

7

Versuche über die Festigkeit von rot- und weißkernigem Rotbuchenholz

Von Prof. Dr.-Ing. E. GABER und Dr.-Ing. H. HOEFFGEN, Karlsruhe

Auf dem Wege des Versuchs wird nachgeprüft, ob das rotkernige Rotbuchenholz dem weißkernigen unterlegen ist. Ohne Berücksichtigung eines etwaigen Einflusses der Zeit zeigt sich, daß — bei gleichen Festigkeitseigenschaften der beiden Splinte — der Kern der rotkernigen Buche etwas kleinere Zug-, Druck-, Biege- und Schlagfestigkeit, aber größere Schubfestigkeit hat als der Kern der weißkernigen Buche; die absoluten Festigkeiten des roten Kernes liegen aber immer noch so hoch, daß die Minderung praktisch bedeutungslos ist.

Zweck der Versuche

Häufig haben Rotbuchenstämme an Stelle des hellen rötlich-weißen einen rotbraunen Kern. Es sei hier die Rotfärbung des Kernes gemeint, wie sie auch bei gesunden deutschen Rotbuchen vielfach anzutreffen ist. Das aus diesem roten Kern gewonnene Holz wird von der Holzverarbeitenden Industrie oft als minderwertig angesehen, von der Verarbeitung ausgeschlossen und meistens nur als Brennholz verwertet. Der Frage, ob und in welchem Maße das rotkernige Buchenholz dem weißkernigen an Festigkeit unterlegen ist, kommt daher eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung zu, so daß eine eingehende Untersuchung¹⁾ berechtigt und ihre Bekanntgabe zweckmäßig schien.

Versuchskörper

Die Versuche waren so angelegt, daß bei rot- und bei weißkernigem Holz jeweils die Festigkeitseigenschaften des Kernholzes und des Splintholzes in gleicher Stammhöhe und in gleichem Abstand von Stammitte festgestellt und miteinander verglichen wurden. Als Versuchswerkstoff²⁾ standen 6 cm dicke Böhlen zur Verfügung, Abb. 1. Jeder Versuch wurde sechsfach durchgeführt. Die angegebenen Werte stellen also das Mittel aus sechs Einzelwerten dar.

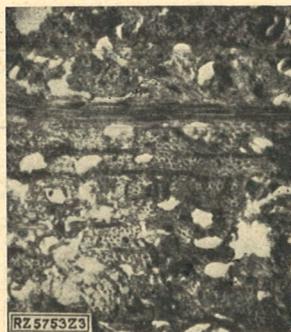
Die Versuche und ihre Ergebnisse

Es wurde beim weiß- und beim rotkernigen Buchenholz untersucht: Gefügebildung des Holzes, Holzfeuchtigkeit, Raumgewicht, Zugfestigkeit und Zugelastizität, Druckfestigkeit, Biegefestigkeit und Biegeelastizität, Schubfestigkeit und Schlagfestigkeit.

Gefügebildung des Holzes. Abb. 2 zeigt einen Tangentialschnitt von Kernholz aus rotkernigem Rotbuchenholz; die Markstrahlen sind hier quer durchschnitten und erscheinen als längliche Linsen. Die dunklen Stellen des Bildes waren in Natur dunkelbraun gefärbt. Abb. 3

¹⁾ Die Versuche wurden in der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen (Prüfraum Gaber) der I. H. Karlsruhe durchgeführt.

²⁾ Die Versuchsbohlen wurden von der Firma Holzindustrie Bruchsal G. m. b. H., Bruchsal/Baden, zur Verfügung gestellt, die auch einen Teil der für die Versuche aufgewandten Kosten übernahm.



Vergr. 60 fach

Abb. 2
Rotes Kernholz, Tangentialschnitt; Markstrahlen quer durchschnitten.

Abb. 3
Rotes Kernholz, Querschnitt, weiße Stellen sind Poren; ein größerer Markstrahl ist durchschnitten.

