

Ueber Grundlagen des Ingenieurholzbaues

Autor(en): **Stüssi, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **65 (1947)**

Heft 24

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-55894>

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.

Ueber Grundlagen des Ingenieurholzbaues

Von Prof. Dr. F. STÜSSI, E. T. H., Zürich¹⁾

DK 624.011.1

1. Einleitung

Der Unterschied zwischen Zimmermannsholzbau und Ingenieurholzbau wird üblicherweise durch die Art der Verbindungsmittel charakterisiert. Wir sprechen, im normalen Sprachgebrauch, dann von Zimmermannsholzbau, wenn die Verbindungen als reine Holzverbindungen, wie Versatzung, Verzahnung, Ueberblattung usw., ausgeführt sind, und wir sprechen von Ingenieurholzbau, oder auch von neuzeitlicher Holzbauweise, wenn für die Verbindungen besondere Verbindungsmittel, meist aus Stahl, verwendet werden. Die Unterscheidung beruht also auf einem äusserlichen Merkmal und bezieht sich nicht auf den wesentlichen Unterschied in der Projektierungsarbeit, auf den wir richtigerweise abstellen sollten. Es scheint mir notwendig, den Unterschied zwischen Zimmermannsholzbau und Ingenieurholzbau von dieser Seite her zu definieren, und wir kommen damit etwa zu folgenden Umschreibungen:

Der *Zimmermannsholzbau* beruht auf handwerklicher Tradition, sowohl in bezug auf Bauformen wie auf Durchbildung der Einzelheiten. Eine Bemessung des Tragwerkes durch eine statische Berechnung wurde bei den früheren Zimmermannsbauten nicht durchgeführt und gehört somit nicht zur handwerklichen Tradition, sondern die Bauformen und die Abmessungen der Einzelteile wurden auf Grund der Erfahrung gewählt. Wir wissen alle, dass einzelne hervorragende Baumeister in dieser handwerklichen Kunst des Holzbaues eine vollendete Meisterschaft besaßen, die bei Ulrich Grubenmann zu unübertrefflichen Höchstleistungen führte und die sicher auch heute noch nicht ausgestorben ist.

Beim *Ingenieurholzbau* dagegen ist die rechnerische Bemessung aller Einzelteile und Verbindungen wesentlicher Bestandteil der Entwurfsarbeit. Wir stellen an ein Ingenieurbauwerk ganz allgemein die Forderung, dass es mit einem bestimmten, beabsichtigten Sicherheitsgrad bemessen sein soll. Diese einwandfreie rechnerische Bemessung aller Teile scheint mir damit, im Gegensatz zur empirischen Formgebung des Zimmermannsholzbaues, das entscheidende innere Merkmal des Ingenieurholzbaues zu sein, und nicht die Art der Verbindungsmittel. Die handwerklichen Holzverbindungen haben, neben den neueren Verbindungsmitteln, durchaus auch im neuzeitlichen Ingenieurholzbau ihre volle Daseinsberechtigung.

Wenn nun aber die baustatische Bemessung ein wesentliches Merkmal eines Ingenieurbauwerkes ist, so stellt sich sofort die Frage nach den *Grundlagen* dieser Bemessung. Um eine einwandfreie Bemessung durchführen zu können, benötigen wir insbesondere die Kenntnis der *mechanischen Eigenschaften des Baustoffes*, in erster Linie von Elastizität und

Festigkeit, der Tragfähigkeit und Formänderung der Verbindungsmittel und der Arbeitsweise zusammengesetzter Bauteile.

Ich stelle mir im Folgenden die Aufgabe, an drei Beispielen, je einem aus jeder der drei Problemgruppen, zu untersuchen, ob diese Grundlagen im Ingenieurholzbau heute vorhanden sind, d. h. ob wir heute ehrlicherweise überhaupt schon von einem Ingenieurholzbau im Sinne der angegebenen Umschreibung sprechen dürfen oder nicht.

2. Festigkeit und Elastizität von Holz

Holz ist ein orthotroper Baustoff mit den ausgezeichneten Hauptrichtungen längs, radial und tangential. Ich habe kürzlich eine *Festigkeits-theorie*²⁾ für Holz angegeben, die darauf beruht, dass allgemeine Beanspruchungszustände auf die «natürlichen Festigkeitswerte» entsprechend den Hauptrichtungen des Holzes zurückgeführt werden. Diese Theorie, die für alle ebenen Spannungszustände in Ebenen parallel zur Stammaxe, nicht aber für Ebenen normal zur Stammaxe gilt, sei nachstehend für den einfachsten Fall des einaxigen Zuges oder Druckes σ_u (Bild 1) rekapituliert.

Infolge einer Normalspannung σ_u allein betragen die auf die Hauptrichtungen x, y des Holzes (x-Axe = Faserrichtung) bezogenen Beanspruchungen

$$(1) \quad \begin{cases} \sigma_x = \sigma_u \cos^2 \varphi \\ \tau_{xy} = \sigma_u \sin \varphi \cos \varphi \\ \sigma_y = \sigma_u \sin^2 \varphi \end{cases}$$

und für den Bruch ist, je nach der Grösse des Winkels φ zwischen Kraft- und Faserrichtung, einer der drei folgenden Werte massgebend:

$$(2) \quad \begin{cases} \sigma_{uB} = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \sigma_{xB} \\ \sigma_{uB} = \frac{1}{\sin \varphi \cos \varphi} \tau_{xyB} \\ \sigma_{uB} = \frac{1}{\sin^2 \varphi} \sigma_{yB} \end{cases}$$

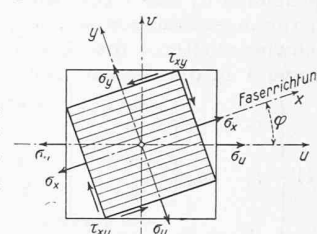


Bild 1. Bezeichnungen

Zur Ueberprüfung dieser Theorie habe ich in meiner Abteilung des Institutes für Baustatik an der E. T. H. Versuche mit verschiedenen Holzarten durchführen lassen. Diese Versuche (wie auch die später zu erwähnenden über Bolzenverbindungen) wurden ermöglicht durch einen Forschungskredit aus Arbeitsbeschaffungsmitteln des Bundes, und ich möchte auch an dieser Stelle Herrn Bundesrat Dr. K. Kobelt, Chef des Eidg. Militärdepartementes, meinen aufrichtigen und herzlichen Dank für die Bewilligung dieses Kredites ausdrücken. Ebenso danke ich hier aber auch meinen beiden Mitarbeitern, Dipl. Ing. Max Walt, dem technischen Leiter meines Versuchsraumes, und Mechaniker E. Peter, für ihre sorgfältige und zuverlässige Arbeit und für die Initiative, die sie bei der Entwicklung und Ausführung von stets verbesserten Versuchseinrichtungen zeigten.

