

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 127/128 (1946)
Heft: 20

Artikel: Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser
Autor: Stüssi, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83934>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 26.11.2024

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

Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser

Von Prof. Dr. F. STÜSSI, E. T. H., Zürich

1. Die Abhängigkeit der Holzfestigkeit vom Winkel γ zwischen Krafrichtung und Faserrichtung gehört zu jenen im Holzbau nicht seltenen Problemen, die wohl versuchstechnisch ziemlich eingehend untersucht sind¹⁾, bei denen aber eine ursächliche Deutung der Versuchsergebnisse noch fehlt. Man hat sich hier bisher mit einer rein statistischen Auswertung des Versuchsmaterials begnügt, indem man versuchte, die Versuchswerte durch eine möglichst einfache Formel möglichst gut zu erfassen. Dabei war vielfach die Einfachheit der Formel wichtiger als ihre gute Uebereinstimmung mit den Versuchswerten.

Von den Formeln, die den versuchstechnisch gefundenen Zusammenhang zwischen Holzfestigkeit und Faserwinkel zu erfassen versuchten, ist wohl diejenige von Kollmann²⁾ die bekannteste; in Holzvorschriften wird sie meist in vereinfachter Form ($n = 2$) übernommen. Ich habe mich selber vor einiger Zeit auch auf den Holzweg begeben, als ich versuchte, die Kollmannsche Formel durch einen anpassungsfähigeren und leichter zu handhabenden Ausdruck zu ersetzen³⁾.

Eine solche rein statistische Auswertung der Versuchsergebnisse ist nicht nur vom Standpunkt der Forschung aus unbefriedigend, sondern auch für die Konstruktionspraxis nur ein Notbehelf, weil sie über die Ursachen der untersuchten Erscheinung nichts aussagt und damit auch Änderungen in den Ursachen nicht erfassen kann.

Nachfolgend soll nun dem Zusammenhang zwischen Holzfestigkeit σ_y und Faserwinkel γ eine einfache ursächliche Deutung gegeben werden, an der nur erstaunlich ist, dass sie bisher noch nicht in der Literatur über den Baustoff Holz existiert.

2. Wir betrachten in Bild 1 ein unter der Beanspruchung σ_y stehendes Scheibenelement a . Denken wir uns daraus durch Schnitte parallel und senkrecht zur Faserrichtung x ein auf die natürlichen Hauptrichtungen des Baustoffes orientiertes recht-

eckiges Scheibenelement b herausgeschnitten, so wird dieses durch Normalspannungen σ_x und σ_y , sowie durch Schubspannungen τ_{xy} beansprucht. Die Grösse dieser auf die Faserrichtung als x -Axe bezogenen Spannungen ergibt sich aus elementaren Gleichgewichtsbedingungen (Baustatik I) zu

γ	Versuchswerte σ_y	$\sigma_x = \sigma_y \cos^2 \gamma$	$\sigma_y = \sigma_y \sin^2 \gamma$	$\tau_{xy} = \sigma_y \sin \gamma \cos \gamma$
0	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	1127	1127	0	0
2,5	935	933	1,8	40,8
5	575	571	4,4	49,9
10	261	253	5,3	44,6
15	158,6	148,0	10,6	39,7
30	94,6	71,0	23,7	41,0
45	42,1	21,1	21,1	21,1
60	29,6	7,4	22,2	12,8
75	21,7	1,5	20,2	5,4
90	20,2	0	20,2	0

Auf Grund dieser Rechnungsergebnisse können wir drei voneinander verschiedene Bereiche, die in unserer Tabelle durch Umrandung der Zahlenwerte σ_x , σ_y oder τ_{xy} gekennzeichnet sind, unterscheiden:

Im ersten Bereich, $0 \leq \gamma \leq \gamma_1$, wobei $\gamma_1 < 2,5^\circ$, erreicht die Längsspannung σ_x ihren Grösstwert.

Im zweiten Bereich, $\gamma_1 \leq \gamma \leq \gamma_2$, wobei γ_2 zwischen 15° und 30° liegt, nehmen die Schubspannungen τ_{xy} ihren Grösstwert an; dieser Grösstwert ist praktisch, abgesehen von beim Holz unvermeidlichen und zu erwartenden Streuungen, konstant und entspricht offenbar der Schubfestigkeit des untersuchten Holzes. Die Holzfestigkeit σ_y ist somit in diesem Bereich durch Erreichen der Schubfestigkeit begrenzt.

