

DER BETRIEB

TECHNISCHER TEIL DER ZEITSCHRIFT MASCHINENBAU

HERAUSGEGEBEN VOM VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

BAND 8

20. JUNI 1929

HEFT 12

Vergleichende Untersuchungen an Vollholz und Sperrholz aus Okumé

Von Prof. Dr.-Ing. GABER, Karlsruhe mit Direktor Dipl.-Ing. CHRISTIANS, Mannheim-Rheinau¹⁾

Die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des bei der Sperrholzfabrikation heute üblichen Okuméhholzes, sowohl des Vollholzes als auch des Sperrholzes, werden untersucht und zahlenmäßig festgestellt. Die Untersuchungen erstrecken sich auf das Verhalten bei Beanspruchung durch Zug, Druck, Biegung, Schub, Spalten und Schlag, außerdem auf das elastische Verhalten sowie auf den Einfluß wiederholter Belastung.

Die Gründe für die rasche Ausbreitung des Sperrholzes liegen darin, daß es im Gegensatz zu sogenannten Ersatzstoffen alle Vorzüge, die das Holz vor anderen Baustoffen auszeichnen, wie leichte Gewinnung und Bearbeitung, schönes Aussehen, angenehme warme Farbtöne, große Haltbarkeit und geringe Wärmeleitfähigkeit unverändert beibehält, zugleich aber die Mängel des Vollholzes, insbesondere das Quellen und Schwinden sowie die geringe Festigkeit quer zur Faser, weitgehend vermindert. Diese Eigenschaften wurden bisher — von Sondergebieten abgesehen — im allgemeinen nur gefühlsmäßig beurteilt.

Es ist daher an der Zeit, die Eigenschaften des Sperrholzes durch wissenschaftliche Untersuchungen zahlenmäßig festzustellen, um auf diese Weise eine zuverlässige und unparteiische Beurteilung zu ermöglichen und einen Vergleich mit dem Vollholz zu gewinnen. Dadurch werden gleichzeitig der Holzindustrie feste Richtlinien für die Weiterentwicklung und die zweckmäßigste Verwendung des Sperrholzes gegeben. Dadurch wird aber auch dem Konstrukteur die Möglichkeit geboten, neben Stahl oder Leichtmetallen, deren Festigkeitseigenschaften stets bis ins einzelne klargelegt zu werden pflegen, auch Sperrholz für hochwertige Konstruktionen in Betracht zu ziehen.

Art und Ziel der Versuche: Angesichts der vielen Fragen, die der Klärung bedurften, wurden die Versuche zunächst auf eine Holzart beschränkt und zwar auf das von der Sperrholzindustrie am meisten verwendete Okuméhholz. Dabei wurden stets Parallelversuche zwischen Okuméh-Vollholz und Okuméh-Sperrholz ähnlicher Abmessungen vorgenommen, um festzustellen, wie weit durch die Absperrung des Holzes eine Verbesserung der Eigenschaften herbeigeführt wurde²⁾. Wenn auch von jeder Holzsorte im allgemeinen mindestens sechs Probestücke geprüft und damit brauchbare Mittelwerte gewonnen wurden, so machen die festgestellten Zahlenwerte bei den großen Unterschieden, die innerhalb der gleichen Holzart je nach Klima und Bodenbeschaffenheit des Standortes, nach der Struktur des Holzes usw. vorkommen können, doch keinen Anspruch darauf, allgemein gültige Ziffern für das Okuméhholz abzugeben. Noch weniger war es

Zweck der Versuche, Parawerte zugunsten der einen oder anderen Zurichtungsart aufzustellen. Es sollte vielmehr an einem Durchschnittsbeispiel der Einfluß der Absperrung des Holzes klargelegt werden, so daß die gewonnenen Ergebnisse sich sinngemäß auch für andere Fälle und andere Holzarten verwerten lassen.

Die Versuchskörper

Sämtliche Versuchskörper waren aus Okuméhholz hergestellt, einem weichen mahagoniähnlichen Laubholz, das vielfach auch nach dem Ursprungsland Gaboon (an der Westküste von Äquatorialafrika) als Gaboonholz bezeichnet wird und den botanischen Namen *Aucoumea klaineana* führt. — Die Untersuchung erstreckte sich auf folgende vier Sorten:

- Furniere von rd. 4 mm Stärke, das durch Rundschälmaschinen geschält und zur Herstellung des Sperrholzes, aber auch für Zigarrenkisten u. ä. verwendet wird.
- Sperrholz von rd. 6 mm Stärke, das aus drei Lagen Schäl furnieren, und zwar aus zwei Außenlagen von je 1,5 mm Stärke und einer Mittellage von 3,2 mm Stärke, unter Druck zusammengeleimt ist, wobei die Holzfasern der Außenlagen im rechten Winkel zur Faser der Mittellage verlaufen.
- Sperrholz von rd. 16 mm Gesamtstärke, bestehend aus fünf Lagen Schäl furnieren, nämlich zwei längsgerichteten Außenlagen von je 2,3 mm Stärke, zwei quergerichteten Zwischenlagen von je 4,05 mm Stärke und einer längsgerichteten Mittellage von rd. 3,2 mm.
- Vollholz von rd. 15 mm Stärke, durch Sägen gewonnen.

Die Holzsorten a bis c stammen aus Rundholz, das vor dem Schälen in üblicher Weise mindestens acht Stunden lang gedämpft und gekocht wurde; das Vollholz der Gruppe d ist dagegen ungedämpft, soweit nicht bei den Versuchsergebnissen etwas anderes vermerkt ist.

Je nach Lage der Fasern der Außenfurniere zur Kraft richtung und zur Längsrichtung der Versuchskörper wird nachstehend von längs- oder querfaserigem Sperrholz gesprochen. Ferner werden unter lufttrockenen Versuchskörpern solche verstanden, welche eine Reihe von Monaten im Prüfraum, der im Winter geheizt wird, offen gelagert haben. Soweit Wasser zu den Versuchen benötigt wurde, wurde Karlsruher Leitungswasser von normaler Temperatur genommen.

¹⁾ Die Versuche wurden in der Versuchsanstalt für Holz, Stein und Eisen der Technischen Hochschule Karlsruhe auf Anregung der Schütte-Lanz Holzwerke A.-G., Mannheim-Rheinau, durchgeführt, die auch die Probekörper zur Verfügung stellte. Die Durchführung der Versuche lag in den Händen des Betriebsleiters Dipl.-Ing. Hoeffgen, Karlsruhe.

²⁾ Der Kreis der Untersuchungen umfaßt das Verhalten bei Beanspruchung auf Zug, Druck, Biegung, Schub, Spalten und Schlag. Neben den Bruchspannungen wurde auch das elastische Verhalten sowie der Einfluß wiederholter Belastung ermittelt. Die Beobachtung des Einflusses des Feuchtigkeitsgehaltes nimmt einen großen Raum ein, und schließlich wurde auch die Abnutzung im Sandstrahl gemessen.

Festgestellte Eigenschaften

1. Raumgewicht des lufttrockenen Holzes

Das Raumgewicht wurde an je drei Druckkörpern aus Vollholz und aus Sperrholz ermittelt, deren Maße in Bild 15 angegeben sind. Die Versuchskörper wurden im lufttrockenen Zustand gewogen und ausgemessen. Das Gewicht des Körpers, geteilt durch seinen Rauminhalt, ergab das Raumgewicht.

	Furnier 4 mm	Sperrholz 6 mm	Sperrholz 16 mm	Vollholz 15 mm
Raumgew. in kg/dm ³	0,426	0,441	0,516	0,507

Das höhere Raumgewicht des ungedämpften Vollholzes gegenüber dem Furnier beruht nur zum kleineren Teil auf einem Gewichtsverlust durch das mit dem Dämpfen verbundene Auslaugen; zum größeren Teil ist das höhere Gewicht wohl auf ein dichteres Gefüge zurückzuführen, worauf auch das Ergebnis der weiter unten folgenden Versuche im Sandstrahlgebläse hindeutet. Im übrigen weisen diese Zahlen auf die Schwankungen hin, die bei gleichem Holz verschiedenen Ursprungs vorkommen und daher auch in den Festigkeitszahlen wiederkehren können. Dunkleres Holz ist im allgemeinen schwerer und widerstandsfähiger als helles Holz.

Das Sperrholz hat in beiden Fällen ein etwas höheres Gewicht als das Vollholz, was sich aus dem Gewicht der festen Leimbestandteile erklärt. Dagegen ist die Zusammenpressung der Furniere während der Verleimung kaum von Einfluß, da der spezifische Flächen- und Druck innerhalb der Elastizitätsgrenze des Holzes bleibt. Im übrigen ist naturgemäß auch beim Sperrholz mit gewissen Schwankungen im Gewicht zu rechnen, wenngleich dieser Unterschied beim Okuméholz weniger stark hervortritt als bei vielen anderen Holzarten.

2. Die Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung

Diese wurde im Sandstrahlgebläse festgestellt, indem jede Probe im lufttrockenen Zustande auf einer Fläche von 6,1 cm Durchmesser 4 min lang durch Preßluft von 2 at mit feinem Sand angeblasen wurde; die Proben wurden dabei fortgesetzt gedreht, um eine gleichmäßige Verteilung der Beanspruchung auf den ganzen Querschnitt zu gewährleisten. Der durch das Anblasen bewirkte Verlust an Gewicht und Volumen gibt ein Maß für die Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Holzarten.

	Vollholz 1×15 mm	Vollholz gedämpft 1×16 mm	Sperrholz 3×2 mm	Sperrholz 2×1,5 u. 1×3,0 mm
Raumgew. kg/dm ³	0,501	0,334	0,481	0,466
Volumen- verlust cm ³	8,80	10,90	11,40	12,60
mittlere Abnutzungstiefe mm	3,0	3,7	3,9	4,3

Die beiden Vollholzproben, von denen die erste dem dunkleren Kernholz, die zweite dem weichen Herzholz entnommen ist, zeigen erhebliche Unterschiede, die sich beim Sperrholz naturgemäß stärker ausgleichen. Im übrigen hat das ungedämpfte Vollholz hier eine geringere Abnutzungstiefe als die gedämpften Hölzer. Dies gilt jedoch nicht allgemein, wie sich aus den Versuchen mit anderen Holzarten ergibt:

Buche	Maßein- heit	Vollholz 7 mm	Vollholz 7 mm	Sperrholz 3×2 mm
Raumgew. kg/dm ³		0,732	0,667	0,686
mittlere Abnutzungstiefe mm		1,2	1,5	1,1

Auch hier liegt das Gewicht des Sperrholzes zwischen dem der beiden Vollholzproben. Die Abnutzung ist beim Sperrholz, obwohl dieses aus gedämpften Furnieren besteht, geringer als beim ungedämpften Vollholz, was die wagrecht verlaufenden Jahresringe, welche übrigens beim Buchenholz ausgeprägter sind als bei dem tropischen Okuméholz, der Abnutzung einen größeren Widerstand entgegenzusetzen als die mehr oder minder schräg verlaufenden Jahresringe des Vollholzes. Absolut genommen ist die Abnutzung beim Buchenholz naturgemäß wesentlich geringer als beim Okuméholz; das bedingt aber auch, daß die Bearbeitung entsprechend schwieriger ist.

Verschied. Holzarten	Maßein- heit	außen Buche 2×1,5 mm innen Okumé 1×3,2 mm	Kiefer Voll- holz 20mm	Fichte Vollholz 20 mm
Raumgew. mittlere	kg/dm ³	0,672	0,532	0,383
Abnutzungstiefe größte	mm	1,3	3,7	7,2
Abnutzungstiefe	mm	4	7	12

Man kann also durch Auflegen z. B. eines Buchenfurniers von nur 1,5 mm Stärke eine Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung schaffen, die mehr als doppelt so groß ist wie diejenige von Kiefernvollholz und beinahe dreimal so groß wie beim Fichtenvollholz. Wie stark sich die beiden letzten Holzarten abnutzen, wird auch durch die angegebenen größten Abnutzungstiefen beleuchtet und ist von Fußböden oder Treppenstufen her allgemein bekannt. Sperrholz-Tischplatten mit Hartholz-Außenfurnieren haben sich wegen ihres großen Abnutzungswiderstandes bereits in großem Umfang eingebürgert und die Verwendung des massiven Hartholzes oder der aus rd. 5 bis 10 mm starkem Hartholz bestehenden sogenannten Dicken erheblich zurückgedrängt. Obige Ergebnisse rechtfertigen aber auch Versuche, Böden und Treppenstufen aus Sperrplatten mit Auflagen aus Hartholzfurnieren herzustellen. Dabei besteht als weiterer Gewinn die Möglichkeit, dem Außenfurnier ein parkett- oder mosaikartiges Muster zu geben.

Aus den Versuchsergebnissen sei im übrigen noch hervorgehoben, daß die Okumé-Sperrplatten sich im Querschnitt nicht mehr abnutzen als das stark harzhaltige Kiefernvollholz und bedeutend weniger als Fichtenholz, bei dem die Jahresringe nahezu senkrecht zur Oberfläche verlaufen. Die Abnutzung der verschiedenen Hölzer wächst im allgemeinen auch nach dem Ergebnis dieser Prüfungen in dem gleichen Maß, in dem das Raumgewicht abnimmt, doch kommen auch Abweichungen von dieser Regel vor. Die Bilder 1 bis 3 zeigen einige der im Sandstrahlgebläse untersuchten Proben, bei denen das harte Spätholz deutlich hervortritt.

