

Bericht zur Forschungsaufgabe:

UNTERSUCHUNGEN UEBER DAS DAUERSCHWINGVER-
HALTEN VON HOLZVERBINDUNGEN

(Möller: 06.12.1973)

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau
und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe
Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. J. Bläß

Mitteilung aus der Versuchsanstalt für
Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieur-
holzbau der Universität Karlsruhe (TH),
Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
Schwell- und Wechselerversuche mit Holzverbindungsmitteln	2
Ausbildung der Versuchskörper	2
Durchführung der Versuche	3
1) Schwellversuche	3
2) Wechselerversuche	4
Ergebnisse der Versuche	5
1) Versuche mit Nägeln	5
2) Versuche mit Stabdübeln \varnothing 12	10
3) Versuche mit Gang - Nail - Platten	13
4) Versuche mit Appeldübeln	14
Auswertung der Versuche	19
Schwellversuche	19
Wechselerversuche	21
Zusammenfassung	22
Schrifttum	24

Einleitung

Die Angaben über die zulässigen Belastungen der Holzverbindungsmitel, die in DIN 1052, Bl. 1 und 2, für die verschiedenen Arten festgelegt sind, sind in erster Linie für die Anwendung bei vorwiegend ruhend belasteten Bauwerken gemacht. Soweit die zulässigen Lasten nicht rechnerisch ermittelt werden können, sind sie aus statischen Versuchen abgeleitet, wobei eine Mindestbruchsicherheit von 2,75 und eine Verschiebung unter zul N von 1,5 mm zugrunde gelegt wurde. Für Wechselstäbe sieht DIN 1052, Bl. 1 für die Querschnittsbemessung und die Bemessung der Verbindungsmittel für Stöße und Anschlüsse eine Abminderung der zulässigen Werte in Abhängigkeit vom Verhältnis der Unter- und Oberlast bis zu 30 % vor. Diese Angaben sollten auch im Hinblick auf die durch die wechselnde Belastung mögliche Einbuße an Formbeständigkeit überprüft werden. Im Schrifttum sind nur wenige Angaben über einschlägige Untersuchungen an Holzverbindungsmiteln unter schwingender Beanspruchung zu finden (Graf (1), Gaber (2)). Die mitgeteilten Untersuchungen erstreckten sich dabei ausschließlich auf Schwellversuche. Angaben über die auftretenden Verschiebungen sind dabei verhältnismäßig spärlich. Die bei den mitgeteilten Versuchen aufgetragenen Lasten wichen teilweise wesentlich von den heute zulässigen Lasten der Verbindungsmittel ab.

Die durchzuführenden Untersuchungen sollten klären, inwieweit bei bestimmten Verbindungsmitteln unter schwellender und wechselnder Belastung Verschiebungszunahmen und Brüche in den Stoßverbindungen auftreten. Dabei kam es vor allem darauf an festzustellen, in welchem Maße Änderungen der bleibenden und elastischen Verschiebungen während der Schwingversuche auftreten.

Schwell- und Wechselversuche mit Holzverbindungsmitteln

Es wurden Druckschwellversuche und teilweise auch Zug- Druck- Wechselversuche mit verschiedenen Verbindungsmitteln durchgeführt.

Im einzelnen wurden folgende Verbindungsmittel untersucht:

- 1) Nägel 60/180, zweiseitig, (Schwell- und Wechselversuche)
- 2) Stabdübel \emptyset 12, zweiseitig, (Schwellversuche)
- 3) Gang-Nail-Platten GN 14 (Schwellversuche)
- 4) Appeldübel \emptyset 128, (Schwellversuche)
Appeldübel \emptyset 80, (Wechselversuche)

Ausbildung der Versuchskörper

Die Ausbildung der Probekörper geht aus den Bildern 1 bis 6 hervor. Dabei wurden weitgehend die Mindestabmessungen der Hölzer und die Mindestabstände nach DIN 1052 eingehalten. Für den statischen Versuch und die Schwellversuche wurden Druckscherkörper hergestellt

Die Verschiebungen zwischen Mittel- und Seitenholz wurden mittels Meßuhren mit 1/100 mm Anzeigegenauigkeit gemessen. Für die Wechselversuche wurden beidseitig gelaschte Stoßverbindungen verwendet. Die Verschiebungen der Mittelhölzer an der Stoßlücke wurden ebenfalls mit Meßuhren aufgenommen. Die gemessene Verschiebung setzt sich dabei aus den Einzelverschiebungen der beiden Stoßhälften zusammen.

Die Probenkörper einer jeden Versuchsreihe wurden aus dem gleichen Holz (Fichte Güteklasse I/II) gefertigt, das jeweils vor dem Zusammenbau bei Normalklima 20/65 bis zur Gewichtskonstanz gelagert wurde. In Tabelle 1 sind die bei den einzelnen Versuchsreihen festgestellten Holzeigenschaften zusammengestellt.

Durchführung der Versuche

1) Schwellversuche

In der Regel wurde vor dem Schwingversuch eine Probekörper statisch bis zum Bruch belastet, um die statische Bruchlast und die zu erwartenden Verschiebungen bei verschiedener Belastungshöhe zu erhalten.

Zu Beginn des Schwellversuches wurden die 1., die 2. und die 13. Belastung des Probekörpers bis zur vorgesehenen Oberlast P_0 statisch aufgebracht und die Verschiebungen bei stufenweiser Belastung ermittelt. Anschließend wurde der Körper mit einer konstant gehaltenen Frequenz von 150 Lastspielen/min belastet. In Intervallen von anfänglich 5000 Lastspielen, später jedoch in größeren Abständen, wurden die jeweils eingetretenen bleibenden Verschiebungen und die Last-

Verschiebungslinien durch einen statischen Zwischenversuch festgestellt. Wiesen die Körper nach über 10^6 , in einigen Fällen auch über $2,0 \cdot 10^6$, Lastspielen noch keine Schäden auf, so wurde der Schwingversuch abgebrochen und anschließend ein statischer Bruchversuch durchgeführt. Für die Schwingversuche wurde eine 20 Mp-UHS-Prüfmaschine, Bauart Losenhausen, verwendet.

2) Wechselversuche

Die Wechselversuche wurden in ähnlicher Weise wie die Schwellversuche durchgeführt. Die erste Belastung erfolgte im Zugbereich, anschließend wurde die Druckbelastung aufgebracht. Da sowohl bei der Druckbelastung als auch bei der Zugbelastung bleibende Verformungen auftreten, die vorwiegend durch plastische Verformungen im Holz bedingt sind, wird eine bleibende Verschiebung sowohl in Druck- als auch in Zugrichtung verursacht. Das Mittelholz wird sich also bei jedem Lastrichtungswechsel (Nulldurchgang) um die Summe der beiden bleibenden Verschiebungen ($\delta_{bl+} + \delta_{bl-}$) ruckartig verschoben. Soweit Reibungskräfte überwunden werden müssen, wird dieser Sprung erst unter geringen Belastungen erfolgen. Um die ungünstigsten Verhältnisse zu erfassen, wurde die Reibung möglichst gering gehalten, indem z.B. Molykote zwischen die Reibflächen gesprüht wurde, bzw. bei den Dübeln die Heftbolzen nur geringfügig angezogen wurden. Bei den statischen Zwischenversuchen während des Schwingvorganges wurde nach der Entlastung auf δ_{bl+0} , um den Wert δ_{bl-0} zu erhalten, bis $-P/4$ belastet und anschließend entlastet.

Die Frequenz und die Ablesebereiche wurden wie bei den Schwellversuchen gewählt.

Bei sämtlichen Versuchen, vor allem bei den Wechselversuchen konnte festgestellt werden, daß während des Schwingvorganges eine unterschiedliche Erwärmung im Holz und den Verbindungsmitteln auftrat. Bestand für die Probe keine akute Zerstörungsgefahr, so war der Aufheizeffekt relativ gering. Unmittelbar vor der Zerstörung waren die Temperaturen jedoch teilweise so hoch, daß das Verbindungsmittel mit der Hand nicht mehr angefaßt werden konnte.

Bei den stabförmigen Verbindungsmitteln konnte die beginnende Zerstörung des Anschlusses dadurch festgestellt werden, daß jedes einzelne Verbindungsmittel in den Stromkreis eines Anzeigegerätes eingeschaltet wurde. Eine Rißbildung im Verbindungsmittel zeigte sich durch einen verminderten oder völlig unterbrochenen Stromdurchgang an.

Ergebnisse der Versuche

In Tabelle 2 sind für sämtliche durchgeführten Versuche die aufgebrachten Lastspielzahlen, die Bruchlasten und die Bruchursachen angegeben. Im einzelnen wurde folgendes festgestellt:

1) Versuche mit Nägeln 60/180

Versuch N S 1 :

Beim statischen Bruchversuch ergab sich eine Bruchlast von 12 400 kp. Unter Zugrundelegung einer zulässigen Last von $12 \cdot 224 = 2690$ kp nach DIN 1052 errechnet sich somit die Sicherheit gegen Bruch zu

$$v = 4,61.$$

Unter z_{ul} P betrug die aufgetretene Gesamtverschiebung bei der 1. Belastung 0,405 mm und bei der 13. Belastung 0,43 mm. Die bleibenden Verschiebungen wurden mit 0,14 und 0,16 mm festgestellt.

Der Verschiebungsmodul ergab sich damit für $P \leq z_{ul}$ P zu

1. Belastung : $C = 2760$ kp/cm pro Schnitt

13. Belastung : $C = 2600$ kp/cm pro Schnitt.

Bei weiterer Laststeigerung nahmen die Verschiebungen rasch zu. Die zugehörige Lastverschiebungslinie ist in Bild 7 aufgetragen.

Versuch N Sch 1:

Beim Schwellversuch wurde eine Oberlast von $P_o = -2600$ k und eine Unterlast von $P_u = -390$ kp festgelegt. Die Nägel waren somit bei P_o praktisch mit z_{ul} $N = 224$ kp beansprucht.

Unter der angegebenen Oberlast ergab sich eine Gesamtverschiebung von 0,39 mm bei der 1. Belastung und von 0,42 mm bei der 13. Belastung. Davon entfielen 0,13 mm auf die bleibende, 0,29 mm auf die elastische Verschiebung. Nach 100 000 Lastspielen betrug die Gesamtverschiebung unter der Oberlast 0,59 mm. Während die elastische mit 0,30 mm praktisch konstant geblieben war, hatte die bleibende Verschiebung sich auf 0,29 mm erhöht. Nach $1.522 \cdot 10^6$ Lastspielen war die Gesamtverschiebung auf 0,89 mm und die bleibende Verschiebung auf 0,50 mm angewachsen. Der Verlauf der Verschiebungen bei den verschiedenen Laststufen in Abhängigkeit von der Lastspielzahl ist in Bild 8 in halb-log. Darstellung angegeben. In Bild 9 sind die Last-Verschiebungslinien der statischen Zwischenversuche aufgetragen.

Die Neigung der P/δ -Linien hat sich gegenüber der 13. Belastung kaum geändert, die bleibende Verschiebung hat aber von 0,13 auf 0,50 mm zugenommen.

Nach $1.552 \cdot 10^6$ Lastspielen wurde der Versuch ohne Anzeichen einer Zerstörung abgebrochen. Der anschließende statische Bruchversuch ergab noch eine Bruchlast von $P_{Br} = 12900 \text{ kp}$ ($v = 4,80$). Gegenüber dem nur statisch beanspruchten Körper NS 1 wurde demnach keine Einbuße an Tragfähigkeit infolge der vorausgegangenen Schwellbelastung festgestellt.

Versuch N W 1:

Beim Wechserversuch wurde unter Zugrundelegung der zulässigen Nagelbelastung nach DIN 1052 eine Oberlast von $P_o \approx +2000 \text{ kp}$ und eine Unterlast von -2000 kp angenommen (Abschnitt 4.4 DIN 1052 wurde nicht berücksichtigt).

Bei der ersten Belastung ergab sich unter P_o bzw. P_u eine Gesamtverschiebung von $+1,185 \text{ mm}$ bzw. $-1,315 \text{ mm}$. Nach 5000 Lastspielen ergaben sich bereits Verschiebungen von $+1,60$ bzw. $-2,32 \text{ mm}$. Deutlich konnte ein sehr starker Sprung von $\delta_{\text{bleibend } +0}$ nach $\delta_{\text{bleibend } -0}$ festgestellt werden. Er betrug bei 5000 Lastspielen $0,56 + 1,26 = 1,82 \text{ mm}$. In Bild 10 ist die Lastverschiebungslinie bei der 5000. Belastung wieder gegeben. Man erkennt, daß bei der Druckbelastung größere Verschiebungen als bei der zuerst aufgebrauchten Zugbelastung auftraten.

Beim Versuch konnte bereits ab etwa 5000 Lastspielen eine mit zunehmender Lastspielzahl verstärkt auftretende Erwärmung festgestellt werden. Bis 10.000 Lastspielen waren noch keine Nagelbrüche aufgetreten; bereits bei 14.000 Lastspielen waren jedoch 7 der 9 Nägel des unteren Anschlußbildes zerstört. Beim Öffnen des Nagelkörpers konnte festgestellt werden, daß die Nägel in der Mitte des Mittelholzes ohne Einschnürung, relativ glattflächig gebrochen waren. Eine Wechsellast in Höhe der zulässigen Nagelbelastung kann nach diesen Feststellungen bei den verhältnismäßig großen Verschiebungen und der geringen Lebensdauer nicht in der Praxis angewandt werden.

Versuch N W 2:

Bei diesem Versuchskörper wurde die zulässige Last durch zusätzliches Einschlagen von 2 x 4 Nägel auf 2920 kp erhöht. Als Oberlast wurde +2000 kp, als Unterlast -2000 kp angenommen. Dies entsprach 68,5 % der vollen statisch zulässigen Last.

Bei der 1. Belastung ergab sich bei $P_o = +2000$ kp eine Verschiebung von 0,43 mm und bei $P_u = -2000$ kp von -0,43 mm. Nach 10.000 Lastspielen betragen die entsprechenden Werte +0,53 bzw. -0,52 mm, und nach 10.000 Lastspielen +0,66 bzw. -0,51 mm.

In Bild 11 ist der Verlauf der Verschiebungen unter den Lasten P_o , P_u und bei Entlastung ($P = 0$) in Abhängigkeit von der Lastspielzahl aufgetragen. Die Lastverschiebungslinien der statischen Zwischenversuche verliefen in ähnlicher Weise wie in Bild 10 angegeben.

