

76/7

ZUSAMMENWIRKEN
VON LAENGS-, QUER- UND SCHUBSPANNUNGEN (TORSIONSSPANNUNGEN)
BEI BRETTSCHICHTHOLZ- UND VOLLHOLZBAUTEILEN

Lehrstuhl für
Ingenieurholzbau u. Baukonstruktionen
Universität (TH) Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. K. Mähler

ZUSAMMENWIRKEN VON LAENGS-, QUER- UND SCHUBSPANNUNGEN
(TORSIONSSPANNUNGEN) BEI BRETTSCHICHT- UND VOLLHOLZBAUTEILEN

Untersuchungen

durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau
in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V.

von
Karl Möhler und Klaus Hemmer

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)

1978

BERICHT

Zusammenwirken von Längs-, Quer- und Schubspannungen (Torsionsspannungen) bei Brettschicht- und Vollholzbauteilen

Inhaltsverzeichnis :

- 1 Zweck und Ziel der Forschungsaufgabe
- 2 Anlage und Durchführung der Versuche
 - 2.1 Vollholzträger
 - 2.2 Brettschichtholzträger
- 3 Ergebnisse der Versuche
 - 3.1 Vollholzträger
 - 3.2 Brettschichtholzträger
- 4 Auswertung der Versuche
- 5 Zusammenfassung
- 6 Literaturangabe

1 Zweck und Ziel der Forschungsaufgabe

Bei den im Ingenieurholzbau heute oft verwendeten Tragwerksformen haben Sattelträger mit geradem oder gekrümmtem Untergurt, Voutenträger, Pultdachträger und Rahmen mit veränderlichem Querschnitt von Stiel und Riegel eine besondere Bedeutung. Für die einzelnen Bauglieder werden bei der üblichen Bemessung nur die Maximalwerte der Biege-, Normal- oder Schubspannungen nachgewiesen, die an verschiedenen Trägerstellen, zumindest aber in verschiedenen Querschnittsbereichen auftreten (s. Bild 1, Anlage 1). Ausnahmen hiervon bilden die gleichzeitige Erfassung von Biegespannungen und Normalspannungen, z.B. nach Gl.(25) der DIN 1052, Teil 1, bzw. nach Gl.(29), die Berücksichtigung der unterschiedlichen Längs- und Querfestigkeiten bei Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung des Holzes. Bei den o.g. Tragwerksformen treten aber auch Querschnittsstellen auf, an denen gleichzeitig Längs-, Quer- und Schubspannungen auftreten. Diese Spannungs-kombination kann unter Umständen das Versagen eines Tragwerksteiles frühzeitiger auslösen als der Maximalwert einer Spannung allein, der an einer anderen Trägerstelle auftritt. Oftmals treten aber auch alle drei Spannungen mit ihren Maximalwerten an einer Trägerstelle gleichzeitig auf (s. Bild 2, Anlage 2), was eine erhebliche Abminderung der Festigkeiten zur Folge hat. Ueber die Festigkeit bei zusammengesetzten Beanspruchungen liegen aber für den Holzbau kaum Versuchsergebnisse vor und die Bemessungsnorm DIN 1052, Teil 1 enthält keine Angaben für diese Fälle. Diese Lücke in der bestehenden Norm sollte mit Hilfe der vorstehenden Forschungsarbeit geschlossen werden, wobei eine für die Praxis anwendbare Berechnungsgrundlage vorgeschlagen werden sollte. Hierfür wurden Versuche an Vollholz und Brettschichtholz aus Fichte durchgeführt.

2 Anlage und Durchführung der Versuche

Um festzustellen, ob und inwieweit bei Biegeträgern eine Aenderung der erreichbaren Längsfestigkeit in Abhängigkeit von der Trägerrandneigung eintritt, wurden in Vorversuchen einige Satteldachträger aus Fichtenholz hergestellt und geprüft.

Als Ergebnis war ein Abfallen der Längsfestigkeiten, infolge eines gleichzeitigen Zusammenwirkens mit Schub- und Querspannungen, mit zunehmender Randneigung festzustellen. Durch starke Schwankungen der Festigkeiten des Ausgangsmaterials und durch Aststellen bedingt, konnte allerdings nur die Tendenz, nicht aber die Größe der Abminderung festgestellt werden. Für die Hauptversuche wurden deshalb aus Fichtenblockware von 50 mm Dicke sowohl fehlerfreie als auch mit Holzfehlern behaftete Proben herausgearbeitet, welche mit ihrer Druckfestigkeit und ihrem Elastizitätsmodul innerhalb eines begrenzten Bereiches lagen. Außerdem wurden Brettschichtträger aus Fichte in der abschließenden Versuchsreihe geprüft. Bei allen Versuchsreihen wurden für die Belastungsversuche parallelgurtige Träger und Träger mit einer geraden und einer schrägen Trägerkante aus dem gleichen Material herangezogen.

2.1 Vollholzträger

Für die Hauptversuche wurden aus 74 fehlerfreien Fichtenbohlen 52 Träger sowohl mit parallelen Rändern als auch als Satteldachträger herausgearbeitet, wobei darauf geachtet wurde, daß Holz mit sehr hohen bzw. sehr niedrigen Kennwerten aussortiert wurde. Weiterhin wurden 25 Fichtenvollholzträger mit Holzfehlern geprüft.

Bevor die fehlerfreien Vollholzstücke auf die für die Prüfkörper erforderliche Form zugeschnitten wurden, wurde jede Bohle einem Biegeversuch im elastischen Bereich unterworfen (s. Bild 3, Anlage 3). Anschließend wurde aus jeder Bohle eine Druckprobe entnommen. Mit Hilfe der bei diesen Vorversuchen erhaltenen charakteristischen Kenngrößen - E' -Modul und Druckfestigkeit - wurde anschließend eine Sortierung des vorhandenen Materials vorgenommen und zwar insoweit, daß alle Hölzer, welche nach oben bzw. nach unten oder bezüglich der Wuchseigenschaften ausfielen, aussortiert wurden. Eine Zusammenstellung dieser Vorversuchsergebnisse ist in Tabelle I (Anlage 4) gegeben.

Nach der Feststellung dieser Kenngrößen wurden aus den fehlerfreien Rohträgern

die Versuchsträger mit geneigtem Rand herausgearbeitet (s. Bild 4, Anlage 5). Aus den dabei entstandenen Reststücken wurden teilweise noch Biegeträger mit parallelen Rändern hergestellt, um einen Vergleich der reinen Biegefestigkeit zur Festigkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Schub- und Querspannungen zu erhalten. Diese beiden Trägertypen wurden dann als Balken auf zwei Stützen (s. Bild 5, Anlage 6 und Bild 6, Anlage 7) bis zum Bruch belastet. Weiterhin wurden aus den Reststücken, die beim Herausarbeiten der Versuchsträger aus den Ausgangsbrettern anfielen, stichprobenhaft noch Querdruck-, Querkzug-, Längszug- und ASTM-Scherproben entnommen, um hieraus eine Aussage über die Festigkeiten bei der jeweiligen Beanspruchungsart machen zu können, wobei Störeinflüsse als relativ gering angesehen werden können.

Nach der Prüfung der fehlerfreien Vollholzmodellträger wurden aus dem gleichen Ausgangsmaterial noch einige Träger mit Holzfehlern hergestellt. Als Fehler wurden Aststellen, Schwindrisse und Schrägfasrigkeit untersucht. Die Prüfung dieser Träger erfolgte in der gleichen Weise wie bei den fehlerfreien Trägern. Eine Beschreibung der Holzfehler dieser Träger ist in Tabelle 2 (Anlage 8) gegeben.

2.2 Brettschichtholzträger

Für die Versuche mit Brettschichtholz aus Fichte standen 3 Träger mit parallelen Rändern zur Ermittlung der reinen Biegefestigkeit und 23 Satteldachträger für das Zusammenwirken von Längs-, Quer- und Schubspannungen zur Verfügung. In dieser Versuchsreihe wurden Brettschichtholzträger mit Randneigungen von 1:14, 1:10, 1:6 und 1:4 auf ihr Tragverhalten hin als Balken auf zwei Stützen (s. Bild 7, Anlage 9 und Bild 8, Anlage 10) geprüft. Dabei wurden jeweils die Dehnungen an der Balkenunterseite im Firstquerschnitt und die Randdehnungen in dem Querschnitt des maximalen $M(x)/W(x)$ -Wertes mittels Dehnungsmeßstreifen ermittelt.

