

Versuche über das
Dauerstandverhalten von Nagelverbindungen

von
Prof. Dr.-Ing. Karl Möhler

Mitteilung aus der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
der Technischen Hochschule Karlsruhe.

Ergebnisse des Forschungsauftrages AZ 4115 Nr. 38 des Bundes-
ministers für Wohnungsbau.

I n h a l t

1. Zweck der Versuche
2. Versuchsplan
3. Durchführung der Versuche
4. Ergebnis der Versuche
 - 4.1 Druckfestigkeit und Feuchtigkeitsgehalt des Holzes
 - 4.2 Statische Versuche
 - 4.3 Dauerstandsversuche
5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

1. Zweck der Versuche

Nagelverbindungen in Holzbauteilen werden vorwiegend für Dach- und Hallenkonstruktionen verwendet, bei denen in der Regel überwiegend ruhende Belastungen vorliegen. Die zulässigen Belastungen derartiger Verbindungen wurden bisher ausschließlich aufgrund der Ergebnisse statischer Belastungsversuche festgelegt, bei denen die Last erstmals stufenweise bis zur geschätzten Gebrauchslast aufgebracht wird und nach mehreren Zwischenbelastungen schließlich bis zum Bruch oder dem Erreichen der Höchstlast gesteigert wird. Die zulässige Belastung wird dann mit einer als ausreichend angesehenen Sicherheit (in der Regel 2,75 bis 3-fach) gegenüber der Höchstlast festgelegt. Bei der Durchführung derartiger Versuche kann man deutlich beobachten, daß die Dauer der Lasteinwirkung in den einzelnen Belastungsstufen sowie die Belastungsgeschwindigkeit die Größe der auftretenden Verschiebungen zwischen den zu verbindenden Teilen, in vielen Fällen auch die Höhe der erreichbaren Höchstlast selbst, merklich zu beeinflussen scheint. Auch die Beobachtungen an ausgeführten Bauwerken deuten darauf hin, daß Nagelverbindungen, die dauernd in einer gewissen Höhe beansprucht werden, merkliche Verformungen erleiden können. Die durchzuführenden Versuche sollten daher darüber Aufschluß geben, bei welchen über längere Zeit einwirkenden gleichbleibenden Belastungen mit Verschiebungszunahmen in den Verbindungen zu rechnen ist und in welchem Verhältnis die sich ergebenden Maximalwerte zu den bei erstmaliger statisch aufgebrachtter Belastung festgestellten Werten stehen. Auch war es Zweck der Versuche nachzuprüfen, ob die Tragfähigkeit einer derart "dauerstandsbeanspruchten" Nagelverbindung durch die vorausgegangene Beanspruchung vermindert wird. Schließlich sollten die Versuche auch eine Aussage darüber ermöglichen, ob ein unterschiedliches Verhalten zwischen normal eingeschlagenen Nägeln und vorgebohrten Nägeln besteht und wie sich eine hohe Anfangsfeuchtigkeit des Holzes und eine verhältnismäßig rasche Trocknung im Normalklima auf das Dauer-

standsverhalten auswirkt.

2. Versuchsplan

Die Dauerstandsversuche wurden mit Rücksicht auf die vorhandenen Prüfmöglichkeiten an zweischnittigen Druckkörpern durchgeführt, die jeweils so viele Nägel der gewählten Durchmesser erhielten, daß die zulässigen Belastungen nach DIN 1052 etwa bei 1000 bis 1500 kp lagen.

Die Belastung wurde in Faserrichtung aufgebracht. Als Holz wurden Fichtenbretter und -bohlen verwendet, die aus einem Fichtenstamm entnommen waren, so daß praktisch für alle Versuchsreihen das gleiche Holz zur Verfügung stand. Die Querschnittsabmessungen der Seiten- und Mittelhölzer waren so gewählt, daß die Mindestabstände von $10 \cdot d_n$ und $5 \cdot d_n$ nach DIN 1052 sowie die vorgeschriebenen Nagelschlankheiten eingehalten werden konnten. Zur Verbindung wurden Drahtnägel 31/70, 42/110 und 60/180 nach DIN 1151 verwendet. Der Aufbau der Versuchskörper mit Anordnung der Nägel ist aus Bild 1 zu entnehmen. Eine Uebersicht über die insgesamt 5 Versuchsreihen gibt Tafel 1.

Für jeden der zu untersuchenden Nageldurchmesser wurden gleichzeitig 4 gleiche Versuchskörper (bei der V. Reihe 5 Versuchskörper), insgesamt 63 Versuchskörper hergestellt. Die I. und II. Versuchsreihe umfaßte nur normal eingeschlagene Nägel, während bei der III. Versuchsreihe die Nagellöcher vorgebohrt waren. Bei der IV. und V. Reihe wurden jeweils 2 Versuchskörper mit vorgebohrten Löchern ausgeführt. Der Bohrlochdurchmesser betrug 3,0 mm bei den Nägeln 31/70, 4,0 mm bei den Nägeln 42/110 und 5,8 mm bei den Nägeln 60/180.

3. Herstellung der Versuchskörper und Durchführung der Versuche

Sämtliche Versuchskörper einer jeden Versuchsreihe wurden nach entsprechender Vorbereitung der Hölzer stets am gleichen Tage

zusammengenagelt. Die Nägel wurden jeweils nur soweit in das Holz eingetrieben, daß die Oberfläche des Nagelkopfes noch fühlbar über der Holzoberfläche verblieb, um zusätzliche Kraftübertragung infolge Reibung weitgehend auszuschließen. 24 Stunden nach der Nagelung wurden die statischen Versuche mit je einem Körper auf einer 5 t-Universalprüfmaschine durchgeführt, wobei bei einigen Laststufen oberhalb P die Verschiebungen unmittelbar nach Erreichen der Last sowie jeweils nach 1 - 2 und 3 Minuten langer Einwirkung gemessen wurden. Nach einer Zwischenentlastung wurde die Belastung dann bis zum Ueberschreiten der Höchstlast fortgesetzt. Aus diesen Probekörpern oder aus gleichen Einzelhölzern wurden Proben zur Bestimmung der Holzfeuchtigkeit nach dem Darrverfahren und der Druckfestigkeit des Holzes entnommen.

Mit den Versuchskörpern, die für den Dauerstandsversuch bestimmt waren, wurden wiederum zuerst statische Versuche mit stufenweiser Belastung bis zu der vorgesehenen Dauerlasthöhe durchgeführt, wobei die vorgesehene Last 20 Minuten lang unter mehrmaliger Verschiebungsablesung konstant gehalten wurde. Anschließend wurde der Versuchskörper unter die Dauerstandseinrichtung gebracht, deren schematischer Aufbau aus Bild 2 hervorgeht. Da für die ersten 4 Versuchsreihen kein klimatisierbarer Prüfraum zur Verfügung stand, wurde die Raumtemperatur und die rel. Luftfeuchtigkeit weitgehend von den klimatischen Bedingungen der Außenluft, im Winterhalbjahr von den Heizbedingungen (Zentralheizung) beeinflusst. Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit wurden durch ein Schreibgerät laufend aufgenommen und bei den Verschiebungsablesungen wurden Temperatur und Luftfeuchtigkeit an Feinmeßgeräten mit abgelesen. Die V. Versuchsreihe wurde in einem Klimaraum durchgeführt, in welchem während der Versuchsdauer eine rel. Luftfeuchtigkeit von 65 % und eine Raumtemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$ gehalten wurde. Um die Aenderung der Holzfeuchtigkeit während der Dauerstandsbelastung zu erfassen, wurde jeweils 1 Vergleichskörper unbe-

lastet im Dauerprüfraum unmittelbar neben den belasteten Körpern gelagert, dessen Gewicht in gewissen Zeitabständen festgestellt wurde. Nach Abschluß der Dauerstandsbelastung wurde dieser Körper ebenso wie die dauerbelasteten Körper einem statischen Bruchversuch unterworfen.

4. Ergebnis der Versuche

4.1 Druckfestigkeit und Feuchtigkeit des Holzes im Zeitpunkt der Nagelung

Bei der I. Versuchsreihe wurden Druckfestigkeiten von 248 bis 389 kp/cm^2 bei einem mittleren Feuchtigkeitsgehalt von 23 % festgestellt. Bei der II. Reihe lagen die σ_D -Werte zwischen 279 und 320 kp/cm^2 bei einer mittleren Feuchtigkeit von 21 %. Die trockenen Hölzer der Reihen III und IV mit 16 und 15 % Feuchtigkeit wiesen Druckfestigkeiten von 339 bis 469 kp/cm^2 auf, während die künstlich über den Fasersättigungspunkt befeuchteten Hölzer der V. Reihe σ_D -Werte unter 250 kp/cm^2 ergaben.

Die Rohdichte des Holzes im Darrzustand schwankte zwischen $r_0 = 0,35$ und $0,42 \text{ g/cm}^3$.

4.2 Statische Versuche

Die Ergebnisse der statischen Versuche mit den Probekörpern, die jeweils ca 24 Stunden nach der Herstellung, und der unbelastet gebliebenen Vergleichskörper, die nach Abschluß der Dauerstandsbelastung geprüft wurden, sind in Tafel 2 enthalten. In dieser Aufstellung sind auch die Höchstlasten der dauerbelasteten Körper selbst aufgenommen, die bei den abschließenden statischen Versuchen erhalten wurden. Während die unter P gemessenen Verschiebungen in der Regel bei den mehrere Monate gelagerten Körpern mit einer Ausnahme wesentlich höher waren als bei den sofort geprüften, waren die Bruchlasten teils höher, niedriger oder gleich. Auch die Bruchlasten der dauerbeanspruchten Körper ließen keinen eindeutigen Un-

terschied erkennen. Der Verlauf der Lastverschiebungslinien, ~~beispielsweise für die Nägel 42/110~~ wiedergegeben in Bild 3 bis 7, zeigt das Steifigkeitsverhalten, auch den Unterschied zwischen normalen und vorgebohrten Nagellöchern, wobei letztere in der Regel eine größere Steifigkeit und Tragfähigkeit als die ersteren ergaben. Da der statische Versuch mit dem 1. Versuchskörper jeder Reihe einen Anhalt über diejenige Lasthöhe ergeben sollte, mit welcher die Dauerstandsbelastung durchzuführen war, wurden jeweils auf den Laststufen von 1,0 - 1,25 - 1,50 - 1,75 mal z_{ul} die Last 3 Minuten lang konstant gehalten und die Verschiebungen unmittelbar nach Erreichen der Last sowie nach 1 - 2 und 3 Minuten Belastungsdauer abgelesen. Dabei ergab sich, daß bei allen 3 Nageldurchmessern Zunahmen beträchtlicher Größe bereits innerhalb 3 Minuten festzustellen waren, wenn die Last 1,25 und mehr der zulässigen Last beträgt. Bild 8 und 9 zeigen die Zunahme der Verschiebungen innerhalb 3 Minuten bei verschiedener Lasthöhe.

4.3 Dauerstandsversuche

Die bei den Dauerstandsversuchen, die sich in der Regel jeweils über 200 Tage erstreckten, aufgenommenen Zeit-Verschiebungslinien sind in Bild 10 bis 16 wiedergegeben. Der Verlauf der rel. Luftfeuchtigkeit im Prüfraum bei den Versuchsreihen I bis IV, bei denen keine Klimatisierung möglich war, ist in Bild 17 aufgezeichnet.

Bei der 1. Versuchsreihe waren die Belastungen mit 50 % und 35 % über den nach DIN 1052 festgelegten Werten als Dauerbelastung aufgebracht worden. Die so belasteten Körper, die bei der ersten statischen Belastung Verschiebungen unter z_{ul} von 0,40 bis 0,63 mm und unter der 1,5- bzw. 1,35-fachen Gebrauchslast von 1,57 bis 2,38 mm aufwiesen, nahmen innerhalb 200 Tagen in ihren Verschiebungen nahezu stetig zu und erreichten beim Abbruch der Dauerstandsbelastung Verschiebungen

zwischen den zu verbindenden Hölzern von 5 bis 9 mm. Das bedeutet, daß die ursprünglich beim normalen statischen Versuch gemessenen Verschiebungen nach 200 Tagen auf das 3- bis 4-fache angestiegen waren (Bild 10). Die relativen Luftfeuchtigkeiten im Versuchsraum schwankten dabei in den ersten 80 Tagen zwischen 70 0/0 und 95 0/0, in den letzten 120 Tagen etwa zwischen 65 0/0 und 50 0/0. Es war auffallend, daß mit Beginn der Raumheizung, also mit dem Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit und dem stärkeren Austrocknen der Probekörper eine Zunahme der Verschiebungen eintrat, die in erster Linie auf das Verschwinden etwaiger Reibungskräfte zurückgeführt werden muß.

Bei den nach Abschluß der Dauerstandsbelastung durchgeführten statischen Bruchversuchen konnten, wie aus Tafel 2 hervorgeht, keine wesentlichen Unterschiede zu den Vergleichskörpern festgestellt werden. Die Holzfeuchtigkeit hatte sich von rund 23 0/0 auf 15 0/0 verringert, was sich auch durch deutliche Schwindfugen zwischen Mittel- und Seitenhölzern zeigte.

Bei der 2. Versuchsreihe wurden die Lasten mit $1,25 \cdot \text{zul P}$ bzw. $1,38 \cdot \text{zul P}$ angesetzt (Bild 11). Nunmehr war ein stärkeres Zunehmen der Verschiebungen nur noch während der ersten 20 Tage festzustellen, anschließend nahmen die Verschiebungen nur noch wenig zu, erreichten aber nach etwa 200 Tagen mit 2,5 bis 2,8 mm noch beinahe das Doppelte der für Holzverbindungen als zulässig angenommenen Verschiebungen von 1,5 mm und das Mehrfache der beim normalen statischen Versuch festgestellten Werte.

Hier war die Holzfeuchtigkeit während der gesamten Versuchsdauer praktisch unverändert geblieben, da bereits wenige Tage nach Beginn der Dauerstandsbelastung die rel. Luftfeuchtigkeit nach Abstellen der Heizung stark anstieg. Die abschließenden statischen Bruchversuche ergaben keine Änderung der Belastbarkeit gegenüber den Vergleichskörpern.

Bei der 3. Versuchsreihe wurden die Nägel in vorgebohrte Löcher eingetrieben und die Versuchskörper wie bei der 2. Versuchsreihe belastet (Bild 12). Bei diesen Körpern war die Zunahme in den ersten 80 Tagen gering. Nachdem aber mit der beginnenden Heizperiode eine Erniedrigung der relativen Luftfeuchtigkeit im Prüfraum eintrat, war eine deutliche Verschiebungszunahme festzustellen, die aber nach einiger Zeit wieder zur Ruhe kam, d. h., die Verschiebungen nahmen nach 120-tägiger Belastung praktisch nicht mehr zu. Die Endwerte der Verschiebungen erreichten bei den Nägeln 31/70 und 42/110 nicht das zulässige Maß von 1,5 mm, nur die Körper mit den Nägeln 60/180 überschritten diesen Wert geringfügig. Hier war aber die Anfangsverschiebung mit 0,68 und 0,71 mm wesentlich höher als bei den Körpern mit den dünneren Nägeln, die bei der 1. Belastung nur Verschiebungen zwischen 0,22 und 0,41 mm aufwiesen. Bei Abbruch der Versuche nach 168 Tagen hatten sich die Anfangsverschiebungen bei den Nägeln 60/180 auf $1,55 = 2,3 \cdot 0,68$ mm und $1,80 = 2,3 \cdot 0,77$ mm erhöht. Bei den Nägeln 42/110 betrug die Endverschiebung das 3,6- und 2,6-fache, bei den Nägeln 31/70 das 3,9- und 5,1-fache der Anfangswerte. Hiernach wäre bei den dünneren Nägeln mit einer verhältnismäßig stärkeren Verschiebungszunahme zu rechnen als bei den dicken Nägeln, obwohl die letzteren in der Regel die höheren absoluten Verschiebungswerte aufweisen.

Bei dieser Versuchsreihe blieb die anfänglich vorhandene Holzfeuchtigkeit von rd 16 ‰ über die ersten 100 Tage konstant, um dann stetig bis zum Versuchsende auf ca 11 bis 12 ‰ abzufallen. Diese Trocknung muß in erster Linie für das deutliche Anwachsen der Verschiebungen zwischen 100 und 120 Tagen maßgebend gewesen sein. Die abschließenden statischen Bruchversuche ergaben auch hier keine eindeutige Beeinflussung der Belastbarkeit durch die vorausgegangene Dauerstandsbelastung.

Bei der 4. Versuchsreihe wurde mit $z_{ul} P$ belastet, wobei 1 Nagelkörper jeder Bauart mit normal eingeschlagenen Nägeln

und 1 Nagelkörper mit vorgebohrten Nagellöchern dem Dauerstandsversuch unterworfen wurden. Das Ergebnis ist in Bild 13 wiedergegeben. Nunmehr blieben die Verschiebungen innerhalb 200 Tagen unter 1 mm, wobei bei den Nägeln 42/110 und 60/180 die Versuchskörper mit vorgebohrten Nagellöchern ($d_B \approx 0,9 d_n$) ein etwas günstigeres Verhalten als die Körper mit normal eingeschlagenen Nägeln zeigten. Auch hier konnte mit Einsetzen der Heizperiode ein zeitweiliger deutlicher Anstieg der Verschiebungen festgestellt werden. Während der letzten 80 Tage traten aber keine merklichen Verschiebungszunahmen mehr auf. Die Verschiebungen am Ende der Dauerstandsbelastung waren bei den Nägeln 60/180 auf das 1,5-fache, bei den übrigen Nagelgrößen auf etwa das Doppelte der bei der 1. statischen Belastung ~~ung~~ aufgetretenen Verschiebungen angewachsen.

Bei dieser Versuchsreihe war in den ersten 80 Tagen eine geringe Zunahme, anschließend eine Abnahme der Holzfeuchtigkeit festzustellen, die beim Abschluß der Versuche im Mittel ca 12 ‰ gegenüber der Ausgangsfeuchtigkeit von 15 ‰ betrug.

Die 5. Versuchsreihe sollte das Dauerstandsverhalten von Nagelverbindungen aufzeigen, bei denen das Holz in nassem Zustand (Holzfeuchtigkeit über dem Fasersättigungspunkt) genagelt und anschließend bei Normalklima (rel. Luftfeuchtigkeit 65 ‰, Temperatur +20° C) der Dauerstandsbelastung ausgesetzt wird. Hier wurden die statischen Bruchversuche mit den dauerbelasteten und den unbelastet gebliebenen Körpern erst 9 Monate bzw. 7 Monate nach der Herstellung durchgeführt, wobei alle Körper eine Holzfeuchtigkeit von ca 11 ‰ des Trockengewichtes aufwiesen. Infolge des Schwindens der Seiten- und Mittelhölzer waren dabei Schwindfugen von 0,45 bis 0,73 mm Dicke bei den 22 mm dicken Hölzern der Körper 1r bis 1v, 0,45 bis 1,38 mm bei den Körpern 2r bis 2v mit 35 mm dicken Hölzern und 2,05 bis 3,30 mm bei den Körpern 3r bis 3v mit 60 mm Holzdicke entstanden. (Aus den Schwindfugenbreiten errechnen sich mittlere Schwindmaße α von etwa 0,12 bis 0,19 ‰ pro ‰)

Feuchtigkeitsänderung, die mit den Werten der Tabelle 2 der DIN E 1052 von 0,12 und 0,24 ‰ / ‰ gut übereinstimmen.) Die Tragfähigkeit beim statischen Bruchversuch ergab keine Unterschiede zwischen den dauerbelasteten und den unbelastet gebliebenen Vergleichskörpern, ein Unterschied in den Verschiebungen und Höchstlasten war aber zwischen normal eingeschlagenen und den vorgebohrten Nägeln deutlich festzustellen.

Der Verlauf der Last-Verschiebungslinien geht aus Bild 14 bis 16 hervor. Ebenso ist daraus die Abnahme der Holzfeuchtigkeit mit zunehmender Lagerungsdauer zu entnehmen, wonach praktisch nach ca 40 bis 60 Tagen das Feuchtigkeitsgleichgewicht bei rd 11 ‰ Feuchtigkeit unter dem Normalklima erreicht war. Die Verschiebungen unter den mit z_{ul} P angesetzten Dauerlasten erreichten ebenfalls etwa nach 60 Tagen bereits nahezu ihren Endwert, der bei den nicht vorgebohrten Körpern das 6- bis 9-fache, bei den vorgebohrten Körpern der Gruppe 1 und 2 das rund 4-fache der Anfangsverschiebung betrug. Die Endverschiebungen lagen allerdings mit einer Ausnahme (Körper 1v, Nägel 31/70 vorgebohrt) über 1,5 mm.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Feststellungen bei den Dauerstandsbelastungen an zweischnittigen Nagelkörpern mit normal oder in vorgebohrte Löcher eingeschlagenen Drahtnägeln nach DIN 1151 lassen erkennen, daß Nagelbelastungen über den zulässigen Werten der DIN 1052 bei normal eingeschlagenen Nägeln zu Verschiebungen führen, die die Anfangsverschiebungen um ein Mehrfaches übertreffen, und die Gesamtverschiebungen im Endzustand über 1,5 mm hervorrufen.

Bei Dauerlasten, die mehr als 25 ‰ über z_{ul} P liegen, muß bei halbtrockenem und trockenem Holz sogar mit einer stetig zunehmenden Verschiebung gerechnet werden. Bei trockenem Holz können vorgebohrte Nägel mit der 1,25-fachen Belastung den

Grenzwert von 1,5 mm in der Regel noch einhalten.

Dauerbelastungen mit zul P bringen bei trockenem Holz zwar immer noch eine 1,5- bis 2,5-fache Verschiebungszunahme, der Endwert wird dabei aber unter 1,5 mm bleiben. In nassem Zustand genagelte Verbindungen, die nach der Herstellung einem Normalklima ausgesetzt werden, erreichen unter zul P zwar mit Einstellung des Feuchtgleichgewichtes praktisch auch den Verschiebungsendwert, der aber ein Mehrfaches der Anfangsverschiebung beträgt und den Wert von 1,5 mm um 100 % überschreiten kann.

Die statischen Vergleichsversuche mit dauerbelasteten und unbelasteten Versuchskörpern haben ergeben, daß in der Regel weder durch eine vorausgegangene Dauerbelastung noch durch ein weitgehendes Austrocknen der Nagelverbindungen die Höhe der Tragfähigkeit beeinträchtigt wird.

Das Ergebnis der Versuche läßt es ratsam erscheinen, die zulässigen Nagelbelastungen nach DIN 1052 vorerst in denjenigen Fällen nicht voll in Anspruch zu nehmen, in denen die Nagelverbindungen mit einer gleichbleibenden Vollast beansprucht werden. Da bei den Holzkonstruktionen des Hochbaues, vornehmlich bei Dachkonstruktionen, die Grundlast aus ständiger Last nur in gewissen Zeitabschnitten durch die Verkehrslasten einschließlich Schnee und Wind die Höhe der Bemessungslast erreichen wird, dürfte in der Praxis in der Regel mit einem günstigeren Formänderungsverhalten gerechnet werden. Es erscheint daher erforderlich, Dauerstandsbelastungsversuche mit zeitweise veränderter Belastungshöhe durchzuführen, um den wirklichen Verhältnissen bei den üblichen Bauwerken zu entsprechen. Die erhaltenen Ergebnisse sollten aber auf jeden Fall bereits jetzt in solchen Fällen berücksichtigt werden, in denen auf eine große Formbeständigkeit genagelter Konstruktionen Wert gelegt werden muß.

Tafel 1: Zusammenstellung der Versuchsreihen mit Bezeichnung der Versuchskörper.

