

PRÜFUNG UND BEURTEILUNG VON BAUHOLZ

Von Professor Dr.-Ing. E. G a b e r, Karlsruhe

Sonderdruck aus „Zentralblatt der Bauverwaltung
vereinigt mit Zeitschrift für Bauwesen“

55. Jahrgang, 1935, Heft 5

Herausgegeben im Preußischen Finanzministerium
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 8

PRÜFUNG UND BEURTEILUNG VON BAUHOLZ

Von Professor Dr.-Ing. E. Gaber, Karlsruhe.

Als Bauhölzer für Holztragwerke kommen in Deutschland vor allem die Weich- oder Nadelhölzer Fichte und Tanne in Betracht. Ihre Beurteilung ist heute noch eine recht oberflächliche, und die Prüfung bedarf noch einer starken Fortentwicklung. Bauingenieur und Forstmann müssen stärker als bisher zusammenarbeiten. Der Bauingenieur benötigt für den Entwurf von Holztragwerken die Kenntnis der mechanischen Festigkeit des Bauholzes bei ruhender und bewegter, bei lang andauernder Belastung und bei Lastwechsel. Aus wirtschaftlichen Gründen fordert er geringes Raumgewicht und leichte Bearbeitbarkeit. Schließlich erwartet er auch, daß das Holz seine Festigkeitseigenschaften bewahrt, also widerstandsfähig bleibt gegen Witterungseinflüsse, tierische sowie pflanzliche Schäden und Entflammbarkeit. Diese Anforderungen geben die besten Richtlinien für die Prüfung und Beurteilung des Holzes.

Andererseits ist auch die genaue Kenntnis der *Mängel und Fehler des Bauholzes* erforderlich. Fehlerfreies Bauholz gibt es nicht. Von den zahlreichen Fehlern läßt sich nur ein Teil beseitigen.

Die *Festigkeit* des Bauholzes hängt ab vom Raumgewicht, Feuchtigkeitsgehalt, prozentualen Anteil des Spätholzes, Gesundheitszustand und dann von einer Reihe unvermeidlicher Mängel und Fehler. Diese umfassen: Äste, schrägen Faserverlauf, Waldkante, eingewachsene Rinde, Harz-Galle, -Saum und -Streifen, Flecken oder Verfärbung, Fäulnis, Löcher, Faserbruch, Herzholz oder Mark, Längs- oder Schwundrisse, Risse durch Blitz oder Baumschlag, Drehwuchs, Verwerfung. Dazu kommt noch mangelhafte Verarbeitung. Sie setzen die Festigkeit stark herab.

Bei *oberflächlicher Prüfung* begnügt sich im allgemeinen der Zimmermann damit, das angelieferte Holz daraufhin zu untersuchen, ob es rote Flecken oder verfärbten Kern, womöglich gar Fäulnisstellen hat und gerade gewachsen ist. Aus dem hellen Klang beim Anschlagen mit dem Hammer oder der stumpfen Axt schließt er auf eine gute Tragkraft. Vielleicht prüft er noch, ob das Holz langfaserig ist, schaut Größe, Lage und Zustand der Äste und den Abstand der Jahresringe nach, um dann aus einem dicht gewachsenen Holz irrümlicherweise auf große Festigkeit zu schließen, während diese in Wahrheit nur vom Raumgewicht, also vom prozentualen Anteil des Spätholzes abhängt.

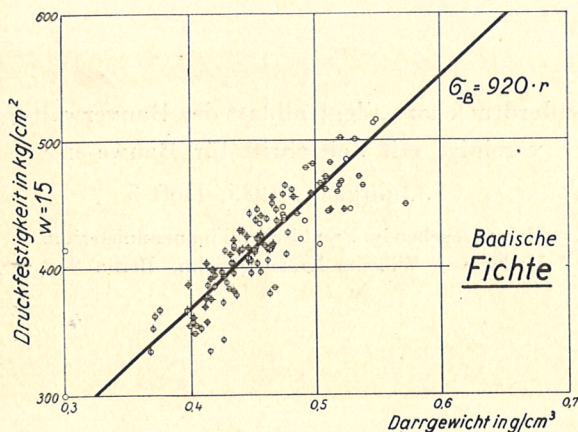


Abb. 1. Druckfestigkeit und Darrgewicht.

