

Die Wirkungsweise des Hohlstemmers läßt sich aus Bild 849 erkennen; im Innern des Hohlmeißels befindet sich ein Schlangenbohrer, der als Vorschneider

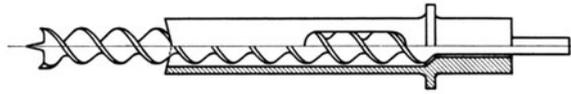


Bild 849. Hohlstemmer mit Schlangenbohrer.

dient. Die Späne werden oben durch Schlitz im Hohlmeißel ausgeworfen; beim Abwärtsbewegen des Werkzeugträgers wird aus dem runden ein quadratisches Loch gestemmt.

### 885. Schnittkraft und Leistungsbedarf beim Schneiden.

Die Schnittkraft  $P_s$  bei Furnierscheren errechnet sich zu

$$P_s \approx \delta^2 \cdot k_s \cdot \text{ctg} \varepsilon \cdot \text{ctg} \beta. \quad (109a)$$

Bei einem Keilwinkel  $\beta = 75^\circ$  ergibt sich

$$P_s \approx 0,25 \cdot \delta^2 \cdot k_s \cdot \text{ctg} \varepsilon, \quad (109b)$$

wobei  $\delta$  die Furnierdicke [mm],  $k_s$  die spezifische Scherkraft [ $\text{kg}/\text{mm}^2$ ] und  $\varepsilon$  der Neigungswinkel des Obermessers [ $\varepsilon = 3$  bis  $10^\circ$ ] sind. Nach G. Pahlitzsch<sup>1</sup> kann man setzen: Weichholz (Linde, Erle, Okumé)  $k_s = 0,5$  bis  $1 \text{ kg}/\text{mm}^2$ , mittelschwere Hölzer (Pappel, Nußbaum)  $k_s = 1$  bis  $1,5 \text{ kg}/\text{mm}^2$ , schwere Laubhölzer (Birke, Buche)  $k_s = 1,5$  bis  $2 \text{ kg}/\text{mm}^2$ , Furnierplatten  $k_s$  bis  $10 \text{ kg}/\text{mm}^2$ . Berechnung der Scherleistung aus der Schnittkraft  $P_s$  aus der Gleichung (47). Die Leistungsaufnahme des Motors ist um die Leistungsabgabe des Schwungrades geringer, wobei die Wirkungsgrade ( $\eta_{\text{Scherer}} \approx 0,7$ ,  $\eta_{\text{Motor}} \approx 0,85$ ) zu berücksichtigen sind.

## 89. Biegen, Formpressen, Prägen.

### 891. Biegen von Vollholz.

#### 891.0 Allgemeines über das Holzbiegen.

Die Technik des Biegens von Vollholz geht bis ins Altertum zurück. Wahrscheinlich beginnt sie mit der Anfertigung von Körben aus Weiden sowie mit dem Bau von Booten an Stelle der Einbäume. Da aber Holz stark und nachhaltig elastisch ist, behalten gebogene Teile nur solange ihre Form, wie sie durch die ganze Konstruktion dazu gezwungen werden. Außerdem erwies es sich als unmöglich, dicke Holzteile mit verhältnismäßig kleinem Krümmungsradius zu biegen. Man suchte deshalb beim Bau von Booten und Fahrzeugen natürlich gekrümmte Stamm- und Astteile zu verwenden. Eine wesentliche Verbesserung brachte die ebenfalls schon viele Jahrhunderte alte Erkenntnis, daß man feuchtes Holz über dem Feuer besser biegsam machen kann. Die Anwendung dieser Technik erforderte allerdings großes Geschick seitens der Wagner, Stellmacher und Möbeltischler. Das Feuer war teilweise abzudecken, damit die Hitze nicht zu scharf und ungleichmäßig wurde, auf der dem Feuer abgekehrten Seite waren

<sup>1</sup> Pahlitzsch, G.: Spanloses Formen in „Hütte“ Taschenbuch für Betriebsingenieure, 4. Aufl. 1. Teil, Berlin 1951, S. 418.

die Holzteile zu befeuchten. Trotzdem kam es nicht selten zur Verkohlung des Holzes, das auch trotz aller Vorsicht beim nachträglichen Biegen oft auf der Zugseite riß.

Später, als moderne Holzbearbeitungsmaschinen vorlagen, ging man deshalb teilweise dazu über, Biegeteile mit kleinem Krümmungsradius oder mit großer Dicke durch Bandsägen herzustellen. Damit verknüpft aber sind zwei erhebliche Nachteile: 1) In stark gekrümmten Teilen, die durch Sägen erzeugt wurden, verlaufen die Holzfasern nur in einem kleinen Teil parallel zu den Tangenten an der Krümmung, während sie in der Hauptsache mehr oder minder schräg, unter Umständen sogar senkrecht dazu verlaufen. Dadurch ergibt sich eine außerordentliche Verringerung der Festigkeit solcher Teile, da — wie in Band I nachgewiesen, s. S. 667 bis 669, S. 746 bis 748, S. 808, 809, S. 852, S. 904 bis 909 — alle Festigkeitseigenschaften quer zur Faser zahlenmäßig nur einen kleinen Bruchteil jener parallel zur Faser erreichen. 2) Mit der Herstellung durch Sägen sind erhebliche Schnittverluste des meist sorgfältig vorsortierten wertvollen Holzes verbunden.

Es überrascht deshalb nicht, daß trotz der offenbaren Vorzüge des Biegens als spanloser Formgebung die alte handwerksmäßige Kunst über die Jahrhunderte kaum eine Änderung erfuhr; auf Grund vieler Fehlschläge wagte man sich nur an schwächere, besonders zähe Hölzer und bescheidene Bieungsgrade heran. Erst dem deutschen Tischlermeister Michael Thonet aus Boppard am Rhein (1796 bis 1871) gelang es, eine neuartige Biegetechnik zu entwickeln, deren Grundlagen in Abschnitt 891.43 besprochen werden. Später gesellte sich das Biegen und Formpressen von Lagenhölzern hinzu, wobei eine Anzahl dünner Holzlamellen (Furniere) gleichzeitig gebogen und verleimt wird.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Verformung von Holzteilen durch Biegen oder Formpressen aus folgenden Gründen zweckmäßig ist<sup>1</sup>:

1. Im Gegensatz zur Herstellung geschwungener Formen durch spangebende Werkzeuge, die hohe Schnittverluste mit sich bringen, ist die Verformung verlustlos; sie entlastet damit die Holzbilanz und erspart besonders knappe und wertvolle Hölzer, die meist für geschwungene Formen in Frage kommen.

2. Die Herstellung durch Biegen ist in der Regel einfacher und rascher als die mit den üblichen spanabhebenden Holzbearbeitungsmaschinen.

3. Die Anlagekosten für Biegeeinrichtungen sind niedriger als die für eine Gruppe von Holzbearbeitungsmaschinen, die nötig wären, um die gleiche Formgebung durch Zerspannung zu erzielen.

4. Der Energieaufwand beim Biegen ist niedriger als jener beim Zerspannen, gleiche Formgebung vorausgesetzt.

5. Die Festigkeit und Steifigkeit gebogener Teile ist bedeutend höher als die ähnlicher durch Ausschneiden hergestellter Teile. Auch die Oberflächen gebogener Teile sind, einwandfreie Technik vorausgesetzt, meist besser als die gesägter.

6. In verschiedenen Fällen, z. B. bei der Herstellung von Sportgeräten, Stock- und Schirmgriffen, Stuhlzargen, Holzringen, Faßdauben usw., kommt überhaupt nur das Biegen technisch und wirtschaftlich in Frage.

Die Biegetechnik und Verformung ist deshalb aus der modernen Holzbearbeitung nicht mehr wegzudenken und hat sich besonders während und nach dem zweiten Weltkrieg, gefördert durch Flugzeug- und Schiffbau, erheblich ausgebreitet.

<sup>1</sup> Kollmann, F.: Über das Biegen der Hölzer, Holz-Zentralblatt Bd. 78 (1952), S. 1439.

## 891.1 Formänderungen und Spannungen beim Holzbiegen.

Lufttrockenes Holz läßt sich ohne besondere Vorbehandlung, die es plastischer macht, nur in beschränktem Maße biegen. Zurückzuführen ist dies auf die geringe Bruchdehnung des Holzes bei Zugbeanspruchung. Mit der Biegung ist auf der Zugseite — wenn diese nicht dagegen besonders geschützt wird — eine Längung verbunden. Man kann beispielsweise für eine kreisförmige Biegung ableiten<sup>1</sup>, daß eine zerstörungsfreie Verformung nur dann möglich ist, wenn die Bedingung

$$\varepsilon_z \cong \frac{s}{2R} \quad (110)$$

erfüllt ist. Dabei ist  $\varepsilon_z$  die Bruchdehnung,  $s$  die Dicke des Biegeteils und  $R$  der Krümmungsradius, gemessen bis zur neutralen Faser des Biegeteils.

Für ungedämpftes, lufttrockenes Buchenholz erhält man beispielsweise für  $\varepsilon_z = 0,75$  bis  $1,0\%$  ein Verhältnis  $\frac{s}{R} \cong \frac{1}{67}$  bis  $\frac{1}{50}$ . Durch Dämpfen oder Kochen wird das Holz plastischer, seine Bruchdehnung steigt, bei Rotbuche z. B. bis auf etwa  $\varepsilon_z = 1,5$  bis  $2,0\%$ . Für diesen Fall errechnet sich  $\frac{s}{R} \cong \frac{1}{33}$  bis  $\frac{1}{25}$ . Tatsächlich bestätigen Berichte aus der Praxis<sup>2</sup>, daß Biegungen von erweichtem Holz für  $\frac{s}{R} \cong \frac{1}{30}$  meist ohne Vorkehrungen ausgeführt werden können. Stärkere Verformungen setzen aber eine Vergrößerung der Dehnbarkeit oder eine Behinderung der Dehnung voraus.

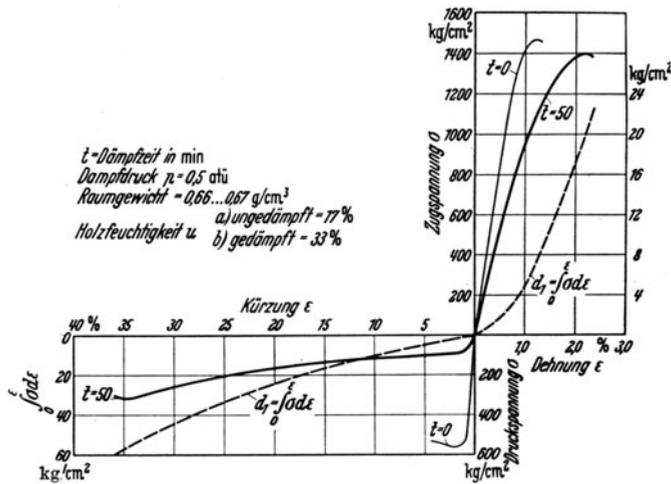


Bild 850. Spannungs-Formänderungskurven. (Nach A. Prodehl.)

Bild 850, nach Kurven in der grundlegenden Arbeit von A. Prodehl<sup>3</sup> zusammengestellt, zeigt die Spannungs-Formänderungskurven für Zug- und Druckbeanspruchungen von lufttrockenem und gedämpftem Buchenholz. Man

<sup>1</sup> Kollmann, F.: Technologie des Holzes I. Aufl., Berlin 1936, S. 526.

<sup>2</sup> Timber Bending, Commonwealth Australia, Trade Circular Nr. 22, S. 9, Melbourne 1934.

<sup>3</sup> Prodehl, A.: Untersuchungen über das Biegen gedämpfter Rotbuche, Diss. T.H. Dresden 1921, vgl. Z. VDI. Bd. 75 (1921), S. 1217.

kann nicht nur die Zunahme der Verformbarkeit durch das Dämpfen entnehmen, sondern vor allem das ganz verschiedene Verhalten des Holzes bei Zug und Druck. Es läßt sich zeigen, daß dieses unterschiedliche Verhalten, das für die Biegetechnik von höchster Wichtigkeit ist, im Feinbau des Holzes und in den elastischen bzw. plastischen Eigenschaften seiner Bestandteile begründet ist<sup>1</sup>. Die Zugkräfte werden hauptsächlich von den kristallinen Bereichen in den Lamellen der Holzfasern aufgenommen, also von der Cellulose, die ein hochelastischer Körper ist. Die Folge ist Gültigkeit des Hooke'schen Gesetzes fast bis zum Bruch und geringe Bruchdehnung; beim Druck hingegen werden die Kräfte größtenteils von der Mittellamelle, also von den ligninreichen Ver kittungsschichten, sowie von den amorphen Lockerstellen aufgenommen. Der schraubige Bau der Faserwandungen kann dabei sogar zu einer Umformung von Längs- in Querkräfte führen<sup>2</sup>. Die Folge ist, daß die Plastizität hier starken Einfluß gewinnt und sich an den elastischen Ast der Spannungs-Formänderungskurve ein stark ausgeprägter plastischer Teil anschließt. Wie ersichtlich, verhalten sich beispielsweise bei dem in Bild 850 gezeigten Holz  $\epsilon_z/\epsilon_d$  wie 1:2. Durch Dämpfen verändert sich das Verhältnis wesentlich, z. B. in 1:16.

Wie kompliziert die Formänderungen beim Biegen sind, läßt sich am besten an Hand eines Grenzfalls untersuchen. A. Martens<sup>3</sup> hat, wie Bild 851 zeigt, einen Gummistab von quadratischem Querschnitt bis zum Anliegen der Schenkelenden gebogen; an der Zugseite kam es zu einer starken Dehnung (maximal 82%), senkrecht dazu aber zu einer Einschnürung (21%), an der Druckseite zu einer Stauchung (48%) und Querdehnung (50%). Keine Längenänderungen fanden in der Linie *G*, keine Höhenänderungen in der Linie *E* statt. Bei dem spröden Holz können sich ähnlich starke Formänderungen nicht einstellen, aber man muß mit Spannungszuständen rechnen, die diese Formänderungen an sich herbeiführen wollen. Je größer das Formänderungsvermögen dabei ist, desto weniger werden die Spannungen eine gefährliche Höhe annehmen.

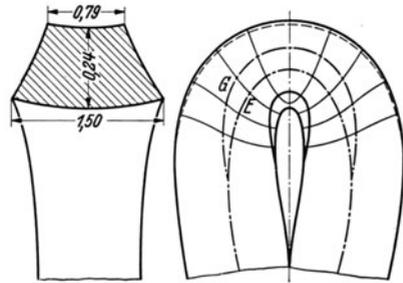


Bild 851. Verformung eines Gummistabes beim Biegeversuch. (Nach A. Martens.)

Um die tatsächliche Spannungsverteilung über dem Querschnitt eines Biegeteils — s. Bd. I, S. 786, Bild 696 — darstellen zu können, muß man zwei Voraussetzungen erfüllen: 1. Der Verlauf der Formänderungen bei Zug- und Druckversuchen muß einzeln ermittelt werden; 2. die Verteilung der Dehnungen über der Querschnittshöhe eines Biegeteils ist zu messen. Spannungs-Formänderungskurven für gedämpftes und ungedämpftes Rotbuchenholz zeigte schon Bild 850 nach A. Prodehl. Seine Untersuchungsergebnisse sind in den Bildern 852 und 853 Meßwerten von W. C. Stevens und N. Turner an Buche sowie von F. Fessel an Traubeneiche gegenüber gestellt<sup>4</sup>. Dabei zeigen sich sehr erhebliche Unterschiede. Bei den Zugversuchen stimmten insbesondere bei den gedämpften Stücken die Bruchspannungen nach Fessel mit jenen der englischen Forscher gut überein, während die Werte von Prodehl erheblich höher lagen. Noch

<sup>1</sup> Kollmann, F.: Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 10 (1952), S. 187.

<sup>2</sup> Münch, E.: Flora (N. F.) Bd. 32 (1938), S. 357.

<sup>3</sup> Nach E. Sachs: Mechanische Technologie der Metalle, Leipzig 1925, S. 93.

<sup>4</sup> Fessel, F.: Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 9 (1951), S. 56.

stärker sind die Abweichungen bei den Druckversuchen: Strukturunterschiede des Holzes dürften zusammen mit der Art der Vorbehandlung (Dämpfen) und

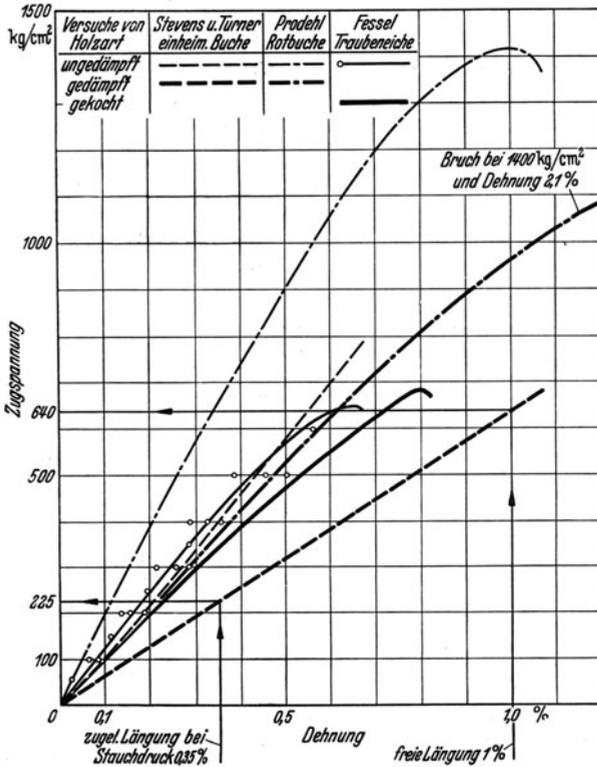


Bild 852. Zugspannungs-Dehnungsdiagramme für Traubeneiche und Rotbuche.

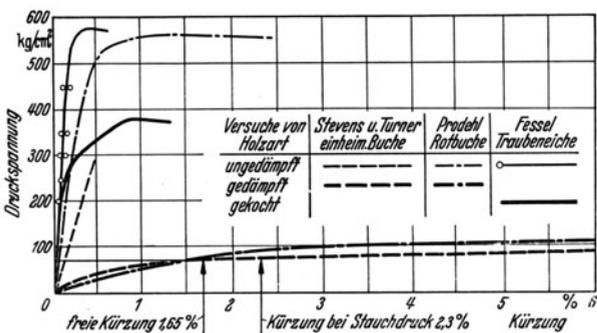


Bild 853. Druckspannungs-Kürzungsdiagramme für Traubeneiche und Rotbuche.

mit rechteckigem Querschnitt in zwei Bereichen getrennt zu behandeln, nämlich:

<sup>1</sup> Winter, H.: Holzformung, Teil K III der Richtlinien für den Holzflugzeugbau, Braunschweig 1944.

der Messung (insbesondere der Abkühlung vor der eigentlichen Messung) als Ursache zu buchen sein. Zur Ergänzung des vorliegenden Materials sei auf die entsprechenden Bilder in Bd. I verwiesen (S. 590, Bild 467 für Flugzeugkiefer, S. 618, Bild 501 für Buchenschichtholz SCH-T-BU-7, S. 619, Bild 502 für Buchenschichtholz SCH-T-BU-20). Für Preß-Schichtholz PSCH-T-BU-40/200 veröffentlichte H. Winter<sup>1</sup> Bild 854. Er bestimmte gleichzeitig experimentell einen geradlinigen Dehnungsverlauf über der Höhe des Biegebalkens im gesamten Belastungsbereich (Bild 855) und konstruierte aus dem Bündel der Dehnungslinien und Bild 854 den Spannungsverlauf gemäß Bild 856. Aus seiner Beobachtung, daß bis zur „sicheren“ Beanspruchung  $\frac{1}{2} \sigma_{bB}$  sowohl die

Dehnungen als auch die Spannungen nahezu geradlinig über der Trägerhöhe verlaufen, während darüber hinaus die Spannungen besonders auf der konkaven Seite des Trägers vom Geradlinengesetz abweichen, zog er den Schluß, daß es angezeigt ist, die Biegedeformationen am Balken

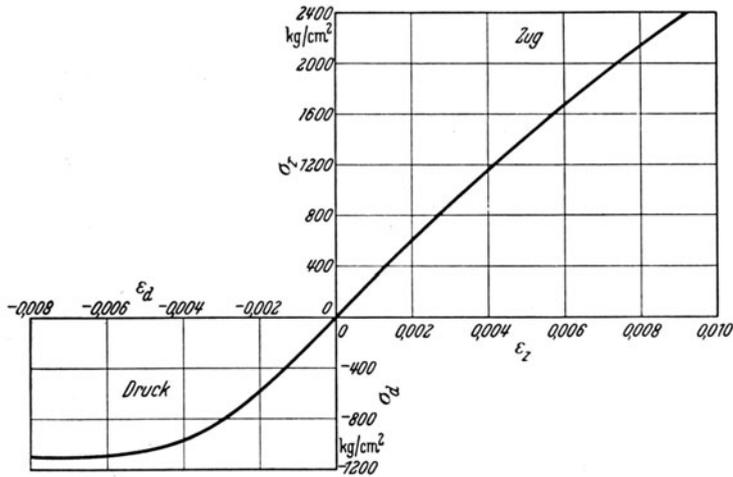


Bild 854. Spannungs-Formänderungsdiagramme für Preß-Schichtholz (PSCH-T-BU-40/200) beim Zug- und Druckversuch. (Nach H. Winter.)

a) elastischer Bereich unter folgenden Voraussetzungen

1. die Biegung erfolgt querkraftfrei, so daß im Balkenquerschnitt senkrecht zur Stabachse nur Normalspannungen auftreten;
2. gleiche Querschnitte der Biegeprobe bleiben vor und nach der Verformung eben;
3. die Spannungsverteilung über dem Querschnitt folgt dem Geradenliniengesetz.

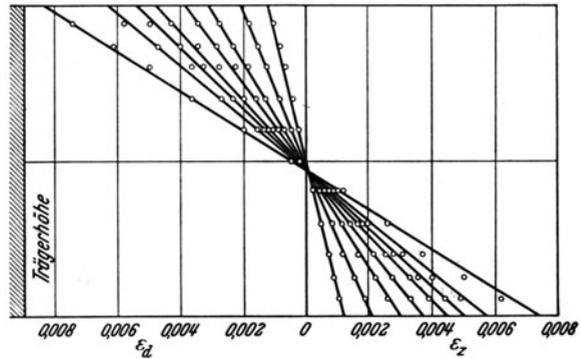


Bild 855. Dehnungsverlauf über der Höhe eines Biegebalkens aus Preß-Schichtholz im gesamten Belastungsbereich. (Nach H. Winter.)

Mit den Bezeichnungen von Bild 857 ergeben sich nachstehende Beziehungen:

$$d\alpha = \frac{\Delta l_1}{h_1} = \frac{\Delta l_2}{h_2} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{h} \dots (111)$$

mit  $dx = r \cdot d\alpha$  wird

$$\frac{1}{r} = \frac{d\alpha}{dx} = \frac{\frac{\Delta l_1}{h} + \frac{\Delta l_2}{h}}{dx} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{h} \dots (112)$$

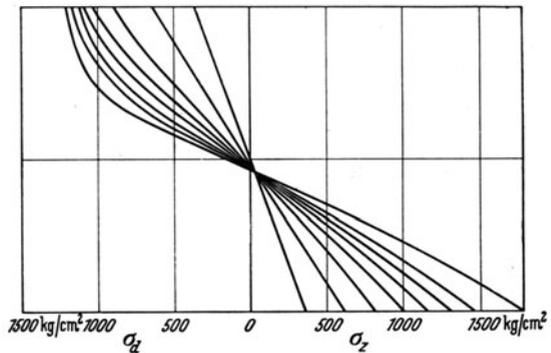


Bild 856. Spannungsverlauf über der Höhe eines Biegebalkens aus Preß-Schichtholz im gesamten Belastungsbereich. (Nach H. Winter.)

nach Voraussetzung ist  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$  und im sicheren Zustand

$$\sigma_{\text{sicher}} = \frac{1}{2} \sigma_{bB}, \text{ so da\ss hier}$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{bB}}{E_b}. \tag{113}$$

Somit folgt

$$\frac{r}{h} = \frac{E_b}{\sigma_{bB}}. \tag{114}$$

Das Verhältnis  $\frac{r}{h}$  bzw.  $\frac{r}{s}$  oder sein Kehrwert  $\frac{s}{r}$  (die „Verformungszahl“) sind also konstant, wenn  $E_b$  und  $\sigma_{bB}$  Festwerte annehmen. Zahlentafel 113 gibt Werte für den bezogenen („sicheren“) Krumungsradius von Flugzeugbauholzern. Man sieht, daß Buchen-Preß-Schichtholz die günstigsten Biegeeigenschaften aufweist und daß bei den Vollholzern in der Biegsamkeit die Laubhölzer den Nadelhölzern überlegen sind.

b) Plastischer Bereich. Um hier zu Rechenergebnissen zu gelangen, nahm H. Winter an

1. die Dehnungen verteilen sich geradlinig über dem Querschnitt;
2. die Schwerlinie des Biegequerschnitts bleibt neutrale Faser;  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_z$ .

Diese Annahmen treffen nicht zu, trotzdem reichen sie aus, um die Deformationsverhaltnisse beim Bruch mit der als weiter

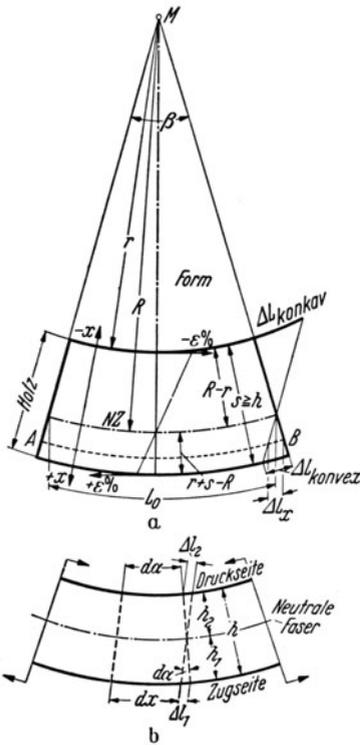


Bild 857. Bezeichnungen und Winkel an einem Biegeteil. (a nach R. Teichgräber b nach H. Winter.)

Zahlentafel 113. Bezogene Krumungsradien  $\frac{r}{h}$  verschiedener Flugzeugbauholzer bei sicherer

Spannung ( $\sigma_{\text{„sicher“}} = \frac{1}{2} \sigma_{bB}$ ). (Nach H. Winter.)

Holzart	$\sigma_{bB}^*$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_b^*$ kg/cm <sup>2</sup>	Bezogenen Krumungsradius
Kiefer . . . . .	650	100 000	152
Fichte . . . . .	550	100 000	180
Esche . . . . .	900	120 000	132
Buche . . . . .	900	140 000	158
Nußbaum . . . . .	900	120 000	132
Birke . . . . .	900	140 000	158
Linde . . . . .	650	70 000	108
Pappel . . . . .	500	80 000	160
Buchenschichtholz SCH-T-BU-7	1300	160 000	123
SCH-T-BU-20	1350	160 000	119
Buchen-Preß-Schichtholz . . .	3000	280 000	95

\* Diese Zahlenwerte entsprechen den festgelegten Rechenwerten.

gültig erachteten Gleichung (112) abzuschätzen. Für den Bruchzustand gilt dann überschlägig, wie schon im anderen Zusammenhang gezeigt:

$$\frac{R}{s} = \frac{1}{2\varepsilon_{zB}}. \quad (110)$$

Die Werte für das Verhältnis  $\frac{R}{s}$  von unbehandeltem Holz liegen im Bereich 40 bis 70.

Eine genauere Betrachtung der Biegemechanik stammt von R. Teichgräber<sup>1</sup>. Zur Ableitung einiger Beziehungen kann man von Bild 857a ausgehen:

Beim Biegen um den Winkel  $\beta$  wird ein Formteil von der Dicke  $s$  an der konkaven Innenseite um den Betrag  $\Delta L_{\text{konkav}}$  gestaucht, auf der konvexen Außenseite um den Betrag  $\Delta L_{\text{konvex}}$  gestreckt. Der Radius der Holzinnenseite ist gleich dem Formradius  $r$ , jener der Holzaußenseite gleich  $r + s$ . Für die theoretische Behandlung wird nun unterstellt, daß die Holzdicke vor der Biegung  $s$  gleich der Holzdicke nach der Biegung  $h$  sei. Deshalb genügt die Untersuchung im Bereich

$$r \leq R \leq r + s.$$

Man betrachtet nun die Formänderung einer Schicht des Bieeteils, die vom Mittelpunkt des Krümmungsradius den Abstand  $R + x$  hat. Ihre Länge  $\overline{AB} = L_o + \Delta L_x$ . Weiter gilt im Sektor  $ABM$

$$L_o + \Delta L_x = \beta (R + x). \quad (115)$$

Ferner gilt für die Länge  $L_o$  der neutralen Zone

$$L_o = \beta \cdot R. \quad (116)$$

Teilt man nun Gleichung (115) durch Gleichung (116), so erhält man

$$\frac{L_o + \Delta L_x}{L_o} = \frac{R + x}{R} \quad (117a)$$

und daraus

$$\frac{\Delta L_x}{L_o} = \frac{x}{R} = \varepsilon_x. \quad (117b)$$

Man untersucht nun die Grenzfälle, die dadurch gekennzeichnet sind, daß  $x$  mit der Außen- und mit der Innenseite des Bieeteils zusammenfällt.

Für die Außenseite ergibt sich

$$x_a = x_{\text{konvex}} = r - R + s \text{ und } \varepsilon_a = \frac{r - R + s}{R}. \quad (118)$$

Für die Innenseite ergibt sich

$$x_i = x_{\text{konkav}} = r - R \text{ und } \varepsilon_i = \frac{r - R}{R}. \quad (119)$$

Bei Division von Gleichung (119) durch Gleichung (118) erhält man

$$\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_a} = \frac{r - R}{r - R + s} \quad (120a)$$

oder

$$\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_a - \varepsilon_i} = \frac{r - R}{s} = \frac{x_i}{s}. \quad (120b)$$

<sup>1</sup> Teichgräber, R.: Über die Spannungszustände bei der Verformung von Holz und die dadurch geänderten Holzigenschaften, Diss. Univ. Hamburg 1953.

Somit ist der Abstand  $x_i$  der neutralen Zone von der Innenkante

$$x_i = R - r = s \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_a - \varepsilon_i}. \quad (121)$$

Gegenüber den Beobachtungen in der Praxis zeigen die theoretischen Werte Abweichungen, wofür sich zwei Hauptgründe angeben lassen: 1. In den meisten Fällen sind außer der eigentlichen Biegung Übergänge von  $\frac{s}{r}$  oder sogar gerade Teile vorhanden. Bild 858 zeigt, daß auch in diesen weniger oder gar nicht gebogenen Teilen Spannungszustände auftreten; im eigentlichen Biegeteil wird  $\varepsilon$

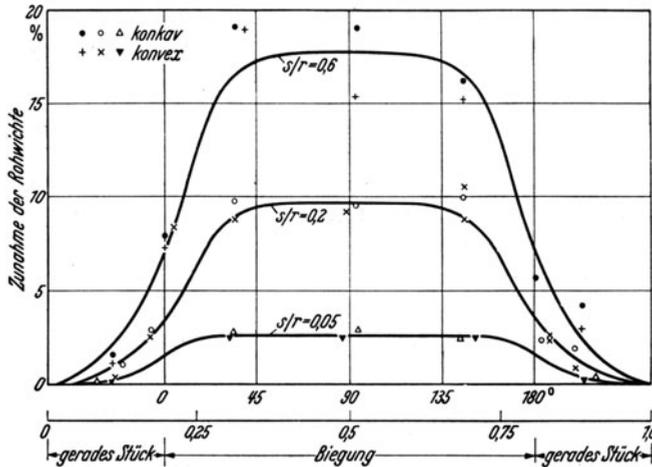


Bild 858. Zunahme der Rohwichte über der Hauptachse vom Biegeteil bei verschiedenen Verformungszahlen  $s/r$ . (Nach R. Teichgräber.)

niedriger, als nach der Theorie zu erwarten ist. Daraus folgt, daß sich die vor dem Biegen zur Längsachse senkrecht stehenden Querschnittsflächen nicht alle nach dem Biegen im Mittelpunkt  $M$  treffen. 2. Mit steigenden Verformungszahlen werden die Unterschiede der Holzdicke vor und nach dem Biegen größer.

