

2. Bericht

zur

Forschungsaufgabe: Untersuchungen über den Einfluß
der Laststellung bei Biegeträgern auf die Höhe der
Schubbeanspruchung aus Querkraft bei Brettschicht-
trägern.

1. Einleitung

Im 1. Bericht vom 15.1.1969 waren die Ergebnisse von Querkraftversuchen an Modellträgern von Rechteck- und I-Querschnitt sowie an Balken mit Trockenrissen mitgeteilt worden. Diese Versuche bestätigten weitgehend, daß bei Laststellungen nahe am Auflager (Abstand $\frac{l}{4} < 2,5 h$, l = Stützweite, h = Trägerhöhe) mit reduzierten wirksamen Querkraften gerechnet werden kann, wie dies bereits in den US-Holzbauschriften aufgrund der Arbeiten von Newlin, Heck und March [1] berücksichtigt wird. Auch Schelling [2] hat nachgewiesen, daß bei schubweichen Trägern eine entsprechende Reduzierung aufgrund der Theorie des nachgiebigen Verbundes vorgenommen werden kann.

Im 2. Teil der Forschungsaufgabe sollten daher Versuche mit brettschichtverleimten Trägern durchgeführt werden, da bei derartigen Trägern in der Regel die

Schubflächen nicht durch Risse geschwächt werden. Im Hinblick auf die Verwendung bei Bauteilen, die durch Einzellasten in der Auflagernähe beansprucht werden, kommt der Möglichkeit, den Schubspannungsnachweis mit reduzierten Querkraften zu führen, besondere Bedeutung für rechteckige Brettschichtträger zu, da bei dieser Bauweise die maximal erforderliche Querschnittsbreite über die Trägerlänge aus fertigungstechnischen Gründen konstant bleiben muß.

2. Anlage und Durchführung der Versuche

2.1. 1. Versuchsabschnitt: Brettschicht-Modellträger 6/15 cm

Im 1. Versuchsabschnitt wurden Brettschicht-Modellträger nach Bild 1 (Anlage 1) verwendet. Die Träger hatten einen Querschnitt von 6/15 cm und waren aus 1 cm dicken Lamellen hergestellt. Da Versuche gezeigt hatten, daß Schubbrüche bei der vollen Trägerbreite von 6 cm auch bei Laststellungen im Auflagerbereich wegen vorheriger Erschöpfung der Biegefestigkeit oder der Querschnittfestigkeit nicht eintreten, wurden die Probekörper mit beidseitigen Schlitten von je 1,0 cm bzw. 1,25 cm Tiefe versehen, so daß für die Schubkraftaufnahme nur eine Breite b' von 4,0 bzw. 3,5 cm zur Verfügung stand. Die Schlitte liefen über die ganze Trägerlänge durch.

Die Stützweite der 80 cm langen Träger Nr. 1 bis 5 betrug 70 cm. Die Versuchskörper wurden bei mittiger Laststellung geprüft. Bei den 1,15 m langen Trägern Nr. 6 bis 11, die mit einer Stützweite von 105 cm geprüft wurden, wurde die Last immer mehr zum Auflager hin gerückt, bis weder ein Schub noch ein Biegebruch sondern ein Quetschbruch durch Ueberschreiten der Querdruckfestigkeit am Auflager auftrat.

Die Träger wurden stufenweise bis zum Bruch belastet und die Durchbiegungen in Trägermitte aufgenommen. Bei nur einseitig zerstörten Trägern wurde zusätzlich mit dem unzerstörten Trägerende ein weiterer Bruchversuch durchgeführt.

2.2. 2. Versuchsabschnitt: Brettschichtträger 15/45 cm

Für die Versuche des 2. Versuchsabschnitts standen 10 6,50 m lange Brettschichtträger, Querschnitt 15/45 cm, zur Verfügung. Die Lamellendicke betrug 3 cm.

Die Träger wurden mit unterschiedlichem Lastabstand a , unterschiedlichen Schlitzlängen und Schlitztiefen versehen, da beim Vollquerschnitt keine Schubbrüche erreicht werden konnten. Die Träger wurden stufenweise bis zum Bruch belastet. Dabei wurden die Durchbiegungen in den Viertelpunkten und die Verschiebungen in der neutralen Faser zwischen Auflager und Lastangriffsstelle

sowie die Verwölbungen der Endquerschnitte mittels Meßuhren gemessen. Durch diese Messungen sollte nachgeprüft werden, inwieweit sich auch ein starr verleimter Rechteck-Holzquerschnitt durch die Schubweichheit des Holzes wie ein nachgiebig verbundener, mehrschichtiger Träger verhält. Für die Verwölbungsmessungen wurde am Träger ein Meßrahmen mit 6 Meßuhren, verteilt über die Trägerhöhe, befestigt. Damit konnten die Relativbewegungen am Trägerende in verschiedenen Höhenlagen erfaßt werden. Die Versuchsanordnung mit Lage der Meßstellen geht aus Bild 2 (Anlage 2) hervor. Die Bilder 3 und 4 (Anlage 3) zeigen einen Versuchsträger unter der Prüfanlage und die Anordnung der Verwölbungsmessungen.

Nachdem sich bei den ersten Bruchversuchen ergeben hatte, daß durch den in der neutralen Faser angeordneten Schlitz nicht in jedem Falle die schubschwächste Faser erfaßt wurde, wurden bei einigen Trägern durch mehrere Schlitze größere Schwächungsbereiche geschaffen, so daß sich der Schubbruch in der schwächsten Zone einstellen konnte. Hierdurch sollte die Streuung der Versuchsergebnisse eingeeengt werden. (Bild 5 und 6, Anlage 4). Tabelle 1 (Anlage 5) enthält die hauptsächlichsten Maße und Kennzeichen der einzelnen Versuche. Auch im 2. Abschnitt wurden teilweise Versuche mit den im 1. Versuch an dem unbelasteten Trägerabschnitt augenscheinlich unzerstört gebliebenen Teil durchgeführt, da oft kein Schubbruch,

sondern ein Biegebruch eintrat.

3. Ergebnis der Versuche

Die Ergebnisse der Versuche des 1. Versuchsabschnittes sind in Tabelle 2 (Anlage 6) zusammengestellt.

Die Tabelle gibt für jeden Trägerversuch die Werte für den Lastabstand a in cm vom Auflager und das Verhältnis $x = a/h$. Außerdem sind die Bruchlast $\max P$, die hierzu gehörige rechnerische Querkraft $\max Q = \max P \cdot (1 - a)/l$ und die hieraus berechnete Schubspannung $\tau_B = 1,5 \max Q / (b \cdot h)$ sowie die Biegespannung $\sigma_B = 6 \cdot \max Q \cdot a / (b \cdot h^2)$ und die Querverpressung $\sigma = \frac{\max Q}{b \cdot 12,5}$ aufgenommen. Wenn das Versagen des Trägers durch einen Schubbruch erfolgte, ist der τ_B -Wert unterstrichen, beim Biegebruch der σ_B -Wert. Außerdem ist die Normenscherfestigkeit τ_N ermittelt an Scherproben nach DIN 52 187, die aus den Trägerreststücken herausgearbeitet wurden, angegeben. Die entsprechenden Ergebnisse des 2. Versuchsabschnittes sind in Tabelle 3 (Anlage 7) enthalten. Bild 7 (Anlage 8) zeigt die Verschiebungs- und Verwölbungswerte für den Träger 1 bei einer Querkraftbelastung von $Q = 4500$ kp. Die Messungen zeigen, daß auch bei derartigen einteiligen Trägern Verschiebungen zwischen der oberen und unteren Querschnittshälfte in der neutralen Faser auftreten und auch die Endquerschnitte nicht mehr eben bleiben. Da die Verwölbungen an den Trägerrändern gegen den oberen Trägerrand gemessen wurden,

kann der absolute Betrag der Verwölbung nicht angegeben werden. Außerdem sind die Meßwerte durch den verhältnismäßig hohen Querpreßdruck der Auflagerplatte ebenso beeinflusst wie die Verschiebungsmessung in der Auflagervertikalen (Meßstelle U7). Aber auch aus diesen Messungen kann geschlossen werden, daß bei derartigen Trägern entsprechend der Schubsteifigkeit Verschiebungen auftreten, die in gleicher Weise wie bei nachgiebig verbundenen Trägern die wirksamen Schubkräfte beeinflussen. In Tabelle 4 (Anlage 8) sind für die einzelnen Träger, bei denen Verschiebungsmessungen und Verwölbungsmessungen durchgeführt wurden, die Maximalwerte bei der rechnerischen Querkraft angegeben.

In Bild 8 und 9 (Anlage 10 und 11) sind für die Brett-schichtholz-Modellträger und die Brettschichträger die rechnerischen Schubfestigkeiten τ_B über der Trägerstelle a (Lastangriffspunkt) aufgetragen. Dabei sind sowohl die Meßpunkte der durch Schubbrüche als auch die durch Biegebrüche oder sonstige Ursachen zerstörten Träger aufgenommen und besonders gekennzeichnet. Zusätzlich sind die Normscherfestigkeiten von Kreuzscherproben nach DIN 52 187 und das Verhältnis Balkenschubfestigkeit/Scherfestigkeit (τ_{Bm}/τ_N) angegeben.

Dabei zeigt sich, daß die aus Trägerversuchen ermittelten rechnerischen Schubfestigkeiten bei nahe am Auflager ste-

henden Lasten merklich über den Scherfestigkeiten nach DIN 52 187 liegen und daß dieser Unterschied immer kleiner wird, je mehr die Last vom Auflager wegrückt. Berechnet man die Einflußlinie der tatsächlich wirksamen Querkraft aus

$$\eta_{QW} = \frac{l-a}{l} \cdot \frac{\tau_N}{\tau_B} \quad (1)$$

mit τ_N = Normenscherfestigkeit (47,8 kp/cm² für Modellträger

50,6 kp/cm² für Brett-
schichtträger)

und τ_B = Schubfestigkeit aus Trägerversuchen

so ergeben sich Werte, die unter dem theoretischen Wert von

$$\eta_Q = \frac{l-a}{l} \quad (2)$$

liegen.

Ein Vergleich mit amerikanischen Ergebnissen nach der in [1] angegebenen Formel für η_Q kann mit den nach nachstehender Formel berechneten η_{QUS} -Werten erfolgen:

$$\eta_{QUS} = \frac{l-a}{l} \cdot \frac{(a/h)^2}{2+(a/h)^2} \quad (3)$$

In Bild 10 und 11 (Anlage 12 und 13) sind für beide Trägerarten die Meßwerte und die errechneten η_Q -Linien nach den Formeln (1), (2) und (3) eingetragen.

Es zeigt sich eine gute Uebereinstimmung der nach der amerikanischen Formel errechneten und der nach den Ver-

suchsergebnissen ermittelten Einflußlinien der wirksamen Querkraft.

In Bild 12 (Anlage 14) sind die Meßergebnisse η_Q an Brettschichtträgern und an Vollholzbalken über der Balkenlänge aufgetragen (siehe auch Anlage 19 des 1. Berichtes über die Höhe der wirksamen Querkraft vom 15.1.1969) und mit den nach [2] ermittelten Werten η_{QW} für verschiedene Nachgiebigkeitseinflußgrößen $k\beta^2$ und den amerikanischen Werten η_{QUS} für die hier vorgelegenen Werte l/h verglichen.

Die Versuchswerte liegen praktisch im Bereich der $k\beta^2$ -Linien 0,65 und 0,04 für die untersuchten Brettschichtträger, während die Vollholzträger im Bereich der Linien 0,65 und 0,20 lagen.

Wenn man ungünstiger Weise annimmt, daß bei Brettschichtträgern der $k\beta^2$ -wert von 0,04 vorliegt, kann aufgrund von Bild 12 angenommen werden, daß die wirksame Querkraft auch bei Laststellungen nahe dem Auflager den Wert von 0,7 P nicht überschreiten wird. Bei Vollholzbalken werden diese Werte wegen der größeren Riß-tiefen in der Regel nicht erreicht werden.

Zusammenfassung:

Im vorliegenden Bericht wird über die Versuche zur Bestimmung der wirksamen Querkraft für den Schubspannungs-

nachweis bei Brettschichtträgern berichtet. Versuche an Brettschichtmodellträgern und an Brettschichtträgern bestätigten, daß die Größe der wirksamen Querkraft umso mehr von dem theoretischen Wert abweicht, je näher die Last zum Auflager hinrückt.

Die Versuche wurden an Einfeldträgern mit Rechteckquerschnitt durchgeführt. Das Verhältnis b/h betrug maximal 3,0 und das Verhältnis l/h 13,3.

Unter Heranziehung der von Schelling [2] nach Bild 12 in Abhängigkeit von der Schubsteifigkeit $k\beta^2$ angegebenen wirksamen Fugenschubkräfte kann für Brettschichtträger eine maximal wirkende Schubkraft von 0,7·P angenommen werden. Für Vollholz hat sich die US-Formel [Gl. (3)] weitgehend bestätigt.

Aufgrund der Versuchsergebnisse können entsprechende Vorschläge für die Neufassung der DIN 1052, Bl. 1 zur Diskussion gestellt werden.

Verfasser:

G. Maier

Dipl.-Ing. G. Maier

Prüfer:

K. Möhler

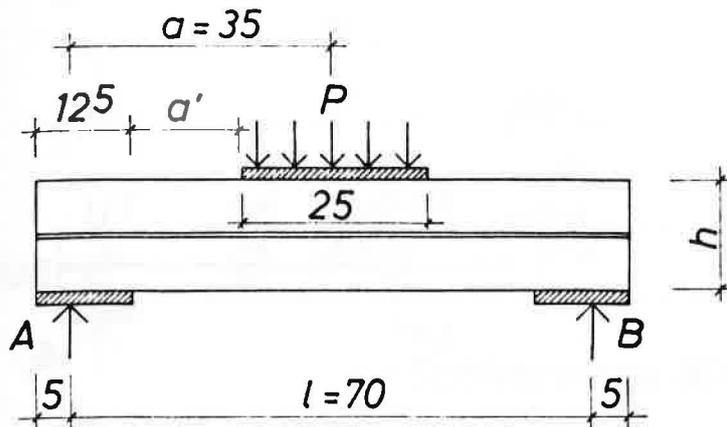
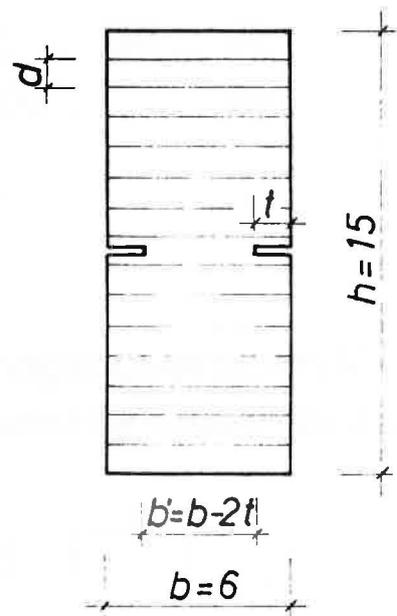
o. Prof. Dr.-Ing. K. Möhler

Schrifttum

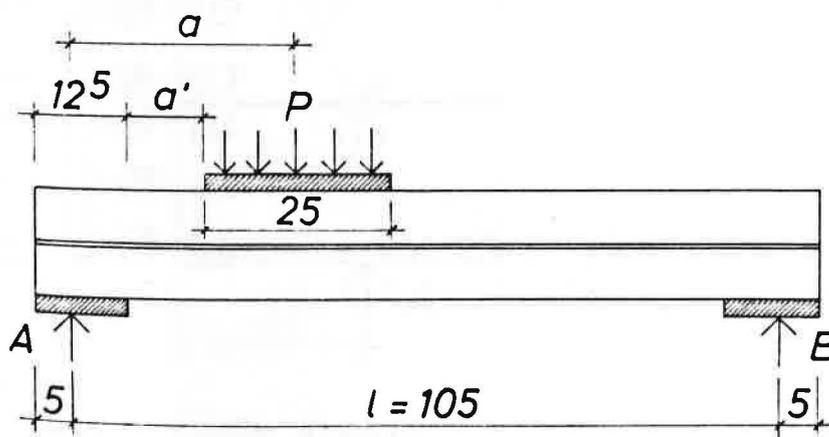
- [1] Newlin J.A., Heck G.E., March H.W., New Method of Calculating Longitudinal Shear in Checked Wooden Beams; For. Prod. Lab. Madison, U.S. Dep. of Agriculture, Approved Techn. Article. Applied Mechanics 56 (1934) Nr. 18, S. 739/44.
- [2] Schelling, W., Die Berechnung nachgiebig verbundener, zusammengesetzter Biegeträger im Ingenieurholzbau. Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 1968.

