

# Zum Einfluss der Faserrichtung auf die Festigkeit und den Elastizitätsmodul von Holz

Autor(en): **Stüssi, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **125/126 (1945)**

Heft 22

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83757>

## **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.

### Zum Einfluss der Faserrichtung auf die Festigkeit und den Elastizitätsmodul von Holz

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

1. Durch die grundlegenden Versuche von R. Baumann<sup>1)</sup> ist der Einfluss des Winkels  $\gamma$  zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung auf die Festigkeit und die Verformbarkeit von Holz abgeklärt worden. Für die Konstruktionspraxis des Holzbaues ist es erwünscht, diesen versuchstechnisch gefundenen Zusammenhang in möglichst einfacher Form rechnerisch ausdrücken zu können. Die von F. Kollmann<sup>2)</sup> für die Festigkeit  $\sigma_\gamma$  angegebene Gleichung

$$\sigma_\gamma = \frac{1}{\frac{\cos^n \gamma}{\sigma_{||}} + \frac{\sin^n \gamma}{\sigma_\perp}} = \frac{\sigma_{||} \sigma_\perp}{\sigma_\perp \cos^n \gamma + \sigma_{||} \sin^n \gamma} \dots (1)$$

in der  $\sigma_{||}$  und  $\sigma_\perp$  die Festigkeiten parallel und senkrecht zur Faser bedeuten (Abb. 1) und in der der Exponent  $n$  mit der Beanspruchungsart veränderlich ist, gibt wohl den allgemeinen Charakter des versuchstechnisch gefundenen Verlaufs von  $\sigma_\gamma$  ziemlich gut wieder, doch zeigt sie andererseits auch unerwünscht grosse Abweichungen bei einzelnen Versuchskurven und vor allem ist sie für den Konstruktionstisch wegen des im Allgemeinen nicht ganzzahligen Exponenten  $n$  (nach Kollmann ist  $n = 1,5$  bis 2 für Zugbeanspruchung und  $n = 2,5$  bis 3 für Druckbeanspruchung) zu unhandlich. Es liegt deshalb offenbar das Bedürfnis vor, den Kollmannschen Ansatz, Gleichung 1, durch eine anpassungsfähigere Formel, die auch ohne Logarithmentafel ausgewertet werden kann, zu ersetzen.

2. Nach Abb. 1 scheint es naheliegend, für  $\sigma_\gamma$  einen Ansatz in der Form

$$\sigma_\gamma = \varphi_1 \sigma_{||} \cos^2 \gamma + \varphi_2 \sigma_\perp \sin^2 \gamma$$

einzuführen. Dabei bedeuten  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  von der Struktur des Holzes und der Beanspruchungsart abhängige Abminderungsfaktoren, die entsprechend dem Verlauf der Versuchskurven zu bestimmen sind. Dabei muss

$$\begin{aligned} \text{für } \gamma = 0 & \quad \varphi_1 = 1,0 \quad \text{und} \\ \text{für } \gamma = 90^\circ & \quad \varphi_2 = 1,0 \end{aligned}$$

sein. Wir schreiben die Faktoren  $\varphi$  in der Form

$$\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + c_1 \sin^2 \gamma}} \quad \varphi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + c_2 \cos^2 \gamma}}$$

an und erhalten damit  $\sigma_\gamma$  zu

$$\sigma_\gamma = \sigma_{||} \frac{\cos^2 \gamma}{\sqrt{1 + c_1 \sin^2 \gamma}} + \sigma_\perp \frac{\sin^2 \gamma}{\sqrt{1 + c_2 \cos^2 \gamma}} \dots (2)$$

Dadurch, dass wir über zwei Koeffizienten  $c_1$  und  $c_2$  verfügen können, lässt sich Gleichung 2 dem Verlauf der Versuchskurven an insgesamt vier Stellen anpassen.

Als Beispiel für diese Anpassungsfähigkeit seien die Versuche von O. Kraemer über die Abhängigkeit der Zugfestigkeit

<sup>1)</sup> R. Baumann: Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Forschungsarbeiten VDI, Heft 231, Berlin 1922.

