

Festigkeitseigenschaften von Schwarzwaldhölzern

Von

Prof. Dr.-Ing. E. GABER

Karlsruhe

Mit 11 Abbildungen im Text

Sonderabdruck aus „DER BAUINGENIEUR“, Zeitschrift für das gesamte Bauwesen

11. Jahrgang 1930, Heft 35

(Verlag von Julius Springer in Berlin W 9)

Festigkeitseigenschaften von Schwarzwaldhölzern.

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

Es wurden in der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen an der Technischen Hochschule Karlsruhe je drei Stämme Tannen-, Fichten- und Rotbuchenholz aus dem Badischen Schwarzwald untersucht mit dem Zwecke:

1. brauchbare Mittelwerte für die Festigkeitseigenschaften dieser Hölzer zu finden,
2. den Einfluß des Alters auf diese Festigkeitseigenschaften zu untersuchen.

Die Firma Himmelsbach A.G. in Freiburg hatte aus den neun Stämmen, deren Alter und Standort genau bekannt war, die Versuchskörper angefertigt. Die Stämme waren im August und September gefällt und im Dezember zersägt worden. Die Versuchskörper lagerten dann einige Monate im Prüfraum, bis die Versuche durchgeführt wurden. Von jeder Holzart waren drei im Alter etwa gleich weit auseinanderliegende Stämme gewählt worden. Leider stammten sie aber nicht vom gleichen Standorte, so daß neben dem Alter sich auch die Unterschiede in den Wachstumsbedingungen bemerkbar machen konnten.

Tanne		Fichte		Rotbuche	
Standort	Alter	Standort	Alter	Standort	Alter
Bleibach	38 Jahre	Elzach	32 Jahre	Wehr	40 Jahre
Utzenfeld	59 „	Freiburg	56 „	Wyhlen	55 „
Donau- eschingen	73 „	Britzingen	70 „	Schönau	78 „

Aus jedem dieser neun Stämme wurden im allgemeinen je drei Versuchskörper für den Zerreiß-, für den Druck-, für den Biege- und für den Schubversuch angefertigt, so daß die einzelnen Festigkeitszahlen eines Stammes als Mittel aus drei Einzelversuchen gefunden wurden.

Die Gestalt der Versuchskörper zeigt Blatt 1 a.

In der folgenden Liste sind die allgemeinen Angaben über die einzelnen Holzkörper zusammengestellt.

	Tanne			Fichte			Buche		
	13,5	12,5	12,7	15,5	12,0	12,6	13,5	13,2	13,3
Feuchtigkeit in %									
Darrgewicht in t/m ³	0,44	0,45	0,40	0,36	0,37	0,39	0,61	0,60	0,63
Frühholzbreite des Jahresrin- ges in mm	1,32	1,88	2,01	1,84	2,31	2,14	1,64	1,29	1,56
Spätholzbreite in mm	0,81	1,23	1,14	1,01	1,06	1,03	0,39	0,33	0,33
Anteil des Spät- holzes in %	43	40	37	35	34	32	20	20	17
Alter des Stam- mes in Jahren	38	59	73	32	56	70	40	55	78

Bei allen drei Holzarten nimmt im großen Ganzen der Feuchtigkeitsgehalt des zimmergelagerten Holzes mit dem Alter ab.

Mit Ausnahme der Tanne scheint das Darrgewicht mit zunehmendem Alter größer zu werden.

Fichte und Buche haben im zimmergelagerten Zustand den gemittelten gleichen Feuchtigkeitsgehalt von 13,3%, während die Tanne etwas weniger, nämlich nur 12,9% im Mittel, aufweist.

Das Darrgewicht wächst in der Reihenfolge Tanne, Fichte, Buche in den Mittelwerten an von 0,33 auf 0,37 auf 0,61.

Der prozentuale Anteil des Spätholzes wächst aber in der Reihenfolge Buche, Fichte, Tanne von 19 auf 32 auf 40% an.

Die Bruchfestigkeiten.

Als jeweiliger Mittelwert aus drei Einzelversuchen bei langsam bis zum Bruch ansteigender Belastung ergaben sich für die drei verschiedenen alten Stämme der drei Holzarten bei Biegung sowie Druck, Zug und Schub parallel zur Faser folgende Werte:

	Tanne			Fichte			Buche		
	Bruchfestigkeiten in kg/cm ²								
Alter . . .	38	59	73	32	56	70	40	55	78
Zug . . .	625	440	610	600	620	570	1090	1170	1310
Druck . . .	440	490	500	490	410	430	527	576	528
Biegung . . .	437	540	390	460	490	420	920	980	930
Schub . . .	57	48	44	47	44	49	88	92	92

Verhältnis der einzelnen Festigkeiten zueinander

Druck/Zug . . .	0,70	1,11	0,82	0,82	0,66	0,75	0,48	0,49	0,40
Biegung/Zug . . .	0,70	1,23	0,64	0,77	0,79	0,74	0,84	0,84	0,71
Biegung/Druck . . .	1,02	1,10	0,78	0,94	1,20	0,98	1,74	1,70	1,76
Schub/Biegung . . .	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,12	0,10	0,09	0,10
Schub/Zug . . .	0,09	0,11	0,07	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07

Andere Forscher haben für Tanne und Fichte folgende Verhältniszahlen gefunden:

		Druck/Zug	Biegung/Zug	Schub/Biegung
Baumann	Tanne	0,85	0,82	0,14 Tetmajer
	Fichte	0,75	0,74	

Aus unseren Zahlen kann man folgende Mittelwerte errechnen:

		Druck/Zug	Biegung/Zug	Schub/Biegung
Gaber	Tanne	0,88	0,86	0,12
	Fichte	0,74	0,77	0,10
	Buche	0,46	0,80	0,10

Der Einfluß des Alters auf die Bruchfestigkeiten.