Bild 1a:

Träger Nr. 1-5, Stützweite = 70 cm

Lastabstand $a = 35 \text{ cm} = 2,3 h$ TrägerquerschnittSchlitztiefe t :Träger 1,2 u. 8-11 : $t = 1,0 \text{ cm}$ Träger 3-7 : $t = 1,25 \text{ cm}$ Lamellendicke : $d = 1 \text{ cm}$ Bild 1b:

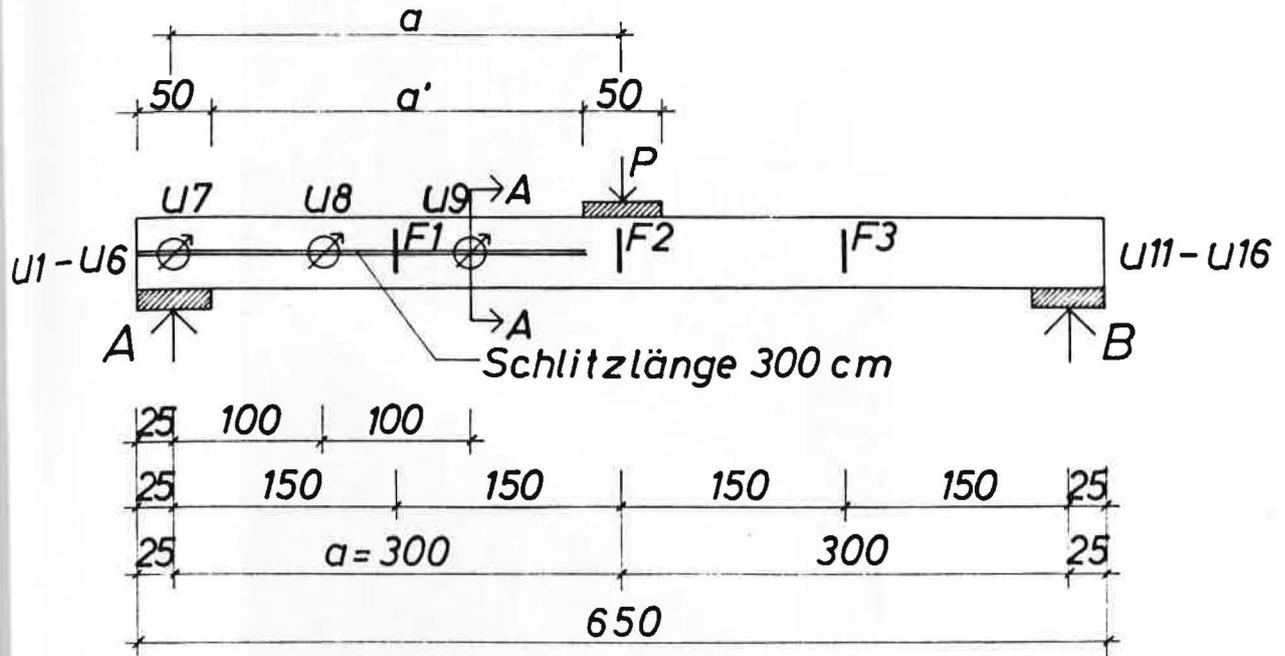
Träger Nr. 6-11, Stützweite = 70 cm

Lastabstand $a = 30 - 50 \text{ cm} = 2,0 - 3,3 h$

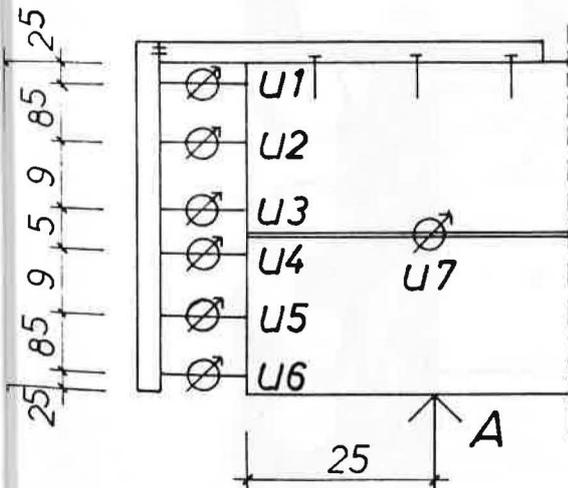
Maße in cm!

Bild 1: Ausbildung und Lastanordnung bei den Modellträgern des 1. Versuchsabschnitts

Träger Nr. 1



Auflagerpunkt



Maße in cm!

Trägerquerschnitt

Lamellendicke $d = 3$ cm

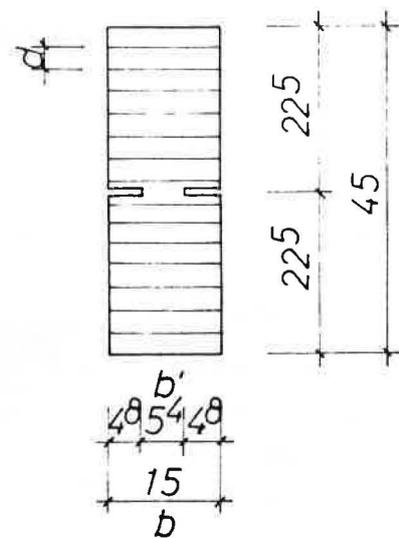


Bild 2: Ausbildung und Lastanordnung bei den Brettschichtträgern des 2. Versuchsabschnitts

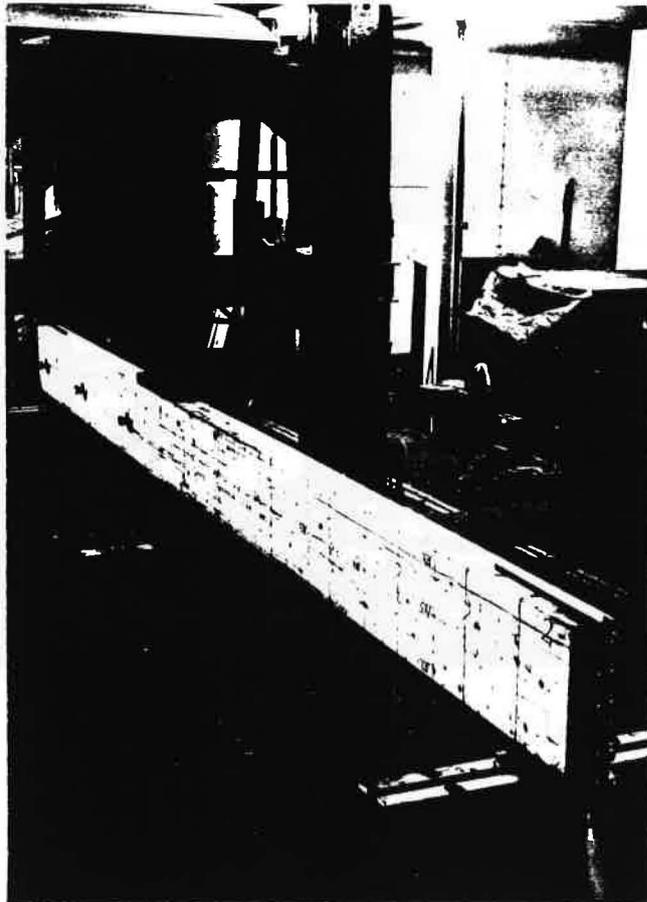


Bild 3:

Versuchsträger Nr. 2
unter der Prüfanlage

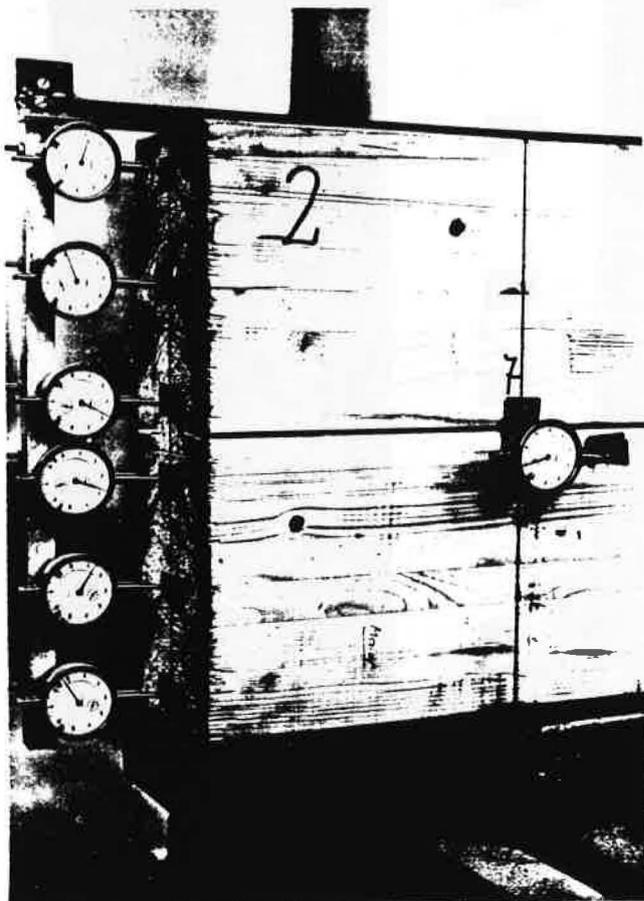


Bild 4:

Anordnung der Meßuhren
zur Verwölbungsmessung
und Verschiebungsmes-
sung im Schlitz

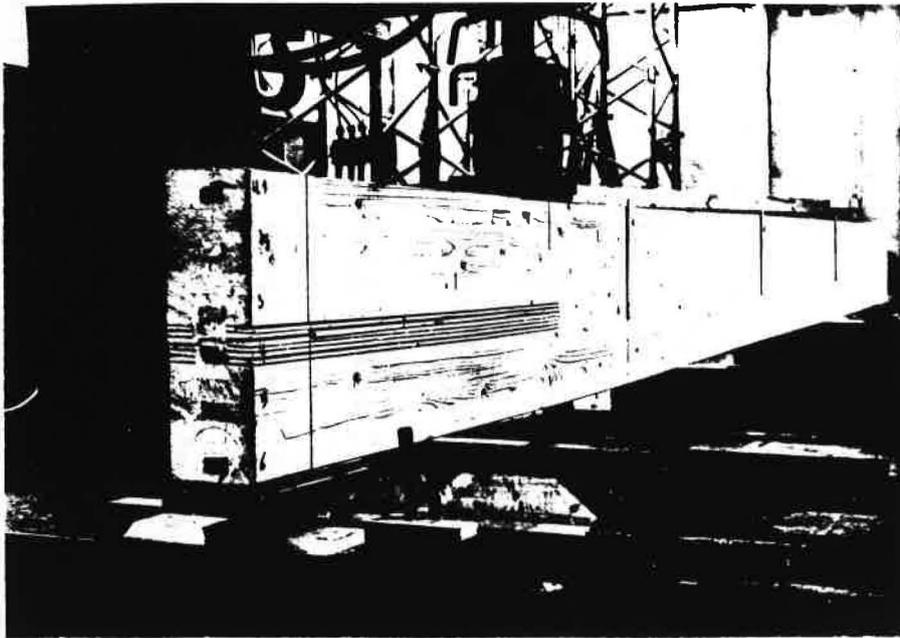


Bild 5: Versuchsträger Nr. 9 unter der Prüfanlage

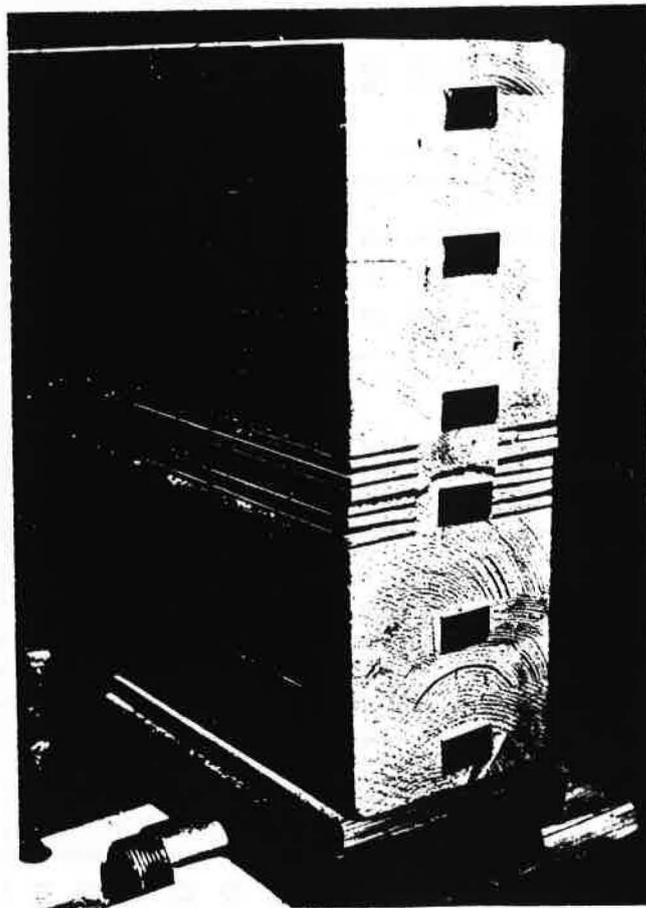


Bild 6: Schubbruch des Versuchsträgers Nr. 9 im Bereich der Schlitze

Tabelle 1: Maße und Kennzeichen der einzelnen Versuchsträger des 2. Versuchsabschnittes

Träger Nr.	Länge l [cm]	Last- abstand a [cm]	Schlitz- länge [cm]	Schlitz- tiefe [cm]	Anzahl der Schlitze	Auflager- fläche 15 x b b [cm]	Belastungs- fläche 15 x c c [cm]	Anlage der Meßeinrichtung	Bemerkungen Klima bei Versuch U[o/o] °C/o/o rel.L.F.
1	600	300	300	4,8	2 x 1	50	50	U1-6, 7-9, 11-16	10
1,+)	600	67,5	-	-	-	50	50	-	13-23°C 34-51 o/o rel.Luftfeuch- tigkeit
2	600	250	250	4,8	2 x 1	50	50	U1-6, 7-9, 11-16	10
2,+)	600	100	-	-	-	50	50	-	
3	600	200	200	4,8	2 x 1	50	50	U1-6, 7-10, 11-16	10
3,+)	600	67,5	140	2,5	2 x 7	50	50	-	
4	600	150	150	4,8	2 x 1	50	50	U1-6, 7-9, 11-16	9,5
4,+)	600	67,5	140	2,5	2 x 7	50	50	-	
5	600	100	100	4,8	2 x 1	50	50	U1-6, 7-8, 11-16	9
5,+)	600	100	-	-	-	50	50	-	
6	620	67,5	120	2,5	2 x 7	40	40	U1-6	9
6,+)	620	67,5	120	3,0	2 x 7	40	40	-	
7	620	45	120	2,5	2 x 7	40	40	U1-6	9
7,+)	620	67,5	120	2,5	2 x 7	40	40	-	
8	620	45	120	2,5	2 x 7	40	40	U1-6	9,5
8,+)	620	67,5	120	3,0	2 x 7	40	40	-	
9	620	100	120	4,8	2 x 7	40	40	U1-6	10
9,+)	620	100	120	4,8	2 x 7	40	40	-	
10	620	150	180	4,8	2 x 7	40	40	U1-6	12