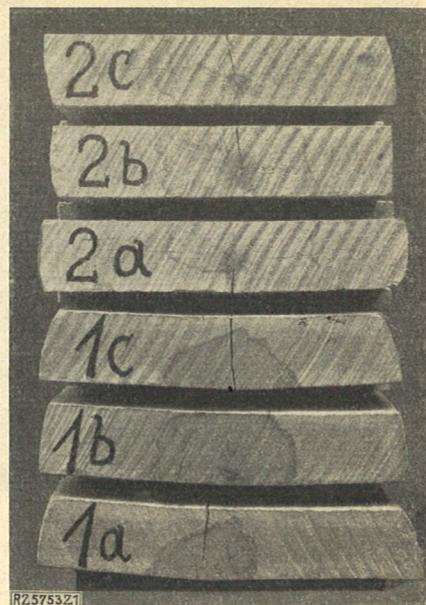


Abb. 1
Rotkernige Böhlen aus Rotbuchenholz (Stirnseite). Der rote Kern in der Mitte ist bei den Böhlen 1 a bis 1 c deutlich erkennbar.

zeigt den Querschnitt des gleichen Holzes; die weißen Stellen sind die Poren; ein größerer Markstrahl ist längs durchschnitten.

Durch die mikroskopische Untersuchung konnte beim rotkernigen Buchenholz keine Veränderung der Zellwände nachgewiesen werden. Die rotbraune Masse war nur in den Zellhohlräumen abgelagert. In der Literatur³⁾ wird die Ansicht vertreten, daß diese rote Masse eine Art Gerbstoff zum Schutz gegen weiteres Vordringen von Fäulnis gegen das gesunde Holz darstellt, der sich nach Zutritt der freien Luft im Stamminnern infolge von Astschäden und dergl. gebildet hat. Daß das Vorhandensein solcher Gerbstoffe die Wasseraufnahmefähigkeit und die Quellfähigkeit der Zellwände beeinträchtigt, ist bekannt. Die mikroskopische Untersuchung erlaubte aber nicht, Veränderungen in der inneren Struktur der Zellwände zu erkennen; es ist wohl möglich, daß der Gerbstoff auch die innere Struktur der Zellwände beschädigt hat. Volle Klarheit über das Wesen und die Entstehungsursachen des roten Kernes besteht also nicht. Es ist auch denkbar, daß die Entstehung des roten Kernes auf einer Mißbildung oder auf Pilzbildung unter gleichzeitiger Einwirkung der Luft beruht. Irgendwelche Schlüsse können aus der Gefügefeststellung für den vorliegenden Fall nicht gezogen werden.

Die Feuchtigkeit der Versuchskörper, die längere Zeit im lufttrockenen Raum gelagert hatten, wurde an Stichproben auf folgende Art ermittelt. Aus einigen zerstörten Zugkörpern und Biegekörpern wurden Holzseiben herausgeschnitten, die in einem elektrisch geheizten Trockenofen so lange getrocknet wurden, bis ihr Gewicht nicht mehr abnahm. Die Feuchtigkeit war beim weißkernigen Holz im Splint und im Kern praktisch gleich (14,3 und 14,4 vH). Beim rotkernigen Holz dagegen war der Kern (13,9 vH) trockener als der Splint (14,5 vH).

Das Raumgewicht wurde durch Ausmessen und Wiegen der Druckkörper gefunden. Es ergab sich im lufttrockenen Zustande zu 0,677 und 0,692 t/m³ im Splint und Kern des weißkernigen, zu 0,672 und 0,677 t/m³ im Splint und Kern des rotkernigen Buchenholzes. Berechnet man das Darrgewicht⁴⁾ aus diesen lufttrockenen Raumgewichten und dem vorhin gefundenen entsprechenden Wassergehalt, so ergeben sich die Werte 0,59 bis 0,65 t/m³ beim Splint und Kern des weißkernigen, 0,59 t/m³ beim Splint und Kern des rotkernigen Buchenholzes.