Bild 2 zeigt die Versuchseinrichtung. Unter den streng lotrecht geführten Druckzylinder der Hebelmaschine wurde, um die Reibung zwischen dem oberen Ende des prismatischen Versuchskörpers und der Druckübertragungsfläche möglichst auszuschalten, ein horizontal verschiebliches Zwischenstück mit dünnen Stahlwalzen eingelegt; dadurch konnten sich die Winkeländerungen (Schubverformungen) annähernd ungehindert einstellen. Das Diagramm der Versuchsergebnisse an einer Bündertanne, Bild 3, zeigt die ausgezeichnete Uebereinstimmung zwischen Theorie (Gleichungen 2) und Versuch³⁾. Aber auch die Bruchbilder, Bild 4 für Rottanne, Riftschnitt, und Bild 5 für Douglasie, Tangentialschnitt, beweisen ein-

²⁾ F. Stüssi: Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 128, S. 251*, 16. 11. 46.

In «Teknisk Tidskrift» (Stockholm) vom 24. Mai 1947 veröffentlicht S. O. Asplund eine zusammenfassende Darstellung dieser Theorie. Ich erlaube mir, daraus den folgenden Satz (in der mir von Dr. Asplund selbst zugestellten englischen Uebersetzung) zu zitieren: «Stüssi has now presented an explanation so remarkably simple that it is almost embarrassing to find that it has not been given before».

³⁾ Kürzlich hat mir Prof. Ing. P. P. Bijlaard, Bandoeng-Delft, brieflich die Ergebnisse seiner Druckversuche an Rasamala- und Java-Teak-Holz mitgeteilt, die mit der neuen Festigkeitstheorie ebenfalls ausgezeichnet übereinstimmen.

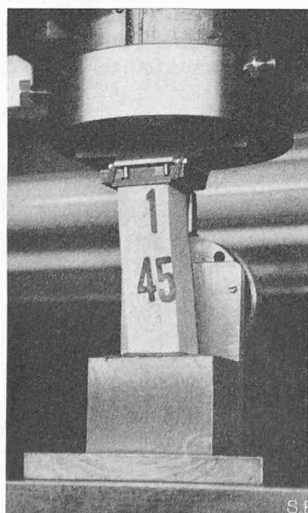


Bild 2. Versuchseinrichtung

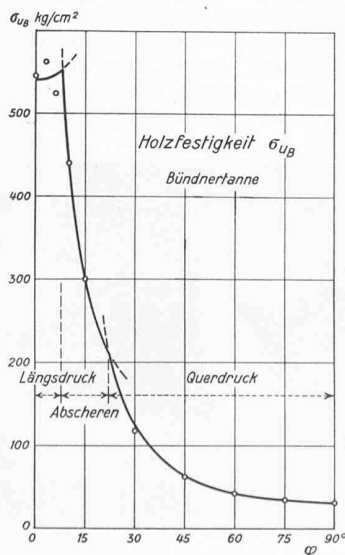


Bild 3. Versuchsergebnisse

deutig und anschaulich die neue Theorie, nach der die natürlichen Festigkeiten, je nach der Grösse des Faserwinkels φ entweder Längsdruck oder Abscheren oder Querdruck, massgebend sind.

Auch bei der Untersuchung der Formänderungen haben wir analog vorzugehen wie bei der Untersuchung der Festigkeit: Die spezifischen Formänderungen sind durch die auf die natürlichen Hauptrichtungen des Holzes orientierten Beanspruchungen bestimmt. Es betragen die spezifischen Dehnungen ε_x und ε_y bzw. die Winkeländerung γ_{xy} im ebenen Spannungszustand (auf den wir uns hier beschränken können):

$$(3) \quad \begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\sigma_y}{E_{xy}} \\ \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\sigma_x}{E_{xy}} \\ \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}} \end{cases}$$

Dabei bedeuten E_x und E_y den Elastizitätsmodul parallel und quer zur Faser, G_{xy} den Schubmodul und für die Querdehnung haben wir den Querdehnungsmodul $E_{xy} = E_{yx}$ (Reziprozität) statt der Poissonschen Querdehnungszahl m , bzw. statt $m E$ eingeführt.

Setzen wir, unter Beschränkung auf eine lineare Beanspruchung σ_u allein (die Einführung eines allgemeinen ebenen Spannungszustandes $\sigma_u, \sigma_v, \tau_{uv}$ bietet übrigens keinerlei Schwierigkeiten), die Spannungswerte $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ aus Gleichung 1 in die Gleichungen 3 ein, so erhalten wir

$$(4) \quad \begin{cases} \varepsilon_x = \sigma_u \left[\frac{\cos^2 \varphi}{E_x} - \frac{\sin^2 \varphi}{E_{xy}} \right] \\ \varepsilon_y = \sigma_u \left[\frac{\sin^2 \varphi}{E_y} - \frac{\cos^2 \varphi}{E_{xy}} \right] \\ \gamma_{xy} = \sigma_u \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{G_{xy}} \end{cases}$$

Nun bestehen zwischen den auf zwei rechtwinklige Axenkreuze u, v und x, y bezogenen spezifischen Formänderungen die folgenden geometrischen Beziehungen:

$$(5) \quad \begin{cases} \varepsilon_u = \varepsilon_x \cos^2 \varphi + \varepsilon_y \sin^2 \varphi + \gamma_{xy} \sin \varphi \cos \varphi \\ \varepsilon_v = \varepsilon_x \sin^2 \varphi + \varepsilon_y \cos^2 \varphi - \gamma_{xy} \sin \varphi \cos \varphi \\ \gamma_{uv} = -2(\varepsilon_x - \varepsilon_y) \sin \varphi \cos \varphi + \gamma_{xy} (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) \end{cases}$$

und wir finden durch Einsetzen der Gleichungen 4 die Elastizitätsgleichungen für den untersuchten einfachen Beanspruchungsfall von Holz:

$$(6) \quad \begin{cases} \varepsilon_u = \sigma_u \left\{ \frac{\cos^4 \varphi}{E_x} - 2 \frac{\sin^2 \varphi \cos^2 \varphi}{E_{xy}} + \frac{\sin^4 \varphi}{E_y} + \frac{\sin^2 \varphi \cos^2 \varphi}{G_{xy}} \right\} \\ \varepsilon_v = \sigma_u \left\{ \frac{\sin^4 \varphi}{E_x} - 2 \frac{\sin^2 \varphi \cos^2 \varphi}{E_{xy}} + \frac{\cos^4 \varphi}{E_y} + \frac{\sin^2 \varphi \cos^2 \varphi}{G_{xy}} \right\} \\ \gamma_{uv} = \sigma_u 2 \sin \varphi \cos \varphi \left\{ -\frac{\cos^2 \varphi}{E_x} - \frac{\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi}{E_{xy}} + \frac{\sin^2 \varphi}{E_y} + \frac{\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi}{2 G_{xy}} \right\} \end{cases}$$

Diese Beziehungen sind durchaus nicht neu⁴⁾; eine anschauliche graphische Lösung der gleichen Aufgabe in zwei Stufen durch Anwendung des Mohrschen Spannungskreises und des dazu analogen Dehnungskreises hat C. B. Norris angegeben⁵⁾.