Nach Prüfung der einzelnen Träger wurden diesen aus jeder Trägerreihe Druckproben entnommen, um die Rohdichte, den Feuchtigkeitsgehalt und die Druckfestigkeit des verwendeten Materials bestimmen zu können.

3 Ergebnisse der Versuche

3.1 Vollholzträger

Die Berechnung der Spannungen am geneigten Rand, welche im Augenblick des Bruches auftraten, wurden nach den Formeln

$$\sigma_{B \parallel} = \frac{M}{W}$$

$$\tau_{\parallel} = \sigma_{B \parallel} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{B \parallel} \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi$$

vorgenommen. Hierbei wurde der Rechenwert der Spannung M/W für den geneigten Rand angenommen, obwohl an dieser Stelle je nach Neigung des Trägerandes etwas geringere Längsspannungen auftreten, da für die spätere Anwendung in der Praxis eine Auswertung nach dieser Formel als sinnvoll erschien. Wie zu erwarten war, stellte sich bei steigender Randneigung ein Abfall der aufnehmbaren Längsfestigkeit infolge des gleichzeitigen Zusammenwirkens von Längs-, Quer- und Schubspannungen ein. Die aus den Versuchen ermittelten Längsfestigkeiten der fehlerfreien Proben, welche im Bereich des schrägen Randes brachen, sind als Einzelwerte in Bild 9 (Anlage 11) und statistisch ausgewertet in Tabelle 3 (Anlage 12) angegeben.

Die an den aus jedem für die weiteren Versuche verwendeten Träger entnommenen Längsdruckproben ermittelte Druckfestigkeit erreichte einen Mittelwert von $\beta_{D \parallel} = 44,9 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $8,28 \text{ N/mm}^2$ und einer 5%-Fraktile von $30,9 \text{ N/mm}^2$. Die mittlere Rohdichte betrug dabei $0,48 \text{ g/cm}^3$ bei einem mittleren Feuchtigkeitsgehalt von 12,2%.

Die anschließend geprüften Querdruck-, Querzug-, Längszug- und ASTM-Scherproben erreichten die folgenden Werte:

Die Querdruckproben zeigten bei einem Mittelwert von $3,1 \text{ N/mm}^2$ bereits eine starke Zunahme der Verformung, ohne daß die Last beim Versuch nennenswert gesteigert wurde.

Die Querkzugfestigkeit erreichte bei 12 Proben einen Mittelwert von $2,7 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $0,86 \text{ N/mm}^2$ und einer 5%-Fraktile von $1,15 \text{ N/mm}^2$.

Als mittlere Längszugfestigkeit wurde ein Wert von $70,77 \text{ N/mm}^2$ ermittelt, wobei die 5%-Fraktile $51,33 \text{ N/mm}^2$ betrug.

Für die an ASTM-Scherproben ermittelte Scherfestigkeit wurden an 29 Proben ein Mittelwert von $10,34 \text{ N/mm}^2$ und eine 5%-Fraktile von $7,43 \text{ N/mm}^2$ festgestellt.

Die vergleichsweise geprüften Vollholzträger mit Holzfehlern zeigten ebenfalls die Tendenz, daß bei zunehmender Randneigung ein Abfallen der Längsfestigkeit zu beobachten war. Allerdings waren die Streuungen bei dieser Trägergruppe erheblich umfangreicher als bei den fehlerfreien Proben. Eine Zusammenstellung der erreichten Festigkeiten ist in Tabelle 4 (Anlage 13) gegeben.

3.2 Brettschichtholzträger

Die Auswertung der Versuche erfolgte nach derselben Methode, die auch auf die Vollholzträger angewendet wurde. Dabei stellte sich für die Träger, bei denen Querkzugspannungen auftraten, eine ähnliche Abminderung heraus, wie sie bei den fehlerfreien Vollholzträgern aufgetreten war. Bei den Trägern, bei denen Querkdruckspannungen wirkten, war bei Brettschichtholz jedoch eine erheblich geringere Abminderung der erreichten Längsspannung bei zunehmender Randneigung feststellbar, als sie bei den Vollholzträgern ermittelt wurde. Die Ergebnisse sind in Bild 10 (Anlage 14) und in Tabelle 5 (Anlage 15) dargestellt.

Die geprüften Brettschichtträger waren ausführungsmäßig an der unteren Grenze der Güteklasse II einzuordnen. So waren an mehreren Brettstößen zwei übereinanderliegende Lamellen direkt an einer Stelle gestoßen. An einer Stelle ging ein Keilzinkenstoß sogar über eine Höhe von vier Lamellen praktisch ohne ein Versetzen der Stoßstelle hinweg. Die an Druckproben ermittelte mittlere Längsfestigkeit dieses Materials erreichte einen Mittelwert von $44,7 \text{ N/mm}^2$, wobei die Standardabweichung $7,87 \text{ N/mm}^2$ und die 5%-Fraktile $29,79 \text{ N/mm}^2$ betragen. Für die Rohdichte wurde ein Mittelwert von $0,45 \text{ g/cm}^3$ und für den Feuchtigkeitsgehalt ein Wert von 9,3% festgestellt.

4 Auswertung der Versuche

Die untersuchten Trägerreihen waren so aufgebaut, daß jeweils Biegeträger, bei denen ein Rand gerade und der zweite Rand gegenüber dem ersten geneigt war, zusammen mit Trägern mit parallelen Rändern geprüft wurden. Bei den Trägern mit konstanter Trägerhöhe war bei diesen Versuchen jeweils ein Ueberschreiten der reinen Biegefestigkeit die Bruchursache, während bei den Trägern mit geneigtem Rand eine Kombination aus Längs-, Quer- und Schubspannungen den Bruch herbeiführte. Wie aus den Bruchbildern, welche bei den Trägern mit geneigtem Rand auftraten, ersichtlich ist, handelt es sich bei diesen Brüchen nicht um Biegebrüche (s. Bild 11, Anlage 16). Die dabei ermittelte Längsspannung, bei der der Bruch auftrat, lag je nach der vorhandenen Randneigung erheblich unter der reinen Biegefestigkeit.

Wertet man die Versuche nach der folgenden Interaktionsformel aus, wie sie z. B. in [1] angegeben wird,

$$\left(\frac{\text{vorh } \sigma_{B \parallel}}{\beta_{B \parallel}} \right)^2 + \left(\frac{\text{vorh } \tau_{\parallel}}{\tau_{\parallel}^u} \right)^2 + \left(\frac{\text{vorh } \sigma_{Z,D \perp}}{\beta_{Z,D \perp}} \right)^2 \leq 1 \quad (1)$$

und worin $\text{vorh } \sigma_{B \parallel}$, $\text{vorh } \tau_{\parallel}$ und $\text{vorh } \sigma_{Z,D \perp}$ die beim Versuch rechnerisch nach den auf Seite 4 angegebenen Formeln ermittelten Längsspannungen, Schubspannungen und Querkzug- bzw. Querkdruckspannungen darstellen und worin $\beta_{B \parallel}$, τ_{\parallel}^u und

$\beta_{Z,D\perp}$ die Biegelängsfestigkeit, die Schubfestigkeit und die Querkzug- bzw. Querdruckfestigkeit sind, so kann man diese Formel abhängig von dem Winkel der Randneigung folgendermaßen angeben:

$$\text{vorh } \sigma_{B\parallel}^2 \left[\left(\frac{1}{\beta_{B\parallel}} \right)^2 + \left(\frac{\text{tg } \varphi}{\tau_{\parallel\text{U}}} \right)^2 + \left(\frac{\text{tg}^2 \varphi}{\beta_{Z,D\perp}} \right)^2 \right] \leq 1 \quad (2)$$

oder

$$\text{vorh } \sigma_{B\parallel} \leq \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\beta_{B\parallel}} \right)^2 + \left(\frac{\text{tg } \varphi}{\tau_{\parallel\text{U}}} \right)^2 + \left(\frac{\text{tg}^2 \varphi}{\beta_{Z,D\perp}} \right)^2}} \quad (3)$$

Hierbei stellt die maximal aufnehmbare Längsspannung eine Funktion der Holzfestigkeiten und des Winkels der Randneigung dar.

Wertet man die Versuchsergebnisse für fehlerfreies Holz nach dieser Formel aus, so würden sich bei gleichzeitig wirkender Querdruckspannung die Festigkeiten zu

$$\beta_{B\parallel} = 82,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel\text{U}} = 10,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_{D\perp} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

und bei gleichzeitig wirkender Querkzugspannung die Festigkeiten zu

$$\beta_{B\parallel} = 82,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel\text{U}} = 9,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_{Z\perp} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

ergeben, wenn man die Abweichung zwischen der errechneten Kurve und den Mittelwerten der Versuchsergebnisse gering hält (s. Bild 12, Anlage 17).