Der Kern ist also beim weißkernigen Holz schwerer als der Splint, während er beim rotkernigen Holz das gleiche Gewicht wie dieser aufweist. Daraus erklärt sich

³⁾ Vergl. J. A. v. Monroy, Das Holz, Berlin 1929.

⁴⁾ Darrgewicht ist das Gewicht der Raumeinheit des bis zur Gewichtsgleichheit getrockneten Holzes.

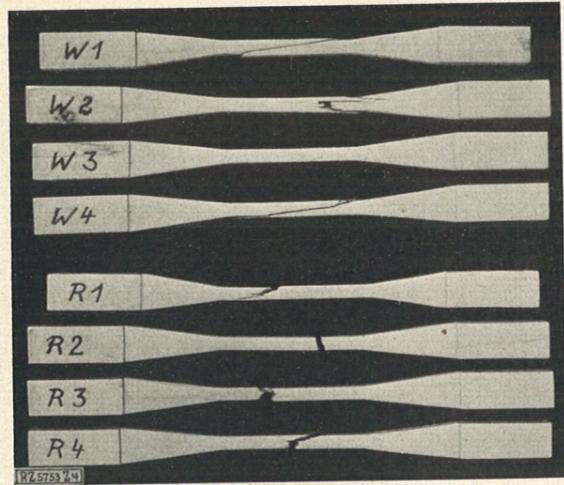


Abb. 4 Zugkörper aus rotkernigem Buchenholz. W1 bis W4 Splintholz, langfaseriger Bruch R1 „ R4 Kernholz, kurzfaseriger Bruch.

wohl auch die oben erwähnte Erscheinung, daß der rote Kern rascher trocknet als der weiße; er enthält offenbar mehr Hohlräume, und seine Zellwände können nicht mehr stark Wasser aufsaugen.

Zugfestigkeit und Zugelastizität in Faserlängsrichtung. Aus den herausgeschnittenen Streifen wurden Zugkörper von 1,0 x 1,4 cm² Querschnitt und 12 cm Versuchslänge hergestellt. Die Zugkörper wurden mit einer Spannungssteigerung von 500 kg/cm² in der Minute auf einer 5-t-Zerreißmaschine bis zum Bruch belastet. Im rotkernigen Buchenstamm hatte der Kern durchweg kleinere Zugfestigkeit als der Splint, nämlich im Mittel 958 gegen 1225 kg/cm², also nur rd. 78 vH der Splintfestigkeit. Im weißkernigen Buchenstamm hatte der Kern dagegen praktisch gleich große Festigkeit wie der Splint, nämlich 1227 gegen 1271 kg/cm², also 97 vH der Splintfestigkeit. Der Abfall beträgt hier demnach nur 3 vH gegen 22 vH beim rotkernigen Holz.

Allgemein kann man also sagen, daß das aus dem roten Kern gewonnene Buchenholz nur noch rd. 80 vH der Zerreißfestigkeit des weißen Kernholzes hat, die hier im Mittel 1240 kg/cm² betrug.

In Abb. 4 ist die Form und der Bruch der Stäbe aus rotkernigen Buchenholz zu erkennen, wobei auffällt, daß das rote Kernholz ungewöhnlich kurzfasrig abreißt, während das Splintholz viel langfaseriger zerreißt. Abb. 5 zeigt die Bruchformen für weißkerniges Holz.

Bevor die Zugkörper zerrissen wurden, wurden sie stufenweise von 30 zu 30 kg steigend unter jedesmaliger Entlastung belastet und die Dehnungen einer 100 mm langen Meßstrecke jeweils mit einem Martens-Spiegelapparat ermittelt. Die hieraus gefundenen Spannungsdehnungslinien sind in Abb. 6 als Mittel dargestellt. Die vier Kurven sind fast gerade, die Dehnungen wachsen nur wenig rascher als die Spannungen.