Eine *gründlichere Prüfung* kann man bei bedeutungsvolleren Holzbauten erwarten. Auf dem Werkplatz werden dann meist noch neben der Prüfung des Holzes auf Gesundheit, geraden Wuchs, lange Faser und Ästigkeit das Raumgewicht und der Feuchtigkeitsgrad ermittelt. Auf Grund dieser Feststellungen kann man dann genügend genau auf die Druck-, Zug- und Biegefestigkeit schließen (Abb. 1). Es ergeben sich entweder für $\sigma_B = 900 \cdot \gamma$ nach Graf, oder $\sigma_B = 920 \cdot \gamma$ nach Gaber, Biegefestigkeit = $1,8 \cdot \sigma_B$ und Zugfestigkeit = $2,2 \cdot \sigma_B$. Die Feststellung des Feuchtigkeitsgrades ist für die Beurteilung der Tragkraft wichtig und auch nötig, um mit Umrechnungsformeln, wie sie z. B. von Graf oder vom Schweizerischen Architekten- und Ingenieur-Verein oder von der mir unterstehenden Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen an der Technischen Hochschule Karlsruhe gegeben wurden, die Feuchtigkeit bei der Normalfeuchtigkeit von 15 Gewichtsprozent berechnen zu können. Nur in Ausnahmefällen wird bei Ingenieurbauwerken aus Holz heute die Hilfe von Versuchsanstalten in Anspruch genommen. Man scheut nicht nur die Kosten, sondern auch den Zeitaufwand für die Prüfung.

Abgekürzte Festigkeitsprüfungen.

Es liegt ohne Zweifel ein dringendes Bedürfnis nach abgekürzten Verfahren zur Ermittlung der Festigkeitseigenschaften der zu verwendenden Bauhölzer vor, bei denen sich die Herstellung besonderer Versuchskörper erübrigt.

Für die Prüfung der *Druckfestigkeit aus dem Bohrowiderstand* hat Sininsky, Kiew, ein Bohrgerät gebaut, das die spezifische Bohrarbeit laufend aufzeichnet. Nach seinen Ermittlungen steht diese spezifische Bohrarbeit im festen Verhältnis zur Druckfestigkeit. Die Ergebnisse streuen angeblich nur um 30 vH, das Diagramm macht vor allem auch im Innern gelegene Fehler und Mängel des Holzes offenkundig. Das Prüfgerät ist nicht einfach.

Zur Ermittlung der *Druckfestigkeit aus der Einschlagtiefe* wird in meiner Versuchsanstalt der bekannte Schlaghärteprüfer von Baumann-Steinrück verwendet, dessen stählerner Schlagstempel nach längeren Versuchen einen solchen rechteckigen Querschnitt von $3 \cdot 12 = 36 \text{ mm}^2$ Fläche erhielt, daß der Einschlag mehrere Jahresringe erfaßte. Es wurde Fichten- und Tannenholz in verschiedenen feuchtem Zustande untersucht. Die Einschlagtiefe war leicht mit einer auf einem Reitbügel aufgebauten Meßuhr durch Abtasten festzustellen (Abb. 2). Mit der Genauigkeit, wie man sie beim Holz erwarten darf, steht tatsächlich bei der untersuchten Tanne und Fichte die Druckfestigkeit im umgekehrten Verhältnis zur Einschlagtiefe. $\sigma_B = \frac{500}{t}$. Einschlagtiefe t in mm gibt σ in kg/cm^2 (vgl. Abb. 3).

Bei der üblichen *Ermittlung der Feuchtigkeit* als Prozent des Holzdarrgewichtes müssen die Holzproben in einem durch Gas oder elektrischen Strom beheizten Ofen bis zur Gewichtsgleichheit mehrere Stunden lang getrocknet werden. Anstelle besonderer Holzproben können auch Bohrspäne verwendet werden. Das Verfahren ist zeitraubend.