Für die untersuchten Brettschichtträger würden sich die folgenden Festigkeiten ergeben:

bei Querdruck :

$$\beta_{B \parallel} = 44,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel}^u = 7,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_{D \perp} = 6,0 \text{ N/mm}^2$$

bei Querkzug:

$$\beta_{B \parallel} = 44,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel}^u = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_{Z \perp} = 0,75 \text{ N/mm}^2$$

Der Verlauf der Kurven, die mit diesen Werten errechnet wurden und die Mittelwerte der Versuchsgruppen sind in Bild 13 (Anlage 18) aufgetragen. Wie man aus diesen Werten ersieht, ist die Schubfestigkeit im Prinzip keine Konstante, sondern sie ist abhängig von der Art - genaugenommen sogar von der Größe - der jeweiligen Querspannung.

Daß der Bruch bei den untersuchten Trägern seine Ursache in einer Kombination von Spannungen hatte und nicht durch Erreichen einer Einzelfestigkeit ausgelöst wurde, kann daraus ersehen werden, daß z.B. die an den Brettschichtträgern ermittelten Dehnungsverläufe vom Beginn des Belastungsvorganges bis zum Moment des Bruches linear verliefen (s. Bild 14, Anlage 19) und daß die typische Krümmung

Träger	Randneigung [°]	Holzfehler
A1	0	Ästigkeit nach den zulässigen Werten für Gkl. II nach DIN 4074 Blatt 1
A2	0	
A3	5	
A4	5	
A5	10	
A6	10	
A7	15	
A8	15	
A9	20	
A10	20	
F1	0	Faserabweichung 13,8 cm/100 cm
F2	0	12,9 cm/100 cm
F3	5	14,2 cm/100 cm
F4	5	9,3 cm/100 cm
F5	10	8,3 cm/100 cm
F6	10	15,5 cm/100 cm
F7	15	10,0 cm/100 cm
F8	15	10,6 cm/100 cm
R1	0	Vollholzübliche Trockenrisse, Riß- tiefe bis 13 mm bei 40 mm Trägerdicke
R2	5	
R3	5	
R4	10	
R5	10	
R6	15	
R7	15	

Tabelle 2: Holzfehler der geprüften Vollholzserie
mit fehlerbehaftetem Material

der Last-Dehnungs-Kurven kurz vor Erreichen der Bruchlast nicht festgestellt werden konnte.

Wirken neben Schubspannungen aus Querkraft auch noch Schubspannungen aus Torsion, so können diese, wie in [2] gezeigt wird, als eine Schubspannung, welche sich aus der Kombination Querkraft-Torsion ergibt, behandelt werden. Eine gesonderte Berücksichtigung der Torsionsschubspannung erscheint somit nicht erforderlich.

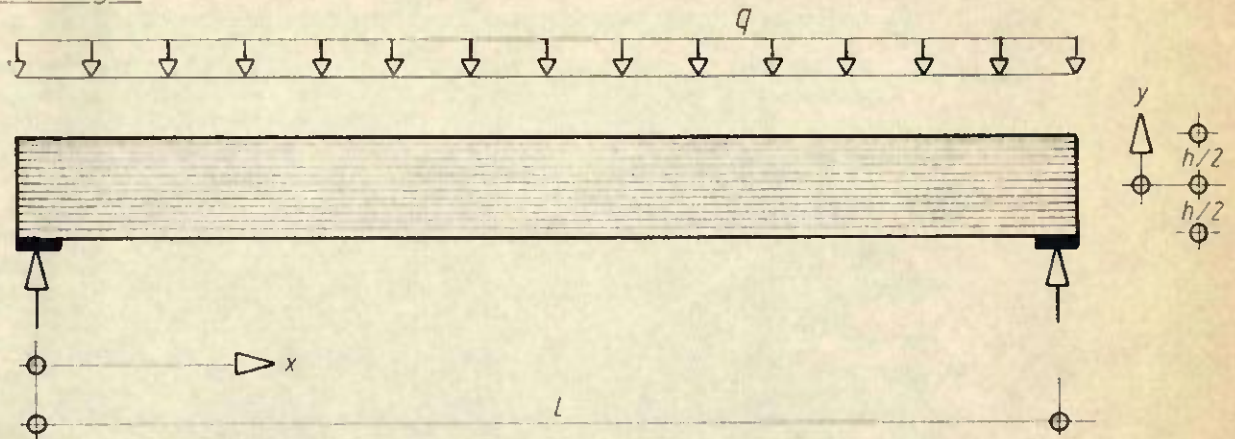
5 Zusammenfassung

Wie die Versuche gezeigt haben, werden durch das Zusammenwirken von Längs-, Quer- und Schubspannungen die reinen Einzelfestigkeiten nicht mehr erreicht. Dies führte bei den geprüften Trägertypen zu einer mit steigender Randneigung abnehmenden scheinbaren Längsfestigkeit. Dieser Einfluß muß beim Standsicherheitsnachweis in geeigneter Weise berücksichtigt werden.

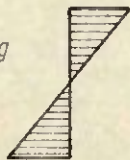
6 Literaturangabe

- [1] Norris, C.B.: Strength of orthotropic materials subjected to combined stresses.
Forest Products Laboratory, Report No. 1816
- [2] Möhler, K. und K. Hemmer : Ermittlung von Festigkeit und Dauerstandverhalten von Nadelvollholz und Brettschichtholz bei Torsionsbeanspruchung. Universität Karlsruhe (TH), 1976
- [3] AITC: Timber construction manual. Verlag: John Wiley and Sons, Inc., New York, 1974
- [4] Stüssi, F.: Baustatik I.
Verlag Birkhäuser, Basel, Stuttgart 1953
- [5] Nadai, A.: Theories of strength. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, APM-55-15
- [6] Norris, C.B.: The elastic theory of wood failure.
Transactions of the A.S.M.E., 1939
- [7] Turkstra, C.J.: Choise of failure probabilities.
Journal of the structural division, Dec. 1967
- [8] Stüssi, F.: Zum Einfluß der Faserrichtung auf die Festigkeit und den Elastizitätsmodul von Holz.
Schweizerische Bauzeitung, Band 126, S. 247-249, Dez. 1945
- [9] Stüssi, F.: Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser.
Schweizerische Bauzeitung, Band 128, S. 251-252, Nov. 1946

Einfeldträger



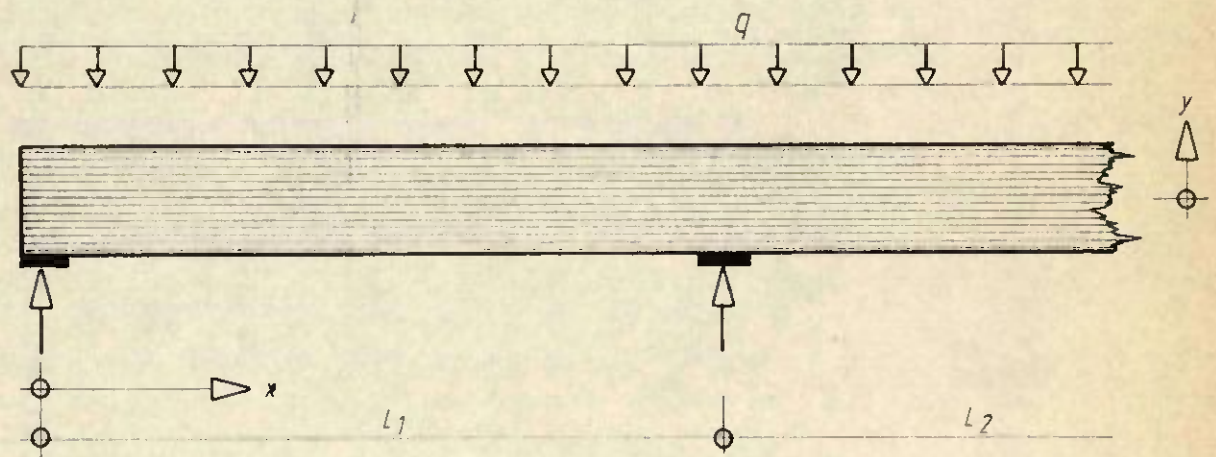
maximale
Längsspannung
bei $x = L/2$
 $y = \pm h/2$