In Bild 11 ist deutlich erkennbar, daß sich ab etwa 100.000 Lastspielen die Verschiebungen vergrößerten und schließlich sehr rasch anwuchsen. Bei 240.000 Lastspielen waren 2 Nägel, bei 255.000 Lastspielen 4 Nägel und bei 270.000 Lastspielen 9 Nägel einer Seite zerstört. Der Versuch wurde daraufhin abgebrochen. Die gebrochenen Nägel wiesen wie bei Versuch N W 1 in der Mitte des Mittelholzes einen Dauerbruch auf.

Versuch N W 3:

Der Wechselversuch N W 3 wurde mit einer Ober- und Unterlast von ± 1500 kp durchgeführt. Dies entspricht etwa 51 % der zulässigen statischen Last. Der Versuch wurde bis $2.327 \cdot 10^6$ Lastspielen gefahren, ohne daß ein Nagelbruch festgestellt werden konnte.

In Bild 12 ist der Verlauf der Verschiebungen in Abhängigkeit von der Lastspielzahl bei P_o und P_u und $P = \pm 0$ kp aufgetragen. Die Gesamtverschiebungen erreichten am Versuchsende $\pm 0,5$ mm, die bleibenden Verschiebungen blieben unter 0,1 mm.

Nach dem Wechselversuch wurde der Körper in zwei Teile zerlegt und jeder Scherkörper für sich bis zum Bruch belastet. Es ergab sich für Scherkörper 1 eine Bruchlast von $P_{Br} = 980$ kp ($v = 3,36$) und für Scherkörper 2 von $P_{Br} = 11.200$ kp ($v = 3,84$). Die Sicherheiten lagen also noch über 3,0, erreichten aber nicht mehr die hohen Werte der Versuche NS 1 und NSch 1.

2.) Versuche mit Stabdübeln \emptyset 12

Versuch S S 1:

Beim statischen Bruchversuch mit dem Vergleichskörper nach Bild 3 betrug die Bruchlast $P_{Br} = 9510$ kp. Mit der nach DIN 1052, Gl. (31) zulässigen Last von $zul P = 4 \cdot 510 \cdot 1,2^2 = 2940$ kp ergab sich somit die Sicherheit gegen Bruch zu

$$v = 3,24.$$

Die Verschiebungen unter $zul P$ betragen bei der 1. Belastung $\delta_1 = 0,40$ mm und nach der 13. Belastung $\delta_{13} = 0,44$ mm. Der Verschiebungsmodul ergibt sich damit für $P = zul P$ zu

$$C = 18.400 \text{ kp/cm (1. Belastung)}$$

bzw. $C = 16.700 \text{ kp/cm (13. Belastung)}$

Die zugehörige Last-Verschiebungslinie ist Bild 13 zu entnehmen.

Versuch S Sch 1:

Beim Schwellversuch mit einem Probekörper nach Bild 3 (4 Stabdübel \emptyset 12) wurden eine Oberlast $P_o = 3000$ kp und eine Unterlast $P_u = 450$ kp angenommen. Die Oberlast entsprach also praktisch der zulässigen Last nach DIN 1052. Bei der 1. Belastung ergab sich eine Verschiebung von 0,38 mm und bei der 13. Belastung von 0,40 mm. Nach 250.000 Lastspielen war die Gesamtverschiebung auf 0,54 mm angewachsen, während die elastische mit 0,335 mm konstant geblieben war. Um den Einfluß

der Frequenz festzustellen, wurde ab 250.000 Lastspielen die Frequenz von 150 Lastspielen/min auf 300 Lastspiele/min erhöht. Beim Umschalten erfolgte jedoch eine plötzliche Ueberlastung der Probe auf etwa 2,0 \times P, so daß die Verschiebungen sprunghaft anstiegen. Ab 300.000 Lsp wurde der Versuch wieder mit 150 Lsp/m mit einem nochmaligen kurzen Frequenzwechsel bei 700000 Lastspielen bis zu $1.2732 \cdot 10^6$ Lastspielen gefahren. Aus dem Verlauf der Verschiebungen (Bild 14) ist deutlich der Verschiebungssprung und der anschließende unregelmäßige Verlauf ab 250.000 Lastspielen zu erkennen.

Nach $1.2732 \cdot 10^6$ Lastspielen war der Probekörper noch nicht zerstört.

Der anschließende statische Bruchversuch ergab eine Bruchlast von $P_{Br} = 11.100 \text{ kp}$ ($v = \frac{11100}{2940} = 3,78$). Ein Einfluß der Schwellast auf die statische Bruchlast war nicht festzustellen.

Versuch S Sch 2:

Der Versuch S Sch 2 wurde unter den gleichen Bedingungen wie Versuch S Sch 1 durchgeführt. Bei der 1. Belastung betrug die Gesamtverschiebung 0,43 mm und bei der 13. Belastung 0,445 mm. Nach 100.000 Lastspielen (Frequenz 150 Lastspielen/min) betrug die Gesamtverschiebung 0,585 mm und die elastische Verschiebung 0,32 mm. Bei 100.000 Lastspielen mußte der Versuch aus maschinentechnischen Gründen abgebrochen werden. In Bild 15 ist der Verlauf der Verschiebungen während des Schwingversuches aufgetragen. Man erkennt hieraus, daß die bleibende Verschiebung von 0,125 auf 0,265 mm angewachsen ist, sich also während 100.000 Lsp praktisch verdoppelt hat.

Entsprechend hat die Gesamtverschiebung von 0,46 mm auf 0,585 mm zugenommen, während die elastische Verschiebung mit 0,335 mm bei der 1. Belastung und 0,32 mm nach 100.000 Lsp praktisch unverändert geblieben war.

Der anschließende statische Bruchversuch ergab eine Bruchlast von $P_{Br} = 8400 \text{ kp}$ ($v = \frac{8400}{2940} = 2,86$)

Versuch S Sch 3:

Dieser Versuch erfolgte analog den Versuchen S Sch 1 und 2 ohne Frequenzwechsel.

Bei der 1. Belastung ergab sich eine Verschiebung von 0,67 mm und bei der 13. Belastung von 0,73 mm. Nach 702.000 Lastspielen betrug die Gesamtverschiebung $\delta = 1,05 \text{ mm}$ und die elastische 0,42 mm. Nach 702.000 Lastspielen wurde der Versuch abgebrochen, ohne daß sich Anzeichen einer Zerstörung gezeigt hätten. Der Verlauf der Verschiebungen ist in Bild 16 aufgetragen. Auch hier ergab sich nur eine Zunahme der bleibenden Verschiebungen, die elastischen Verschiebungen blieben praktisch konstant. Bild 17 zeigt die Lastverschiebungslinien bei den entsprechenden Lastspielzahlen. Der abschließende statische Bruchversuch ergab eine Bruchlast von $P_{Br} = 9810 \text{ kp}$ ($v = \frac{9810}{2940} = 3,34$).

Die Stabdübel sämtlicher 3 Schwellversuche haben sich während des Schwingens nur leicht erwärmt. Anzeichen eines Anrisses der Stabdübel konnten nicht festgestellt werden.

3.) Versuche mit Gang-Nail Platten (GN 14)

Versuch GN S 1:

Beim statischen Bruchversuch der Vergleichsprobe ergab sich eine Bruchlast von $P_{Br} = 8290$ kp. Unter Zugrundelegung einer gemäß Zulassung zulässigen Last von $zul P = 3200$ kp ergibt sich damit die Sicherheit gegen Bruch zu

$$v = 2,59.$$

Unter $zul P$ betrug die Verschiebung $\delta = 0,89$ mm bei der 1. Belastung und $\delta = 1,05$ mm bei der 13. Belastung. Für den Einzelnagel konnte damit der Verschiebungsmodul bestimmt werden zu:

$$C = 900 \text{ kp/cm (1. Belastung)}$$

$$C = 762 \text{ kp/cm (13. Belastung)}$$

Versuche GN Sch 1/2/3:

Die Schwellversuche GN Sch 1 - 3 wurden unter den gleichen Bedingungen und mit den gleichen Lasten durchgeführt. Die Oberlast wurde zu $P_o = 3200$ kp und die Unterlast zu $P_u = 480$ kp festgelegt.

Die Verschiebungen in mm bei P_o sind in untenstehender Tabelle zusammengestellt.

Gesamtverschiebung (Klammerwerte: elastische Verschiebung)

Versuch	1. Belastung	13. Belastung	10^4 Belastung	$2 \cdot 10^4$ Belastung
GN Sch 1	0,965 (0,665)	1,080 (0,680)	1,400 (0,715)	1,480 (0,780)
GN Sch 2	0,515	0,6855 (0,265)	0,775 (0,430)	0,800 (0,430)
GN Sch 3	1,010	1,085 (0,380)	1,370 (0,610)	1,48 (0,700)

In Bild 18 sind für den Versuch GN Sch 1 die Lastverschiebungslinien bis 29.000 LW angegeben.

Bild 19 und 20 zeigen den Verlauf der Verschiebungen für die Versuche GN Sch 2 und GN Sch 3.

Beim Versuch GN Sch 1 waren nach 29 000 Lastspielen insgesamt etwa 19 Nägel gebrochen. Bei 40.800 Lastspielen waren es bereits 40 Nägel. Daraufhin wurde der Versuch abgebrochen.

Der Versuch GN Sch 2 wurde nach 110.450 Lastspielen abgebrochen, da hier ebenfalls ca. 40 Nägel gebrochen waren.

Beim Versuch GN Sch 3 war bereits nach 20.000 Lastspielen ein Nagel gebrochen; bei 30.000 waren es 10 Nägel bei 40.000 waren es 30 Nägel; nach 51.600 Lastspielen wurde der Versuch abgebrochen, da die Last nicht mehr aufgenommen werden konnte.

Der Bruch der Nägel trat stets zuerst an den Nägeln auf, die in unmittelbarer Nähe der Anschlußfuge lagen.

4.) Versuche mit Appeldübeln

Versuch A D Sch 1:

Beim Schwellversuch mit 2 Appeldübeln \varnothing 128 (zulässige Belastung 5600 kp) wurde im 1. Versuch die Oberlast P_o zu 4000 kp = 0,71·zul P und die Unterlast P_u zu 600 kp gewählt. Die dabei im Holz auftretende Nettospannung betrug $\sigma_{\text{Netto}} = 83 \text{ kp/cm}^2$.

Bei der 1. Belastung betrug die Verschiebung 0,67 mm und bei der 13. Belastung 0,73 mm. Nach 100.000 Lastspielen war die Gesamtverschiebung auf 0,94 mm angewachsen, während die elastische Verschiebung mit 0,59 mm

praktisch konstant geblieben war. Nach $1,306 \cdot 10^6$ Lastspielen wurde der Versuch ohne äußere Anzeichen einer Zerstörung abgebrochen. Die Gesamtverschiebung betrug nunmehr $\delta_{ges} = 1,15$ mm und die elastische Verschiebung $\delta_{el} = 0,65$ mm.

Der Verlauf der Verschiebungen während des Schwellversuches ist in Bild 21 wiedergegeben.

Der anschließende Bruchversuch ergab eine Bruchlast von $P_{Br} = 17900$ kp. Damit betrug die Sicherheit gegen Bruch noch $\nu = 3,20$.

Versuch A D Sch 2:

Hier wurde die Oberlast zu $P_o = \text{zul } P_{Dübel} = 5600$ kp und die Unterlast zu $P_u = 600$ kp gewählt. Die dabei in Holz aufgetretene Nettospannung betrug $\sigma_{Holz} = 116$ kp/cm², lag also nur geringfügig über dem für Nadelholz G.Kl. I zulässigen Wert von $\sigma = 110$ kp/cm².

Bei der 1. Belastung ergab sich eine Verschiebung von 1,04 mm und bei der 13. Belastung von 1,065 mm. Nach 100.000 Lastspielen war die Gesamtverschiebung auf 1,235 mm angewachsen, während die elastische Verschiebung mit $\delta_{el} = 0,47$ mm sogar kleiner wie zu Beginn war. Nach $1,42 \cdot 10^6$ Lastspielen betrug die Gesamtverschiebung 1,44 mm und die elastische Verschiebung $\delta_{el} = 0,29$ mm. Der Körper erfuhr also mit zunehmender Lastspielzahl eine "elastische Versteifung", während die Gesamtverschiebungen ständig weiter zunahmen. Nach $1,42 \cdot 10^6$ Lastspielen wurde die Probe aus der Maschine genommen.

Es zeigten sich keine Anzeichen einer Zerstörung. Der Verlauf der Verschiebungen kann Bild 22 entnommen werden.

Der anschließende Bruchversuch ergab eine Bruchlast von $P_{Br} = 15800$ kp. Damit betrug die Sicherheit gegen Bruch

$$v = 2,82$$

Der aus der 1. bzw. 13. Belastung bei $P = 5600$ kp ermittelte G-Modul ergab sich zu:

$$C = 27000 \text{ kp/cm} \quad (1. \text{ Belastung})$$

$$C = 26400 \text{ kp/cm} \quad (13. \text{ Belastung})$$

Versuch A D W 1:

Für die Wechserversuche mußten die Abmessungen der Hölzer und Dübel verringert werden, da die maximale Einspannlänge der Schwingmaschine auf ca. 85 cm begrenzt war. Bei den nunmehr verwendeten Appel-Dübeln $\emptyset 80$ betrug die nach DIN 1052 ermittelte zulässige statische Belastung $P = 2800$ kp. Für den Wechserversuch wurde die Oberlast zu $P_o = +2800$ kp und die Unterlast zu $P_u = -2800$ kp = zul P festgelegt.

Bei der 1. Belastung ergaben sich unter $+P_o$ bzw. $-P$ Gesamtverschiebungen von $+1,96$ und $-1,50$ mm. Nach 10.000 Lastspielen betrug die Gesamtverschiebung unter den gleichen Lasten bereits $+2,24$ und $-1,565$ mm. Mit zunehmender Lastspielzahl wurden die auftretenden Verschiebungen so groß, daß die Förderleistung des Pulsators nicht mehr ausreichend war und deshalb die Unterlast nicht mehr erreicht werden konnte. Sie sank auf 1800 bis 1500 kp ab. Bei 25.000 Lastspielen wurde

der Dübelkörper geöffnet, um bereits sichtbare Zerstörungen aufnehmen zu können. Es zeigte sich, daß 4 der 8 kegelstumpfförmigen Holzteile im Inneren des Dübelringes in der Scherebene des Dübels abgeschert waren. Die Bruchflächen waren eben. Der Probekörper wurde wieder zusammengebaut und die Wechselbelastung weitergeführt. Bei 60.000 Lastspielen wurde der Versuch beendet, da die Verformungen zu groß geworden waren. Bei P_o bzw. P_u betragen die Verschiebungen $\delta_{Po} = 3,715$ bzw. $\delta_{Pu} = -3,26$ mm. Beim Öffnen des Körpers waren praktisch alle Holzteile im Inneren des Dübelringes abgeschert.

