Zur Beanspruchung von Holz schräg zur Faser

Autor(en): **Meierhofer, Ulrich A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 38

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-73455

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

95. Jahrgang Heft 38 SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG 22. September 1977

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Zur Beanspruchung von Holz schräg zur Faser

Von **Ulrich A. Meierhofer**, Dübendorf

Allgemeines

Holz ist ein anisotropes, inhomogenes Material, in dem sich bestimmte Richtungen in bezug auf den Stamm auszeichnen: längs, radial, tangential. Die in Längsrichtung hervorragenden mechanischen Eigenschaften des Holzes entsprechen den in der Natur in dieser Richtung vorherrschenden Kräften: am stehenden Baum verursachen Eigengewicht, Schnee und Wind *Druck- und Zugspannungen fast ausschliesslich in Längsrichtung*, d.h. in der *Faserrichtung* des Holzes.

Die Grössenordnung der Unterschiede im mechanischen Verhalten in Abhängigkeit von der Beanspruchungsrichtung ist für das Beispiel einer Druckbelastung auf Fichtenholz in Bild 1 dargestellt. Für andere Beanspruchungs- und Holzarten bestehen analoge Zusammenhänge.

Holz wird als Konstruktionsmaterial meist derart verwendet, dass die guten mechanischen Eigenschaften in Längsrichtung ausgenützt werden; doch treten *Belastungen quer zur Faser*, vor allem *Druck*, ebenfalls auf. Daneben wird Holz aber auch *schräg zur Faser*, d.h. in einem bestimmten Winkel zur Faserrichtung, beansprucht. Das Verhalten des Holzes unter einer derartigen Beanspruchung sowie die daraus abzuleitenden Bemessungsgrundsätze werden im folgenden dargestellt.

Aus den Gegebenheiten der *Praxis* muss bezüglich einer Beanspruchung schräg zur Faser – im Gegensatz zu rein theoretischen Betrachtungen – grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Fällen unterschieden werden:

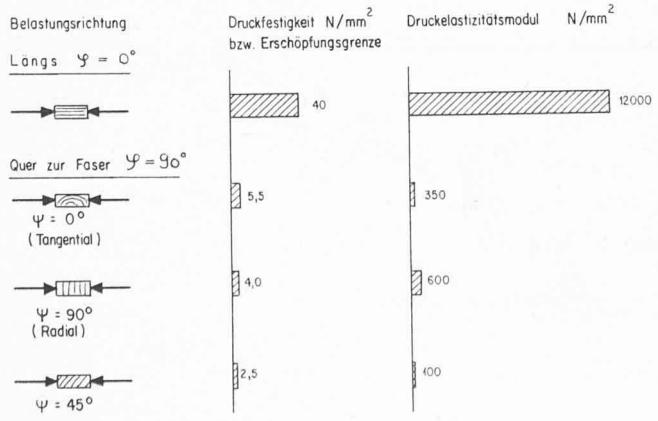


Bild 1. Abhängigkeit einiger mechanischer Eigenschaften des Fichtenholzes (Holzfeuchte $u = 12\,\%$, Darrdichte $\varrho_0 = 0{,}40$ g/cm3) von der Beanspruchungsrichtung $\varphi = 0°$ (längs zur Faser), $\varphi = 90°$ (quer zur Faser) und der Jahrringstellung ψ

a) Unabsichtliche Beanspruchung in einem Winkel zur Faserrichtung, da die Faserrichtung nicht mit der Achsrichtung des Tragelements übereinstimmt. Die Ursache liegt meist in einer wuchsbedingten Schrägfasrigkeit des Baumes (Drehwuchs oder Abholzigkeit), einer Faserkrümmung oder in einem schrägen Einschnitt. Der Fall a) wird im folgenden mit «Schrägfasrigkeit» bezeichnet.

b) Im zweiten Fall, der im Gegensatz dazu mit «Beanspruchung schräg zur Faser» bezeichnet wird, handelt es sich um Teile von Tragelementen, bei denen aus konstruktiven Gründen eine Kraftübertragung schräg zur Faser auftritt. Es handelt sich dabei meist um Verbindungsstellen mit Druckübertragung zwischen zwei schief gestossenen Tragelementen (vgl. Bild 2).

Bisherige Gegebenheiten

Schrägfasrigkeit

Der Winkel φ zwischen Faser- und Beanspruchungsrichtung beeinflusst sämtliche mechanischen Eigenschaften des Holzes, wenn auch in unterschiedlichem Masse. Bild 3 gibt hierzu einen summarischen Überblick, wobei auf die extreme Verminderung der Schlagbiegefestigkeit schon bei geringer Schrägfasrigkeit hinzuweisen ist. Der Abfall kann im übrigen noch wesentlich grösser sein als in Bild 3 angegeben: Untersuchungen der EMPA an Eschen- und Robinienholz ergaben schon bei einer Faserabweichung von 5° eine Herabsetzung der Biege-Bruchschlagarbeit um 40% [1].