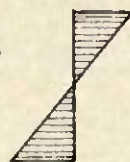
maximale
Schubspannung
bei $x=0$ und $x=L$
 $y=0$



Durchlaufträger



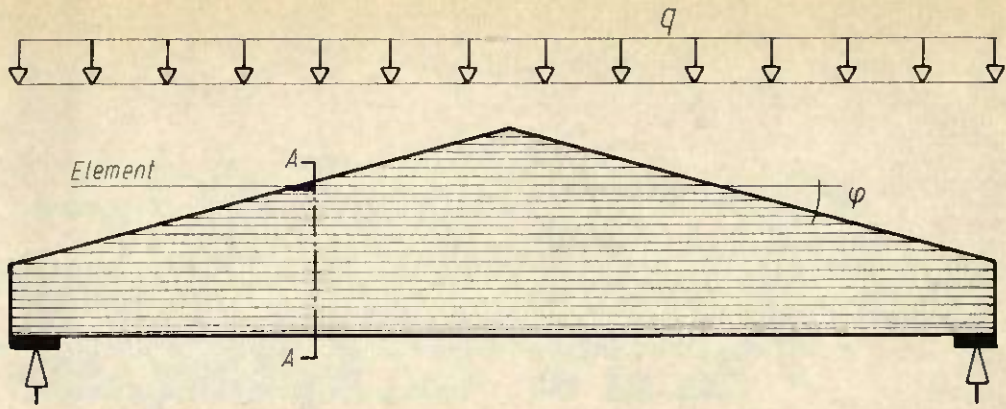
maximale
Längsspannung
bei $x = L_1$
 $y = \pm h/2$



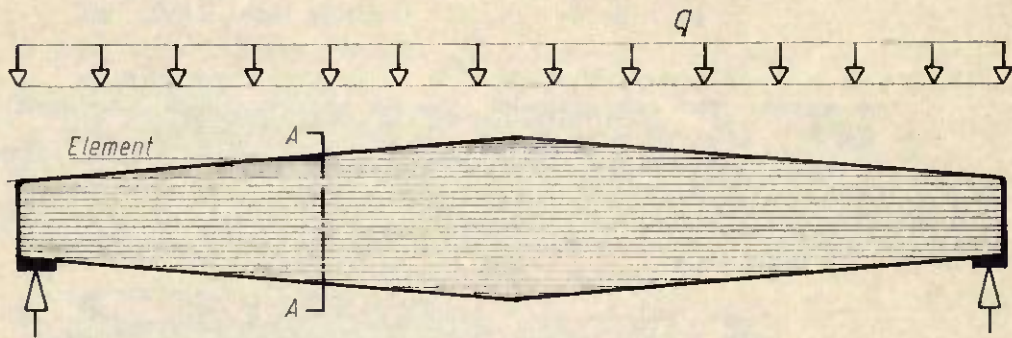
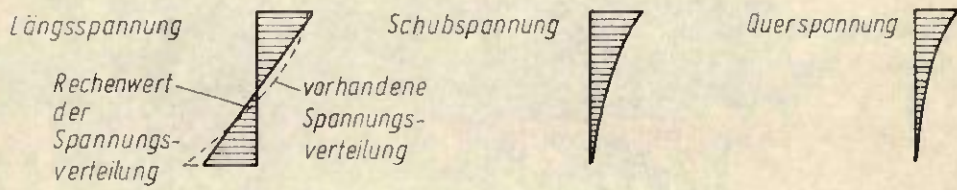
maximale
Schubspannung
bei $x = L_1$
 $y = 0$



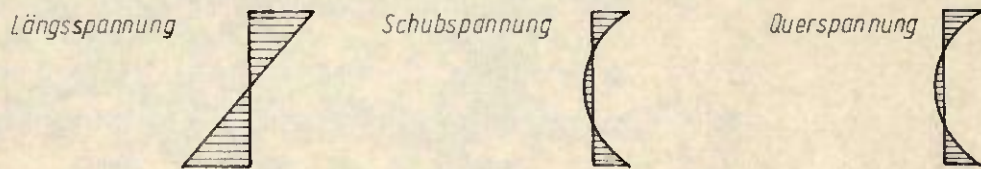
Bild 1: Maximalwerte der Längs- und Schubspannungen an verschiedenen Trägerstellen bei parallelrandigen Trägern



maximale Spannungen [A-A]:



maximale Spannungen [A-A]:



Element:

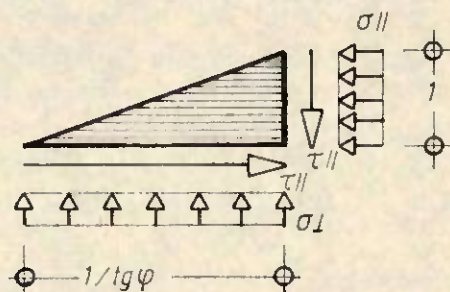
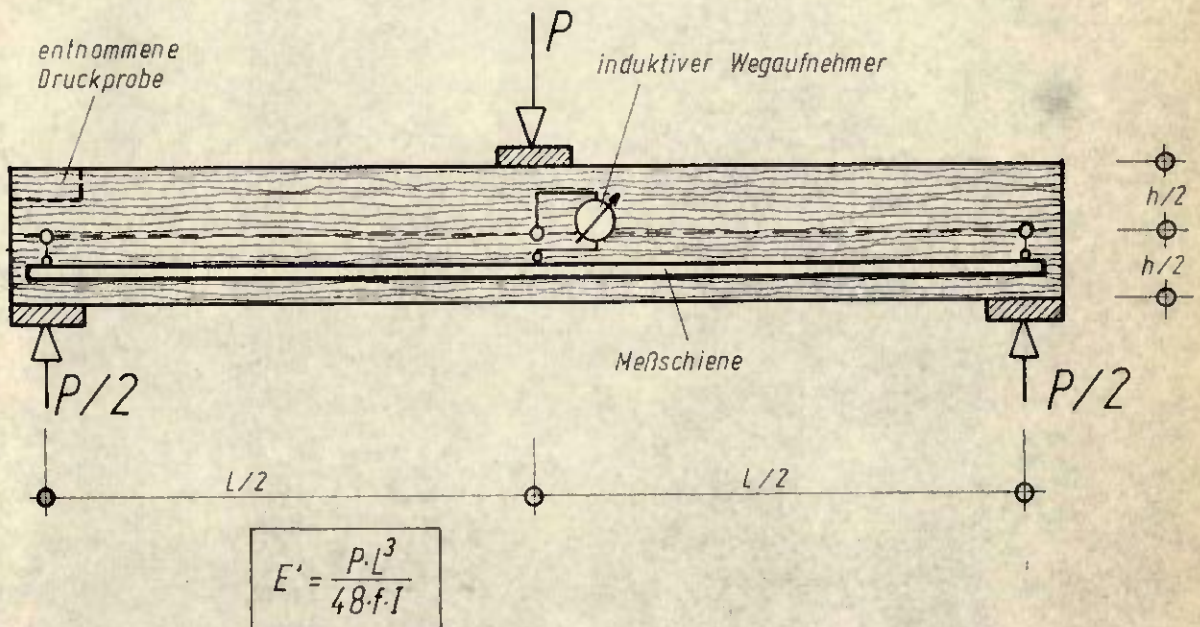


Bild 2: Träger mit Längs-, Schub- und Querspannungsmaximum an einer Trägerstelle



Gruppe	Anzahl	L [cm]	h [cm]	b [cm]
1	5	150	8,2	4,5
2	10	180	19,3	4,5
3	10	180	20,3	4,5
4	20	180	21,4	4,5
5	29	180	23,3	4,5

