

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MITTRAGENDE PLATTENBREITE
BEI TAFELELEMENTEN AUS VOLLHOLZRIPPEN UND
HOLZWERKSTOFFPLATTEN

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MITTRAGENDE PLATTENBREITE
BEI TAFELELEMENTEN AUS VOLLHOLZRIPPEN UND
HOLZWERKSTOFFPLATTEN

Untersuchungen
durchgeführt im Auftrage
des Ministeriums für Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten
des Landes Nordrhein-Westfalen

von
Karl Möhler und Dieter Steinmetz

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
-Abteilung Ingenieurholzbau - der Universität (TH) Karlsruhe

Inhalt

	Seite
1. Einleitung.	3
2. Ergebnis der theoretischen Ableitung der mittragenden Breite nach [1].	4
3. Biegeversuche mit geleimten und genagelten Tafelelementen bis 10 m Länge mit beidseitiger Furnierplattenbeplankung.	7
4. Vorversuche mit beidseitig und einseitig beplankten Elementen zur Klärung des Einflusses von Überstand und Querrippen und Schubverformung.	14
5. Hauptversuch mit Dehnungs- und Durchbiegungsmessungen an einem doppelseitig beplankten Sperrholzelement.	27
6. Rechnerische Untersuchung der mittragenden Breite bei beliebig verteilter Belastung und Vergleich mit den Ergebnissen der Hauptversuche nach Abschnitt 5.	59
7. Großversuche an doppelt beplankten Tafelelementen von 9 m Länge.	79
8. Versuche mit Spanplatten-beplankten Elementen.	82
9. Zusammenfassung.	86
10. Schrifttum	88

1. Einleitung

Die Forschungsaufgabe sollte klären, wie groß bei Tafелеlementen aus Vollholzrippen und Holzwerkstoffplatten die mittragende Breite der aus Holzwerkstoffplatten bestehenden ein- oder doppelseitig aufgebrachten Beplankung im Verhältnis zum geometrischen Rippenabstand ist, um die Steifigkeit und Belastbarkeit derartiger Verbundquerschnitte berechnen zu können. Die Frage war zum Zeitpunkt der Vorbereitung des Forschungsvorhabens von besonderer Bedeutung, da keine theoretisch und versuchstechnisch überprüften Berechnungsgrundlagen für derartige Bauteile bekannt waren. Die für Sperrholzkonstruktionen in der ausländischen Literatur enthaltenen Angaben waren widersprechend, da nach einer Quelle die mitwirkende Plattenbreite nur von der Plattendicke und dem Plattenaufbau der Furnierplatten, nach einer anderen Quelle aber in der Hauptsache von der Stützweite des gesamten Tafелеlementes abhängig sein sollte. Für Span- und Faserplatten waren keinerlei Arbeiten über diese Frage bekannt geworden.

Im 1. Abschnitt wurde nach dem Studium der Fachliteratur auf theoretischem Wege das Verhältnis der mitwirkenden Plattenbreite b' zur geometrischen Plattenbreite in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflußgrößen ermittelt. Das Ergebnis der theoretischen Untersuchung ist in [1] und [2] veröffentlicht und bildete die Grundlage für die Festlegungen in den „Holzhaus-Richtlinien“, in denen die mittragende Breite für die üblichen Tafelbauarten mit 80 % der geometrischen Breite angegeben wurde. Da die theoretischen Untersuchungen gezeigt hatten, daß das Verhältnis b'/b in erster Linie vom Verhältnis E-Modul zu Schubmodul und Rippenabstand zu Stützweite beeinflußt wird, wurden entsprechende Versuche durchgeführt, wobei in erster Linie Furnierplatten, aber auch Holzspanplatten und vergleichsweise Holzfaserverplatten als Beplankungsmaterial verwendet wurden. Dabei wurden neben Durchbiegungs- und Traglastversuchen eingehende Versuche an Elementen mit Furnierplatten durchgeführt, bei denen neben Durchbiegungsmessungen umfassende Dehnungsmessungen den Spannungsverlauf in der Beplankung erfassen sollten. Aufgrund dieser Versuche konnten die Einflüsse der Werkstoffkennwerte, der Stützweite und der Lastanordnung weitgehend geklärt und Hinweise für eine umfassendere Beurteilung der „mittragenden Breite“ bei Tafелеlementen aus Vollholz und Holzwerkstoffplatten gefunden werden.

2. Ergebnis der theoretischen Ableitung der mittragenden Breite nach [1]

Nach Bild 2.1 ist die mitwirkende Plattenbreite derjenige an die Rippe anschließende Plattenteil von der Breite b' , der mit der Rippe zusammen einen fiktiven „Balkenquerschnitt“ mit der Gurtbreite

$$b_m = b' + b_1 \quad (2.1)$$

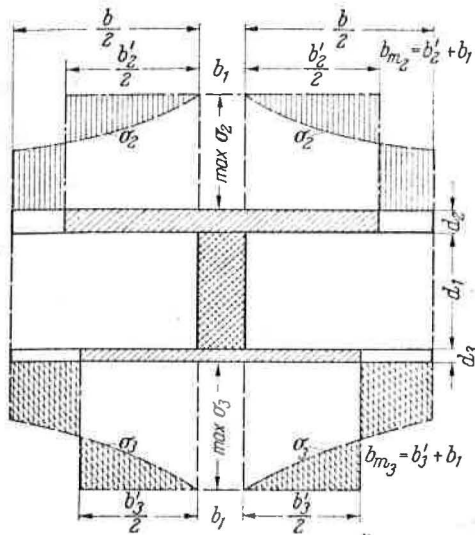


Bild 2.1: Darstellung der mitwirkenden Plattenbreite. σ_2 und σ_3 Spannungen in den Platten nach strenger Theorie.

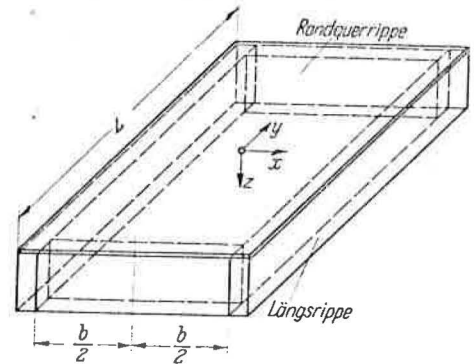


Bild 2.2: Anordnung der Randquerrippen im frei drehbar gelagerten Plattenbalken der Länge L . b lichter Längsrippenabstand.

bestimmt, in dem nach den Regeln der elementaren Festigkeitslehre die rechnerische Spannung in der Platte gleich der größten Spannung $\max \sigma$ ist, die sich nach der strengen Theorie ergibt. Die Beplankung der Tafel-elemente kann zur Lösung des vorliegenden Problems in guter Annäherung als Scheibe betrachtet werden, da die Dicke der Beplankung im Verhältnis zur Rippenhöhe sehr dünn ist und die in ihr auftretenden Spannungen auch bei biegebeanspruchten Elementen nahezu gleichmäßig über die Dicke verteilt sind. Mit den Abkürzungen

$$a_s = \frac{E_y}{2G} - \mu_{xy} \quad (2.2a) \quad \text{und} \quad c_s = \frac{E_y}{E_x} \quad (2.2b)$$

ergibt sich die Scheibengleichung in der Form für ein Element nach Bild 2.2

$$\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + 2a_s \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + c_s \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0 \quad (2.3)$$

Aus der Lösung der Spannungsfunktion ergibt sich schließlich das Verhältnis b'/b für ein bestimmtes m ($m = 1, 3, 5 \dots$) zu:

$$\frac{b'}{b} = 2 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \text{Tanh} \alpha_{1m} - \lambda_2 \cdot \text{Tanh} \alpha_{2m}}{\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \cdot \frac{L}{m \cdot b} \quad (2.4)$$

Darin bedeuten:

$$\lambda_1 = \sqrt{a_s + \sqrt{a_s^2 - c_s}} \quad (2.5a)$$

$$\lambda_2 = \sqrt{a_s - \sqrt{a_s^2 - c_s}} \quad (2.5b)$$

$$\alpha_{1m} = \lambda_1 \cdot \frac{m \cdot \pi}{L} \cdot \frac{b}{2} \quad (2.5c)$$

$$\alpha_{2m} = \lambda_2 \cdot \frac{m \cdot \pi}{L} \cdot \frac{b}{2} \quad (2.5d)$$

Die mittragende Breite (m.B.) wird hiernach durch $\mu, E_x/E_y, mb/L$ und E_y/G beeinflusst. Wie aus Bild 2.3 hervorgeht, spielen die Faktoren μ und E_x/E_y dabei keine wesentliche Rolle. Der Einfluß der Querrippen kann ebenfalls aus Bild 2.3 gedeutet werden, wenn man berücksichtigt, daß sie

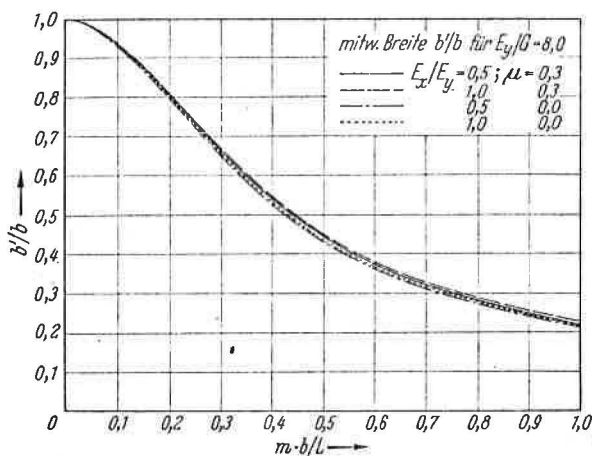


Bild 23: Einfluß von E_x/E_y und μ auf die mitwirkende Plattenbreite b'/b .

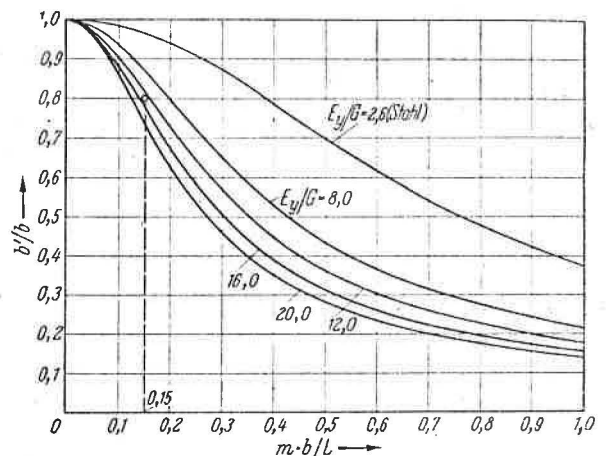


Bild 24: Mitwirkende Plattenbreite b'/b in Abhängigkeit von mb/L und E_y/G .

zur Erhöhung von E_x beitragen. Da aber E_x keinen wesentlichen Einfluß hat, folgt, daß auch die Querrippen die m.B. praktisch nur in geringem Maße beeinflussen.

Damit kommt man zu dem einfachen Ergebnis, daß die m.B. für jedes Glied der harmonischen Reihe ($m = 1, 3, 5, \dots$) praktisch nur von mb/L und E_y/G abhängig ist.

Unter Vernachlässigung von μ und E_x/E_y wurde die Gl. (24) für verschiedene Werte mb/L von 0,04 bis 1,00 und E_y/G von 8,0 bis 20,0 ausgewertet. Der Verlauf ist in Bild 2.4 für $E_y/G = 8, 12, 16$ und 20 dargestellt. Vergleichsweise ist auch die Linie für $E_y/G = 2,6$ (Stahl) eingetragen. Man erkennt, daß die m.B. bei Holz und Holzwerkstoffen, bei denen man etwa mit dem Verhältnis E_y/G von 12 bis 20 rechnen muß, mit zunehmendem Verhältnis mb/L stark abnimmt. Bei Stahl dagegen, bei dem der Schubmodul

mit $G = 810\ 000\ \text{kp/cm}^2$ beinahe 40 % des E-Moduls erreicht, liegen wesentlich günstigere Verhältnisse vor.

Bei gedrückten Wandelementen, bei denen die Ausbiegeline unter praktisch mittiger Belastung eine Sinuslinie ist, stimmt der sinusförmige Verlauf des Biegemomentes mit dem ersten Glied der harmonischen Reihe ($m = 1$) genau überein, wenn man für L die maßgebende Knicklänge einsetzt. Beim freiaufliegenden Träger mit gleichmäßig verteilter Belastung ist die Abweichung zwischen parabelförmigem und sinusförmigem Verlauf noch von geringem Einfluß. Auch bei Durchlaufträgern unter Streckenlast können die Ergebnisse der vorstehenden Rechnung für den Spannungsnachweis im Feld noch verwendet werden, wenn näherungsweise die Feldweite L durch den Abstand der Momentennullpunkte ersetzt wird. Wie auch bei den in Abschnitt 5 beschriebenen Versuchen gezeigt wird, können bei Einzellasten Abweichungen vom Lastfall Gleichstreckenlast auftreten, so daß es bei genaueren Berechnungen erforderlich werden könnte, den vorhandenen Momentenverlauf mittels der Fourier-Analyse in einer harmonischen Reihe darzustellen und für jeden Momentenanteil die mittragende Breite gesondert zu bestimmen.

Die nachstehend beschriebenen Versuche sollten zeigen, in welchem Maße vorwiegend bei der orthotropen Furnierplatte als Beplankung mit einer tatsächlichen Abminderung der mittragenden Breite im Verhältnis zum Rippenlichtabstand bei praxisnahen Ausführungen gerechnet werden muß.

3. Biegeversuche mit geleimten und genagelten Tafелеlementen bis 10 m Länge mit beidseitiger Furnierplattenbeplankung

Die 1. Versuchsgruppe bestand aus 12 Elementen mit dem Querschnittsaufbau nach Bild 3.1.

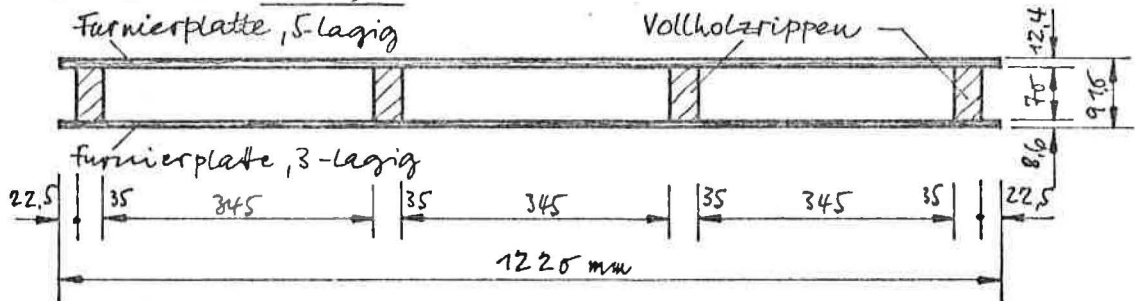


Bild 3.1: Querschnitt der Tafелеlemente der Versuchsgruppe 1

Bei 6 Versuchstafeln waren die Rippen mit der Beplankung verleimt, wobei 2 x 2 Elemente mittels normaler Preßleimung, 2 Tafeln mit Nagelpreßleimung hergestellt waren. Die Beplankung ging bei 2 Elementen (L 1a,b) ungestoßen über die ganze Elementlänge durch, bei 2 (L 1c,d) war ein innenseitig genagelter Laschenstoß, bei 2 (L 1e,f) ein geleimter Schäftstoß in Feldmitte vorhanden. 6 Elemente (N 1a bis f) waren mit genagelter Verbindung zwischen Rippen und Beplankung mit unterschiedlichen Furnierplattenstößen wie bei den geleimten Elementen ausgeführt.

Sämtliche Tafeln wurden einem Biegeversuch mit 2 Einzellasten nach Bild 3.2 unterworfen, wobei mit jeweils einer Ausnahme (Element L 1a und N 1a) die Lasten in den Viertelpunkten der Stützweite aufgebracht wurden.

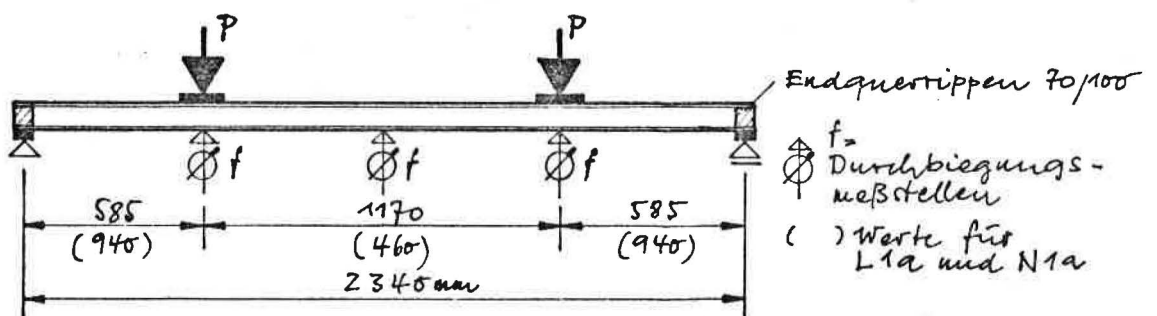


Bild 3.2: Belastungsanordnung bei der Versuchsgruppe 1

Die Auswertung der bei stufenweiser Laststeigerung ermittelten Last-Durchbiegungslinien und der beim Bruchversuch erhaltenen Bruchlasten ergibt die in Tabelle 3.1 zusammengestellten Werte. Während für die geleimten Elemente die Steigung der Last-Durchbiegungslinie praktisch bis zum Eintreten der ersten Risse geradlinig verlief, wobei keine bleibenden Durchbiegungen auftraten, waren bei den genagelten Elementen nach einer ersten Belastung bis zur angenommenen zulässigen Last bereits merkliche bleibende Durchbiegungen aufgetreten und die Last-Durchbiegungslinien wurden bei höheren Lasten zunehmend flacher. Aus dem jeweilig nahezu geradlinigen Teil wurden die wirksamen Trägheitsmomente I_w der Elemente bestimmt, wobei für die obere Beplankung mit $E_o \parallel = 94800 \text{ kp/cm}^2$, für die untere mit $E_u \parallel = 96000 \text{ kp/cm}^2$ gerechnet wurde. Diese Werte waren in Einzelversuchen an Beplankungsabschnitten ermittelt worden. Für die Vollholzrippen wurde $E = 100\ 000 \text{ kp/cm}^2$ nach DIN 1052 eingesetzt. Damit konnte bei den geleimten Elementen aus $I_w = \sum n_1 I_1 + \gamma \sum n_1 F_1 \cdot a_1^2$ ein Abminderungswert γ und daraus bei ungestoßener Beplankung unmittelbar die mittragende Breite b' und das Verhältnis b'/b berechnet werden. Bei den Elementen mit Stößen in der Beplankung wurde eine geringere Steifigkeit festgestellt, die auf die Nachgiebigkeit der Stöße zurückzuführen ist. Bei den genagelten Elementen erfaßt der aus I_w berechnete γ -Wert zusätzlich noch die Abminderung aus der Nachgiebigkeit der Nagelung zwischen Rippen und Beplankung. Die γ -Werte der genagelten Elemente liegen daher wesentlich unter den Werten der geleimten Elemente. Die Versuchsergebnisse lassen den Schluß zu, daß bei den genagelten Elementen die gleiche mittragende Breite wie bei den geleimten wirksam war.

Tabelle 3.1: Ergebnisse der 1. Versuchsgruppe mit
 $I_{\text{voll}} = 3899 \text{ cm}^4$

Tafel Nr.	I_w [cm ⁴]	γ	b'	b'/b	P_{Bruch} [kp]	max M [kpm]	max Q [kp]
L 1a	3745	0,960	28,6	0,830	5770 ¹⁾	1690	2885
L 1b	3990	(1,02)	31,2	0,904	4900 ¹⁾	2300	2450
L 2a	3110	0,783	22,0	0,637	4450 ²⁾	2090	2225
L 2b	3185	0,804	22,7	0,660	4000 ²⁾	1880	2000
L 3a	3325	0,845	24,2	0,702	3500 ³⁾	1645	1750
L 3b	3315	0,842	24,1	0,699	2650 ³⁾	1245	1325
N 1a	2642	0,695	(28,6)	(0,830)	3950 ¹⁾	1155	1975
N 1b	-	-	-	-	3250 ¹⁾	1528	1625
N 2a	1905	0,430	(22,0)	(0,637)	3670 ²⁾	1037	1835
N 2b	2165	0,506	(22,7)	(0,660)	1800 ²⁾	846	900
N 3a	2578	0,627	(24,2)	(0,702)	2050 ³⁾	964	1025
N 3b	2198	0,517	(24,1)	(0,699)	1770 ³⁾	832	885

- 1) Zerstörung am Auflager durch Lasteinleitung
- 2) Biegebruch der Vollholzrippen
- 3) Bruch des Schäftstoßes der Zugbeplankung

Die 2. Versuchsgruppe bestand aus 4 Tafeln von 2,44 m Länge mit Querschnitten nach Bild 3.3, wobei 2 Tafeln L 2a, b geleimt (Nagelpreßleimung) und 2 Tafeln (N 2a, b) genagelt waren.

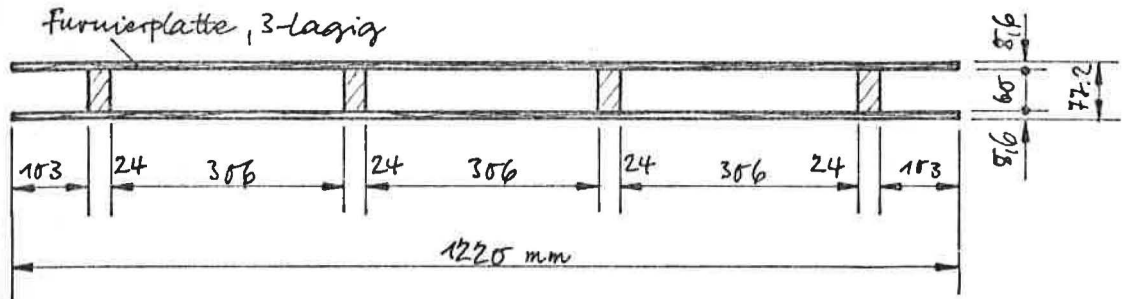


Bild 3.3: Querschnitt der Tafелеlemente der Versuchsgruppe 2

Mit den Tafeln wurden Durchbiegungsversuche mit Einzellast in $l/2$ zur Ermittlung von I_w und 2 Bruchversuche durchgeführt. Das Ergebnis ist in Tabelle 3.2 zusammengestellt, wobei für den E-Modul der Beplankung $E_o = E_u = 98560 \text{ kp/cm}^2$ und für den E-Modul der Rippen $E = 100\,000 \text{ kp/cm}^2$, die aus Versuchen an Teilabschnitten festgestellt worden waren, eingesetzt wurden. Die Auswertung erfolgte wie bei der 1. Versuchsgruppe.

Tabelle 3.2: Ergebnisse der 2. Versuchsgruppe mit $I_{\text{voll}} = 2619 \text{ cm}^4$

Tafel Nr.	I_w [cm ⁴]	γ	b'	b'/b	P_{Bruch} [kp]	max M [kpm]	max Q [kp]
L 2a	2425	0,92	30,0	0,98	5250 ¹⁾	1537	2625
L 2b	2290	0,87	27,7	0,90	-	-	-
N 2a	875	0,29	(25,7)	(0,84)	2250 ²⁾	658	1125
N 2b	920	0,31	(27,8)	(0,91)	-	-	-

1) Schubbruch in Leimfuge

2) Biegebruch der Vollholzrippen bei $\sigma_{\text{Rech}} = 231 \text{ kp/cm}^2$

Die 3. Versuchsgruppe umfaßte 3 Tafeln von 1,25 m Breite, bestehend aus 4 cm dicken Rippen und einer oberen Beplankung aus 7 lagiger Furnierplatte von 17 mm Dicke und einer unteren Beplankung aus einer 5 lagigen Furnierplatte von 12,5 mm Dicke. 2 Tafeln mit je 4 Rippen (Querschnitt nach Bild 3.4) waren 7,50 und 10,00 m lang, die 3. Tafel (Querschnitt nach Bild 3.5) besaß nur 3 Rippen und hatte ebenfalls eine Länge von 10,00 m.

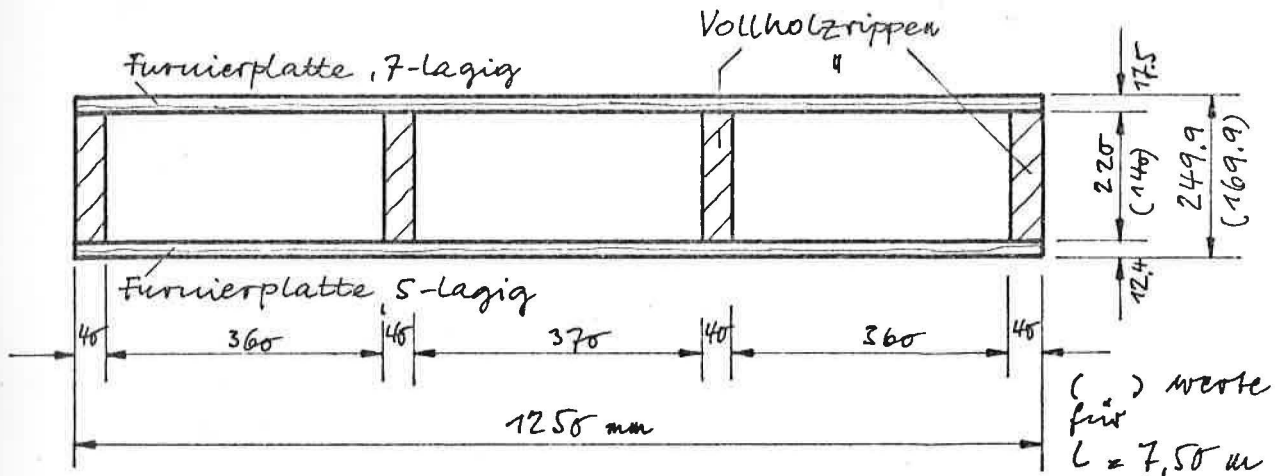


Bild 3.4: Querschnitt der Tafелеlemente mit 4 Rippen von 10,00 m und 7,50 m Länge

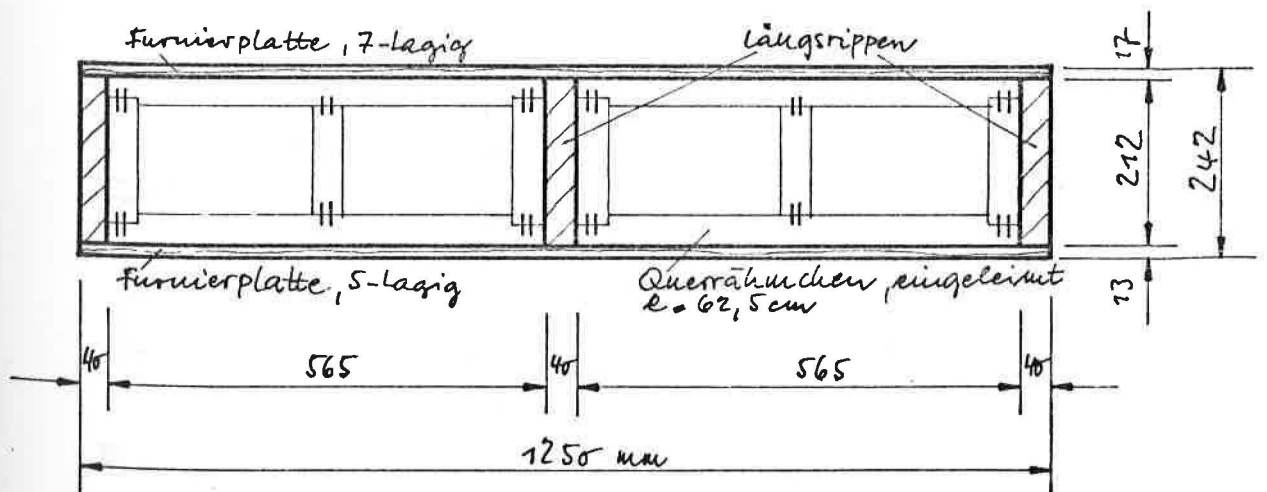


Bild 3.5: Querschnitt des Tafелеlementes mit 3 Rippen, Länge 10 m

Mit den Elementen nach Bild 3.4 wurden Biegeversuche mit 9,50 und 7,00 m Stützweite mit 4 Einzellasten durchgeführt, bei Element nach Bild 3.5 wurde bei 9,50 m Stützweite nur eine Einzellast in $l/2$ aufgebracht. Die Belastungsanordnung und die Lage der Durchbiegungsmeßstellen gehen aus Bild 3.6 bis Bild 3.8 hervor.

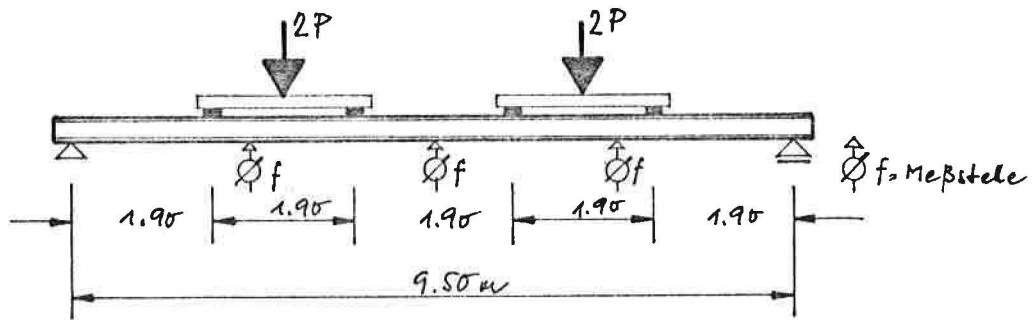


Bild 3.6: Belastungs- und Meßanordnung beim Biegeversuch mit dem 4 Rippen-Element von 9,50 m Stützweite

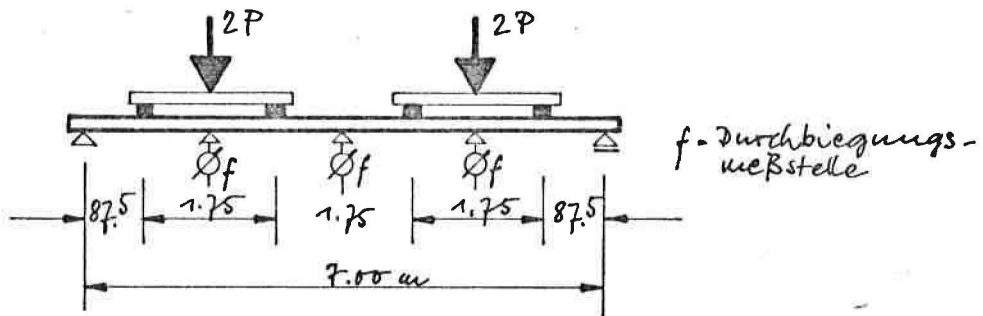


Bild 3.7: Belastungs- und Meßanordnung beim Biegeversuch mit dem 4 Rippen-Element von 7,00 m Stützweite

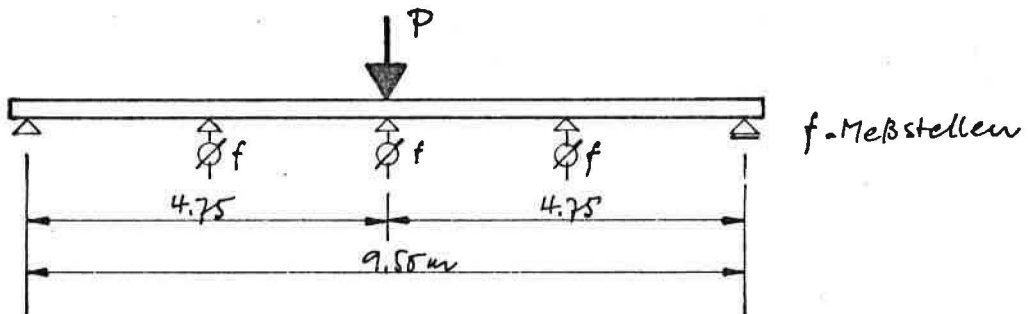


Bild 3.8: Belastungs- und Meßanordnung beim Biegeversuch mit dem 3 Rippen-Element von 9,50 m Stützweite

Für die Auswertung der Durchbiegungsmessungen, wobei sich in sämtlichen Versuchen praktisch bis zum Bruch geradlinig verlaufende Last-Durchbiegungslinien ergaben, wurde die an Probestäben aus den Elementen ermittelten E-Moduln eingesetzt. Die Werte betragen im einzelnen für Elemente nach Bild 3.4:

$$E_o \parallel = 86\,000 \text{ kp/cm}^2, \quad E_u \parallel = 94\,800 \text{ kp/cm}^2, \quad E_H = 102\,000 \text{ kp/cm}^2$$

und nach Bild 3.5:

$$E_{o\parallel} = 77\,500 \text{ kp/cm}^2, \quad E_{u\parallel} = 86\,700 \text{ kp/cm}^2, \quad E_H = 102\,000 \text{ kp/cm}^2.$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.3 zusammengestellt. Die Elemente L 3/1 und 2 versagten durch frühzeitigen Bruch in den Schäftstößen der Furnierplatten. Bei Element L 3/3, das unter einem maximalen Bruchmoment von 10 800 kpm und einer maximalen Querkraft von 4 540 kp schlagartig versagte, wurden Biegegrandspannungen von ca. 250 kp/cm² und Schubspannungen von 20 kp/cm² in den Rippen erreicht.

Tabelle 3.3: Ergebnisse der Versuchsgruppe 3

Tafel Nr.	I_{voll} [cm ⁴]	I_w [cm ⁴]	γ	b'	b'/b	P_{Bruch} [kp]	maxM [kpm]	max Q [kp]
L 3/1 l=9,50 m	61 479	63 300	≈ 1,0	b	≈ 1,0	7 000 ¹⁾	7 850	3 500
L 3/2 l=7,00 m	23 777	23 500	≈ 1,0	b	≈ 1,0	6 000 ¹⁾	5 250	3 000
L 3/3 l=9,50 m	47 330	51 500	≈ 1,0	b	≈ 1,0	9 080 ²⁾	10 800	4 540

1) Zuerst Bruch im Schäftstoß oben, dann Biegebruch der Vollholzrippen

2) Schlagartige Brüche in Rippen und Leimfugen

Bei der 3. Versuchsgruppe mit besonders langen Elementen wurde in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der theoretischen Untersuchung (Abschnitt 2) praktisch in allen Fällen die volle mittragende Breite ($b=b'$) erreicht.

4. Vorversuche mit beidseitig und einseitig beplankten Elementen zur Klärung des Einflusses von Überstand und Querrippen

In einem umfassenden Hauptversuch sollten Durchbiegungs- und Dehnungsmessungen bei verschiedener Stützweite durchgeführt werden. Dabei kam es darauf an, die Dehnungsmeßstellen wegen der örtlichen Streuungen der E-Moduln innerhalb einer Furnierplatte möglichst so anzuordnen, daß stets die gleichen Meßstellen verwendet werden können. Dies erschien möglich, wenn die Elementstützweite symmetrisch verringert würde. Dabei wären aber Überstände wechselnder Größe über die Auflager hinaus aufgetreten. Außerdem mußten über den Auflagern Querrippen zusätzlich eingebaut werden. Die Versuche sollten klären, in wieweit hierdurch das Ergebnis der mittragenden Breite beeinflusst würde, um Fehlmessungen beim Hauptversuch zu vermeiden. Bei den Vorversuchen sollte auch untersucht werden, wie sich die Berücksichtigung der Schubverformung bei den Durchbiegungsmessungen auswirkt.

In einem Parallelversuch wurden entsprechende Versuche mit einem nur oberseitig beplankten Element durchgeführt, wobei auch der Einfluß der Endrippen mit untersucht wurde.

4.1 Beidseitig beplanktes Versuchselement

4.1.1 Versuchselement und Meßanordnung

Das Element 4.1 mit einer Gesamtlänge von 154 cm und einer Gesamtbreite von 41 cm bestand aus zwei Vollholzrippen 4/9 cm und einer oberen und unteren Beplankung aus 9-lagigen Buchenfurnierplatten von 13 mm Dicke (Bild 4.1). Die Durchbiegung in Feldmitte wurde mittels Meßbügel, der über den Auflagern in Elementmitte aufgesetzt war, mit einer 1/100 mm Meßuhr bestimmt. Die Belastung erfolgte durch 2 Einzellasten P, die in den beiden Viertelpunkten jeweils über den Randrippen aufgebracht wurden.