Es läßt sich ein Anwachsen der Festigkeiten mit zunehmendem Stammalter nur feststellen

an der Tanne, und hier auch nur beim Druck, bei der Buche, und hier auch nur beim Zug.

Die besonderen Umstände, unter denen ein Stamm gewachsen ist, sowie die Verschiedenheiten im Holze ein und des gleichen Stammes haben einen weit größeren Einfluß auf die verschiedenen Bruchfestigkeiten als das Alter.

Die Abhängigkeit der Bruchfestigkeiten vom Spätholzanteil.

Bei den verhältnismäßig engen Jahresringen der drei Buchenstämme hatte das Spätholz den geringsten prozentualen Anteil. Sein Anteil war am größten bei der Tanne. Wenn man bei den in der Natur der Sache liegenden großen Unsicherheiten überhaupt von einer Gesetzmäßigkeit reden darf, so kann man vielleicht folgern, daß die Bruchfestigkeiten mit dem prozentualen Anteil an Spätholz wachsen. Dieser Folgerung widersprechen nur die Druckfestigkeitszahlen bei der Tanne und die Zugfestigkeitszahlen bei der Buche. Bekanntlich ist die Festigkeit des reinen Spätholzes rund doppelt so groß als die des reinen Frühholzes. Baumann folgerte aus der Kugeldruckhärte hierfür bei bosnischer Fichte die Werte 1300 und 500 kg/cm². Beim Nadelholz ist das Spätholz auch bei verschiedenen weiten

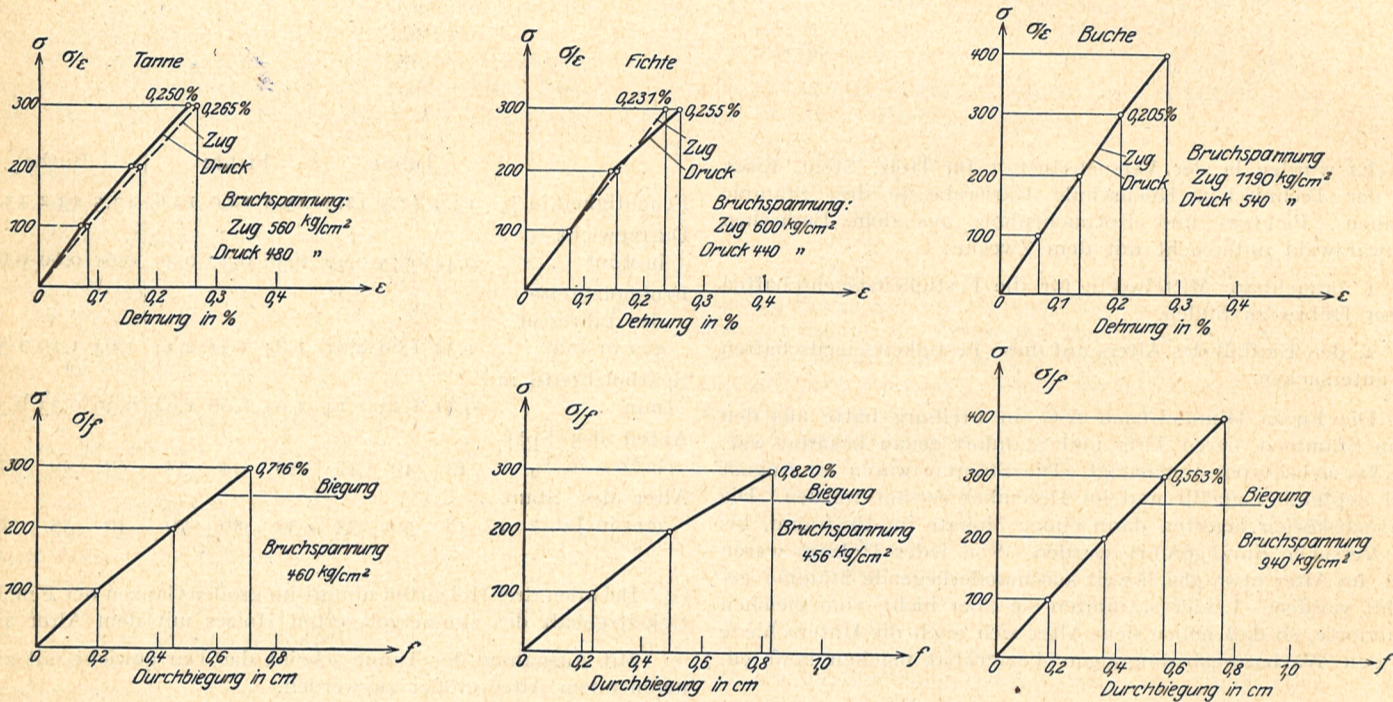


Abb. 1

Am gleichmäßigsten verhielten sich die drei Buchenstämme beim Druckversuch. So wurde bei der 78 jährigen Buche gefunden als Druckfestigkeit 616—607—613 kg/cm². Beim Zug mit 1320, 1210 und 1400 kg/cm² und bei der Biegung mit 930, 1030 und 830 kg/cm² waren auch hier die Abweichungen wieder größer. Die große Streuung der Einzelwerte bei Festigkeitsversuchen an Holz ist bedingt durch Zufälligkeiten, wie wechselnde Breite der Jahresringe, schräger Verlauf der Fasern, kleine Äste u. dgl., und tritt beim Zug- und Biegeversuch besonders auf.

Bemerkenswert ist, daß fast durchweg bei allen neun Stämmen die Zugfestigkeit erheblich größer als die Druck- und die Biegefestigkeit war. Die Schubfestigkeit beträgt im großen Durchschnitt nur 8% der Zug- und 10% der Biegefestigkeit.

Jahresringen nahezu gleich breit. Daraus folgt, daß sein prozentualer Anteil und die Holzfestigkeit im allgemeinen um so größer ist, je dichter die Jahresringe sind (Weber).

Die Festigkeit in Abhängigkeit vom Darrgewicht.