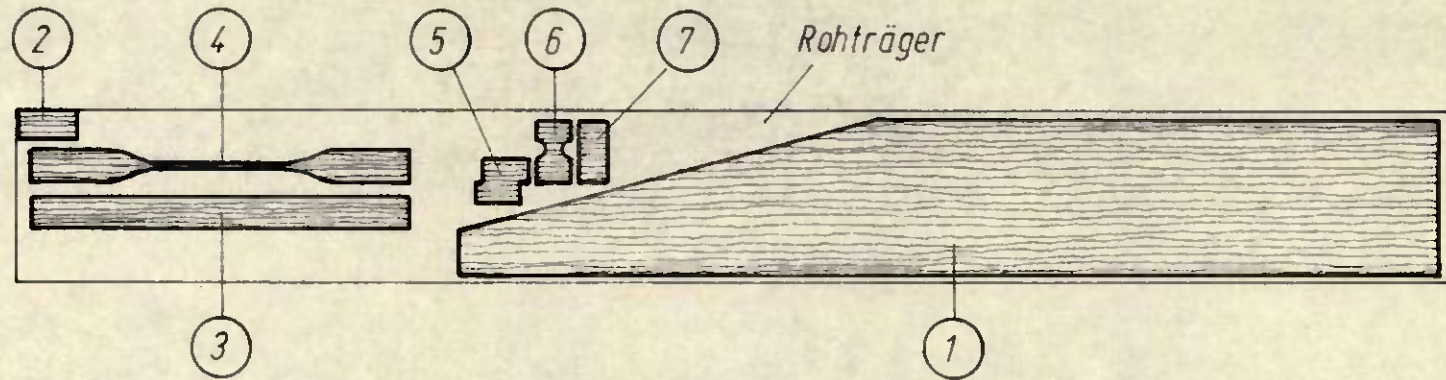
Bild 3: Versuchsaufbau und Abmessungen der fehlerfreien Vollholzträger zur Bestimmung des E' -Moduls

Vollholz- träger Nr.	E' N/mm ²	$\beta_{D }$ N/mm ²		Vollholz- träger Nr.	E' N/mm ²	$\beta_{D }$ N/mm ²	
1	17131	76,8	x	41	8726	36,9	x
2	13168	55,9	x	42	9693	45,3	
3	11857	51,1	x	43	11608	51,1	x
4	10882	44,3	x	44	10250	34,5	x
5	13452	48,1	x	45	9771	37,2	
6	8390	40,4	x	46	8388	38,1	x
7	9035	39,7	x	47	9347	39,2	x
8	9110	44,7	x	48	10288	36,0	x
9	8495	39,3	x	49	10811	46,6	x
10	7699	46,4		50	10396	48,9	x
11	9001	35,0	x	51	8369	33,9	
12	8722	45,4	x	52	10839	54,4	x
13	9412	51,8	x	53	9963	42,2	x
14	9962	44,7	x	54	9461	43,6	x
15	9015	43,8	x	55	10599	37,0	x
16	10365	51,4	x	56	10278	42,6	x
17	11275	54,3	x	57	9144	38,7	x
18	7930	39,1		58	13249	53,0	
19	9975	48,6	x	59	10162	31,8	x
20	13597	59,7		60	10662	40,4	x
21	9805	37,9	x	61	11079	42,8	x
22	11624	56,2		62	8761	41,2	x
23	12585	75,4		63	12724	75,7	
24	11273	36,4	x	64	10134	48,5	x
25	11551	40,1	x	65	9771	56,4	x
26	11811	51,6	x	66	9335	34,3	x
27	7944	35,3	x	67	10941	35,8	x
28	12049	74,8		68	12847	45,3	
29	10914	35,7	x	69	10769	50,3	x
30	10355	65,7		70	11306	41,7	x
31	10210	43,8	x	71	7760	37,0	
32	14706	58,7		72	12703	49,1	
33	9094	37,7	x	73	13029	48,2	
34	8919	39,4	x	74	13567	67,3	
35	12405	47,3					
36	10804	48,3					
37	9587	41,0					
38	10187	45,6	x				
39	11302	43,8					
40	11061	41,7					

E' = Elastizitätsmodul ermittelt an Balken auf 2 Stützen mit einer Einzellast in Feldmitte ohne Berücksichtigung der Schubverformung

x = Träger wurde nach der Vorauswahl für die Hauptversuchsreihe verwendet, (Streubereich von $u = 11,6\%$ bis $12,8\%$, Mittelwert $u = 12,2\%$)

Tabelle 1: E'-Modul und Druckfestigkeit aller Vollholzträger mit parallelen Rändern

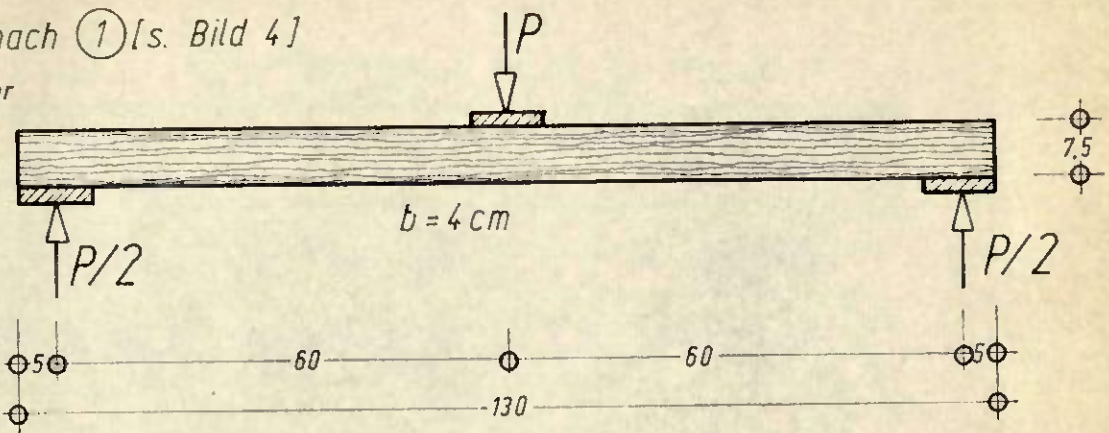


- ① Biegeträger mit geneigtem Rand
 - ② Längsdruckprobe nach DIN 52185/1
 - ③ Biegeprobe mit parallelen Rändern
 - ④ Längszugprobe nach DIN 52188
 - ⑤ ASTM - Scherprobe
 - ⑥ Querkzugprobe
 - ⑦ Querdruckprobe
- } Proben wurden nur stichprobenhaft entnommen

Bild 4: Schnittplan der Rohträger zur Herstellung der eigentlichen Prüfkörper

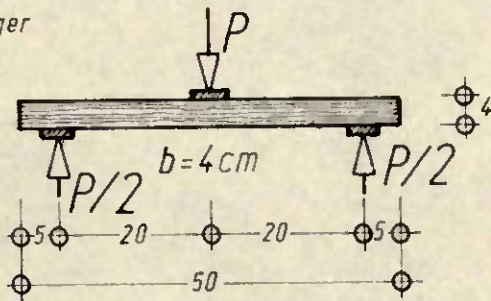
Träger nach ① [s. Bild 4]

5 Träger



Träger nach ③ [s. Bild 4]

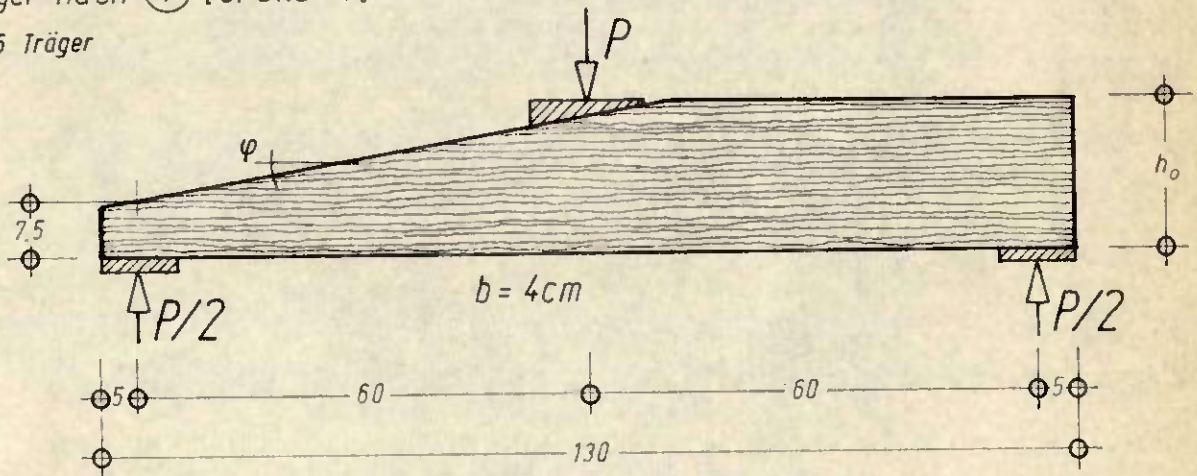
15 Träger



$\varphi [^\circ]$	$h_o [cm]$
5	13
10	20
15	22.5
20	22.5

Träger nach ① [s. Bild 4]

