·83	0·645	0·682	0·729
62—64	„ III	38·8	38·7	39·2	15·64	14·43	12·70	0·616	0·664	0·774
	Mittelwerthe	38·85	38·50	38·70	15·33	14·11	12·77	0·631	0·673	0·751
65, 67, 69	Zirbelkiefer, Wald, I Splint	43·80	45·01	44·65	9·81	8·78	11·79	1·255	1·476	1·082
66, 68, 70	I Kern	48·81	47·03	50·76	11·81	9·59	12·23	1·295	1·479	1·348
71, 73, 75	II Splint	43·78	45·07	42·93	12·56	10·32	9·83	1·139	1·264	1·203
72, 74, 76	II Kern	49·09	45·50	44·82	11·19	10·46	11·56	1·382	1·270	1·112
77, 79, 81	III Splint	44·01	44·46	44·95	10·87	10·71	11·06	1·141	1·184	1·172
78, 80, 82	III Kern	44·80	45·80	46·41	12·01	13·28	14·29	1·073	1·012	0·967
	Mittelwerthe	45·72	45·48	45·75	11·37	10·52	11·79	1·214	1·281	1·147

für die Stammbasis ein Ligningehalt von 47·80 ‰,
 „ Scheiben aus ein Drittel Stammhöhe von 47·30 ‰ und
 „ jene aus zwei Drittel Stammhöhe ein Ligningehalt von 46·40 ‰.

Für Tannen- und Schwarzföhrenholz standen zu wenige Ligninbestimmungen zur Verfügung, um diese Verhältnisse discutiren zu können. Die Zirbe lässt am vorliegenden Analysenmaterial — aus später zu erörternden Gründen — keine Gesetzmässigkeit erkennen.

Ein sehr deutlicher Unterschied besteht im Ligningehalte zwischen dem Kern- und Splintholze. Die betreffenden Verhältnisse lassen sich bei der Fichte aus den Analysendaten der Stämme Nr. 1 und 2 aus Wald und bei der Zirbelkiefer aus jenen der Stämme Nr. I und II ersehen. Die beigefügte kleine Tabelle IV beleuchtet diese Frage.

Tabelle IV.

Holzart	Bezeichnung des Stammes	H o l z		
		von der Stammbasis	aus $\frac{1}{3}$ Stammhöhe	aus $\frac{2}{3}$ Stammhöhe
Fichte		Splintholz		
	Wald 1 .	45·80	45·31	45·09
	„ 2 .	46·82	44·54	45·52
	Mittel .	46·31	44·92	45·30
		Kernholz		
	Wald 1 .	50·55	50·51	44·42
„ 2 .	49·06	47·90	46·29	
Mittel .	49·80	49·20	45·35	
Zirbe		Splintholz		
	Wald I .	43·80	45·01	44·65
	„ II .	43·78	45·07	42·93
	Mittel .	43·79	45·04	43·79
		Kernholz		
	Wald I .	48·81	47·03	50·76
„ II .	49·09	45·50	44·82	
Mittel .	48·95	46·26	47·79	

Bei der Fichte steigt der Unterschied im Ligningehalte zu Gunsten des Kernholzes bis 4·28 ‰, bei der Zirbe auf 5·16 ‰. Ich möchte da an die Untersuchungen über das Rothholz der Fichte erinnern, welche ich im „Centralblatt für das gesammte Forstwesen“ (Jahrg. 1896) veröffentlicht habe; dort wurde hervorgehoben, dass das Rothholz, beziehungsweise ein speciell untersuchtes Stück einen Ligningehalt von 48·2 ‰ nachweist, also einen Ligningehalt, welcher jenem des Kernholzes der Fichte ungefähr gleichkommt. In dieser Richtung scheint sohin eine Analogie zwischen Kern- und Rothholz zu bestehen.

Es drängt sich die Frage auf, ob dieser höhere Ligningehalt des Kernholzes erst eine Folge des Verkernungsprocesses sei, oder ob das in den jüngeren Jahren erzeugte Holz sofort mit einem höheren Ligningehalte aufgebaut werde.

Diese Frage lässt sich auf Grund des vorliegenden Untersuchungsmaterials nur schwer mit voller Sicherheit beantworten, so dass zu mehr oder weniger gut fundierten Annahmen Zuflucht genommen werden muss.

Selbst aus correspondirenden Ligninanalysen von zwei auf demselben Standorte hart nebeneinander unter sonst gleichen Verhältnissen aufgewachsenen, verschieden alten Stämmen derselben Holzart lässt sich nicht mit voller Gewissheit folgern, dass die eventuell vorhandenen Unterschiede in der Verholzung eine Function des Alters der betreffenden Stämme seien. Aus grossen Zahlen wäre es leichter, Schlüsse zu ziehen. Das Analysenmaterial gestattete nur, den ersteren der beiden Wege einzuschlagen.

Die drei untersuchten Zirbenstämme aus dem k. k. Forstbezirke Wald entsprechen in der berührten Richtung so ziemlich den Anforderungen; alle drei rühren von demselben Standorte aus 1650 m Seehöhe vom Gneisboden her, wo sie in einem aus 0·3 Fichte, 0·2 Lärche und 0·5 Zirbe gemischten Bestände von 0·5 Bestockung, also ziemlich räumig, erwachsen waren. Zirbe I war zur Zeit der Fällung im Herbst 1895 170 Jahre alt, Zirbe II 120jährig und Zirbe III 75jährig. Für die Feststellung des Ligningehaltes im Splinte wurden je die Jahresringe 1890—1895 benützt, also Holzproducte derselben Zeiträume, welche ihrer Entstehung nach gleichalterig waren, nämlich ein mittleres Alter von drei Jahren besaßen. Zu demselben Vergleiche liessen sich auch die Fichten I und II aus Wald heranziehen, von welchen die erstere 108 Jahre, die letztere 160 Jahre alt war; beide stammten aus 1650 m Seehöhe und waren nebeneinander auf demselben Standorte erwachsen.

Betrachten wir nun die Ligningehalte des Splintholzes der drei erwähnten Zirben und der zwei eben genannten Fichten an der Hand der eingefügten kleinen Tabelle V.

Tabelle V.

Nummer der Holzprobe	Holzart und Bezeichnung des Stammes	Baumalter, in welchem das untersuchte Holz aufgebaut wurde	Procentischer Ligningehalt, bezogen auf gleiche Holzgewichte	Durchschnittlicher Ligningehalt %
65	Zirbe I aus Wald	165—170 Jahre	43·80	} 44·49
67			45·01	
69			44·65	
70	Zirbe II aus Wald	115—120 Jahre	43·78	} 43·93
73			45·07	
75			42·93	
77	Zirbe III aus Wald	70—75 Jahre	44·01	} 44·47
79			44·46	
81			44·95	
49	Fichte II aus Wald	155—160 Jahre	45·35	} 45·17
50			46·88	
51			43·29	
46	Fichte I aus Wald	103—108 Jahre	44·84	} 44·71
47			44·01	
48			45·27	

Die Zusammenstellung gestattet die Annahme — gleichen Standort und sonst gleiche Wuchsverhältnisse vorausgesetzt — dass das in jüngeren Lebensjahren des Baumes erzeugte Holz aus correspondirenden Stammhöhen **gleich nach dem Aufbau** ungefähr denselben Ligningehalt besitzt, wie jenes, welches in höheren Lebensaltern erzeugt wird. Tangirt wird dieser Satz, wie wir später sehen werden, nur durch den kleineren oder grösseren Gehalt der Jahrringe an Spätholz.

Stellen wir andererseits die Frage in der Weise, wie sich Holzstücke von einem und demselben Stamme verhalten, bei welchen vom Zeitpunkte des Aufbaues bis zur Fällung des Stammes behufs Vornahme der Ligninbestimmung verschieden lange Zeiträume verflossen waren, so könnte uns die in dieser Richtung gepflogene Untersuchung immerhin andeuten, ob man eine nachträglich fortschreitende Bereicherung des Holzes an Lignin für zutreffend annehmen darf. Für diese Untersuchung werden ausser den in Tabelle IV über die Ligningehalte von Splint- und Kernholz aus denselben Stammhöhen niedergelegten Daten auch die Ligningehalte der aus verschiedenen Höhen eines und desselben Stammes herrührenden Kernholzstücke zweckdienlich sein, sofern bei denselben vom Zeitpunkte des Aufbaues bis zur Fällung der Stämme verschieden lange Zeiträume verflossen waren. Auch für diese Verhältnisse sind die Daten in einer Tabelle (VI) übersichtlich zusammengestellt.