3. Der Wassergehalt des Okuméholzes

Der Wassergehalt ist von erheblichem Einfluß sowohl auf die Formveränderungen als auch auf die Festigkeits-eigenschaften und bedurfte daher näherer Festlegung. Zu dem Versuch wurde ein elektrischer Heizofen³⁾ benutzt, in dem der Versuchskörper in einem luft- und wasserdampfevakuierten Raum bei einer Temperatur von rd. 100° C längere Zeit lagern kann.

a) Der Wassergehalt des lufttrockenen Holzes

wurde wiederum an je drei Probekörpern des Vollholzes und Sperrholzes nach Bild 15 ermittelt. Die Körper wurden zunächst in lufttrockenem Zustand gewogen, dann wurden sie in dem evakuierten Heizofen 3×24 Stunden lang einer Temperatur von annähernd 100° ausgesetzt und auf diese Weise vollkommen ausgetrocknet; die getrockneten Körper wurden wiederum gewogen. Der Gewichtsunterschied, um-

³⁾ Hergestellt von F. A. Lentz, Berlin.

gerechnet in v
ergab den Was

Wasserge-
halt in vH

Der Was
und 12 vH u
jedenfalls is
gegenüber d
starke Sperr
Furnier, wi
der vielfach
Verleimung
Holz und
die mehrfach
Fertigung
gehalts. G
welches d
niedrigsten
Abgabe d

b) Die
unter

Ände
auch der
festzustel
Holz ein
Arten d
gleichen
diesem
vollkom
zwar ei
einmal
Versuch
Die sic
tafel 1
so daß
geben,
aufzun
tempe
Trock
dieser
in k
hatte
in w
Sperr
Der
Für
Wal
Tag
nä
ste
ku
den
de
st
at
vi
fe

es zwischen
ng ist ab
Furnier
holz, we
e übrigen
tropischen
Widerstand
chräg zu
olzes. Ab
holz natur-
; das be-
d schwie-

gerechnet in vH des Gewichts des getrockneten Körpers,
ergab den Wassergehalt des lufttrockenen Holzes:

	Vollholz 4 mm Schäl- furnier	Sperrholz 6 mm 3-fach	Sperrholz 16 mm 5-fach	Vollholz 15 mm un- gedämpft
Wasserge- halt in vH	10,1	11,8	10,9	11,6

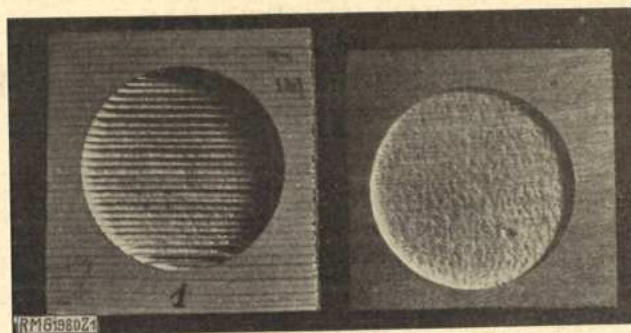
Der Wassergehalt schwankt also etwa zwischen 10 und 12 vH und ist praktisch als gleich groß zu betrachten; jedenfalls ist eine starke Abweichung beim Sperrholz gegenüber dem Vollholz nicht festzustellen. Das 6 mm starke Sperrholz enthält mehr Wasser als das 4 mm starke Furnier, während das 16 mm starke Sperrholz, entgegen der vielfach anzutreffenden Auffassung, trotz fünffacher Verleimung weniger Wasser enthält als das ungedämpfte Holz und weniger als das dreifach verleimte Sperrholz; die mehrfache Verleimung bedingt also bei sachgemäßer Fertigung keine nachhaltige Vermehrung des Wassergehalts. Gleichzeitig erkennt man, daß das Schäl-furnier, welches das niedrigste Raumgewicht hatte, auch den niedrigsten Wassergehalt hat. Das Dämpfen dürfte eine Abgabe der Feuchtigkeit begünstigen.

b) Die Veränderung des Wassergehalts unter dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit

Ändert sich die Feuchtigkeit der Luft, so ändert sich auch der Wassergehalt des Holzes. Es war nun wichtig, festzustellen, in welcher Weise diese Veränderungen im Holz eintreten bzw. ob das Holz bei den verschiedenen Arten der Zurichtung aus der gleichen Luft in der gleichen Zeit verschiedene Mengen Wasser aufnimmt. Zu diesem Zwecke wurden die verschiedenen Sorten in einem vollkommen wassergesättigten Luftraum gelagert, und zwar einmal bei Zimmertemperatur (17 bis 18° C) und einmal bei 100° C. Während der Lagerung wurden die Versuchskörper in bestimmten Zeitabständen gewogen. Die sich dabei ergebende Wasseraufnahme ist in Zahlentafel 1 zusammengestellt, und zwar als Funktion der Zeit, so daß die Werte ein Maß für die Geschwindigkeit abgeben, mit welcher die Hölzer aus der Luft Feuchtigkeit aufzunehmen vermögen. Die Werte, welche bei Zimmertemperatur festgestellt wurden, sind außerdem in vH des Trockengewichts in Bild 4 graphisch aufgetragen. In diesem Falle zeigt sich, daß das 4 mm starke Furnier, das in lufttrockenem Zustand den niedrigsten Wassergehalt hatte, die Luftfeuchtigkeit am raschesten wieder aufnimmt; in weiterem Abstand folgt das schwache und das stärkere Sperrholz und zuletzt das starke, ungedämpfte Vollholz. Der nahezu hyperbolische Verlauf der Kurven für das Furnier und das schwache Sperrholz zeigt, daß die Wasseraufnahme sich bei den dünnen Hölzern nach sieben Tagen bereits erheblich verlangsamt und ihrem Grenzwert nähert, während sie bei den stärkeren Hölzern noch stetig weiter zunimmt. Bei hinreichend langer Einwirkung dürften also alle vier Holzarten untereinander etwa den gleichen, der jeweiligen Luftfeuchtigkeit entsprechenden Wassergehalt erreichen, wie es im lufttrockenen Zustand auch der Fall war. Zunächst aber hängt die Wasseraufnahme weniger von dem Gewicht oder Volumen, als vielmehr von der Oberfläche des Holzes ab, welche der feuchten Luft dargeboten wird. Die Werte in Zahlentafel 2

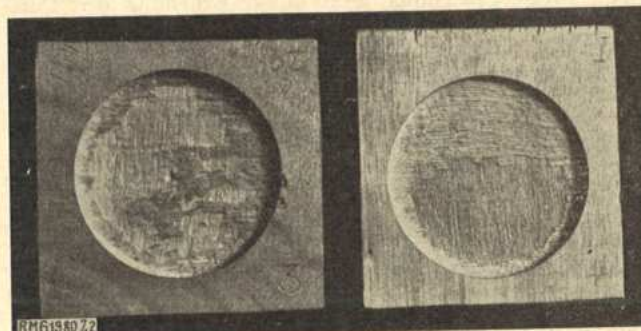
Zahlentafel 1
Wassergehalt bei Lagerung in wassergesättigter Luft von Zimmertemperatur, Okuméholz

Tage	Schäl-furnier 4 mm vH	Sperrholz 6 mm vH	Sperrholz 16 mm vH	Vollholz 15 mm vH
0	10,8	11,30	11,30	10,8
1	16,85	13,30	13,40	12,2
3	20,40	16,95	15,70	14,6
4	22,10	18,10	16,60	15,3
5	24,10	14,60	17,40	16,3
7	25,50	20,75	18,90	17,8
8	25,50	21,00	19,55	18,3

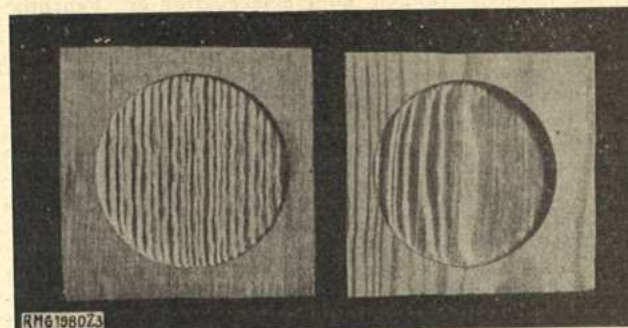


Fichte

Okumé



Okumé-Sperrholz



Buche

Kiefer

Bild 1 bis 3. Prüfung der Abnutzung durch Sandstrahl

lassen erkennen, daß bei gesättigter Luft von 100° C alle Holzsorten schon nach sechs Stunden Dauer mehr Feuchtigkeit aufgenommen haben als bei 18° C nach acht Tagen. Im übrigen erreichen die dünnen Hölzer gegenüber den dicken bei dieser hohen Temperatur in der gleichen Zeit einen viel höheren Grad von Feuchtigkeit als bei Zimmertemperatur. Die Wasseraufnahme der gedämpften und verleimten Hölzer ist größer als die des ungedämpften Vollholzes.

Diese Verhältnisse gelten wahrscheinlich auch für den umgekehrten Fall der Wasserabgabe, so daß man

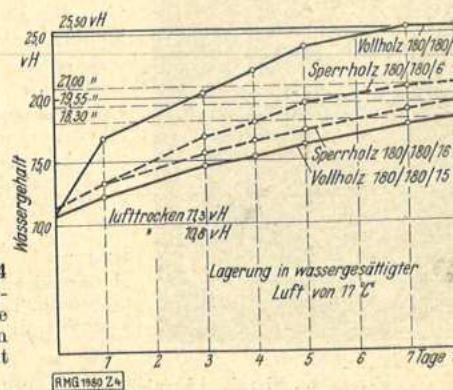


Bild 4
Wasser-
aufnahme
abhängig von
der Zeit

Zahlentafel 2
Wassergehalt bei Lagerung in gesättigter Luft von 100° C

Stunden	Schäl furnier 4 mm vH	Sperrholz 6 mm vH	Sperrholz 16 mm vH	Vollholz 15 mm vH
0	10,8	11,3	11,3	10,8
6	31,0	50,5	20,2	21,4
9½	33,5	51,5	24,8	22,5
13½	44,3	56,0	33,0	27,0
19	51,0	56,8	36,5	28,6

daraus folgende Schlussfolgerung ziehen kann: Das Dämpfen und das Zerlegen des Holzes in dünne Schichten ermöglicht eine wesentlich raschere und gründlichere Trocknung als sie beim ungedämpften Vollholz möglich ist. Diese Trocknung wird durch Erhöhung der Lufttemperatur erheblich beschleunigt und kann auch bei mehrfach verleimten Hölzern ohne weiteres bis zu demselben Trockenheitsgrad durchgeführt werden wie bei Vollholz.

In den Lagerräumen sollte die Luftfeuchtigkeit möglichst niedrig gehalten und die Wasseraufnahme des Holzes durch Abdecken der Oberflächen weitmöglichst verhindert werden. Man wird in der Praxis aber stets damit rechnen müssen, daß das Holz — und zwar gleichgültig, ob Vollholz oder Sperrholz — bei der Lagerung wieder Feuchtigkeit aufgenommen hat und wird es daher vor der Verarbeitung in der temperierten Werkstatt nach-trocknen müssen. Dies ist um so schneller möglich, je dünner die Platten sind und je höher die Lufttemperatur bei gegebenem Feuchtigkeitsgehalt ist.

4. Die Formänderungen unter dem Einfluß der Feuchtigkeit (Quellen und Schwinden)

Die Eigenschaft des Holzes, bei der Aufnahme von Feuchtigkeit zu quellen und bei Wasserabgabe zu schwinden, macht seine Verwendung um so schwieriger, je mehr das Maß des Quellens und Schwindens nach den beiden Faserrichtungen Unterschiede aufweist. Daher wurden immer wieder Versuche unternommen, um diesen Nachteil zu beseitigen. Der chemischen Behandlung des Holzes, dem Tränken der Zellenwandungen mit Imprägniermitteln oder ähnlichen Verfahren ist bisher ein Erfolg nicht beschieden gewesen. Um so wichtiger ist es daher, Klarheit darüber zu schaffen, wie weit die Formänderung des Holzes durch die Technik des Absperrens unterbunden werden kann.

a) Anlage der Versuche

Es wurden bezeichnet:

- die Längenänderungen längs der Faser mit Δl_L
- „ Längenänderungen quer zur Faser mit Δl_Q
- „ Änderungen in der Dicke mit Δd .

Von dem Furnier und dem Vollholz sowie dem dicken und dünnen Sperrholz wurden je drei quadratische Versuchsplatten von 18 × 18 cm Fläche auf ihr Schwinden untersucht (Zahlentafel 3). Die vier Meßpunkte wurden durch vier Risse festgelegt. Die Veränderungen Δd unter dem Einfluß des Wassers wurden an diesen vier Punkten durch einen Meßbügel (Bild 5) gemessen, welcher die jeweilige Dicke an einer Meßuhr⁴⁾ auf $\frac{1}{1000}$ mm genau angab. Die Veränderungen Δl_L und Δl_Q wurden mit Hilfe eines ähnlich gebauten Meßbügels gemessen, und

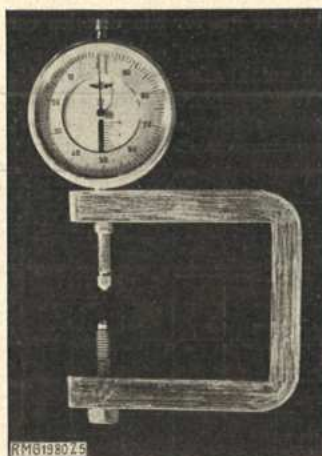


Bild 5
Meßbügel zur Dickenmessung. Tasterenden kugelförmig

⁴⁾ Hersteller: Kienzle, Uhrenfabriken, A.-G., Schwenningen a. N.

Zahlentafel 3
Abmessungen der Versuchskörper in lufttrockenem Zustand

Art	Schäl furnier 4 mm 1a)	Sperrholz 6 mm 1b)	Sperrholz 16 mm 1c)	Vollholz 15 mm 1d)
Länge längs der Faser l_L mm	180,0	179,9	180,0	180,0
Länge quer zur Faser l_Q mm	181,2	179,9	179,6	177,5
Dicke d mm	3,7	5,8	15,8	14,9

zwar waren am Ende der Risse je zwei Meßnägeln in Dickenmitte der vier Stirnflächen eingeschlagen. Die Meßpunkte waren auf den Nagelköpfen durch Körnermarken festgelegt.

An jedem Körper wurde jede der Längenänderungen zweimal gemessen. Da drei gleichartige Versuchskörper vorhanden waren, konnte also das Mittel aus sechs Messungen für die Längenänderungen gebildet werden.

Die Dickenmessungen wurden an jedem Körper an vier Stellen durchgeführt. Bei drei gleichgearteten Versuchskörpern konnte also das Mittel aus 12 Einzelbeobachtungen für die Dickenänderungen gebildet werden.

Vor Beginn der Versuche wurde das Gewicht jedes einzelnen Versuchskörpers genau ermittelt und der Feuchtigkeitsgehalt im Anlieferungszustande festgestellt. Sodann wurden die Versuchskörper bis zur vollen Sättigung und größten Ausdehnung in Wasser von rd. 15° C gelagert. Nach voller Sättigung wurden an jedem Versuchskörper festgestellt:

1. der augenblickliche Wassergehalt durch Abwiegen,
2. die Veränderung Δl_L und Δl_Q an den vier Meßstellen,
3. die Veränderung Δd wiederum an den vier Meßstellen.