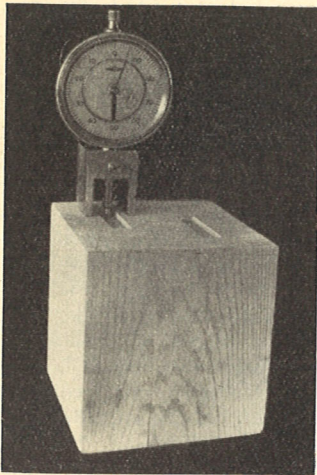


Abb. 2. Messung der Einschlagtiefe mit Meßuhr.

Es entzieht sich meiner Kenntnis, ob das in den österreichischen technischen Vorschriften für Bauleistungen und Zimmermannsarbeiten, Oenorm B 2015, angeführte schnelle Verfahren der Feuchtigkeitsbestimmung durch elektrische Widerstandsmessung eine erhebliche Vereinfachung bringt. Der Feuchtigkeitsgehalt wird auf Grund sicht- und hörbarer Zeichen auf einer Meßtafel abgelesen. Das Verfahren ist brauchbar bis zu 28 vH Feuchtigkeit und hat etwa die gleiche Genauigkeit wie das vorige.

Einfach und zeitsparend ist das Diakun-Verfahren von Grau u. Heidel, Chemnitz. Es baut auf dem physikalischen Gesetz auf, daß der Luftfeuchtigkeitsgehalt des Zellenhohlraumes in einem festen Verhältnis steht zum Wassergehalt der Zellenwand. Das Holz erhält ein Bohrloch von 6 mm Durchmesser. Eine kleine Luftpumpe saugt die Luft aus den umgebenden Zellenhohlräumen in dieses Bohrloch, das gegen die Außenluft abgeschlossen bleibt. Ein zubereitetes Papier wird mit einem Stift in das Bohrloch eingeführt und nimmt je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Bohrloch eine karminrote bis blaue Färbung an. Der Vergleich des verfärbten Papiers mit einer Farbmesskala gibt den Feuchtigkeitsgehalt in Gewichtsprozent an. Jedes Bohrverfahren hat den Vorteil, daß es sowohl den Feuchtigkeitsgehalt einiger Zonen als auch das Mittel über einen ganzen Querschnitt gibt. Schwierig ist aber der Vergleich der Farbtonung auch bei farbempfindlichem Auge.

Auch bei dem lange gelagerten baureifen luftgetrockneten Bauholz hat im allgemeinen das Innere eine andere Feuchtigkeit als das Äußere. Die Lufttrocknung beeinflusst erst sehr spät das Holzinnere. Diese unterschiedliche Feuchtigkeit beeinflusst besonders stark Biegebalken und macht es überhaupt schwer, von einer mittleren Feuchtigkeit zu sprechen. Im trocken über ein Jahr gelagerten Rundholz fanden wir noch Wassergehalte über 40 vH.

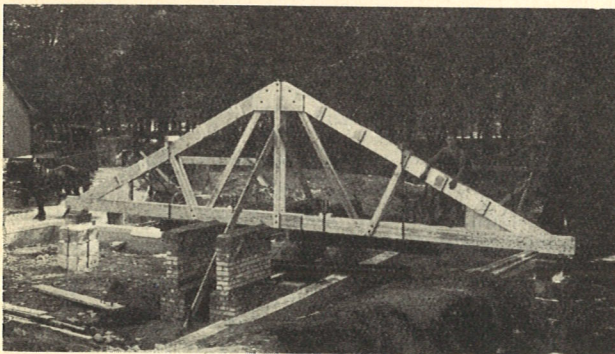


Abb. 4. Prüfung eines rd. 10 m weit gestützten genagelten Dachbinders auf Tragfähigkeit.