Tabelle VI.

Nummer der Holzprobe	Holzart, Bezeichnung und Herkunft des Probestammes	Anzahl der Jahre, welche seit Aufbau des untersuchten Kernholzes bis zum Zeitpunkte der Fällung behufs Vornahme der Ligninanalyse verflossen waren	Ligningehalt der Kernholzstücke, bezogen auf gleiche Holzgewichte %	Ligningehalte der aus denselben Höhen entnommenen Splintholzstücke, welche — innerhalb jedes Stammes — in derselben Zeitperiode aufgebaut wurden
35	Fichte 1 aus Wald, Kern	33 Jahre	50·55	45·80
37	1	33	50·51	45·31
39	1	17 „	44·42	45·09
41	Fichte 2 aus Wald, Kern	37 Jahre	49·06	46·32
43	2	37	47·90	44·54
45	2	11	46·29	45·52
66	Zirbe I aus Wald, Kern	67 Jahre	48·81	43·80
68	I	67	47·03	45·01
70	I	67	50·76	44·65
72	Zirbe II aus Wald, Kern	67 Jahre	49·09	43·78
74	II	61	45·50	45·07
76	II	29	44·82	42·93
78	Zirbe III aus Wald, Kern	23 Jahre	44·80	44·01
80	III	23	45·80	44·46
82	III	11	46·41	44·95

Die in der vorletzten Colonne dieser Tabelle verzeichneten Ligningehaltszahlen fallen — mit Ausnahme der Daten von Zirbe III — in ziemlich gesetzmässiger Weise mit der

Zahl der Jahre, welche seit dem Aufbau der einzelnen untersuchten Kernholzstücke bis zum Zeitpunkte der Fällung behufs Vornahme der Ligningehaltsanalyse verflossen waren. Die Thatsache, dass die hier verglichenen Holzstücke in den einzelnen Stämmen aus verschiedenen Höhen entnommen worden waren, schwächt wohl unsere eben ausgesprochene Annahme ab, da der Ligningehalt eine im grossen Ganzen von der Stammbasis zum Gipfel fallende Tendenz besitzt; doch ist diese Abnahme des Lignins nicht so deutlich und scharf ausgeprägt. Wenn wir aber andererseits diese den Kernholzstücken zukommenden Ligningehalte mit jenen der entsprechenden aus denselben Stammhöhen entnommenen Splintholzstücke vergleichen (cfr. letzte Colonne der Tabelle VI auf Seite 26), so springt für's Erste die verhältnismässige Ligninarmut des (jüngeren) Splintholzes gegenüber den grossen Ligningehalten der Kernhölzer sofort in die Augen, für's Zweite bemerkt man die wenig von einander differirenden Ligninprocente dieser gleich alten Holzstücke. Man darf solin mit grosser Berechtigung annehmen, dass eine Bereicherung der Zellwandung an den durch die Methylzahl zum Ausdrucke gebrachten Wandsubstanzen auch nach dem Zeitpunkte des Aufbaues des Holzes, also nachträglich in ziemlichem Masse erfolgt.

Analogien für diese Erscheinung finden wir im nachträglichen, langsam vor sich gehenden Verkernungsprocesse, in dessen Wesen durch die vorstehenden Untersuchungen und Discussionen immerhin neue Lichter geworfen werden; eine Analogie habe ich auch in meiner erwähnten Rothholzabhandlung verzeichnet, nach welcher die Rothholzbildung, sobald Anregung für dieselbe gegeben wird, auch in schon bestehenden Jahrringen platzgreifen kann.

Diese nachträgliche Einlagerung von verholzenden Elementen in die Tracheidenwandungen darf nicht Wunder nehmen, wenn man die Rolle der Markstrahlen, sowie ihr Verhalten näher in Betracht zieht. Strasburger¹⁾ hat gefunden, dass die Markstrahlen im Nadelholzstamme viele Jahre hindurch am Leben und leitungsfähig bleiben; so z. B. constatirte er an einer 60jährigen Fichte die Markstrahlen durch die 24 äusseren Jahresringe als lebend; der Querschnitt vom Schafte einer 58jährigen Weisstanne hatte lebende Markstrahlelemente in den 32 äusseren Jahresringen aufgewiesen. Daran knüpft Strasburger die Bemerkung Rob. Hartig's und Mèr's, dass die bestimmte Färbung des Holzes, wie sie mit der Kernbildung meist verbunden ist, von dem Gehalte der Markstrahlencellen ausgeht, dass dieser Gehalt zunächst die entsprechende Färbung annimmt und dass sich letztere von den Markstrahlen aus im Holzkörper verbreitet. Eine offene Frage bleibe es noch, ob bei der Verkernung die Umwandlung der in den Markstrahlen und dem Holzparenchym vertretenen Substanzen ausreicht, um die Kernstoffe zu liefern, welche den Holzkörper durchdringen, oder ob eine Zuleitung von Kernstoffen, vornehmlich des Gerbstoffes, von weiterher erfolgt. Gr. Kraus²⁾ nimmt das Letztere an und befindet sich hierin in Uebereinstimmung mit R. Hartig, der bei der Eiche eine nicht unerhebliche Gewichtszunahme der verkernenden Holztheile constatirte. Uebrigens hat Sanio schon im Jahre 1860 darauf hingewiesen, dass die Producte des Kernholzes bei allen Kernholz bildenden Gewächsen auf den Inhalt der Markstrahlencellen und des Holzparenchyms zurückzuführen seien. Die Fertigstellung der Markstrahlentracheiden geht auch jener der Strangtracheiden voraus, was Strasburger in dem citirten Werke anführt, und was ich bei meinen mikroskopischen Untersuchungen vielfach zu beobachten Gelegenheit fand. Auch diese Thatsache ist ein deutliches Argument für die Rolle der Markstrahlen im Leben des Baumes.

Es ist auch klar, dass die Markstrahlen, wenn sie so viele Jahre nach dem Aufbau des Jahrringes noch am Leben bleiben, eine physiologische Function zu erfüllen haben müssen. Diese Aufgabe wird in erster Linie darin liegen, den ganzen Complex der Verkernungs-

¹⁾ E. Strasburger, Ueber den Bau und die Verrichtung der Leitungsbahnen in den Pflanzen. 1891, pag. 38 ff.

²⁾ Gr. Kraus, Grundlinien zu einer Physiologie des Gerbstoffes. 1889, pag. 57.

erscheinungen zu ermöglichen. Eine etwa nachträglich eintretende Bereicherung an Harzen oder Gerbstoffen im Kernholze kommt jedoch in den Methylzahlen, somit auch in den von mir berechneten Ligningehalten ebensowenig zum Ausdrucke, wie Coniferin, Coniferylalkohol und Vanillin, da ja die durch Wasser, Alkohol und Aether extrahirten Hölzer nach Benedikt's und Bamberger's Untersuchungen ganz dieselben Methylzahlen ergaben, wie die nicht extrahirten. Hingegen aber ist Holzgummi, sowie der hypothetische Stoff „Lignin“ in der Gruppe der durch die Methylzahl zum Ausdrucke gebrachten Substanzen mit inbegriffen, wie vermuthlich noch andere die mechanischen Eigenschaften und zugleich auch die Methylzahl der Holzfaser beeinflussende Stoffe, welche nach dem Aufbau des Jahrringes im Laufe von selbst Jahrzehnte langen Processen in die Zellwandung eingelagert werden. Auf die Beziehungen zwischen Ligningehalt und Märkstrahlen soll in einem späteren Capitel noch näher eingegangen werden.

Von Interesse ist es, die Relation zwischen den in Gewichtsprocenten ausgedrückten Ligningehalten und dem specifischen Trockengewichte einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Die Verhältniszahlen finden sich in Tabelle III auf Seite 23 in den Columnen 7, 8 und 9 eingetragen.