Diese Feinmessungen wurden zwei Wochen lang in kleinen Zwischenräumen fortgeführt. Nach 14tägiger Lagerung an der Zimmerluft waren die Körper beinahe bis auf den ursprünglichen Wassergehalt ausgetrocknet. Als die nächste Messung nach weiteren vier Wochen durchgeführt wurde, hatten die Körper genau wieder den Wassergehalt des ursprünglichen Anlieferungszustandes. Nach weiteren drei Monaten wurden die Körper im gasgeheizten Trockenofen ausgetrocknet und die Feinmessungen wiederholt.

b) Die Ergebnisse

Für jeden der drei Versuchskörper wurden die Schwindmaße Δl_L , Δl_Q und Δd in Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitsgehalt als Kurve aufgetragen. Zu den Kurven der drei Versuchskörper wurde für die verschiedenen Holzsorten je eine ausgleichende mittlere Kurve gezeichnet (Bild 6 bis 8). Aus diesen Mittellinien wurden dann die zu den einzelnen Feuchtigkeitsgehalten bis zu 70 vH gehörigen Werte Δl_L , Δl_Q und Δd entnommen und in vH der Ausgangswerte in den Zahlentafeln 4 bis 6 festgelegt. Die Bilder 9 bis 11 geben die Schwindmaße in vH der ursprünglichen Maße l_L , l_Q und d (Zahlentafel 3). Dabei wurde ein Wassergehalt des Holzes von rd. 11 vH als Ausgangspunkt genommen, um den Vergleich des Verhaltens der vier verschiedenen Holzsorten zu erleichtern. Da sich das Sperrholz besonders beim Schwinden quer zur Faser wesentlich anders verhält als das Schäl furnier und das Vollholz, wurde schließlich das prozentuale Verhältnis des Schwindens vom Sperrholz zum Vollholz — beides Mal quer zur Faser — errechnet und in Zahlentafel 7 niedergelegt.

c) Auswertung der Ergebnisse

Verfolgen wir zunächst die Charakteristik der Kurven in Bild 6 bis 11, so finden wir die Tatsache bestätigt, daß das Holz anfänglich nur langsam schwindet, solange nur das freie, die Hohlräume der Zellen füllende Wasser verdunstet, bis die sogenannte Fasersättigung erreicht ist. Erst wenn die Verdunstung des von den Zellenwandungen aufgesogenen Wassers beginnt, setzt das starke Schwinden ein. Es beginnt senkrecht zur Faser (sowohl in der Breite als auch in der

Zustände

Vollholz
15 mm
1d)

180,0

177,5

14,9

ägel in

. Die

Körner-

runge

körper

s Mes-

er an

Ver-

beob-

.a.

jedes

der

stellt

Sätti-

g C

Ver-

gen,

Meß-

Meß-

in

ger

ahe

nel.

nen

len

es.

as-

an-

ie

m

n

e-

n

u

s

Zahlentafel 4

Schwinden längs der Faser in vH der Länge in lufttrockenem Zustand
(11 vH Wassergehalt)

Wassergehalt in vH		5	10	11	15	20	30	37,5	40	50	60	70
Schäl- furnier 4 mm	ΔL											
	Mittel mm	0,333	0,277	0,265	0,138	0,081	0,056	—	0,043	0,027	0,012	0
	red. mm	-0,068	-0,012	0	0,127	0,184	0,209	—	0,222	0,238	0,253	0,265
Sperr- holz 6 mm	ΔL											
	Mittel mm	0,580	0,87	0,351	0,220	0,144	0,095	—	0,050	0,021	0,010	0,002
	red. mm	-0,229	-0,036	0	0,131	0,207	0,256	—	0,301	0,330	0,341	0,349
Sperr- holz 16 mm	ΔL											
	Mittel mm	0,567	0,347	0,310	0,225	0,128	0,045	—	0,026	0,015	0,006	0
	red. mm	-0,220	-0,037	0	0,085	0,182	0,265	—	0,284	0,295	0,304	0,310
Voll- holz 15 mm	ΔL											
	Mittel mm	0,423	0,312	0,298	0,209	0,083	0,034	0				
	red. mm	-0,125	-0,014	0	0,089	0,215	0,264	0,298				
	ΔL											
	Mittel mm	0,423	0,312	0,298	0,209	0,083	0,034	0				
	red. mm	-0,125	-0,014	0	0,089	0,215	0,264	0,298				

Zahlentafel 5

Schwinden quer zur Faser in vH der Länge in lufttrockenem Zustand
(11 vH Wassergehalt)

Wassergehalt in vH		5	10	11	15	20	30	36,5	40	50	60	70
Schäl- furnier 4 mm	ΔQ											
	Mittel mm	10,58	8,30	8,17	6,42	4,37	2,76	—	2,00	1,25	0,60	0,03
	red. mm	-2,41	-0,43	0	1,75	3,80	5,41	—	6,17	6,92	7,57	8,14
Sperr- holz 6 mm	ΔQ											
	Mittel mm	0,660	0,430	0,300	0,260	0,140	0,030	—	0	0,400		
	red. mm	-0,260	-0,030	0	0,140	0,260	0,370	—	0,400			
Sperr- holz 16 mm	ΔQ											
	Mittel mm	0,470	0,290	0,250	0,150	0,090	0,030	—	0	0,250		
	red. mm	-0,220	-0,040	0	0,100	0,160	0,220	—	0,250			
Voll- holz 15 mm	ΔQ											
	Mittel mm	8,53	6,90	6,61	5,08	3,04	0,57	0				
	red. mm	-1,92	-0,29	0	1,53	3,57	6,04	6,61				

Zahlentafel 6

Dickenänderungen in vH der Dicke in lufttrockenem Zustand (11 vH Wassergehalt)

Wassergehalt in vH		5	10	11	20	30	38,5	40	50	60	70
Schäl- furnier 4 mm	Δd										
	Mittel mm	0,225	0,225	0,225	0,106	0,085	—	0,064	0,041	0,020	0
	red. mm	0	0	0	0,119	0,140	—	0,161	0,184	0,205	0,225
Sperr- holz 6 mm	Δd										
	Mittel mm	0,380	0,360	0,355	0,150	0,075	—	0,055	0,037	0,019	0
	red. mm	-0,025	-0,005	0	0,205	0,280	—	0,300	0,318	0,336	0,355
Sperr- holz 16 mm	Δd										
	Mittel mm	1,345	1,065	1,024	0,655	0,366	—	0,175	0,086	0,032	0,001
	red. mm	-0,321	-0,041	0	0,369	0,658	—	0,849	0,938	0,992	1,023
Voll- holz 15 mm	Δd										
	Mittel mm	—	—	0,660	0,169	0,032	0				
	red. mm	—	—	0	0,491	0,628	0,660				

Dicke) bereits bei rd. 30 vH Wassergehalt und zieht dann bei etwa 25 vH Wassergehalt auch ein rascheres Zusammenschrumpfen in der Länge nach sich. Es muß also gerade in dem für fertige Werkstücke praktisch in Frage kommenden Bereich von etwa 25 bis 10 vH Wassergehalt mit diesem starken Schwinden bzw. bei Feuchtigkeitsaufnahme Quellen gerechnet werden. Dies gilt an sich vom Vollholz und vom Sperrholz.

Der Vergleich der Schwindmaße in den verschiedenen Faserrichtungen, z. B. im Bereich von 30 bis 11 vH Wassergehalt, ergibt nach den Zahlentafeln 4 bis 6 folgende wesentlichen Unterschiede:

Das Vollholz schwindet in der Querrichtung 3,41 vH gegenüber 0,147 vH in der Längsrichtung, d. h. also 24mal so stark; das Schäl-

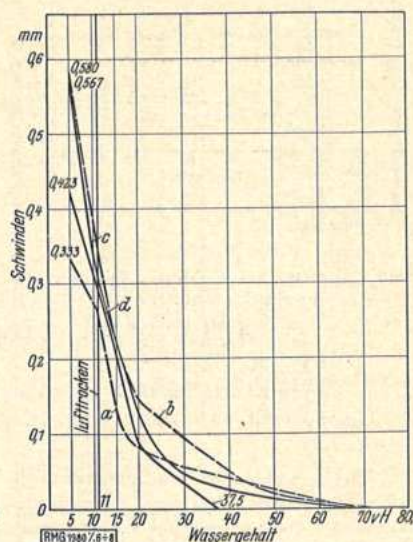


Bild 6

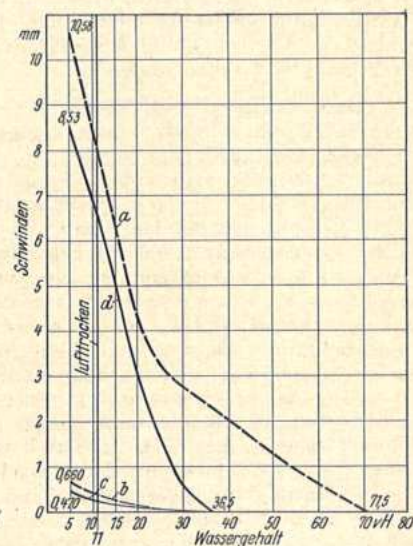


Bild 7

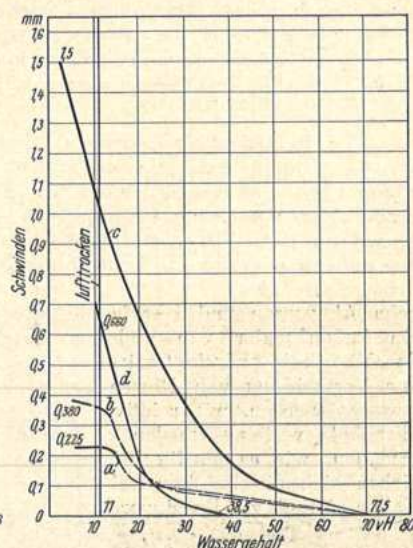


Bild 8

Bild 6 bis 8. Schwinden längs der Faser ΔL (Bild 6), quer zur Faser ΔQ (Bild 7) und in der Dicke Δd (Bild 8); Mittelwerte absolut.

a Schäl furnier 4 mm
b Sperrholz 6 mm
c Sperrholz 16 mm
d Vollholz 15 mm

furnier quer 2,99 vH gegenüber 0,116 vH, d. h. 26 mal so stark wie in der Längsrichtung. Für die Schwindung von 20 bis 11 vH Wassergehalt ist die Schwindung in der Querrichtung 17 bzw. 21mal und von

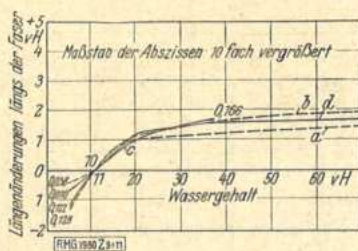
Bild 9. ΔL

Bild 9 und 10. Schwinden längs bzw. quer zur Faser in vH der Länge in lufttrocknem Zustand. Vollholz 4 und 15 mm, Sperrholz 6 und 16 mm

a Schäl furnier 4 mm c Sperrholz 16 mm
b Sperrholz 6 mm d Vollholz 15 mm

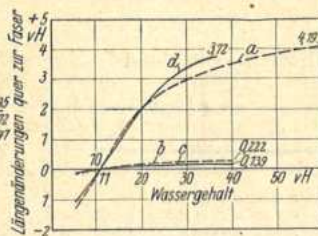
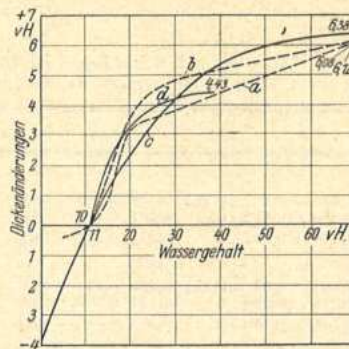
Bild 10. ΔQ 

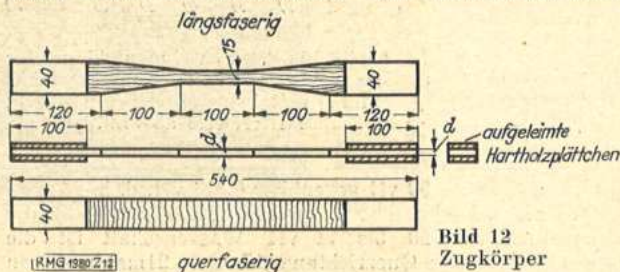
Bild 11
Dickenänderungen
in vH der Dicke
in lufttrocknem
Zustand (11 vH
Wassergehalt)
Vollholz 4 und
15 mm, Sperrholz
6 und 16 mm

40 bis 11 vH 23 bzw. 28mal, im Durchschnitt also 20 bis 25mal, stärker als in der Längsrichtung.

Diese Tatsache kennzeichnet die großen Schwierigkeiten, mit denen bei der Verwendung des Vollholzes als Werkstoff stets gerechnet werden muß. Sie wurden bisher meist dadurch überwunden, daß man für größere Flächen Rahmen aus Längsholz bildete und diese dann mit Füllungen versah, denen die Möglichkeit der Breitenausdehnung gelassen werden mußte.

Beim Sperrholz dagegen ist das Querholz durch die Verleimung mit je zwei Lagen Längsfurnieren in seiner Formänderung mehr oder minder auf diejenige des Längsholzes beschränkt. Nach den Versuchsergebnissen betrug das Schwindmaß für den gleichen Bereich von 30 bis 11 vH Wassergehalt bei dem 6 mm starken Sperrholz in der Querrichtung 0,206 vH gegenüber 0,142 vH in der Längsrichtung, also 1,5mal so viel, und bei dem 16 mm starken Sperrholz 0,122 vH gegenüber 0,147 vH, also nur 0,8mal so viel, das ist sogar weniger als in der Längsrichtung. Es läßt sich also durch zweckentsprechende Bemessung und Zusammensetzung der Furniere erreichen, daß die Schwindung einer Sperrholzplatte in der Längs- und Querrichtung gleich groß und in beiden Fällen sehr niedrig ist. Das besonders nachteilige Schwinden des Holzes quer zur Faser wird, wie Zahlentafel 7 zeigt, beim Sperrholz auf 4 bis 8 vH des Schwindens vom Vollholz zurückgeführt. Das gleiche gilt naturgemäß auch umgekehrt für das Quellen des Holzes. In bezug auf die Veränderung der Breitenabmessungen ist also durch das Absperren eine sehr weitgehende Veredelung des Holzes erreicht.