Im dritten Bereich, $\gamma_2 \leq \gamma \leq 90^\circ$, erreicht die Querspannung σ_y ihren Grösstwert, der wieder praktisch konstant ist und der Querspannung entspricht. Hier tritt somit der Bruch durch Ueberwinden der Querspannung ein.

Damit ist aber der Zusammenhang zwischen Holzfestigkeit σ_y und Faserwinkel γ auf die der natürlichen Orientierung des Holzes entsprechenden Werte der Längsspannung σ_x , der Schub- oder Scherfestigkeit τ_{xy} und der Querspannung σ_y zurückgeführt. Aus diesen drei grundlegenden «natürlichen» Festigkeitswerten können wir somit aus den Gleichungen (1) die «scheinbare» Holzfestigkeit σ_y wie folgt berechnen:

$$(2) \begin{cases} \text{für } 0 \leq \gamma \leq \gamma_1: & \sigma_y = \frac{\sigma_x}{\cos^2 \gamma}, \\ \text{für } \gamma_1 \leq \gamma \leq \gamma_2: & \sigma_y = \frac{\tau_{xy}}{\sin \gamma \cos \gamma}, \\ \text{für } \gamma_2 \leq \gamma \leq 90^\circ: & \sigma_y = \frac{\sigma_y}{\sin^2 \gamma}. \end{cases}$$

Die Grenzwinkel γ_1 und γ_2 ergeben sich dabei aus den Gleichsetzungen

$$\frac{\sigma_x}{\cos^2 \gamma_1} = \frac{\tau_{xy}}{\sin \gamma_1 \cos \gamma_1} \quad \text{und} \quad \frac{\tau_{xy}}{\sin \gamma_2 \cos \gamma_2} = \frac{\sigma_y}{\sin^2 \gamma_2}$$

$$(3) \quad \text{tg } \gamma_1 = \frac{\tau_{xy}}{\sigma_x}, \quad \text{tg } \gamma_2 = \frac{\sigma_y}{\tau_{xy}}$$

In Bild 2 ist der durch die Gleichungen (2) bestimmte Verlauf der scheinbaren Holzfestigkeit σ_y , ausgehend von den als Mittelwerte der in der Tabelle umrandeten Zahlengruppen bestimmten natürlichen Festigkeitswerten

$\sigma_x = 1127 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_y = 21,5 \text{ kg/cm}^2$, $\tau_{xy} = 43,8 \text{ kg/cm}^2$ aufgetragen und mit den Versuchswerten von Kraemer verglichen. Zur Verdeutlichung sind die Spannungswerte als Ordinaten im logarithmischen Masstab aufgetragen.

Wie Bild 2 zeigt, ist die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch ausgezeichnet, was nicht nur für die Richtigkeit der hier vorgelegten Deutung, sondern auch für eine sorgfältige Durchführung der Kraemerschen Versuche spricht.

3. In Bild 3 ist noch der analoge Vergleich zwischen Versuch und Rechnung für die Druckfestigkeit der Gotthardtanne, ausgehend von den Versuchen von Baumann, mit den Werten

$\sigma_x = 485 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_y = 67,0 \text{ kg/cm}^2$, $\tau_{xy} = 95,1 \text{ kg/cm}^2$

⁴⁾ O. Kraemer: Untersuchung über den Einfluss von Aufbau und Faserverlauf auf Zugfestigkeit, Biegung und Dehnung an Birkenfurnieren und Birkenperrholz. 122. Bericht der D. V. L., Berlin-Adlershof.