Praktisch weist jedes Holztragelement eine als *statistische Grösse* zu betrachtende *Schrägfasrigkeit* auf. Obwohl der erhebliche Einfluss insbesondere auf die Festigkeitseigenschaften nachgewiesen ist, sind zum Ausmass des Auftretens von Schrägfasrigkeit kaum je Untersuchungen angestellt worden. Dies trifft im übrigen auch für andere Strukturstörungen des Holzes zu, deren Einfluss auf die Festigkeit üblicher Bauholzqualitäten von noch grösserer praktischer Bedeutung ist als die der Schrägfasrigkeit [2]. Kennzeichnenderweise datieren die am meisten zitierten Untersuchungen zum Thema der Schrägfasrigkeit aus den Jahren 1922 [3] und 1934 [4]. Einige Mühe wurde darauf verwendet, eine möglichst elegante mathematische Formulierung zu finden, die für die Festigkeit schräg zur Faser zwischen die Längs- und die Querdruckfestigkeit einen Kurvenzug legt, der den Versuchsresultaten einigermassen entspricht. Am bekanntesten ist wohl die *«Hankinson»-Formel*, die besonders in den angelsächsischen Ländern heute noch angewandt und deren quantitative Auswirkung im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

Die wohl zutreffendste Deutung vorhandener Versuchsergebnisse dürfte jedoch von *Stüssi* [5] stammen, die jedoch

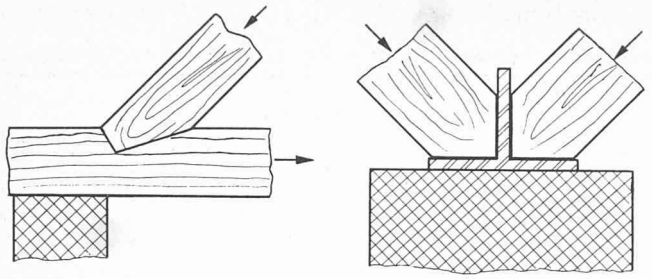


Bild 2. Beispiele für Beanspruchungen quer zur Faser

seit ihrer Publikation in dieser Zeitschrift 1947 zuwenig Beachtung fand. Auch hierauf soll noch näher eingegangen werden.

Sämtliche Untersuchungen machen keinen Unterschied zwischen der (statistischen) Schrägfasrigkeit und der Belastung schräg zur Faser, obwohl dies in der Praxis für den Konstrukteur von grosser Bedeutung ist. Für ihn tritt die statistische Schrägfasrigkeit nur als *Problem der Auslese* des Holzes auf. Anders ausgedrückt ist die gleiche zulässige Belastung bis zu einem durch Sortiervorschriften festgehaltenen maximalen Wert der Schrägfasrigkeit anwendbar; die durch die Schrägfasrigkeit bewirkte Abminderung der Festigkeit und der Verformbarkeit ist im Wert der zulässigen Beanspruchung oder im E-Modul bereits berücksichtigt. Eine Übersicht über die üblichen Grössenordnungen von zulässiger Schrägfasrigkeit gibt Tabelle 1.

Belastung schräg zur Faser

Bei den durch den Konstrukteur bei Vollholz zu berücksichtigenden Beanspruchungsarten schräg zur Faser steht aus praktischen Gegebenheiten der Druck im Vordergrund, wobei für diesen Beanspruchungsfall die geringsten Abminderungen der Festigkeit auftreten (vgl. Bild 3). Bei Furnierplatten können allerdings auch andere Beanspruchungsarten auftreten. Dabei ist festzuhalten, dass durch die Herstellungsoedingungen der Furnierplatten die ursprünglichen Eigenschaften des Holzes insbesondere quer zur Faser (z.B. durch Schälrisse) grundlegend geändert werden, so dass die Furnierplatten – wie auch andere Holzwerkstoffe – am sinnvollsten als neuer Werkstoff mit unterschiedlichen Eigenschaften betrachtet und untersucht werden [6]. Dies ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Betrachtungen.

Tabelle 1. Maximal zulässige Schrägfasrigkeit von Bauholz gemäss verschiedenen europäischen Normen.

Name/Ausgabejahr	*Holzart*	*Güteklasse*	*tan φ zul.*
SIA-Norm 111/1926			keine Bestimmung
SIA-Norm 163/1953	Schweiz. Bauhölzer	I	5 %
		II	10 %
		III	16,7 %
DIN 4074/1958	Bauschnitt-holz	I	7 %
		II	12 %
		III	20 %
Oe-Norm B 4100/1970		«Gutes Bauholz»	20 %
Code of Practice 112/1971		75	7,1 %
		65	9,1 %
		50	12,5 %
		40	16,7 %

Die meisten Holzbaunormen enthalten Angaben über die bei Belastung schräg zur Faser zu treffenden Annahmen, wobei im allgemeinen auf eine Umschreibung des Geltungsbereichs verzichtet wird. Unter den in Tabelle 2 erwähnten Normen wird beispielsweise nur bei den Règles C.B. 71 ausdrücklich zwischen Druck und Zug unterschieden.

Im weiteren sind in Bild 4 die in den verschiedenen Normen enthaltenen Zahlenwerte und Formeln veranschaulicht. Die im Diagramm aufgezeigten Kurvenzüge weisen wohl ähnliche Charakteristika auf, jedoch sind erhebliche Unterschiede deutlich sichtbar. Insbesondere bringt die in den SIA- und DIN-Normen enthaltene Formel auch bei kleinen Winkeln beträchtliche Abminderungen der zulässigen Beanspruchung mit sich. In den übrigen Fällen ist der Abfall in diesem Bereich wesentlich geringer. So wird nach der VRC-Kurve bis zu einem Winkel von 10° keine Abminderung vorgesehen und auch nach der Oe-Norm ist bis zu einem Winkel von 15° keine wesentliche Abminderung zu berücksichtigen. Auffällig sind auch die durch die «Hankinson-Formel» (E-Kurve) in einem mittleren Bereich (20° bis 50°) gegebenen tiefen Werte.