Die Längenänderung längs der Faser ΔL ist nach Bild 9 beim Sperrholz und Vollholz praktisch gleich groß und beträgt auch bei hohen Feuchtigkeitsgraden gegenüber dem lufttrockenen Zustand im Durchschnitt nur 0,15 vH. Daraus wird häufig gefolgert, daß die Längenänderung zu vernachlässigen sei; daß sie erhebliche Bedeutung gewinnen kann, zeigt sich häufig beim Absperren und Überfurnieren von Hölzern. Wenn ein Außenfurnier von anderem Feuchtigkeitsgehalt auf das Mittelholz aufgelegt wird oder wenn die Furniere, die zur Vermeidung von Rissen meist in Kellerräumen aufbewahrt werden, mit relativ hoher Feuchtigkeit mit dem Mittelholz verleimt werden und dann einseitig stark austrocknen, wie es häufig bei Kastenmöbeln vorkommt, so ziehen sich die Flächen hohl und geben damit in vielen Fällen Anlaß zu Beschwerden. Eine sachgemäße Nach-

Bild 12
Zugkörper

prüfung solcher Fälle wird häufig ergeben, daß das Krummziehen lediglich auf das Schwinden der Außenfurniere in der Längsrichtung zurückzuführen ist, das bei nur 10 vH Unterschied im Feuchtigkeitsgrad beispielsweise bei einer Schranktür von 1,70 m Länge bereits 2 mm betragen kann.

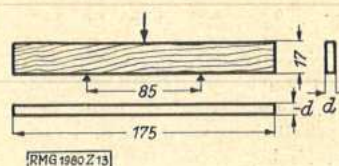
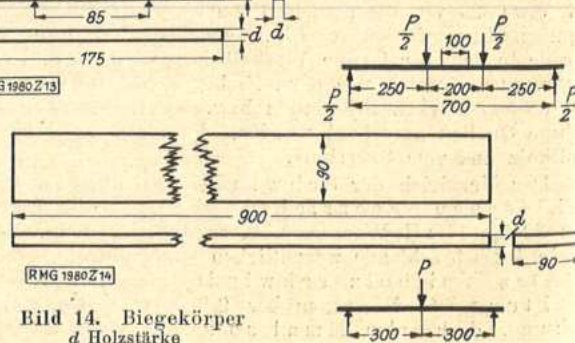
Die Änderung in der Breite ΔQ stellt sich bei 30 vH Wassergehalt für das 15 mm starke Vollholz auf 3,41 vH gegenüber 0,122 vH für das 16 mm starke Sperrholz, ist also 28 mal größer; für das 4 mm starke Furnier auf 2,99 vH gegenüber 0,206 vH für das 6 mm starke Sperrholz, das ist 15mal größer. Der große Vorteil des Sperrholzes geht anschaulich aus den Bildern 7 und 10 hervor. Dabei verhält sich das starke Sperrholz gegenüber dem ungedämpften Vollholz, wie es in der Praxis am meisten gebraucht wird, noch wesentlich günstiger als das untersuchte 6 mm starke Sperrholz gegenüber dem bereits gedämpften 4 mm starken Schäl furnier.

Die Änderung in der Dicke Δd ergibt sich am klarsten aus den in Bild 11 dargestellten Kurven; auch sie zeigen das eingangs erwähnte rasche Quellen aller Holzsorten bis zum Fasersättigungspunkte, der zwischen 20 und 30 vH Wassergehalt liegt, um dann nur noch langsam anzusteigen. Zwischen dem Vollholz und dem Sperrholz besteht kein besonderer Unterschied; er ist auch nicht zu erwarten, wenn man bedenkt, daß die Sperrholzplatten lediglich aus mehreren Lagen Furnieren bestehen, die in der Richtung der Dicke keine Veredelung erfahren haben. Bedeutsam ist die Größenordnung der Veränderung in der Dicke. Diese liegt bei 30 vH Wassergehalt zwischen 4 und 5 vH. Bei dem Schäl furnier im besonderen beträgt sie 3,8 vH, während seine Breitenänderung ΔQ bei gleichem Wassergehalt 3 vH war. Dabei

Zahlentafel 7

Schwinden von Sperrholz in vH des Schwindens von Vollholz, quer zur Faser.

Wassergehalt in vH	5	10	11	15	20	30	
Sperrholz 16 mm	11,3	—	—	6,5	4,4	3,6	vH
Vollholz 15 mm							
Sperrholz 6 mm	10,8	7,1	—	8,1	7,0	6,9	vH
Schäl furnier 4 mm							

Bild 13. Schlagkörper,
hochkant stehendBild 14. Biegekörper
d Holzstärke

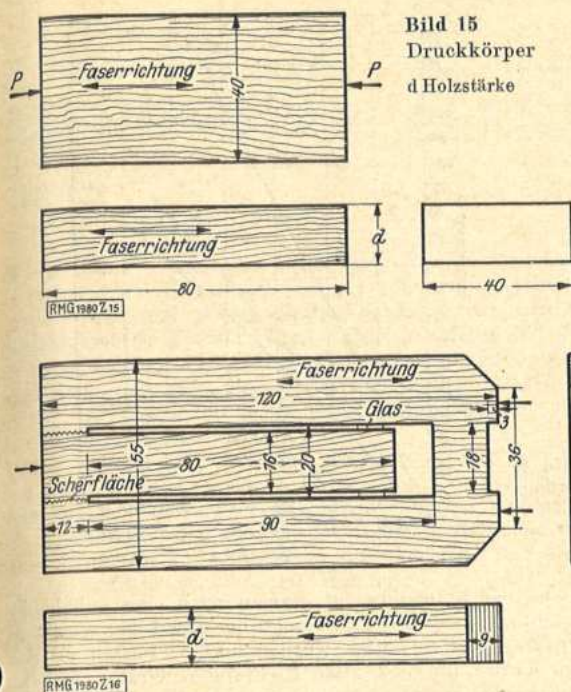


Bild 15
Druckkörper
d Holzstärke

Bild 17
Spaltkörper

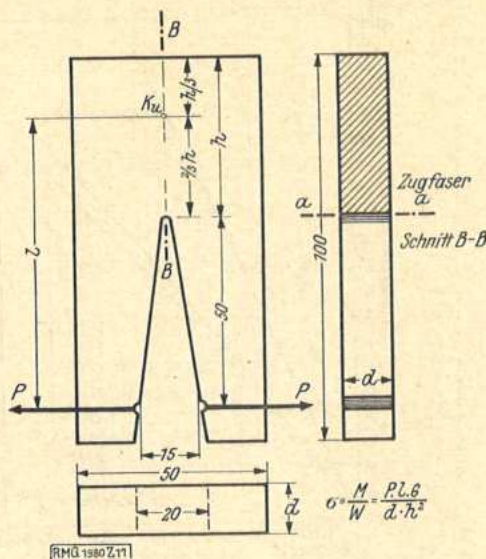


Bild 16
Schubbkörper

Die erzielten Mittelwerte der Zugfestigkeit und des Elastizitätsmoduls betrugen für das Vollholz:

in kg/cm²

Holzart	Eigenschaften	längs zur Faser	quer zur Faser	Verhältnis quer zu längs
Schälurnier 4 mm gedämpft	Zugfestigkeit Elastizitätsmodul .	642 86200	32 3500	1 : 20 1 : 25
Vollholz 15 mm ungedämpft, Kernmaterial entnommen	Zugfestigkeit Elastizitätsmodul .	688 80800	27 3500	1 : 25 1 : 23
Vollholz 15 mm gedämpft, nahe der Stamm-Mitte entnommen	Zugfestigkeit	357	—	—

entspricht die Breite beim Schälurnier der Richtung tangential zum Stammumfang und die Dicke der Schälurniere der radialen Richtung. Die bei anderen Holzarten gemachte Feststellung, daß das Holz in der tangentialen Richtung etwa doppelt so stark schwindet wie in der radialen, findet also in diesen Versuchsergebnissen keine Stütze.

5. Zugfestigkeit und Zugelastizität

Alle Festigkeitsversuche wurden auf einer handbetriebenen 5 t-Universalprüfmaschine von Amsler & Co. durchgeführt.

Die längs- und querfaserigen Zugkörper hatten die in Bild 12 bis 17 angegebenen Abmessungen. Die Zerreißversuche wurden so durchgeführt, daß die Belastung sehr langsam und stufenweise mit etwa 0,1 kg/mm²/s Spannungszuwachs bis zum Bruch gesteigert wurde. Die Dehnungen der Meßlänge von 100 mm wurden mit einem Martens-Kennedy-Apparat (Bild 18) abgelesen. Jeder Versuch wurde im allgemeinen 5 bis 6mal durchgeführt. Die typischen Bruchformen für die verschiedenen Holzproben sind in Bild 19 dargestellt, während die ermittelten Spannungs-Dehnungslinien in Bild 20 und 21 graphisch aufgetragen sind.

Die Zugfestigkeit quer zur Faser ist also beim Vollholz 20 bis 25mal kleiner als diejenige längs zur Faser, während die Dehnung, die dem Elastizitätsmodul um-

gekehrt proportional ist, rd. 25mal größer ist. Dieses Verhältnis ist ungefähr das gleiche, wie es sich beim Schwinden quer zur Faser ergab (vgl. Zahlentafel 5). Damit ist der außerordentlich geringe Zusammenhalt der Fasern quer zu ihrer Richtung gekennzeichnet, der ja oft schon ohne äußere Kraftwirkung, allein unter dem Einfluß des Schwindens, dazu führt, daß die Holzfasern sich voneinander lösen. Es lag daher nahe, die geringe Querfestigkeit des Holzes durch eine Verbindung der Querfasern mit den festen Längsfasern zu erhöhen, und die einzelnen Furnierlagen zum Sperrholz kreuzweise zu verleimen.

Die Zugfestigkeit des Sperrholzes ist also bei der oben beschriebenen Zusammensetzung der Furniere teils etwas größer, teils kleiner als diejenige längs zur Faser. Höhere Bruchfestigkeit entspricht hier höherem Elastizitätsmodul, also kleinerer Dehnung. Die

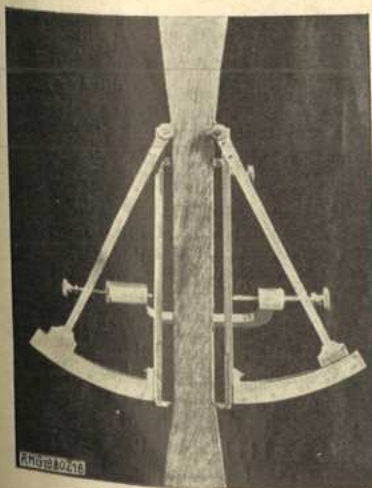
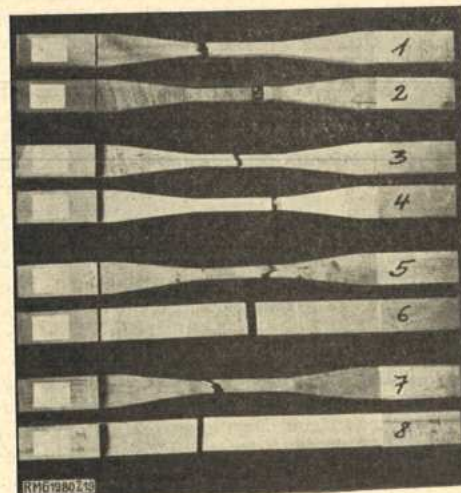


Bild 18
Mittlerer Teil eines längsfaserigen Vollholz-Zerreißkörpers mit angesetzttem Martens-Kennedy-Dehnungsmesser. Meßlänge 100 mm

Bild 19
Bruchbilder der Zerreißbilder

Stab 1	16 mm Sperrholz, längsfaserig
" 2	16 " " querfaserig
" 3	6 " " längsfaserig
" 4	6 " " querfaserig
" 5	15 " Vollholz, längsfaserig
" 6	15 " " querfaserig
" 8	4 " Schälurnier, längsfaserig
" 7	4 " " querfaserig



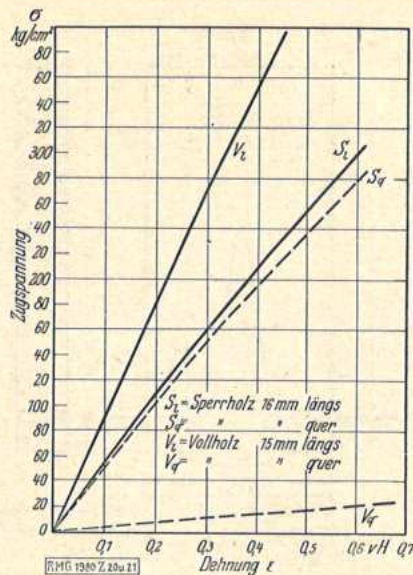


Bild 20
Zugversuch
Sperrholz und Vollholz
16 und 15 mm

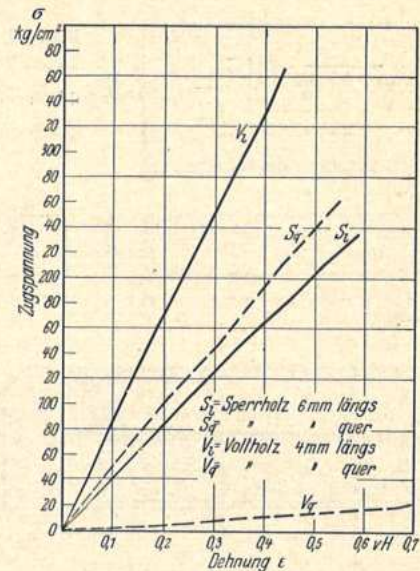


Bild 21
Zugversuch
Sperrholz und Vollholz
6 und 4 mm

Für das Sperrholz ergaben sich folgende Mittelwerte:
in kg/cm²

Holzart	Eigenschaften	längs zur Faser	quer zur Faser	Verhältnis quer zu längs
Sperrholz 6 mm 3-fach verleimt	Zugfestigkeit	365	380	1:0,96
	Elastizitätsmodul	42 400	52 200	1:0,81
Sperrholz 16 mm 5-fach verleimt	Zugfestigkeit	375	307	1:1,22
	Elastizitätsmodul	55 000	50 000	1:1,10

Furnierstärken waren ohne Rücksicht auf die Festigkeitsergebnisse so gewählt, wie sie gerade vorlagen, und zwar etwa hälftig auf die Längs- und Querrichtung verteilt, wobei jedoch durch das Abschleifen der Außenfurniere kleinere Unterschiede entstanden waren. Durch eine bestimmte Verteilung der Längsfasern läßt sich also erreichen, daß die Festigkeit in beiden Richtungen praktisch gleich groß ist, ebenso wie es bereits bezüglich des Quellens und Schwindens festgestellt wurde.