+) Träger umgedreht

Tabelle 2: Ergebnisse der Belastungsversuche des 1. Versuchsabschnittes

Träger Nr.	Lastabstand $a = x \cdot h$ a [cm] x		Breite b' [cm]	Bruchlast P_B [kp]	Querkraft Q [kp]	Schubspannung τ [kp/cm ²]	Biegespannung σ [kp/cm ²]	Querverpressung [kp/cm ²]	Bruchursache
$l = 70 \text{ cm}$									
1	35	2,3	4	6500	3250	81,2	414	43,3	B
1,+)	35	2,3	4	6550	3275	81,9	419	43,7	S
2	35	2,3	4	5300	2650	66,2	339	35,3	B
2,+)	35	2,3	4	6490	3245	81,1	416	43,3	S
3	35	2,3	3,5	5690	2845	81,2	364	37,9	S
4	35	2,3	3,5	6560	3280	93,6	420	43,7	S
5	35	2,3	3,5	5410	2705	77,2	346	36,1	B
5,+)	35	2,3	3,5	5620	2810	80,1	360	37,5	B
$l = 105 \text{ cm}$									
6	50	3,3	4	5090	2666	66,7	523	35,5	S
7	30	2,0	4	4500	3214	80,4	366	42,8	B
7,+)	30	2,0	4	5010	3578	89,5	408	47,7	B
8	40	2,7	3,5	3760	2327	66,5	363	31,0	S
8,+)	40	2,7	3,5	3330	2061	58,9	321	27,5	S
9	40	2,7	3,5	3840	2377	67,9	370	31,7	B
9,+)	40	2,7	3,5	5340	3305	94,4	515	44,1	B
10	35	2,3	3,5	4080	2720	77,7	366	36,3	S
10,+)	35	2,3	3,5	3330	2220	63,4	299	29,6	B
11	30	2,0	3,5	4230	3021	86,3	344	40,3	S

+) Träger umgedreht

Normenscherfestigkeit:

$$\tau_N = 47,8 \text{ kp/cm}^2$$

$$u = 10,7 \text{ o/o}$$

Legende:

B = Bruchursache im Ueberschreiten der Biegefestigkeit

S = Bruchursache im Ueberschreiten der Schubfestigkeit

Tabelle 3: Ergebnisse der Belastungsversuche des 2. Versuchsabschnittes

Träger Nr.	Lastabstand $a = x \cdot h$ a [cm] x		Breite b' [cm]	Bruchlast P_B [kp]	Querkraft Q [kp]	Schubspannung [kp/cm ²]	Biegespannung [kp/cm ²]	Quer- pressung [kp/cm ²]	Bruchur- sache
$l = 600 \text{ cm}$									
1	300	6,7	5,4	9900	4950	30,6	293	6,6	B
1,+)	67,5	1,5	15,0	30600	27158	60,5	<u>363</u>	36,2	B
2	250	5,6	5,4	10800	6300	38,9	<u>310</u>	8,4	B
2,+)	100	2,2	15,0	21600	17999	40,0	<u>356</u>	24,0	B
3	200	4,4	5,4	15300	10199	63,0	403	13,6	S
3,+)	67,5	1,5	10,0	21600	19170	<u>63,8</u>	256	25,6	S
4	150	3,3	5,4	12600	9450	<u>58,4</u>	280	12,6	S
4,+)	67,5	1,5	10,0	15300	13579	(45,3)	181	18,1	S
5	100	2,2	5,4	16200	13499	<u>83,5</u>	267	18,0	S
5,+)	100	2,2	15,0	16200	13499	(30,0)	265	18,0	S
$l = 620 \text{ cm}$									
6	67,5	1,5	10,0	22500	20050	<u>66,8</u>	267	33,4	S
6,+)	67,5	1,5	9,0	24000	21386	<u>79,8</u>	285	<u>35,6</u>	S
7	45	1,0	10,0	24000	22258	74,2	198	<u>37,1</u>	S
7,+)	67,5	1,5	10,0	22200	19782	66,2	<u>264</u>	<u>33,0</u>	B
8	45	1,0	10,0	20400	18919	63,1	<u>168</u>	<u>31,5</u>	S
8,+)	67,5	1,5	9,0	25500	22723	<u>84,5</u>	267	<u>37,9</u>	S
9	100	2,2	5,4	12000	10064	<u>62,3</u>	200	16,8	S
9,+)	100	2,2	5,4	12000	10064	<u>62,3</u>	200	16,8	S
10	150	2,2	5,4	14700	11143	<u>67,4</u>	331	18,6	S

+) Träger umgedreht

Normenscherfestigkeit:

$$\tau_{NL} = 50,6 \text{ kp/cm}^2 \quad (\text{Scherfläche} = \text{Leimfuge})$$

$$\tau_{NH} = 65,7 \text{ kp/cm}^2 \quad (\text{Scherfläche im Holz})$$

Legende:

B = Bruchursache; Ueber-
schreiten der Biegefestigkeit

S = Bruchursache; Ueber-
schreiten der Schubfestigkeit

Q = Quetschbruch am Auflager

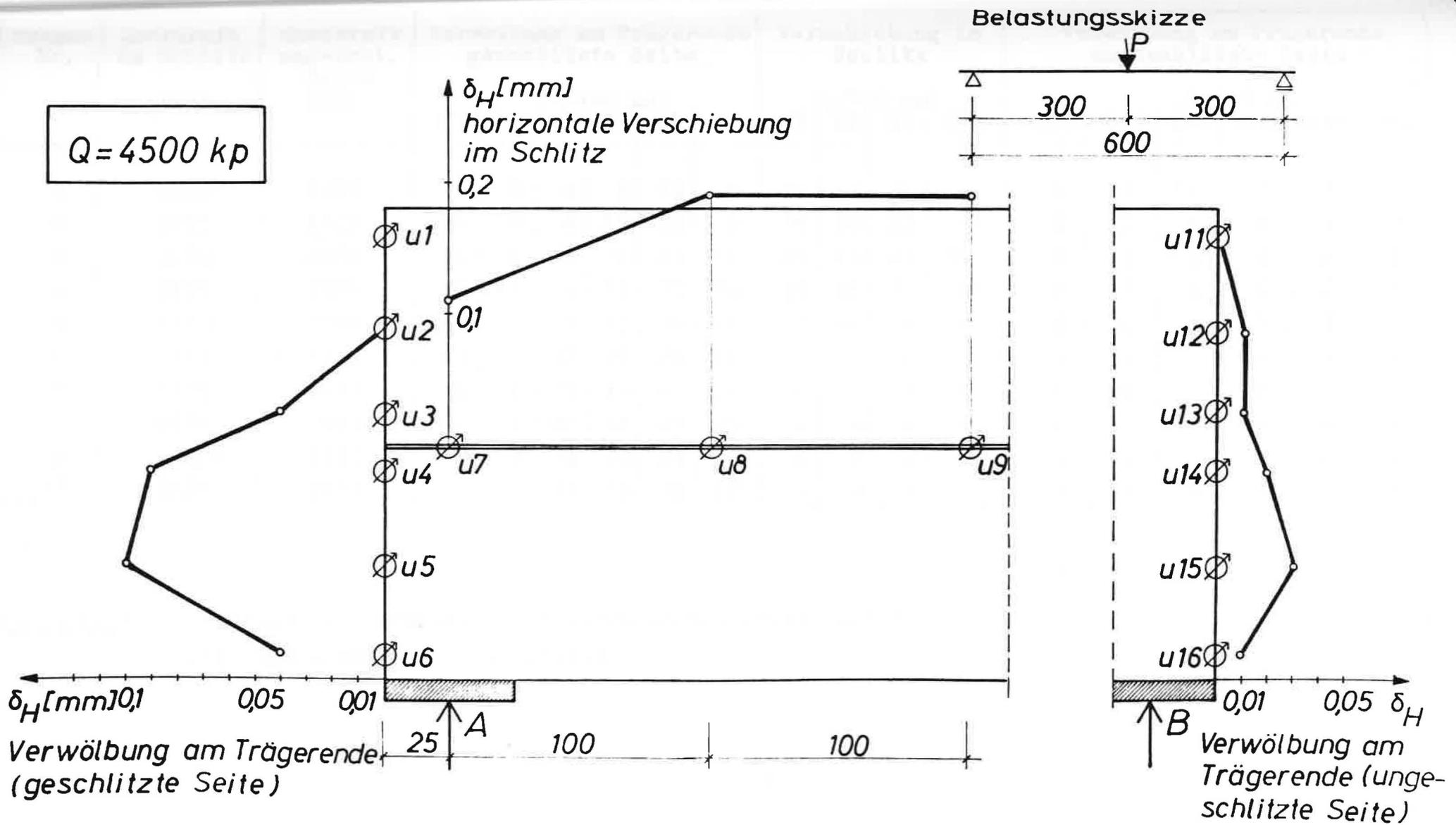


Bild 7: Verwölbung am Trägerende und horizontale Verschiebung im Schlitz bei Träger Nr. 1

Träger Nr.	Querkraft am Schlitz [kp]	Querkraft ungeschl. Seite [kp]	Verwölbung am Trägerende geschlitzte Seite						Verschiebung im Schlitz				Verwölbung am Trägerende ungeschlitzte Seite					
			[1/100 mm]						[1/100 mm]				[1/100 mm]					
			U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16
1	4500	4500	0	0	4	9	10	4	11	19	19	-	0	1	1	2	3	1
2	5775	4125	0	0	4	12	12	5	14	25	23	-	0	2	4	4	4	2
3	9600	4800	0	1	8	21	21	12	25	40	41	34	0	0	3	4	6	4
4	8775	2925	-1	-1	4	14	17	10	19	36	37	-	0	1	4	6	6	1
5	7500	1500	-1	0	7	13	18	11	22	22	-	-	0	0	2	1	3	1
6	10694	1306	-1	2	12	26	26	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	11129	871	0	4	17	19	40	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	11129	871	-2	4	22	41	47	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	6290	1210	0	3	14	20	29	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6823	2177	0	2	11	26	36	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4: Ergebnisse der Verwölbungsmessungen am Trägerende und der Verschiebungsmessungen am Schlitz

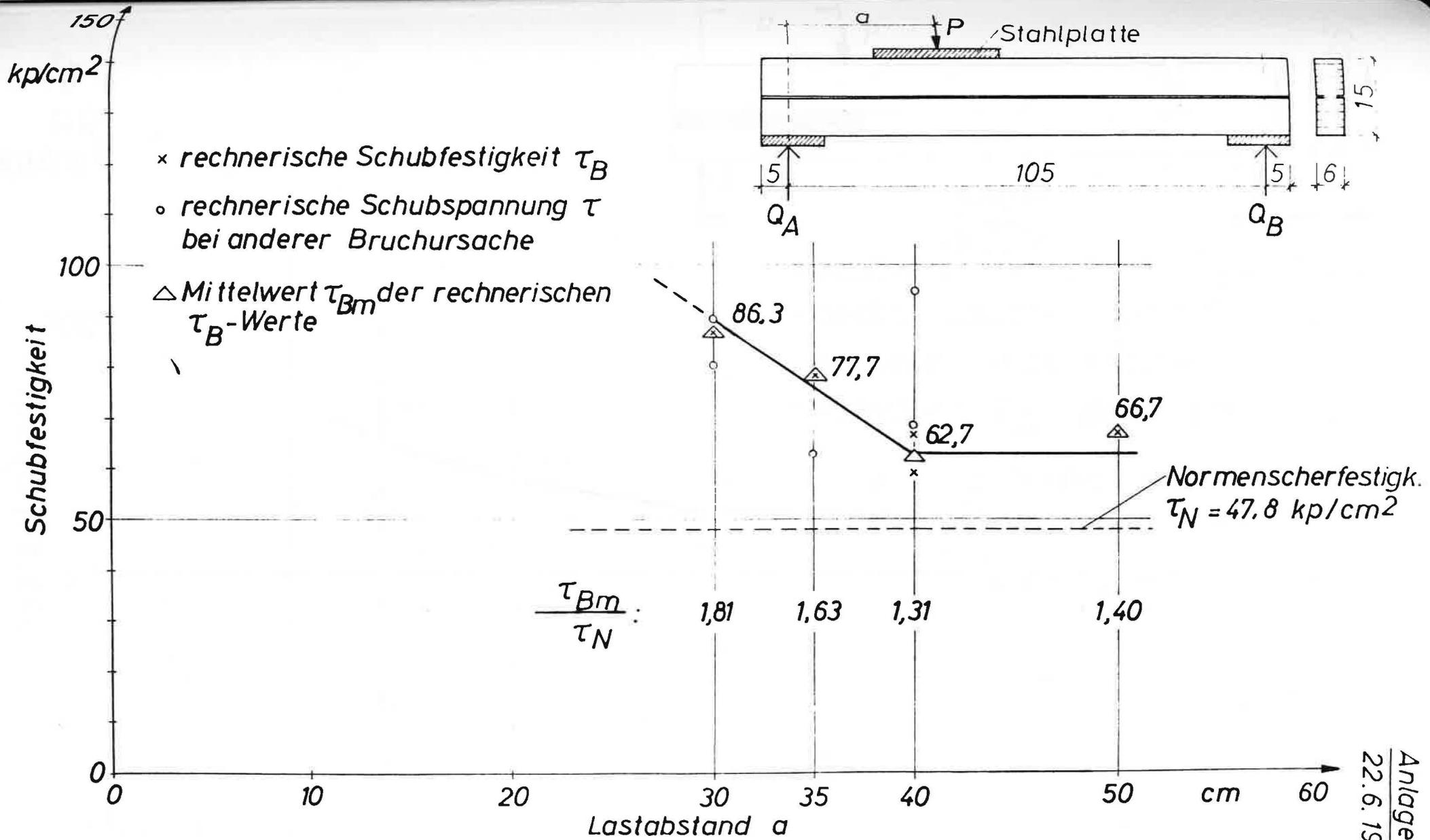


Bild 8: Rechnerische Schubfestigkeit bei verschiedener Laststellung bei Brett-schichtholzmodellträgern