46 Träger



bei Prüfung auf Querkzug: geneigter Rand an der Unterseite

Bild 5: Abmessungen und Lastanordnung bei den Versuchen mit fehlerfreien Vollholzträgern



geneigter Rand in der Zugzone



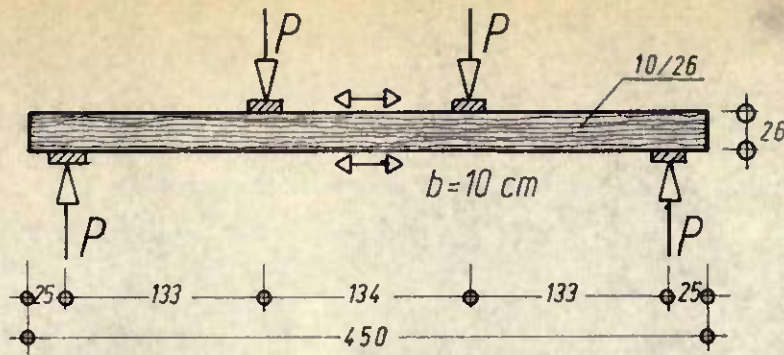
geneigter Rand in der Druckzone

Bild 6: Fehlerfreie Vollholzträger mit geneigtem Trägerrand nach dem Bruchversuch

Träger	Randneigung [°]	Holzfehler
A1	0	Ästigkeit nach den zulässigen Werten für Gkl. II nach DIN 4074 Blatt 1
A2	0	
A3	5	
A4	5	
A5	10	
A6	10	
A7	15	
A8	15	
A9	20	
A10	20	
F1	0	Faserabweichung 13,8 cm/100 cm
F2	0	12,9 cm/100 cm
F3	5	14,2 cm/100 cm
F4	5	9,3 cm/100 cm
F5	10	8,3 cm/100 cm
F6	10	15,5 cm/100 cm
F7	15	10,0 cm/100 cm
F8	15	10,6 cm/100 cm
R1	0	Vollholzübliche Trockenrisse, Riß- tiefe bis 13 mm bei 40 mm Trägerdicke
R2	5	
R3	5	
R4	10	
R5	10	
R6	15	
R7	15	

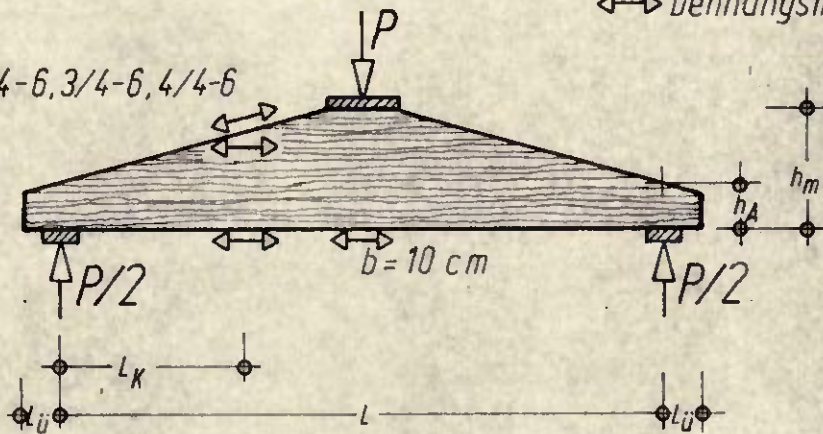
Tabelle 2: Holzfehler der geprüften Vollholzserie
mit fehlerbehaftetem Material

Typ 0/1-3

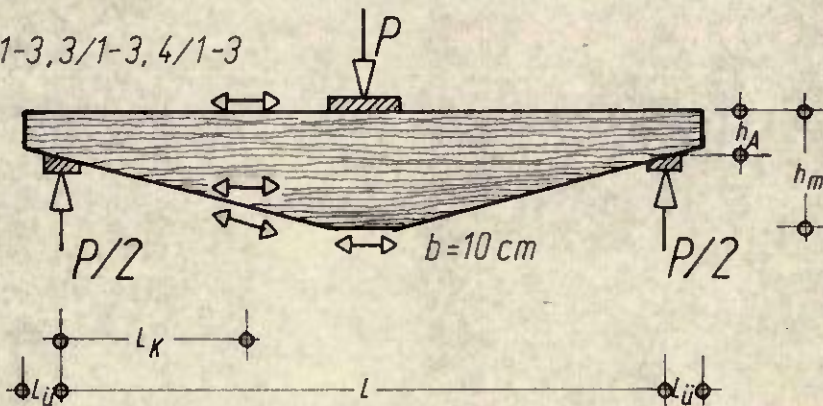


↔ Dehnungsmeßstreifen

Typ 1/4-5, 2/4-6, 3/4-6, 4/4-6



Typ 1/1-3, 2/1-3, 3/1-3, 4/1-3



Typ	h_A [cm]	h_m [cm]	L [cm]	L_K [cm]	Randneigung
1	12	31	560	168	1:14
2	12	31	400	120	1:10
3	15	42	350	87,5	1:6
4	18	57	350	72,0	1:4

L_K = Abstand der Stelle der maximalen Beanspruchung vom Auflager

Bild 7: Abmessungen und Lastanordnung bei den Versuchen mit Brettschichtträgern (Gkl II)



geneigter Rand in der Zugzone



geneigter Rand in der Druckzone

Bild 8: Brettschichtträger mit geneigtem Rand nach dem Bruchversuch

Randneigung [°]	geneigter Rand im Zug-/Druck- bereich	Anzahl der Proben	Mittel- wert N/mm ² $\bar{\beta}_B$	Standard- abweichung N/mm ²	Variations- koeffizient %	Vertrauens- bereich des Mittelwertes N/mm ²	5%-Fraktile N/mm ² $\beta_{B5\%}$
0	---	20	80,73	15,25	18,89	± 7,14	54,36
5	Druck	9*)	50,10	3,73	7,45	± 2,87	43,15
5	Zug	8*)	60,47	9,91	16,39	± 8,29	41,69
10	Druck	8*)	43,18	4,76	11,02	± 3,98	34,16
10	Zug	5*)	24,63	2,88	11,70	± 3,58	18,49
15	Druck	3*)	29,80	3,31	11,10	± 8,22	20,14
15	Zug	6*)	16,13	3,39	21,01	± 3,56	9,30
20	Druck	2*)	24,42	0,58	2,37	± 5,21	20,76
20	Zug	3*)	8,73	2,26	25,89	± 5,62	2,13

*) Die Probenreihen hatten einen Umfang von 10 bzw. 5 Proben. Die in der Tabelle nicht aufgeführten Prüfkörper sind durch Überschreiten der Querfestigkeit im Lasteinleitungsbereich oder durch Biegebrüche im parallelrandigen Trägerbereich gebrochen.

Tabelle 3: Statistische Zusammenstellung der erreichten Biegefestigkeiten bei den Versuchen mit fehlerfreien Vollholzträgern in Abhängigkeit von der Randneigung

Träger Nr.	Randneigung o	β_B N/mm ²	Mittelwert β_B der fehlerfreien Voll- hölzer N/mm ²
A1	0	57,07	80,73
A2		37,41	
F1		29,45	
F2		34,71	
R1		61,19	
A3	5	57,03 (1)	50,10 (1) 60,47 (2)
A4		24,74 (2)	
F3		16,10 (1)	
F4		33,26 (2)	
R2		41,50 (3)	
R3		31,97 (2)	
A5	10	>19,64 (3)	43,18 (1) 24,63 (2)
A6		53,39 (1)	
F5		23,51 (1)	
F6		7,58 (2)	
R4		23,36 (1)	
R5		32,29 (2)	
A7	15	>37,78 (3)	29,80 (1) 16,13 (2)
A8		14,93 (2)	
F7		28,30 (3)	
F8		>17,88 (3)	
R6		36,19 (3)	
R7		16,64 (2)	
A9	20	>23,81 (3)	24,42 (1) 8,73 (2)
A10		34,57 (3)	

- (1) geneigter Rand im Druckbereich
(2) geneigter Rand im Zugbereich
(3) Biegebruch im Bereich paralleler Trägerränder
oder Überschreitung der Querfestigkeit in den
Lasteinleitungspunkten

Tabelle 4: Biegefestigkeiten der fehlerbehafteten
Vollholzträger in Abhängigkeit von der
Randneigung

