

Neuere Versuche über konstruktive Vereinfachung im Holzbau.

Ein kleiner Beitrag zum Vierjahresplan.

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

Alle Rechte vorbehalten. Printed in Germany.

Für manche Zwecke des Hoch- und Tiefbaues hat man schon früher Bohlentragwerke verwendet, bei denen die Einzelteile durch ein- oder zweischnittige Nägel verbunden wurden. Die Tragkraft der Nagelverbindungen ist in den letzten Jahren von anderen und uns eingehend untersucht worden. Es wurden hier Fachwerkträger und vollwandige Biegeträger aus Brettern entwickelt und gebaut, bei denen die Kräfte ausschließlich durch Nägel übertragen wurden. An 10 m weit gespannten vollwandigen Biegeträgern aus Bohlen ebenso wie an kleinen Versuchskörpern wurde der Beweis erbracht, daß die Nägel sich auch als Verbindungsmittel für Brückenträger eignen. Unter dem Einfluß von häufig wechselnder Last behalten sie bei richtiger Abstimmung der Gebrauchslast und bei richtigem Nagelbilde ihre Tragkraft und Klemmwirkung. Bei Auftreten großer Schubkräfte in den Vollwandträgern oder großer Stabkräfte in den Fachwerkträgern bereitet das Unterbringen der dann erforderlichen zahlreichen Nägel Schwierigkeiten. Aus diesem Bedürfnis heraus wurde ein neues Verbindungsmittel entwickelt, das im Gegensatz zu den bisher üblichen Dübeln nicht an einigen wenigen Stellen, sondern gleichmäßig über die ganze Anschlußfläche verteilt die Kraft abgibt, also im wesentlichen nichts anderes als eine Verstärkung einer Nagelverbindung darstellt. Dieses Krallenband<sup>1)</sup> nähert sich der idealen Wirkungsweise des Leims, der auch die ganze Holzfläche beansprucht. In folgendem wird kurz über Versuche berichtet, die in der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen (Prüfraum Gaber) an der Technischen Hochschule Karlsruhe zu folgendem Zwecke durchgeführt wurden.

Die erste Versuchsreihe sollte feststellen, ob die sonst bei Einpreßdübeln nötigen Klemmbolzen bei dem Krallenband durch Heftnägel ersetzt werden können.

Die zweite Versuchsreihe hatte die Aufgabe, nachzuprüfen, ob die Tragwirkung von Nägeln oder Krallenbändern dadurch beeinflußt wird, daß die miteinander zu verbindenden Holzteile nicht parallel liegen, sondern sich unter verschiedenen Winkeln wie im Fachwerke kreuzen.

Erste Versuchsreihe: Krallenbänder und Heftnägel.

a) Krallenbänder und zweischnittige Heftnägel.

Es wurde eine 5 cm dicke Mittelbohle mit zwei ebenso breiten 3 cm dicken Seitenbrettern zu einem zweischnittigen Stoß vereinigt. Als Verbindungsmittel dienten Dübelpaare, zweireihig angeordnet, und zweischnittige Nägel d = 4,2 mm, 120 mm lang, deren überstehende Nagelenden quer zur Faser kurz umgeschlagen wurden. Nach unseren Versuchen ist die zulässige Belastung eines zweischnittigen Nagels mit umgeschlagenem Ende mindestens

N2 = 750 d^2 kg für d in cm.

Das Holz war zimmertrockenes Fichtenholz, und die Fasern aller drei Bohlen waren gleichlaufend angeordnet.

Die Versuche wurden auf der 500-t-Maschine mit eingebauter Meßdose durchgeführt. Die 1. Belastung wurde langsam bis zur Gebrauchslast gesteigert, dann wurde diese Gebrauchslast elfmal hintereinander aufgebracht, und schließlich wurde bei der 13. Belastung die Feinmessung wie bei der 1. Belastung durchgeführt und die Verschiebung des Mittelholzes gegen die beiden Seitenhölzer mit Meßuhren festgestellt. Nachdem die Instrumente entfernt waren, wurde die Belastung bis zur Erschöpfung der Verbindung gesteigert. Für die Beurteilung maßgebend ist das Verhalten bei der 13. Belastung.