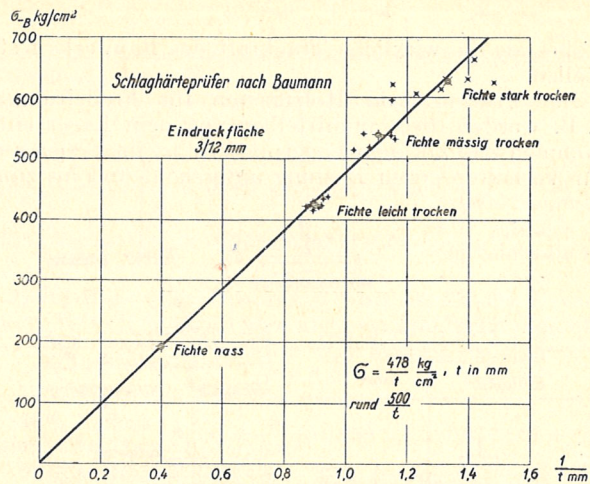


Abb. 3. Abhängigkeit der Druckfestigkeit der Fichte von der Einschlagtiefe.

Tragkraftversuche auf dem Werkplatz.

Auf der Baustelle wird es im allgemeinen niemand einfallen, die Widerstandskraft des Holzes gegen Witterungseinflüsse, Pilze, tierische Schädlinge oder Entflammbarkeit festzustellen. Höchstens werden Tragkraftprüfungen auf der Baustelle durchgeführt, die sich dann auf Biege- oder auf Belastungsversuche z. B. an einem Binder beschränken werden. Holzbiegeversuche sind verhältnismäßig einfach durchzuführen und gleichen den genormten Biegeversuchen im Betonbau. Zweck hat der Biegeversuch nur an Körpern, die ungefähr die gleichen Abmessungen, die gleiche Beschaffenheit und die gleiche Feuchtigkeit haben wie im Bauwerk. Es ist ohne große Aufwendungen möglich, eine einfache Biegevorrichtung zu bauen. Sie besteht z. B. aus einem einarmigen Hebel, an dessen Ende die Belastung von 1 t aufgebracht werden kann, während die Zugkraft von 6 t in $\frac{1}{6}$ der Länge mit einem Gestänge auf den Biegeträger übertragen wird. Unsere Widerlager bestehen aus zwei Backsteinpfeilerpaaren und gestatten Stützweiten von 3 m ab aufwärts. Die einfache Maschine dient auch zur Probelastung ganzer Holztragwerke, wie z. B. eines genagelten Holzbinders von über 10 m Stützweite nach Abb. 4.

Es ist wichtig, die in Wirklichkeit vorhandenen Umstände beim Versuch weitgehend nachzuahmen, da man nur hierdurch einen richtigen Maßstab für die tatsächlich vorhandene Tragkraft gewinnen kann. Man will nicht so sehr die spezifische Festigkeit des Bau-

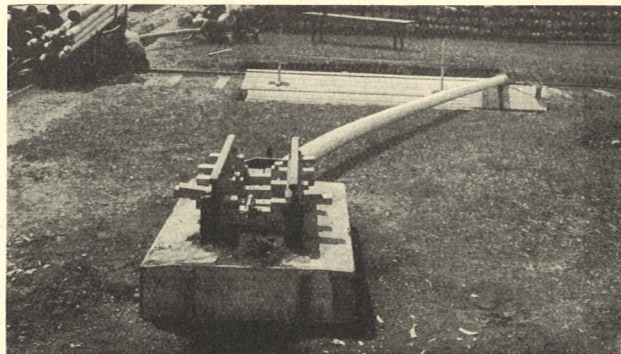


Abb. 5. Prüfung von Holzmasten auf Biegung.

stoffes als die wirkliche Tragkraft des Bauwerks feststellen.