Der Verlauf der Verschiebungen bei den statischen Zwischenversuchen ist in Bild 23 wiedergegeben. Dabei fällt besonders der sehr große Sprung vom Zug- in den Druckbereich auf.

Beim abschließenden statischen Bruchversuch wurde der Wechselkörper auseinandergesägt, so daß zwei Druckscherkörper entstanden. Die Bruchlasten lagen beim 1. Versuch bei $P_{Br} = 6400$ kp ($v = 2,29$) und im 2. Versuch bei $P_{Br} = 4140$ kp ($v = 1,48$). Beim 2. Versuch waren die abgescherten Holzteile im Innern des Dübels entfernt worden, so daß der Dübel zusammengedrückt wurde.

Versuch A D W 2:

Für diesen Wechselversuch wurde die Oberlast zu $P_o = +1400$ kp und die Unterlast zu $P_u = -1400$ kp, also zu 50 % der statisch zulässigen Last gewählt.

Die Gesamtverschiebungen betrugen bei der 1. Belastung unter P_o $\delta_o = 0,405$ und unter P_u $\delta_u = -0,86$ mm. Es zeigte sich somit bereits bei der 1. Belastung eine wesentlich größere Verschiebung im Druckbereich. Bei 10.000 Lastspielen waren die Verschiebungen auf $\delta_o = 0,565$ und $\delta_u = -0,96$ mm angewachsen. Nach 560.000 Lastspielen wurde der Körper geöffnet. Es zeigten sich keine Zerstörungen. Nach $2,078 \cdot 10^6$ Lastspielen wurde der Versuch ohne Anzeichen einer Zerstörung abgebrochen. Dabei betrugen die Verschiebungen $\delta_o = 0,965$ und $\delta_u = -1,70$ mm. Der Verlauf der Verschiebungen ist in Bild 24 zu erkennen. Die Bolzen wurden anfänglich leicht angelegt und die Reibung der Berührungsflächen durch Molykote so gering wie möglich gehalten. Bereits nach relativ geringen Lastspielzahlen waren jedoch durch rheologische Vorgänge und durch die Verschiebungen im Dübel die Bewegungen der Laschen so stark, daß die Dübelbolzen nachgezogen werden mußten. Dadurch wurden die Reibungskräfte verändert und demzufolge war der Verlauf der Verschiebungen relativ unregelmäßig. Die Last-Verschiebungslinien zeigen einen Sprung bei der Belastung von P (+0) auf P (-0). Beim abschließenden statischen Bruchversuch ergaben sich Bruchlasten von $P_{Br} = 6200$ bzw. $P_{Br} = 8400$ k ($v_1 = 2,22$, $v_2 = 3,00$).

Versuch A D W 3:

Der Wechselversuch ADW 3 wurde wie der Versuch ADW 2 durchgeführt. Der Bolzen wurde jedoch gleich zu Beginn der Versuche in zulässiger Höhe vorgespannt und die Schraubenmutter mit einer Kontermutter arretiert, damit durch späteres Nachziehen des Bolzens eine Störung im

Verschiebungsverhalten vermieden wurde. Die Gesamtverschiebungen betragen bei der 1. Belastung unter der Oberlast $\delta_o = +0,39$ mm und unter der Unterlast $\delta_u = -1,075$ mm. Nach 10.000 Lastspielen betragen die Verschiebungen $\delta_o = 0,51$ bzw. $\delta_u = -1,20$ mm. Nach $2,58 \cdot 10^6$ Lastspielen wurde der Versuch, ohne Zerstörungen beobachtet zu haben, abgebrochen. Die dabei aufgetretenen Verschiebungen betragen $\delta_o = 1,21$ bzw. $\delta_u = -1,55$ mm (Bild 25)

Beim abschließenden Bruchversuch ergaben sich Bruchlasten von $P_{Br} = 6900$ und $P_{Br} = 7100$ kp ($v_1 = 2,47$ bzw. $v_2 = 2,54$).

Auswertung der Versuche

Wegen der geringen Gesamtanzahl der Versuche ist es nicht möglich, statistisch gesicherte Aussagen zu machen. Aus den Versuchen können nur Tendenzen gefolgert werden, die zumindest teilweise durch weitere Versuche zusätzlich belegt werden müßten.

Schwellversuche

1.) Nägel 60/180 (NSch 1)

Während des Versuches bis $1,522 \cdot 10^6$ Lastspiele trat kein Bruch auf. Die Gesamtverschiebung erhöhte sich um 128 %. Die elastische Verschiebung war gegen Ende des Versuches noch etwas angewachsen. Die Zunahme der Gesamtverschiebung resultiert also zum großen Teil aus einer Zunahme der bleibenden Verschiebung. Eine Einbuße an statischer Tragfähigkeit konnte beim abschließenden Bruchversuch nicht festgestellt werden.

2.) Stabdübel \emptyset 12 (S Sch 1-3)

Während der 3 Versuche ergab sich in keinem Falle eine Zerstörung des Holzes oder der Verbindungsmittel. Die Verschiebungen nahmen bei allen drei Körpern erheblich zu. So erhöhte sich die Gesamtverschiebung beim 2. Versuch nach 100.000 Lastspielen um 36 %, die elastischen wurden etwas verringert. Beim 3. Versuch betrug die Erhöhung der Gesamtverschiebung nach 702.000 Lastspielen 57 %, während die elastischen Werte sich ebenfalls verringerten. Der 1. Versuch kann wegen der dabei aufgetretenen Störungen nicht weiter ausgewertet werden. Wie bei den Nägeln resultiert also auch hier die Verschiebungszunahme in erster Linie aus einer Zunahme der bleibenden Verschiebung. Die Bruchlasten nach den Schwingversuchen ergaben noch ausreichende Sicherheiten.

3.) Gang-Nail-Platten: (GN Sch 1-3)

Bei sämtlichen Probekörpern sind bei relativ niedrigen Lastspielzahlen Nägel abgebrochen. Durch die am Zahngrund auftretenden hohen Kerbspannungen und die vorausgegangene Kaltverformung sind die Gang-Nail-Platten bei einer Dauerschwingbelastung besonders gefährdet. Die Zunahme der elastischen Verschiebungen mit zunehmender Lastspielzahl ist auf die Veränderung des Verbindungsmittels selbst zurückzuführen.

4.) Appeldübel \emptyset 128 (A D Sch 1-2)

Die Schwellversuche mit den Appeldübeln führten in keinem Fall zum Bruch. Nach $1,306 \cdot 10^6$ Lastspielen ergab sich beim 1. Versuch eine Erhöhung der Gesamtverschiebung

von 71,5 %, während die elastische Verschiebung praktisch konstant blieb. Beim 2. Versuch erhöhte sich nach $1,42 \cdot 10^6$ Lastspielen die Gesamtverschiebung um 39 %, während die elastische mit zunehmender Lastspielzahl immer kleiner wurde.

Die Bruchlasten nach den Schwingversuchen ergaben noch ausreichende Sicherheiten gegen Bruch.

Wechselversuche

1.) Nägel 60/180 (NW 1-3) (Bild 26)

Für die Wechselversuche mit Nägeln kann in Abhängigkeit von P_0 /zul P eine Wöhler-Kurve nach Bild 27 gezeichnet werden. Es hat sich gezeigt, daß bei einem Verhältnis von P /zul P_{stat} von 0,5 nicht mehr mit einem Dauerbruch gerechnet werden muß.

Die Lastverschiebungslinien sind charakterisiert durch eine größere Verschiebung bei $P = 0$ beim Wechsel von Zug auf Druck und umgekehrt. Diese im Versuch schlagartige Beanspruchung ist für das Holz und die Verbindungsmittel sehr ungünstig, und verstärkt noch die an und für sich schon ungünstigere Beanspruchung durch die Wechsellast gegenüber der Schwelllast.

2.) Appeldübel \emptyset 80 (ADW 1-3)

Beim 1. Wechselversuch, der mit $\pm P = \text{zul } P$ geschwungen wurde, ergab sich frühzeitig eine Zerstörung der Verbindung. Außerdem führt eine solche Belastung zu Verschiebungen, die über das zulässige Maß von 1,5 mm hinausgehen. Beim 2. und 3. Versuch mit $\pm 0,5 \times \text{zul } P$ konnten

auch nach mehr als $2 \cdot 10^6$ Lastspielen keine Zerstörungen festgestellt werden. Die Bruchlasten der nach dem Schwingvorgang statisch belasteten Probekörper ergaben noch Sicherheiten zwischen $v = 2,22$ bis $3,00$.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsauftrages wurden Schwell- und Wechselversuche mit Holzverbindungen aus Nägeln, Stabdübeln, Gang-Nail-Platten und Appeldübeln durchgeführt.

Bei den Schwellversuchen mit $P_0 = \text{zul } P$ ergab sich mit Ausnahme der Gang-Nail-Platten auch nach 10^6 Lastspielen und mehr keine Zerstörung des Holzes oder des Verbindungsmittels. Die bleibenden und die Gesamtverschiebungen nahmen mit zunehmender Lastspielzahl zu, die elastischen Verschiebungen änderten sich nur wenig. Es muß im allgemeinen damit gerechnet werden, daß die bleibende Verschiebung, die sich bei der 13. Belastung einstellt, mit zunehmender Lastspielzahl auf das Mehrfache, die Gesamtverschiebung auf das 1,5 bis 2-fache anwächst. Obwohl bei den Versuchen der Grenzwert von 1,5 mm für die Gesamtverschiebung nicht überschritten wurde, empfiehlt es sich, bei Schwellbelastung die zulässigen statischen Belastungen der Verbindungsmittel nicht voll auszunützen.

Bei den Versuchen unter wechselnder Last mit Nägeln und Appeldübeln traten Dauerbrüche ein, wenn die Lastgrenzen über 50 % der zulässigen statischen Belastung lagen.

Bei Nägeln ist bei 0,50 \times N mit verhältnismäßig gleichbleibender Verschiebung und mit einem geringen Verschiebungssprung beim Nulldurchgang zu rechnen, während beim Fräsdübel die Zunahme der Gesamtverschiebung zwar auch im Bereich der zulässigen Verschiebung von $\pm 1,5$ mm bleibt, der Verschiebungssprung beim Nulldurchgang aber verhältnismäßig groß werden kann.

In beiden Fällen sollte unter Wechsellast das Verbindungsmittel nur mit 50 % der zulässigen statischen Belastung beansprucht werden.

Aufgrund der Versuchsergebnisse sollte die zulässige Beanspruchung der Verbindungsmittel in Abhängigkeit vom Verhältnis $\kappa = -\min N : \max N$ im Wechselbereich durch den Abminderungsfaktor

$$\psi_W = 0,8 + 0,3\kappa$$

im Schwellbereich durch

$$\psi_S = 0,8 + 0,2\kappa$$

berücksichtigt werden (siehe Bild 28). Nagelplatten mit ausgestanzten und senkrecht zur Plattenfläche abgebogenen Nägeln sollten für schwingend beanspruchte Bauteile nicht verwendet werden.

Bei Nägeln ist bei 0,50 zul N mit verhältnismäßig gleichbleibender Verschiebung und mit einem geringen Verschiebungssprung beim Nulldurchgang zu rechnen, während beim Fräsdübel die Zunahme der Gesamtverschiebung zwar auch im Bereich der zulässigen Verschiebung von $\pm 1,5$ mm bleibt, der Verschiebungssprung beim Nulldurchgang aber verhältnismäßig groß werden kann.

In beiden Fällen sollte unter Wechsellast das Verbindungsmittel nur mit 50 % der zulässigen statischen Belastung beansprucht werden.

Aufgrund der Versuchsergebnisse sollte die zulässige Beanspruchung der Verbindungsmittel in Abhängigkeit vom Verhältnis $\chi = -\min N : \max N$ im Wechselbereich durch den Abminderungsfaktor

$$\psi_W = 0,8 + 0,3 \chi$$

im Schwellbereich durch

$$\psi_S = 0,8 + 0,2 \chi$$

berücksichtigt werden (siehe Bild 28). Nagelplatten mit ausgestanzten und senkrecht zur Plattenfläche abgebogenen Nägeln sollten für schwingend beanspruchte Bauteile nicht verwendet werden.

Müller

6. 12. 73

Schrifttum

G r a f , O.: Dauerfestigkeit von Holzverbindungen.
Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen beim
Verein deutscher Ingenieure und deutschen Forstverein.
Heft Nr. 22, 1938

G a b e r , E.: Statische und dynamische Versuche mit
Nagelverbindungen. Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen,
Techn. Hochschule Karlsruhe, Heft 3, 1935.