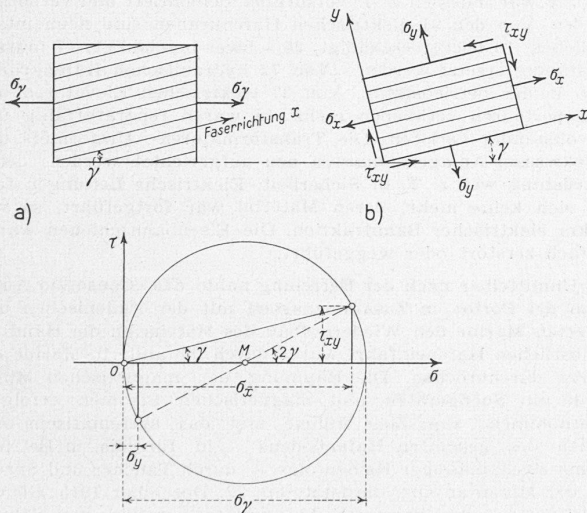


Bild 1. Spannungen σ_x , σ_y und τ_{xy} infolge σ_y

eckiges Scheibenelement b herausgeschnitten, so wird dieses durch Normalspannungen σ_x und σ_y , sowie durch Schubspannungen τ_{xy} beansprucht. Die Grösse dieser auf die Faserrichtung als x -Axe bezogenen Spannungen ergibt sich aus elementaren Gleichgewichtsbedingungen (Baustatik I) zu

$$(1) \begin{cases} \sigma_x = \sigma_y \cos^2 \gamma, \\ \sigma_y = \sigma_y \sin^2 \gamma, \\ \tau_{xy} = \sigma_y \sin \gamma \cos \gamma. \end{cases}$$

Die durch die Gleichungen (1) gegebenen Zusammenhänge sind übersichtlich durch den Mohr'schen Spannungskreis (Bild 1) dargestellt.

Wir wollen nun aus versuchstechnisch gefundenen Werten der Holzfestigkeit σ_y die zugehörigen Spannungen σ_x , σ_y und τ_{xy} für die natürlichen Hauptrichtungen des Holzes nach den Gleichungen (1) berechnen.

¹⁾ R. Baumann: Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Forschungsarbeiten V. D. I., Heft 231, Berlin 1922.

²⁾ F. Kollmann: Die Abhängigkeit der Festigkeit und der Dehnungszahl der Hölzer vom Faserverlauf. Bau-Ingenieur 1934.

³⁾ F. Stüssi: Zum Einfluss der Faserrichtung auf die Festigkeit und den Elastizitätsmodul von Holz. SBZ Bd. 126, Nr. 22, 1945.

dargestellt. Für Querdruck wurde dabei der Mittelwert zwischen tangentialem und radialem Querdruck angenommen. Auch hier stimmen Versuch und Rechnung sehr gut überein. Auch bei den übrigen von Baumann angegebenen Versuchswerten für Zug und Biegung, sowie für andere Holzarten zeigt sich gleich gute Übereinstimmung. Dagegen fällt auf, dass sich aus dem Zugversuch der Gotthardtanne ein etwas grösserer Wert der Scherfestigkeit ergibt, als aus dem Druckversuch. Es muss deshalb vermutet werden, dass für den Zugversuch Holz grösserer Festigkeit verwendet wurde als für den Druckversuch.

4. Die beiden Beispiele der Bilder 2 und 3 dürften als Nachweis dafür genügen, dass die «scheinbare» Holzfestigkeit σ_y durch die «natürlichen» Festigkeitswerte σ_x , σ_y und τ_{xy} nach den einfachen Beziehungen der Gleichungen (2) bestimmt ist. Möglicherweise ergibt sich hieraus für die Materialprüfung auch eine einfachere Bestimmungsmöglichkeit für die Schubfestigkeit als aus dem üblichen Scherversuch, bei dem ja die Scherfestigkeit mit der Scherlänge veränderlich ist. Die vorliegende Deutung, deren systematische, versuchstechnische Ueberprüfung durch die am Holzbau interessierten Materialprüfungsanstalten erwartet werden darf, gibt nicht nur der Konstruktionspraxis den gesuchten Verlauf von σ_y in äusserst einfacher, auch auf die zulässigen Beanspruchungen anwendbarer Form, sondern sie dürfte in der Zukunft auch der Versuchsforschung wünschenswerte Erleichterungen bringen.

Es zeigt sich aber auch, dass es nicht möglich ist, den Zusammenhang zwischen Festigkeit und Faserwinkel durch eine einzige geschlossene Formel zu umschreiben, weil wir nicht drei verschiedene Kurven durch eine einzige darstellen können.