Die Technik des Absperrens liefert also das Mittel, das Holz unabhängig vom Einfluß der Faserrichtung zu einem praktisch homogenen Werkstoff zu veredeln. Kleinere etwa verbleibende Abweichungen können dabei im Vergleich zu den großen Unterschieden beim Vollholz nicht in die Wagschale fallen und sind ja auch beim Flußstahl festzustellen. Das Absperren bietet darüber hinaus noch die Möglichkeit, den Werkstoff in gewissen vernünftigen Grenzen auf die Längs- und Querrichtung so zu verteilen, daß sich in einer gewünschten Richtung die größte Zerreißfestigkeit ergibt.

Wir erkennen ferner, daß die Zugfestigkeit quer zur Faser beim Sperrholz im Durchschnitt etwa 12 mal größer ist als diejenige des gleichartigen Vollholzes. Dieser wesentlichen Erhöhung der Querfestigkeit gegenüber ist es praktisch bedeutungslos, daß die Zugfestigkeit beim Sperrholz auf rd. 57 vH der Längsfestigkeit des Vollholzes zurückgeht, weil diese doch niemals voll ausgenutzt werden kann, wie sich aus dem nächsten Abschnitt ergibt.

Betrachten wir die absoluten Werte, so ergibt sich, daß das Okumévollholz in der Längsrichtung eine Zugfestigkeit von 642 bzw. 688 kg/cm² hat. Das Okuméhholz wird in erster Linie wegen seiner leichten Bearbeitungsmöglichkeit bevorzugt; dazu gehört aber begreiflicherweise eine verhältnismäßig niedrige Zerreißfestigkeit im Vergleich zu anderen Holzarten. Die Zugfestigkeit des Okumévollholzes geht aber erheblich zurück, sobald das Holz nicht aus dem Kernmaterial, sondern

mehr aus der Stammitte entnommen wird oder sobald die Krafrichtung von der Faserrichtung abweicht, womit in der Praxis stets gerechnet werden muß. Handelt es sich gar um Kräfte, die nach allen Richtungen wirken, so kann nach dem Grundsatz, daß kein Tragwerk stärker ist als sein schwächster Teil, beim Vollholz nur mit der niedrigen Zerreißfestigkeit quer zur Faser von nur 30 kg/cm² gerechnet werden, d. h. Vollholz darf praktisch überhaupt nicht quer zur Faser gezogen werden. Demgegenüber ergibt sich beim Sperrholz eine Festigkeit, die dem Anteile der Längs- und Querfasern am Zugquerschnitt entspricht. Da die Sperrholz-Zugquerschnitte etwa je zur Hälfte aus Längs- und Querfasern bestanden, so muß also ihre Festigkeit ungefähr gleich dem arithmetischen Mittel der beiden für das in erster Linie in Frage kommende Schäl furnier

festgestellten Werte sein, also $\frac{642 + 32}{2} = 337 \text{ kg/cm}^2$. Der

Versuch ergab für das 6 mm starke Sperrholz eine Festigkeit von 365 kg/cm² in Richtung der Außenlagen und 380 kg/cm² in Richtung der Mittellagen, d. h. also eine um reichlich 10 vH höhere Festigkeit. Ebenso war bei dem fünffach verleimten 16 mm starken Sperrholz die Festigkeit in Richtung der Außenlagen (einschließlich der Mittellagen) mit 375 kg/cm² gut 10 vH über dem errechneten Mittelwert, während der Wert für Zugrichtung quer zu den Außenfasern mit 307 kg/cm² darunter bleibt.

6. Einfluß der einzelnen Furnierlagen auf die Zugfestigkeit des Sperrholzes

An sich bedarf ein Zugstab aus zusammengesetztem Querschnitt bekanntlich ganz erheblicher Konstruktionsmittel, wenn man eine gleichmäßige Kraftverteilung auf den Gesamtquerschnitt erreichen will. So z. B. sind bei einem Zugstab aus zwei C-Eisen trotz symmetrischen Lastangriffes zahlreiche Querschotte und biege feste Bindebleche erforderlich, wenn bei Zugbelastung eines von beiden C-Eisen nicht zerreißen soll, lange bevor die theoretische Bruchlast beider erreicht ist. Trotz dieser Hilfsmittel ist es selbst bei Stahlkonstruktionen schwierig, die Festigkeit der Konstruktion nahe an die Materialfestigkeit des Stahles heranzubringen.

Das Vollholz besteht aus einer Reihe von Faserbündeln, und die Zerreißfestigkeit des Vollholzes, wovon in diesem Fall besonders das 4 mm starke Furnier interessiert, ist geringer als diejenige der einzelnen Holzfasern, weil die durch eine axiale Zugkraft hervorgerufenen Spannungen sich nicht gleichmäßig auf den ganzen Querschnitt verteilen. Wenn nun bei fast allen Sperrholzproben die aus den bekannten Elastizitätsmoduli leicht zu berechnende Zerreißspannung der längsfasrig beanspruchten Furnierlagen durch die Verleimung um durchschnittlich 10 vH gestiegen ist, so dürfte dies darauf zurückzuführen sein,

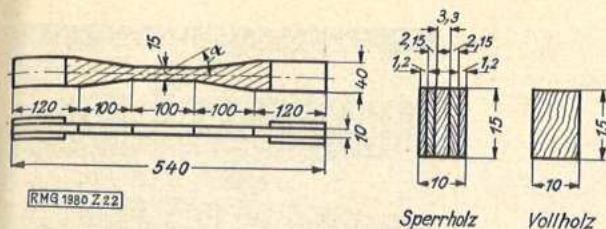
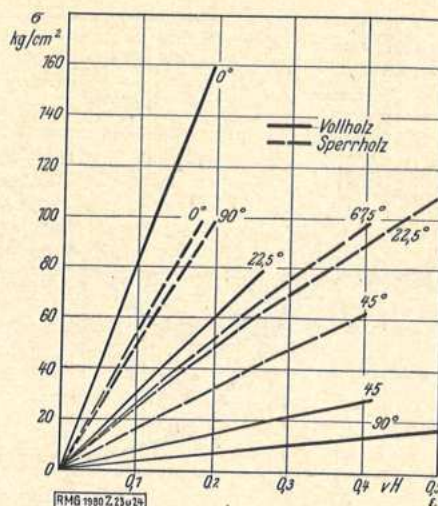


Bild 22
Probekörper für
Zugversuch zur
Bestimmung
des Einflusses
der Faser-
richtung

Bild 23
Zugfestigkeit
 σ_B und Zug-
elastizität E in
Abhängigkeit
von der Faser-
neigung α zur
Stabachse



Spannungs-Dehnungslinien liegen beim Vollholz um so flacher, je größer der Winkel zwischen Zugkraft und Holzfasern wird. Die Elastizitätsmoduli nehmen entsprechend ab, und die E-Linie, die in Bild 23 die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls vom Faserwinkel angibt, verläuft ganz ähnlich wie die Bruchspannungslinie. Beim Sperrholz fällt der Elastizitätsmodul nicht in dem gleichen Maße ab, erreicht wieder seinen Kleinstwert bei 45° und steigt dann wieder an. Daraus folgt, daß auch hinsichtlich der Formänderungen das Sperrholz sich grundlegend anders verhält als das Vollholz. Die zu den einzelnen Winkeln gehörigen Elastizitätsmoduli sind in Zahlentafel 9 in kg/cm² angegeben.

Zahlentafel 9

Elastizitätsmodul für Voll- und Sperrholz bei verschiedener Lage der Fasern zur Zugrichtung in kg/cm².

α	Vollholz 10 mm E_1	Sperrholz 10mm E_2	E_2 100 in vH E_1
0°	82 500	55 000	0,67
22,5°	30 800	25 500	0,83
45°	7 550	16 200	2,1
67,5°	—	27 200	—
90°	3 630	51 200	14,1

Bild 25 zeigt bei a und b die typischen Bruchformen beim Vollholz und beim Sperrholz, die grundlegend voneinander verschieden sind. Beim Stab c ist der Bruch ausnahmsweise durch Zerreißen der Faser aufgetreten, während sonst sowohl beim Vollholz wie beim Sperrholz die Zerstörung dadurch auftrat, daß die Zugfestigkeit quer zur Faser oder die Schubfestigkeit parallel zur Faser erschöpft wurde. Beim Sperrholz schoben sich die einzelnen Furniere in der Leimsicht aneinander vorbei, so daß hier die Leimfestigkeit einen erheblichen Einfluß auf die Zugfestigkeit ausübt.

Aus den Versuchen ergibt sich die Schlußfolgerung, daß die Faserneigung beim Vollholz einen ausschlaggebenden Einfluß auf die Zugfestigkeit hat, welcher aber beim Sperrholz wesentlich zurückgedrängt wird. Im Wesen des Sperrholzes liegt es begründet, daß der Winkel zwischen Faser und Zugrichtung nie größer als 45° werden kann, also die ungünstigsten Lagen beim Sperrholz unmöglich werden. Bei kleinen Faserwinkeln ist das Sperrholz dem Vollholz nur wenig unterlegen, von 25° ab aber, einer Abweichung, welche in der Praxis bei längeren Stäben durchaus nicht ausgeschlossen ist, weist das Sperrholz immer eine erheblich größere Zugfestigkeit auf.

8. Das elastische Verhalten des Sperrholzes im Vergleich zum Vollholz

Die Anordnung der Furniere ist auf das elastische Verhalten des Sperrholzes von Einfluß; denn der Elastizitätsmodul E beim 6 mm Sperrholz betrug bei Zug parallel den Fasern der beiden Außenfurniere 42 400 kg/cm², bei Zug senkrecht hierzu aber 52 200 kg/cm², also 23 vH mehr. Ein einziges längsfaserig gezogenes Mittelholz bewirkt also

daß die Längsfasern durch die aufgeleimten Querfasern wie durch starke Bindebleche so gut miteinander verbunden werden, daß eine gleichmäßige Verteilung der Last auf alle Holzfasern erreicht wird. Der günstigen Wirkung der Querfasern auf die Längsfasern entspricht natürlich umgekehrt auch eine günstige Wirkung der Längsfasern auf die Querfasern, so daß deren Zugfestigkeit sich ebenfalls erhöht.

Ein weiterer Vorteil des Absperrens liegt vielleicht noch darin, daß die einzelnen Fasern durch die Verleimung fester zusammenhaften, so daß die Zerstörung nicht durch ein Aneinandervorbeigleiten der unbeschädigten Einzel-fasern eintreten kann, sondern nur dadurch, daß die an sich bekanntlich sehr festen Holzfasern tatsächlich zerreißen.

Die Abhängigkeit der Festigkeit von der Anordnung der Furniere

Sperrholz mit zwei längsgefasernten Außenfurnieren verhält sich natürlich etwas anders als Sperrholz mit einem gleichstarken längsgefasernten Mittelholz, da eben die Festigkeit von zwei räumlich getrennten Hälften in Wirklichkeit nicht gleich ist der Festigkeit eines zusammenhängenden Ganzen. So kann es auch nicht überraschen, daß das Sperrholz, dessen längsfaserige Teile in zwei Furniere aufgeteilt sind, nur eine Sperrholzfestigkeit von 365 kg/cm² hat, während sie mit längsfaserigem Mittelholz 380 kg/cm² beträgt. Die querfasrigen Holzteile können ihre günstige spannungsverteilende Wirkung besser im zweiten Fall und weniger gut im ersten Fall ausüben. Der Unterschied ist jedoch nur gering.

7. Der Einfluß der Faserneigung auf die Zugfestigkeit

Im Gegensatz zu den früheren Zugversuchen waren hier Vollholz und Sperrholz nur 10 mm stark und hatten in der Meßstrecke die Abmessungen nach Bild 22.

Bei den einzelnen Versuchskörpern wich die Richtung der Fasern des Vollholzes oder der Außenfurniere von der Zugrichtung und damit also von der Stabrichtung um die Winkel $\alpha = 0, 22,5, 45$ und $67,5^\circ$ ab. Beim Sperrholz wurden für die Winkel 0 und 90° und beim Vollholz für den Winkel 90° die im vorigen Abschnitt erwähnten Versuchsergebnisse benutzt. Für jede Faserneigung wurden vier Einzelversuche angestellt und die Ergebnisse gemittelt. Die gemittelten Zerreißfestigkeiten enthält Zahlentafel 8.

Zahlentafel 8

Zerreißfestigkeit von Voll- und Sperrholz bei verschiedener Lage der Fasern zur Zugrichtung in kg/cm².

α	Vollholz 10 mm σ_1	Sperrholz 10mm σ_2	σ_2 100 in vH σ_1
0°	448	(375)	84
22,5°	168	151	90
45°	43	131	305
67,5°	16	212	1330
90°	(27)	(307)	1140

Bild 23 zeigt deutlich, wie sehr rasch beim Vollholz die Zugfestigkeit sinkt, wenn die Faserneigung von der Stabrichtung abweicht. Beim Sperrholz hingegen ist der Abfall wesentlich schwächer; der Mindestwert wird, wie zu erwarten war, etwa bei 45° erreicht. Durch das Absperren des Holzes wird also diese ungünstige Eigenschaft des Holzes weitgehend verbessert.