Die elastischen und plastischen Deformationen lassen sich versuchsmäßig mit Hilfe von Meßmarken und des Meßmikroskops, wie R. Teichgräber zeigte, sehr genau bestimmen. Die zugehörigen Spannungen lassen sich aber nur ableiten, wenn man die Spannungs-Verformungskurven auch im plastischen Bereich sehr genau kennt. Dies wird erschwert durch die Spannungsabhängigkeit der Querschnittsfläche besonders im plastischen Bereich. R. Teichgräber hat deshalb bei seinen Versuchen einerseits die Umfangsänderungen des zylindrischen Prüfkörpers mit einer Feinmeßuhr bestimmt, andererseits die Ausgangs-Querschnittsfläche mit Hilfe einer Schraubenfeder aus hochwertigem Stahldraht gewaltsam konstant gehalten. Die so ermittelten Druckspannungs-Verformungskurven zeigt Bild 859, wobei die Kurven nicht bis zum Bruch aufgezeichnet sind. Wie ersichtlich haben die Kurven nicht nur im elastischen, sondern auch im plastischen Bereich einen geraden Ast. Die abweichenden Ergebnisse früherer Messungen sind wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß der Querschnitt als Bezugsgröße im plastischen Bereich eine Änderung erfuhr.

R. Teichgräber wählte für die mathematische Beschreibung der Kurven folgenden Ansatz:

$$\sigma = A (1 - e^{-\varepsilon n}) + P_l \cdot \varepsilon \quad (122)$$

Die Konstanten  $A$ ,  $n$  und  $P_l$  (wobei letztere als Plastizitätsmodul bezeichnet werden kann) lassen sich aus Versuchen einfach bestimmen.  $A$  erhält man als Ordinate des Schnittpunkts des verlängerten geradlinigen Kurvenastes im plastischen Bereich mit der Ordinate.  $P_l$  ist gleich der Steigung im plastischen Bereich. Mit diesen Werten berechnet man für verschiedene Kurvenpunkte ( $\varepsilon_i, \sigma_i$ ) Einzelzahlen von  $n_i$  und bildet daraus das arithmetische Mittel  $n$ .

Formt man Gleichung (122) um, indem man  $e^{-\varepsilon n}$  in eine Reihe entwickelt und nach dem linearen Glied abbricht, so erhält man, für kleine  $\varepsilon$ -Werte gültig:

$$\text{oder} \quad \left. \begin{aligned} \sigma &= A [1 - (1 - \varepsilon n + \dots)] + P_l \cdot \varepsilon \\ \sigma &\approx A n \cdot \varepsilon + P_l \cdot \varepsilon = \varepsilon (E_0 + P_l) = \varepsilon \cdot E \end{aligned} \right\} \quad (123)$$

Gleichung (123) entspricht mit dem letzten Ausdruck dem Hookeschen Gesetz unter der Annahme, daß der Elastizitätsmodul  $E$  auch schon bei kleinen Verformungen in einen rein elastischen Modul  $E_0$  und den Plastizitätsmodul  $P_l$  sich aufspalten läßt. Mit abnehmender Holzfeuchtigkeit läßt sich  $P_l$  nicht mehr eindeutig bestimmen, da das Holz die Bruchgrenze erreicht, bevor ein deutliches Fließen eintritt.

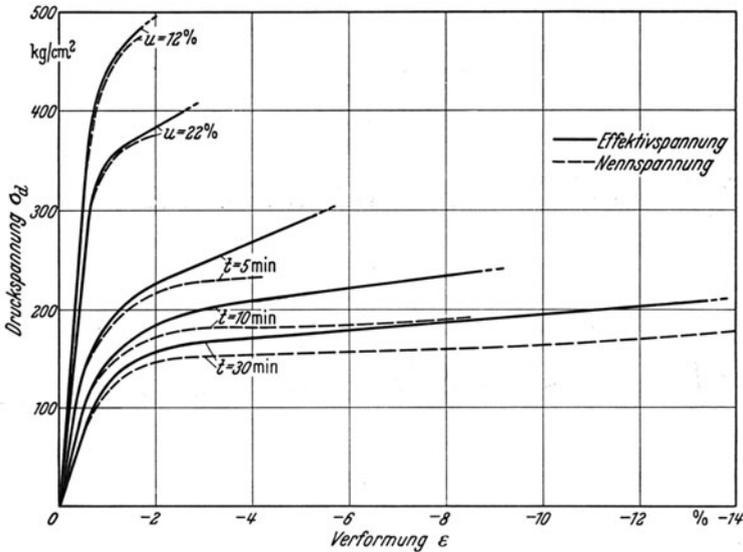


Bild 859. Druckspannungs-Verformungsdiagramme für Rotbuchenholz verschiedener Feuchtigkeit sowie nach verschieden länger Dämpfung. (Nach R. Teichgräber.)

Die Spannungsverteilung über dem Querschnitt von gebogenen Holzstäben ohne und mit Entlastung der Zugzone hat erstmals F. Fessel<sup>1</sup> diskutiert und gemäß Bild 860 dargestellt. Wie ersichtlich wird durch Entlastung der Zugzone — z. B. durch Anwendung eines Stauchdruckes auf die Enden des Biegestabes — die Längung auf der konvexen Zugseite auf 0,35% begrenzt. R. Teichgräber empfiehlt, die Verformung so durchzuführen, daß auf der konvexen Seite der Mittelwert der Dehnung 0,5% beträgt. Für diesen Wert

<sup>1</sup> Fessel, F.: Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 9 (1951) S. 56.

sind in Bild 861 die Längenänderungen über der Holzdicke aufgetragen zusammen mit den aus Gleichung (123) abgeleiteten zugehörigen Spannungen. Die Kurven zeigen, daß der Spannungsverlauf zwar grundsätzlich ähnlich ist

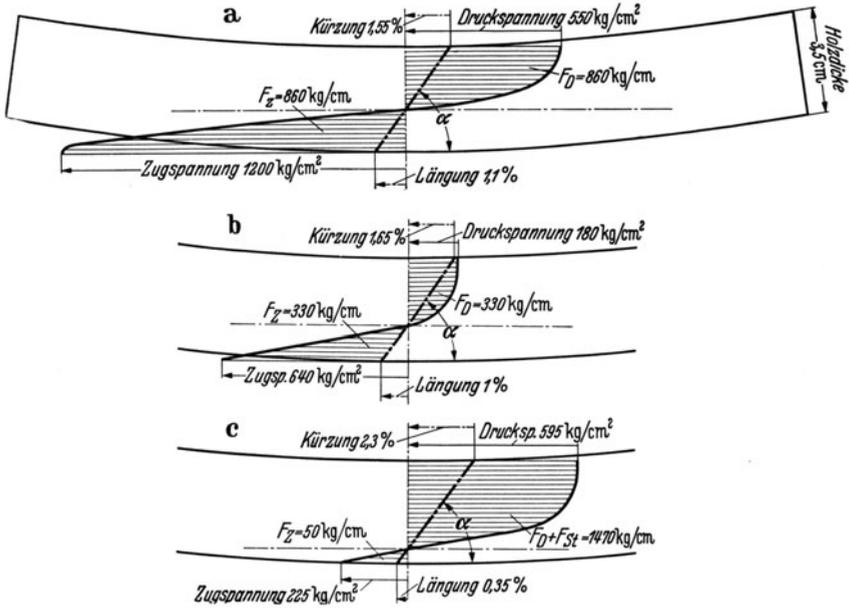


Bild 860. Spannungsverteilung und Formänderungen über dem Querschnitt gebogener Eichenstäbe unter verschiedenen Voraussetzungen. (Nach F. Fessel.)

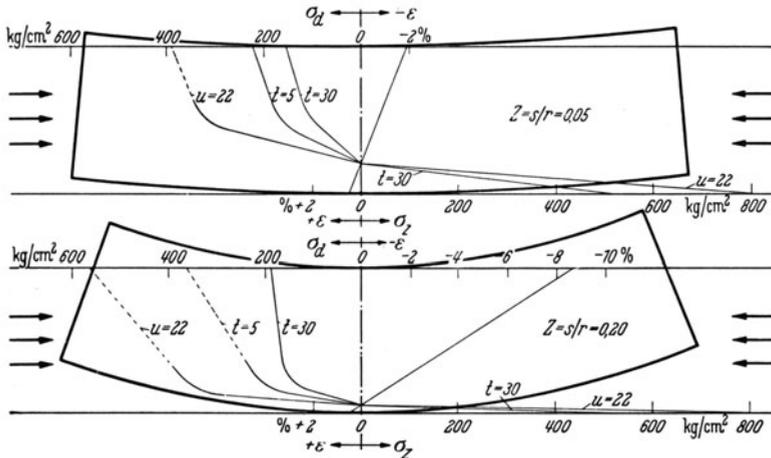


Bild 861. Spannungsverteilung und Formänderung über dem Querschnitt gebogener Rotbuchenstäbe unter verschiedenen Voraussetzungen. (Nach R. Teichgräber.)

wie der von Fessel vermutete, daß aber doch im einzelnen wesentliche Unterschiede bestehen. Bemerkenswert ist insbesondere, wie sich durch eine zunehmende Plastifizierung bei den zwei gewählten Verformungszahlen die Spannungszustände verändern.

## 891.2 Wahl und Beschaffenheit der Biegehölzer.

**891.21 Eignung verschiedener Holzarten zum Biegen.** Wie schon erwähnt, werden die Spannungen in Holzteilen beim Biegen um so weniger eine gefährliche Höhe annehmen, je größer das Formänderungsvermögen des Holzes ist. Unter diesem Gesichtswinkel gewinnt zunächst die Wahl und Vorbehandlung des Holzes große Bedeutung. Nur dadurch läßt sich hoher Ausschuß vermeiden. Man fand, daß Laubhölzer besser geeignet sind als Nadelhölzer, daß hohe Wichte kein Nachteil ist. Rotbuche, Esche, Hickory, Rüster erwiesen sich trotz ihrer hohen Wichte als vorzügliche Biegehölzer; auch Ahorn, Birke, Robinie, Kirsche, Haselnuß und Eiche besitzen gute Eignung. Die mangelhafte Eignung der Nadelhölzer dürfte sich aus den sprunghaft wechselnden mechanischen Eigenschaften der Früh- und Spätholzschichten erklären. Bei finnischem Kiefernholz verhält sich beispielsweise, wie A. Ylinen<sup>1</sup> zeigte, der Elastizitätsmodul des Frühholzes zu dem von Spätholz wie 1 : 4, die Zugfestigkeit wie 1 : 4,7 und die Druckfestigkeit wie 1 : 3,8. Daraus erklärt es sich, daß man beim Biegen eines Nadelholzbalkens im elastischen Bereich eine sich sprunghaft ändernde Verteilung der Biegespannungen über dem Querschnitt hat, wie A. Ylinen<sup>2</sup> berechnete (vgl. Bild 696, Bd. I, S. 786).

Zahlentafel 114. *Annähernder Krümmungsradius [mm], bis zu dem Holzteile gebogen werden können, ohne daß mehr als 5% Ausschuß entsteht. (Nach Forest Products Research Laboratory, Princes Risborough.)*

Holzart	Mit Biegeband	Ohne Biegeband
Banak ( <i>Virola merendonis</i> Pittier) . . . . .	760	1220
Birke, kanadische ( <i>Betula lutea</i> Michx.) . . . . .	76	430
Blackbutt ( <i>Eucalyptus pilularis</i> Smith) . . . . .	610	1220
Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> . L.) in England importiert . . . . .	100	370
„ „ in England gewachsen . . . . .	38	330
Camphorwood ( <i>Ocotea usambarensis</i> Engl.) Ostafrika . . . . .	250	410
Eiche, amerikanische Weiß- ( <i>Quercus</i> sp.) . . . . .	25	330
Eiche ( <i>Quercus robur</i> Ehrh.) in England gewachsen . . . . .	50	330
Esche, amerikanische ( <i>Fraxinus</i> sp.) in England importiert . . . . .	110	330
Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.) in England gewachsen . . . . .	64	300
Greenheart ( <i>Ocotea rodiaei</i> Mez) . . . . .	300	1420
Gurjun ( <i>Dipterocarpus</i> sp.) Indien . . . . .	760	—
Idigbo ( <i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.) . . . . .	760	1020
Iroko ( <i>Chlorophora excelsa</i> Benth. et Hook. f.) . . . . .	410	—
Karri ( <i>Eucalyptus diversicolor</i> F. Muell.) Südafrika . . . . .	200	320
Mahagoni ( <i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) Afrika . . . . .	760	810
Mahagoni ( <i>Swietenia macrophylla</i> King) Mittelamerika . . . . .	300	710
Obeche ( <i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.) . . . . .	300	710
Odoko ( <i>Scottellia coriacea</i> A. Chev.) . . . . .	760	1520
Pitchpine ( <i>Pinus caribaea</i> Morelet) Britisch Honduras . . . . .	360	710
Robinie ( <i>Robinia pseudacacia</i> L.) in England gewachsen . . . . .	38	280
Rüster ( <i>Ulmus hollandica</i> Mill. var. <i>major</i> Rehd.) in England gewachsen . . . . .	<10	240
Spruce [Fichte] [ <i>Picea abies</i> (L.) Karst.], europäisch, in England importiert . . . . .	760	—
„Tasmanian Oak“ ( <i>Eucalyptus obliqua</i> L' Herit.) . . . . .	400	610
Teak ( <i>Tectona grandis</i> L. f.) . . . . .	400	710

<sup>1</sup> Ylinen, A.: Acta Forest. Fenn. Bd. 50 (1942) S. 1 (Finnisch); vgl. Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 6 (1943) S. 180.

<sup>2</sup> Ylinen, A.: Über die Bestimmung der Spannungen und Formänderungen von Holzbalken mit rechteckigem Querschnitt, Helsinki 1943.

Weitere Anhaltspunkte über die Biegeeigenschaften einer Anzahl von Hölzern gibt Zahlentafel 114 nach Unterlagen des britischen Forest Products Research Laboratory. Die Tafel nennt den sicheren Krümmungsradius, bis zu dem ein Holzteil (gute Holzqualität, lufttrocken, 25 mm Dicke, bei Atmosphärendruck gedämpft) gebogen werden kann, ohne daß mehr als 5% aller gebogenen Stücke zu Bruch gehen<sup>1</sup>.

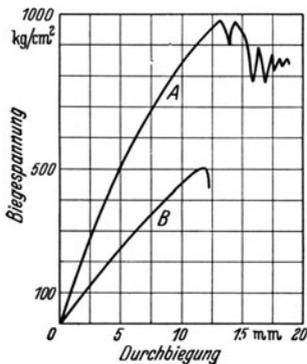


Bild 862. Biegespannungs-Durchbiegungs-Diagramme für Traubeneichenholz. *A* langfaseriges, zähes Holz, *B* kurzfaseriges, sprödes Holz. (Nach F. Fessel.)

Zugzone sehr leicht zu einem Abheben von Spreißeln, sobald das Zugband abgenommen wird. Rüster hingegen hat nicht nur sehr gute Biegeeigenschaften,

sondern scheint in der Regel bemerkenswert duldsam gegenüber Holzfehlern beim Biegen zu sein.

Den Einfluß der Struktur auf die Biegeeigenschaften von Eichenholz hat F. Fessel<sup>2</sup> näher untersucht. Bild 862 zeigt das Biegespannungs-Durchbiegungs-Diagramm von zwei Stäben aus Traubeneiche. Die Linie *A* entspricht einem langfaserigen, zähen Eichenholz, das zum Biegen gut geeignet ist. Die Biegefestigkeit betrug 970 kg/cm<sup>2</sup>, das Bruchgefüge ist langfaserig (Bild 863). Solches Eichenholz wächst zum Beispiel in Warmlagen auf Nordhängen, es hat große mittlere Jahrringbreite bei kleinem Frühholzanteil und dementsprechend hohe Rohwichte. Die Linie *B* gilt für kurz-

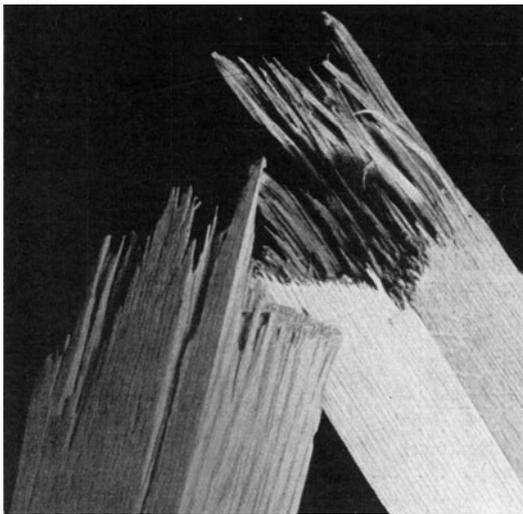


Bild 863. Bruchgefüge des langfaserigen, zähen Eichenholzes beim Biegeversuch. (Phot. F. Fessel.)

faseriges, sprödes Eichenholz, das nur eine Biegefestigkeit von 500 kg/cm<sup>2</sup> erreichte. Der Bruch ist kurzfaserig-treppenförmig (Bild 864).

<sup>1</sup> Stevens, W. C., u. N. Turner: Solid and Laminated Wood Bending, London 1948. — Über die Eigenschaften einiger südamerikanischer Hölzer beim Dampfbiegen s. bei M. Chudnoff u. F. S. Wangaard: The Steam-Bending Properties of Certain Tropical American Woods, Yale Univ. School of Forestry Techn. Rep. No. 6, New Haven, Conn. Oktober 1950.

<sup>2</sup> Fessel, F.: Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 9 (1951) S. 56.

**891.22 Auswahl ganzer Stämme als Biegeholz.** Noch unklare und sich widersprechende Ansichten herrschen bei den Holzbiegefirmen über die Auswahl der stehenden Stämme unter dem Gesichtswinkel der Biegequalität des Holzes vor. Obwohl das Alter, die Wuchsgeschwindigkeit, der Standort usw. sicher einen Einfluß haben, ergaben doch Untersuchungen im britischen Forest Products Research Laboratory, daß diese Faktoren von zweitrangiger Bedeutung sind, wenn nur das Biegeholz geradfaserig, astrein und fehlerfrei ist. Trotzdem bestehen Anzeichen dafür, daß beispielsweise das zum Biegen bestgeeignete Eschenholz von gut entwässerten Böden (z. B. in England aus den Gegenden mit rotem Sandstein) stammt. Meist findet sich das beste Biegeholz im Stamm oberhalb des Ansatzes zum Erdstamm. Zu vermeiden ist das Holz in der Nähe des Markstrangs sowie rasch oder besonders langsam gewachsenes Holz (bei Esche werden etwa 2,5 mm Jahrringbreite besonders empfohlen), überaltetes und vor allem von Pilzen angegriffenes Holz.

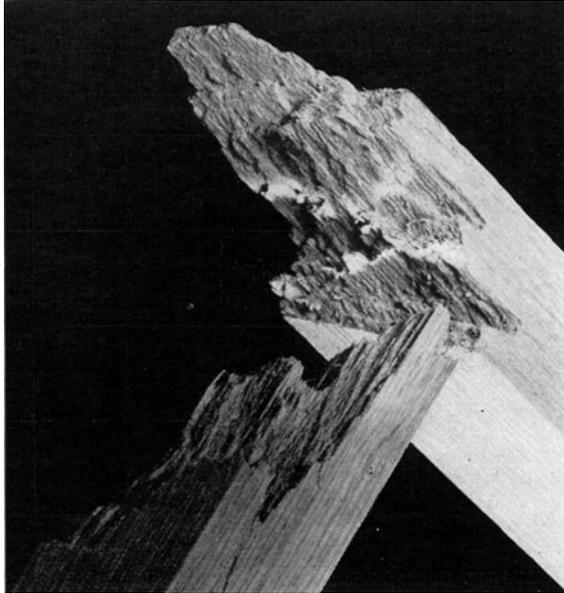


Bild 864. Bruchgefüge des kurzfasrigen, spröden Eichenholzes beim Biegeversuch. (Phot. F. Fessel.)

**891.23 Feuchtigkeit des Biegeholzes.** Die meisten Hölzer lassen sich grün kurz nach dem Fällen gut biegen, obwohl gewisse Holzarten (z. B. Eiche, Edelkastanie) in diesem Zustand beim Biegen auf kleine Krümmungsradien infolge des in den wassersatten Zellen entstehenden hydraulischen Drucks zu Faltenbrüchen neigen.

Zu beachten ist auch, daß die statischen Festigkeitseigenschaften der Hölzer unterhalb des Fasersättigungspunktes sehr stark mit abnehmender Feuchtigkeit ansteigen. Die Folge ist, daß zum Biegen sehr feuchten Holzes weniger Kraft aufzuwenden ist als bei trockenem<sup>1</sup> (Bild 865). Daraus mag sich die Neigung der Praxis erklären, Holz mit möglichst hoher Feuchtigkeit zu biegen. Allerdings können sich daraus erhebliche Schwierigkeiten ergeben. In der Regel wird deshalb luftgetrocknetes Holz mit einer Feuchtigkeit zwischen 17 und 25% zum Biegen verwendet. Dies bietet folgende Vorteile:

1. Nach Abnehmen des Biegebandes treten bei luftgetrocknetem Holz weniger Nachbrüche auf als bei grünem;
2. die Zeit für die Nachtrocknung ist kürzer;
3. die Fehler und Formänderungen beim Nachtrocknen sind geringer.

<sup>1</sup> Burmester, A.: Das Biegen von Holz nach Dampf- und Hochfrequenzplastifizierung, Dipl.-Arbeit Univ. Hamburg, Juli 1954.

Als Nachteile sind zu buchen :

1. Höherer Kraftaufwand beim Biegen des luftgetrockneten Holzes;
2. Auftreten von feinen, oft unkenntbaren Oberflächenrissen während der Lufttrocknung, die eine große Gefahrenquelle beim späteren Biegen bilden;
3. Verformung des luftgetrockneten Holzes beim Dämpfen vor dem Biegen.

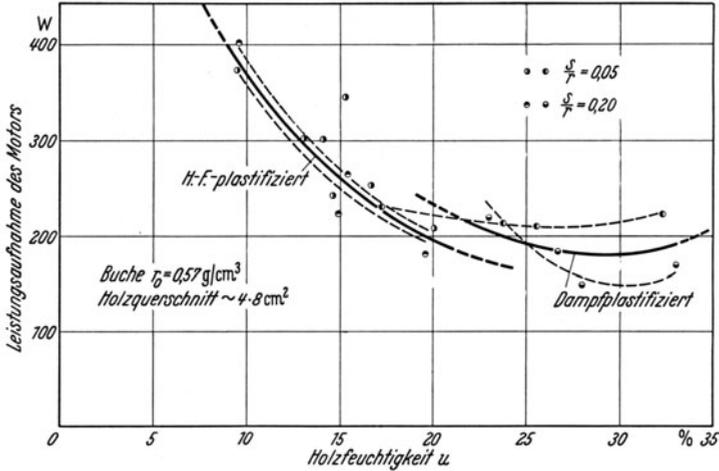


Bild 865. Unterschiede der zum Biegen von Buchenholz verschiedener Feuchtigkeiten aufgenommenen elektrischen Leistungen des Motors der Biegemaschine nach Hochfrequenz- und Dampfplastifizierung. (Nach A. Burmester.)

**891.24 Bearbeitung des Biegeholzes.** Als sehr wichtig erweist sich eine saubere Bearbeitung der Stäbe vor dem Biegen, da Fehler in der Oberflächenglätte vorzeitige Brüche begünstigen, die

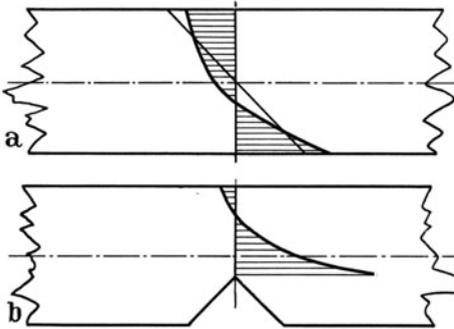


Bild 866. Schema der Spannungsverteilung über dem Querschnitt eines Biegestabes. a Ungekerbt, b Kerb in der Zugzone. (Nach F. Kollmann.)

herbeigeführt werden sollen, gewinnt die Kerbwirkung eine erhöhte Bedeutung. Die Veränderung der Spannungsverteilung durch eine in der Zugzone liegende Randkerbe zeigt Bild 866.

Bei ringporigen Hölzern ist weiter die Orientierung der Biegerichtung zu den Jahrringen von Bedeutung. Nach W. C. Stevens und N. Turner erhält man etwas bessere Ergebnisse, wenn die Jahrringe annähernd parallel zur Auflagefläche der Biegeform verlaufen,

als wenn sie senkrecht dazu stehen. Nach F. Fessel ist aber die Biegearbeit im zweiten Fall geringer. Im allgemeinen wird man der Jahrringlage außer bei besonders schwierigen Biegeaufgaben keine große Wichtigkeit beimessen.

### 891.3 Vorbehandlung des Holzes vor dem Biegen.

**891.31 Dämpfen.** Die zum Biegen erforderliche hohe Bildsamkeit erteilt man dem Holz meist durch Dämpfen. Gewöhnlich arbeitet man mit Dampf

von atmosphärischen Spannungen, also bei rund 100°C, und dämpft je 25 mm Holzdicke etwa 1 h. Manche Firmen wenden wesentlich längere Dämpfzeiten an. Es ist aber auch möglich, gespannten Dampf zu verwenden.

Erfolgt das Dämpfen so, daß die Hölzer nicht mit dem Kondensat in Berührung kommen können, dann wird als oberer Grenzwert eine Feuchtigkeit von 25% angestrebt. Beim Dämpfen wächst die „Erweichungsgeschwindigkeit“ — d. h. die Zunahme der Plastizität —, wie F. Kollmann<sup>1</sup> zeigte, verhältnismäßig der dritten Potenz des absoluten Dampfdrucks (Bild 867). Gespannter Dampf ist also stets wesentlich wirksamer als strömender, jedoch sind etwa 2 atü mit Rücksicht auf sonst unvermeidliche Zersetzung die obere zulässige Grenze. Entgegen vielfachen Anschauungen in der Praxis ist die Anwesenheit von etwas Kondensat beim Dämpfen nicht schädlich und läßt die Dämpfzeiten verkürzen (Bild 868).

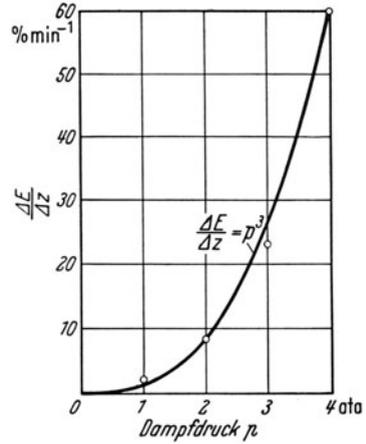


Bild 867. Abhängigkeit der Erweichungsgeschwindigkeit vom Dampfdruck. (Nach F. Kollmann.)

Den großen Einfluß der Dämpfzeit auf den Biegeerfolg zeigt Bild 869. Mit steigendem Dampfdruck und zunehmender Dämpfzeit finden in vermehrtem Umfang chemische Reaktionen im Holz statt. Von den chemischen Bestandteilen bleiben Cellulose und Pentosane völlig erhalten, jedoch verringert sich der Gehalt an Lignin und werden gewisse kurzkettige Holzpolyosen abgebaut. Hierauf weist auch die starke Säurebildung im Dampf kondensat hin (vgl. Bild 190).

Mit Heißdampf darf nicht gedämpft werden, da er das Holz weiter trocknet. Einen zweckmäßigen Dampfkessel, der in seinem unteren Teil immer etwas Kondensat enthält, zeigt Bild 870 im Schnitt.

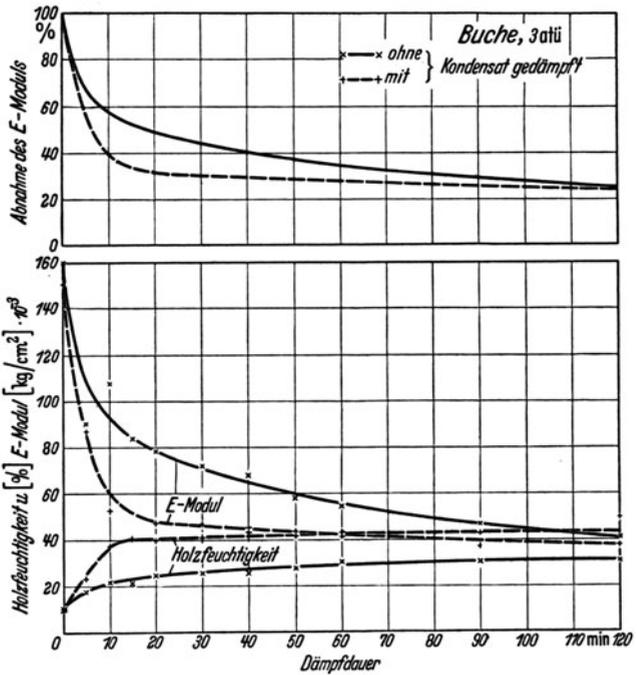


Bild 868. Veränderung des Elastizitätsmoduls und des Feuchtigkeitsgehalts von Buchenholzstäben beim Dämpfen ohne und mit Kondensat in Abhängigkeit von der Dämpfdauer. (Nach F. Kollmann.)

<sup>1</sup> Kollmann, F.: Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 2 (1939) S. 1.

Die Außenansicht eines ähnlichen Kessels, der aus Stahlblech autogen geschweißt und im Vollbad verzinkt ist, gibt Bild 871 wieder. Die Dämpfer besitzen meist Schnellverschlüsse. Für Massenwaren in Reihenherstellung verwendet man Dämpfer mit drehbarem Einsatz (Bild 872). Zum Arbeiten füllt man das vor der Beschickungsöffnung stehende Einbaufach und dreht dann den Trommeleinsatz mittels einer Kurbel um seine Achse, bis das nächste Einbaufach vor der Öffnung erscheint. Man füllt dieses, dreht den Einbau wieder um ein Fach weiter und so fort, bis alle Fächer gefüllt sind und das zuerst gefüllte Fach wieder vor der Öffnung auftaucht. Sein Inhalt ist inzwischen biegefertig gedämpft. Das Holz wird jetzt entnommen und das Fach sofort wieder gefüllt. Es kann also ununterbrochen an dem Dämpfer

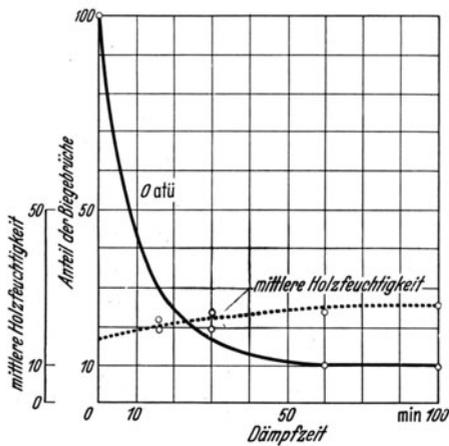


Bild 869. Anteil der Biegebrüche und der mittleren Holzfeuchtigkeit von Eichenholz-Faßdauben nach verschieden langer Dämpfzeit. (Nach F. Fessel.)

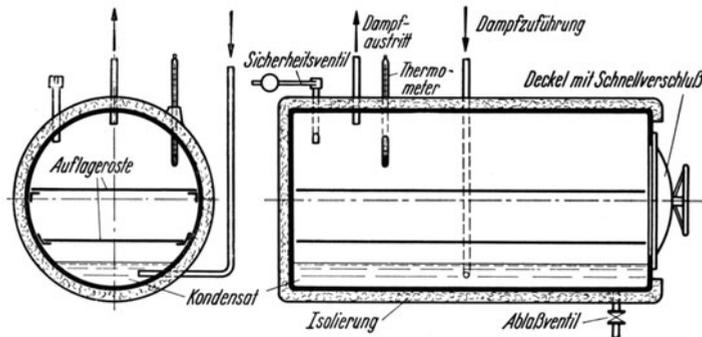


Bild 870. Querschnitt und Längsschnitt durch einen Dämpfkessel. (Nach F. Fessel.)

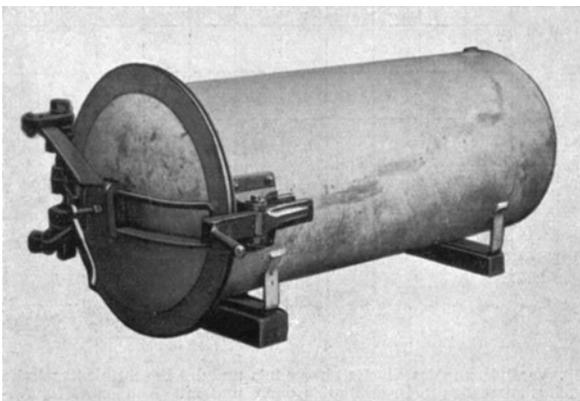


Bild 871. Ansicht eines Dämpfkessels aus Stahlblech, autogen geschweißt und im Vollbad verzinkt, Durchmesser wahlweise 625 und 800 mm, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen.

gearbeitet werden. Der Dampfaustritt ist sehr gering und belästigt den Arbeiter nicht. Durch mehr oder weniger vollständige Füllung der Einbaufächer kann man die Dämpfdauer den Holzabmessungen anpassen.