<sup>2)</sup> F. Kollmann: Die Abhängigkeit der Festigkeit und der Dehnungszahl der Hölzer vom Faserverlauf. Bauingenieur 1934.

von der Faserrichtung bei Birkenfurnieren, die auch bei F. Kollmann<sup>2)</sup> wiedergegeben sind, beigezogen<sup>3)</sup>. Tabelle 1 zeigt den Vergleich von Gleichung 2, ausgewertet mit  $c_1 = 500$ ,  $c_2 = 1$ , mit den Versuchswerten und der Auswertung von F. Kollmann, Gleichung 1 mit  $n = 1,5$ .

Tabelle 1: Werte  $\sigma_\gamma$  in kg/cm<sup>2</sup>

$\gamma$	Versuchswerte	nach Gl. 1 (Kollmann)	nach Gl. 2
0°	1127	1127	1127
2,5	935	972	806
5	575	465	510
10	261	225	273
15	158,6	135,8	180
30	94,6	54,9	79,0
45	42,1	33,4	43,3
60	29,6	24,9	28,1
75	21,7	21,2	21,7
90	20,2	20,2	20,2

Zur bessern Veranschaulichung ist dieser Vergleich in Abb. 2 graphisch dargestellt, wobei zur Verdeutlichung die Ordinaten  $\sigma_\gamma$  in logarithmischem Masstab aufgetragen sind. In Abb. 3 sind die klassischen Versuchsergebnisse über die Festigkeiten der Gotthardtanne von R. Baumann aufgetragen und mit der Auswertung nach Gleichung 2 mit den Werten

$$\begin{aligned} c_1 = 7 & \quad c_2 = 1,5 \quad \text{für Druck,} \\ & \quad 50 & \quad 10 \quad \text{für Zug,} \\ & \quad 16 & \quad 3 \quad \text{für Biegung} \end{aligned}$$

verglichen. Dabei wurden für Querdruck die Mittelwerte aus radialem und tangenialem Querdruck angenommen.

Gleichung 2 lässt sich nun, und darin liegt ihr praktischer Wert, ohne weiteres auch auf die zulässigen Beanspruchungen  $\sigma_{\gamma \text{ zul}}$  anwenden, wenn durch eine Verordnung nur die Werte  $\sigma_{|| \text{ zul}}$  und  $\sigma_{\perp \text{ zul}}$  gegeben sind. In Abb. 4 ist der Verlauf des Verhältnisses  $\sigma_{\gamma \text{ zul}}/\sigma_{|| \text{ zul}}$  für Druck nach Gleichung 2 dargestellt, berechnet für die Werte

$$\sigma_{\perp \text{ zul}} = 0,20 \sigma_{|| \text{ zul}} \quad c_1 = 7,0 \quad c_2 = 1,5$$

3. Ein weiterer Vorteil der Gleichung 2 liegt darin, dass sie nicht nur für die Spannungen  $\sigma$  gilt, sondern dass sie auch die Abhängigkeit der Elastizitätszahlen vom Faserwinkel  $\gamma$  mit praktisch durchaus genügender Genauigkeit wiedergibt. In Abb. 5 sind die Baumanschen Versuchswerte für die Dehnungszahl  $\alpha = \frac{1}{E}$  bei Biegung (Gotthardtanne) und daraus umgerechnet der Verlauf des Elastizitätsmoduls  $E$  aufgetragen und mit dem Verlauf von Gleichung 2 mit den Werten

$$\begin{aligned} c_1 = 16 & \quad c_2 = 3 \quad \text{für die Dehnungszahl } \alpha \\ \text{und } c_1 = 50 & \quad c_2 = 10 \quad \text{für den Elastizitätsmodul } E \end{aligned}$$

verglichen.

<sup>3)</sup> O. Kraemer: Untersuchung über den Einfluss von Aufbau und Faserverlauf auf Zugfestigkeit, Biegung und Dehnung an Birkenfurnieren und Birkensterrholz. 122. Bericht der D. V. L., Berlin-Adlershof.