Eigene Untersuchungen

Vorbemerkung

Nach der bereits erwähnten Interpretation von *Stüssi* [5] ist bei kleinen Winkeln φ zwischen Kraft- und Faserrichtung

Tabelle 2. Berücksichtigung der Belastung schräg zur Faser in verschiedenen Normenwerken. σ_φ, $\sigma_\parallel$, $\sigma_\perp$: zulässige Spannungen schräg, parallel und senkrecht zur Faser. φ = Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung.

Land	*Norm*	*Jahr*	
Schweiz	SIA 164	1953	$\sigma_\varphi = \sigma_\parallel - (\sigma_\parallel - \sigma_\perp) \sin \varphi$
BRD	DIN 1052	1969	$\sigma_\varphi = \sigma_\parallel - (\sigma_\parallel - \sigma_\perp) \sin \varphi$
Oesterreich	Oe-Norm B 4100	1970	Faktoren tabelliert. Werte siehe Bild 4
Frankreich	Règles C. B. 71	1971	Faktoren tabelliert. Werte siehe Bild 4
England	Code of Practice 112	1971	$\sigma_\varphi = \frac{\sigma_\parallel \cdot \sigma_\perp}{\sigma_\parallel \cdot \sin^2 \varphi + \sigma_\perp \cdot \cos^2 \varphi}$ (Hankinson-Formel)
Kanada	CSA Standard 086	1970	$\sigma_\varphi = \frac{\sigma_\parallel \cdot \sigma_\perp}{\sigma_\parallel \cdot \sin^2 \varphi + \sigma_\perp \cdot \cos^2 \varphi}$
VR China			$\sigma_\varphi = \sigma_\parallel$ für $\varphi < 10°$
			$\sigma_\varphi = \sigma_\parallel / \left[1 + \left(\frac{\sigma_\parallel}{\sigma_\perp} - 1\right) \left(\frac{\varphi - 10°}{80°}\right) \sin \varphi\right]$ für $10° < \varphi < 90°$

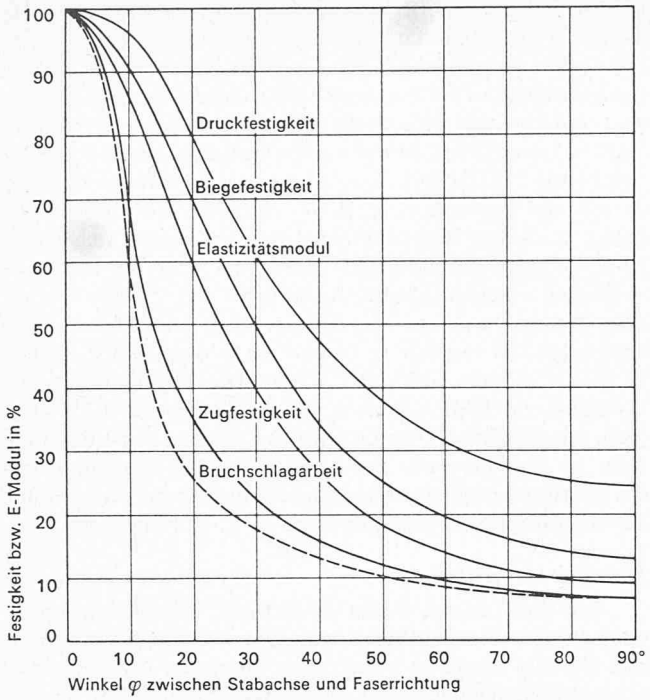


Bild 3. Kurzzeitfestigkeit und Elastizitätsmodul in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Beanspruchungs- und Faserrichtung nach [8]

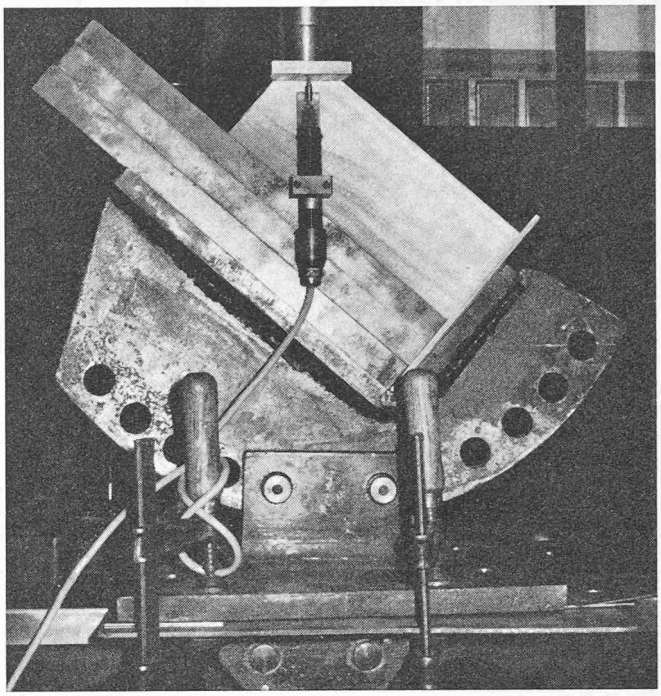
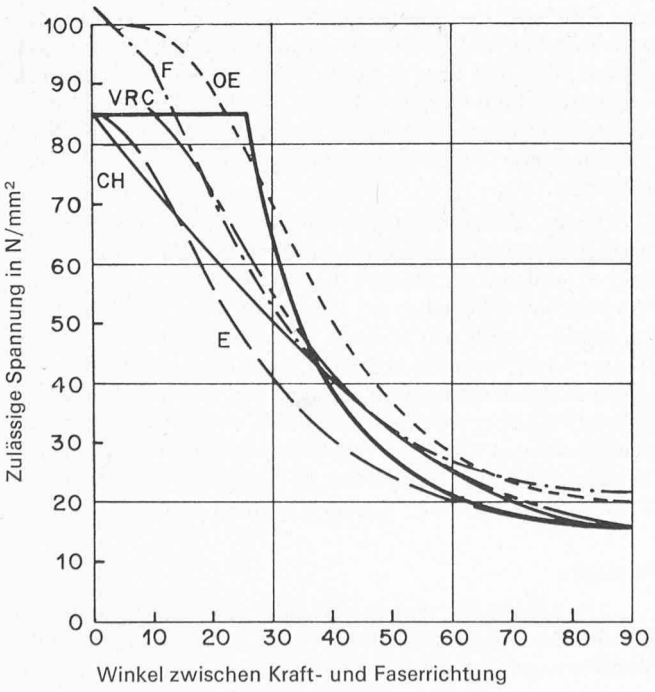