Neben der Festigkeit sind auch die Formänderungen am Holz weitgehend von der Lage der Faser zur Stabachse abhängig. In Bild 24 sind die gemittelten Spannungs-Dehnungslinien für die verschiedenen Faserneigungen beim Vollholz und beim Sperrholz aufgezeichnet. Die

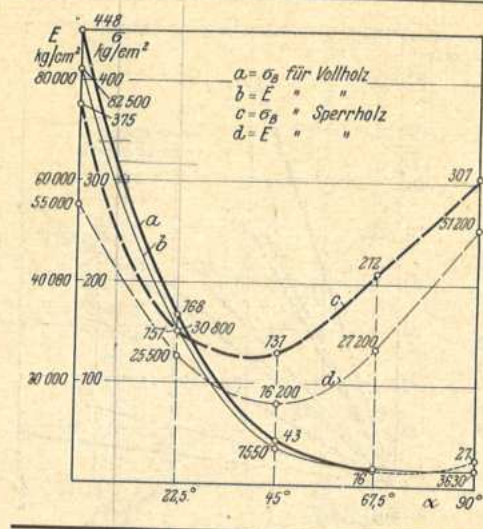


Bild 24
Zugversuche
 σ - ϵ -Linien,
Mittelwert.
 α° = Nei-
gung der
Fasern zur
Stabachse

$\alpha =$	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	
Vollholz	σ_B 448	168	43	16	27	kg/cm²
Sperrholz	375	151	131	212	307	"

kleinere Dehnungen als zwei längsfaserige Außenfurniere. Das arithmetische Mittel aus den für das Schäl furnier gefundenen Elastizitätsmoduli ist $(86\,200 + 3500) : 2 = 44\,850$ kg/cm², liegt also etwa in der Mitte zwischen den beiden durch den Versuch am 6 mm-Sperrholz ermittelten Werten für die Längs- und Querriichtung. Für das ungedämpfte Vollholz beträgt der Mittelwert von E 42 150 kg/cm², wäh-

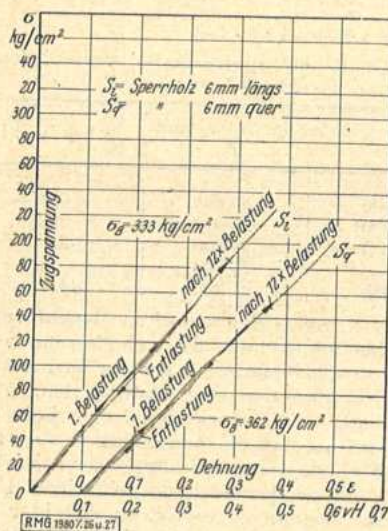


Bild 26 und 27
Zugversuche
(σ - ϵ -Linien nach
wiederholter
Belastung)

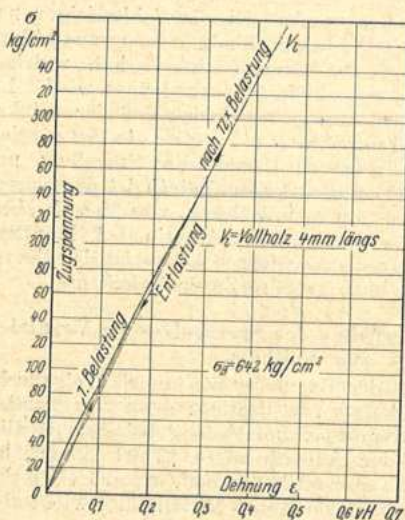
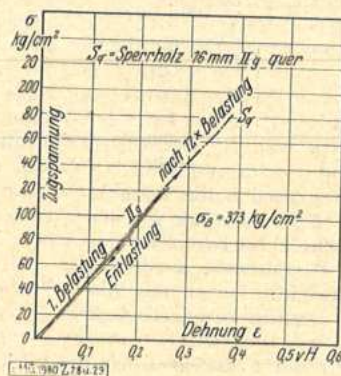


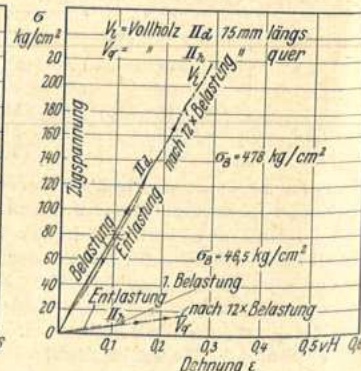
Bild 27
Vollholz
4 mm



Sperrholz 16 mm

Bild 28 und 29

Zugversuche (σ - ϵ -Linien nach wiederholter Belastung)



Vollholz 15 mm

rend die gemessenen Werte sich zu 55 000 bzw. 50 000 kg/cm² ergaben. Zusammenfassend kann man sagen: Das Sperrholz dehnt sich etwa doppelt soviel wie das längsfaserig gezogene Schäl furnier und nicht ganz doppelt soviel wie das ungedämpfte Vollholz. Das quer zur Faser gezogene Vollholz dehnt sich aber 15mal mehr als das Sperrholz.

9. Elastisches Verhalten bei wiederholter Zugbelastung

Bei jedem Werkstoff spielen die Geschwindigkeit, mit der eine Belastung auftritt, und die Dauer ihrer Einwirkung eine bedeutende Rolle. Das Verhalten gegenüber wiederholter Belastung wurde dadurch zu beobachten versucht, daß die verschiedenen Holzarten in üblicher Weise langsam stufenweise bis auf 40 vH ihrer Zugfestigkeit, also $0.4 \cdot \sigma_B$ auf Zug beansprucht wurden. Die σ/ϵ -Linie hierfür wurde festgestellt und aufgezeichnet. Alsdann wurde langsam entlastet. Hierauf wurde diese Belastung mit $0.4 \sigma_B$ 12mal wiederholt, aber das 13. Mal die Belastung langsam über $0.4 \sigma_B$ hinaus bis zum Bruch gesteigert und wiederum eine σ/ϵ -Linie festgestellt. Die Spannungs-Dehnungslinien sind in Bild 26 bis 29 dargestellt.

Die wiederholte Zwischenbelastung ruft am Verlauf der σ/ϵ -Linie bei keiner der vier untersuchten Holzarten wesentliche Änderungen hervor, gleichgültig, ob der Zugversuch an längs- oder an querfaserigem Holz durchgeführt wurde.

Bei allen Versuchen zeigt die Entlastungskurve größere Dehnungen als die Belastungskurve, wenn auch der Unterschied sehr klein ist. Die Erscheinung erklärt sich daraus, daß die Dehnungen beim Holz lange Zeit brauchen, bis sie vollkommen verschwinden.

10. Die Zerreißfestigkeit nach wiederholter Belastung

Nachdem alle Körper 13mal bis auf $0.4 \sigma_B$, wie bei den vorigen Vorversuchen belastet worden waren, ergab sich beim langsamen Anwachsen der Belastung beim 14. Zug-

versuch bis zum Bruch eine Zugfestigkeit nach Zahlen-
tafel 10.

Zahlentafel 10
Zerreißfestigkeit nach wiederholter Belastung

Zugfestigkeit beim 14. Zugversuch	kg/cm ²	Zugfestigkeit bei einmaliger Belastung kg/cm ²
4 mm Schlfurnier, längsfaserig	642	645
6 " Sperrholz, längsfaserig	333	365
16 " Sperrholz, quersfaserig	373	307
15 " Vollholz, längsfaserig	478	688 ungedämpftes Kernholz
		356 (gedämpft)
15 " Vollholz, quersfaserig	46,5	26,6 (ungedämpft)

Während die Festigkeit des Furniers sich durch die wiederholte Belastung nicht geändert hat, zeigt sich beim Vollholz längs zur Faser ein erheblich niedrigerer, quer zur Faser dagegen ein höherer Wert. Das Ergebnis zeigt wiederum die starken Schwankungen, die beim Vollholz auftreten. Beim Sperrholz dagegen halten sich diese Abweichungen in engeren Grenzen, wobei sich gerade für das 16 mm-Sperrholz quer zur Faser im Gegensatz zu den früher ermittelten niedrigeren Zahlen ein etwas über dem Durchschnitt liegender Wert von 373 kg/cm² ergab. Gemittelt kann man sagen, daß die wiederholte Belastung die Zerreißfestigkeit des Sperrholzes nicht erniedrigt hat, wie auch das elastische Verhalten durch mäßig oft wiederholte Belastung nicht beeinträchtigt wurde.

[Schluß folgt]

Sägeindustrie und Rationalisierung

Kann die Lage der deutschen Sägeindustrie durch Rationalisierung geändert werden?

Wo hat sie zu beginnen? Wo endet sie?

Von C. Frhr. v. Stengel, München

Den Weg zu einer Rationalisierung von Sgewerksbetrieben muß die Betriebsuntersuchung weisen, die die Verlust- und Fehlerquellen aufdeckt. Der betrieblichen und technischen Rationalisierung hat die kapitalistische und organisatorische Rationalisierung zu folgen.

Die deutsche Sägeindustrie leidet Not. Die Ergebnisse mühevoller, wagnisbelasteter Arbeit sind oft geradezu klglich. Wäre Stilllegung oder Aufgabe des Betriebes nicht von noch ungünstigerer Wirkung, so würde schon längst die Mehrzahl der Sägewerke den Betrieb aufgegeben haben. Aber man schleppt sich weiter und begnügt sich mit der Feststellung, daß es dem andern nicht besser ergeht. Nur zu menschlich ist, die Ursache dieser Notlage der Sägeindustrie in äußeren, so gut wie nicht beeinflubaren Umständen, die letztlich Folgen der Kriegskatastrophe sind, zu suchen und für sich die Überzeugung in Anspruch zu nehmen, daß alles, was Erfahrung und Berufserziehung vermag, zu ihrer Linderung und Abwendung bereits getan sei.

Außer Zweifel steht der Sägeindustrie ein Stamm ganz vorzüglicher Arbeiter zur Verfügung, der nahverwandte Holzhandel hat die in der Sägeindustrie stehenden Betriebsorgane mit kaufmännischem Sinn befruchtet. Die Sägewerke kommen aber fast ausnahmslos aus den Kreisen des Gewerbestandes, und deshalb ist es durchaus verständlich, wenn Betriebsleiter und Arbeiter der Sägeindustrie der geradezu stürmischen Entwicklung zu wirtschaftlicher Arbeit mit neuzeitlichen Mitteln voreingenommen oder gar ablehnend gegenüberstehen. In solcher Haltung ist nicht einmal ein Nachteil zu erblicken, solange sie vor Übereilung schtzt. Aber sie kann zum Verhängnis führen, wenn sie daran hindert, alles, was dem menschlichen Geiste zugänglich ist, zur Bestandsicherung auszunützen.

„Rezepte“ für eine Rationalisierung der Sgewerksbetriebe vorzuschreiben wäre Unsinn. Jeder einzelne Betrieb bedeutet einen Sonderfall. Den Weg zur Umstellung weist einzig und allein die Betriebsuntersuchung, die durch längere Beobachtung der einzelnen Vorgänge im Sgewerksbetrieb seine Bedingtheiten feststellt.

Rationalisierung in diesem Falle heißt nicht von vorneherein technische Um- oder Neugestaltung der Betriebe, sondern in erster Linie Auffinden der Verlust- und Fehlerquellen, die in jedem Betriebe — auch in einem schon „rationalisierten“ — sich immer wieder finden. Zu einer technischen Um- und Neugestaltung ist man erst dann berechtigt, wenn diese Fehler- und Verlustquellen mit organisatorischen Mitteln nicht mehr beseitigt werden können, mit anderen Worten, wenn die Untersuchungen erweisen, daß mit der bestehenden Anlage und Betriebsweise der erreichbare wirtschaftliche Erfolg bereits erreicht ist (betriebliche Rationalisierung). Allein schon die Einführung einer solchen Betriebsuntersuchung kann sehr ins Gewicht fallende Leistungssteigerungen und Kosten-

ersparnis nach sich ziehen, wie nachstehender Zahlenvergleich beweist:

Zahlentafel 1
Stndliche Gatterleistungen in Festmetern

a) neuzeitlichere, gut in Stand gehaltene Gatter (verschiedene Rahmenweiten; verschiedene Holzsorten und Qualitäten)

1. Jahr	3,28	3,29	3,34	2,07	3,38	2,96	3,12
2. Jahr	2,93	2,81	2,69	1,80	3,78	3,43	3,83
3. Jahr:							
Jan.-August	—	—	—	—	4,93	4,08	—
Jan.-Sept.	—	—	—	—	—	—	4,28
Jan.-März	3,43	3,19	2,94	1,95	—	—	—
April-Sept.	3,64	5,06	4,60	3,67	—	—	—
Oktober	4,85	5,30	4,93	4,34	—	—	4,55

b) in den gleichen Werken stehende beraltete, aber gut in Stand gehaltene Gatter (sonst wie oben)

1. Jahr	3,34	1,96	1,92	2,57	3,03
2. Jahr	3,08	2,00	2,03	2,19	2,84
3. Jahr:					
Jan.-Sept.	2,54	1,81	1,50	1,67	2,29
Oktober	—	1,96	1,68	—	2,34

Zahlentafel 2
Stundenaufwand für die Umformung eines Festmeters
Rundholz (Nadelstammholz) in Schnittware¹⁾

1. Jahr	—	8,03	7,47
2. Jahr	10,47	9,47	6,99
3. Jahr:			
Jan.-März	10,57	4,17	6,59
April-Juni	8,05	5,86	6,62
Oktober 1. Woche	6,14	5,14	4,89
2. Woche	6,74	5,77	4,99
3. Woche	6,86	5,18	5,37
4. Woche	6,42	5,12	7,54
Novemb. 1. Woche	6,18	5,32	5,36

¹⁾ In einer vom Verfasser behandelten vergleichenden Studie (Vortrag gehalten auf der Tagung des Verbandes von Vereinen deutscher Holzinteressenten in Kassel 1928) wurde nachgewiesen, daß sich der Stundenaufwand je fm in amerikanischen Sägewerken gegenüber deutschen Werken wie folgt, verhielt:

	deutsche	amerik.
Arbeiten auf dem Rundholzplatz	1,40	0,19
Arbeiten bei der Formung	2,78	0,62
Arbeiten auf dem Schnittholzplatz	1,65	0,92
Sonstige Arbeiten im Sägewerk	1,74	0,63
Im Ganzen:	7,57	2,36

Die Zahlentafeln 1 a und 2 beweisen, daß kurz nach Einführung der Betriebsuntersuchung die Leistungen sprunghaft in die Höhe gingen (und sich fortan sogar noch steigern ließen); Zahlentafel 1 b beweist, daß aus überalterten Maschinen keine Mehrleistungen herausgeholt werden konnten.

Die Betriebsuntersuchung wirkte also als ein alle Betriebsorgane gleichmäßig belastender, jedoch keineswegs unangenehm zu empfindender Druck, weil jeder einzelne sich durch Entgegenhalten des beweiskräftigen Zahlenmaterials dauernd beobachtet fühlen mußte. Ja, noch mehr, das Wirksamsein der Betriebsuntersuchung weckte nach kurzer Zeit in Aufsichtsorganen wie in Arbeitern die guten Geister, indem sie sich an Hand der Zahlen selbst den Beurteilungsmaßstab für die Güte der geleisteten Arbeit bilden konnten; es bildet sich ein Stück Sportgeist in der Arbeit aus.

Daß auf diese Weise die Betriebsuntersuchung schließlich von den Arbeitern selbst als Grundlage für eine gerechte Lohnaufteilung empfunden und damit als die einzig brauchbare Grundlage für die Einführung des Akkords anerkannt werden wird, bedarf keiner Erörterung. Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung der Betriebsuntersuchung als Leistungs- und Wertmaßstab ist, daß man sich von der Ansicht freimacht, daß bisher schon das Äußerste aus den Betrieben herausgeholt worden sei, und daß Rationalisierung eine noch weitergehende Ausnützung der menschlichen Arbeitskraft bedeutet. Wer einen älteren, nicht rationalisierten Betrieb mit einem rationalisierten vergleicht, wird immer wieder die Feststellung machen können, daß die körperliche Beanspruchung des Arbeiters, in gleichem Maße aber der Aufsichtsorgane, ungleich geringer geworden ist.