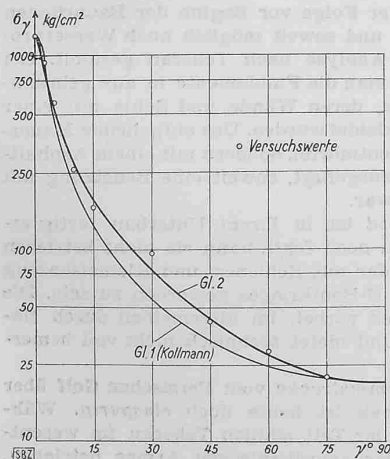


Abb. 2. Zugfestigkeit von Birkenfurnier

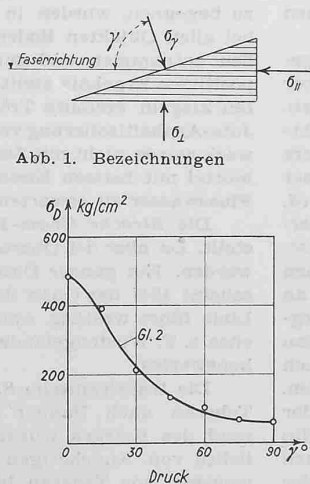


Abb. 3. Festigkeit der Gotthardtanne, Versuche Baumann

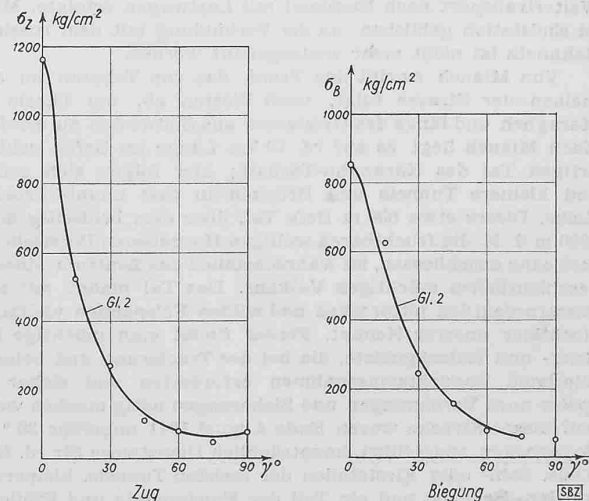


Abb. 4. Festigkeit der Gotthardtanne, Versuche Baumann

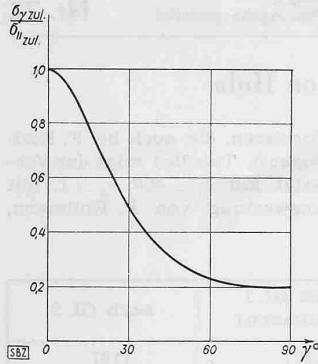
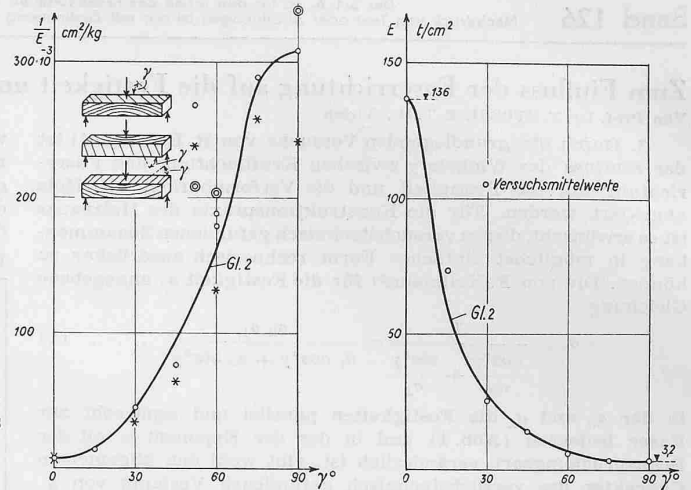


Abb. 4 (links). Verlauf des Verhältniswertes  $\sigma_{\gamma \text{ zul}} / \sigma_{\parallel \text{ zul}}$  in Abhängigkeit von  $\gamma$

Abb. 5 (rechts). Dehnungszahl  $\alpha = 1/E$  und Elastizitätsmodul  $E$  in Abhängigkeit von  $\gamma$

Die Punkte zeigen die von R. Baumann für Gotthard-Tannenholz gefundenen Versuchswerte



Die Abb. 2, 3 und 5 dürften genügen, um die Anpassungsfähigkeit und damit die Brauchbarkeit des neuen Ansatzes Gleichung 2 nachzuweisen.