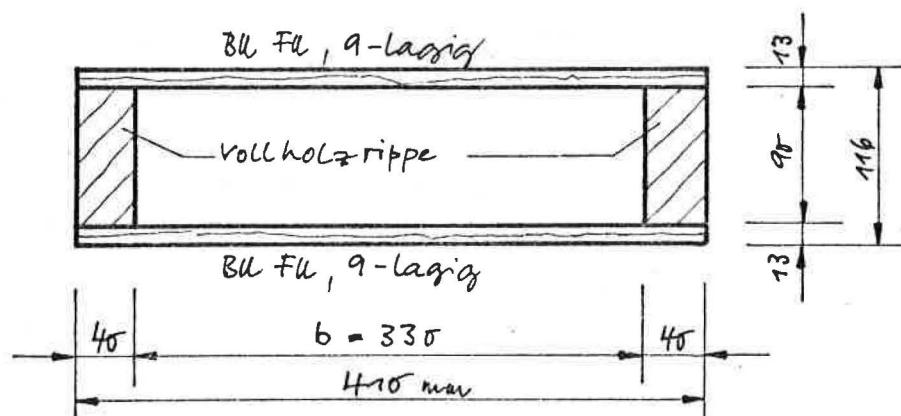


Bild 4.1: Querschnitt des Elementes 4.1

4.1.2 Durchführung der Versuche

4.1.2.1 Versuche zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte

Zur Bestimmung der Werkstoffkennwerte wurden die Rippen vor dem Zusammenbau einem Biegeversuch unterworfen, während die Druck-E-Moduln der Beplankung parallel und senkrecht zur Faserrichtung an Proben 5/10 cm bestimmt wurden. Der Schubmodul der Furnierplatten war aus früheren Versuchen bekannt. Tabelle 4.1 enthält die Werkstoffkennwerte, die der rechnerischen Auswertung der Biegeversuche zugrunde gelegt wurden.

Tabelle 4.1: Werkstoffkennwerte der Rippen und Furnierplatten für das Element 4.1

	Anzahl der Proben	E [kp/cm ²]	G [kp/cm ²]
Rippen	2	100 000	(5000) ¹⁾
Beplankung	5	92 860	8350
Beplankung ⊥	8	94 122	

1) nach DIN 1052 angenommen

4.1.2.2 Biegeversuche

In der ersten Versuchsreihe wurde das 154 cm lange Element mit den Stützweiten $l = 150, 125, 109$ und 97 cm belastet. Nach einer Kürzung um 25 cm wurden die Versuche mit den entsprechenden Stützweiten $l = 125, 109$ und 97 cm wiederholt. Nach einer weiteren Kürzung um 16 cm konnten nur noch Versuche mit den Stützweiten $l = 109$ und 97 cm vorgenommen werden. Das Restelement, das nach einer weiteren Kürzung um 12 cm entstand, wurde schließlich noch einem Versuch mit der Stützweite $l = 97$ cm unterworfen.

Bei allen Versuchen wurde die maximale Last von $P = 600$ kp jeweils in 5 gleichen Stufen aufgebracht und die Meßuhr bei jeder Laststufe abgelesen.

Die Tabelle 4.2 enthält die nach Gl. (2.4) ermittelten Trägheitsmomente I_{rech} und die statischen Momente S_L und S_R sowie die hiermit errechneten Spannungen in der Beplankung und in den Rippen unter der maximalen Last.

Tabelle 4.2: Rechnerische Werte für die Spannungen bei der Versuchshöchstlast von $2 P = 1200 \text{ kp}$

Stützweite [cm]	I_{rech} [cm ⁴]	S_L [cm ³]	S_R [cm ³]	σ_{Bepl} [kp/cm ²]	σ_R [kp/cm ²]	τ_L [kp/cm ²]	τ_R [kp/cm ²]
150	2508	195,3	276,3	42,9	40,4	5,8	8,3
125	2352	180,3	261,3	38,1	35,9	5,8	8,3
109	2229	163,4	249,4	35,1	33,0	5,7	8,4
97	2213	158,1	239,1	32,8	30,9	5,6	8,5

Es bedeuten:

σ_{Bepl} = Schwerpunktspannung in der Beplankung

σ_R = Randspannung in der Rippe

τ_L = Schubspannung in der Leimfuge

τ_R = Schubspannung in der Rippe

4.1.3 Auswertung der Versuche

Aus den gemessenen Mittendurchbiegungen wurden die Trägheitsmomente I_{Versuch} und die Verhältnisse b'/b bestimmt. Der Einfluß der Schubdurchbiegung wurde hierbei nach [2] zu:

$$\frac{f_{\text{ges}}}{f_{\text{Biegung}}} = 1 + \frac{k_L \cdot k_M \cdot k_F}{k_S} \quad (4.1)$$

rechnerisch ermittelt.

Es bedeuten:

k_L = Lastfaktor = 8,73

k_M = Werkstoffkennwert = $E/I/G = \frac{100\,000}{5\,000} = 20$

k_S = Balkenschlankheit = $(l/h)^2$

Der Wert k_F wurde für die unterschiedlichen E- und G-Moduln nach Gl. (4.2) abgeleitet.

$$k_F = \frac{1}{I_i H^2} \cdot \left[2m_1 b_1 \left(\frac{1}{2n_1} \right)^2 \left\{ \frac{8}{15} H^5 - \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right) - \frac{2}{3} \left(\frac{H}{2} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \frac{1}{5} \left(\frac{h}{2} \right)^5 \right\} \right. \\ \left. + 2m_2 \cdot b_2 \left(\frac{1}{2n_1} \right)^2 \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^2 h_1^2 (h+h_1)^2 \left(\frac{h}{2} \right) \right. \\ \left. + \frac{8}{3} \left(\frac{1}{2n_1} \right) \left(\frac{1}{2n_2} \right) \cdot b_2 \left(\frac{b_1}{b_2} \right) m_2 \cdot h_1 (h+h_1) \left(\frac{h}{2} \right)^3 \right. \\ \left. + \frac{16}{15} \left(\frac{1}{2n_2} \right)^2 b_2 m_2 \cdot \left(\frac{h}{2} \right)^5 \right] \quad (4.2)$$

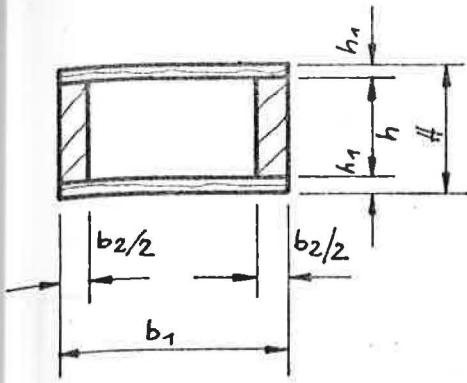
Es bedeuten:

$$m_1 = \frac{G_c}{G_1} = \frac{5\,000}{8\,350} = 0,6$$

$$m_2 = \frac{G_c}{G_2} = \frac{5\,000}{5\,000} = 1,0$$

$$\frac{1}{n_1} = \frac{E_1}{E_c} = \frac{92\,860}{100\,000} = 0,9286$$

$$\frac{1}{n_2} = \frac{E_2}{E_c} = \frac{100\,000}{100\,000} = 1,0$$



Da in den Werten b_1 und I_j die mittragende Breite der Beplankung eingeht, wurden zur Bestimmung des Schubeinflusses die rechnerischen Werte nach Gl. (2.4) für b'/b eingesetzt.

In Bild 4.2 ist die Abhängigkeit des Querschnittwertes k_F vom Verhältnis b'/b dargestellt.

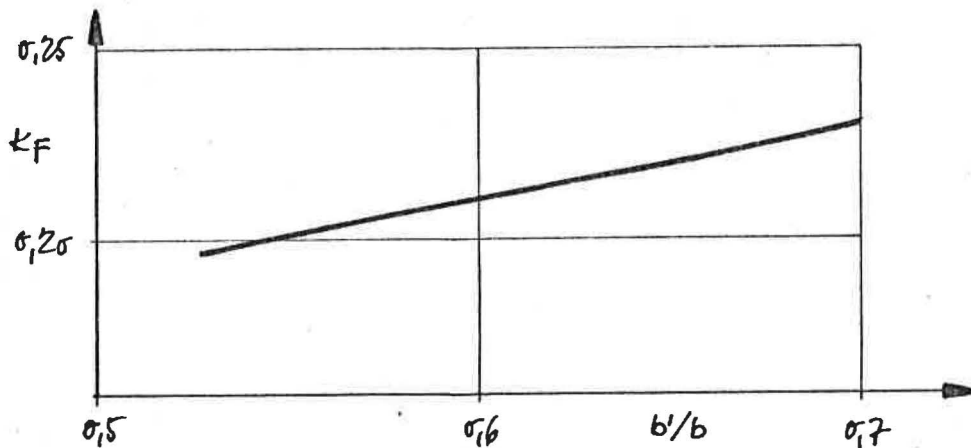


Bild 4.2: Abhängigkeit des Querschnittsfaktors k_F vom Verhältnis b'/b

Tabelle 4.3 enthält die berechneten Trägheitsmomente I_j und I_{Versuch} sowie die daraus errechneten Verhältnisse b'/b für die durchgeführten Versuche mit und ohne Schubverformung.

Tabelle 4.3: Trägheitsmomente und Verhältnisse b'/b aus den Durchbiegungsmessungen mit und ohne Schubeinfluß

L/ <u>l</u> /ü	I _{rech} [cm ⁴]	mit Schubeinfluß		ohne Schubeinfluß	
		I _{Versuch} [cm ⁴]	b'/b	I _{Versuch} [cm ⁴]	b'/b
154/ <u>150</u> /o	2508	2275	0,60	2823	0,86
154/ <u>125</u> /12,5	2352	2020	0,48	2682	0,79
154/ <u>109</u> /20,5	2229	1883	0,42	2653	0,78
154/ <u>97</u> /26,5	2123	1549	0,26	2311	0,62
129/ <u>125</u> /o	2352	1932	0,44	2566	0,74
129/ <u>109</u> /8	2229	1825	0,39	2572	0,74
129/ <u>97</u> /14	2123	1609	0,29	2400	0,66
113/ <u>109</u> /o	2229	1720	0,34	2423	0,67
113/ <u>97</u> /6	2123	1530	0,25	2283	0,60
101/ <u>97</u> /o	2123	1410	0,19	2104	0,52

Die Auflagerbreite von jeweils 4 cm wurde nicht zum Überstand ü gerechnet.

Bild 4.3 zeigt den Verlauf des Verhältnisses b'/b in Abhängigkeit von b/L für die Versuche ohne Endüberstand. Zum Vergleich sind die theoretischen Werte nach Gl. (2.4) und die Versuchswerte ohne Berücksichtigung der Schubverformung eingetragen.

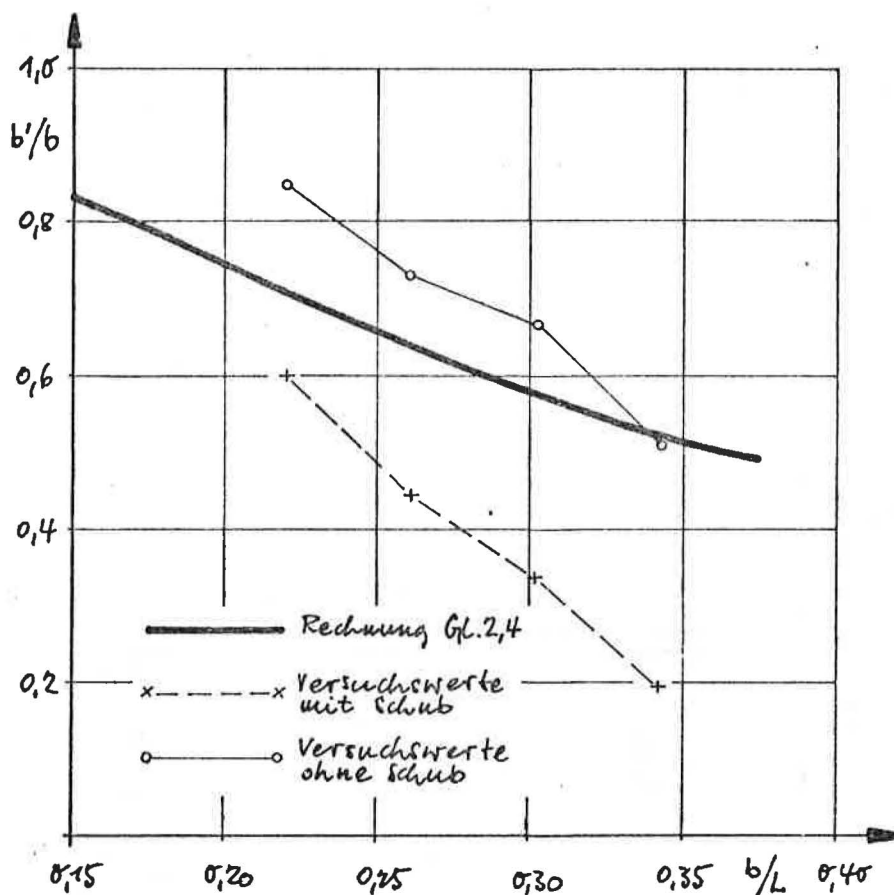


Bild 4.3: Verhältnis b'/b in Abhängigkeit von b/L (ohne Endüberstand)

Wie aus Tabelle 4.3 hervorgeht, ist die mittragende Breite bei Elementüberständen größer. Der Einfluß der Schubverformung auf die Durchbiegung und damit auch auf die aus den Durchbiegungswerten ermittelten mittragenden Breite ist bei Verhältnissen b/L größer als 0,2 schon wesentlich und steigt mit abnehmender Stützweite. In der Praxis, wo im allgemeinen die Verhältnisse $b/L \leq 0,15$ sind, kann bei Tafелеlementen der Einfluß der Schubverformung bei Berechnung der Durchbiegung vernachlässigt werden, wie es bereits in den „Holzhausrichtlinien“ vorgesehen ist.

4.2 Einseitig beplanktes Versuchselement

Mit den nachfolgend beschriebenen Versuchen sollte die mittragende Breite von einseitig beplankten Tafелеlementen untersucht werden. Gleichzeitig war vorgesehen, den Einfluß der Endquerrippen auf die Verformung derartiger Elemente zu überprüfen. Dabei sollten die aus dem Abschnitt 4.1 gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Überstände und der Schubverformung durch weitere Messungen kontrolliert werden.

4.2.1 Versuchselement und Meßanordnung

Das Element mit einer Gesamtlänge von 225 cm und einer Gesamtbreite von 41 cm bestand aus zwei Vollholzrippen 4/9 cm und einer oberen Beplankung aus einer 9-lagigen Buchenfurnierplatte von 13 mm Dicke. Aus Bild 4.4 gehen die genauen, der Auswertung zugrundegelegten Abmessungen des Elementes hervor. Die Durchbiegung in Feldmitte wurde jeweils an den Elementrändern mittels zweier über den Auflagern befestigter Meßschieben mit je einer 1/100 mm Meßuhr bestimmt.

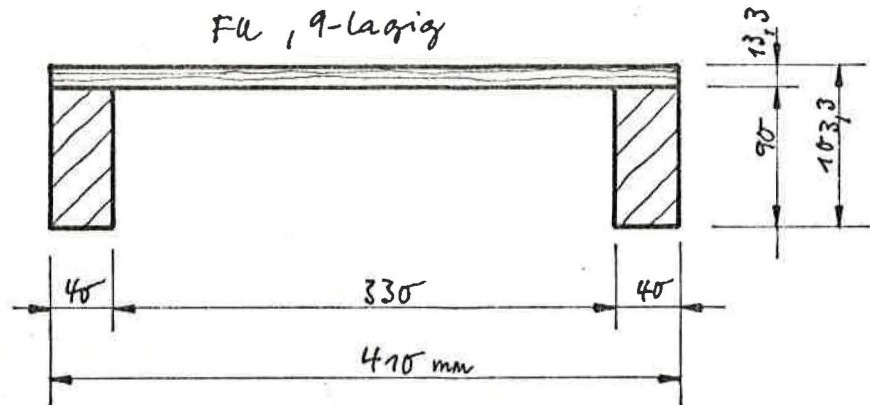


Bild 4.4: Querschnitt des Elementes 4.2

Es wurden zwei Einzellasten in den beiden Viertelpunkten aufgebracht. Lediglich beim Versuch mit der Elementlänge $L = 225$ cm wurden bei den Stützweiten $l = 220, 175, 150$ und 125 cm andere Lastangriffspunkte gewählt. Die Lage der Lastangriffspunkte kann aus Tabelle 4.5 entnommen werden. Alle Lasten wurden über Querverteiler in die Randrippen eingeleitet.

4.2.2 Durchführung der Versuche

4.2.2.1 Versuche zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte

Die Werkstoffkennwerte wurden wie bei Element 4.1 bestimmt.

Tabelle 4.4 enthält die Ergebnisse der Vorversuche, die der rechnerischen Auswertung zugrunde gelegt wurden.

Tabelle 4.4: Werkstoffkennwerte der Rippen und der Furnierplatte für das Element 4.2

	Anzahl der Proben	E kp/cm ²	G kp/cm ²
Rippe	2	112000	5000 1)
Bepankung	10	90369	8350 2)

1) nach DIN 1052 angenommen

2) aus früheren Versuchen bekannt

4.2.2.2 Biegeversuche

In der ersten Versuchsreihe wurde das 225 cm lange Element ohne Querrippen mit den Stützweiten $l = 220, 175, 150, 125, 110$ und 100 cm belastet. Anschließend wurden an beiden Enden Querrippen angebracht und die Versuchsreihe wiederholt. Nach einer Kürzung um 45 cm wurden die Versuche mit und ohne Querrippe mit den entsprechenden Stützweiten ab $l = 175$ cm vorgenommen. Mit der Elementlänge von 155 cm wurden nur Versuche mit Querrippen und den Stützweiten $l = 150, 125, 110$ und 100 cm durchgeführt, während die Elementlängen $l = 130, 115$ und 105 cm wieder mit und ohne Querrippe untersucht wurden.

Bei den Versuchen wurde die maximale Last von $2P = 600$ kp jeweils in 5 gleichen Stufen aufgebracht und die Meßuhren bei jeder Laststufe abgelesen.

Die Tabelle 4.5 enthält die nach Gl. (2.4) ermittelten Trägheitsmomente I_{rech} und die statischen Momente S_L und S_R sowie die hiermit errechneten Spannungen in der Bepankung und in den Rippen unter der maximalen Last.

Tabelle 4.5: Rechnerische Werte für die Spannungen bei der Versuchshöchstlast von $2P = 600 \text{ kp}$.

Stützweite [cm]	a [cm]	I_{rech} [cm ⁴]	S_L [cm ³]	S_R [cm ³]	σ_{Bapl} [kp/cm ²]	σ_R [kp/cm ²]	τ_L [kp/cm ²]	τ_R [kp/cm ²]
220	55 43,75	1297	173,0	205,9	38,8 30,8	89,6 71,3	5,0	6,0
175	43,75 37,5	1265	165,1	199,8	32,3 27,7	72,2 61,9	4,9	5,9
150	37,5 31,25	1239	158,6	194,9	28,8 24,0	62,6 52,2	4,8	5,9
125	31,25 27,5	1202	149,6	188,1	25,4 22,3	53 46,6	4,7	5,9
110	27,5	1173	142,7	183,0	23,3	47,3	4,6	5,9
100	25	1137	134,0	176,7	22,4	43,4	4,4	5,8

Es bedeuten:

σ_{Bapl} = Schwerpunktspannung in der Beplankung

σ_R = untere Randspannung in der Rippe

τ_L = Schubspannung in der Leimfuge

τ_R = Schubspannung in der Rippe

a = Abstand des Lastangriffspunktes vom Auflager

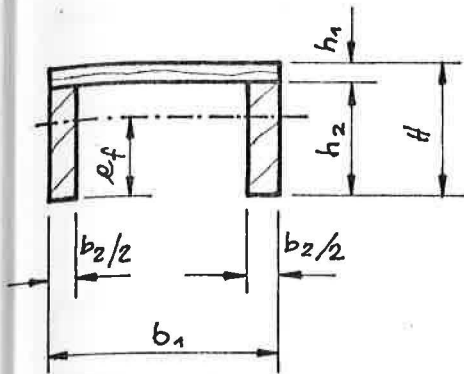
4.2.3 Auswertung der Versuche

Aus den gemessenen Mittendurchbiegungen wurden die Trägheitsmomente und die Verhältnisse b'/b bestimmt. Der Einfluß der Schubdurchbiegung wurde dabei analog zu Abschnitt 4.1.4 rechnerisch ermittelt, wobei der Querschnittsfaktor k_F entsprechend dem unsymmetrischen Querschnitt zu:

$$\begin{aligned}
 k_F = & \frac{1}{I_i H^2} \left\{ \frac{2}{15} \cdot b_2 \left(\frac{1}{n_2} \right)^2 m_2 [e_f^5 + A^5] + \frac{2}{15} b_1 \left(\frac{1}{n_1} \right)^2 m_1 \cdot B^5 \right. \\
 & + m_2 \cdot b_2 \cdot A \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{n_1} \right) \left(\frac{b_1}{b_2} \right) C \right]^2 + \frac{1}{3} m_2 \left(\frac{1}{n_1} \right) \left(\frac{1}{n_2} \right) b_1 \cdot A^3 C \\
 & \left. - \frac{1}{60} m_1 \left(\frac{1}{n_1} \right)^2 b_1 A [8B^4 + 3C^2 + 4B^2 C] \right\} \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

bestimmt wurde.

Hierbei bedeuten:



$$m_1 = \frac{G_c}{G_1} = \frac{5\,000}{8\,350} = 0,6$$

$$m_2 = \frac{G_c}{G_2} = \frac{5\,000}{5\,000} = 1,0$$

$$\frac{1}{n_1} = \frac{E_1}{E_c} = \frac{90\,364}{100\,000} = 0,90364$$

$$\frac{1}{n_2} = \frac{E_2}{E_c} = \frac{112\,000}{100\,000} = 1,12$$

e_f = Schwerpunktabstand vom unteren Elementrand

$$A = (h_2 - e_f); \quad B = (H - e_f)$$

$$C = B^2 - A^2$$

Da in die Werte b_1 , e_f und I_i die mittragende Breite eingeht, wurden zur Bestimmung des Schübeinflusses die rechnerischen Werte b' nach Gl. (2.4) eingesetzt.

In Bild 4.5 ist die Abhängigkeit des Querschnittsfaktors k_F vom Verhältnis b'/b dargestellt.

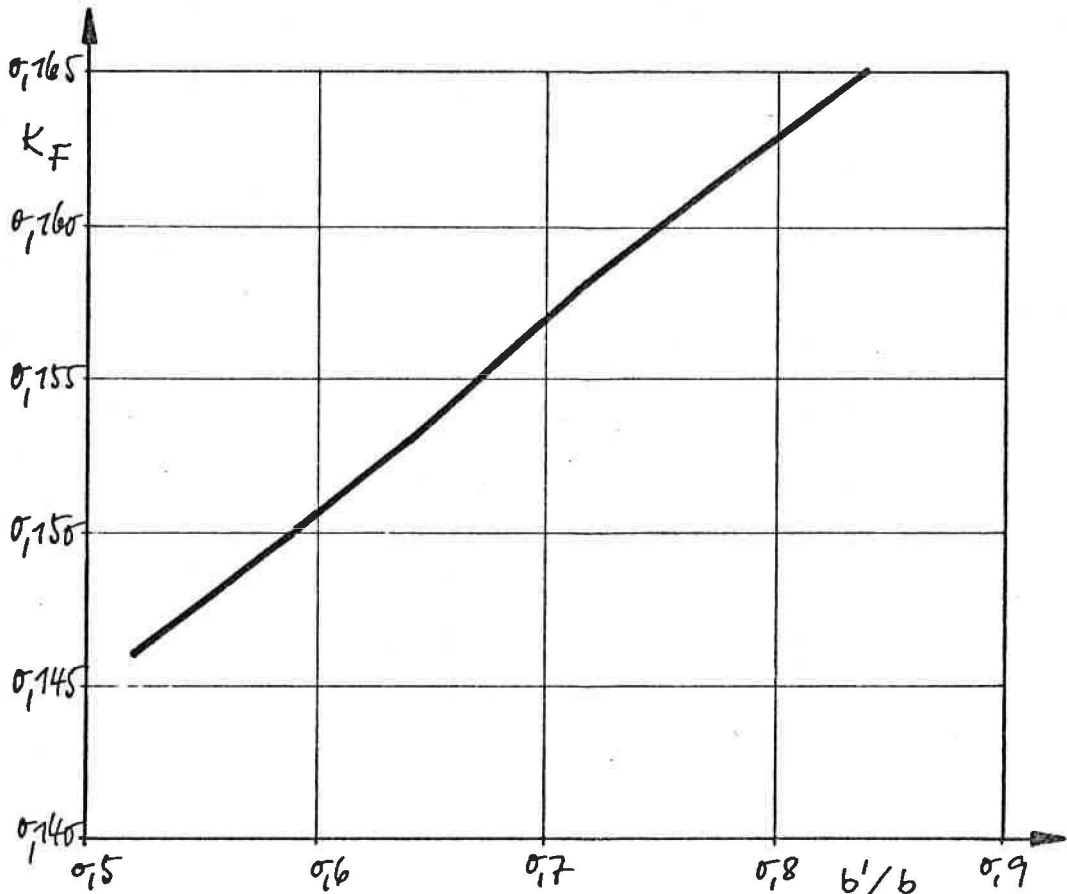


Bild 4.5: Abhängigkeit des Querschnittsfaktors k_F vom Verhältnis b'/b

Die Tabelle 4.6 enthält die nach Gl. (2.4) berechneten Trägheitsmomente I_{rech} und die aus den Versuchen bestimmten Werte I_{vers} sowie die Verhältnisse b'/b ohne Schubeinfluß für die durchgeführten Versuche mit und ohne Endquerrippe, sowie den Anteil der Schubverformung an der Gesamtdurchbiegung in %.

Tabelle 4.6: Trägheitsmomente und Verhältnisse b'/b aus den Durchbiegungsmessungen und Anteil der Schubverformung in %

L/ <u>1</u> / <u>ü</u>	fQ [%]	I _{rech} [cm ⁴]	ohne Endquerrippe		mit Endquerrippe	
			I _{vers} [cm ⁴]	b'/b	I _{vers} [cm ⁴]	b'/b
225/ <u>220</u> /0	6,1	1297	1245	0,52	1156	0,50
225/ <u>175</u> /22,5	9,8	1265	1376	0,95	1195	0,57
225/ <u>150</u> /35	13,0	1239	1164	0,51	1138	0,47
225/ <u>125</u> /47,5	18,0	1202	1165	0,52	1146	0,48
225/ <u>110</u> /55	23,0	1173	1325	0,84	1245	0,67
225/ <u>100</u> /60	27,0	1137	1249	0,68	1315	0,81
180/ <u>175</u> /0	9,8	1265	1292	0,77	1313	0,81
180/ <u>150</u> /12,5	13,0	1239	1305	0,79	1305	0,79
180/ <u>125</u> /25	18,0	1202	1323	0,83	1312	0,81
180/ <u>110</u> /32,5	23,0	1173	1287	0,75	1295	0,77
180/ <u>100</u> /37,5	27,0	1137	1258	0,69	1258	0,69
155/ <u>150</u> /0	13,0	1239	—	—	1319	0,82
155/ <u>125</u> /12,5	18,0	1202	—	—	1339	0,87
155/ <u>110</u> /20	23,0	1173	—	—	1309	0,80
155/ <u>100</u> /25	27,0	1137	—	—	1356	0,91
130/ <u>125</u> /0	18,0	1202	1283	0,75	1313	0,81
130/ <u>110</u> /7,5	23,0	1173	1217	0,61	1276	0,73
130/ <u>100</u> /12,5	27,0	1137	1234	0,65	1249	0,68
115/ <u>110</u> /0	23,0	1173	1202	0,58	1185	0,55
115/ <u>100</u> /5	27,0	1137	1281	0,74	1244	0,67
105/ <u>100</u> /0	27,0	1137	1129	0,45	1261	0,70

Die Auflagerlänge von 5 cm wurde nicht zum Überstand gerechnet.

Die Bilder 4.6a und b zeigen den Verlauf der Verhältnisse b'/b in Abhängigkeit von b/L für die Versuche ohne und mit Endquerrippe jeweils für die Versuche ohne Endüberstand. Zum Vergleich sind die theoretischen Werte nach Gl. (2.4) und die Versuchswerte ohne Berücksichtigung der Schubverformung eingetragen.

Die Versuche mit diesem Element haben gezeigt, daß ein Einfluß der Endquerrippe auf die mittragende Breite nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte, während die Ergebnisse der Untersuchungen über den Anteil der Schubverformungen die am Element 4.1 gewonnenen Erkenntnisse bestätigten. Auch der Überstand scheint die Streuung der Ergebnisse zu vergrößern. Schließlich war bei beiden Elementen festzustellen, daß die Berechnung der mittragenden Breite allein aus den gemessenen Durchbiegungen keine zuverlässigen Werte ergibt, so daß für den Hauptversuch die Feststellung der mittragenden Breite durch Dehnungsmessungen unmittelbar an den Oberflächen der Beplankung vorgenommen werden sollte.

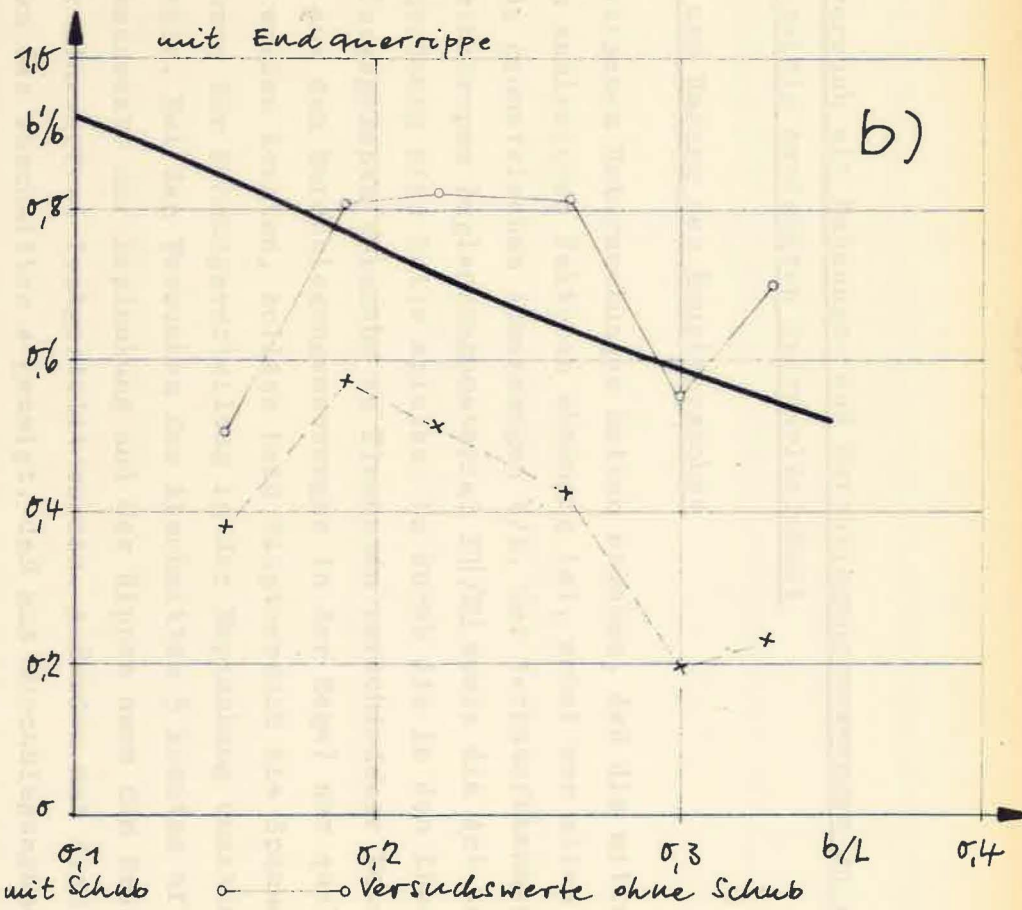
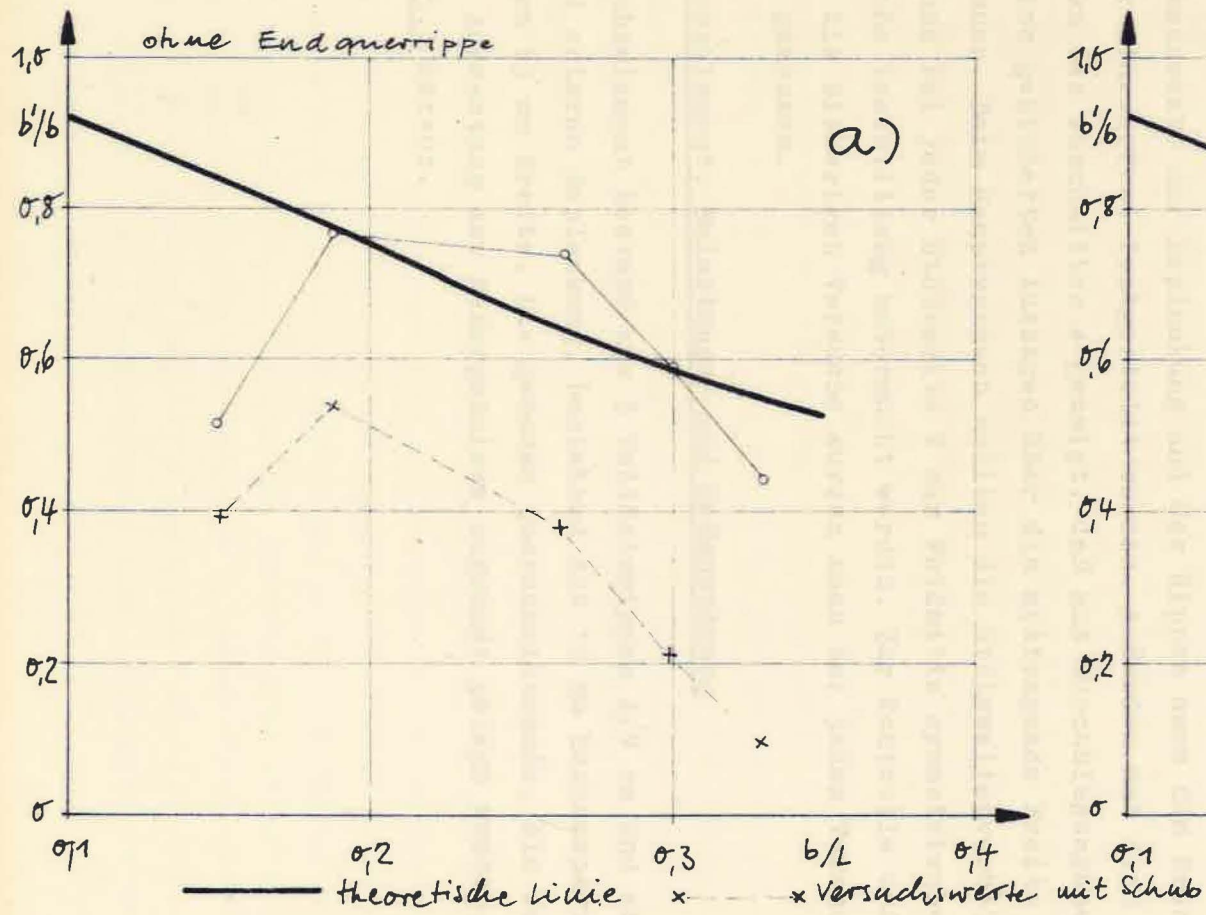


Bild 4.6: Abhängigkeit des Verhältnisses b'/b von b/L

5. Hauptversuch mit Dehnungs- und Durchbiegungsmessungen an einem doppelseitig beplankten Sperrholzelement

5.1 Zweck und Umfang des Hauptversuches

Die theoretischen Untersuchungen hatten ergeben, daß die mittragende Breite von zahlreichen Faktoren abhängig ist, wobei vor allem das Verhältnis der geometrischen Abmessungen b/L , der Werkstoffkennwerte E/G und bei orthotropem Beplankungsmaterial E_{II}/E_I sowie die Art der Belastungsanordnung eine Rolle spielen. Da durch die in den Abschnitten 3 und 4 wiedergegebenen Versuche an Elementen verschiedener Bauart diese Einflüsse aus den Durchbiegungsmessungen in der Regel nur qualitativ ermittelt werden konnten, sollten beim Hauptversuch die Spannungen durch Messung der Dehnungsverteilung in der Beplankung unmittelbar bestimmt werden. Bei den Versuchen des Abschnittes 3 konnten oft die Werkstoffkennwerte der Beplankung und der Rippen nach dem Bruchversuch nicht mehr einwandfrei festgestellt werden. Außerdem hat sich nach den Ergebnissen des Abschnittes 4 gezeigt, daß aus Durchbiegungsmessungen allein keine gesicherten Aussagen über die mittragende Breite gemacht werden können. Beim Hauptversuch sollten die Stützweitenverhältnisse variiert und bei jeder Stützweite 2 zur Feldmitte symmetrische und 1 unsymmetrische Laststellung untersucht werden. Zur Kontrolle und im Anschluß an die bisherigen Versuche wurden auch bei jedem Versuch die Durchbiegungen gemessen.