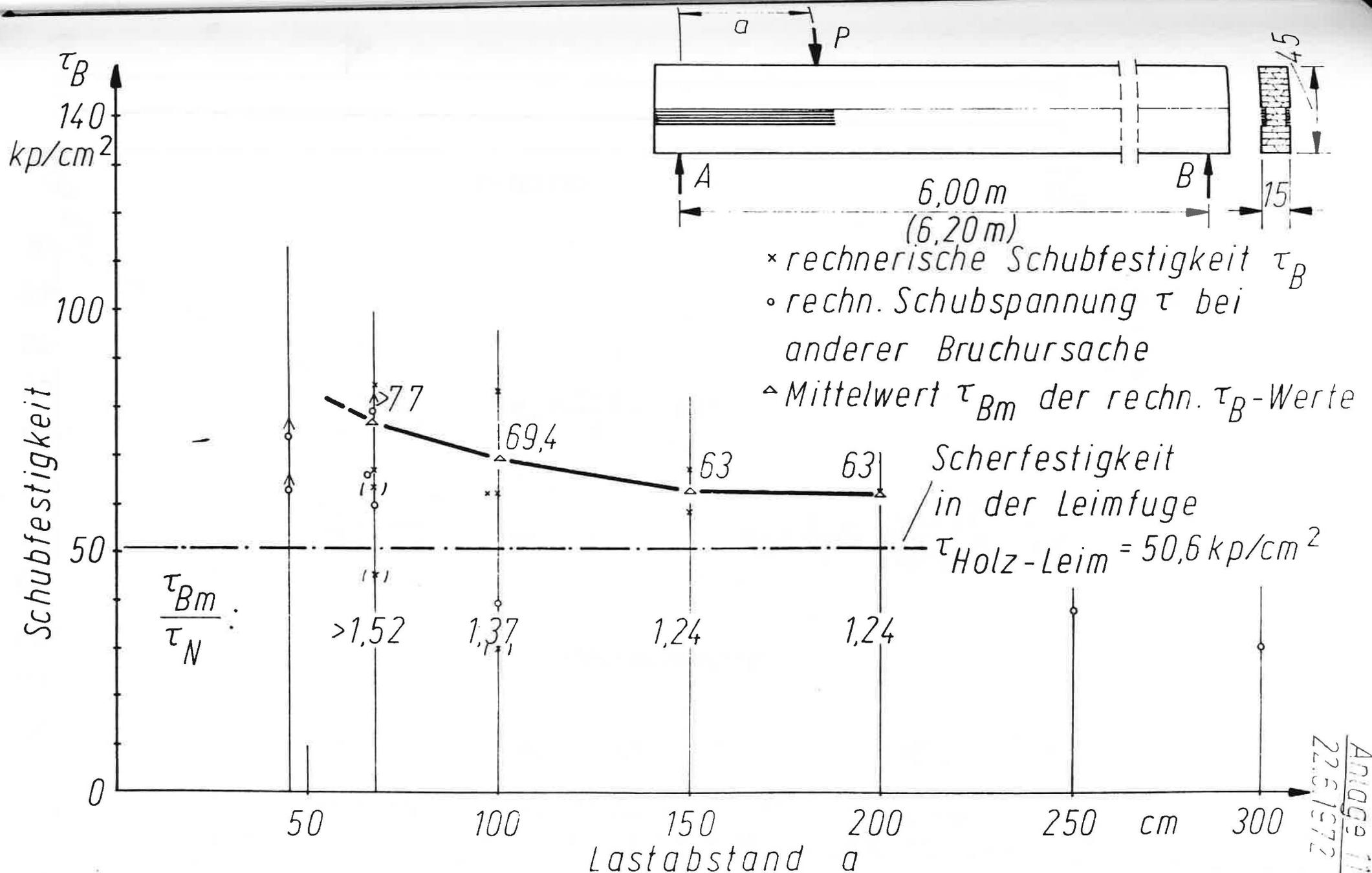


Bild 9: Rechnerische Schubfestigkeit bei verschiedener Laststellung bei Brettschichtträgern

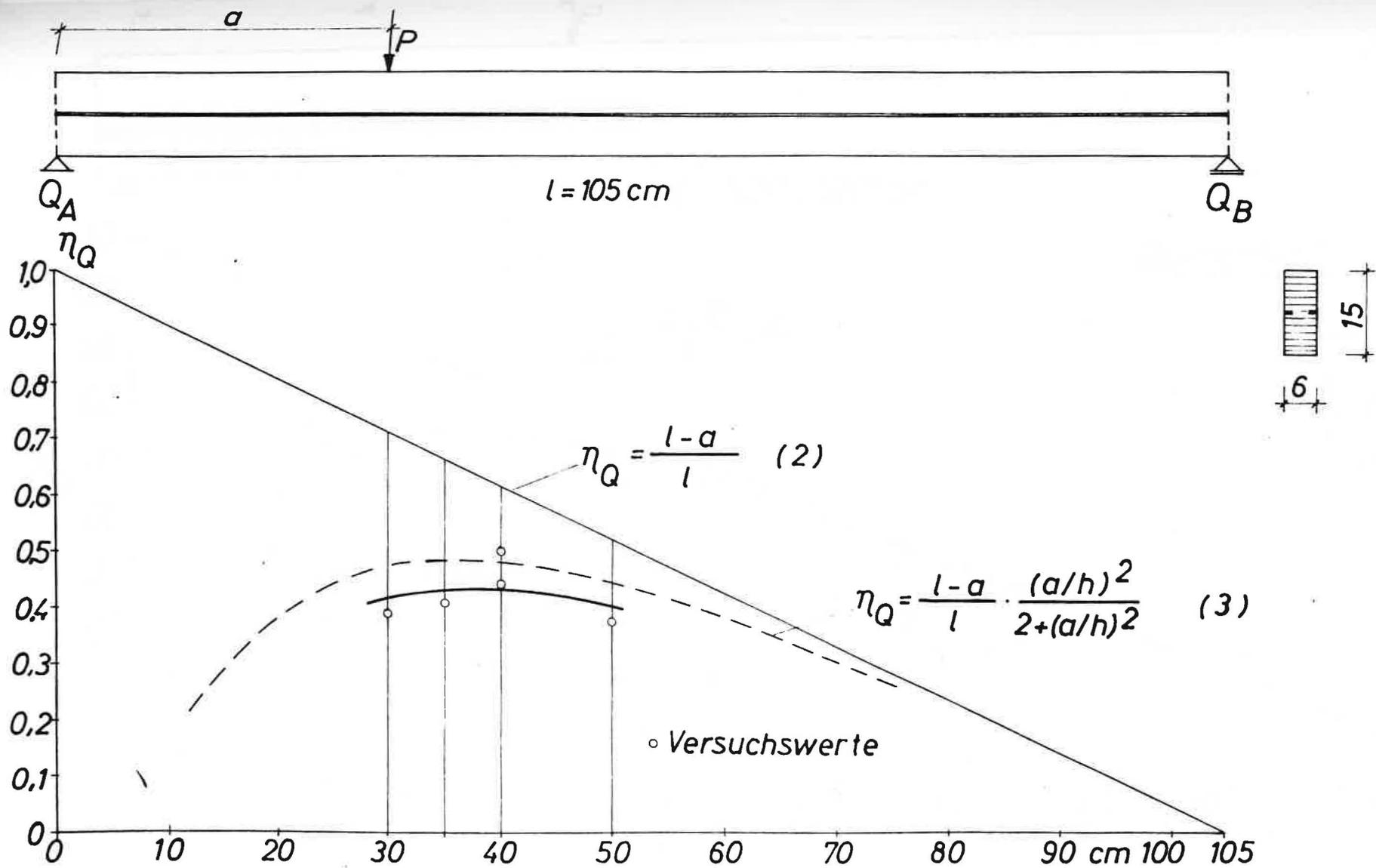


Bild 10: Einflußlinien der Querkraft nach Gl. (2) u. (3) sowie Versuchswerte η_Q nach Gl. (1) für Brettschichtmodellträger

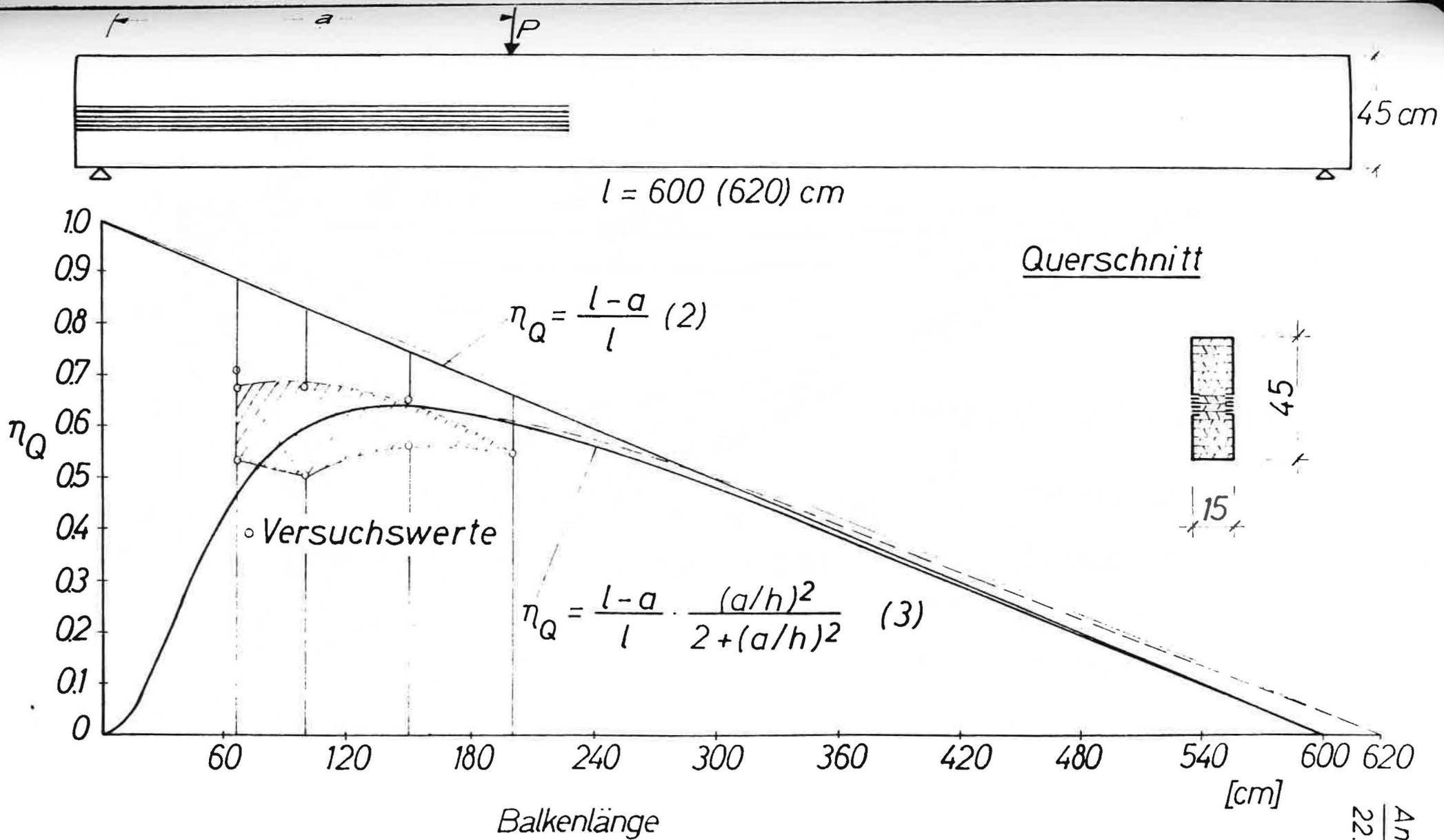


Bild 11: Einflußlinien der Querkraft nach Gl.(2) und (3) sowie Versuchswerte η_Q nach Gl. (1) für Brettschichtträger

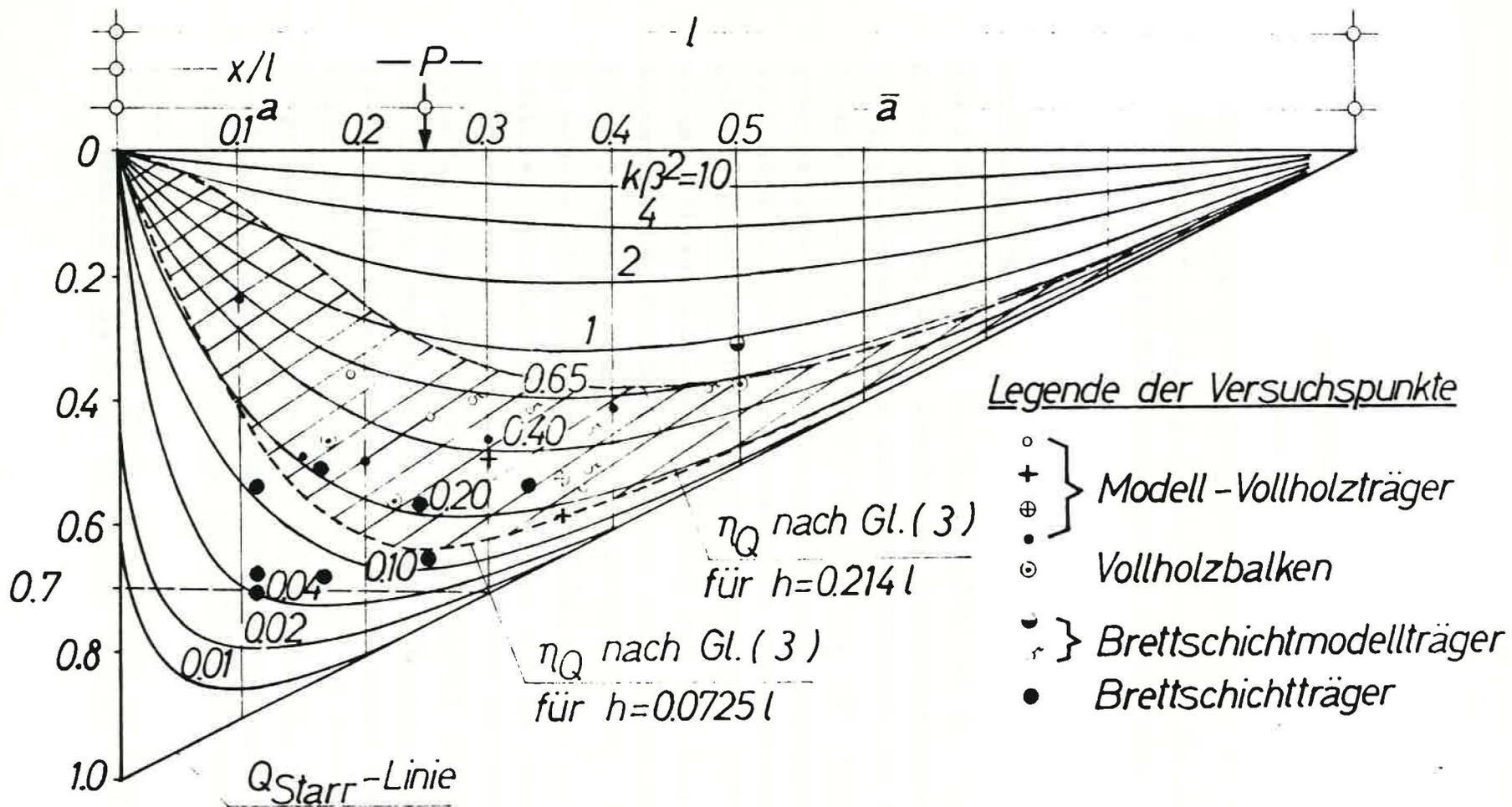


Bild 12: Einfeldträger unter wandernder Einzellast - Einflußlinien der Fugenschubkräfte an der Stelle $x=0$ für verschiedene Schubsteifigkeiten $k \cdot \beta^2$, sowie Versuchspunkte von Vollholz- und Brettschichtträgern und η_Q -Grenzlinien n. Gl. (3)

1. Bericht

sur

Forschungsaufgabe: Untersuchungen über den Einfluß der Laststellung bei Biegeträgern auf die Höhe der Schubbeanspruchung aus Querkraft.