Für's Erste fällt es in die Augen, dass den grössten specifischen Trockengewichten bei Weitem nicht die höchsten Ligningehalte entsprechen. Die Fichte V aus Rekawinkel zeigt an der Stammbasis bei 60·00 Raumgewicht nur 42·0 % Ligningehalt, in ein Drittel Stammhöhe bei 59·12 Raumgewicht nur 42·5 Gewichtsprocente Lignin, das Kernholz der Zirbe III aus zwei Drittel Stammhöhe bei 48·00 Raumgewicht 46·41 Gewichtsprocente Lignin, während das Splintholz von der Stammbasis der Fichte 2 aus Wald bei nur 32·40 Raumgewicht 46·82 Gewichtsprocente Lignin, das Splintholz von der Stammbasis der Fichte I aus Wald bei nur 27·88 Raumgewicht 44·84 Gewichtsprocente Lignin nachweisen.

Wenn auch innerhalb einer Holzart jedem Baumindividuum für das Verhältnis des Ligningehaltes zum specifischen Trockengewichte in der Stammbasis, in ein Drittel und in zwei Drittel Stammhöhe Zahlen zukommen, die innerhalb nur geringer Grenzen schwanken, so sind die Fülle doch nicht ausgeschlossen, in welchen diese Grössen bei einem und demselben Stamme ziemlich weit auseinandergehen; so z. B. beträgt beim Splintholze der Fichte I aus Wald die Schwankung 34 %. Bemerkenswert ist endlich, dass die fragliche Relationszahl bei verschiedenen Holzarten verschieden hoch verläuft. Die Schwarzföhre ist durch sehr geringe Verhältniszahlen charakterisirt; dieselben betragen im Mittel: für die Stammbasis 0·631, für das Holz aus ein Drittel Stammhöhe 0·673, für jenes aus zwei Drittel Stammhöhe 0·751. Bei der Schwarzföhre entspricht also einem verhältnismässig hohen Raumgewichte des Holzes (60·27, 56·14 und 52·41 für den Stamm Df I und 62·98, 58·29 und 50·50 für den Stamm Df III) ein nur geringer Ligningehalt. Daran schliesst sich die Weisstanne, für welche mittlere Relationszahlen von 0·805, 0·970 und 1·065 für die Stammbasis, beziehungsweise für das Holz aus ein Drittel und aus zwei Drittel Stammhöhe berechnet wurden. Auch bei dieser Holzart entsprechen hohen specifischen Trockengewichten (62·69, 50·86 und 44·56 für Stamm III, 51·85, 42·69 und 40·72 für Stamm IV) verhältnismässig geringe Ligningehalte.

Das Fichtenholz verhält sich im Hinblick auf die Relation zwischen Ligningehalt und Raumgewicht je nach seiner Provenienz verschieden. Die Fichte aus dem Wienerwalde (die Stämme I, II, V und VI) zeigt niedrigere Verhältniszahlen, als jene aus den Alpen, da sie bei hohen Raumgewichten geringe Ligningehalte aufweist. Die Verhältniszahlen berechnen sich im Mittel für die vier Wienerwaldfichten mit

0·883	für die Stammbasis,
0·858	das Holz aus ein Drittel Stammhöhe und mit
0·930	zwei Drittel Stammhöhe.

Für die Fichte aus den Alpen ergaben sich bei Ausserachtlassung der für das Kernholz gefundenen Daten die Relationszahlen mit

1·195 für die Stammbasis,
 1·164 das Holz aus ein Drittel Stammhöhe und mit
 1·123 „ jenes aus zwei Drittel Stammhöhe.

Das Kernholz der Alpenfichte weist nachfolgende Relationszahlen auf:

1·408 für die Stammbasis,
 1·580 das Holz aus ein Drittel Stammhöhe und
 1·193 „ „ „ zwei Drittel Stammhöhe.

In ungefähr derselben Höhe wie beim alpinen Fichtenholze bewegen sich die Verhältniszahlen zwischen Ligningehalt und Raumgewicht auch bei der Zirbe.

Dieselben berechnen sich für den Splint mit:

1·178 für die Stammbasis,
 1·308 das Holz aus ein Drittel Stammhöhe und mit
 1·152 „ jenes aus zwei Drittel Stammhöhe.

Für den Kern lauten die Zahlen:

1·250 für die Stammbasis,
 1·254 das Holz aus ein Drittel Stammhöhe und mit
 1·142 „ „ „ zwei Drittel Stammhöhe.

Bei der Weisstanne und Schwarzföhre zeigt die Grösse der Relationszahlen auch im Verlaufe innerhalb der einzelnen Stämme eine unverkennbare Gesetzmässigkeit, d. h. sie steigt von der Stammbasis zum Gipfel. Bei der Tanne finden wir nämlich folgenden Verlauf der Mittelwerte: 0·805 (Stammbasis), 0·970 (ein Drittel Stammhöhe) und 1·065 (zwei Drittel Stammhöhe); bei der Schwarzföhre 0·631 (Stammbasis), 0·673 (ein Drittel Stammhöhe) und 0·751 (zwei Drittel Stammhöhe). Diese Zahlen sagen, dass bei der Weisstanne und der Schwarzföhre das spezifische Trockengewicht des Holzes von der Stammbasis zum Gipfel rascher abnimmt als der Ligningehalt.

Die Fichte lässt dieses Gesetz nur undeutlich wahrnehmen. Berechnet man nämlich die Mittelwerte aller auf Fichtenholz sich beziehenden Relationszahlen, so findet man

für die Stammbasis 1·112,
 das Holz aus ein Drittel Stammhöhe 1·082 und
 „ „ „ „ „ zwei Drittel Stammhöhe 1·071;

es zeigen somit die dem Holze aus verschiedenen Stammhöhen zukommenden Verhältniszahlen kaum bemerkenswerte Unterschiede. Dringt man jedoch in die Verhältnisse tiefer ein, so kann man die Vermuthung nicht von sich weisen, dass gerade die in bedeutender Meereshöhe (1400 bis 1800 m) erwachsenen, tief herab beasteten und nur langsam wachsenden Fichten das oben ausgesprochene Gesetz nicht befolgen, wie auch die mit grossen, tief herabreichenden Kronen ausgestatteten, frei stehenden Zirben die erwähnte Gesetzmässigkeit nicht erkennen lassen. Dem gegenüber sind die untersuchten Weisstannen- und Schwarzföhrenstämme hoch hinauf astrein. Auch die Wienerwaldfichte stimmt hinsichtlich der fraglichen Relationszahlen mit der Weisstanne und Schwarzföhre überein. Auf diese Thatsache werde ich im weiteren Verlaufe der Abhandlung noch zurückkommen, bei Gelegenheit des Versuches einer Erklärung der Erscheinung.

Nimmt man gleiche Holzvolumina als Grundlage für die Berechnung des Ligningehaltes an (Col. 22 der Tab. I auf S. 12—17), so erhält man bei der Fichte, der Weisstanne und Schwarzföhre eine beinahe ungestörte Gesetzmässigkeit in der Richtung, dass der Ligningehalt an der Stammbasis grösser ist, als in zwei Drittel

Höhe des Stammes — eine durch den Verlauf der specifischen Trockengewichte bedingte Erscheinung. In ein Drittel Stammhöhe ist der auf gleiche Holzvolumina bezogene Ligningehalt des Oefferen grösser als in zwei Drittel Höhe, manchmal auch bedeutender als an der Stammbasis. Bei den untersuchten Tannen und Schwarzföhren waltet die Gesetzmässigkeit der Abnahme des Ligningehaltes im gleichen Holzvolumen von der Stammbasis zum Gipfel vollends ungestört.

Berechnet man den Durchschnitt der gefundenen Ligningehalte für gleiche Holzvolumina, so findet man beim Splintholze der Fichte:

Für die Stammbasis 11·72, für das Holz aus ein Drittel Stammhöhe 11·72, für jenes aus zwei Drittel Stammhöhe 11·43.

Beim Splinte der Tanne:

Für die Stammbasis 16·87, für das Holz aus ein Drittel Stammhöhe 13·43, für jenes aus zwei Drittel Stammhöhe 12·34.

Beim Splinte der Schwarzföhre:

Für die Stammbasis 15·33, für das Holz aus ein Drittel Stammhöhe 14·11, für jenes aus zwei Drittel Stammhöhe 12·77.