Die weißkernige Buche hat im Spannungsbereich bis 150 kg/cm² fast den gleichen Elastizitätsmodul für ihren Splint und Kern, nämlich 150 000 und 141 000 kg/cm².

Druckfestigkeit in Faserlängsrichtung. Die Körper hatten rd. 15 cm² Querschnitt und waren 6 cm hoch. Sie wurden zwischen zwei geschliffenen Stahlplatten mit einem Spannungszuwachs von 500 kg/cm² in der Minute bis zum Bruch belastet. Ähnlich wie bei der Zugfestigkeit war die Druckfestigkeit beim weißkernigen Buchenholz im Kern (572 kg/cm²) nur verschwindend kleiner als beim Splint (586 kg/cm²), so daß man praktisch von gleicher Druckfestigkeit im Splint und Kern sprechen kann. Ganz anders liegen die Verhältnisse aber bei der rotkernigen Buche. Bei beiden untersuchten Bohlen hatte der rote Kern wesentlich kleinere Druckfestigkeit. Sie fiel von 586 auf 507 kg/cm², also um 13 vH vom Splint zum Kern ab.

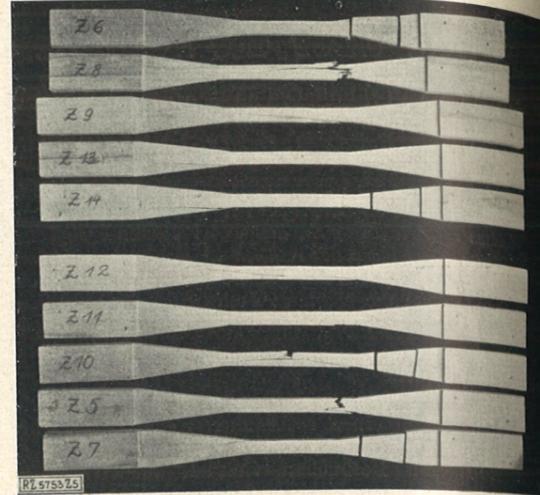


Abb. 5 Zugkörper aus weißkernigem Buchenholz. Z 6, 8, 9, 13, 14 Splintholz Z 12, 11, 10, 5, 7 Kernholz (die Körper sind z. T. zur Entnahme von Proben zur Feuchtigkeitsbestimmung durchgeschnitten).

Auch bei nachträglich angestellten Druckversuchen an weiteren Körpern zeigte sich, daß nur bei der rotkernigen Buche der Kern geringere Festigkeit als der Splint hat. Der Abfall betrug hier allerdings nur 31 kg/cm² oder rd. 6 vH.

Abb. 7 zeigt zwei kennzeichnende Bruchbilder, links einen Druckkörper aus dem roten Kern, rechts einen solchen aus dem Splintholz. Im Splintholz (rechts) sieht man eine scharf ausgeprägte Bruchfläche, in der die Holzfasern ausgeknickt sind, während das rotkernige Holz (links) sich ohne scharfes Ausknicken der Fasern weich zusammenfaltet. Im gesunden weißkernigen Buchenholz dagegen zeigt sich bei Splint- und bei Kernholz die gleiche Art der Zerstörung, Abb. 8.

Biegefestigkeit und Biegeelastizität. Die Versuchskörper hatten einen Querschnitt von etwa 4 x 4 cm, die Stützweite betrug 50 cm. Bei den Biegeversuchen wurden die gesamten und die bleibenden Durchbiegungen in der Mitte der Stützweite gemessen, wobei die Belastungen stufenweise so gesteigert wurden, daß jeweils ein Zuwachs von 100 kg/cm² Biegespannung entstand. Über den beiden Auflagern war ein Nägelchen in das Holz geschlagen, worüber ein Faden gespannt war. An diesem Faden wurde die Durchbiegung in Stützweitenmitte auf einer auf dem Versuchsstab angebrachten Skala mit einem Fernrohr abgelesen. Die ermittelten Beziehungen zwischen Biegespannung, gesamter Durchbiegung und bleibender Durchbiegung sind in Abb. 9 zeichnerisch dargestellt. Sämtliche Linien zeigen ein ähnliches Bild wie beim Zugversuch.

