

HOLZ

ALS ROH- UND WERKSTOFF

1. JAHRGANG

JUNI 1938

HEFT 9

Über die Entstehung von Harztaschen.

Von A. Frey-Wyssling.

(Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der E. T. H. Zürich.)

Als wahrscheinlichste Ursache für die Entstehung von Harztaschen werden Windrisse in den Markstrahlen nachgewiesen. Versuche an Kartoffelknollen über die Wirkung des Nadelholzbalsams auf die Bildung von Wundgewebe werden beschrieben und entsprechende Schlussfolgerungen gezogen.

Allgemeine Beobachtungen über Harztaschen.

Anlässlich anatomischer Studien an Lärchen-Stamm-scheiben von sehr verschiedenen Standorten der Schweiz wurde die Aufmerksamkeit auf die reichlich auftretenden Harztaschen gelenkt. Die Erscheinung kann bei forstlich angebauten Lärchen aus dem Mittellande ebensohäufig auftreten, wie bei solchen aus dem natürlichen Lärchen-gebiet in den Zentralalpen. Die Taschen erscheinen auf dem Querschnitt als ein bis mehrere Zentimeter lange Risse (Abb. 1), und auf dem Tangentialschnitt als ovale,

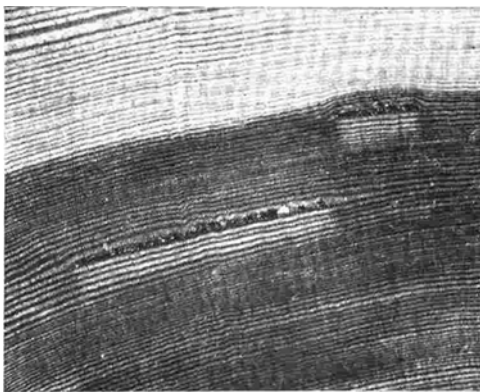


Abb. 1. Harztaschen im Lärchenstammholz. Man beachte die ausgebliebene Kernfärbung innerhalb der Taschen.

nach der Längsachse des Baumes gestreckte Flächen. Sie sind ganz unregelmäßig über den Stammquerschnitt verteilt; es gibt weder Halbmesser noch bestimmte Jahrringe mit besonders vielen Taschen. Bilder wie Abb. 1, wo zwei Risse in kurzem Abstände (von 20 Jahren) aufeinander folgen, sind selten. Auf den untersuchten, über 150 Jahrringe zählenden Stammscheiben besteht auch keine eindeutige Beziehung zwischen dem Alter der Bäume und der Anzahl der Harztaschen. Auf einem Stammquerschnitt kann man in einzelnen Fällen bis sechs Taschen zählen; ihre Längserstreckung ist nicht bedeutend, denn gewöhnlich zeigen Ober- und Unterseite der 3 cm dicken Stammscheiben eine verschiedene Verteilung dieser Harzrisse. Die Harztaschen entstehen fast immer im Frühholz und schließen dann gewöhnlich unmittelbar an das Spätholz des Vorjahres an; nur in einem einzigen Falle war die Bildung gegen das Spätholz hin verschoben und durch einen deutlichen Frühholzsäum vom vorangehenden Jahrring getrennt.

Die Harztaschen sind dadurch interessant, daß auf ihrer Innenseite die Verkernung, oder doch wenigstens die Kernfärbung, aussetzt, so daß dort scheinbar splintartiges Holz erhalten bleibt. Wenn man annimmt, daß für die

Kernfärbung notwendige Bestandteile vom Splint her nach innen wandern, wird dieses Verhalten verständlich, da ja die radial laufenden Markstrahlen durch die Harztaschen unterbrochen werden. Über diese Frage hat A. Bourquin ausführlich berichtet. Hier soll daher eine andere Frage behandelt werden, nämlich die Entstehung der Harztaschen.

Innere und äußere Ursachen für die Entstehung.