Bild 5. Eine spezielle Einrichtung erlaubt es, die Versuchskörper unter verschiedenen Neigungen in der Universalprüfmaschine einzuspannen. Die Wegmessung erfolgt mit zwei gegenüberliegenden induktiven Wegaufnehmern

Bild 4. Abhängigkeit der zulässigen Spannung vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung gemäss verschiedenen Normen: Verlauf nach Tabelle 2. CH = Schweiz, OE = Oesterreich, F = Frankreich, E = England, VRC = Volksrepublik China. Die Kurven CH, E und VRC liegen zwischen den durch die SIA-Norm 164 festgesetzten Grenzen für die maximal zulässige Druckspannung längs zur Faser und quer zur Faser für Güteklasse II (85 und 16 kg/cm²). Die österreichischen Werte entsprechen der Qualität «gutes Bauholz», die französischen einer «Catégorie II» für Nadelholz. Die dick ausgezogene Linie entspricht einem in diesem Beitrag erläuterten Vorschlag



die Längsdruckfestigkeit des Holzes massgebend. In diesem Bereich gilt:

$$\sigma_\varphi = \sigma_\parallel / \cos^2 \varphi$$

Mit σ wird hier jene Spannung bezeichnet, die das Versagen des Materials charakterisiert. Je nach Belastungsrichtung und auch in Abhängigkeit der Holzfeuchte wird das Versagen durch übermässige Verformung, inneren (strukturellen) Kollaps, Zerstörung durch Rissbildung usw. hervorgerufen [7].

Bei grossem φ wird das Holz bei Beanspruchung schräg zur Faser infolge Überschreitens der Querdruckfestigkeit zerstört. Die Spannung beträgt hier

$$\sigma_\varphi = \sigma_\perp / \sin^2 \varphi$$

Im mittleren Bereich wird die Schubfestigkeit des Holzes überschritten. Das Kriterium lautet hier somit:

$$\sigma_\varphi = \frac{\tau}{\sin \varphi \cdot \cos \varphi}$$

Diese Ansätze haben infolge der vernachlässigten Interaktion zwischen den verschiedenen Belastungsrichtungen nur modellhaften Charakter (z.B. Verminderung der Querdruckfestigkeit infolge gleichzeitiger Längsdruckbelastung). Da jedoch für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung die mit diesen Ansätzen zu erzielende Genauigkeit ausreichend ist, wird auf eine Berücksichtigung der Interaktionswirkung verzichtet.

Die in der Praxis üblichen *Druckstossverbindungen* werden derart konzipiert, dass ein Schubversagen ausgeschlossen ist. Damit sollte es möglich sein, eine (schräge) Stossverbindung auf die kritische Querdruckbeanspruchung zu bemessen. Um dies nachzuweisen, wurden die im folgenden beschriebenen Untersuchungen angestellt.

Die Rückführung der Bemessung bei schräger Beanspruchung auf ein Querdruckproblem hat ausserdem den Vorteil, dass hierfür bessere Versuchsunterlagen (z.B. [7]) wie auch Normierungsgrundlagen bestehen.