Es scheint, daß bei Fichten und Buchen das Darrgewicht bei älteren Stämmen größer ist als bei jungen; man kann aber nicht unbedingt folgern, daß ein höheres Darrgewicht in der gleichen Holzart auch höhere Festigkeitswerte verbürgt. Es zeigt sich aber zweifellos, daß Holzarten mit hohem Darrgewicht, wie z. B. die Buche, wesentlich größere Festigkeiten haben als Holzarten mit geringem Darrgewicht wie Fichte und Tanne. Rudeloff und Weber-Mikolaschek freilich glauben bei ihren Versuchen gefunden zu haben, daß auch bei der gleichen Holzart die Festigkeit mit dem Darrgewicht steigt.

In folgender Liste sind unabhängig vom Alter gemittelte Zahlen gebildet.

	Fichte	Tanne	Buche	
Darrgewicht	0,37	0,43	0,61	t/m ³
Zugfestigkeit	600	560	1190	kg/cm ²
Druckfestigkeit	440	480	540	kg/cm ²
Biegefestigkeit	456	460	940	kg/cm ²
Schubfestigkeit	47	49	91	kg/cm ²

Mittel aus neun Einzellinien dar. Bei den einzelnen Holzarten wichen die σ/E -Linien teils sehr stark voneinander ab. Bei allen drei Holzarten und allen drei Beanspruchungsarten nehmen die E-Werte mit zunehmender Spannung ab, also die Dehnungen rascher zu als die Spannungen. Die Abnahme von E ist bei Tanne und Fichte viel stärker als bei Buche.

Bei allen drei Holzarten ist ferner der aus dem Biegeversuch gefundene E-Wert kleiner als der aus dem Zug- oder Druckver-

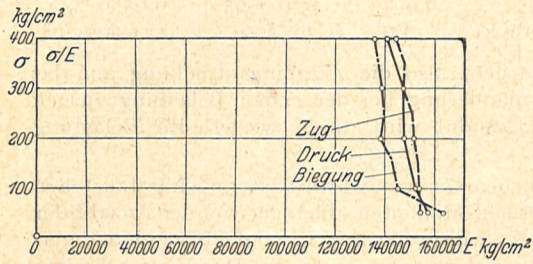


Abb. 2. Buche.

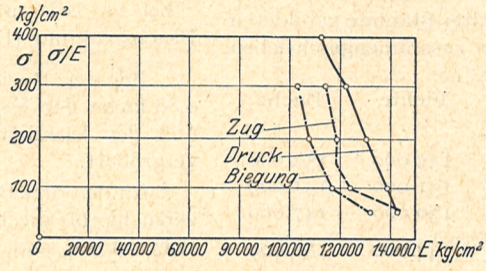


Abb. 3. Tanne.

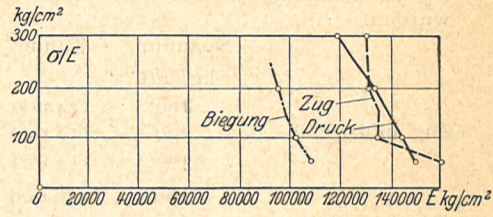


Abb. 4. Fichte.

Das Darrgewicht der Buche beträgt das 1,65 fache von dem der Fichte und das 1,42 fache von dem der Tanne. Ihre Zug- und Biegefestigkeit aber beträgt über das 2 fache von dem der Fichte und der Tanne. Nur die Druckfestigkeit bleibt hinter der Zunahme des Darrgewichtes zurück und steigt nur auf das 1,2- oder 1,1 fache der Fichte oder Tanne. Aus diesen kleinen Versuchsreihen kann man daher mit allem Vorbehalt die Folgerung ziehen, daß bei den drei verschiedenen Holzarten Tanne, Fichte, Buche die Druckfestigkeit zwar mit dem Darrgewicht wächst, aber in viel langsamerem Maße als dieses.

Die Tanne hat ein um rund 10% höheres Darrgewicht als die Fichte und eine um den gleichen Betrag höhere Druckfestigkeit; auch die Schub- und Biegefestigkeit ist höher; nur bei der Zugfestigkeit macht sich das höhere Darrgewicht nicht günstig bemerkbar.

Das elastische Verhalten der drei Holzarten bei einmaliger Belastung.

Die σ/ϵ - und σ/f -Kurven auf Abb. 1 weichen nicht allzu stark von der Geraden ab. Bei kleineren Spannungen sind sowohl bei der Tanne wie bei der Fichte die Formänderungen durch Zug etwas größer als durch Druck. Nur die Buche verhält sich gegenüber Zug und Druck ungefähr gleich. Bei allen drei Holzarten und bei allen drei Beanspruchungsarten wachsen die Dehnungen etwas rascher als die Spannungen. Das beweisen auch die drei Abb. 2, 3 und 4, wo für die verschiedenen Spannungen das Verhältnis $E = \sigma/\epsilon$, also nicht die Tangente $\frac{d\sigma}{d\epsilon}$, sondern der Sehnwinkel aufgetragen wurde.

Nach den Regeln der Festigkeitslehre wurde ferner beim Biegeversuch aus dem bekannten Moment und der gemessenen Durchbiegung der jeweilige E-Wert berechnet. So konnte der hier kurz, wenn auch nicht ganz richtig „Elastizitätsmodul E“ genannte Wert in Abhängigkeit von der Spannung aufgetragen und konnten die σ/E -Linien für Zug, Druck und Biegung gezeichnet werden (Abb. 2, 3 u. 4). Jede einzelne Linie stellt das

sich gefundene. Auch hier sind die Unterschiede bei Tanne und Fichte wieder wesentlich größer als bei Buche. Die Buche entspricht am besten den Annahmen der Festigkeitslehre, die Fichte aber am wenigsten.