Für die Beantwortung dieser Frage scheinen Beobachtungen am Kernholz der Bleistiftzeder (*Juniperus virginiana*) Anhaltspunkte zu liefern. Bei diesem prächtig gefärbten, tiefroten Holze kann man nämlich auf dem Querschnitte gelegentlich, wie bei der Lärche, scharf begrenzte, ungefärbte Sektoren finden, wo die Kernfärbung unterbleibt (Abb. 2). Harztaschen sind keine vorhanden, doch stellt man fest, daß das splintgefärbte Gebiet über seine ganze Ausdehnung nach außen vom rot gefärbten Kernholz durch einen dem Jahrring folgenden Riß getrennt ist. Wo die rote Kernfarbe durchgängig ist, fehlt auch der Riß. Man darf hieraus schließen, daß es sich nicht um Schwindrisse, sondern um Fugen handelt, die schon vor der Verkernung vorhanden waren, und wie bei der Lärche die Färbung des Holzes vom Splint her unterbunden haben.

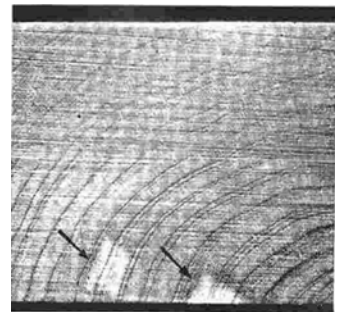


Abb. 2. Unsichtbare Risse im Kernholz von *Juniperus virginiana* L. verhindern auf ihrer Innenseite die Verkernung.

Hieraus geht hervor, daß im lebenden Baume offenbar Risse entstehen können, die die Markstrahlen unterbrechen. Bei der Lärche werden auf diese Weise die radialen Harzgänge, die in den Markstrahlen verlaufen, zerrissen und der unter hohem Druck (Münch 1919) stehende Balsam muß sich dann in die entstandene Spalte ergießen. Auf diese Weise entsteht eine Harztasche.

Eine ähnliche Auffassung ist von Mayr (1894) entwickelt worden. Er nimmt jedoch an, daß die Risse durch den hohen Druck im Harzkanalsystem entstehen; der Balsam der radialen Harzgänge, die das Kambium senkrecht durchstoßen, vermöge dieses zarte Gewebe örtlich aufzusprengen. Gegen diese Annahme spricht nun das Verhalten von *Juniperus virginiana*. Dieses Nadelholz enthält keine Harzgänge und trotzdem entstehen im lebenden Holze Risse, die dann allerdings verborgen bleiben bis die Verkernung einsetzt. Wenn es erlaubt ist, diesen Befund zu verallgemeinern, so kommt es zuerst zur Spaltenbildung, dann zum Harzerguß.

Nach Tschirch und Nottberg (1897) (s. auch Nottberg 1897, Tschirch und Stock 1933, S. 46) müssen der Bildung von Harz erfüllten Spalten im Holze akute Ver-

letzungen des Kambiums vorausgehen. Als solche werden Schab-, Quetsch-, Bohr-, Ringel- und Brandwunden erwähnt. Es entsteht dann ein Wundgewebe, und anschließend daran sollen sich sekundäre Harzgänge bilden, die das Wundharz erzeugen. Solche verharzte Wunden werden überwältigt und erscheinen dann im Holze als Harzgallen. Von derartig groben Eingriffen können unsere Harztaschen jedoch nicht herrühren, denn das Kambium eines in gepflegtem Forste erzogenen Baumes kann nicht so häufig durch äußere mechanische Einflüsse geschädigt werden. Man muß daher unterscheiden zwischen den geschwürartigen Harzgallen, wie sie Tschirch und seine Mitarbeiter künstlich erzeugt haben, und den hier zur Diskussion stehenden Harztaschen, die als flache Spalten weniger große Holzfehler vorstellen, selbst wenn sie, wie bei Fichte, oft große Flächen einnehmen.