Wesentlich aber ist, und dies wurde m. W. bis heute noch nicht durchgeführt, dass wir mit diesen Gleichungen nun den Schubmodul direkt aus einem Druckversuch bestimmen können und nicht mehr auf den dafür nicht ganz befriedigenden Torsionsversuch angewiesen sind.

Bei unseren Versuchen wurden nun die Längsdehnung ε_u infolge σ_u durch Durchbiegungsmesser mit $1/100$ mm Ablesegenauigkeit und die seitlichen Verschiebungen der beiden Prismen-Seitenflächen mit Uhren von $1/1000$ mm Genauigkeit

⁴⁾ W. Voigt: Lehrbuch der Kristallphysik, Leipzig 1928. Diese Transformations-Formeln hat H. Hörig («Z. Techn. Physik», 1931, S. 369) auf Holz übertragen. Siehe auch: R. F. S. Hearmon and W. W. Barkas: The effect of grain direction on the Young's moduli and rigidity moduli of beech and sitka spruce, «Proc. Phys. Soc.», 1941, p. 674; hier wurden diese Beziehungen durch Schwingungsversuche überprüft.

⁵⁾ C. B. Norris: The application of Mohr's stress and strain circles to wood and plywood, Forest Products Laboratory, Madison Wisc., Report No. 1317, February 1943.

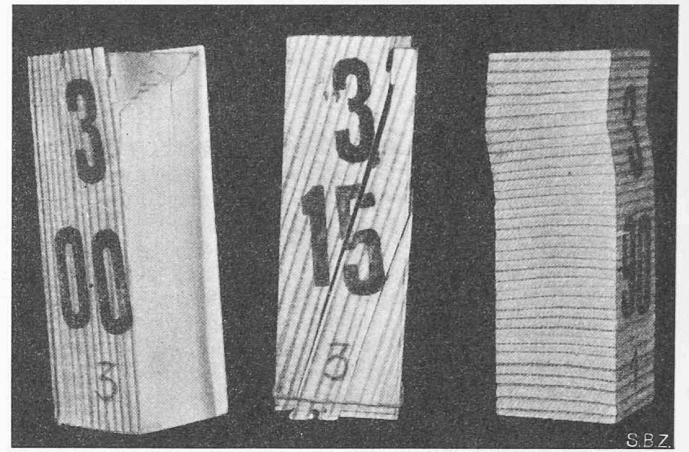


Bild 4. Bruchbilder Rottanne, Radialschnitt

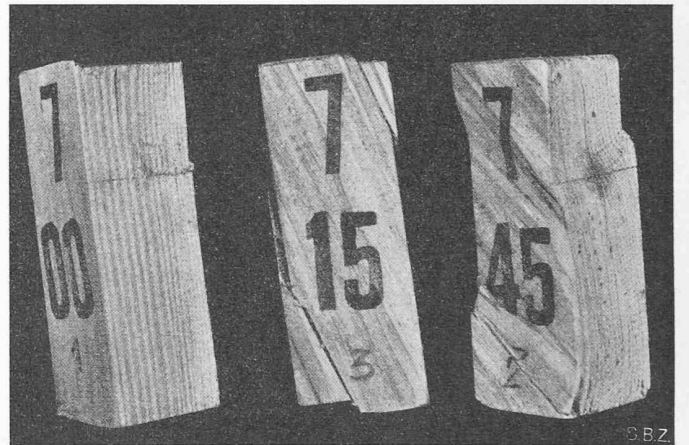


Bild 5. Bruchbilder Douglasie, Tangentialschnitt

gemessen; die Differenz dieser beiden Messungen lieferte die Querdehnung ε_v und ihre Summe erlaubte die Bestimmung des Schubwinkels γ_{uv} . Aus den Versuchswerten ε_u im elastischen Bereich konnten die Werte $\frac{1}{E_x}$, $\frac{1}{E_y}$ und $\left(\frac{1}{G_{xy}} - \frac{2}{E_{xy}}\right)$ bestimmt werden, während die Querdehnung ε_v für $\varphi = 0^\circ$ und $\varphi = 90^\circ$ den (annähernd gleichen) Wert $\frac{1}{E_{xy}}$ lieferte. Die Versuchsergebnisse und diese Auswertung mit den Gleichungen (6) sind in Bild 7 für Douglasie, Riftschnitt und in Bild 8 für Douglasie, Tangentialschnitt aufgetragen. Wenn wir bedenken, dass auch kleine horizontale Reibungskräfte die Winkeländerung γ_{uv} spürbar vermindern können, so darf die Übereinstimmung zwischen Theorie und Versuch als recht befriedigend bezeichnet werden, und wir können die Schlussfolgerung ziehen, dass für ebene Verformungszustände in Ebenen parallel zur Stammaxe die Elastizitätstheorie auch für Holz gültig ist.

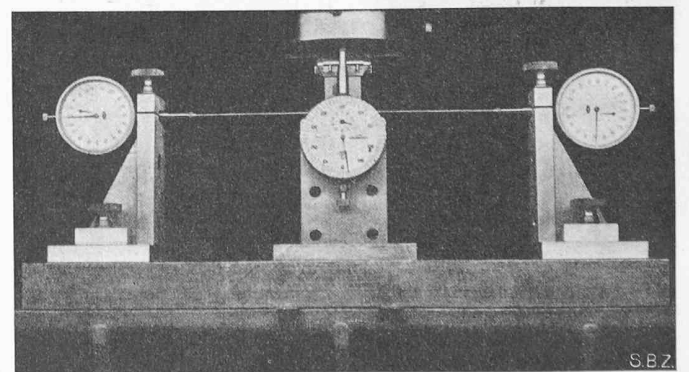


Bild 6. Messvorrichtung: mittlere Uhr für Längsdehnung, seitliche Uhren für seitliche Verschiebungen

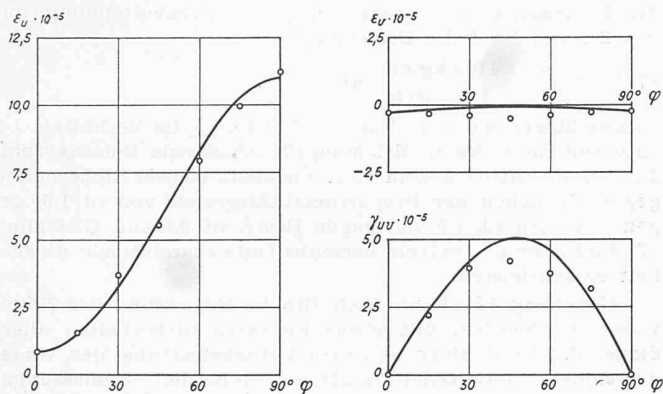


Bild 7. Douglasie, Radialschnitt.
Formänderungen infolge $\sigma_u = 1 \text{ kg/cm}^2$