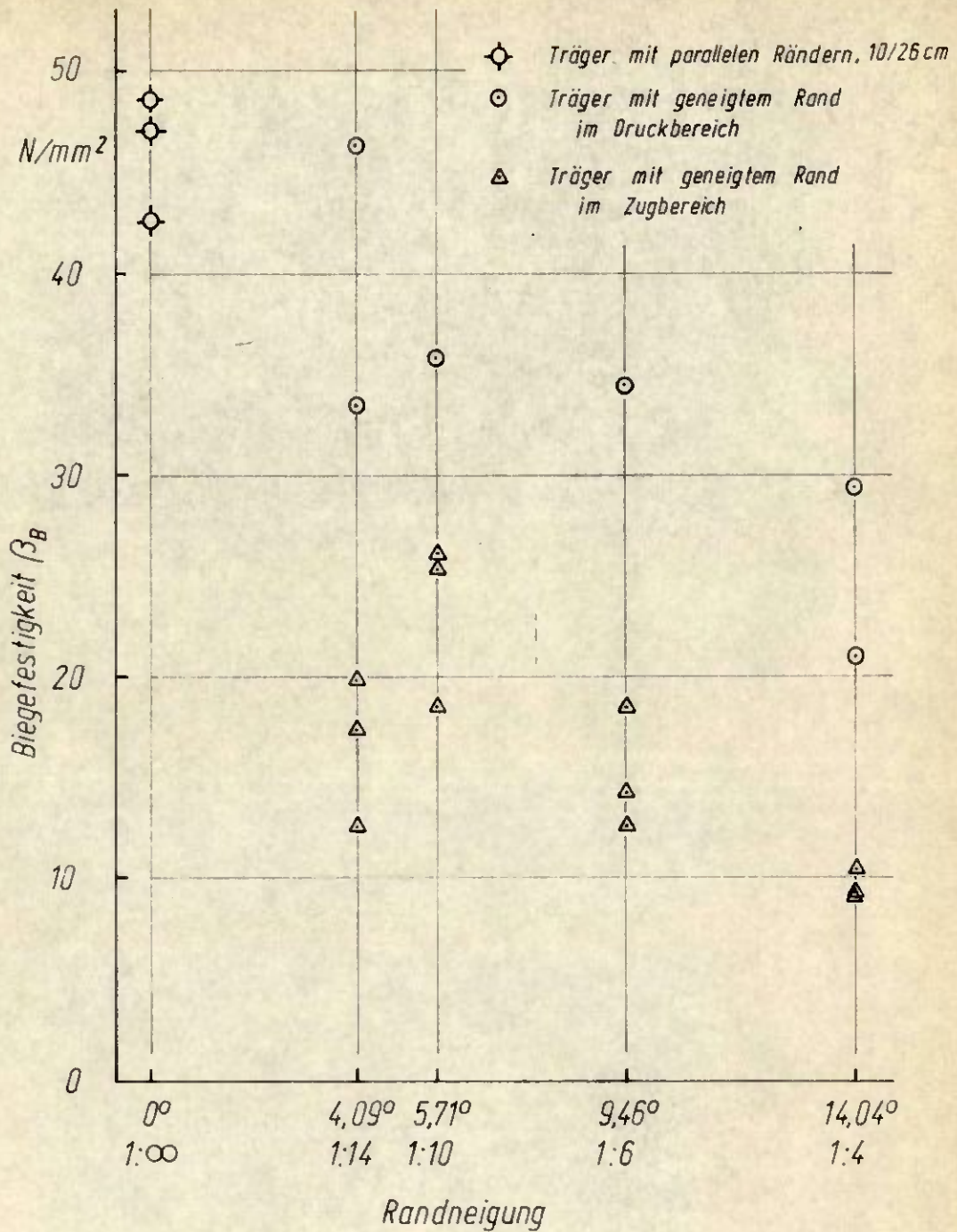


Bild 10: Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Randneigung bei den Brettschichtträgern (Versuchswerte)

Träger Nr.	Randneigung	geneigter Rand im Druck-/Zugbereich	β_B N/mm ²	Mittelwert β_B N/mm ²	Variationskoeffizient %
0/1 0/2 0/3	1:∞	---	48,48 32,49 47,03	42,67	20,73
1/1 1/2 1/3	1:14	Zug	12,54 (1) 17,37 19,83	18,60	9,35
1/4 1/5		Druck	46,30 33,46		
2/1 2/2 2/3	1:10	Zug	18,54 25,34 24,79	22,89	16,50
2/4 2/5 2/6		Druck	36,10 (2) 35,94 41,43 (2)		
3/1 3/2 3/3	1:6	Zug	18,43 12,56 14,23	15,07	20,07
3/4 3/5 3/6		Druck	>35,11 (2) 31,73 (2) 34,46		
4/1 4/2 4/3	1:4	Zug	10,36 9,30 9,07	9,58	7,18
4/4 4/5 4/6		Druck	21,01 29,33 >25,78 (2)		

(1) Bruch trat an einer fehlerverleimten Stelle auf

(2) Bruch trat am nicht geneigten Trägerrand an einer Keilzinken- oder Aststelle auf

Tabelle 5: Zusammenstellung der bei den durchgeführten Versuchen erhaltenen Längsfestigkeiten für Brettschichtholz in Abhängigkeiten von der Randneigung



geneigter Rand in der Zugzone



geneigter Rand in der Druckzone

Bild 11: Typische Bruchbilder am geneigten Trägerrand infolge Zusammenwirken von Längs-, Quer- und Schubspannungen

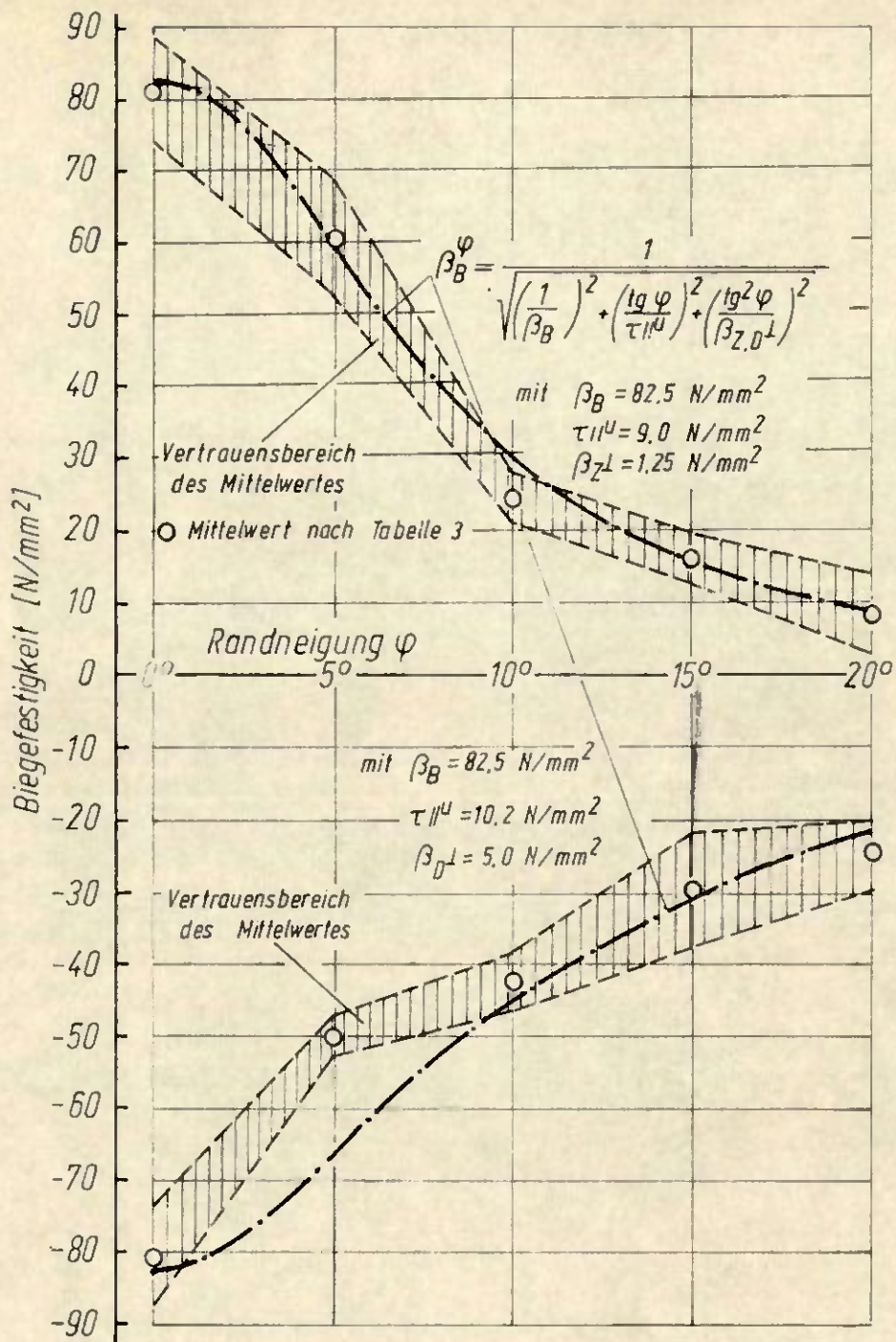


Bild 12: Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Randneigung bei den fehlerfreien Vollholzträgern