Die Risse, die wir als Ursache der Harztaschenbildung annehmen, müssen als geschlossene örtliche Spalten im Kambium entstehen. Man könnte an Frostrisse denken, doch spricht das gelegentliche Auftreten von Harztaschen im Sommerholz dagegen. Viel wahrscheinlicher ist es, daß heftige Windböen solche örtliche Schäden erzeugen¹, besonders wenn sie den Baum außer auf Biegung, auch noch auf Torsion beanspruchen. Nicht nur in den Alpen, sondern auch im Mittelland werden oft erwachsene Bäume im geschlossenen Stande geworfen. Es ist daher möglich, daß jeder Baum im Verlauf seines Lebens wiederholt durch Sturm übernormal auf Biegung und Torsion beansprucht wird. Wenn sich dann das Kambium im Safte befindet, bildet es eine Fläche des geringsten Widerstandes zwischen Bast und Holz, die bei Zerrungen örtlich, oder wie bei Fichte über größere Gebiete, nachgibt. Es entsteht eine mikroskopische Spalte, die alle Markstrahlen des betreffenden Gebietes unterbricht. Im übrigen bringt jedoch ein solcher Riß keine weiteren Schädigungen mit sich, falls, wie in dem beschriebenen Beispiel von *Juniperus virginiana*, radiale Harzgänge fehlen. Die auf der Außenseite der Spalte liegenden Meristemzellen differenzieren sich gemäß ihrer Bestimmung zu Tracheiden aus, während der Außenrand der Spalte seine kambiale Tätigkeit fortsetzt, wie wenn nichts geschehen wäre. Eine Verschmelzung der Spalte findet nicht statt, und merkwürdigerweise gelingt es auch den Markstrahlen nicht, erneuten Anschluß nach außen zu finden; sie bleiben unterbrochen. Ein Wundgewebe entsteht bei solchen Rissen, wie Abb. 3 zeigt, nicht. Tracheiden und Markstrahlen der beiden Spaltenränder stoßen ungestört aneinander; wenn die anormale Kernfärbung nicht vorhanden wäre, und das Holz an dieser Stelle nicht von selbst auseinanderfallen würde, könnte man anatomisch keinen Holzfehler entdecken.

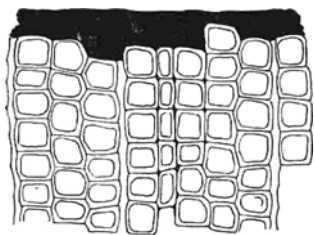


Abb. 3. Begrenzung eines Risses im Kernholz von *Juniperus virginiana* L.

und das Holz an dieser Stelle nicht von selbst auseinanderfallen würde, könnte man anatomisch keinen Holzfehler entdecken.

Ganz anders sind nun die Verhältnisse, wenn die Markstrahlen Harzgänge führen. Der Balsam ergießt sich dann in die entstandene Spalte. Nun bleiben aber die Spaltenränder nicht unverändert, sondern der Balsam löst als Fremdkörper die Bildung eines Wundgewebes aus. Es ist wahrscheinlich, daß die flüssigen Terpene, ähnlich wie Äthylen, und andere ungesättigte Verbindungen, einen

¹ Hierfür sprechen auch die Beobachtungen von Mayr (1894, S. 40), nach welchen die Harztaschen namentlich in der Nähe von Astabzweigungen bei freistehenden Bäumen auftreten.

stimulierenden Einfluß auf die Zellteilung ausüben. Der Balsam würde also wie eine Wuchsstoffpaste wirken. Es muß daher ein innerer Kallus entstehen. Wie dieser Kallus bei *Larix*-Harztaschen aussieht, zeigt Abb. 4. Es ist ein vollständig „verwildertes“ Gewebe. Die dem letztjährigen Spätholz anliegenden Frühjahrstracheiden *t* waren eben im Begriffe, sich auszudifferenzieren, als sie vom Kambium abgespalten und durch den Einbruch des Balsams zu fortgesetzter Teilung angeregt wurden. Es ent-