Versuchskörper	ρ [g/cm ³]	u [%]	fahrring- breite [mm]	Druck- festigkeit σ [kp/cm ²]	Scher- festigkeit τ [kp/cm ²]	Bemerkung
<u>Nagelkörper:</u> Schwell- und Wechselversuche	0,37	12,3	2,4 bis 3,2	345	-	
<u>Stabdübelkörper:</u> Schwellversuche	0,48	11,4 bis 13,5	2,1 bis 3,8	470 bis 491	-	
<u>GANG-NAIL-KÖRPER:</u> Schwellversuche	0,51	12,3	2,1 bis 2,5	426	-	
<u>Dübelkörper:</u> Schwellversuche Wechselversuche	0,44 0,51	14,0 12,4 bis 13,1	1,2 bis 1,6 1,4 bis 3,3	390 442 bis 473	55 bis 67 56,1 ¹⁾ (65,5 ²⁾ 93,7 ³⁾	für Schwellversuche: beanspr. Faser 1) tang 2) Rad 3) 45°

Tabelle 1: Holzeigenschaften der verschiedenen Versuchskörper (Mittelwerte)

Verbindungs- mittel	Versuch Nr.	Be- lastungs- art	Zul P nach DIN 1052 [kp]	Ober- last P ₀ [kp]	Unter- last P _u [kp]	Frequenz [Lsp/min]	Aufgebrachte La stspielzahl	statische Bruchlast P _{Br} [kp]	Sicherheit v	Bem.
Nägel 60/180	NS 1	statisch	2690	-	-	-	-	12 400	4,61	
	NSch 1	schwellend	2690	2600	390	150	1.522.000	12 900 ^{+) 1)}	4,80	Kein Dauerbruch
	NW 1	wechselnd	2020	+2000	-2000	150	44.000	-	-	Dauerbruch der Nägel
	NW 2	wechselnd	2920	+2000	-2000	150	270.000	-	-	
	NW 3	wechselnd	2920	+1500	-1500	150	2.327.000	9000 ^{+) 1) 200^{+) 1)}}	3,36; 3,84	Kein Dauerbruch
Stabd- dübel φ 12	SS 1	statisch	2940	-	-	-	-	9 510	3,24	
	SSch 1	schwellend	2940	3000	450	150 (300)	1.273.200	11 100 ^{+) 1)}	3,78	Kein Dauer- bruch
	SSch 2	schwellend	2940	3000	450	150	100.000	8 400 ^{+) 1)}	2,86	
	SSch 3	schwellend	2940	3000	450	150	702.000	9 810 ^{+) 1)}	3,34	
	GANG-NAIL Platten GN 14 114/133	GNS 1	statisch	3200	-	-	-	-	8 290	2,59
GNSch 1		schwellend	3200	3200	480	150	40.800	-	-	Dauerbruch der Nägel
GNSch 2		schwellend	3200	3200	480	150	110.450	-	-	
Appel- dübel φ 80	GNSch 3	schwellend	3200	3200	480	150	51.600	-	-	
	ADSch 1	schwellend	5600	4000	600	150	1.306.000	17 900 ^{+) 1)}	3,20	Kein Dauer- bruch
Appel- dübel φ 80	ADSch 2	schwellend	5600	5600	600	150	1.425.000	15 800 ^{+) 1)}	2,82	
	ADW 1	wechselnd	2800	+2800	-2800 (+1500)	150	60.000	6 400 ^{+) 1)} (4 110 ^{+) 1)}	2,29; (-1,48)	innere Holzteile abgesichert
	ADW 2	wechselnd	2800	+1400	-1400	150	2.078.000	6 200 ^{+) 1)} (8 400 ^{+) 1)}	2,22; 3,00	Kein Dauer- bruch
	ADW 3	wechselnd	2800	+1400	-1400	150	2.580.000	6 900 ^{+) 1)} (7 100 ^{+) 1)}	2,47; 2,54	

+1) statischer Versuch wurde nach dem Schwingversuch durchgeführt

1) innere Holzteile fehlten beim Bruchversuch

Tabelle 2: Übersicht über die untersuchten Versuchskörper und Versuchsergebnisse

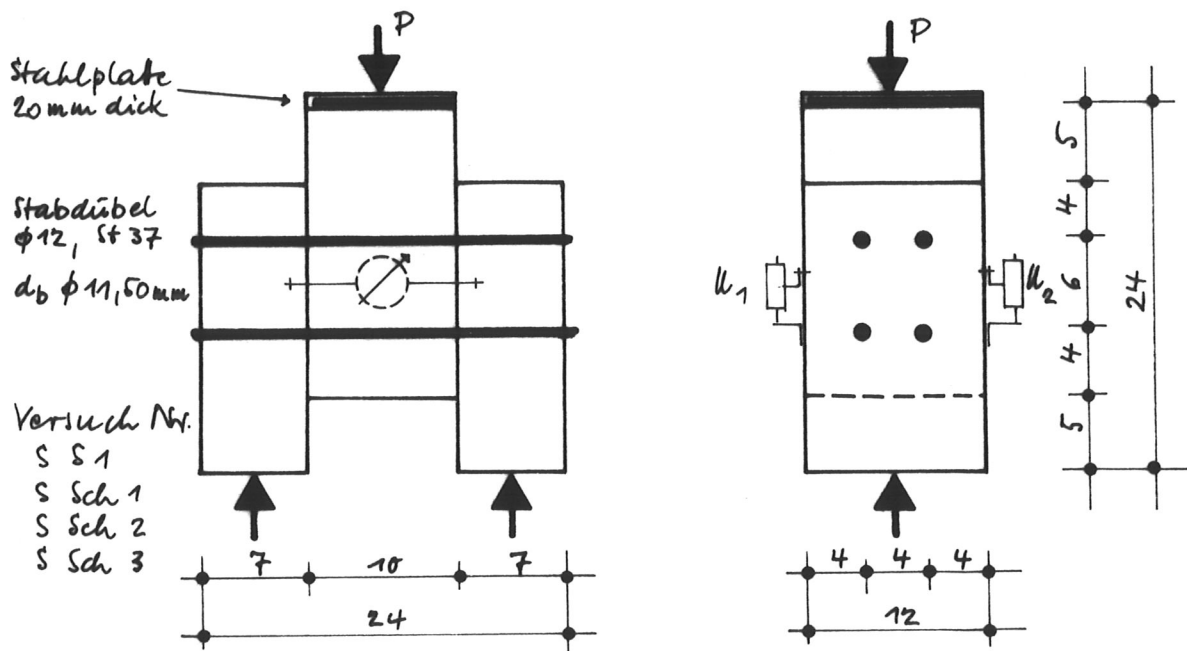


Bild 3 : Probekörper für Schwellversuche mit Stabdübeln

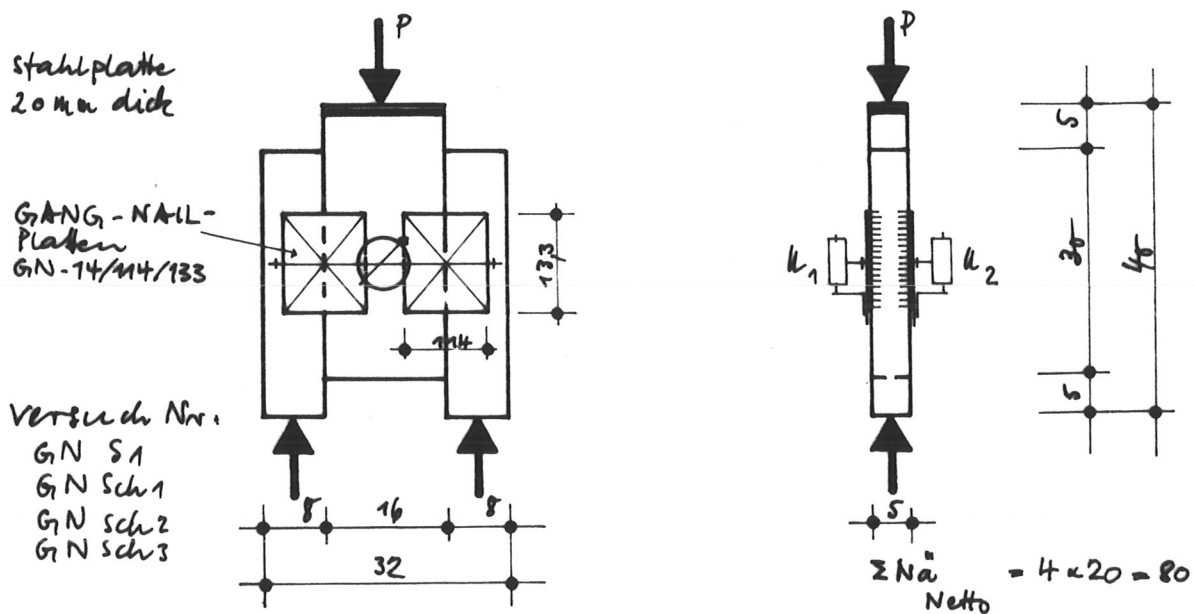


Bild 4 : Probe Körper für Schwellversuche mit GANG-NAIL-Platten

Appel-Dübel
 $\phi 128$
 M 12
 Scheibe 58/6

Versuch Nr.
 AD Sch 1
 AD Sch 2
 Nut 1,0/2,25

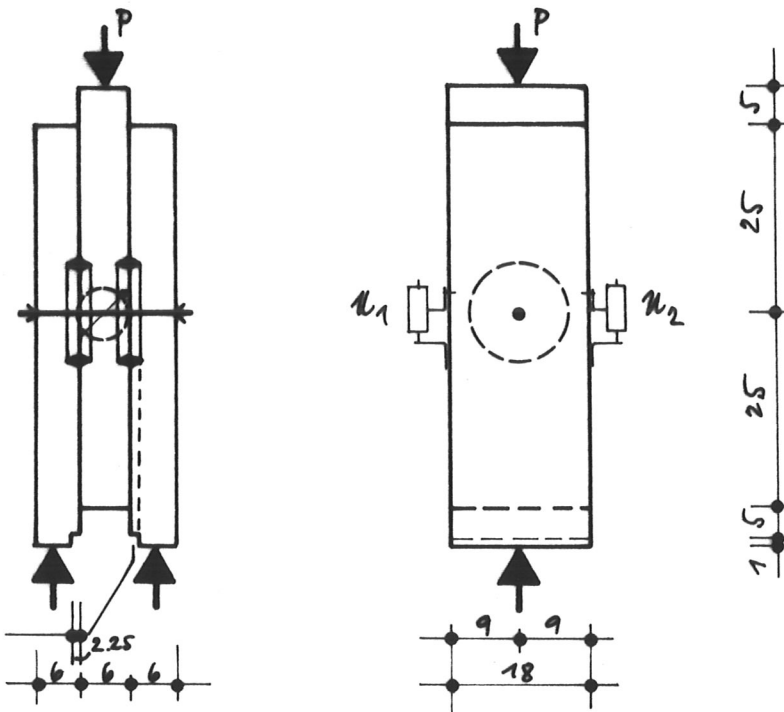


Bild 5: Probekörper für Schwellversuche mit Appeldübeln

Appel-Dübel
 $\phi 80$
 M 12
 Scheibe 58/6

Versuch Nr.
 AD W 1
 AD W 2
 AD W 3

GN-Platte bei
 den Einspann-
 backen

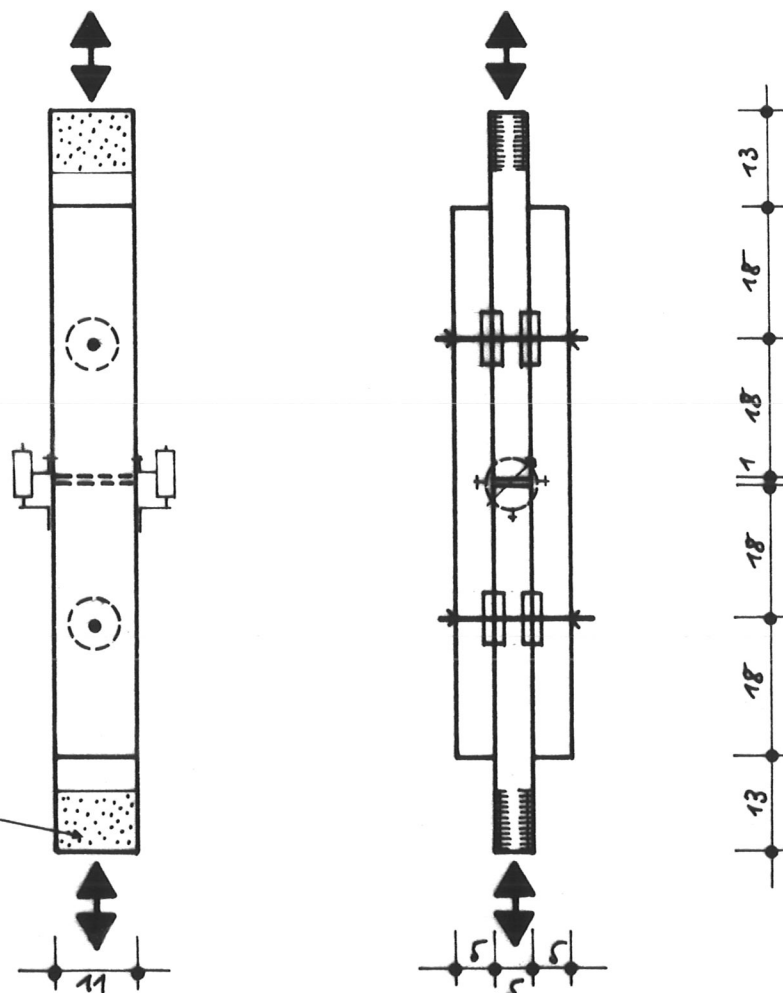
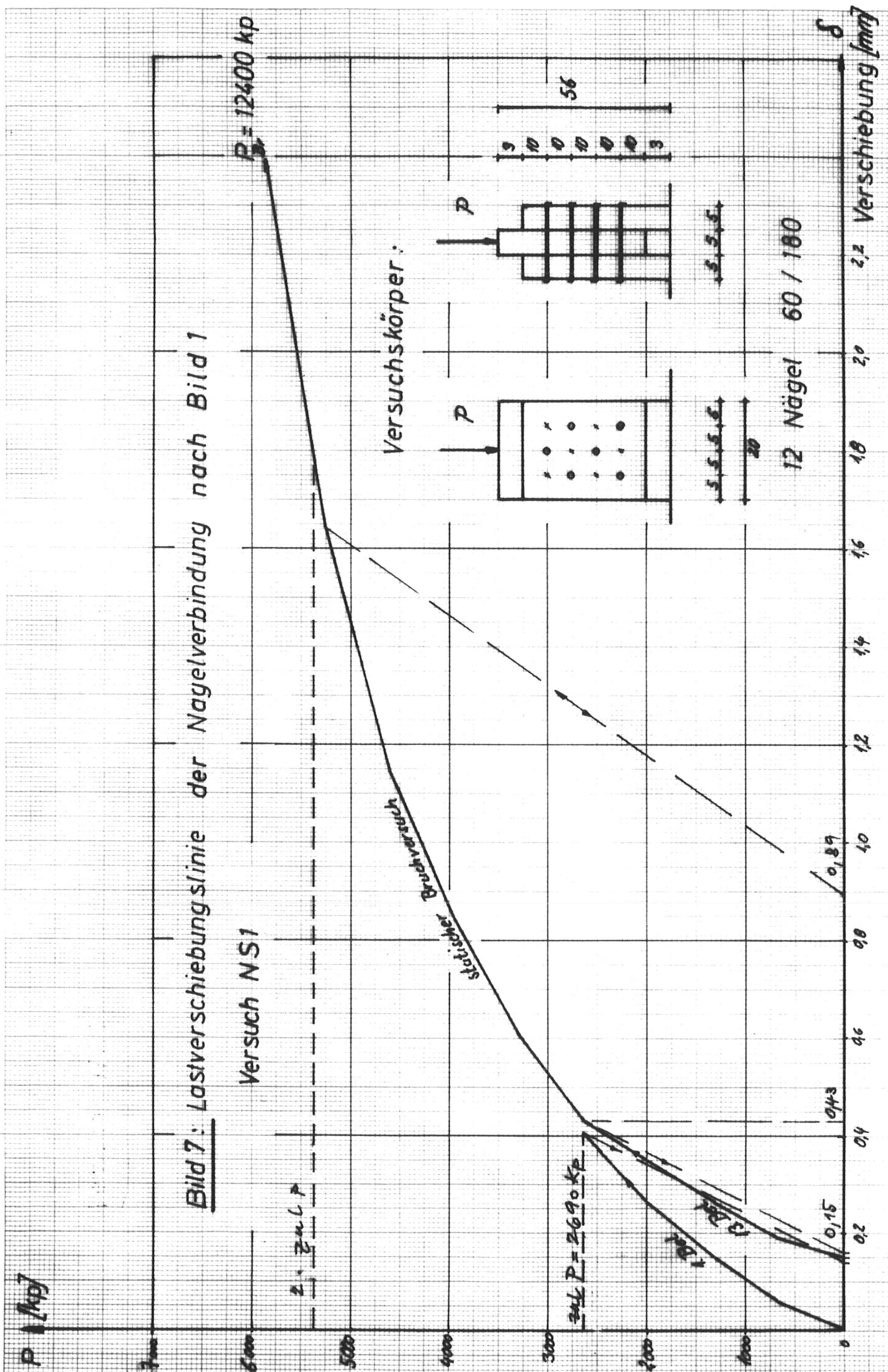
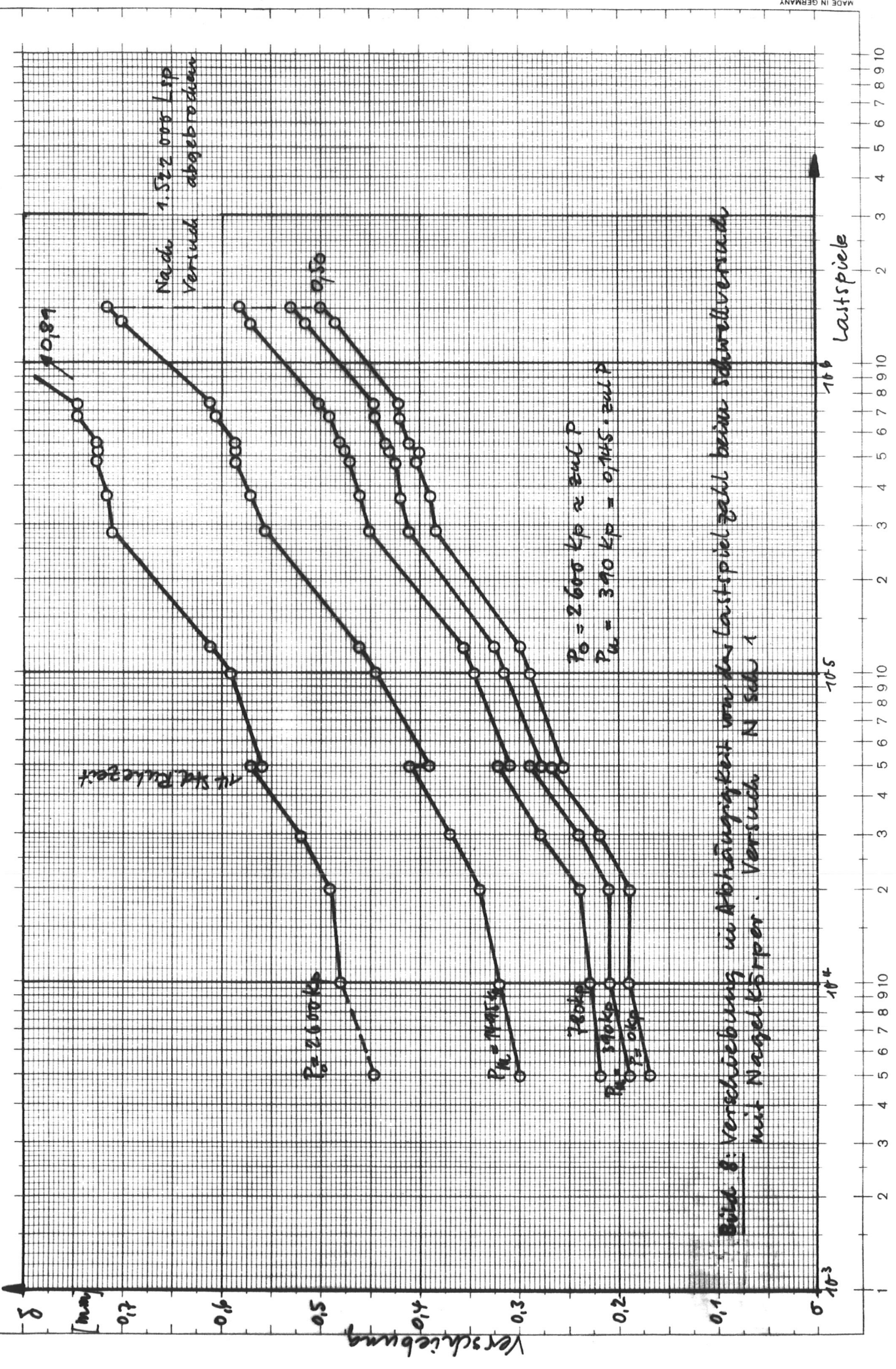