Auf Grund von Vorversuchen wurde das beste Nagelbild auf ausreichende Klemmwirkung bestimmt. Es wurden zwei Körper gleicher Ausbildung mit zwei Dübelpaaren und acht Heftnägel von 15 cm Breite untersucht.

Die Gebrauchslast bei Einrechnung aller Heftnägel für die Tragwirkung berechnet sich mit 4056 kg. Wenn man aber nur 3/4 der Nägel in die Tragwirkung einbezieht, so ergibt sich eine Gebrauchslast von 3792 kg. Bei den beiden gleich ausgebildeten Körpern ergaben sich die Bruchlasten von 11,0 und 11,2 t nach 12 Vorbelastungen bis 3792 kg. Die „Fließgrenze“ lag über dieser Gebrauchslast.

Bei dieser Anordnung der Heftnägel reicht die Klemmwirkung aus, um bis zum Bruche die Bohlen sicher zusammenzuhalten. Um der Keil-

wirkung der Krallenbanddübel künftig aber noch besser entgegenzuwirken, wird für die Anwendung das Nagelbild wie folgt gewählt:

Für n Dübelpaare 3n + 4 zweischnittige Nägel, angeordnet in drei Reihen, in der Achse und beiderseits der Dübel.

b) Krallenbänder und einschnittige Heftnägel.

Es wurden Körper gleicher Ausbildung untersucht. Das Mittelholz war 8 cm dick, jedes Seitenholz 3 cm, die Bohlen waren 15 cm breit, die Nägel mit 4,2 mm Durchm. waren nur 100 mm lang. Die Tragkraft des einschnittigen Nagels berechnet sich zu mindestens

N1 = 350 d^2 kg für d in cm.

Bei dem Körper mit zwei Dübelpaaren wurden 16 einschnittige Nägel gleicher Abmessung richtig über die Dübel verteilt angeordnet. Unter Einbeziehung aller Nägel errechnete sich eine Gebrauchslast von 3930 kg. Die Bruchlast wurde zu 9400 und 9700 kg, im Mittel zu 9550 kg ermittelt. Damit beträgt die Bruchsicherheit nach zwölfmaliger Vorbelastung in Höhe von 3700 kg 2,4 oder 3, je nachdem ob man in die Gebrauchslast alle 16 oder nur 4 Nägel einrechnet. Die Fließgrenze dieser Verbindung mit 16 einschnittigen Nägeln liegt etwas höher als bei den 8 zweischnittigen Nägeln beim 15 cm dicken Mittelholz.

Die Klemmwirkung dieser 16 einschnittigen Nägel eines 8 cm dicken Mittelholzes war bis zum Bruch ausgezeichnet. Die Fugen klapften bei der Zerstörung kaum 1 mm weit.

Schlußfolgerung.

Bei Verwendung von Krallenbändern in Bohlentragwerken wird die erforderliche Klemmwirkung mit ausreichender Sicherheit durch ein- oder zweischnittige Nägel erreicht. Die Verwendung von Klemmbolzen ist daher grundsätzlich überflüssig. Die Tragkraft der Krallenbanddübel wird vollkommen ausgenutzt, wenn man zu n Dübelpaaren 3n + 4 zweischnittige Nägel oder doppelt so viel einschnittige verwendet. Bei der Berechnung der zulässigen Belastung darf man die Hälfte der zweischnittigen Heftnägel oder den dritten Teil der einschnittigen Nägel einbeziehen. Dabei darf angenommen werden:

Table with 2 columns: zulässige Belastung eines Krallenbanddübelpaares, and values: 1500 kg, N2 = 750 d^2 kg für d in cm, N1 = 350 d^2 kg für d in cm.

Die Steifigkeit der Krallenbandverbindung mit ein- oder zweischnittigen Klemmnägeln.