Auf Abb. 5 sind die Spannungsdehnungslinien für Zug, Druck und Biegung des 59-, 56-, 55jährigen Tannen-, Fichte-, Buche-Stammes so zusammengezeichnet, daß das verschiedene Verhalten der drei Holzarten leicht erkannt werden kann. Sowohl bei Biegung wie bei Druck ist die Reihenfolge der Güte Buche — Tanne — Fichte. Nur beim Zug ändert sie sich in Buche — Fichte — Tanne.

Daß die „Festigkeit“ mit zunehmender Belastungsgeschwindigkeit wächst, beweist ein Druckversuch mit der 55jährigen Buche aus Wyhlen, welche binnen 55 Sekunden zerdrückt 643, aber ganz langsam zerdrückt nur 558 kg/cm², also nur die 0,86 fache Druckfestigkeit ergab.

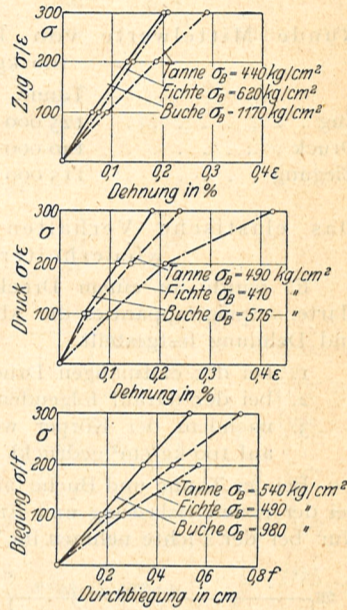


Abb. 5.

Der Einfluß des Alters auf das elastische Verhalten.

Für die drei Spannungen von 100, 200 und 300 kg/cm² wurden die beim Zug-, Druck- und Biegeversuch gefundenen E-Werte in nebenstehender Liste für die verschiedenen alten Holzstämmen zusammengestellt. Alle Zahlen sind in kg/cm² ausgedrückt.

Alter in Jahren . .	Tanne			Fichte			Buche			
	38	59	73	32	56	70	40	55	78	
Zug in kg/cm ² . . .	100	122 000	110 000	143 000	125 000	154 000	129 000	135 000	161 000	164 000
200	123 000	106 000	126 000	121 000	147 000	129 000	133 000	154 000	170 000	170 000
300	122 000	103 000	117 000	119 000	143 000	130 000	133 000	150 000	161 000	161 000
Druck in kg/cm ² . .	100	114 000	158 000	145 000	190 000	100 000	140 000	133 000	197 000	204 000
200	114 000	140 000	136 000	171 000	96 000	125 000	148 000	189 000	196 000	196 000
300	111 000	128 000	126 000	158 000	76 000	119 000	155 000	180 000	191 000	191 000
Biegung in kg/cm ² .	100	116 000	122 000	107 000	108 000	98 000	99 000	162 000	148 000	133 000
200	107 000	113 000	99 000	101 000	91 000	93 000	161 000	143 000	119 000	119 000
300	—	107 000	95 000	—	—	—	157 000	142 000	123 000	123 000

Nur bei den beiden Holzarten Tanne und Buche und hier wiederum nur bei Druck werden mit dem Alter die E-Werte größer, also die Dehnungen kleiner. Bei Zugbeanspruchung nehmen die Dehnungen mit zunehmendem Alter des Holzstammes nur noch bei der Buche ab. Bei der Biegung macht sich bei keiner der drei Holzarten das größere Alter durch Verringerung der Durchbiegungen bemerkbar.

Das bekannte Abnehmen der E-Werte bei stärkerer Beanspruchung prägt sich auch in folgender Liste aus, in welcher die unabhängig vom verschiedenen Alter der drei Stämme gebildeten E-Mittelwerte aus jeweils neun Versuchen zusammengeschrieben wurden.

Spannung kg/cm ²	Tanne	Fichte	Buche
Zug in kg/cm ²			
100	124 000	135 000	152 000
200	118 000	131 000	151 000
300	113 000	130 000	147 000
Druck in kg/cm ²			
100	139 000	144 000	180 000
200	130 000	133 000	176 000
300	120 000	118 000	175 000
Biegung in kg/cm ²			
100	116 000	102 000	145 000
200	107 000	95 000	138 000
300	102 000	—	138 000

Runde Mittelwerte von E für Spannungen unter 100 kg/cm².

	Tanne	Fichte	Buche
Zug	125 000	135 000	150 000 kg/cm ²
Druck	140 000	145 000	180 000 „
Biegung	115 000	100 000	150 000 „

Das elastische Verhalten der drei Holzarten bei wiederholter Belastung.

Es wurde an einem Druckkörper mit Zuhilfenahme des Martens-Spiegelapparates die Abhängigkeit zwischen Spannung und Dehnung festgestellt

1. bei der erstmaligen Druckbelastung,
2. bei der darauf folgenden Entlastung,
3. nachdem der Körper weitere zomal in rascher Folge auf 100 kg/cm² gedrückt und auf 0 entlastet worden war.

Bei der Tanne und Buche bilden die σ/ϵ -Linien (Abb. 6, 7, 8) bei der ersten Belastung und Entlastung die bekannte Schleife. Nur bei der Fichte nehmen im Verlauf der Entlastung die Deh-

Formänderung auf wie bei der ersten Belastung. Bei der Buche hingegen sind jetzt die Formänderungen nach wiederholter Belastung nicht unerheblich kleiner als bei der ersten Belastung, wie sich aus folgender Liste ergibt, welche die Formänderungen für 100 kg/cm² Druckspannung angibt.

	Tanne	Fichte	Buche
Dehnung			
bei 1. Belastung	0,0640	0,0965	0,0657 %
bei 21. Belastung	0,0643	0,0965	0,0580 %
Bruchspannung (Druck)	436	399	521 kg/cm ²

Bei der Buche geht also die Zusammendrückung auf das 0,88 fache der Formänderung bei der ersten Belastung zurück und der Elastizitätsmodul wird durch wiederholte Belastung vergrößert.