Die im Stammgipfel zumeist mit hohen specifischen Gewichten ausgestatteten tief beasteten Zirben lassen die eben besprochene Erscheinung nicht erkennen; sie verhalten sich in dieser Beziehung ähnlich wie die Hochgebirgsfichten aus Wald im Pinzgau Stamm 2 und die Stämme I und II.

Beziehungen zwischen anatomischem Baue und Ligningehalt des Holzes.

Schon in meiner Abhandlung über das Rothholz der Fichte (Centralbl. für das ges. Forstwesen 1896) habe ich auf Grund von Analysen des Herrn Dr. Hoppe mitgetheilt, dass das Rothholz sich durch höheren Ligningehalt auszeichne, und zwar zeigte das damals untersuchte Weissholz 47·6, das Rothholz 48·2 Gewichtsprocente Lignin. Berechnet man jedoch diese Ligningehalte auf gleiche Holzvolumina, so fällt der Unterschied infolge des hohen Raumgewichtes des Rothholzes sehr in die Augen; im gleichen Volumen enthält nämlich das Weissholz 13·80, das Rothholz 20·67 Gewichtsprocente Lignin.

Die neueren Forschungen lehren, dass das specifische Trockengewicht des Holzes — abgesehen von anderen in Frage kommenden Factoren — im grossen Ganzen auch von dem procentischen Antheile an Sommerholz (Spätholz), den dasselbe aufweist, abhängig sei; ferner ist erwiesen, dass der Antheil an Sommerholz in der Regel von der Stammbasis bis zum Gipfel abnimmt. Diesen Verhältnissen habe ich bei Durchführung der vorliegenden Studien mein Augenmerk zugewendet. Ich habe gefunden, dass der Antheil an Sommerholz (Colonne 2 der Tabelle VII) in den allermeisten Fällen eine von der Stammbasis zum Gipfel mehr oder weniger regelmässig fallende Gesetzmässigkeit aufweist; doch hält das Fallen des specifischen Gewichtes nicht gleichen Schritt mit jenem der Sommerholzantheile, indem letztere gegen den Gipfel hin zumeist viel rascher abnehmen als die Raumgewichte. Es werden also im Gipfel neben dem Sommerholzantheile noch andere Verhältnisse — grössere Dickwandigkeit des Frühjahrs- oder Sommerholzes, oder beider — mitspielen, um höhere Raumgewichte zu bewirken.

Vergleichen wir die Sommerholzantheile der einzelnen auf Lignin untersuchten Holzstücke mit deren Ligningehalt, so müssen wir, da die Berechnung der Sommerholzantheile sich auf den Raum stützt, auch bei der Angabe der Ligningehalte die in Colonne 6 der Tabelle VII verzeichneten, auf gleiche Holzvolumina bezogenen Ligningehaltsgrössen in Betracht ziehen. Bei diesem Vergleiche (Colonnen 2 und 6 der eben genannten Tabelle) zeigt sich ein Parallelismus

Tabelle VII.

Nummer der Holzprobe	Des Probestammes					Die Holzprobe rührte her ausm Stammhöhe	Der untersuchten Holzprobe									Anmerkung
	Holzart	Bezeichnung	Herkunft	Alter am Stockabschnitte	Höhe		spezifisches Trockengewicht ($H_2O = 100$)	Spätholzanteil	durchschnittliche Jahrringbreite	durchschnittlich-jährlicher Flächenzuwachs	Ligningehalt bezogen auf		Marktstrahlenfrequenz			
											gleiche Holzgewichte	gleiche Holzvolumina	Zahl der Marktstrahlen	Zahl d. Marktstrahlzellen	auf Einem Gesichtsfelde	
				%	%											
7	Fichte	V	Rekawinkel	57	15.5	v. Stocke	60.00	65.7	0.91	2.533	42.0	16.12	18	106	5.9	
8	"	"	"	"	"	5.0	59.12	42.9	0.41	1.787	42.5	16.06	18	103	5.7	
9	"	"	"	"	"	10.0	55.41	29.8	0.49	1.752	42.5	15.09	19	111	5.8	
10	"	VI	"	57	23.6	v. Stocke	39.39	19.0	2.97	34.525	41.8	10.53	23	160	7.0	
11	"	"	"	"	"	7.9	40.41	18.0	1.94	17.420	42.8	11.08	21	148	7.0	
12	"	"	"	"	"	15.8	38.43	12.0	4.14	15.111	41.5	10.21	20.5	170	8.3	
34	"	1	Wald im Pinzgau	85	26.4	1.55	39.24	25	2.76	19.540	45.80	11.54	19	118	6.2	Splintholz
36	"	"	"	"	"	8.80	34.02	16	2.30	26.306	45.31	9.88	—	—	—	"
38	"	"	"	"	"	17.60	35.02	23	3.97	18.301	45.09	10.15	—	—	—	"
35	"	"	"	"	"	1.55	37.51	37	3.71	15.353	50.55	12.24	22	143	6.5	Kernholz
37	"	"	"	"	"	8.80	30.21	15	4.79	12.754	50.51	9.80	23	169	7.3	"
39	"	"	"	"	"	17.60	34.19	21	4.34	8.305	44.42	9.73	—	—	—	"
22	"	I N	Zell am See	153	35.8	v. Stocke	45.08	28	1.63	28.539	43.8	12.66	20	183	9.1	
23	"	"	"	"	"	11.9	39.60	17	1.43	13.697	44.5	11.30	20	179	8.9	
24	"	"	"	"	"	23.8	40.29	18	1.34	8.269	42.4	10.94	20	180	9.0	
53	Weisstanne	III	Rekawinkel	100	21.1	v. Stocke	62.69	62.0	0.60	4.606	47.2	18.97	17.5	135.4	7.7	
54	"	"	"	"	"	7.0	50.86	42.3	0.41	3.317	43.8	14.28	17.0	125.5	7.3	
55	"	"	"	"	"	14.0	44.56	28.4	0.53	2.200	44.8	12.77	19.4	129.0	6.6	
56	"	IV	"	94	24.6	v. Stocke	51.85	42.4	1.66	22.619	44.5	14.77	18.2	172.6	8.4	
57	"	"	"	"	"	8.2	42.69	30.0	1.70	13.622	46.1	12.58	15.3	150.0	9.8	
58	"	"	"	"	"	16.4	40.72	26.0	2.62	15.758	45.8	11.91	19.0	207.0	10.8	
59	Schwarzföhre	Df. I	Stixenstein	29	6.5	v. Stocke	60.27	41	1.18	2.859	38.9	15.01	19.4	93	4.7	
60	"	"	"	"	"	2.17	56.14	42	0.75	1.543	38.3	13.79	20.0	111	5.6	
61	"	"	"	"	"	4.34	52.41	34	2.20	2.262	38.2	12.83	24.0	122	5.0	
65	Zirbelkiefer	I	Wald im Pinzgau	170	12.5	0.77	34.90	14	1.14	9.945	43.80	9.81	18.5	101	5.5	Splintholz
67	"	"	"	"	"	4.18	30.49	11	1.81	16.964	45.01	8.78	18.0	76	4.2	"
69	"	"	"	"	"	8.30	41.25	13	0.61	1.723	44.65	11.79	—	—	—	"
66	"	"	"	"	"	0.77	37.70	16	1.11	5.961	48.81	11.81	22	129	5.9	Kernholz
68	"	"	"	"	"	4.18	31.78	8	2.12	6.334	47.03	9.59	19	82	4.3	"
70	"	"	"	"	"	8.30	37.66	10	1.51	1.896	50.76	12.23	22	120	5.5	"
75	"	II	"	120	12.0	8.14	35.69	11	1.59	4.197	42.93	9.83	18.5	90	4.9	Splintholz

zwischen Sommerholzanteil und Ligningehalt, der, wenn auch nicht immer scharf hervortretend, doch zur Construction eines Gesetzes unbedenklich herangezogen werden kann. Die am schwierigsten einzufügende Zirbe I zeigt wenigstens insofern Gesetzmässigkeit, als auch bei ihr die kleinsten Procentanteile an Sommerholz dem geringsten Ligningehalte entsprechen; auch bei Fichte I aus Wald fallen die niedrigsten Spätholzanteile (Probe 36 und 37) mit den geringsten Ligningehalten zusammen.