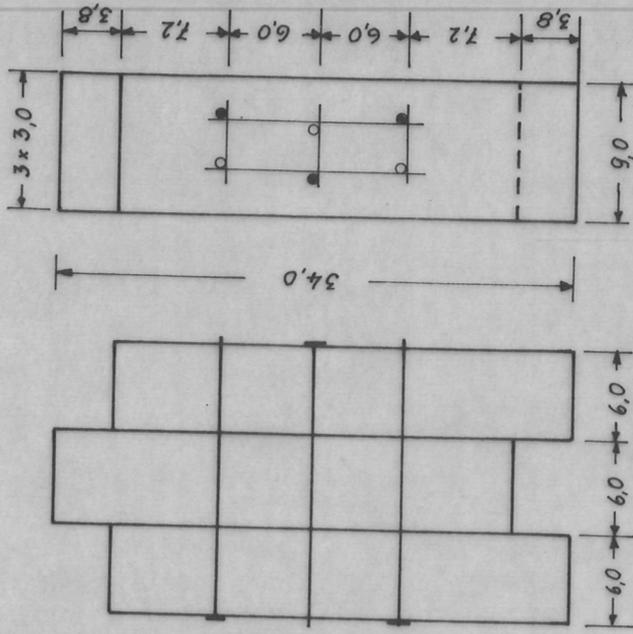
Vers. Reihe	Holzfeuchtigkeit bei Herstellungsstellung der Versuchskörper	12 Nägel 31/70, zulp = 900 kp		9 Nägel 42/110, zulp = 1125kp		6 Nägel 60/180, zulp = 1320 kp				
		Körp. Nr.	Nagel-löcher	Prüfart	Körp. Nr.	Nagel-löcher	Prüfart	Körp. Nr.	Nagel-löcher	Prüfart
I	halbtrocken (~ 23 %)	1 a	NV	stat. bis Bruch	2 a	NV	stat. bis Bruch	3 a	NV	stat. bis Bruch
		1 b	NV	Dauerl. 1,5·zulp	2 b	NV	Dauerl. 1,38·zulp	3 b	NV	Dauerl. 1,5·zulp
		1 c	NV	Dauerl. 1,5·zulp	2 c	NV	Dauerl. 1,38·zulp	3 c	NV	Dauerl. 1,5·zulp
		1 d	NV	stat. bis Bruch	2 d	NV	stat. bis Bruch	3 d	NV	stat. bis Bruch
II	halbtrocken (~ 21 %)	1 e	NV	stat. bis Bruch	2 e	NV	stat. bis Bruch	3 e	NV	stat. bis Bruch
		1 f	NV	Dauerl. 1,25·zulp	2 f	NV	Dauerl. 1,38·zulp	3 f	NV	Dauerl. 1,25·zulp
		1 g	NV	Dauerl. 1,25·zulp	2 g	NV	Dauerl. 1,38·zulp	3 g	NV	Dauerl. 1,25·zulp
		1 h	NV	stat. bis Bruch	2 h	NV	stat. bis Bruch	3 h	NV	stat. bis Bruch
III	trocken (~ 16 %)	1 i	V	stat. bis Bruch	2 i	V	stat. bis Bruch	3 i	V	stat. bis Bruch
		1 k	V	Dauerl. 1,25·zulp	2 k	V	Dauerl. 1,38·zulp	3 k	V	Dauerl. 1,25·zulp
		1 l	V	Dauerl. 1,25·zulp	2 l	V	Dauerl. 1,38·zulp	3 l	V	Dauerl. 1,25·zulp
		1 m	V	stat. bis Bruch	2 m	V	stat. bis Bruch	3 m	V	stat. bis Bruch
IV	trocken (~ 15 %)	1 n	NV	stat. bis Bruch	2 n	NV	stat. bis Bruch	3 n	NV	stat. bis Bruch
		1 o	NV	Dauerl. 1,0·zulp	2 o	NV	Dauerl. 1,0·zulp	3 o	NV	Dauerl. 1,0·zulp
		1 p	V	Dauerl. 1,0·zulp	2 p	V	Dauerl. 1,0·zulp	3 p	V	Dauerl. 1,0·zulp
		1 q	V	stat. bis Bruch	2 q	V	stat. bis Bruch	3 q	V	stat. bis Bruch
V	naß (> 30 %)	1 r	NV	stat. bis Bruch	2 r	NV	stat. bis Bruch	3 r	NV	stat. bis Bruch
		1 s	V	stat. bis Bruch	2 s	V	stat. bis Bruch	3 s	V	stat. bis Bruch
		1 t	NV	Dauerl. 1,0·zulp	2 t	NV	Dauerl. 1,0·zulp	3 t	NV	Dauerl. 1,0·zulp
		1 u	NV	Dauerl. 1,0·zulp	2 u	NV	Dauerl. 1,0·zulp	3 u	NV	Dauerl. 1,0·zulp
		1 v	V	Dauerl. 1,0·zulp	2 v	V	Dauerl. 1,0·zulp	3 v	V	Dauerl. 1,0·zulp

NV = nicht vorgebohrt; V = vorgebohrt.

Tafel 2: Ergebnisse der statischen Versuche.

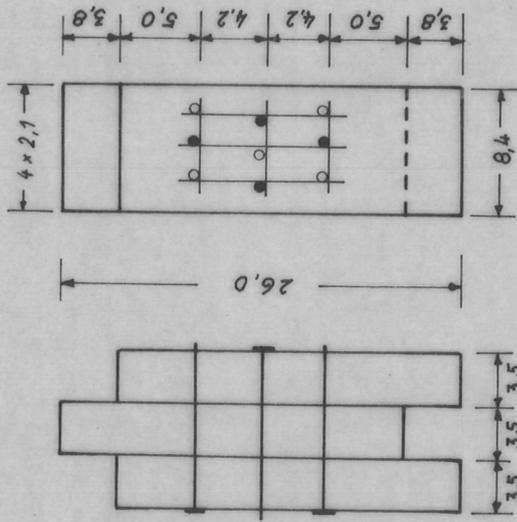
Versuchsreihe	Körper Nr.	Nägel	Nagellocher	Körper geprüft nach	Verschiebung in mm bei zulP		Bruchlast (kp)	y = $\frac{P_B}{zulP}$	Bruchlast der dauerbeanspr. Körper (kp)
					1. Belastung	13. Belastung			
I (~23%)	1a	12 x 34/70	NV	24 Std.	0,31	0,35	2830	3,14	1c: 3580
	1d		NV	6 Mon.	0,47	0,53	3700	4,11	
	2a	9 x 42/110	NV	24 Std.	0,48	0,55	3320	2,95	2c: 2800
	2d		NV	6 Mon.	0,93	0,97	2250	2,00	
	3a	6 x 60/180	NV	4 Std.	0,47	0,51	5250	3,95	3c: 6430
	3d		NV	6 Mon.	0,55	0,60	5250	3,95	
II (~21%)	1e	12 x 34/70	NV	24 Std.	0,08	0,08	3700	4,11	1f: 3250
	1h		NV	7,5 Mon.	0,30	0,31	2750	3,06	
	2e	9 x 42/110	NV	24 Std.	0,24	0,27	4220	3,75	2f: 4405
	2h		NV	7,5 Mon.	0,17	0,18	4800	4,26	
	3e	6 x 60/180	NV	24 Std.	0,37	0,39	5850	4,43	3f: 5075
	3h		NV	7,5 Mon.	0,58	0,59	5240	3,97	
III (~16%)	1i	12 x 34/70	V	24 Std.	0,08	0,09	3600	4,00	1k: 3000
	1m		V	6 Mon.	0,21	0,22	3670	4,08	
	2i	9 x 42/110	V	24 Std.	0,19	0,20	4070	3,62	2k: 4860
	2m		V	6 Mon.	0,31	0,33	5200	4,62	
	3i	6 x 60/180	V	24 Std.	0,43	0,47	5550	4,20	3k: 5310
	3m		V	6 Mon.	0,74	0,86	4680	3,54	
IV (~15%)	1n	12 x 34/70	NV	24 Std.	0,29	0,30	2400	2,67	-
	1q		V	24 Std.	0,50	0,50	2380	2,64	
	2n	9 x 42/110	NV	24 Std.	0,45	0,46	4420	3,93	-
	2q		V	24 Std.	0,27	0,28	5150	4,58	
	3n	6 x 60/180	NV	24 Std.	0,44	0,44	6100	4,62	-
	3q		V	24 Std.	0,57	0,57	6400	4,85	
V (>30%)	1r	12 x 34/70	NV	9 Mon.	0,44	0,47	3950	4,38	1t/1u: 3540/3370
	1s		V	9 Mon.	0,23	0,24	4920	5,46	
	2r	9 x 42/110	NV	7 Mon.	0,56	0,60	4950	4,40	2t/2u: 5050/5000
	2s		V	7 Mon.	0,41	0,45	5220	4,64	
	3r	6 x 60/180	NV	7 Mon.	0,95	1,02	5390	4,08	3t/3u: (2640)/4450
	3s		V	7 Mon.	0,69	0,66	6780	5,13	

NV = nicht vorgebohrt; V = vorgebohrt; () Mittelholz gerissen



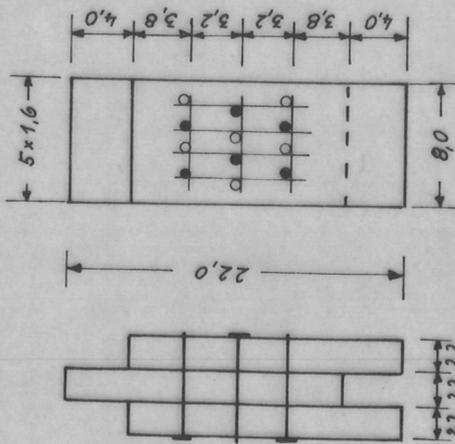
Körper 3

6 Nägel 60/180



Körper 2

9 Nägel 42/110



Körper 1

12 Nägel 31/70

Bild 1: Ausbildung der Nagelkörper

M 1:5 Maße in cm

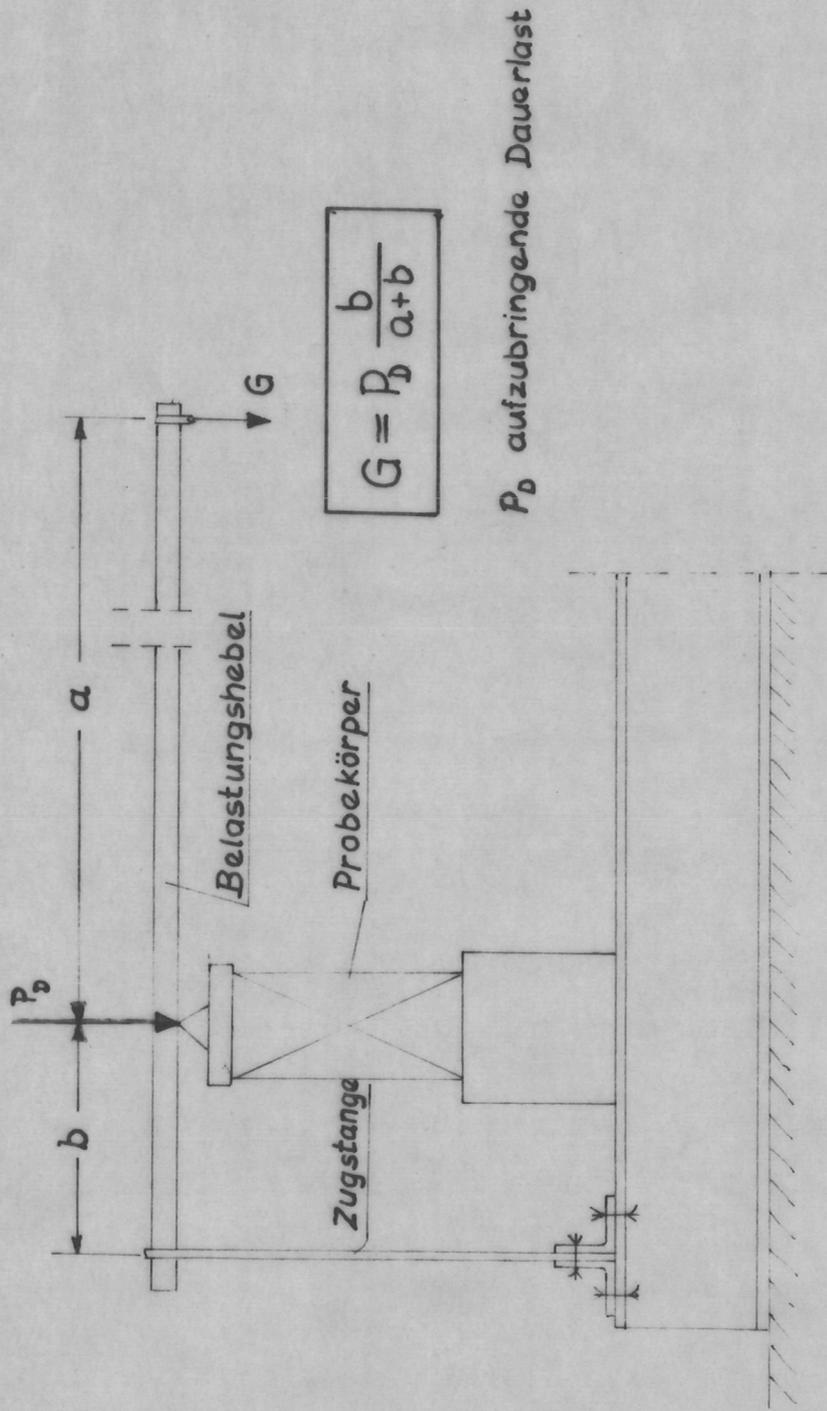


Bild 2: Schematischer Aufbau der Dauerstandseinrichtung

Bild 3a: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe I (Nägel 31/70)
 1a geprüft 24 Stunden nach der Herstellung; 1d geprüft 6 Monate nach der Herstellung.

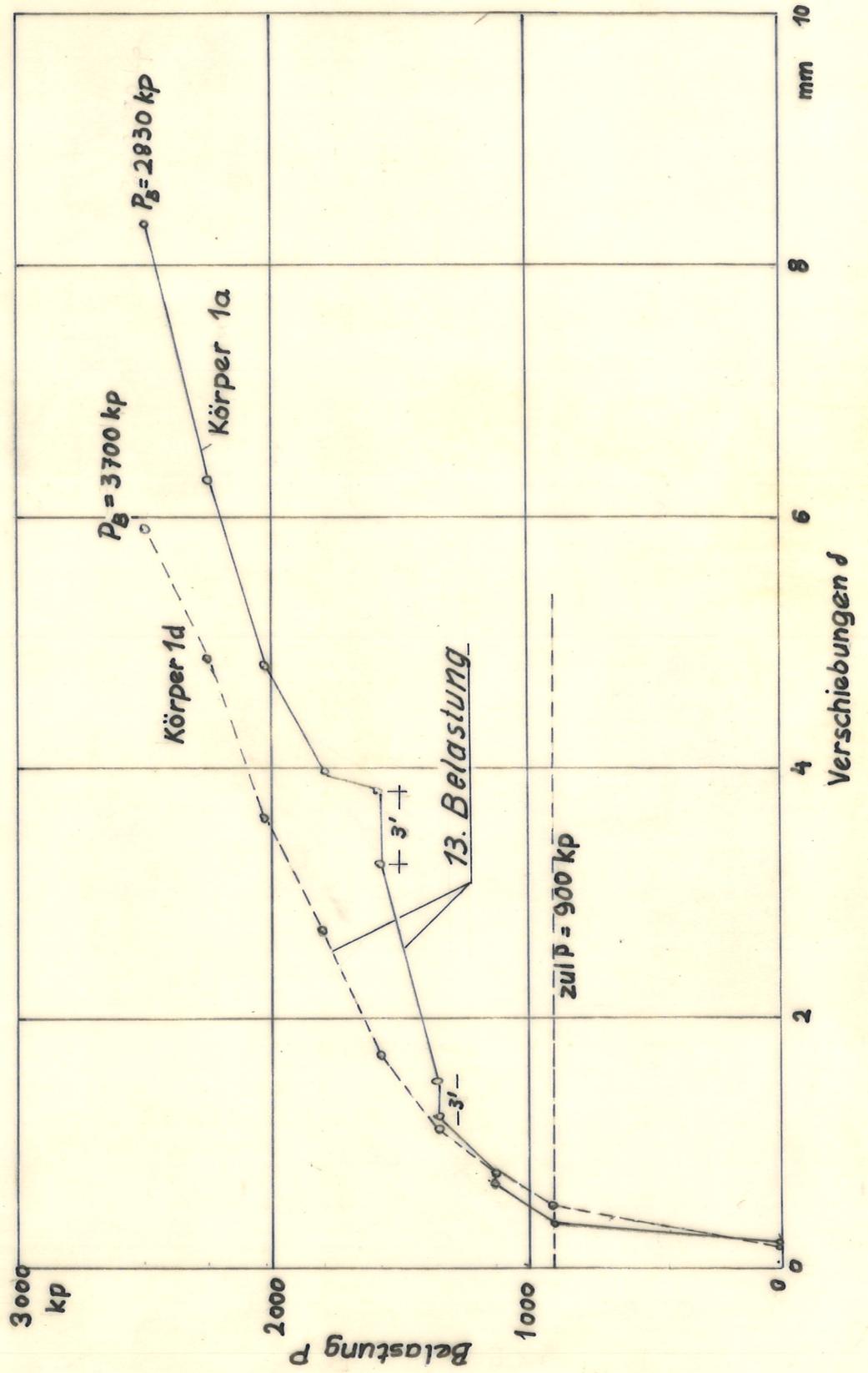


Bild 3b: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe I (Nägel 42,110).

2a geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 2d geprüft 6 Monate nach der Herstellung.

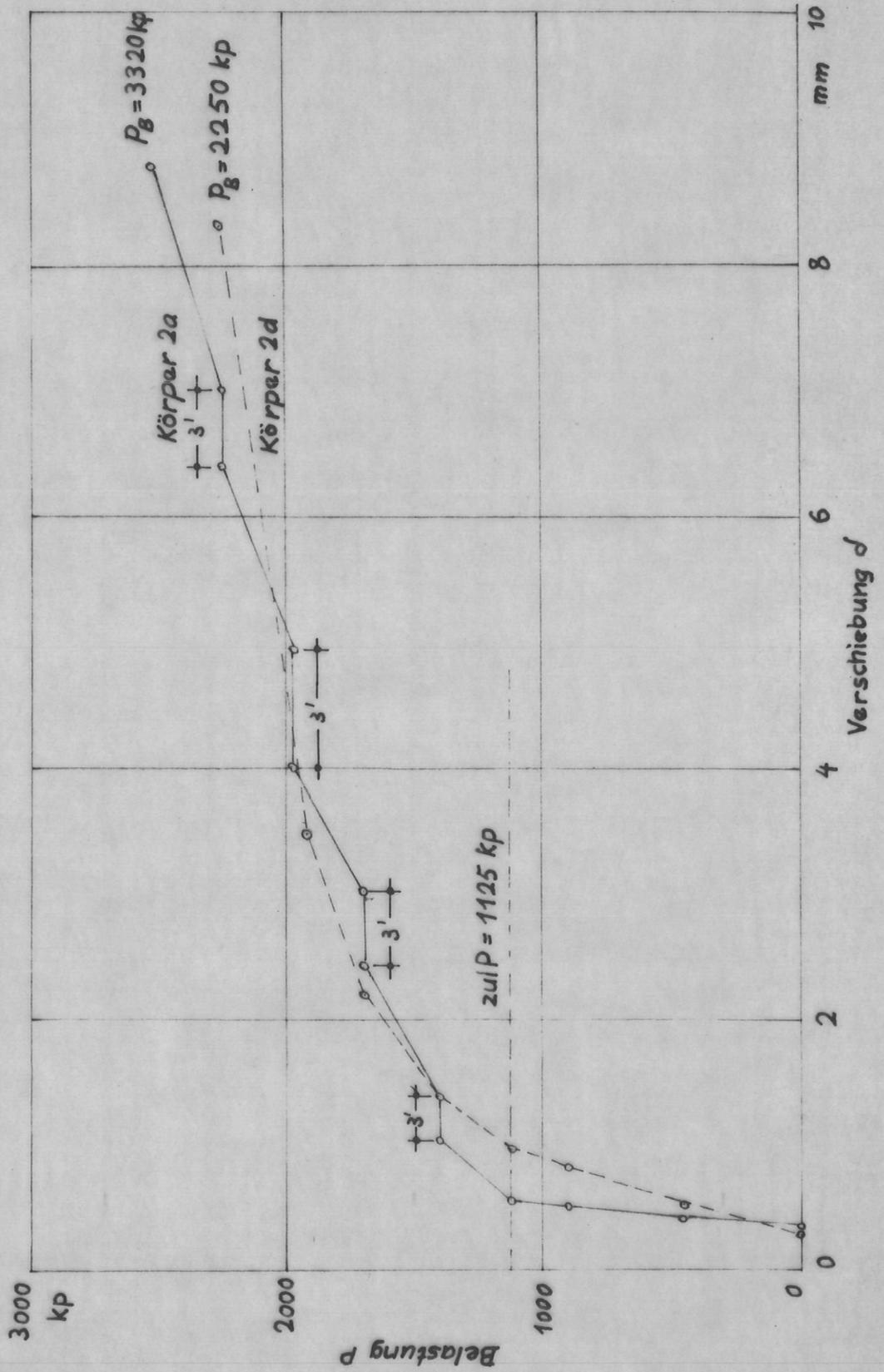


Bild 3c: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe I (Nägel 60/180)

3a geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 3d geprüft 6 Monate nach der Herstellung.

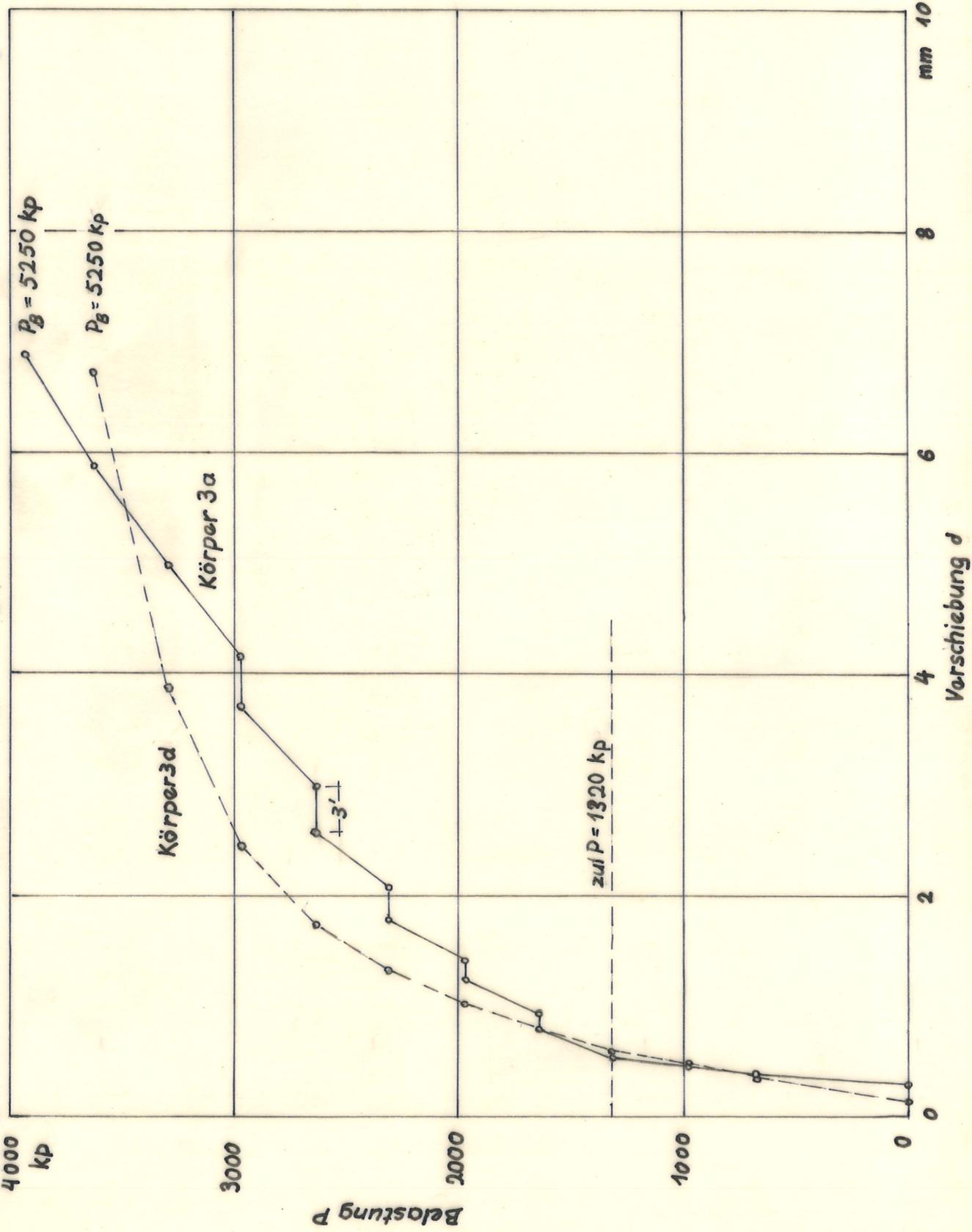


Bild 4a: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe II (Nägel 31/70)

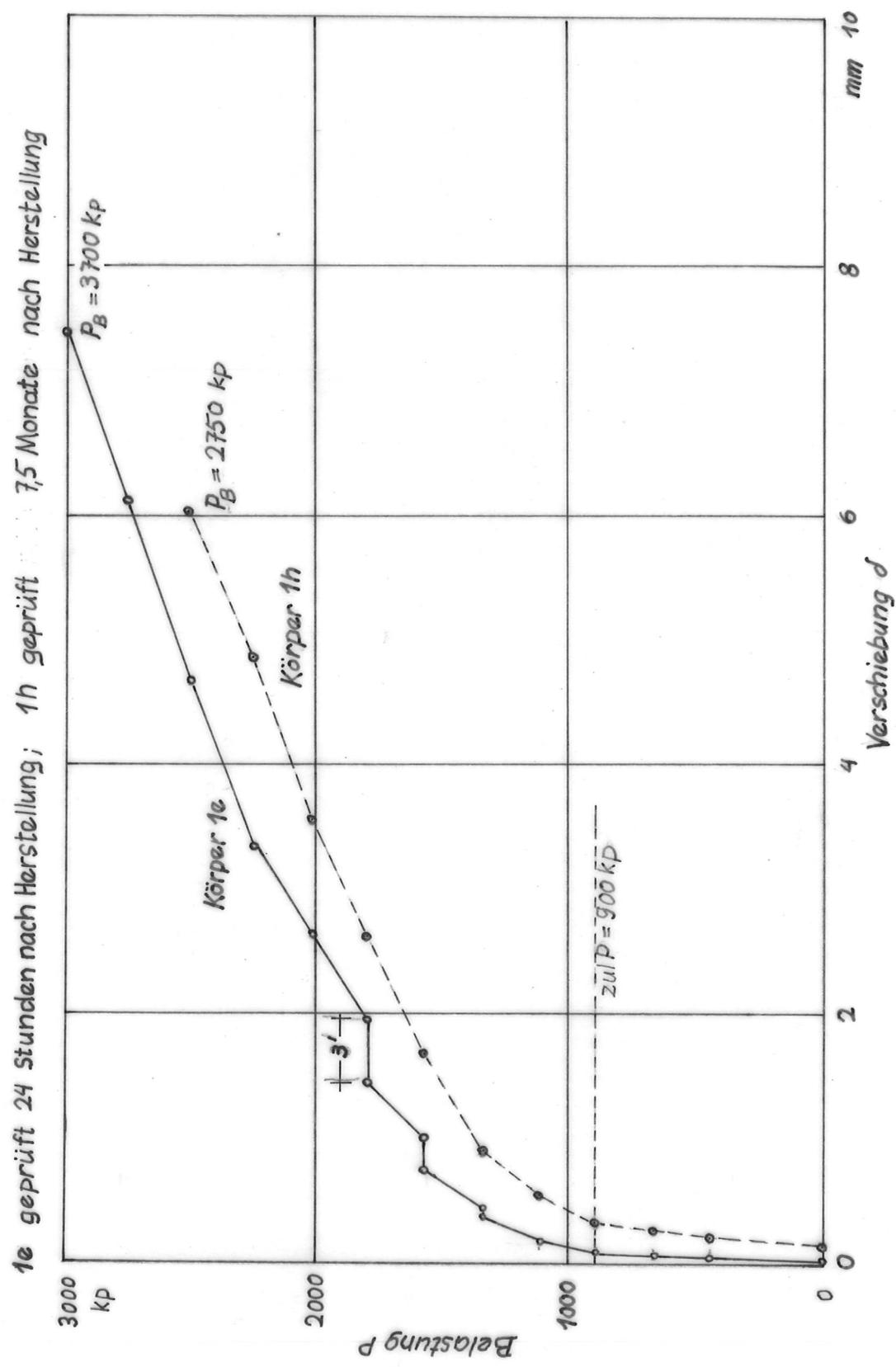


Bild 4b: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe II (Nägel 42/110)
 2e geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 2h geprüft 7,5 Monate nach Herstellung.

