

UNTERSUCHUNGEN UEBER DIE ANWENDUNG VON
SONDERNAEGELN IM HOLZBAU

Untersuchungen
durchgeführt im Auftrage des
Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
- Abteilung Ingenieurholzbau - der Universität (TH) Karlsruhe
Leitung Prof. Dr.-Ing. K. Möhler
Ergebnis des Forschungsauftrages Az: B II 5 - 80 01 70 - 113

UNTERSUCHUNGEN UEBER DIE ANWENDUNG VON
SONDERNAEGELN IM HOLZBAU

Untersuchungen
durchgeführt im Auftrage des
Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau

von
Jürgen Ehlbeck

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
- Abteilung Ingenieurholzbau - der Universität (TH) Karlsruhe
1975

I N H A L T

	Seite
1. Einleitung	3
2. Versuchsmaterial	5
2.1. Sondernägel	5
2.2. Holz	8
3. Anlage und Durchführung der Versuche	8
3.1. Versuche über den Einfluß der Holz- rohdicke bei Fichtenholz	17
3.2. Versuche über den Einfluß der Holzart	17
3.3. Versuche über den Einfluß der Schaftform	18
4. Ergebnisse und Auswertung der Versuche	18
4.1. Einfluß der Holzrohdicke bei Fichtenholz	20
4.2. Einfluß der Holzart	25
4.3. Einfluß der Schaftform	29
4.3.1. Kraft-Ausziehweg-Diagramme	29
4.3.2. Maximale Haftkräfte und "Proportionalitätsgrenzen"	35
4.3.3. Oberflächenbeschaffenheit der Nägel	47
5. Vergleichsversuche für einen Sparrennagel	61
5.1. Erste Entwicklungsstufe	61
5.2. Zweite und dritte Entwicklungsstufe	65
5.3. Endstufe	65
6. Zusammenfassung	66
7. Schrifttum	69

1. Einleitung

In früheren Untersuchungen über das Tragverhalten von Sondernägeln (das sind Nägel, die nach Schaftform und Nagel-Werkstoff von den runden Drahtstiften nach DIN 1151 abweichen) bei Beanspruchung auf Abscheren und Ausziehen [1] war festgestellt worden, daß sog. Schraubnägeln gegenüber Drahtstiften nach DIN 1151 vor allem bei Beanspruchung auf Ausziehen in der Regel höher belastet werden können. Statische Ausziehversuche hatten gezeigt, daß Schraubnägeln einen deutlich höheren Auszieh-widerstand als runde Drahtstifte besitzen. Dies gilt nicht nur für unmittelbar nach dem Einschlagen belastete Nägel, sondern in erhöhtem Maße auch bei Belastung nach längerer Wartezeit mit oder ohne gleichzeitiger Austrocknung des Holzes, da runde Drahtstifte im Laufe der Zeit besonders mit zunehmendem Austrocknen des Holzes an Haftkraft verlieren, während Schraubnägeln keine Einbuße erleiden, im Gegenteil bei Austrocknen des Holzes sogar eine Zunahme der Haftkraft auftreten kann.

Es zeigte sich bei diesen Versuchen aber auch, daß die Rohdichte des Holzes einen beträchtlichen Einfluß auf die Haftkraft aller Nägel ausübt, über deren Größe bisher jedoch keine gesicherten Angaben gemacht werden konnten. Die hierüber aus den USA bekannt gewordenen Aussagen bestätigen zwar ein überproportionales Ansteigen des Auszieh-widerstandes mit der Rohdichte, es erschien jedoch zweckmäßig, hierüber ergänzende Versuche mit europäischem Fichtenholz bei Verwendung heute üblicher runder Drahtstifte nach DIN 1151 und einiger typischer Schraubnagelformen durchzuführen. Diese Untersuchungen sind vor allem deswegen von grundlegender Bedeutung, da für die Festlegung zulässiger Auszieh-werte von Nägeln, ausgehend von Versuchswerten mit Hölzern bestimmter, meist nicht gerade besonders niedriger Rohdichte, auf die für Bauholz noch möglichen

und zulässigen niedrigen Rohdichtebereiche (für Fichtenholz z.B. unter $0,40 \text{ g/cm}^3$) zurückgerechnet werden muß.

Der Hauptzweck der Untersuchungen war es, den Einfluß der *S c h a f t f o r m* von Schraubnägeln auf den Ausziehwiderstand bei einheimischem Fichtenholz zu ermitteln. Dabei wurde angenommen, daß vor allem der Anstiegswinkel des Gewindes und die Gangzahl, das Verhältnis von Außen- zu Kerndurchmesser des Gewindeteiles sowie die Oberflächenbeschaffenheit der Nägel von Bedeutung sind. Für eine systematische Untersuchung wäre es erforderlich gewesen, Nägel bestimmter Ausbildungsformen nach Bedarf herzustellen, um nur einen Parameter bei Konstanthaltung aller übrigen wichtigen Einflußgrößen variieren zu können. Dieser Weg konnte jedoch nicht beschritten werden, da nur Nägel verschiedener Ausbildungsformen verwendet werden konnten, wie sie z.Zt. von den Nagelherstellern in der Bundesrepublik Deutschland angeboten werden. In dankenswerter Weise wurden die für die Anwendung im Ingenieurholzbau besonders geeignet erscheinenden Nageltypen aus dem vielfältigen Angebot der Hersteller für Versuche kostenlos zur Verfügung gestellt.¹⁾ Mit 23 Sondernageltypen und einigen runden Drahtstiften nach DIN 1151 konnten somit vergleichende Versuche unter konstanten Versuchsbedingungen mit stets dem gleichen klimatisierten Fichtenholz durchgeführt werden.