Zur besseren Uebersicht sind die einschlägigen Daten der Tabelle VII entnommen und in der kleinen Tabelle VIII aneinandergesetzt.

Tabelle VIII.

Holzart, Herkunft und Bezeichnung des Stammes	Nummer der Holzprobe	Spätholz- antheil in Procenten	Ligningehalt bezogen auf gleiche Holz- volumina ‰
Fichte V aus Rekawinkel	7	66	16·12
	8	43	16·06
	9	30	15·09
Fichte VI aus Rekawinkel	10	19	10·53
	11	18	11·08
	12	12	10·21
Fichte I aus Wald	34	25	11·54
	36	16	9·88
	38	23	10·15
	35	37	12·24
	37	15	9·80
	39	21	9·73
Fichte I N aus Zell am See	22	28	12·66
	23	17	11·30
	24	18	10·94
Tanne III aus Rekawinkel	53	62	18·97
	54	42	14·28
	55	28	12·77
Tanne IV aus Rekawinkel	56	42	14·77
	57	30	12·58
	58	26	11·91
Schwarzföhre Df I	59	41	15·01
	60	42	13·79
	61	34	12·83
Zirbe I aus Wald	65	14	9·81
	67	11	8·78
	69	13	11·79
	66	16	11·81
	68	8	9·59
	70	10	12·23

Der Ligningehalt des Holzes wird sohin von der Grösse des Sommerholzantheiles insoweit beeinflusst, als im grossen Ganzen innerhalb Einer Holzart und Eines Stammes das Holz mit grösserem Sommerholzantheile auch einen höheren Ligningehalt aufweist. Dieser Satz liesse sich unschwer in die jetzt geltenden Lehren über die mechanische Festigkeit des Holzes einfügen.

Erziehung im dichten Stande bei sonst günstiger Ernährung steigert sohin die Qualität des Holzes, nicht nur insoferne, als sie die Spätholzantheile vergrössert, sondern auch dadurch, dass der Ligningehalt langsam erwachsenen Holzes in gleichem Volumen ein bedeutend grösserer ist, als in rasch erwachsenem Holzgewebe. Dies beweisen die miteinander vollkommen vergleichsfähigen Rekawinkler Fichten I und V einerseits und II und VI andererseits, welche sogar in gleichen Holzgewichten bei raschem Wuchse geringere Ligningehalte aufweisen als die langsam erwachsenen Stämme. Ebenso schlagend beweisen die Tannen III und IV die Thatsache, dass gleiche Volumina rasch erwachsenen Holzes kleinere Ligninmengen enthalten als solche langsam erzeugten. An dieser Stelle ist bemerkenswert, dass die Verhältniszahlen der auf gleiche Holzgewichte bezogenen Ligningehalte zu den spezifischen Trockengewichten bei den gedrängt stehenden, kleinkronigen, somit langsam wachsenden Fichten und Weisstannen stets kleiner sind, als bei den freistehenden, rasch wachsenden Stämmen (cf. Tabelle III die Nummern 1—3, 4—6, 7—9 und 10—12, ferner 53—55 und 56—58). Die Durchschnitte der Relationszahlen betragen nämlich bei:

Fichte I (gedrängt erwachsen)	0·840 %
II (frei erwachsen)	0·927 %
V (gedrängt erwachsen)	0·729 %
„ VI (frei erwachsen)	1·066 %
Tanne III (gedrängt erwachsen)	0·873 %
IV (frei erwachsen)	1·021 %

Der langsame Wuchs erzeugt ein Holz mit grossen Spätholzantheilen und von absolut grösserem Ligningehalte, im freien Stande aber wird das Holz trotz sehr geringer Spätholzantheile und kleiner Raumgewichte unverhältnismässig ligninreich erzeugt, was darauf hindeutet, dass eine gute Ernährung des Baumes und günstige Beleuchtungsverhältnisse der assimilirenden Krone der Ligninerzeugung förderlich sind.

Greife ich auf das zurück, was über die Rolle der Markstrahlen bei der Verholzung der Zellwandungen auf Seite 27 und 28 gesagt wurde, gelange ich zu weiteren Resultaten, die ich in dieser Richtung bei den anatomischen Untersuchungen der Probehölzer gewonnen habe.

Es hat sich darum gehandelt, festzustellen, ob die Menge der im Holze vorkommenden Markstrahlen-Parenchymzellen nicht gesetzmässigen Wandlungen unterworfen sei, ob ein höherer Ligningehalt nicht mit einer reicheren Ausstattung des Holzgewebes an Strahlenparenchym im Zusammenhange stehe. Diese Relation darf selbstverständlich nur innerhalb der Holzarten in Erwägung gezogen werden.

Es wurden zu diesem Zwecke auf Tangentialschnitten in der Früh- und Spätholzzone jeweils desselben Jahresringes mikroskopische Untersuchungen unter Anwendung stets derselben Vergrösserung (Ocular 3, Objectiv 5 bei eingeschobenem Tubus) vorgenommen; die Präparate wurden der leichteren Zählung der Strahlen-Parenchymzellen wegen der bekannten Wiesner'schen Ligninreaction mit Phloroglucin und Salzsäure unterworfen, sodass die verholzte Substanz rosenroth, die Querschnitte der Parenchymzellen im Lumen jedoch smaragdgrün gefärbt erschienen; im Farbencontraste konnte nicht leicht eine Parenchymzelle übersehen werden. Die in den stets gleich grossen Gesichtsfeldern vorkommenden Parenchymzellen wurden gezählt, und auf diese

Weise erhielt ich vollkommen vergleichsfähige Daten über die Markstrahlen-Parenchymmasse in den einzelnen Zonen der Jahresringe. Die Erhebungen für die Feststellung einer Durchschnittszahl basierten stets auf den Zählungen in mindestens zehn Stellen beziehungsweise Gesichtsfeldern der betreffenden Zone des Jahrringes.

Die gewonnenen wichtigeren Daten sind in Tabelle IX zusammengestellt. Sie machen ersichtlich, dass das Spätholz des Jahrringes stets reicher an Markstrahlen-Parenchymmasse ist, als das Frühholz. Wenn man nun bedenkt, dass das Parenchym in seiner hauptsächlichlichen Eigenschaft das Ernährungsgewebe im Holze ist, so wird man seine Vermehrung in dem dichteren, d. h. substanzreicheren Spätholze wohl ebenso begreiflich als notwendig finden. Die gründlichere, das ist stärkere Verholzung der dichteren Spätholzanteile findet eben eine notwendige Voraussetzung in dem grösseren Parenchymreichtum dieser Gewebe. Im Nadelholze kommt ja auch beinahe jede Strangtracheide mit lebenden Markstrahlen-Parenchymzellen in Berührung. J. M. Jansen¹⁾ hat sich der Mühe unterzogen, diese Verhältnisse näher zu studiren und fand, „dass Tracheiden, welche nicht von einem Markstrahle berührt werden, zwar vorkommen, jedoch sehr selten sind — etwa 1 Procent —“, und dass die Zahl der Markstrahlen, welche an eine und dieselbe Tracheide grenzen, von 1 bis 6 variiert.

Tabelle IX.

Holzart, Bezeichnung und Provenienz des Stammes	Nummer der Holz- probe	Ein und derselbe Jahrring enthielt auf Einem Gesichtsfelde			
		im Frühholze		im Spätholze	
		Mark- strahlen	Parenchym- zellen	Mark- strahlen	Parenchym- zellen
Fichte VI aus Rekawinkel .	12	18	122	19	134
Fichte IN aus Zell am See .	24	20	142	22	160
Fichte 1 aus Wald (Splint)	36	21	125	17	164
1 (Kern)	37	22	153	24	177
Tanne IV aus Rekawinkel .	57	16	158	16	175
Schwarzföhre Df I. aus Stixenstein .	59	22	58	22	73

Es ist somit nach dem Vorstehenden die Annahme keine gewagte, dass der Grad der Verholzung innerhalb der Gewebe eines Jahresringes in innigem Zusammenhange stehe mit der Parenchymzellmasse des betreffenden Holzgewebes. Damit lässt sich ohne Zwang die von H. Mayr²⁾ festgestellte Thatsache in Einklang bringen, dass die inneren Holzlagen des Stammes mehr Markstrahlenparenchym enthalten als die äusseren, denn wir haben gesehen, dass das Holz im Innern der Stämme stets ligninreicher ist als aussen, für welche Erscheinung an früherer Stelle schon eine Erklärung gegeben wurde; die grössere Markstrahlmasse in den inneren Holzlagen steht mit der ersten Erklärung durchaus nicht im Widerspruche. Uebrigens habe ich diese von Prof. H. Mayr zuerst hervorgehobene Erscheinung sehr prägnant bei der Fichte, weniger in die Augen springend auch bei der Zirbe constatirt. Die betreffenden Daten sind in Tabelle VII, Col. 7, 8 und 9, eingetragen. Fichte 1 aus Wald enthielt im Splintholze

¹⁾ J. M. Jansen, Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze (Jahrb. für wissenschaftliche Botanik, Bd. XVIII, pag. 49); siehe auch Strasburger, l. c. pag. 30 ff.