Bild 873 zeigt eine Dämpfhaube für Faßrumpfe. Sie besteht aus einer gußeisernen Grundplatte mit Rand, auf die eine Blechhaube herabgelassen wird. Für die Randabdichtung sorgt das

entstehende Kondenswasser. Das Zuleitungsrohr für den Dampf ist seitlich angeordnet. Eine andere Dämpfanlage zeigt Bild 874. Die einzelnen Dämpfkessel, deren jeder einen Faßrumpf aufnimmt, sind auf einem drehbaren Karussell untergebracht. Beim Herausnehmen eines gedämpften Rumpfes



Bild 872.

Ansicht eines Dämpfers mit drehbarem Einsatz, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen.

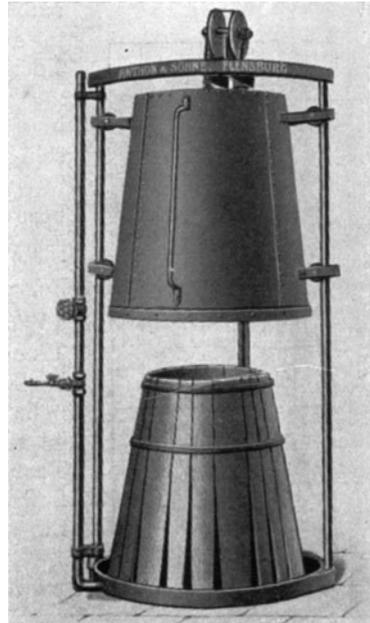


Bild 873.

Ansicht einer Dämpfhaube für Faßrumpfe, Bauart Anthon & Söhne, Flensburg.

wird gleichzeitig ein frischer Rumpf mit Hilfe einer Wechsellvorrichtung eingesetzt. Gleichzeitig wandert das Karussell um einen Kessel weiter. Dadurch wird es möglich, die gedämpften Werkstücke ohne nennenswerte Abkühlung schnell der Biegepresse zuzuführen.

**891.32 Kochen.** An Stelle des Dämpfens wird in gewissem Umfange in der Biegetechnik auch Kochen zur Plastifizierung angewendet. Meist erfolgt das Kochen mit Kondensat, das durch Einleitung des Abdampfes fortlaufend erwärmt wird. Der Nachteil des Kochens ist die im Vergleich zum Dämpfen stärkere Feuchtigkeitsaufnahme des Holzes in den Randschichten (Bild 875). Die Hölzer quellen dabei ungleichmäßig, werden unter Umständen wie beim übermäßigen Dämpfen „strohig-filzig“ und können sich verfärben. Wird gekocht, dann ist das Wasser von Zeit zu Zeit zu erneuern, da es sich sonst zu stark mit organischen Säuren aus dem Holz anreichert, wodurch hydrolytische Vorgänge eingeleitet werden können; die Biegsamkeit erhöht sich dadurch scheinbar, in Wirklichkeit aber tritt eine Schwächung der Holzgewebe durch Herauslösen von Bestandteilen ein.

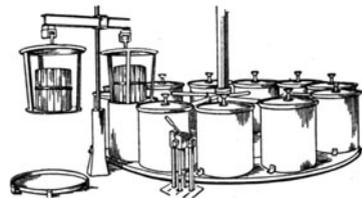


Bild 874. Schema eines Dämpfkessel-Karussells zum kontinuierlichen Dämpfen von Faßrumpfen. (Werkzeichnung Faßfabrik Diener & Roth, Stuttgart.)

**891.33 Sonderverfahren: Kochen und Stauchen.** Für bestimmte Zwecke (z. B. den Waggonbau) geeignete, dauernd biegsame Hölzer lassen sich nach einem patentierten Verfahren durch Kochen, Dämpfen im Unterdruck und Stauchen in der Faserrichtung, wobei durch ein starres Futter Querdehnung ausgeschaltet wird (s. Bild 343), erzeugen (vgl. Z. 7.12). Mikroskopische Untersuchungen gaben Aufschluß, daß die Ursache der guten Verformbarkeit in einer weitgehenden Lockerung des Faserverbandes durch das Stauchen zu suchen ist. Diese Lockerung wird wahrscheinlich in einer partiellen Zermürbung der Zementierungsschichten, d. h. in erster Linie der hochligninhaltigen Mittellamelle, beruhen. Man erreicht dadurch ohne besondere Vorrichtungen Verformungsverhältnisse

bis zu  $\frac{s}{r} = 2$ . Bei geeigneten Hölzern kann durch die Behandlung der Elastizitätsmodul bis auf etwa 10% des Ausgangswerts gesenkt werden<sup>1</sup>. Durch Trocknen geht ein erheblicher Teil der Verformbarkeit verloren, obgleich die Steifigkeit des unbehandelten Holzes nicht mehr erreicht wird. Es ist anzunehmen, daß scharfe Trocknung mit hohen Temperaturen einen besonders verfestigenden Einfluß ausübt, da durch solche Temperaturen ein Sintern des Lignins eintreten kann.

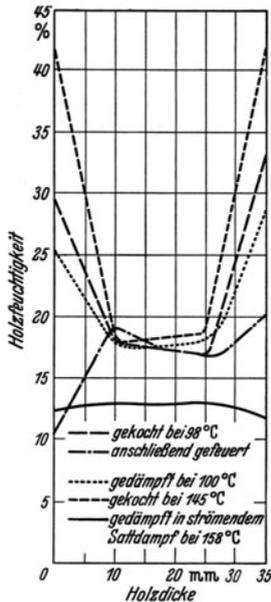


Bild 875. Feuchtigkeitsverteilung über Eichenholz-Faßdauben nach verschiedener Vorbehandlung. (Nach F. Fessel.)

durch aber nicht verbessern, allerdings kann man der Verfärbung des Holzes entgegenwirken. Neuere Versuche wurden im britischen Forest Products Research Laboratory durchgeführt, worüber W. C. Stevens und N. Turner in ihrem Buch berichten.

**891.34 Chemische Plastifizierung.** Schon frühzeitig hat man daran gedacht, durch geeignete Chemikalien das Holz besser formbar zu machen. In der Literatur findet man die Empfehlung, beispielsweise dem Wasser beim Kochen Alaun oder Salmiaklösung zuzusetzen. Die Biegefähigkeit läßt sich da-

Es zeigte sich, daß weder die in USA empfohlene Imprägnierung des Holzes mit einer gesättigten Harnstofflösung noch die mit Tanninlösungen gegenüber der Vorbehandlung durch Dämpfen oder Kochen nennenswerte Vorteile mit sich brachten. Auch bei Versuchen von B. Thunell und A. Hongslo<sup>2</sup> ergaben sich keine befriedigenden Wirkungen bei Tränkungen mit einer Harnstofflösung. Trotzdem dürfte es sich lohnen, die Untersuchungen auf diesem Gebiet fortzusetzen, allerdings kaum mit der Erwartung, dadurch neue technisch-wirtschaftlich anwendbare Biegeverfahren zu entdecken als vielmehr, um Einblicke in das Verhalten der Hölzer, ihrer anatomischen Gewebe sowie ihrer chemischen Bestandteile bei der Biegung unter verschiedenen Voraussetzungen zu erhalten.

<sup>1</sup> Vorreiter, L.: Tharandter forstl. Jahrb. Bd. 88 (1937) S. 573.

<sup>2</sup> Thunell, B., u. A. Hongslo: Plasticering av trä, Medd. Nr. 17, Svenska Träforskningsinstitutet, Trätekn. avd., Stockholm 1948.

Ein Beitrag dazu liegt von F. Kollmann<sup>1</sup> vor. Wassersatte Kiefern-splintholzstäbe wurden im hochfrequenten Wechselfeld auf verschieden hohe, aber

gleichbleibende Temperaturen erhitzt, und gleichzeitig wurde durch eine Folge von statischen Biegeversuchen, wobei die Spannung weit unter der Proportionalitätsgrenze lag, der Elastizitätsmodul als Zeitfunktion bestimmt. Die Ergebnisse zeigt Bild 876. Anschließend wurden wasser-satte Kernholzstäbe aus dem gleichen Stamm in gleicher Weise geprüft. Es zeigte sich, daß beim Kernholz die Erweichungsgeschwindigkeit wesentlich höher ist als beim Splintholz. Die von Anfang an sehr starke Plastifizierung des Kernholzes (Bild 877) legte die Annahme nahe, daß es sich um einen weitgehend chemisch bedingten Vorgang handelt. Da der Gehalt an Cellulose und Lignin im Splint- und Kernholz der Kiefer sehr wenig verschieden ist, müssen offenbar Nebenbestandteile für diese Erscheinung verantwortlich gemacht werden. Nachdem durch

Kaltextraktionsversuche der Beweis erbracht worden war, daß die Harze an dieser Erscheinung nicht oder nur unwesentlich beteiligt sind, wurde die Hypothese aufgestellt, daß gewisse Kernstoffe bei der Plastifizierung eine wichtige Rolle spielen können. Um die Vorstellung von „Weichmachern“ im Kernholz experimentell zu untermauern, wurde nun Splintholz mit Glycerin als typischem Weichmacher getränkt. In der Folge verhielt sich dieses mit Glycerin getränkte

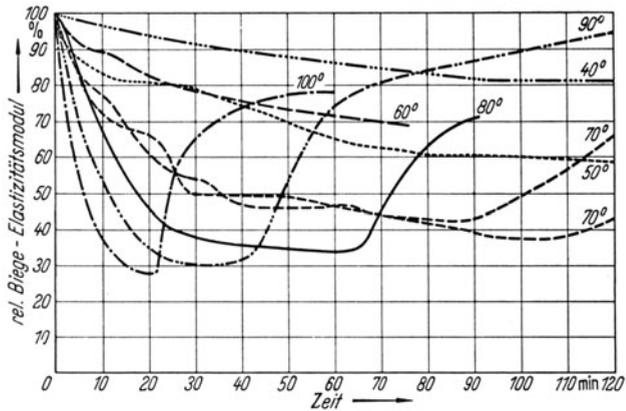


Bild 876. Veränderung des relativen Biege-Elastizitätsmoduls von wasser-satten Kiefern-Splintholzstäben bei Erwärmung auf verschiedene Temperaturen im hochfrequenten Wechselfeld in Abhängigkeit von der Zeit. (Nach F. Kollmann.)

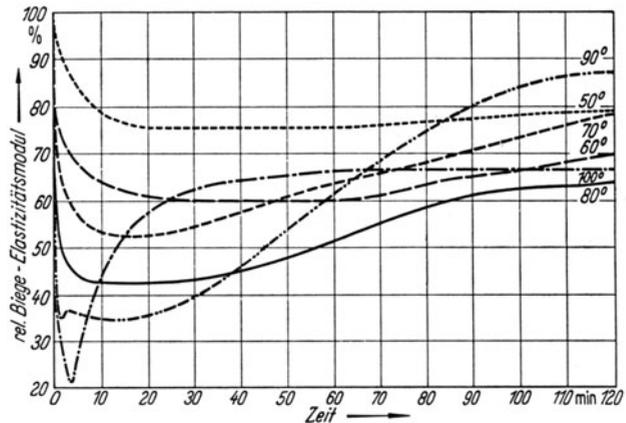


Bild 877. Veränderung des relativen Biege-Elastizitätsmoduls von wasser-satten Kiefern-Kernholzstäben bei Erwärmung auf verschiedene Temperaturen im hochfrequenten Wechselfeld in Abhängigkeit von der Zeit. (Nach F. Kollmann.)

<sup>1</sup> Kollmann, F.: Über das mechanische Verhalten von Kiefernholz bei Biegung und Temperaturen zwischen 20° und 100° C, Medd. Nr. 22, Svenska Träforskningsinstitutet, Trätekn. avd., Stockholm 1951.

Splintholz bei der Erwärmung hinsichtlich Elastizität und Plastizität sehr ähnlich wie das mit Wasser getränkte Kernholz (Bild 878).

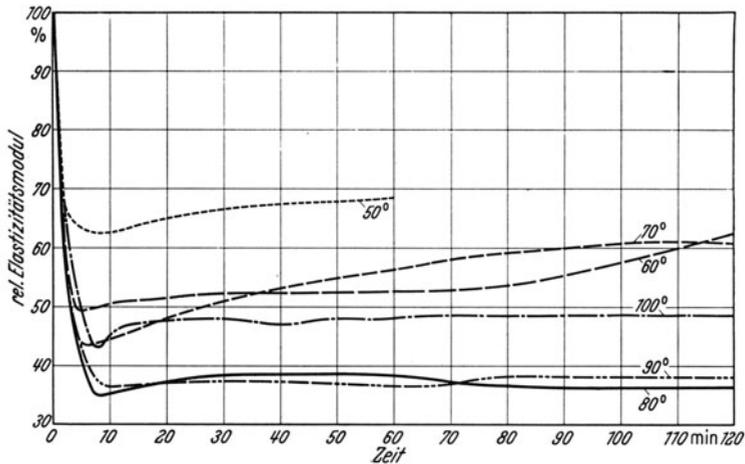


Bild 878. Veränderung des relativen Biege-Elastizitätsmoduls von glyceringetränkten Kiefern-Splintholzstäben bei Erwärmung auf verschiedene Temperaturen im hochfrequenten Wechselfeld in Abhängigkeit von der Zeit. (Nach F. Kollmann.)

**891.35 Hochfrequenz-Plastifizierung.** Ein besonders bemerkenswertes Ergebnis der Biegeversuche mit Kiefernholzstäben im hochfrequenten Wechselfeld war bei den Splintholzstäben das Vorhandensein einer kritischen Temperatur zwischen 60 und 70°C. Durch diese Erkenntnis gewinnt die Temperatur erhöhte Bedeutung und schiebt sich in den Vordergrund der Betrachtung des Biegeproblems, während man früher im Zusammenwirken von hoher Feuchtigkeit und Temperatur die Ursache der Erweichung sah. Diese Ansicht kann heute nicht mehr uneingeschränkt aufrecht erhalten werden. Vielmehr wissen wir, daß Temperatursteigerung sowohl physikalisch als auch chemisch mehr oder minder starke Veränderungen des Holzzustandes herbeiführt. Unter der Voraussetzung, daß auf geeignete Weise Feuchtigkeitsschwankungen verhindert oder vernachlässigbar klein gehalten werden, handelt es sich um folgende Erscheinungen: 1. Abnahme der Kohäsion durch Gitteränderungen infolge der Wärmeausdehnung; 2. vermehrte molekulare Wärmebewegung, wodurch sich die Potentialverteilung im Stoffinnern ändert; 3. Schmelzen und Sintern gewisser Bestandteile der Zellwand und sonstige chemische Reaktionen, die offenbar schon bei sehr geringem Restwassergehalt und verhältnismäßig niedrigen Temperaturen einsetzen können (vgl. Z. 762. 93).

Durch Untersuchungen verschiedener Forscher, hauptsächlich aber von A. E. Higgins und Fl. V. Griffin<sup>1</sup> wurde bekannt, daß man durch Temperatur- und Drucksteigerung bei Holz zunächst in ein elastisch-plastisches Gebiet gelangt, das bei einer kritischen Temperatur um 160°C in ein viscoelastisches Gebiet übergeht (vgl. Bild 122). Aus vielen praktischen Beobachtungen (z. B. bei der Hitzevergütung von Holzfaserplatten, vgl. Z. 764. 532) und wissenschaftlichen Untersuchungen wissen wir, daß bei 145 bis 160°C eine Aktivierung des Lignins eintritt. Daneben dürften unter diesen Umständen

<sup>1</sup> Higgins, A. E., u. Fl. V. Griffin: J. Counc. Sci. Int. Res. (Australia) Bd. 20 (1947) S. 3671.

nach R. Runkel<sup>1</sup> Hydrolyse von begleitenden Kohlenhydraten, Umwandlung der Pentosen in Furfurol, teilweise Verharzung des Furfurols, möglicherweise auch seine Spaltung in Succindialdehyd und Ameisensäure sowie Polykondensation und Polymerisation der gebildeten reaktionsfähigen Gruppen laufen.

Als Vorstufe des Biegens schied aber Erhitzung bis vor kurzem aus zwei Gründen aus: einmal, weil man die beim Dämpfen und Kochen erfolgende Feuchtigkeitszufuhr als unerlässlich für den Biegeerfolg ansah, zum andern, weil bei Erhitzung von außen her die äußeren Schichten rasch ausgetrocknet wären. Mit dieser raschen Austrocknung wäre nicht nur der für das Biegen notwendige Mindestfeuchtigkeitsgehalt rasch unterschritten worden, sondern gerade die beim Biegen besonders beanspruchten Randschichten wären durch die stärkere Entwässerung und die damit wahrscheinlich verbundene Verschalung für Brüche geradezu vorherbestimmt worden.

Es zeigte sich aber<sup>2</sup>, daß Holzteile mit einem ihrem späteren Verwendungszweck angepaßten Feuchtigkeitsgehalt (der aber nicht unter etwa 14% liegen darf) in einem hochfrequenten Wechselfeld von vorzugsweise 10<sup>6</sup> bis 10<sup>7</sup> Hz praktisch ohne Feuchtigkeitsverlust rasch und gleichmäßig bis in ihr Inneres auf die Siedetemperatur des Wassers erhitzt werden können, und daß es genügt, diese Temperatur wenige Minuten aufrecht zu erhalten, um das Holz in diesem Zustand biegen zu können.

Die Plastifizierung des Holzes erfolgt unter der Wirkung der Erwärmung durch molekulare Reibung rascher und bei richtig eingestelltem Feuchtigkeitsgehalt etwa in gleichem Ausmaß wie beim Dämpfen und Kochen, bei dem sich zunächst nur die äußeren Holzschichten erwärmen und eine gleichmäßige Erhitzung des Holzinners infolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Holzes erschwert ist. Es hat sich herausgestellt, daß im Hochfrequenzfeld erwärmte und darin biegsam gemachte Hölzer bei gewissen Verformungszahlen auch dann ohne Brüche und Schäden gebogen werden können, wenn sie nicht völlig fehlerfrei sind, beispielsweise kleine Äste oder krummen Faserverlauf enthalten.

#### 891.4 Handbiegen.

**891.40 Allgemeines über das Handbiegen.** Unter Handbiegen versteht man die Biegeverformung von Holzteilen durch Handarbeit, wobei allerdings arbeitssparende Vorrichtungen, wie Hebel, Winden und dgl., Verwendung finden können, jedoch auf motorischen Antrieb verzichtet ist. Durch Motore bewegte Biegemaschinen haben offenbar gewisse Vorteile, jedoch auch Nachteile und begrenzte Anwendungsmöglichkeit. Sie sind überdies kostspielig und eignen sich nicht zur Herstellung sehr verschiedenartiger Biegeverformungen. Da es eine außerordentlich große Anzahl von Biegevorrichtungen und Hilfsmitteln gibt, können hier nur wenige besonders bewährte oder vielfach benutzte Einrichtungen besprochen werden.

**891.41 Kaltbiegen.** Nicht vorbehandeltes oder lufttrockenes Holz läßt sich im allgemeinen nur auf ein Verformungsverhältnis  $\frac{r}{s} \leq \frac{1}{50}$  ( $r$  = Krümmungsradius,  $s$  = Holzdicke) biegen. Die kaltgebogenen Teile sind weiter sehr elastisch und würden nach der Biegung in den ursprünglichen, gestreckten Zustand zurückfedern, wenn sie nicht durch eine starre Einspannung daran gehindert werden. Ein Beispiel für die Anwendung der Kaltbiegetechnik findet man

<sup>1</sup> Runkel, R.: Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 9 (1951) S. 41. — Derselbe u. K. D. Wilke: Ebenda S. 260.

<sup>2</sup> DBP Nr. 848 861 vom 9. 3. 1951.

bei Bootsplanken, die nach dem Biegen auf den Rippen befestigt werden. Bei sehr dünnen Teilen, die auf Festigkeit beansprucht werden und lediglich einseitig eine glatte Oberfläche haben müssen, kann man auch durch Verringerung der Furnierdicke und Anbringen von kammartigen Einschnitten (Bild 879) die Biegsamkeit beträchtlich erhöhen. Diese Technik findet häufig Anwendung bei der Herstellung von Gehäusen, Koffern u. dgl.

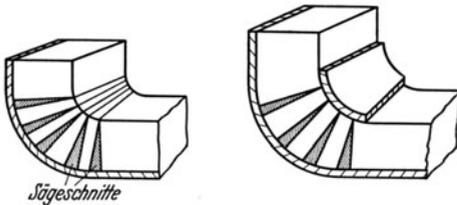


Bild 879.  
Schematische Darstellung gebogener Ecken mit kammartigen Einschnitten nach dem Überfurnieren.

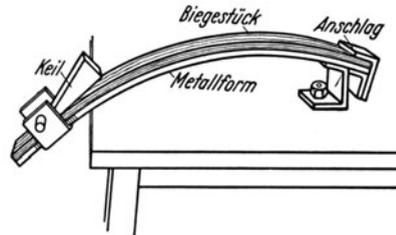


Bild 880. Schema des Biegens dünner Holzteile auf nicht zu kleinen Biegeradius über eine Metallform.  
(Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

**891.42 Heißbiegen ohne Biegeband.** Sobald Holzteile auf ein stärkeres Verformungsverhältnis gebogen werden und ihre Form beständig halten sollen, muß vor dem Biegen eine Plastifizierung gemäß Z. 891.31 bis 891.35 bewirkt werden. Das Biegen selbst erfolgt dann auf verschiedene Weise, vorwiegend aber nach einem der drei nachstehend beschriebenen Verfahren:

1. Biegen und Verspannen zwischen einer entsprechend gekrümmten Matrize und Patrize. Das Verfahren bringt Schwierigkeiten beim Nachtrocknen des gebogenen, noch in der Vorrichtung befindlichen Holzes mit sich;

2. Biegen und Verspannen über einer Form, die aus Holz oder meist aus Metall gefertigt ist (Bild 880). An Stelle einer Zwinne oder eines Keils zum Festspannen kann auch (z. B. bei der Herstellung von Stockgriffen) mit Seilspannung gearbeitet werden;

3. Biegen dünner Holzstreifen oder Furniere zu Reifen, Fässern u. dgl. über eine Trommel mit Andruckrolle (Bild 881). An der mittels Handkurbel gedrehten Trommel ist, wie das Bild zeigt, ein Stahlband befestigt. Der ge-

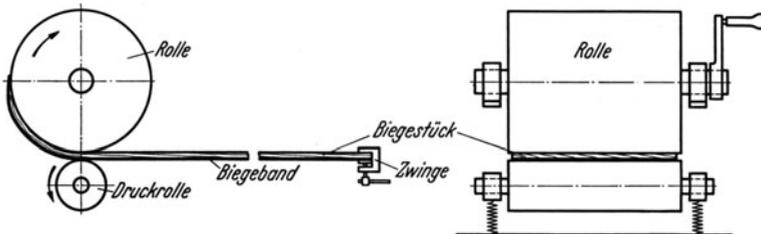


Bild 881. Schema des Biegens von Reifen, Faßmänteln u. dgl. über eine Trommel mit Andruckrolle.  
(Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

dämpfte Holzstreifen wird zwischen diesem Stahlband und der Trommel eingesetzt und dann werden Band und Holz so rasch wie möglich aufgewunden. Der rund gebogene Streifen wird sofort aus der Maschine gezogen und, wenn nötig, in einen Metallreifen eingesetzt, dessen Innendurchmesser gleich dem Außendurchmesser des Biegestücks ist. Die geschäfteten Enden des Reifens werden dann verleimt, geheftet oder angenagelt und das fertige Stück dem Metallring entnommen. Nach W. C. Stevens und N. Turner hängt der Trommel-

durchmesser von verschiedenen Faktoren, hauptsächlich von der Holzart und -dicke ab. Im allgemeinen empfehlen sich Versuche, um ihn festzulegen. Aus englischem Eschenholz, 11 mm dick, lassen sich Reifen mit 356 mm Innendurchmesser herstellen, wenn der Trommeldurchmesser 229 mm ist. Die Neigung des Holzes, zu brechen, wird stark verringert, wenn die freien Enden des Holzstreifens und des Stahlbandes, wie in Bild 881 dargestellt, miteinander verspannt werden.

**891.43 Heißbiegen mit Biegeband (Thonet-Verfahren).** Wenn das Verhältnis des Biegeradius zur Holzdicke unter den Wert von etwa 30 sinkt, sind ohne besondere Vorkehrungen häufige Brüche unvermeidlich. Der schon erwähnte Möbeltischler Michael Thonet fand bei seinen jahrelangen Versuchen, gebogene Möbelteile herzustellen, immer wieder, daß die Brüche an der konvexen Oberfläche entstanden und sich von dort aus ins Holzzinnere fortsetzten, während die gestauchten Teile an der konkaven Oberfläche in der Regel unversehr blieben. Thonets Streben ging zunächst dahin, die Folgen der Dehnung durch zweckmäßige Vorbehandlung (z. B. Kochen in Leim, Dämpfen) zu beseitigen. Dieser Weg konnte jedoch, wie schon nachgewiesen, nicht zu dem gewünschten Ziel führen. Einen völligen Umschwung leitete aber Thonets Gedanke ein, die Streckung der Fasern möglichst weitgehend zu verhindern. Zu diesem Zweck brachte Thonet auf derjenigen Stabseite, die beim Biegen konvex gekrümmt wird, ein Stahlblech (Biegeband) fest an; dadurch konnte sich das Holzteil während des Biegens nur mehr um die verschwindend kleine Dehnung des Stahlbandes verlängern. Damit eine Biegung überhaupt möglich ist, muß sich der gesamte Holzkörper stauchen, und zwar um so mehr, je weiter sein Abstand vom Biegeband oder Schutzblech ist. Die neutrale spannungslose Schicht wird also zwangsläufig aus dem Innern in die Nähe der gefährdeten konvexen Oberfläche verlegt.

Die Dicke des Biegebandes richtet sich nach der Dicke des zu biegenden Holzstücks und nach dem Krümmungsverhältnis; sie beträgt bei Stahlblech 0,2 bis 2 mm, im Durchschnitt etwa 0,75 bis 0,80 mm. Zu dünne oder minderwertige Bleche verbeulen, dehnen sich oder reißen, da der aufzunehmende Stauchdruck sehr hoch ist. Die Breite des Biegebandes muß stets etwas größer sein als jene des Biegestücks.

Damit Rostflecken oder Gerbsäureflecken vermieden werden, sollen die Biegebänder innen mit Papier überzogen werden oder ein dünnes Aluminiumblech oder eine Preßspanplatte als Zwischenlage verwendet werden. Um das Stahlband am Holz zu befestigen, gibt es verschiedene Wege. Am besten sind Metallwinkel oder -klötze als Widerlager; aber auch Hirnholzklötze lassen sich verwenden. Die Endflächen des Biegestücks müssen reichlich überdeckt werden.

Die Biegeformen können aus Holz oder Metall hergestellt werden. Holzformen eignen sich für einfachere Biegungen und beschränkte Biegeleistungen, Metallformen für verwickelte Biegungen und Massenproduktion. Die Ausführung einer einfachen U-förmigen Biegung von Hand mittels einer geeigneten Vorrichtung zeigt Bild 882 in der Anfangs- und Endstufe. Das Bild verlangt keine weiteren Erläuterungen, außer der, daß die Scheiteleinspannung des Biegestückes statt mit Keilen auch hydraulisch oder pneumatisch erfolgen kann. Die Rückenplatten sind notwendig, um eine gegensinnige Krümmung der Enden des Biegestückes und seine Ablösung vom Biegeband zu verhindern. Viele Fehlschläge in der Praxis sind darauf zurückzuführen, daß die Rückenplatten nicht vorhanden oder zu klein bemessen sind.

Bei der Biegevorrichtung gemäß Bild 882 sind die Handgriffe mit den Rückenplatten durch lösbare Klammern verbunden; diese Klammern werden nach dem Biegen und nach Anbringung des Spannschlusses entfernt, so daß die Handgriffe abgenommen werden können. Das Biegeteil ist jetzt in der durch Bild 883 gezeigten Form zum Trocknen bereit.

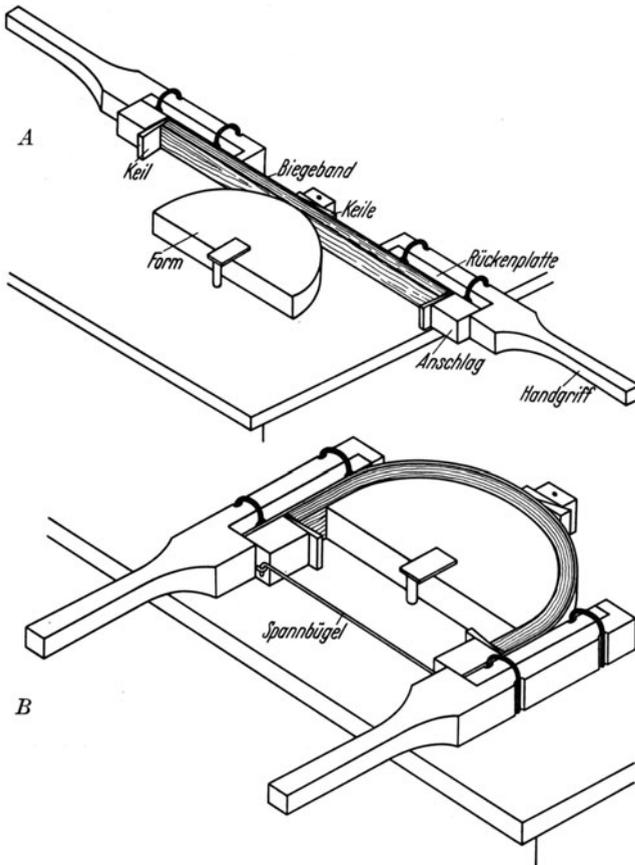


Bild 882. Vorrichtung zur Herstellung U-förmiger Biegungen von Handgriffen. A Anfangsstufe, B Endstufe. (Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

Das Biegeteil ist jetzt in der durch Bild 883 gezeigten Form zum Trocknen bereit. Unsymmetrische Formen lassen sich in zufriedenstellender Weise durch einfache Spannschlösser für eine einwandfreie Nachtrocknung sichern. Bei ihnen wie bei Ringen u. dgl. empfiehlt es sich, das Biegeteil fest auf die Form zu spannen und dann die Biegeteile über der Form nachzutrocknen.

Auch Teile mit großer Länge bei kleinem Querschnitt neigen zum Zurückfedern und zu Verwindungen. Häufig kommen bei ihnen bei der Abnahme von der Form auch Brüche vor. Die Hauptsache ist bei ihnen, daß das Biegeteil wirklich fest am Biegeband anliegt. Mit einer Spindel einstellbare Anschlagklötze gemäß

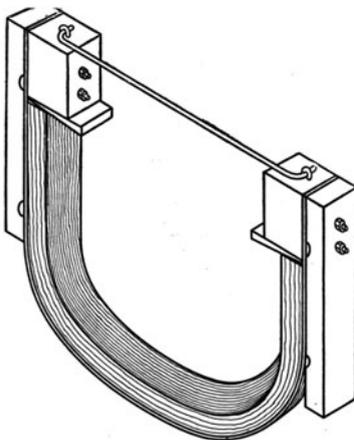


Bild 883. Fertig gebogenes Biegeteil mit Spannschloß. (Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

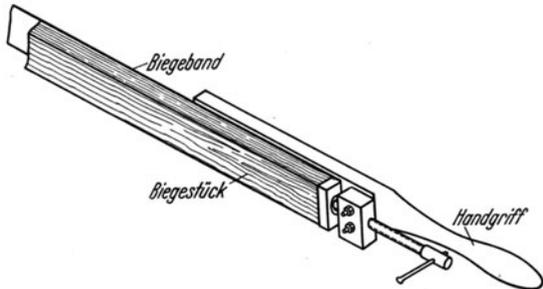


Bild 884. Mit einer Spindel einstellbare Anschlagklötze am Biegeband. (Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

Bild 884 beseitigen diese Schwierigkeiten. Zusätzlich können kleine Zwingen aus Flacheisen empfohlen werden, die abwechselnd senkrecht und parallel zur Biegeachse auf das Biegeteil aufgesetzt werden und seine Lage gegenüber dem Biegeband festlegen.

Sollen Biegungen in mehr als einer Ebene durchgeführt werden, dann sind die Biegebänder so anzuordnen, daß sie stets die konvexe Seite des Biegeteils vor Zugbrüchen schützen. Die Konstruktion eines Biegebandes für solche mehrfache Biegungen zeigt Bild 885. Bei S-förmigen Biegeteilen sind in der Regel zwei Biegebänder erforderlich.