Die Deutung der scheinbaren Holzfestigkeit σ_y durch die Gleichungen (2) lässt sich, über das hier untersuchte einfachste Beispiel des einaxigen Zuges oder Druckes hinaus, ohne weiteres auch auf allgemeinere Spannungszustände übertragen. Sie stellt somit eine allgemeine Bruchtheorie für den orthotropen Baustoff Holz dar, die jedoch wesentlich einfacher ist, als die bekannten Bruchtheorien für isotrope Baustoffe.

Zerstörungen und Wiederaufbau im Hafen von Genua

Infolge Luft- und Schiffbombardementen, Minen und Schiffsversenkungen fand sich bei der Befreiung im April 1945 der Hafen von Genua in vollständig unbrauchbarem Zustand. Die beiden Hafeneinfahrten waren vollständig gesperrt; in der östlichen lag der grosse Ueberseer «Augustus» mit sieben weiteren Schiffen darüber und daneben, in der westlichen Schiffe und grosse Eisenbeton-Caissons, bereitgestellt für den Wellenbrecher des Flughafens Genova-Sestri. Die Hafensflächen waren durch 70 magnetische Minen unzugänglich gemacht. Diese Minen wurden durch die Deutschen in den letzten Tagen vor dem Zusammenbruch planlos versenkt ohne Anfertigung irgend welcher Aufzeichnungen. Die Hafensflächen, besonders die Anlegeplätze, waren durch 300 gesunkene Schiffe aller Grössen versperrt. Alle Wellenbrecher waren mehr oder weniger beschädigt. Der Haupt-Wellenbrecher vor dem neuen Hafen zeigte eine 82 m lange Bresche von 7 m Tiefe; auf alle 10 m seiner ganzen Länge waren 4 m tiefe, 2 m weite Minenschächte vorbereitet zwecks vollständiger Zerstörung dieses wichtigsten Hafensbauwerkes. Die östlichen Wellenbrecher hatten den ganzen, gemauerten Oberbau verloren. Alle Hafensmauern hatten gelitten; in weitem Bereich waren in den Kabeldurchgängen Minen zur Explosion gebracht und dadurch die Quai-Mauerkrone und die darauf laufenden Krane zu Fall gebracht. Die Mauermassive waren durch die Wucht der Explosionen und den Sog z. T. aus ihrer Lage verschoben. Von 18 km Hafensmauern waren 6,6 km gesprengt; da diese besonders die Anlege-Molen betrafen, waren 50 Prozent