Bild 6: Probekörper für Wechselversuche mit Appeldübeln





MADE IN GERMANY

Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000. Einheit 62.5 mm. die andere in mm mit Prozentmaßstab

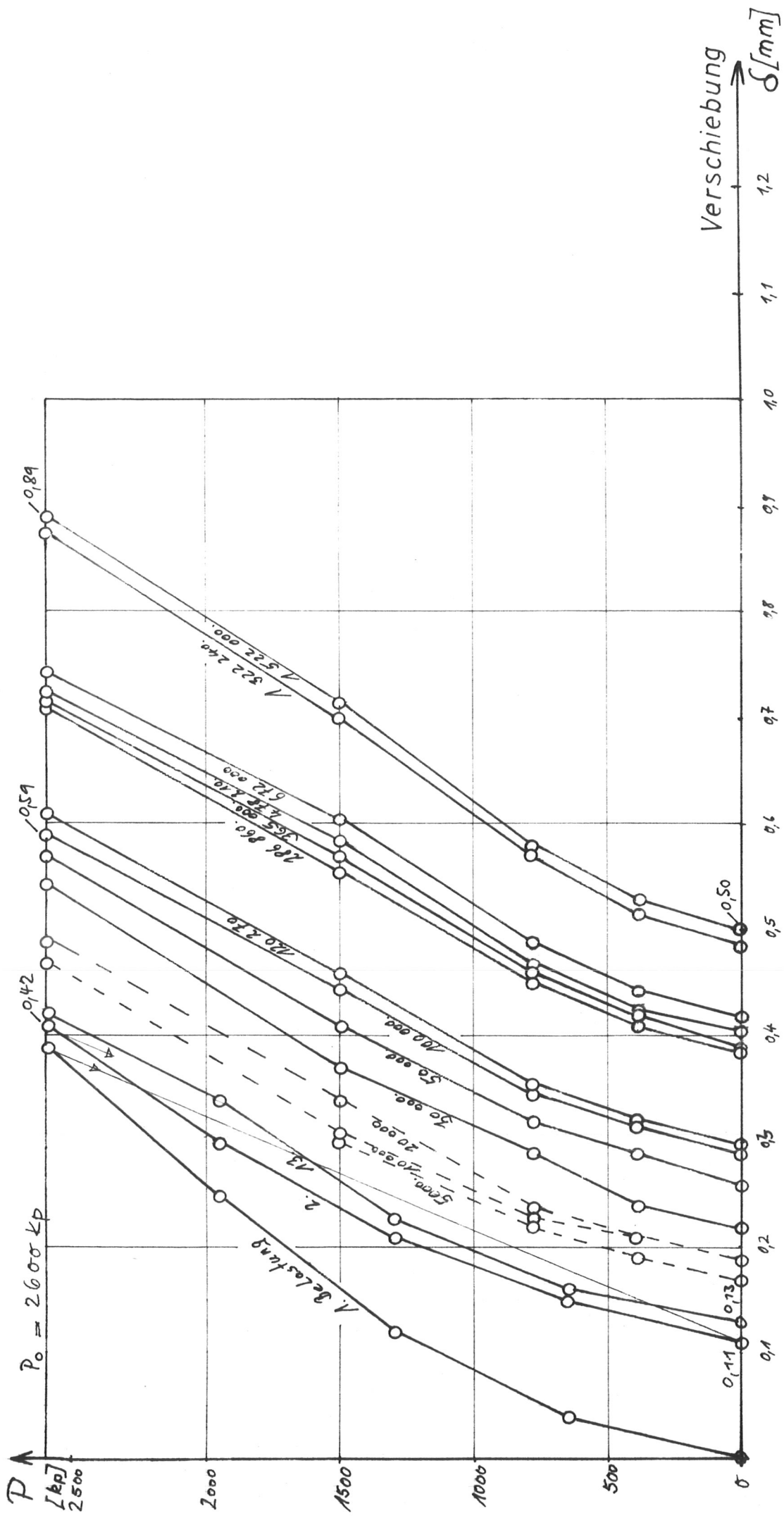


Bild 9 : Last-Verschiebungslinien bei verschiedenen Lastspielzahlen. Versuch NSch 1

Versuchskörper siehe Bild 1 (Nagelkörper)

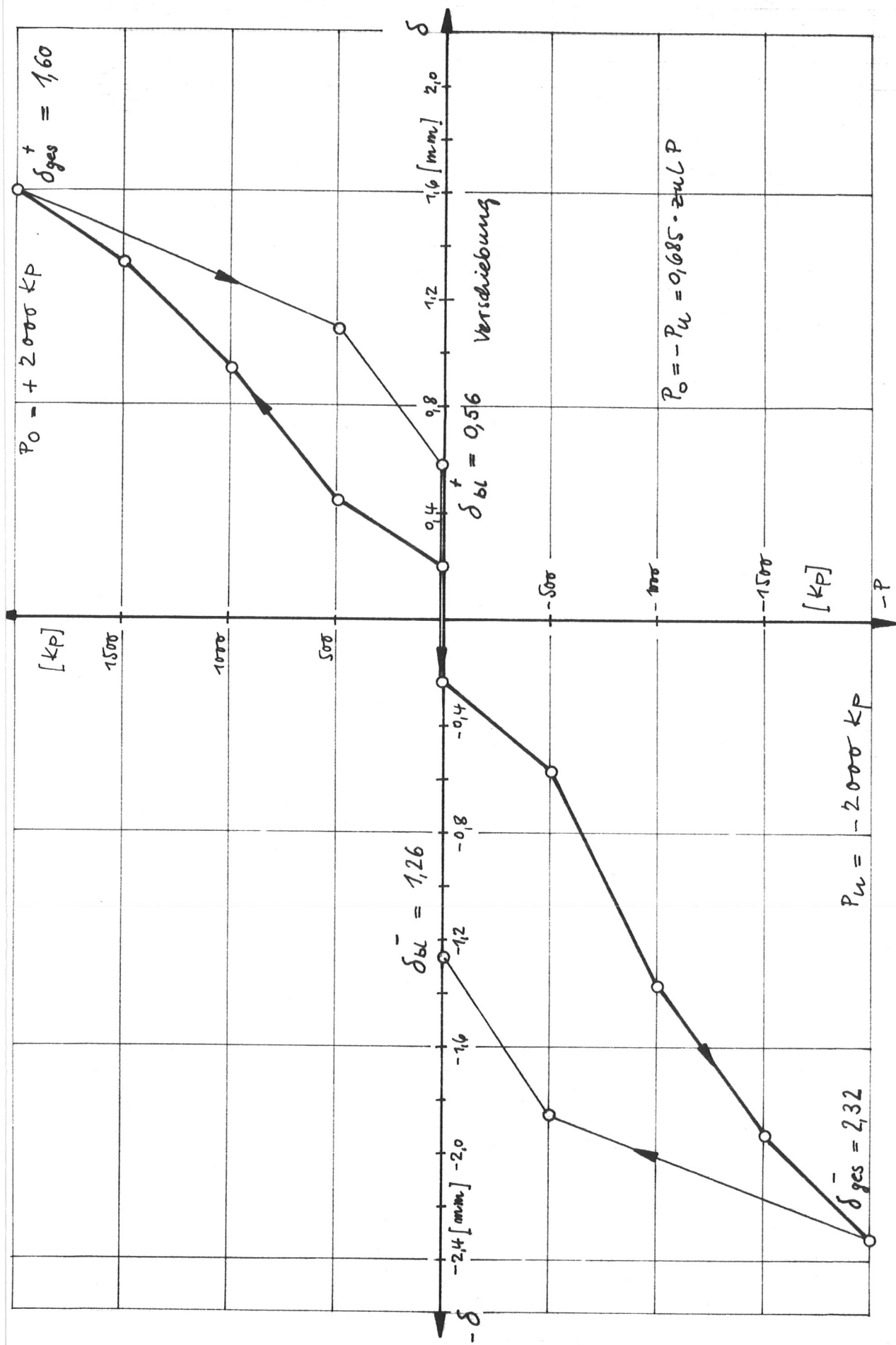


Bild 10: Lastverschiebungslinie beim Wechselversuch der Nagelverbindung nach Bild 2 nach 5000 Lastspielen. Versuch NW 1