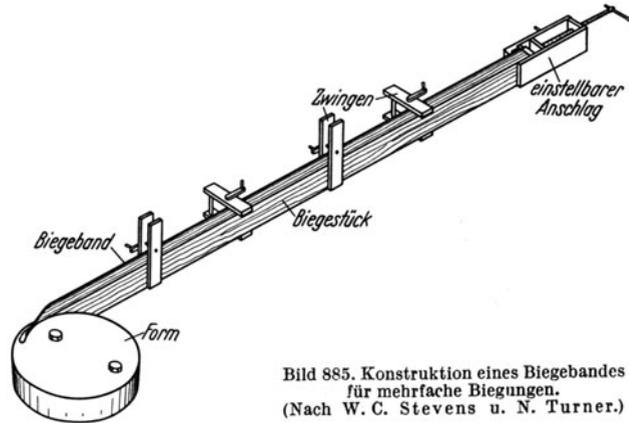


Bild 885. Konstruktion eines Biegebandes für mehrfache Biegungen.  
(Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

### 891.5 Maschinenbiegen.

**891.50 Allgemeines über das Maschinenbiegen.** Dem Maschinenbiegen liegen die gleichen mechanischen, physikalischen und technologischen Voraussetzungen zugrunde wie dem Handbiegen. Auch kann es ebenfalls bei freier Längung des Werkstücks, also ohne Biegeband, oder mit Biegeband durchgeführt werden. Zusätzlich kann bei schwächeren Krümmungen das Biegeband vermieden werden, wenn man einen entsprechenden Stauchdruck auf die Stirnseite des Biegeteils aufbringt, um unzulässig große Längung zu vermeiden. Die Biegemaschinen gestatten nicht nur die Durchführung sehr vieler Biegungen in verhältnismäßig kurzer Zeit, sondern sie ersparen den Arbeitern die schwere Handarbeit und erleichtern das Biegen größerer Teile ganz wesentlich. Der Energiebedarf der meisten Biegemaschinen liegt zwischen 1,5 und 3 kW.

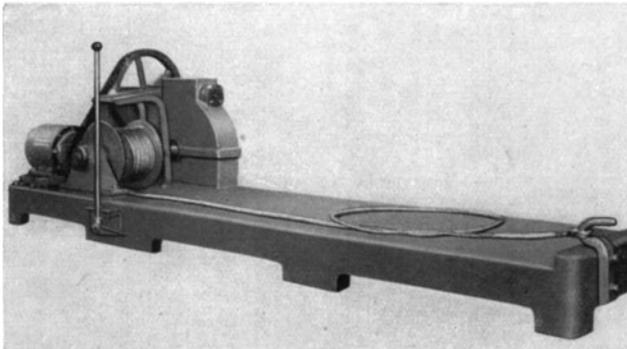


Bild 886. Ansicht einer Faßwinde für Dichtfässer, Bauart Gebr. Schmaltz, Offenbach a. M.

**891.51 Biegewinden, Glockenpressen.** Die vielleicht einfachste Form einer Biegemaschine besteht aus einer Arbeitsbank, auf der die Biegeform aufgespannt ist, und einer Winde mit Zugseil, das in einer Schlinge um das Biegeteil gelegt ist. Beim Arbeiten der Winde wird die Schlinge zugezogen und das Holz

fest gegen die Form gedrückt. Eine ähnlich arbeitende Faßwinde zeigt Bild 886. Mit ihrer Hilfe werden die kegelig aufgesetzten Faßrumpfe zusammengezogen.

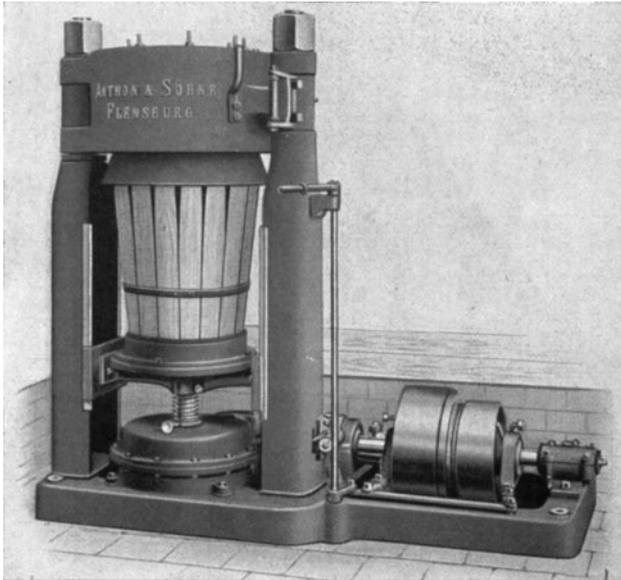


Bild 887. Ansicht einer Glockenpresse zum Zusammenziehen leichter Fässer beim gleichzeitigen Setzen der Arbeitsreifen, Bauart Anthon & Söhne, Flensburg.

Dem gleichen Zweck dienen auch Glockenpressen, die jedoch eine höhere Leistung haben. Eine Glockenpresse zum Zusammenziehen leichter Fässer bei gleichzeitigem Auftreibender Arbeitsreifen ist in Bild 887 dargestellt. Der in zwei unteren Arbeitsreifen aufgesetzte Faßrumpf, dessen Dauben nach oben konisch gespreizt sind, wird durch die Aufwärtsbewegung des mit einer Spindel angetriebenen Maschinentisches in die obere Glocke geschoben; dabei werden die Dauben gebogen und gleichzeitig die beiden oberen Arbeitsreifen aufgesetzt. Nach Öffnen der zweiseitigen Glocke kann der Faßrumpf entnommen werden.

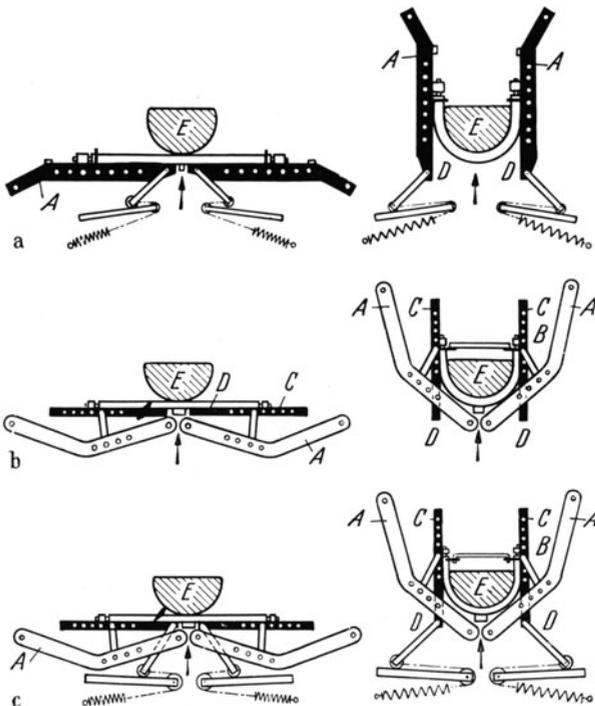


Bild 888. Konstruktionstypen von Biegemaschinen mit Biegebalken (schematisch).

**891.52 Biegemaschinen mit Biegebalken (Biegearmen).** Die Biegemaschinen mit Biegebalken besitzen kräftige Metallhebel oder -arme, durch welche die zum Biegen erforderlichen Kräfte auf das Holz-Biegeband-System übertragen werden. Es gibt verschiedene Konstruktionen, deren Hauptzüge aus Bild 888 ersichtlich sind:

a) Kraftübertragung durch das als Biegearm ausgebildete Preßstück A, das zu diesem Zweck sehr schwer sein muß.

Infolge der Federung walzt der Biegearm *A* das Holz auf die Biegeform *E* auf und erreicht formgenaue Biegungen, jedoch geht ein großer Teil der Federkraft zum Abstützen des schweren Biegearms *A* verloren. Die Biegebänder unterliegen beim Rücklauf erheblicher Beanspruchung und damit starkem Verschleiß.

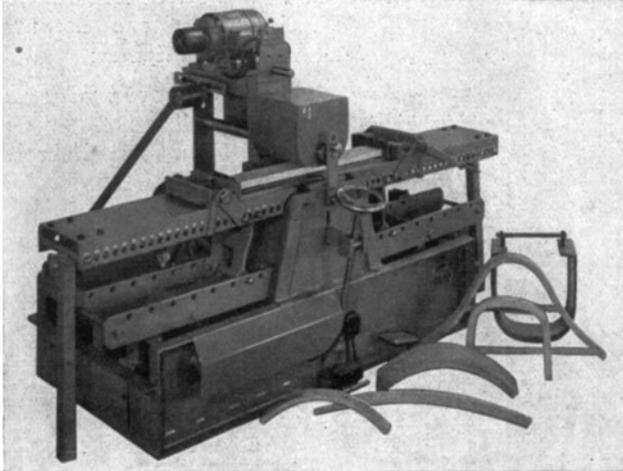


Bild 889. Ansicht einer Universalbiegemaschine für offene Biegungen, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen.

b) Kraftübertragung durch Biegearm *A* und Stützhebel *B* auf das Preßstück *C*. Da die Enden *D* der Preßstücke keinen Halt haben, heben sich diese von Anfang an bei der Biegung vom Holz ab und walzen das Holz nicht auf die

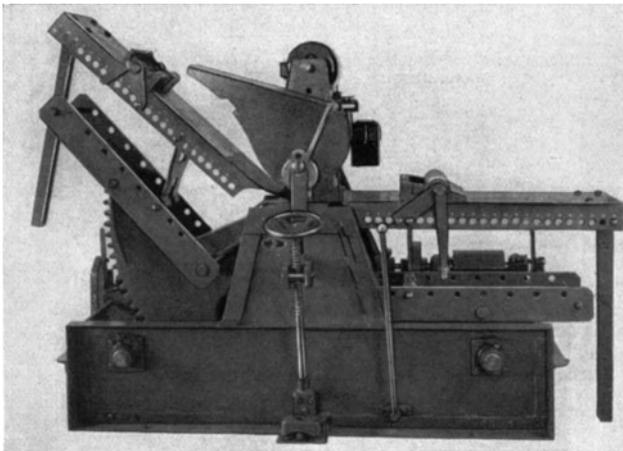


Bild 890. Ansicht einer Biegemaschine mit Differentialgetriebe zum Biegen unsymmetrischer Teile, auch solcher mit Gegenbiegungen, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen.

Biegeform auf. Die Biegeergebnisse werden deshalb teilweise ungenau. Beim Rücklauf der Maschine können die Preßstücke nach unten absacken, wodurch sich Arbeitsstörungen ergeben können und die Biegebänder verschleifen.

c) Kraftübertragung durch Biegearm *A* und Stützhebel *B* auf die Preßstücke *C*, deren Enden *D* gefedert sind. Die Federkraft wird fast restlos zum

Aufwalzen des Holzes auf die Biegeform  $E$  nutzbar gemacht. Man erhält formgenaue Biegungen. Das Biegeband wird nicht mehr beansprucht, eine Lochung in der Bandmitte ist entbehrlich.

Die meisten in der Holzindustrie verwendeten Biegemaschinen arbeiten nach dem unter b) genannten Prinzip. Aus der Vielzahl der Konstruktionen seien nur einige typische herausgegriffen und kurz beschrieben:

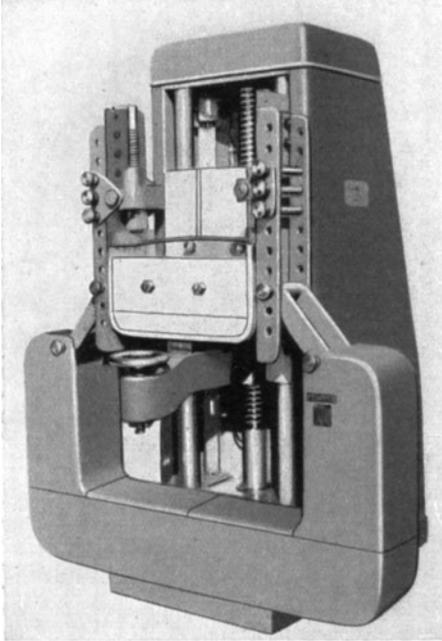


Bild 891. Ansicht einer Biegemaschine geschlossener Bauart, auch für Gegenbiegungen, Bauart Birzer & Co., München.

1. Universalbiegemaschine für offene Biegungen bis zur U-Form (Bild 889). Arbeitsbreiten 200 und 300 mm. Je nach der Art der Biegung können 35 bis 80 Biegestücke in der Stunde hergestellt werden. Betätigung der Maschine durch Fußschalter. Nach Durchführung der Biegung kommt die Maschine selbsttätig zum Stillstand. Über das Biegeteil wird dann eine Spannklammer gesetzt, worauf man die Maschine in die Ausgangsstellung zurücklaufen läßt. Mit einer Zusatzvorrichtung können auch doppelt gebogene Teile (z. B. Armlehnen) auf dieser Maschine gebogen werden.

2. Biegemaschine mit Differentialgetriebe zum Biegen unsymmetrischer Teile oder von Teilen mit Gegenbiegung (Bild 890). Die Biegebalken wirken unabhängig voneinander. Sie werden durch einen im Bild vorn sichtbaren Steuerknüppel gesteuert. Eine genaue Steuerung des Biegevorgangs ist nötig, weil sich bei

unsymmetrischen Biegungen sonst die leicht zu biegende Seite zuerst biegt, während die andere Seite abkühlt und ihre Plastizität wieder verliert.

3. Biegemaschinen geschlossener Bauart (Bild 891) für Biegebreiten bis 200 mm, Holz厚ken bis 65 mm und Holzlängen bis 2000 mm. Leistung 45 bis 60 Biegungen je Stunde. Die Biegejoche sind verstellbar, so daß sich beliebige Radien biegen lassen.

4. Biegemaschine für einseitig gebogene Teile, z. B. Schlittenkufen und Schaufelstiele (Bild 892). Das gedämpfte Holz wird in der Maschine auf das Biegeband gelegt und mit dem Handrad gegen die Form gepreßt. Der Biegebalken wird dann mittels Handkurbel oder Motorantrieb gehoben und biegt das Holz um die Form. Leistung 25 bis 30 Arbeitsgänge je Stunde. Bei 200 mm Arbeitsbreite können mehrere Biegeteile nebeneinandergelegt werden.

5. Zweiseitig arbeitende Biegemaschine für Massenherstellung schwachgekrümmter Teile (Bild 893). Die Biegearme der einen Maschinenseite gehen zum Biegen hoch, während sie auf der anderen Seite vom Biegen in die Anfangsstellung zurückbewegt werden. Auf jeder Seite können etwa 100 Biegungen je Stunde durchgeführt werden.

6. Kontinuierlich arbeitende Biegemaschine für Stuhlfüße und ähnliche Teile (Bild 894). Die Maschine arbeitet normal ununterbrochen, wobei die Biegearme vor Beginn jedes Arbeitsgangs kurz in Ruhestellung verweilen, so

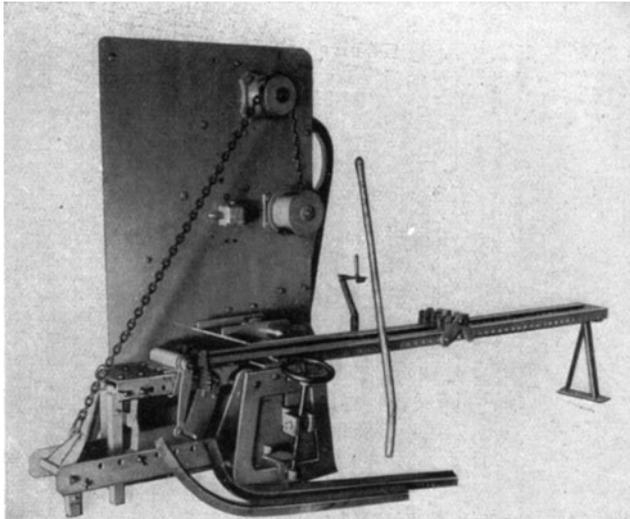


Bild 892. Ansicht einer Biegemaschine für einseitig gebogene Teile, z. B. Schlittenkufen und Schaufelstiele, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen

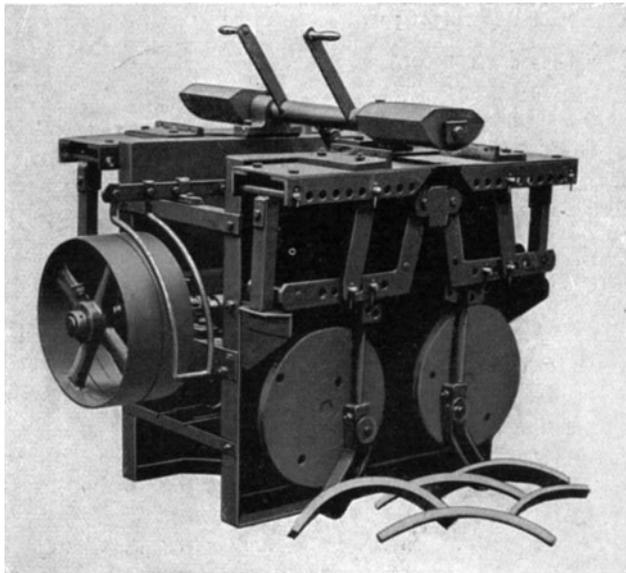


Bild 893. Ansicht einer zweiseitig arbeitenden Biegemaschine für die Massenherstellung schwach gekrümmter Teile, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen.

daß die vorher auf die Biegebänder gelegten gedämpften Holzteile eingeschoben werden können. Die Hubscheiben sind verstellbar. Arbeitsbreite 500 mm. Leistung je Stunde bis 180 Arbeitsgänge.

**891.53 Biegemaschinen mit Kniehebeln.** Schwach gebogene Teile (z. B. Kleiderbügel) lassen sich auch mit Kniehebel-Biegemaschinen herstellen. Bild 895 zeigt eine solche Maschine. Zum besseren Verständnis der Wirkungs-

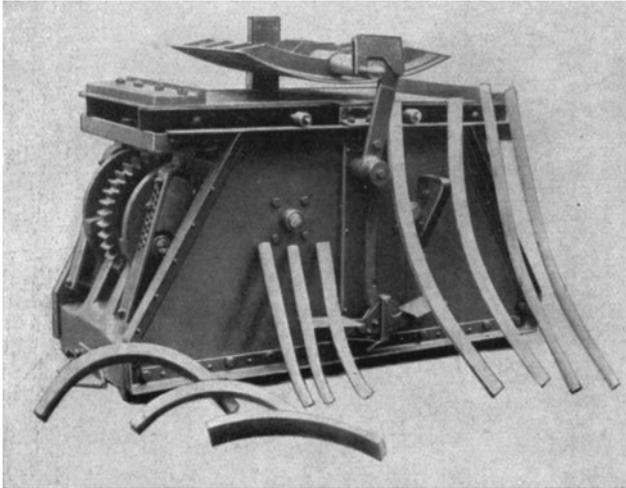


Bild 894. Ansicht einer kontinuierlich arbeitenden Biegemaschine für Stuhlflüsse und ähnliche Teile, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH., Wiesentheid bei Kitzingen.

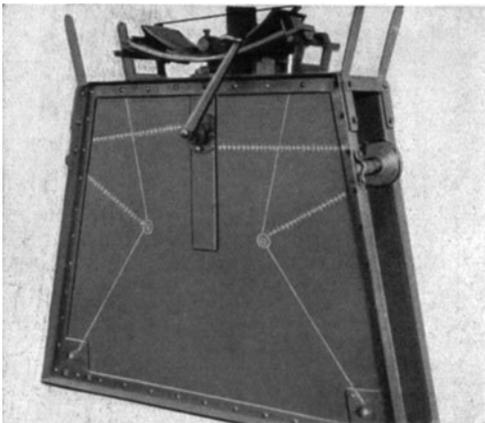


Bild 895. Ansicht einer Kniehebelbiegemaschine zur Herstellung schwach gebogener Massenwaren, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen.

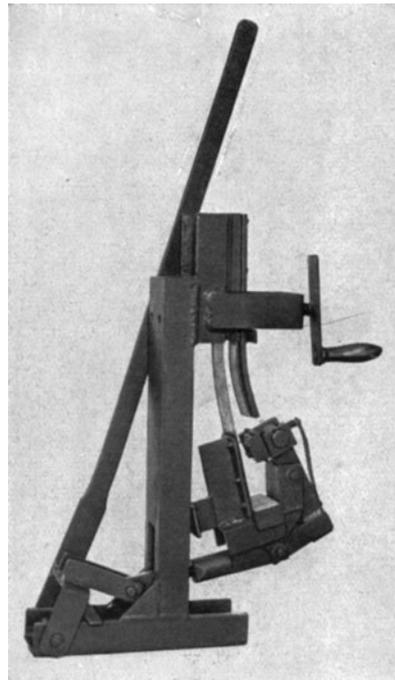


Bild 896. Ansicht einer Kniehebelbiegemaschine zur Herstellung von Schaufelstielen, Bauart A. Griesinger Maschinen- und Apparatebau, Stuttgart.

weise ist die Lage der beiden Kniehebel und der betätigenden Gliederketten auf der vorderen Schutzwand der Maschine aufgezeichnet. Eine Kniehebelmaschine zur Herstellung von Schaufelstielen ist in Bild 896 dargestellt. Das Biegeband

ist fest in die Vorrichtung eingebaut. Der gedämpfte Stiel wird von oben her bis zum unteren Anschlagklotz eingeschoben und dann im oberen Lager mittels Spindel und Handrad festgespannt. Bei der Massenfertigung können Reihen solcher Biegevorrichtungen (Bild 897) karussellartig angeordnet werden, wodurch eine fortlaufende Fertigung ermöglicht wird.

**891.54 Biegemaschinen mit umlaufendem Biegetisch.** Geschlossene oder fast geschlossene ringförmige Biegeteile werden meist auf Rundbiegemaschinen hergestellt, die ebenfalls mittels Biegeband arbeiten. Die Wirkungsweise ist aus dem schematischen Bild 898 zu ersehen. Die Biegeform ist auf dem Biegetisch oder einer Scheibe befestigt. Ein Ende des Holzes und des Biegebandes sind mit den Widerlagern in einem Rollschlitten eingespannt. Eine federbelastete Druckrolle preßt über einen Führungsarm das Biegeband und Holz fest gegen die Form und sichert so formgenaue Biegung. Maschinen dieser Art können fast jede Biegung durchführen, ohne daß wie bei den Biegearm-Maschinen der Biegewinkel begrenzt ist. Die Nachteile der Maschinen mit umlaufendem Biegetisch sind folgende:



Bild 897. Ansicht der karussellartigen Anordnung der Stielbiegemaschinen gemäß Bild 896, Bauart A. Griesinger Maschinen- und Apparatebau, Stuttg.

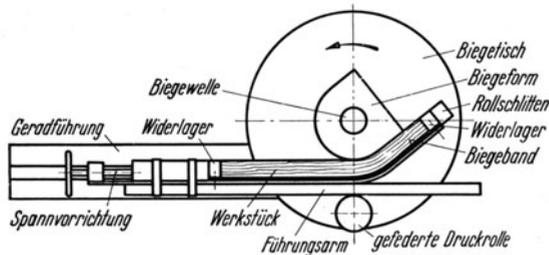


Bild 898. Schema einer Biegemaschine mit umlaufender Biegeform. (Nach E. Kivimaa.)

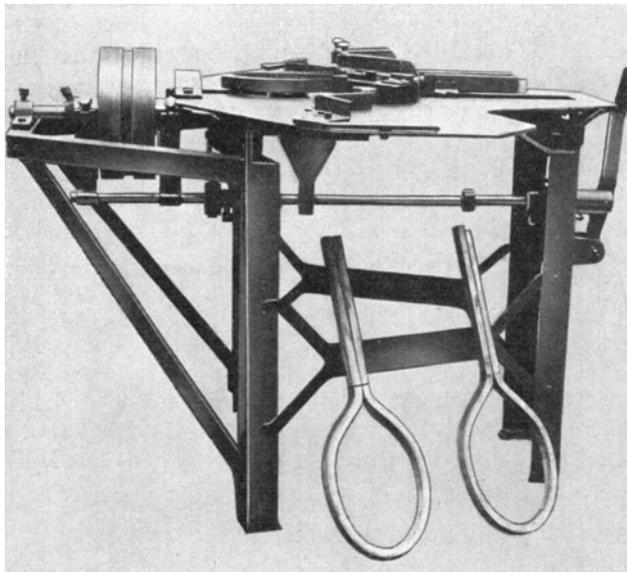


Bild 899. Ansicht einer Maschine mit Biegetisch, Bauart Holzbiegemaschinenfabrik GmbH, Wiesentheid bei Kitzingen.

1. Etwa verdoppelter Zeitaufwand gegenüber den Biegearm-Maschinen, da die Biegung von einem Ende aus einseitig und nicht von der Mitte aus gleichzeitig nach beiden Seiten zu erfolgt;

2. Neigung der nicht mit der Form in Berührung stehenden Holzteile, sich während der Biegung zu verwinden und seitlich auszuweichen.

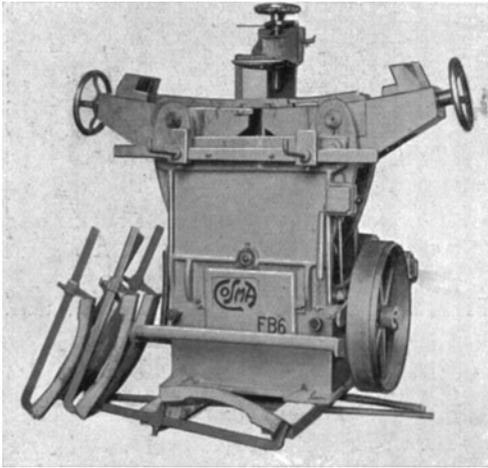


Bild 900. Ansicht einer Faßdauben-Biegemaschine, Bauart Cosma Maschinenbau, C. O. Scherzinger, Augsburg.

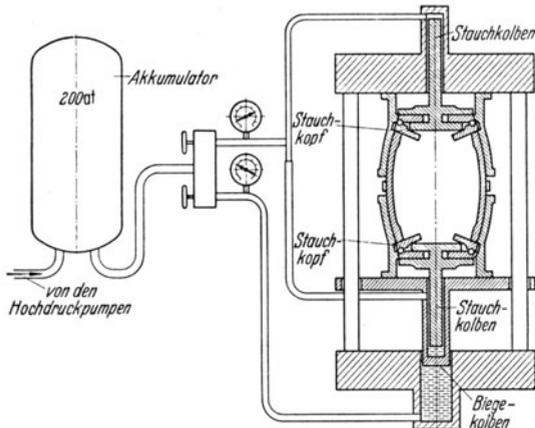


Bild 901. Schematischer Schnitt durch eine hydraulische Glocken-Faßpresse mit Stauchdruck auf die Dauben beim Biegen, Bauart Faßfabrik Diener & Roth, Stuttgart.

der Faßgröße ein Stauchdruck von etwa 30 bis 100 kg/cm<sup>2</sup> erforderlich, der mechanisch oder hydraulisch erzeugt werden kann. Das Bau- und Wirkungsschema einer hydraulischen Faßpresse geht aus Bild 901 hervor.

**891.56 Hydraulische Mehretagen-Biegepressen.** Gedämpftes Holz läßt sich bei nicht zu starken Krümmungen unter Umständen auch zwischen Patrizen und

Maschinen dieser Art haben sich bei der Anfertigung von Tennisschlägern aus Vollholz oder verleimten Dicken (Bild 899) oder von Stock- und Schirmgriffen gut bewährt. Biegeversuche mit Birkenholz auf einer derartigen Maschine hat E. Kivimaa<sup>1</sup> durchgeführt.

#### 891.55 Maschinen zum Biegen mit Stauchdruck (ohne Biegeband).

Bei schwachen Krümmungen kann man das Biegeband vermeiden, wenn man einer unzulässigen Längung des Biegeteils auf der konvexen Seite durch Aufbringen eines Stauchdrucks auf die Stirnseite des Biegeteils entgegenwirkt. Dieses Verfahren wendet man z. B. beim Biegen von Faßdauben an. Eine

Faßdauben-Biegemaschine zeigt Bild 900. Die Maschine arbeitet ununterbrochen und führt 7 Biegungen je min aus. Die Einstellung auf die Daubenlänge (bis zu 1000 mm) erfolgt mit den beiden seitlichen Handrädern, die Einstellung des Krümmungsradius mit dem oben sichtbaren Handrad. Auf die gebogenen Dauben werden Eisenklammern aufgesetzt, worauf die Dauben getrocknet werden.

Bei großen Leistungen biegt man ganze Faßrumpfe. Bei dünnwandigen Packfässern ist dies ohne Stauchdruck mit Glockenpressen nach Bild 887 möglich. Bei dickwandigen Dichtfässern ist je nach

<sup>1</sup> Kivimaa, E.: Koivun taivutuksesta (On the Bending of Birch), Valtion teknillinen tutkimuslaitos Nr. 54, Helsinki 1948.

Matrizen oder in Gesenken in Formen biegen und pressen. Verwendet man große Mehretagenpressen in Verbindung mit einer Reihe von Formen, dann können in einem Arbeitsgang viele Biegungen durchgeführt werden. Sind die Formen mit Dampf oder Heißwasser heizbar, dann erzielt man auch ein sehr rasches Starrwerden. In diesem Fall läßt man die Arbeitsstücke bis zur Formbeständigkeit in der Presse. Eine derartige hydraulische Heizpresse zeigt Bild 902. In den unteren vier Etagen werden Stuhlbeine, in den oberen Stuhllehnen gebogen. Je nach der Breite der Stuhlbeine und Lehnenteile können mehrere Biegestücke nebeneinander in eine Öffnung eingelegt werden. Werden in Biegepressen keine Biegebänder benutzt, dann muß der Krümmungsradius verhältnismäßig groß sein, auch dürfen keine zu hohen Ansprüche an die Formgenauigkeit gestellt werden. Es ist aber auch möglich, Biegebänder zu verwenden<sup>1</sup>.

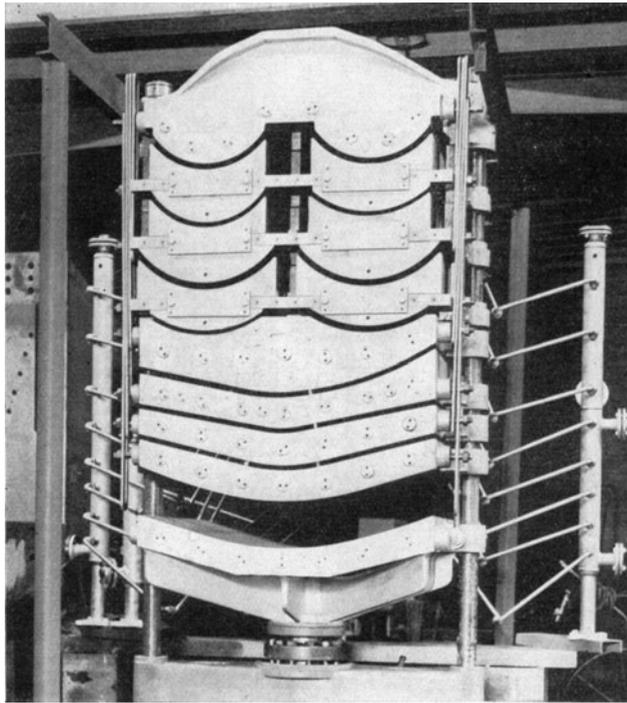


Bild 902. Ansicht einer kombinierten hydraulischen Heizpresse zur gleichzeitigen Herstellung von Stuhlbeinen und -lehnen, Bauart Niederrheinische Maschinenfabrik Becker & van Hüllen, Krefeld.

#### 891.6 Trocknung und Setzen der Biegeteile

Während des Biegens wird das zuvor plastifizierte Holz zwar mehr oder minder stark, ganz oder teilweise über seine Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht, jedoch werden auch Spannungen unterhalb dieser Grenze dem Biegeteil aufgezwungen. Die Folge dieser Spannungen ist die Neigung der Biegeteile, sich wieder innerhalb gewisser Grenzen zu strecken, wenn sie ohne besondere Vorkehrungen der Form entnommen werden. Das Ausmaß dieses Streckens hängt von verschiedenen Umständen, hauptsächlich von der Holzart, Feuchtigkeit und dem Verformungsgrad ab. Um die Biegeform dauernd zu erhalten, muß man deshalb sofort nach dem Biegen Klammern, Spannschlösser oder ähnlich wirkende Einrichtungen anbringen.

In diesem Zustand läßt man die verspannten Biegeteile abkühlen, wobei sie meist auch etwas Feuchtigkeit abgeben und einen erheblichen Teil ihrer Plastizität verlieren. Diese Stufe der Fertigung kann etwa als Umkehrung der Plastifizierung angesehen werden. Die Abkühlung allein genügt aber in der Regel nicht, um die Form völlig und dauernd zu stabilisieren. Vielmehr muß man — was auch

<sup>1</sup> Vgl. T. R. C. Wilson: Bending Wood Stock, Woodworking Industries, Nov. 1929.

im Hinblick auf die spätere Gebrauchsbewährung der Holzteile meist erwünscht ist — die durch das Dämpfen in das Holz hineingebrachte Feuchtigkeit wieder entfernen. Unerlässlich ist Nachtrocknung auch bei solchen Teilen, die ursprünglich eine sehr hohe Feuchtigkeit hatten.