5.2 Versuchselement, Belastungs- und Meßanordnung

Das Versuchselement bestand aus 3 Vollholzrippen $4/9$ cm und einer oberen und unteren Beplankung, bestehend aus 10 mm Buchensperrholz, 6 lagig, von 65 cm Breite. Die genauen Querschnittsmaße, die der rechnerischen Auswertung der Meßergebnisse zugrunde gelegt wurden, gehen aus Bild 5.1 hervor.

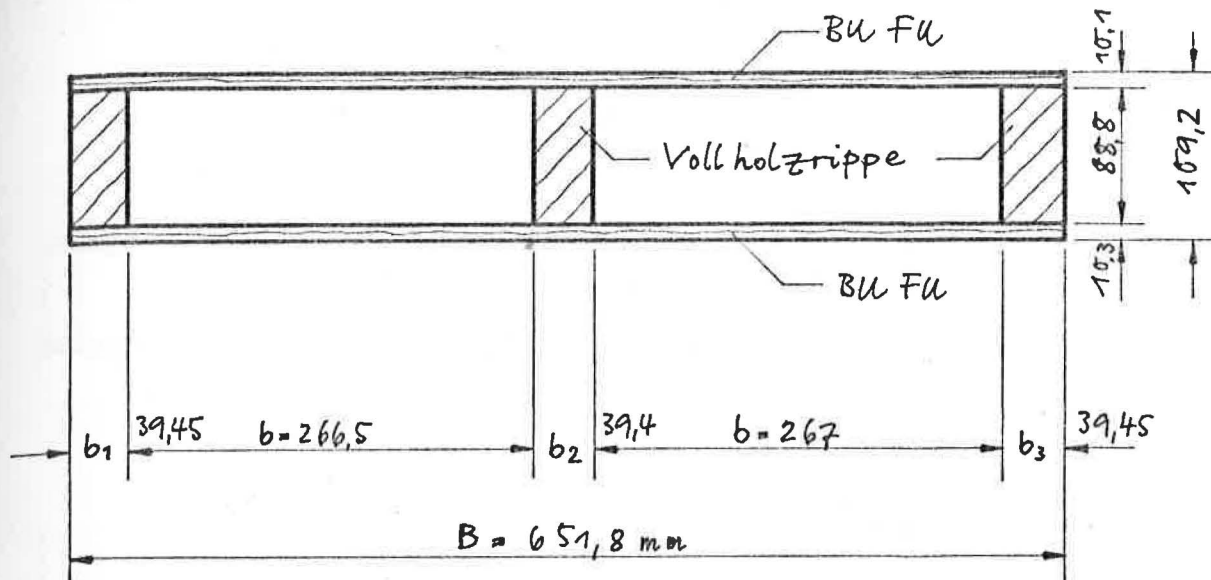


Bild 5.1 Querschnittsabmessungen des Versuchselementes

Die Länge des Elementes bei der 1. Versuchsreihe betrug 2,50 m. Da die Länge stufenweise auf 1,90 m und 1,30 m verkürzt werden sollte, wurden die Dehnungsmeßstreifen zur Ermittlung der Dehnungsverteilung in der unteren Beplankung auf einer Längshälfte nach Bild 5.2 angebracht, so daß stets die gleichen Meßstellen erfaßt werden konnten. Durch Messung auf der Außen- und Innenseite der Beplankung konnte die mittlere Dehnung in der Schwerachse der Beplankung bestimmt werden. In jedem der 3 Meßquerschnitte (Linie 2,3 und 4) waren 19 Dehnungsmeßstreifen von 20 mm Meßlänge aufgeklebt, wobei über jeder Rippe ein Streifen und zwischen den Rippen 4 Paare von Streifen angeordnet waren. Die in Linie 1 ebenfalls paarweise angebrachten 8 Rosetten konnten später nicht in die Auswertung einbezogen werden. Die Bilder 5.3 und 5.4 zeigen das nach Kürzung auf 1,30 m Länge verbleibende Restelement mit Anordnung der elektrischen Dehnungsmeßstellen. Die Durchbiegungen wurden an den beiden Rändern mittels Meßuhren jeweils im Auflager, unter den Lasteintragungspunkten und in Feldmitte festgestellt (Bild 5.5).

Der Aufbau des Elements und die Belastungsanordnung für die Belastung durch 2 Einzellasten gehen aus Bild 5.5 hervor. An seinen beiden Enden wurde das Element kontinuierlich über seine ganze Breite gelagert, während die Einzellasten über Querverteilungsträger so in die Rippen eingeleitet wurden, daß bei allen Rippen die gleiche Durchbiegung auftrat (Bild 5.6). Wegen der vorgesehenen Verkürzung des 2,50 m langen Elementes waren die Endquerrippen nur an dem zur Meßhälfte gehörenden Elementende eingeleimt, während am anderen Ende die Endquerrippen jeweils eingesetzt und durch Schraubzwingen gehalten wurden.

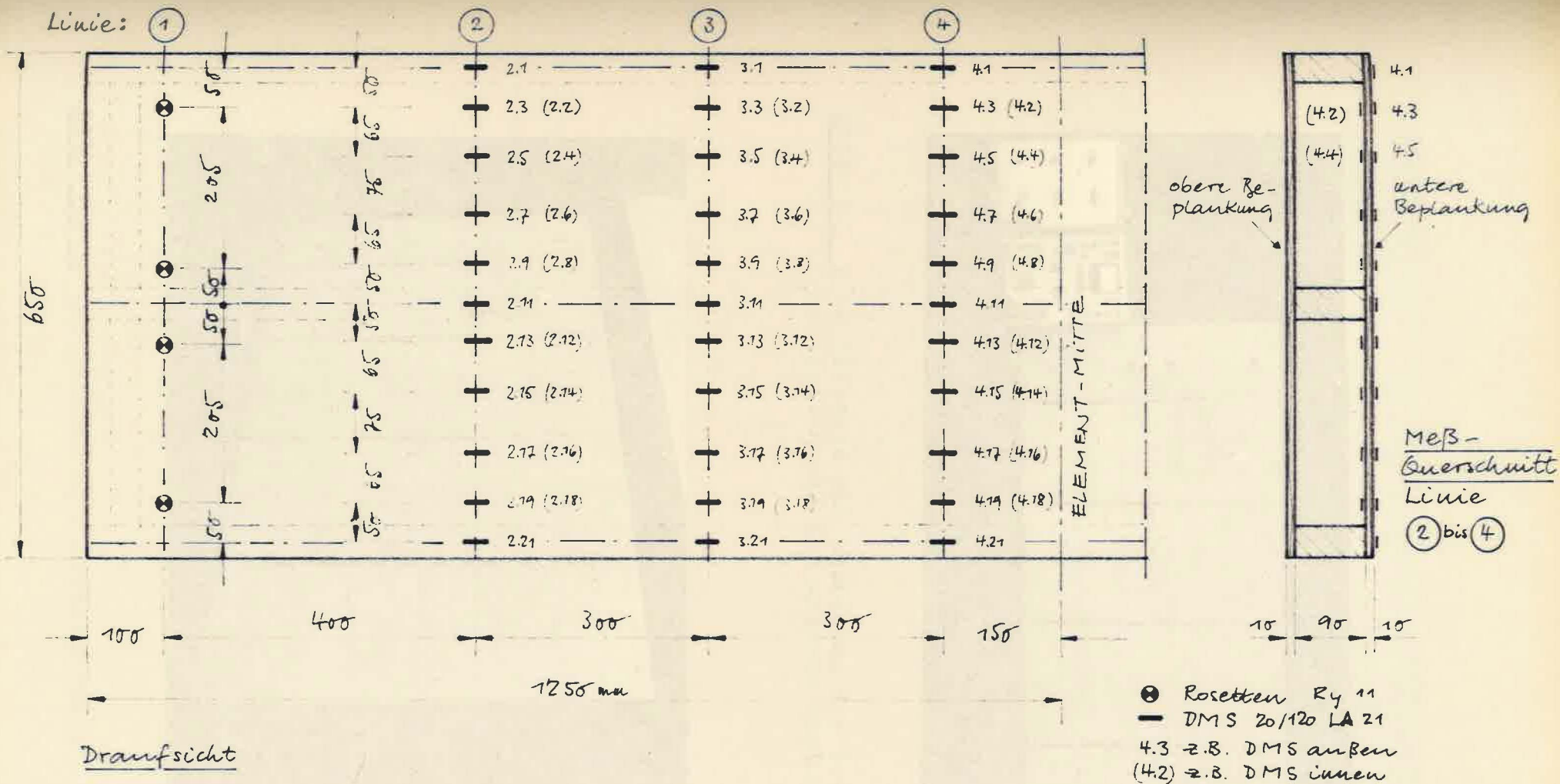


Bild 5.2 : Anordnung der Rosetten und Dehnungsmessstreifen

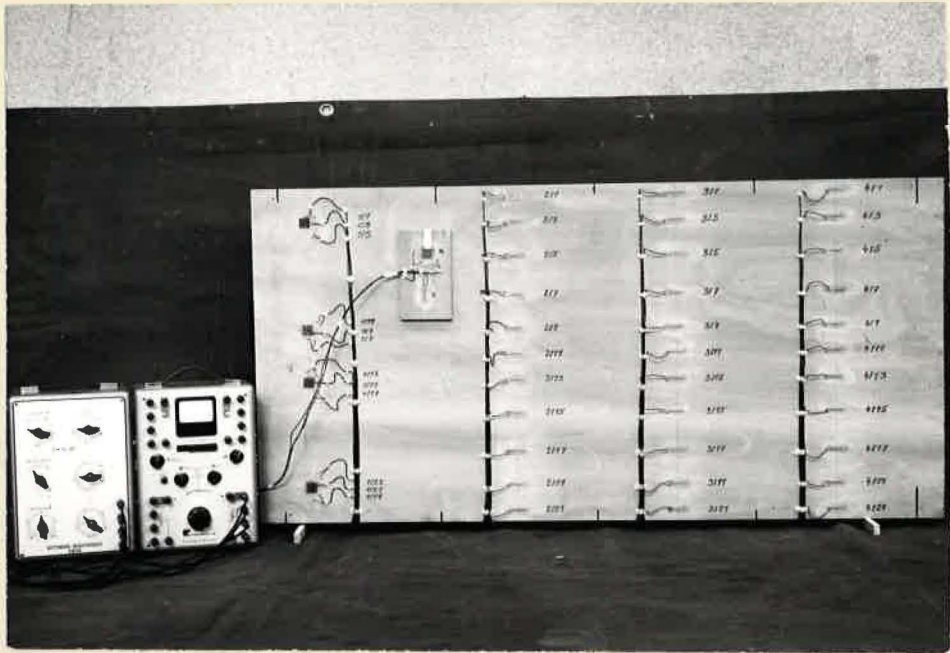


Bild 5.3 : Restelement mit Anordnung der Dehnungsmessstellen auf der unteren Beplankung

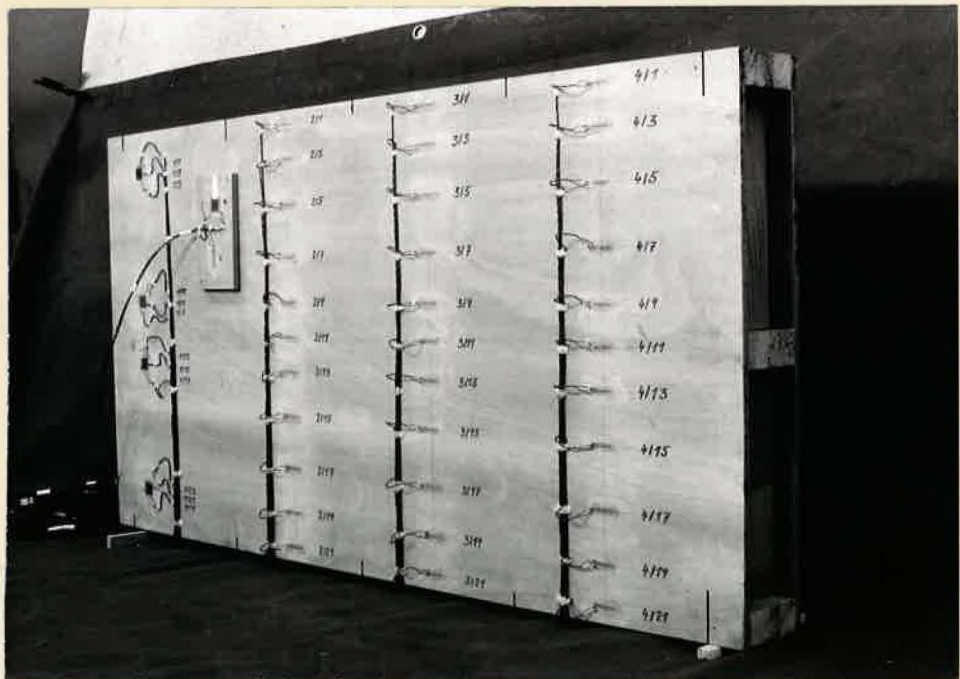


Bild 5.4 : Untersicht des Restelementes

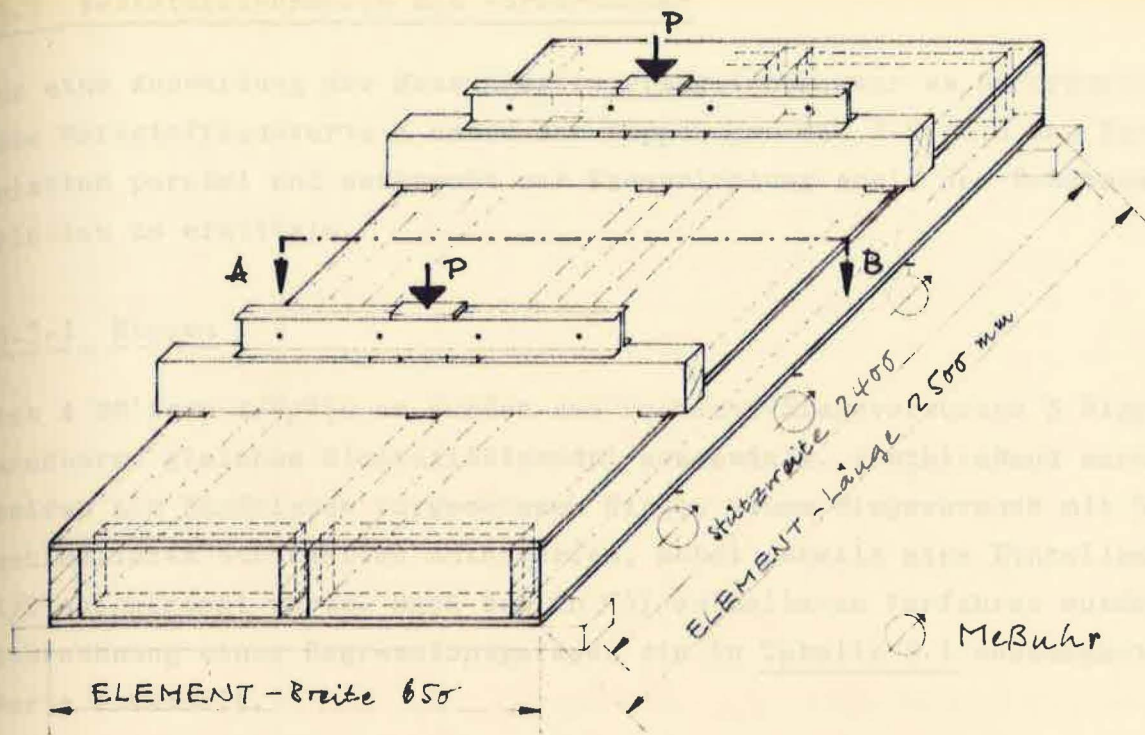


Bild 5.5 : Versuchsanordnung - Gesamtansicht

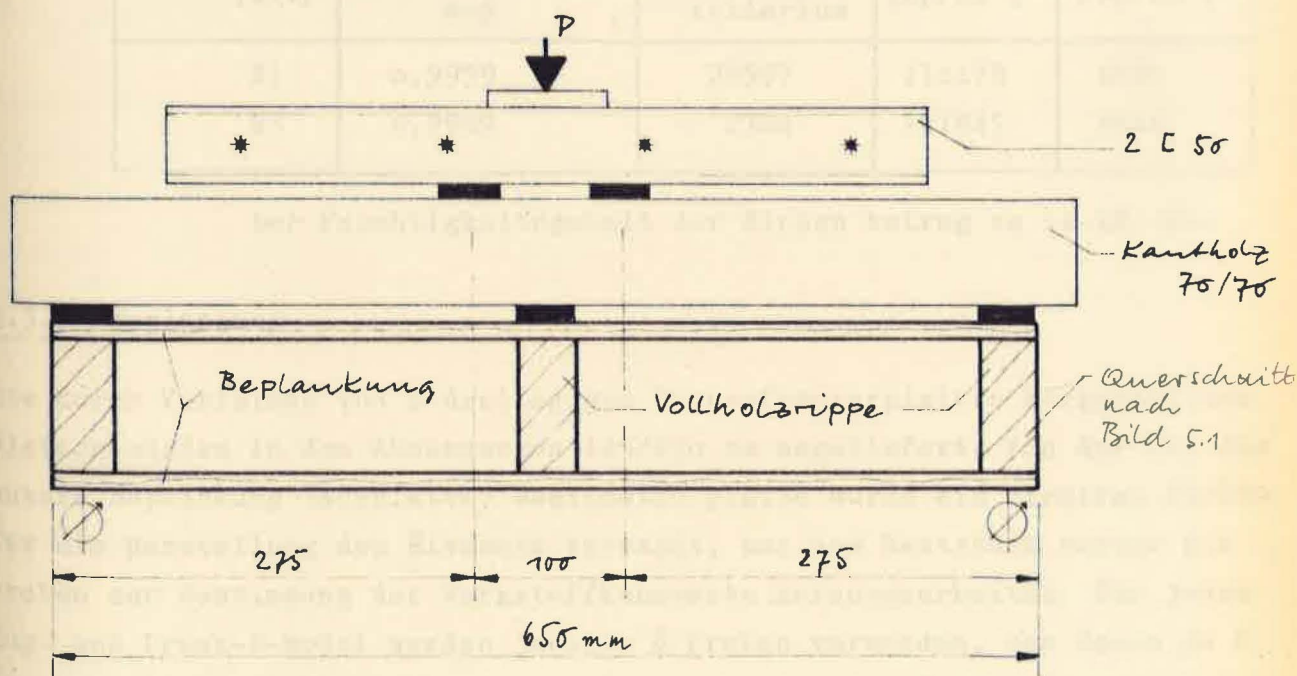


Bild 5.6 : Versuchsanordnung - Schnitt A - B

5.3 Werkstoffkennwerte aus Vorversuchen

Um eine Auswertung der Messungen zu ermöglichen, war es erforderlich die Werkstoffkennwerte E und G der Rippen und die E-Moduln der Furnierplatten parallel und senkrecht zur Faserrichtung sowie den Schubmodul der Platten zu ermitteln.

5.3.1 Rippen

Aus 4 Hölzern 4/9/250 cm wurden aus Hochkant-Biegeversuchen 3 Rippen mit annähernd gleichem Elastizitätsmodul ausgewählt. Anschließend wurden die beiden als Randrippen vorgesehenen Rippen einem Biegeversuch mit 5 unterschiedlichen Stützweiten unterworfen, wobei jeweils eine Einzellast in 1/2 aufgebracht wurde. Nach dem in [3] enthaltenen Verfahren wurden nach Einrechnung einer Regressionsgeraden die in Tabelle 5.1 zusammengestellten Werte ermittelt.

Tabelle 5.1: E- und G-Moduln der Rippen R1 und R3

Rippe [Nr.]	Regressionsgerade		E [kp/cm ²]	G [kp/cm ²]
	Bestimmtheits- maß	Existenz- kriterium		
R1	0,9999	29997	110179	4830
R3	0,9989	2724	111845	3844

Der Feuchtigkeitsgehalt der Rippen betrug ca 11-12 0/o.

5.3.2 Beplankung

Die durch Verleimen von 2 dreilagigen Buchenfurnierplatten hergestellten Platten wurden in den Abmessungen 125/250 cm angeliefert. Von der für die untere Beplankung (Meßplatte) bestimmten Platte wurde ein Streifen 65/250 für die Herstellung des Elements verwandt, aus dem Reststück wurden die Proben zur Bestimmung der Werkstoffkennwerte herausgearbeitet. Für jeden Zug- und Druck-E-Modul wurden jeweils 6 Proben verwendet, von denen je 2 aus verschiedenen Bereichen der Platte stammten. Der Schubmodul G und der E-Modul bei Hochkantbiegung wurde an einem 6 cm hohen und 1,00 m langen Sperrholzstreifen durch Biegeversuche mit verschiedenen Stützweiten analog wie bei den Rippen bestimmt. Zusätzlich wurde außerdem der Schubmodul der Platten bei Biegung in Plattenebene an 3 Proben 340/340 mm nach dem „Nadai-Verfahren“ ermittelt. Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 5.2 zusammengestellt.

Tabelle 5.2: Werkstoffkennwerte für die Beplankung

Art	Anzahl der Proben	Mittelwert [kp/cm ²]	Standardabweichung [kp/cm ²]	Variationskoeffizient [%]
Druck-E	6	126 815	8 796,9	6,94
Druck-E _⊥	6	70 607	10 128,6	14,35
Zug-E →	6	129 613	4 392,44	3,39
Zug-E _⊥	6	69 108	6 204,61	8,98
Schub G	1	5 092	Probe hochkant	
Biege E	1	116 833		
Schub G	3	4 100	nach Nadai-Verfahren	

Der Feuchtigkeitsgehalt der Sperrholzproben schwankte zwischen 6,8 und 7,9 %

5.4 Durchführung der Versuche

Zuerst wurde das Element mit der Länge 250 cm mit verschiedenen Belastungsanordnungen und Lagerungsbedingungen geprüft. Anschließend wurde es von einer Seite her um 60 cm gekürzt, als Träger auf 2 Stützen mit $l = 180$ cm gelagert und Versuche mit 3 verschiedenen Belastungsanordnungen durchgeführt. Nach einer weiteren Kürzung um 60 cm wurden bei 120 cm Stützweite ebenfalls 3 Belastungsversuche durchgeführt.

Tabelle 5.3 enthält die Bezeichnung der einzelnen Versuche und die dabei angewandten Stützweiten und Lastanordnungen, sowie die Höhe der maximal aufgebrauchten Belastung P .

Tabelle 5.3: Stützweiten und Belastungsanordnungen bei den einzelnen Versuchen.

Länge [cm]	Versuchs-Nr.	Stützweite l [cm]	P [kp]	Lastbild
250	5.1.1	240	504	
	5.1.2	240	504	
	5.1.3	240	760	
	5.1.4	240	20 ¹⁾	
	5.1.5	2·120	960	
190	5.2.1	180	504	
	5.2.2	180	600	
	5.2.3	180	600	
130	5.3.1	120	600	
	5.3.2	120	600	
	5.3.3	120	600	

1) Lasteintragung zwischen den Rippen

Die sich bei den Höchstlasten für die einzelnen Belastungsanordnungen ergebenden Spannungen wurden mit den rechnerischen Querschnittswerten berechnet und sind in der Tabelle 5.4 zusammengefaßt.

Das Eigengewicht der Elemente und die aus der Belastungseinrichtung herführende Vorbelastung sind dabei nicht berücksichtigt.

Die rechnerischen Werte I_{rech} und S_{rech} wurden unter Zugrundelegung einer mittragenden Breite nach den Richtlinien „Holzhäuser in Tafelbauart“ von $0,8 \cdot b + b_1$ bzw. $0,15 \cdot l + b_1$ errechnet. Für den E-Modul der oberen und der unteren Beplankung wurde der Mittelwert aus $E_{||}$ der Tabelle 5.2 verwendet. Für den E-Modul der Rippen wurde der Mittelwert $E = 111024 \text{ kp/cm}^2$ eingesetzt.

Die Belastung wurde in Stufen zu je $P/4$ aufgebracht. Bei jeder Laststufe wurden die Meßuhren und bei Versuch Nr. 5.1.1 die Dehnungsmeßstreifen abgelesen. Bei den folgenden Versuchen wurden die Dehnungsmeßstreifen nur unter Vorlast, unter Vollast und nach der Entlastung auf die Vorlast registriert.

Tabelle 5.4: Rechnerische Querschnittswerte I_{rech} und S_{rech} sowie die mit P sich ergebende Schwerpunktsspannung in der Beplankung und die maximalen Biege- und Schubspannungen in den Rippen.

Versuch Nr.	I_{rech} [cm ⁴]	S_{rech} [cm ³]	$\sigma_{Bep1.}$ [kp/cm ²]	σ_{Ri} [kp/cm ²]	τ_{Ri} [kp/cm ²]
5.1.1	4308	483,6	45,00	35,07	4,72
5.1.2	4308	483,6	45,00	35,07	2,36
5.1.3	4308	483,6	50,89	39,66	5,33
5.1.4	4308	483,6	gering	gering	gering
5.1.5	2847	338,0	48,77 ¹⁾	38,00 ¹⁾	6,53 ¹⁾
5.2.1	4308	483,6	45,00	35,07	4,72
5.2.2	4308	483,6	40,17	31,31	2,80
5.2.3	4308	483,6	35,71	27,83	3,74
5.3.1	3897	442,6	29,61	23,08	5,68
5.3.2	3897	442,6	29,61	23,08	2,84
5.3.3	3897	442,6	22,21	17,31	4,26

1) Wert über der Mittelstütze

5.5 Ergebnis der Versuche

Für die einzelnen Versuche wurden die Last-Durchbiegungslinien und die Biegelinien der Elementränder unter Höchstlast P sowie die die hierbei auf das Maximalmoment bezogenen, gemessenen Dehnungen der äußeren und inneren Beplankungsfläche dargestellt (Bild 5.7 - 5.35). Die Durchbiegung der beiden Elementränder ist etwas verschieden. Dieser Unterschied wird prozentual zum Maximalwert mit fallender Stützweite größer, so daß er in erster Linie auf den unterschiedlichen Schubmodul G der beiden Randrippen R_1 und R_3 zurückzuführen ist.

Die für jeden Versuch in den 3 Meßlinien aufgetragenen Dehnungen zeigen den Dehnungsverlauf in Elementquerrichtung. Dabei wurden die im Querschnitt 2,3 und 4 gemessenen Dehnungen auf das jeweils im Element vorhandene maximale Moment bezogen, so daß gilt:

$$\epsilon = \epsilon_{gemessen} \cdot \frac{\max M}{M_i}$$

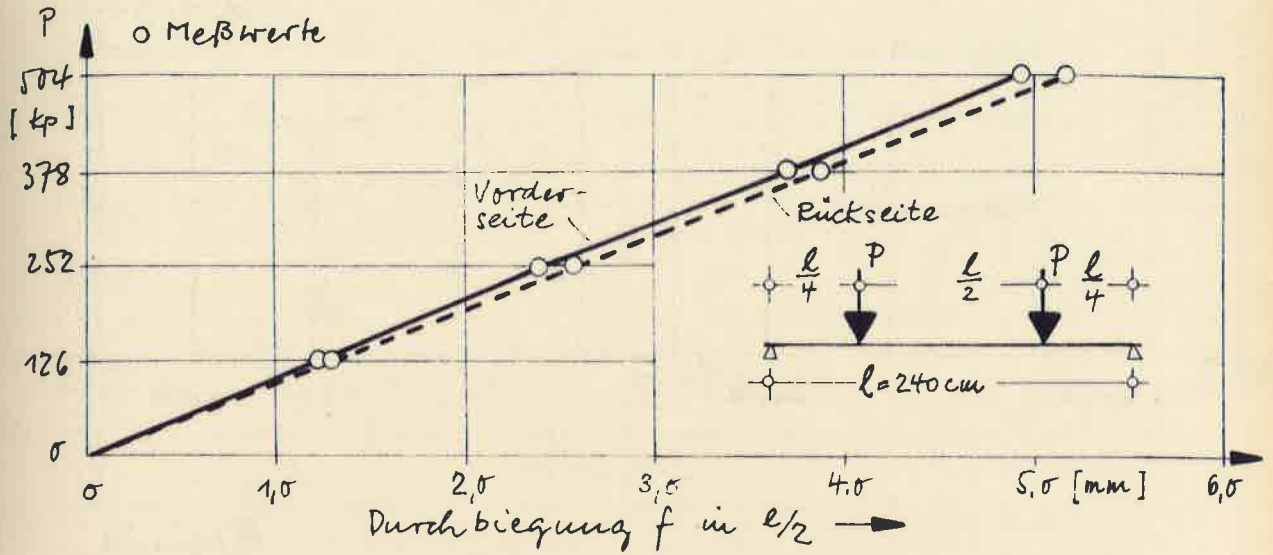


Bild 5.7 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.1.1

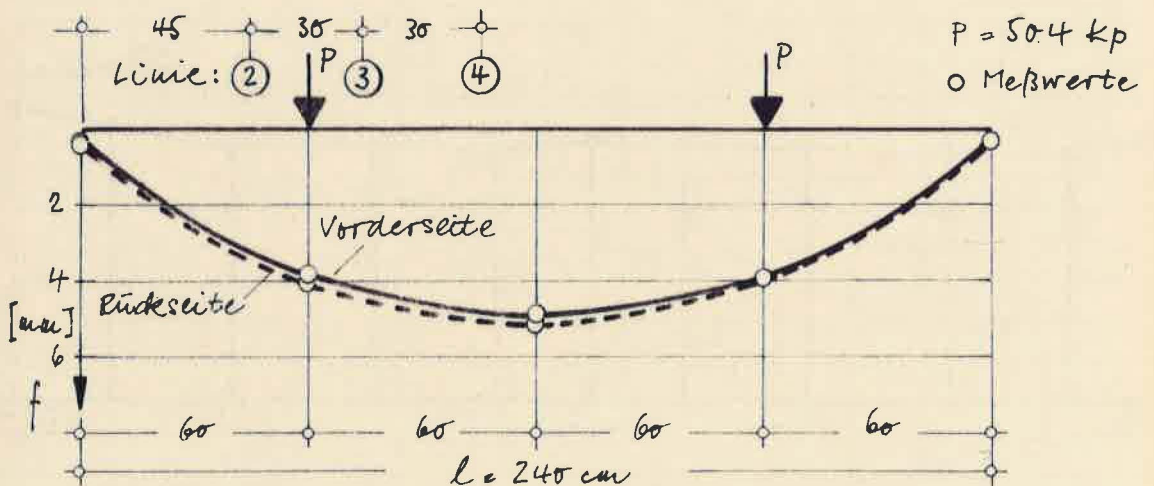
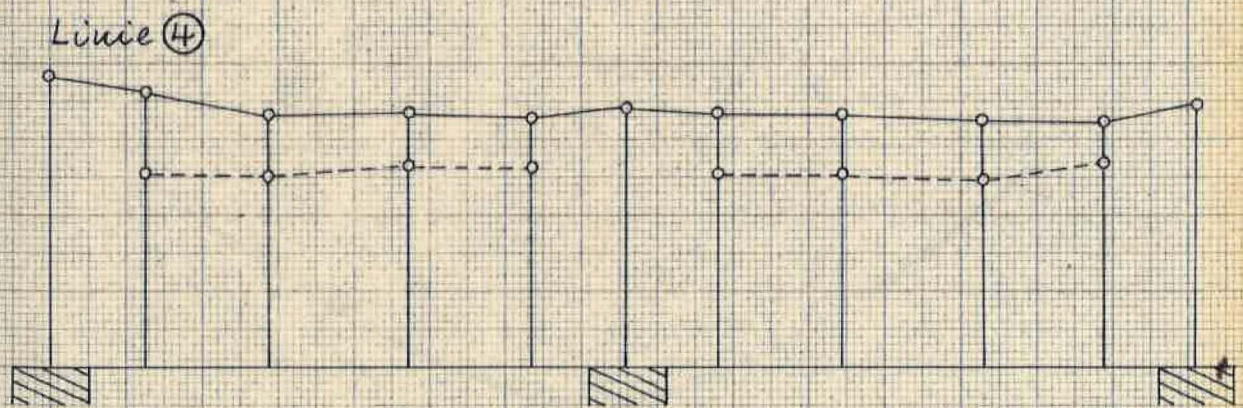
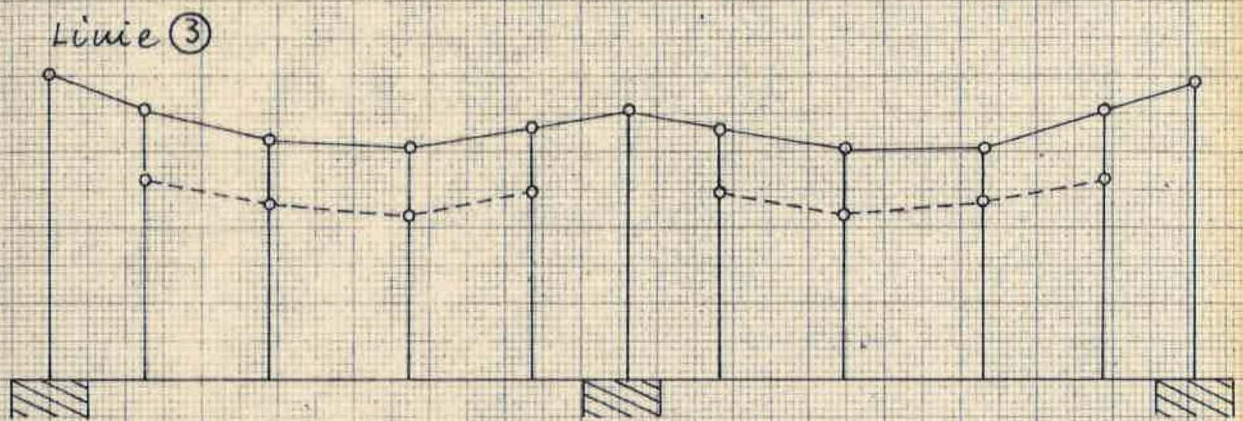
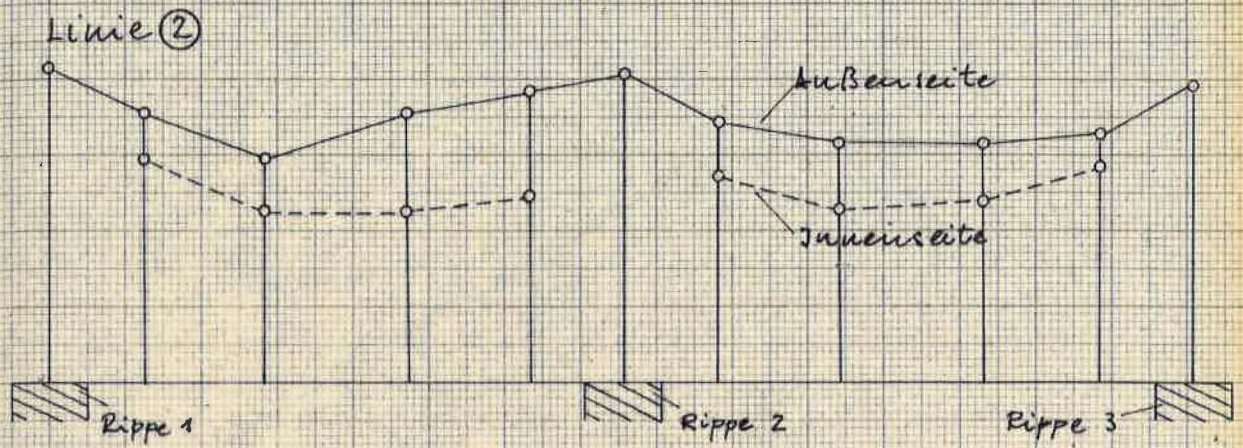