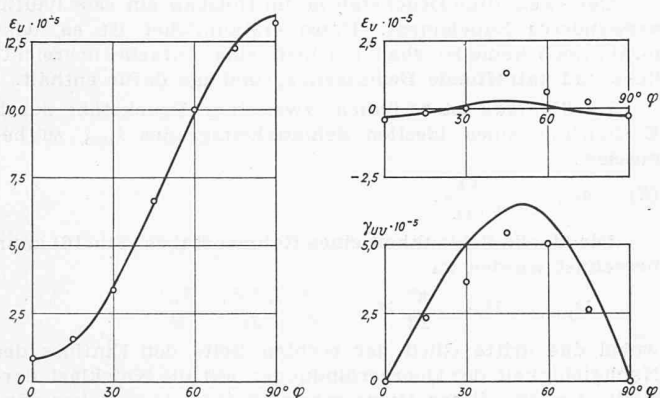


Bild 8. Douglasie, Tangentialschnitt.
Formänderungen infolge $\sigma_u = 1 \text{ kg/cm}^2$

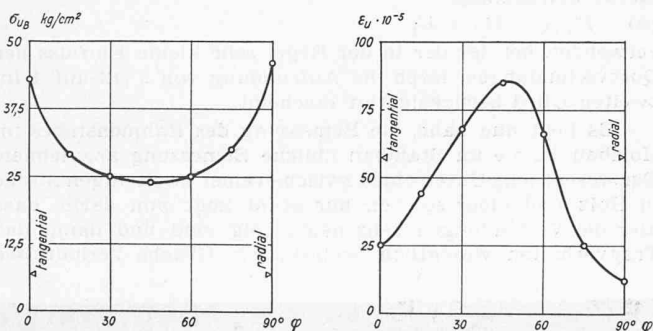


Bild 9. Versuchsergebnisse Querdruk, Rottanne.
Links Festigkeit, rechts elast. Formänderung inf. $\sigma_u = 1 \text{ kg/cm}^2$

Dabei stellt sich noch die grundsätzliche Frage, ob zwischen dem Schubmodul G_{xy} und den übrigen Elastizitätszahlen E_x , E_y und E_{xy} ein eindeutiger Zusammenhang besteht, wie dies ja bei isotropen Materialien der Fall ist. Auf Grund unserer Versuche bin ich zum Schluss gekommen, dass ein solcher eindeutiger Zusammenhang nicht besteht.

Für Spannungszustände in Ebenen normal zur Stammaxe, also für Querdruk, zeigt sich nun aus den Versuchen, dass weder die neue Theorie der Festigkeit noch die Elastizitätstheorie zutrifft. In Bild 9 sind die Versuchsergebnisse für Bündnertanne aufgetragen; es stimmen weder die Festigkeitswerte σ_{uB} mit dem Verlauf nach den Gleichungen (2) noch die Formänderungen ϵ_u mit Gleichung (6) überein. Um das Verhalten von Holz bei Querdruk zu verstehen, müssen wir auf den zellenförmigen Aufbau des Stammquerschnittes zurückgehen. Diese Zellen besitzen annähernd rechteckigen Querschnitt in der Größenordnung von 0,05 mm. Bei Druck in radialer oder tangentialer Richtung, d. h. parallel zur einen Gruppe der Zellwände, kann der Bruch durch Überwinden der Druckfestigkeit der Zellwände oder durch Unstabilwerden der rechteckigen Zellenform eintreten. Bild 10 soll die Vorgänge bei idealisierter quadratischer Zelle konstanter Wandstärke unter Druck in Diagonalrichtung, $\varphi = 45^\circ$, erklären. Setzen wir die Formänderungen der einzelnen Zellwände

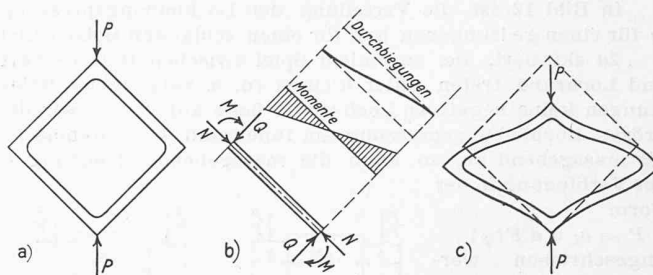


Bild 10. Verformung des diagonal beanspruchten Zellenquerschnittes

(Bild 10b) zusammen, so erhalten wir die in Bild 10c skizzierte Verformung des Zellquerschnittes. Diese Verformung ist für die idealisierte Zelle bei $\varphi = 45^\circ$ symmetrisch, $\gamma_{uv} = 0$; für Winkel φ unter oder über 45° muss dagegen neben den Dehnungen ϵ_u und ϵ_v auch eine Schiebung γ_{uv} , mit Vorzeichenwechsel für $\varphi \cong 45^\circ$ eintreten, was auch durch die Versuche (Abb. 11) eindeutig bestätigt wird.



Bild 11. Querdruk: bleibende Verformungen

Wir haben damit festgestellt, dass bei Querdruk sowohl für die Festigkeit wie für die Verformungen nicht mehr allein die Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften des Materials eine Rolle spielen, sondern dass die Form des zellenförmigen Stammaufbaues einen wesentlichen Einfluss besitzt. Um die Theorien der Festigkeit und der Elastizität des Baustoffes Holz zu vervollständigen, sind wir gezwungen, zwei neue Begriffe einzuführen, die wir etwa als «Festigkeit der Form» und «Elastizität der Form», im Gegensatz zu Festigkeit und Elastizität des Materials, bezeichnen können.

Die allgemeine Elastizitätstheorie, wie wir sie in der Literatur über die Technologie des Baustoffes Holz finden und die aus der Physik der rhombischen Kristalle (mit 9 Elastizitätskonstanten des Materials) übernommen wurde, stimmt hier somit nicht mehr; sie ist für Schnittebenen normal zur Stammaxe durch den neuen Begriff «Elastizität der Form» und die daraus zu ziehenden Folgerungen zu ergänzen.

3. Die Bolzenverbindung

Wir betrachten, als Beispiel für die heutigen Erkenntnisse bei den Verbindungsmitteln, die zweischrittige Bolzenverbindung unter Belastung in Faserrichtung. Wir gehen dabei davon aus, dass für die neuen Holznormen vorgeschlagen wurde, die Nägel mit einer zulässigen Scherspannung von $\tau_{zul} = 450 \text{ kg/cm}^2$, die Bolzen jedoch mit $\tau_{zul} = 150 \text{ kg/cm}^2$ zu bemessen, so dass für eine zweischrittige Verbindung sich

$$\text{beim Nagel } P_{zul} = 707 d^2$$

$$\text{beim Bolzen } P_{zul} = 236 d^2$$

ergehen würde. Ich habe gegen diesen Vorschlag Einsprache erhoben, weil durch diese Formulierung die höherwertige Bolzenverbindung (Lochwanddruck auf sauber gebohrte Lochwandungen) gegenüber der weniger hochwertigen Nagelverbindung (Nägel eingeschlagen, Trennen der Fasern, Spaltgefahr) unterbewertet wird.