In den meisten Fällen wird künstlich nachgetrocknet. Die gebogenen, eingespannten Hölzer vertragen in der Regel Temperaturen bis zu 100° C. Eine Kontrolle der relativen Luftfeuchtigkeit ist fast immer entbehrlich, da die verhältnismäßig kleinen Biegeteile leicht trocknen. Mit der Nachtrocknung sind infolge der Schwindung gewisse Formänderungen verbunden. Will man deshalb gebogene Teile mit genauen Abmessungen verwenden, dann muß man die Biegeteile mit Übermaßen herstellen, sie nach dem Biegen nachtrocknen und zum Setzen bringen, anschließend in einem klimatisierten Raum den völligen Feuchtigkeitsausgleich herbeiführen und erst dann die maschinelle Feinbearbeitung der Teile vornehmen. Auch bei weniger hohen Ansprüchen sollen die Biegeteile im Anschluß an die Nachtrocknung (die 24 bis 160 h dauern kann) in einem warmen Raum mit nicht zu niedriger relativer Luftfeuchtigkeit zum Ausgleich gebracht werden.

#### 891.7 Eigenschaftsänderungen der Hölzer beim Biegen.

##### 891.70 Allgemeines über die Eigenschaftsänderungen der Hölzer beim Biegen.

Gemeinsam ist allen Geräten zum Biegen von Vollholz, wenn stärkere Formänderungen erzwungen werden sollen, die Entlastung der Zugzone, sei es durch Auflegen von Stahlbändern, sei es durch Anwendung eines Stauchdrucks. Die Folge ist, daß sich beim Biegen an Stelle der sonst zu erwartenden normalen Spannungsverteilung eine Spannungsverteilung ähnlich Bild 860 einstellt. Man kann daraus ersehen, daß hierbei die Stauchbarkeit des Holzes so weitgehend wie möglich ausgenützt wird, um die beim Biegen unvermeidliche starke Verformung auf unschädliche Weise unterzubringen. Wie nahe man aber immer wieder der Bruchgrenze kommt, beweisen die in der Praxis oft auftretenden Falten und Quetschungen auf der Druckseite (Bild 903).

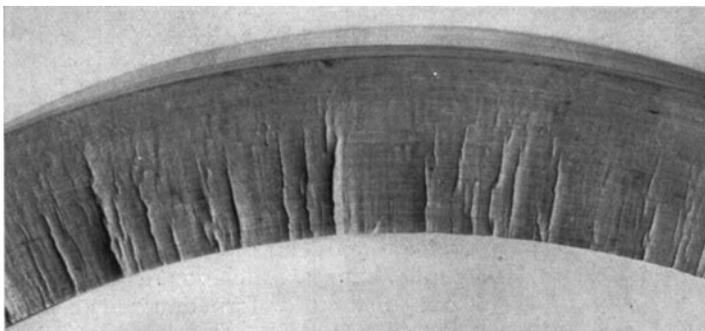


Bild 903. Stauchfalten bei gebogenem Buchenholz. (Phot. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbek.)

Es ist nun naheliegend, zu fragen, wie sich die Eigenschaften des Holzes durch das Biegen mit seinen erheblichen Veränderungen der Gewebestruktur verändern. Mit der Stauchung ist einmal eine Wichtezunahme, zum anderen aber die Ausbildung kleiner Schubrisse und Knickstellen in den Fasern sowie eine Lockerung des Querverbandes im Fasergewebe verknüpft. Es ist anzunehmen,

daß diese Faktoren auf die verschiedenen mechanischen Eigenschaften der Hölzer einen sehr unterschiedlichen Einfluß haben, und es ist zu vermuten, daß die Holzart, seine Feuchtigkeit, die Vorbehandlung zwecks Plastifizierung und die Biegetechnik eine wichtige Rolle spielen. Bei den von R. Teichgräber durchgeführten planmäßigen Versuchen ergaben sich hierüber wichtige Feststellungen:

**891.71 Wichteänderung der Hölzer beim Biegen.** Die Rohwichte müßte theoretisch gegen die Druckseite zu hyperbolisch zunehmen. Querkräfte und die Veränderung der Faserlumina durch das Biegen stören aber dieses Gesetz.

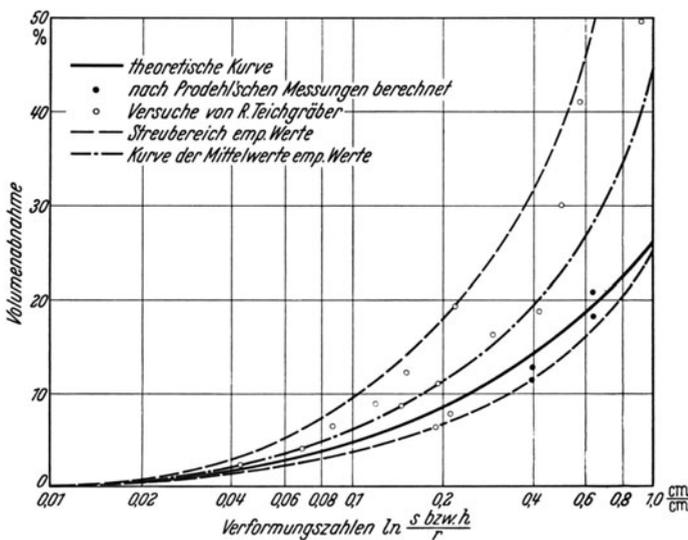
Die Abnahme des Biegeteilvolumens (bei Biegung um  $180^\circ$  zu einem Halbkreis) zeigt Bild 904. Man sieht, daß die theoretischen Werte mit steigenden

Verformungszahlen hinter den gemessenen zurückbleiben. Hierdurch wird die Wirkung der senkrecht zur Holzfaser gerichteten Kräfte besonders klar. Über die Länge der Biegung erfolgt die Erhöhung der Wichte nicht gleichmäßig, wie schon in anderem Zusammenhang (vgl. Bild 858) gezeigt wurde.

Mit steigender Verformungszahl werden also die Änderungen der Rohwichte größer. Dies hat zwei Ursachen:

1. Die Stauchkraft, die in Richtung der Hauptachse des Biegeteils wirkt und für bruchfreie Biegung sorgt, muß bei stärkerer Verformung größer werden.
2. Der für die Erhöhung der Wichte besonders bedeutsame Druck senkrecht zur Faser wird größer.

**891.72 Änderung der Sorptionseigenschaften der Hölzer beim Biegen.** Für das hygroskopische Verhalten des Holzes sind die Sorptionseigenschaften der Cellulosemoleküle von entscheidender Bedeutung. Hierbei spielen neben den Nebenvaleanz-Bindungskräften die endständigen freien Hydroxylgruppen der in den Cellulosemolekülen aneinandergereihten Glucoseanhydrid-Bausteine eine Rolle. Beim Biegen wird nun die Struktur des Holzes stark geändert; es ist deshalb anzunehmen, daß davon die Sorptionseigenschaften nicht unberührt bleiben. Es tritt eine Quellungsvergütung ein. Sowohl die Größe des Stauchdrucks als auch die zwecks Plastifizierung angewendete hohe Temperatur beeinflussen das Sorptionsverhalten des Holzes. Die Temperaturerhöhung begünstigt die Vergütung stärker als die Erhöhung des Stauchdruckes bzw. des Verformungsgrades. Immerhin läßt sich selbst nach Stauchung im kalten, ungedämpften Zustand anschließend eine geringfügige Quellungsvergütung des Holzes messen (Bild 905).



**891.73 Änderung des Elastizitätsmoduls der Hölzer beim Biegen.** Bild 906 zeigt die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von der Holzdicke. Besonders auffallend ist der Anstieg des Elastizitätsmoduls in der konvexen Außenschicht. Wird die Streckgrenze des Holzes nicht überschritten, so kann sich der Elastizitätsmodul auf den zwei- bis dreifachen Betrag erhöhen. Auf der konkaven Biegeseite tritt eine Minderung des Elastizitätsmoduls auf die Hälfte oder mehr ein.

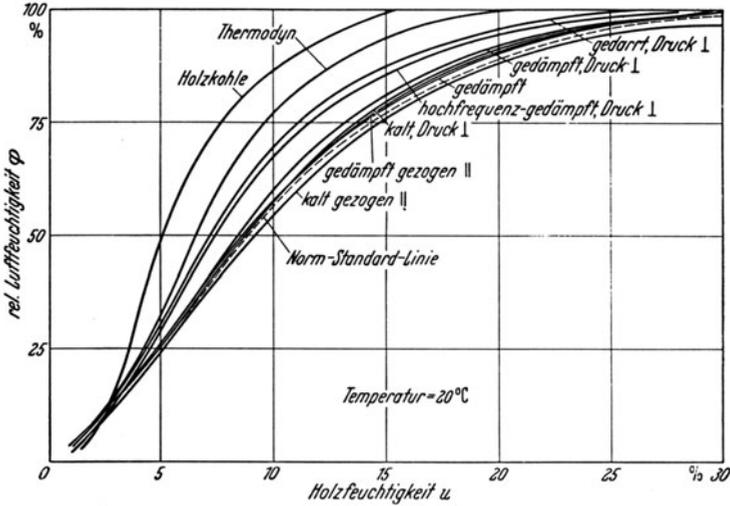


Bild 905. Sorptionsisothermen für verschieden behandelte Hölzer. (Nach R. Teichgräber.)

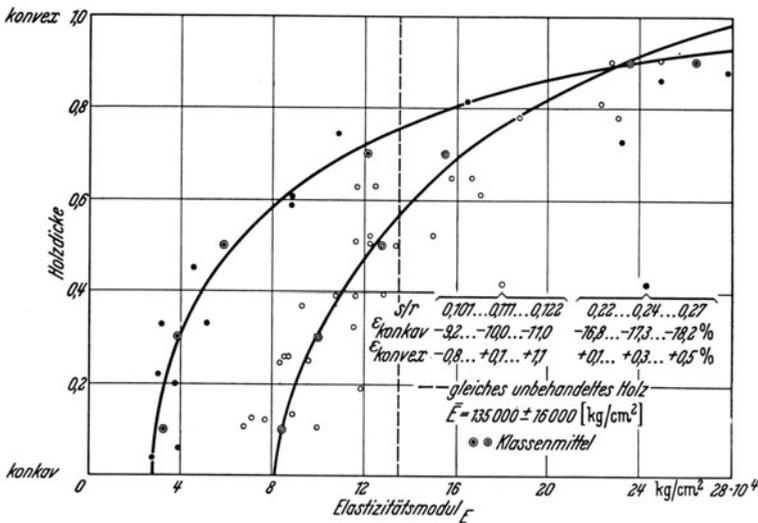


Bild 906. Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von der Holzdicke in verschieden stark gebogenen Buchenhölzern. (Nach R. Teichgräber.)

**891.74 Änderung der Zugfestigkeit der Hölzer beim Biegen.** 891.741 Zugfestigkeit parallel zur Faser. Wie sich bereits aus den Beobachtungen über die Änderung der Sorptionseigenschaften schließen läßt, wird die Cellulose im Holz durch den Biegevorgang im Bereich der Streckung bei gleichzeitig einwirkendem senkrechtem Verformungsdruck in einen höheren Ordnungszustand

überführt. Die Folge ist eine Festigkeitssteigerung in Nähe der konvexen Außenschicht, während gegen die konkave Seite zu eine Festigkeitsabnahme auftritt (Bild 907). Die verhältnismäßig großen Streuungen erklären sich daraus,

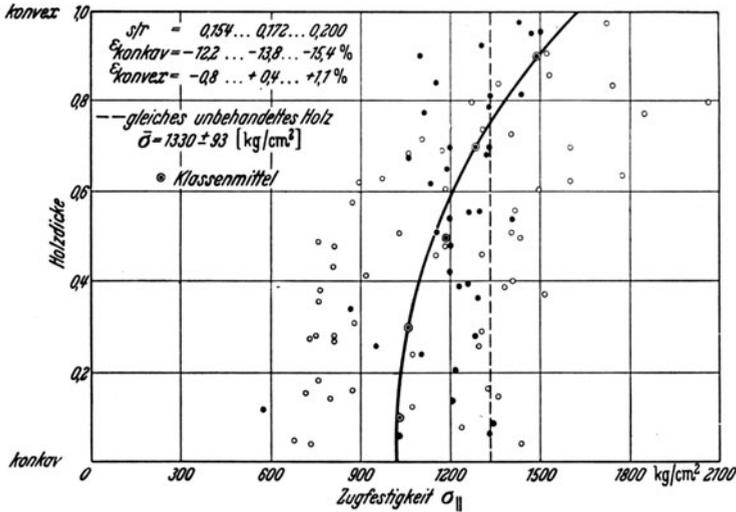


Bild 907. Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der Holzdicke in gebogenen Buchenholzteilen. (Nach R. Teichgräber.)

daß die Anfertigung einwandfreier geradfaseriger Proben selbst bei sehr kleinen Probenabmessungen nicht möglich ist. Der Einfluß des Faserwinkels läßt sich allerdings rechnerisch ausgleichen, nicht jedoch jener von unregelmäßig auftretenden Quetschbereichen. Die neutrale Schicht der Holzdicke — in bezug auf die Längenänderungen in Faserrichtung — fällt nicht mit derjenigen Schicht zusammen, in der keine Änderungen der Zugfestigkeit parallel zur Faser aufgetreten sind.

891.742 Zugfestigkeit senkrecht zur Faser. Gegenüber jener in Faserrichtung ist die Ermittlung der Zugfestigkeit senkrecht dazu vereinfacht, da die Prüfrichtung senkrecht zur nichtlinearen Hauptachse des Biegestücks und zum Biegeradius steht. Bei den in Bild 908 gültigen Nebenbedingungen erhöhte sich

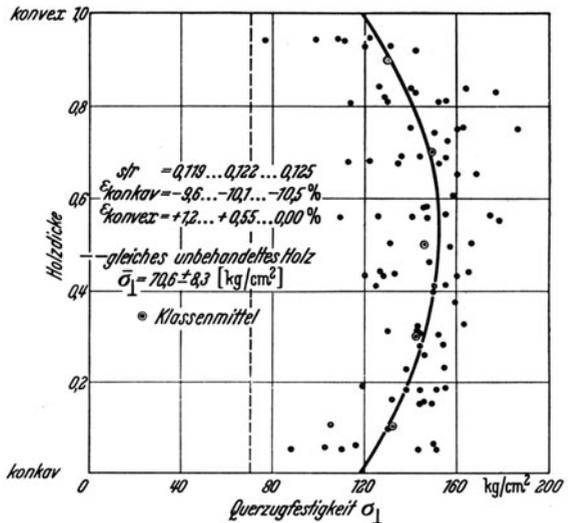


Bild 908. Abhängigkeit der Querzugfestigkeit von der Holzdicke in gebogenen Buchenholzteilen. (Nach R. Teichgräber.)

die Querzugfestigkeit auf annähernd den doppelten Betrag. Aus den Versuchen (Beobachtung der nicht gebogenen Teile eines Biegestücks) ließ sich auch schließen, daß das Holz im plastischen Zustand durch den erforderlichen hohen Stauchdruck auch ungebogen seine Querzugfestigkeit wesentlich erhöht. Weiter

ergab sich, daß ein Maximum der Querkzugfestigkeit nach dem Biegen in der Mitte der Holzdicke liegt; sowohl die konvexen als auch die konkaven Schichten zeigen niedrigere Werte, die aber über den Ausgangszahlen für unbehandeltes Vergleichsholz liegen.

**891.75 Änderung der Biegefestigkeit der Hölzer beim Biegen.** Wie aus Bild 909 ersichtlich ist, haben Biegeteile aus Holz praktisch in der konvexen Außenschicht etwa die gleiche Biegefestigkeit wie gleiches unbehandeltes Holz. Gegen die konkave, d. h. besonders stark verformte Schicht zu nimmt die

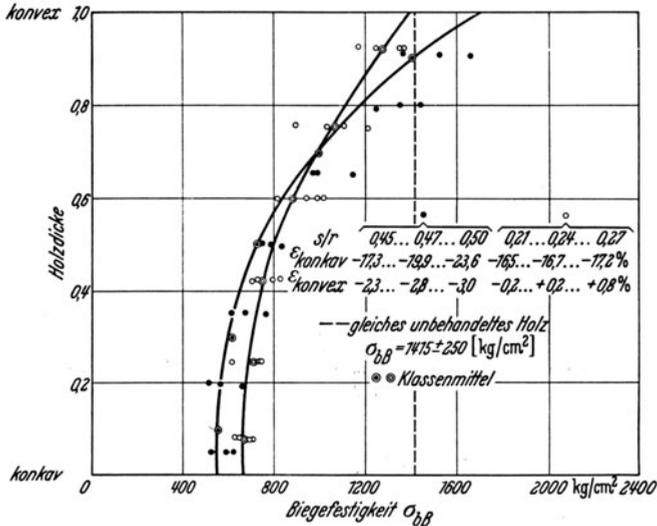


Bild 909. Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Holzdicke in verschieden stark gebogenen Buchenholzteilen. (Nach R. Teichgräber.)

Biegefestigkeit aber erst rasch, dann langsam ab, um im letzten Drittel der Holzdicke gegen die konkave Seite zu annähernd konstant zu bleiben. Die Änderung der Biegefestigkeit ist nicht unwesentlich für das Verhalten gebogener Holzteile bei Beanspruchung im ganzen auf Biegung, da die Hauptbeanspruchung in den Außenschichten liegt. Eine bemerkenswerte Folge der Eigenschaftsänderung ist die erhöhte Biogsamkeit des Holzes nahe der konkaven Außenschicht.

**891.76. Änderung der Bruchschlagarbeit der Hölzer beim Biegen.** Der Prüfung der Bruchschlagarbeit als Maß der Zähigkeit kommt bei Biegeteilen große praktische Bedeutung zu, da beispielsweise Radfelgen, Sportgeräte, Faßdauben vorherrschend durch dauernde Schläge und Stöße beansprucht werden. Bei dem Versuch von R. Teichgräber stellte sich heraus, daß Holz durch das Biegen hinsichtlich seines späteren Verhaltens beim Bruchschlagversuch erheblich vergütet wird. Bild 910 zeigt, daß nur die konvexe Außenschicht unverändert bleibt, daß aber die Bruchschlagarbeit in der konkaven Außenschicht auf den vier- bis siebenfachen Betrag ansteigen kann. Das wesentlich zähere Verhalten des gebogenen Holzes in seinen stark gestauchten Teilen dürfte auf die erhöhte Plastizität und damit den größeren Reibungswiderstand bei schlagweiser Beanspruchung zurückzuführen sein.

**891.77 Änderung der Kugeldruckhärte senkrecht zur Faser der Hölzer beim Biegen.** Bei starken, für die Brinellhärteprüfung von Holz charakteristischen Schwankungen wurde Bild 911 gefunden. Der zuerst etwas

überraschende Verlauf der Kurve dürfte sich daraus erklären, daß auf die Härte einmal jene Faktoren einwirken, die auch den Elastizitätsmodul und die statischen Festigkeitseigenschaften beim Biegen verändern, zum andern jene, welche die

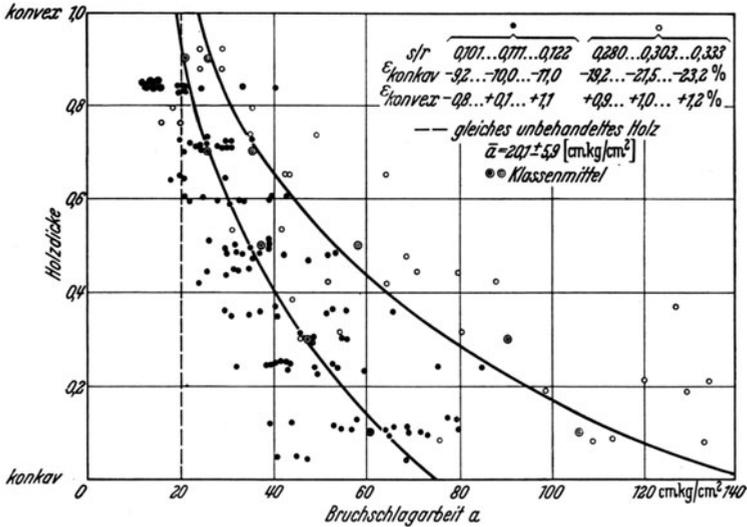


Bild 910. Abhängigkeit der Bruchschlagarbeit von der Holzdicke in verschieden stark gebogenen Buchenholzteilen. (Nach R. Teichgräber.)

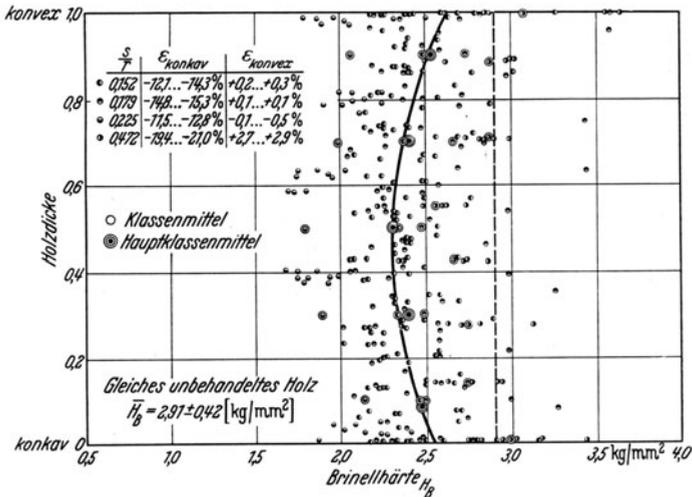


Bild 911. Abhängigkeit der Brinellhärte von der Holzdicke in verschieden stark gebogenen Buchenholzteilen. (Nach R. Teichgräber.)

Bruchschlagarbeit so erheblich beeinflussen. Diese Faktoren summieren sich offenbar bei der Härte, so daß man die Kurven gemäß Bild 911 etwa als Summationskurven von Linien gemäß Bild 906, 907, 908, und 909 einerseits, gemäß Bild 910 andererseits ansprechen darf. Praktisch dürfte die Härteänderung ohne nennenswerte Bedeutung sein.

## 892. Biegen und Formpressen von Lagenhölzern<sup>1</sup>.

892.0 Allgemeines über das Biegen von Lagenhölzern in kaltem Zustand ohne besondere Vorbehandlung.

Sehr dünne Holzstreifen lassen sich leicht und bruchfrei bis zu verhältnismäßig kleinen Krümmungsradien biegen, aber sie federn infolge ihrer elastischen Eigenschaften nach Aufheben des biegenden Momentes sofort wieder nahezu in ihre ursprüngliche Gestalt zurück. Es ist deshalb notwendig, die erzwungene Form in geeigneter Weise zu sichern. Neben der Einspannung in einen starren Rahmen oder der Befestigung auf einem Skelett gibt es Biegung einer Reihe von aufeinander gelegten Holzlamellen, die gleichzeitig mit dem Biegen verleimt werden. Die Enden der einzelnen Lamellen unterliegen während des Biegevorgangs keinerlei Zwang; jede Lamelle kann also während des Biegens, solange der Leim viscos ist, zwischen den benachbarten Lamellen in dem Maße gleiten, wie es die Krümmungsverhältnisse verlangen. Nach dem Abbinden des Leimes sind Relativbewegungen der einzelnen Lamellen zueinander nicht mehr möglich, d. h. die gebogene Form bleibt erhalten. Das Biegen lamellenartiger Hölzer hat seit dem zweiten Weltkrieg eine sehr große Bedeutung erlangt; es bietet nach W. C. Stevens und N. Turner folgende Vorteile:

1. Dicke Biegeteile mit kleinem Krümmungsradius lassen sich aus dünnen Holzlamellen ohne Schwierigkeiten herstellen.

2. Beliebige Holzarten, selbst solche mit schlechten Biegeeigenschaften und von minderer Qualität (z. B. mit Fehlern wie Rissen, Wirbeln, Ästen usw.), die sich als Vollholz keinesfalls biegen lassen, können auf diese Weise verarbeitet werden.

3. Werden gemesserte oder geschälte Furniere verarbeitet, dann ergeben sich im Vergleich zur Biegeteil-Herstellung aus Vollholz, das zuerst durch Sägen in die erforderliche Form gebracht werden muß, beträchtliche Holzersparnisse.

4. Bei Schäftung der Furniere und versetzter Anordnung der Schäftungsfugen lassen sich sehr lange Biegeteile ohne nennenswerte Herabsetzung der mittleren Festigkeit über dem Biegeteilquerschnitt erzeugen;

5. Biegeteile aus Lamellen lassen sich rascher und vollkommener zur Formbeständigkeit bringen als solche aus Vollholz.

Dem stehen aber auch Nachteile gegenüber, und zwar:

1. Es sind feinere Einrichtungen und mehr Erfahrungen erforderlich als beim Biegen von Vollholz.

2. Es wird Leim verbraucht.

3. Die Leimfugen beeinträchtigen bei der späteren Feinbearbeitung der Biegeteile die Standzeit der Werkzeuge.

4. Die Herstellung von Krümmungen in mehr als einer Ebene ist bei lamellierten Teilen schwieriger als bei Vollholz.

5. Die Leimfugen werden unter Umständen aus ästhetischen Gründen bemängelt.

Die Verformungstechnik läßt sich in gleicher Weise auf Schichtholz, d. h. auf Erzeugnisse mit paralleler Faserrichtung in allen Lamellen, wie auf Sperrholz mit sich kreuzenden Faserrichtungen in den einzelnen Furnieren anwenden.

<sup>1</sup> Perry, Th. D.: Wood Bd. 9 (1944) S. 107. — F. Kollmann: Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 9 (1951) S. 416. — H. R. Simonds, A. J. Weith u. M. H. Bigelow: Handbook of Plastics, 2. Aufl., Toronto, New York, London 1949, S. 637—645 u. 926—930.

## 892.1 Wahl und Vorbehandlung der Lamellen.

Die Lamellen oder Furniere zur Herstellung gebogener Lagenhölzer werden in gleicher Weise erzeugt wie die für ebene Lagenhölzer. Von größter Wichtigkeit aber ist es, daß die Furniere möglichst geringe Abweichungen in der Dicke aufweisen, da man sonst bei den niedrigen während der Verleimung wirkenden Drücken Fehlverleimungen erhält. Im Hinblick auf die nachfolgende Verleimung werden die Furniere auf eine Feuchtigkeit von 8 bis 12% getrocknet. Innerhalb dieses Bereichs hängt die zu wählende Feuchtigkeit hauptsächlich von der Art des zur Anwendung gelangenden Leims (vgl. Anhangtafel VI) ab. Die Schwankungen der Feuchtigkeit innerhalb der einzelnen Furnierschichten sollen 2% nicht überschreiten; da die Furniere meist sehr genau vor der Verformung zugeschnitten werden, sollen auch im Hinblick auf die notwendige Dimensionsstabilität, Feuchtigkeitsschwankungen nach Möglichkeit durch Lagerung in klimatisierten Räumen ausgeschaltet werden. Die Dicke der zum Aufbau der Biegekörper bestimmten Lamellen soll im allgemeinen nicht über 3,2 mm hinausgehen; sie hängt wie bei Vollholz eng mit dem kleinsten in Frage kommenden Krümmungsradius zusammen. Zahlentafel 115 bringt einige Anhaltspunkte nach englischen Untersuchungen.

Zahlentafel 115. Grenzwerte für den kleinstzulässigen Krümmungsradius bei Furnieren.  
(Nach Forest Products Research Laboratory, Princes Risborough.)

Holzart	Furnier- dicke s mm	Mittlere Holz- feuchtigkeit %	Kleinster Krümmungs- radius r, bei dem weniger als 5% der Lamellen brachen mm	$\frac{r}{s}$
Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) . . . . .	3,2	13,0	112	35
Eiche ( <i>Quercus robur</i> L.) . . . . .	3,2	12,5	148	46
Rüster ( <i>Ulmus hollandica</i> var. <i>major</i> Mill.)	3,2	13,0	99	31
Douglasie ( <i>Pseudotsuga taxifolia</i> Brit.) . .	2,5	13,2	216	86
Fichte, Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> Carr.) . . .	3,2	12,5	152	48
	2,65	12,2	152	57
	2,0	12,3	92	46
Hemlock, Western ( <i>Tsuga heterophylla</i> Sarg.) . . . . .	2,5	13,3	135	54

Die Angaben der Tabelle gelten für fehlerfreie, geradfaserige Furniere, die kalt um eine ungeheizte Form mit der Faserrichtung in einem Winkel von 90° zur Achse der Krümmung gebogen wurden. Nach B. G. Heebink<sup>1</sup> gilt bei der Flüssigdruckformung von Furnieren aus amerikanischen Hölzern bei 90° Winkel zwischen Faserrichtung und Krümmungsachse:  $\frac{r}{s} \geq 100$ , bei 0° Winkel zwischen Faserrichtung und Krümmungsachse  $\frac{r}{s} \geq 50$ .

In der Regel lassen sich Furniere aus Laubhölzern mit kleineren Krümmungsradien besser biegen als solche aus Nadelhölzern. Werden geschälte oder gemesserte Furniere gebogen, dann soll die „offene Seite“ mit der konkaven Schicht des Biegeteils zusammenfallen, also unter Druckspannungen stehen. Wird diese richtige Anordnung der Furniere versäumt, dann kann das Verhältnis  $\frac{r}{s}$  um bis zu 50% größer werden. Wie bei Vollholz läßt sich die Plastizität und

<sup>1</sup> Heebink, B. G.: Fluid-Pressure Molding of Plywood, U.S. For. Prod. Lab. Rep. Nr. R 1624, Madison (Wisc.) Juli 1946.

damit Biegsamkeit von Furnieren durch Erhöhung der Feuchtigkeit und der Temperatur vergrößern. Ein brauchbarer Weg ist das Eintauchen in kochendes Wasser über eine so lange Zeit, daß im Furnierinnern die Siedetemperatur erreicht wird. Bei 3,2 mm dicken Furnieren sind etwa 30 min angebracht. Das Verhältnis  $\frac{r}{s}$  verringert sich bei so behandelten Furnieren auf etwa 25 bis 50% des Ausgangswerts der unbehandelten Furniere. Um gute Adhäsion der Leime zu sichern, dürfen aber die Holzoberflächen nicht naß sein. Die Furniere müssen deshalb feucht gebogen, verspannt, nachgetrocknet und hierauf erst zusammengebaut und in der Form verleimt werden.

### 892.2 Bindemittel bei der Herstellung gebogener Lagenhölzer.

Grundsätzlich lassen sich fast alle üblichen Holzleime verwenden. Die Auswahl erfolgt meist im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit, die Anforderungen an das Fertigteil (z. B. Feuchtigkeitsbeständigkeit) und ihrer betrieblichen Bedingungen (z. B. der gewünschten Abbindegeschwindigkeit). Bei Möbeln und Gehäusen sind Glutin-, Kasein- und Blutalbuminleime, unter Umständen auch thermoplastische Kunstharzleime brauchbar, für Hochbauteile, insbesondere aber Bootsrümpfe und Flugzeugzellen kommen nur Harnstoff-, Melamin-, Phenol- und Resorcinharze in Frage. Durch Steigerung der Temperatur lassen sich die Verleimverfahren fast stets stark beschleunigen. Allerdings gibt es für jedes Kunstharz einen Grenzwert, den man nicht überschreiten darf, ohne daß es zu Verbrennungen und zu einer starken Minderung der Bindefestigkeit kommt. Die Verleimungstechnik als solche unterscheidet sich nicht von jener für ebene Teile. Alle erforderlichen Einzelheiten können deshalb aus dem einschlägigen Kapitel 95 entnommen werden.

### 892.3 Formpressen zwischen Matrize und Patrizie sowie mit Zugbändern.

Gewölbte Sperrholz- und Schichtholzteile (z. B. Stuhlsitze, Rückenlehnen, Vorderseiten von Schubladen, Möbelwände und -türen, Radiogehäuse, Nähmaschinen- und Schreibmaschinenhauben) lassen sich formen und zum Abbinden bringen, wenn man das

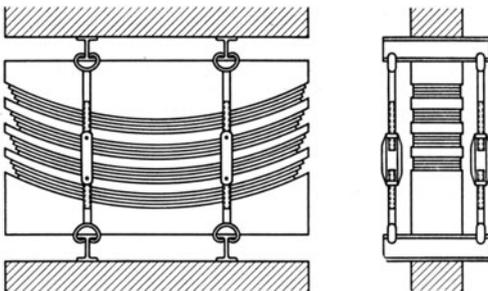


Bild 912. Schema des Formpressens von Furnierpaketen zwischen Matrizen und Patrizien mit anschließender Ver-spannung. (Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

Furnierpaket zwischen Matrizen und Patrizien preßt. Im allgemeinen sind nach diesem Verfahren nur Biegungen in einer Ebene möglich. Bei der einfachsten Ausführung wird der Druck auf die Formen mit dem dazwischen liegenden Furnierpaket durch Zwingen oder Spannschrauben (Bild 912) erzeugt. Mehr zu empfehlen sind auch im Hinblick auf die mögliche Kontrolle des spezifischen Preßdrucks pneumatische Spannvorrichtungen oder hydraulische

Pressen. Bei letzteren verformt und preßt man meist eine größere Anzahl (50 bis 200) Formen, die mit den Sperrholzzwischenlagen zu einem Paket (ähnlich der Anordnung in Bild 912) vereinigt sind.