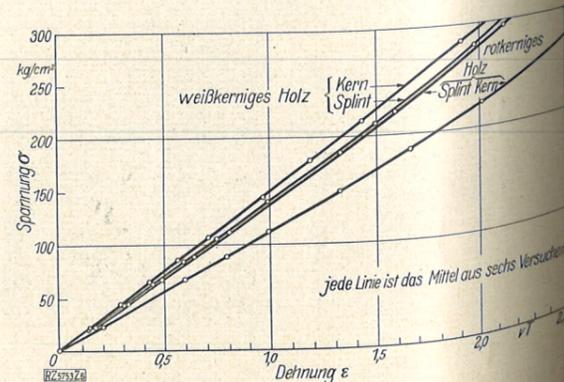


Abb. 6 Spannungsdehnungslinien von Zugversuchen mit Buchenholz. Die Dehnungen wachsen nur wenig rascher als die Spannungen.

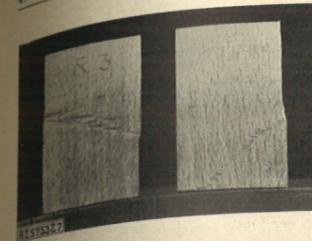


Abb. 7 (oben) Druckkörper aus rotkernigem Buchenholz; links Kernholz, rechts Splintholz.

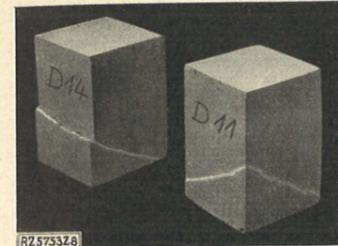


Abb. 8 (rechts) Druckkörper aus weißkernigem Buchenholz; links Kernholz, rechts Splintholz.

sich, nämlich daß die Formänderung rascher wächst als die Spannung. Die Elastizitätsgrenze der Biegung ist gleichfalls in Abb. 9 aus den Linien der bleibenden Durchbiegung zu erkennen. Sie liegt beim weißkernigen Holz für den Splint bei etwa 400 kg/cm², für den Kern bei 200 kg/cm², beim rotkernigen Holz für den Splint bei 280 kg/cm², für den Kern bei 150 kg/cm².

Im weißkernigen Buchenholz hatten Splint und Kern im Mittel genau gleich große Biegefestigkeit (1050 kg/cm²). Bei der rotkernigen Buche aber zeigt sich im roten Kernholz wieder ein Abfall gegen das Splintholz (von 896 auf 857 kg/cm²), der allerdings mit 4,5 vH praktisch bedeutungslos ist.

Abb. 10 zeigt einen Stab im Augenblick des Bruches. Sämtliche Probekörper brachen dadurch, daß zunächst die Druckfestigkeit in der Druckzone örtlich überschritten wurde, also Druckfasern ausknickten und dann erst auf der Zugseite die Fasern zerrissen. Beide Zerstörungsarten der Randfasern sind in Abb. 10 zu erkennen. Die Zerstörungserscheinungen in der Druckzone sind durch den Belastungsangriff senkrecht zur Faser natürlich begünstigt worden und nahmen von dort ihren Ausgang.

Aus der Biegefestigkeit darf man nur mit Vorbehalt Schlüsse ziehen, weil hier die Lage der Jahresringe zur Biegeebene bei den verschiedenen Proben von großem Einfluß ist und durchweg eine andere war. Aber immerhin darf man feststellen, daß auch hier das Kernholz einen kleineren Elastizitätsmodul, also größere Formänderungen hatte als das Splintholz.