Jede Verbindung, die aus zahlreichen Einzelteilen, wie Nieten im Stahlbau oder Nägeln und Zähnen im Holzbau, besteht, braucht eine Anzahl von Vorbelastungen, um gleichmäßig zum Tragen zu kommen. Auf Grund dieser Erfahrungen, die wir besonders bei Nietversuchen im Stahlbau gewonnen haben, ist es bei uns üblich, die Spannungs-Verschiebungs-Linien bei der ersten, jungfräulichen Belastung und nach zwölfmaligem Aufbringen der Gebrauchslast, also bei der 13. Belastung zu ermitteln. Abb. 1 zeigt diese Verschiebungslinien aus den Mittelwerten für den Druckkörper mit 8 zweischnittigen und für den Druckkörper mit 16 einschnittigen Nägeln in Abhängigkeit von der Belastung eines Dübelpaares. Gemessen wurde die Verschiebung des Mittelholzes gegenüber den beiden Seitenhölzern. Man sieht deutlich durch Vergleich der dicken mit den dünnen Linien, daß beide Verbindungen durch wiederholte Belastung steifer wurden. Gibt man zu den zwei Dübelpaaren 8 zweischnittige Nägel, so wird die Verbindung etwas steifer als durch die 16 einschnittigen Nägel. In Abb. 2 ist die in mm ausgedrückte Verschiebung des Mittelholzes gegen die beiden Seitenhölzer abhängig von den Prozenten der Gebrauchslast aufgetragen. Auch hier wieder bringt der zweischnittige Nagel eine etwas größere Steifigkeit.

Den besten Einblick in die Steifigkeit gewinnt man durch die Verschiebung unter der Gebrauchslast nach wiederholter Belastung. Sie beträgt ausweislich Abb. 2 nur sehr wenig:

Table with 2 columns: Description of nail configurations and resulting deflection values (0,17 mm and 0,23 mm).

1) Bautechn. 1936, Heft 50, S. 715 ff., besonders S. 718, Abb. 11.

Abb. 2. Last-Verschiebungs-Linien für die 13. Belastung der Körper mit ein- oder zweischnittigen Tragnägeln ohne Einpreßdübel.

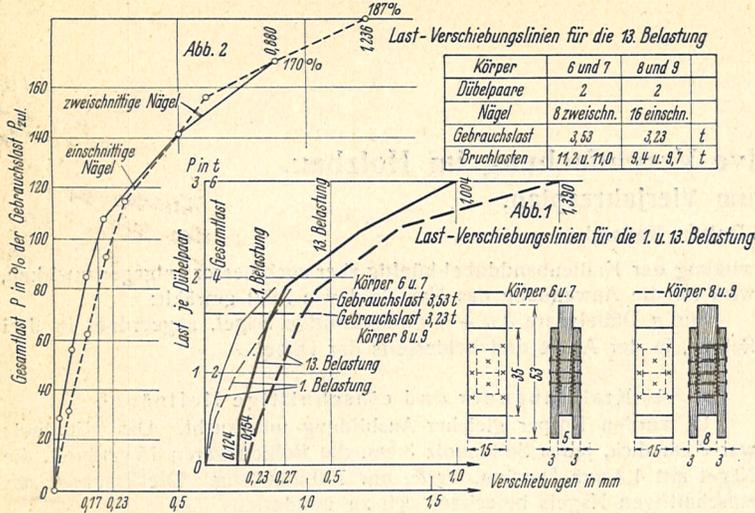


Abb. 1. Last-Verschiebungs-Linien für die 1. und 13. Belastung der Körper mit Krallendübeln mit ein- oder zweischnittigen Klemmnägeln.

Es zeigt sich dadurch wieder die alte Tatsache, wie vorteilhaft es beim Holzbau ist, an Stelle weniger dicker Bolzen eine gleich schwere Anzahl dünner Nägel zu verwenden oder sonst Verbindungsmittel wie diese Einpreßdübel mit zahlreichen Zähnen zu wählen, weil dadurch die Berührungsfläche zwischen den Stahlteilen und dem Holz vergrößert, der Leibungsdruck verkleinert und damit die Steifigkeit wesentlich erhöht wird.