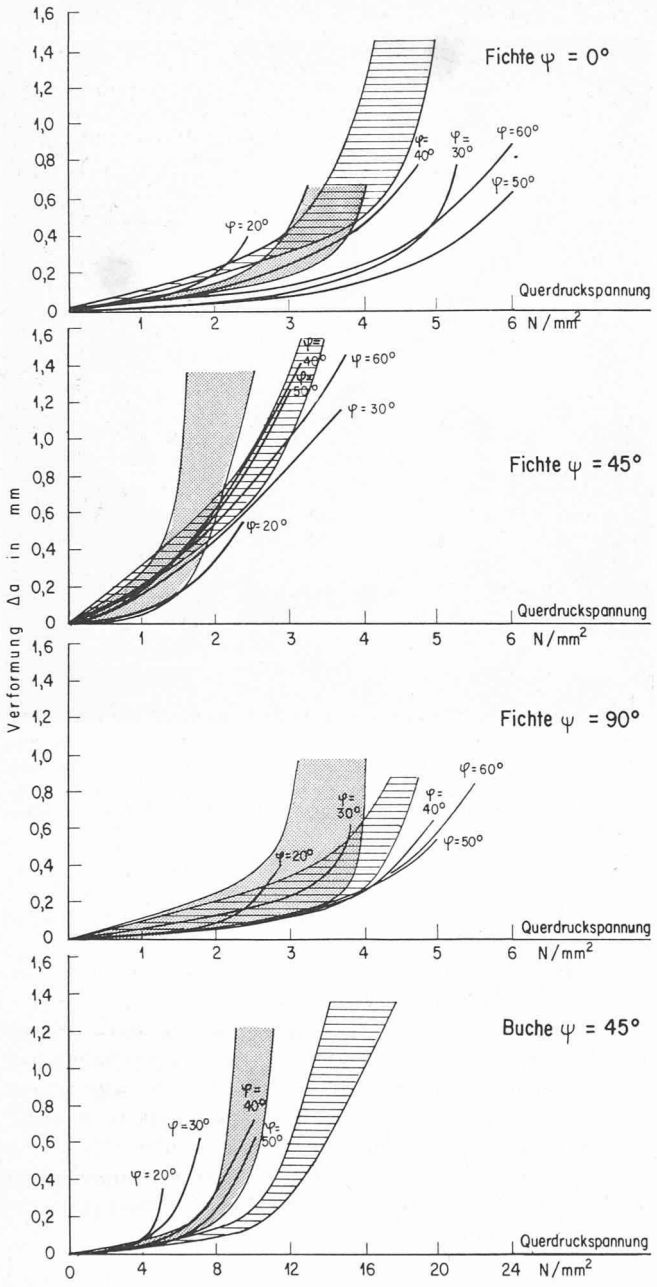
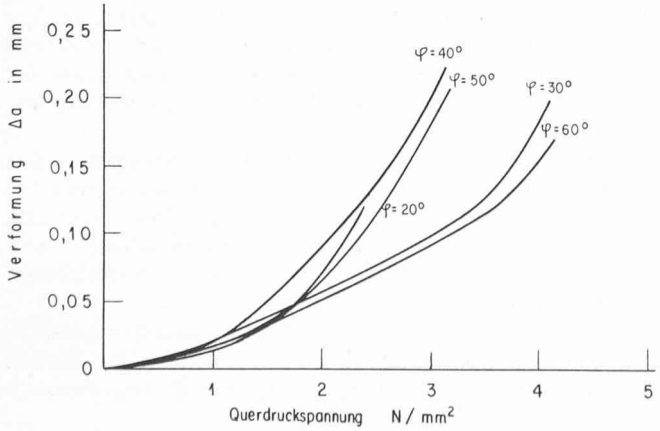


Bild 6. Abhängigkeit der totalen Verformung Δa (nach fünfminütigem Kriechen) von der Querdruckspannung unter der Druckplatte bei variabler Jahrringstellung ψ und Faserneigung φ. Horizontal schraffiert: Bereich der Verformungen Δa für Querdruck ohne Vorholz. Gerastert: Verformungen Δa für Querdruck mit Vorholz

Bild 7. Abhängigkeit der Kriechverformung innerhalb fünf Minuten Δa_{kr} von der Querdruckspannung unter der Druckplatte bei Fichtenholz mit Jahrringstellung $\psi = 45°$ und variabler Faserneigung φ



Im Versuch wie in den Normen wird im allgemeinen unterschieden zwischen *Querdruckbeanspruchung mit oder ohne Vorholz* (Krafteinwirkungszone kleiner oder gleich den Abmessungen des beanspruchten Elements), wenn aus konstruktiven Gründen in der Praxis eine Beanspruchung ohne Vorholz auch kaum je auftreten dürfte. Hingegen müssen *verschiedene* Vorholzarten berücksichtigt werden (einseitig, zweiseitig usw.), welche die Tragfähigkeit beeinflussen. Verschiedene Normen, so z.B. die französische C.B. 71, enthalten ausführliche Angaben zu diesem Konstruktionsdetail. In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, dass über die Höhe der zulässigen Querdruckbeanspruchung in den Normen erhebliche Unterschiede zu verzeichnen sind, beispielsweise für Querdruck mit Vorholz 16 kg/cm² (SIA-Norm 164/1953) und 20 bis 25 kg/cm² (DIN 1052/1969). Die Resultate der umfassenden, im EMPA-Bericht 183 [7] dargestellten Versuche legen allerdings nahe, die Querdruckbelastung von 1,6 N/mm² nicht zu überschreiten, besonders wenn die Jahrringstellung des querdruckbeanspruchten Bauteils nicht beachtet wird und die Höchstbeanspruchung dauernd einwirkt (Kriechen).

Material und Methode

Für den Versuch wurde die in Bild 5 ersichtliche Anordnung gewählt: Ein Prüfkörper von 55 mm Breite, 100 mm Höhe und 250 mm Länge ist mittels einer speziellen Auflage derart in ein Prüfgerät eingespannt, dass senkrecht zur 33 cm² grossen Fläche einer angeschnittenen Ecke eine bestimmte Kraft eingeleitet werden kann. Gut sichtbar auf Bild 5 ist einer der beidseitig angebrachten induktiven Weggeber, mit denen die Verformungen Δa auf den ersten 15 mm unter der Druckplatte (= Messstrecke a, vgl. Bild 8) gemessen wurden.