Bild 5.8 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.1.1



• Meßwerte, $1\mu m = 0,1\text{‰}$ Dehnung

Bild 5.9 : Dehnungsverteilung für Versuch 5.1.1

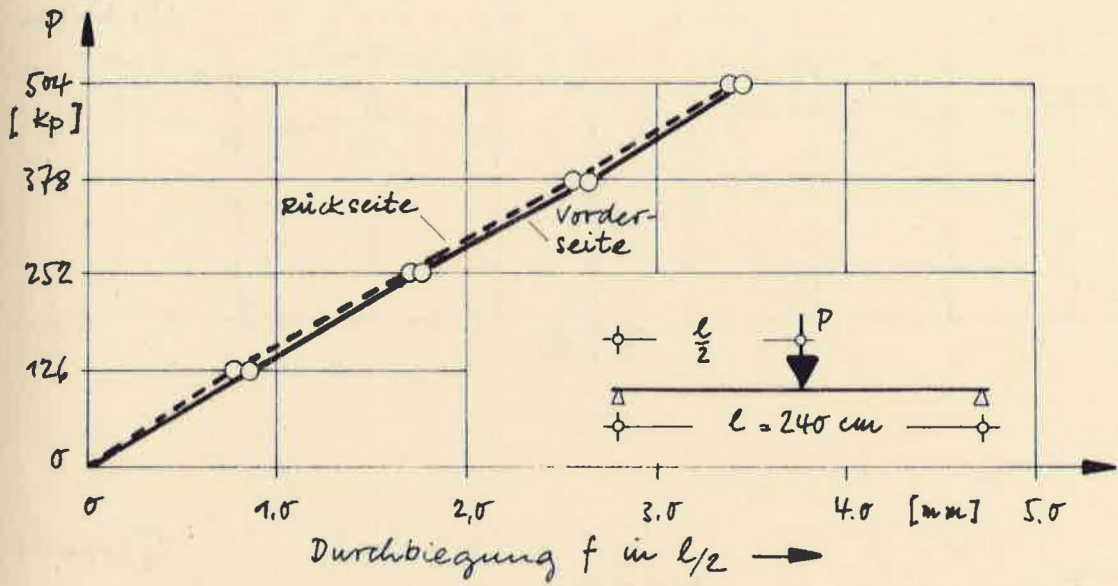


Bild 5.10 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.1.2

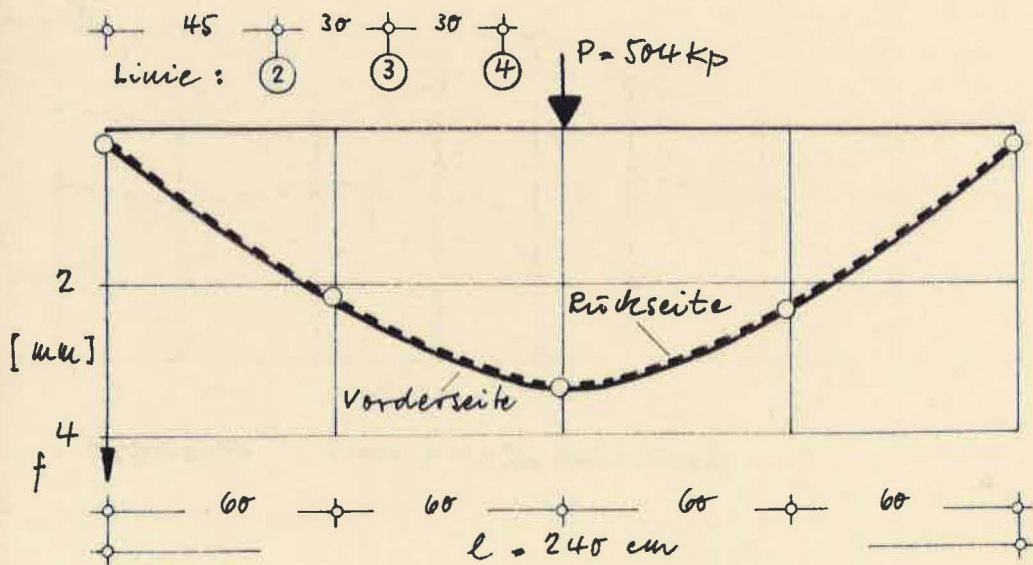
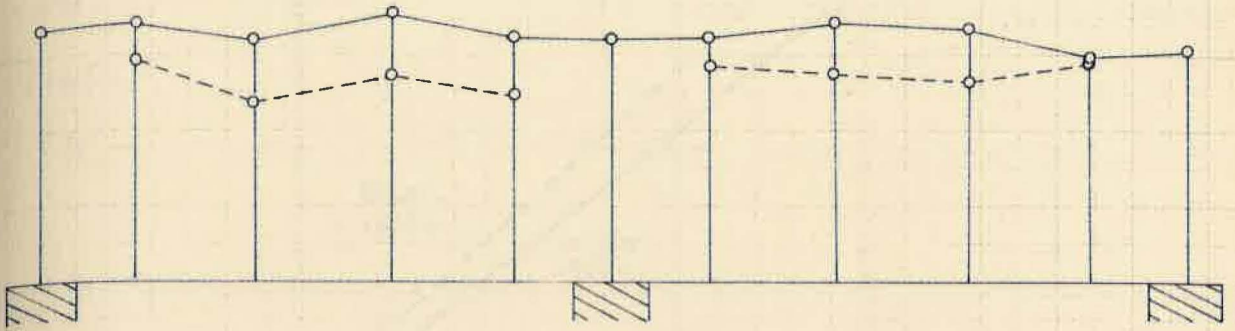
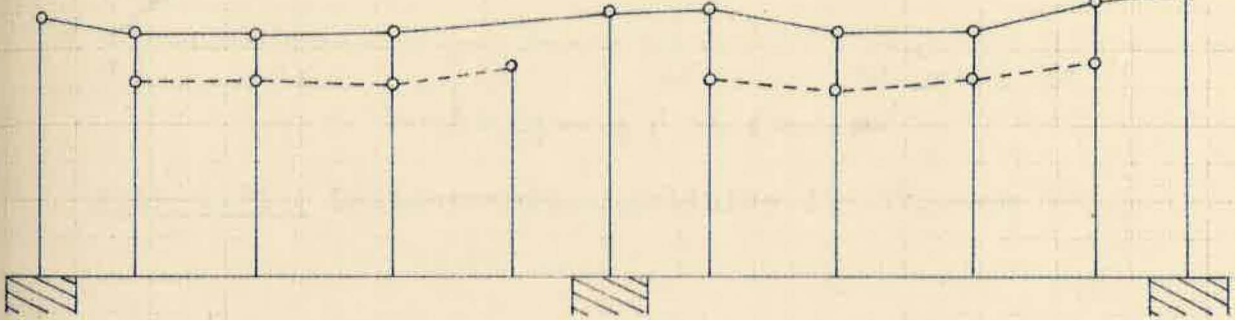


Bild 5.11 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.1.2

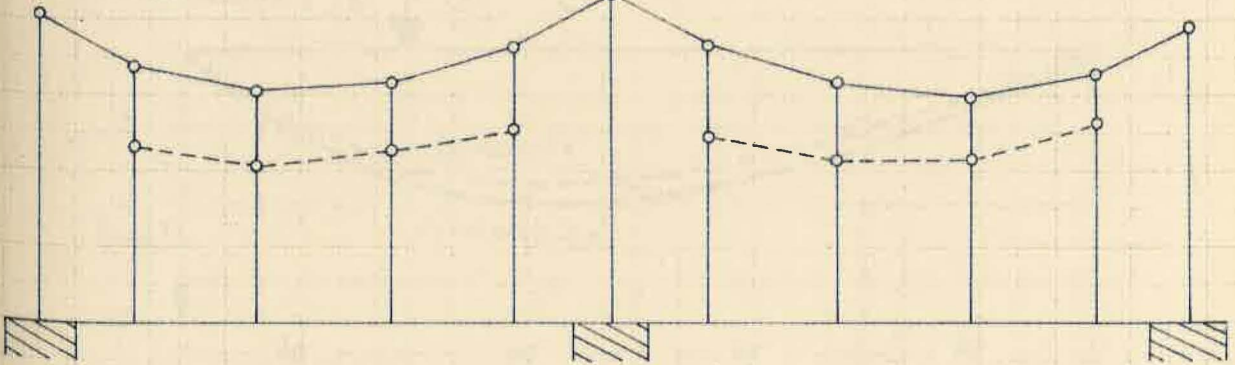
Linie ②



Linie ③



Linie ④



o Meßwerte, 1 cm = 0,1% Dehnung

Bild 5.12: Dehnungsverteilung für Versuch 5.1.2

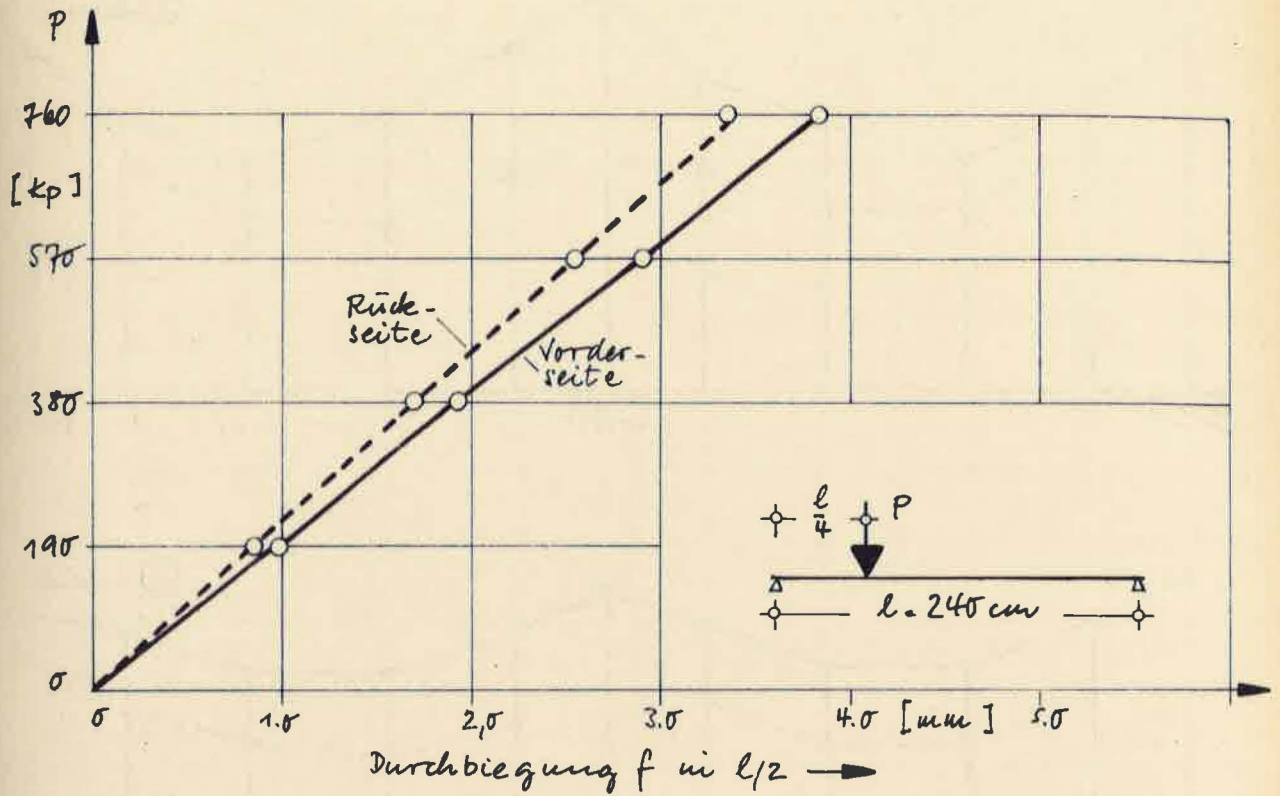


Bild 5.13 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.1.3

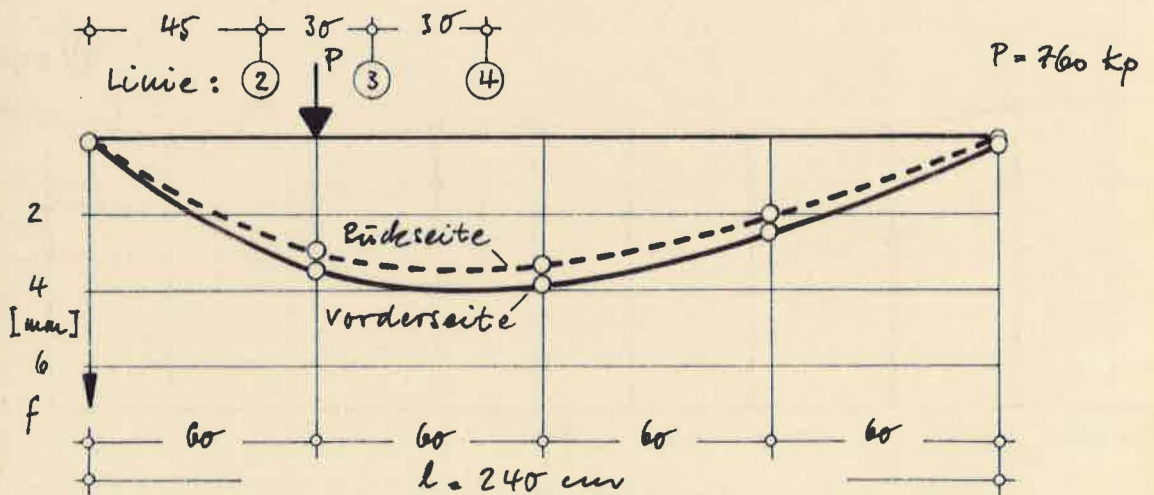
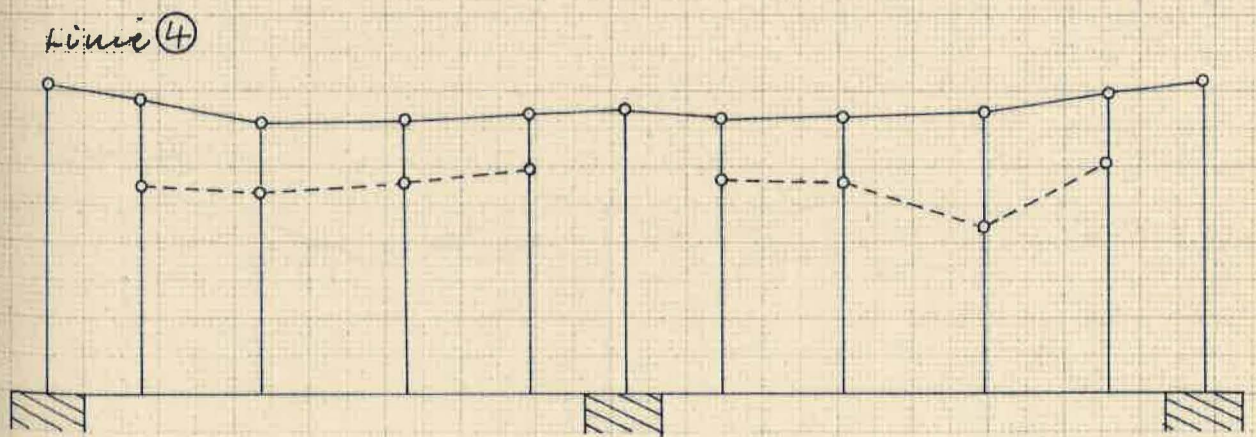
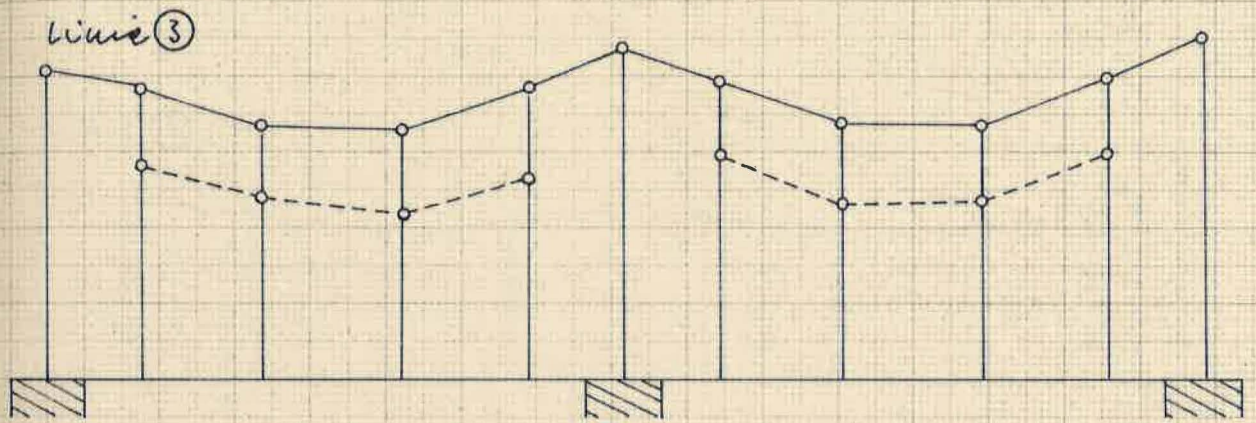
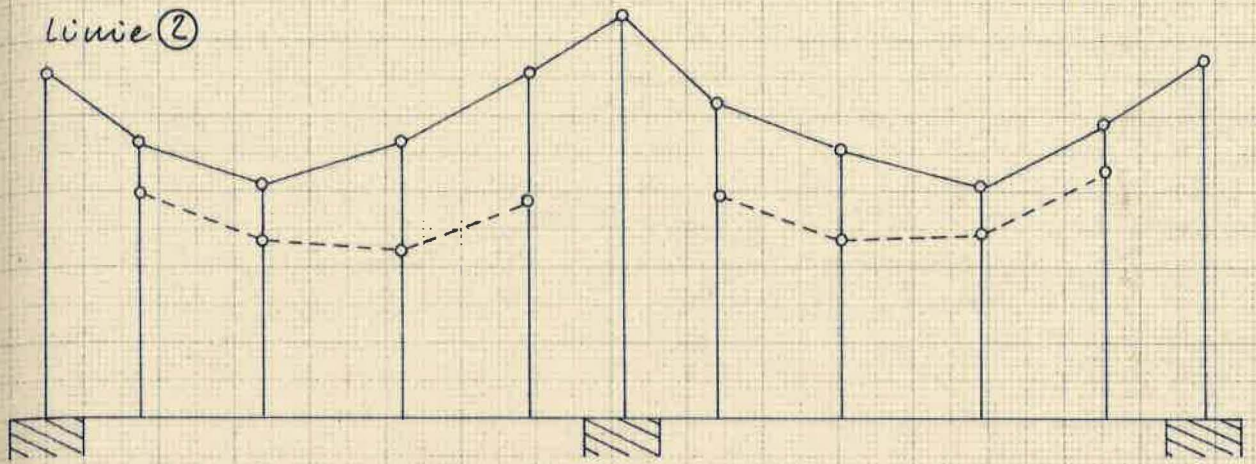


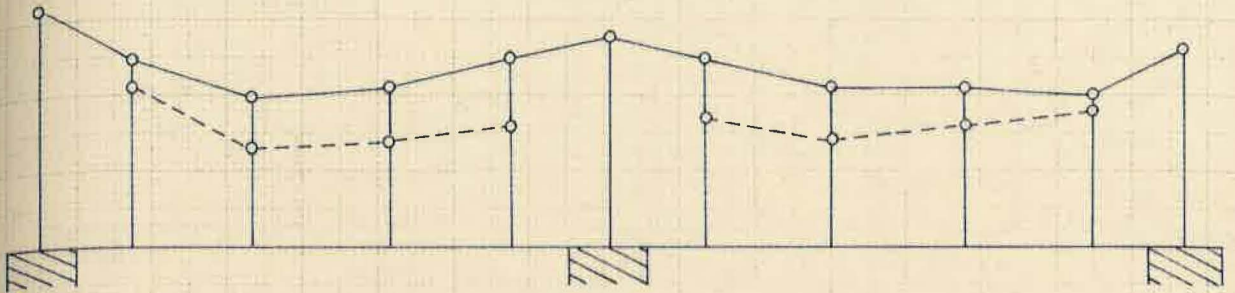
Bild 5.14 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.1.3



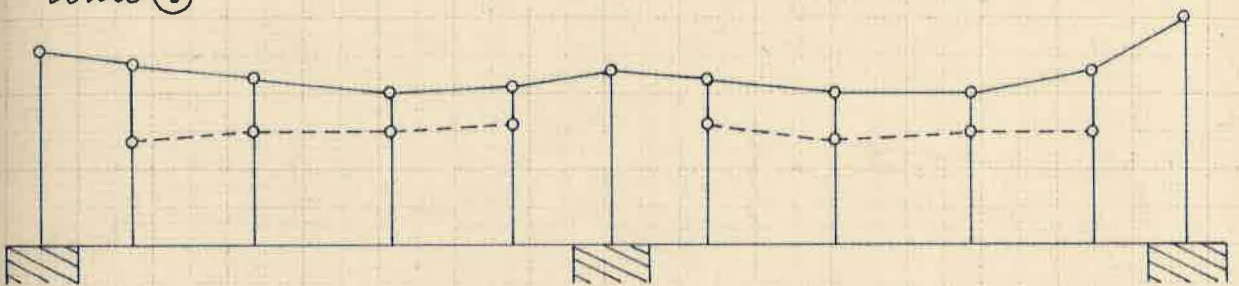
o Meßwerte, 1 cm = 0,1‰ Dehnung

Bild 5.15: Dehnungsverteilung für Versuch 5.1.3

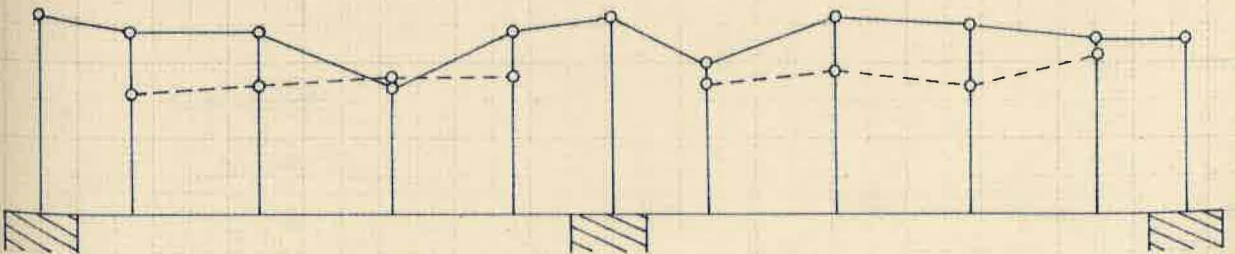
Linie ②



Linie ③

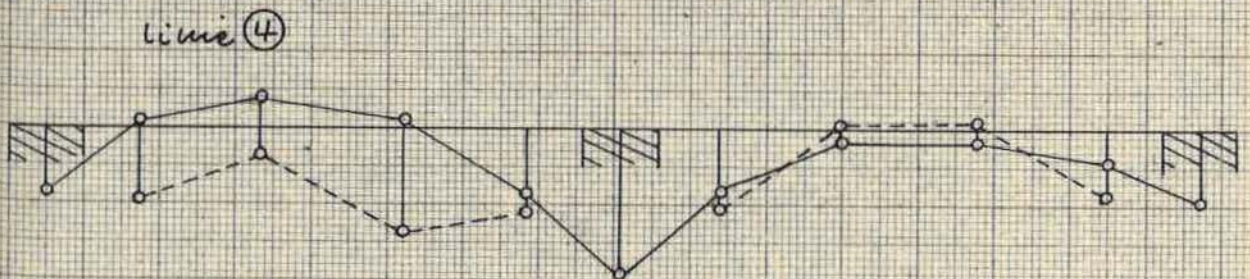
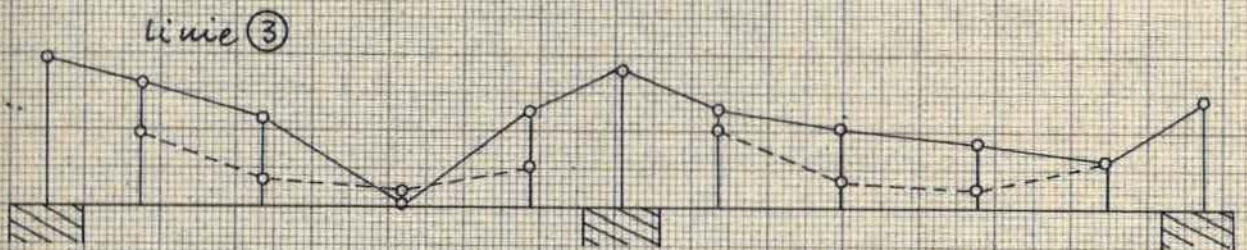
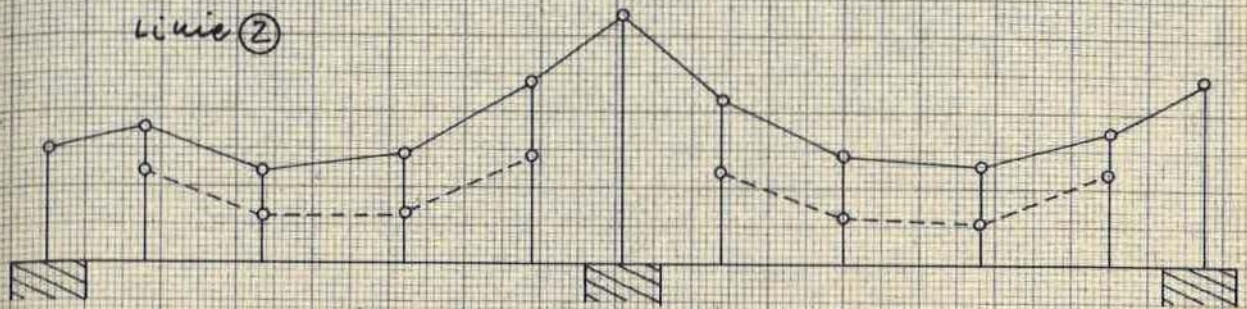


Linie ④



o Meßwerte, $1 \text{ cm} = 0,01\% \text{ Dehnung}$

Bild 5.16: Dehnungsverteilung für Versuch 5.1.4



• Meßwerte, 1 cm = 0,1‰ Dehnung

Bild 5.17: Dehnungsverteilung bei Versuch 5.1.5 für $P = 960 \text{ kp}$ (Durchlaufträger)

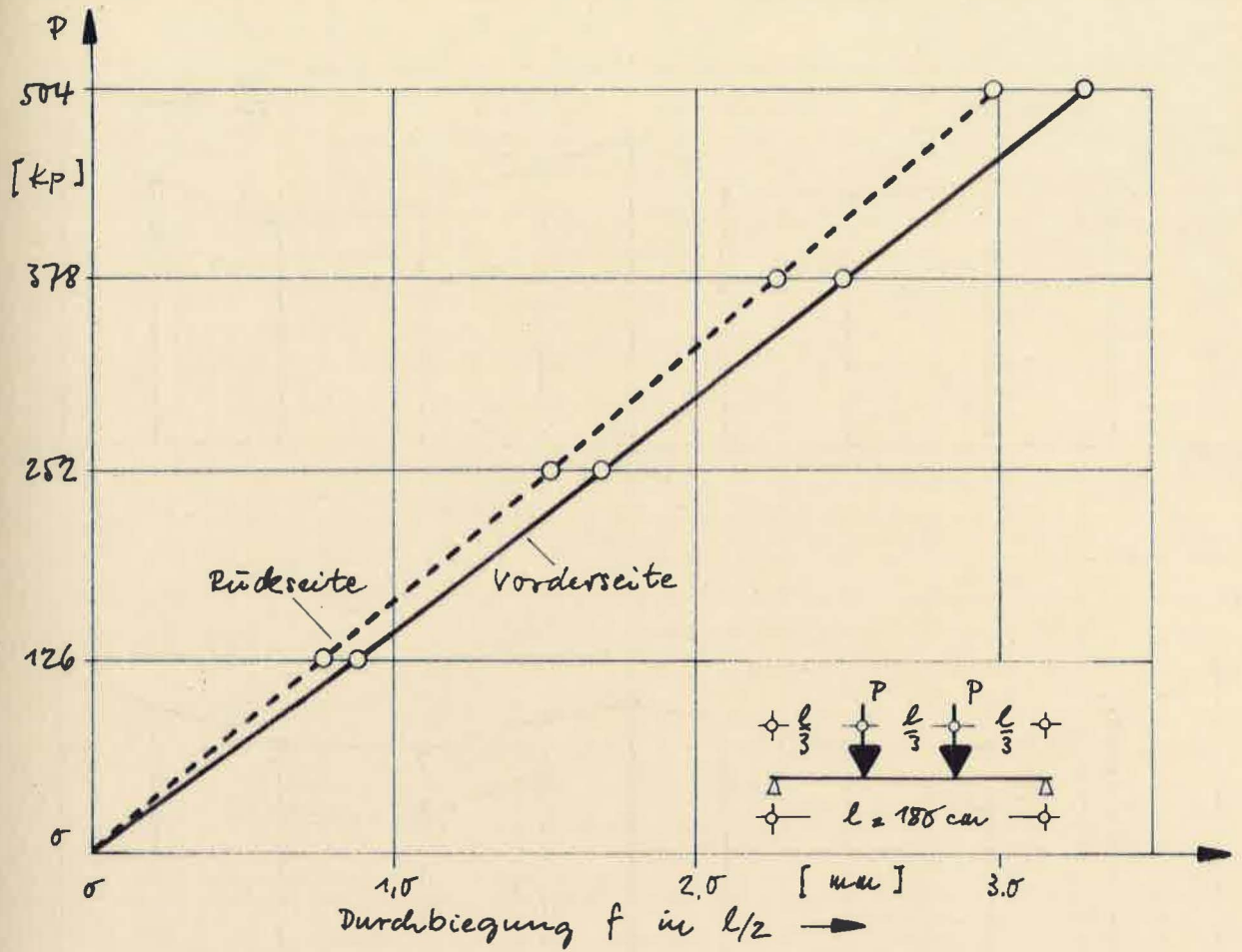


Bild 5.18 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.2.1

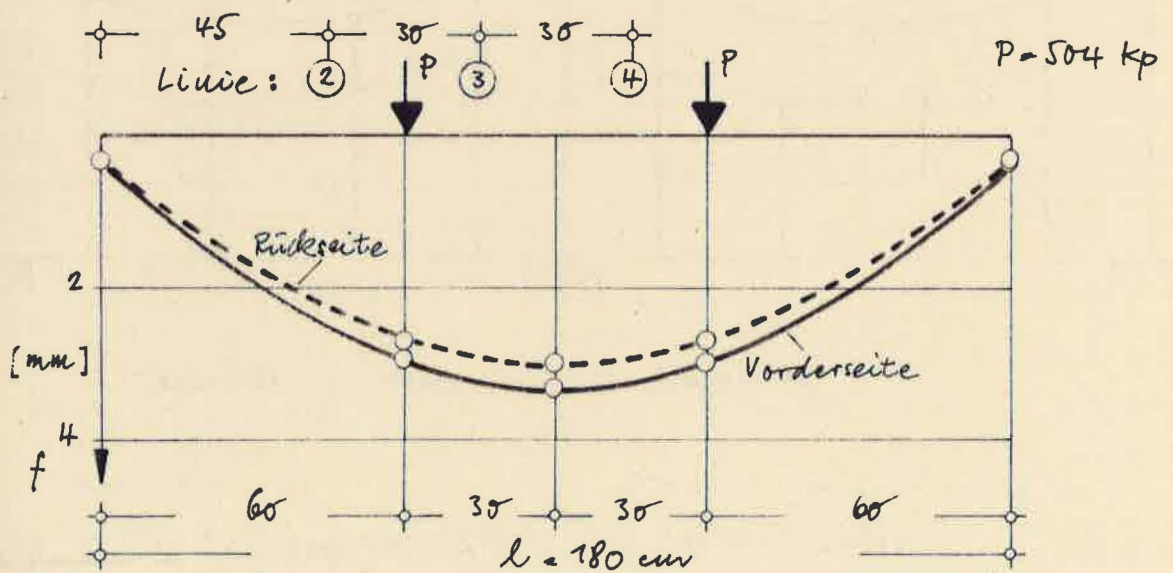
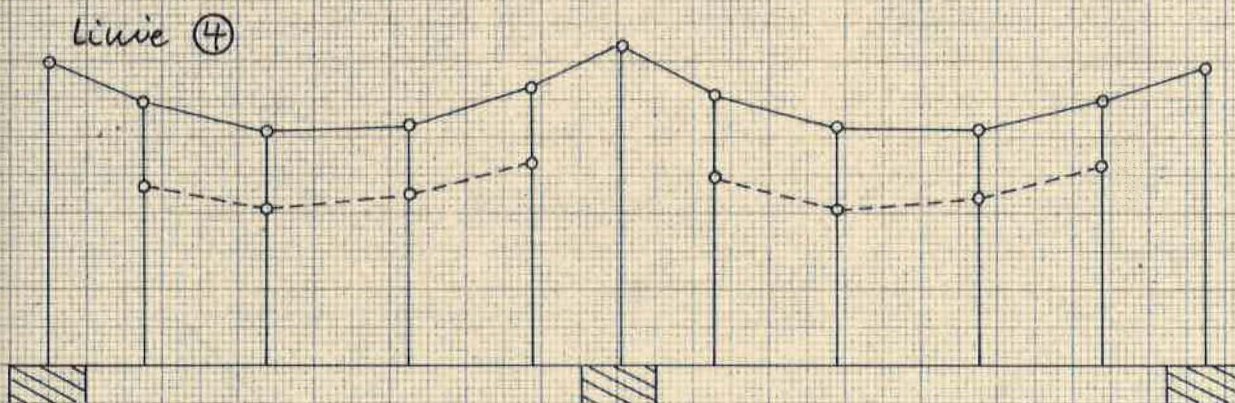
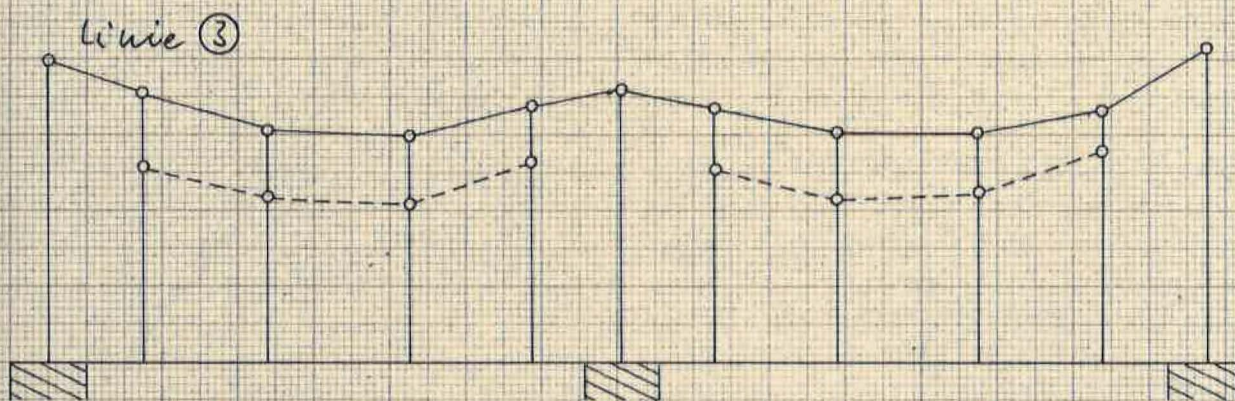
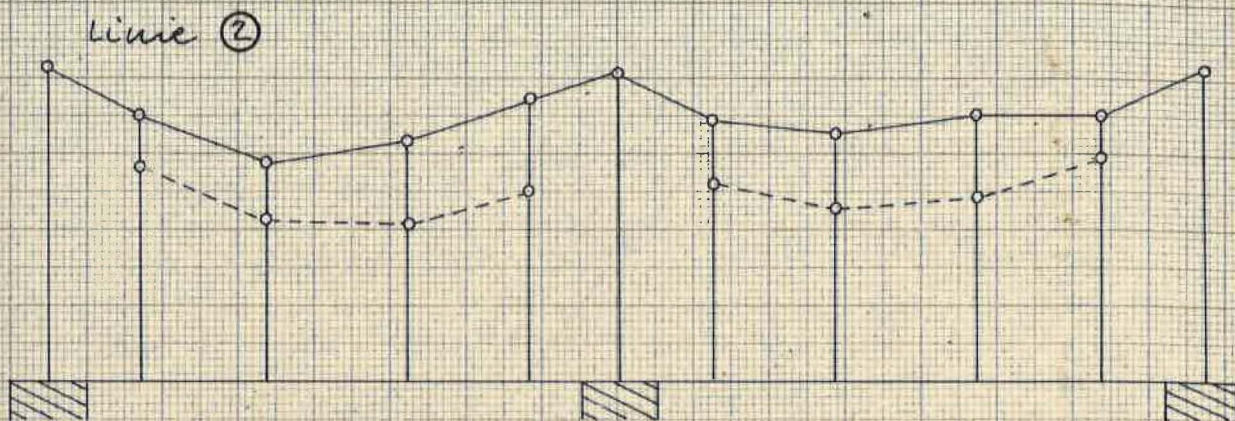