Für einen Sparrennagel wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Nagelhersteller über längere Zeit die Entwicklung eines geeigneten Schraubnagels durch Vergleichsversuche der jeweiligen Entwicklungsstufen mit glattschaftigen Sparrennägeln verfolgt.

1) Den Firmen Ernst Bierbach KG., Nadel- und Drahtwarenfabrik, 475 Unna, Adolf Böhl, Schraubenfabrik, 5922 Berghausen über Berleburg, G. Rockenfeller, Schraubenfabrik, 5912 Hilchenbach (Krs. Siegen) und Friedr. Trurnit, Drahtstifte- und Metallwarenfabrik, 599 Altena (Westf.) sei auch an dieser Stelle für die Bereitstellung von Nagelmaterial gedankt.

Die endgültige Nagelform besitzt hinsichtlich der Haltekraft in Fichtenholz erhebliche Vorteile gegenüber den herkömmlichen runden Sparrennägeln (Drahtstiften) nach DIN 1151.

2. Versuchsmaterial

2.1. Sondernägel

Die für die Versuche herangezogenen 23 Sondernageltypen lagen hinsichtlich ihrer Größe im Bereich der Nageldurchmesser von 2,7 bis 4,2 mm. 19 dieser Nägel waren sog. "Schraubnägeln", 3- bis 6-gängig, mit Anstiegswinkeln α des Gewindes von mindestens 45° . Drei weitere Nageltypen hatten dagegen Gewindesteigungen unter 20° , in einem Falle handelte es sich um einen sog. "Ringnutnagel" oder "Rillennagel" ($\alpha = 0^\circ$). Die Nägel waren teils verzinkt oder kadmiert, teils blank.

Schraubnägeln werden zweckmäßigerweise durch die Angabe des Schaftdurchmessers d_n des glatten Teiles und des Außendurchmessers d_1 des Gewindeteiles - jeweils in 1/10 mm - sowie der gesamten Nagellänge l_n in mm gekennzeichnet. Damit ist die Nagelform jedoch nicht vollständig beschrieben, sondern es müssen auch der Kerndurchmesser d_k des Gewindeteiles, der Durchmesser D des Nagelkopfes, die Länge l_g des Gewindeteiles, die Länge z der Nagelspitze sowie die Gangzahl n und die Ganghöhe h bzw. der Anstiegswinkel α des Gewindes bekannt sein (siehe Bild 1). An jeweils 10 Nägeln der 23 Nageltypen wurden diese Maße festgestellt. Außerdem wurde die Zugfestigkeit des Nagelmaterials an je drei Nägeln bestimmt. In Tabelle 1 sind diese Werte für alle Sondernägel in der Reihenfolge ihres Schaftdurchmessers zusammengestellt. In die Versuche wurden zu Vergleichszwecken zusätzlich runde Drahtstifte nach DIN 1151 mit einbezogen, und zwar die Größen 28 x 65, 31 x 70 und 42 x 110. Die Zugfestigkeit dieser Drahtstifte betrug im Mittel

79,6, 83,8 und 58,8 kp/mm².

Fotografische Aufnahmen aller Nägel enthalten die Bilder 2 bis 7.

2.2. Holz

Für die Ermittlung des Einflusses der Rohdichte des Holzes auf die Haftkraft wurden vier Fichtenkanthölzer verschiedener Rohdichte verwendet. Das Holz wurde bis zur Gewichtskonstanz im Normalklima 20/65 DIN 50014 klimatisiert. An je 3 Einzelproben 3,5/3,5/7,0 cm wurden die Rohdichte, die Druckfestigkeit in Faserrichtung, die Jahrringbreite und der Holzfeuchtigkeitsgehalt nach den einschlägigen Prüfnormen bestimmt (Tabelle 2).

Für orientierende Vergleichsversuche mit einigen Nageltypen wurde neben Fichte auch Buchen- und Eichenholz verwendet. Dieses Holz wurde nicht klimatisiert, da diese Versuchsreihe innerhalb eines Tages abgewickelt werden konnte. Rohdichte, Druckfestigkeit in Faserrichtung, Jahrringbreite und Holzfeuchtigkeitsgehalt wurden unmittelbar nach den Nagelausziehversuchen ermittelt (Tabelle 3).

Für die Hauptversuche wurden aus einer 6 cm dicken Fichtenbohle 5 Hölzer 6/10 von etwa 150 cm Länge entnommen und klimatisiert. Die Eigenschaften dieses Holzes wurden an 20 über die Bohle verteilten Einzelproben 4/4/8 cm bestimmt. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von $u = 14,6\%$ betragen die mittlere Jahrringbreite $b = 2,6$ mm, die Druckfestigkeit $\sigma_{D||} = 360$ kp/cm² und die Rohdichte $r = 0,44$ g/cm³.