1. Einleitung

Die Schubfestigkeit des Holzes parallel der Faser ist im Vergleich mit den Zug-, Druck- und Biegefestigkeiten verhältnismäßig gering und daher mußte insbesondere bei Kanthölzern und Balken sowie bei Brettern und Bohlen, die parallel zu ihrer größten Querschnittsweite auf Biegung beansprucht werden, die zulässige Schubbeanspruchung nicht zuletzt auch mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Schwindrisse sehr niedrig angesetzt werden. Diese Tatsache wirkt sich bei der Bemessung von biegebeanspruchten Holzbauteilen, die hohe Einzellasten in den äußeren Trägerdritteln aufzunehmen haben, sehr ungünstig aus. So müssen oft Unterszüge und Brückenträger, bei denen nach den üblichen Berechnungsverfahren auch die in Auflagernähe auftretenden Einzellasten in voller Höhe bei der Ermittlung der maßgebenden Querkraft berücksichtigt werden müssen, nach der hieraus sich ergebenden rechnerischen Schubspannung bemessen werden. In Wirklichkeit wirken sich aber zumindest die nahe der Auflager angreifenden Belastungen nicht in voller Größe auf die Biegeschubspannung aus. Auf diese Tatsache wurde bereits 1934 durch eine theoretische und versuchstechnische Arbeit des Forest Products Laboratory in Madison (1) hingewiesen, deren

(1) Newlin, Heck u. March. New Method of Calculating Longitudinal Shear in Checked Wooden Beams

Ergebnisse in den US.-Berechnungsgrundlagen (National Design Specification for Stress-Grade Lumber and Its Fastenings, Nr. 19 B 1) ihren Niederschlag gefunden haben. Auch neuere Untersuchungen im Stahlbetonbau sind hier anzuführen. Schließlich wiesen auch die Ergebnisse hier durchgeführter Arbeiten (2) über nachgiebig verbundene Holzträger darauf hin, daß größere Einzellasten in Auflagernähe nicht die vollen Schubkräfte des starr verbundenen Trägers hervorrufen.

2. Zweck der Versuche

Durch Belastungsversuche mit Rechteckbalken und I-Trägern, bei denen das Verhältnis Stützweite : Trägerhöhe etwa 8:1 bis 10:1 betrug, sollte die einen Schubbruch auslösende in verschiedenem Abstand vom Auflager angreifende Einzellast festgestellt werden. Aus der daraus nach der üblichen Berechnungsweise sich ergebenden Schubfestigkeit sollte die wirksame Querkraft bestimmt werden, die sich bei Zugrundelegung der Normenschubfestigkeit berechnen läßt. Die Ergebnisse sollten mit den Werten der US-Spezifikation und den für nachgiebigen Verbund nach (1) sich ergebenden Einflußlinien zur Bestimmung der Fugenschubkräfte für die Auflagerstelle verglichen werden. Soweit als möglich sollte ein Bemessungsverfahren für nahe der Auflager angreifende Einzellasten angegeben werden, das auch bei hohen geleimten Querschnitten (Brettschichtträger und Stegträger) anwendbar sein sollte.

3. Anlage und Durchführung der Versuche

Nachdem durch Versuche nachgewiesen war, daß Schubbrüche bei ^{1/2 r-}rissefreien Rechteckquerschnitten auch bei hohen in Auflagernähe angreifenden Einzellasten nicht auftreten, sondern die Zerstörung entweder durch Erreichen der Querdruckfestigkeit oder der Biegefestigkeit vor sich geht, wurden im 1. Versuchsabschnitt Träger mit seitlichen Schlitzern in der neutralen Faser oder aus dem Vollholz herausgearbeitete I-Träger

(2) W. Schelling: Die Berechnung nachgiebig zusammengesetzter Biegeträger im Ingenieurholzbau.
Dissertation 1968, Universität Karlsruhe (T.H.)

verwendet. Die Träger wurden als freiaufliegende Einfeldträger gelagert, die Einzellast wurde in der Regel im Abstand ^{vom Auflager} von 1,0 - 2,0 - 3,0 und 4,0 mal der Trägerhöhe aufgebracht. Außerdem wurden auch Versuche mit 1,5 und 2,5 mal Trägerhöhe durchgeführt. Die Ausbildung der Versuchsträger geht aus Bild 1 (Anlage 1) hervor. Von jedem Balkentyp wurde eine größere Anzahl Versuchskörper aus einem entsprechend großen Stamm oder Kantholzabschnitt in der Regel aus Fichtenholz herausgearbeitet, um innerhalb einer vergleichbaren Versuchsreihe möglichst gleiche Holzeigenschaften (Schub- und Biegefestigkeit) zu haben. Die maßgebende Breite der neutralen Faser wurde teilweise bei den einzelnen Balkentypen durch Vertiefung der Schlitze oder Verschmälerung des Steges verringert, wenn sich ein Schubbruch nicht erzielen ließ. An den Trägerenden waren die Balken bis zur theoretischen Auflagerlinie in der neutralen Faser eingeschlitzt, um eine Mitwirkung des überstehenden Balkenteils bei der Schubkraftaufnahme auszuschalten. Trotz dieser Maßnahmen wurde bei den einzelnen Versuchsreihen in zahlreichen Fällen Versagen durch Quetschen, Kippen oder Biegezerstörung festgestellt, so daß bei insgesamt 91 Trägerversuchen nur 42 Schubbrüche erhalten wurden. Der 2. Versuchsabschnitt umfaßte Kantholzquerschnitte 25/29 cm, die weitgehend mit Trocken-Schwindrissen im Bereich der neutralen Faser versehen waren. Hier wurde bei der 1. Versuchsreihe bei einer Stützweite von $l = 120 \text{ cm} = 4,1 \text{ mal Trägerhöhe}$ die Last in $l/2$ angreifen lassen, so daß also der Abstand vom Auflager $60 \text{ cm} = 2,05 \cdot \text{Trägerhöhe}$ betrug. Bei der 2. Versuchsreihe wurden bei einer Stützweite von $l = 270 \text{ cm} = 9,3 \text{ mal Trägerhöhe}$ Versuche mit $45 \text{ cm} = 1,55 \cdot h$ und $60 \text{ cm} = 2,07 \text{ mal } h$ durchgeführt. Die Ausbildung der Versuchsträger des 2. Versuchsabschnittes geht aus Bild 2 hervor.

Nach dem Druckversuch wurden aus den einzelnen Trägerabschnitten Normenkörper zur Ermittlung der Scherfestigkeit nach DIN 52 187 und der Druckfestigkeit nach DIN 52185 herausgearbeitet, außerdem wurde die Holzfeuchtigkeit im Darrverfahren festgestellt.

4. Ergebnis der Versuche

4.1 1. Versuchsabschnitt

In den Tafeln 1 bis 3 (Anlage 3 bis 5) sind die Ergebnisse der Schubversuche sowie die Normenfestigkeiten und die Feuchtigkeiten der Hölzer zum Zeitpunkt der Prüfung enthalten. Hierbei erfolgte die Berechnung der in Spalte 3 aufgeführten Biegebruchspannung nach der Formel:

$$\sigma_B = P_B \cdot \left(\frac{l-a}{l}\right) \cdot a \cdot \frac{h}{2J} \quad (\text{kp/cm}^2)$$

a = Lastabstand
h = Trägerhöhe
J = Trägheitsmoment

und der in Spalte 4 angegebenen Schubfestigkeit nach:

$$\tau_{BX} = P_B \cdot \left(\frac{l-a}{l}\right) \cdot \frac{S}{b \cdot J}$$

S = statisches Moment
b = kleinste Querschnittsbreite in der x-Achse

In der 5. Spalte ist die Bruchursache angegeben. In den Fällen, in denen das Versagen nicht durch einen Schubbruch eintrat, lag die Schubfestigkeit also höher als der aus P_B errechnete Wert τ_B . Für die weitere Auswertung wurden nur die in den einzelnen Tabellen unterstrichenen Werte verwendet. Die Fotos (Bild 3 bis 5, Anlage 6 u. 7) zeigen Bruchbilder einzelner Träger.

4.2 2. Versuchsabschnitt

Die Ergebnisse mit den Balken 25/29 cm sind in Tafel 4 (Anlage 8) enthalten. Dabei sind bei den bereits vor der Belastung gerissenen Balken auch die Netto-Schubfestigkeiten angegeben, die sich nach Abzug der gemessenen Rißtiefen aus der verbleibenden tragenden Balkenbreite ergeben. Die Fotos (Bild 6-12, Anlage 9 bis 12) zeigen einige Bruchbilder der geprüften Träger.

5. Auswertung der Versuche

5.1 1. Versuchsabschnitt

In den Diagrammen Bild 13 - 15 (Anlage 13 bis 15) sind jeweils für die 3 verwendeten Balkentypen die erhaltenen

Schubfestigkeiten τ_B über der Trägerstelle a , an der die Last angriff, aufgetragen. Auch die Schubspannungswerte τ für diejenigen Lastgrößen, bei denen das Versagen nicht durch einen eindeutigen Schubbruch erfolgte, sind aufgenommen. Für jeden untersuchten Punkt auf der Abszisse ist außerdem der Mittelwert τ_{Bm} eingetragen. Die Verbindungslinie dieser Mittelwerte ergibt den Verlauf der mittleren Schubfestigkeiten in Abhängigkeit von der Laststelle am Träger. Die Werte liegen durchweg über der zugehörigen Normenscherfestigkeit τ_N und steigen mit Annäherung des Lastangriffspunktes an das Auflager deutlich an, wie aus den Linien für Balkentyp 1 und 3 hervorgeht. Die Verhältniswerte $\tau_{Bm} : \tau_N$ zeigen die Zunahme und lassen erkennen, daß die wirksamen Schubkräfte nicht mehr linear mit der aufgebrachten Querkraft übereinstimmen. Diese wäre entsprechend dem Verlauf der Q-Einflußlinie nur von der Laststellung abhängig und kann berechnet werden aus:

$$Q_A = P \cdot \frac{l-a}{l} \quad (1)$$

Unter der Voraussetzung, daß die Schubfestigkeit des Holzes in der neutralen Faser jedes Trägers nicht größer werden kann als die Normenscherfestigkeit, kann die tatsächlich wirksame Querkraft Q_W aus der Bedingung

$$Q_W = Q_A \cdot \frac{\tau_N}{\tau_B} \quad (2)$$

berechnet werden. Wenn man die Einflußlinie der wirksamen Querkraft bestimmen will, so berechnen sich die Ordinaten zu:

$$\eta_Q = \frac{l-a}{l} \cdot \frac{\tau_N}{\tau_B} \quad (3)$$

Die aus den Versuchen sich ergebenden η_Q -Werte wurden aus dem Verhältnis τ_N/τ_{Bm} für die einzelnen untersuchten Laststellungen berechnet und in Bild 16-18 (Anlage 16 bis 18) zusammen

mit den normalen Querkraftseinflußlinien aufgetragen. Außerdem ist noch für jeden Balkentyp die sich nach (1) ergebende η_Q -Linie eingetragen:

$$\eta_Q^{US} = \frac{(1-a)\left(\frac{a}{h}\right)^2}{1\left[2+\left(\frac{a}{h}\right)^2\right]} \quad (4)$$

Es geht aus allen 3 Abbildungen hervor, daß die Versuchswerte stets unter der rechnerischen Querkraftslinie liegen und sich im allgemeinen gut an die aus (1) berechneten Linien anschließen.

5.2 2. Versuchsabschnitt

Die entsprechende Auswertung der Versuche mit den gerissenen großen Balken ergibt die in nachstehender Tafel zusammengestellten η_Q -Werte:

Versuch Nr.	η_Q nach Gl. (3)	η_Q^{US} nach Gl. (4)	Abweichung in %
1.1	0,307		- 10
1.2	-		-
1.3	0,420		+ 23
		0,341	
2.1	0,384		+ 13
2.2	0,378		+ 11
2.3	0,222		- 6
<hr/>			
3.1	0,362		- 20,5
3.2	0,612	0,455	+ 34
4.1	0,528		0
4.2	0,597	0,529	+ 13

Auch bei diesen Großversuchen betrug die ^{Aus den Versuchen ermittelt} mittlere Abweichung nur etwa +6%, die in Anbetracht der starken Streuungen in den Holzeigenschaften und in der Rißbildung als relativ gut bezeichnet werden kann.

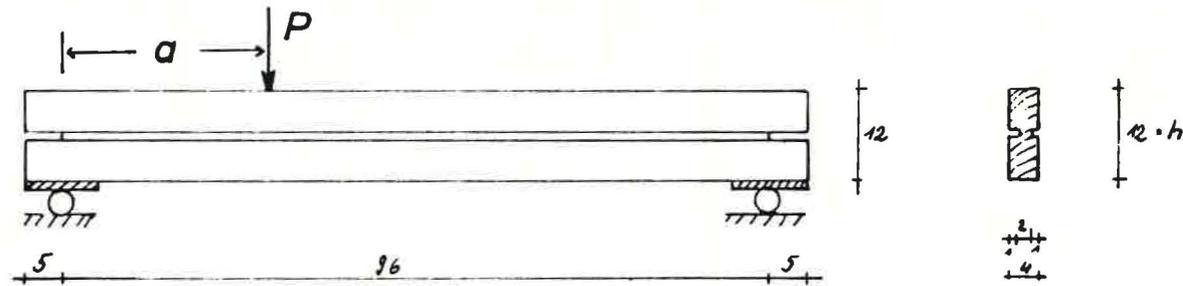
Die in Karlsruhe durchgeführten theoretischen Arbeiten über nachgiebig verbundene Biegeträger (2) bieten die Grundlagen, die Einflußlinien η_{QW} für den Einfeldträger unter wandernder Einzellast zur Bestimmung der Fugenschubkräfte über dem Auflager zu berechnen, wobei verschiedene Nachgiebigkeitseinflußgrößen $\cdot K\beta^2 = \frac{\pi^2 \cdot \beta^2}{\omega^2 \cdot l^2}$ angesetzt werden können. In der Arbeit (2) sind in Tafel 18 derartige Einflußlinien wiedergegeben. Wenn man die Versuchsmittelwerte η_Q der einzelnen Versuchsreihen in dieses Diagramm einträgt (Bild 19), so liegen diese Werte praktisch im Bereich der Linien $K\beta^2 = 0,65$ und $0,20$. Ebenso auch die Werte nach den US-Angaben. Die Unterschiede rühren also in erster Linie von den unterschiedlichen Nachgiebigkeitseinflußgrößen $K\beta^2$ her, die bei den einzelnen Versuchsreihen nicht nur infolge der verschiedenen Schubsteifigkeit der einzelnen Hölzer, speziell in der neutralen Faser, infolge des unterschiedlichen Schubmoduls und der verschiedenen wirksamen Querschnittsbreite (verschiedene Schlitztiefen und Rißiefen) verschieden waren, sondern auch infolge der verschiedenen Querschnittsabmessungen und der verschiedenen Stützweiten der einzelnen Versuchsreihen.