Es hat sich auch bei anderen Versuchen an großen Biegeträgern gezeigt, daß die dadurch erreichbare Steifigkeit weit über der Vorschrift liegt. Bei dieser Sachlage drängt sich die Frage auf, ob man sich bei solch steifen Verbindungsmitteln nicht mit einer kleineren als dreifachen Bruchsicherheit begnügen darf.

**Zweite Versuchsreihe: Krallenbänder und Nägel bei schrägem Kraftangriff.**

Bei den vorigen Versuchen liefen die Holzfasern der beiden Seitenbohlen parallel den Fasern des Mittelholzes. Es sollte nun geklärt werden, ob bei schrägem Faserverlauf, also bei einem Winkel  $\gamma$  zwischen den Fasern des Mittelholzes und den Fasern der beiden Seitenhölzer die Belastung in der vorhin angegebenen Weise zugelassen werden kann.

Die 5 cm dicken Mittelhölzer und 3 cm dicken Seitenhölzer (Abb. 3 u. 4) stammten aus ein und derselben Tannenholzbohle. Das Holz hatte eine Druckfestigkeit von 430 kg/cm<sup>2</sup> bei 14,2% Wassergehalt. Der Druckstoß erhielt wie bei den letzten Versuchen 2 Krallenbanddübelpaare und  $3n + 4 = 3 \times 2 + 4 = 10$  zweischnittige Heftnägel mit  $d = 4,2$  mm, 120 mm lang und quer zur Faser umgeschlagenen Nagelenden. Die Holzfasern der beiden Seitenbohlen waren gleichlaufend der Krafrichtung.

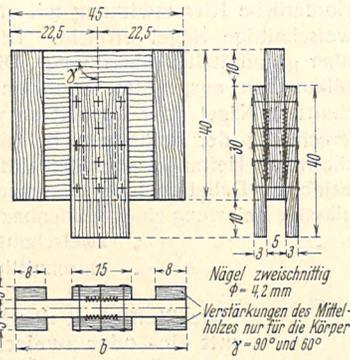


Abb. 3. Ein verstärkter Versuchskörper mit Kraftangriff quer zur Holzfaser.  $\gamma = 90^\circ$ .

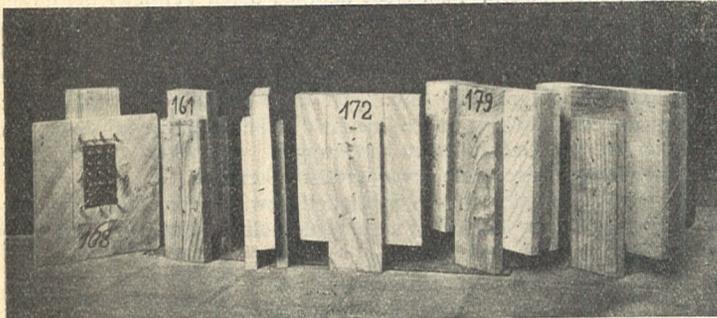


Abb. 4. Einige zerstörte Versuchskörper mit Krallenbändern und schrägem Kraftangriff.

Zerstörte Körper mit schrägem Anschluß			
Körper Nr.	Winkel $\gamma$	Dübelpaare	Nägel $\phi = 4,2$ mm
168	30°	2	10
161	0°	2	10
172	30°	0	10
179	60°	2	10

Die Holzfasern des Mittelholzes bildeten mit ihr die Winkel 0 — 30 — 45 — 60 — 90°. Die Gebrauchslast berechnete sich:

2 Dübelpaare =  $2 \times 1500 = 3000$  kg

10 Heftnägel:  $0,5 \times 10 \times 132 = 660$  kg

zulässige Belastung  $P_{zul} = 3660$  kg.