Folgende Versuchsparameter wurden berücksichtigt: Holzart (Fichten- und Buchenholz), Jahrringstellung (stehende Jahrringe $\Psi = 0°$, liegende Jahrringe $\Psi = 90°$ und Jahrringstellung Ψ = ca. 45°), Beanspruchungsrichtung zwischen Kraft- und Faserrichtung $\varphi = 20°, 30°, 40°, 50°$ und 60°. Konstant blieb die Holzfeuchte mit ca. 13% (Auskonditionierung bei 20° C/65% rel. Luftfeuchte). Die Darrdichte der Buchenproben variierte zwischen 0,65 und 0,69 g/cm³, die der Fichtenproben in der Hauptversuchsreihe betrug 0,42 g/cm³ mit sehr geringen Abweichungen.

Durchführung der Versuche

Querdruckprobleme sind in der Praxis meistens *Verformungsprobleme*. Holz zeichnet sich quer zur Faser durch einen sehr niedrigen Verformungsmodul sowie eine starke Tendenz zum Kriechen aus. Die Versuche wurden deshalb derart durchgeführt, dass die Last in bestimmten Stufen der Querdruckspannung erhöht wurde. Jede Last wurde während 5 Minuten konstant gehalten. Sämtliche Verformungen, d.h. auch die fünfminütigen Kriechverformungen, wurden kontinuierlich registriert.

Dieses Verfahren wurde für jede Probe dreimal angewendet: Als Druckbelastung schräg zur Faser (entsprechend Bild 5), sodann am gleichen Probekörper als Querdruck mit Vorholz und schliesslich als Querdruck ohne Vorholz. In ergänzenden Versuchen wurden unter anderem auch längerfristige Kriechversuche angestellt, wobei sich die *hohe Kriechempfindlichkeit* deutlich abzeichnete. So wurde beispielsweise bei einer Fichtenprobe mit $\varphi = 50°$, $\Psi = 45°$ und einem Querdruckanteil von 2,8 N/mm² im 15stündigen Kriechversuch eine Kriechverformung festgestellt, die mehr als die Hälfte der Totalverformung bis zu diesem Zeitpunkt betrug.

Resultate

Die Ergebnisse sind in den Bildern 6 und 7 zusammengestellt. Dazu ist grundsätzlich zu bemerken, dass die absoluten Verformungen Δa bei den verschiedenen Winkeln φ und bei

den Werten für Querdruck mit und ohne Vorholz nicht direkt miteinander verglichen werden können. Der Grund dafür liegt darin, dass die Verformungswerte in Abhängigkeit von der Querdruckbeanspruchung aufgezeichnet wurden, die Messung der Verformung jedoch in Kraftrichtung erfolgte. Die wesentlichen Resultate ergeben sich jedoch ohnehin weniger aus der absoluten Grösse der Verformungswerte als aus deren generellem Verlauf, charakterisiert durch Krümmung und Krümmungsänderung.

Im weiteren ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den angegebenen Spannungen bei schräger Belastung und Querdruck mit Vorholz nur um Bezugsgrössen handelt, da sie infolge der durch die geometrische Anordnung verursachten Spannungsverteilung lediglich den Spannungen direkt unter der Druckplatte entsprechen. Dies ist im übrigen auch der Grund, weshalb die Messlänge a verhältnismässig kurz gewählt wurde.

Obwohl im folgenden verwendet, ist ausserdem der Begriff «Kriechgrenze» an sich unpräzise, da Kriechen in messbarer Grösse bereits auf einem sehr tiefen Spannungsniveau auftritt, d.h. bei Spannungen, die nach gängigen Definitionen erheblich unter der Kriechgrenze liegen. Doch ging es im vorliegenden Rahmen nicht darum, versuchsmässig streng definierte Materialkennwerte zu ermitteln. Vielmehr waren *Spannungsbereiche abzugrenzen,* bei denen – unter Laststeigerung – eine namhafte Zunahme der Verformungsgeschwindigkeit zu verzeichnen ist, d.h. der Übergang zwischen vorwiegend «elastischer» und vorwiegend «plastischer» Verformung liegt. Diese Spannungsbereiche, ermittelt aus dem Verformungsverlauf bzw. der Krümmung und der Krümmungsänderung, erscheinen als ein nützliches Kriterium für die Bestimmung von zulässigen Beanspruchungen in dem Sinne, dass die Dimensionierungsspannungen unterhalb der Kriechgrenze anzusetzen sind.

Bei der Analyse des Verformungsverhaltens im Querdruckversuch mit und ohne Vorholz lässt sich leicht die Übereinstimmung mit andern Versuchen, insbesondere mit den Resultaten des erwähnten EMPA-Berichtes 183, feststellen: primäre Abhängigkeit des Verformungsverhaltens von der Jahrringstellung Ψ. Die Verformungen bei $\Psi = 45°$ betragen ein Mehrfaches derjenigen bei $\Psi = 0°$ und 90°, die ihrerseits ungefähr die gleiche Grössenordnung aufweisen. Entsprechend liegt auch die Kriechgrenze bei $\Psi = 45°$ erheblich tiefer als bei den andern beiden Jahrringstellungen.