An den drei Buchenstämmen wurde weiter noch festzustellen versucht, ob die Bruchfestigkeiten abhängig von der Anzahl der Belastungen sind. Es wurde die Druckfestigkeit bei einmaliger, aber schneller Lastzunahme, also wenn der Bruch etwa binnen 50 Sekunden herbeigeführt wurde, und dann nach 21 maliger Druckbelastung auf 100 kg/cm² ermittelt.

Alter	Druckfestigkeit bei einmaliger Belastung	bei wiederholter Belastung
40 Jahre	518	536 kg/cm ²
55 „	643	527 „
78 „	588	525 „

Bei beiden älteren Buchenstämmen nimmt also die Bruchfestigkeit durch wiederholte Belastung ab.

Lage der Proportionalitätsgrenze.

Nach vorigem und ausweislich Abb. 1, 6, 7, 8 herrscht auch bei den üblichen Spannungen unter 100 kg/cm² keine strenge Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung. Daran ändert auch wiederholte Belastung nichts. Nur die Buche zeigt ziemlich gute lineare Abhängigkeit. Mit dieser Einschränkung kann man aber aus Abb. 1 doch feststellen, daß sowohl für Zug, Druck wie auch Biegung die „Proportionalitätsgrenze“ bei allen drei Holzarten über 200 kg/cm² liegt.

Auf Abb. 9 sind die Spannungsdehnungslinien für Druck bei erstmaliger Belastung, und zwar für alle drei Tannenstämmen, alle drei Fichtenstämmen und alle drei Buchenstämmen im Achsenkreuz zusammengetragen. Als dicke Linie ist unabhängig von dem Alter jeweils die gemittelte Spannungsdehnungslinie einer Holzart eingetragen. Große Streuungen treten hier nur bei der Fichte auf, wo der 32-jährige, also jüngste Stamm die kleinsten Dehnungen aufweist.

Man kann mit aller Vorsicht sagen, daß die Proportionalitätsgrenze bei Tanne und Fichte rd. bei 300 kg/cm², bei Buche aber bei 450 kg/cm² liegt.

Beim Holz kann man auch nur mit geringer Berechtigung von einer Elastizitätsgrenze sprechen, da hier die Art der Durchführung des Versuches von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Hiernach scheinen Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze mindestens bei 0,75 der Bruchspannung zu liegen. Die Wahl der zulässigen Spannungen braucht also auf Proportionalitäts- und Elastizitätsgrenze keine Rücksicht zu nehmen, da diese auch bei nur zweifacher Sicherheit bestimmt darüber liegen.

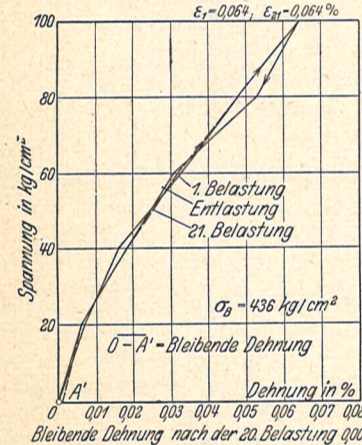
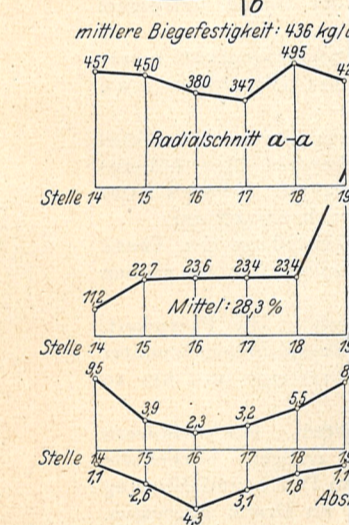
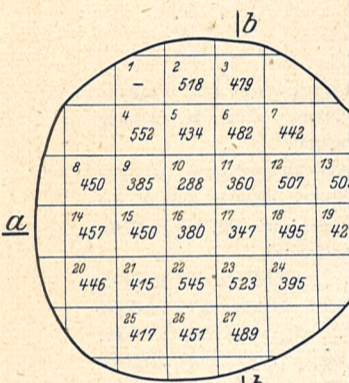
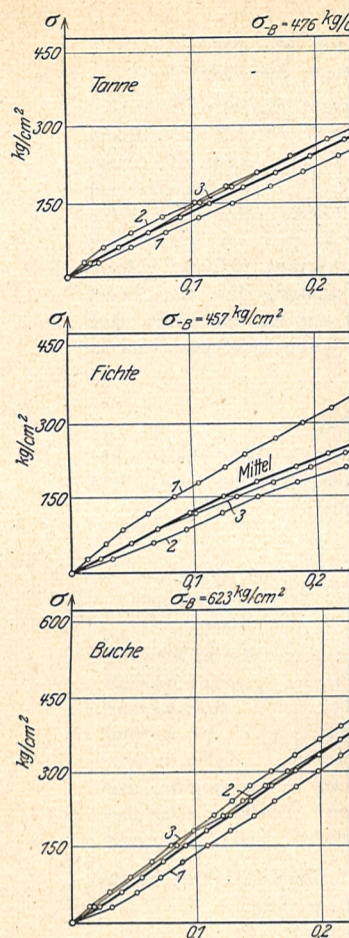


Abb. 6. Tanne. Wiederholte Belastung.

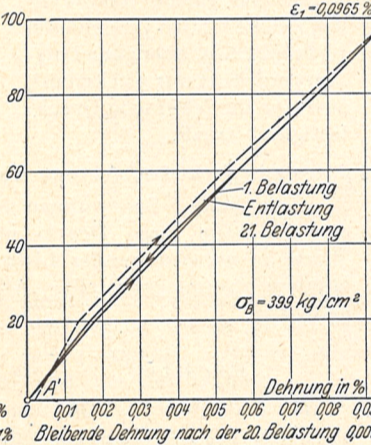


Abb. 7. Fichte. Wiederholte Belastung.