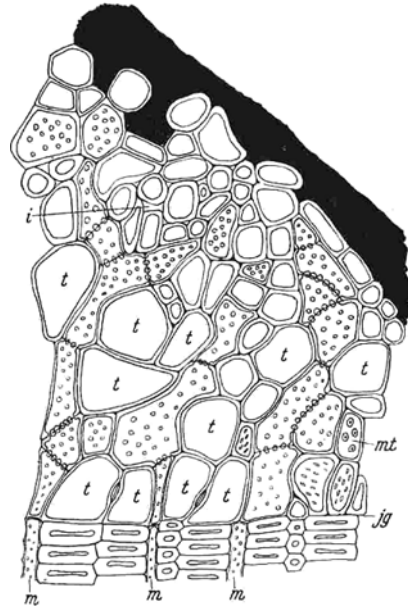


Abb. 4. Wundgewebe einer Harztasche von *Larix europaea* DC (vgl. Abb. 1).

m Markstrahl, *t* Tracheiden, *mt* Markstrahltracheiden, *i* Interzellularen, *jg* Jahrgangsgrenze.

steht ein Kampf zwischen dem Differenzierungswillen, der Tracheiden *t* verlangt, und einer schrankenlosen Zellteilung, die zu kurzen, rundlichen Zellen mit oder ohne Tüpfelung führt. Die Markstrahlen *m* hypertrophieren und durchsetzen das Gewebe mit grobgetüpfeltem Parenchym; außerdem werden ganz unbegründet vereinzelte Markstrahltracheiden *mt* gebildet. Man erkennt also, daß sich alle Zellarten zu teilen begonnen haben; aber sie sind nicht imstande, ein organisches Gewebe zu formen, sondern es entsteht histologisch ein krebsartiges Geschwür, das die Harztasche umsäumt. Tschirch hat dieses Wundgewebe als Tracheidalparenchym bezeichnet, weil darin alle Übergangsformen zwischen Parenchymzellen und Tracheiden vorkommen. Physiologisch muß man es als Kallus ansprechen, der von Zellen aus gebildet wird, deren künftige Differenzierung bereits teilweise festgelegt war.

Nach der hier vertretenen Ansicht ist die Bildung des Wundgewebes eine Folge der Berührung von teilungsfähigen Zellen mit Balsam, während nach Tschirch umgekehrt das Wundgewebe, durch die in seiner Nähe gebildeten sekundären Harzgänge, den Balsam erzeugen soll. Von solchen zusätzlichen Harzgängen konnten wir bei unseren Harztaschen nie etwas feststellen. Auch scheint mir das Kallusgewebe kaum als Balsambildner in Frage zu kommen, trotzdem es vollständig verkiekt und mit Harz durchtränkt sein kann. Da es im Gegensatz zu echtem Holzgewebe reichlich Interzellularen *i* besitzt, könnte das darin enthaltene Harz ebensogut von außen eingedrungen sein, ähnlich wie es bei der Verkienung des Kernholzes in tote Tracheiden gelangt. Ein Ausscheidungsepithel wie in den Harzgängen ist nicht vorhanden. Eine sichere Entscheidung der Frage, ob aller Balsam der Harztaschen aus-

schließlich durch die unterbrochenen radialen Harzgänge zugeflossen ist, erlauben unsere Beobachtungen allerdings nicht. Sicher kann jedoch gezeigt werden, daß keine senkrechten Harzgänge in die Taschen münden.

Versuche an Kartoffelknollen.