Bild 5.19 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.2.1



• Meßwerte, $1 \text{ mm} = 0,1\% \text{ Dehnung}$

Bild 5.20: Dehnungsverteilung für Versuch 5.2.1

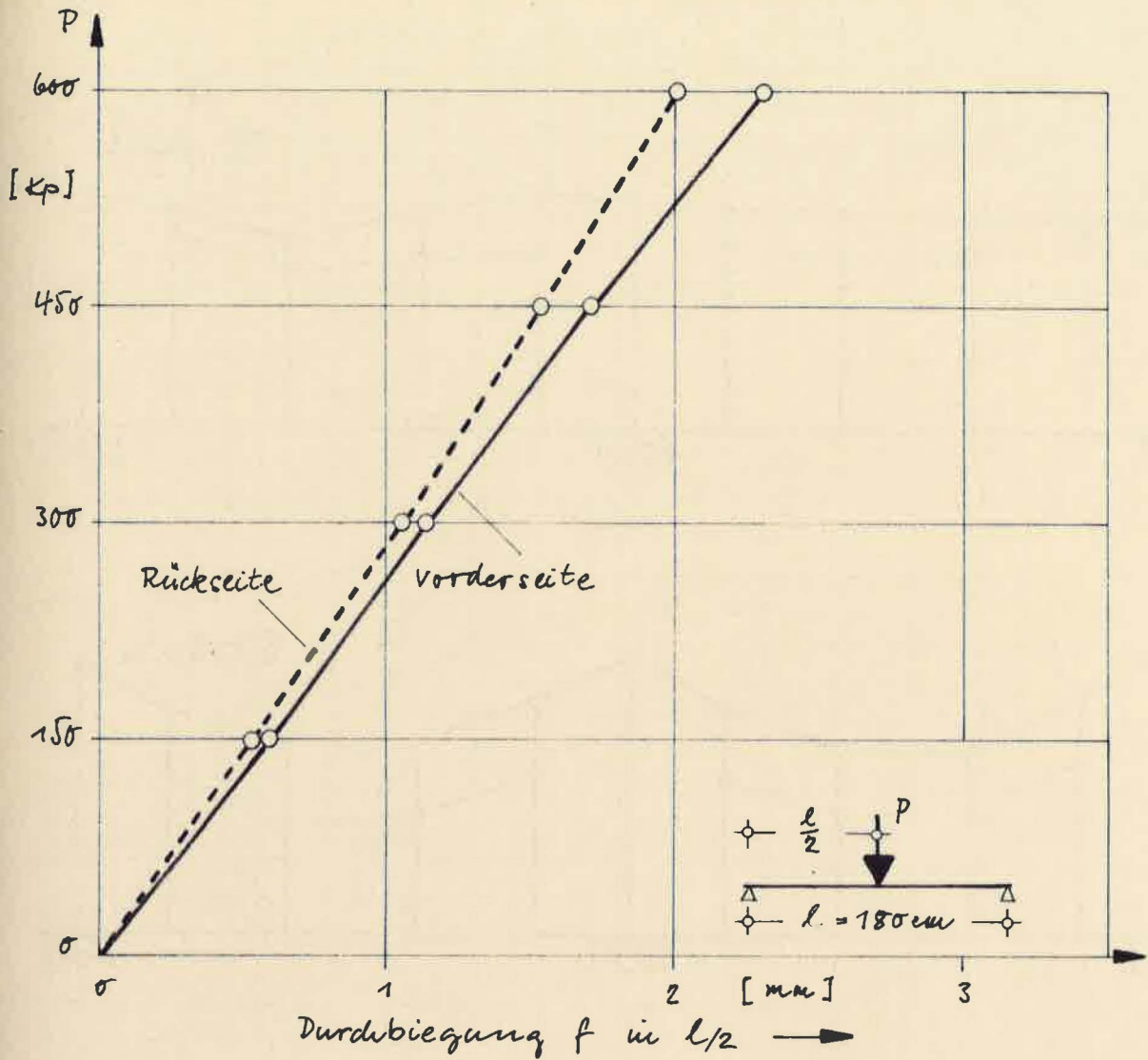


Bild 5.21 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.2.2

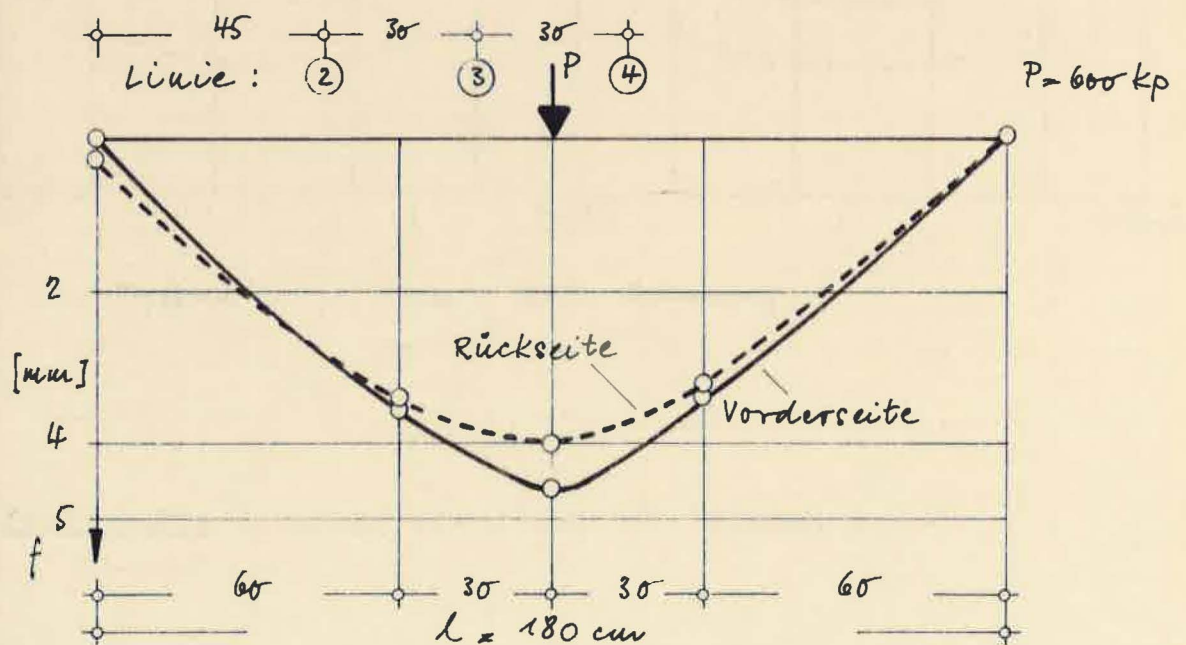
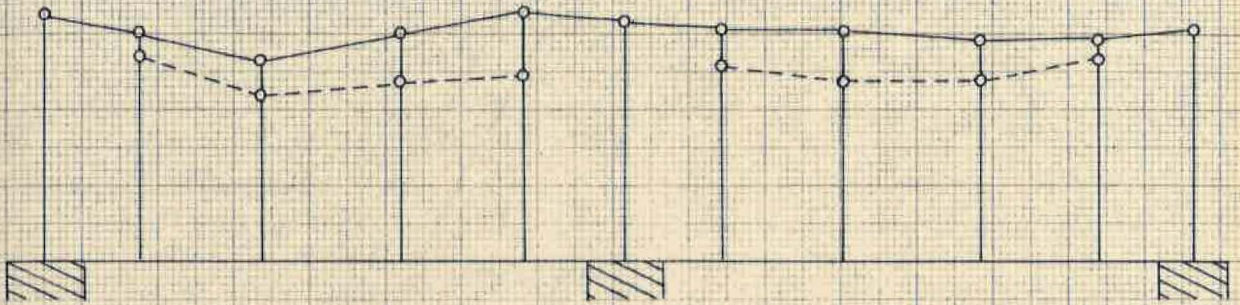
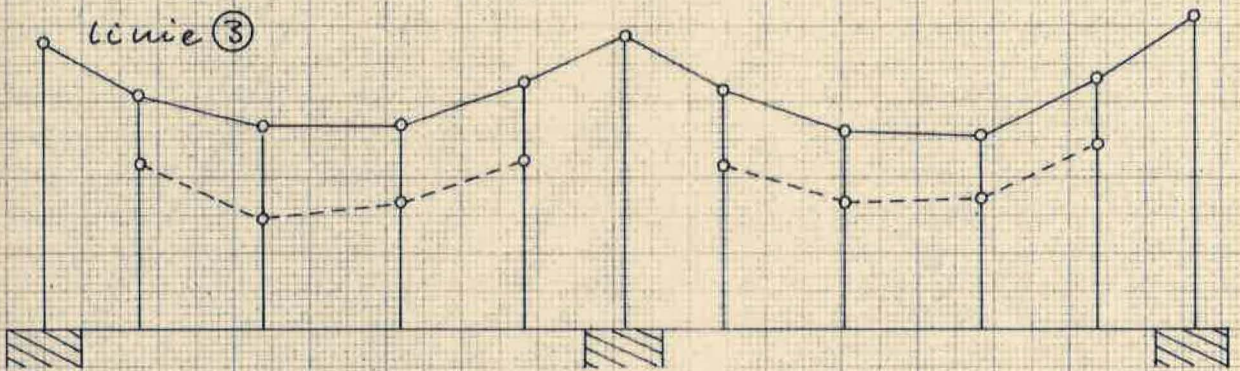


Bild 5.22 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.2.2

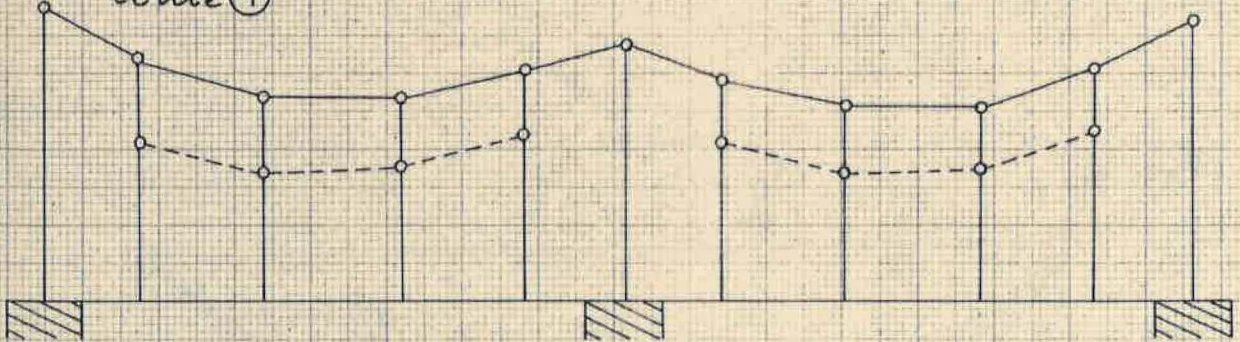
Linie ②



Linie ③



Linie ④



• Meßwerte , $1\text{cm} = 0,1\%$ Dehnung

Bild 5.23: Dehnungsverteilung für Versuch 5.2.2

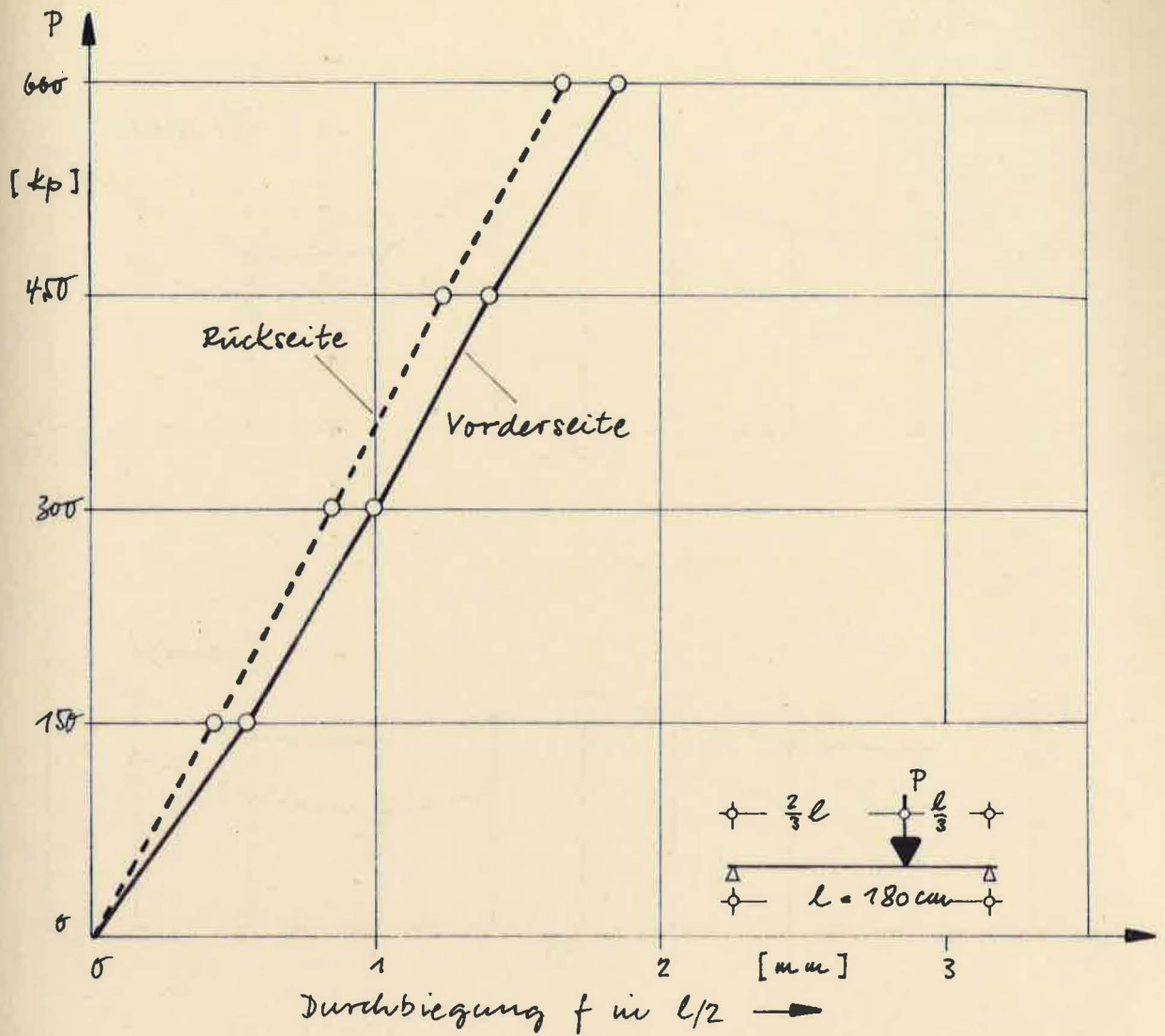


Bild 5.24 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.2.3

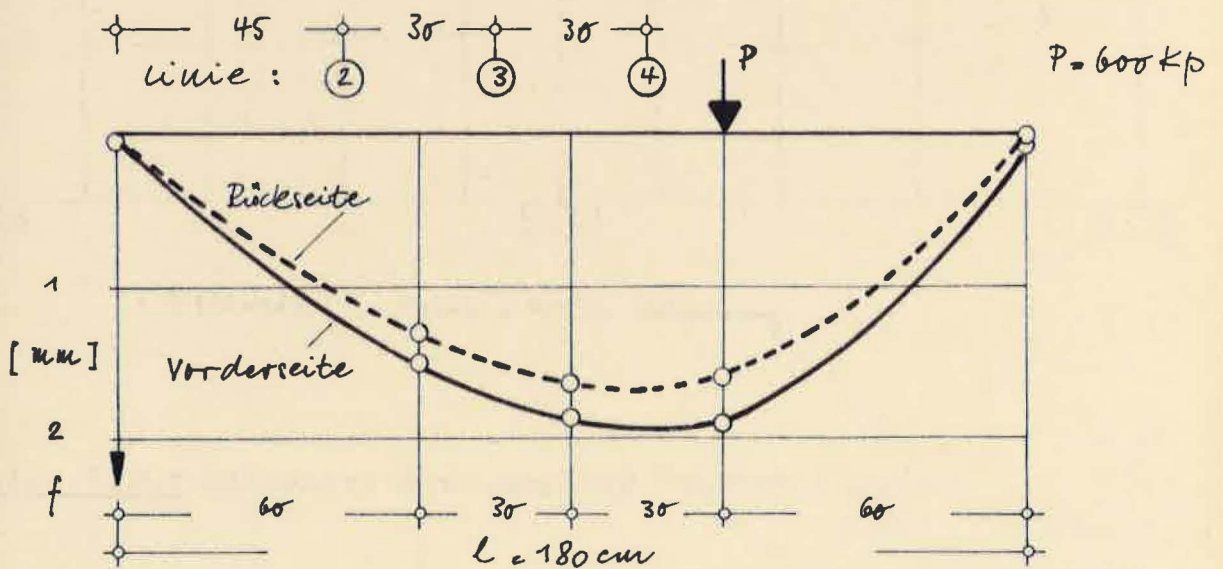
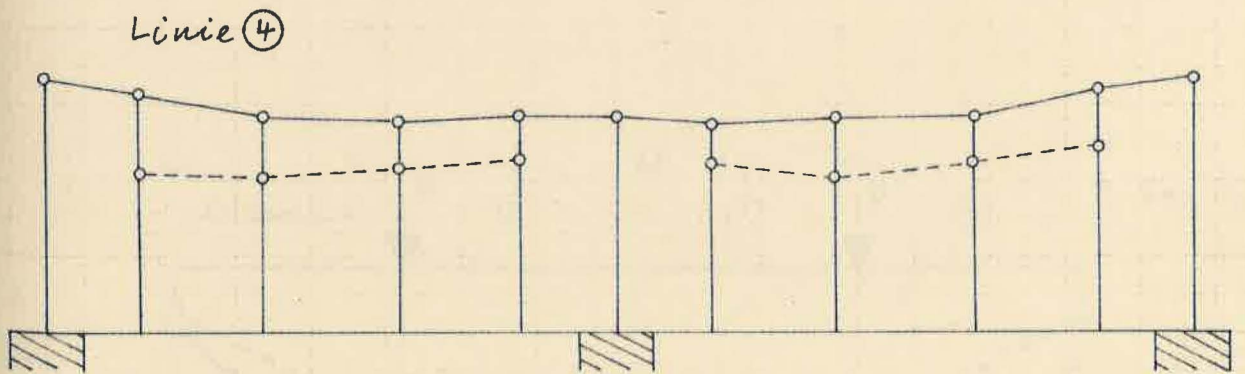
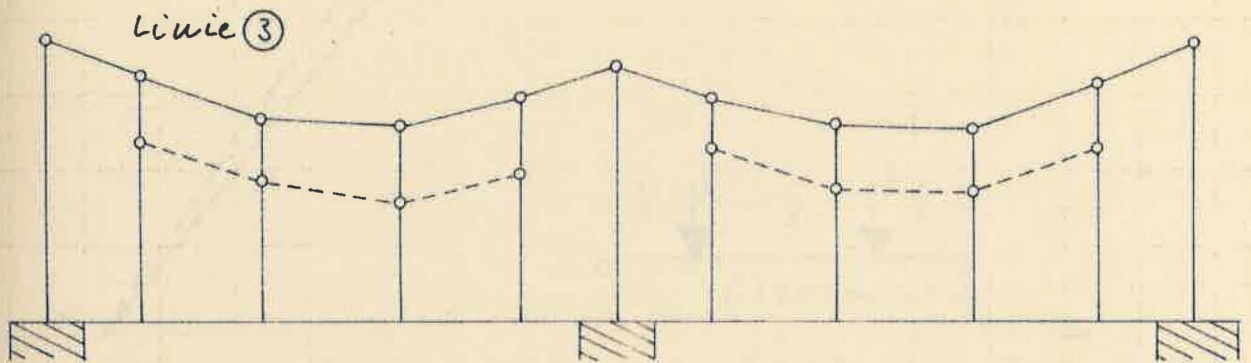
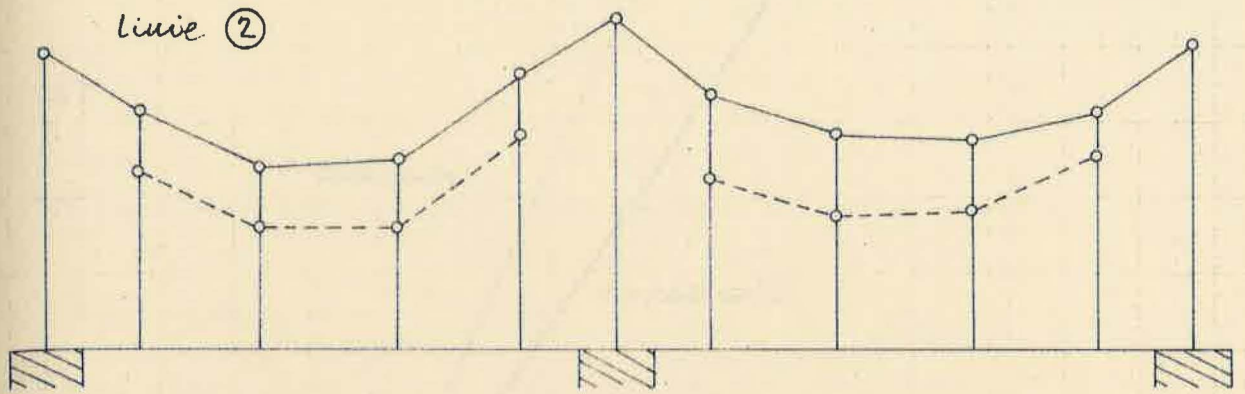


Bild 5.25 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.2.3



o Meßwerte, 1cm = 0,1‰ Dehnung

Bild 5.26: Dehnungsverteilung für Versuch 5.2.3

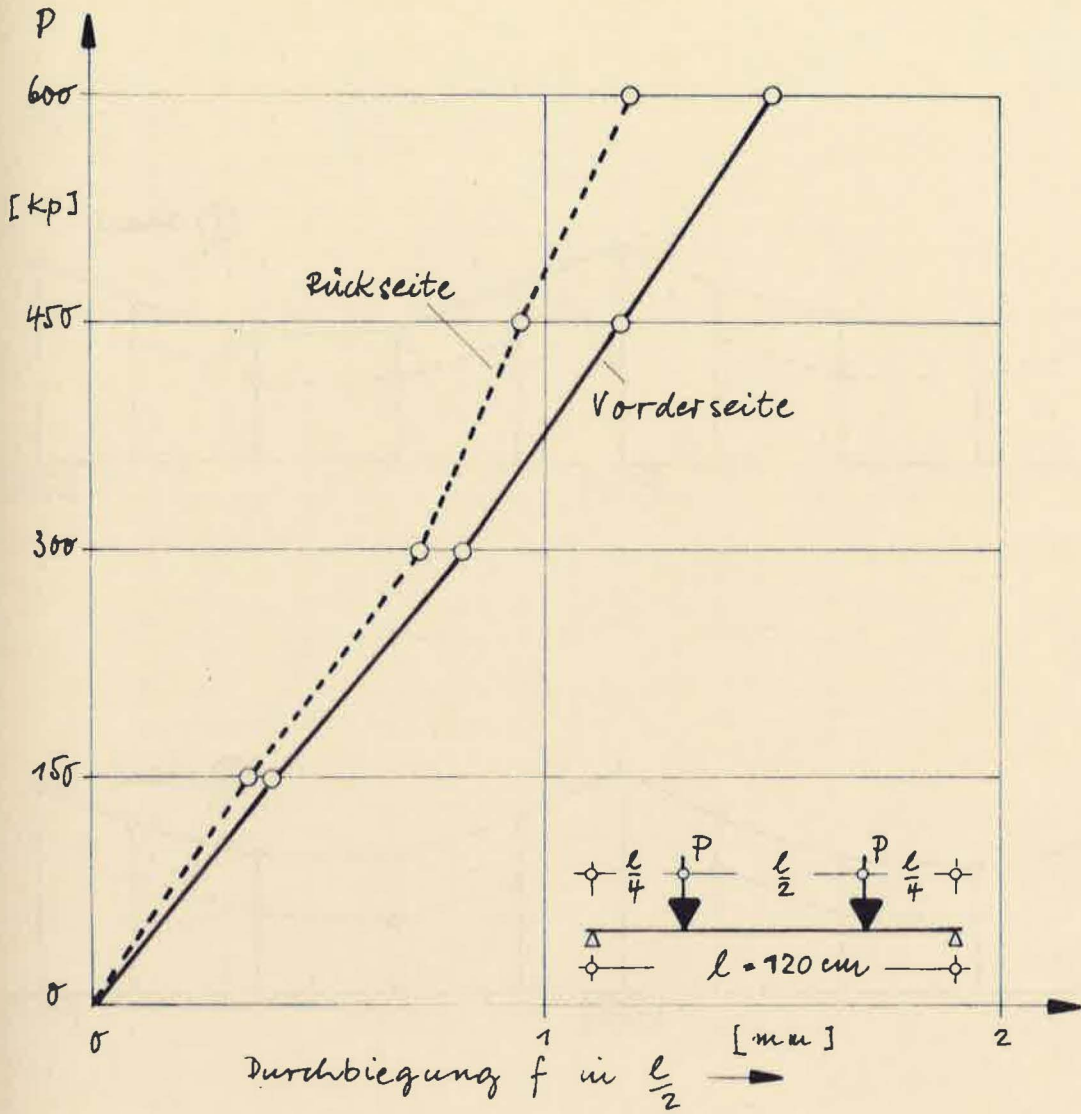


Bild 5.27 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.3.1

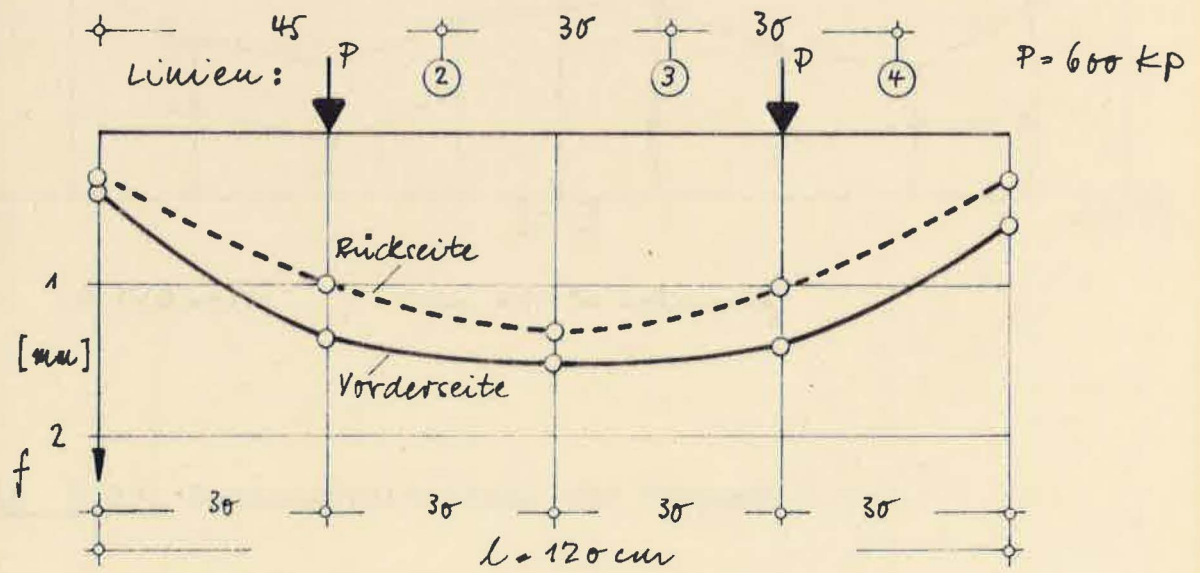
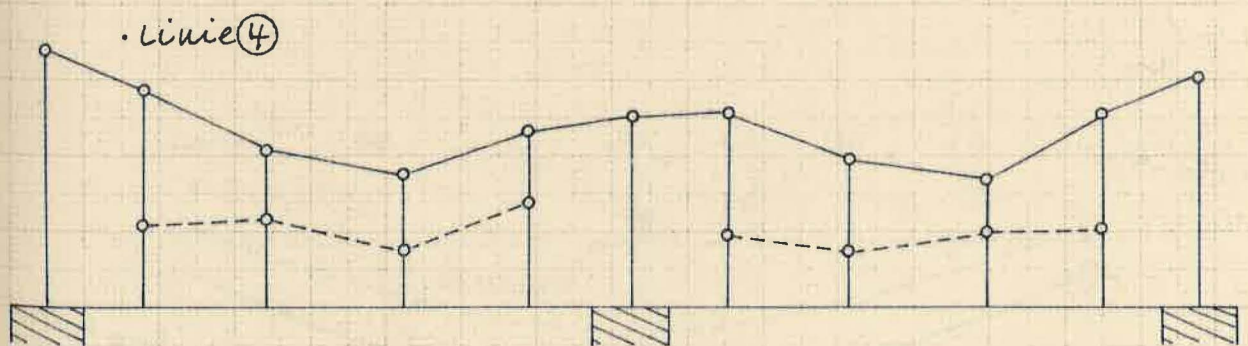
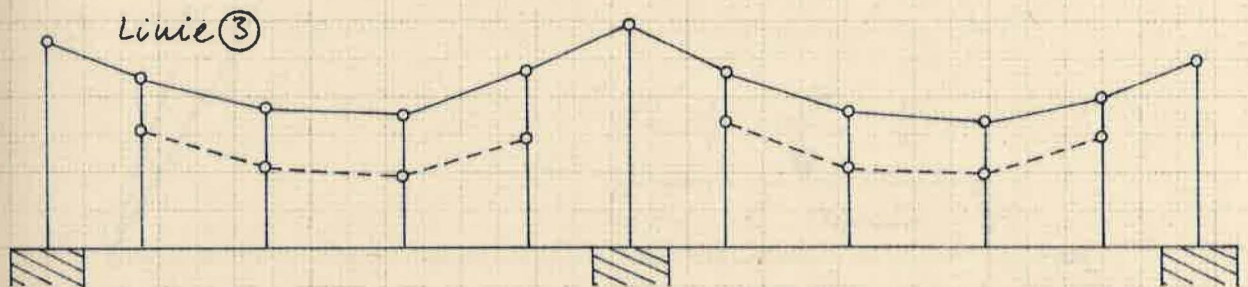
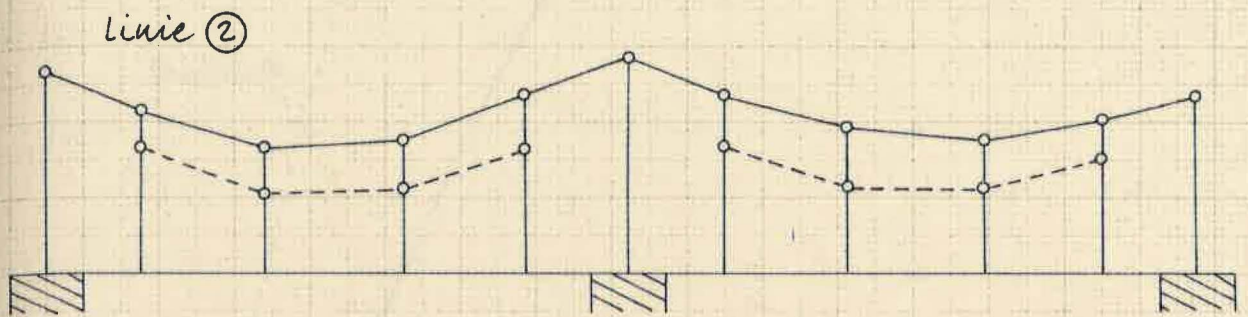


Bild 5.28 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.3.1



o Meßwerte , 1cm = 0,1% Dehnung

Bild 5.29: Dehnungsverteilung für Versuch 5.3.1

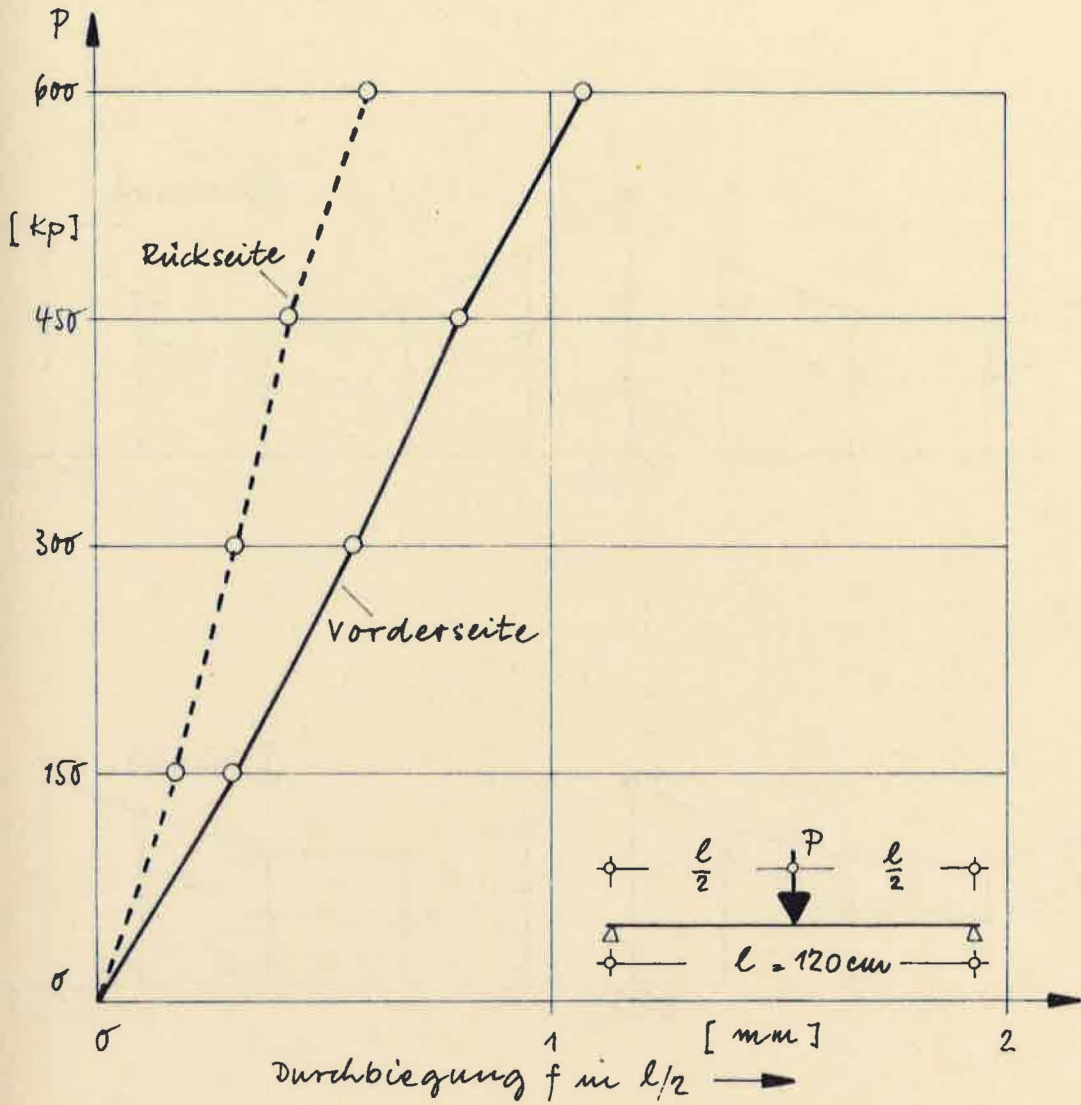


Bild 5.30 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.3.2

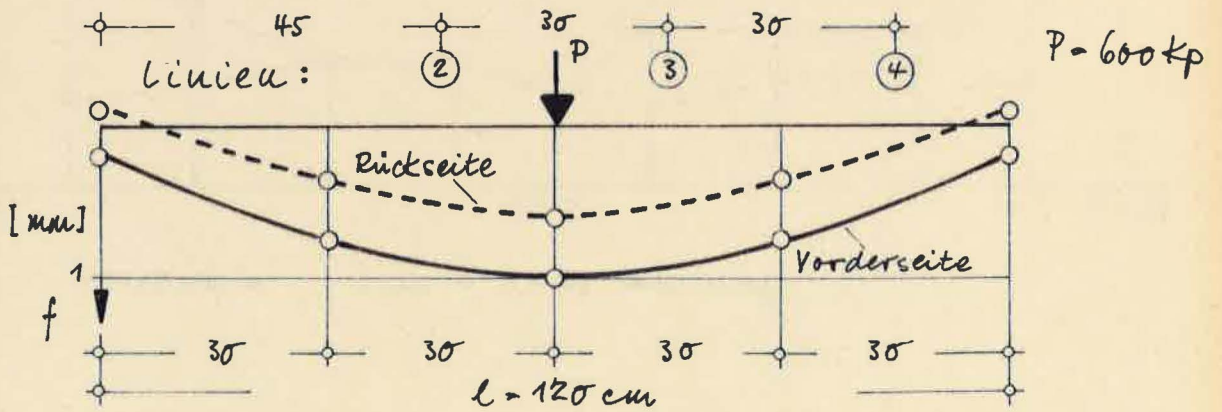
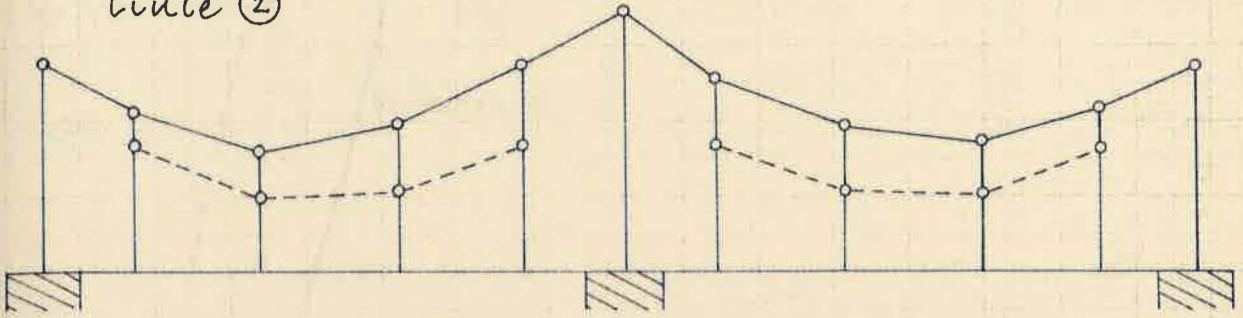
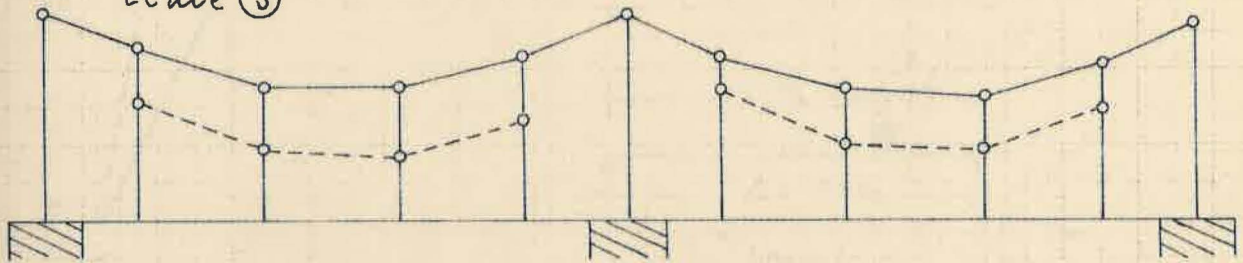