## Vom Eisenbahnbau in Iran

[Ein uns nahestehender schweiz. Bauingenieur, der von Ende 1939 bis April 1945 am Ausbau des persischen Bahnnetzes in führender Stellung gearbeitet hatte, stellt uns die nachfolgende Plauderei über seine Beobachtungen und Erlebnisse zur Verfügung, in der auch verschiedene Ungenauigkeiten in dem auf S. 168\* lfd. Bds. (Nr. 15 vom 13. Okt. 1945) erschienenen Aufsatz «Les chemins de fer Iraniens» berichtigt werden. Red.]

Beim Einmarsch der Alliierten Ende August 1941 stand bereits ein Teil der *Strecke Teheran-Täbriz* in Betrieb; der Unterbau war bis ungefähr 15 km vor Mianeh grösstenteils fertiggestellt und das Gleis auch schon teilweise verlegt. Als dann an der Nordgrenze des Landes gekämpft wurde und einige Luftbombardierungen stattfanden, floh der grösste Teil des Personals der Regierung und der Unternehmungen nach Teheran oder in die Berge und liess die meisten persönlichen Effekten und die Arbeiter unbezahlt im Stich. Diese machten sich für die rückständigen Löhne aus den Vorräten der Unternehmungen und den Lebensmittelmagazinen teilweise bezahlt und verzogen sich darauf in ihre Dörfer. In den Zementdepots von z. T. einigen hundert Tonnen wurde der Zement aus den Säcken entleert und diese zum Hausgebrauch oder für einen spätern Verkauf mitgenommen. Die Requisitionen von Vorräten, Ersatzteilen und Maschinen durch die russische Armee vervollständigten die Verwirrung. Der ganze Baubetrieb war vollständig desorganisiert, und erst im Jahre 1942 wurden auf Betreiben der Alliierten die Bauarbeiten auf dem unvollendeten Teilstück von 15 km vor Mianeh mühsam wieder aufgenommen. Aber die Installationen in den Werkstätten, Bureaux, Wohnungen waren ausgeraubt oder ausgebrannt, die Türen und Fenster — im Lande ein kostbarer Artikel! — in die Dörfer verschleppt. Es musste vieles, wenn auch vereinfacht, neu erstellt oder beschafft werden.

Die Bahn folgt auf dieser Strecke meistens in Tunneln und auf Brücken der wilden Schlucht, die sich der Fluss Seyfid-Rud durch die Gebirgskette des Kaflangh-Kuh geschaffen hat. Nach Vollendung dieses Teilstückes von 15 km konnten die Züge mit Kriegsmaterial Anfang 1943 bis Mianeh fahren, von wo der Weitertransport nach Russland mit Lastwagen erfolgte. Mianeh ist Endstation geblieben; an der Verbindung mit dem russischen Bahnnetz ist nicht mehr weitergebaut worden.

Von Mianeh zweigt das Tracé, das von Teheran im allgemeinen der Strasse folgt, nach Westen ab, um Täbriz über Maragheh und längs des Urmiasees aus Südwesten zu erreichen. Nach Mianeh liegt es auf rd. 70 km Länge im tiefen schluchtartigen Tal des Karanghu-Tschais; hier folgen sich grössere und kleinere Tunneln und Brücken in fast ununterbrochener Reihe. Dieses etwa 600 m tiefe Tal, über dem beidseitig auf rd. 2000 m ü. M. die fruchtbaren welligen Hochebenen Persisch-Azerbeidjeans anschliessen, ist wahrscheinlich das Zentrum eines vorgeschichtlichen mächtigen Vulkans. Das Tal mahnt mit seinen ausserordentlich pittoresken und wilden Felspartien vielfach an Hochtäler unserer Heimat. Ferner findet man mächtige Bergsturz- und Rutschgebiete, die bei der Tracierung und beim Bau allerhand Vorsichtsmassnahmen erforderten und sicher auch später noch Verbauungen und Sicherungen nötig machen werden. Auf dieser Strecke waren Ende August 1941 ungefähr 30 % der Bauarbeiten ausgeführt, hauptsächlich Dienstwege für rd. 15 Mio Rials, Sohl- oder Firststollen der meisten Tunneln, kleinere und mittlere Brücken und ein Teil der Fundamente und Pfeiler der grossen Brücken. Dabei waren nicht selten Baugruben bis 14 m

Tiefe und bis 3000 m<sup>3</sup> Aushub mit primitiven Hilfsmitteln, oft unzulänglichem Holz für die Aussteifungen und meistens ungelernen Arbeitern auszuführen.