Zur Prüfung von Holzmasten für Freileitungen z. B. wurden diese unmittelbar von dem Lager entnommen und auf dem Lagerplatz selbst im Freien auf ihr Verhalten gegen Biegung untersucht und bis zum

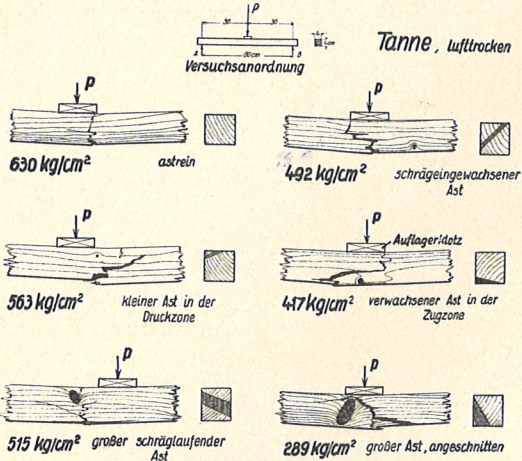


Abb. 6. Biegefestigkeit ästiger Balken.

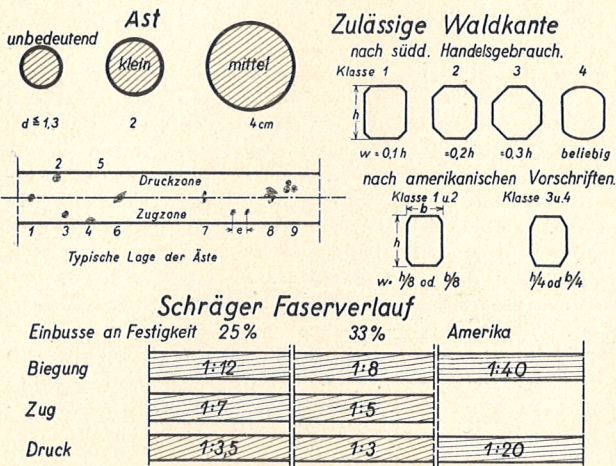


Abb. 7. Äste, Schrägfaser, Waldkante.

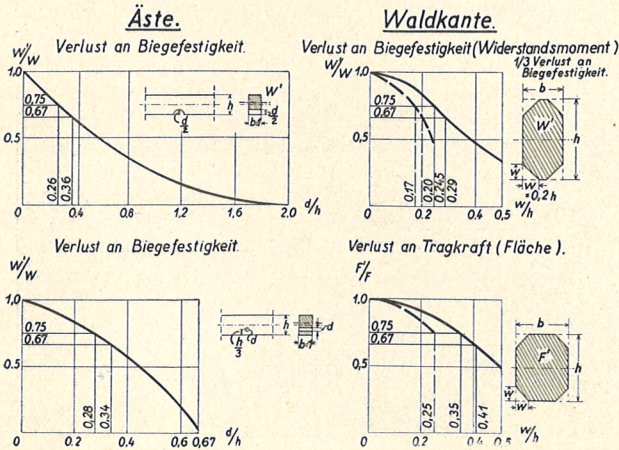


Abb. 8. Verlust an Biegefestigkeit und Tragkraft bei ästigen und waldkantigen Hölzern.

Bruch durch den Spitzenzug belastet (Abb. 5). Um die Versuche zu erleichtern, wurden die Maste waagrecht gelagert. An ihrem Fußende waren sie wie in der Wirklichkeit durch eine besondere Vorrichtung in sandige Erde eingespannt. Die Gesamtlänge der Masten schwankte zwischen 8 und 12 m, die Zopfstärke zwischen 8 und 18 cm. Es wurden immer drei gleich lange und gleich starke Maste nacheinander geprüft, so daß sich ein Mittel aus drei Einzelwerten bilden und der Unterschied der Holzfeuchtigkeit ausgleichen ließ. Als Gesamtmittel aus allen Versuchen ergab sich eine Biegefestigkeit für kyanisierte Fichtenmaste des südlichen Schwarzwaldes von rd. 500 kg/cm².

Diese und andere Versuche zeigen, daß sich an kleinen Probekörpern in der Regel wesentlich höhere Festigkeiten ergeben als an Körpern mit größeren Abmessungen. Die Tatsache, daß bei den Rundhölzern die Holzfasern in ihrem natürlichen Zustande blieben, während sie bei den Biegekörpern durch Bearbeitung mit Säge und Hobel empfindlich verletzt waren, hätte bei den Masten eine erhebliche Steigerung der Biegefestigkeit gegenüber den kleinen Normkörpern erwarten lassen; aber auch dieser, nur beim Holz übrigen vorhandene Vorteil der großen Körper brachte keinen Ausgleich und ließ die Tragfestigkeit immer noch kleiner sein als die an kleinen Probekörpern ermittelte reine Holzbiegefestigkeit von rund 560 kg/cm².