Da in harzgangfreien Bäumen geschlossene Holzrisse ohne Wundgewebe bleiben, muß die Bildung eines von der Außenwelt abgeschlossenen Kallus im Innern des Vegetationskörpers durch besondere Agentien ausgelöst werden. Um festzustellen, ob dem Nadelholzbalsam eine solche Fähigkeit zukomme, wurde versucht, bei unverholzten Vegetationskörpern künstlich Harztaschen zu erzeugen. Am besten gelangen Versuche mit der Kartoffel, die im folgenden kurz beschrieben seien.

Im Februar wurden an Kartoffelknollen mit einer sterilisierten Gillette-Klinge je ein 1½ bis 2 cm tiefer, taschenartiger Schnitt angebracht. Es ist nötig, daß die Knollen nicht mehr voll turgeszent sind, so daß kein Saft austritt, und sich die Taschen durch seitlichen Druck in Richtung der Schnittrichtung leicht zum Klaffen bringen lassen. Bei der Hälfte der Versuchsobjekte wurden die so geöffneten Taschen mit Balsam aus der Stammbasis von einer frisch gefällten Lärche gefüllt; beim Entspannen der Knolle schließt sich der Schnitt und der größte Teil des Balsams quillt wieder aus der Spalte hervor, nur ein dünner Film bleibt in der Tasche zurück und kleidet sie aus. Die andere Hälfte der mit Taschen versehenen Kartoffeln diente als Gegenprobe; bei ihnen wurde die Spalte unter sterilen Bedingungen ebenfalls kurz zum Klaffen gebracht und ohne weiteren Eingriff sofort wieder geschlossen. Darauf wurden die Versuchsobjekte kühl eingelagert und 4 Wochen sich selbst überlassen. Die anatomische Untersuchung zeigt dann die Verhältnisse, wie sie in Abb. 5 und 6 dargestellt sind.

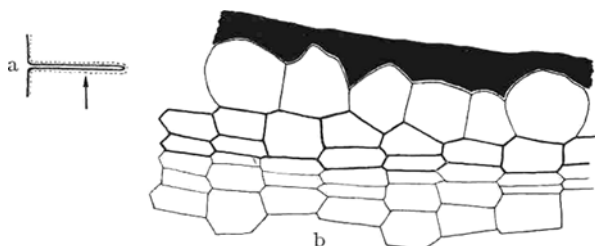


Abb. 5. Künstliche Harztasche in einer Kartoffelknolle. a) Skizze eines Schnittes durch die Tasche (nat. Gr.) stark ausgezogen; Periderm; punktiert: Bildungsgewebe. b) Die bei a durch einen Pfeil angedeutete Stelle bei starker Vergrößerung.

Bei den künstlichen Harztaschen ist die ganze Spalte mit Wundkork ausgekleidet (Abb. 5a). Die äußersten Parenchymzellen bleiben unverändert und mit Stärke vollgepfropft; die darunterliegenden Zellschichten sind da-

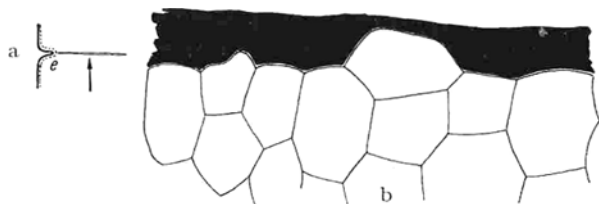


Abb. 6. Künstliche Tasche in einer Kartoffelknolle ohne Balsamzugabe. a) Skizze. Bei e hat sich die Spalte geschlossen. b) Die bei a durch den Pfeil angedeutete Stelle bei starker Vergrößerung.