Auf dieser ausgesprochenen Gebirgstrecke wurden die Bauarbeiten später nicht mehr aufgenommen. Für ihre Vollendung wären unter normalen Verhältnissen noch etwa 1 1/2 Jahre nötig gewesen. Der Ausbruch und die Ausmauerung der Tunneln, die Vollendung der grossen Brücken, die Beschaffung der notwendigen Bausteine von über 100 000 m<sup>3</sup>, davon ungefähr 200 000 m<sup>3</sup> bearbeitete Sichtflächen, das alles mit wenigen europäischen Spezialisten, wie Maurern, Steinhauern, Mineuren und Zimmerleuten zu bewältigen, benötigt viel Zeit. Wegen der Unsicherheit über die Hochwasserführung dürfen die Brückenlehrgerüste, die mit dem vorhandenen Material nicht stützenlos erstellt werden können, nur in der wasserarmen Zeit montiert werden, wodurch das Bauprogramm weitgehend festgelegt wird. Aus dem allem geht hervor, dass die direkte Schienenverbindung mit Täbriz noch einige Zeit auf sich warten lassen wird.

Die *Strecke Teheran-Machad* folgt zunächst der transiranischen Linie Teheran-Firouzkuh-Bandar Chah bis Garmsar und verläuft dann bis Damghan am Rande der grossen Salzwüste, wobei sie aber zwischen Semnan und Damghan die nördlichen Randgebirge durchfährt und dort bis auf eine Höhe von 1800 m ü. M. hinaufsteigt. Auf dieser Strecke sind mächtige Einschnitte und entsprechende Dämme von bis zu 40 000 m<sup>3</sup> nicht selten. Dem europäischen Auge erscheint die Landschaft kahl, sie bietet aber an den Berghängen, verursacht durch Verwitterung und Zersetzung des Gesteins, kräftige satte Farbenkontraste zwischen schwarz, blau, dunkelrot, alle Nuancen von Ocker und Veronesergrün, die einen unvergesslichen Eindruck hinterlassen, wie überhaupt in der Wüste am Morgen und am Abend unvorstellbar schöne Farbensymphonien zu sehen sind.

Viel Schwierigkeiten verursachte auf der Strecke Garmsar-Semnan das durch Gipssalze aggressive Wasser der Flüsse und Bäche, die zwar meistens trocken sind und deren tückische Eigenschaften beim Bau oft nicht erkennbar waren. Dieses Wasser führte vielfach zur vollständigen Zerstörung des in den Fundamenten, Widerlagern und Pfeilern der Brücken verwendeten Zementes und verursachte teure Nacharbeiten. Um dieser Gefahr zu begegnen, wurden in der Folge vor Beginn der Bauarbeiten bei allen Objekten Boden- und soweit möglich auch Wasserproben entnommen und zur Analyse nach Teheran gesandt. Bei positivem Ergebnis stellte man die Fundamente in aus gebrannten Ziegeln erstellte Tröge, deren Wände und Sohle mit einer Jute-Asphaltisolierung verkleidet wurden. Das aufgehende Mauerwerk wurde nicht mit Zementmörtel, sondern mit einem Asphaltmörtel mit heissen Eisen ausgefugt, soweit eine Benetzung mit Flusswasser zu erwarten war.

Die *Strecke Ghom-Yazd* ist in ihrem Unterbau fertig gestellt. Da aber der Oberbau noch fehlt, kann sie nicht betrieben werden. Ein ganzer Dampfer mit Schienen und Kleisenzeug scheint 1941 das Opfer des U-Bootkrieges geworden zu sein. Die Linie führt westlich Anarek vorbei, im allgemeinen durch flaches z. T. Wüstengelände und bietet technisch nicht viel bemerkenswertes.

Die transiranische *Stammstrecke* vom Persischen Golf über Teheran nach Bandar Chah ist heute noch *einseitig*. Während des Krieges wurde der Teil südlich Teheran im wesentlichen von Angehörigen der amerikanischen Armee betrieben, wogegen von Teheran bis zum Kaspischen Meer russische Soldaten die meisten Züge führten und die Strecke scharf bewach-