3. Anlage und Durchführung der Versuche

In das vorgesehene Holz wurden die Nägel im allgemeinen von Hand genau bis zu der vorgesehenen Einschlagtiefe s , die stets

höchstens gleich der Länge l_g des Gewindeteiles war, nach einem bestimmten Nagelschema eingeschlagen. Nach Lagerung im Normal-klima 20/65 DIN 50014 wurden die Nägel dann 24 Stunden später ausgezogen. Dadurch lag bei allen Versuchen gleiche Holzfeuchtigkeit vor, und der Einfluß der Zeit war ausgeschaltet.

Die Nägel wurden mittels einer besonderen Ausziehvorrichtung, die in [1] beschrieben ist, bei einer stets bis zum Erreichen der maximalen Haftkraft $\max Z$ konstant gehaltenen Belastungsgeschwindigkeit von 400 kp/Minute ausgezogen. Der Ausziehweg wurde mit Hilfe zweier induktiver Wegaufnehmer gemessen. Kraft und Weg wurden über Meßverstärker auf einen X-Y-Schreiber übertragen, so daß für jeden Einzelversuch ein Kraft-Ausziehweg-Diagramm erhalten wurde.

3.1. Versuche über den Einfluß der Holzrohddichte bei Fichtenholz

In dieser Versuchsreihe mit vier Kanthölzern verschiedener Rohddichte (siehe Tabelle 2) wurden mit runden Drahtstiften 31 x 70 und 42 x 110 DIN 1151 sowie den drei Sondernageltypen B1, B5 und B6 jeweils 10 Einzel-Ausziehversuche mit Einschlag-tiefen s von 40 oder 50 mm durchgeführt; es ergaben sich also insgesamt 200 Ausziehversuche.

3.2. Versuche über den Einfluß der Holzart

In dieser Reihe wurden in Fichte, Buche und Eiche mit den Eigenschaften nach Tabelle 3 je 10 Einzelausziehversuche mit den Sondernageltypen A2 ($s = 35$ mm), A4 ($s = 40$ mm) und A6 ($s = 55$ mm) durchgeführt. Außerdem standen von diesen Nägeln die glattschaftigen Rohlinge ($d_n = 2,8 - 3,3$ und $3,5$ mm) für die gleiche Anzahl von Einzelversuchen zur Verfügung. Diese Versuchsreihe umfaßte 180 Ausziehversuche.

3.3. Versuche über den Einfluß der Schaftform

In der Hauptversuchsreihe wurden sämtliche Nägel nach Abschnitt 2.1 unter vollständig gleichen Versuchsbedingungen geprüft. Nach einheitlichem Nagelschema (Bild 8) wurden von jedem Nageltyp zwei Nägel in jedes der fünf aus einer Holzbohle stammenden Kanthölzer 6/10 cm eingeschlagen. Dabei wurde für die kleineren Nägel mit einheitlicher Einschlagtiefe von $s = 40$ mm die Breitseite und für die größeren Nägel mit $s = 55$ mm (ausgenommen Nageltyp A5 und A7 mit $s = 50$ mm) die Schmalseite benutzt. Die Jahrringe verliefen in allen fünf Hölzern schräg zur Holzkante, so daß für sämtliche Nägel bezüglich des Jahrringverlaufes praktisch die gleiche Einschlagrichtung vorlag. Diese Versuchsreihe umfaßte insgesamt 260 Ausziehversuche.

4. Ergebnisse und Auswertung der Versuche

Aus früheren Versuchen war bekannt, daß von einer gewissen Mindesteinschlagtiefe an mit einer praktisch geradlinigen Zunahme der maximalen Haftkraft $\max Z$ gerechnet werden kann. In ähnlicher Weise kann für den Bereich der üblichen, hier untersuchten Nageldurchmesser mit hinreichender Genauigkeit angenommen werden, daß $\max Z$ auch mit dem Nageldurchmesser d_n etwa geradlinig zunimmt. Da der Einfluß der Zeit sowie der Holzfeuchtigkeiten durch die Versuchsbedingungen ausgeschaltet sind, kann für die größte Haftkraft $\max Z$ von der Beziehung

$$\max Z = A_0 \cdot \pi \cdot d_n \cdot s \quad (1)$$

ausgegangen werden. Der Faktor A_0 wird dann vor allem durch die Haftspannung und den Reibungsbeiwert bestimmt, die von der Oberflächengestalt und der Oberflächenrauigkeit des Nagelschaftes, aber auch von der Struktur und der Dichte des umgebenden Holzbettes abhängen.

Aus den Kraft-Ausziehweg-Diagrammen der Sondernägel ist erkennbar, daß jeder Sondernageltyp eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte "Proportionalitätsgrenze" besitzt. Diese läßt sich durch die Beziehung

$$Z_p = A_p \cdot \pi \cdot d_n \cdot s \quad (2)$$

beschreiben. Bis Z_p sitzt der Nagel fest im Holz, die Kraft wird durch mechanische Verbindung und Haftreibung übertragen. Bei $Z > Z_p$ kommt der Nagel allmählich in Bewegung. Die Höchstlast $\max P$ wird schließlich durch Nachlassen der Reibung und durch Ueberschreiten des mechanischen Widerstandes erreicht, der Nagel wird stetig - manchmal auch ruckartig - aus dem Holz herausgezogen. Im Gegensatz hierzu ist bei den runden Drahtstiften wegen der glatten Schaftform $Z_p = \max Z$, da hier kein mechanischer Widerstand auftritt und die Gleitreibung kleiner als die Haftreibung ist.

Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse wurden zunächst die Mittelwerte \bar{x} der maximalen Haftkraft $\max Z$ sowie die zugehörigen Variationskoeffizienten V und die 5%-Fraktilen x_5 berechnet. Aus $\max Z$ und der "Proportionalitätsgrenze" Z_p wurden die Faktoren A_0 und A_p ermittelt. Für den Faktor A_0 läßt sich ein Wert \bar{A}_0 , ermittelt aus dem Mittelwert \bar{x} der maximalen Haftkraft $\max Z$, sowie ein Wert $A_0(5)$, ermittelt aus der 5%-Fraktile x_5 , angeben. Das gleiche gilt für A_p . Diese Größen können für die einzelnen Nageltypen unmittelbar verglichen werden.

4.1. Einfluß der Holzrohddichte bei Fichtenholz

Die Mittelwerte der maximalen Haftkräfte $\max Z$, einschließlich der Variationskoeffizienten und der 5%-Fraktilen der fünf

geprüften Nageltypen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Aus den Mittelwerten wurden nach Gl. (1) die Faktoren \bar{A}_0 und aus den 5%-Fraktilen die Faktoren $A_0(5)$ berechnet und in Bild 9 und 10 in Abhängigkeit von der Rohdichte des Fichtenholzes dargestellt. Man erkennt, daß die Sondernägel deutlich höhere Haftkräfte als die runden Drahtstifte besitzen und bei allen Nageltypen mit zunehmender Rohdichte des Holzes auch eine erhebliche Zunahme der maximalen Haftkraft der Nägel auftritt.

Wie groß der unmittelbare Einfluß der Rohdichte auf die Haftkraft runder Drahtstifte ist, kann aus den in [1] mitgeteilten Versuchsergebnissen der Nägel 28 x 65, 42 x 110 und 55 x 160 zusammen mit den Ergebnissen nach Tabelle 4 und den in Tabelle 9 enthaltenen Werten aus der Hauptversuchsreihe angegeben werden. Hierfür wird der Ansatz

$$\max \bar{Z} = \bar{K} \cdot r^m \cdot \pi \cdot d_n \cdot s \quad (3)$$

gemacht, wobei die Größe \bar{A}_0 in der Gl. (1) durch den Ausdruck

$$\bar{A}_0 = \bar{K} \cdot r^m \quad (4)$$

ersetzt wird. Durch Logarithmieren erhält man

$$\log \bar{A}_0 = m \cdot \log r + \log \bar{K}. \quad (5)$$

Eine einfache lineare Regression führt für die beiden Regressionsgeraden zu dem Ergebnis $m_1 = 2,63$ und $m_2 = 2,38$ bei einem Bestimmtheitsmaß von $B = 0,904$. Es kann daher näherungsweise mit $m = 2,5$ gerechnet werden. Für die Größe \bar{K} ergibt sich ein mittlerer Wert von 188. Für runde Drahtstifte nach DIN 1151 kann somit für die mittlere maximale Haftkraft in Fichtenholz näherungsweise gerechnet werden mit

$$\max \bar{Z} = 188 \cdot r^{2,5} \cdot \pi \cdot d_n \cdot s \quad [\text{kp}] \quad (6)$$

(r in g/cm^3 , d_n und s in cm).

Für die Sondernägel lassen sich derartige Gesetzmäßigkeiten nicht allgemein angeben, da der Exponent m (Gl. 3) hier offensichtlich nicht von der Rohdichte allein, sondern auch von Gestalt und Oberflächenbeschaffenheit des Schaftes abhängt. Die Auswertung der Ergebnisse ergibt für die drei Nageltypen B1, B5 und B6:

Nageltyp	\bar{A}_0 (kp/cm^2)
B1	$257 \cdot r^{1,94}$
B5	$306 \cdot r^{2,28}$
B6	$382 \cdot r^{2,13}$

Das Ergebnis zeigt, daß bei Nägeln mit profilierter Oberfläche sich die Haftkraft mit veränderlicher Holzrohndichte nicht in dem Maße ändert wie bei Nägeln mit glattem Schaft. Dies muß jedoch durch systematische Versuche noch näher geklärt werden.

4.2. Einfluß der Holzart

In Tabelle 5 sind die maximalen Haftkräfte, die 5%-Fraktilen und die Variationskoeffizienten der in drei verschiedenen Holzarten bei gleichen Versuchsbedingungen geprüften Nägel zusammengestellt. Die Abhängigkeit der Werte \bar{A}_0 und $A_0(5)$ von der Rohdichte der Holzarten ist in Bild 11 und 12 aufgezeichnet. Vor allem beim Schraubnagel des Typs A4 zeigte sich in Fichten- und Buchenholz eine besonders hohe Streuung der Einzelwerte; in Eichenholz ist das Versuchsergebnis bei diesem Nagel dadurch verfälscht, daß in 5 von 10 Versuchen die Höchstlast durch

Kopfabreißen des Nagels begrenzt war. Da auch der Rohling des Nageltyps A4 auffallend ungünstige Ergebnisse lieferte, kann angenommen werden, daß die hohe Werkstofffestigkeit dieses Nagels (vgl. Zugfestigkeit β_Z in Tabelle 1) sich nachteilig auf das Tragvermögen bei dieser Art der Beanspruchung auswirkt. Im übrigen steigert sich die Haftkraft der Nägel in ähnlicher Weise wie bei gleicher Holzart mit unterschiedlicher Rohdichte (vgl. Bild 9) in der Weise, daß sie mit der Rohdichte überproportional zunimmt.