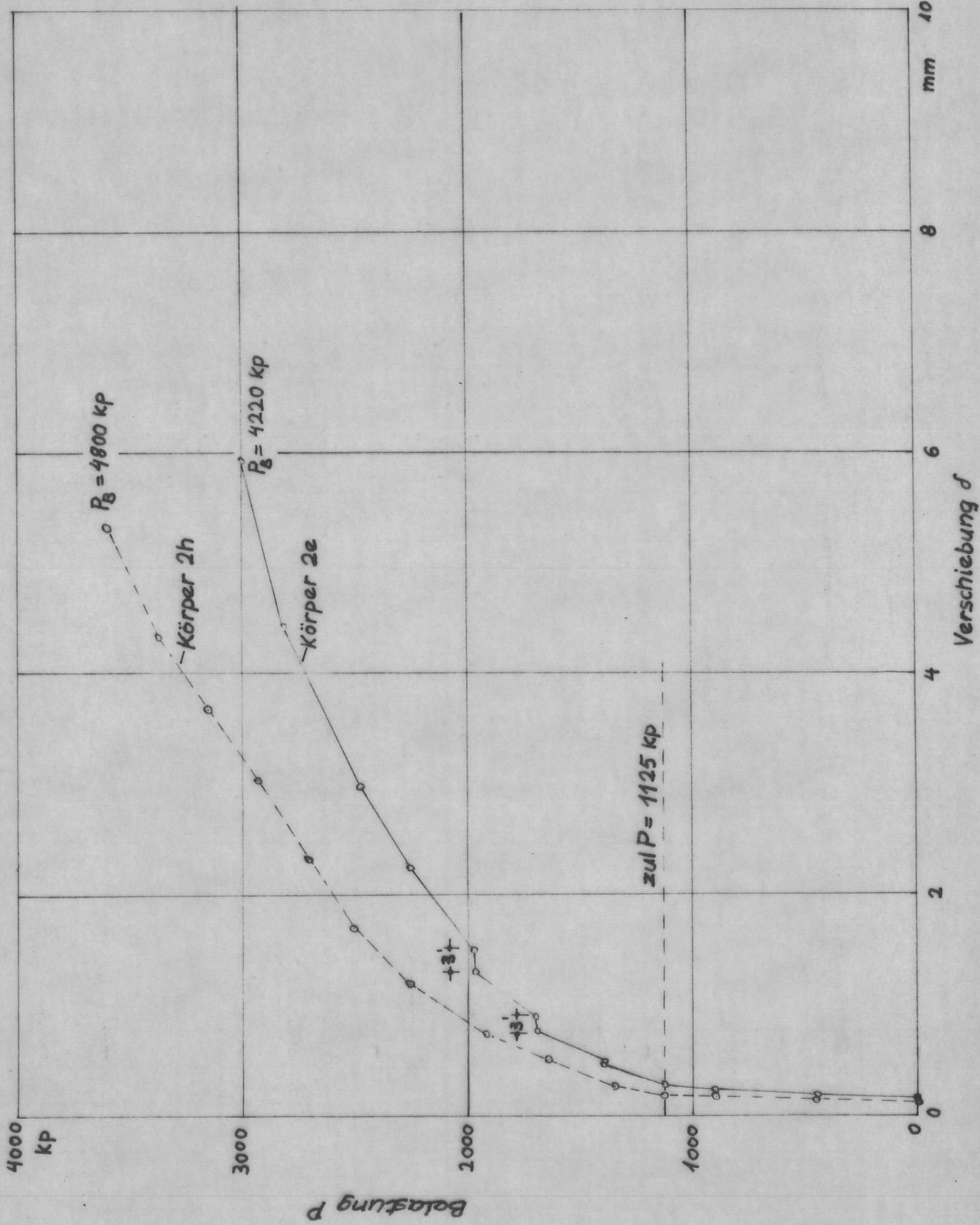


Bild 4c: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe II (Nägel 60/100).

3e geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 3h geprüft 7,5 Monate nach Herstellung.

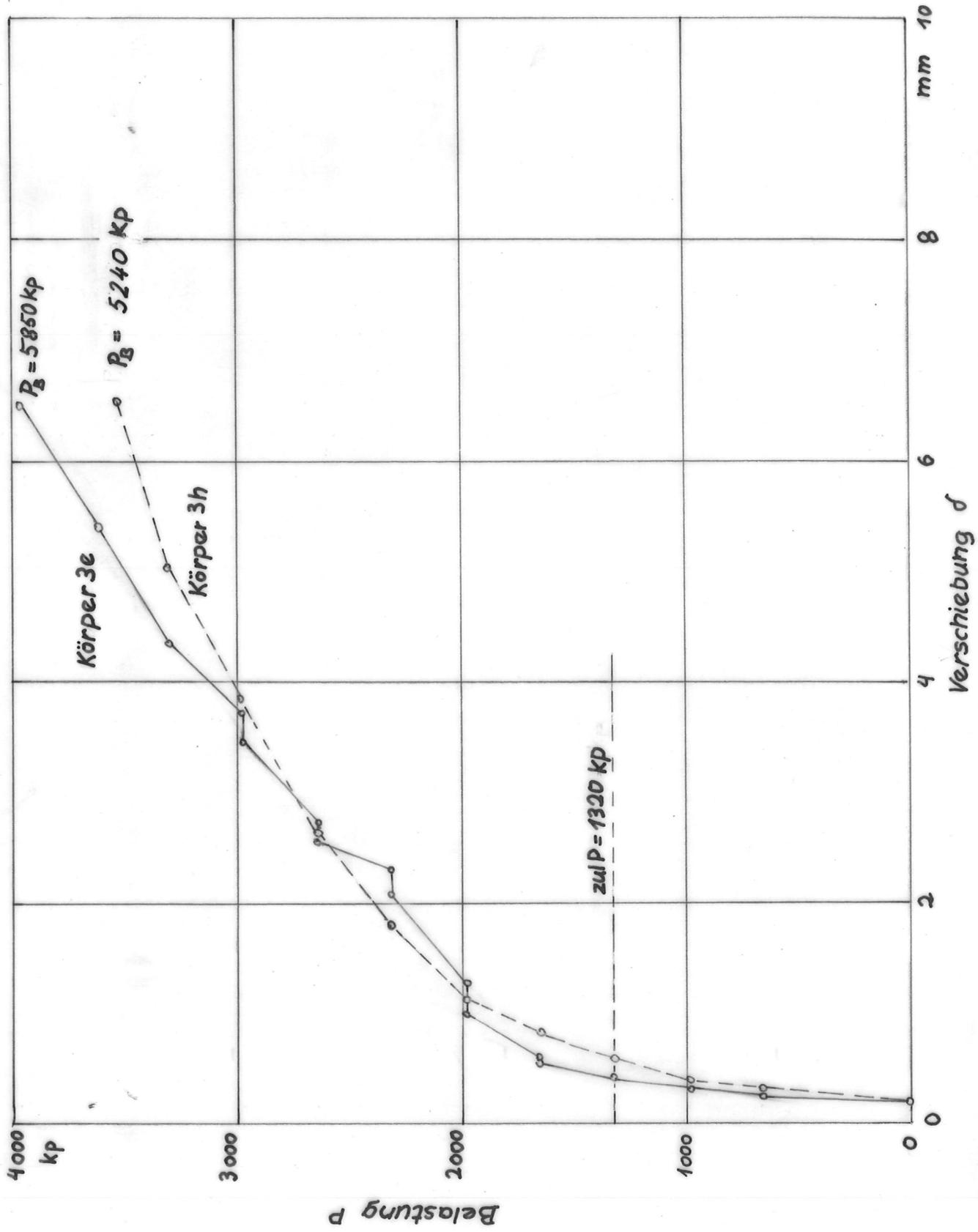


Bild 5a: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe III (Nägel 31/70)

1i geprüf 24 Stunden nach Herstellung; 1m geprüf 6 Monate nach Herstellung.

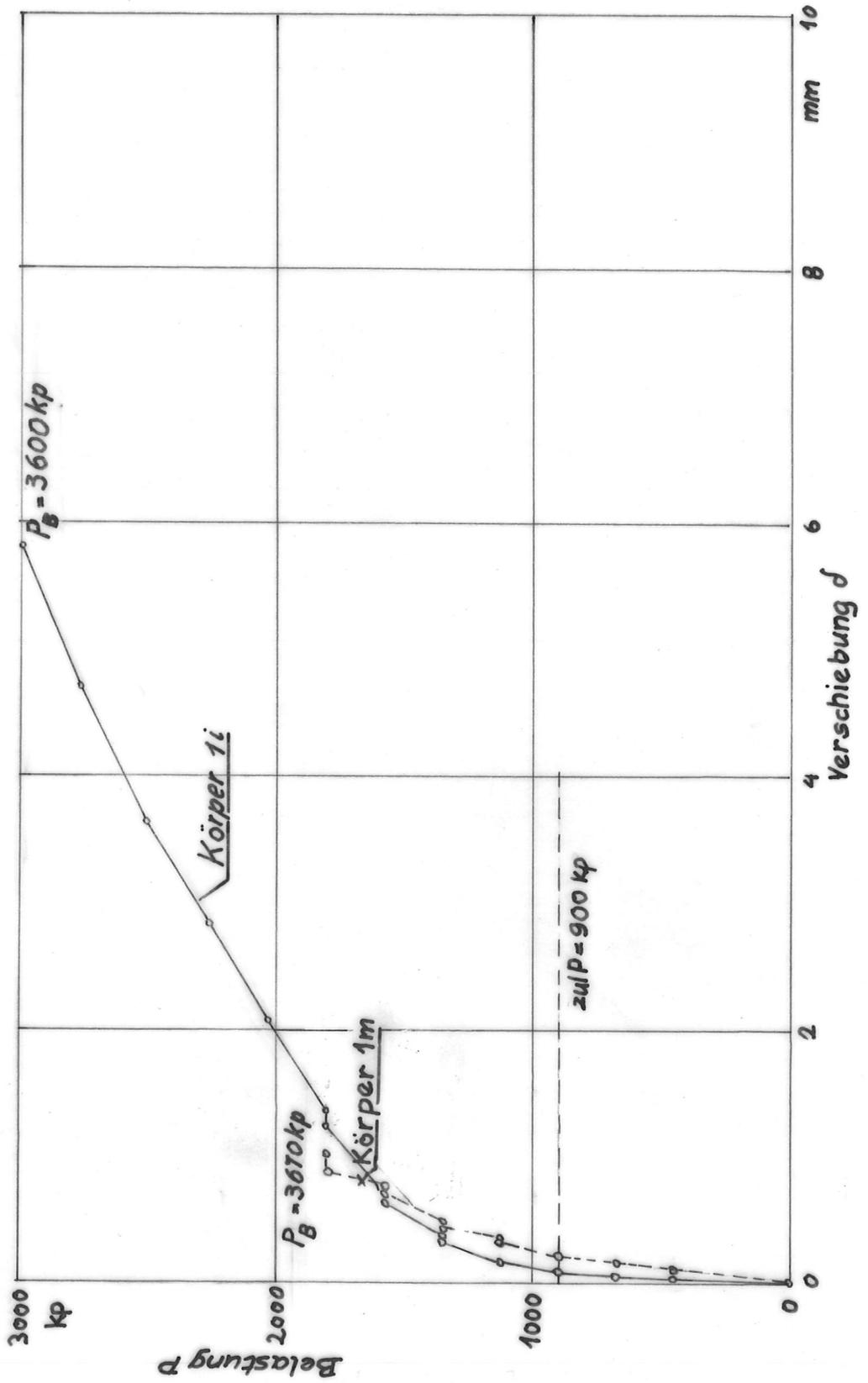


Bild 5 b: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe III (Nägel 42/110)

2i geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 2m geprüft 6 Monate nach Herstellung

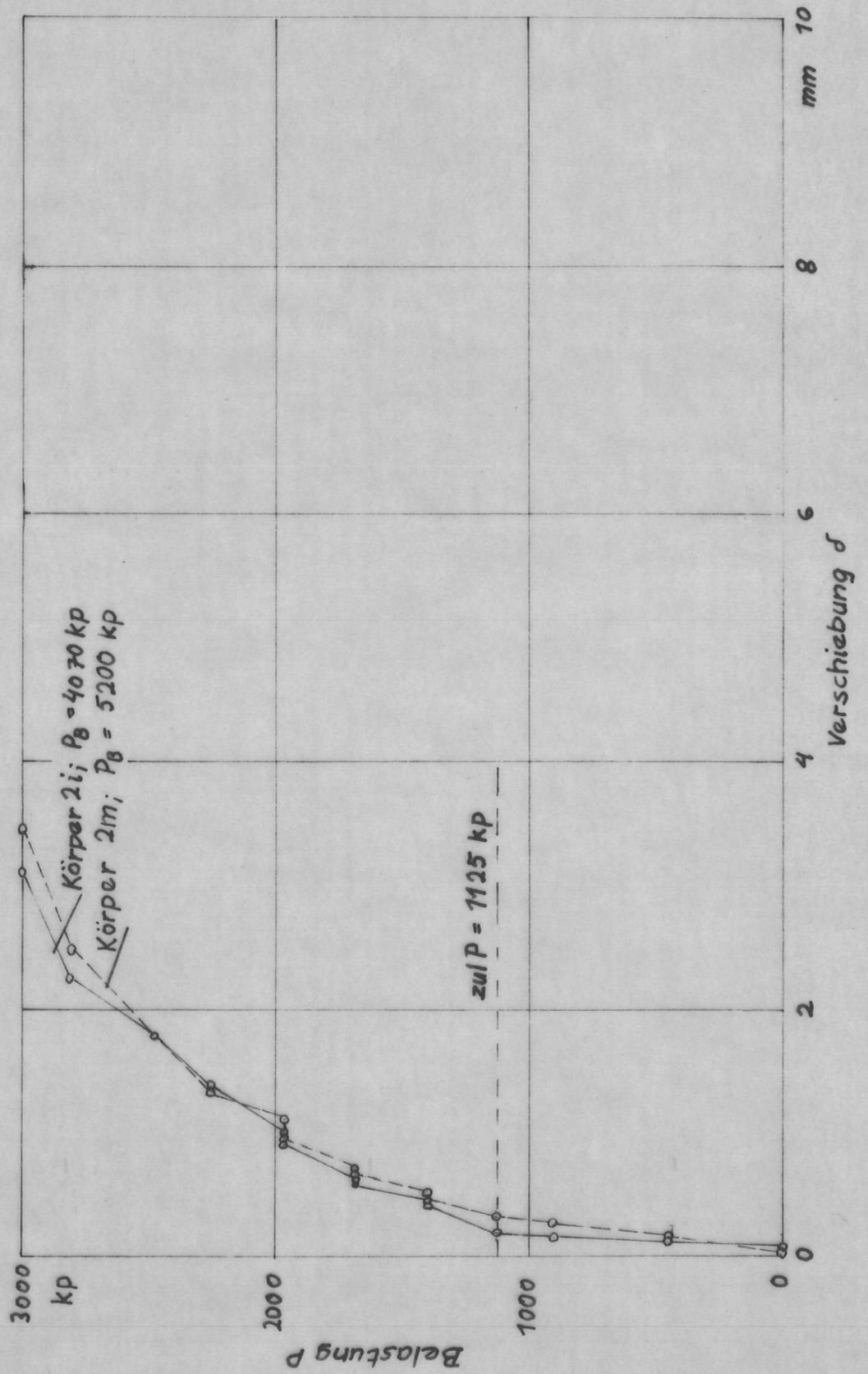


Bild 5c: Statistische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe III (Nägel 601180)

3i geprüf 24 Stunden nach Herstellung; 3m geprüf 6 Monate nach Herstellung

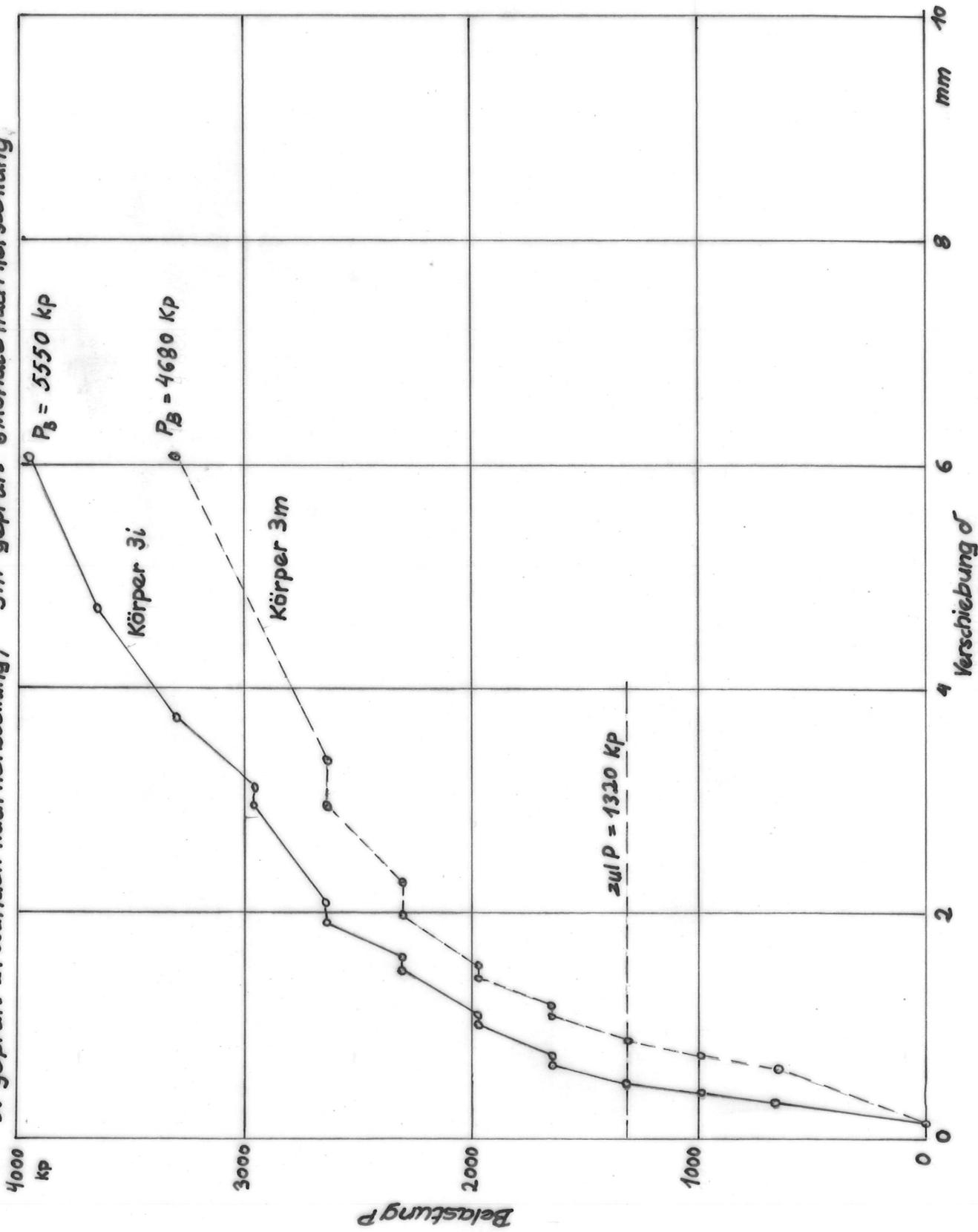


Bild 6a: Statistische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe IV (Nägel 31170)

1n nicht vorgebohrte, 1q vorgebohrte Nagelöcher; Prüfung 24 Stunden nach Herstellung.

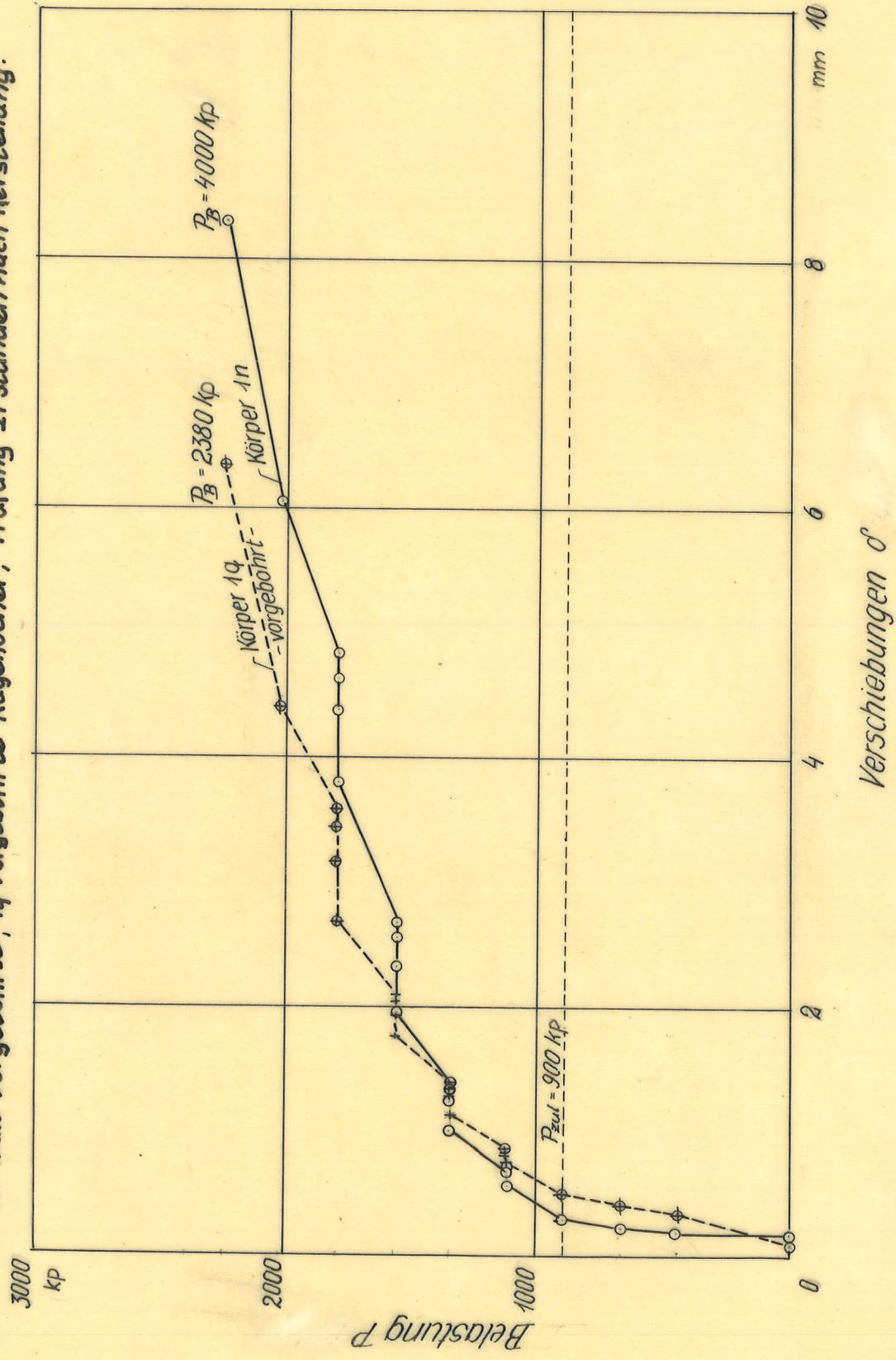


Bild 6b: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe IV (Nägel 42/110)
 2n nicht vorgebohrte, 2q vorgebohrte Nagellöcher; Prüfung 24 Stunden nach Herstellung.