Die Formen können aus Vollholz, Schichtholz oder für die Massenfertigung aus Stahl oder Leichtmetall bestehen. Holzformen sollen einen „Antikleber“-Anstrich oder -Überzug erhalten. Eine Etagenpresse für Sperrholzteile zeigt Bild 913. Die einzelnen Formteile können mit Dampf oder Heißwasser geheizt und falls nötig auch zurückgekühlt werden. In der Praxis bevorzugt man an Stelle von heißhärtenden kalthärtende Leime, z. B. Harnstoff-Formaldehyd - Harzleime. Eine Schwierigkeit kann sich daraus ergeben, daß die üblichen Kaltpressen nur für Drücke von 5 bis 10 kg/cm<sup>2</sup> bestimmt sind, während die Kunstharzleime annähernd doppelt so hohe Drücke verlangen. Als günstig erwies es sich, die verspannten Formpakete mit dem gekrümmten Sperrholz in einer Trockenanlage bei Temperaturen von 50 bis 70° C zu erwärmen. Die Preßzeit läßt sich dadurch beträchtlich verringern.

Auf wenige Minuten verkürzt wird die Abbindezeit bei dickwandigen Biegeteilen durch Anwendung der Hochfrequenzheizung. Die in Bild 914 dargestellte Hochfrequenz-Formpresse eignet sich für Werkstücke mit Abmessungen bis zu

500 · 800 mm<sup>2</sup>. Kleinere Stückzahlen von gebogenen Sperrholzteilen lassen sich auch mit verkürzten Abbindezeiten über einfachen, nicht heizbaren Formen herstellen, wenn eine „Dampfmatte“ zwischen Biegeform und Biegeteil gelegt wird. Es handelt sich dabei um eine Matte aus vierkantigen nahtlosen Stahlrohren, die mittels Stahlbändern gelenkig miteinander verbunden sind und sich der Biegeform anpassen. Ein Teil der Stahlrohre ist über Verteilerstücke und Heißdampfschläuche an eine Heißdampfleitung angeschlossen. Leichtmetallbleche über der Matte sichern eine ganz glatte Oberfläche.

Es ist möglich, die Matrize durch ein Zugband gemäß Bild 915 zu ersetzen. Der Hauptnachteil der Preßtechnik zwischen Matrizen und Patrizen, die un-

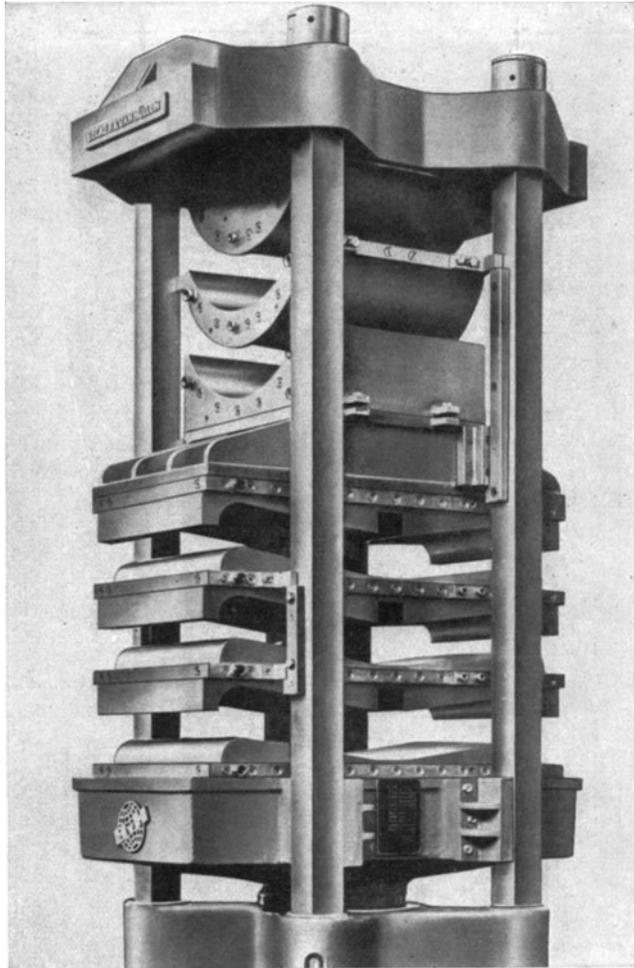


Bild 913. Ansicht einer Etagenpresse für Sperrholzformteile, Bauart Niederrheinische Maschinenfabrik Becker & van Hüllen, Krefeld.

gleichmäßige Druckverteilung, wird dadurch aber nicht grundsätzlich behoben. Bild 916 läßt erkennen, daß sich durch Anwendung von einachsigem Druck, wie



Bild 914. Ansicht einer Formpresse für gebogene Sperrholzteile mit Hochfrequenzbeheizung, Bauart Siemens-Schuckert-Werke AG., Erlangen.

er in Pressen erzeugt wird, keine gleichmäßigen Normalspannungen auf eine einfach gekrümmte Oberfläche erzeugen lassen. Das Verfahren wird gänzlich unbrauchbar bei verwickelten Formen. Der senkrechte Druck verringert sich, wie ersichtlich, mit dem Cosinus des Winkels  $\varphi$ , der aus der Normalen zur gekrümmten Fläche und der Druckrichtung gebildet wird. Bereits bei einem Winkel von  $45^\circ$  stehen nur mehr 67% des senkrechten Drucks zur Verfügung; bei  $50^\circ$  gehen etwa 50% verloren und bei  $90^\circ$  wird überhaupt kein Druck mehr ausgeübt. Praktisch können deshalb in den üblichen Pressen Formteile,

deren Krümmungswinkel  $60^\circ$  im oben angegebenen Sinn übersteigt, nicht mehr oder nur mit viel Ausschuß erzeugt werden.

Bis zu einem gewissen Ausmaß kann man dieser Schwierigkeit Herr werden, wenn man die Matrize oder Patrize in einzelne Segmente aufteilt und jedes

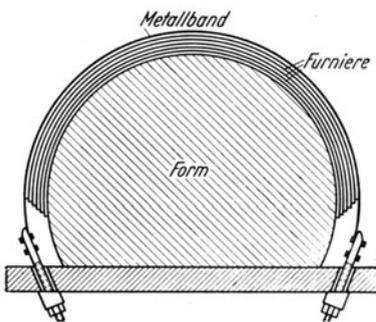


Bild 915. Schema der Verformung von Furnierpaketen über eine Patrize mittels Zugband. (Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

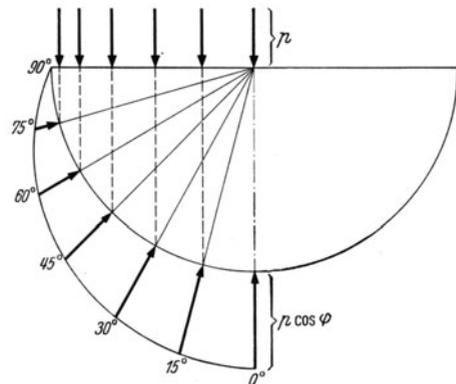


Bild 916. Diagramm bei Anwendung senkrechten Drucks auf eine halbrunde Form.

Segment unabhängig von den Nachbarsegmenten verspannt (Bild 917a) oder auf das Zugband durch Keile oder andere geeignete Spannvorrichtungen Radialdruck aufbringt (Bild 917b). Die Vorrichtungen werden dadurch aber umständlich und kostspielig.

#### 892.4 Biegen und Formpressen mit starrer Form und elastischer Gegenform.

**892.40 Allgemeines über die Elastisch-Druck-Übertragung.** Abgesehen von der im vorangegangenen Abschnitt geschilderten Unmöglichkeit oder Schwierigkeit, zwischen starren Formen eine gleichmäßige Druckübertragung zu erzielen, wird bei ihnen die Gefahr von Fehlverleimungen auch dadurch heraufbeschworen, wenn die Formen nicht mit großer Genauigkeit hergestellt wurden oder wenn die eingelegten Furniere ungleich dick sind. Man ist deshalb dazu übergegangen, nur eine starre Form zu verwenden und die genaue Anpressung unter gleichmäßigem Druck durch eine elastische Gegenform zu erzwingen.

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene elastische Übertragungsmittel für Druck auf gekrümmte Formen:

1. Tücher;
2. Schläuche und Säcke.

Die Druckerzeugung geschieht dabei nur in einfachsten Fällen bei Tüchern mit mechanischen Hilfsmitteln (Schrauben, Kniehebeln, Federn), in der Regel

aber durch Vacuum, pneumatisch oder hydraulisch. Die pneumatische oder hydraulische Druckverformung kann man auch als „Flüssig-Druck-Formung“ bezeichnen, die sich ihrerseits in die Schlauchpressen-Formung und Gummisack-Formung unterteilen läßt. Diese Technik gestattet es, mit Hilfe eines Flüssigkeitsdruckes über eine elastisch-nachgiebige Decke oder einen Sack aus einem undurchlässigen Material Sperrholzteile mit verschiedenen Krümmungen herzustellen. Die Teile können fast beliebige Größe (von kleinen Gegenständen bis zu ganzen Flugzeugzellen und Bootsrümpfen) und beliebig einfache oder zusammengesetzte Krümmungen (Zylinder, Paraboloiden, Kugelhäuben usw.) haben. Im Flugzeugbau erreicht man durch die Flüssig-Druck-Formung Bauteile mit einem günstigen Verhältnis von Steifigkeit zu Gewicht und völlig glatter (nietfreier) Oberfläche. Die Flüssig-Druck-Formung von Lagenhölzern hat ihren Ursprung im Vacuumpreßverfahren, das vor vielen Jahren in der Möbelindustrie zur Einführung kam. Da dieses Verfahren aber vom Atmosphärendruck abhängt, ist der Preßdruck nicht ausreichend, um bei komplizierteren Formen und bestimmten Leimen eine gute Verleimung zu erzielen. Die Flüssig-Druck-Formung erlaubt demgegenüber wesentlich höhere Drücke.

**892.41 Formpressen mit Decken und mechanischen Spannmitteln.** Bild 918 zeigt die Anwendung einer Segeltuchhülle, die mittels eines Kniehebels über das auf die Form gelegte Sperrholzstück gespannt wird. Die Druckverteilung

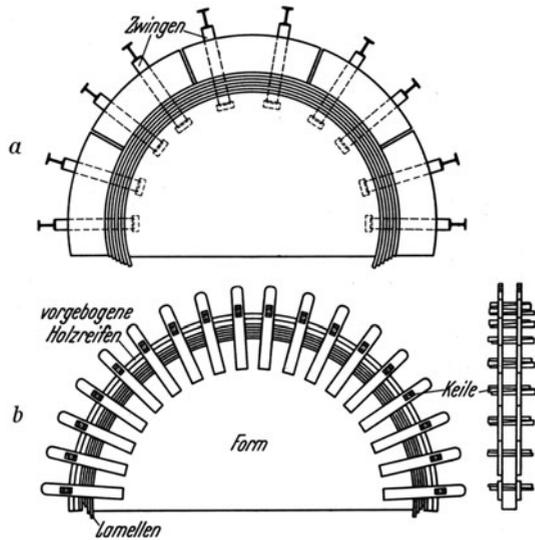


Bild 917. Schema der Verformung von Furnierpaketen über eine Patrizie, a mittels in Segmente aufgeteilter Matritze, b mittels eines vorgebogenen Holzreifens und Spannkeilen. (Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

unterscheidet sich wenig von jener bei Zugbändern, deren Nachteil in dieser Hinsicht in Abschnitt 892.3 geschildert wurde. Außerdem sind die auf diese Weise erzielbaren Drücke sehr bescheiden. Die Sperrholzverformung mittels Segeltuchhüllen und Gegenform kommt deshalb praktisch kaum mehr in Frage.

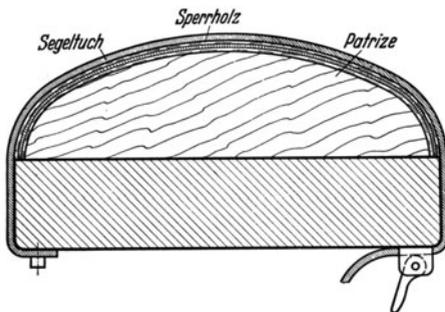


Bild 918. Schema der Sperrholzverformung mittels Segeltuchhülle. (Nach H. R. Simonds, A. J. Weith u. M. H. Bigelow.)

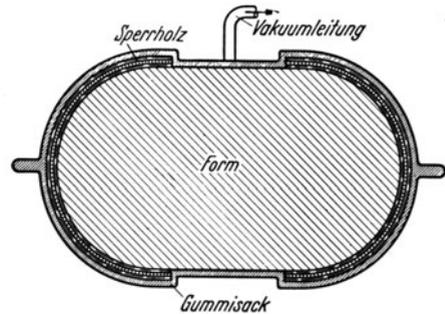


Bild 919. Schema der Sperrholzverformung mittels Vacuumsacks und Gegenform. (Nach B. G. Heebink.)

**892.42 Vacuumsack-Formung.** In seiner einfachsten, teilweise noch heute angewendeten Form wurde bei der Vacuumsack-Formung die Gegenform mit den darauf gelegten zu verformenden Sperrholzteilen in einen Gummisack eingeführt (Bild 919), dessen Enden abgeklemmt wurden. Hierauf wurde die Luft aus dem Sack gepumpt. Da dieses Verfahren bei der Herstellung großer Teile (z. B. Türen) zu umständlich ist, legte man später die Gegenform auf

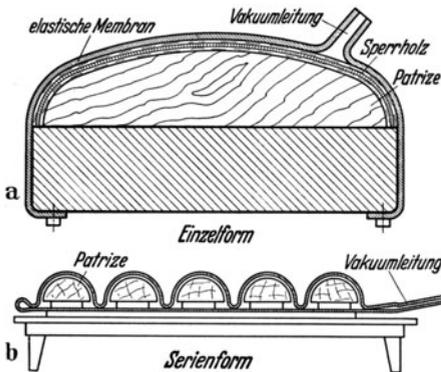


Bild 920. Schema der Sperrholzverformung mittels Vacuumsacks a über eine Einzelform. (Nach H. R. Simonds, A. J. Weith u. M. H. Bigelow.) b über eine Serienform beim Überfurnieren von Zierleisten. (Nach Th. D. Perry.)

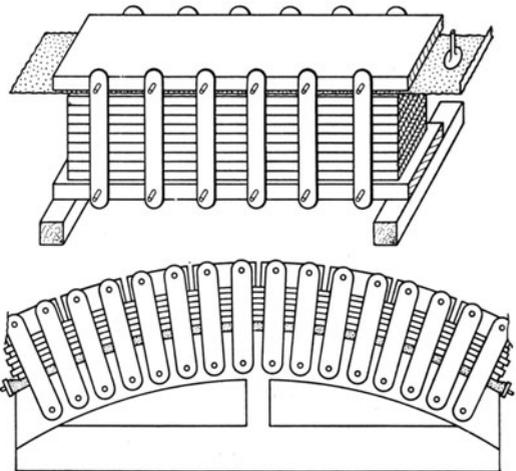


Bild 921. Schema einer Schlauchpresse in Verbindung mit Einspannzwingen zur Herstellung ebener und gekrümmter Schichtholzträger. (Nach H. R. Simonds, A. J. Weith u. M. H. Bigelow.)

einen Tisch (Bild 920a), über den dann ein Gumm Tuch geworfen wurde, das man an den Rändern fest klemmte oder fest schraubte. Aus dem so über der Form mit dem Biegeteil gebildeten Hohlraum wurde wieder die Luft abgesogen. An Stelle einer Einzelform konnte auch eine Reihe von Formen auf den Tisch gelegt werden (Bild 920b). Wie aber schon in der allgemeinen Einleitung bemerkt wurde, zeigte es sich, daß für höhere Ansprüche der Anpreßdruck zu gering ist.

**892.43 Flüssig-Druck-Formung.** 892.431 Schlauchpressen-Formung, Widerstandsbandheizung. Die Druckverformung von Lagenhölzern erfährt eine weitgehende Änderung durch die Einführung von Schläuchen, die mittels Druckluft oder Wasser unter entsprechenden Innendruck gesetzt werden. Der Gebrauch solcher Schläuche ist sehr einfach, und die Druckhöhe läßt sich hinreichend gut regeln. Bild 921 zeigt ein Anwendungsbeispiel in Verbindung mit Zwingen bei der Herstellung von Schichtholzbalken und -bögen. Verwendet werden Feuerwehrschräuche, die so verstärkt werden, daß sie sich nicht nennenswert dehnen und auch seitlich nicht ausweichen können. Ein weiterer Vorteil der Schlauchpressung liegt in ihrem sehr einfachen Aufbau und darin, daß sich die ganze Vorrichtung auch in eine Heizkammer

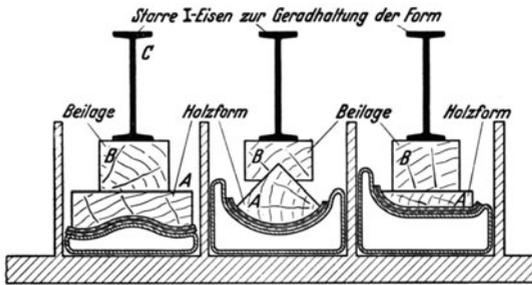


Bild 922. Schema der Sperrholzverformung (verschiedenartige Profile) mittels Drucksäcken. A Holzformen, B Beilagen, C starre I-Eisen zur Geradhaltung der Formen.  
(Nach H. R. Simonds, A. J. Weith u. M. H. Bigelow.)

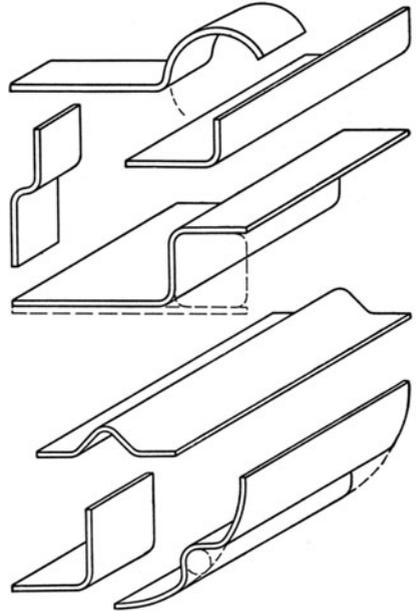


Bild 923.  
Beispiele von geformten Sperrholzprofilen.

einbringen läßt. Bei Verwendung von üblichen kalthärtenden Leimen können auf diese Weise sehr kurze Abbinde- und damit Preßzeiten erzielt werden. Sehr bequem lassen sich mit mehr oder minder breiten Schläuchen, die in eine Rinne gelegt werden, um den Expansionsdruck des Schlauches aufzunehmen, und Patrizien

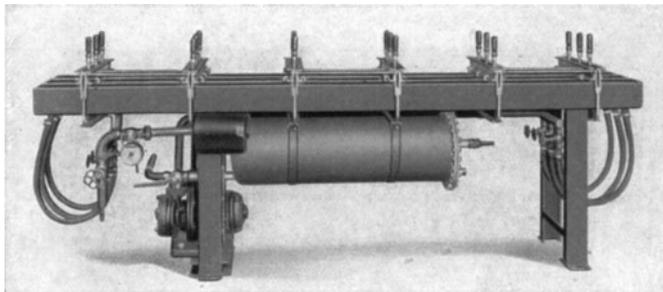


Bild 924. Ansicht einer Formenfurnierpresse mit elastischen, druckfesten Schläuchen, Bauart Adolf Friz GmbH., Stuttgart-Bad Cannstatt.

oder Matrizen als Gegenformen, die sich gegen ein Widerlager stützen (Bild 922), beliebig profilierte Sperrholzteile (Bild 923) von großer Länge erzeugen. Das Verfahren läßt sich auch zum Überfurnieren von Profileisten benutzen. Eine dafür entwickelte Formenfurnierpresse mit 2,5 m Arbeitslänge zeigt Bild 924.

Während des zweiten Weltkrieges wurden in Deutschland Tragflächen von 12 m Länge und einer größten Breite von 1800 mm im Heißpreßverfahren mittels Feuerwehrschräuchen hergestellt. Die Presse bestand aus einer Anzahl von Jochen, deren Oberteil durch Einbau von Trägern zu einer Preßfläche ausgestaltet war; unterhalb dieser Preßfläche saß die Preßform. Ein untenliegender

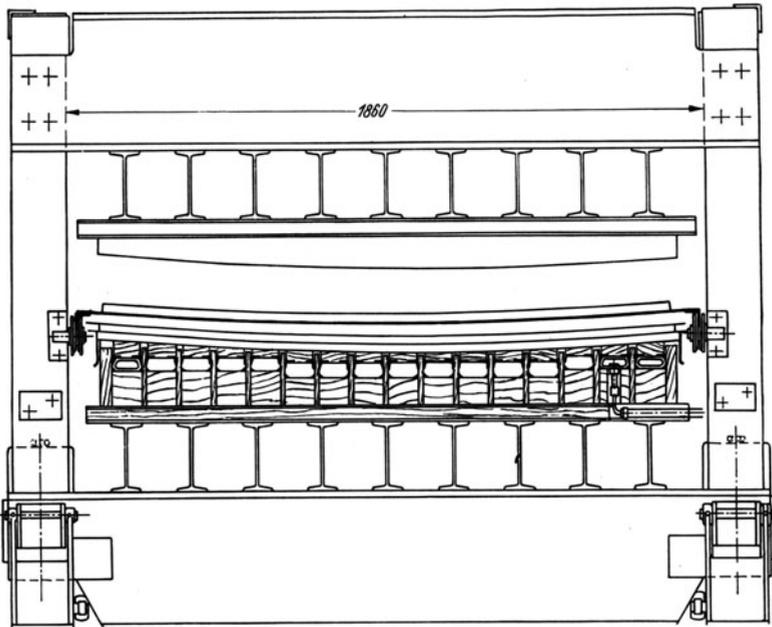


Bild 925. Querschnitt durch eine Formenpresse für großflächige Teile, Bauart Adolf Friz GmbH., Stuttgart Bad Cannstatt.

Preßtisch wurde durch Preßzylinder so in Arbeitsstellung gebracht, daß auf ihm in Rinnen gelegte Schläuche über entsprechend profilierte Druckstücke den

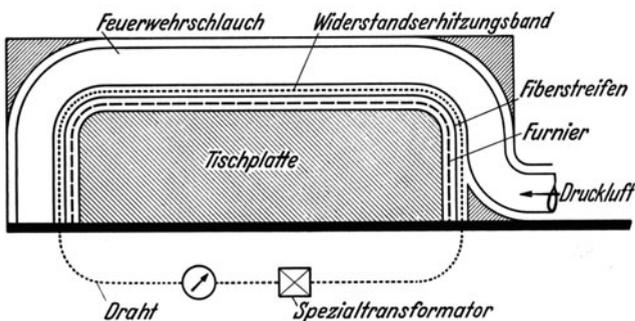


Bild 926. Schema einer Schlauchpressenanordnung zum Überfurnieren von Möbelteilen.

Tischplatten. Das Schema einer derartigen Anordnung zeigt Bild 926. Die Arbeitsgänge sind dabei folgende:

1. Furniere mit Leim bestreichen (z. B. kalthärtendem Harnstoff-Formaldehyd-Harzleim);

erforderlichen Druck von  $8 \text{ kg/cm}^2$  auf die zu formenden und zu verleimenden Furnierlagen (die gegen den Flugzeugrumpf verstärkt waren) ausübten. Einen Querschnitt der Presse gibt Bild 925 wieder.

Schlauchpressen eignen sich besonders auch zum schnellen und billigen Furnieren von Möbelteilen mit abgerundeten Ecken, z. B.

2. Auflegen eines dünnen Pappe- oder Faserplattenstreifens auf das Deckfurnier zwecks Schutz desselben;

3. Auflegen eines biegsamen Metallbandes (Widerstands-Erheizungsbandes) oder Heizgitters, das unter Zwischenschaltung eines Spezialtransformators an eine Stromquelle angeschlossen wird. Es wird bei hoher Stromstärke eine geringe Spannung angelegt, wodurch die Durchschlaggefahr begrenzt wird;

4. Einbringen von Furnieren, Schutzstreifen und Heizband in eine Form, die einer einfachen Haube ähnlich ist und in deren Inneren sich ein Feuerwehrschauch befindet;

5. Anschluß des Feuerwehrschauches an eine Druckluftleitung. Der Schlauch selbst ist ein vulkanisierter, innen mit Cordgewebe verstärkter Hanfschlauch, der einen maximalen Durchmesser von 500 mm hat;

6. Einschalten des Stromes und Einhaltung von Druckluft (2,5 bis 4 atü).

Die im Heizband erzeugte Joulesche Wärme ist leicht regelbar, so daß eine genaue Temperatur festgelegt und eingehalten werden kann.

Dieses Verfahren wurde während des zweiten Weltkrieges in England für das Formbiegen von Flugzeug-Schichtholzteilen entwickelt. Es erwies sich als äußerst zuverlässig und bequem. Die Heizelemente bestehen gewöhnlich aus Stahlbändern, die auf beiden Seiten des zu verformenden und zu verleimenden Sperrholzes aufliegen. Die Bänder sind an einem Ende miteinander verbunden (sie erhalten dazwischen eine aufgelötete und aufgenietete Kupferplatte mit Anschlußklemme für den verbindenden Kupferdraht), zum anderen führen Leitungen zum Transformator. Die erforderliche elektrische Energie zur Erzeugung der gewünschten Temperatur hängt von verschiedenen Faktoren, vor allem der Größe und Bauart der Biegevorrichtung ab, jedoch liefert nach Untersuchungen des britischen Forest Products Research Laboratory ein Durchschnittswert von 2,7 kW/m<sup>2</sup> Bandoberfläche befriedigende Ergebnisse. Aus Sicherheitsgründen soll die Spannung am Heizband nicht höher sein als 12 V. Der elektrische Teil läßt sich wie folgt berechnen:

Der optimale Widerstand  $R$  des Transformators ergibt sich nach der Formel

$$R = \frac{E^2}{1000 N}, \quad (124)$$

wobei  $E$  die Sekundärspannung [V] und  $N$  die Transformatorleistung [kW] sind.

Weiter gilt

$$R = \frac{\rho \cdot L}{b \cdot s}, \quad (125)$$

wobei  $\rho$  der spezifische elektrische Widerstand (für Stahl  $\rho = 20 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ),  $L$  die Länge des Heizbandes [cm],  $b$  seine Breite [cm] und  $s$  seine Dicke [cm] sind. Da  $L$  und  $b$  durch die Konstruktion festgelegt sind, findet man durch die Rechnung die erforderliche Dicke des Heizbandes.

892.432 Verfahren zur Gummisackformung. 892.432.1 *Anwendung des Gummisacks außerhalb der Form (Duramold-Verfahren)*. Bild 927 zeigt die Anordnung, die beispielsweise für das Duramold-Verfahren in USA charakteristisch ist. Eine Seite des elastischen Sackes drückt auf das Sperrholz, während die andere von einer starren Haube oder Schale gehalten wird. Die Gummisäcke können sehr verschiedene Formen und Abmessungen haben. Manchmal werden sogar mehrere Säcke in Kombination verwendet. Im allgemeinen sind die Säcke schlauchartig mit einem Einlaßventil am einen und einem Auslaßventil am anderen Ende. Das Arbeitsstück wird über die Form gelegt, wenn der Gummisack

entfernt ist. Gewöhnlich wird das zusammengesetzte Arbeitsstück durch Krampe, Draht, Klebstreifen, Bindfäden oder andere Hilfsmittel zusammengehalten und zeitweilig auf der Form befestigt, damit es nicht verrutschen kann, solange

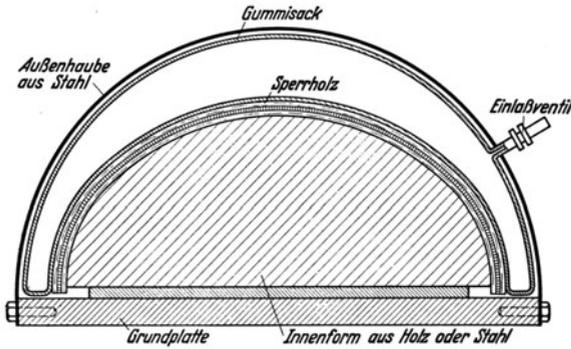


Bild 927. Schema der Sperrholz-Verformung mittels Gummisacks außerhalb der Form (Duramold-Verfahren).

Zwischenräume oder Überlappungen entstehen. Manchmal ist eine Zirkulation des Druckmittels vorgesehen. Die äußere Schale oder Haube ist in ihrer Form entweder der des Werkstücks angepaßt, oder aber sie ist halbzylindrisch und

der Druck noch fehlt. Als Druckmittel wird meist Heißwasser verwendet. Das Verfahren läßt sich auf sehr große Werkstücke, z. B. im Flugzeug- und Bootsbau anwenden. Die Form wird auf eine Grundplatte aufgebracht. Sie kann, wenn sie aus Metall besteht, im Innern mit Dampf beheizt werden. Die einzelnen Furniere müssen sorgfältig auf die richtige Form zugeschnitten sein, damit während des Pressens keine Zwischenräume oder Überlappungen entstehen. Manchmal ist eine Zirkulation des Druckmittels vorgesehen. Die äußere Schale oder Haube ist in ihrer Form entweder der des Werkstücks angepaßt, oder aber sie ist halbzylindrisch und

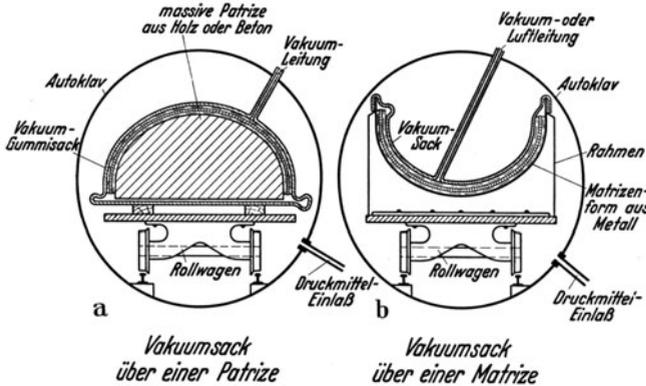


Bild 928. Beispiele für die Sperrholz-Verformung mittels eines Gummisacks als Hülle der Form und Autoklaven (Vidal-Verfahren) a Vacuumsack über einer Patrizie, b Vacuumsack über einer Matrize.

formungstechniken. Ein besonderer Vorteil des Verfahrens liegt darin, daß man damit einen sehr gleichmäßigen Druck senkrecht zur Formoberfläche erzielt. Sorgfältig überlegt sein muß das Zuschneiden der Furniere in entsprechende Segmente.

892.432.3 Anwendung des Gummisacks im Innern der Form. Der Gummisack läßt sich auch in das Innere der Form verlegen. Bild 929 gibt das Schema dieser Anordnung wieder. Zu beachten ist der schwere, kräftige Verschlussdeckel, der auf die Form aufzuschrauben ist. Der Gummisack besitzt ein Einlaßventil für

892.432.2 Anwendung des Gummisacks als Hülle der Form (Vidal-Verfahren)<sup>1</sup>. Bei der Anordnung nach Bild 928 umhüllt der Gummisack von außen her die Form und das Sperrholz. Das Verfahren ist sehr vielseitig abwandelbar und gestattet die Herstellung von Formteilen der verschiedensten Art. Es ist in USA als Vidal-Verfahren bekannt geworden. Die Einrichtungskosten sind höher als bei anderen Ver-

<sup>1</sup> Vidal, L. E.: US Pat. Nr. 2 342 988 (1944). — Derselbe u. L. J. Marhofer: US Pat. Nr. 2 276 004 (1942) und Nr. 2 394 730 (1946). — Derselbe u. W. A. Tayler: US Pat. Nr. 2 392 108 (1946).

Luft, Dampf oder Heißwasser. Da sich das zu formende Lagenholz mit seiner Außenfläche gegen die glatte Form (Matrize) preßt, erreicht man eine sehr glatte Oberfläche.

892.433 Ausrüstung zur Flüssig-Druck-Formung<sup>1</sup>. 892.433.1 *Formen*. Die Formen für die Flüssig-Druck-Formung können Matrizen (mit konkaver Oberfläche) oder Patrizen (mit konvexer Oberfläche) sein. Als Baustoffe für die Formen kommen Holz, Metall, Kunststoffe oder Beton in Frage. Die Auswahl erfolgt hauptsächlich unter Berücksichtigung der Gestalt der Biegeteile und ihrer Stückzahl. Holzformen werden gewöhnlich mit einem Weichholzkern hergestellt, der durch Gummisackformung eine Hartholzhaut erhält. Die Faserichtung der Weich- und Hartholzsichten soll sich rechtwinklig kreuzen.