4.3. Einfluß der Schaftform

4.3.1. Kraft-Ausziehweg-Diagramme

Die Kraft-Ausziehweg-Diagramme der verschiedenen Nägel bei Beanspruchung auf Herausziehen zeigen ein sehr unterschiedliches Bild. Runde Drahtstifte nach DIN 1151 der Größen 28 x 65, 31 x 70 und 42 x 110 (siehe Bild 13) ergeben einen geradlinigen Anstieg ohne praktisch meßbare Verschiebung bis zur Höchstkraft $\max Z$. Die Kraft fällt dann plötzlich ab und die Nägel ziehen sich bei stetig weiter abfallender Kraft aus dem Holz heraus.

Bei Sondernägeln konnten mehrere typische Diagrammformen festgestellt werden. Eine Gruppe von Schraubnägeln, deren Diagramme in Bild 14 bis 16 dargestellt sind, zeigen ein allmähliches Ueberschreiten des Höchstwertes mit nachfolgendem Kraftabfall. Der Energieverbrauch bis zum Erreichen der Höchstkraft ist bei diesen Nägeln erheblich größer als bei den runden Drahtstiften. Ein geradliniger Anstieg besteht aber nicht bis zur Höchstlast. Bei stärkerer Vergrößerung des Maßstabes für den Ausziehweg wird deutlich, daß diese Nägel eine gewisse "Proportionalitätsgrenze" bei einem Ausziehweg von etwa 0,5 mm besitzen (siehe Bild 17). Von dieser Grenze an beginnt der Nagel sich aus dem Holz herauszuziehen, wobei er sich zum Teil

etwas dreht, zum Teil aber auch unmittelbar die umgebende Holzsubstanz aus ihrem Gefüge herausreißt (Holzbelag am ausgezogenen Nagel feststellbar). Andere Schraubnägeln, deren Kraft-Ausziehweg-Diagramme in Bild 18 bis 20 dargestellt sind, zeigen eine deutlich ausgeprägte "Proportionalitätsgrenze" und oberhalb dieser einen oft unruhigen Kraftverlauf während des eigentlichen Ausziehvorganges. Bei den Nageltypen D2 und D4 fällt die im Vergleich zu den anderen Typen hohe Auszieharbeit auf. Die Diagramme in Bild 21 zeigen, daß bei dieser Nagelgruppe an der "Proportionalitätsgrenze" die Nägel um einige Zehntelmillimeter ohne Kraftanstieg herausgezogen werden und erst später eine noch beträchtliche Kraftsteigerung bis zur Höchstkraft $\max Z$ einsetzt. Schließlich enthält das Bild 22 die Auszieh-Diagramme des Ringnutnagels Typ A3 sowie die ähnlichen Diagramme der Nägel mit einem Anstiegswinkel des Gewindes von weniger als 20° . Bei diesen Typen ist die "Proportionalitätsgrenze" wiederum nur wenig ausgeprägt und liegt bei einem Ausziehweg von etwa 0,5 mm.

4.3.2. Maximale Haftkräfte und "Proportionalitätsgrenzen"

Die Tabellen 6 bis 8 enthalten die statistischen Auswertungen der Versuchsergebnisse der Hauptversuche mit den Sondernägeln sowie die Größen A_0 und A_p nach den Gln. (1) und (2), jeweils aus den Mittelwerten und den 5%-Fraktilen berechnet. Die Werte A_0 schwanken zwischen 34 und 67 kp/cm^2 (Mittelwert) bzw. zwischen 24 und 59 kp/cm^2 (5%-Fraktilen) erheblich; ähnlich groß sind die Streubereiche bei den Werten A_p zwischen 15 und 36 kp/cm^2 (Mittelwert) bzw. 11 und 30 kp/cm^2 (5%-Fraktilen). Wenn man die Nageltypen A3, A7, B5 und D1 mit einem Anstiegswinkel des Gewindes von $\alpha < 20^\circ$ sowie die Nageltypen A4, A5 und D3 mit einer Zugfestigkeit des Nageldrahtes über 100 kp/mm^2

ausnimmt, so verringern sich die Streubereiche erheblich:

A_o (kp/cm ²)		A_p (kp/cm ²)	
Mittel	5%-Fraktile	Mittel	5%-Fraktile
38 - 67	28 - 59	23 - 36	19 - 30

Die Nägel mit extrem hoher Zugfestigkeit des Nageldrahtes haben eine verhältnismäßig niedrige Haftkraft und eine niedrige und deutlich ausgeprägte "Proportionalitätsgrenze". Die beiden 2-gängigen Nägel (Typ D1 und A7) mit Anstiegswinkeln von $17,8^\circ$ bzw. 16° sowie der Ringnutnagel (Typ A3) besitzen zwar keine deutliche "Proportionalitätsgrenze" (vgl. Bild 22), blieben aber mit ihrer Tragfähigkeit hinter den Nägeln mit Gewindesteigungen zwischen 45° und 55° zurück. Beim Nageltyp B5, eingängig mit einem Anstiegswinkel von nur $8,8^\circ$, ist außerdem die "Proportionalitätsgrenze" wieder deutlicher ausgeprägt.