gegen in Teilung übergegangen und haben ein geschlossenes Periderm gebildet (Abb. 5b). Bei den Kontrollen haben nur die beiden Lippen der Taschen Wundgewebe erzeugt. Die Teilungsschicht ist unter den Lippen durchgewachsen

und hat die Spalte geschlossen (Abb. 6a). Auf diese Weise ist eine von der Außenwelt abgetrennte innere Schnittwunde entstanden. In derart geschlossenen Taschen ist jede Peridermbildung ausgeblieben; ja, es hat überhaupt keine Teilungstätigkeit der Zellen eingesetzt. Es sind keine Anstalten getroffen worden, die Spalte zu heilen oder zu vernarben, so daß das Gewebe bei der Herstellung von Schnitten auseinanderfällt; nur in der Nähe des ursprünglichen Eingangs der Tasche, wo Bildungsgewebe entstanden ist (Abb. 6a), hat sich ein neuer Zusammenhang gebildet. Abb. 6b zeigt, wie die Speicherzellen ohne jegliche Veränderung an die Schnittwunde grenzen.

Schlußfolgerungen.

Wenn man von den gänzlich verschiedenen Gewebearten absieht, ist der Befund genau gleich wie bei den beiden beschriebenen Nadelhölzern (Abb. 3 und 4). Wo Harz in der künstlichen Tasche war, zeigt sich die Bildung eines Wundgewebes, und wo dieser Fremdkörper fehlt, bleibt die Wundreaktion aus, so daß der Riß im Gewebe mit unveränderten Schnitträndern erhalten bleibt. Im einzelnen sind natürlich große Unterschiede vorhanden. In den Harztaschen der Lärchen reagieren die Zellen, die mit dem Harz in unmittelbarer Verbindung sind, während in den künstlichen Taschen der Kartoffel eine unter dieser Berührungsfläche liegende Zellschicht in Teilung übergeht; dabei entsteht kein Kallus aus verholzten Zellen, sondern ein organisch aufgebautes Korkgewebe. Ferner ist zu sagen, daß bei der Kartoffel die Luft und alle möglichen anderen Fremdstoffe dieselbe Wirkung auslösen. Unabhängig von diesen Einwänden ist die Feststellung, daß bei den künstlichen Taschen ohne Harz keine Wundstoffe gebildet werden, die eine Peridermbildung veranlassen. Wenn dies nach der Einführung von Balsam geschieht, so muß dieser Fremdstoff selbst als Wundhormon wirken oder die Bildung solcher Wirkstoffe anregen. Ob er nun die Zellteilungen als eine Art Wuchsstoff unmittelbar herbeiführt, oder sie als unspezifischer Fremdkörper auf Umwegen irgendwie auslöst, läßt sich nicht entscheiden. Immerhin möchte ich die Möglichkeit in Erwägung ziehen, daß er, wie andere Wirkstoffe, die Zellen unmittelbar zur Zellteilung reizt. Die reichliche Wundgewebebildung in der Umgebung von Harzgallen und künstlichen Verwundungen könnte so eine Erklärung finden. Auch die günstige Einwirkung der Beimischung von Harz zu Baumwachs wäre dann vielleicht weniger in der Erzeugung eines hermetischen Abschlusses der Wund- und Pfropfstellen, als in einer Stimulierung der Zellteilung und Kallusbildung zu suchen. Sogar auf tierische Gewebe wirken gewisse Balsame, wie Perubalsam, im Sinn vermehrter Zellteilung ein. Ihre heilende Wirkung beruht nicht so sehr in der Herstellung eines sterilen Abschlusses und der Ausschaltung der Ansteckungsgefahr, als in einer Anregung der Zelltätigkeit.

Man muß sich hüten, aus den aufgedeckten Zusammenhängen zu schließen, daß die Harze im Pflanzenreiche zum Zwecke der Wundheilung entstehen, denn sie erzeugen ja beim Beispiel der Harztaschen ein Kallusgewebe, das gar nicht nötig wäre und eher als krankhaftes Geschwür denn als heilendes Gewebe anzusprechen ist (Abb. 1 und 3). Vielmehr fasse ich die Terpene als durch Dehydrierung entstandene Dissimilationsstoffe auf (Frey-Wyssling 1935). Wenn ihnen als ungesättigte Verbindungen ähnliche Reizwirkungen auf die Zelltätigkeit wie Äthylen und anderen Olefinen zukommen, so ist dies zufällig in ihrem Chemismus begründet, ohne daß dieser Eigenschaft eine tiefere physiologische Bedeutung zukäme.