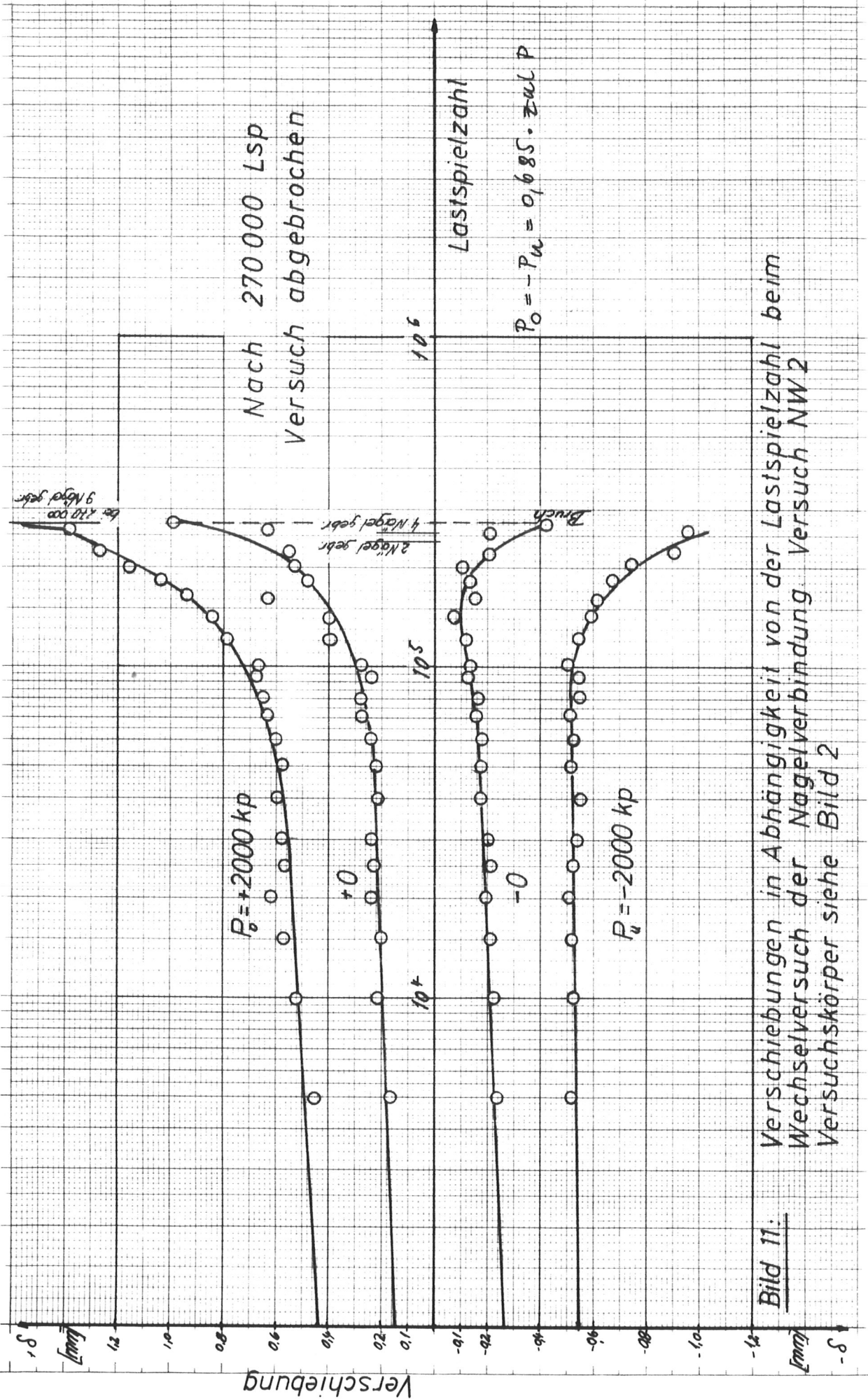
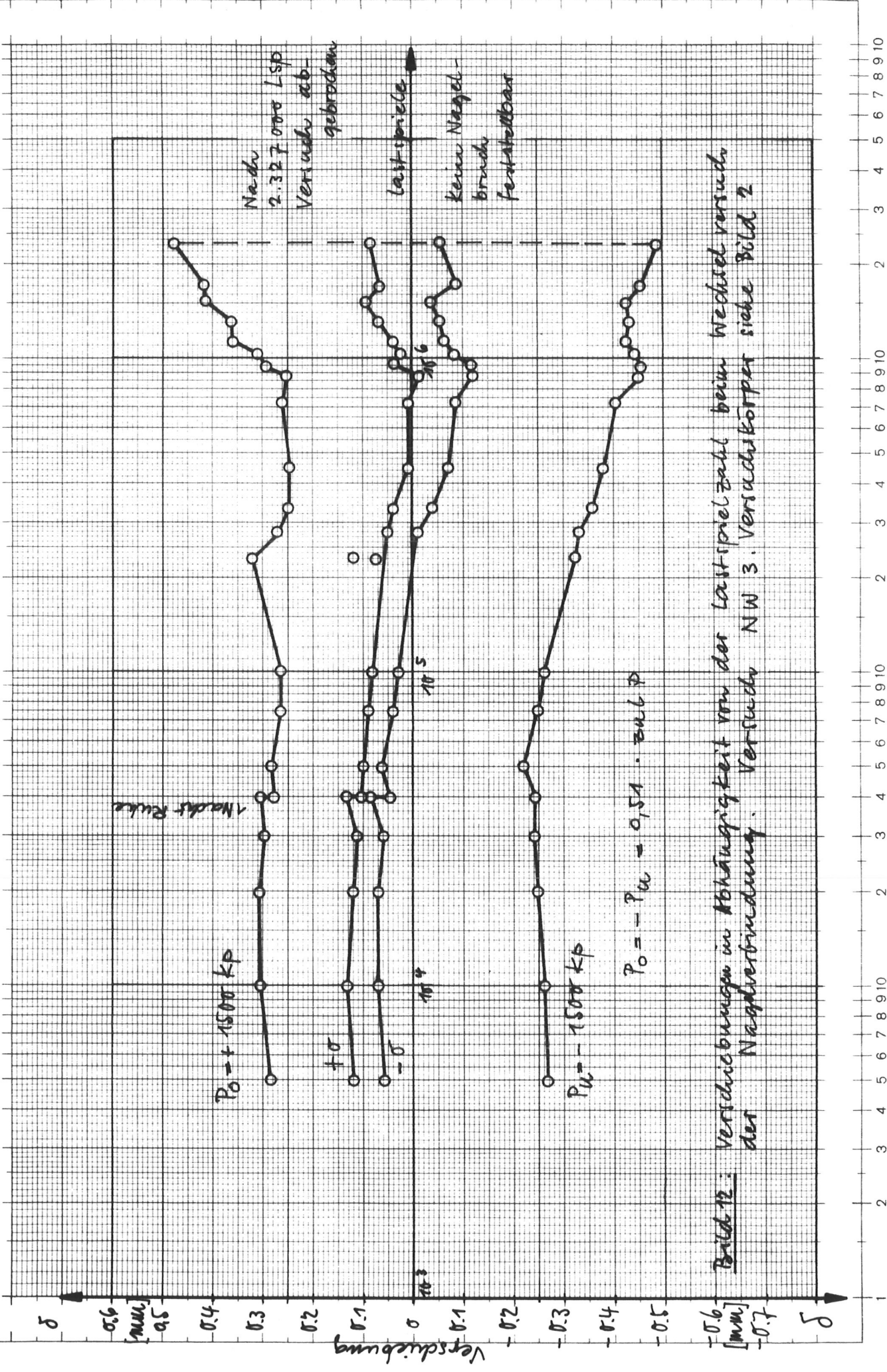


Bild 11: Verschiebungen in Abhängigkeit von der Lastspielzahl beim Wechselsversuch der Nagelverbindung. Versuch NW 2. Versuchskörper siehe Bild 2

MADE IN GERMANY



$P_0 = +1500 \text{ kp}$

$\pm \sigma$

$-\sigma$

$P_{II} = -1500 \text{ kp}$

$$P_0 = -P_{II} = 0,54 \cdot z_{ul} \cdot P$$

Nachdruck
2.327.000 LSP
Versuch ab-
gebrochen

lastspiele
Kein Nagel-
bruch
feststellbar

Bild 12: Verschiebungen in Abhängigkeit von der Lastspielzahl beim Wechselversuch der Nagelverbindung. Versuch NW 3. Versuchskörper siehe Bild 2

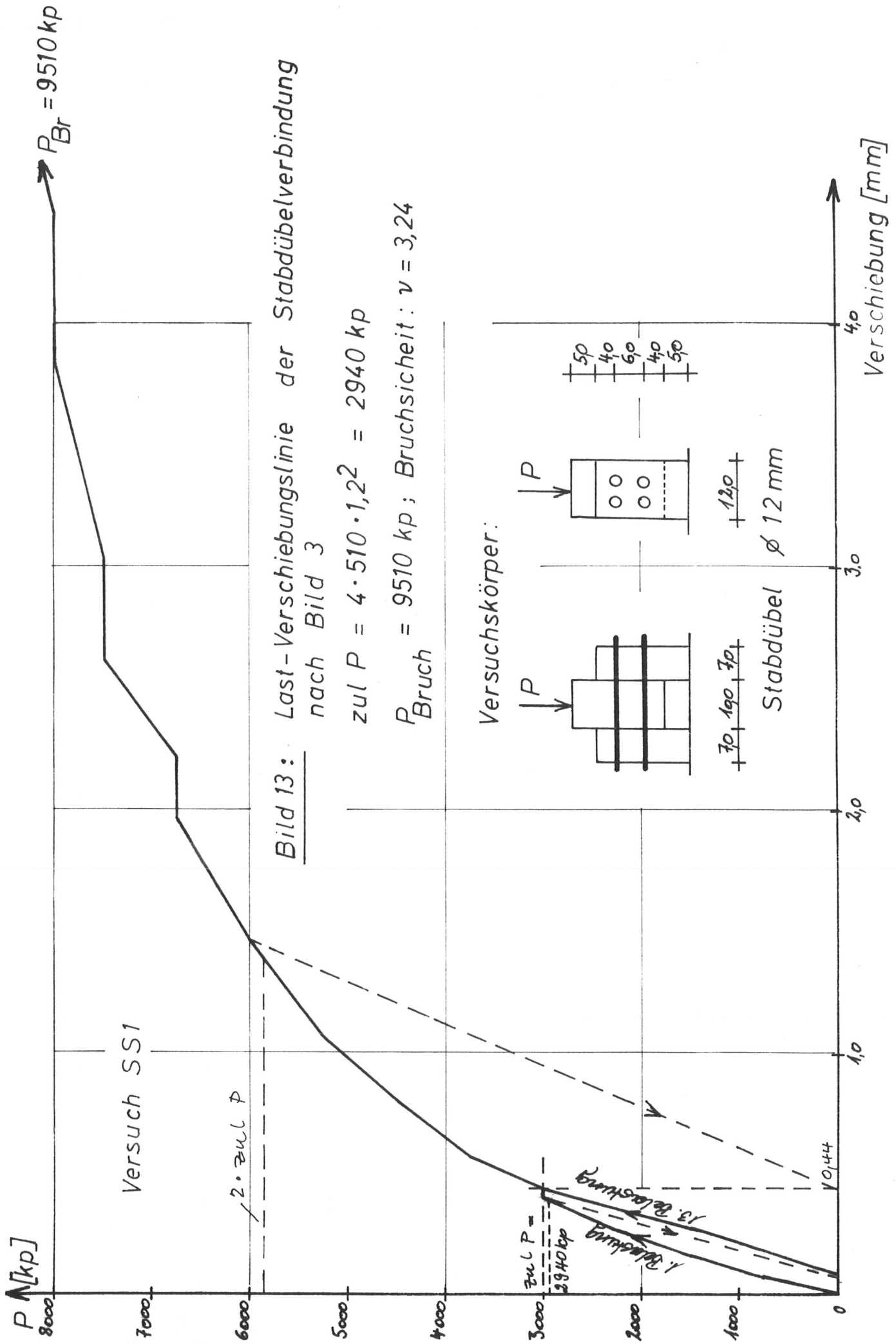


Bild 13: Last-Verschiebungslinie der Stabdübelverbindung nach Bild 3

$\text{zul } P = 4 \cdot 510 \cdot 1,22 = 2940 \text{ kp}$

$P_{\text{Bruch}} = 9510 \text{ kp}; \text{ Bruchsicherheit: } \nu = 3,24$

Versuchskörper:

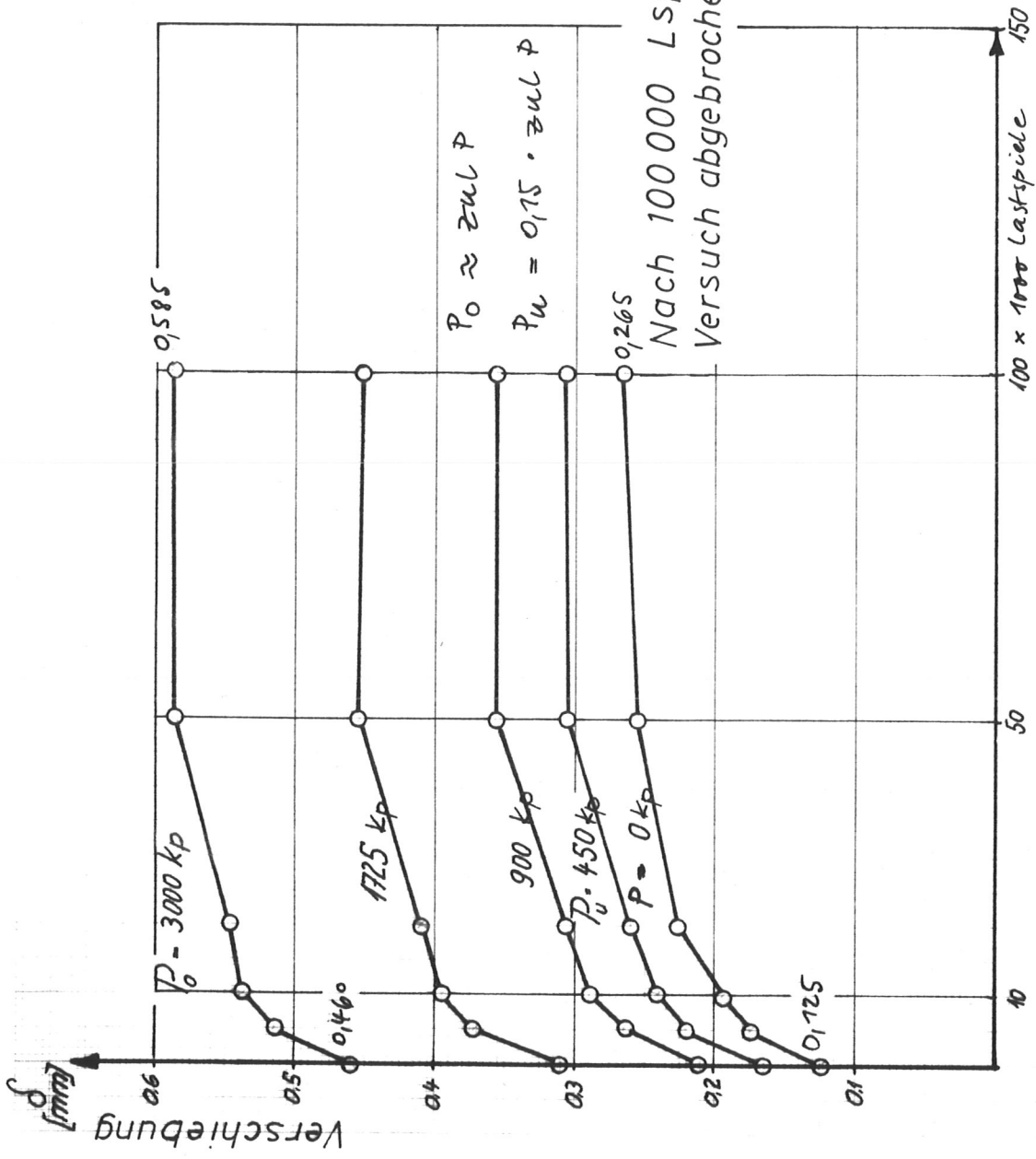


Bild 15: Verschiebungen in Abhängigkeit von der Lastspielzahl beim
 Schwellversuch der Stabdüberverbindung
 Versuch S Sch 2 Versuchskörper siehe Bild 3