Der weiteren Betrachtung werden nur die Nägel mit einem Anstiegswinkel über 45° zugrunde gelegt. Trennt man diese Gruppe nach ausgeprägter und nicht ausgeprägter "Proportionalitätsgrenze", so zeigt sich, daß im allgemeinen eine deutliche "Proportionalitätsgrenze" bei den Nägeln mit einem Anstiegswinkel $\alpha > 60^\circ$ auftritt. Die maximale Haftkraft dieser Nägel war überwiegend niedriger als die der Nägel mit α zwischen 45° und 55° . Dies gilt sowohl für die Mittelwerte als auch für die 5%-Fraktile (siehe Bild 23 und 24). Eine Regressionsanalyse ergab für die Mittelwerte der maximalen Haftkraft $\max \bar{Z}$ mit einem Bestimmtheitsmaß von $B = 0,81$ die in Bild 23 eingezeichneten Regressionsgeraden. Sie beziehen sich jedoch nur auf den untersuchten Bereich mit Anstiegswinkeln zwischen 45° und 70° .

Betrachtet man die "Proportionalitätsgrenzen" der Nägel mit Anstiegswinkeln zwischen 45° und 70° , so zeigt sich, daß diese bei Nägeln mit α zwischen 45° und 55° nicht so wesentlich über denjenigen bei Nägeln mit $\alpha > 60^\circ$ liegen, wie das bei der maximalen Haftkraft der Fall ist (siehe Bild 25). Da die zulässige Beanspruchung auf Herausziehen stets unterhalb der "Proportionalitätsgrenze" liegen sollte, kommt diesem Wert eine große Bedeutung zu. Bei Langzeitbeanspruchung oberhalb dieser Grenze muß damit gerechnet werden, daß der Nagel sich allmählich herauszieht. Das Langzeitverhalten muß aber einer gesonderten Untersuchung vorbehalten bleiben.

Die Ergebnisse der Ausziehversuche mit den runden Drahtstiften nach DIN 1151, die vergleichsweise in der Hauptversuchsreihe mit durchgeführt wurden, sind in Tabelle 9 zusammengestellt. Bei diesem Nageltyp fallen die Höchstkraft $\max Z$ und die "Proportionalitätsgrenze" Z_p zusammen (vgl. Bild 13). Die Ergebnisse wurden bei der Aufstellung der Gl. (6) verwendet.

4.3.3. Oberflächenbeschaffenheit der Nägel

Die Oberflächenbeschaffenheit der Nägel, ob blank, verzinkt oder kadmiert, sowie die mikroskopische Rauigkeit beeinflussen die Haftkraft der Nägel zusätzlich. Es war im Rahmen dieser Untersuchungen jedoch nicht möglich, hierüber eindeutige Aussagen zu gewinnen.

Die meisten der untersuchten Nägel waren blank. Die Schraubnägeln Typ B1, B2 und B3 besaßen die gleiche Form, unterschieden sich jedoch in der blanken, kadmierten bzw. verzinkten Oberfläche. Die Nägel C1 und C2 unterschieden sich ebenfalls nur durch eine blanke bzw. kadmierte Oberfläche. Die maximalen Haftkräfte des verzinkten Nagels B3 lagen deutlich höher

($\bar{A}_0 = 63,1 \text{ kp/cm}^2$) als die des blanken Nagels B1 ($\bar{A}_0 = 53,1 \text{ kp/cm}^2$), während der kadmierte Nagel B2 mit $\bar{A}_0 = 56,6 \text{ kp/cm}^2$ dazwischen lag. Hinsichtlich ihrer "Proportionalitätsgrenzen" waren dagegen diese drei Nageltypen mit $\bar{A}_p = 27,9$ bis $29,8 \text{ kp/cm}^2$ nahezu gleichwertig.-Bei den Nägeln C1 und C2 ergab sich für den kadmierten Nagel C2 sowohl in der maximalen Haftkraft als auch in der "Proportionalitätsgrenze" ein Abfall von etwa 10% gegenüber dem blanken Nagel C1.- Bei den dickeren Schraubnägeln lassen sich die Typen B6 (blank) und B7 (verzinkt) nur bedingt vergleichen, da sie sich im Anstiegswinkel α unterscheiden. Es zeigte sich aber auch hier, daß der verzinkte Nagel B7 trotz des günstigen Anstiegswinkels eine geringere Haftkraft max Z, vor allem aber eine um über 20% niedrigere "Proportionalitätsgrenze" besaß.