Da auch die Tragwirkung von Nägeln allein bei schrägem Faserverlauf geprüft werden sollte, wurden genau die gleichen Tragkörper, aber ohne Krallendübelpaare, mit nur 10 zweischnittigen Nägeln gleicher Abmessung wie vorhin untersucht. Die Gebrauchslast berechnete sich:

10 Tragnägel:  $10 \times 132 = 1320$  kg.

Die Bruchlast wurde als Mittel aus drei Versuchen gefunden, nachdem jeder Körper 12 mal in Höhe der Gebrauchslast vorbelastet war.

Liste 1. Bruchlasten der Dübelkörper in Tonnen.

$\gamma$	Dübelkörper $P_{zul} = 3,66$ t	Einzelwerte						Mittelwerte	
		Bruchlast	Sicherheit	Bruchlast	Sicherheit	Bruchlast	Sicherheit		
0°	{	12,9	3,52	13,4	3,67	13,9	3,80	13,4	3,66
		12,6	3,45	13,1	3,6	12,7	3,5	12,8	3,52
30°	{	12,8	3,5	12,5	3,4	12,95	3,55	12,8	3,48
		12,5	3,42	11,3	3,09	12,4	3,39	12,1	3,30
45°	{	13,7	3,75	14,4	3,94	—	—	14,0	3,84
		13,7	3,75	14,4	3,94	—	—	14,0	3,84

Liste 2. Bruchlasten der Nagelkörper in Tonnen.

$\gamma$	Nagelkörper $P_{zul} = 1,32$ t	Einzelwerte						Mittelwerte	
		Bruchlast	Sicherheit	Bruchlast	Sicherheit	Bruchlast	Sicherheit		
0°	{	7,2	5,45	7,3	5,33	7,8	5,90	7,4	5,62
		7,7	5,8	8,4	6,3	7,6	5,75	7,9	5,95
30°	{	7,75	5,85	8,7	6,55	7,95	6,0	8,2	6,13
		7,4	5,6	7,8	5,9	8,2	6,2	7,8	5,9
45°	{	6,4	4,84	6,7	5,06	6,7	5,06	6,6	4,99
		6,4	4,84	6,7	5,06	6,7	5,06	6,6	4,99

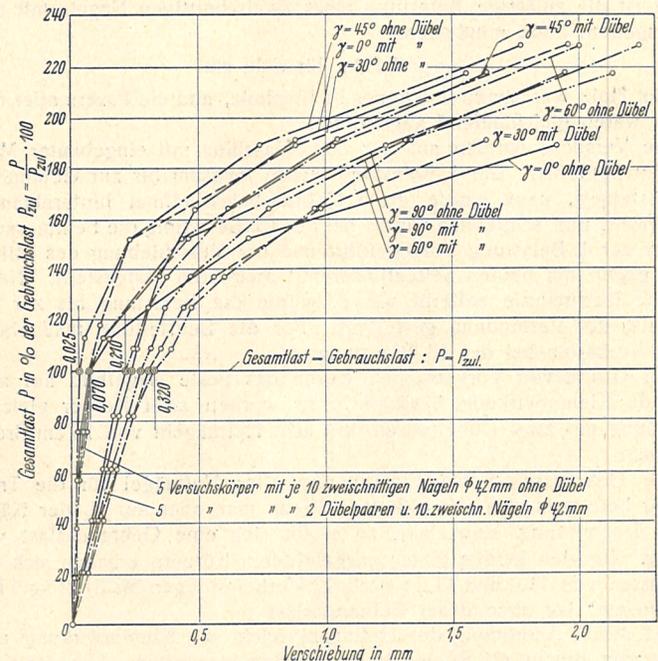


Abb. 5. Einige Last-Verschiebungs-Linien der Körper mit nur Tragnägeln oder mit Krallenband und Heftnägeln.