Zusammenfassung.

Es wird wahrscheinlich gemacht, daß die Harztaschen von *Larix* und *Picea* durch Windrisse im Kambium entstehen. Aus den unterbrochenen radialen Harzgängen ergießt sich der Balsam in die entstandene Spalte und veranlaßt die Bildung eines Wandkallus. Bei *Juniperus virginiana* bleiben solche Risse ohne Wundgewebe, da kein Balsam in sie eindringt. In Kartoffelknollen kann man durch Versuch Harztaschen anbringen, die durch ein Wundperiderm ausgekleidet werden, während gleiche Taschen ohne Harz kein Wundgewebe erzeugen. Es ist daher wahrscheinlich, daß der Balsam teilungsfähige Zellen als Wirkstoff direkt oder indirekt zur Mitose anregt.

Erwähnte Schriften.

A. Bourquin, Quelques observations sur un phénomène accompagnant les poches résineuses du mélèze. *J. forestier suisse* Bd. 89 (1938) Heft 3 S. 1. — A. Frey-Wyssling, Die Stoffausscheidung der höheren Pflanzen. Berlin 1935. — H. Mayr, Das Harz der Nadelhölzer, S. 38. Berlin 1894. — E. Münch, Naturwissenschaftliche Grundlagen der Kiefernharznutzung. *Arbeiten d. Biol. Reichsanstalt f. Land- u. Forstwirtschaft* Bd. 19 (1919) S. 1. — P. Nottberg, Experimentelle Untersuchungen über die Entstehung der Harzgallen und verwandter Gebilde bei unseren Abietinen. *Z. Pflanzenkrankheiten* Bd. 7 (1897) S. 131, 203, 260. — Tschirch und Nottberg, Experimentelle Untersuchungen über die Bildung der Harzgallen. *Arch. Pharm.* Bd. 235 (1897) S. 256. — Tschirch und Stock, Die Harze. Berlin 1933.

Akustische Eigenschaften von Holz und holzhaltigen Bauplatten.

Von Eugen Michel, Technische Hochschule, Hannover.

Die große Bedeutung, die dem Holz für die Errichtung von Tragwerken wie auch für die Ausstattung von Räumen zukommt, rechtfertigt es, sich einmal die akustischen Eigenschaften dieses Baustoffes zu vergegenwärtigen.

Grundsätzlich handelt es sich dabei um zweierlei Dinge, nämlich raumakustisch um die Einwirkung auf die Hörsamkeit, d. h. um die Beeinflussung von Schall, der in einem Raum erzeugt wird und in diesem selbst verläuft, und dann bauakustisch um die Dämmung, d. h. um die Fähigkeit, einen auftretenden Schall zurückzuhalten, ihn nicht nach außen, also in andere Räume oder ins Freie dringen zu lassen.

Einwirkung auf die Hörsamkeit durch Mitschwingen.

In raumakustischer Hinsicht ist es besonders wertvoll, daß Holz sich durch irgendeinen Ton sehr leicht zu Mitschwingungen anregen läßt und daß dies für einen verhält-

nis also viele Eigenschaften, die es zur Verwendung in Räumen mit hohen akustischen Anforderungen befähigen. Einige Beispiele bestätigen dies. Erinnerung sei an den seinerzeit wegen seiner guten Hörsamkeit viel gerühmten Alten Gewandhausaal in Leipzig (Abb. 1). Er war in ein früheres Lagergebäude für Tuch, daher der Name Gewand-