Wissenschaftliche Prüfung.

Sie erstreckt sich auf den anatomischen Aufbau des Holzes, das Raum- und Darrgewicht, den prozentualen Spätholzanteil, die Lage der Fasern, die Ästigkeit, den Feuchtigkeitsgehalt, mindestens auf die Druck-, Biege- und Schubfestigkeit, gelegentlich noch auf die Zug- und Schlagbiegefestigkeit, auf die Abnützung, das Schwinden, Quellen und die Härte. Die deutschen Normen sehen kleine Versuchskörper aus möglichst astfreiem, geradfaserigem Holz, dem Splint und dem Kern entnommen, vor. Bei Stämmen sollen die Proben aus drei Höhenlagen entnommen werden, eine Angabe, die in keiner Weise ausreicht.

Die genormten Versuche an astfreiem, ausgesuchten kleinen Probekörpern mit geradem Faserverlauf haben nur vergleichenden Wert für die wissenschaftliche Forschung und den Flugzeugbau. Sie geben geringen Anhalt für die zulässigen Beanspruchungen des Bauholzes und die wirklich vorhandene Sicherheit in einem Holzbauwerk. Es ist ohne Zweifel richtiger, die Bauhölzer in dem Zustande und in den Abmessungen zu prüfen, wie sie eben verwendet werden müssen, mit all ihren unvermeidlichen Fehlern und Mängeln. Für diese Prüfung wird die Feststellung der Druck- und Biegefestigkeit, des Feuchtigkeitsgehaltes und des Raumgewichtes genügen. Die Frage des Einflusses wiederholter oder wechselnder Belastung muß durch ausgedehnte wissenschaftliche Untersuchungen grundsätzlich beantwortet werden und scheidet für den praktischen Einzelfall aus.

Einbuße der Tragkraft durch die Holzfehler.

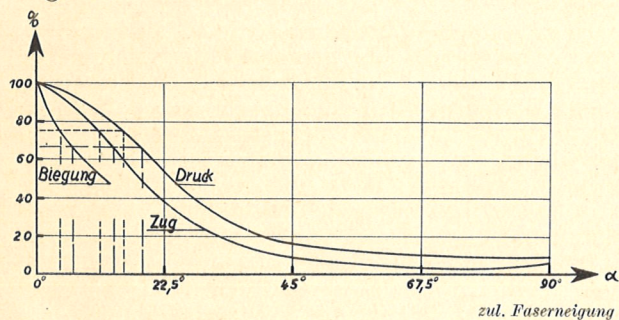
Es ist eine altbekannte Tatsache, daß die Tragkraft unserer Holztragwerke nicht durch die reine Holzfestigkeit, sondern einmal durch die Festigkeit des dabei verwendeten Feuchten, mit unvermeidlichen Fehlern behafteten Holzes und dann durch die Festigkeit der Verbindungsmittel bedingt wird. Die Festigkeit unseres Fichten- und Tannenholzes wird immer ausreichen, wenn bei der Auswahl der Bauhölzer die nötige Sorgfalt herrscht. Gleichzeitig mit Vorschriften für die Prüfung von Bauhölzern müßte daher eine

Regelung über die Auswahl und Beurteilung dieser Bauhölzer getroffen werden. Zuvor muß der Einfluß der verschiedenen Fehler wie Ästigkeit, schräger Faserverlauf und Waldkantigkeit auf die Tragkraft eines Zug- oder Druckstabes und eines Biegeträgers planmäßig untersucht werden. Man sollte wissen, um wie viele Procente die Einzelfestigkeit durch die verschiedenen Fehler sinkt. Da manche Fehler gleichzeitig auftreten, kann man den durch sie bedingten Festigkeitsabfall durch Zusammenzählen berechnen.