Wenn somit die beiden ersten Versuchsabschnitte mit geschlitzten und gerissenen Balken die Ergebnisse der US-Versuche weitgehend bestätigt haben und auch durch die Theorie des nachgiebig verbundenen Trägers eine plausible Begründung für die ^{verringerte} ~~verwiegend~~ wirksame Querkraft erbracht werden kann, so zeigen vor allem die Großversuche mit den gerissenen Balken, daß die Schubfestigkeit, die mit den reduzierten Querkraften unter Einbeziehung der gesamten Balkenbreite berechnet wird, nur Werte zwischen $14,7$ bis $33,0$, im Mittel aus 9 Versuchen 19 kp/cm^2 , erreicht hat. Bei derart stark gerissenen Balkenquerschnitten würde also die Sicherheit gegen Schubbruch stark absinken, wenn man die theoretische Abminderung der rechnerischen Querkraft nach den Regeln des nachgiebigen

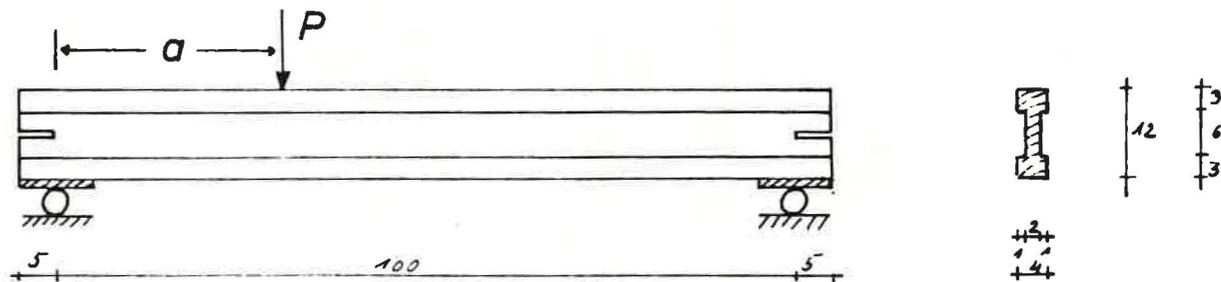
Verbundes oder nach der Gleichung (3) vornehmen würde. Andererseits zeigen die Einflußlinien für Werte $K\beta^2 < 0,2$, daß bei schubsteiferen Trägern u.U. auch bei Laststellungen im 1. Trägerviertel mit größeren wirksamen Querkräften gerechnet werden müßte. Es muß daher noch bei ungerissenen Trägern, vor allem bei Brettschichtträgern, bei denen ja keine waagrecht Risse auftreten, geklärt werden, ob hier ebenfalls mit entsprechend reduzierten Querkräften gerechnet werden darf. Da derartige Querschnitte meist die Höhe normaler Vollholzbalken merklich überschreiten, ist auch noch zu klären, ob für Laststellungen $a \leq h$ auf den Nachweis der Schubbeanspruchung vollständig verzichtet werden kann. Diese Untersuchungen sollen in einem weiteren Versuchsabschnitt durchgeführt werden.

Bild 1: Querschnitt und Längsschnitt der Versuchskörper des 1. Versuchsabschnitts

Balken- Nr. 1
Typ



Balken- Nr. 2
Typ



Balken- Nr. 3
Typ

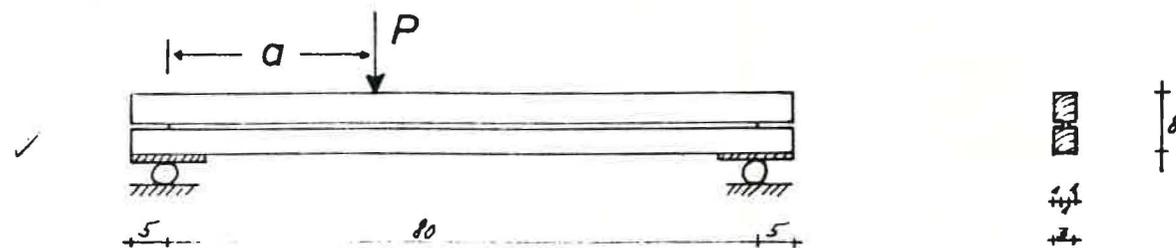
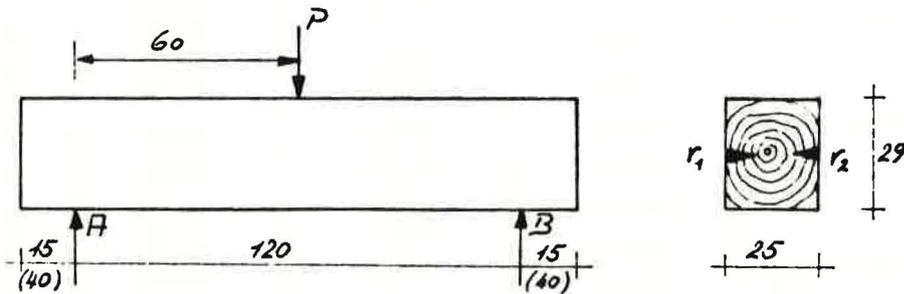


Bild 2: Versuchskörper und Belastungsanordnung beim 2. Versuchsabschnitt

1. Versuchsreihe:



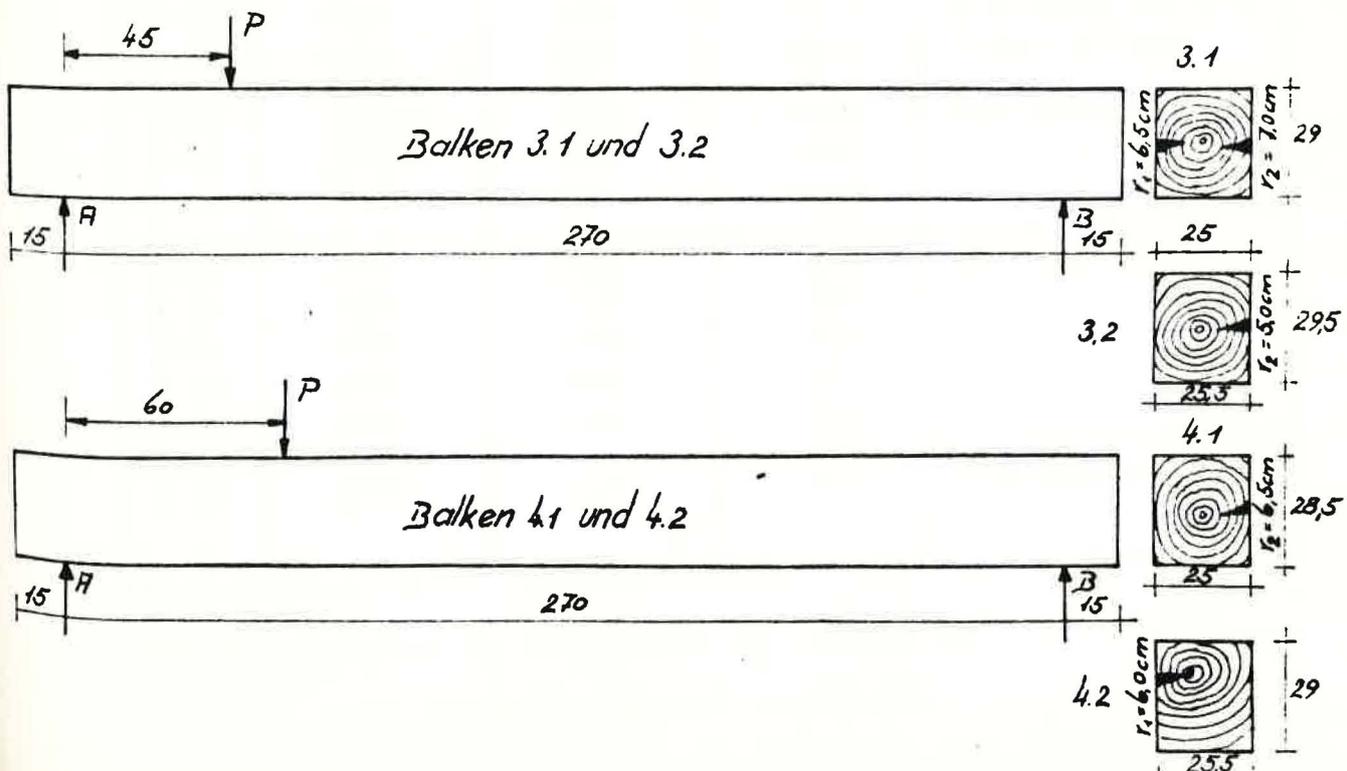
Rißtiefen im Auflagerbereich A bei den einzelnen Balken:

Balken Nr.	1.1	1.2	1.3
Rißtiefen r_1 [cm]	10	—	10
r_2	5	—	3-5

x) lotrechter RiB
ca 4-8 cm tief

Balken Nr.	2.1	2.2	2.3
Rißtiefen r_1 [cm]	10	10	10
r_2	4	4	5

2. Versuchsreihe:



Tafel 1

Ergebnisse der Schubversuche mit Balkentyp Nr. 1

Laststelle a	Bruchlast P_B [kp]	Biegefestigk. σ_B [kp/cm ²]	Schubfestigk. τ_B [kp/cm ²]	Bruchursache
1	2	3	4	5
1×h	1920	> 211	> 105	Quetschen am Aufl.
1×h	2145	> 235	> 118	"
1×h	2340	> 256	> 128	"
1×h	1860	> 204	> 102	Kein Schubbruch
1×h	1905	> 208	> 104	"
1×h	2490	272	> 136,5	"
1×h	1800	> 197	> 98,6	"
1×h	2220	> 243	> 122	Quetschen am Gurt
1×h	3110	> 340	> 170,5	Quetschen am Aufl.
1×h	2880	> 315	> 158	Träger gekippt
1×h	2340	> 256	> 128,5	Quetschen am Aufl.
1,5×h	2640	> 404	<u>134</u>	Schubbruch
1,5×h	2520	> 385	> 128	Quetschen am Aufl.
1,5×h	2655	> 405	<u>135,0</u>	Schubbruch
1,5×h	2505	> 382	> 127,4	Träger gekippt
1,5×h	2715	> 414	> 138	"
1,5×h	2955	> 450	<u>150</u>	Schubbruch
2×h	1695	> 318	> 79,5	Quetschen am Aufl.
2×h	1575	> 295	> 75,9	Quetschen am Steg
2×h	2070	> 387	> 97,2	"
2×h	1425	> 267	> 66,8	Kein Schubbruch
2×h	2265	> 425	106,5	Schubbruch
2×h	1860	> 348	> 87,2	Kein Schubbruch
2×h	2370	> 444	> 111	Quetschen am Steg
2×h	1890	> 354	> 88,5	Träger gekippt
2×h	1845	> 346	> 86,5	"
2×h	2295	> 430	107,8	Schubbruch
2×h	2130	> 400	<u>100,0</u>	"
2×h	2355	> 442	<u>119,5</u>	"
3×h	1920	> 450	<u>75,0</u>	Schubbruch
3×h	1800	> 423	<u>70,0</u>	"
3×h	1785	> 418	69,8	"
3×h	1650	> 384	64,5	"
3×h	1860	> 434	<u>72,7</u>	"
4×h	2490	> 624	<u>77,7</u>	Schubbruch

Normenfestigkeiten: $\tau_N = 60,5 \text{ kp/cm}^2$; $\sigma_D = 34,5 \text{ kp/cm}^2$
 Holzfeuchtigkeit $u = 20,2 \%$

Tafel 2:

Ergebnisse der Schubversuche mit Balkentyp Nr. 2

Laststelle a	Bruchlast P_B [Kp]	G_B [Kp/cm ²]	T_B [Kp/cm ²]	Bruchursache
1	2	3	4	5
1 × h	1635	> 196	> 85,4	Träger gekippt
1 × h	1410	> 168	> 73,5	"
1 × h	1620 "	> 199	> 119	"
1 × h	1575 "	> 193	> 115	Steg gebeult
1 × h	1540 "	> 188,5	> 112,7	Träger gekippt
2 × h	1695	350	> 76,6	Biegebruch
2 × h	1440	> 297	> 65,0	Träger gekippt
2 × h	1665	> 344	75,0	Schubbruch
2 × h	1905	> 390	> 86,0	Träger gekippt
2 × h	1900	> 390	> 86,0	"
2 × h	1560 "	> 331	98,5	Schubbruch
2 × h	1530 "	> 321	> 96,5	Träger gekippt
2,5 × h	2385	> 557	98,5	Schubbruch
3 × h	1965	> 508	74,6	Schubbruch
3 × h	1890	> 492	(40,3)	"
3 × h	1740	> 455	> 65,8	Träger gekippt
3 × h	1680	> 447	> 63,8	"
3 × h	2115 "	> 550	> 80,1	"
3 × h	2355 "	> 614	> 89,5	"
3 × h	2415 "	> 631	92,0	Schubbruch
3 × h	1995 "	> 475	106	"
3 × h	2085 "	> 556	111	"
4,2 × h	1695	478	> 50,3	Quetschen am Gurt
4,2 × h	1925	545	> 57,1	Biegebruch
4,2 × h	1845	523	> 54,7	"

" Versuchskörper aus Kiefernholz

Normenfestigkeiten:

Fichtenholz: $\tau_N = 68,9 \text{ kp/cm}^2$; $\sigma_D = 363 \text{ kp/cm}^2$; $u = 14\%$ Kiefernholz: $\tau_N = 83,4$; $\sigma_D = 517$; $u = 13\%$

Tafel 3:

Ergebnisse der Schubversuche mit Balkentyp Nr. 3

Last- stelle a	Bruchlast P_B [kp]	G_B [kp/cm ²]	T_B [kp/cm ²]	Bruchursache
1	2	3	4	5
1×h	1560	>352	<u>264</u>	Schubbruch
1×h	1380	>310	>233	Träger gekippt
1×h	1725	>388	<u>291</u>	Schubbruch
1×h	1515	<u>340</u>	>256	Biegebruch
1×h	2190	>492	<u>370</u>	Schubbruch
1×h	1410	>317	>238	Träger gekippt
1×h	1470	>330	>248	"
1×h	1500	>337	>253	"
1,5×h	900	>286	<u>143</u>	Schubbruch
1,5×h	885	>282	<u>141</u>	"
2×h	900	>359	<u>135</u>	Schubbruch
2×h	960	>382	<u>144</u>	"
2×h	795	>317	<u>119</u>	"
2×h	795	>317	<u>119</u>	"
2×h	1470	695	>87	Biegebruch
2×h	1935	774	>96,2	"
2×h	810	323	>121	"
2×h	735	>293	<u>110</u>	Schubbruch
2×h	645	>257	<u>96,6</u>	"
2×h	1110	>445	<u>166</u>	"
2×h	1125	>450	<u>169</u>	"
3×h	990	>520	<u>130</u>	Schubbruch
3×h	960	>505	<u>126</u>	"
3×h	930	>490	<u>122</u>	"
3×h	1035	>544	<u>136</u>	"
3×h	870	>456	<u>114</u>	"
4×h	1245	>747	<u>140</u>	Schubbruch
4×h	960	>577	<u>108,5</u>	"
4×h	1140	>685	<u>128</u>	"
4×h	885	>531	<u>101</u>	"
4×h	825	(495)	>92,5	Biegebruch

Normenfestigkeiten:

$$\sigma_N = 810 \text{ kp/cm}^2; \quad \sigma_D = 630 \text{ kp/cm}^2; \quad u = 7,9\%$$



Fig. 27. Sample of wood of the type of wood





Bild 5: Querschnitte bei Balkentyp Br. (Deutlich erkennbar der Beginn des Schubbruchs im Frühjahr.)