Im weiteren sind folgende stichwortartig zusammengefasste Ergebnisse von Interesse:

- *Unterschiedliche Prägnanz der Kriechgrenze bei verschiedenen Jahrringstellungen,* festgestellt anhand der Krümmungsänderung der Verformungskurve (siehe Bild 6): Ausgeprägter Übergang (Kriechgrenze) bei schräger und den beiden Querdruckbelastungen bei $\Psi = 90°$ (liegende Jahrringe). Weniger prägnant bei $\Psi = 0°$ und bei Querdruck mit Vorholz auch noch bei $\Psi = 45°$. Keine augenfällige Kriechgrenze bei schräger Belastung und Querdruck mit Vorholz bei $\Psi = 45°$. Analoges Verhalten von Fichten- und Buchenholz.
- *Querspannungsbereiche der Kriechgrenze, Fichtenholz:* Bei $\Psi = 0°$ Kriechspannung bei schräger Belastung stets höher als diejenige von Querdruck mit Vorholz (welche ihrerseits stets höher ist als bei Querdruck ohne Vorholz). Bei $\Psi = 90°$ weisen die schräge Belastung und der Querdruck mit Vorholz ungefähr die gleichen Übergangszonen auf. Bei $\Psi = 45°$ nicht sehr ausgeprägt, jedoch ähnlicher Verlauf.
- *Querspannungsbereiche der Kriechgrenze, Buchenholz:* Übergangsbereich für schräge Belastung niedriger als für Querdruckbelastung: 4 bis 6 N/mm², Querdruck ohne Vorholz: 6,5 bis 7,5 N/mm², Querdruck mit Vorholz: 9 bis 11 N/mm². (Die Ursachen für dieses Verhalten liegen nicht auf der Hand. Der bei Buchenholz im Vergleich zu Fichte grössere Fehler infolge Nichtberücksichtigung der Interaktion – kleineres Verhältnis Längsdruckfestigkeit/Querdruckfestigkeit – reicht auf jeden Fall nicht aus, um die Erscheinung zu erklären.)
- Leicht unterschiedliches Verhalten der Proben $\varphi = 20°$ infolge Einfluss Interaktion Längs-/Querdruck. Auswirkung gering.

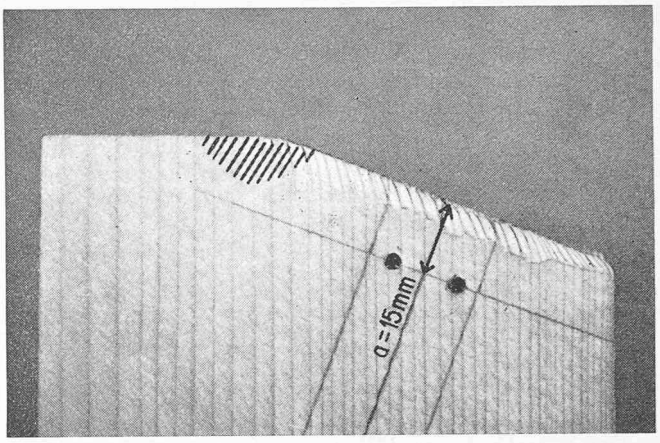


Bild 8. Fichtenprobe mit liegenden Jahrringen $\psi = 90°$ und einem Beanspruchungswinkel $\varphi = 20°$ nach der Versuchsbelastung. Bemerkenswert sind die lokal abgeknickten Jahrringe. Im schraffierten Bereich traten bei den meisten Proben bereits bei relativ kleinen Belastungen Staucherscheinungen auf. a = Messweg

Wenn auch die Schubfestigkeit – wie dies eingangs dargelegt wurde – auf das Gesamtverhalten keinen Einfluss ausübt, so muss doch festgestellt werden, dass ein *lokales Schubversagen* allerdings *erst unter sehr hohen Beanspruchungen* auftreten kann. Bild 8 zeigt eine Probe, bei der unter der Druckplatte die einzelnen Jahrringe lokal einzeln ausgeknickt sind. Auf dem gleichen Bild ist schraffiert jene Zone eingezeichnet, wo während des Versuchs bei zunehmender Belastung im allgemeinen zuerst starke Stauchungen auftraten.

Folgerungen

Bei den im traditionellen Holzbau vorkommenden Beanspruchungen schräg zur Faser handelt es sich fast ausschliesslich um Druckverbindungen. Sie werden derart ausgebildet, dass ein Schubversagen ausgeschlossen werden kann. Versuche zeigen, dass das Verhalten bei schräger Beanspruchung vornehmlich durch das Querdruckverhalten des Holzes bestimmt wird. Eine Bemessung bei schräger Beanspruchung kann deshalb derart vorgenommen werden, dass die Druckspannungen die zulässigen Belastungen längs und quer zur Faser nicht überschreiten. Bei den nach der SIA-Norm 164 gültigen zulässigen Beanspruchungen würden demgemäss bis zu einem Winkel φ zwischen Belastungs- und Faserrichtung von ca. 25° keine Abminderung erfolgen, d.h. die zulässige Beanspruchung wäre 8,5 N/mm² (GK II). Im Bereich zwischen $\varphi = 25°$ und $\varphi = 90°$ würde die zulässige Druckbeanspruchung wie folgt berechnet:

$$\sigma_\varphi = \frac{\sigma_\perp}{\sin^2 \varphi} = \frac{1{,}6 \text{ N/mm}^2}{\sin^2 \varphi}$$

Eine Erhöhung der zulässigen Querdruckbeanspruchung kann nur dann empfohlen werden, wenn die Jahrringstellung berücksichtigt wird oder die Höchstlast nur kurzfristig einwirkt.

Der Verlauf des obigen Ansatzes ist zum Vergleich mit andern Formeln in Bild 4 eingetragen. Mit dem neuen Ansatz werden bei kleineren φ wesentlich höhere Beanspruchungen ermöglicht. Demgegenüber stehen etwas geringere zulässige Beanspruchungen bei grösseren φ (insbesondere im Vergleich mit den heute nach SIA und DIN gültigen Ansätzen), was jedoch durchaus den theoretischen und versuchsmässigen Gegebenheiten entspricht.