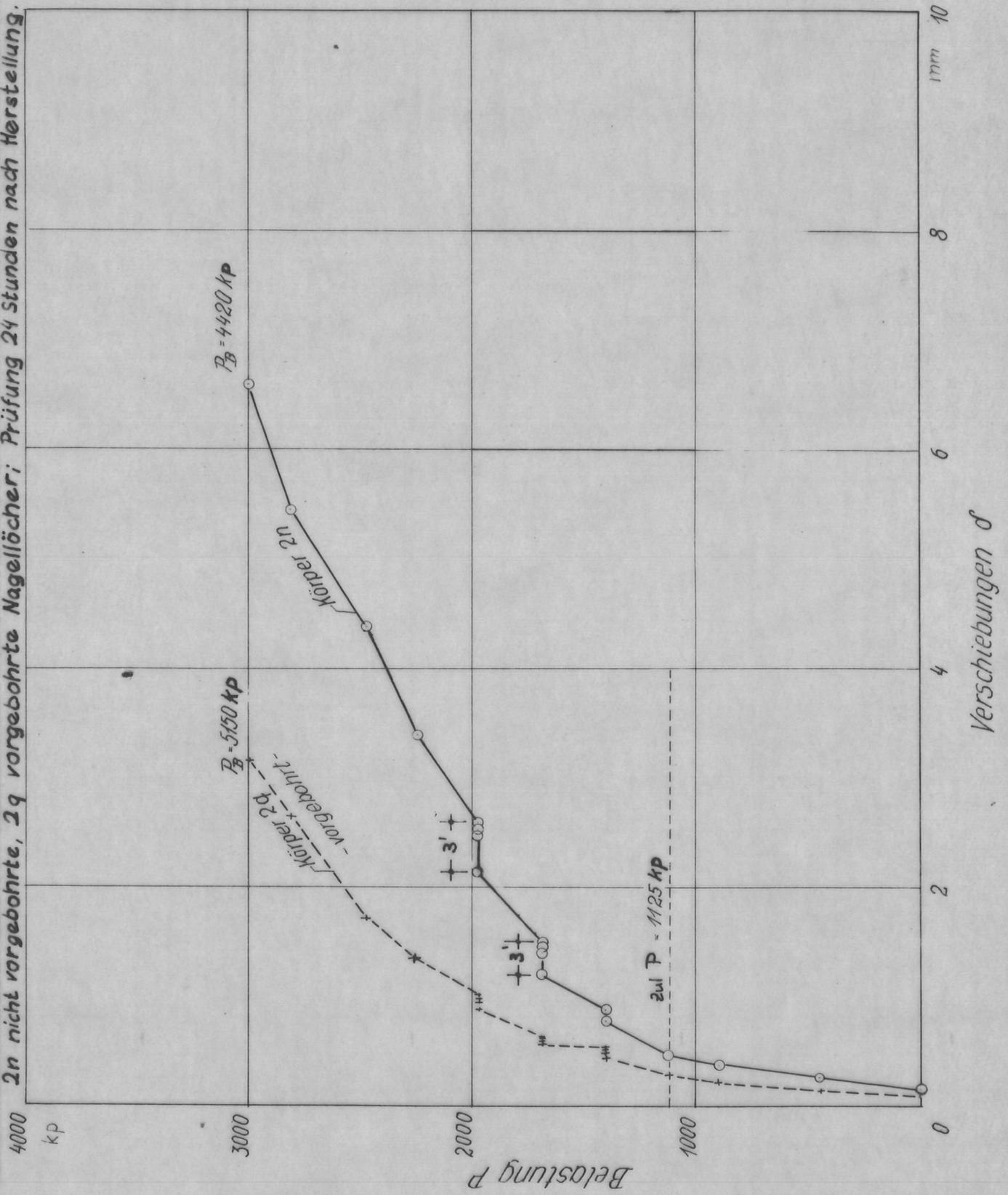


Bild 6e: Statistische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe IV (Nägel 60/180)
 3n nicht vorgebohrte, 3q vorgebohrte Nagellöcher; Prüfung 24 Stunden nach Herstellung.

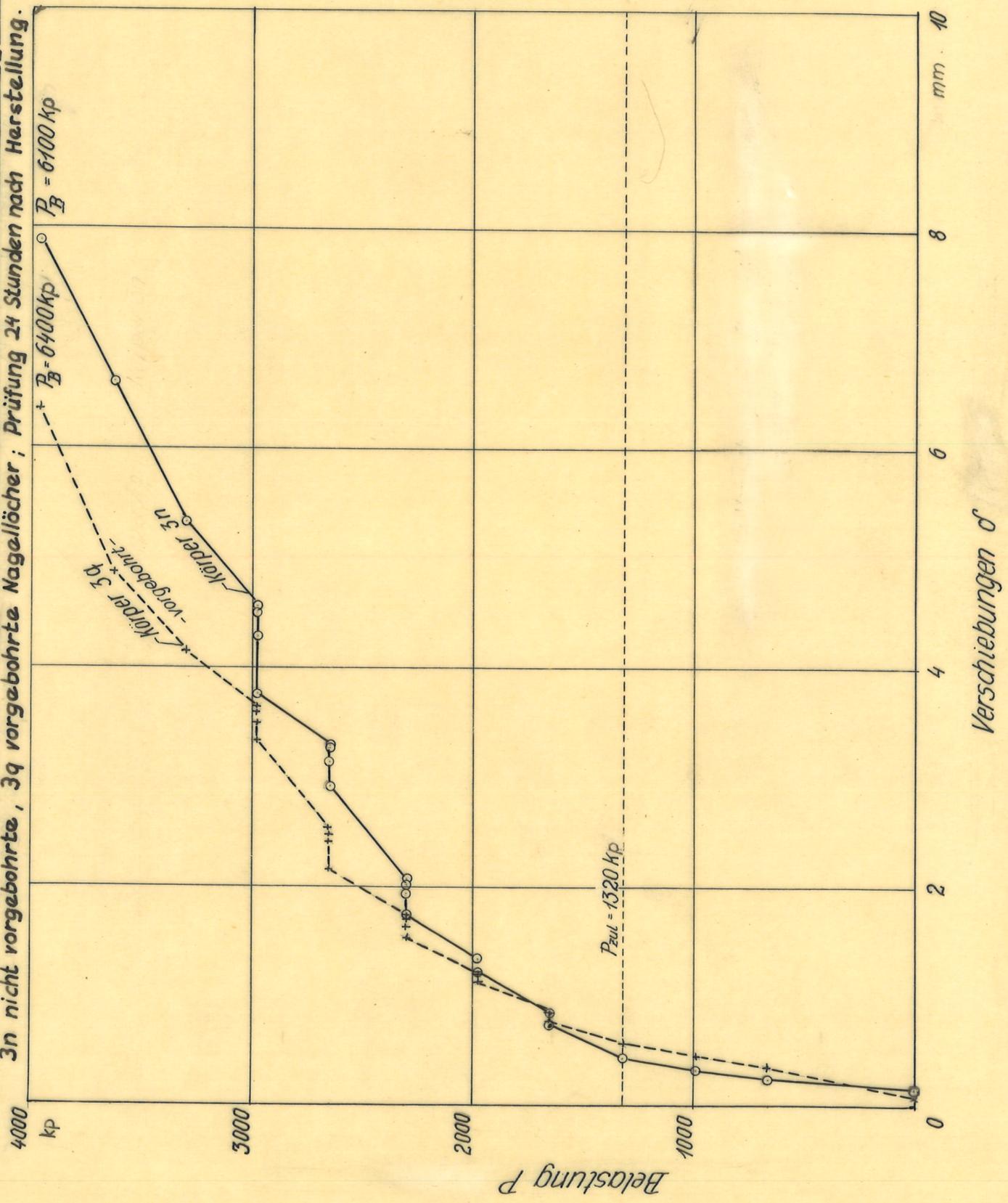


Bild 7a: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe V (Nägel 31/70)

1r nicht vorgebohrt, 1s vorgebohrt Nagellöcher; Prüfung 9 Monate nach Herstellung

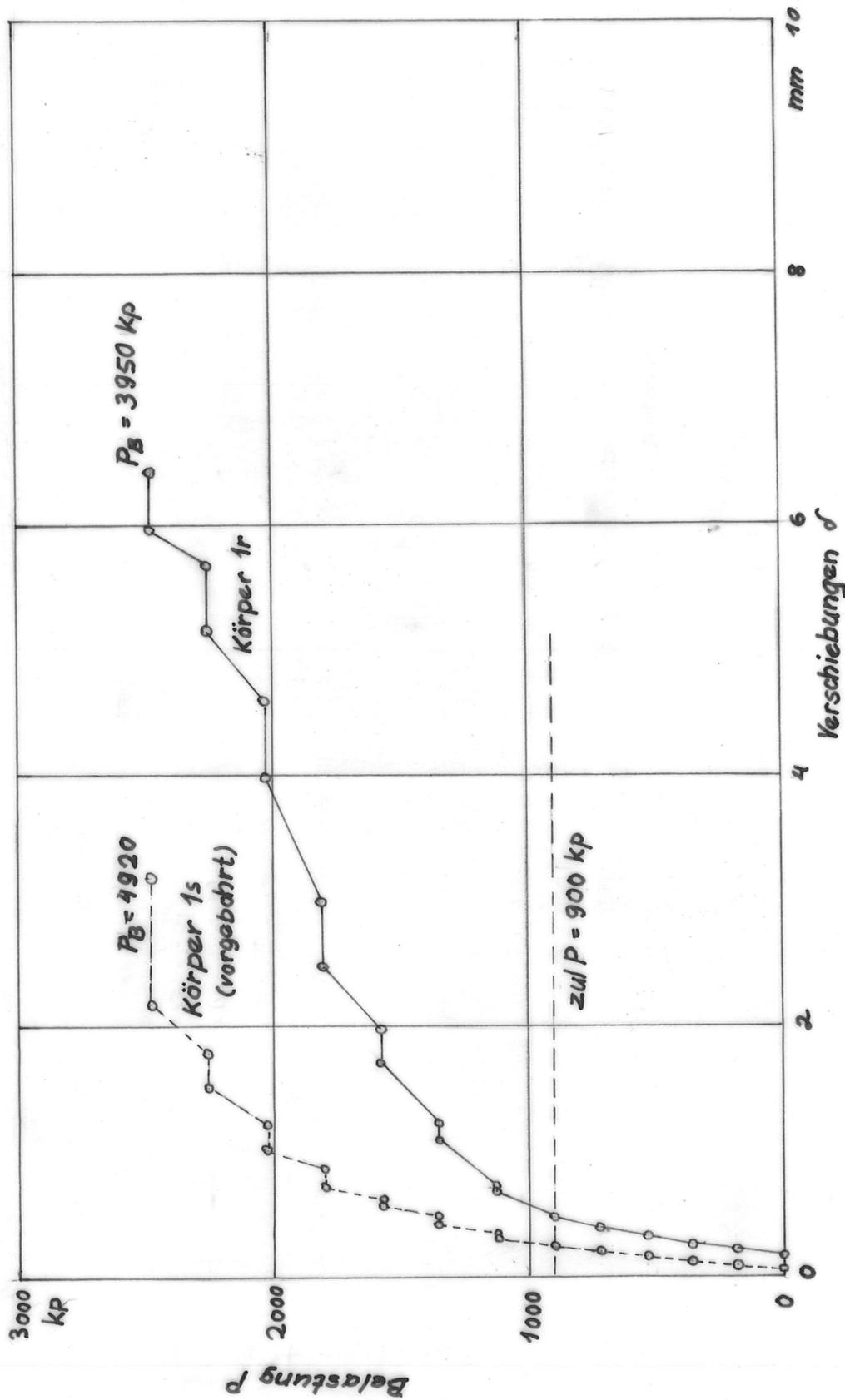


Bild 7b: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe V (Nägel 42/110)
 2r nicht vorgebohrt, 2s vorgebohrt Nagellöcher; Prüfung 7 Monate nach Herstellung.

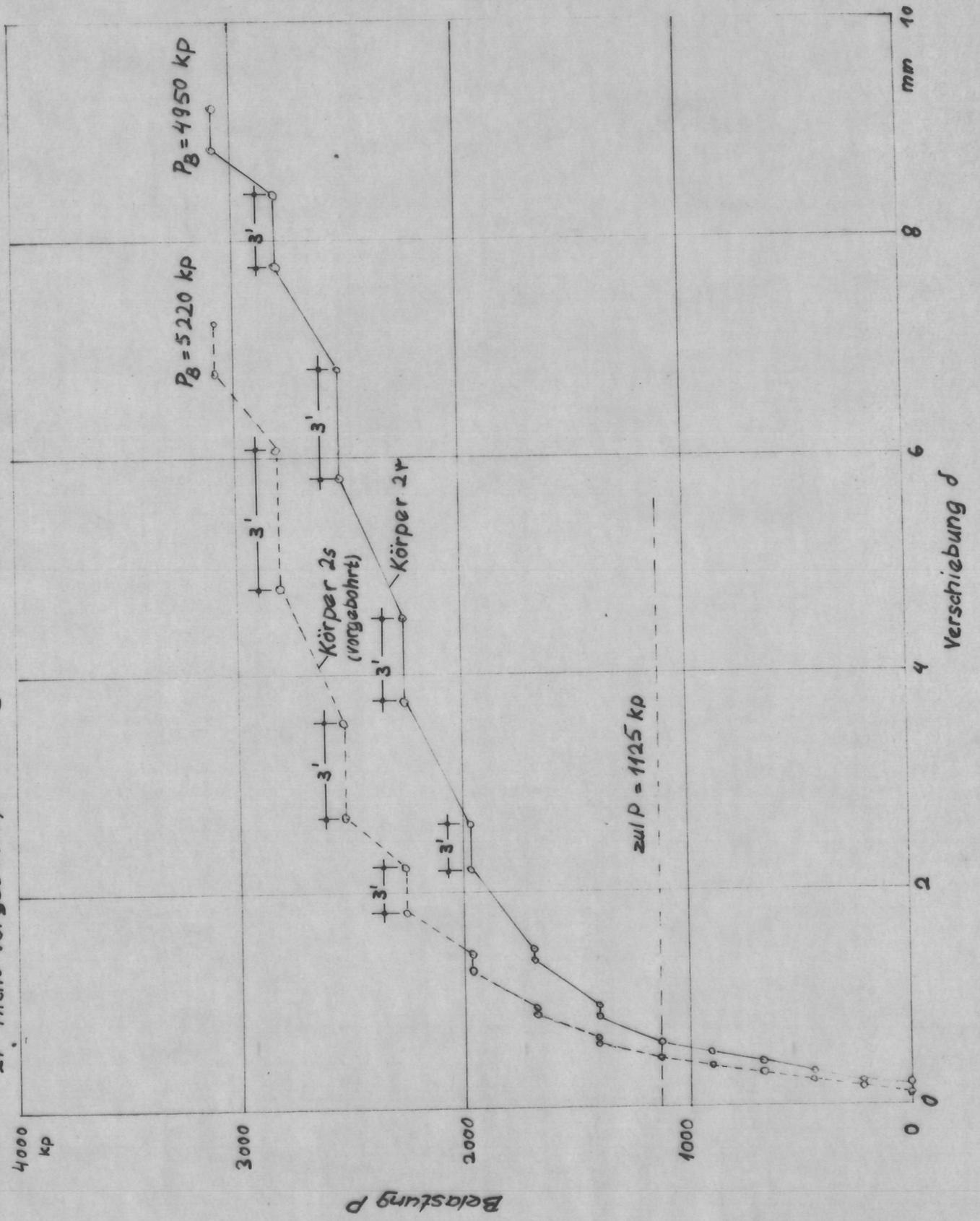
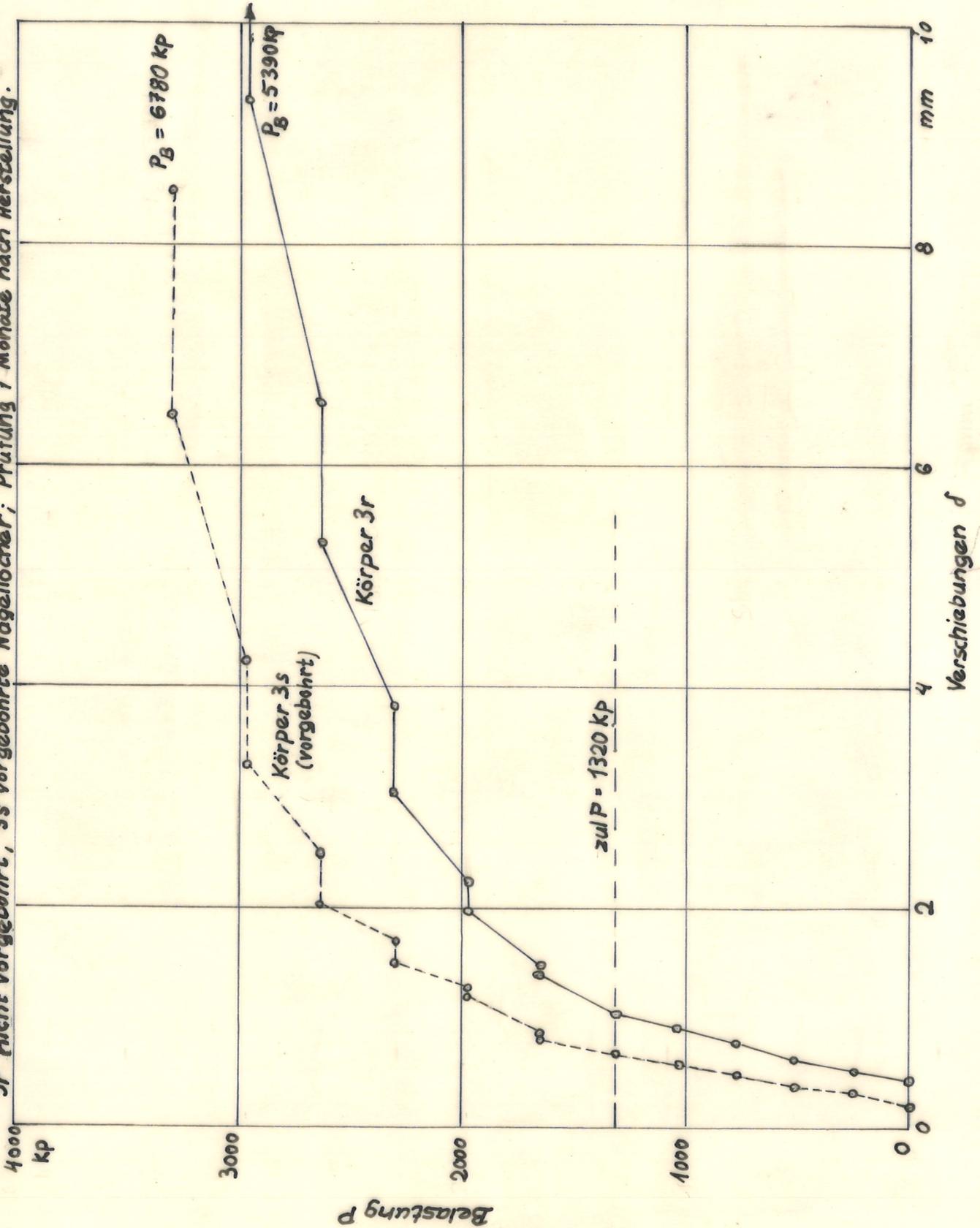
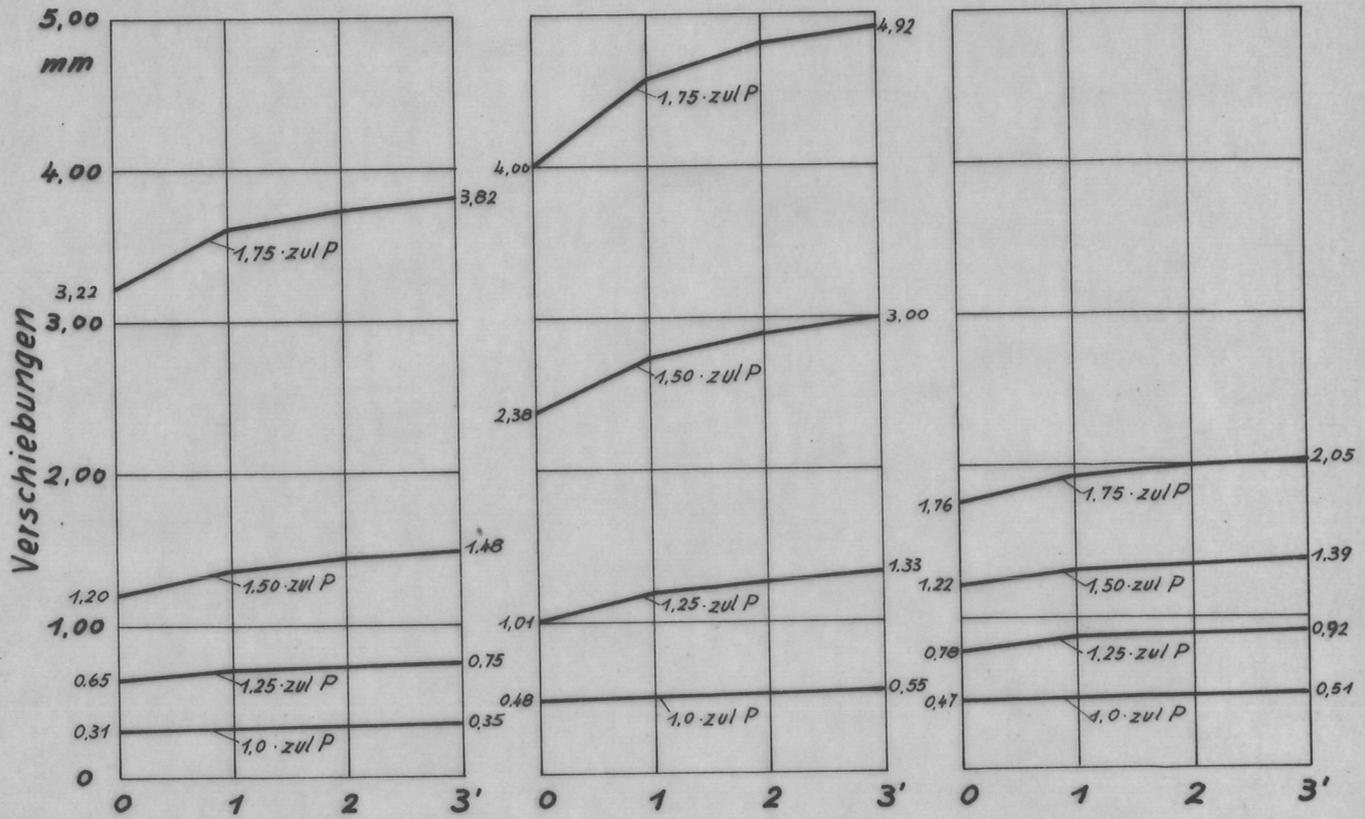
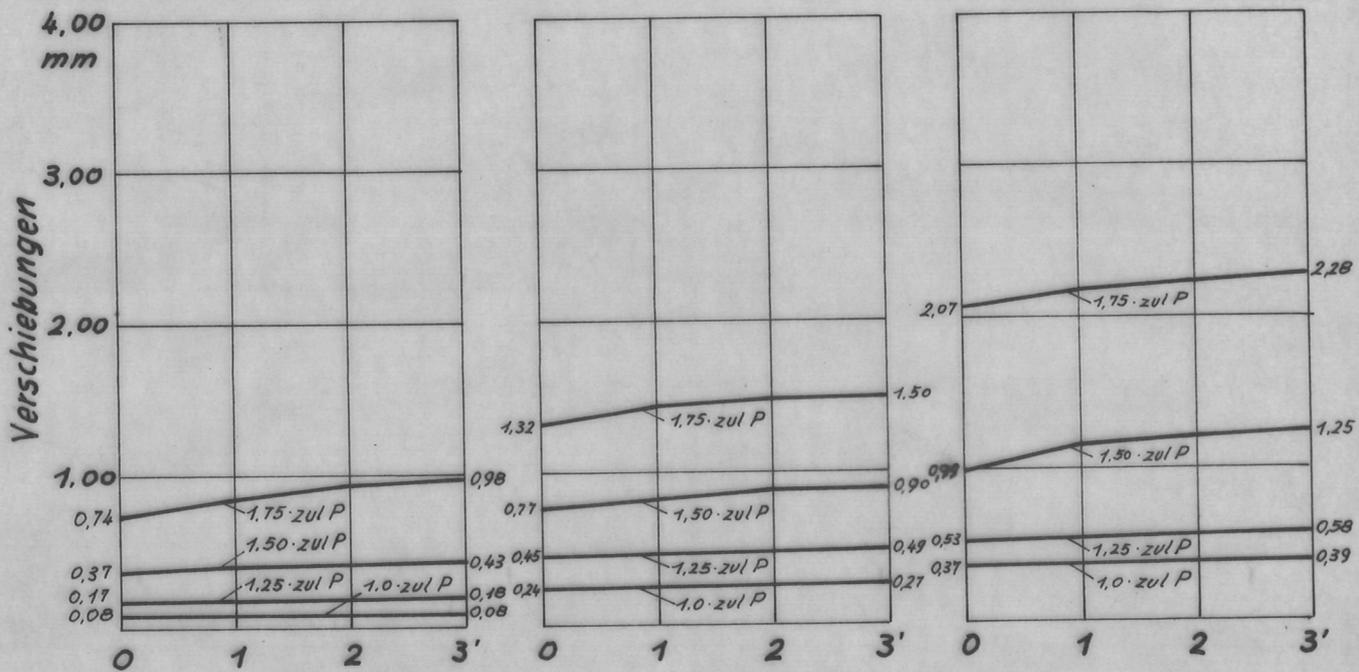


Bild 7c: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe V (Nägel 60/180)
 3r nicht vorgebohrt, 3s vorgebohrt Nagellöcher; Prüfung 7 Monate nach Herstellung.