Zeigt die Untersuchung eines bestehenden Betriebes, daß die Ausmerzungen der Fehler- und Verlustquellen nicht ausreicht, um Leistung und Selbstkosten den durch Wettbewerb und Geschäftslage bedingten Marktpreisen anpassen zu können, dem Betrieb eine erträglichere Rente zu sichern und das Betriebswagnis herabzusetzen, dann erst ist der Augenblick zu technischer Um- und Neugestaltung gekommen (technische Rationalisierung). Die Untersuchung der einzelnen Arbeitsvorgänge muß dann bereits so weit gediehen sein, daß klar ersichtlich ist, welche Produktionsglieder die schwächsten sind und wie sie den Erfolg belasten, um feststellen zu können, ob ein Umbau oder eine Neuanlage gerechtfertigt ist.

Ein Beispiel diene zur Erläuterung, und zwar die Untersuchung der Frage: für welche Betriebsgröße kann die Anlage eines mechanischen Rundholzförderers in Frage gezogen werden?

Nach der Auffassung des entwerfenden Ingenieurs soll das in Vorschlag gebrachte Fördermittel schon bei einer Jahresleistung von 12 000 fm wirtschaftlich sein. Vorgeschlagen sind zwei Konstruktionen mit 55 000 M. und 70 000 M. Gesamtanlagekosten.

Den Anlage- und Betriebskosten, die sich bei Anschaffung des Fördermittels ergeben, wird der bereits ermittelte Lohnaufwand für Handförderung auf drei Werken mit rd. 15 000, 18 000 und 22 000 fm Jahresleistung gegenübergestellt:

	Werk X	Y	Z
Jahresleistung fm	15 000	18 500	22 000
Lohnstunden für Handförderung, auf die mit dem mechanischen Fördermittel vergleichbaren Arbeiten bezogen h	14 785	10 804	21 728
1. Kosten bei Handförderung M/fm	0,70	0,41	0,69
2. Kosten bei mech. Fördg.			
a) Konstruktion 55 000 M.	0,97	0,78	0,66
b) „ 70 000 M.	1,10	0,89	0,74

Es könnte also höchstens der Fall Z 2 a für Einführung des Fördermittels in Frage gezogen werden.

Sodann soll noch untersucht werden, von welcher Betriebsgröße an die Wirtschaftlichkeit des Fördermittels gewährleistet wird, wenn diesem außer der Rundholz- noch die Schnittholzförderung übertragen würde.

	Werk X	Y
Jahresleistung fm	15 000	18 500
Lohnstunden wie vor h	14 785	10 804
1. Kosten bei Förderarbeit von Hand insgesamt M/fm	2,20	1,67
2. Kosten mechanischer Förderarbeit		
a) Konstruktion 55 000 M. M/fm	1,53	1,17
b) „ 70 000 M. M/fm	1,65	1,28

Durch diese Rechnung ist also erwiesen, daß bei Förderung von Rundholz und Schnittware das vorgeschlagene Fördermittel unbedingt wirtschaftlich würde.

In dem aus der Praxis herausgegriffenen Fall sprach aber schließlich die Gesamtlage auf den Werkplätzen gegen die Einführung des Fördermittels, das so einschneidende Veränderungen bedingt hätte, daß die errechnete Wirtschaftlichkeit wieder stark eingeschränkt oder ganz aufgehoben worden wäre.

Die gesamte Rechnung gestaltete sich auf Grund des vorliegenden Zahlenmaterials außerordentlich einfach und sicher und bewahrte vor Fehlschlüssen.

So kann man also beim Vorhandensein einwandfreier, im Laufe längerer Beobachtung gewonnener Zahlen ruhigen Gewissens darangehen, grundsätzliche Änderungen in einem Werk vorzunehmen, oder aber, was in vielen Fällen vielleicht noch wichtiger ist, sie vermeiden, weil ihre Wirtschaftlichkeit nicht in vollem Umfange gewährleistet ist.

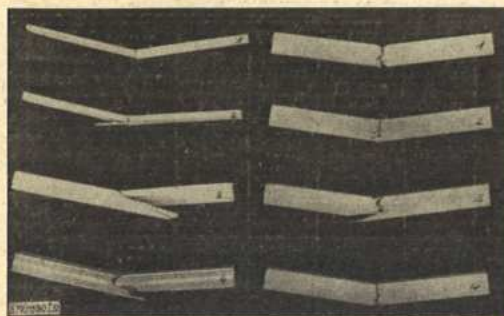
Zeigt sich bei der Voruntersuchung, daß das schwächste Glied gleichzeitig das Hauptglied der Fertigung ist, dann ist damit zugleich erwiesen, daß mit einer teilweisen Umgestaltung nicht mehr auszukommen ist. Die gesamte Rechnung beginnt dann von vorne, immer unter Berücksichtigung der Beziehungen zwischen Leistung und Kosten, die das beste wirtschaftliche Ergebnis erwarten läßt.

Die mit der Betriebsuntersuchung und ihrer Auswertung zusammenhängenden Vorarbeiten bilden das eigentliche Arbeitsgebiet des Betriebswirts, das in seiner Bedeutung in der Holzwirtschaft, insonderheit in der Sägeindustrie, noch viel zu wenig gewürdigt wird; der Betriebswirt ist ihr noch so gut wie unbekannt. Darin liegt kein Vorwurf, denn eine Änderung dieses Zustandes ist billigerweise erst dann zu erwarten, wenn praktische Ergebnisse der Betriebswirtschaftslehre auch in der Sägeindustrie vorliegen. Wo aber sollen solche Ergebnisse gesammelt werden, wenn nicht in den Betrieben selbst? Aber den in der Berufspraxis Stehenden ist es wohl in den seltensten Fällen möglich, bei der Sorge und Last des Alltags sich noch mit „Dingen außer der Reihe“ zu befassen, die, so lange sie nicht Allgemeingut geworden sind, reiflicher Überlegung und vorsichtiger Handhabung bedürfen?

Es ist keineswegs notwendig, daß der Betriebswirt Ingenieur oder Techniker sei; für ihn ist Vorbedingung, daß er ein ausgesprochenes betriebsorganisatorisches Verständnis hat, das ihn befähigt, in die kleinsten Bewegungsvorgänge (nicht nur in die technischen) hineinzusehen, ohne dabei auch nur einen Augenblick den organisch-wirtschaftlichen Zusammenhang des zwischen Rohstoffbezug und Absatz eingekeilten Betriebes aus dem Auge zu verlieren. Je nachdem er sein Instrument, die Betriebsuntersuchung, im Sinne der bisherigen Ausführungen ansetzt, wird er einmal mehr mit den Betriebsorganen, das andere Mal mehr mit Ingenieuren in Verbindung zu treten haben. Nur auf diese Weise wird der Gefahr begegnet, in dem Bestreben, umzustellen, zu weit zu gehen, weil die gesamten Entschlüsse sich nur auf den sorgfältigsten ermittelten Beobachtungsreihen aufbauen. Aber auch Betriebswirte fallen nicht vom Himmel. Sie finden sich aus der Berufspraxis nur dann, wenn zur praktischen Erfahrung noch die theoretische, ganz auf diesen Zweck abgestellte Schulung tritt. In der Holzwirtschaft, insbesondere in der Sägeindustrie, steht man hier erst am Anfang. Die Lage unserer wenigen mehr als stiefmütterlich behandelten Holzfachschulen ist bekannt, nicht dagegen, welche

(Fortsetzung von S. 395)

Bild 32 zeigt die Schlagkörper nach dem Bruch.



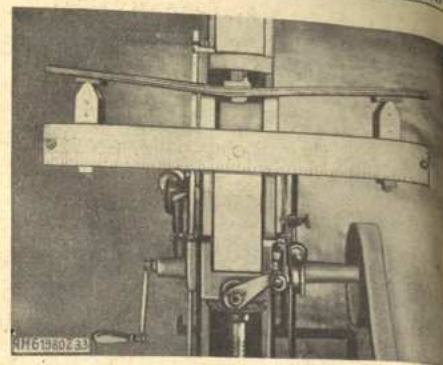
flachliegend

hochkantstehend

Bild 32

Schlagkörper nach dem Bruch

1. 4 mm Schäl furnier
2. 6 mm Sperrholz
3. 15 mm Sperrholz
4. 16 mm Sperrholz

Bild 33
Biegeversuch,
Bruchbild einer
Sperrplatte

13. Die Biegefestigkeit und Biegeelastizität

Zur Ermittlung der Biegefestigkeit und der Durchbiegung vor dem Bruch waren die Versuchskörper nach Bild 14 (unten) mit 600 mm Stützweite aufgelagert und wurden durch eine in Stützweitenmitte angreifende Last P beansprucht.

Für die Bestimmung des Elastizitätsmoduls waren die Körper nach Bild 14 (rechts oben) durch zwei symmetrische Lasten beansprucht, zwischen denen eine Meßlänge von 100 mm mit konstantem Biegemoment zur Verfügung stand. Die Stützweite betrug hier 700 mm.

Aus naheliegenden Gründen konnten die Versuche nur an den stärkeren Probestücken (15 mm Vollholz und 16 mm Sperrholz) durchgeführt werden. Dabei schwankte die Biegefestigkeit des Vollholzes zwischen 533 und 944 kg/cm² und betrug im Mittel 800 kg/cm². Obwohl die Fasern immer parallel der Stabachse lagen, hatte die Lage der Jahresringe zur wagerechten Schwerachse einen wesentlichen Einfluß. Beim Sperrholz erhalten Teile des Biegebalkens Zugspannungen senkrecht zur Faser, so daß seine Festigkeit kleiner als das bei der Biegung nur parallel den Fasern gezogene Vollholz und seine Durchbiegung größer sein muß.

Den Mittelwerten für die Biegefestigkeit sind in Zahlentafel 11 die für Zug- oder Druckspannungen ermittelten Werte gegenübergestellt worden.

Zahlentafel 11

	15 mm Vollholz		16 mm Sperrholz	
	parallel zur Faser	senkrecht zur Faser	parallel zur Faser	senkrecht zur Faser
mittl. Biegefestigkeit kg/cm ²	800	—	481	—
mittl. Zugfestigkeit kg/cm ²	688	27	375	307
mittl. Druckfestigkeit kg/cm ²	548	68	301	—

Beim normalen Biegeversuch wird die obere Randfaser gedrückt, die untere Faser gezogen. Wenn auch allgemeingültige Beziehungen zwischen Zug-, Druck- und Biegefestigkeit nicht bestehen, weil nicht jedes Holz sich gegenüber Zug- und Druckspannungen gleich verhält und weil die Dehnungen den Spannungen nicht bis zum Eintritt des Bruches proportional sind, so zeigt sich bei diesen Ergebnissen doch eine gewisse Gesetzmäßigkeit insofern, als die Biegezugfestigkeit etwa das 1,2fache der Zugfestigkeit und rd. das 1,5fache der Druckfestigkeit beträgt, und zwar sowohl beim Vollholz als auch beim Sperrholz. Die Abweichungen in den Einzelzahlen sind beim Sperrholz wesentlich kleiner als beim Vollholz. Die Festigkeit von Biegeträgern aus Sperrholz kann dadurch erhöht werden, daß am Ober- und Untergurt die längslaufenden Furniere stärker ausgeführt werden als die querliegenden Absperrfurniere, so daß die hohe Festigkeit der Längsfaser weitmöglichst zur Geltung kommt.

Für den Elastizitätsmodul ergaben sich folgende Werte in kg/cm²:

	15 mm Vollholz		16 mm Sperrholz	
	parallel zur Faser	senkrecht zur Faser	parallel zur Faser	quer zur Faser
Biegebeanspruchung	106 500	—	63 500	—
Zugbeanspruchung	80 800	3 500	55 000	50 000

Es besteht also bei Vollholz und Sperrholz zwischen Biege- und Zugelastizität das gleiche Verhältnis wie es oben für die Spannungen gefunden wurde.

Je weniger querliegendes Furnier ein Biegebalken hat, desto geringer werden seine Durchbiegungen und desto größer wird sein Elastizitätsmodul sein und um so mehr sich dem Elastizitätsmodul für Zug parallel zur Faser des Vollholzes nähern.

Die Längenänderungen der Meßstrecken wurden auf der Zug- und Druckseite mit dem Martens-Kennedy-Dehnungsmesser abgelesen; hierbei ergaben sich keine besonderen Unterschiede zwischen der Zug- und Druckseite.

Die Durchbiegungen betragen bei einer Belastung von 90 kg

beim 15 mm ungedämpften Vollholz . . . 1,9 mm

und beim 16 mm starken Sperrholz . . . 2,1 mm.

Errechnet man hieraus die Elastizitätsmoduli, so erhält man

für das ungedämpfte Vollholz . . . 84 000 kg/cm²

für das Sperrholz . . . 63 250 kg/cm².

Bild 33 zeigt einen Biegekörper aus 16 mm-Sperrholz nach dem Bruch, Bild 34 außerdem das Bruchbild eines Vollholzkörpers.

14. Biegefestigkeit und Elastizität bei wiederholter Belastung

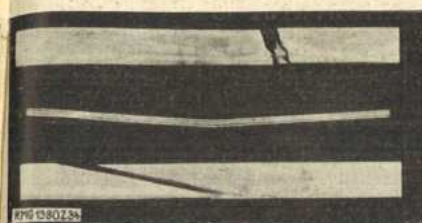
Ähnlich wie beim Zugversuch wurden auch hier die Probestücke 12mal langsam bis zu einer rechnerischen Biegespannung von 321 kg/cm² bei Vollholz und 202 kg/cm² bei Sperrholz belastet und wieder entlastet. Als dann wurden die Elastizitätsmoduli durch einen weiteren Biegeversuch festgestellt. Es ergaben sich folgende Werte, die in Bild 35 und 36 graphisch dargestellt sind:

Elastizitätsmodul für	15 mm Vollholz	16 mm Sperrholz
nach wiederholter Belastung	110 000	60 000 kg/cm ²
bei einmaliger Belastung	106 500	63 500 "

Infolge wiederholter Belastung zeigt sich also beim Vollholz eine kleine Vergrößerung, beim Sperrholz eine unbedeutende Verkleinerung des Elastizitätsmoduls oder mit anderen Worten: bei mäßig häufiger Wiederholung der Biegebeanspruchung tritt beim Vollholz und beim Sperrholz keine wesentliche Veränderung der elastischen Eigenschaften ein.