Holzformen neigen zum Verziehen, wenn sie wiederholt der Feuchtigkeit und Hitze ausgesetzt wurden. Leckende Gummisäcke sind in dieser Hinsicht sehr gefährlich. Überhitzen kann das Verziehen und die Bildung von Rissen stark fördern. Die Hauptschäden stellen sich ein, wenn die heiße Form unmittelbar der kühlen Raumluft ausgesetzt wird. Es empfiehlt sich deshalb, die Form noch im Gummisack mit kaltem Wasser rückzukühlen. Das Sperrholz wird über Holzformen langsamer erwärmt als über Metallformen; die Arbeitszeiten sind deshalb bei der Verformung über Holzformen etwa doppelt so lang wie über Metallformen. Höhere Formbeständigkeit der Formen läßt sich erreichen, wenn man den Kern nicht aus Vollholz, sondern aus kunstharzverleimtem Sperrholz aufbaut. Holzformen kommen fast ausschließlich für Patrizen in Frage. Sie eignen sich gut für die Erzeugung von Flugzeugteilen und Bootsrümpfen. Es ist möglich, die Haut des verformten Teils während der Verformung mit Verstärkungsrippen zu verbinden; diese, aus gebogenem Vollholz oder Schichtholz bestehend, werden in Nuten der Form eingelegt.

Metallformen bestehen in der Regel aus Stahl oder Gußeisen, seltener aus niedrigschmelzenden Legierungen. Während einfach gekrümmte oder nur ganz wenig doppeltgekrümmte Formen aus 2,5 bis 6 mm dicken Blechen bestehen, werden verwickelte Formen gegossen. Die Metallformen sind meist Matrizen; sie sind sehr stabil. Gegossene Formen sind aber teuer und nicht leicht beschaffbar. Der Hauptvorteil der Metallformen liegt in ihrem raschen Wärmeübergang. Bei laufender Fertigung ist es ratsam, kleinere Metallformen zwischen zwei Arbeitsgängen mit kaltem Wasser rückzukühlen. Große Formen benötigen zum Ausbau mehr Zeit, während deren sie hinreichend abkühlen können.

Betonformen werden in zuerst hergestellten Holzformen gegossen. Oft erhalten sie außen eine Holzhaut oder einen Kunststoffüberzug. Sie sind sehr stabil, unempfindlich gegen Feuchtigkeit, aber sehr schwer und leiden unter wiederholter Erhitzung. Kunststoffformen kamen bisher über das Versuchsstadium nicht hinaus.

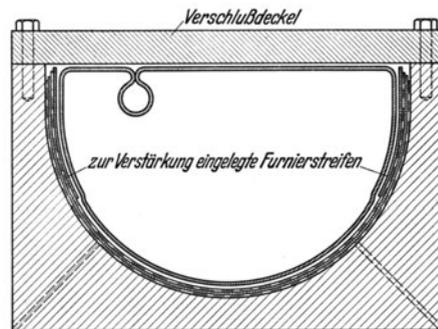


Bild 929. Schema der Sperrholzverformung mittels Gummisacks im Innern einer Matrize. Man beachte die zur Verstärkung eingelegten Furnierstreifen.

<sup>1</sup> Heebink, B. G.: Fluid-Pressure Molding of Plywood, US For. Prod. Lab. Rep. Nr. R 1624, Madison (Wisc.) July 1946.

892.433.2 *Säcke und Decken*. Der Sack oder die Decke haben die Aufgabe, eine biegsame, undurchlässige Sperrschicht zwischen der Druckflüssigkeit und der Form zu bilden. Die Säcke sind vollständige Hüllen für die Form, die an einem Ende oder einer Seite abgeklemmt werden. Ein Nippel läßt die eingesperrte Luft austreten. Die Decken (Halbsäcke) werden, wie aus Bild 920a ersichtlich ist, über die Form gezogen und an ihren Kanten befestigt. Der Entlüftungsnippel kann an der Decke oder an der Form angebracht sein. Ganze Säcke nimmt man gewöhnlich in Verbindung mit Matrizen, Decken in Verbindung mit Patrizen. Decken haben eine höhere Lebensdauer als Säcke. Allgemein hängt die Lebensdauer der Decken und Säcke nach B. G. Heebink von ihrem Werkstoff, dem Wärmeträger, der Temperatur, den Abmessungen des Sackes und der Sorgfalt bei der Anwendung ab; Schwankungen zwischen 10 und 200 Gebrauchsstunden sind normal. Als Werkstoffe kommen meist natürlicher und synthetischer Gummi, oft mit Geweben verstärkt, in Frage. Ermutigende Ergebnisse wurden in USA auch mit Folien aus Polyvinylchlorid, Vinylbutyrol-Harzen oder Cellophan erzielt. Eine zweckmäßige Konstruktion des Entlüftungsnippels zeigt Bild 930.

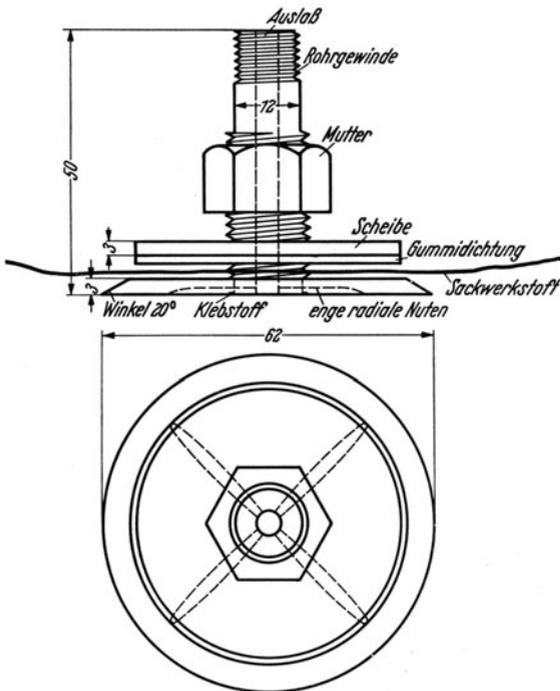


Bild 930. Konstruktion des Entlüftungsnippels an einem Gummi-Drucksack. (Nach B. G. Heebink)

Bei Dampf-Luftbeheizung (rund 120° C) läßt sich ein Sack etwa zu 50 Arbeitsgängen verwenden; während dieser Gebrauchszeit können kleine Reparaturen an Leckstellen durch raue Behandlung nötig werden. Dienen Heißwasser oder reiner Dampf als Wärmeträger, dann unterbleibt die Oxydation, und die Lebensdauer steigt beträchtlich. Sehr wichtig ist auch völlige Ölfreiheit der Luft. Synthetischer Gummi erwies sich hinsichtlich Lebensdauer dem natürlichen als überlegen. Die Wanddicke der Säcke oder Decken kann zwischen 0,8 und 3,2 mm liegen. Man soll die Dicke so gering wie nur möglich wählen mit Rücksicht auf den besseren Wärmeübergang. Dünne Säcke führen bei Bildung von Falten oder Runzeln auch weniger zu Narbenbildung auf den Furnieren als dicke. Als Faustregel kann nach B. G. Heebink dienen, daß der Gummisack nicht dicker sein soll als das Deckfurnier des Arbeitsstückes. Zwischen den Gummisack und das Sperrholz sollen eine oder zwei Lagen Papier, Gewebe oder Segeltuch gelegt werden, damit eine Entlüftung möglich wird und ausgequetschter Leim nicht an den Gummisack selbst gelangen kann.

892.433.3 *Autoklaven (Druckzylinder), Wärmeträger*. Die Autoklaven oder Druckzylinder müssen sorgfältig hydraulisch mit mindestens dem doppelten Arbeitsdruck geprüft werden. In der Regel liegen die Arbeitsdrücke zwischen 3 und 5,5 atü, jedoch kommen auch Drücke bis etwa 8,5 atü vor. Sicherheitsventile müssen vorgesehen werden. Weiter sollen einwandfrei arbeitende

und richtig eingebaute, möglichst selbstschreibende Thermometer vorhanden sein. Umlauf des Wärmeträgers ist günstig, da sich dann kein Temperaturgefälle im Zylinder einstellt. Die Einlaßöffnung für den Wärmeträger soll so groß bemessen sein, daß der gewünschte Druck und die erforderliche Temperatur in weniger als 5 min erreicht werden. Im Hinblick darauf müssen auch der Kompressor und der Dampfkessel ausreichende Leistung haben.

Als Wärmeträger kommen Dampf, Dampf-Luft-Gemische, Wasser und Luft in Frage. Reiner Dampf wird bei hohen Temperaturen vorherrschend angewendet. Man muß den Sack vor dem Einlassen des Dampfes entlüften. Unterbleibt dies, so erhält man als Wärmeträger ein Dampf-Luft-Gemisch. Derartige Gemische kann man auch im Zusammenwirken eines Kompressors mit einem Dampfkessel schaffen. Die Speisung des Autoklaven mit heißem Wasser erfordert einen zusätzlichen Behälter, in dem das Wasser erwärmt wird. Gewöhnlich ordnet man diesen Behälter über dem Autoklaven an, der dann durch ein Fallrohr mit großem Querschnitt sehr rasch gefüllt werden kann; für den Umlauf des heißen Wassers sorgt eine Kreiselpumpe.

Wird Luft als Wärmeträger und Druckmittel verwendet, dann umgibt man den Autoklaven mit einem Dampfmantel, oder man baut in ihn Heizschlangen ein. Auch elektrische Widerstands-Heizbänder finden sich, verlangen aber besondere Vorsichtsmaßnahmen, damit Brände mit Sicherheit vermieden werden. Um die Bildung sehr explosiver Heißluft-Öldampf-Gemische zu verhüten, sollen nur Schweröle mit sehr hohem Flammpunkt in den Kompressoren benutzt werden. Außerdem hat man darauf zu achten, daß unter keinen Umständen Funken im Autoklaven entstehen können.

Heißluft hat den Nachteil, ein schlechtes Wärmeübertragungsmittel zu sein, und verlangt, um gute Ergebnisse beim Formpressen zu sichern, ausreichende Zirkulation, sie bietet

aber den großen Vorteil, daß sie bei Leckstellen im Sack das Arbeitsstück und die Form nicht beschädigt. Da andererseits Heißluft für Gummi abträglich ist, ging man auch dazu über, als Druckmittel inerte Gase zu verwenden.

892.434 Aufbau eines Werks zur Flüssig-Druck-Formung, Abgrenzung der Verfahren. Die Flüssig-Druck-Formung von Sperr- und Schichthölzern hat in den letzten zehn Jahren eine hohe Vervollkommnung erfahren. Bild 931 stellt einen Autoklaven dar, der bei 2400 mm Durchmesser eine Länge von 10,5 m hat und zur Herstellung großer Sperrholzschalen dient. Zu beachten sind auf dem Bild die Ventile am Gummisack und eine Sprührohrleitung zur Kühlung. Das Grundrißschema eines Werkes für Flüssig-Druck-

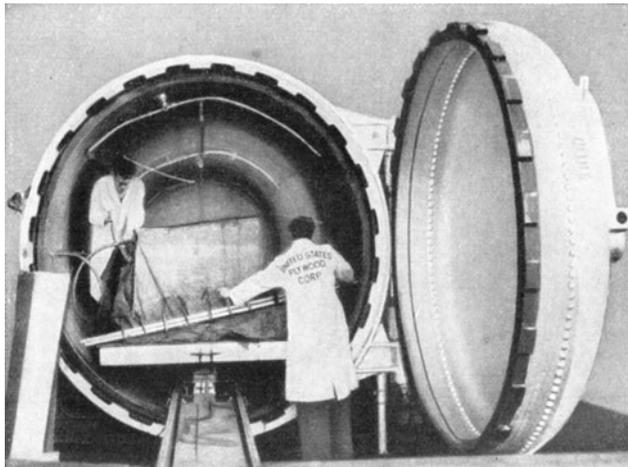


Bild 931. Ansicht eines Autoklaven mit 2,40 m Durchmesser und 10,5 m Länge zur Niederdruckformung von Sperrholz und Schichtholz.  
(Nach U. S. Plywood Corporation.)

Zahlentafel 116. Ausrüstung und Zustandsgrenzwerte bei verschiedenen Verfahren der Flüssig-Druck-Formung (nach B. G. Heebink).

Hinweis auf besond. Bemerkung. S. 838	Bild Nr.	Hauptausrüstung	Druckmittel	Wärmequelle	Sackwerkstoff	Praktischer Temperaturbereich °C	Praktischer Druckbereich atü	Formwerkstoff
1.	928	Autoklaven-Formung Autoklav, Kessel . . . .	Dampf	Dampf	A <sup>1</sup>	126 bis 160	1,4 bis 5,3	Holz, Metall
2.	928	Autoklav, Kessel, Luftkompressor . . . . .	Dampf-Luft	Dampf	A	115 bis 150	1,4 bis ZAD <sup>2</sup>	Kunststoff Beton
3.	928	Autoklav, Kessel, Pumpe, Erhitzer, Behälter, Luftkompressor . . . . .	Luft	Wasser	A	bis 150	1,4 bis ZAD	Beton
4.	928	Autoklav, Kessel, Gebläse, Luftkompressor . . . .	Luft	Dampf-Heizrohre	B	bis 150	1,4 bis 4,9	Beton
5.	928	Autoklav, elektrische Erhitzer, Gebläse, Kompressor, Gasversorgung .	träges Gas	Strahlung u. Konvektion durch das träge Gas	A oder B	bis 160	1,4 bis ZAD	Beton
6.	928	Autoklav, Kessel, Luftkompressor . . . . .	Luft	dampf-beheizte Form	B oder C	bis 160	1,4 bis ZAD	Metall, Kunststoff, Beton
7.	928	Autoklav, Kompressor, Gasversorgung . . . . .	träges Gas	Elektrisch erheizte Form	A, B oder C	bis 160	1,4 bis ZAD	Metall, Kunststoff, Holz
8.	927 und 929	Druckform-Formung <sup>3</sup> Druckform, Kessel . . . .	Dampf	Dampf	A	126 bis 160	1,4 bis ZAD	Holz, Metall, Kunststoff- Beton
9.	929	Druckform, Kessel, Luftkompressor . . . . .	Dampf-Luft	Dampf	A	115 bis 138	1,4 bis ZAD	Beton

10.	929	Dampfbeheizte Druckform, Kessel, Luftkompressor	Luft	Dampf	B oder C	bis 160	1,4 bis ZAD	Metall o. Beton
11.	929	Elektrisch beheizte Druckform, Kompressor, Gasversorgung . . . . .	träges Gas oder Luft	Elektrizität	A, B oder C	bis 160	1,4 bis ZAD	Metall o. Kunststoffe
12.	914, 920	Vacuumsack-Formung Vacuumpumpe, Strahlungsheizung . . . . .	Luft	Strahlende Hitze	B	bis 160	bis 1	Holz, Metall, Kunststoffe, Beton
13.	920	Vacuumpumpe, Kessel oder elektrischer Erhitzer . .	Luft	Dampf oder elektrisch beheizte Form	B oder C	bis 160	bis 1	Metall oder Kunststoffe
14.	920	Vacuumpumpe, Behälter für heiße Flüssigkeit . .	Luft	heiße Flüssigkeit	A oder C	bis 160	bis 1 (+ Flüssigkeitsgewicht)	Holz, Metall o. Kunststoffe

<sup>1</sup> Klasse A Dampf-, wasser- und luftdicht bei Temperaturen bis zu 160° C; natürlicher und synthetischer Gummi, gewisse Cellophansorten.

Klasse B Luftdicht, verwendbar bei Temperaturen bis zu 160° C; Cellophan.

Klasse C Luft- oder flüssigkeitsdicht bei Temperaturen bis zu 100° C; Gummi, Cellophan, Gewebe mit Kunstharzaufgabe, thermoplastische Filme.

<sup>2</sup> ZAD Zulässiger Arbeitsdruck, bestimmt durch Bauart des Geräts und Überwachungsvorschriften.

<sup>3</sup> Form, die innerem Flüssigkeitsdruck standhält.

Formung von Lagenhölzern gibt Bild 932 wieder. Zahlentafel 116 erleichtert die Abgrenzung der verschiedenen Verfahren.

Besondere Bemerkungen zu Spalte 1

1. Natürlicher und synthetischer Gummi gibt dem Sack die höchste Lebensdauer bei reinem Dampfbetrieb. Einige Sorten von Cellophan sind für einen Arbeitsgang verwendbar. Der Druck ist zu niedrig für allgemeine Gummisackformung unterhalb von  $126^{\circ}\text{C}$  (1,4 atü bei  $126^{\circ}\text{C}$ ); oberhalb von  $160^{\circ}\text{C}$  besteht die Gefahr der Überhärtung für die äußeren Schichten, und der Sack wird rasch zerstört.

2. Dampf-Luft-Gemische schädigen den Gummi mehr als Dampf oder Heißwasser; einige Sorten von Cellophan sind für einen Arbeitsgang verwendbar. Umlauf des Wärmeträgers ist manchmal empfehlenswert, besonders unterhalb von  $115^{\circ}\text{C}$ . Oberhalb von  $150^{\circ}\text{C}$  findet eine rasche Oxydation des Sackwerkstoffes statt.

3. Lange Lebensdauer der Säcke kann bei Heißwasserbetrieb erwartet werden, da die Oxydation sehr geringfügig ist. Einige Sorten von Cellophan sind für einen Arbeitsgang verwendbar. Offene Speicherbehälter können unterhalb von  $100^{\circ}\text{C}$  benutzt werden; oberhalb von  $150^{\circ}\text{C}$  ist reiner Dampf vorteilhaft, da das Wasser unter dem gleichen Druck gehalten werden muß wie der Dampf.

4. Die Arbeitsweise ist sehr langsam infolge der niedrigen spezifischen Wärme der Luft. Etwa 5 atü werden als höchstzulässiger Druck angesehen. Vorsichtsmaßnahmen sind zu ergreifen, damit keine Öldämpfe vom Kompressor eindringen können und damit statische Aufladung durch das umlaufende Gebläse unterbleibt.

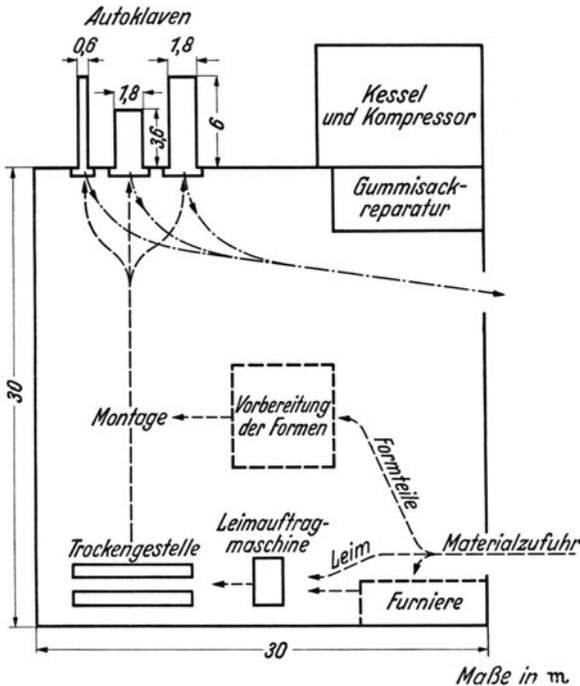


Bild 932. Schema einer kleinen Anlage mit 3 Autoklaven zur Sperrholzverformung. (Masse in m). (Nach H. R. Simonds, A. J. Weith u. M. H. Bigelow.)

greifen, damit keine Öldämpfe vom Kompressor eindringen können und damit statische Aufladung durch das umlaufende Gebläse unterbleibt.

5.  $\text{CO}_2\text{N}$  oder andere unbrennbare Gase, die den Sack nicht angreifen, sollen verwendet werden. Luft darf nicht benutzt werden wegen der Gefahr exothermer Reaktionen oder von Explosionen.

6. Die Form ist beheizt, Raumluft dient als Druckmittel, infolgedessen bleibt der Sack während der Arbeit verhältnismäßig kühl.

7. Wie 6), jedoch Benutzung eines trägen Gases an Stelle der Luft, um Explosionen bei Funkenbildung oder Kurzschlüssen im elektrischen Heizsystem zu vermeiden.

8. Der Sack wird durch Dampf gegen das Arbeitsstück gepreßt; am tiefsten Punkt des Sackes muß ein Ablauf für das Kondensat vorhanden sein.

9. Wie 8., jedoch unter Benutzung eines Dampf-Luft-Gemisches; s. auch Ziffer 2.

10. Die Form wird durch Dampf beheizt, der Sack durch Luft aufgeblasen; Kondensat-abfluß entfällt.

11. Wie 10., jedoch mit elektrischer Beheizung der Form; aus Sicherheitsgründen werden träge Gase als Wärmeträger empfohlen, jedoch wird auch Luft gebraucht.

12. Strahlende Hitze wirkt auf die Außenseite des gegen die Form gedrückten Sackes; ausreichende Bindefestigkeit wird bei Verwendung gewisser heißhärtender Leime und flachen oder nur schwachgekrümmten Teilen erzielt.

13. Wie 12., jedoch Heizung der Form mit Dampf oder Elektrizität.

14. Wie 12., jedoch wird der unter Vacuum stehende Sack mit dem Arbeitsstück in ein heißes Bad eingetaucht. Bei Wasser ist die Temperatur auf  $100^{\circ}\text{C}$  begrenzt; heißes Öl oder andere hochsiedende Flüssigkeiten können wahrscheinlich bei bestimmten Sackwerkstoffen (Cellophan oder Gewebe mit Kunstharzaufgabe) verwendet werden.

### 893. Wickelbiegeverfahren.

#### 893.1 Kontinuierliches Streifenverfahren zur Herstellung von Ringen und geschlossenen Biegekörpern.

Ringe für Stuhlsitze, Lampen usw. lassen sich, soweit sie nicht aus Vollholz gebogen werden können, nach einem im britischen Forest Products Research Laboratory entwickelten Verfahren aus Furnierstreifen wickeln, die durch Schäftungen zu einem kontinuierlichen Band verbunden wurden. Es ist sehr wichtig, daß die Schäftungen (Schäftungswinkel 1 : 15) genau und einwandfrei hergestellt werden. Man bedient sich am besten einer Schleifmaschine (s. Abschnitt 722.3). Die Furnierdicke ist nur durch die allgemeinen Biegeeigenschaften des betreffenden Holzes begrenzt. Zahlentafel 115 gibt Anhaltspunkte dafür.

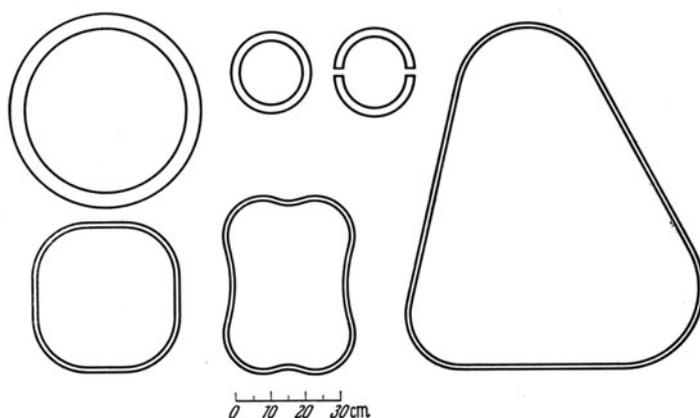


Bild 933. Beispiele verschiedenartiger geschlossener Biegekörper, hergestellt nach dem kontinuierlichen Streifenverfahren des britischen Forest Products Research Laboratory.

Die Holzfeuchtigkeit soll etwa 15% betragen. Die Verleimung der Schäftungsfugen muß mit besonderer Sorgfalt vorgenommen werden. Das entstandene Holzband wird lose über eine Trommel oder Haspel gewunden und gelangt von dort zur Biegeform. Diese ist entsprechend profiliert und besitzt oben eine übergreifende Deckplatte, die dem Holzband beim Aufwickeln als Führung dient. Die Form weist am Umfang einen Schlitz auf, in den eine Holzleiste paßt, die auf das Holzband etwa 50 mm von seinem Ende aufgeleimt wurde. Auf diese Weise wird das Bandende an der Form befestigt, die ihrerseits auf einer waagerechten oder senkrechten Scheibe aufgespannt ist. Die Scheibe wird mechanisch oder durch einen Elektromotor angetrieben. Dabei läuft auch die Form um und wickelt das Furnierband um sich, das von einer Auftragvorrichtung einseitig beleimt wurde. Für den Arbeitserfolg ist gleichmäßiger Verleimdruck unerlässlich. Bewährt hat sich die Anwendung eines Balatarimens, der unter Spannung stehend, ähnlich wie eine Bandbremse die Form mit dem aufgewickelten Furnierband umfaßt. Ein Ende des Riemens ist fest verankert, das andere wird, nachdem der Riemen selbst um Form und Holzband geschlungen wurde, durch Gewichte, Hebel oder Federn gespannt. Die erforderliche Riemenbelastung wird am besten durch Versuche festgestellt. Nach Erfahrungen des britischen Forest Products Research Laboratory kann man aber davon ausgehen, daß etwa 36 kg je cm Bandbreite mindestens nötig sind. Bevor die Riemenspannung aufgehoben wird, muß der gewickelte Ring mit einer Zwinge verspannt werden. Mit Hilfe des beschriebenen Verfahrens lassen sich sehr verschiedenartige ge-

schlossene Biegekörper (Bild 933) herstellen; offene Biegekörper sind daraus durch Querschnitte möglich. Auch gegenläufige Krümmungen können in gewissem Umfang erzeugt werden; die Hilfsmittel: Formen mit entfernbaren

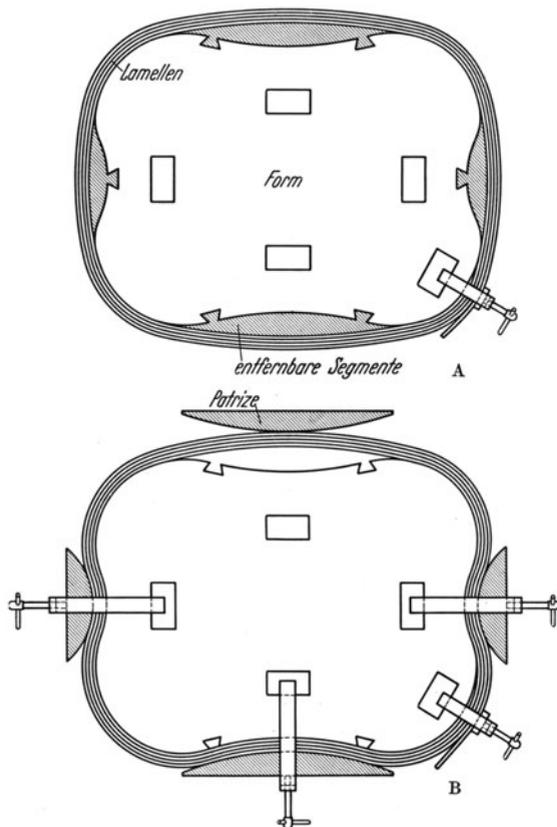


Bild 934. Schema des kontinuierlichen Streifenverfahrens des britischen Forest Products Laboratory zur Herstellung geschlossener Biegekörper. A Holzstreifen um die Form mit eingeschobenen Segmenten gewunden, B abschließender Preßvorgang (Segmente entfernt).  
(Nach W. C. Stevens u. N. Turner.)

Segmenten und die zweistufige Verfahrenstechnik werden aus Bild 934 ohne nähere Erläuterungen klar.

### 893.2 Wickelbiegeverfahren für plattenförmige Körper, System Ladon.

Eine in USA gebaute Biegemaschine für Sperrholzfurniere, Faserhartplatten usw. zeigt Bild 935. Die zu biegende Platte liegt eben auf dem Biegetisch, die erhitzte Form rollt auf der Oberseite der Platte und biegt sie, während die Rollbewegung fortschreitet. Die Bewegung der Form und damit die Biegearbeit wird durch ein Gewicht bewirkt. Die Biegung erfordert je nach der Werkstoffart wenige Sekunden bis zu 90 Sekunden. Bei 3,2 mm dickem Sperrholz beträgt der Mindest-Biegeradius 16 mm, bei 6,4 mm dickem Sperrholz 38 mm, bei extraharten Faserhartplatten von 3,2 mm Dicke 32 mm. Sperrholz kann trocken gebogen werden, jedoch ist es vorteilhaft, es zuerst mit dem Schwamm oberflächlich zu befeuchten. Extraharte Faserhartplatten müssen je nach Art und Dicke 2 bis 12 h in Wasser gelagert werden.

### 893.3 Verfahren zur Herstellung von Sperrholz-Wickelfässern.

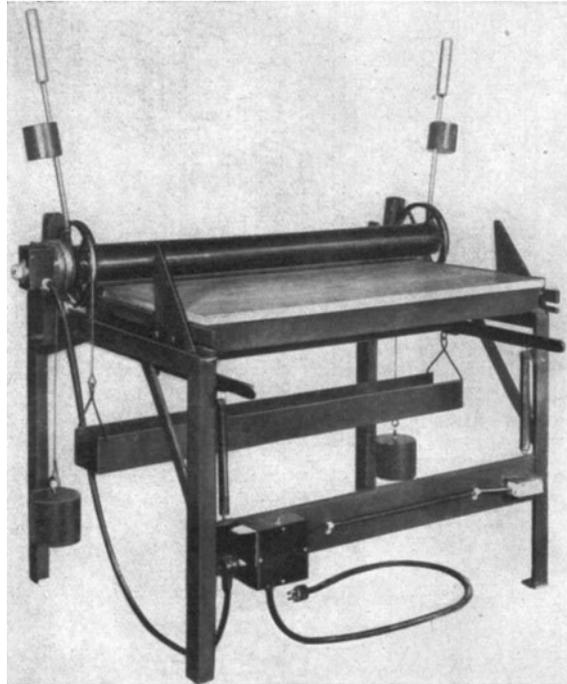
In den Werkstätten der vormaligen IG. Farbenindustrie AG. in Leverkusen wurde ein Verfahren zur Herstellung nahtloser bauchiger Sperrholzfässer geschaffen, das im Vergleich zu den üblichen Daubenfässern gleicher Größe eine beachtliche Ersparnis an Holz und Eisen mit sich brachte. Als Ausgangswerkstoff dienen 2 bis 3 mm dicke, 70 bis 100 mm breite Schäl furnierstreifen (meist aus Rotbuchenholz), die einseitig mit einem Kunstharzleim bestrichen und gemäß Bild 936 um einen Preßkern herum in mehreren Lagen übereinander zu einem lockeren Körper geschichtet werden. Die einzelnen Streifen werden dabei um rund ein Drittel ihrer Breite überlappt gelegt. In den zwei bis drei Lagen, deren jede aus 20 bis 30 Einzelstreifen besteht, kreuzen sich die Faserrichtungen. Der Preßkern (Bild 937) besteht aus einem zylindrischen Rohrmantel  $f$ , der außen von einer Gummimanschette  $g$  umgeben ist, oben und unten an seinen Stirnflächen Befestigungsringe  $h$  zum Halten der Gummiman-

schette und Kappen *k* zum Einstecken der Schälholzstreifen trägt. In der Länge verschiebbare Federstahlbänder *i* verhindern das Kleben des Holzes am Gummizylinder. Im Kernunterteil befinden sich Bohrungen, durch die Preßwasser in den Raum zwischen Kernmantel und Gummimanschette eintreten kann. Zum Pressen wird der Preßkern mit dem darauf geschichteten Faßkörper in eine dem Faßäußeren entsprechende heizbare, geteilte Form (mit den Hälften *a, c*) gebracht. Während des Pressens werden beide Hälften mit dem Verriegelungsring *e* fest geschlossen. Beim Einlassen des Preßwassers (125 atü) bläht sich die Gummimanschette auf und drückt den Schichtkörper gegen die heiße Wand der Faßform. Das Verleimen und Formen erfolgt innerhalb von etwa 8 bis 12 min.

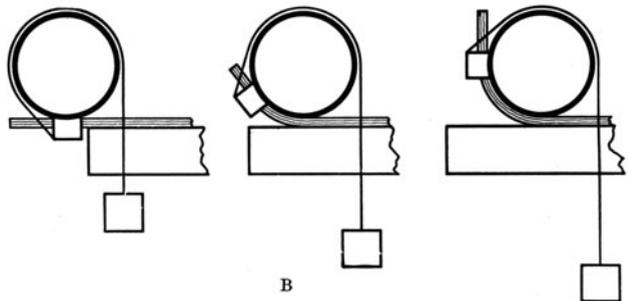
Ein in USA erfundenes Verfahren zur Herstellung von Sperrholzfässern arbeitet mit einem aus fugenverleimten Furnieren erzeugten fortlaufenden Holzband, dessen Breite gleich der gewünschten Faßhöhe ist. Wie Bild 938 zeigt, besteht das Band aus einzelnen Tafeln, deren Länge gleich der Länge des abgewickelten Formumfangs ist. Die Faserrichtungen in zwei aufeinander folgenden Tafeln kreuzen sich senkrecht oder in einem anderen Winkel. Holzart, Anzahl der Windungen und Furnierdicke sind dem Zweck des Fasses anzupassen. Als Bindemittel hat sich der Tego-Film bewährt. Nach dem Verfahren lassen sich Fässer mit rundem, ovalem, aber auch rechteckigem Querschnitt herstellen.