Tafel 4: Ergebnisse des 2. Versuchsabschnittes

1. Versuchsreihe: Stützweite $l = 120 \text{ cm}$, $a = 60 \text{ cm}$

Versuch Nr.	Bruchlast P_B [kp]	Rechnerische Schubfestigkeit τ_{voll} [kp/cm ²]	Schubfestigkeit τ_{netto} [kp/cm ²]	Normenwerte [kp/cm ²]
1.1	46400	47,8	119,5	$\tau = 73,5$ (61,6 - 101,0)
1.2	44000	> 45,5	-	
1.3	50400	52,1	87,5	$\sigma = 507$ $u = 11,6 \%$
2.1	42000	43,4	98,9	$\tau = 75,6$ (64,8 - 86,5)
2.2	42600	44,1	100,1	
2.3	45300	46,9	117,4	$\sigma = 543$ $u = 11,0 \%$

2. Versuchsreihe: Stützweite $l = 270 \text{ cm}$, $a = 45 \text{ cm}$ (60 cm)

Versuch Nr.	Bruchlast P_B [kp]	Rechnerische Schubfestigkeit τ_{voll} [kp/cm ²]	Schubfestigkeit τ_{netto} [kp/cm ²]	Normenwerte [kp/cm ²]
3.1	25500	44,0	114,4	$\tau = 49,6$ $\sigma_D = 290$ $u = 20,4 \%$
3.2	33000	54,0	67,5	
4.1	33000	54,0	73,0	
4.2	24000	37,9	64,5	

Anlage 9



Bild 6:

Bruch an Balken Nr. 1.



das ist -







Bild 13: Rechnerische Schubfestigkeit bei verschiedener Laststellung
beim Balkentyp 1

Anlage 13

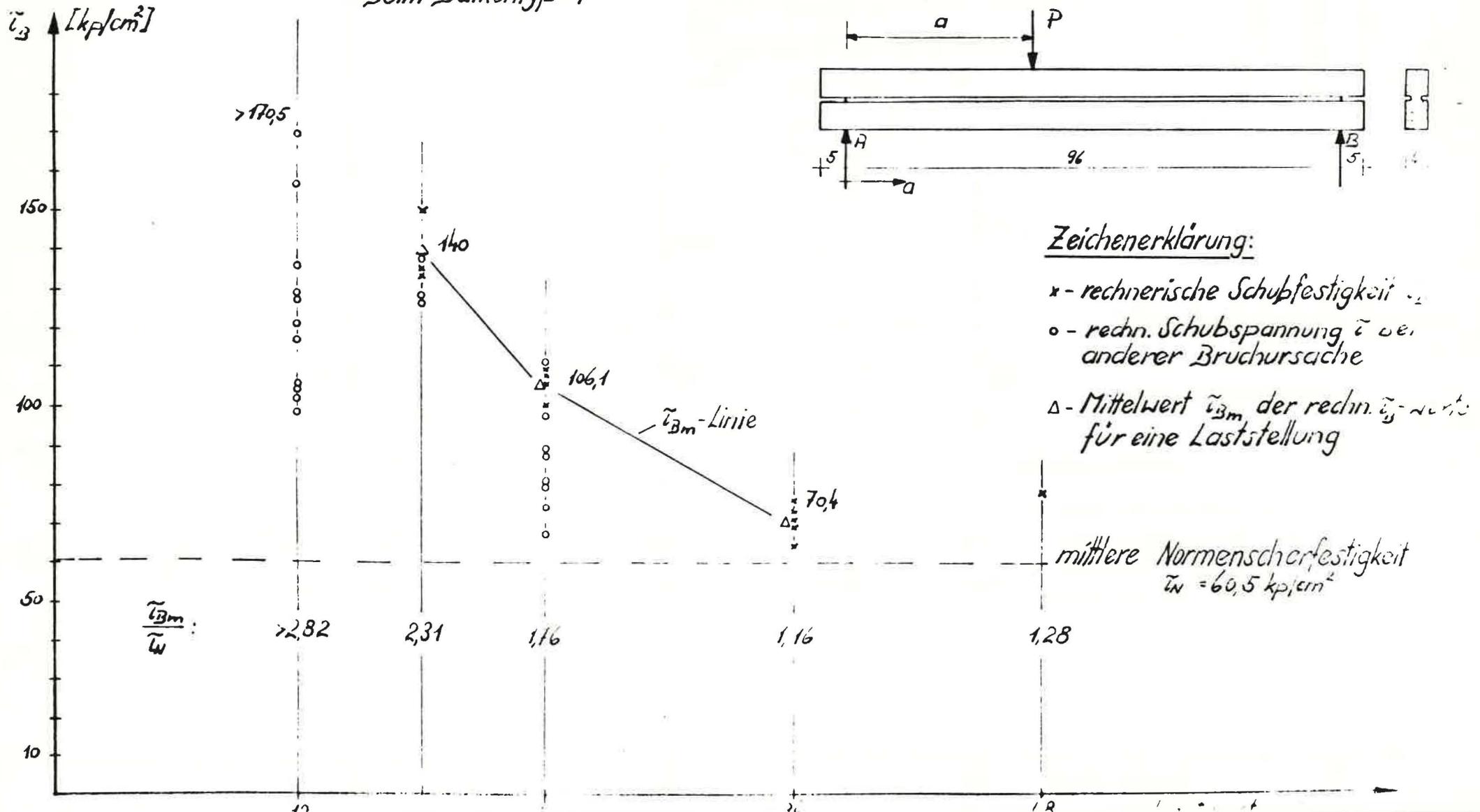


Bild 14: Rechnerische Schubfestigkeit bei verschiedener Laststellung beim Balkentyp 2

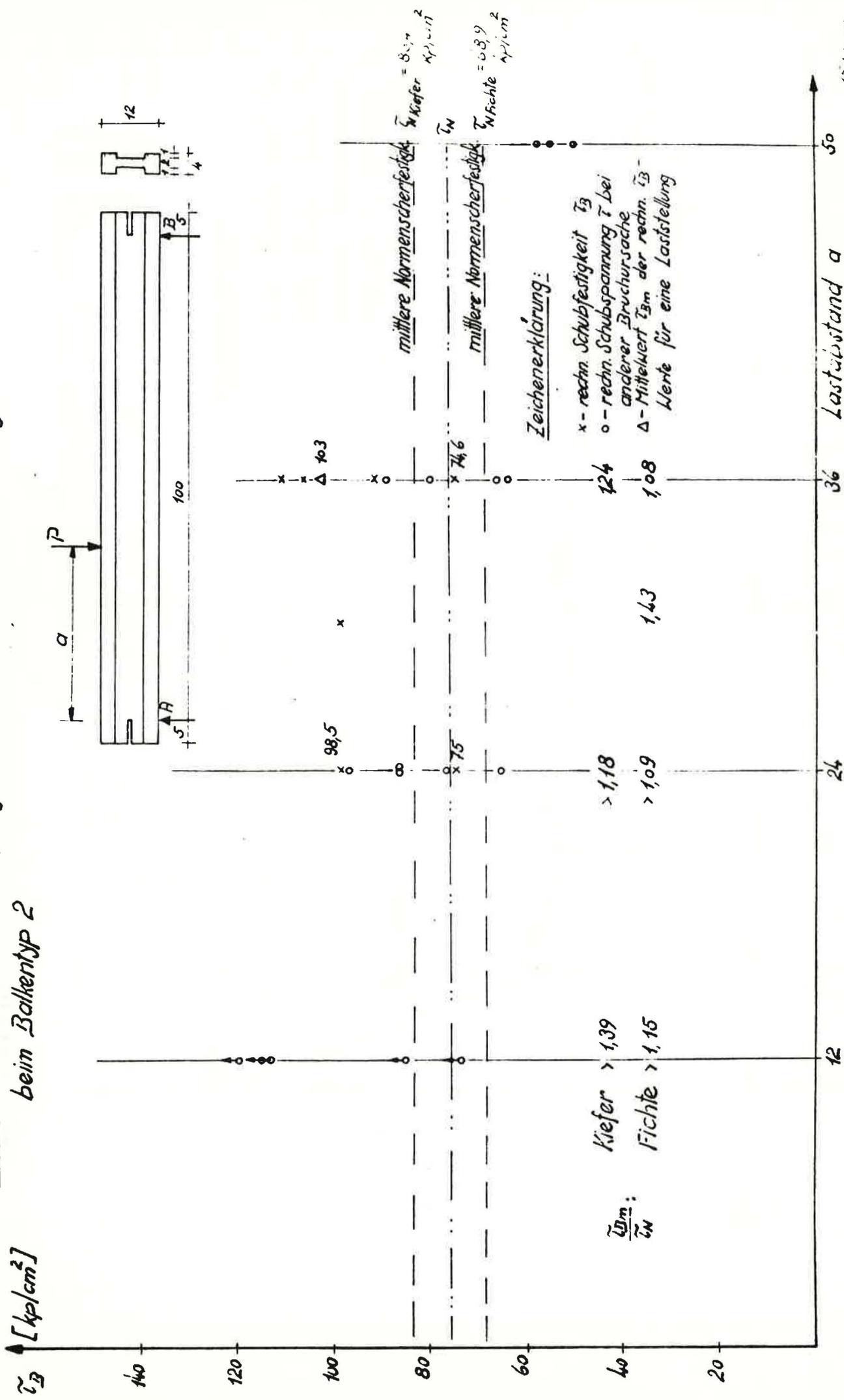
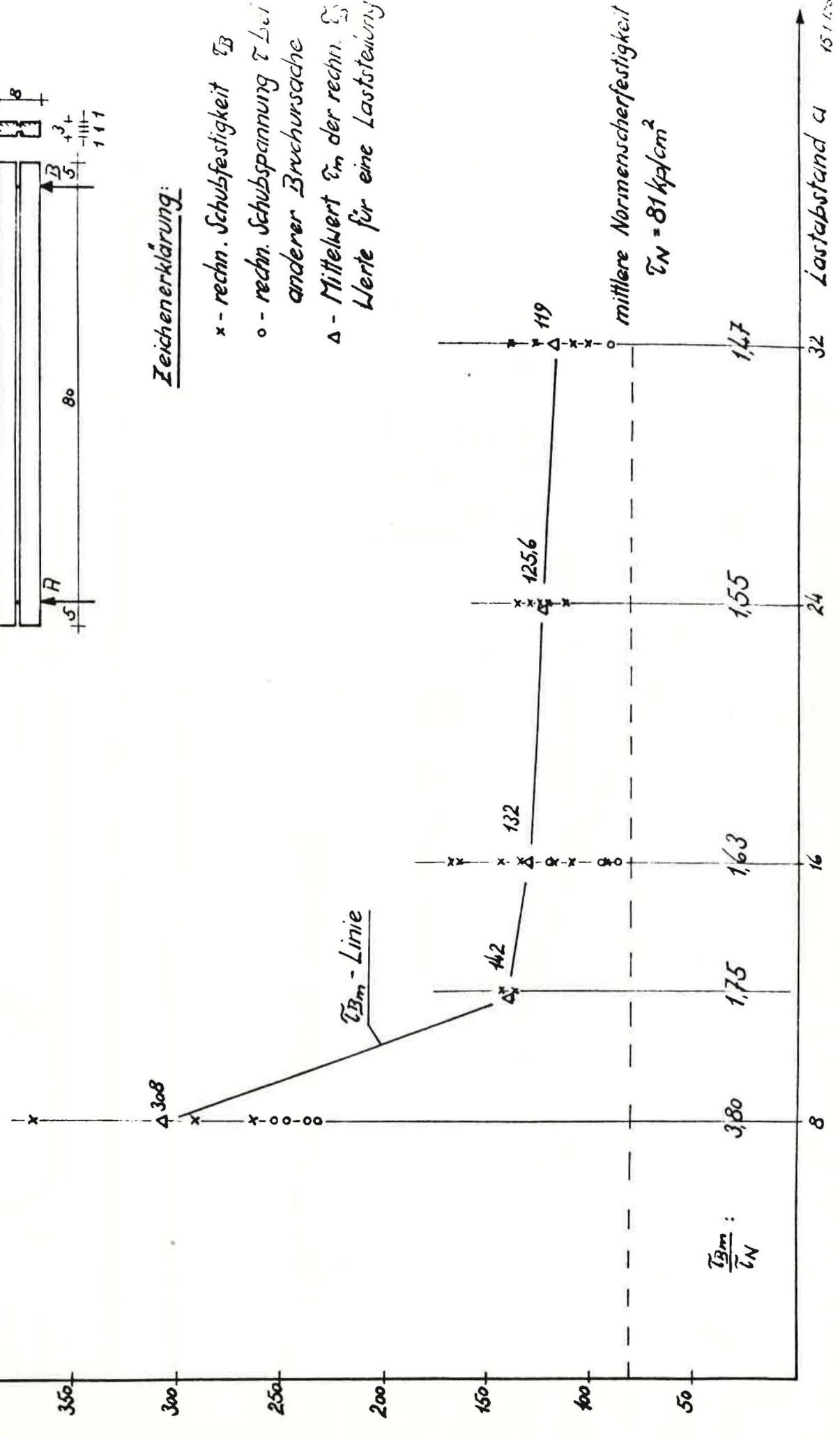
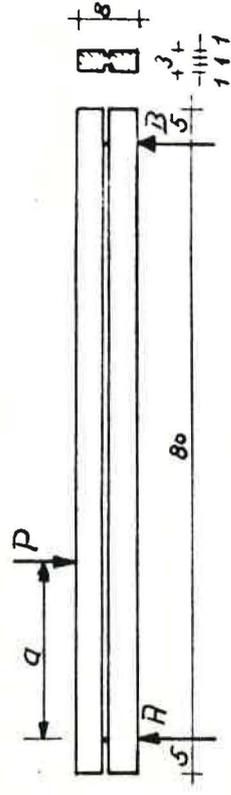


Bild 15: Rechnerische Schubfestigkeit bei verschiedener Laststellung beim Balkentyp 3

$\bar{\tau}_B$ [kg/cm^2]

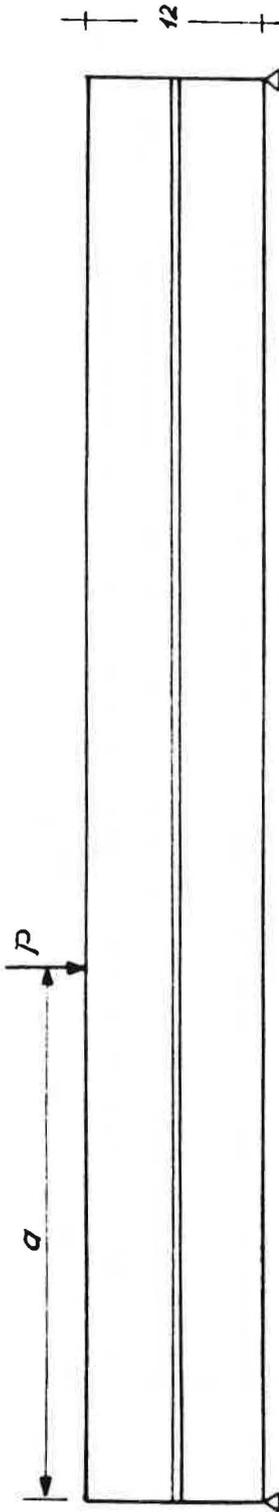


Zeichenerklärung:

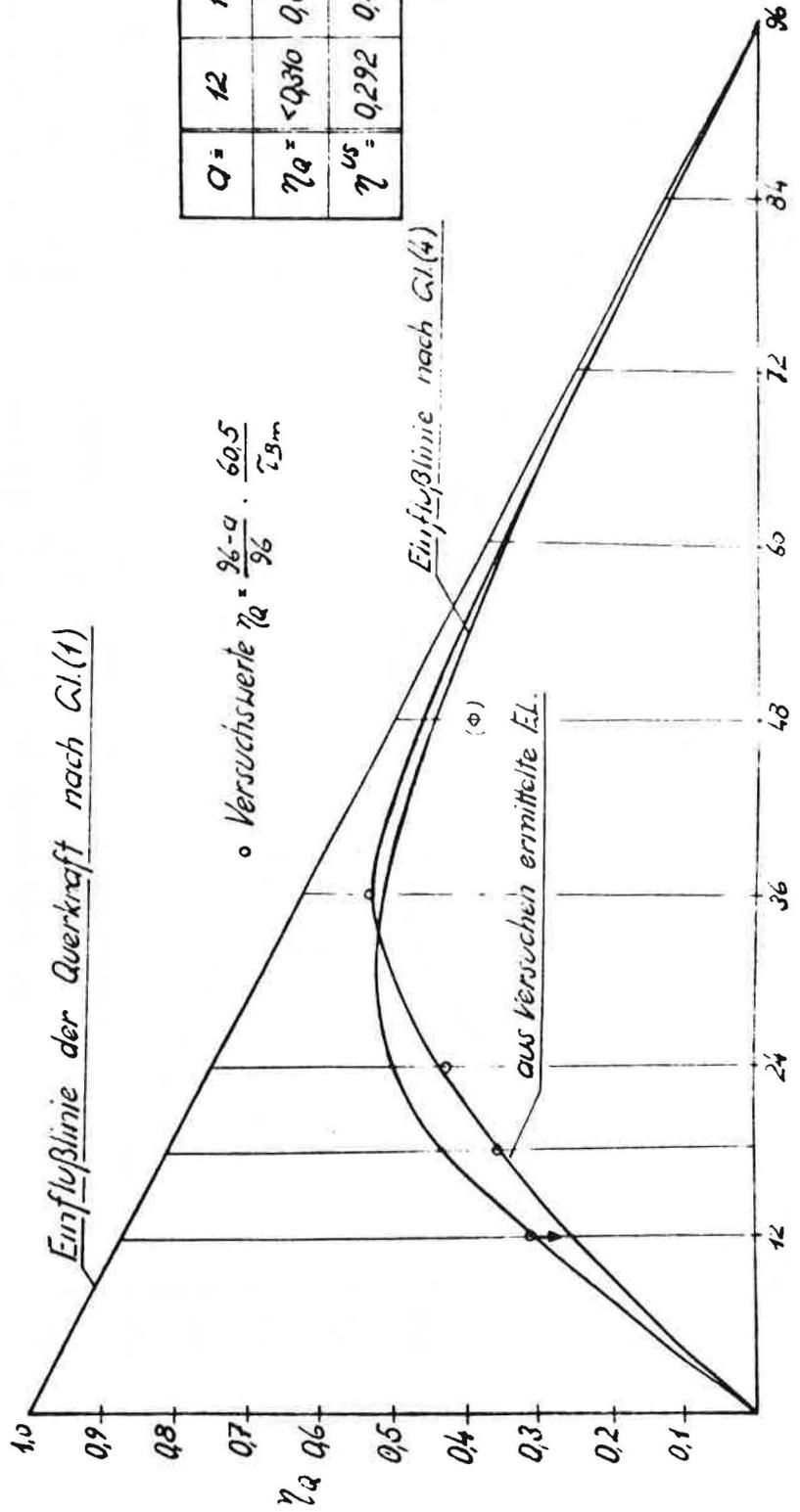
- \times - rechn. Schubfestigkeit $\bar{\tau}_B$
- \circ - rechn. Schubspannung $\bar{\tau}_L$ bei anderer Bruchursache
- Δ - Mittelwert $\bar{\tau}_m$ der rechn. $\bar{\tau}_B$ -Werte für eine Laststellung

Bild 16: Einflußlinien der Querkraft nach Gl.(1) und (4) sowie Versuchsmittelwerte η_a nach Gl.(3) für Balkentyp Nr.1

Anlage 16



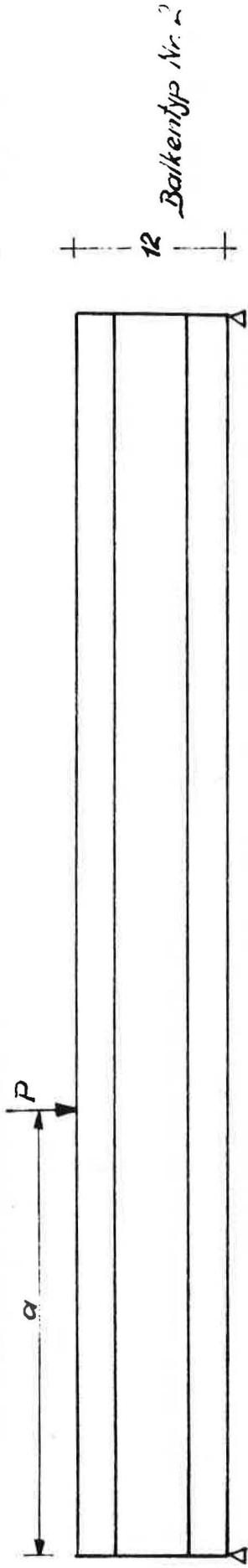
Balkentyp Nr.1



$Q =$	12	18	24	36	48	60	72
$\eta_Q =$	0.310	0.352	0.426	0.538	0.691		
$\eta_{us} =$	0.292	0.430	0.500	0.512	0.444	0.367	0.237

Bild 17: Einflußlinien der Querkraft nach Gl.(1) und (4) sowie Versuchsmittelwerte η_a nach Gl.(3) für Balkentyp Nr.2

Anlage 17



- Versuchswerte $\eta_a^F = \frac{100-a}{100} \cdot \frac{68,9}{\frac{23m}{100}}$ (Fichte)
- Versuchswerte $\eta_a^K = \frac{100-a}{100} \cdot \frac{83,4}{\frac{23m}{100}}$ (Kiefer)

$a =$	12	24	30	36	48	60	72	84
η_a^F	0,758	0,698	0,689	0,591	-	-	-	-
η_a^K	0,635	0,643	-	0,518	-	-	-	-
η_a^{us}	0,294	0,508	0,530	0,523	0,462	0,370	0,265	0,144

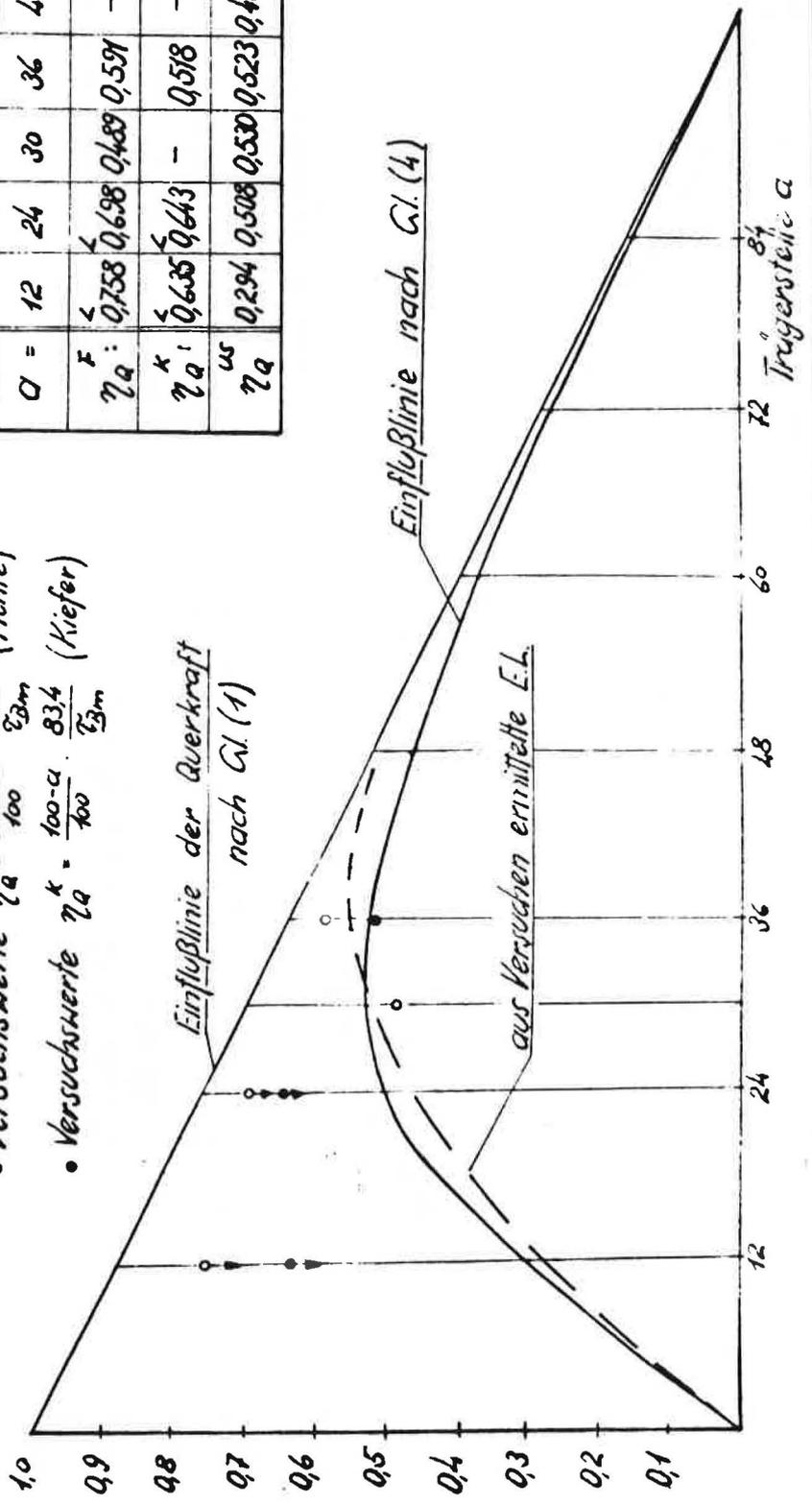
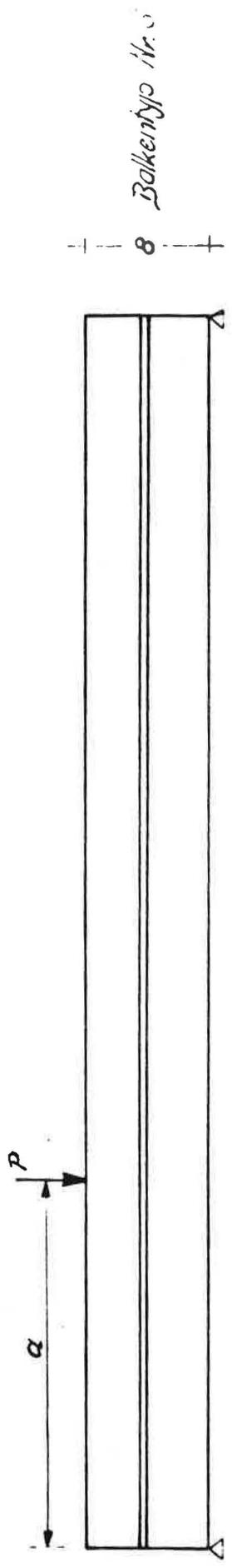
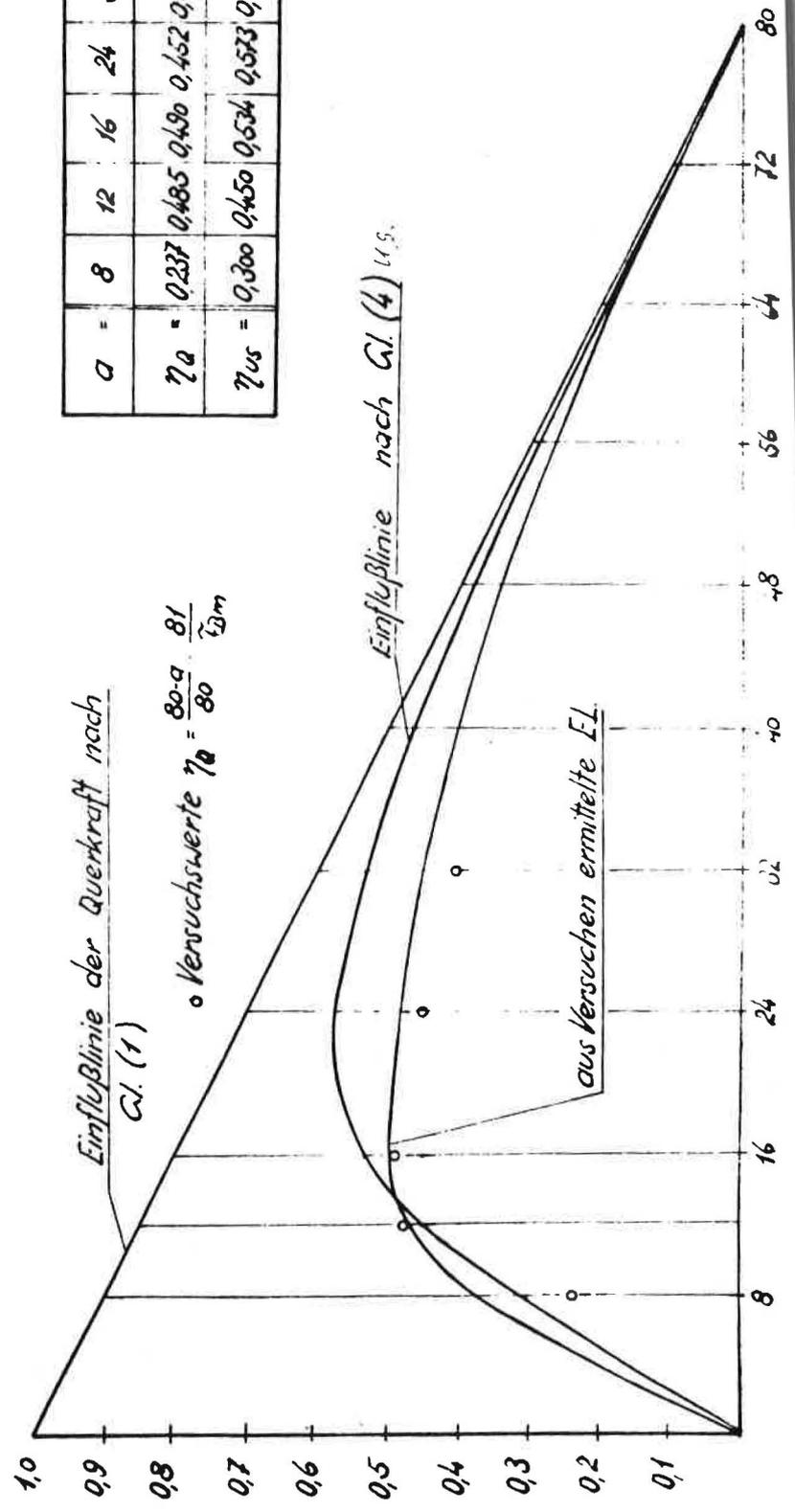


Bild 18: Einflusslinien der Querkraft nach Gl.(1) und (4) sowie Versuchsmittelwerte η_a nach Gl.(3) für Balkentyp Nr.3

Anlage 18



Balkentyp Nr.3



Einflusslinie der Querkraft nach Gl. (1)

o Versuchswerte $\eta_a = \frac{80-a}{80} \cdot \frac{81}{10m}$

Einflusslinie nach Gl. (4) u.s.

aus Versuchen ermittelte E.L.

$a =$	8	12	16	24	32	40	48	56
$\eta_a =$	0,237	0,485	0,490	0,452	0,408	-	-	-
$\eta_{us} =$	0,300	0,450	0,534	0,573	0,533	0,463	0,379	0,288