Die Schubkörper waren nach Abb. 11 und 12 hergestellt. Für die Schubfestigkeit ergaben sich folgende Werte:

⁹⁾ Vgl. E. Gaber: Versuche über die Schubfestigkeit von Holz Z. Bd. 73 (1929) S. 932.

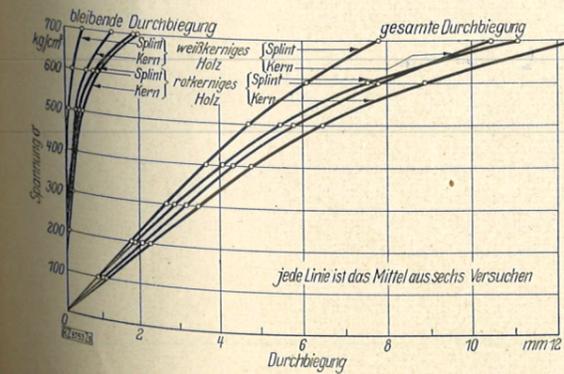


Abb. 9 Spannungs-Durchbiegungslinien bei Biegeversuchen mit Buchenholz. Formänderung wächst rascher als die Spannung.

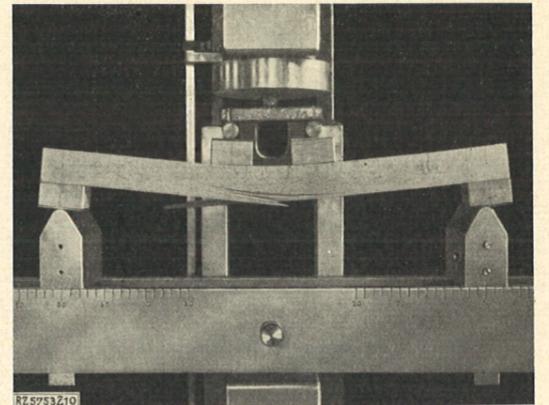


Abb. 10 Biegebalken nach dem Bruch. Druckfasern zuerst ausgeknickt, dann erst zerrissen; Fasern der Zugseite.

gende Einzel- und Mittelwerte: 104 und 121 kg/cm² bei Splint und Kern der weißkernigen, 97 und 118 kg/cm² bei Splint und Kern der rotkernigen Buche. Hier ist im Gegensatz zu allen bisher betrachteten Versuchen die Festigkeit im Kern des Buchenstammes größer als im Splint. Sie hat beim gesunden Buchenholz vom Splint zum Kern eine Zunahme um 16 vH, beim rotkernigen Buchenholz um 22 vH.

Schlagfestigkeit. Die Schlagkörper, Abb. 13 und 14, wurden mit einer Stützweite von 10 cm und einem Schlagquerschnitt von rd. 6,7 cm² auf einem normalen 10 mkg-Pendelschlagwerk zerschlagen. Es ergaben sich folgende Werte des Arbeitsverbrauchs beim Bruch: 700 und 820 kgcm bei Splint und Kern der weißkernigen Buche, 673 und 694 kgcm bei Splint und Kern der rotkernigen Buche.

Ähnlich wie beim Schubversuch hat hier das Kernholz durchweg größeres Bruch-Arbeitsvermögen als das Splintholz. Der Zuwachs beträgt bei der weißkernigen Buche 17 vH, bei der rotkernigen Buche aber nur 3 vH. Die rotkernige Buche war der weißkernigen unterlegen. Beim roten Kernholz fanden sich nur 694 kg/cm² gegen 820 kg/cm² beim hellen Kernholz.

Zusammenfassung

Außer dem Verhältnis der Festigkeiten von Splint zu Kern seien im folgenden auch die Festigkeitsverhältnisse vom rotkernigen zum weißkernigen Holz verglichen.