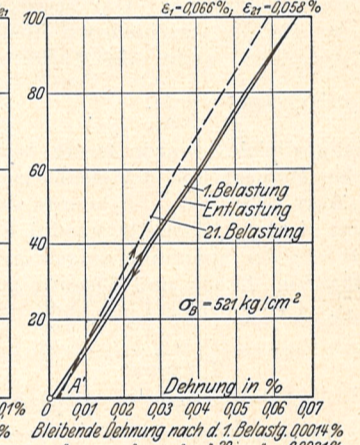


Abb. 8. Buche. Wiederholte Belastung.

nungen rascher ab, als sie bei der Belastung zunahmen. Nach zomaliger Belastung auf 100 kg/cm² zeigen sich bei Tanne, Fichte, Buche bleibende Formänderungen von 0,0011, 0,0020, 0,0021%. Bei der 21. Belastung tritt bei Tanne und Fichte ungefähr wieder die gleiche Abhängigkeit zwischen Spannung und

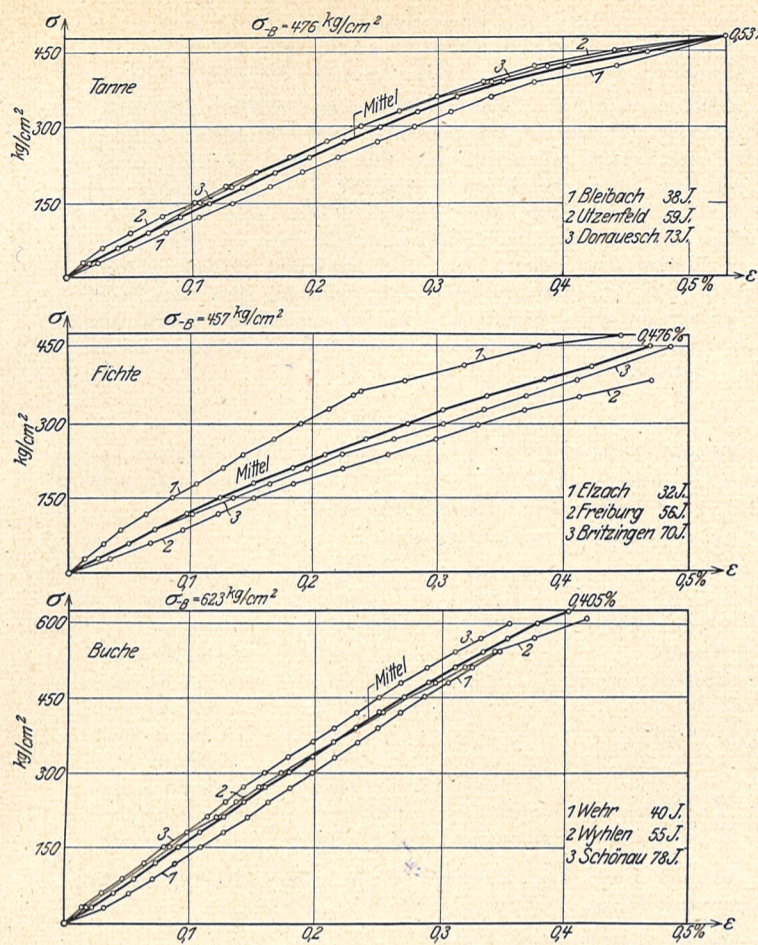


Abb. 9.

Vergleich der bisherigen Ergebnisse mit den Festigkeiten anderer Hölzer.

Zum Vergleich werden die Arbeiten von Baumann-Stuttgart, Lang-Hannover, Weber-Mikolaschek und die Veröffentlichung von Monroy, V.d.I., herangezogen. Man muß dabei vorsichtig sein, da die verschiedenen Hölzer nicht nur im Feuchtigkeitsgehalt stark abweichen, sondern auch bald absolut einwandfreies, geradfaseriges, astfreies Holz, bald aber gewöhnliches, schrägfaseriges Holz mit Ästen untersucht worden ist.

In nachfolgender Liste werden unsere Mittelzahlen für die Bruchfestigkeiten, welche unabhängig vom Alter für die drei Holzarten Tanne, Fichte, Buche gebildet wurden, diesen fremden Mittelwerten gegenübergestellt.

Bruchfestigkeiten.

	Weber Gaber	(Mikolaschek)	Lang	VDI	Baumann
Druck parallel zur Faser.					
Tanne	480	315	—	—	470
Fichte	440	300	430	245	500
Buche	540	375	600	320	620
Zug parallel zur Faser.					
Tanne	560	737	—	—	860
Fichte	600	278	637	750	1180
Buche	1190	386	—	1340	1340
Biegung.					
Tanne	460	432	—	—	900
Fichte	456	466	(460)	420	900
Buche	940	630	—	670	—
Schub parallel zur Faser.					
Tanne	49	38	—	—	—
Fichte	47	59	90	40	—
Buche	91	91	165	85	—