Literaturverzeichnis

[1] *Kühne H.:* «Untersuchungen über einige Eigenschaften des Eschen- und Robinienholzes im Hinblick auf dessen Verwendung für Werkzeugstiele.» EMPA-Bericht Nr. 179, 1951.

[2] *Meierhofer U.:* «Der Ast als qualitätsbeeinflussendes Strukturmerkmal.» Bulletin der Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, 4/2, S. 1–16, 1976.

[3] *Baumann R.:* «Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Techn. Hochschule Stuttgart.» Forsch. Gebiete Ingenieurwes., Heft 231, Berlin 1922.

[4] *Kollmann F.:* «Untersuchungen an Kiefern- und Fichtenholz aus der Rheinpfalz.» Forstwiss. Cbl. 56/6, S. 181–189, 1934.

[5] *Stüssi F.:* «Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser.» Schweiz. Bauzeitung, Heft 20, S. 251–252, 1946.

[6] *Plath E.:* «Zur Normung von Bau-Furnierplatten aus Buche.» Holz als Roh- und Werkstoff 32/2, S. 58–63, 1974.

[7] *Kühne H.:* «Über den Einfluss von Wassergehalt, Raumgewicht, Faserstellung und Jahrringstellung auf die Festigkeit und Verformbarkeit schweizerischen Fichten-, Tannen-, Lärchen-, Rotbuchen- und Eichenholzes.» EMPA-Ber. 183, 1955.

[8] *Ghelmeziu N.:* «Untersuchungen über die Schlagfestigkeit von Bauhölzern.» Holz als Roh- und Werkstoff 1, S. 585, 1938.

Adresse des Verfassers: *U. A. Meierhofer,* dipl. Ing. ETH, EMPA, Abtlg. Holz, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf.

Die Dachkonstruktion der Mehrzweckhalle in Ebikon

Von **Hans Banholzer,** Luzern

Zum Raumprogramm des neuen *Oberstufenschulhauses* in Ebikon (LU) gehört auch eine Mehrzweckhalle, die den international anerkannten Massen (42×26 Meter) für Hallenhandball entspricht. Durch zwei Trennwand-Vorhänge kann der Hallengrossraum in drei nebeneinanderliegende Normalturnhallen (14×26 Meter) unterteilt werden. Das 1150 m² grosse Flachdach wird durch Fachwerkbinder in patentierter Greimbauweise getragen.

Drei wesentliche Gesichtspunkte beeinflussten die Entscheidung des Bauherrn, *hölzerne Fachwerkbinder für die tragende Konstruktion* zu wählen:
– Die geringe Bauhöhe der Träger ermöglichte eine der eigenen

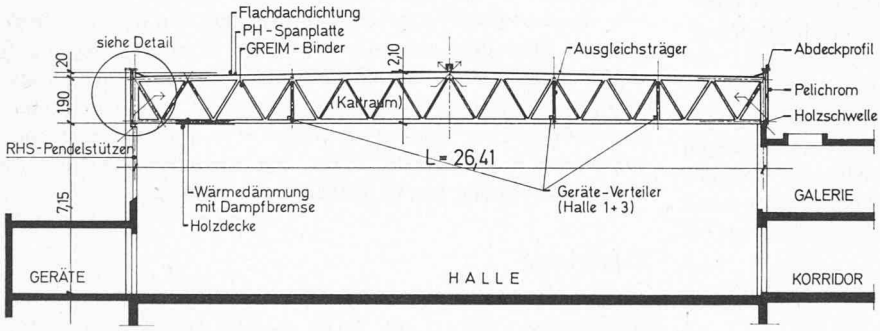


Bild 1. Querschnitt des Dachtragwerkes

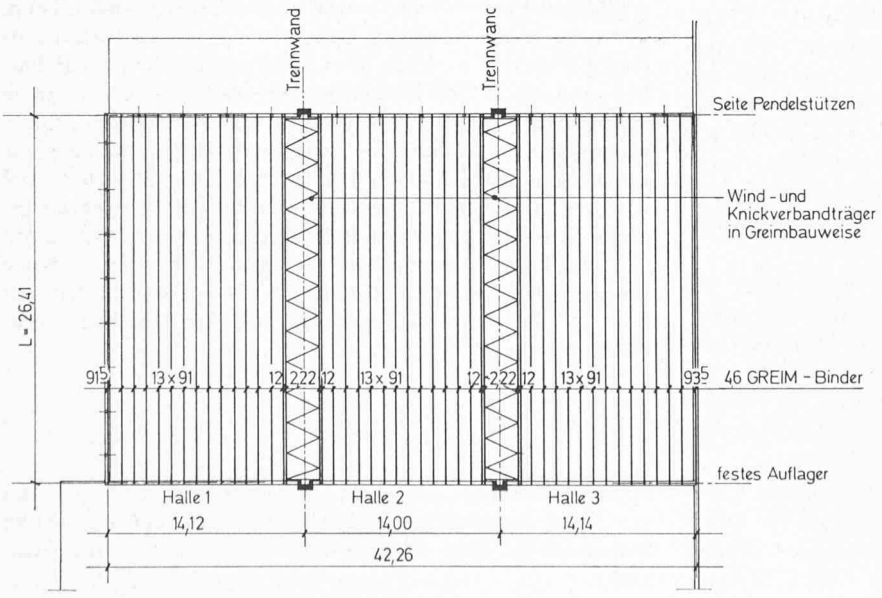


Bild 2. Binder-Anordnung mit Wind- und Knickverbänden