Zur weiteren Klärung wurden von diesen sieben Schraubnägeln sowie von drei runden Drahtstiften fotografische Aufnahmen gemacht, bei denen die Schaftoberfläche 15-fach vergrößert war (Bild 26 bis 35). Bei den runden Drahtstiften fällt dabei auf, daß der am stärksten gezogene Draht des Typs 28 x 65 anscheinend die geringste Oberflächenrauigkeit besitzt, wodurch wohl in erster Linie der im Vergleich zu den beiden anderen runden Drahtstiften niedrigere A_0 -Wert bedingt war (vgl. Tabelle 9). Aus den Bildern der Schraubnägeln läßt sich jedoch kein wesentlicher Unterschied bezüglich der Oberflächenrauigkeit erkennen. Es muß aufgrund der Versuchsergebnisse angenommen werden, daß andere Einflüsse - vor allem die mechanische Bettung des profilierten Schaftes im Holz - den Rauigkeitseinfluß auf die Haftkraft bei Schraubnägeln überdecken.

5. Vergleichsversuche für einen Sparrennagel

Mehrere Entwicklungsstufen eines Sparrennagels mit schraubenförmig ausgebildetem Schaft wurden jeweils im Vergleich mit einem in den USA entwickelten Schraubnagel (siehe [1]) und dem runden Drahtstift 55 x 160 DIN 1151 untersucht. Auch glattschaftige, sog. "Rohlinge" des Sparrennagels wurden mit in die Untersuchungen einbezogen. Aus den verschiedenen Entwicklungsstufen ergaben sich wichtige Aufschlüsse über eine zweckmäßige Schaftform von Schraubnägeln.

5.1. Erste Entwicklungsstufe

Die ersten Vergleichsversuche wurden an Sparrennägeln mit den Abmessungen nach Tabelle 10, Zeile 1, durchgeführt. Die Maße des amerikanischen Schraubnagels sind zum Vergleich in Zeile 5 dieser Tabelle angegeben. Mit beiden Nageltypen sowie dem Rohling ($d_n = 5,5$ mm) und dem runden Drahtstift 55 x 160 DIN 1151 wurden je 5 Ausziehversuche bei einer Einschlagtiefe von $s = 80$ mm in Fichtenholz mit einer Rohdichte von $0,43$ g/cm³ bei $u = 13,5\%$ durchgeführt. Die extrem unterschiedlichen Kraft-Ausziehweg-Diagramme (Bild 36) und die großen Unterschiede in der maximalen Haftkraft $\max Z$ (Tabelle 11) ließen auf eine unzureichende Schaftform dieser ersten Entwicklungsstufe des Sparrenschraubnagels schließen. Die stark ausgeprägte "Proportionalitätsgrenze" ließ vermuten, daß der Anstiegswinkel α des Gewindes zu hoch und das Verhältnis von Außendurchmesser d_1 zu Kerndurchmesser d_k mit $d_1/d_k = 1,35$ zu groß war. Außerdem besaß das Gewinde einen sehr scharfkantigen Grat. Schon die Abarbeitung des Grates um $0,2$ mm, so daß d_1 nur noch $6,1$ mm betrug, ergab bei einem Ergänzungsversuch eine Erhöhung der maximalen Haftkraft auf $\max Z = 550$ kp und eine weniger stark ausgeprägte "Proportionalitätsgrenze" bei etwa $Z_p = 465$ kp.

Der unmittelbare Vergleich des Rohlings des Sparrenschraubnagels mit dem runden Drahtstift nach DIN 1151 ergab für den Rohling einen um etwa 40% niedrigeren Auszieh Widerstand. Dies dürfte in erster Linie durch die ungünstige Oberflächenbeschaffenheit des Nagelschaftes bedingt sein.

5.2. Zweite und dritte Entwicklungsstufe

Bei der zweiten Entwicklungsstufe wurde das Verhältnis von d_1/d_k auf 1,26 reduziert. Die Ausziehversuche im gleichen Holz wie bei der 1. Entwicklungsstufe zeigten jedoch keine Verbesserung und lagen erneut etwa 50% unterhalb der maximalen Haftkraft des Vergleichsnagels aus den USA. Auch die Form des Kraft-Ausziehweg-Diagrammes hatte sich nicht verändert. Das Hauptaugenmerk wurde daher auf eine Verringerung des Winkels α der Gewindesteigung und eine Verbesserung der Oberflächenbeschaffenheit gelegt.

Die dritte Entwicklungsstufe führte durch eine erhebliche Reduzierung der Gewindesteigung und eine Oberflächenvergütung des fertigen Schraubnagels durch ein Öl- oder Salzbad zu dem gewünschten Erfolg. Das Kraft-Ausziehweg-Diagramm dieses Nagels ähnelte dem des US-Nagels. Die Haftkraft \bar{Z} lag im Mittel nur 3% unter der des US-Nagels.

5.3. Endstufe

Schließlich wurden die Nagelabmessungen (siehe Tabelle 10, Zeile 4) und die Werkstoffeigenschaften endgültig festgelegt und ein umfangreiches Versuchsprogramm durchgeführt, welches die wichtigen Einflüsse der Einschlagtiefe, des Holzfeuchtigkeitsgehaltes und der Zeit zu klären hatte. Es bestätigten sich die Erkenntnisse aus früheren Untersuchungen [1], so daß für diesen Nageltyp inzwischen eine allgemeine bauaufsichtliche

Zulassung erteilt werden konnte [2] . Hiernach kann der Nagel auf Herausziehen in Abweichung zu den Bestimmungen der DIN 1052 auch für ständige Lasten als tragend herangezogen werden und darf mit mehr als der doppelten Kraft runder Drahtstifte nach DIN 1151 von gleichem Schaftdurchmesser beansprucht werden, ohne daß bei halbtrockenem Holz wegen der Gefahr nachträglicher Holzaustrocknung eine Abminderung gefordert werden muß (siehe [2]).