15. Schubfestigkeit

Auf Grund umfangreicher Versuche in früherer Zeit wurden zur Ermittlung der Schubfestigkeit Versuchskör-



S: 16 mm Sperrholz, auf d. Schmalseite gesehen
V: 15 mm Vollholz, auf die Breitseite gesehen
Bild 34. Biegeversuch. Biegekörper nach dem Bruch

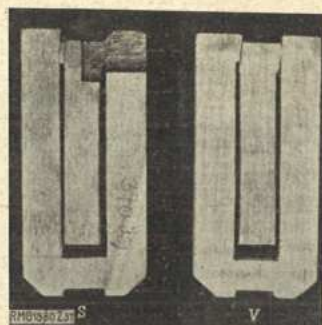
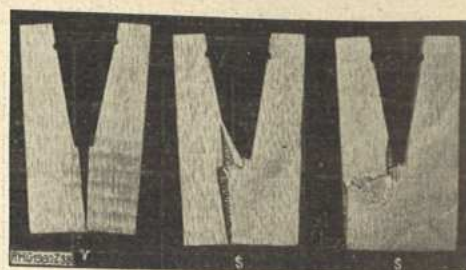


Bild 37
Scherkörper nach dem Bruch S: Sperrholz 16 mm stark (ein Stück ist herausgeschnitten).
V: Vollholz 15 mm stark.



V: Vollholz 15 mm stark; S: Sperrholz 16 mm stark.
a Bruch durch Zerreißen, b Bruch durch Abscheren in der Leimschicht
Bild 38. Spaltkörper nach dem Bruch

per nach Bild 16 mit zwei Schubflächen von 12 mm Höhe und 20 mm Abstand verwendet. Um die Kraft parallel den Fasern wirken zu lassen, wurden alle Schubkörper längsfaserig angefertigt. Ein Schubversuch senkrecht zur Faser hat keinen Zweck, da das Holz nur quer zur Faser durchgeschert werden kann²⁾.

Als Mittelwerte ergaben sich folgende Zahlen in kg/cm²:

4 mm Schäl furnier	15 mm Vollholz	6 mm Sperrholz	16 mm Sperrholz
54	76	96	93

Hier trat beim Sperrholz die Zerstörung nicht durch reines Abschieben auf, sondern dadurch, daß querfaserige Furniere in der Leimfuge nachgaben. Erhöhte Leimfestigkeit wird daher die Schubfestigkeit des Sperrholzes vergrößern.

Bei der Schubfestigkeit tritt die Veredelung des Holzes durch das Absperren stark in die Erscheinung; denn das dünne Sperrholz hat rd. die 1,8fache, das dicke Sperrholz rd. die 1,2fache Schubfestigkeit des gleichartigen Vollholzes. Beim Vollholz nimmt die Schubfestigkeit mit der Holzstärke zu, während beim Sperrholz die Holzstärke offenbar keinen nennenswerten Einfluß hat.

Bild 37 zeigt die typischen Bruchformen.

16. Spaltfestigkeit

Die Körper waren nach Bild 17 längsfaserig angefertigt. Die Belastung wurde langsam bis zum Bruch gesteigert. Die im rechteckigen Spaltquerschnitt, der in Bild 17 schraffiert ist, durch das Biegemoment auftretende größte Zugspannung in der Faser a—a wurde errechnet und beträgt in kg/cm²:

4 mm Schäl furnier	15 mm Vollholz	6 mm Sperrholz	16 mm Sperrholz
30	37	116	166

Bei dieser Art von Festigkeit zeigt sich eine hervorragende Veredelung des Holzes durch das Absperren. Das dünne Sperrholz hat die 3,9fache, das dicke Sperrholz die 4,5fache Festigkeit des gleich dicken Vollholzes. Die Spaltfestigkeit nimmt bei beiden Holzarten nicht unbeträchtlich mit der Holzstärke zu, beim dicken Vollholz um 23 vH, beim dicken Sperrholz sogar um 43 vH gegenüber gleichartigem, dünnerem Holz.

Bild 38 zeigt die typischen Spaltformen der Probekörper.

Zahlentafel 12 gibt die Mittelwerte für die Bruchspannungen und die Elastizitätszahlen in kg/cm² beim längs- und querfaser-

²⁾ Vgl. Gaber, Versuche über die Schubfestigkeit von Holz. Z. d. V. d. L. 73 (1929) Nr. 26 S. 932.

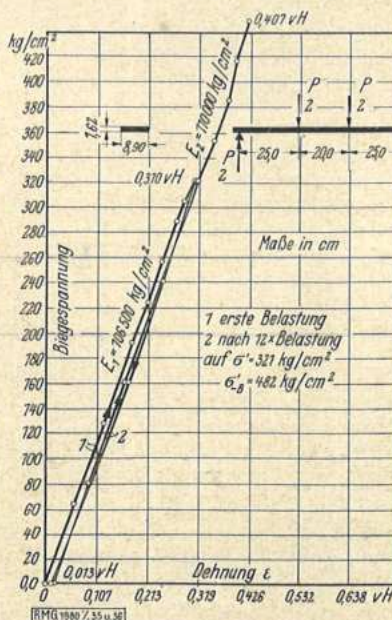


Bild 35. Vollholz

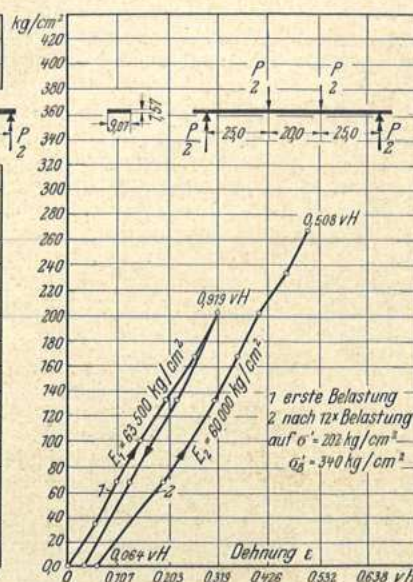


Bild 36. Sperrholz

Bild 35 und 36
Biegeversuch mit Okumé-Holz

rigen Vollholz und Sperrholz sowie die Schwindzahlen und die sonst noch notwendigen Zahlen. Die Zahlen für das Schwinden, die Zug- und Schubfestigkeit beweisen, daß sich durch das Absperren das Holz weitgehend den Eigenschaften eines homogenen Baustoffes nähert und daß die schlechten Eigenschaften des querfasrigen Holzes verschwinden. An Stelle der wenigen Spitzenleistungen des Vollholzes, die praktisch nur selten ausgenützt werden können, und seiner geringen Durchschnittsleistung bringt das Sperrholz eine hochwertige Durchschnittsleistung. Wie dieser Ausgleich sich im einzelnen bemerkbar macht, zeigt Zahlentafel 13.

Zusammenfassung

Der Veredelungsprozeß bringt besonders wichtige Verbesserungen

- im Schwinden quer zur Faser,
- im Abnutzungswiderstand (wenn das Außenfurnier aus Hartholz),
- in der Zugfestigkeit quer zur Faser,
- in der Schubfestigkeit längs der Faser,
- in der Spaltfestigkeit längs der Faser.

Zu diesen bedeutungsvollen Verbesserungen der physikalischen Eigenschaften des Holzes tritt noch der für den Konstrukteur wichtige Vorteil, daß die Sperrholzeigenschaften nicht mehr den beim Vollholz durch unvermeidbare Zufälligkeiten bedingten Schwankungen unterworfen sind, welche eine wirtschaftliche Ausnutzung des Baustoffes so sehr erschweren. Im Sperrholz ist ein hölzerner Werkstoff von bestimmten, allgemein gültigen und zahlenmäßig feststellbaren Eigenschaften geschaffen, bei welchem die zulässigen Beanspruchungen ebenso allgemein gültig festgelegt werden können wie z. B. bei Metallen, ohne daß

Zahlentafel 12.

Bezeichnung	Vollholz			Sperrholz		
	Stärke	Sehlfurnier 4 mm	15 mm nicht be- handelt	15 mm ge- dämpft	6 mm	16 mm
Wassergehalt in lufttrockenem Zustande.....	10,1	11,6		11,8	10,9	vH
Raumgewicht des lufttrockenen Holzes...	0,426	0,507		0,441	0,516	kg/dm
Zugfestigkeit längs der Faser	642	688	357	365	375	kg/cm ²
quer zur Faser	32	26,6		380	307	"
Zug-Elastizitätsmodul						
längs der Faser	86200	80800		42400	55000	"
quer zur Faser	3500	3500		52200	50000	"
Biegefestigkeit		800	706		480,5	"
Elastizitätsmodul bei Biegung						
1. Belastung				106 500	63 500	"
nach 12 x Belastung				110 000	~ 60 000	"
Spaltfestigkeit	29,7	37		116	166	"
Druckfestigkeit parallel zur Faser	258,5	548		186	301	"
Schubfestigkeit parallel zur Faser	54	75,6		96	93	"
Schlagfestigkeit, auf das Widerstandsmoment bezogen:						
flachliegend	338	192		205	102	"
hochkant	140	161		77	69	"
Schwinden*)						
längs der Faser	0,102	0,120		0,115	0,101	vH
Schwinden quer zur Faser	2,10	2,01		0,144	0,089	"
Schwinden in der Dicke	3,22	3,30		3,53	2,34	"
Abnutzung im Sandstrahl	—	8,8	10,9	12,0	—	cm ³

*) bei 20 vH Feuchtigkeit

bei der notwendigen Sicherheit über das dort übliche Maß hinausgegangen werden müßte.

Die Annäherung an die Metalle zeigt sich auch dadurch, daß mit Sperrholz, wie dort Bleche, so hier Platten von praktisch allseits gleicher Festigkeit angefertigt werden können.

Wenn dem Konstruktionsgewicht eine wichtige Rolle zufällt, kann das Sperrholz sogar mit Metallen, z. B. Stahl, in erfolgreichen Wettbewerb treten, wie folgendes Beispiel zeigen möge: Ein Stab aus Flußstahl St 37 von 1 m Länge und 1 cm² Querschnitt bricht bei einer Zuglast von rd. 4000 kg und wiegt 0,78 kg. Ein gleich langer und gleich schwerer Sperrholzstab darf einen Querschnitt von 16 cm² haben und bricht erst bei einer Zuglast von rd. 6000 kg.

Eine Sperrholzkonstruktion hat also die anderthalbfache Tragkraft der gleich schweren Flußstahlkonstruktion. Auch bei der zug- oder biegefesten Bekleidung von Flächen, deren Gewicht eng begrenzt ist, wird Sperrholz häufig dem Stahlblech überlegen sein, da praktische Forderungen und die Rostgefahr das Unterschreiten gewisser Dicken verbieten. Steht z. B. für den Quadratmeter ein Gewicht von 2 kg zur Verfügung, so kann man wohl eine 4,5 mm dicke Sperrholzplatte, aber nicht ein 0,25 mm dickes Stahlblech wählen.

Zahlentafel 13

	dünnes Sperrholz verglichen mit Sehlfurnier	dickes Sperrholz, verglichen mit 15 mm Vollholz
Das Schwinden quer zur Faser*)	verbessert sich auf das 0,07fache	verbessert sich auf das 0,05-fache
Die Zugfestigkeit quer zur Faser	steigt auf das 12-fache	11,4-fache
Die Schubfestigkeit	steigt auf das 1,8-fache	1,2-fache
Die Spaltfestigkeit	steigt auf das 3,9-fache	4,5-fache
Das Schwinden längs der Faser*)	steigt auf das 1,1-fache	verbessert sich auf das 0,8-fache
Das Schwinden der Dicke*)	steigt auf das 1,1-fache	verbessert sich auf das 0,7-fache
Die Zugfestigkeit längs der Faser	sinkt auf das 0,57-fache	0,55-fache
Die Druckfestigkeit längs der Faser	sinkt auf das 0,72-fache	0,55-fache
Die Biegefestigkeit	—	sinkt auf das 0,6-fache
Die Schlagfestigkeit des hochkant stehenden Körpers	sinkt auf das 0,55-fache	0,43-fache
Die Schlagfestigkeit des liegenden Körpers	sinkt auf das 0,61-fache	0,53-fache
Der Wassergehalt des lufttrockenen Holzes	steigt auf das 1,17-fache	sinkt auf das 0,9-fache
Das Raumgewicht	steigt auf das 1,03-fache	1,02-fache

*) bei 20 vH Wassergehalt

Das Anwendungsgebiet für das Sperrholz läßt sich zum Vorteil der Wirtschaft sicher noch erheblich ausdehnen. Wie bei der Metall- oder Zementindustrie bedarf es dazu aber planmäßiger Untersuchung der laufenden Produktion, Verarbeitung der bei der Verwendung gesammelten Erfahrungen und ihrer Nutzenanwendung auf die Herstellung. Durch einen langjährigen Kreislauf praktischer und wissenschaftlicher Untersuchungen wird es schließlich gelingen, auch beim Holz den bestmöglichen Ausgleich zwischen seinen Vor- und Nachteilen zu schaffen und im Sperrholz der Industrie und Technik einen idealen hölzernen Werkstoff zur Verfügung zu stellen, der mit hoher Festigkeit geringes Gewicht und leichte Bearbeitbarkeit verbindet. Die hier beschriebenen Versuche wollen einen bescheidenen Beitrag zu der noch zu leistenden Arbeit liefern. [1980]

„Mehrbankakkorde“

Ich sehe mich veranlaßt, auf Grund einer Zuschrift zu meinem Aufsatz in Heft 6 S. 182 des „Maschinenbau“ das Folgende nachzutragen:

Die von mir gewählten Zahlen für die Beispiele sind natürlich nicht allgemein gültig, sondern können eben nur als der Praxis entnommene Beispiele zur Erläuterung der Darlegungen gewertet werden. Der Betriebsleiter muß die für seinen Betrieb erforderlichen Untersuchungen selbst anstellen, wenn er ein möglichst klares Bild erhalten will. Dies gilt auch für die Grenzen, bis zu welchen der Mehrbankakkord noch wirtschaftlich ist, sowie bzgl. der Entlohnung. Die von mir dafür angegebenen Zahlen sind als Grundlage für Versuche zu verwenden, müssen aber in ihrer Auswirkung von einem gewissenhaften Betriebsleiter nachgeprüft werden. Ich beziehe mich hierbei auf die Schlußbemerkung meines Aufsatzes.

Die vergleichende Aufstellung der Kosten der Leitungseinheit bei Anwendung von Hartmetall-Werkzeugen berücksichtigt nicht die Anschaffung neuer Maschinen für diesen Zweck, die natürlich das Bild völlig verschieben würde. Man kann das Hartmetall auch mit Nutzen bei den normalen Bänken verwenden, zumal sein Vorteil im allgemeinen weniger in starken Spänen als in hohen Schnittgeschwindigkeiten liegt. [2208] W. Schlachter, Dessau.