Bild 5.31 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.3.2

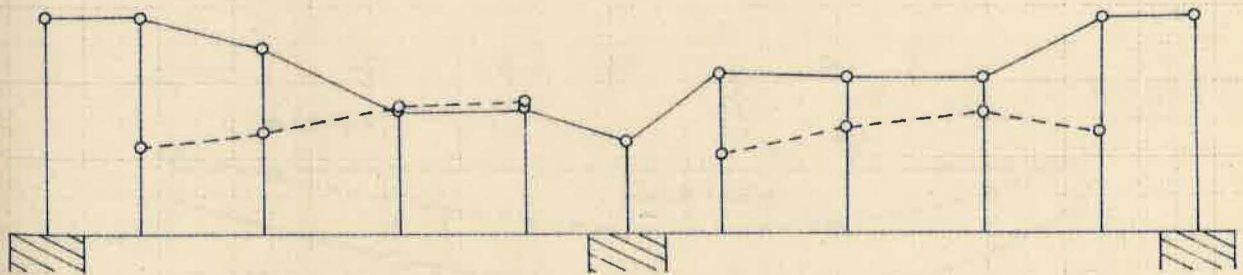
Linie ②



Linie ③



Linie ④



o Meßwerte , 1cm = 0,1‰ Dehnung

Bild 5.32: Dehnungsverteilung für Versuch 5.3.2

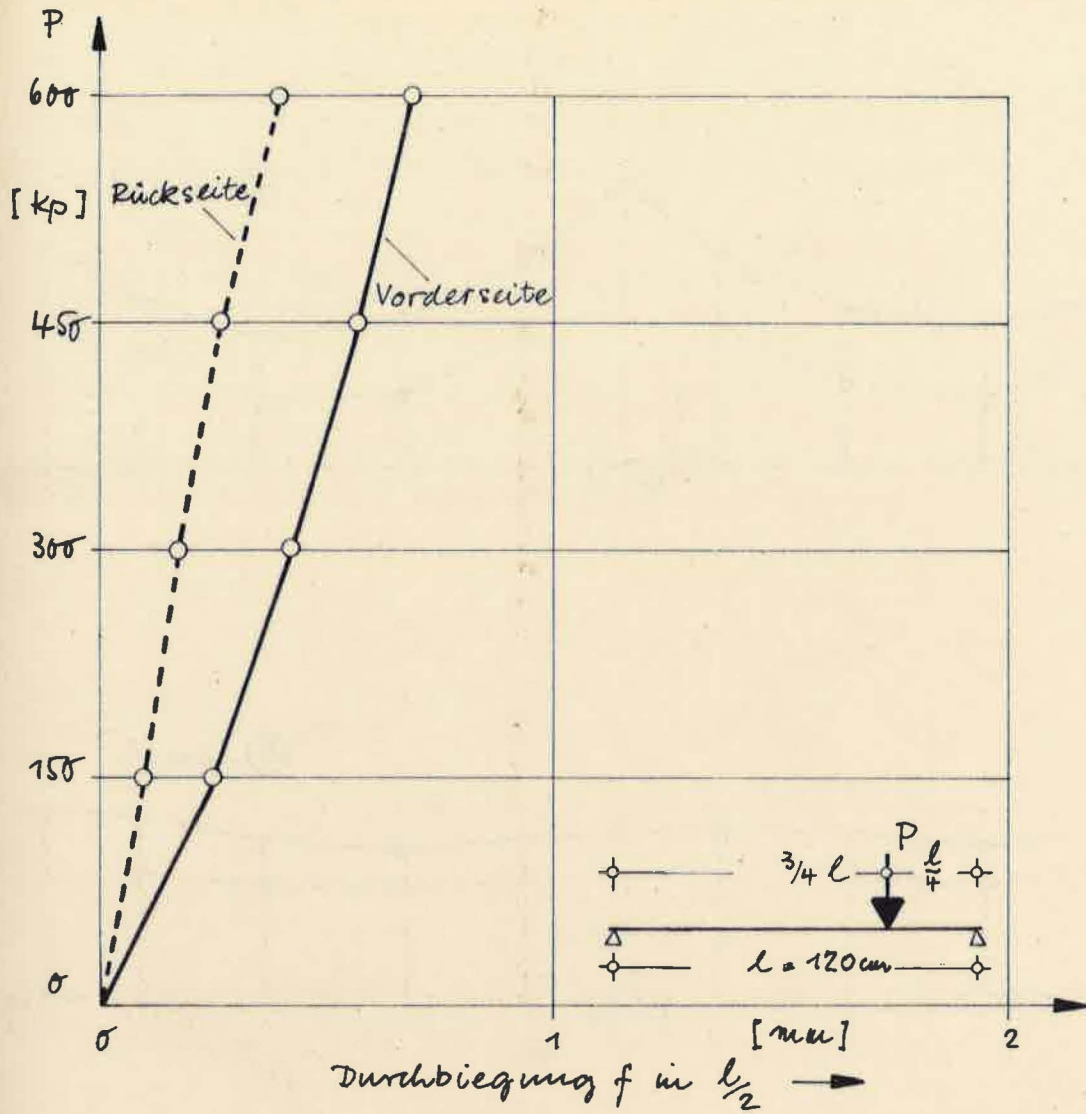


Bild 5.33 : Lastdurchbiegungslinien für Versuch 5.3.3

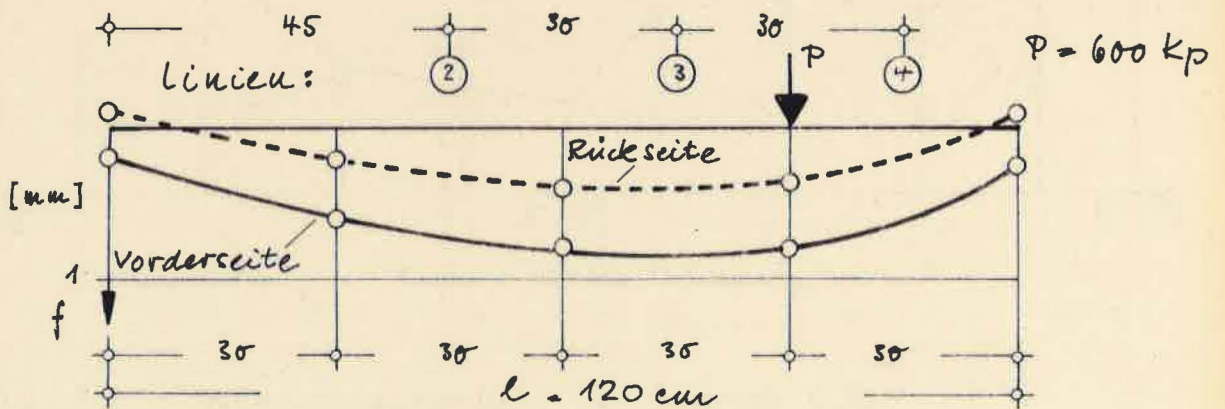
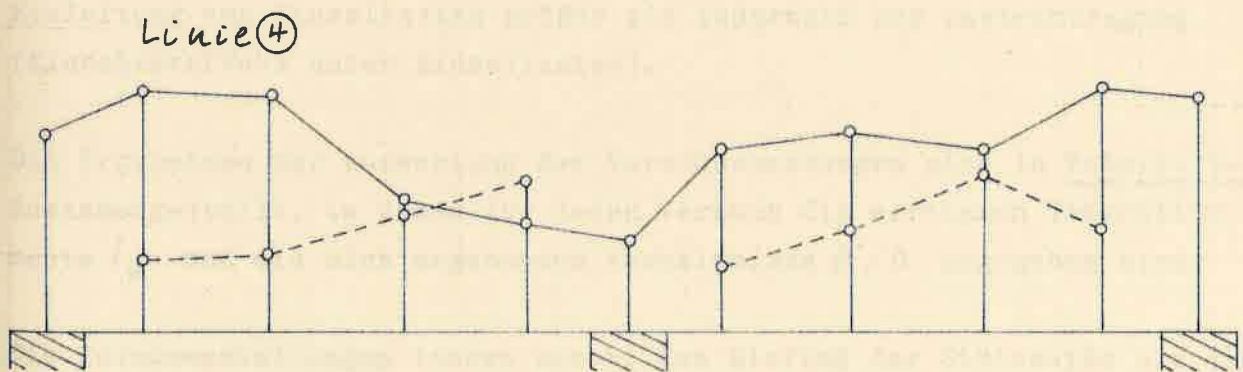
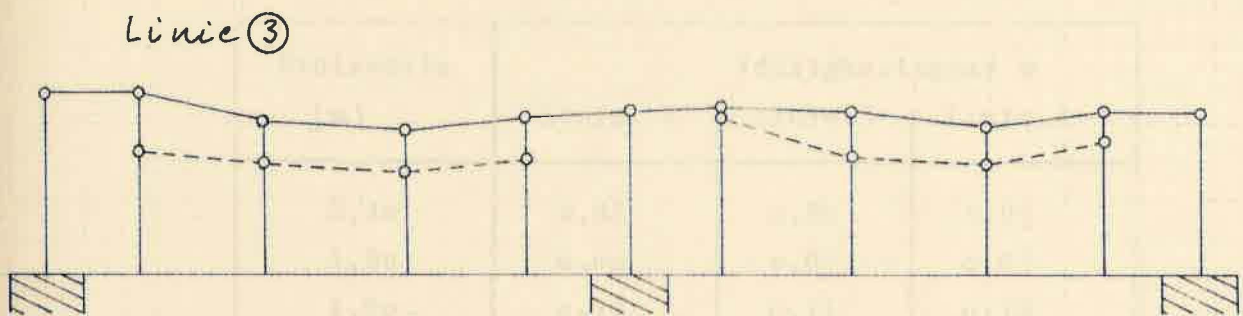
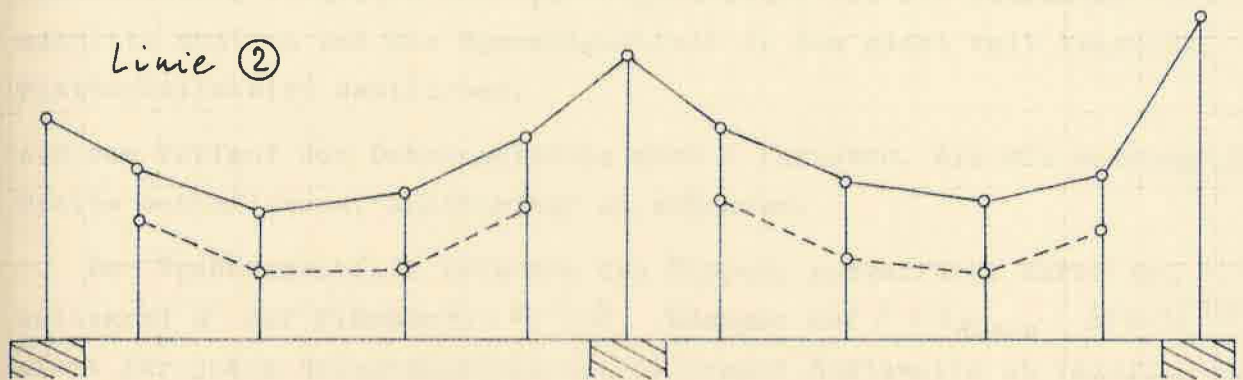


Bild 5.34 : Durchbiegungslinien für Versuch 5.3.3



• Meßwerte, $1\text{mm} = 0,1\%$ Dehnung

Bild 5.35: Dehnungsverteilung für Versuch 5.3.3

wobei M_i das an der Meßstelle vorhandene, rechnerische Biegemoment bei der jeweiligen Lastanordnung bedeutet. Durch diese Darstellung ist ein unmittelbarer Vergleich des Spannungsverlaufs für die einzelnen Querschnitte möglich und der Spannungsabfall in den nicht voll tragenden Plattenteilen wird deutlicher.

Aus dem Verlauf der Dehnungslinien sind 2 Faktoren, die die mittragende Breite beeinflussen, unmittelbar zu erkennen:

1. Der Spannungsabfall zwischen den Rippen, ausgedrückt durch den Völligkeitsgrad α der Flächen $F_1 = \epsilon_1 \cdot b$ bezogen auf $F = \epsilon_{Rippe} \cdot \text{Breite } B$ nimmt für jeden Belastungsfall mit fallender Stützweite ab (Einfluß b/L). Für den Lastfall: 2P ergeben sich die in Tabelle 5.5 zusammengestellten Werte.

Tabelle 5.5: Völligkeitsgrad α für Lastfall 2 P

Stützweite [m]	Völligkeitsgrad α		
	Linie 2	Linie 3	Linie 4
2,40	0,85	0,88	0,95
1,80	0,80	0,83	0,83
1,20	0,79	0,71	0,79

2. Der Abfall der Dehnungen zwischen den Rippen ist im Bereich der Einleitung von Einzellasten größer als außerhalb der Lasteintragung (Einschnüreffekt unter Einzellasten).

Die Ergebnisse der Auswertung der Versuchsmessungen sind in Tabelle 5.6u.5.7 zusammengestellt, in denen für jeden Versuch die wirksamen Trägheitsmomente I_W und die sich ergebenden Verhältnisse b'/b angegeben sind.

Die Zusammenstellungen lassen sowohl den Einfluß der Stützweite als auch des Lastangriffsbereiches deutlich erkennen. Bei der Stützweite von 120 cm war der Unterschied zwischen den I_W und b'/b -Werten aus den Durchbiegungs- und Dehnungsmessungen besonders groß.

Um über den Verlauf der mittragenden Breite über die gesamte Elementlänge genaueren Einblick zu bekommen, wurde auf theoretischem Weg dieser Verlauf für die in den Versuchen erfaßten Fälle berechnet und die maßgebenden Werte miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind im Abschnitt 6 aufgenommen.

Tabelle 5.6: Trägheitsmomente I_w und Verhältnisse b'/b aus den Durchbiegungsmessungen

Belastungsfall und Meßstelle	Stützweite l [cm]	Meßstelle 1 F_{W1} [cm ⁴] b_1/b	Meßstelle 2 F_{W2} [cm ⁴] b_2/b	Meßstelle 3 F_{W3} [cm ⁴] b_3/b	Mittel F_W [cm ⁴] b'/b
	240	3974 0,72	4149 0,77	3985 0,72	4036 0,73
	180	3560 0,59	3864 0,68	3574 0,60	3666 0,63
	120	2739 0,35	2992 0,43	2599 0,31	2777 0,36
	240	4249 0,80	4138 0,76	4308 0,81	4232 0,79
	180	3779 0,66	3574 0,60	3726 0,64	3693 0,63
	120	2221 0,20	2778 0,36	2144 0,18	2381 0,25
	240	3852 0,68	4212 0,79	4355 0,83	4140 0,76
	180	3342 0,53	3621 0,61	3742 0,65	3568 0,60
	120	2455 0,27	3031 0,44	3150 0,47	2879 0,39

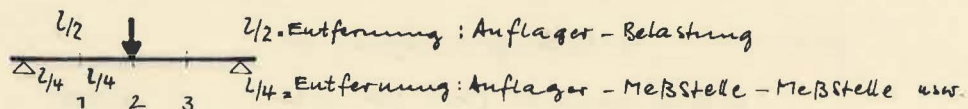
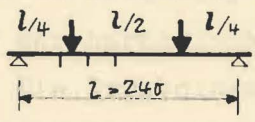
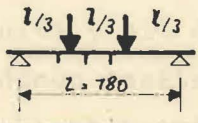
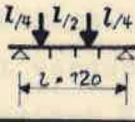
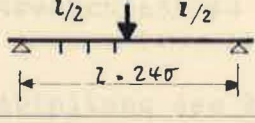
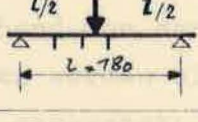
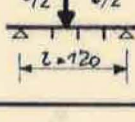
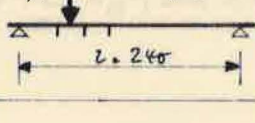
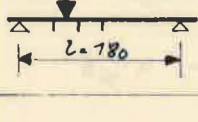
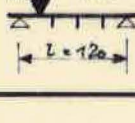
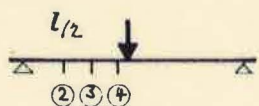


Tabelle 5.7: Trägheitsmomente I_w und Verhältnisse b'/b aus den Dehnungsmessungen

Belastungsfall und Meß - Linien ②-④	Stützweite l [cm]	Linie ② I_w [cm ⁴] b'/b	Linie ③ I_w [cm ⁴] b'/b	Linie ④ I_w [cm ⁴] b'/b	Mittel I_w [cm ⁴] b'/b
	240	3700 0,64	3898 0,69	4181 0,78	3926 0,70
	180	3610 0,61	3835 0,67	3666 0,63	3704 0,64
	120	3414 0,55	3293 0,52	2984 0,43	3230 0,50
	240	4639 0,91	4195 0,78	3662 0,62	4165 0,77
	180	4256 0,80	3413 0,55	3680 0,63	3783 0,66
	120	2979 0,42	3324 0,52	3840 0,68	3381 0,54
	240	3495 0,58	3657 0,62	4237 0,79	3796 0,66
	180	3248 0,50	3731 0,64	4204 0,78	3729 0,64
	120	2453 0,27	4074 0,74	3977 0,72	3501 0,58



$l/2$ = Entfernung: Auflager - Belastung
Lage der Meß - Linien ② ③ ④

6. Rechnerische Untersuchung der mittragenden Breite bei beliebig verteilter Belastung und Vergleich mit den Ergebnissen der Hauptversuche nach Abschnitt 5

6.1 Zweck der Untersuchung

Wie in Abschnitt 2 bereits dargelegt, sind bei Einzellasten Abweichungen der mittragenden Breite gegenüber den aus Gl. (2.4) sich ergebenden Werten zu erwarten, da der wirkliche Momentenverlauf mit dem ersten Glied der harmonischen Reihe nicht mehr genau genug angenähert werden kann. Die Ergebnisse der Hauptversuche haben dies deutlich gezeigt. Es war daher der Zweck der rechnerischen Untersuchung, die Ergebnisse nach Abschnitt 5 mit den Werten zu vergleichen, die sich rechnerisch aus verschiedenen Ansätzen mit vereinfachenden Annahmen ergeben. Besonderer Wert wurde hierbei auf die nicht gleichmäßig verteilte und auch unsymmetrisch zur Trägermitte aufgebrachte Belastung gelegt. Schließlich sollte festgestellt werden, welche Werte für die mittragende Breite bei Elementen mit normgemäßen Werkstoffkennwerten bei Einzellasten gegenüber den Werten für Streckenlast zu berücksichtigen sind.

6.2 Ableitung des Rechenverfahrens

Ausgehend von den gleichen vereinfachenden Annahmen, wie sie in [1] getroffen worden sind, wird hier die Spannungsfunktion für die Platte wie folgt angesetzt:

$$F(x,y) = \sum_{m=1}^M A_m \cdot [\text{Cosh}(\lambda_1 \cdot k_m \cdot x) + q_m \cdot \text{Cosh}(\lambda_2 \cdot k_m \cdot x)] \cdot \sin(k_m \cdot y) \quad (6.1)$$

$$\text{mit: } k_m = \frac{m \cdot \pi}{L} \quad \text{und} \quad q_m = - \frac{\text{Cosh } \alpha_{1m}}{\text{Cosh } \alpha_{2m}}$$

Außerdem bedeuten, wie in Abschnitt 2 :

$$\alpha_{1m} = \lambda_1 \cdot k_m \cdot \frac{b}{2} ; \quad \alpha_{2m} = \lambda_2 \cdot k_m \cdot \frac{b}{2}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{a_s + \sqrt{a_s^2 - c_s}} ; \quad \lambda_2 = \sqrt{a_s - \sqrt{a_s^2 - c_s}}$$

$$a_s = \frac{E_y}{2G} - \mu_{xy} ; \quad c_s = \frac{E_y}{E_x}$$

Dabei werden die in Bild 6.1 angegebenen Bezeichnungen zugrunde gelegt.

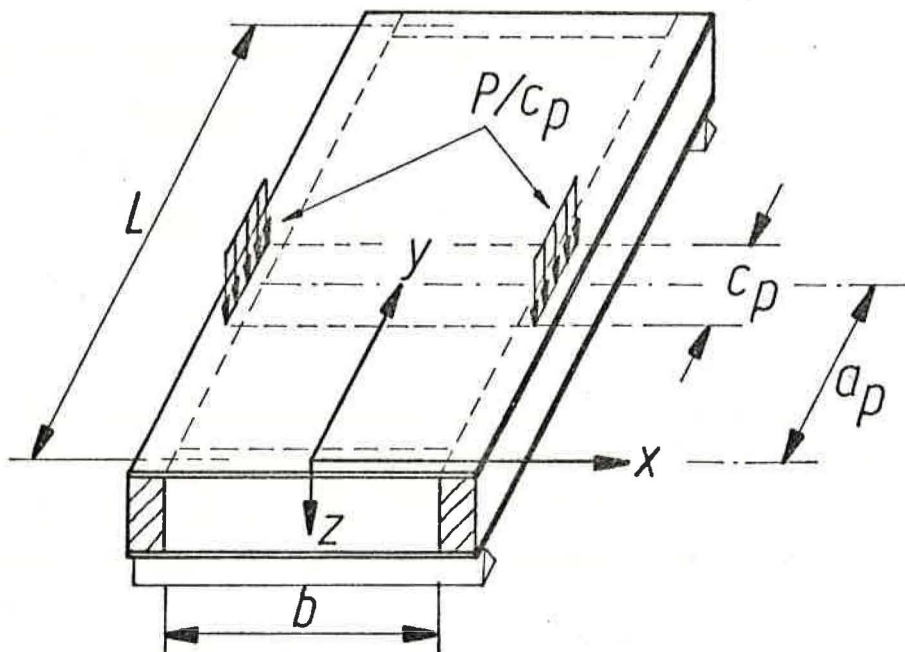


Bild 6.1 Bezeichnungen am Element mit Einzellasten.

Mit dieser Spannungsfunktion lassen sich die Scheibengleichung für orthotrope Scheiben sowie folgende Randbedingungen erfüllen:

$$a) \quad \text{in } y = 0 \quad \text{und } y = l : \epsilon_x = 0 \quad \text{und } \sigma_y = 0$$

$$b) \quad \text{in } x = \pm b/2 : \sigma_x = 0$$

Die Randbedingung $\epsilon_{y \text{ Platte}} = \epsilon_{y \text{ Längsrippe}}$ in $x = \pm b/2$ ließe sich nun nur exakt erfüllen, wenn erstens die Spannungsfunktion durch ein weiteres Glied

$$C_m \cdot x \cdot \text{Sinh}(\lambda_3 \cdot k_m \cdot x) \cdot \sin(k_m \cdot y) \quad (6.2)$$

ergänzt würde und zweitens die Steifigkeit der Längsrippen sowie die Biegemomentenverteilung über die Integrationskonstanten A_m und C_m nach dem in [4] aufgezeigten Verfahren in die Berechnung mit einbezogen wird.

In dem hier angewandten Näherungsverfahren wird nun die Randbedingung $\epsilon_{y \text{ Platte}} = \epsilon_{y \text{ Längsrippe}}$ in $x = \pm b/2$ ersetzt durch die Bedingung

$$Q(y) = C_Q \cdot \tau_{xy} \Big|_{x = \pm b/2} \quad (6.3)$$

wobei $Q(y)$ die Querkraftlinie aus der äußeren Belastung darstellt und τ_{xy} die Schubspannung in der Scheibe in $x = \pm b/2$. Da hier nur die Verhältnisse der voll mittragenden Breite b' zum lichten Rippenabstand b berechnet werden sollen, kann der Proportionalitätsfaktor $C_Q = 1$ gesetzt werden.

Aus der Scheibengleichung ergibt sich:

$$\tau_{xy} = -\frac{\delta^2 F}{\delta x \cdot \delta y} = -\sum_{m=1}^M [A_m \cdot k_m^2 \cdot S_m \cdot \cos(k_m \cdot y)] \quad \text{für } x = \pm b/2 \quad (6.4)$$

$$\text{mit } S_m = \lambda_1 \cdot \text{Sinh } \alpha_{1m} + q_m \cdot \lambda_2 \cdot \text{Sinh } \alpha_{2m}$$

Wird die Querkraftlinie $Q(y)$ in eine gerade trigonometrische Reihe der Form

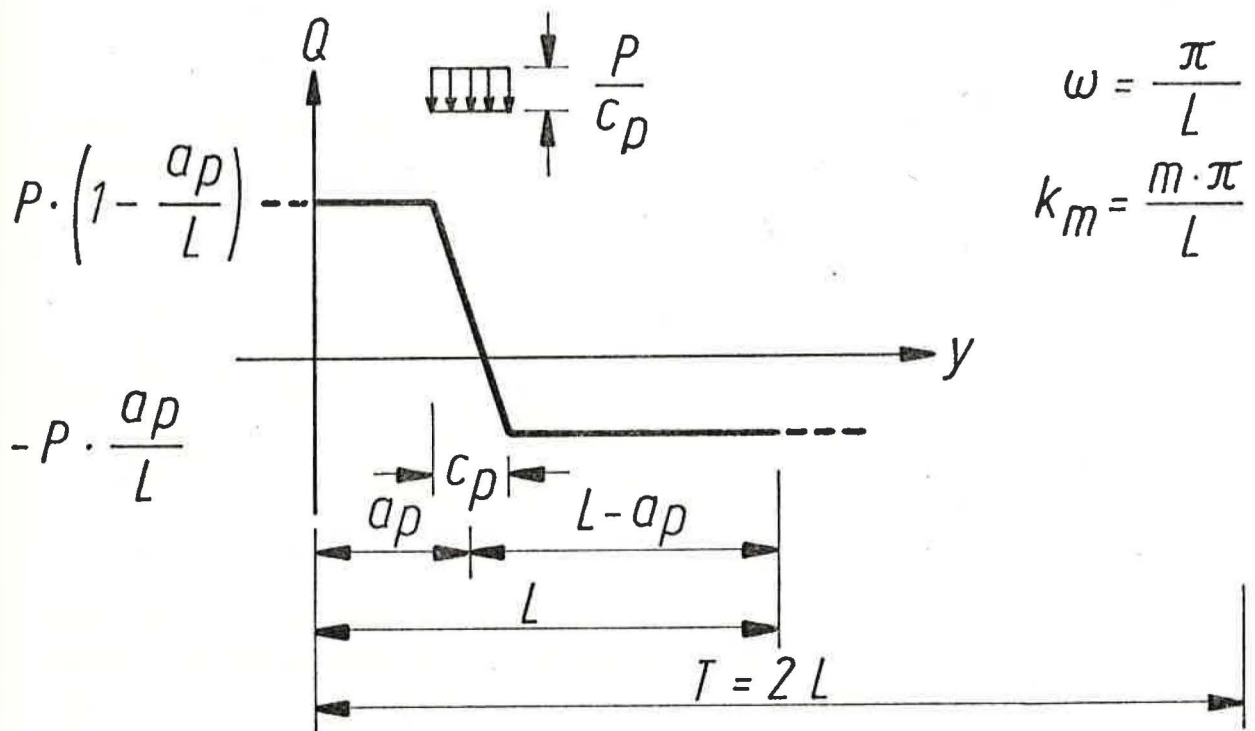
$$Q(y) = \sum_{m=1}^M [a_m \cdot \cos(k_m \cdot y)] \quad (6.5)$$

entwickelt, können die Integrationskoeffizienten A_m mit Hilfe der Beziehung

$$A_m = - \frac{a_m}{k_m^2 \cdot S_m} \quad (6.6)$$

durch die Fourierkoeffizienten der Reihenentwicklung ausgedrückt werden.

Die Querkraftlinie wird in folgender Form angesetzt:



Als Fourierkoeffizienten ergeben sich dann:

$$a_m = \frac{2 \cdot P}{k_m^2 \cdot c_p \cdot L} \cdot \left[\cos\left\{k_m \cdot \left(a_p - \frac{c_p}{2}\right)\right\} - \cos\left\{k_m \cdot \left(a_p + \frac{c_p}{2}\right)\right\} \right] \quad (6.7)$$

Mit diesen Koeffizienten a_m erhält man dann die Spannungsfunktion zu:

$$F(x,y) = - \sum_{m=1}^M \left[\frac{a_m}{k_m^2 \cdot S_m} \cdot \{ \cosh(\lambda_1 \cdot k_m \cdot x) + q_m \cdot \cosh(\lambda_2 \cdot k_m \cdot x) \} \cdot \sin(k_m \cdot y) \right] \quad (6.8)$$

Das Verhältnis b'/b errechnet sich entsprechend dem Verfahren in [1] zu:

$$\frac{b'}{b} = \frac{\sum_{m=1}^M \left[A_m \cdot k_m^2 \cdot \left(\frac{\lambda_1^2}{\alpha_{1m}} \cdot \sinh \alpha_{1m} + q_m \cdot \frac{\lambda_2^2}{\alpha_{2m}} \cdot \sinh \alpha_{2m} \right) \cdot \sin(k_m \cdot y) \right]}{\sum_{m=1}^M \left[A_m \cdot k_m^2 \cdot \left(\lambda_1^2 \cdot \cosh \alpha_{1m} + q_m \cdot \lambda_2^2 \cdot \cosh \alpha_{2m} \right) \cdot \sin(k_m \cdot y) \right]} \quad (6.9)$$

Diese Gleichung läßt sich nach einigen Umformungen auf folgende schneller auswertbare Form bringen:

$$\frac{b'}{b} = \frac{\sum_{m=1}^M \left[a_m \cdot \frac{2}{k_m \cdot b} \cdot \sin(k_m \cdot y) \right]}{\sum_{m=1}^M \left[a_m \cdot \frac{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}{\lambda_1 \cdot \tanh \alpha_{1m} - \lambda_2 \cdot \tanh \alpha_{2m}} \cdot \sin(k_m \cdot y) \right]} \quad (6.10)$$

Faßt man eine beliebig verteilte Belastung des Tafелеlementes als Summe endlich vieler Einzellasten mit jeweils entsprechender Verteilungslänge auf, so läßt sich hiermit die mittragende Breite für jede beliebige Lastverteilung an theoretisch jeder Stelle y bestimmen.

$$\text{ges } Q = \sum_{i=1}^I Q_i = \sum_{m=1}^M \left\{ \left[\sum_{i=1}^I a_{m,i} \right] \cdot \cos(k_m \cdot y) \right\} \quad (6.11)$$

Nach diesen Gleichungen wurde ein Fortran-Programm aufgestellt, das mit bis zu $M = 200$ Gliedern und bis zu $I = 10$ Einzellasten und beliebigen Eingabeparametern die Verhältnisse b'/b an mindestens 20 Plattenstellen y berechnet.

6.3 Grenzen des angewandten Verfahrens

Durch die angenommene Randbedingung $Q(y) \sim \tau_{xy} \Big|_{x=\pm b/2}$

wird der Einfluß der Steifigkeit der Längsrippen vernachlässigt. Diese bedingt eine Verteilung von τ_{xy} am Scheibenrand, die nicht mehr proportional der Querkraftlinie aus der äußeren Belastung verläuft. Wie sich zeigen läßt, wird jedoch die Differenz zwischen der tatsächlichen Verteilung der mittragenden Breite und der errechneten mindestens im Bereich des maximalen Biegemoments hinreichend klein, sofern die Lasteintragslänge C_p geeignet gewählt wird.

Wie noch nachgewiesen wird, erhält man genügend genaue Ergebnisse, wenn für C_p die tatsächliche Lasteintragslänge zuzüglich etwa der doppelten Elementhöhe eingesetzt wird. Dies gilt, solange die Last nicht zu nahe am Auflager steht ($a_p \cong b$; $a_p \cong L - b$).

Damit wird gleichzeitig der Einfluß der Steifigkeit der Längsrippen angenähert erfaßt.

Der Einfluß der Lastverteilungslänge am Auflager (Auflagerlänge) konnte hier nicht berücksichtigt werden. Die Querkraft müßte am Elementende gleich Null gesetzt werden, entsprechend auch τ_{xy} am Scheibenende. Dies steht jedoch im Widerspruch zur angesetzten Spannungsfunktion $F(x,y)$, nach der τ_{xy} am Scheibenende ($y = 0$; $y = L$) nie konstant gleich Null werden kann. In[4] wird dies treffend als „Schönheitsfehler“ der Theorie bezeichnet. Danach kann also das Verhältnis b'/b im Bereich der Scheibenenden nicht bestimmt werden. Dies zeigte sich auch eindeutig bei einer Proberechnung, in der die Lasteintragsverhältnisse in den Auflagerbereichen mit berücksichtigt wurden.

Dieser unbekanntes Verlauf der mittragenden Breite in den Auflagerbereichen muß jedoch in der Praxis nicht als störend angesehen werden, da die Biegemomente hier auf Null abklingen und dementsprechend auch die Normalspannungen σ_y in der Scheibe sehr klein werden gegenüber der Stelle, an der das Maximalmoment auftritt.

6.4 Vergleich der rechnerisch und versuchsmäßig ermittelten mittragenden Breiten

Mit den im Versuch nach Abschnitt 5 gegebenen Parametern wurden die mittragenden Breiten berechnet. Mit Hilfe der Variation der Lasteintragungslängen C_p ergaben sich verschiedene b' , deren beste Näherung an die gemessenen b' in Tabelle 6.1 bestimmt wird. Es soll damit das optimale C_p gefunden werden.