#### 893.4 Verfahren zur Herstellung endloser Sperrholzrohre<sup>1</sup>.

Schon vor etwa 80 Jahren tauchte der Gedanke auf, in einem fortlaufenden Verfahren Sperrholzrohre zu



A



B

Bild 935. A Ansicht, B Wirkungsschema einer Biegemaschine für Sperrholz, Furniere, Faserhartplatten, Vulkanfaser usw., Bauart Midwest Manufacturing Co, St. Louis, gemäß US. Pat. 2373567. Maschinenbreite 122 bis 244 cm, Biegeform auswechselbar, Durchmesser 32 bis 300 mm, elektrisch beheizt (5 kW), Arbeitstemperatur durch Thermostat einstellbar von 65° bis 290° C.

<sup>1</sup> Stern, E. G.: Spiral-Veneer Drums and Tubes, For. Prod. Resc. Soc. 1948 Preprint Nr. 28.

wickeln. C. W. Hebard<sup>1</sup> erhielt im Jahre 1872 in USA ein Patent auf eine Wickelvorrichtung. Das Holzband befand sich dabei auf einer Haspel, von der aus es durch eine mit Leim gefüllte Mulde zu dem Kern geführt und darum gewickelt wurde. Den zum Verleimen erforderlichen Druck lieferte eine gewichtsbeschwerte zylindrische Rinne; das fertiggewickelte Rohr wurde unten von zwei Rollen aufgenommen, die sich auf einem Wagen

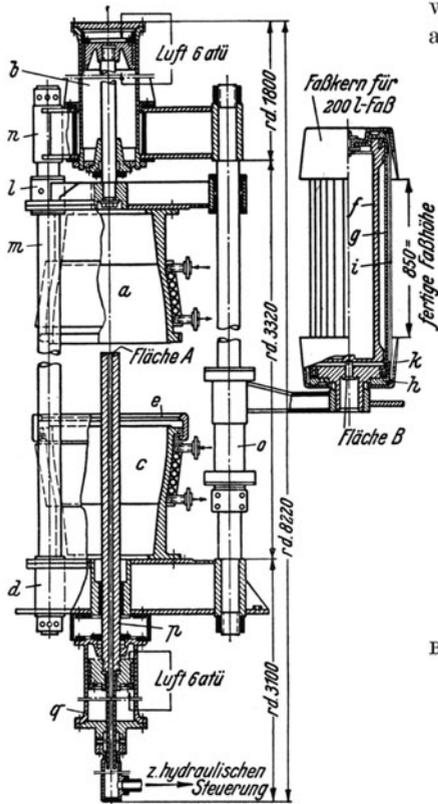


Bild 937. Aufbau der hydraulischen Faßpresse mit Außenform und ausschwenkbarem Preßkern. (Nach F. Rüs ch u. P. Sander.)

- a oberer Teil der äußeren Form
- b Druckluftzylinder
- c Formunterteil
- d unteres Querhaupt
- e Verriegelungsring
- f Stützrohr des Preßkerns
- g Gummimanschette
- h Befestigungsringe
- i Federstahlbänder
- k Blechkappen
- l Befestigungsplatte
- m Druckgerüstssäulen
- n oberes Querhaupt
- o Schwenkarm
- p Traghorn
- q Druckluftzylinder



Bild 936. Einstecken der Schälholzstreifen um den Preßkern zur Herstellung eines bauchigen Sperrholzfasses.

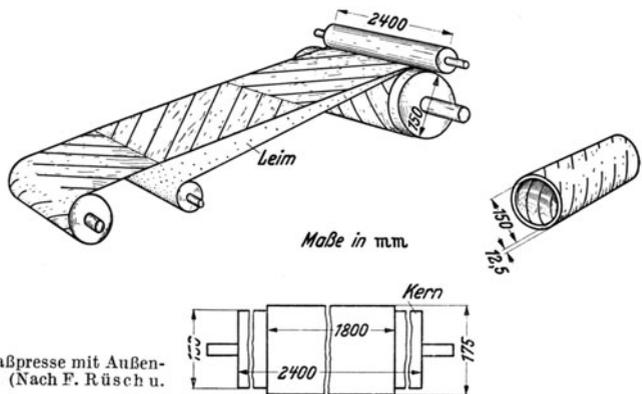


Bild 938. Schema der Herstellung von Sperrholzfässern durch Aufwicklung eines Bandes aus fugenverleimten Furnierstreifen über einen Kern. Man beachte den diagonalen, sich wechselweise kreuzenden Verlauf der Furnierstreifen. (Nach H. R. Simonds, A. J. Weith u. M. H. Bigelow.)

<sup>1</sup> Hebard, C. W.: Improvement in the Manufacture of Composition Pipes for Water and Gas, US Pat. Nr. 131 272, Sept. 1872.

befanden. Zur industriellen Anwendung kam das Verfahren aber offenbar nicht, wahrscheinlich in der Hauptsache, weil die seinerzeit zur Verfügung stehenden Leime wenig für Holzrohre geeignet waren. Nach der Einführung der Kunstharzleime lagen wesentlich günstigere Verhältnisse vor. Das Interesse für kontinuierlich erzeugte Sperrholzrohre wuchs deshalb wieder. E. G. Stern schlug im Jahre 1942 ein Verfahren vor, dessen Grundzüge aus Bild 939 zu ersehen sind. Die Furniere und Querfurniere gelangen nach Belemen mit Dosierrollen  $D$  zu einer rotierenden dampfbeheizten Welle  $W_1$ , wo sie vorerhitzt werden. Zugleich erhalten die einzelnen Furnierlagen dabei eine Zugspannung; aus dem Sperrholzband wird nun über einer stählernen Vorschubmanschette  $M$ , deren Innendurchmesser gleich dem Außendurchmesser des Sperrholzrohres ist, das Sperrholzrohr gewickelt; die Manschette dreht sich und gleitet gleichzeitig auf einer schweren dampfbeheizten Welle  $W_2$ , in deren Innern sich ein Rollenlager  $R$  befindet, das den kinematischen Anschluß an eine schwingende Stahlachse  $A$  herstellt, die sowohl eine waagerechte als auch senkrechte Bewegung der Welle mit der Manschette während des Wickelvorgangs erlaubt. Der erforderliche Verleimdruck stammt von der Feder-

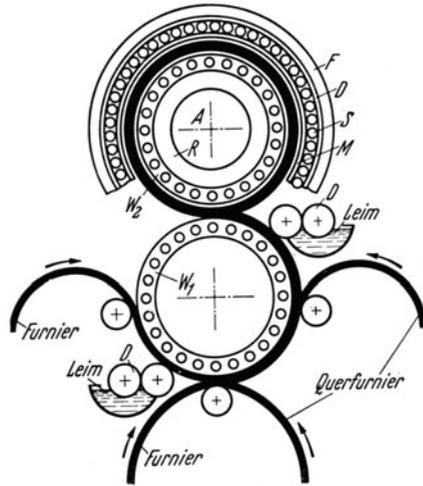


Bild 939. Schematischer Schnitt durch eine Vorrichtung zum kontinuierlichen Wickeln von Sperrholzrohren. (Nach E. G. Stern.)

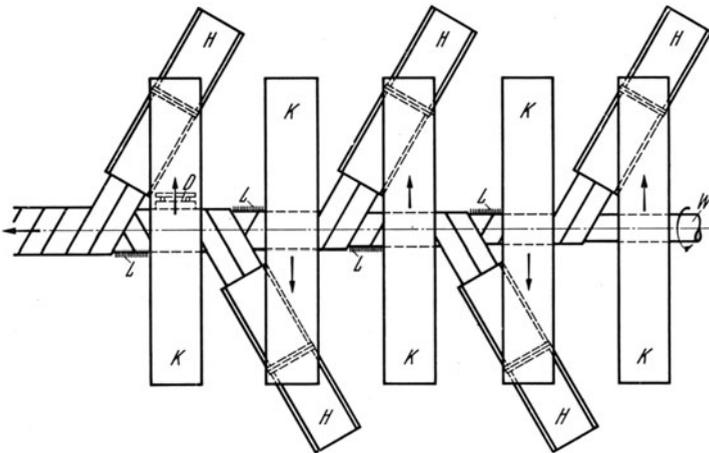


Bild 940. Schema einer Windmaschine zur Herstellung endloser Sperrholzrohre. (Nach E. G. Stern.)

haube  $F$  (die sich ausdehnen kann und damit sich von selbst dem beim Wickeln größer werdenden Rohrdurchmesser anpaßt), in deren Innern sich dampf-beheizte federbelastete Druckrollen  $D$  befinden; ein Sattelblech  $S$  zwischen den Rollen und dem Wickelrohr sorgt für gleichmäßige Druckverteilung.

Nach einem anderen ebenfalls von E. G. Stern stammenden Vorschlag, werden gemäß Bild 940 die von Haspeln  $H$  kommenden Furniere sich kreuzend

über eine stationäre, umlaufende Kernwelle  $W$  gewunden. Die Haspeln sind, wie gezeichnet, in umlaufenden Käfigen  $K$  gelagert. Die Furniere erhalten eine Zugspannung durch Bremsen in den Haspeln. Den Verleimdruck liefern federbelastete Druckschuhe  $D$ , die sich in umlaufenden Käfigen befinden und zugleich für eine saubere Führung der spiralig gewundenen Furniere sorgen. Die zum Abbinden des Leims  $L$  in den Innenrohrschichten erforderliche Hitze wird entweder durch Heißluftheizung des Kerns oder durch Hochfrequenzbeheizung, wobei der Kern als eine Elektrode dient, herbeigeschafft. Das Abbinden der äußeren Rohrschichten erfolgt, indem man das Rohr nach Verlassen des Kerns durch ein hochfrequentes Wechselfeld oder eine Heißluftkammer laufen läßt. Um das kontinuierlich gewundene Rohr in der Produktionsrichtung vorwärts zu bewegen, kann man es entweder an einem hölzernen Kopf befestigen und für Vorschub durch umlaufende Rollen mit Spiralnuten sorgen, oder man kann sich eines Systems endloser Vorschubriemen<sup>1</sup> bedienen.

Die neuen Maschinen zum fortlaufenden Herstellen von Holzrohren aus kreuzweise verlaufenden Wicklungen von Furnierbändern haben insgesamt wesentliche Züge mit zwei Wickelmaschinen gemeinsam, die Ph. Betz erfunden hat. Die erste im Jahre 1933 geschaffene Maschine<sup>2</sup> ist in Bild 941 schematisch in ihrer Wirkungsweise ( $A$ ), in Seitenansicht ( $B$ ) und in Stirnansicht am Ende ( $C$ ) dargestellt. Die Furniere  $1, 2, 3, 4$  und  $5$  werden kreuzweise über einen Dorn  $6$  gewickelt, der aus einem umlaufenden Zylinder besteht. Der Mantel dieses Zylinders enthält mehrere in axialer Richtung bewegte endlose Förderketten  $7$ , Gummiriemen oder dgl.; konzentrisch zu ihm sind mehrere mit größerer Drehzahl als der Dorn umlaufende Trommeln  $8$  angeordnet, die als Vorrattrommeln für die quer aufzuwickelnden Furnierbänder dienen. Gegenüber älteren bekannten Vorschlägen für Rohrwickelmaschinen braucht der als Dorn verwendete Zylinder bei dieser Konstruktion nur mehr eine kurze Länge zu erhalten, unabhängig von der Länge des herzustellenden Rohres. Auch entfällt eine axiale Bewegung des Dorns, der nur mehr eine Drehbewegung ausführt. Das Wickeln bei dieser Maschine erfolgt pausenlos. Die relative Drehzahl zwischen dem Dorn und den Vorrattrommeln bestimmt die gewünschte Dichte der Kreuzwicklungen. Um mit derselben Maschine ohne Auswechslung zahlreicher Teile Holzrohre verschiedenen Durchmessers herstellen zu können, kann die Länge des oberen Förderkettentrums durch Leiträder in radialer Richtung verstellt werden, wobei die zwischen den Ketten befindlichen Mantelteile  $9$  des Dorns ausgewechselt werden. Das empfindliche Holzrohr wird nach Verlassen des Wickelbaums auf seiner Innenseite durch Rollensätze  $10$ , auf seiner Außenseite durch radial verstellbare Stützrollen  $11$  geführt.

Das Abschieben der fertigen Rohrwicklungen vom Dorn hat zur Voraussetzung, daß das Wickeln unter ziemlich großer Spannung stattfindet. Nur in diesem Falle erhält das Rohr ausreichende Festigkeit, um der Einwirkung der Förderketten standzuhalten. Ist die Spannung unzureichend, so rutschen die Förderketten leicht gegenüber den Holzwindungen; die Folge ist, daß die Windungen nicht mehr genau aufeinander folgen, sondern sich überlappen oder klaffen. Zu diesem Nachteil gesellt sich der weitere, daß die Maschine verhältnismäßig verwickelt im Aufbau ist; eine spätere Konstruktion<sup>3</sup> bezweckte deshalb die Schaffung einer einfacheren, zuverlässig arbeitenden Maschine. Sie be-

<sup>1</sup> Goldman, P. R., u. R. Alt: Wood Tubing Manufacture, US Pat. Nr. 2402038, Juni 1946.

<sup>2</sup> DRP. 625946, Ph. Betz vom 7. 12. 1933.

<sup>3</sup> DRP. 698421, Ph. Betz vom 27. 2. 1938.

sitzt einen Dorn zum Aufwickeln des Schichtholzbandes, gegenüber dem die Bandzuführung axial hin und her bewegt wird, und zwar derart, daß der Wickeldorn während des Hinganges der Bandzuführung gedreht wird, dagegen während des Herganges, bei dem der gewickelte Rohrteil aus der Maschine ausgestoßen wird, in Ruhe bleibt.

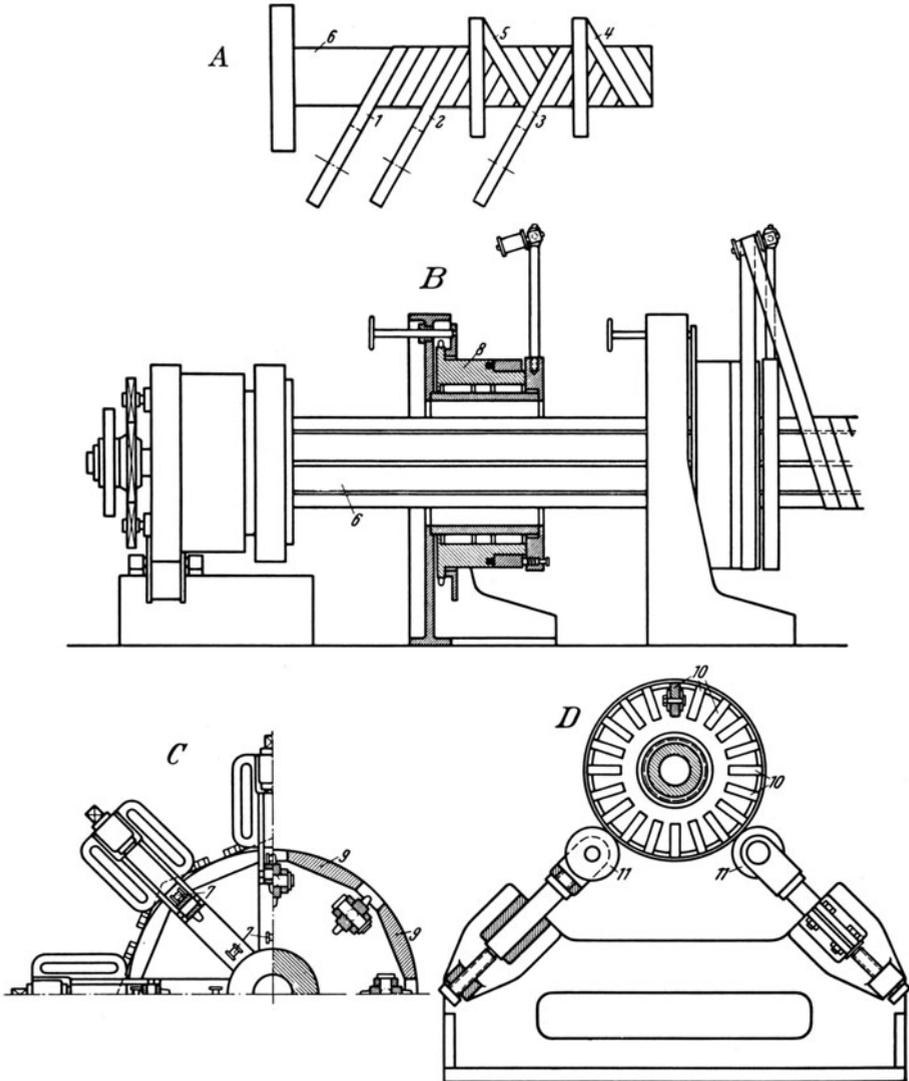


Bild 941. Wirkungsweise und Aufbau einer Maschine zur fortlaufenden Herstellung von endlos gewickelten Sperrholzrohren. (Nach Philipp Betz.)

Bild 942 zeigt schematisch die Wickelmaschine im Grundriß (A) und Aufriß (B). Ihr wesentlichster Teil, der Wickeldorn 1, besitzt einen Mantel (C), der aus im Abstand voneinander befindlichen, axial gerichteten Stäben 2 gebildet wird. Hierdurch wird dem Abschieben der fertigen Rohrteile ein verhältnismäßig geringer Reibungswiderstand entgegengesetzt und die Gefahr des Rutschens der Schichtholzblätter in Umfangsrichtung des Mantels verringert.

Gegenüber dem Dorn *1* ist die Bandzuführung angeordnet, die aus den Leitrollen *3, 4, 5, 6* und *7* und den Vorrattstrommeln *8* und *9* besteht. Die Leitrolle *6* taucht im Trog *10* in ein flüssiges Bindemittel und beleimt dadurch die eine Seite des Furnierbandes *11*. Die Furnierbänder *11* und *12* sind gegeneinander versetzt, wie aus Teil *A* hervorgeht, so daß die Fugen des gewickelten Rohres ebenfalls gegeneinander versetzt liegen. Die Leitrollen und Vorrattstrommeln sind

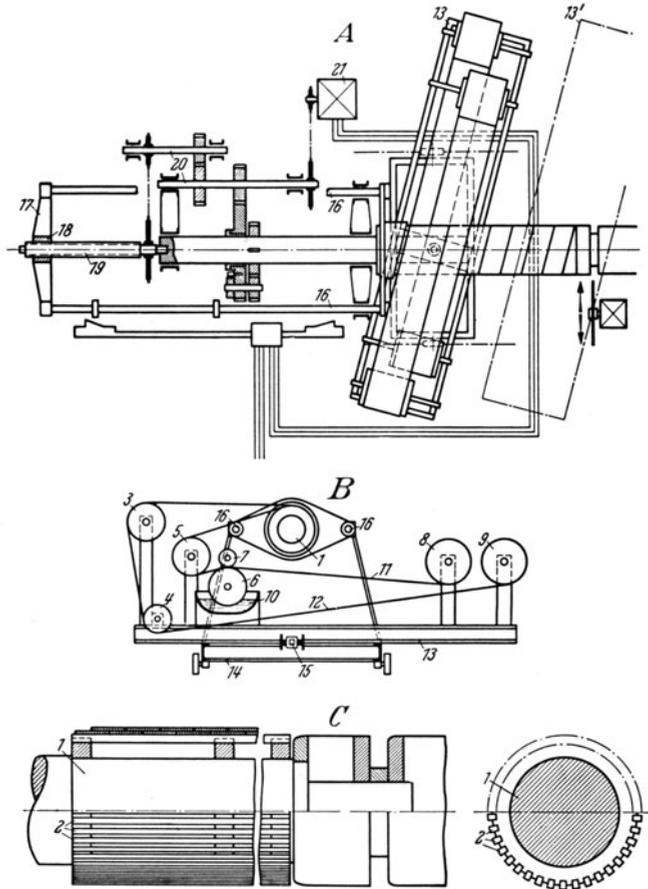


Bild 942. Schema einer Maschine zum schraubenförmigen Wickeln endloser Sperrholzrohre über einen Dorn.  
(Nach Philipp Betz.)

auf einem Rahmen *13* gelagert, der sich auf einen Wagen *14* abstützt. Der Rahmen *13* ist um den Zapfen *15* gegenüber dem Wagen drehbar. Der Wagen ist in Achsrichtung des Dorns derart fahrbar, daß der Rahmen (also die Bandzuführung) gegenüber dem Dorn die Endstellungen *13* und *13'* einnehmen kann. Die Bewegung der Bandzuführung geschieht mittels zweier am Wagen angreifender Holme *16* vom Querhaupt *17* über eine Spindelmutter *18*, eine Spindel *19*, das Getriebe *20* vom Motor *21* aus. Das Getriebe *20* sorgt sowohl für Hin- und Hergang der Bandzuführung als auch dafür, daß der Wickeldorn *1* umläuft, wenn die Bandzuführung sich von *13'* nach *13* bewegt (das ist im Bild *A* von rechts nach links), und umgekehrt in Ruhe bleibt, wenn sich die Bandzuführung beim Ausstoßen des gewickelten Rohres von links nach rechts bewegt.

Gewickelte Sperrholzrohre können nicht nur zu Leitungen von Flüssigkeiten und Gasen (speziell in chemischen Werken und Laboratorien), zu Regenrohren, sondern auch für architektonische Zwecke, für Teleskop-Antennenmaste, für Behälter usw. dienen.

## 894. Ziehen von Holzfurnieren.

### 894.0 Allgemeines über das Ziehen von Holz.

Die Bemühungen, flache oder auch tiefe Hohlformen — z. B. Schüsseln, Dosen, Schachteln usw. — aus Furnieren oder Sperrholz zu pressen, reichen bis in das neunzehnte Jahrhundert zurück. Der Erfolg blieb jedoch aus, da dem Werkstoff Holz die bei Eisen so ausgeprägte Fähigkeit des Fließens unter Zugbeanspruchung fehlt; nach einer geringen elastischen Dehnung stellt sich fast ohne plastischen Übergang der Bruch ein. Dazu kommt der außerordentliche Unterschied in der Zugfestigkeit parallel und senkrecht zur Faser.

Da Holz nicht eigentlich fließen kann, lassen sich selbst einzelne dünne Holzblätter nicht zu einer Hohlform pressen, ohne daß Risse entstehen. Insbesondere sind diese Schäden unvermeidbar, wenn man die beim Metallziehen üblichen Werkzeuge zur Herstellung von Hohlkörpern aus Holz benutzen will. Der Grund liegt darin, daß die Ziehvorrichtungen für Metalle absichtlich ein Überschreiten der Fließgrenze herbeiführen, um die faltenlose Umformung zu erreichen<sup>1</sup>. Solange es nicht gelingt, durch irgendwelche — vielleicht chemische — Behandlung eine Art von Fließvorgang zu ermöglichen, muß man durch Verwendung von Sperrholz und zweckmäßige Arbeitsverfahren Auswege schaffen.

### 894.1 Forßman-Verfahren.

Für die Herstellung von Schachteln, Dosen usw. werden nach einem Vorschlag von V. H. Forßman<sup>2</sup> sehr feine Schäl-furniere (hauptsächlich aus Birke, Erle, Avodiré, Okumé, Grand Bassam, Ceder, Oregon Pine, Pitchpine) nach geeigneter Imprägnierung mit einem Sonderleim zu dünnen (z. B. 0,5 bis 2 mm dicken) Sperrplatten (auch „Holzblech“ genannt) verbunden. Die Zerreißfestigkeit von derartigem Holzblech hat O. Müller<sup>3</sup> bestimmt und fand beispielsweise für lufttrockenes Birkenholzblech im Mittel (parallel zur Faser der äußeren Deckfurniere) 510 kg/cm<sup>2</sup>, für Avodiré 420 kg/cm<sup>2</sup>. Das Material wird bei der Formgebung erhitzt und läßt sich mit ähnlichen Werkzeugen, wie sie in der Kartonnagenindustrie üblich sind, verarbeiten. Das einmal geformte Holz ist formbeständig<sup>4</sup>. Es ist aber zu betonen, daß auch derart dünne Sperrplatten nicht reckbar sind, daß es sich also immer nur darum handeln kann, ebene Zuschnitte zu einer gewünschten Hohlform vorzufalten und gleichzeitig oder anschließend die Falten glatt zu pressen. Bild 943 zeigt beispielsweise in ihrem Teil *a* den Zuschnitt für eine Schachtel mit der Form *b*. Es ist ersichtlich, daß der in den Zuschnittecken vorhandene, durch Strichelung hervorgehobene Stoffüberschuß der Zarge in den im Bildteil *b* ebenfalls gestrichelten Kanteneinrichtungen zusammengefaltet und verpreßt werden muß. Die Faltenverteilung ist entsprechend dem Faserverlauf ungleichmäßig und damit auch die Wanddicke und der obere Zargenrand. Mit wachsender Ziehtiefe nimmt die Wanddicke

<sup>1</sup> Hoitz, B.: Sperrholz Bd. 14 (1934) S. 41.

<sup>2</sup> DRP. 407526 und DRP. 465755, Forßman-Holzblech GmbH., Köln.

<sup>3</sup> Müller, O.: Holzblech, seine spanlose Formung zu Hohlkörpern, Diss. T. H. Dresden 1929.

<sup>4</sup> Vgl. Anonymus: Holzblech, das Technische Blatt, Beilage zur Frankfurter Ztg. vom 23. Nov. 1933.

entsprechend zu. Um beim Pressen das überschüssige Material unterzubringen — Bild 944 läßt die sehr erheblichen Mengen, wieder gestrichelt, für eine runde Platine erkennen —, ist zwischen Ring (Matrize) und Stempel (Patrize) ein sich nach oben gering konisch erweiternder Hohlraum vorzusehen (Bild 945). Als mittlere günstige Temperatur der Werkzeugoberfläche fand O. Müller 130° C bei etwa 60 s Backzeit, die zur Verdampfung des Anfechtwassers nötig ist. Ganz allgemein beschleunigen

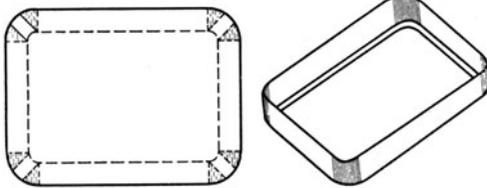


Bild 943. Holzblechschachtel a Zuschnitt, b fertige Schachtel.

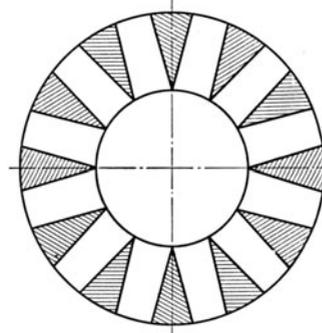


Bild 944. Rundscheibe (Platine) zum Formpressen (die schraffierten Teile müssen verformt werden).

erhöhte Temperaturen den Arbeitsgang. Damit die Wirtschaftlichkeit aber darunter nicht leidet, ist auf sorgfältigen Wärmeschutz zwischen Ziehwerkzeug und Ziehpresse zu achten.

Um das lufttrockene Holzblech ziehbar zu machen, wird es nach praktischen Erfahrungen in eine warme Seifenwasserlösung (1,1 bis 1,3 g Marseiller Seife auf 100 g Wasser) gelegt. Als für das Ziehen günstigste Feuchtigkeit können etwa 25% gelten. Der Widerstand einer Holzart gegen die spanlose Verformung scheint der Zugfestigkeit annähernd

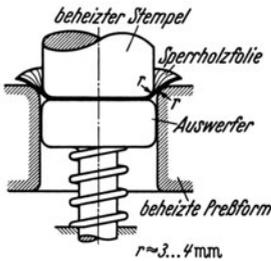


Bild 945. Schema der Werkzeuganordnung beim Formpressen von Holz. (Nach G. Pahlitzsch.)

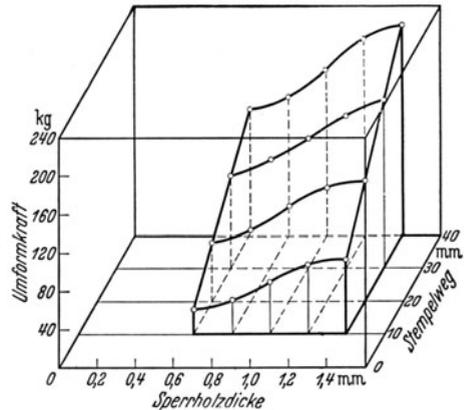


Bild 946. Abhängigkeit der Umformkraft von der Holzdicke und dem Stempelweg. (Nach O. Müller.)

gleich zu laufen. Die beispielsweise beim Ziehen von zylindrischen Hohlkörpern aus Birken-Sperrholz von O. Müller gemessenen Umformkräfte zeigt Bild 946.

Die Umformkraft setzt sich zusammen aus der Kraft zum Biegen, der Kraft zum Falten (auf die 80 bis 90% des gesamten Kraftaufwands entfallen) und der Kraft zur Überwindung der Reibung. Sie wächst, wie Bild 946 zeigt, annähernd proportional der Holzdicke und dem Stempelweg. O. Müller stellte durch Indizieren folgende mittlere Umformkräfte fest:

Birke . . . . .	$P_m = 50 \text{ kg}$	} je mm Holzdicke und 10 mm Formtiefe.
Avodiré . . . . .	$P_m = 40 \text{ kg}$	
Okumé . . . . .	$P_m = 30 \text{ kg}$	

Als Grenze der Ziehtiefe können etwa 40 mm gelten, bei größeren Tiefen reißt das Holz. Die günstigste Umformungsgeschwindigkeit liegt bei etwa 30 mm/s. Zur Herstellung des zu verformenden Sperrholzes scheinen sich thermoplastische Leime (z. B. Polyvinylester) besonders zu eignen<sup>1</sup>.

### 895. Prägen von Holz.

Holz läßt sich infolge seiner Faserstruktur, der Elastizität, seiner Fasern und seiner Hygroskopizität schlecht prägen. Feinheiten der Prägung kommen nicht heraus oder verschwinden mit der Zeit. Da die Prägtiefe also mit der Zeit zurückgeht, muß man tiefer prägen, als man im Endergebnis wünscht. Vor dem Prägen feuchtet man das Holz an. Das Prägen selbst soll mit einem erhitzten Stempel erfolgen.

## 9. Holzverbindungen.

### 91. Nagelverbindungen.

#### 910. Allgemeines über Nagelverbindungen.

Nägel zählen zu den ältesten Holzverbindungsmitteln des Zimmermanns. Schon Ende des 16. Jahrhunderts hatte Philbert de l'Orme Bohlenbinder bogenförmig zusammengenagelt<sup>2</sup>. Auch bei Bauten für vorübergehende Zwecke hat man sich schon länger der Nägel (teilweise sogar für Binder) bedient. Später aber wurden die Nägel als Verbindungsmittel abgelehnt, und C. Kersten<sup>3</sup> schrieb noch 1926 in seinem Lehrbuch „Freitragende Holzbauten“: „Nägel kommen als Verbindungsmittel nur für ganz untergeordnete Teile in Frage, allenfalls noch für Brettbinder . . . Die Nägel zerstören . . . gewaltsam das Gefüge der Holzfasern, erzeugen Risse und Aufspaltungen. Sie bestehen zumeist aus weichem Eisen, haben also keine Biegefestigkeit und veranlassen starke Verschiebungen. Beim Schwinden des Holzes hört jede Haftfestigkeit der Nägel auf und damit auch ihre Wirksamkeit. Sie werden dann mit der Zeit locker.“

Es bedurfte deshalb jahrelanger Bemühungen und Versuche, in Deutschland hauptsächlich von W. Stoy, um die Brauchbarkeit der Nägel als Holzverbindungsmittel erneut unter Beweis zu stellen. Aber erst 1933 wurden die Bestimmungen über Nägel als tragende Verbindungsmittel in DIN 1052 aufgenommen, während sie in den vorläufigen Bestimmungen der Reichsbahn für Holztragwerke (*BH*) noch verboten blieben. Die von W. Stoy entworfenen Richtlinien über die Nagelverbindungen, die in DIN 1052 eingearbeitet wurden, sahen verhältnismäßig niedrige Anschlußwerte vor, um Mißerfolge zu vermeiden. Bei späteren Versuchen erwies sich die Richtigkeit dieser Überlegung, da sich herausstellte, daß die Spaltgefahr durch die einzuschlagenden Nägel nur dann entfällt, wenn gewisse Mindestabstände der Nägel in der Längs- und Querichtung eingehalten werden. Entsprechende Vorschriften für die kleinsten

<sup>1</sup> Riechers, K.: Fortschritte im Holzbau durch Anwendung neuzeitlicher Bindemittel, Jb. Lillenthal-Ges. f. Luftfahrt 1936, S. 466.

<sup>2</sup> Seidel, E.: Bautechn. Bd. 21 (1943) H. 29/33; W. Stoy u. F. Fonrobert: Holz-Nagelbau nach DIN 1052, 3. Ausg. 1940, Schrift 6 der Schriftenreihe der Reichsarbeitsgemeinschaft Holz, Berlin März 1942.

<sup>3</sup> Kersten, C.: Freitragende Holzbauten, Berlin 1926.