Die Klemmwirkung der Nägel reichte bei den Dübelkörpern vollkommen aus, um auch nach Überschreiten der Gebrauchslast die drei Bohlen sicher zusammenzuhalten. Bei der Zerstörung klappten einige Fugen zwischen Seiten- und Mittelholz  $\frac{1}{2}$  bis  $1\frac{1}{2}$  mm weit; in den meisten Fällen aber blieben die Hölzer fest zusammen.

Die Steifigkeit der Krallenbandverbindung mit Heftnägeln geht am besten aus Abb. 5 hervor. Die Fließgrenze liegt weit oberhalb der Gebrauchslast; bei der 13. Belastung bleibt die Verschiebung unter der Gebrauchslast unter  $\frac{1}{3}$  mm.

**Schlußfolgerung für die Dübelkörper.**

Der schräge Faserverlauf des Mittelholzes beeinflusst die Tragkraft der Verbindungsmittel nicht, wie sich aus Abb. 6 u. 7 ergibt. Sie schwankt im Mittelwerte zwischen 12 500 und 13 700 kg. Gegenüber der berechneten Gebrauchslast ergibt sich also eine Sicherheit zwischen 3,3 und 3,8. Damit ist der Nachweis erbracht, daß bei der Berechnung der Verbindungsmittel der schräge Kraftangriff unberücksichtigt bleiben kann.

Im Gegensatz hierzu wird die Steifigkeit der Verbindung durch den schrägen Faserverlauf beeinflusst. Sie ist am größten, wenn der Winkel zwischen den Holzfasern  $45^\circ$  beträgt, wie Abb. 7 zeigt. Die Verbindung wird etwas weicher bei einem Kreuzungswinkel von  $30$  oder  $60^\circ$ . Aber bei jedem Kreuzungswinkel bleibt die Gesamtverschiebung bei der Gebrauchslast unter  $\frac{1}{3}$  mm.

Die Fließgrenze der Dübelverbindung liegt ausweislich Abb. 5 weit über der Gebrauchslast. Das ist ein Beweis dafür, daß das Krallenband sich auch bei dynamisch beanspruchten Tragwerken gut verhalten wird.

**Schlußfolgerung für die Nagelkörper.**

Die Tragkraft der zweischneitigen Nägel mit umgeschlagenem Ende wird durch den schrägen Faserverlauf nicht ungünstig beeinflusst, wie Abb. 8 beweist. Die vorgeschlagene Berechnung der zulässigen Belastung eines zweischneitigen Nagels zu  $N_2 = 750 d^2$  in kg für  $d$  in cm ergibt Bruchsicherheiten zwischen 5 und 6,1. Nach diesen Versuchen ist es durchaus berechtigt, die Tragkraft eines zweischneitigen Nagels mit umgeschlagenem Ende zu erhöhen auf

$$N_2 = 800 d^2 \text{ in kg für } d \text{ in cm.}$$

Die hohe Tragkraft der Nägel erklärt sich hier durch ihre zweckmäßige Verteilung und ihre weiten Abstände.

Wieder im Gegensatz zur Tragkraft wird die Steifigkeit der Nagelverbindung durch den schrägen Kraftangriff beeinflusst, wie Abb. 5 u. 9 zeigen. Ähnlich wie vorhin bei den Dübelkörpern ist die Steifigkeit am größten bei einem Kraftangriff von  $45^\circ$  und am kleinsten bei  $20$  und  $70^\circ$ . Aber immer bleibt die Verschiebung des Mittelholzes gegen die Seitenhölzer unter  $\frac{1}{10}$  mm bei der berechneten Gebrauchslast.

Die Fließgrenze liegt bei den Nagelkörpern nur z. T. erheblich über der Gebrauchslast. Das ist ein Beweis dafür, daß man bei dynamisch beanspruchten Nagelverbindungen, also im Brückenbau, die zulässige Belastung gegenüber dem vorstehenden Vorschlag zweckmäßig etwas herabsetzt, etwa auf  $N_2 = 500 d^2$  in kg für  $d$  in cm.