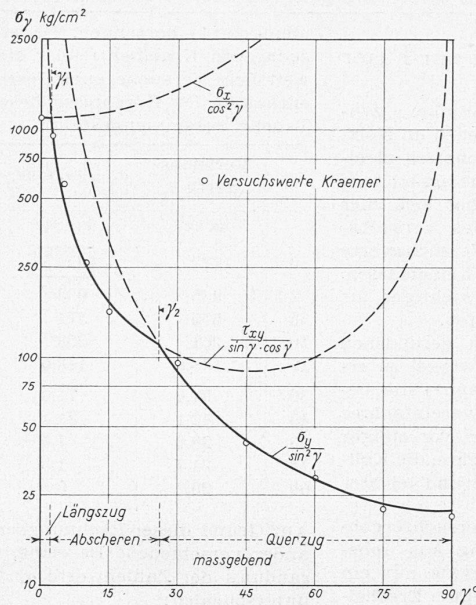


Bild 2. Zugfestigkeit von Birkenfurnier

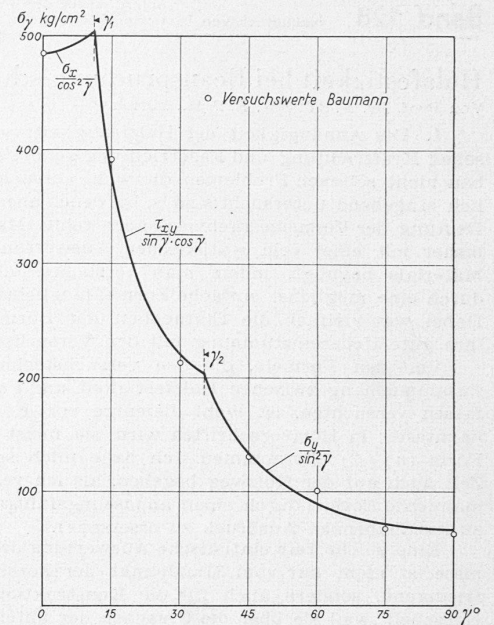


Bild 3. Druckfestigkeit der Gotthardtanne

der Anlegestellen unbenutzbar. Die Strassen, Lagerplätze, Bahnanlagen waren mit Trümmern und Trichtern übersät; ein durch die Deutschen als Sprengstoffmagazin benützter Eisenbahntunnel war in die Luft geflogen. Die Lagerhäuser und Hafengebäude hatten durchwegs gelitten; vollständig zerstört waren 36 000 m² Gebäudegrundfläche, schwer beschädigt 99 000 m², leicht beschädigt 17 000 m². Die vier Trockendocks waren beschädigt, die Pumpstationen unter Wasser gelaufen; deren maschinelle Ausrüstung war indessen z. T. vorsorglich demontiert und verborgen worden. Von den 91 elektrischen Hafenkranen sind neun intakt geblieben, 16 leicht beschädigt, 26 schwer beschädigt; 47 müssen vollständig ersetzt werden. Von 72 hydraulischen Hafenkranen blieb keiner betriebsfähig. Von 37 elektrischen Elevatoren und Transporteuren verblieben sechs, 14 waren reparaturfähig und 17 vollständig verloren. Die Transformatoren-, Umformer- und Druckwasser-Anlagen mussten neu aufgerichtet werden; deren Ausrüstung war z. T. in Sicherheit. Elektrische Leitungen fanden sich keine mehr; deren Material war fortgeführt, so von 48 km elektrischer Bahntraktion. Die Eisenbahnschienen waren vielfach zerstört oder weggeführt.

Unmittelbar nach der Befreiung nahm das «Consorzio Autonomo del Porto» in Zusammenarbeit mit der italienischen und alliierten Marine den Wiederaufbau des Hafens an die Hand. In der östlichen Hafeneinfahrt wurde durch die alliierte Marine die Sperre durchbrochen. Die Räumung der magnetischen Minen wurde mit Suchgeräten und magnetischen Strömen erfolglos unternommen; zum Ziele führte erst das systematische Absuchen des gesamten Hafensbodens — in für die in Betriebnahme zweckmässiger Reihenfolge — durch Taucher und Sprengen der Minen an Ort, die letzte am 22. Dezember 1945. Gleichzeitig wurden die längs den Anlegeplätzen gesunkenen Schiffe geräumt. Bis Ende März 1946 waren über die Hälfte der im Hafengebiet liegenden Schiffe gehoben; viele davon erwiesen sich reparaturfähig. Die Instandstellung der Hafensbauwerke wurde in drei Arbeitsetappen geteilt: 1. Abbruch und Räumung, 2. Reparatur solcher Abschnitte, deren Wiederbenützung in kurzer Zeit möglich wurde, 3. Wiederaufbau von längerer Dauer und grösserem Materialbedarf. Grundsatz war, besonders für die erste und zweite Etappe, keine provisorischen Instandstellungen zu schaffen; jeder Abschnitt, einmal in Dienst gestellt, blieb endgültig in Betrieb. Gleichzeitig wurden alle die Abschnitte in Angriff genommen, wo eine rasche Herstellung der Hafensmauer mit einem Stück Lagerhaus oder Schuppen, Bahngleis und Kranen sich möglich erwies. Von den vier Trockendocks konnten bis März 1946 drei mit den zugehörigen Pumpstationen repariert und in Betrieb genommen werden; am vierten sind die Arbeiten in gutem Gange. Im März 1946 wurde die erste und zweite Etappe abgeschlossen; die dritte Etappe wird noch zwei Jahre intensivster Arbeit erfordern.

Als sehr schwierig erweisen sich die Instandstellungsarbeiten an dem grossen, nach Süden frei exponierten Wellenbrecher. Durch die 82 m breite Bresche dringt bei Südwind der Seegang mit voller Wucht. Da es sich hier um einen Wellenbrecher mit