Bei der Tragwirkung eines Bolzens haben wir zu unterscheiden zwischen der reinen Bolzenwirkung einerseits und der Reibung zwischen den Hölzern und Seilwirkung des stark verformten Bolzens andererseits. Ich bin nun der bestimmten Auffassung, dass bei der Festsetzung der zulässigen Belastung einer Bolzenverbindung nur auf die reine Bolzenwirkung (Lochleibungsdruck auf Holz, Biegung des Bolzens) abgestellt werden darf, dass dagegen die Reibung, die unter kleinen Lasten durch Schwinden aufgehoben werden kann, und die Seilwirkung des stark verformten Bolzens höchstens als Sicherheitsreserven anzusehen sind, aber bei der Bemessung rechnerisch nicht berücksichtigt werden dürfen.

In Bild 12 ist die Verteilung der Lochleibungspressung σ_l für einen gedrunenen und für einen schlanken Bolzen und $c = 2a$ skizziert. Bei normalem Spiel zwischen Bolzenschaft und Lochrand treten unter kleinen (d. h. zulässigen) Belastungen keine negativen Lochwanddrücke auf. Sehen wir die grösste Lochleibungspressung am Innenrand der Seitenlasche als massgebend an, so kann die massgebende Belastung P der Verbindung in der Form

$P = \sigma_l a d F(\varphi)$
angeschrieben werden, wobei

$$\varphi = \frac{C a^4}{E J}$$

mit C = Bettungsziffer des Holzes und EJ = Steifigkeit des Bolzens die Elastizitätsverhältnisse der Verbindung und die Funktion $F(\varphi)$ die Form der Druckverteilung charakterisieren. Führen wir die Schlankheit λ des Bolzens

$$\lambda = \frac{2a}{d}$$

ein, so können wir die Bolzenbelastung auch wie folgt anschreiben:

$$P = \sigma_l d^2 \lambda F(\varphi) = \sigma_l d^2 F'(\varphi) = k d^2$$

Der Verlauf der Funktion $k = \sigma_l F'(\varphi)$ ist in Bild 13 für einen bestimmten Bolzendurchmesser d skizziert; es zeigt sich, dass k für $\lambda > 5$ annähernd konstant bleibt. In Bild 14 ist der Verlauf von k aus unseren Versuchen mit Bolzen $\varnothing 12$ mm und $\varnothing 18$ mm und luftgetrocknetem Rottannenholz sowohl für die Proportionalitätsgrenze wie für die Kriechgrenze (erstes Kriechen an den Durchbiegungsmessern feststellbar) und für die Bruchgrenze aufgetragen, für die letzte jedoch nur soweit, als bei einer Verschiebung ε von 4,0 cm ein Bruch des Holzes erreicht wurde. Bei sehr schlanken Bolzen trat wegen der Seilwirkung (Klemmen der Bolzenenden) auch unter grossen Verformungen dieser Bruch nicht ein. Bei diesen Versuchen wurden, um die reine Bolzenwirkung bestimmen zu können, die Reibung durch Einlage von Stahlwalzen auf Stahlplatten zwischen Mittel- und Seitenhölzern ausgeschaltet und es wurden auch keine Unterlagscheiben und Muttern angeordnet (Bild 15). Gemessen wurden sowohl die Verschiebungen der Mittel- und Seitenhölzer wie auch von Bolzenmitte und Bolzenenden, sowie (mit Klinometern) die Neigungen der Bolzenenden, so dass aus diesen Messungen direkt das Verformungsbild der Verbindung und damit die dazu ähnliche Verteilung des Lochwanddruckes entsprechend Bild 12 aufgetragen werden konnte.

Es zeigt sich nun, übrigens in Uebereinstimmung mit fremden Versuchen, dass mit zunehmendem Bolzendurchmesser d sowohl die Bettungsziffer C wie auch die Lochleibungsfestigkeit σ_l abnehmen; die Festigkeitszahl k ist somit vom Durchmesser d abhängig, indem sie mit zunehmendem d abnimmt. Auf Grund der heute vorliegenden Versuche (die allerdings noch weitergeführt werden sollen) kann für

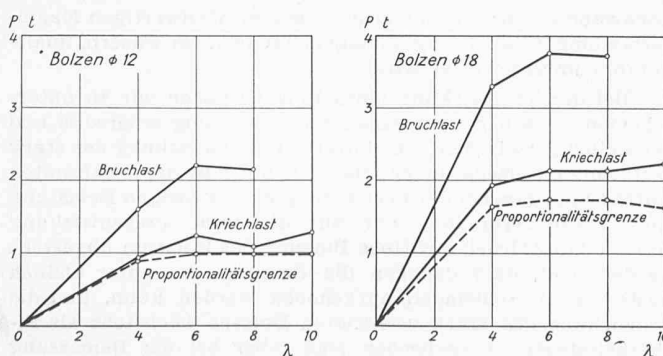


Bild 14. Bolzenversuche $\varnothing 12$ und $\varnothing 18$ mm

die Bemessung der zweischnittigen Bolzenverbindung mit $c = 2a$ und $\lambda \geq 5$ die Beziehung

$$(7) \quad P_{zul.} = \frac{1100 \text{ kg/cm}}{1,4 + d \text{ cm}} d^2$$

vorgeschlagen werden. Für $\lambda < 5$ ist $P_{zul.}$ im Verhältnis $\lambda/5$ zu vermindern. Nach Gleichung (7) bemessene Bolzenverbindungen in luftgetrocknetem Rottannenholz weisen Sicherheiten gegen Erreichen der Proportionalitätsgrenze von rd. 1,5, gegen Kriechen rd. 1,9 und gegen Bruch rd. 3,5 auf. Gleichung (7) dürfte somit bei Holz normaler Güte ausreichende Sicherheit gewährleisten.

Gleichung (7) kann auch für die Bemessung der Nägel verwendet werden, mit etwas kleineren Sicherheiten allerdings, d. h. mit einer gewissen Ueberbewertung der Nägel gegenüber dem Bolzen. Damit ist eine einheitliche Bemessungsgrundlage für Nägel und Bolzen aufgestellt.

4. Der zweiteilige Druckstab

Der zweiteilige Druckstab ist im Holzbau ein sehr häufig verwendetes Bauelement. Umso erstaunlicher ist es, dass m. W. noch keine Holzbauvorschrift eine einfache, übersichtliche und zutreffende Bemessungsgrundlage dafür enthält.

Im Stahlbau ist es üblich, zweiteilige Druckstäbe durch Einführung eines ideellen Schlankheitsgrades $\lambda_{yid.}$ zu bemessen:

$$(8) \quad \sigma_{kr.} = \frac{\pi^2 T_K}{\lambda_{yid.}^2}$$

Die ideelle Schlankheit eines Rahmenstabes (Bild 16) kann berechnet werden zu

$$\lambda_{yid.}^2 = \lambda_y^2 + \frac{\pi^2}{12} \lambda_1^2 + \frac{\pi^2}{6} \frac{l_1 h F_1}{J_V} \frac{T_K}{E},$$

wobei das dritte Glied der rechten Seite den Einfluss der Nachgiebigkeit der Querverbindungen auf die Knicklast darstellt. Anstelle dieses etwas schwerfälligen Ausdruckes wird nun aber in der Stahlbaupraxis mit durchaus genügender Genauigkeit die vereinfachte Formel von Engesser für die ideelle Schlankheit

$$(9) \quad \lambda_{yid.}^2 = \lambda_y^2 + \lambda_1^2$$

verwendet, bei der der in der Regel sehr kleine Einfluss der Querverbindungen durch die Aufrundung von $\pi^2/12$ auf 1 im zweiten Glied berücksichtigt erscheint.