1. Die *Ästigkeit* setzt der Festigkeit der Bauhölzer stark zu. Unter anderem hängt die Abminderung ab von der Zahl, der Art, der Größe, der Richtung, der Lage und der Anordnung der Äste, ferner von der Art, wie das Holz beansprucht wird. Welchen Einfluß die Lage und Größe der Äste z. B. auf die Tragkraft der Biegebalken haben kann, möge aus einem kleinen Versuch hervorgehen. Aus einer ästigen Fichtenbohle wurden Biegebalken von 4/4 cm Querschnitt so herausgeschnitten, daß neben einem astfreien auch solche Balken entstanden, von denen jeder einen einzigen Ast, aber immer in verschiedener Lage zur Nullachse und immer mit verschiedenem Durchmesser hatte. Es ergaben sich folgende Biegefestigkeiten an diesen Balken aus der gleichen Bohle mit dem gleichen Feuchtigkeitsgehalt:

Astrein	630 kg/cm ²
Kleiner Ast in der Druckzone	563 „
Großer Ast in der Druckzone	515 „
Schräg eingewachsener Ast in der Druckzone ..	492 „
Verwachsener Ast in der Zugzone	412 „
Großer eingeschnittener Ast	289 „

2. Der *schräge Faserverlauf* hat einen ähnlichen Einfluß wie die Ästigkeit. Das Maß der zulässigen Fasernäigung zur Holzkante wird durch den Spannungsabfall bedingt, den man zulassen kann. Nach unseren Versuchen (vgl. Abb. 9), die sich bei Fichtenholz auf Zug und Druck, und nach amerikanischen Versuchen, die sich auf Biegung bei Kiefer erstreckten, ergibt sich folgendes Bild:



Die Festigkeit sinkt	Zugstab	Druckstab	Biegeträger
um 25% bei einem schrägen Faserverlauf von	1 : 7	1 : 3,5	1 : 12
um 33% bei einem schrägen Faserverlauf von	1 : 5	1 : 3	1 : 8

Abb. 9. Holzfestigkeit (Weichholz) abhängig von der Fasernäigung.

Der schräge Faserverlauf ist also besonders gefährlich bei Biegeträgern und weniger bei Zug- und Druckstäben.

3. Die *Waldkante* ist ein weiterer die Tragkraft beeinflussender Holzfehler. Bei dem hohen Biege-

balken ist die Schwächung des Widerstandsmomentes W maßgebend, z. B.

W	$h = 1,5 b$	$h = b$	
10% Verlust	$\frac{h}{6} = 0,163 \times h$	$0,198 \times h = \frac{h}{5}$	zulässige Waldkante W
25% Verlust	$\frac{h}{3,7} = 0,269 \times h$	$0,346 \times h = \frac{h}{2,9}$	zulässige Waldkante W

Beim Zug- oder Druckstab wird an Fläche F verloren, beim Knickstab aber auch an Trägheitsmoment:

F	$h = 1,5 b$	$h = b$
10% Verlust durch Waldkante	$w = \frac{h}{3,9} = 0,259 \times h$	$0,317 \times h = \frac{h}{3,2}$
25% Verlust durch Waldkante	$w = \frac{h}{2,4} = 0,408 \times h$	$0,50 \times h = \frac{h}{2}$

In ähnlicher Weise müssen und können die anderen Fehlereinflüsse zahlenmäßig ein für allemal festgestellt werden. Arbeiten sind in meiner Versuchsanstalt im Gange.

Bisherige Klasseneinteilung beim Bauholz.

In Amerika unterscheidet man nach Hayward: 1. Bretter; 2. Schwache Kanthölzer, Dielen und Latten mit Dicken von 5 bis 10 cm und Breiten von 10 cm und mehr; 3. Größere Balken und Schwellen mit Breiten von 12,5 cm und mehr sowie Höhen von 20 cm und mehr; 4. Pfahlhölzer, Rundhölzer und Schwellenhölzer. Man teilt dort nach der äußerlich sichtbaren Beschaffenheit die Bretter ein in zwei Hauptgruppen: 1. Hochwertige Bretter (vier Klassen) und 2. Gewöhnliche Bretter (fünf Klassen). In Deutschland zerfallen die Bretter und Dielen in die zwei Hauptgruppen: unsortierte und sortierte Ware. Die erste Hauptgruppe, unsortierte Ware, zerfällt in sieben Klassen.