²⁾ H. Mayr, Das Harz der Nadelhölzer, Berlin 1894, pag. 18 ff.

auf einem Gesichtsfelde im Durchschnitte 19 Markstrahlen mit 118 Zellen, im Kernholze hingegen im Mittel der Proben 35 und 37 22·5 Markstrahlen mit 156 Zellen. Zirbe I zeigte im Splinte durchschnittlich (Mittelwerte aus den Zählungen in den Proben 65 und 67) auf einem Gesichtsfelde 18·25 Markstrahlen mit 88 Strahlzellen, im Kern aber (Mittelwerte aus den Zählungen in den Proben 66, 68 und 70) 21 Markstrahlen mit 110 Zellen.

In scheinbarem Widerspruche mit dem eben über die Beziehungen zwischen Markstrahlen-Parenchymmasse und Ligningehalt Gesagte scheint die aus Tabelle VII, Col. 7 und 8, ersichtliche Thatsache zu sein, dass die in freiem Stande unter bedeutendem Lichtgenusse erwachsenen Stämme Fichte VI (Holzproben 10, 11 und 12) und Weisstanne IV (Proben 56, 57 und 58) bedeutend reicher an Markstrahlen-Parenchymmasse sind, als die correspondirenden unterdrückten Stämme der Fichte V (Proben 7, 8 und 9) und Tanne III (Proben 53, 54 und 55).

Hier möchte ich aber auf das hinweisen, was hinsichtlich dieser Stämme auf Seite 33 dieser Abhandlung gesagt wurde. Dort ist nämlich hervorgehoben, dass die unterdrückten, langsamwüchsigen Stämme trotz sehr hoher specifischer Trockengewichte relativ geringe Ligningehalte aufweisen, welche Erscheinung in den niedrigen Relationszahlen zwischen Ligningehalt und Raumgewicht zum Ausdruck gelangt. Die schlechte Ernährung der nur schwach bekronten Stämme äussert sich also sowohl in der geringen Markstrahl-Parenchymmasse, als auch darin, dass der Ligningehalt mit dem specifischen Trockengewichte, beziehungsweise auch mit dem grossen Spätholztheile nicht gleichen Schritt zu halten vermag. Die geringe Markstrahlenfrequenz im Holze unterdrückter Stämme findet sich in der Literatur bereits verzeichnet, und zwar von H. Mayr in seinem „Harz der Nadelhölzer“. ¹⁾

Der grössere Ast- und Blattreichthum der freistehenden, grosskronigen Bäume hat eine höhere Assimilation und — gegenüber den schwach bekronten Stämmen — eine viel bedeutendere Nährstoffzeugung zur Folge, welche im wachsenden Holze wiederum durch den Aufbau einer diese Nährstoffe ihrer Bestimmung zuführenden grösseren Masse an Markstrahlen-Parenchymzellen ihren deutlichen Ausdruck findet.

Die Erscheinung, dass der Ligningehalt nicht auch wie die Markstrahlzellmasse von der Basis des Stammes zum Gipfel zunimmt, ²⁾ sondern in der Regel abnimmt, darf man darauf zurückführen, dass in den Gipfelpartien die Holzbildung im Frühling zuerst beginnt, zu einer Zeit, in welcher die Ernährungsverhältnisse noch nicht günstige sind, so dass auch die Bedingungen für die Verholzung nicht in demselben Masse vorhanden sein dürften, wie in der vorgerückteren Jahreszeit. Man wird nicht fehl gehen, auch die Abnahme der Spätholztheile mit der Stammhöhe zum Theile wenigstens auf dieselben physiologischen Verhältnisse zurückzuführen.

Die tief beasteten Zirbenprobestämme weichen in den specifischen Trockengewichten von der allgemeinen Regel beinahe ausnahmslos insofern ab, als deren Holz gegen den Stammgipfel zu vielfach schwerer oder doch nur um Geringes leichter wird; auch die Ligningehalte passen sich dieser Anordnung in der Mehrzahl der Fälle an. Auf eine ähnliche Eigenthümlichkeit macht bereits R. Hartig ³⁾ bei von Jugend auf im Lichtstande erwachsenen Fichten aufmerksam, deren Holzqualität (im Sinne Hartig's das specifische Trockengewicht) von unten nach oben zunimmt. Hartig versucht diese Eigenthümlichkeit aus der flach streichenden Wurzelbildung zu erklären, „die zur Folge hat, dass bei freiem Stande, bei welchem die oberen Bodenschichten sehr frühzeitig durchwärmt werden, auch die Durchwärmung des Baum-

¹⁾ l. c. pag. 19, „verbesserte Ernährung, wie Freistellung bedingt eine Steigerung der Parenchymzellmasse der Markstrahlen“.

²⁾ H. Mayr, Das Harz der Nadelhölzer, pag. 19.

³⁾ R. Hartig, Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume, Berlin 1885, pag. 68.

innern frühzeitig erfolgt und die Bildung reichlichen Frühjahrsholzes auch in den unteren Baumtheilen zur Folge hat“. Ich möchte diesem Erklärungsversuche den Gedanken hinzufügen, dass der freistehende Baum, welcher einen sehr abholzigen Stamm bildet, in Folge der bedeutenden Dicke des Schaftes an der Basis schon dadurch den Anforderungen an die Standfestigkeit Genüge gethan hat und keine weiteren Mittel aufzuwenden bemüsst ist, um den Angriffen der Stürme, die ja die Biegungsfestigkeit des Stammes hauptsächlich oberhalb des Wurzelhalses in Anspruch nehmen, zu begegnen. Freistehende, tief bekronte Bäume werden denn meist geworfen, nur selten gebrochen. Wenn man bei der Bildung von Rothholz im Coniferenstamme einen Reiz annimmt, dessen Wirkung auf das Protoplasma die Entstehung des bekannten dickwandigen rothbraunen Holzgewebes veranlasst, so darf man auch weiter gehen und sagen, dass dort, wo der Baum infolge ausserordentlicher Abholzigkeit des Schaftes, beziehungsweise infolge bedeutender Dicke an der Basis durch Wind und Stürme nur wenig gebogen wird, solche Reize fernbleiben und weniger mechanisch festes, weniger schweres Holz aufgebaut wird. Auch die Abnahme der Spätholzantheile von der Stammbasis zum Gipfel wird man mit wissenschaftlicher Berechtigung auf das Postulat der mechanischen Festigkeit zurückführen dürfen. Andererseits bietet der dünnere, schwächere Gipfel mehr freistehender, stark bekronter Bäume grossen Spielraum für die Stürme, derselbe wird in den oberen Partien auf Biegungsfestigkeit mehr in Anspruch genommen und es wird in den oberen Schaftpartien besseres Holz nothwendig, so dass in solchen Fällen in den oberen Stammtheilen schwereres und ligninreicheres Holz erzeugt wird, als an der Stammbasis. Gewiss ist aber die Eigenthümlichkeit der Zunahme der specifischen Trockengewichte von der Basis zum Stammgipfel nicht auf freistehende Stämme der flach wurzelnden Fichte beschränkt, sie dürfte unter ähnlichen Verhältnissen bei allen Coniferen zu finden sein; so constatirte ich sie bei der Zirbe, welche tief streichende Wurzeln besitzt, zumal in den gewöhnlich tiefgründigen Urgebirgsböden der Centralalpen, in welchen unsere Probestämme erwachsen waren.