Es liegt nun nahe, die Bemessung des Rahmenstabes im Holzbau an die im Stahlbau übliche Bemessung anzulehnen. Der wesentliche Unterschied zwischen einer zweiteiligen Stütze in Holz und einer solchen aus Stahl liegt nun darin, dass hier die Verbindungen sehr nachgiebig sind und damit das Tragverhalten wesentlich beeinflussen. Gleiche Verhältnisse

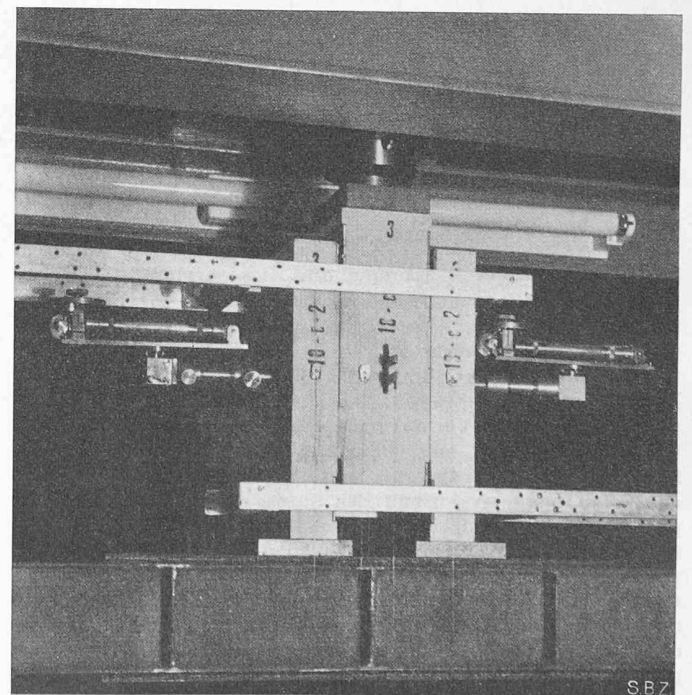


Bild 15. Einrichtung der Bolzenversuche

liegen aber auch bei anderen zusammengesetzten Bauelementen des Holzbaues, wie beispielsweise beim verdübelten Balken vor. Bei diesem Tragwerk wird der Einfluss der Nachgiebigkeit des Verbindungsmittels durch die Einführung von Wirkungsgraden erfasst; wir unterscheiden einen Wirkungsgrad α der Tragfähigkeit, einen Wirkungsgrad β der Steifigkeit und einen Wirkungsgrad γ der Verdübelung⁶⁾. Dieser Weg, der beim verdübelten Balken zum Ziel geführt hat, dürfte auch beim zweiteiligen Druckstab zu einer brauchbaren Bemessungsgrundlage führen. Da beim Knicken die Steifigkeit massgebend ist, haben wir an Stelle des Trägheitsmomentes J_y das abgeminderte Trägheitsmoment βJ_y einzuführen und an Stelle der bei Stahlstützen gültigen Gleichung (9) erhalten wir für die ideale Schlankheit gegliederter Holzstützen die Beziehung

$$(10) \quad \lambda_{y, id.}^2 = \frac{\lambda_y^2}{\beta} + \lambda_1^2.$$

Der Wirkungsgrad β ist nun grundsätzlich aus Versuchen zu bestimmen. Dabei sind für die Formulierung von β folgende Überlegungen weglegend: Denken wir uns die beiden Einzelstäbe durch eine stetig aufgeteilte Verbindung (die Unstetigkeit der Verbindung ist im Glied λ_1^2 berücksichtigt), die jedoch vollständig nachgiebig sein soll, verbunden, so ist an Stelle des Trägheitsmomentes J_y die Summe der Einzel-Trägheitsmomente, $2J_1$, zu setzen und wir erhalten für diesen Grenzfall den Minimalwert von β zu

$$\beta_{\min} = \frac{2J_1}{J_y} = \frac{2i_1^2 F_1}{i_y^2 2F_1} = \left(\frac{i_1}{i_y}\right)^2.$$

In Wirklichkeit ist nun aber die Verbindung nicht vollständig nachgiebig. Zu $\beta_{\min}$ ist somit noch ein weiteres Glied zu addieren, das von der Nachgiebigkeit der Verbindung abhängt. Diese Nachgiebigkeit ist einerseits abhängig von der Art des verwendeten Verbindungsmittels, das wir durch eine «Steifigkeitszahl» C charakterisieren können, und von der Spreizung des Stabes, die auch durch das Verhältnis i_y/i_1 ausgedrückt werden kann. Die einfachste mögliche Form des Wirkungsgrades β kann damit etwa mit

$$(11) \quad \beta = \left(\frac{i_1}{i_y}\right)^2 + C \frac{i_1}{i_y}$$

angeschrieben werden.

Zur Prüfung dieses Ansatzes stehen uns leider nur eine sehr beschränkte Anzahl von Versuchen zur Verfügung, weil die meisten bekannten Versuche für eine Auswertung zu wenig systematisch angelegt sind. Immerhin erlauben die Versuche, über die Schaechterle⁷⁾ berichtet hat und die in Tabelle 1 seines Berichtes zusammengestellt sind, für verschraubte Verbindungen die Feststellung, dass der Ansatz für β der Gleichung (11) mit $C = 1,1$ sehr gut zutrifft. Der Versuch Nr. 5, für dessen Ausknicken J_x massgebend war, bestätigt unseren Ansatz ebenfalls, wenn auch indirekt. Der Vergleich der Berechnung mit den Gleichungen (8), (10) und (11) mit den erwähnten Versuchen von Schaechterle ist in Bild 17 dargestellt.

Die erwähnten Versuche beziehen sich auf Stäbe mit gut angezogenen Schrauben (Reibung); der Vergleich mit Versuch Nr. 6 mit gelockerten Schrauben zeigt, dass für Schraubenverbindungen, wenn richtigerweise auf die Berücksichtigung der Reibung verzichtet wird, etwa mit $C = 0,8$ gerechnet werden muss. Den gleichen Wert $C = 0,8$ ergibt auch die Auswertung der «Wiener Versuche»⁸⁾ für normal genagelte Verbindungen. Andererseits zeigen die Versuche von Schaechterle mit verdübelten Verbindungen keinen wesentlichen Unterschied gegenüber solchen mit gut angezogenen Schrauben, so dass für diesen Fall mit $C = 1,1$ gerechnet werden kann.

Der Beiwert C für eingeleimte Verbindungen ergibt sich für diese am wenigsten nachgiebige Verbindung daraus, dass

⁶⁾ F. Stüssi: Ueber den verdübelten Balken. SBZ Bd. 122, S. 271*, 20. November 1943.

⁷⁾ K. Schaechterle: Druckversuche mit vollen und gegliederten Holzstäben. «Die Bautechnik», Jahrgang 10, 1932.