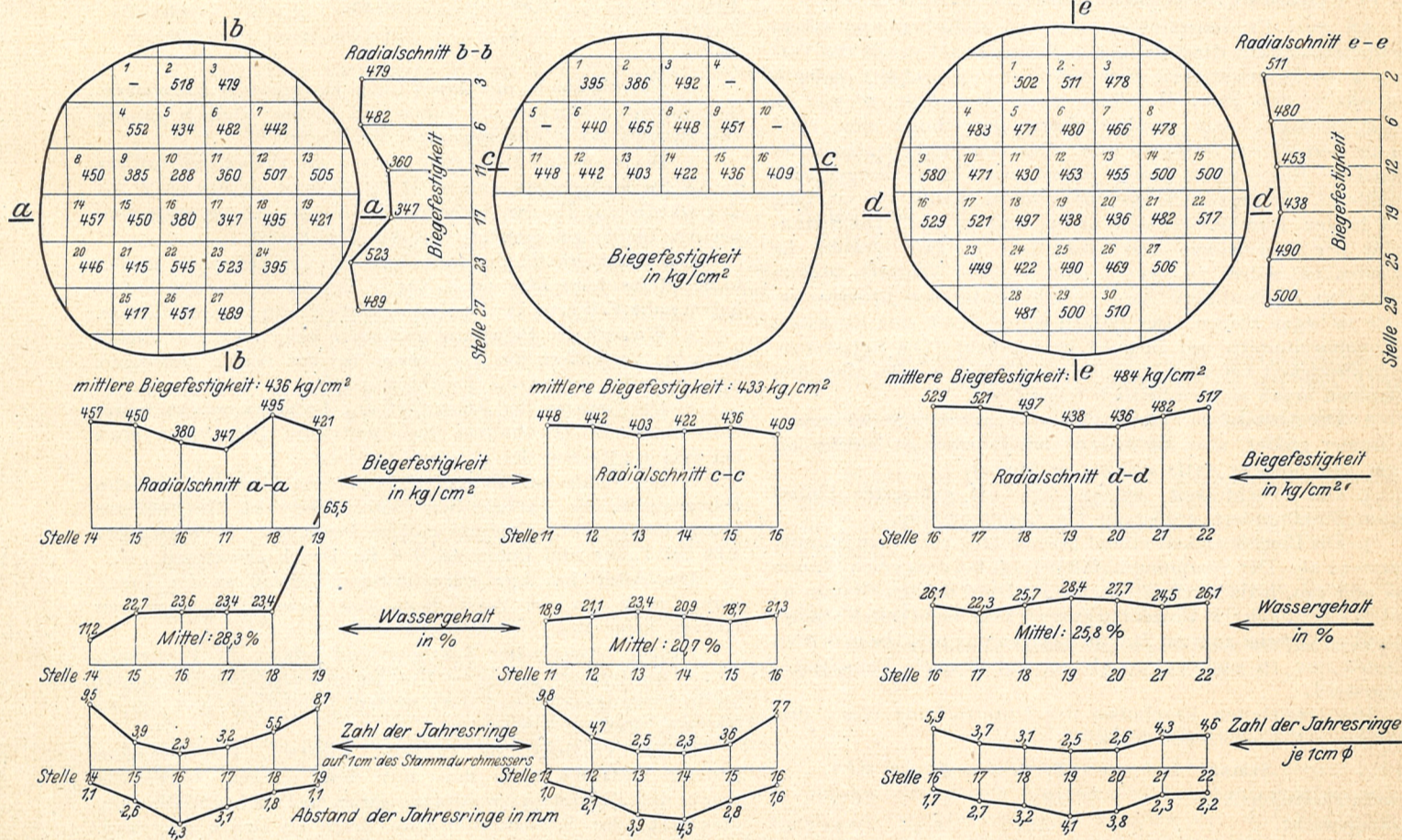


Abb. 10.

Abb. 11.

Die Zahlen von Baumann bleiben beim folgenden Vergleich unberücksichtigt, da sie, an ganz sorgfältig ausgesuchtem Holz gefunden, auch gegenüber den Angaben von Lang, Weber und VDI ungewöhnlich hoch sind. Nach dieser Beschränkung ergibt sich nun für die hier untersuchten drei Holzarten des Bad. Schwarzwaldes folgendes Bild:

1. Die Schwarzwaldtanne scheint beim Druck parallel zur Faser und bei der Biegung den andern Tannenhölzern überlegen zu sein.

2. Die Schwarzwaldfichte scheint beim Druck parallel zur Faser den andern Fichtenhölzern überlegen zu sein.

3. Die Schwarzwaldbuche scheint bei der Biegung den andern Buchenhölzern nicht unerheblich überlegen zu sein.

Früher wurde schon nachgewiesen, daß die Spannungsdehnungslinie am Holz von der Geraden abweicht. Die Bestimmung des Elastizitätsmoduls ist daher nicht eindeutig und wird verschiedene Werte geben, je nachdem man für E das Verhältnis σ/ϵ , also den Sehnwinkel, oder den Tangentenwinkel $d\sigma/d\epsilon$ angibt. Beide Winkel ändern sich mit der Spannung σ . Neben diesen grundsätzlichen Einflüssen spielt der jeweilige Feuchtigkeitsgehalt, die Geschwindigkeit und Häufigkeit der Belastung beim Versuche eine Rolle. So ist es zwecklos, die in der Literatur niedergeschriebenen Absolutwerte miteinander zu vergleichen. Es sei nur die eine Tatsache festgestellt, daß nach unsern Versuchen für alle drei Holzarten der Elastizitätsmodul anwächst in der Reihenfolge Biegung — Zug — Druck. Diese Feststellung deckt sich mit den Forschungsergebnissen von Weber-Mikolaschek und Baumann.

Eine weitere Übereinstimmung mit den wertvollen Arbeiten von Tetmajer und Baumann besteht darin, daß die E-Werte für Tanne und Fichte ungefähr beieinanderliegen, während der E-Wert für Buche erheblich größer ist. Nach unsern Feststellungen ist das E für Buche etwa $\frac{1}{3}$ des E für Tanne oder Fichte.

Die Verteilung der Festigkeit über den Stammquerschnitt beim Fichtenholz.

An zwei Fichtenstämmen aus dem südlichen und einem Fichtenstamm aus dem nördlichen Schwarzwald wurde die Verteilung der Biegefestigkeit über den Stammquerschnitt dadurch festgestellt, daß jedes Rundholz nach den Abb. 10 und 11 in Biegebalken von quadratischem Querschnitt von rund 4,4 cm Seitenlänge zersägt wurde. Der Feuchtigkeitsgehalt der einzelnen Biegebalken wurde sofort nach dem Biegeversuch ermittelt. Die geprüften Stammabschnitte waren 120 cm lang und hatten Durchmesser von 32, 35 und 36 cm. Die Spannweite der Biegebalken war einheitlich 50 cm, obwohl die Biegebalken selbst 75—90 cm lang waren. Dadurch konnte vermieden werden, daß Äste in oder nahe der Spannweitemitte zu liegen kamen. Der Balken wurde durch eine Einzellast in Spannweitemitte auf Biegung beansprucht. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug 5 kg/cm² in der Sekunde. Bei allen drei Stämmen ergab sich einheitlich folgendes:

1. Der Abstand der Jahresringe wird nach dem Stamminnern zu immer größer, also die Anzahl der Jahresringe, welche auf 1 cm Durchmesser entfallen, immer kleiner.