Einfluss des Ligningehaltes auf das specifische Trockengewicht der Holzfaser.

Bei den Berechnungen der in der Volumeinheit enthaltenen festen Wandungssubstanzen wird als specifisches Gewicht der Holzfaser beinahe ausnahmslos die Sachs'sche Zahl 1·56 verwendet, wie auch ich es der Vergleichbarkeit wegen gethan habe. Richtiger wäre es freilich gewesen, die von Henze¹⁾ gefundenen specifischen Trockengewichtszahlen von 1·61 (Schwankungen zwischen 1·60 bis 1·62) für die verholzte Faser zu benützen. Derselbe Forscher hat für reine Cellulose ein etwas grösseres specifisches Gewicht nämlich 1·63 gefunden, woraus die bekannte Thatsache erhellt, dass vegetabilische Membranen durch die Verholzung specifisch etwas leichter werden. Bei sehr stark verholzten Kernhölzern von z. B. rund 50% Ligningehalt darf — zum Mindesten gegenüber schwach verholztem Splinte, wie etwa jenem der Schwarzföhre mit nur 38% Lignin — ein Einfluss des grösseren Ligningehaltes auf die specifische Gewichtsziffer der Wandung angenommen werden. Man dürfte mit Recht für die sehr ligninreichen Kernhölzer ein etwas geringeres specifisches Gewicht der Zellwandung anwenden, als bei Splintholz; für ersteres z. B. nach Henze 1·60, für letzteres 1·62. Daraus würden sich für Kernholz relativ etwas erheblichere Substanzmengen in der Volumeinheit berechnen, als beim Splinte. Nehmen wir als Beispiel die Zirbenkernholzprobe 82 von 48·00 specifischem Gewichte.

¹⁾ A. Henze, Untersuchungen über das specifische Gewicht der verholzten Zellwand und der Cellulose (Inaug. Diss., Göttingen 1883).

Bei Zugrundelegung der üblichen specifischen Gewichtsziffer von 1·56 für die Holzfaser berechnet sich als Substanzmenge in 100 Raumtheilen absolut trockenen Holzes 30·8; nimmt man jedoch 1·60 als specifische Gewichtsziffer, so sinkt die die Substanzmenge ausdrückende Zahl auf 30·0, greift man ferner zu der Gewichtsziffer 1·62, so fällt die Substanzmenge bis auf 29·6.

Diese kurze Bemerkung wollte ich hier eingefügt haben, weil sie sich aus den Erörterungen zwanglos ergibt.

Beziehungen zwischen Ligningehalt und mechanischer Festigkeit der Hölzer.

Die über diesen Gegenstand an der forstlichen Versuchsanstalt eingeleiteten Versuche sind dormalen noch nicht abgeschlossen. Ich selbst habe in der Richtung keine Studien angestellt, bin also nicht in der Lage, eigene Resultate wiederzugeben. Mancherlei in der Literatur verzeichnete Ergebnisse neuester Forschungen drängen jedoch, auch diese Frage auf Grund der in vorliegender Arbeit gegebenen Erörterungen zu streifen.

Ebermayer ¹⁾ schreibt dem Verholzungsgrade der vegetabilischen Gewebe mit Hinblick auf ihre mechanische Festigkeit eine grosse Rolle zu. Er hebt hervor, dass junges Holz weniger Lignin enthält als älteres Kernholz, bei welchem der Holzstoff stärker vertreten ist. „Mit dem Grade der Verholzung oder Verdickung der Zellen und Gefässe steht mithin die Festigkeit der Pflanzen und Pflanzengewebe in einer gewissen Beziehung.“ „Aber nicht nur die Festigkeit des Holzes, sondern auch die Widerstandsfähigkeit der Bäume und Aeste, der Culturpflanzen gegen Stürme, gegen aufgelagerte Schnee- und Eismassen, hängt vorzugsweise von der schwächeren oder stärkeren Verholzung der Zellen und Gefässe ab.“

Auch R. Hartig ²⁾ betont, dass mit der Verholzung sich manche technisch wertvolle Eigenschaften, besonders die Härte steigern; die Quellungsfähigkeit und die Wasseraufnahme hingegen werden geringer. J. Bauschinger ³⁾ sagt, „insofern die Ligninbildung mit der Verdickung der Zellmembran, namentlich des Herbstholzes fortschreitet, ist ihrem Einflusse schon in dem oben ausgesprochenen Satze Rechnung getragen, dass eine dichtere und verhältnismässig breite Herbstzone immer eine grössere Festigkeit zur Folge hat“. Ueber Ersuchen Bauschinger's hatte Ebermayer eine Anzahl Ligninuntersuchungen von Hölzern vorgenommen, welche auf ihre Zugfestigkeit geprüft worden waren. Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Zugfestigkeit des Holzes mit dem Gehalte an Cellulose zunimmt und mit dem Ligningehalte geringer wird. Lignin scheint nach Bauschinger das Holz härter, spröder, widerstandsfähiger gegen Biegung zu machen, während die Zugfestigkeit durch Ligninbildung geringer wird.

P. Sonntag ⁴⁾ stellt auf Grund seiner mit Agave, Musa, Stipa, Arundo, Cannabis, dann mit Pinus silvestris und Abies pectinata durchgeführten Studien nachfolgende Sätze auf:

1. Die Verholzung bewirkt in allen untersuchten Fällen Herabsetzung der Quellungsfähigkeit im Wasser, hauptsächlich in der Querschnittsfläche.
2. Die Verholzung hat eine verminderte Zugfestigkeit zur Folge; unverholzte Membranen übertreffen die verholzten immer bedeutend in dieser Beziehung.

¹⁾ Ebermayer, Physiologische Chemie der Pflanzen I, pag. 175 ff.

²⁾ R. Hartig, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen, pag. 36.

³⁾ J. Bauschinger, Mittheilungen aus dem mechanisch-technologischen Laboratorium der königl. technischen Hochschule in München 1883, pag. 18 ff.

⁴⁾ P. Sonntag, Die Beziehungen zwischen Verholzung, Festigkeit und Elasticität vegetabilischer Zellwände (Landw. Jahrb. Bd. XXI, 1893, pag. 839—869).

3. Bei unverholzten Zellmembranen speciell der Bastzellen fällt Festigkeitsmodul und Tragmodul im lufttrockenen Zustande nahezu zusammen, bei verholzten ist dies nicht der Fall.

4. Stark verholzte Membranen zeigen eine sehr grosse Ductilität (Geschmeidigkeit); sie sind im Stande, auch über die Elasticitätsgrenze hinaus den auf sie wirkenden Kräften nachzugeben.

5. Mit fortschreitendem Verholzungsgrade sinkt der Elasticitätsmodul; die Dehnbarkeit innerhalb der Elasticitätsgrenze bleibt aber ziemlich constant.

Schwappach's¹⁾ neueste Untersuchungen über die mechanischen Eigenschaften des Holzes der Weisskiefer belehren, dass ein geringer Procentsatz an Sommer-(Spät-)holz stets einem niedrigeren Raumgewichte und auch geringerer Druckfestigkeit entspricht; beide steigen mit einer Zunahme dieses Procentsatzes rasch an. Es ist in diesem Satze gewiss eine Uebereinstimmung zu finden mit der von mir erörterten Thatsache, dass der Ligningehalt des Holzes mit dem Antheile an Spätholz steige und falle; daraus darf man auch Beziehungen zwischen Ligninreichthum und der genannten technischen Eigenschaft des Holzes erblicken.

Uebrigens genügt die allgemein zugestandene Thatsache, dass die technischen Eigenschaften vegetabilischer Gewebe durch die Verholzung überhaupt beeinflusst werden, um anzuerkennen, dass auch verschiedene Grade der Verholzung nicht völlig belanglos bleiben können. Es kann z. B. für die Biegungsfestigkeit und die Härte des Zirbenholzes nicht gleichgiltig sein, ob der Ligningehalt 50·48% (Probe 70) oder nur 41·69% (Probe 75) beträgt, ebenso kann es nicht ganz bedeutungslos sein, ob eine Fichtenholzprobe 50·27% (Probe 35) oder nur 41·50% (Probe 12) Lignin enthält.