⁸⁾ H. Wycital: Ueber die Berechnung zweiteiliger Gliederstäbe aus Holz. «Oesterreichische Bauzeitschrift», Jahrgang 1, Heft 1/2, 1946.

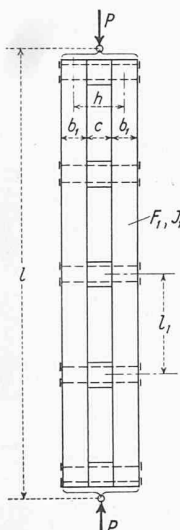


Bild 16.
Hölzerner
Rahmenstab

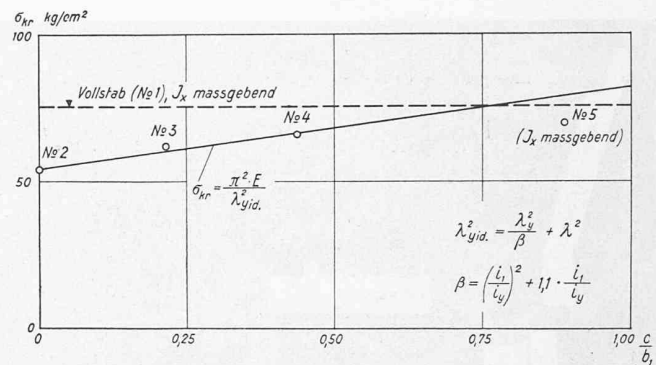


Bild 17. Versuchswerte nach Schaechterle und Rechnung

β höchstens gleich eins werden darf; für satt aufeinanderliegende Einzelhölzer ist $i_1/i_y = 0,5$ und es muss deshalb der Wert von C mit $C = 1,5$ eingeführt werden.

Es ist durchaus nicht ausgeschlossen, dass der Ansatz Gleichung (11) für den Wirkungsgrad β noch verfeinert werden muss, wenn einmal ein umfassendes, systematisches Versuchsmaterial vorliegt. Doch dürfte bis dahin die angegebene Bemessungsgrundlage, die sich einerseits an die im Stahlbau übliche und bewährte Bemessung und andererseits an die vom verdübelten Balken her bekannte Theorie der Wirkungsgrade anlehnt und die bei aller Einfachheit das Wesentliche zu erfassen versucht, eine als störend empfundene Lücke schliessen helfen.

5. Schlussbemerkungen

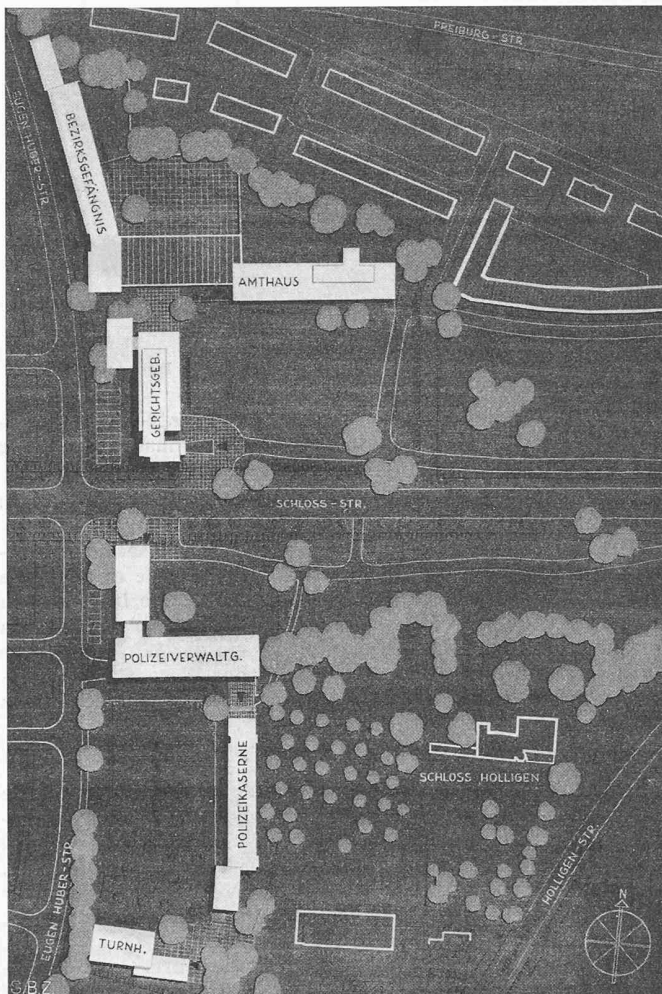
Mit diesen Ausführungen dürfte bewiesen sein, dass die bisherigen Grundlagen des Ingenieurholzbau, vom Standpunkt der technischen Qualität aus beurteilt, ungenügend sind. Mit den behandelten Beispielen habe ich mich bemüht, nicht nur Kritik zu üben, sondern zur Verbesserung der für den Ingenieurholzbau notwendigen Grundlagen beizutragen, und ich glaube auch, dass mir dies gelungen ist.

Wenn es mir aber möglich war, in allen drei Grundlagen-Gruppen des Holzbaues — Baustoff, Verbindungsmittel und Bauelemente — neue Erkenntnisse und Zusammenhänge zu finden, so kann dies nur heissen, dass in der bisherigen Holzforschung, soweit sie das Bauwesen betrifft, etwas nicht stimmen kann. Man baut seit Jahrhunderten in Holz und die Materialprüfungsanstalten des In- und Auslandes haben schon riesige Summen für die Holzforschung aufgewendet; trotzdem war es mir möglich, wesentliche Erkenntnislücken in den elementaren Grundlagen des Holzbaues aufzuzeigen und aber auch teilweise zu schliessen. Wenn mir dies mit meinem kleinen Institut, mit nur zwei Mitarbeitern und in verhältnismässig kurzer Zeit gelungen ist, so wahrscheinlich deshalb, weil wir uns bemüht haben, nicht statistische Materialprüfung, sondern eine systematische, durch theoretische Überlegungen geführte baustatische Versuchsforschung zu treiben. Wir haben uns nach den grundlegenden baustatischen Zusammenhängen gefragt und die Versuchsdurchführung auf diese baustatische Problemstellung orientiert⁹⁾.

Selbstverständlich bestreite ich die Existenzberechtigung der Materialprüfung im bisherigen Sinne keineswegs; wir benötigen nach wie vor eine umfassende Statistik der Materialeigenschaften. Aber ich glaube doch auch bewiesen zu haben, dass daneben im Bauwesen eine baustatische Versuchsforschung fruchtbar und deshalb notwendig ist und ich glaube nicht unbescheiden zu sein, wenn ich für diese von der Materialprüfung unabhängige baustatische Versuchsforschung die notwendigen Existenzmittel fordere; denn diese, die baustatische Versuchsforschung, ist es, die, neben dem theoretischen Ausbau der Baustatik, dem Bauwesen die für eine einwandfreie und zuverlässige Bemessung der Tragwerke notwendigen Zusammenhänge und Grundlagen liefern kann und soll.