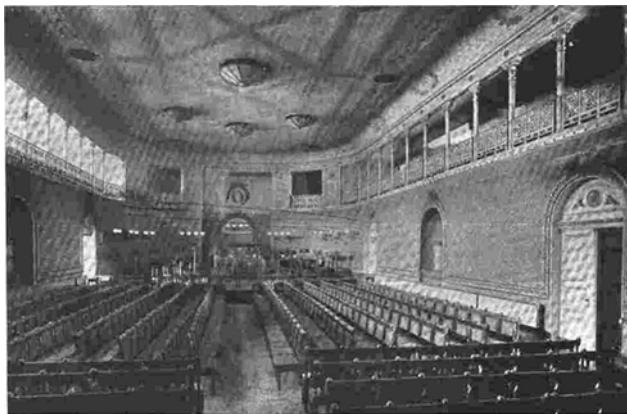


Abb. 1. Alter Gewandhausaal in Leipzig.

nismäßig großen Tonbereich zutrifft, unter Bevorzugung gerade der akustisch so wichtigen mittleren Tonlagen. Der Holzkörper wird dadurch selbst zu einem tonabgebenden Mittel, das den ursprünglichen Ton zu verschönern und zugleich wirksam zu unterstützen hilft.

Die einmal in Gang gebrachten Mitschwingungen dauern nach dem Aufhören des ursprünglichen Tons an — wenn auch nur noch eine kurze Weile —, und es ergibt sich dadurch ein gewisser vermittelnder und angenehm empfundener Übergang von einem Ton zum anderen.

Die durch das Mitschwingen des Holzes verbrauchte, d. h. in Wärme umgesetzte Schallenergie wird für das Ohr vernichtet und kürzt den Gesamt-Schallverlauf im Raum ab; dies wirkt einschränkend auf den Nachhall¹. Holz be-

¹ E. Meyer, *Z. techn. Physik* Bd. 14 (1933) S. 500.

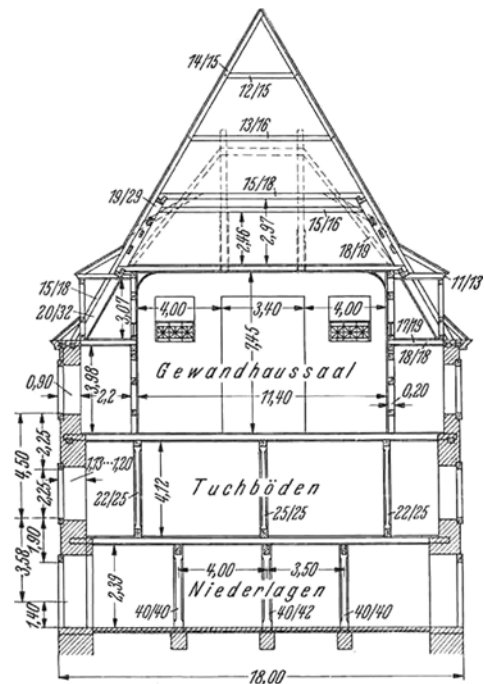


Abb. 2. Altes Gewandhaus in Leipzig.

haus, eingebaut worden. Dieses Bauwerk enthielt in mehreren Geschossen übereinander schwere Holzbalkenlagen auf Unterzügen und Stützen, ebenfalls aus Holz. Um die für den Konzertsaal erforderliche Lichthöhe zu gewinnen, wurde die oberste Balkenlage ausgeschnitten und durch Fachwerkwände abgefangen, die mit Holz verkleidet die Wände des Saales bildeten. Da auf diese auch noch ein großer Teil der Dachlast kam, so ergab sich für sie ein starker Spannungszustand, der die Mitschwingungsfähigkeit noch erheblich steigerte. Im ganzen entstand so ein leicht mitschwingendes elastisches Tragwerk, das die Klänge der Musikinstrumente und Singstimmen in der vorteilhaftesten Weise zur Geltung brachte (Abb. 2).

Die klanglich vorteilhafte Auswirkung von Holz machte sich auch in den älteren Theaterbauten sehr bemerkbar,