6.5 Diskussion des Ergebnisses und Schlußfolgerung

Wie aus den in der Tabelle 6.1 angegebenen Variationskoeffizienten hervorgeht, ergibt sich die beste Näherung an die Meßwerte, wenn C_p in der Rechnung gleich 26 cm gesetzt wird. Die Näherung ist für $C_p = 24 \text{ cm}$ nur unbedeutend schlechter. Es kann also festgestellt werden, daß für eine Näherungsrechnung nach dem in 6.2 beschriebenen Verfahren C_p gleich der doppelten Elementhöhe plus der Lastaufstandslänge gesetzt werden kann. Die rechnerische Verteilung von b'/b für $C_p = 24 \text{ cm}$ ist zusammen mit den Meßwerten in Bild 6.2 bis 6.4 aufgetragen. Hieraus und aus der in Tabelle 6.1 erkennbaren Abhängigkeit des Verhältnisses b'/b von C_p sowie der Tatsache, daß mit wachsendem C_p die für einen Spannungsnachweis maßgebende mittragende Breite an der Stelle des Maximalmomentes auch zunimmt, kann weiter gefolgert werden: Die Verteilungslänge darf nicht größer angenommen werden (als zwei mal Elementhöhe plus Lastaufstandslänge), da sonst die errechnete maßgebende mittragende Breite wahrscheinlich größer wird, als sie tatsächlich ist. Mit absoluter Sicherheit kann dies allerdings nicht gesagt werden, da an den Stellen der Maximalmomente keine Meßergebnisse vorliegen, und die Streuung der Meßergebnisse um die rechnerischen Werte im Mittel immer noch 11.8% beträgt.

6.6 Rechnerische mittragende Breite b' für Tafелеlemente aus Furnierplatten mit normgemäßen Werkstoffeigenschaften

Als Dehnwerte der Bepankung werden folgende Werte zugrunde gelegt:

$$\begin{aligned} E_{II} &= 70\,000 \text{ kp/cm}^2; & E_I &= 30\,000 \text{ kp/cm}^2 \\ G &= 5\,000 \text{ kp/cm}^2; & \mu_{xy} &= 0,1 \end{aligned}$$

Tabelle 6.1 : Vergleich der Werte b'/b nach Rechnung und Versuch

b/L	ap/L	cp [cm]	y ₁ /L	b'/b	b'/b	y ₂ /L	b'/b	b'/b	y ₃ /L	b'/b	b'/b	10 ⁴ · ΣΔ ² b'/b	V [%]
				Versuch	Red. nung		Versuch	Red. nung		Versuch	Red. nung		
0,1104	0,250	20	0,1875	0,58	0,635	0,3125	0,62	0,680	0,4375	0,79	0,895	177	14,2
		22			0,625			0,670			0,895	156	13,3
		24			0,620			0,665			0,895	147	12,9
		26			0,615			0,655			0,895	132	12,2
	0,500	20	0,1875	0,91	0,960	0,3125	0,78	0,910	0,4375	0,62	0,730	375	16,3
		22			0,960			0,905			0,725	292	15,7
		24			0,960			0,905			0,710	262	14,9
		26			0,955			0,905			0,705	249	14,5
	0,250 + 0,750	20	0,1875	0,64	0,700	0,3125	0,69	0,760	0,4375	0,78	0,925	295	17,3
		22			0,690			0,750			0,925	271	16,6
		24			0,680			0,735			0,925	247	15,8
		26			0,675			0,730			0,925	239	15,5
0,1472	0,333	20	0,2500	0,50	0,610	0,4167	0,64	0,640	0,5833	0,78	0,870	202	15,7
		22			0,600			0,635			0,865	173	14,5
		24			0,595			0,625			0,865	165	14,2
		26			0,585			0,620			0,865	149	13,5
	0,500	20	0,2500	0,80	0,855	0,4167	0,55	0,655	0,5833	0,63	0,655	147	13,0
		22			0,855			0,650			0,650	134	12,4
		24			0,855			0,645			0,645	123	11,9
		26			0,855			0,625			0,625	87	10,0
	0,333 + 0,667	20	0,2500	0,61	0,690	0,4167	0,67	0,720	0,5833	0,63	0,720	170	14,5
		22			0,685			0,720			0,720	162	14,2
		24			0,675			0,705			0,705	111	11,7
		26			0,670			0,690			0,690	76	9,7
0,2208	0,250	20	0,3750	(0,27)	0,500	0,6250	0,74	0,760	0,8750	0,72	0,845	689	(32,2)
		22			0,495			0,760			0,845	667	(31,7)
		24			0,490			0,760			0,845	644	(31,1)
		26			0,475			0,755			0,845	579	(29,5)
	0,500	20	0,3750	0,42	0,540	0,6250	0,52	0,540	0,8750	0,68	0,725	168	17,0
		22			0,530			0,530			0,725	142	15,6
		24			0,520			0,520			0,720	116	14,1
		26			0,510			0,510			0,720	98	13,0
	0,250 + 0,750	20	0,3750	0,55	0,580	0,6250	0,52	0,580	0,8750	0,43	0,480	70	11,8
		22			0,565			0,565			0,470	39	8,9
		24			0,555			0,555			0,455	19	6,1
		26			0,545			0,545			0,445	9	4,2

() Ausfallwerte

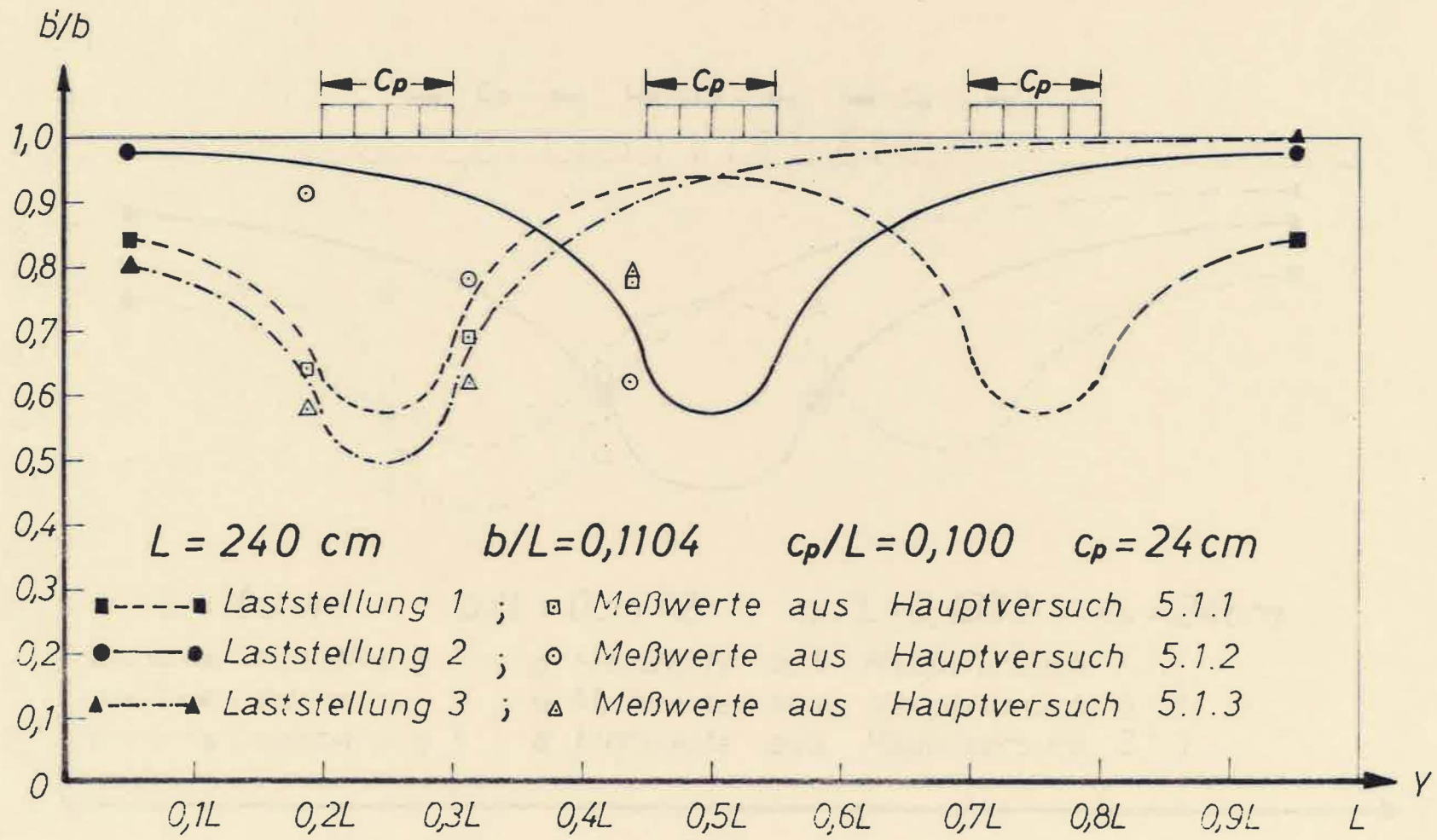


Bild 6.2 : Rechnerischer Verlauf und Meßwerte b'/b bei 3 Laststellungen für $L = 240 \text{ cm}$

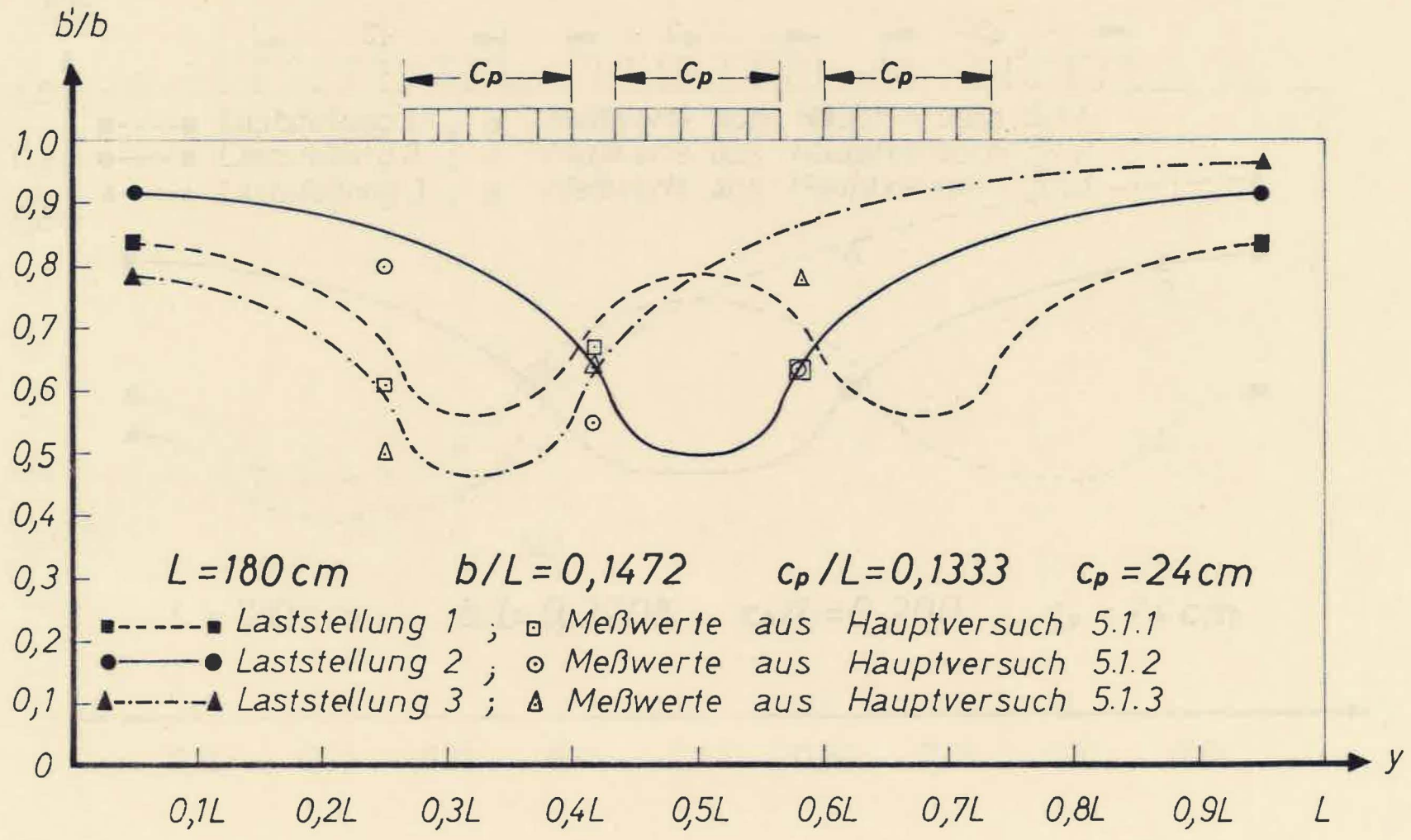


Bild 6.3 : Rechnerischer Verlauf und Meßwerte b'/b bei 3 Laststellungen für $L = 180 \text{ cm}$

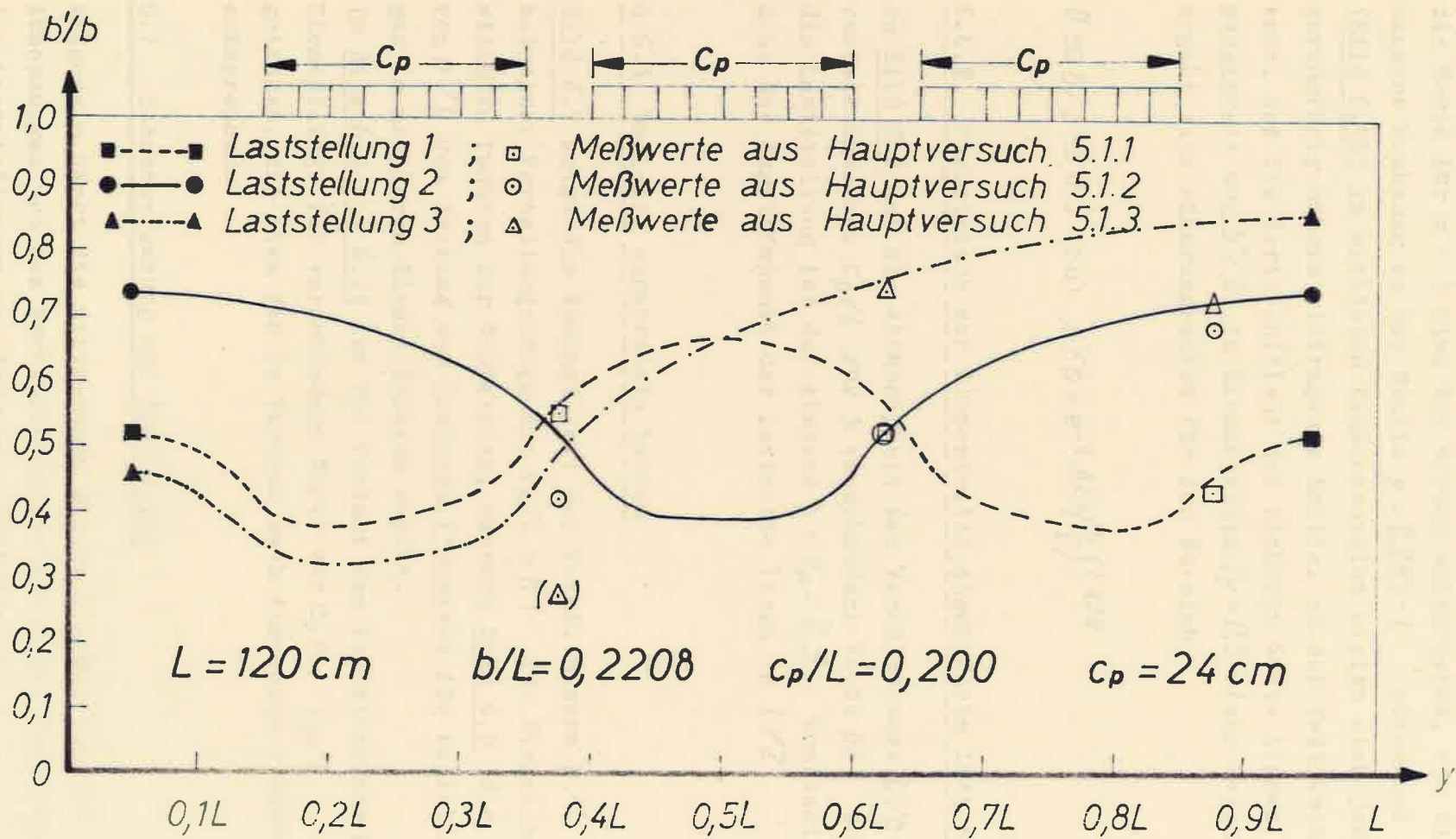


Bild 6.4 : Rechnerischer Verlauf und Meßwerte b'/b bei 3 Laststellungen für $L = 120 \text{ cm}$

6.6.1 Gleichmäßig über das ganze Tafелеlement verteilte Last

In Bild 6.5a ist die rechnerische Abhängigkeit des Verhältnisses b'/b von b/L aufgetragen. Im Vergleich zu den Werten in [1] zeigt sich, daß die Linien für $m = 1$ und $m = 100$ nahe beieinander liegen und die Werte für $m = 1$ etwa den Werten entsprechen, wie sie nach genauere Rechnung an der Stelle $y = 0,285 \cdot L$ errechnet werden.

(Bild 6.5b) Im mittleren Elementbereich ergibt sich jedoch eine geringfügig höhere mittragende Breite, so daß festgestellt werden kann, daß die Werte in [1] auf der sicheren Seite liegen. Die Abhängigkeit von b'/b in Elementmitte ($y = 0,5 \cdot L$) vom Verhältnis b/L ergibt sich näherungsweise für den Bereich

$$0 \leq b/L \leq 0,3 \quad \text{zu:} \quad b'/b = e^{-5,625 \left(\frac{b}{L}\right)^{1,828}} \quad (6.11)$$

6.6.2 Symmetrisch zur Elementmitte angeordnete Lasten

In Bild 6.6 ist die Abhängigkeit des Verhältnisses b'/b von der Lastverteilungslänge c_p/L für 3 verschiedene Werte b/L dargestellt. Für die Laststellung ist der Abstand $y = a_p = 0,5$ konstant angenommen, d.h. der Angriffspunkt der Lastmitte liegt in $L/2$.

6.6.3 Beliebige angeordnete Lasten

Bild 6.7 zeigt die Abhängigkeit des Verhältnisses b'/b von b/L bei einer Verteilungslänge von $c_p/L = 0,1$ für Einzellasten in bestimmten Punkten der Stützweite, während Bild 6.8 die Abhängigkeit von b'/b vom Abstand des Lastangriffpunktes für beliebige Laststellungen im mittleren Elementbereich angibt.

In Bild 6.9 bis 6.11 ist der Verlauf des Verhältnisses b'/b über die Elementlänge für verschiedene Werte von a_p/L , c_p/L und b/L aufgetragen, die etwa den im Versuch nach Abschnitt 5 überprüften Fällen entsprechen.

6.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Allgemein hängt die mittragende Breite b' außer von den geometrischen Abmessungen und den Werkstoffeigenschaften der Beplankungen bezüglich der Laststellungen von folgenden Faktoren ab:

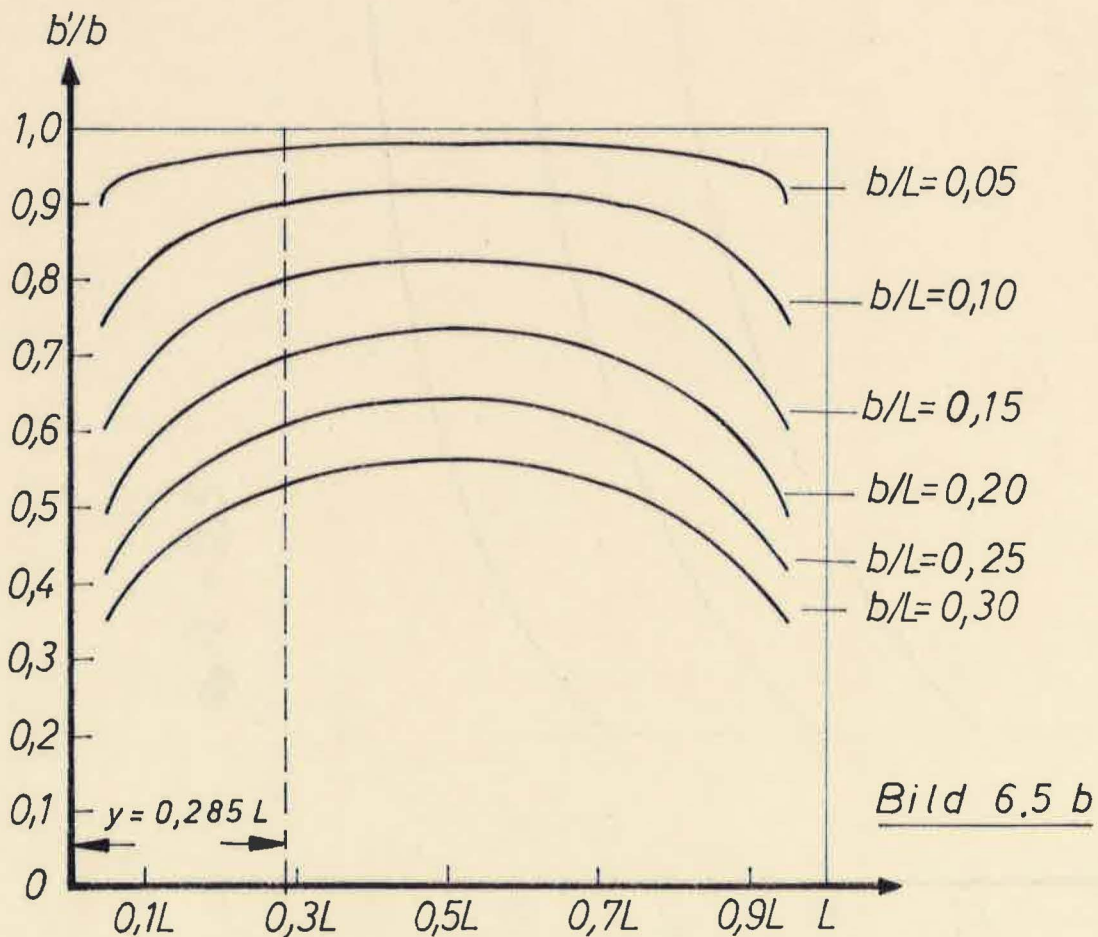
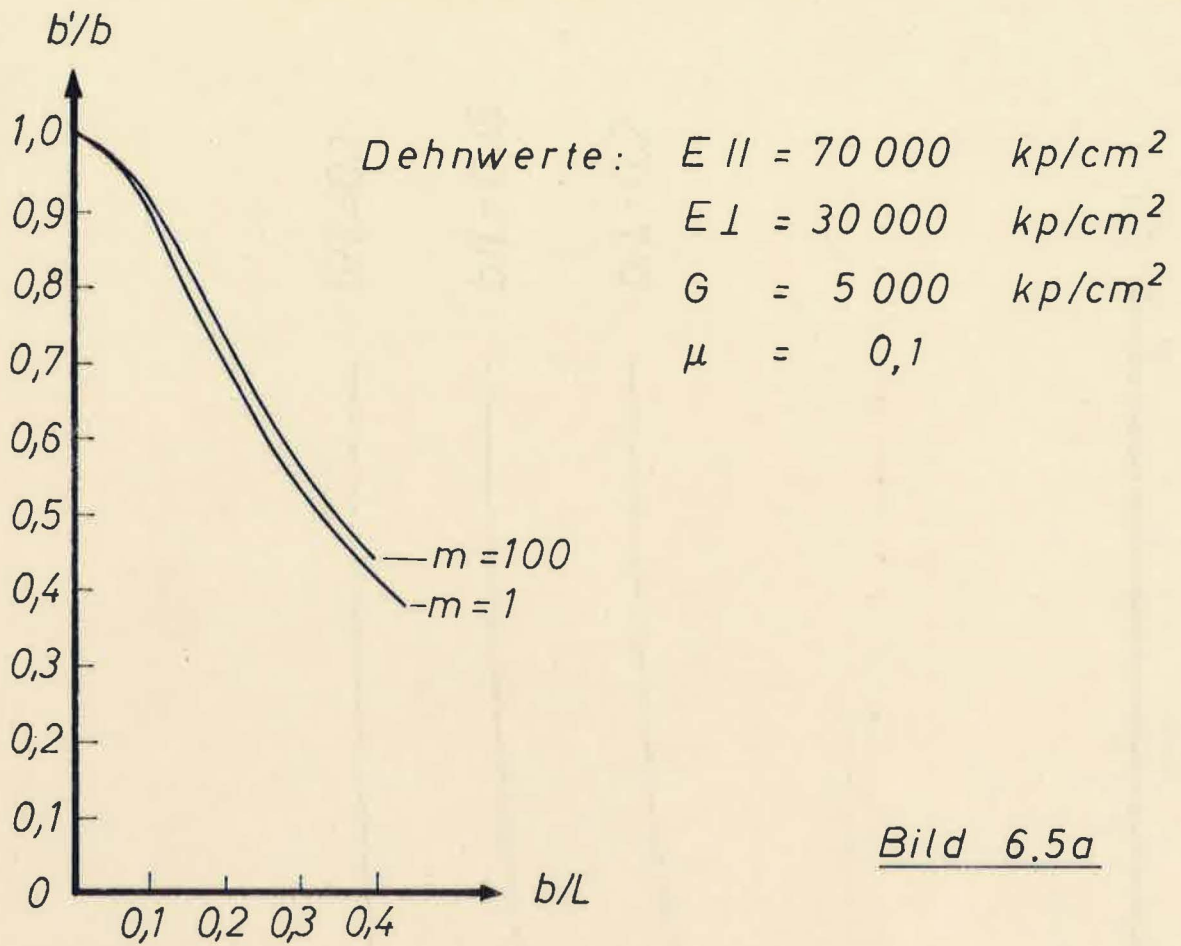


Bild 6.5 : Rechnerische Abhängigkeit b'/b von b/L und Verlauf über die Elementlänge

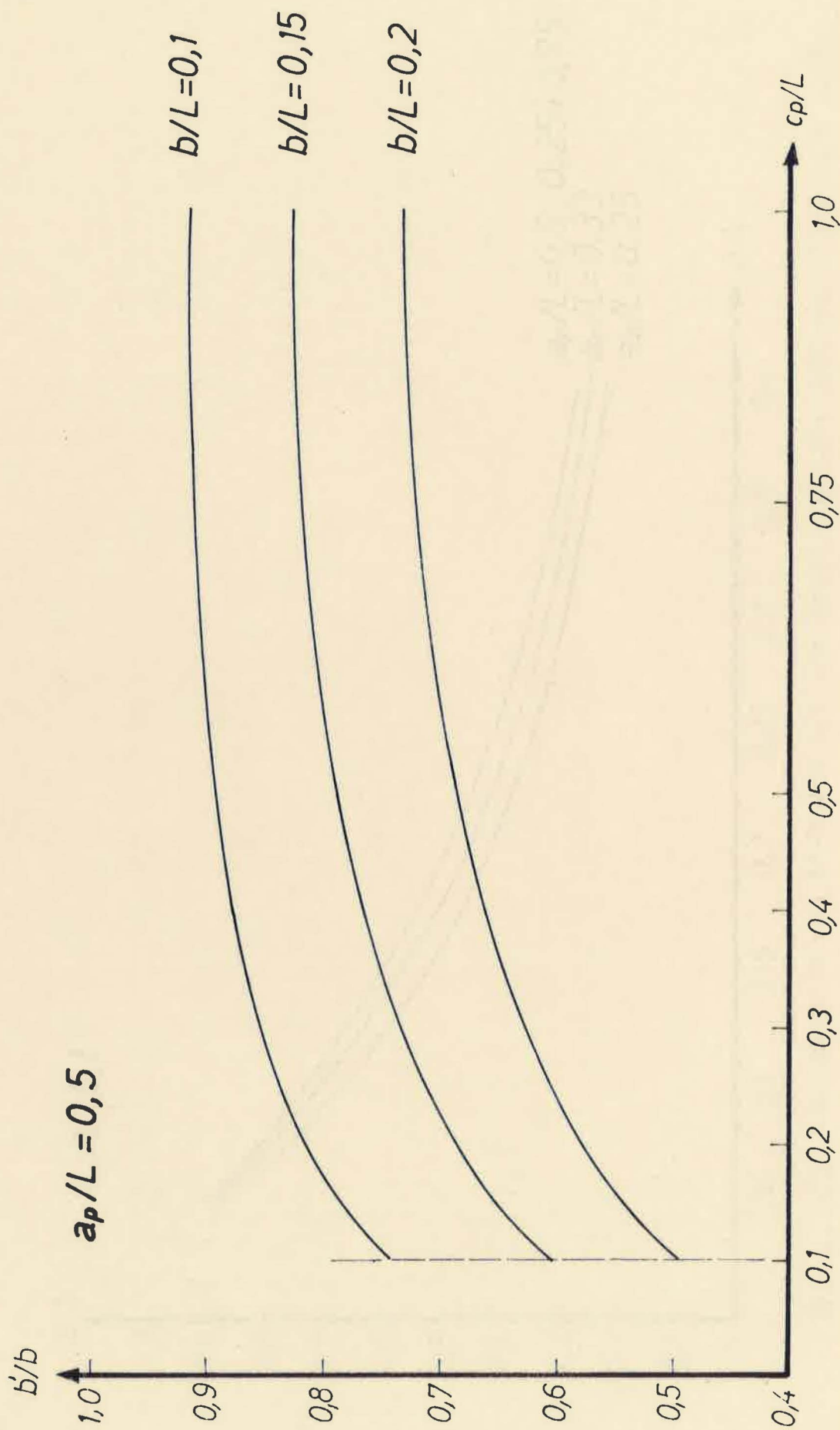


Bild 6.6: Abhängigkeit von b'/b von c_p/L für Laststellung $a_p = 0,5L$

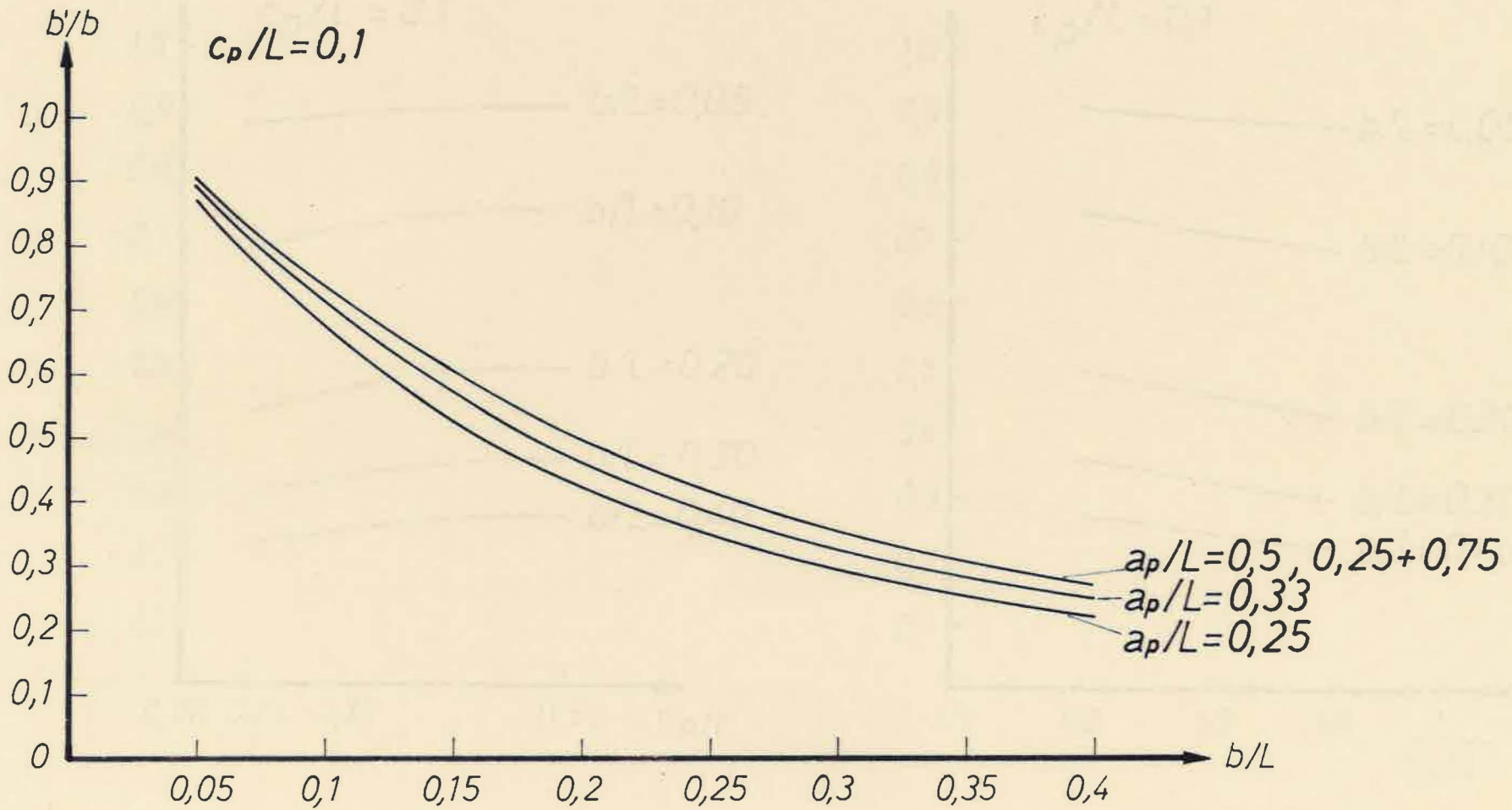


Bild 6.7: Abhängigkeit von b'/b von b/L für bestimmte Laststellungen bei $c_p = 0,1L$