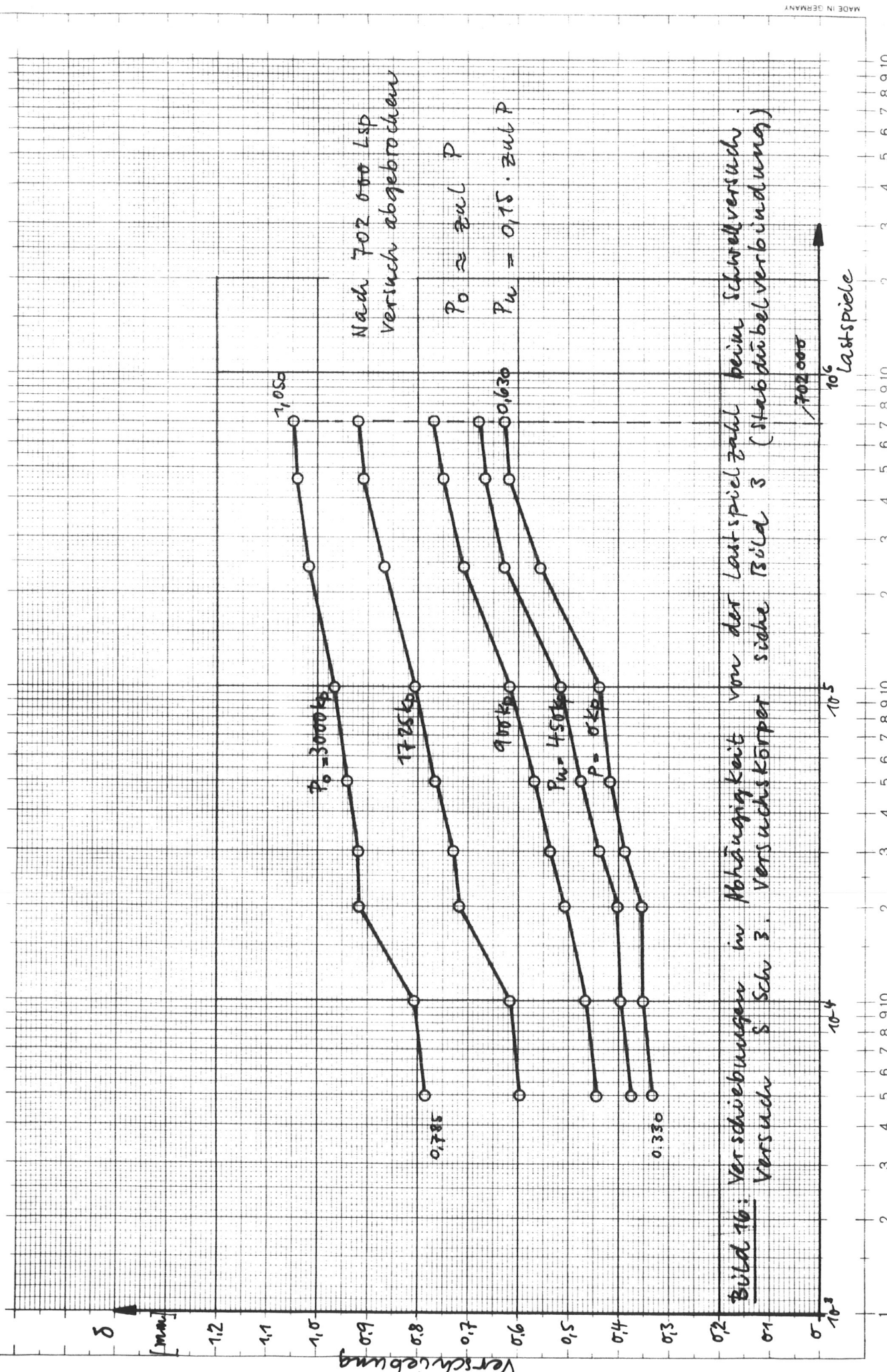


Bild 16: Verschiebungen in Abhängigkeit von der Lastspielzahl beim Schnellversuch. Versuch 3. Versuchskörper siehe Bild 3 (Stabdübelverbindung)

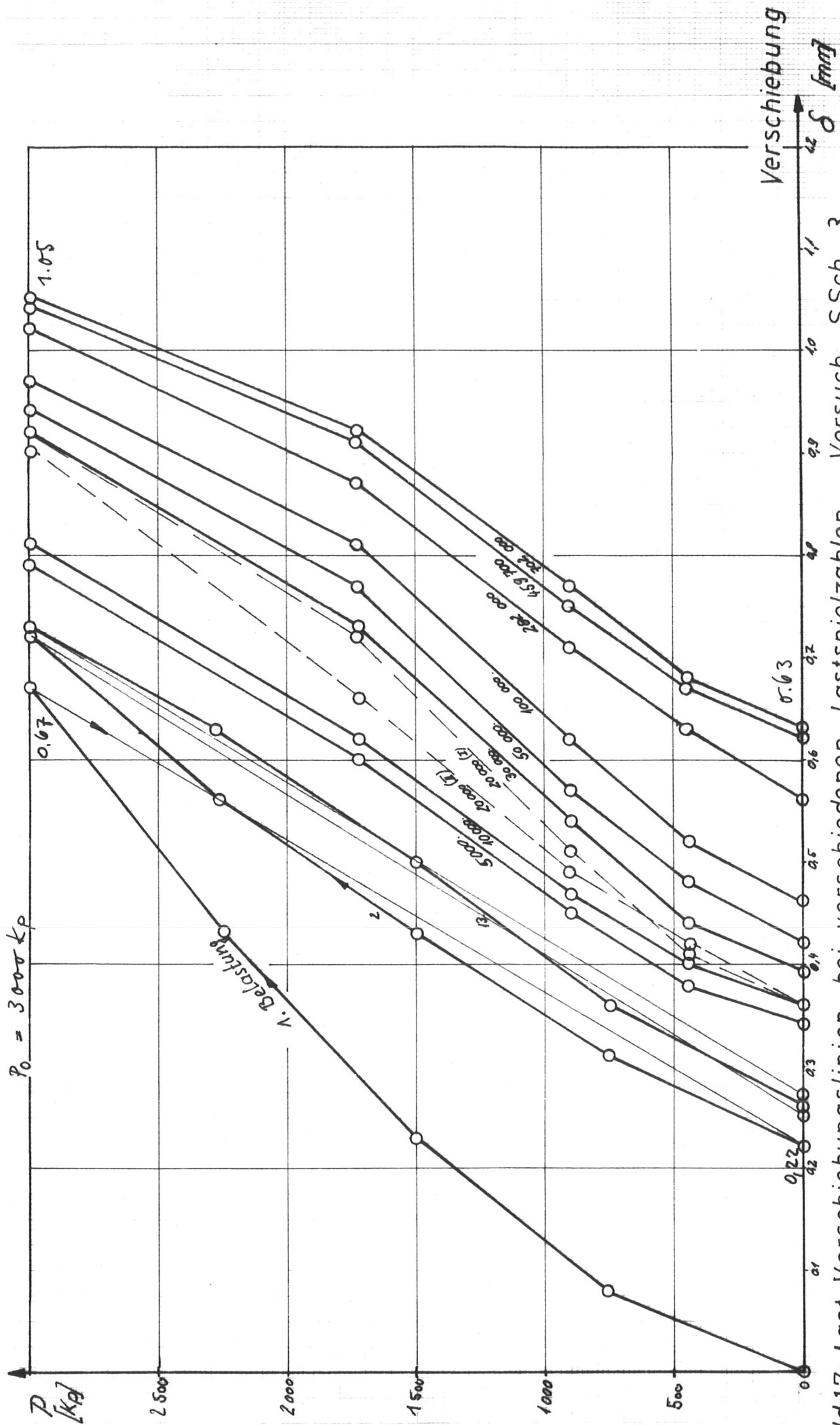
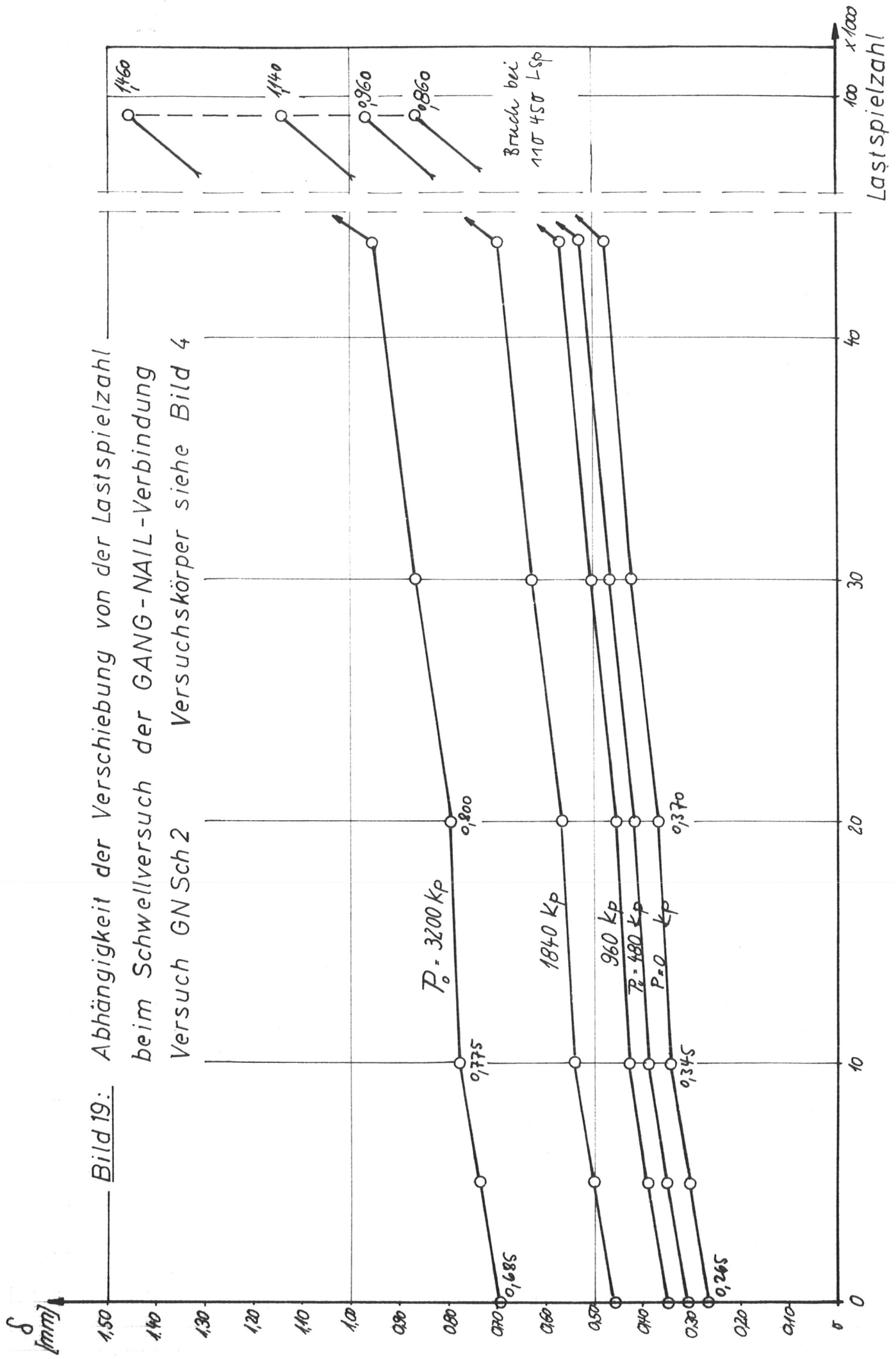


Bild 17: Last-Verschiebungslinien bei verschiedenen Lastspielzahlen. Versuch SSch 3
 Versuchskörper siehe Bild 3 (Stabdübelverbindung)