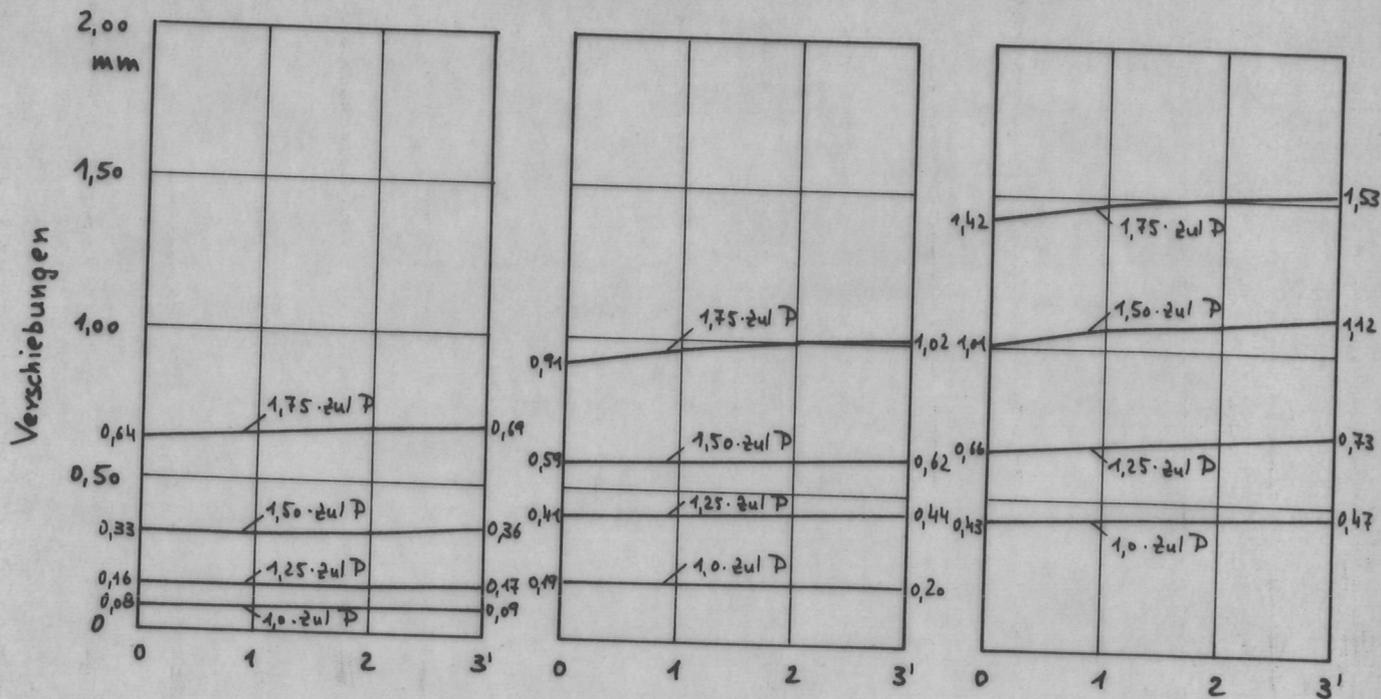


Reihe I: Körper 1a Körper 2a Körper 3a



Reihe II: Körper 1e Körper 2e Körper 3e

Bild 8: Zunahme der Verschiebungen im Verlaufe von 3 Minuten bei verschiedener Belastungshöhe (statische Versuchskörper der Reihen I und II)

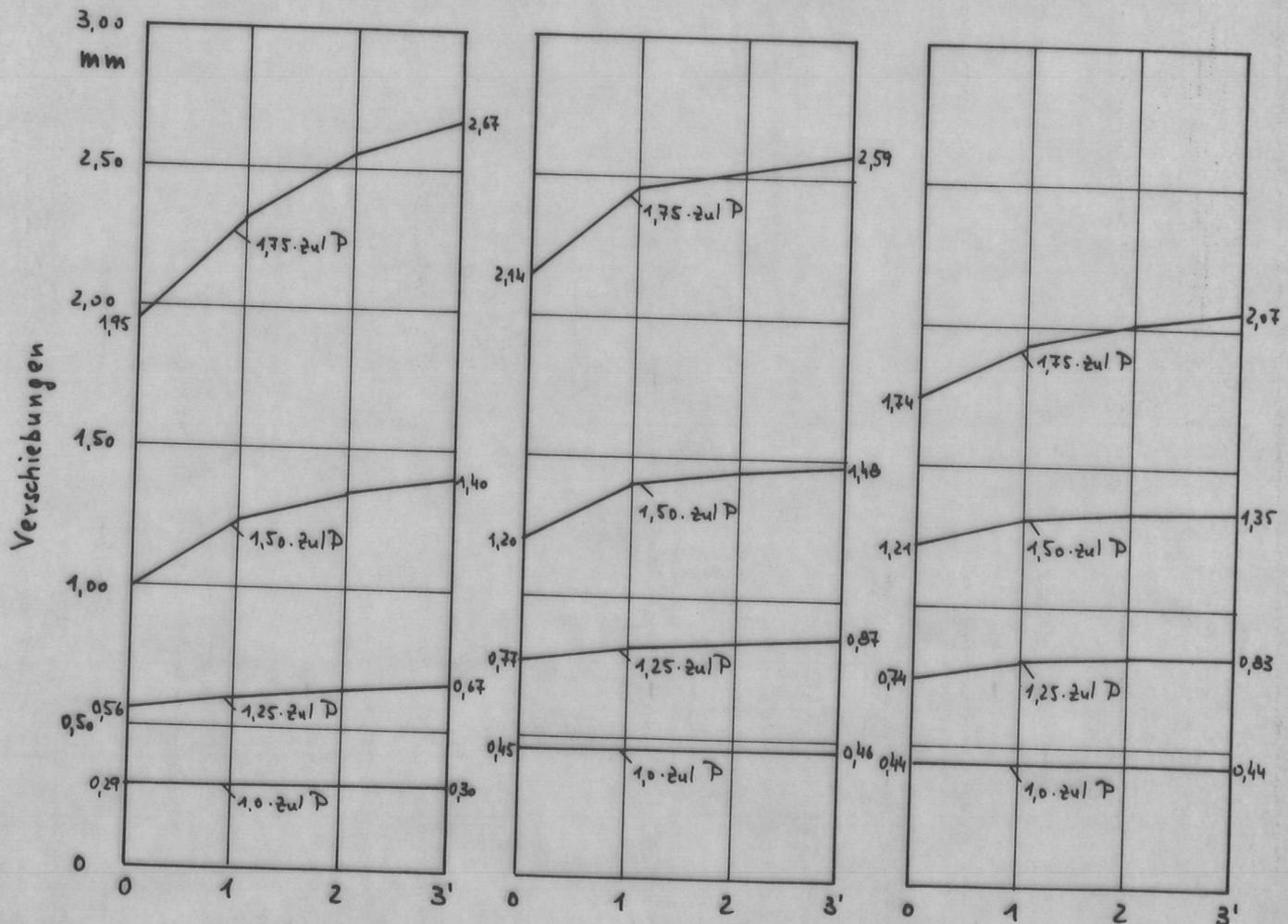


Reihe III:

Körper 1i

Körper 2i

Körper 3i



Reihe IV:

Körper 1n

Körper 2n

Körper 3n

Bild 9: Zunahme der Verschiebungen im Verlaufe von 3 Minuten bei verschiedener Belastungshöhe (statische Versuchskörper der Reihen III und IV).

Bild 10: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen Reihe I

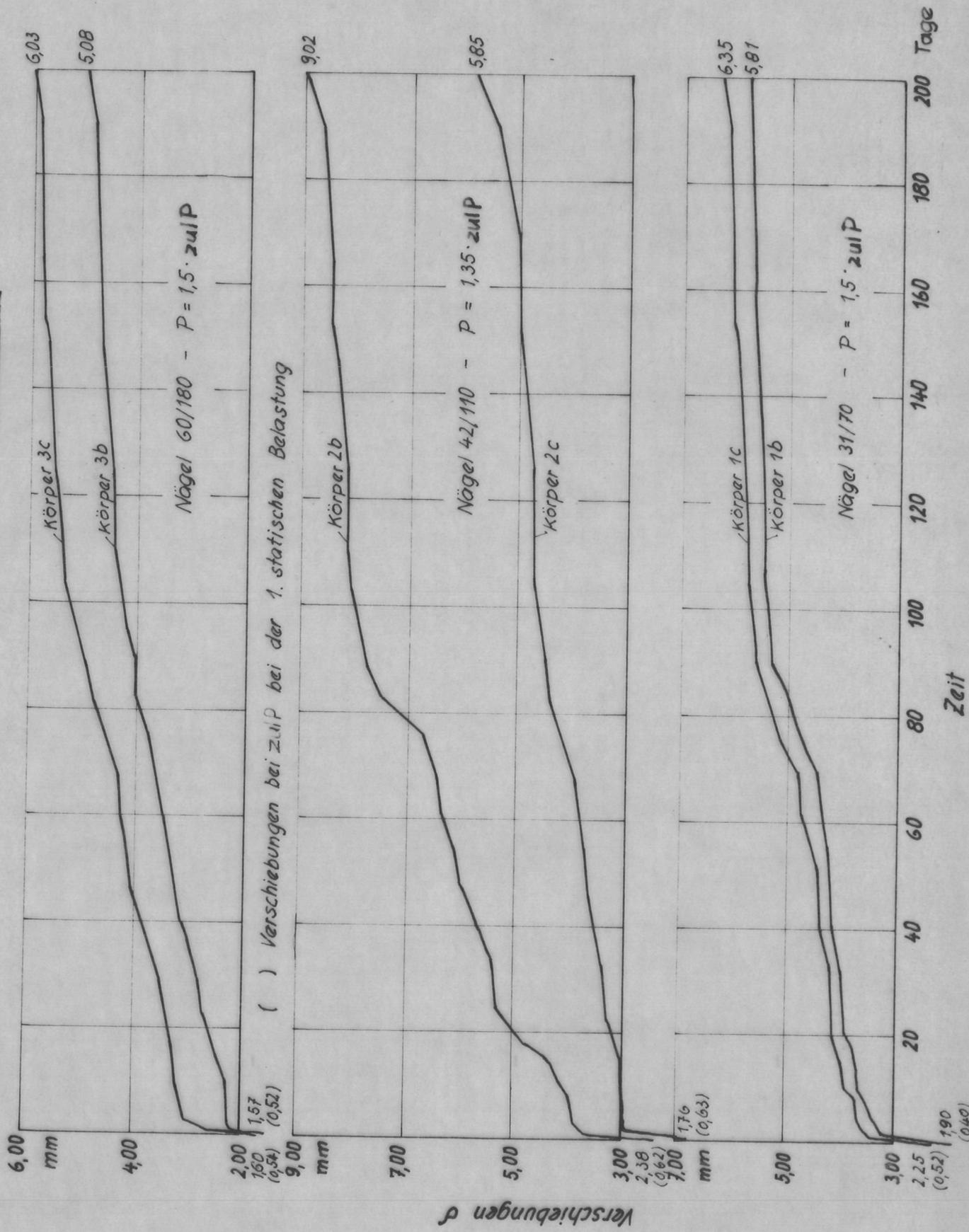


Bild 11: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen. Reihe II

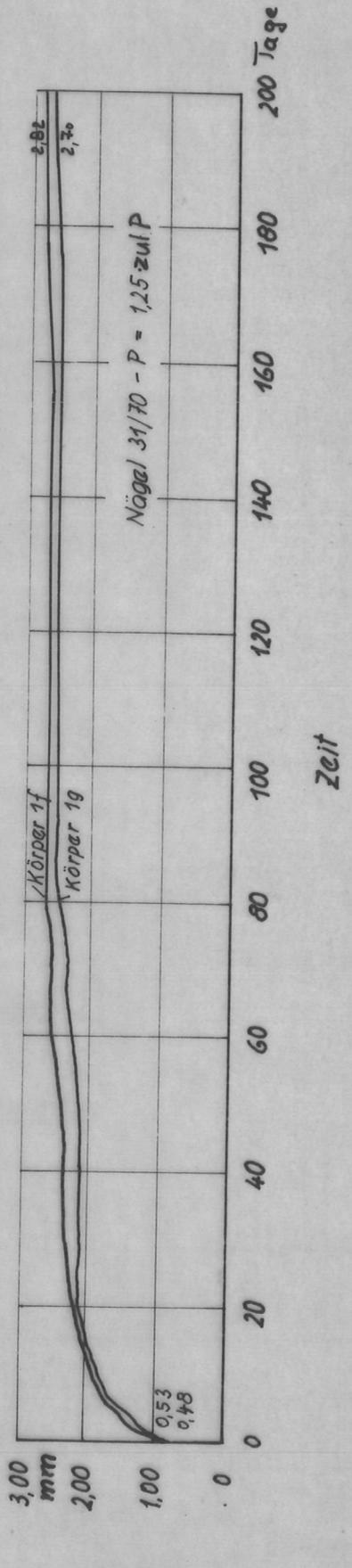
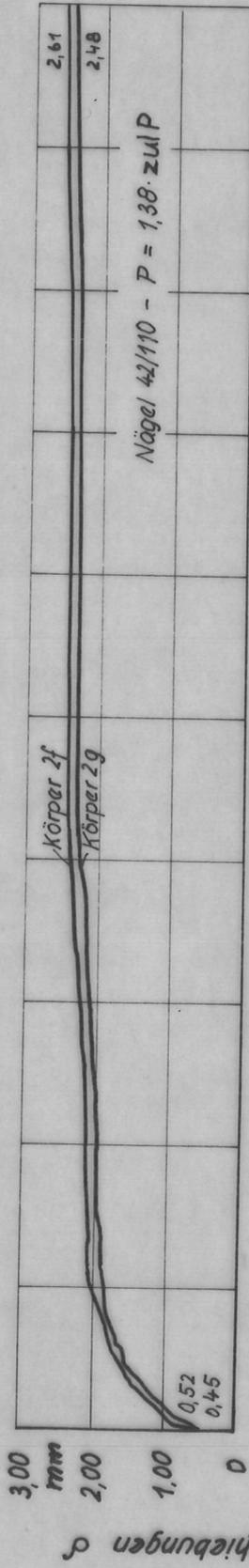
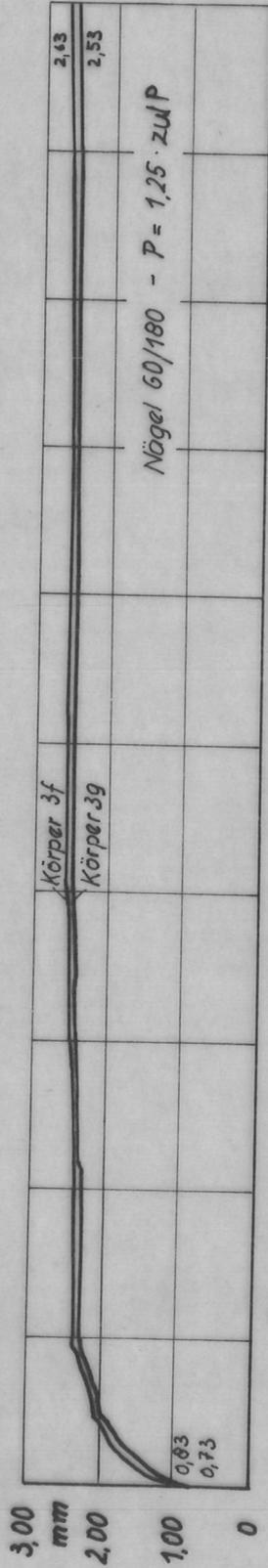


Bild 12: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen. Reihe III

Nagellöcher vorgebohrt.

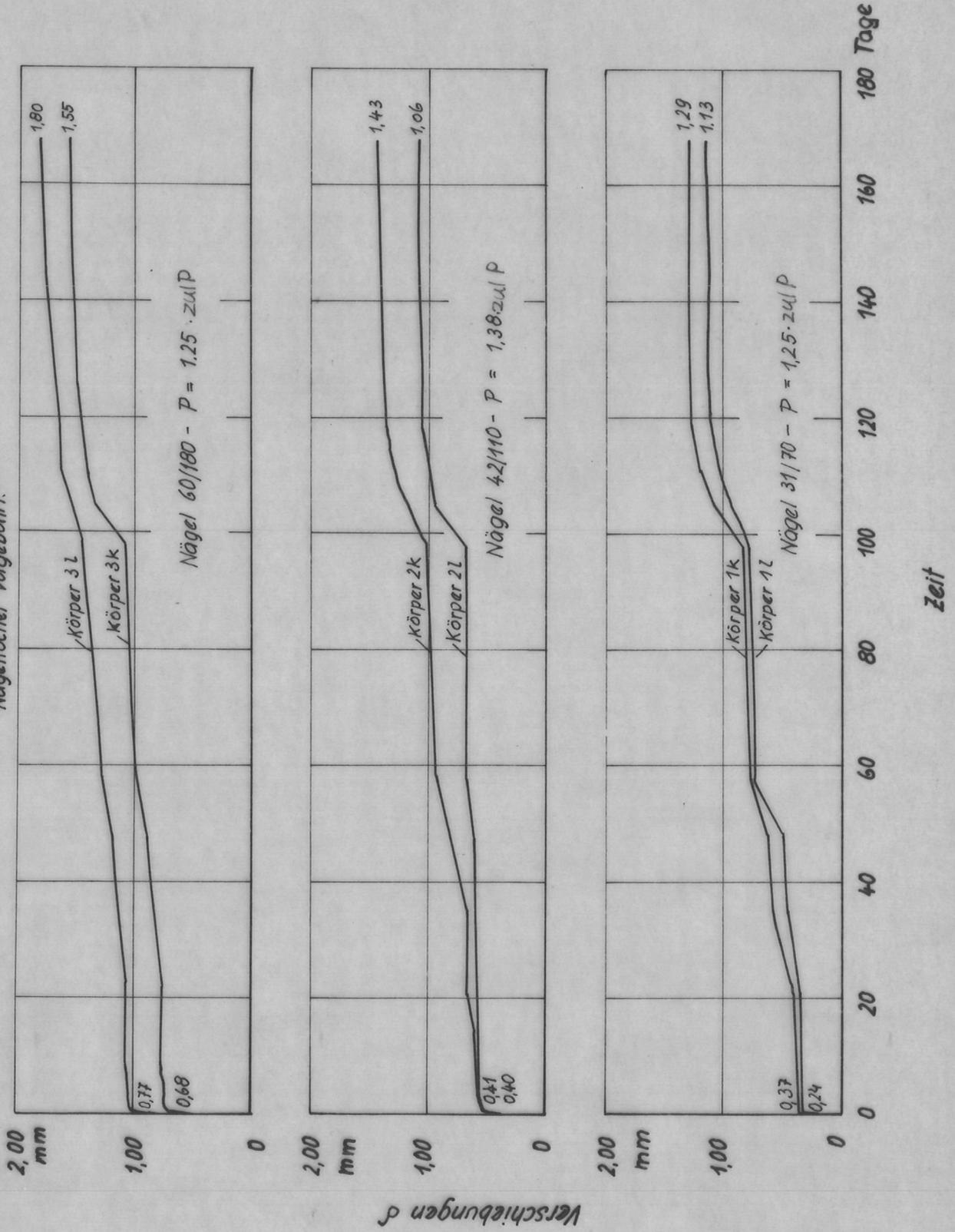
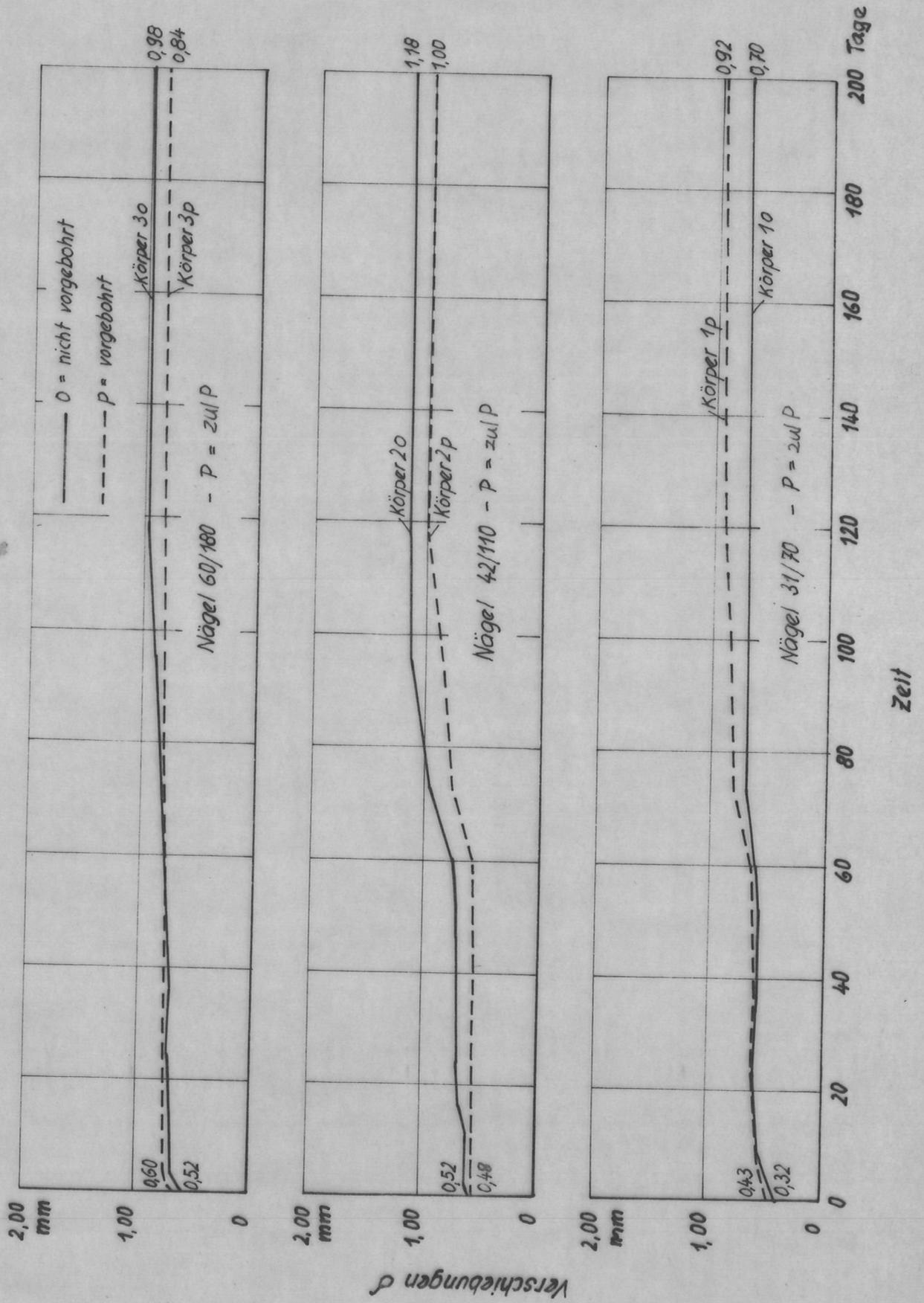


Bild 13: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen. Reihe IV



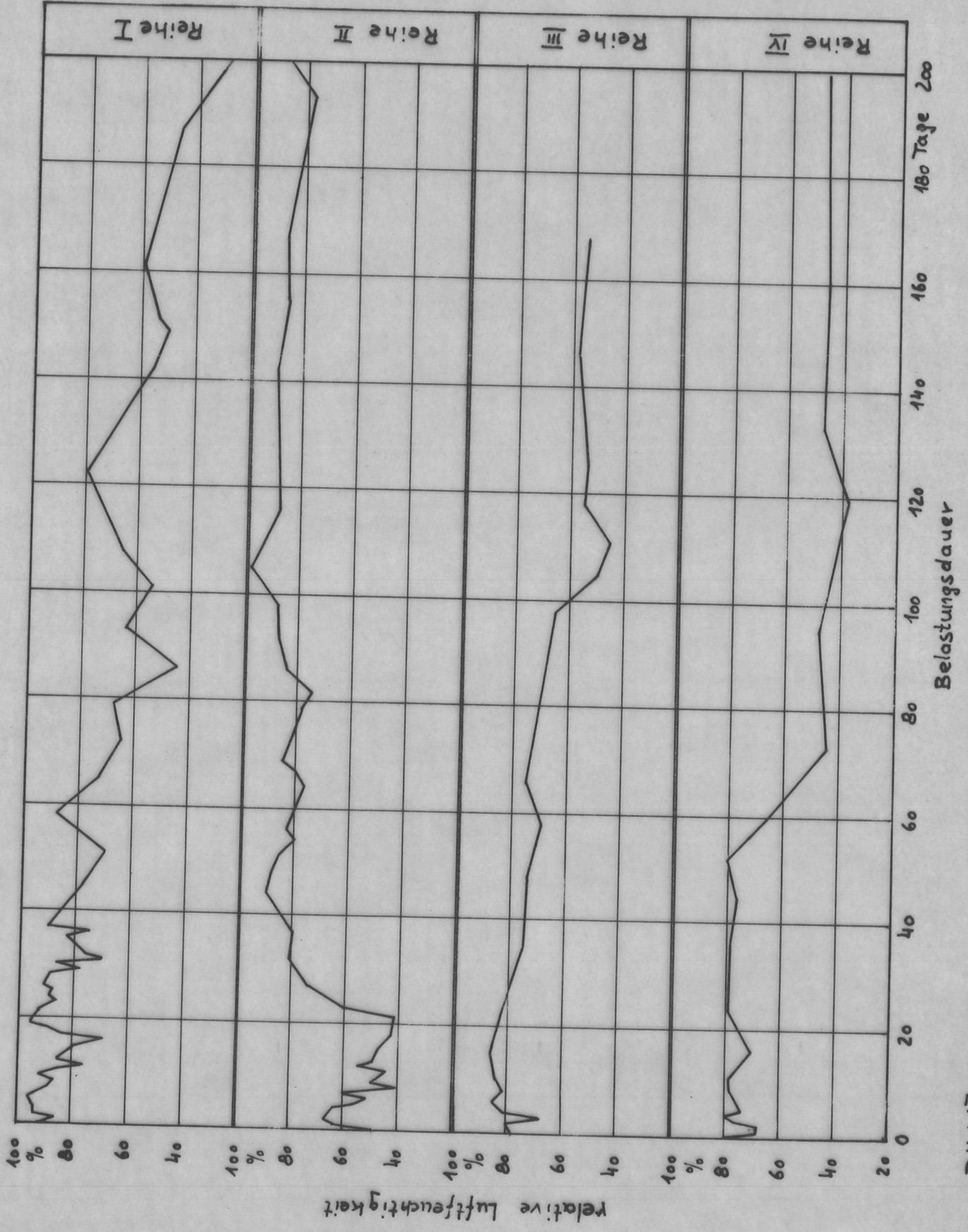


Bild 17: Verlauf der rel. Luftfeuchtigkeiten im Prüfraum während der Dauerstandsversuche