Holz ist ein wertvoller Baustoff und ich bin überzeugt, dass der Ingenieurholzbau, neben dem Stahlbau und dem Massivbau, auch in Zukunft innerhalb der durch seine Mate-

⁹⁾ Selbstverständlich war es in diesem Ueberblick nicht möglich, alle Ergebnisse unserer systematischen Versuche über Elastizität und Festigkeit, sowie über die Bolzenverbindung darzustellen und auszuwerten. Dies bleibt einer besonderen Berichterstattung in den «Mitteilungen aus dem Institut für Baustatik an der E.T.H.» vorbehalten.



3. Preis, Lageplan 1:3000

rialeigenschaften abgegrenzten Anwendungsgebiete sich durchaus ehrenvoll wird behaupten können. Er ist aber nur dann zu hochwertigen Leistungen berufen und er kann nur dann den Konkurrenzkampf gegen die anderen Bauweisen auf die Dauer mit Erfolg bestehen, wenn er auf sauberen und technisch einwandfreien Grundlagen aufbauen kann. Ich habe mich bemüht, zu diesen Grundlagen einen Baustein beizutragen.

Wettbewerb für neue Verwaltungsgebäude von Amt und Kanton Bern

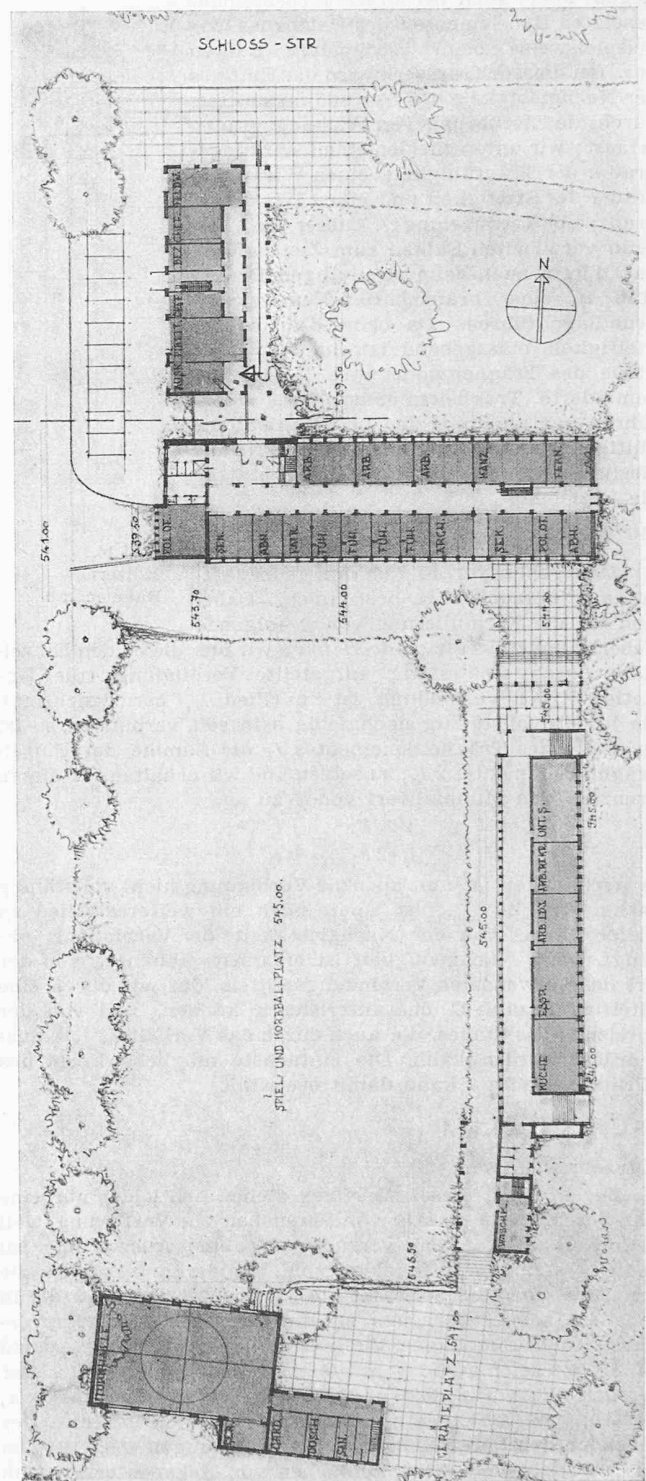
DK 06.063:725.1 (494.24)

(Schluss von Seite 309)

Entwurf Nr. 41 [Verfasser Burckhardt, Wenk & Co., Basel]

1. Städtebauliche Gesichtspunkte; Gesamtanlage. Quer-gestelltes Hochhaus als Abschluss gross zusammengefasster Grünanlage städtebaulich sehr gut; betont die Bedeutung dieser Bauanlage ohne Beeinträchtigung des Schlosses Holligen. Abgewogene, aufgelockerte Verteilung der einzelnen Baukörper auf dem nördlichen und südlichen Areal mit richtiger Lage des Sportplatzes. Amthaus von der Schlosstrasse weit abgerückt.

2. Einzelgebäude: a) Amthaus. Im allgemeinen klare Bauanlage mit zusammenhängenden Abteilungen. Ausbildung des Zuganges entspricht nicht der Bedeutung des Gebäudes. Teilweise Bureaux mit Nordlage. Form und Zufahrt Gantlokal kann nicht befriedigen. Kanzlei Bern-Stadt unterbricht den Korridorverkehr. — b) Gericht. Guter Zugang mit Treppen- und Liftanlage. Orientierung der Räume gegen Osten und Westen. Gedrängte Grundrissentwicklung. Die Zusammenlegung der Amtsgerichtssäle ergibt betriebliche Nachteile durch Loslösung von zugehörigen Nebenräumen. Zu weite Entfernung der Gerichtsschreiberei von den Richterämtern I, II und III. Der unorganische Einbau der Gerichtssäle in den Bureauorganismus ergibt in den Sälen störende Stützen.



3. Preis, Erdgeschoss-Grundriss der Bauten südlich der Schlosstrasse; Masstab 1:1000

Scharfer Einschnitt bei Haupttreppenhalle und Lage der Nebentreppe nicht überzeugend. — c) Polizeikommando. Im allgemeinen übersichtlicher Grundriss. Unklarer Zugang. Nebentreppe verengt den Gang. Teilweise wesentliche Arbeitsräume nach Norden orientiert. — d) Polizeikaserne. Gute Beziehungen zwischen Polizeikaserne, Turnhalle und Sportanlagen. Sportplatzabmessungen knapp. — e) Gefängnis. Guter Vorschlag für die Gefangeneinlieferung. Grundrisslich klare Lösung. Nahe Lage an Eugen-Huber-Strasse mit teilweise strassenseitigen Zellen. Zu weite Entfernung von Polizeikommando. Gefängnishof zu nahe an Wohnbebauung mit offenem Einblick von dieser aus. Trennung der Krankräume nach Geschlechtern ungenügend. — f) Garagen. Grundriss unzweckmässig. — g) Wohnungen. Gut verteilt. Lage der Abwartwohnungen, Gericht und Amthaus betrieblich ungünstig.