Um einen Überblick über die verschiedenen Festigkeitszahlen zu erhalten, wurden die gefundenen Mittelwerte in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Die wichtigsten Werte sind in Abb. 15 in anschaulicher Weise zeichnerisch einander gegenübergestellt worden.

Es ergibt sich ohne Zweifel, daß sowohl die Zug- als die Druck- als auch die Biegekernefestigkeit beim weißkernigen Holz erheblich größer sind als beim rotkernigen Holz. Ferner ist mit dem Verlust an Festigkeit gleichzeitig Zuwachs an Formänderungsvermögen verbunden. Die Schubfestigkeit ist beim roten Kernholz aber relativ größer als beim Splintholz. Anscheinend ist der Verband der Holzfasern untereinander bei dem roten Kern aufgelockert oder die Fasern sind angegriffen, so daß die Festigkeit in der Faserrichtung dadurch herabgesetzt ist; gleichzeitig ist aber vielleicht eine Art Verfilzung der Fasern eingetreten, mit welcher die Erhöhung der Schubfestigkeit erklärt werden kann.

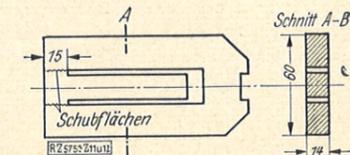
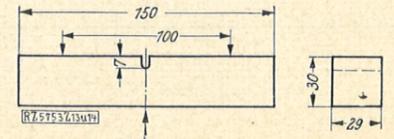


Abb. 13 und 14 (unten). Schlagkörper.

Abb. 11 und 12 (oben). Schubkörper.



Zahlentafel 1
Mittelwerte der Festigkeitszahlen von Splint und Kern von weiß- und rotkerniger Buche (astfreies, parallelfaseriges Holz).

		Splint	Kern		Festigkeitsverhältnis Kern/Splint vH
Zugfestigkeit . . .	kg/cm ²	1271	1227	weißkernige Buche	96
	vH	1225	958	rotkernige „	78
		96	78		
Druckfestigkeit {	kg/cm ²	586	572	weißkernige Buche	98
	vH	586	507	rotkernige „	87
		100	89		
Biegefestigkeit . . .	kg/cm ²	1050	1050	weißkernige Buche	100
	vH	896	857	rotkernige „	96
		85	82		
Schubfestigkeit {	kg/cm ²	104	121	weißkernige Buche	116
	vH	97	118	rotkernige „	122
		93	98		
Schlagarbeit . . .	kgcm	700	820	weißkernige Buche	117
	vH	673	694	rotkernige „	103
		96	85		

Im Holze wechselt die Eigenschaft auch im gleichen Stamme mit der Lage im Stamme, so daß man eine große Reihe von Einzelwerten braucht, um brauchbare Mittelwerte bilden zu können. Unsere Mittel wurden im allgemeinen nur aus sechs Einzelversuchen gebildet. Innerhalb der beiden untersuchten Buchenarten — weißkernige Buche und rotkernige Buche — berechneten die Mittel aber trotzdem zu allgemein gültigen Folgerungen über Kern- und Splintholz, da die Probekörper für Kern und Splint aus der gleichen kurzen Bohle und sorgfältig nur aus astfreiem, parallelfaserigem Holz entnommen werden.

Da der Feuchtigkeitsgehalt der Proben nur wenig voneinander abweicht, können die Festigkeitsunterschiede nicht etwa hierdurch erklärt werden; der geringere Feuchtigkeitsgehalt des roten Kernes hätte eher einen Festigkeitszuwachs herbeiführen müssen.