Bild 14: Dauerstandsversuch mit Nagelverbindungen Reihe V

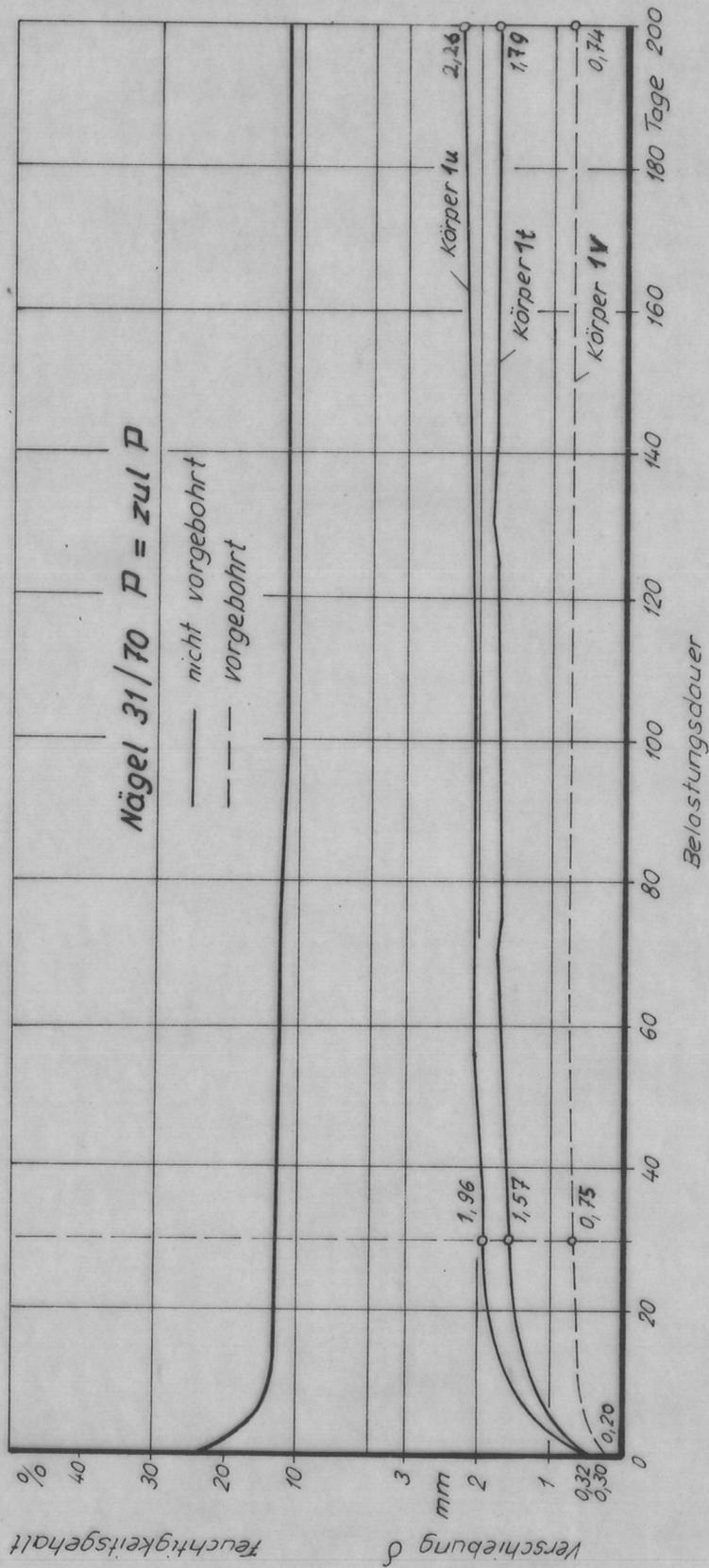


Bild 15: Dauerstandsversuch mit Nagelverbindungen. Reihe V

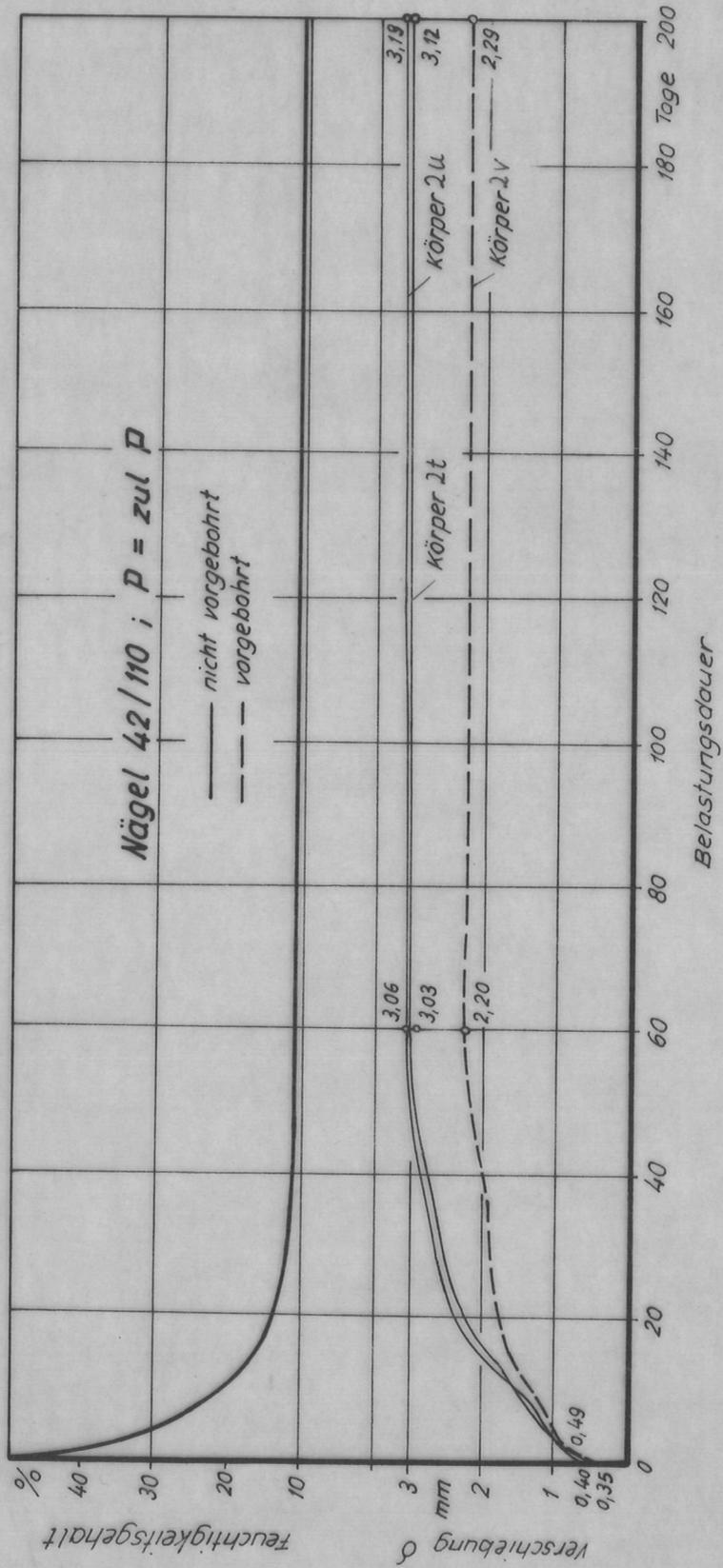
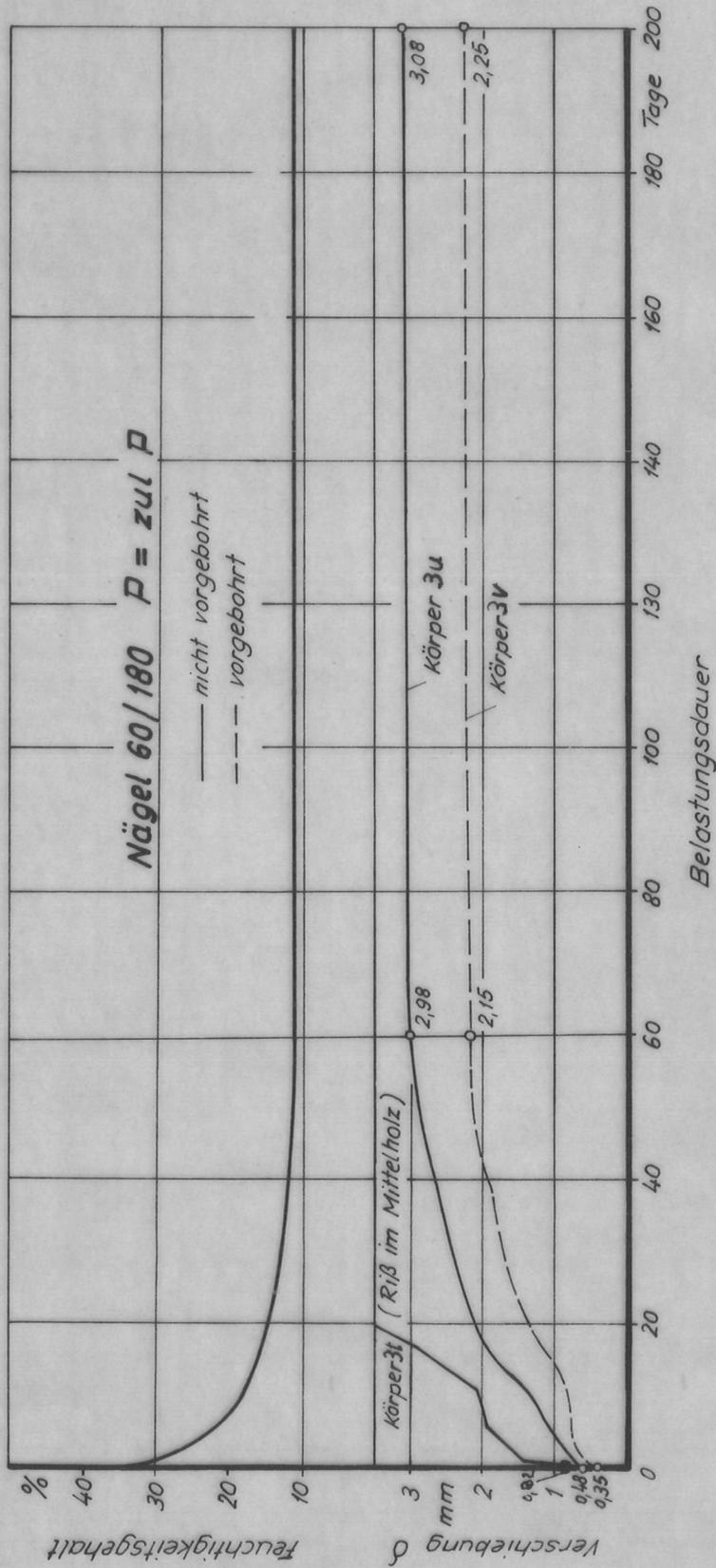
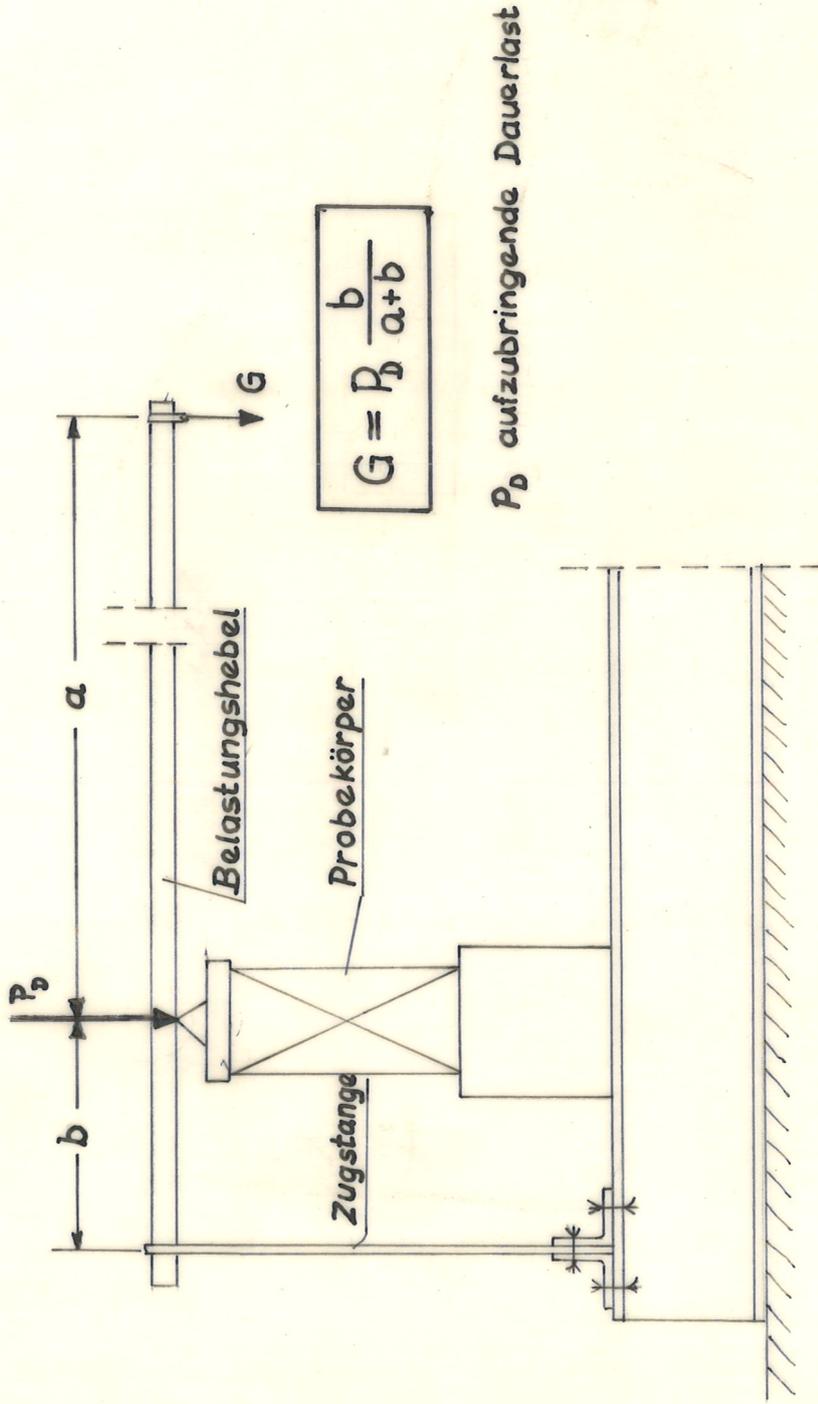


Bild 16: Dauerstandsversuch mit Nagelverbindungen Reihe IV



167a



$$G = P_D \frac{b}{a+b}$$

P_D aufzubringende Dauerlast

Bild 2: Schematischer Aufbau der Dauerstandseinrichtung

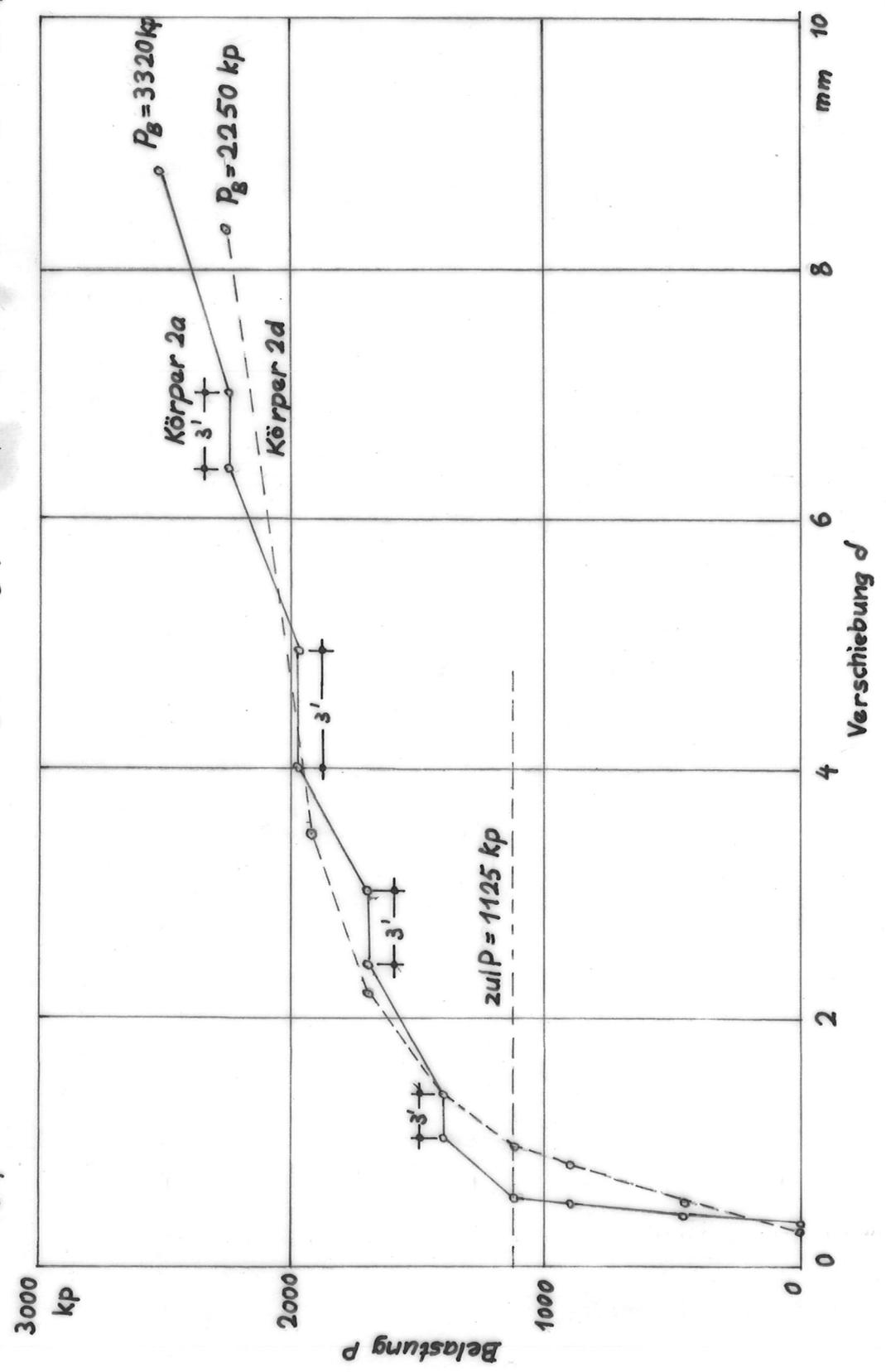
5487 #

1.109

16,7 cm

Bild 3: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe I (Nägel 42/110).

2a geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 2d geprüft 6 Monate nach der Herstellung.

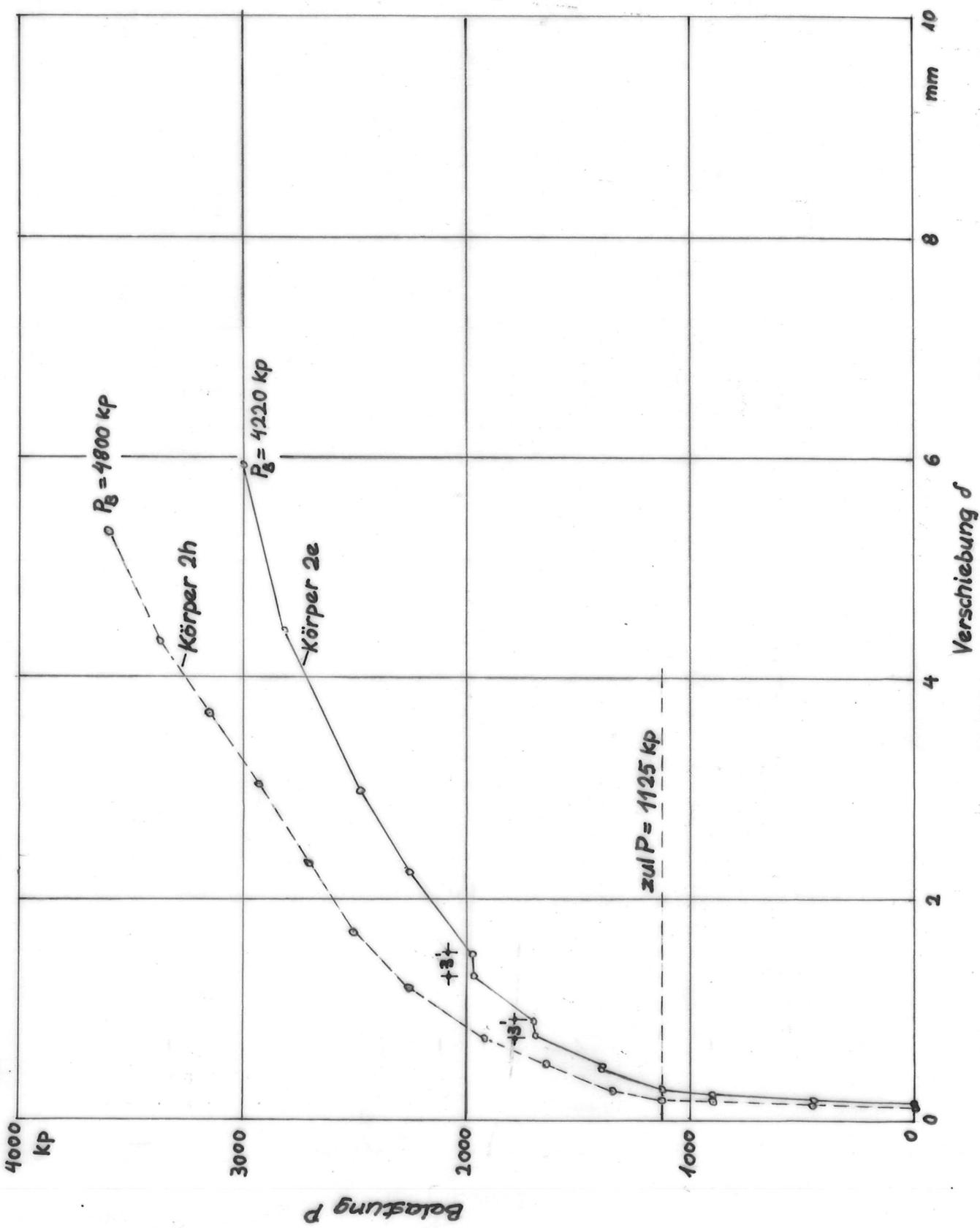


1045

1.36

167a

Bild 4: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe II (Nägels 42/110)
2e geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 2h geprüft 7,5 Monate nach Herstellung.