**Zusammenfassung.**

1. Der übliche schräge Kraftangriff beeinflusst die Bruchlast einer Verbindung aus Nägeln oder Nägeln und Krallenbändern nicht.

2. Die Klemmwirkung der ein- oder zweischneitigen Nägel reicht aus, um die miteinander verbundenen Holzteile bis zum Bruch sicher zusammenzuhalten.

3. Der schräge Kraftangriff beeinträchtigt zwar die Steifigkeit einer Verbindung aus Nägeln oder Nägeln mit Krallenbändern etwas, aber nur bei einem kleinen Kreuzungswinkel zwischen  $0$  und  $30^\circ$ ; bei einem Kreuzungswinkel von  $45^\circ$  ist die Steifigkeit noch etwas größer als bei gleichlaufenden Fasern.

4. Durch wiederholte Belastung mit der Gebrauchslast werden diese Verbindungen steifer.

5. Die Fließgrenze liegt bei den Dübelkörpern erheblich über der Gebrauchslast.

Die sonst bei den Einpreßdübeln üblichen Klemmbolzen sind bei dem Krallenbande (Hersteller und Lieferer Maschinenfabrik W. Pfommer, Karlsruhe) für die Tragwirkung nicht mehr nötig und können durch die billigen Nägel ersetzt werden. Bei der hohen Lage der Fließgrenze eignet sich eine solche Verbindung auch für Tragwerke mit bewegter Last, also auch für den Holzbrückenbau. Sie gestatten, auf kleiner Fläche große Kräfte, auch wenn sie schräg zur Faser angreifen, sicher überzuleiten.

Gerade im Rahmen des Vierjahresplanes ist es erwünscht, bei dem Holzbau Bolzen zu ersparen und dadurch den Stahlverbrauch einzuschränken. Ein Weg hierzu wurde hier gezeigt.

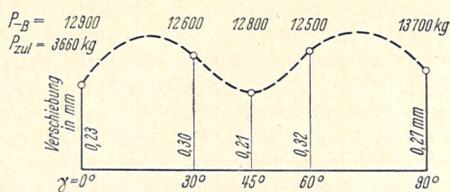


Abb. 6. Der Einfluß des schrägen Kraftangriffes auf die Verschiebung unter der Gebrauchslast und auf die Bruchlast bei den Körpern mit Krallenband und Klemmnägeln.

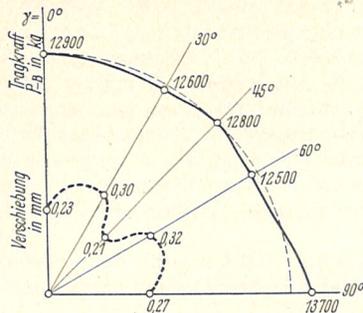


Abb. 7. Der Einfluß des schrägen Kraftangriffes auf die Verschiebung unter der Gebrauchslast und auf die Bruchlast bei den Körpern mit Krallenband und Klemmnägeln.

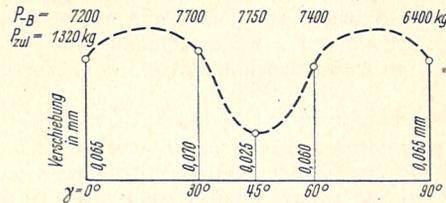


Abb. 8. Der Einfluß des schrägen Kraftangriffes auf die Verschiebung unter der Gebrauchslast und auf die Bruchlast bei den Körpern mit Tragnägeln ohne Krallenband.

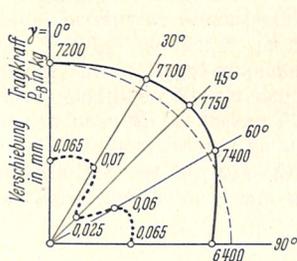


Abb. 9. Der Einfluß des schrägen Kraftangriffes auf die Verschiebung unter der Gebrauchslast und auf die Bruchlast bei den Körpern mit Tragnägeln ohne Krallenband.