Ganz allgemein darf man auf Grund unserer Versuche für die **Rotbuche** feststellen:

1. Das Kernholz hat eine etwas geringere Festigkeit bei Beanspruchung auf Zug, Druck und Biegung als das Splintholz.

2. Das Kernholz hat eine mäßig größere Festigkeit als der Splint nur bei Beanspruchung auf Schub und Schlag.

3. Der Abfall an Festigkeit gegen Zug, Druck und Biegung des Kernes gegen den Splint ist bei der rotkernigen Buche erheblich größer als bei der weißkernigen Buche.

4. Das Holz aus dem Kern oder Splint der rotkernigen Buche hatte durchweg kleinere Festigkeiten als das Kernholz oder Splintholz der weißkernigen Buche. Beim Splintholz beträgt der Unterschied nur 3 bis 6 vH, beim Kern-

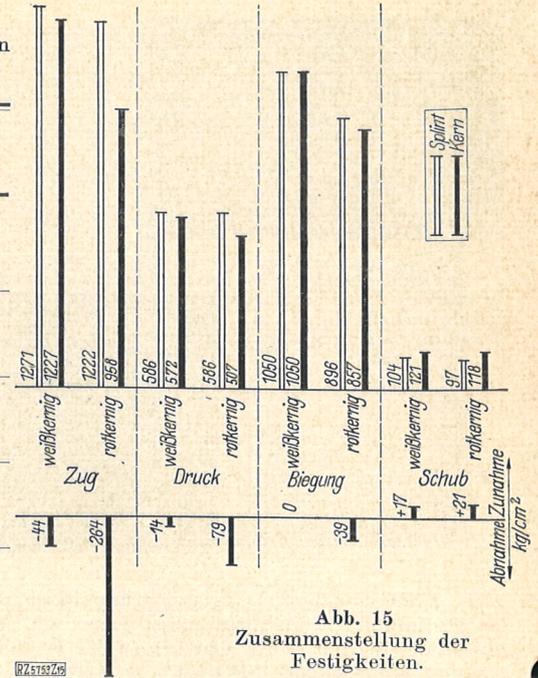


Abb. 15
Zusammenstellung der Festigkeiten.

holz aber bis zu 22 vH. Man kann sagen, daß Holz aus einem roten Kern nur rd. 80 vH der Festigkeit eines Holzes aus einem weißen Kern hat.

5. Holz aus rotkernigem Buchenstamm erleidet größere Formänderungen als Holz aus weißkernigem Stamme.

Wenn sich grundsätzlich ein ungünstiger Einfluß des roten Kernes im Buchenholz nicht ableugnen läßt, so ist für die praktische Verwendung die Frage zu beantworten, ob durch die Einbuße die Festigkeit so leidet, daß das Holz aus dem roten Kerne von Buchenstämmen von technischer Verwendung auszuschließen ist. Diese Frage muß angesichts der hohen Festigkeitszahlen, die dem roten Kern immer noch zukommen, verneint werden. Holz mit einer Zugfestigkeit von über 900, einer Druckfestigkeit von über 500, einer Biegefestigkeit von über 800, einer Schubfestigkeit von über 110 kg/cm² hat noch solche bedeutende Festigkeitseigenschaften, daß es den üblichen Beanspruchungen gewachsen ist. Gegenüber den dynamischen Schlagbeanspruchungen verhält es sich zudem fast ebenso gut wie das weißkernige Holz, so daß das Schlußurteil wohl lauten darf:

Eine Buche, deren Kern rot ist, hat unter sonst gleichen Umständen bis zu 20 vH geringere Festigkeiten als eine gleich gewachsene und geartete Buche mit weißem Kern. Diese geringe Einbuße an Festigkeit beeinträchtigt aber die Verwendbarkeit des Kernes aus der rotkernigen Buche nicht in solchem Maße, daß die technische Verwendbarkeit dadurch ausgeschlossen ist. Dabei ist vorausgesetzt, daß sie sich nicht im Laufe der Jahre vergrößert. Um ein endgültiges Urteil fällen zu können, müßten die Versuche also nach Jahren wiederholt werden.

[B 5753]