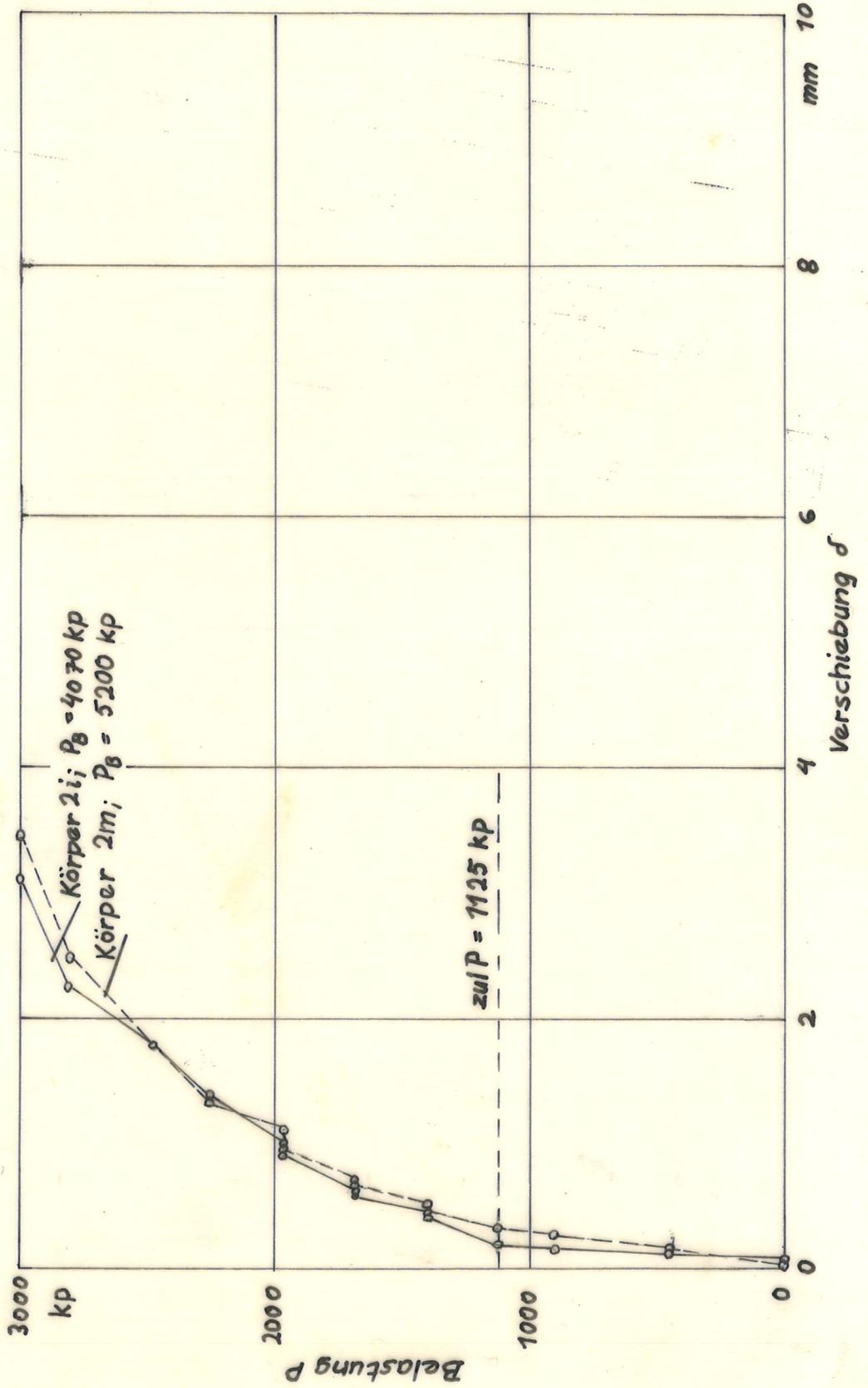


1074

(132)

Bild 5: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe III (Nägel 42/110)

2i geprüft 24 Stunden nach Herstellung; 2m geprüft 6 Monate nach Herstellung

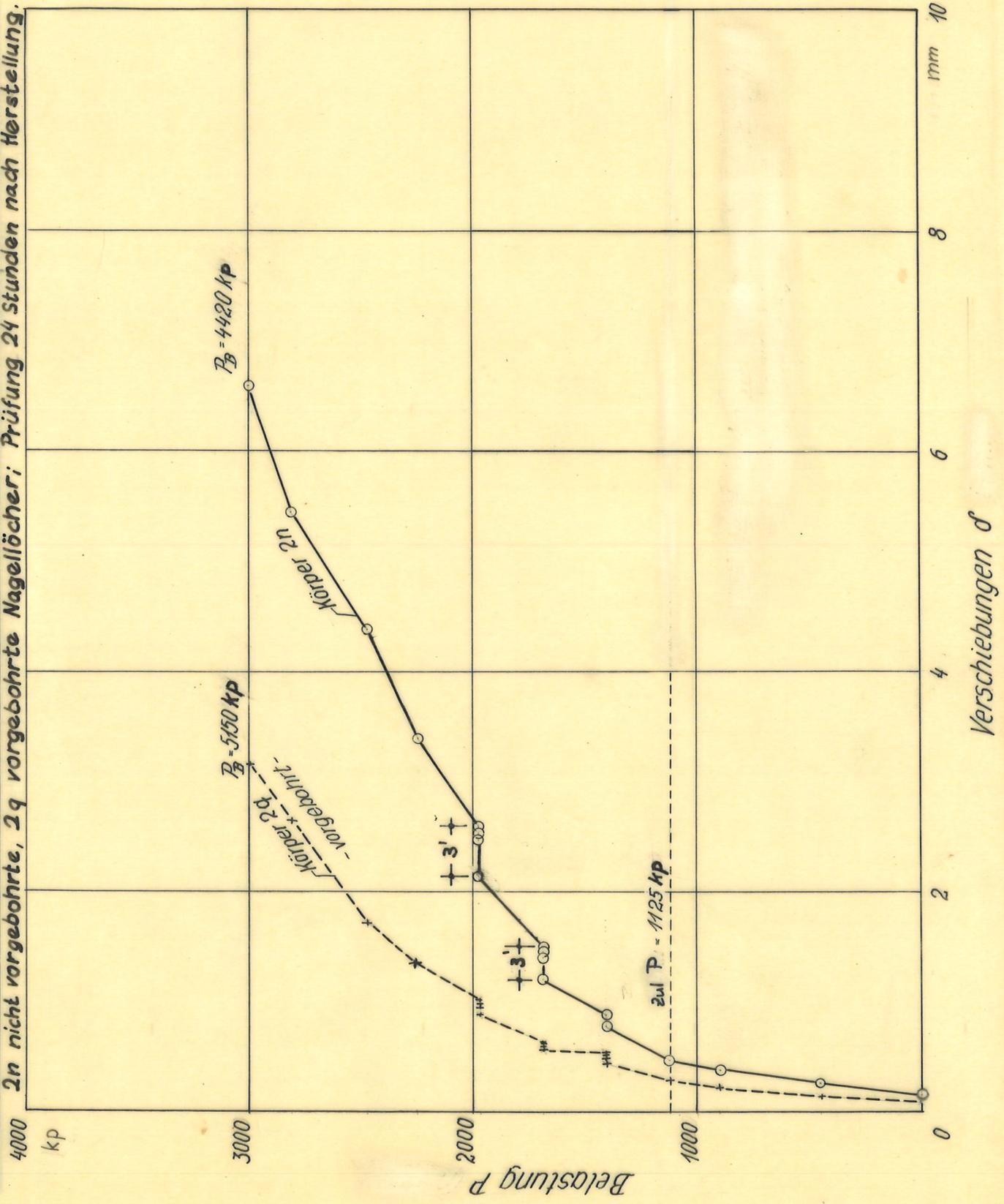


(132)

1045

1670

Bild 6: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe IV (Nägel 42/110)
2n nicht vorgebohrte, 2q vorgebohrte Nagellöcher; Prüfung 24 Stunden nach Herstellung.

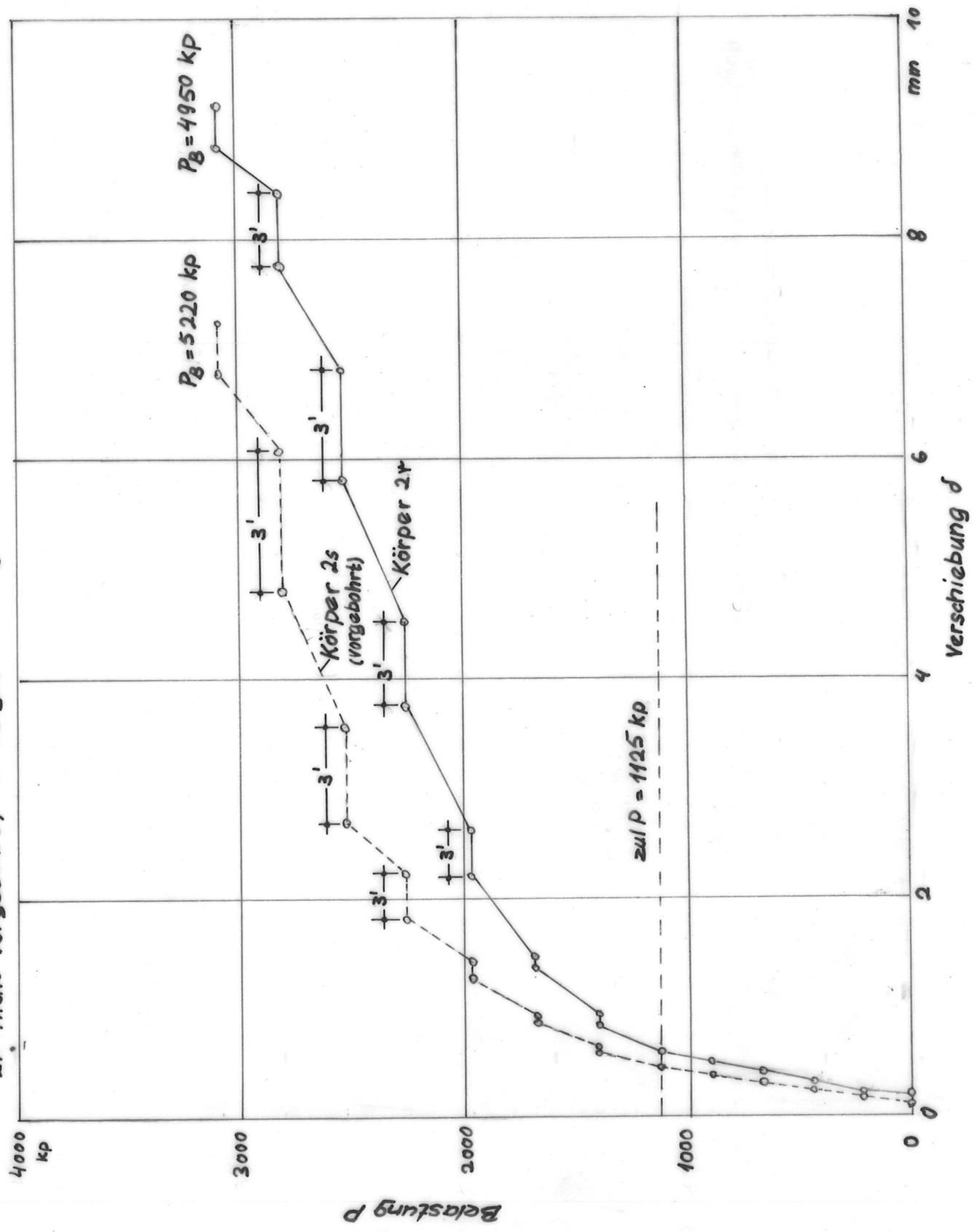


1045

(1.301)

16,70

Bild 7: Statische Versuche zu den Dauerstandsversuchen der Reihe V (Nägel 42/110)
2r. nicht vorgebohrt, 2s vorgebohrt Nagellocher; Prüfung 7 Monate nach Herstellung.

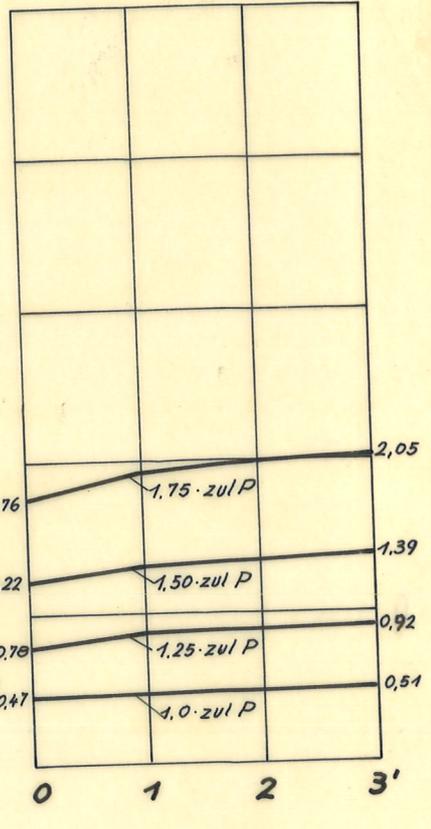
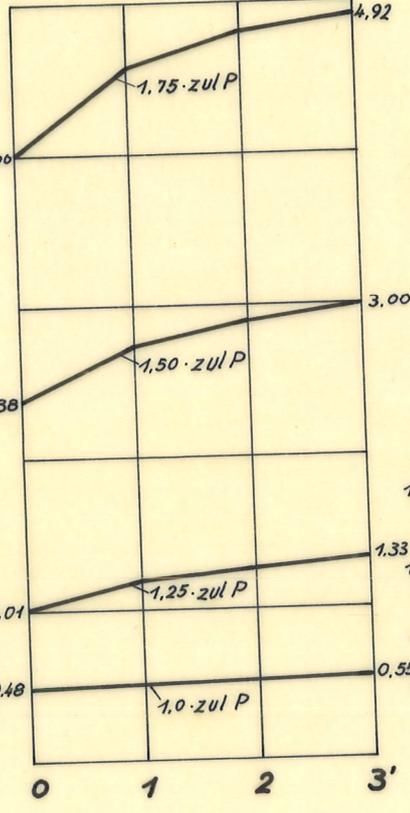
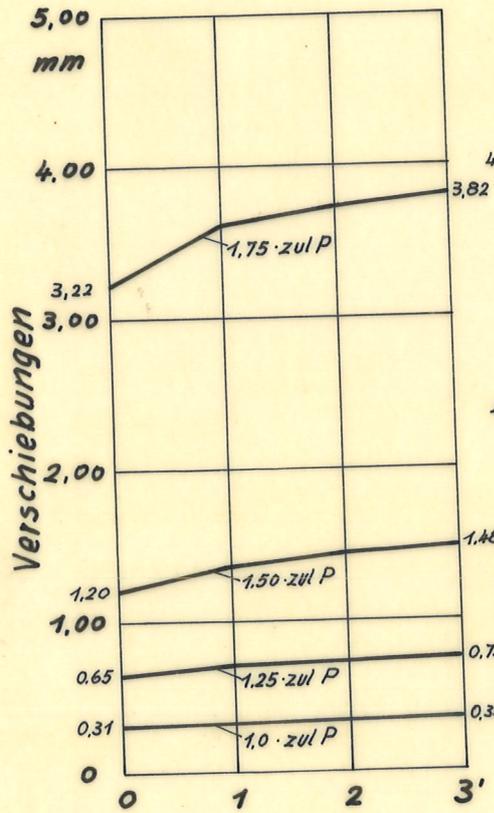


1001

(1.32)

(110)

11015

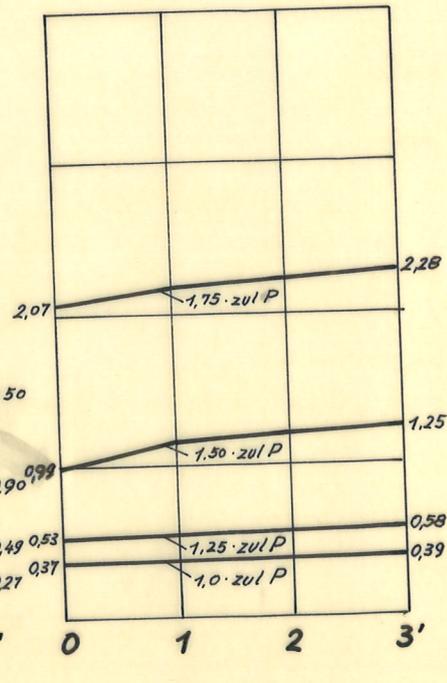
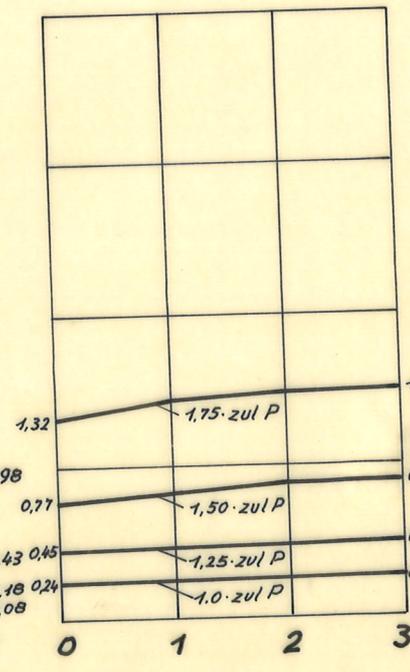
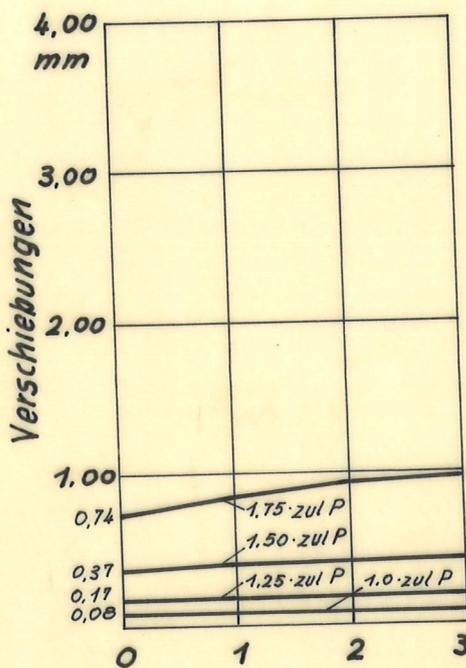


Reihe I:

Körper 1a

Körper 2a

Körper 3a



Reihe II:

Körper 1e

Körper 2e

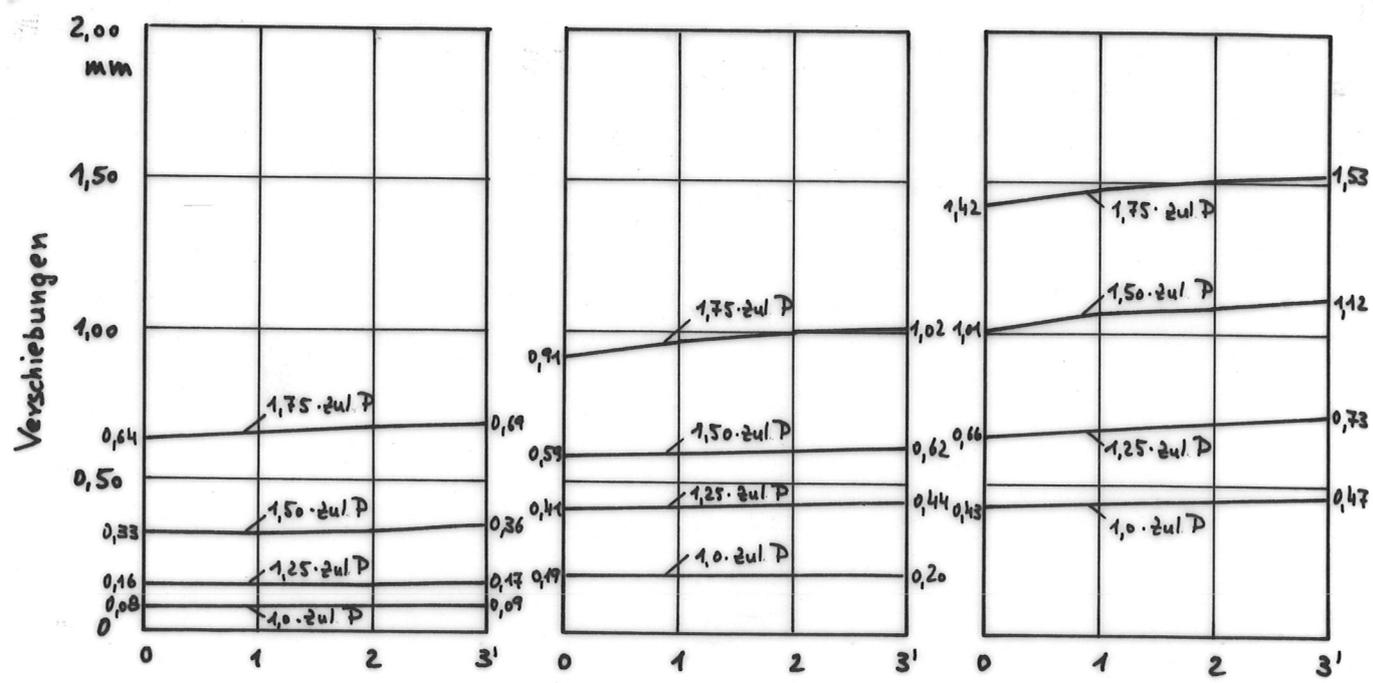
Körper 3e

Bild 8: Zunahme der Verschiebungen im Verlaufe von 3 Minuten bei verschiedener Belastungshöhe (statische Versuchskörper der Reihen I und II)

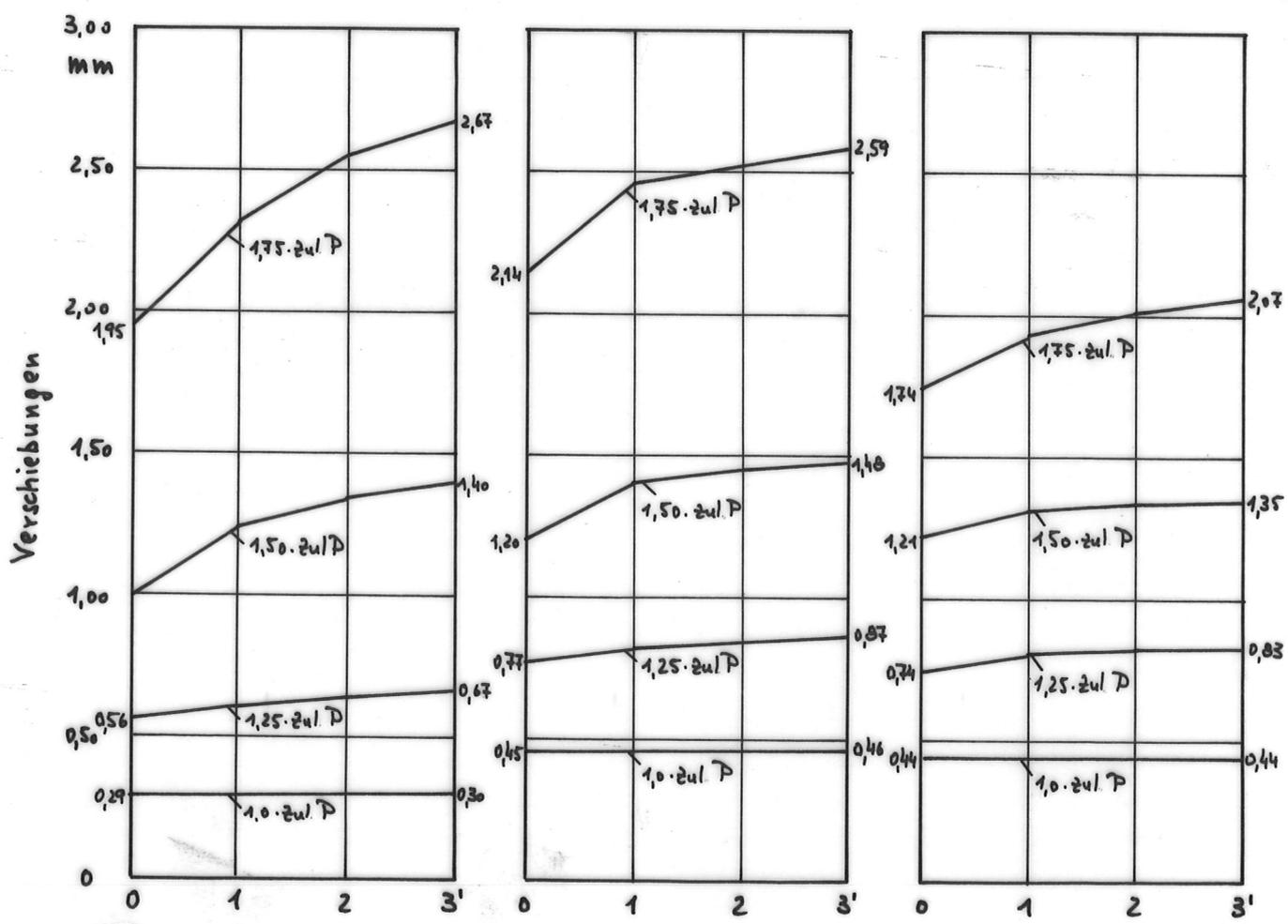
16,7cm

(110)

16,7 cm



Reihe III: Körper 1i Körper 2i Körper 3i

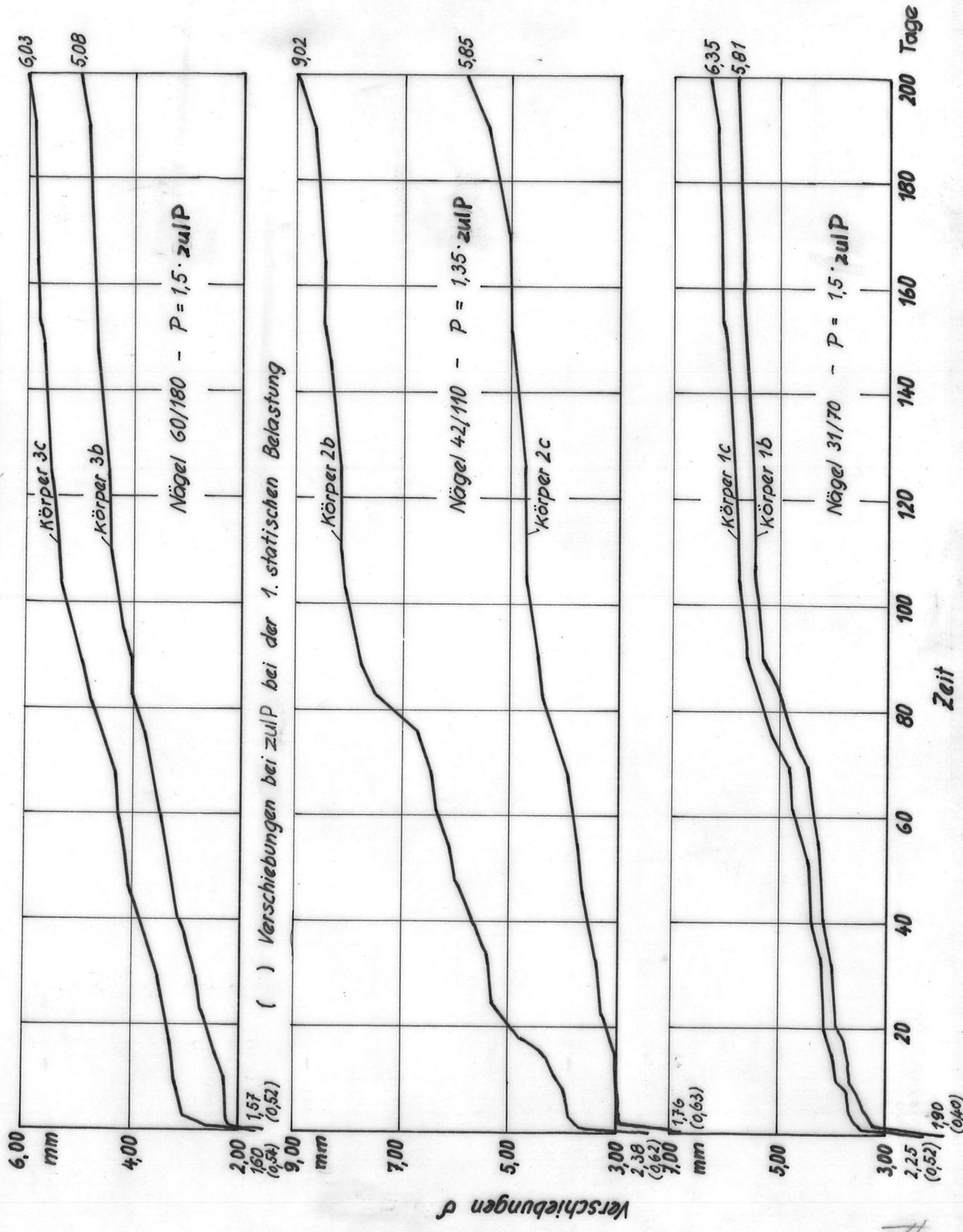


Reihe IV: Körper 1n Körper 2n Körper 3n

Bild 9: Zunahme der Verschiebungen im Verlaufe von 3 Minuten bei verschiedener Belastungshöhe (statische Versuchskörper der Reihen III und IV).