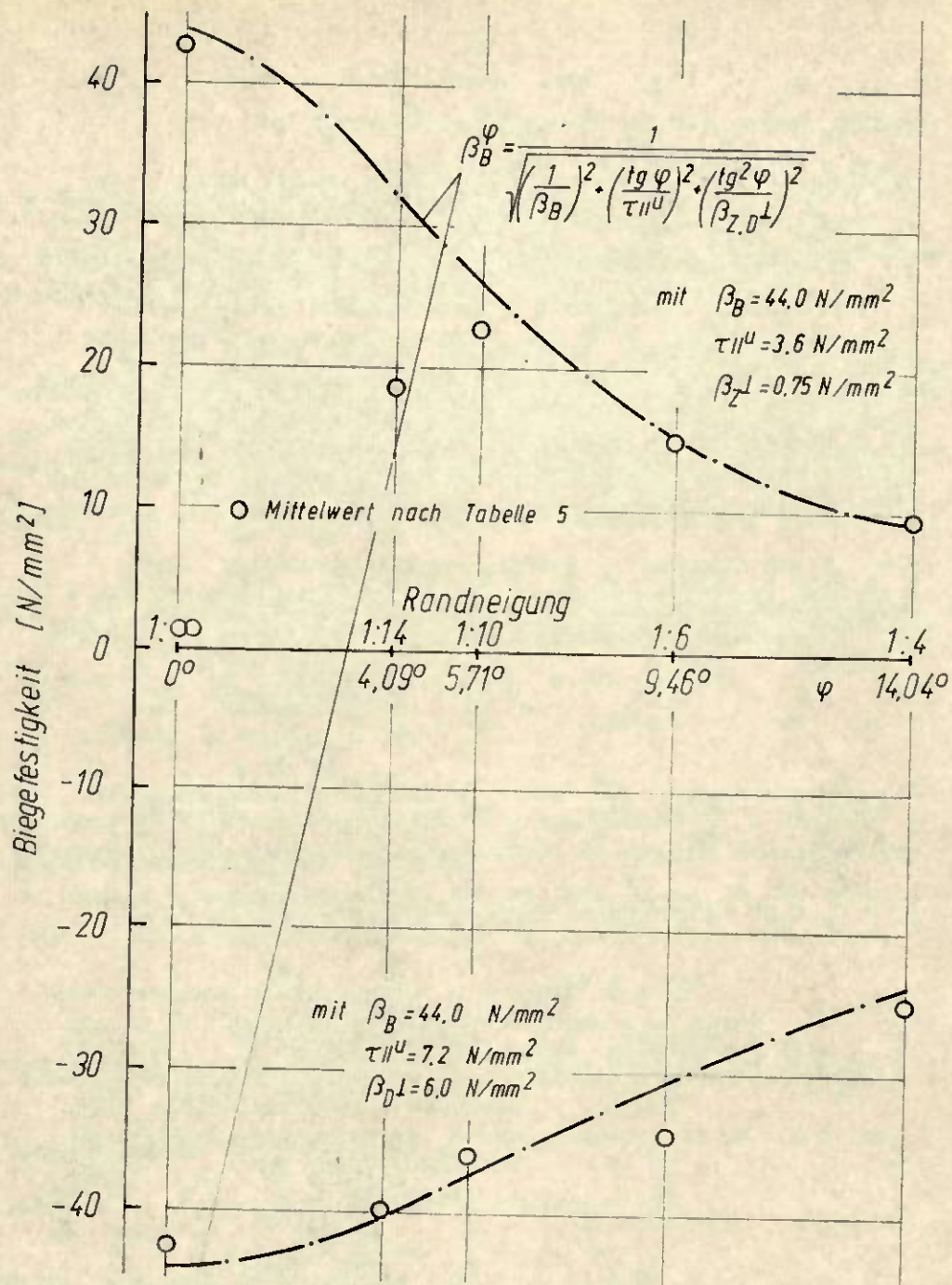


Bild 13: Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Randneigung bei Brettschichtholz

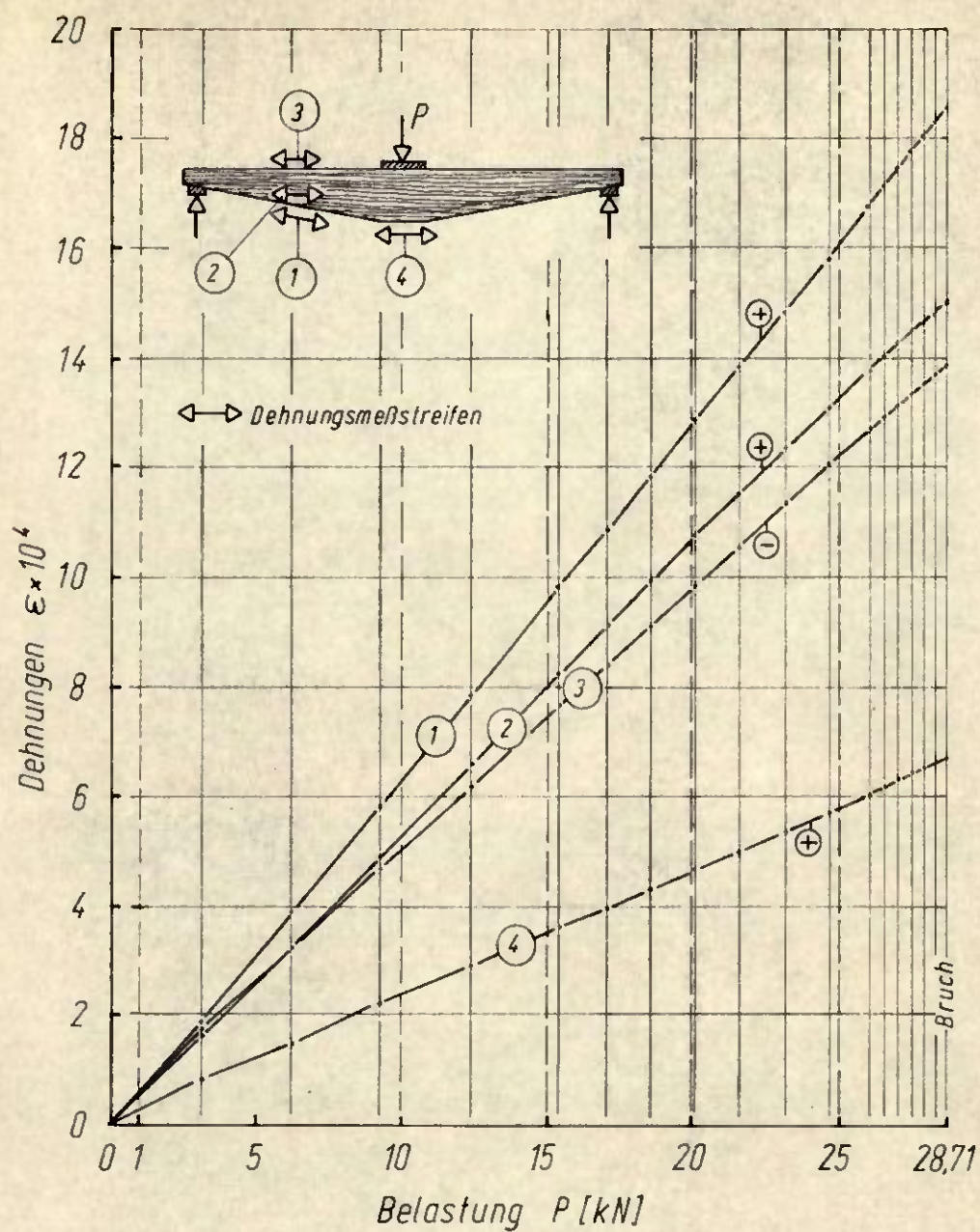


Bild 14: Abhängigkeit der am Träger 2/1 gemessenen Dehnungen von der Last P