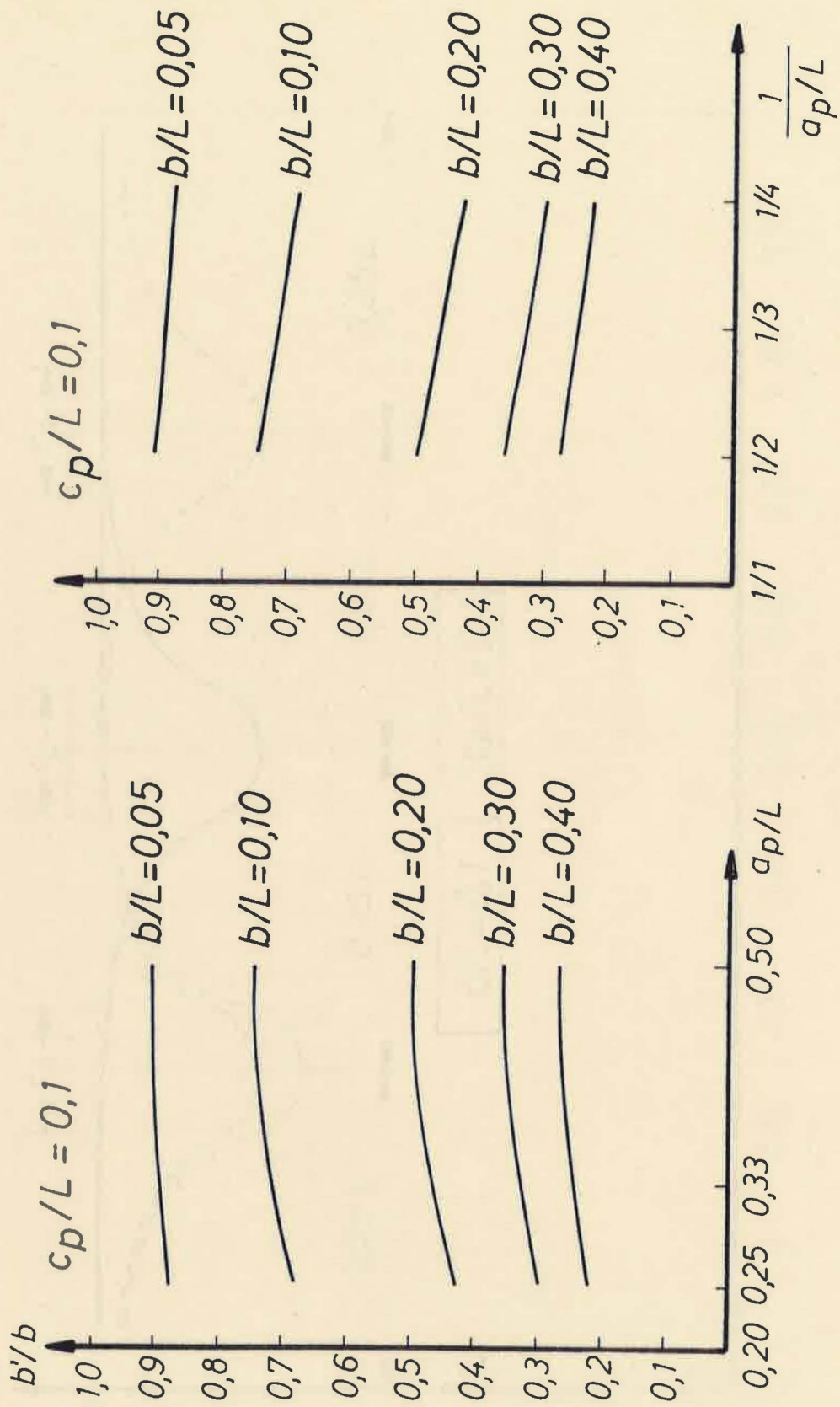


Bild 6.8 : b'/b für beliebige Laststellungen im mittleren Bereich

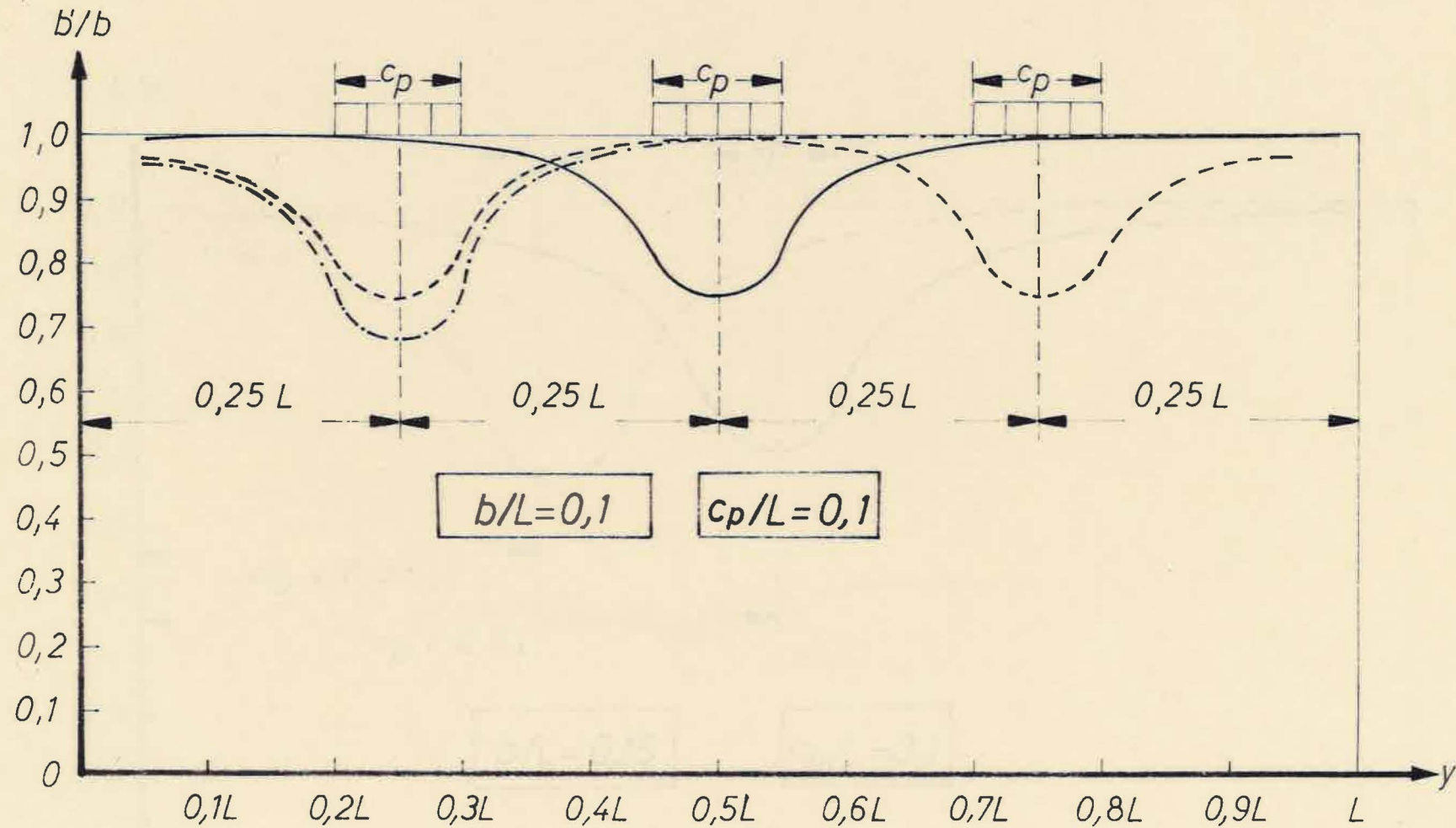


Bild 6.9: b'/b - Verlauf über L für 3 Lastfälle bei $b/L = 0,1$ und $c_p/L = 0,1$

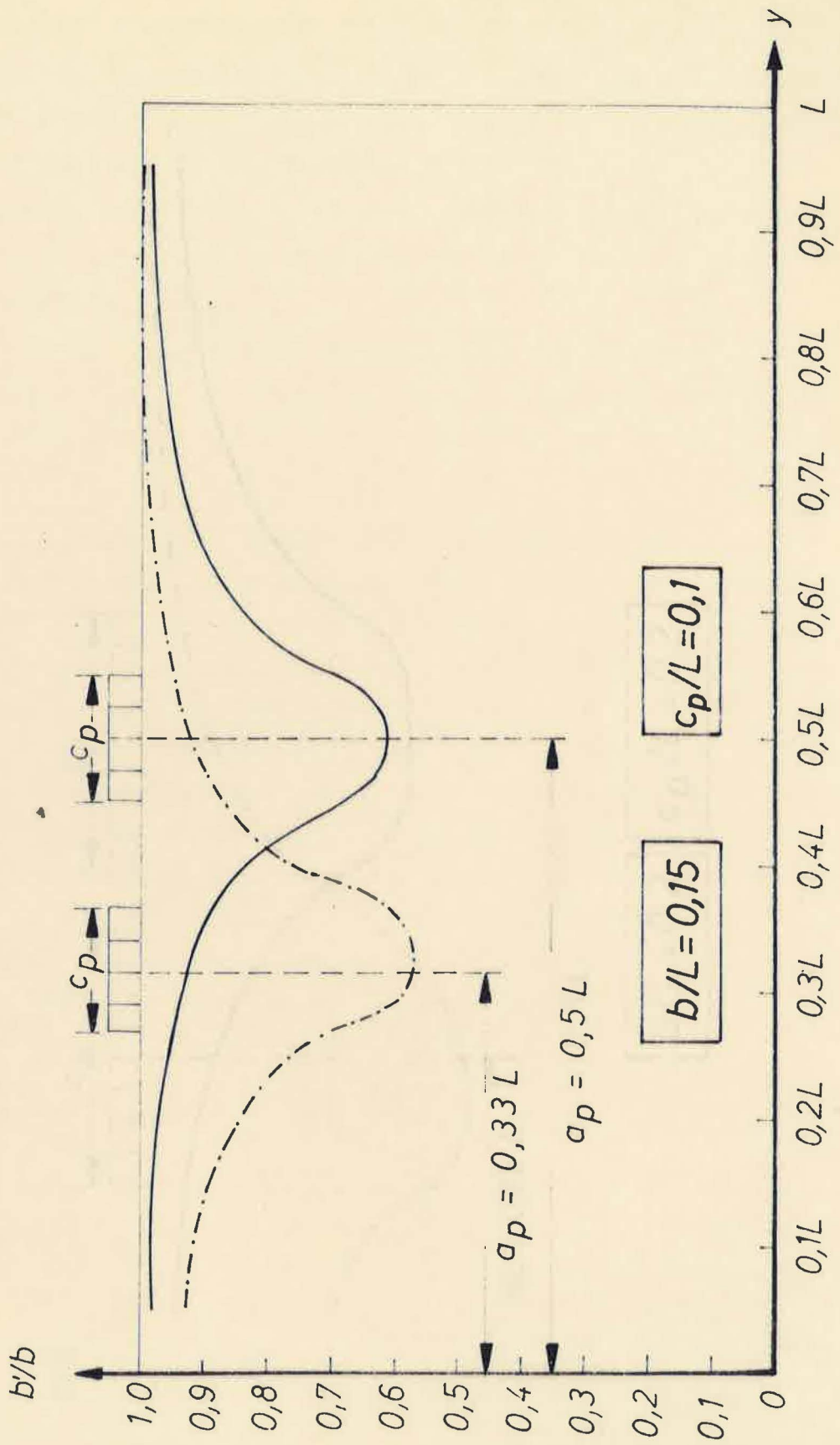


Bild 6.10.: b'/b - Verlauf für 2 Lastfälle bei $b/L=0,15$ und $c_p/L=0,1$

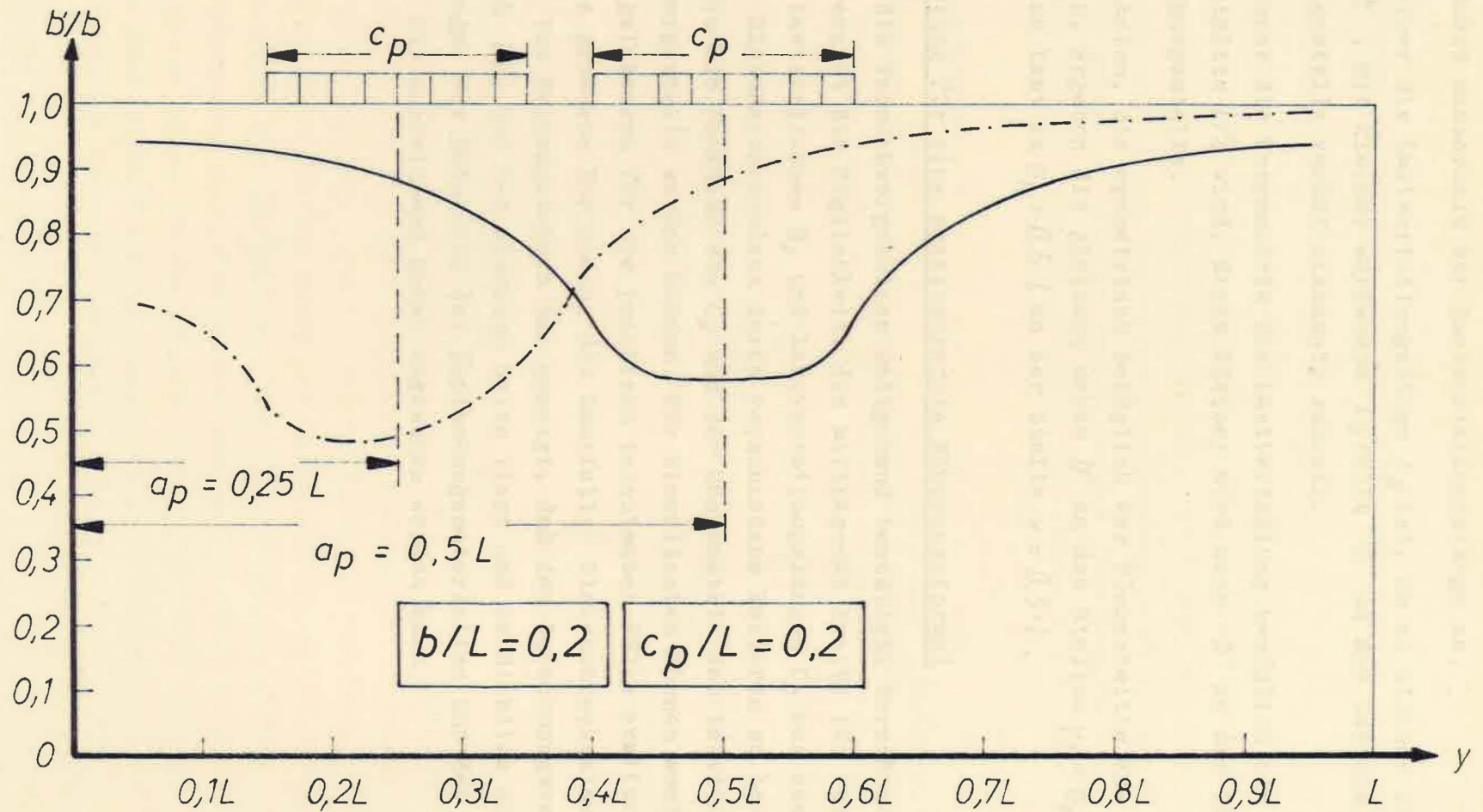


Bild 6.11 : b'/b - Verlauf für 2 Lastfälle bei $b/L=0,2$ und $c_p/L=0,2$

- 1) Bei Einzellasten ist b' am Lasteintragungspunkt am kleinsten und wächst ausserhalb der Lastverteilungslänge an.
- 2) Je kleiner die Lastverteilungslänge C_p ist, um so kleiner wird auch b' . Mit kleiner werdendem C_p fällt b' an der Lasteintragungsstelle verhältnismässig schnell.
- 3) Je grösser die Unsymmetrie der Lastverteilung bezüglich der Elementmitte $L/2$ wird, desto kleiner wird auch b' an der Lasteintragungsstelle.
- 4) Zwei Lasten, die symmetrisch bezüglich der Elementmitte angreifen, ergeben die gleichen Werte b' an den Stellen $y_i = a_{pi}$ wie eine Last in $a_p = 0,5 \cdot L$ an der Stelle $y = 0,5 \cdot L$.

6.8 Auswertung für eine praxisgerechte Näherungsformel

Das durch die Versuchsergebnisse weitgehend bestätigte Berechnungsverfahren ergibt die Möglichkeit, die mittragende Breite für verschiedene Laststellungen a_p und Lastverteilungslängen C_p aus den Werten für Gleichstreckenlast durch verschiedene Faktoren zu berechnen, die als Funktion von C_p und der Unsymmetrie der Laststellung a_p dargestellt werden können. Für Einzellasten können somit Abminderungsfaktoren für die praktisch bedeutsamen Fälle ermittelt werden. Die genauere Berechnung des Lastfalls Gleichstreckenlast mit bis zu 100 Reihengliedern hat gezeigt, daß das Berechnungsverfahren nach [1] auf der sicheren Seite liegt und im Hinblick auf die Streuungen der Dehnwerte der Beplankungsmaterialien und der Holzrippen als ausreichend genau angesehen werden kann.

7. Großversuche an doppelbeplankten Tafелеlementen von 9 m Länge

7.1. Zweck der Versuche

An 3 Tafелеlementen mit Querschnitten nach Bild 7.1 von 9 m Länge wurde an praxisnahen Ausführungen die mittragende Breite aus Biegeversuchen ermittelt, wobei durch Werkstoffprüfungen der einzelnen Rippen sowie der oberen und unteren Beplankung jedes Elementes die E-Moduln so genau als möglich erfaßt wurden. Das Ergebnis der Versuche war mit den theoretischen Ergebnissen der Abschnitte 2 und 6 zu vergleichen.

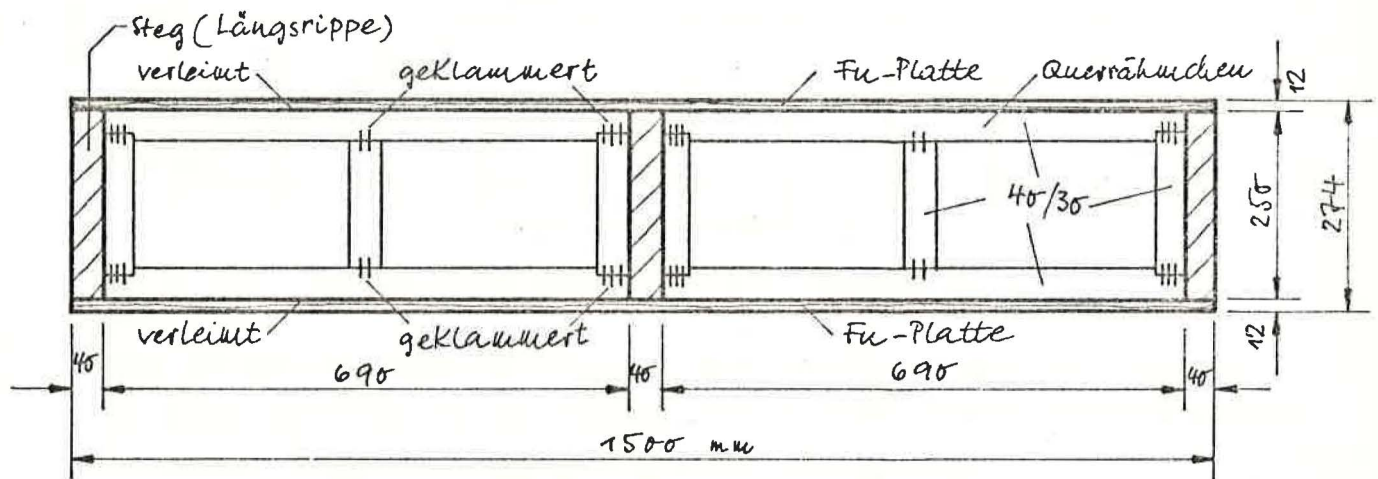


Bild 7.1: Soll-Querschnitt der Versuchs-Tafелеlemente

7.2. Anlage und Durchführung der Versuche.

Jedes Element wurde als freiauflegender Träger mit einer Stützweite von $l = 8,57$ m einem Biegeversuch mit 2 symmetrisch zur Längsmittle in den Viertelpunkten angreifenden Einzellasten unterworfen und die Durchbiegungen in $l/2$ und unter den Lastangriffspunkten gemessen. Die Belastung wurde bis zum Erreichen der Höchstlast gesteigert und nach den Bruchversuchen Zug-, Druck- und Biegeproben aus den Beplankungen und Hochkant-Biegeproben aus den Rippen herausgearbeitet. Aus den im Bereich der zulässigen Spannungen ermittelten Dehnungen und Durchbiegungen werden die E-Werte berechnet.

7.3. Ergebnis der Versuche

Bei allen 3 Versuchen wurde praktisch der gleiche Verlauf der Lastdurchbiegungslinie festgestellt, der in Bild 7.2 für ein Element wiedergegeben ist. Die bei höheren Lasten auftretende überproportionale

Zunahme der Durchbiegung, die auf eine Abnahme der Biegesteifigkeit schließen lässt, war durch Beulverformungen der oberen Beplankung bedingt, wie zusätzliche Messungen erkennen ließen.

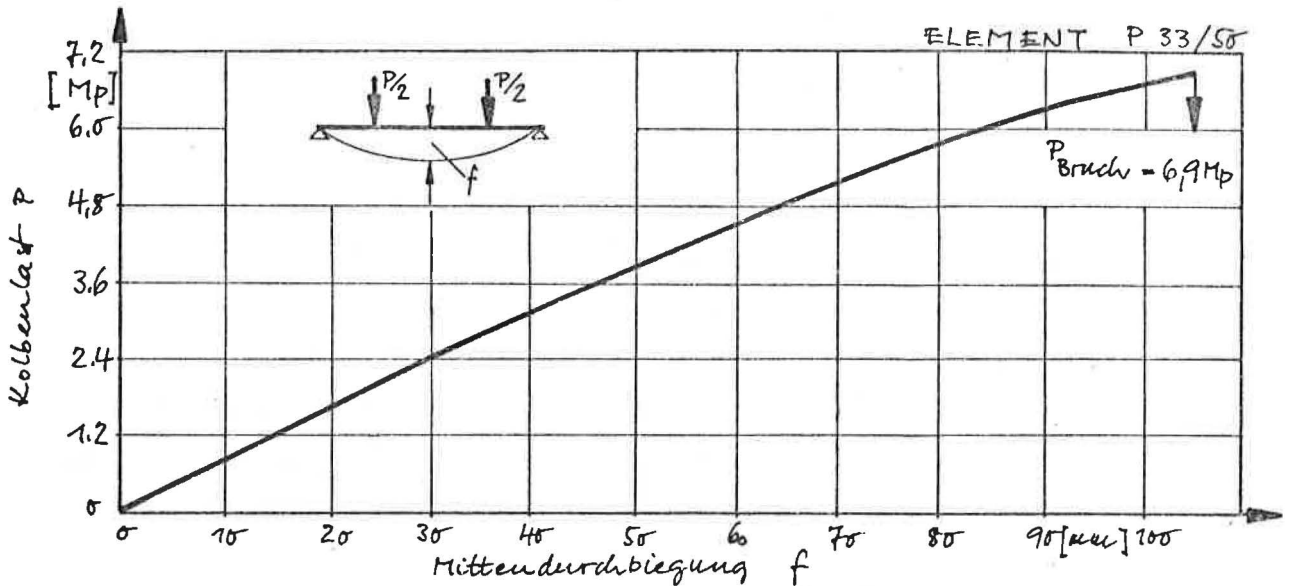


Bild 7.2: Last-Durchbiegungslinie für Element Nr. 1

Für den geradlinigen Bereich der Last-Durchbiegungslinie etwa bis zu einer Last von 3,6 Mp ergaben sich aus den gemessenen Mittendurchbiegungen folgende Biegesteifigkeiten $(EJ)_{\text{Versuch}}$:

Element-Nr.	1	2	3	
$(EJ)_{\text{Versuch}} \text{ kpcm}^2$	73 600	72 400	71 100	$\times 10^5$

Die E-Moduln der einzelnen Elementteile sind in Tabelle 7.1 zusammengestellt.

Tabelle 7.1: E-Moduln für Rippen und Beplankung der 3 Versuchstafeln in kp/cm^2

Element Nr.	Rippen - Nr.			Furnierplatten		
	1	2	3	Druck	Zug	Biegung
1	124 000	166 000	101 000	99 000	89 000	110 000
2	138 000	73 000	78 000	100 000	99 000	103 000
3	98 000	101 000	98 000	90 000	100 000	119 000

7.4. Auswertung der Versuche

Aus der Beziehung:

$$\frac{(EJ)_{\text{Versuch}}}{E_C} = \sum J_i \frac{E_i}{E_C} + \sum F_i \cdot a_i^2 \left(\frac{E_i}{E_C} \right)$$

wobei $E_C = 100\,000 \text{ kp/cm}^2$ gesetzt wurde, konnte eine lineare Bestimmungsgleichung für die mittragende Breite b' aufgestellt werden. Dabei wurden die tatsächlichen Abmessungen der Rippen und der Beplankung eingesetzt, die aus Fertigungsungenauigkeiten teilweise erheblich von den Sollwerten nach Bild 7.1 abwichen. In Tabelle 7.2 sind die aus den Versuchen ermittelten Werte b'/b sowie die nach Gl.(2.4) berechneten und die sich nach den "Holzhaus-Richtlinien" ergebenden Werte zusammengestellt.

Tabelle 7.2: b'/b -Werte nach Versuch, Gl.(2.4) und DIN 1052 und Bruchwerte

Element Nr.	b/L	b'/b Versuch	b'/b ^{+) Gl.(2.4)}	b'/b DIN 1052	Höchstlasten	
					max M [kpm]	max Q [kp]
1	0,08	0,831	0,94	0,8	8 410	3 920
2	0,08	0,831	0,94	0,8	9 480	4 430
3	0,08	0,827	0,94	0,8	7 210	3 365

^{+) mit $E_y/G = 12,4$, d.h. $G \approx 8\,000 \text{ kp/cm}^2$}

Obwohl die E-Moduln der einzelnen Materialien, vor allem der Rippen beträchtlich schwanken, ist die mittragende Breite praktisch bei allen 3 Elementen mit $0,83 \cdot b$ gleich und liegt etwas über dem Rechenwert der DIN-Bestimmungen. Die Gl.(2.4) ergibt hier höhere Werte, da - wie aus Abschnitt 6 hervorgeht - bei 2 Einzellasten mit örtlich reduzierter mittragender Breite gerechnet werden muß. Die erreichten Bruchlasten ergaben gegenüber der mit Rücksicht auf eine zulässige Durchbiegung von $1/300$ festgelegten Belastung Bruchsicherheiten von 3,74 bis 4,92, wobei in allen 3 Fällen das Ausbeulen der oberen Beplankung den Bruch einleitete.

8. Versuche mit Spanplatten-beplankten Elementen

8.1. Zweck der Versuche

In den vorangegangenen Abschnitten 3 -7 wurden die umfangreichen Untersuchungen an Elementen mit Beplankungen aus Furnierplatten behandelt. Zur Ergänzung wurden auch Versuche an Tafелеlementen mit Beplankungen aus Holzspanplatten durchgeführt, wobei industriell gefertigte Tafелеlemente verwendet wurden. Da bei diesen bei Längen über 2,50 m die Stöße in den Beplankungen meist nur stumpf ausgebildet werden, sollte auch der Einfluß der Stoßausbildung auf die Biegesteifigkeit überprüft werden.

8.2. Versuchselement und Meßanordnung

Für die Versuche standen 2 Tafелеlemente mit einer Länge von 500 cm und einer Breite von 125 cm zur Verfügung. Jedes Element bestand aus vier Vollholzrippen 4/16 cm und einer 13 mm dicken Holzspanplatte als oberer sowie einer 16 mm dicken Holzspanplatte als unterer Beplankung, die mit den Rippen verleimt waren. Die genauen, der rechnerischen Auswertung zugrundeliegenden Abmessungen, sind in Bild 8.1 dargestellt.

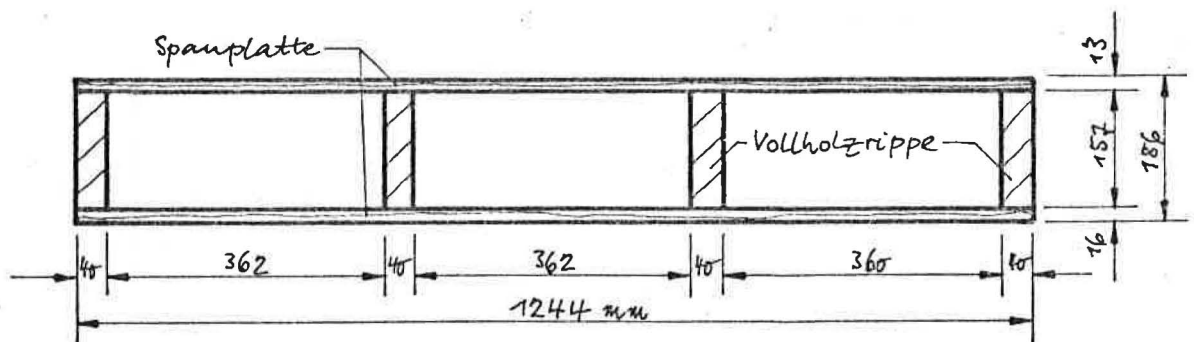


Bild 8.1: Querschnittsabmessungen der Versuchselemente 8.1 und 8.2

Die Lasten wurden über Querverteiler so in die Rippen eingeleitet, daß alle Rippen in den einzelnen Meßlinien die gleichen Durchbiegungen aufwiesen. Die Last wurde in Stufen von $\max P/4$ aufgebracht und die Durchbiegungen in Feldmitte und in den Viertelpunkten gemessen.

8.3. Durchführung der Versuche

8.3.1. Biegeversuche

Die beiden Tafелеlemente Nr. 8.1 und 8.2 wurden nach entsprechender Kürzung mit verschiedenen Stützweiten bei Belastung durch 2 Einzel-lasten in den äußeren Viertelpunkten und durch eine Einzellast in 1/2

jeweils 2 Biegeversuchen unterworfen (Tabelle 8.2). Dabei wurden die anfänglich offenen Stumpfstöße durch außen aufgeleimte Laschen überdeckt.

8.3.2. Versuche zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte

Nach Abschluß der Biegeversuche wurden aus dem 170 cm langen Restelement Proben zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte herausgeschnitten. Je Element wurden dabei aus jeder Rippe eine Probe 3/3/55 cm entnommen und mit einer Einzellast in Feldmitte mit verschiedenen Stützweiten belastet und der E- und G-Modul nach dem in [3] beschriebenen Verfahren bestimmt. Zur Ermittlung des Druck-E-Moduls wurden jeweils 5 Proben 5/10 cm und des Zug-E-Moduls 5 Zugproben aus den Beplankungen herausgearbeitet und die σ/ϵ -Linien mittels Induktivaufnehmern und x/y-Schreibern aufgenommen.

8.4. Ergebnis der Versuche

Tabelle 8.1: Werkstoffkennwerte (Mittelwerte)

Element-Nr.	Bezeichnung	Anzahl der Pr.	E_B [kp/cm ²]	G [kp/cm ²]	E_D [kp/cm ²]	E_Z [kp/cm ²]
8.1	Rippen	4	120 000	4 718	-	-
	obere Bepl.	5	-	-	42 800	-
	untere Bepl.	5	-	-	-	48 300
8.2	Rippen	4	143 570	3 646	-	-
	obere Bepl.	5	-	-	44 000	-
	untere Bepl.	5	-	-	-	52 817

Aus den gemessenen Durchbiegungen in den Viertelpunkten und in Feldmitte wurden jeweils die Trägheitsmomente und die Verhältnisse b'/b bestimmt. Der Einfluß der Schubverformung wurde dabei analog zu dem in Abschnitt 4 angegebenen Verfahren rechnerisch ermittelt und aus den Messungen eliminiert. Zur Ermittlung des Querschnittswertes k_F wurden die nach Gleichung (2.4) errechneten Werte für I_i und b' eingesetzt.

Die aus den Durchbiegungsmessungen ermittelten Trägheitsmomente und Verhältnisse b'/b sind in Tabelle 8.2 zusammengestellt.

Tabelle 8.2: Trägheitsmomente in cm^4 und Verhältnisse b'/b der durchgeführten Versuche

Element-Nr.	Lastbild	J_1 b'/b	J_2 b'/b	J_3 b'/b	Bemerkungen
8.1		12 827 0,48	13 273 0,52	12 827 0,48	4 Fugen offen
8.1		15 065 0,69	15 354 0,72	15 065 0,69	1 Fuge offen 3 Fugen offen
8.2		16 868 0,64	16 385 0,65	16 413 0,65	4 Fugen verleimt
8.1		14 744 0,66	14 306 0,62	14 744 0,66	1 Fuge offen 3 Fugen verleimt
8.1		14 238 0,61	14 065 0,59	14 238 0,61	1 Fuge offen
8.2		16 369 0,64	16 373 0,65	16 935 0,70	alle Fugen verleimt
8.1		16 272 0,80	14 905 0,67	16 272 0,80	1 Fuge offen
8.2		18 594 0,84	17 376 0,73	18 009 0,79	alle Fugen verleimt
8.1		14 798 0,66	14 559 0,64	14 798 0,66	1 Fuge offen
		14 797 0,66	15 255 0,71	15 219 0,70	alle Fugen verleimt
8.1		16 063 0,78	14 506 0,64	16 063 0,78	1 Fuge offen
		16 249 0,80	15 687 0,75	16 795 0,85	alle Fugen verleimt
8.1		13 255 0,52	12 500 0,45	13 255 0,52	alle Fugen verleimt
		19 267 (1,09)	14 724 (0,66)	19 267 (1,09)	alle Fugen verleimt

Gegenüber den rechnerischen Werten b'/b nach Gl.(2.4), die für Element 8.1 für $L = 480$ cm: 0,95, für $L = 310$ cm: 0,89, für $L = 240$ cm: 0,84, für $L = 1,70$ cm: 0,73 und für Element 8.2 für $L = 480$ cm: 0,94 und für $L = 310$ cm: 0,88 betragen, ergaben sich hier teilweise erheblich geringere Werte. Die Abweichungen dürften in erster Linie auf die nicht oder nur einseitig verlaschten Stöße, die Belastung durch Einzellasten und die nur unvollkommen erfaßbaren, aber von Platte zu Platte streuenden Werkstoffkennwerte zurückzuführen sein. Unter Beachtung dieser Fehlereinflüsse kann auch bei Spanplatten die Gültigkeit der Gl.(2.4) für einwandfrei verleimte und ungestoßene Spanplattenbeplankungen als gegeben angesehen werden. Bei Anordnung von ungedeckten Stumpfstößen sollten die Spanplatten als Beplankung aber nicht in Rechnung gestellt werden, wenn nicht durch besondere Versuche die Biege- und Knicksteifigkeit der infrage stehenden Konstruktion ermittelt wird.

9. Zusammenfassung

Im theoretischen Teil der Forschungsaufgabe wurde für den Fall des durch eine Gleichlast belasteten Tafелеlementes die Gleichung für die mittragende Breite aufgestellt und der Einfluß der einzelnen Parameter untersucht. Es ergab sich, daß in erster Linie neben dem Verhältnis der lichten Breite (lichter Abstand zwischen den Rippen) zur Stützweite das Verhältnis der E- und G-Moduln für die Höhe der wirksamen Breite maßgebend ist. Dies konnte anhand von Biegeversuchen mit Elementen verschiedenster Ausbildung, Stützweite und Belastung nachgewiesen werden, wobei wegen der Fehleranfälligkeit von Durchbiegungsmessungen auch eingehende und umfangreiche Dehnungsmessungen vorgenommen wurden. Diese haben zwar die Gültigkeit der allgemeinen Lösung bestätigt, andererseits aber aufgezeigt, daß bei den versuchstechnisch angewandten Belastungen durch Einzellasten zumindest örtlich wesentliche Abweichungen auftreten. Diese Beobachtung führte dann zu einer theoretischen Behandlung der angewandten Lastfälle, durch welche die besonderen Verhältnisse bei Einzellasten erfaßt werden konnten. Hiernach erscheint es notwendig, bei Einzellasten, deren Momentenanteil den Anteil aller übrigen Lasten im maßgebenden Schnitt übersteigt, mit einer örtlich abgeminderten mittragenden Breite zu rechnen, die bei den üblichen Verhältnissen $b/l \leq 0,15$ genau genug mit $b' = 0,5 \cdot b + b_1$ bei einer oder zwei Einzellasten angenommen werden kann. Bei mehreren Einzellasten erscheint die Lösung für Gleichstreckenlast ausreichend genau. Bei nachgiebig angeschlossener Beplankung ist der Einfluß der Nachgiebigkeit durch den Abminderungswert γ wie bei normalen zusammengesetzten Biege- oder Druckgliedern zu erfassen, die mittragende Breite selbst wird dabei gegenüber unnachgiebiger Verbindung nicht meßbar beeinträchtigt. Stöße in der Beplankung, die nicht durch symmetrisch aufgeleimte Laschen gedeckt sind, unvollkommene Schäftstöße oder gar genagelte Laschenstöße, führen zu einer merklichen Beeinträchtigung der Biegesteifigkeit, die über das Maß der mittragenden Breite von durchgehenden Beplankungen erheblich hinausgehen kann. Wenn in solchen Fällen die Beplankung rechnerisch in Ansatz gebracht werden soll, muß die tatsächliche Biegesteifigkeit des Gesamtelementes durch besondere Versuche nachgewiesen werden. Schließlich haben die durchgeführten Unter-

suchungen gezeigt, daß neben den E-Werten auch die Schubmoduln G und Querdehnungszahlen μ der Beplankungswerkstoffe für genauere rechnerische Nachweise bekannt sein müssen. Die bei Durchlaufträgern im Stützenbereich, wo die Auflagerkraft im Druckbereich als Einzellast angreift, bezüglich der mittragenden Breite vorliegenden Verhältnisse konnten im Rahmen der vorstehenden Forschungsaufgabe nicht behandelt werden. Ebenso müßte der Einfluß des Kriechens auf die mittragende Breite noch näher untersucht werden. Einige Einzelversuche, die im vorstehenden Bericht beschrieben sind, haben keine eindeutigen Hinweise dafür gegeben, ob, in welchem Maße und in welchen Bereichen mit einer Änderung der mittragenden Breite infolge Kriechens der Einzelelemente, vorwiegend der Beplankung, gerechnet werden muß.

10. Schrifttum

- [1] Möhler, K., G. Abdel-Sayed u. J. Ehlbeck: Zur Berechnung doppelschaliger, geleimter Tafелеlemente. Holz als Roh- und Werkstoff 21 (1963), S. 328/33.
- [2] Möhler, K.: Zur Berechnung und Ausbildung tragender Sperrholzkonstruktionen. VDI-Zeitschrift Bd. 107 (1965), S. 729/38.
- [3] Ehlbeck, J.: Durchbiegungen und Spannungen von Biegeträgern aus Holz unter Berücksichtigung der Schubverformung. Dissertation TH Karlsruhe 1966. (Siehe auch Holz als Roh- u. Werkstoff 27 (1969) Nr. 7, S. 253/61.
- [4] Chwalla, E.: Die Formeln zur Berechnung der voll mittragenden Breite dünner Gurt- und Rippenplatten. Der Stahlbau, 1936, Heft 10.
- [5] Tottenham, H.: The effective width of plywood flanges in stressed skin construction. Research report E/RR/3. The timber development association Ltd London 1958.
- [6] Köpcke, W. u. G. Denecke: Mitwirkende Breite der Gurte von Plattenbalken. Deutscher Ausschluß für Stahlbeton 1967, Heft 192.
- [7] N.N., The designing for strength of flat panels with stressed coverings. Forest Products Laboratory, Nr. 1220, October, 1957.