19.7.50

Bild 10: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen Reihe I

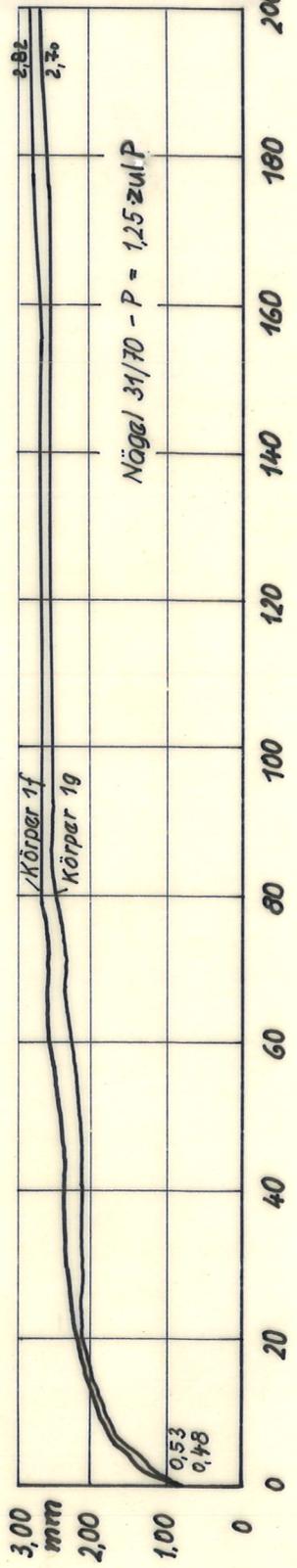
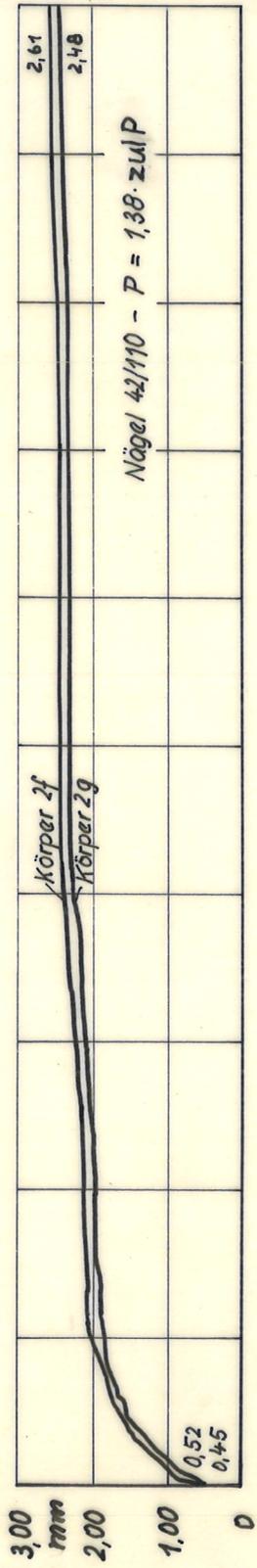
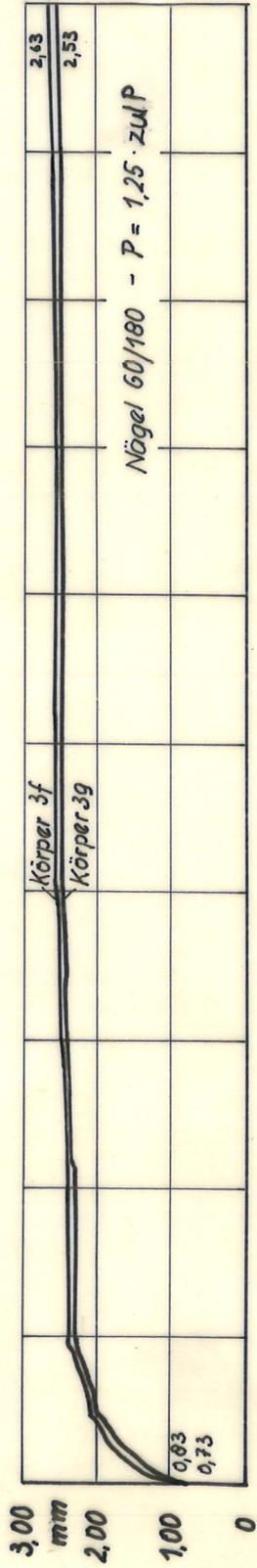


(138)

47017

15.7.0

Bild 11: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen. Reihe II



Verschiebungen d

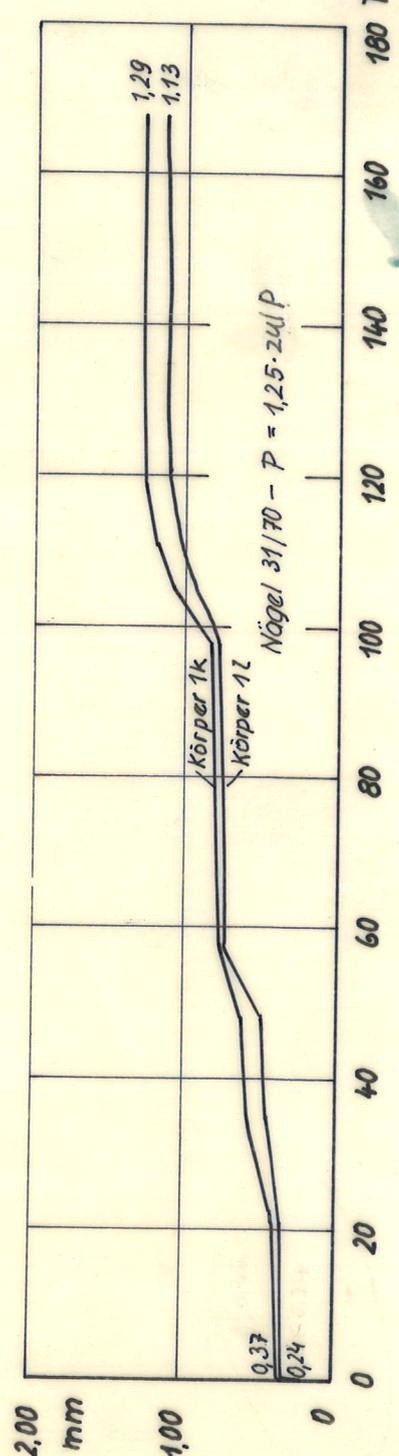
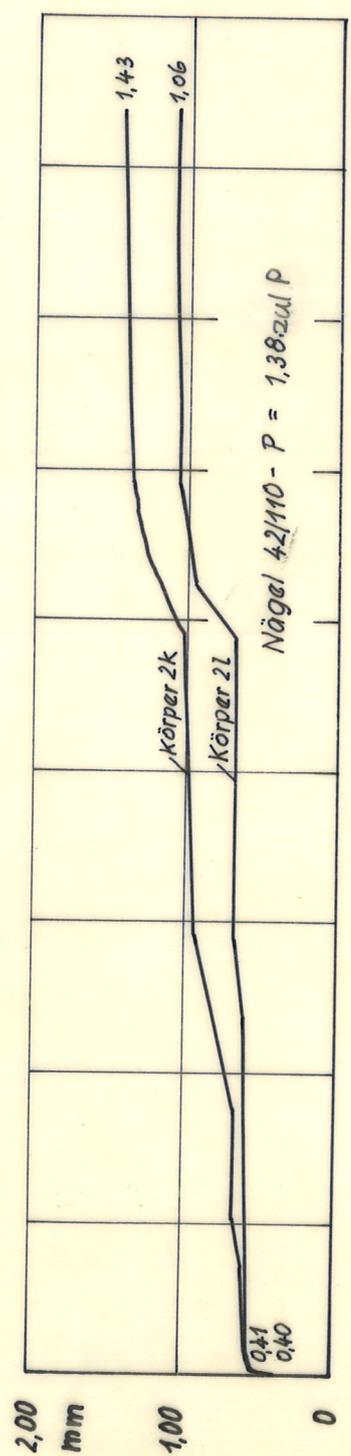
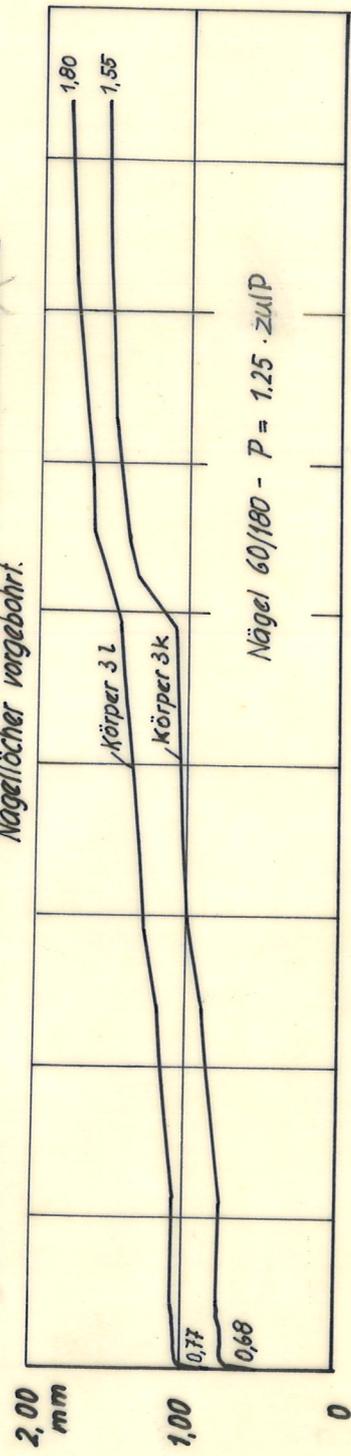
Zeit

1.38

5481 #

16,7 cm

Bild 12: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen. Reihe III
Nagellöcher vorgebohrt.



Verschiebungen d

4701 #

(A26)

Zeit

180 Tage

160

140

120

100

80

60

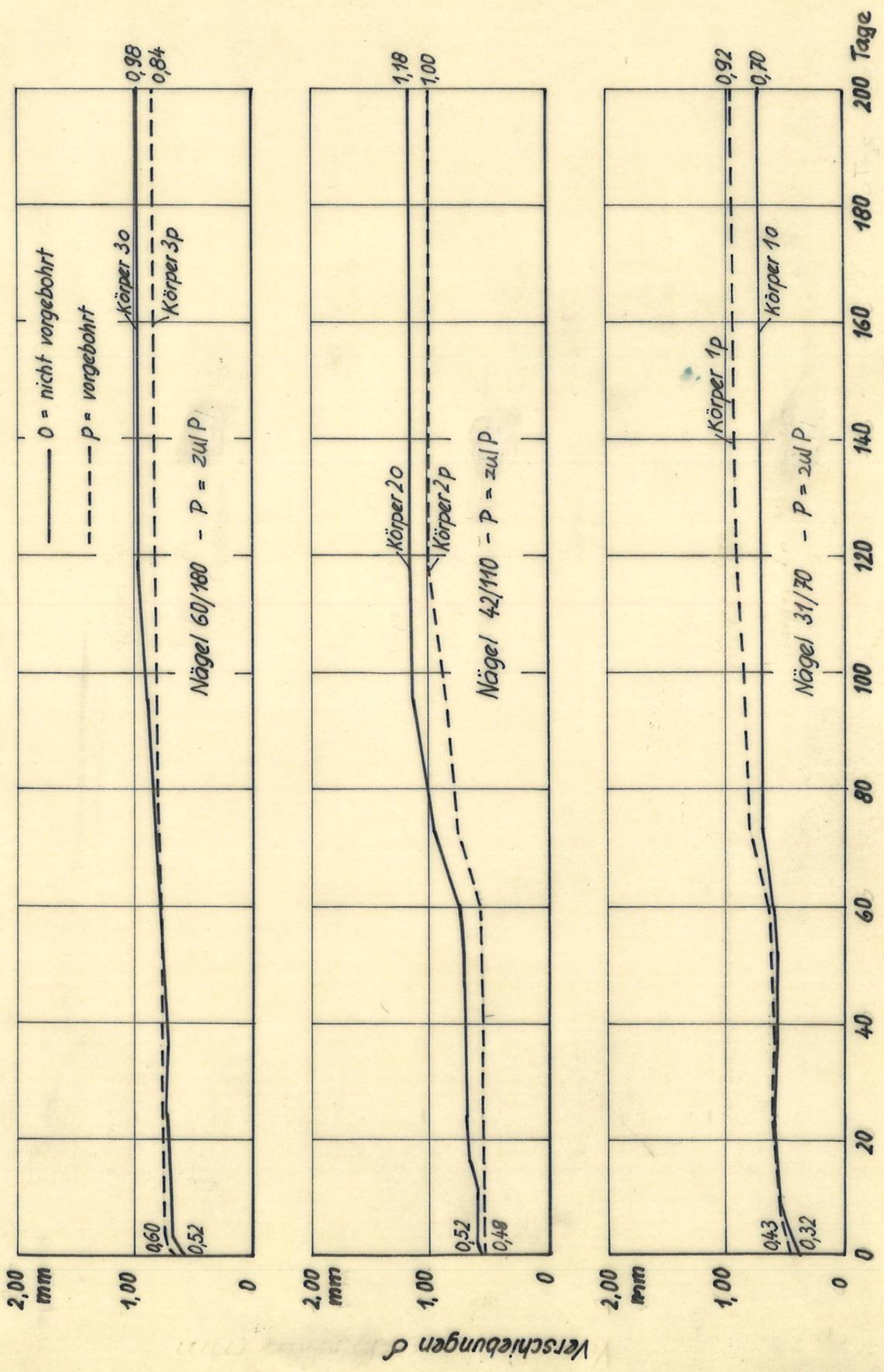
40

20

0

1970

Bild 13: Dauerstandsversuche mit Nagelverbindungen. Reihe IV

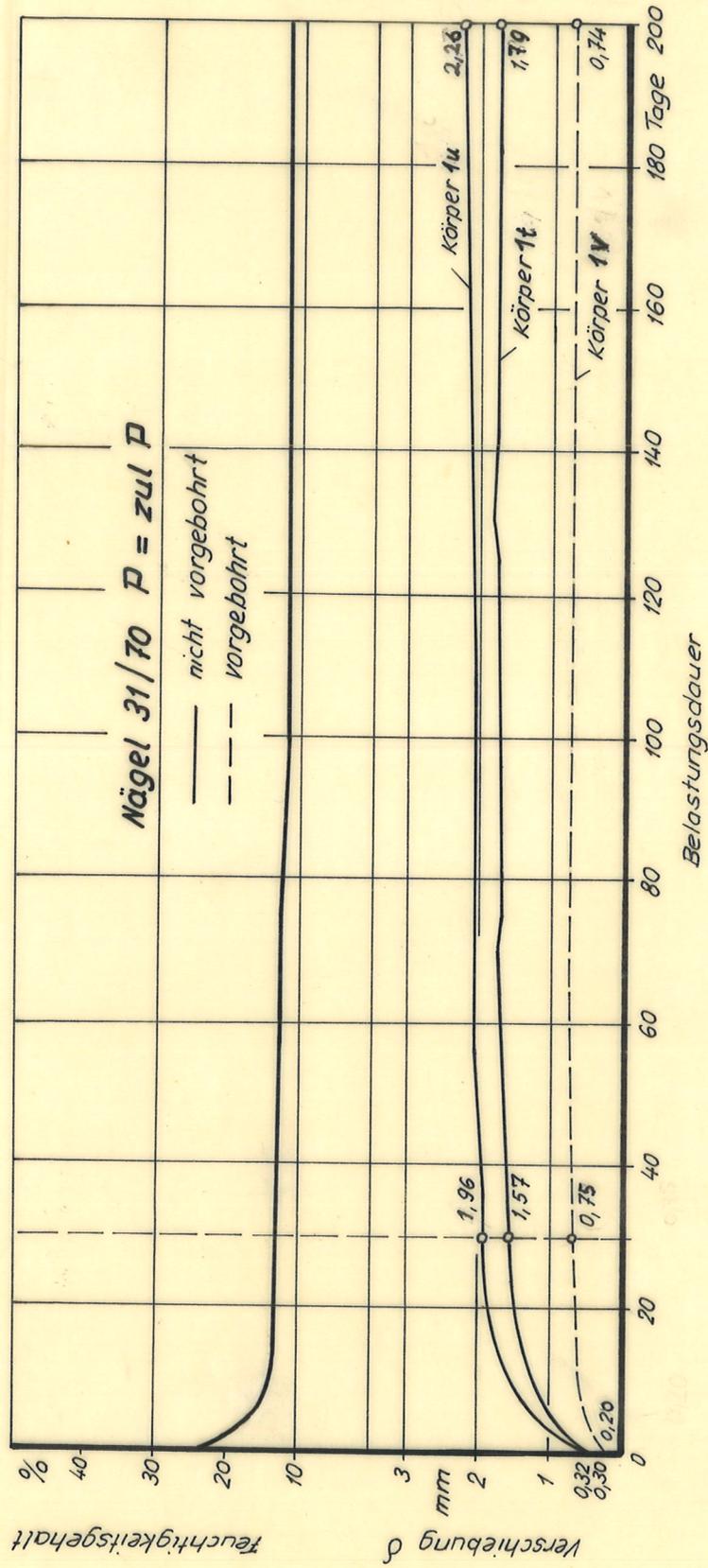


(1381)

5401

16,7 cm

Bild 14: Dauerstandsversuch mit Nagelverbindungen Reihe V

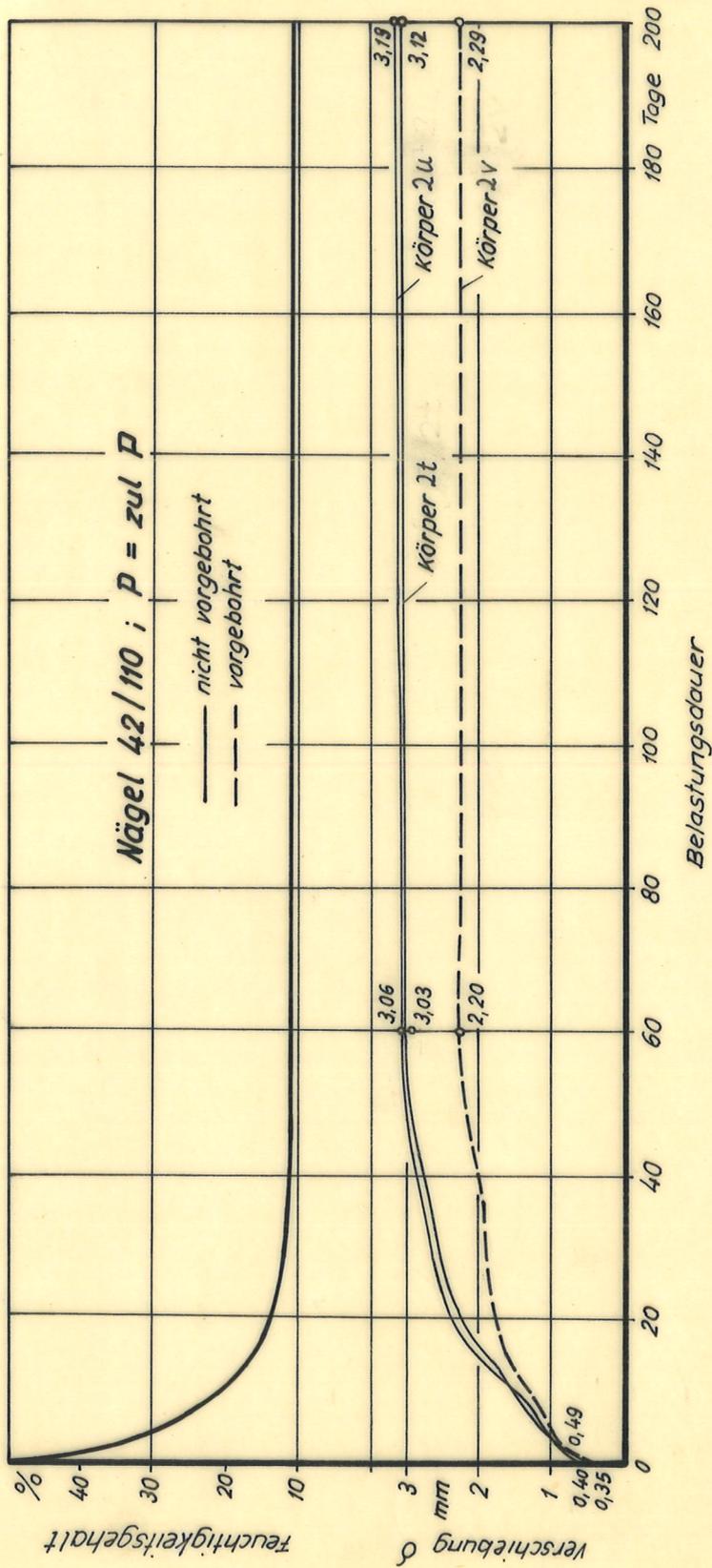


(130)

5401 #

1617cm

Bild 15: Dauerstandsversuch mit Nagelverbindungen. Reihe IV

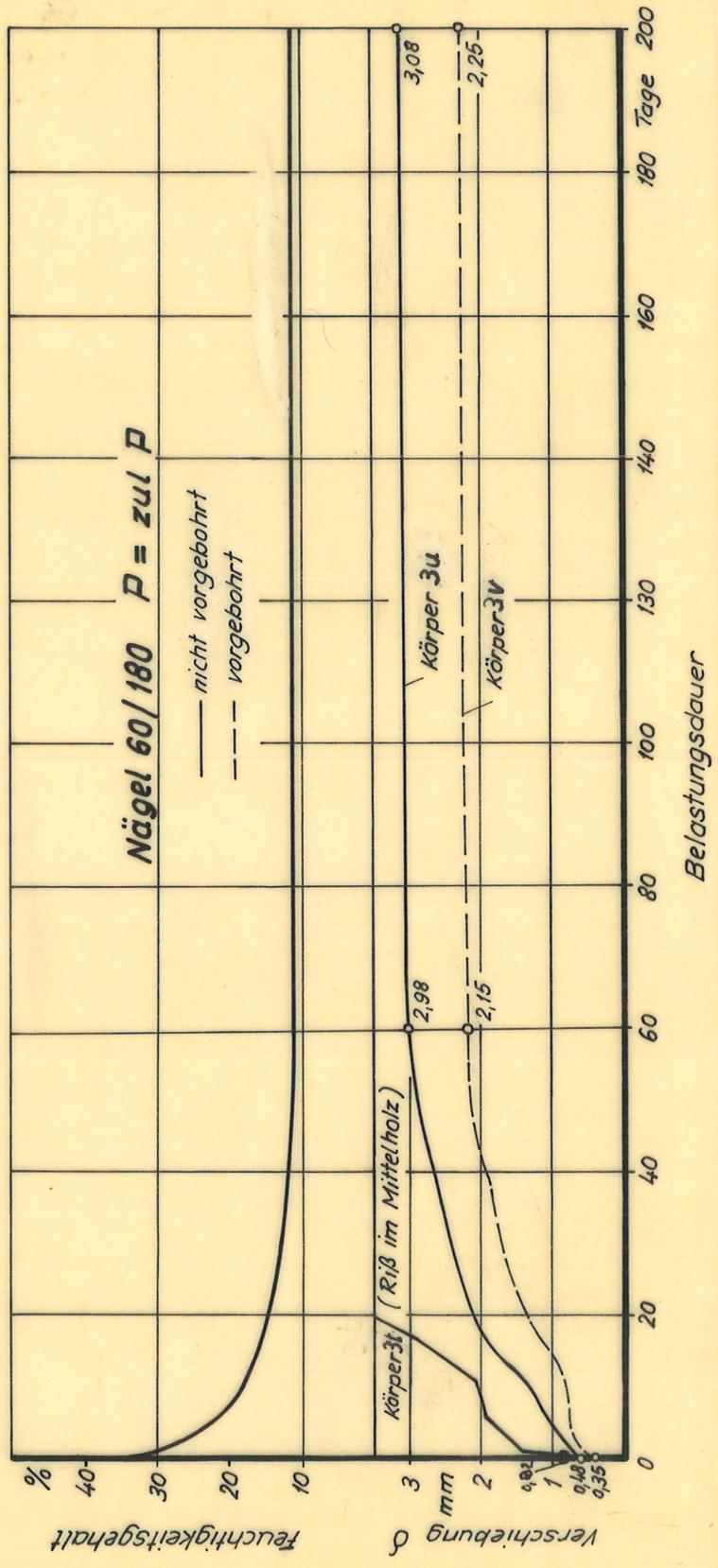


(230)

5701

19.7.01

Bild 16: Dauerstandsversuch mit Nagelverbindungen Reihe V



(1301)

sterk