Der in der Regel grössere Ligninreichthum des Holzes an der Stammbasis fällt mit der technischen Qualität des Holzes dieses Stammtheiles zusammen und ist in biologischer Beziehung leicht erklärlich durch die bedeutende Inanspruchnahme der Stammbasis in Bezug auf Biegungsfestigkeit. Der von Benedikt und Bamberger gefundene hohe Ligningehalt der Aeste darf ebenfalls als Nothwendigkeit angesehen werden, da die Nadelholzäste, zumal in schneereichen Wintern, ausserordentlich hohe mechanische Arbeiten leisten müssen.

Aus diesen Ueberlegungen und aus dem Umstande, dass im Walten der Natur nichts zwecklos geschieht, darf man Beziehungen zwischen Ligningehalt und den technischen Eigenschaften der Hölzer nicht von vorneherein ablehnen.

Am Schlusse dieses Capitels möchte ich noch auf eine im vorigen Jahre erschienene interessante Arbeit von H. Schellenberg²⁾ zurückkommen; dieselbe beschäftigt sich mit dem Studium der verholzten Zellmembran. Schellenberg bestimmte den Grad der Verholzung in der Weise, dass er die durch die Phloroglucinsalzsäure-Reaction erhaltene rosenrothe Färbung der verholzten Zellwände in ihrer Intensität an möglichst dünnen mikroskopischen Querschnitten feststellte.

Diese unzulängliche und sehr unverlässliche Methode wendete Schellenberg an, da es, wie er sagt, zur Zeit nicht möglich ist, durch die chemische Analyse den Gehalt des Holzes an incrustirenden Substanzen genau festzustellen, besonders da wir noch nicht wissen, aus welchen chemischen Verbindungen das hypothetische Lignin besteht. Die letzte Behauptung gilt freilich heute noch, was die erstere betrifft, so ist sie durch Benedikt's und Bamberger's Arbeiten aus dem Jahre 1890 hinfällig geworden.

¹⁾ A. Schwappach, Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. I. Die Kiefer, Berlin 1897, pag. 54 ff.

²⁾ H. Schellenberg, Beiträge zur Kenntniss der verholzten Zellmembran (Jahrb. für wissenschaftliche Botanik, Band 29, Heft 2, pag. 237 ff.).

Nach Mittheilung sehr interessanter Ergebnisse über das Tragvermögen der Holzgewebe pro 1 mm^2 Querschnitt fester Substanz in feuchtem und trockenem Zustande, von Versuchen, die Schellenberg mit elf Holzarten vorgenommen hatte, zieht er unter Zugrundelegung unzutreffender Prämissen den anfechtbaren Schluss: „Da unsere Hölzer alle annähernd gleich stark verholzte Membranen haben, so zeigen diese Zahlen, dass die Festigkeit einer Membran unabhängig von der Verholzung ist.“ Es ist selbstverständlich, dass Schellenberg nach seiner Methode verschiedene Ligningehalte auch nicht im Entferntesten sicher festzustellen in der Lage war, und es wären ihm vielleicht selbst Unterschiede von nahezu 10 % im Ligningehalte entgangen, wie sie ja zwischen Kern- und Splintholz einer und derselben Holzart nicht selten vorkommen. Wie ausserordentlich gross die Differenzen in den Verholungsgraden sein können, mag man aus den nachfolgenden der Tabelle I entnommenen Zahlen ersehen. Das Schwarzföhrensplintholz Nr. 61 enthält nur 38·20 % Lignin, das Fichtensplintholz Nr. 16 45·40 %, das Tannensplintholz Nr. 53 47·20 %, das Fichtenkernholz Nr. 35 50·27 %, das Zirbenkernholz Nr. 70 50·48 %. Die grösste gefundene Latitude im Ligningehalte beträgt sohin 12·28 Gewichtsprocente Lignin; sie kommt gleich 32 % der unteren Ligningehaltsgrenze! Dies sind Grössen, welche nicht vernachlässigt werden dürfen.

Nicht beipflichten wird man ferner der Ansicht Schellenberg's, dass durch die Verholzung keine wesentliche Aenderung in den mechanischen Eigenschaften der Gewebe bewirkt werde, es sei denn in der Härte. Wenn aber der Autor als Zweck der Verholzung jenen anführt, dass durch dieselbe die Membranen gewissermassen festgelegt werden, dass sie ihre Form behalten, so hat er damit schon zugegeben, dass durch die Verholzung die technischen Eigenschaften der Gewebe eine weitgehende Modification erfahren.

Ergebnisse.

1. Die Schwankungen des Ligningehaltes innerhalb der einzelnen Nadelholzspecies sind grösser als die Unterschiede in den Ligningehalten verschiedener Coniferenhölzer.

2. Von den untersuchten Splinthölzern erwies sich die Schwarzföhre am ligninärmsten, die Weisstanne am ligninreichsten; Fichte und Zirbe rangiren innerhalb dieser Grenzen, doch näher der Tanne.

3. Die Fichte weist im Optimum ihres natürlichen Vorkommens grössere Ligningehalte auf, als in milden, ausserhalb des natürlichen Vorkommens liegenden Standorten. Auch an der oberen Grenze des baumförmigen Vorkommens scheint die Fichte ligninärmeres Holz zu erzeugen.

4. Die Fichte lässt bei dem auf gleiche Holzgewichte bezogenen Ligningehalte eine von der Stammbasis zum Gipfel fallende Tendenz erkennen. Dieses Verhältnis wird durch mancherlei Umstände beeinflusst, so z. B. durch die Grösse der Krone und durch die Höhe des Kronenansatzes.

5. Das Kernholz wie überhaupt älteres Holz ist ligninreicher als Splint- (beziehungsweise jüngeres) Holz aus derselben Stammhöhe.

6. Eine Bereicherung an dem durch die Methylzahl zum Ausdrucke gebrachten, die Verholzung bewirkenden Wandungssubstanzen erfolgt auch nach dem Zeitpunkte des Aufbaues des Holzes, und zwar solange letzteres durch lebendes Markstrahlen-Parenchym mit dem Cambiummantel in Verbindung steht.

7. Während beim Splinte zumal der Weisstanne und der Schwarzföhre, in weniger deutlichem Sinne auch der Fichte, der Ligningehalt von der Stammbasis zum Gipfel rascher als das spezifische Trockengewicht abnimmt, verhält sich das Kernholz der Fichte und Zirbe gerade umgekehrt, indem der Ligningehalt desselben von der Basis zum Gipfel langsamer abnimmt als das Raumgewicht.

8. Im gleichen Holzvolumen ist der Ligningehalt bei der Fichte, Weisstanne und Schwarzföhre in der Regel an der Stammbasis grösser als in zwei Drittel Stammhöhe. Die Bestandungsverhältnisse spielen in dieser Beziehung eine Rolle.

9. Der Ligningehalt des Holzes wird von der Grösse des Spät-(Sommer-)holzantheiles insofern beeinflusst, als im grossen Ganzen innerhalb eines Stammes das Holz mit grösserem Spätholzanteile auch einen höheren Ligningehalt aufweist.

10. Rasch erwachsenes Holz der Fichte und Weisstanne enthält in gleichem Volumen geringere Ligninmengen als langsam erwachsenes.

11. Gute Ernährung des Baumes und günstige Beleuchtungsverhältnisse, welche die Markstrahlen-Parenchymzellmasse des Holzes erhöhen, sind auch der Ligninerzeugung förderlich. Die schlechte Ernährung nur schwach bekronter Stämme äussert sich sowohl in der geringen Markstrahlen-Parenchymzellmasse als auch darin, dass der Ligningehalt mit dem spezifischen Trockengewichte, beziehungsweise auch mit dem bedeutenden Spätholzanteile nicht gleichen Schritt zu halten vermag.

12. Zwischen dem Ligningehalte und den technischen Eigenschaften der Hölzer scheinen Beziehungen zu bestehen, und zwar auch insofern, als der Baum das ligninreichere Holz gerade dort ablagert, wo die mechanische Inanspruchnahme an den Schaft am grössten ist.

~~~~~  
J. B. Wallishausser's k. u. k. Hof-Buchdruckerei, Wien.  
~~~~~

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: [23_1897](#)

Autor(en)/Author(s): Cieslar Adolf

Artikel/Article: [Über den Ligningehalt einiger Nadelhölzer 1-40](#)