2. Die Feuchtigkeit des an der Luft gelagerten Holzes ist im Stamminnern größer als am Stammumfang.

3. Die Biegefestigkeit nimmt gesetzmäßig nach dem Stamminnern zu ab. Der Spannungsabfall beträgt bei dem einen Stamm 110 und 140, beim zweiten Stamm 45, beim dritten Stamm 63 und 73 kg/cm² oder, in Prozenten ausgedrückt, beim ersten Stamm 24 und 29%, beim zweiten Stamm dagegen nur 10%, beim dritten Stamm nur 16 und 14%. Ähnliches hat auch Bauschinger festgestellt.

Die gemittelten Ergebnisse der Untersuchung dieser drei Stämme enthält folgende Liste.

Stamm	T ₁	T ₂	L
Feuchtigkeitsgehalt	28	21	26%
Raumgewicht	0,44	0,42	0,44 t/m ³
Biegebruchspannung	436	433	484 kg/cm ²

Ermittlung der Schubfestigkeit des Fichtenholzes beim kurzen, gedrunenen Biegebalken.

Zwei aus einem Fichtenstamm abgeschnittene Versuchskörper von 21 und 19 cm Durchmesser wurden als Biegebalken mit einer Stützweite von nur 80 cm, also mit einem $l < 5d$ auf einer 50-t-Presse zerstört. Die Zerstörung trat durch Abschieben längs einer radialen Ebene ein. Die dabei erzielten Schubspannungen betragen 38 und 45 kg/cm² bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 15%, während frühere Schubversuche mit den hier üblichen Schubkörpern den Mittelwert von 47 kg/cm² ergeben hatten. Dies ist ein Beweis dafür, daß die in Karlsruhe üblichen neuen Schub-Versuchskörper brauchbare Ergebnisse liefern.

Zusammenfassung.

Zusammenfassend hat die Untersuchung des verschiedenartigen Tannen-, Fichten- und Rotbuchenholzes aus dem badischen Schwarzwald folgendes Ergebnis:

1a) Als Mittelwerte fanden sich

	Fichte	Tanne	Buche
Darrgewicht	0,37	0,43	0,61 t/m ³
Spätholzanteil	0,37	0,33	0,61%
Zugfestigkeit	600	560	1 190 kg/cm ²
Druckfestigkeit	440	480	540 kg/cm ²
Biegefestigkeit	456	460	940 kg/cm ²
Schubfestigkeit	47	49	91 kg/cm ²
Proportionalitätsgrenze	330	330	480 kg/cm ²
E für $\sigma = 100$ {			
Zug	135 000	125 000	150 000 kg/cm ²
Druck	145 000	140 000	180 000 kg/cm ²
Biegung	100 000	115 000	150 000 kg/cm ²

1b) Bei allen drei Holzarten wächst die Festigkeit in der Reihenfolge Schub — Druck — Biegung — Zug.

Die Verhältniszahlen sind

	Druck zu Zug	Biegung zu Zug	Schub zu Biegung
Tanne	0,88	0,86	0,12
Fichte	0,74	0,77	0,10
Buche	0,46	0,80	0,10

2. Nur die Buche mit ihrem hohen Darrgewicht hat wesentlich größere Festigkeit als Tanne und Fichte; ähnlich günstig verhält sich die Tanne gegenüber der Fichte.

3. Bei allen drei Holzarten nehmen die Dehnungen rascher zu als die Spannungen und ist E für Biegung kleiner als E für Zug und Druck. Bei der Buche weicht die σ/ϵ -Linie am wenigsten, bei der Fichte am meisten von der Geraden ab.

Der Elastizitätsmodul wird bei allen drei Holzarten größer in der Reihenfolge Biegung — Zug — Druck. Tanne und Fichte haben nahe E-Werte, Buche aber wesentlich, etwa um $\frac{1}{3}$, höhere.

4. Wiederholte Belastung verändert bei Tanne und Fichte E nicht, vergrößert ihn aber etwas bei der Buche, verringert aber bei allen dreien die Druckfestigkeit.

5. Die Grenzen der Elastizität und Proportionalität, innerhalb derer die gewöhnliche Festigkeitslehre gilt, liegen etwa bei dem 0,75fachen der Bruchspannungen.

6. Bei Fichte und Buche bringt höheres Alter auch höheres Darrgewicht. In der gleichen Holzart bewirkt aber höheres Darrgewicht nicht unbedingt größere Festigkeit. Höheres Alter läßt bei Tanne und Buche auch E für Druck anwachsen.

Das Alter hat hier nur günstigen Einfluß an der Tanne beim Druck, an der Buche beim Zug, spielt also im großen Ganzen keine Rolle.

Großer prozentualer Spätholzanteil erhöht die Festigkeit.

7. An der Luft gelagertes Holz ist im Stamminnern feuchter als in Umfangsnähe, hat dort weitere Jahresringe und um 10 bis 30% kleinere Festigkeit.

8. Im Vergleich zu Tannen-, Fichten-, Buchenhölzern anderer Herkunft kann man mit dem nötigen Vorbehalte sagen, daß die Schwarzwaldtanne ihnen in Druck und Biegung überlegen, die Schwarzwaldfichte ihnen im Druck überlegen, die Schwarzwaldbuche ihnen in der Biegung überlegen ist.