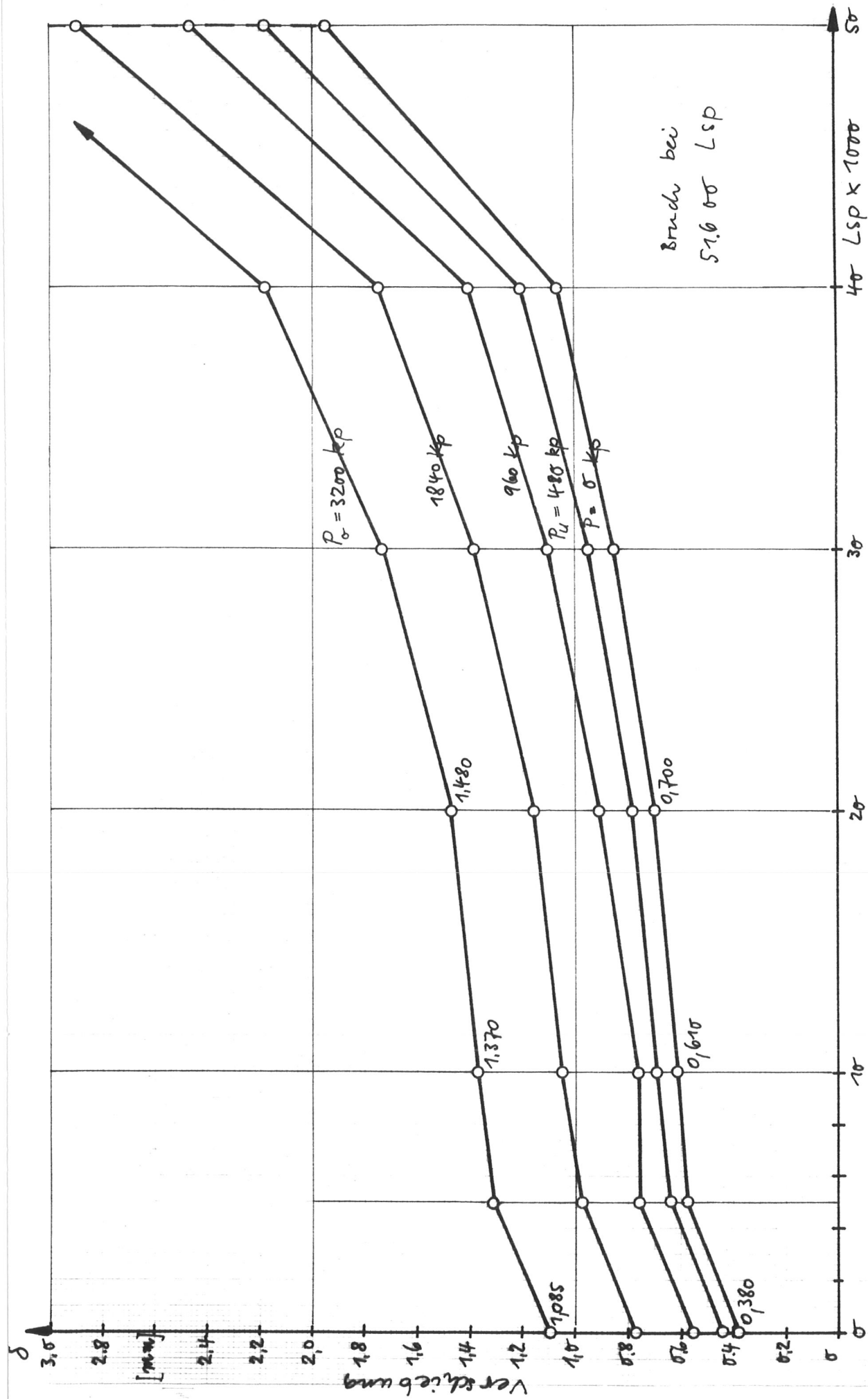
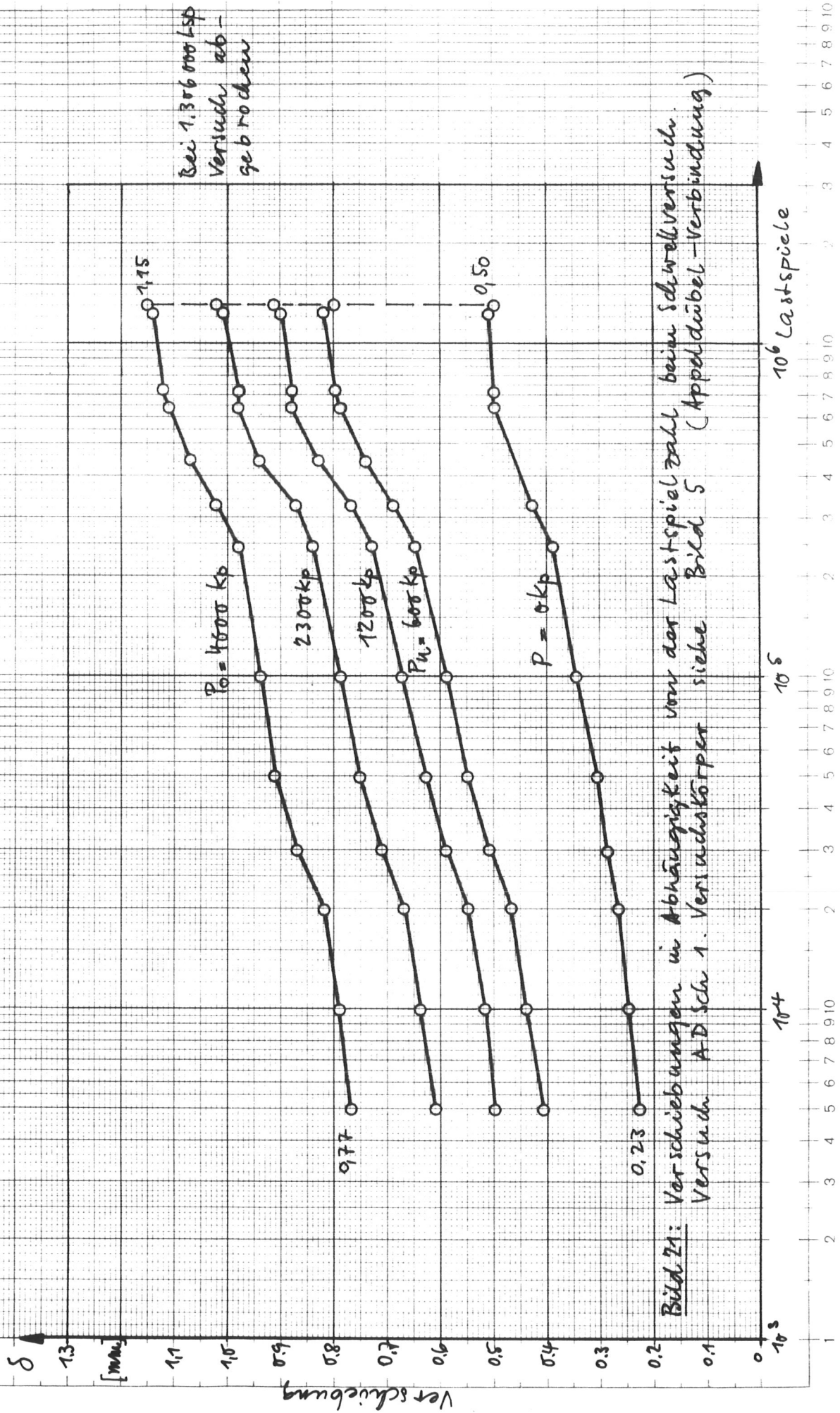


Bild 20: Abhängigkeit der Verschiebung von der Lastspielzahl beim Schwellversuch.
 Versuch G_N Sch 3. Versuchskörper siehe Bild 4 (GANG-NAIL-Verbindung)



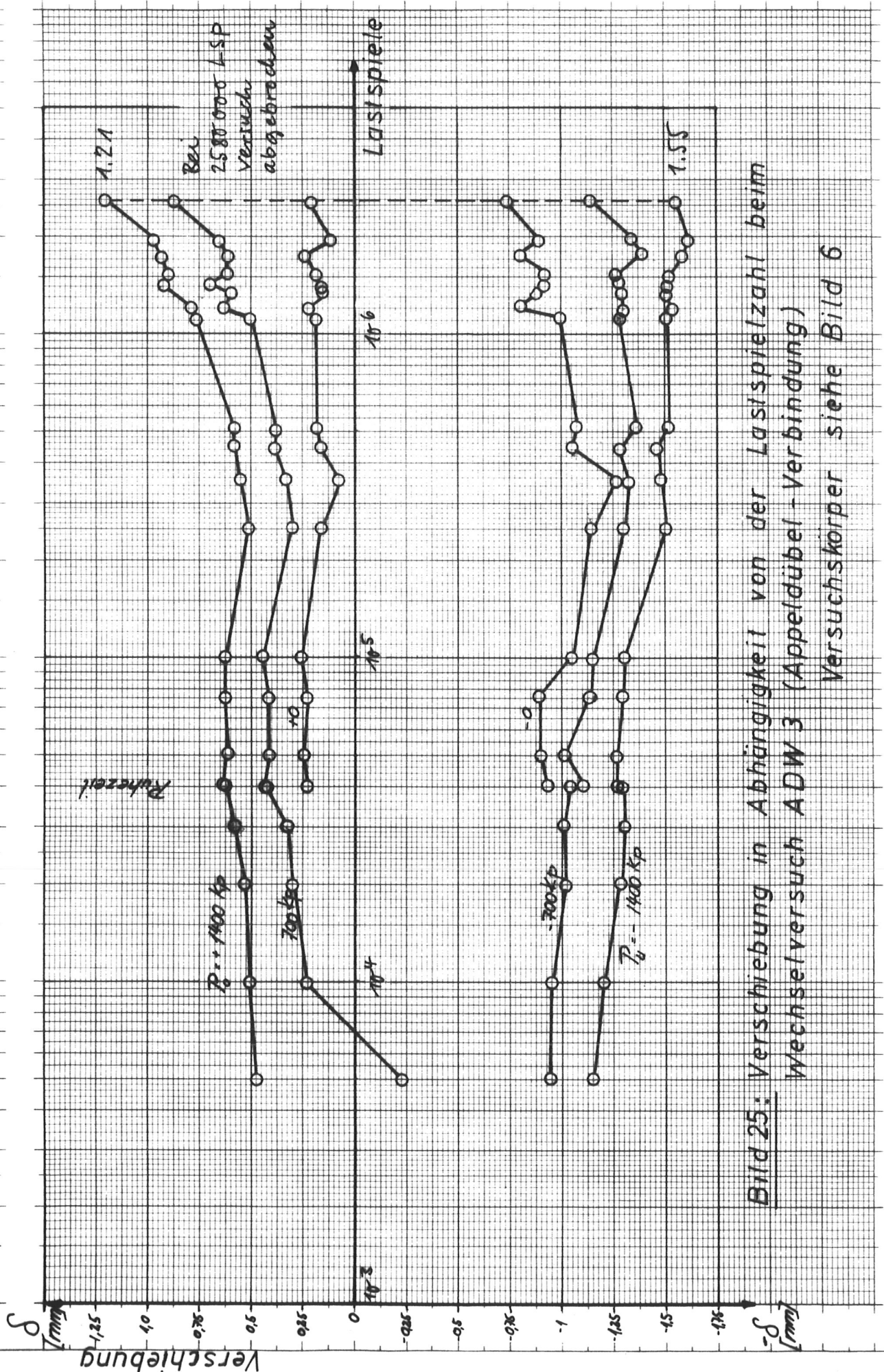


Bild 25: Verschiebung in Abhängigkeit von der Lastspielzahl beim Wechsellastversuch ADW 3 (Appeldübel - Verbindung) Versuchskörper siehe Bild 6

Bild 26: Nagelkörper für Wechselsversuche
(Versuch N W 2)

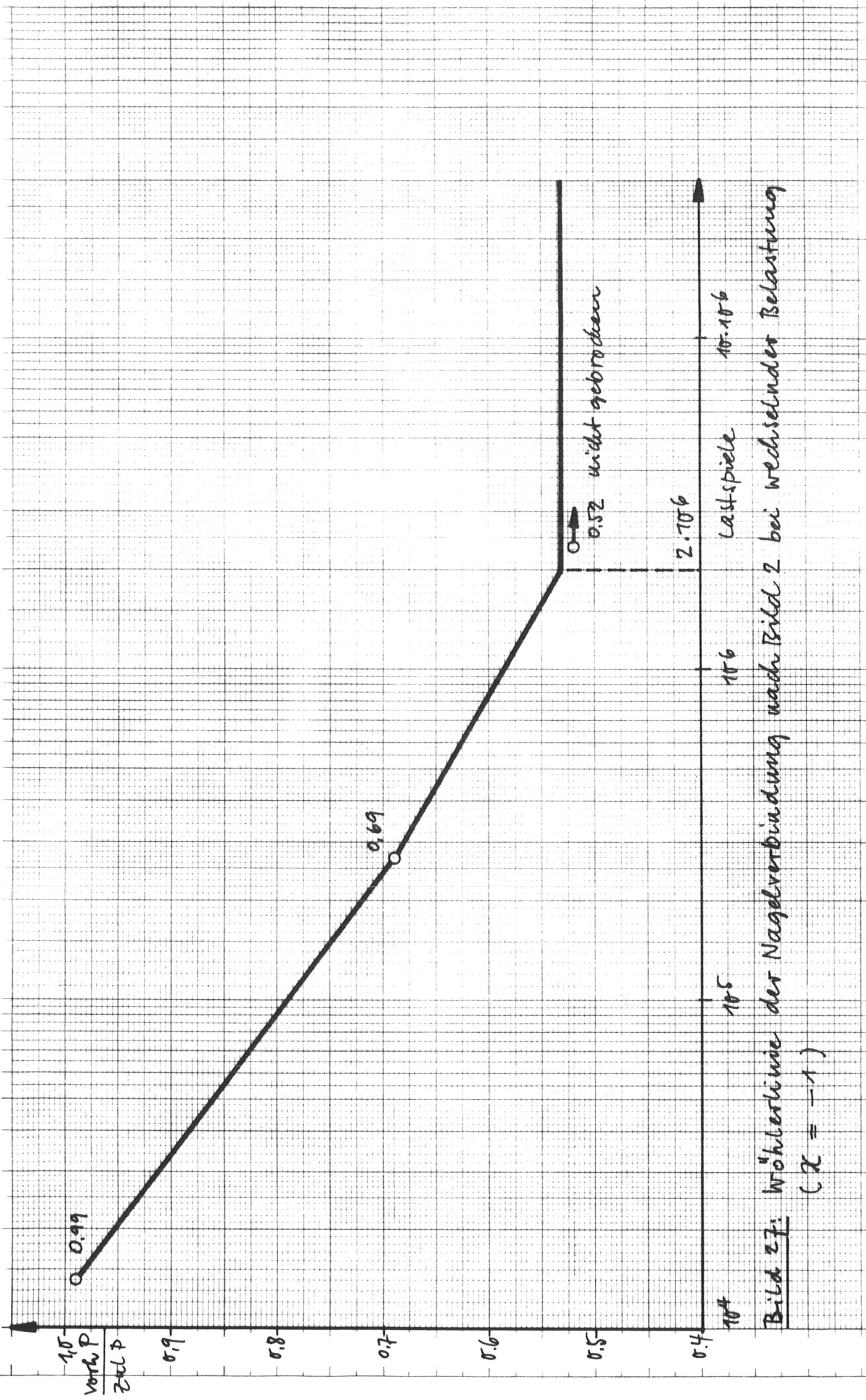


Bild 27: Wöhlerlinie der Nagelverbindung nach Bild 2 bei wechselnder Belastung
 ($X = -1$)

MADE IN GERMANY

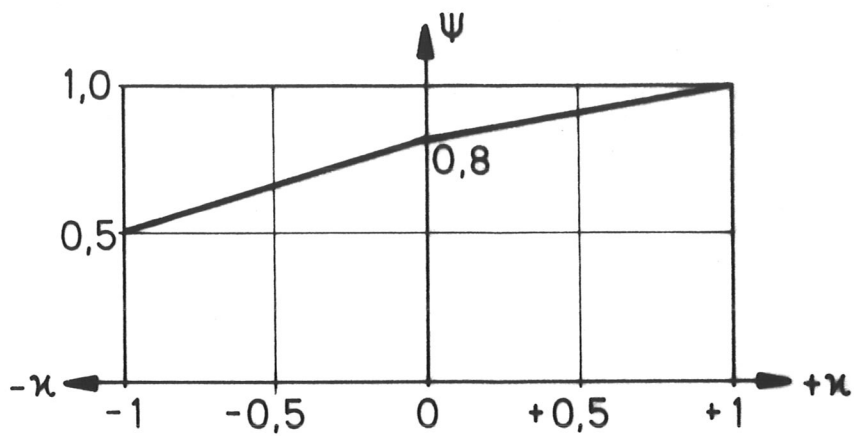


Bild 28: Abminderungsfaktor ψ in Abhängigkeit von κ für Holzverbindungsmittel