Schwache Kanthölzer, größere Balken und Schwellen zerfallen in Amerika jeweils in zwei Hauptgruppen: hochwertiges und gewöhnliches Holz mit je zwei Klassen. Für diese Klasseneinteilung ist zunächst maßgebend die Weite der Jahresringe und die Ästigkeit. Bei allen vier Klassen ist die Summe der Astdurchmesser in einer Randzone sowie in der Mittelzone des Kantholzes begrenzt.

Man legt in Amerika auch scharf die Oberflächenrisse fest und unterscheidet kleine, mittlere und große Risse, je nachdem sie bis 10 cm, bis 25 cm oder mehr als 25 cm lang sind. Dazu kommt der Begriff Endriß, durchgehender Riß, Kernholzriß und Faserbruch. Bei Löchern wird unterschieden zwischen einem Loch mit einem Durchmesser unter 1,5, einem mittleren Loch mit einem Durchmesser unter 6 und einem großen Loch mit einem Durchmesser über 6 mm. Die südwestdeutschen Handelsgebräuche berücksichtigen die Ästigkeit nur bei der Einteilung der Bretter. Im übrigen wird großes Gewicht auf den Umfang der Waldkantigkeit gelegt. Das eigentliche Bauholz, Biegebalken, zerfällt in vier Klassen je nach dem Grad der Waldkantigkeit.

Vom Standpunkt des Verbrauchers ist für die Beurteilung nicht das äußere Aussehen maßgebend, sondern die Ästigkeit, der Faserverlauf, die Waldkantigkeit und der Gesundheitszustand. Ausschlaggebend ist der durch sie bedingte Verlust an Tragkraft.

Man wird wie beim Stahl- oder Massivbau künftig vielleicht in den Handel bringen müssen hochwertiges

Bauholz und gewöhnliches Bauholz. Dazu tritt als dritte Klasse die unsortierte Ware. Das hochwertige Bauholz würde Verwendung finden bei großen weitgespannten Tragwerken, die vollwandig oder gegliedert sein können, oder bei Sonderausführungen wie Funktürmen u. dgl. Alle Fehler zusammen dürfen einen Verlust an Festigkeit von vielleicht $\frac{1}{3}$ bringen. Das gewöhnliche Bauholz müßte für den üblichen Ingenieurbau und den besseren Zimmermannsbau genügen. Der Festigkeitsverlust von 50 vH ist noch erträglich.

Die Lagerhaltung würde durch eine straffe Normung und Beschränkung der Abmessungen für Bretter und Balken tiefgehend vereinfacht. Der Weg, der vom Waldbesitzer zur Besserung dieser Verhältnisse beschritten werden müßte, führt letzten Endes zu einer richtigen Inventur unserer Nadelholzbestände und wird ge-

wiesen durch den lehrreichen Aufsatz des erfahrenen Forstmeisters Hohenadel-Oberstdorf über „Holzmessung und Holzforschung“^{*)}. So wird es möglich werden, die deutschen Waldgebiete kennen zu lernen, in denen Holz besonderer Eigenschaft heranwächst. Dieses vorerst noch in der Ferne liegende Ziel einer gründlichen Aufnahme des Holzbestandes unserer Wälder kann nur durch enge Zusammenarbeit zwischen Forstmann und Bauingenieur erreicht werden. Maßgebend für die weitere Entwicklung unserer Prüfarten und die Aufstellung von Richtlinien zur Holzbeurteilung müssen aber immer die Bedürfnisse des Entwerfenden, des Herstellers und Benutzers von Holzbauten sein. Es ist viel Versäumtes auf diesem Gebiete unserer nationalen Holzwirtschaft nachzuholen.

*) Forstwissenschaftliches Zentralblatt vom 1. Juni 1934.