6. Zusammenfassung

Vergleichende Ausziehversuche mit Sondernägeln von 2,7 bis 4,2 mm Schaftdurchmesser hatten zum Ziel, neben dem Einfluß der Holzrohddichte insbesondere die Bedeutung der Nagelform für die Haftkraft der Nägel zu untersuchen. Dabei konnten früher festgestellte Einflußfaktoren, wie Einschlagtiefe, Zeit zwischen Einschlagen und Ausziehen, Holzfeuchtigkeitsgehalt und Holzaustrocknung außer acht gelassen werden.

Die Untersuchungen führten zu den nachfolgend im einzelnen beschriebenen Schlußfolgerungen:

1. Bei allen Nägeln hat die Rohddichte des Holzes einen großen Einfluß auf die Haftkraft. Dies gilt in erhöhtem Maße für runde Drahtstifte, aber auch für alle Sondernageltypen. Es muß bei Tragfähigkeitsuntersuchungen daher stets die Rohddichte des Versuchsholzes bestimmt werden, um für die unteren Grenzbereiche der Rohdichten von Bauholz die zu erwartenden Ausziehungswerte abschätzen zu können, wenn nicht für die Versuche bereits entsprechendes Holz herangezogen wird.

2. Das Ausziehverhalten der verschiedenen Sondernageltypen ist sehr unterschiedlich, wie aus den Kraft-Ausziehweg-Diagrammen hervorgeht. Neben der maximalen Haftkraft $\max Z$ muß die "Proportionalitätsgrenze" beachtet werden, bei der

erstmalig deutliche Verschiebungen zwischen Holz und Nagelschaft auftreten. Diese Grenze ist bei den Sondernägeln unterschiedlich deutlich ausgeprägt. Sie ist aber für die Festlegung zulässiger Beanspruchungen von Bedeutung, da oberhalb dieser Grenze unter Langzeitbelastung mit einem allmählichen Herausziehen des Nagels gerechnet werden muß. Bei Sicherheitsbetrachtungen sollte man auch die bis zum Erreichen der Höchstkraft F_{max} benötigte Auszieharbeit beachten.

3. Bezüglich der Schaftform haben sich bei den Schraubnägeln in Fichtenholz die 4-gängigen Nageltypen mit einem Anstiegswinkel des Gewindes von 45° bis 55° als am tragfähigsten erwiesen. Diese Nägel, bei einer Materialzugfestigkeit von 60 bis 80 kp/mm^2 und einem Verhältnis von Außen- zu Kerndurchmesser des Gewindeteiles zwischen 1,3 und 1,6, besitzen im allgemeinen eine nicht deutlich ausgeprägte "Proportionalitätsgrenze" und eine gegenüber runden Drahtstiften mindestens doppelte bis über dreifache maximale Haftkraft.

4. Schraubnägeln mit Anstiegswinkeln über 60° haben sich als weniger tragfähig erwiesen. Das gleiche gilt für Nägel besonders hoher Zugfestigkeit des Nageldrahtes, wenn sie nicht nach Fertigstellung einer zusätzlichen Oberflächenbehandlung unterzogen werden.

5. Die geprüften ein- und zweigängigen Schraubnägeln mit Anstiegswinkeln unter 20° sowie der Ringnut- oder Rillennageln haben ebenfalls nicht die Haftkraft der 4-gängigen Schraubnägeln mit 45° bis 55° Anstiegswinkeln erreicht. Insbesondere für Rillennägeln kann das Ergebnis jedoch nicht verallgemeinert werden, da Vergleichswerte mit anderen Rillennägeln fehlen und hierbei gerade die Formgebung der Rillen von ausschlaggebender Bedeutung sein kann.

6. Da in vielen Anwendungsbereichen im Ingenieurholzbau nur korrosionsgeschützte Nägel verwendet werden dürfen, war es notwendig, den Einfluß eines Oberflächenüberzuges zu untersuchen, zumal anzunehmen war, daß durch die beim Verzinken oder Kadmieren auftretende Aenderung der Oberflächenrauigkeit gegenüber dem blanken Nagel auch der Auszieh Widerstand des Nagels verändert wird. Die Versuchsergebnisse ließen allerdings diesen Einfluß nicht eindeutig erkennen, da er offenbar durch den der Oberflächengestalt überdeckt wird.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die Tragfähigkeit von Sondernägeln bei Beanspruchung in Schaftrichtung je nach Gestalt des Nagelschaftes sehr unterschiedlich ist. Es kann aber eine für die Belange des Ingenieurholzbaues günstige Schaftform angegeben werden. Dabei ist weniger das Verhältnis Außendurchmesser/Kerndurchmesser des Gewindeteiles oder die Rillentiefe von Bedeutung als der Anstiegswinkel des Gewindes. Die Versuchsergebnisse können somit als Grundlage für die Normung von Sondernägeln dienen, die bei Beanspruchungen auf Herausziehen die günstigsten Werte

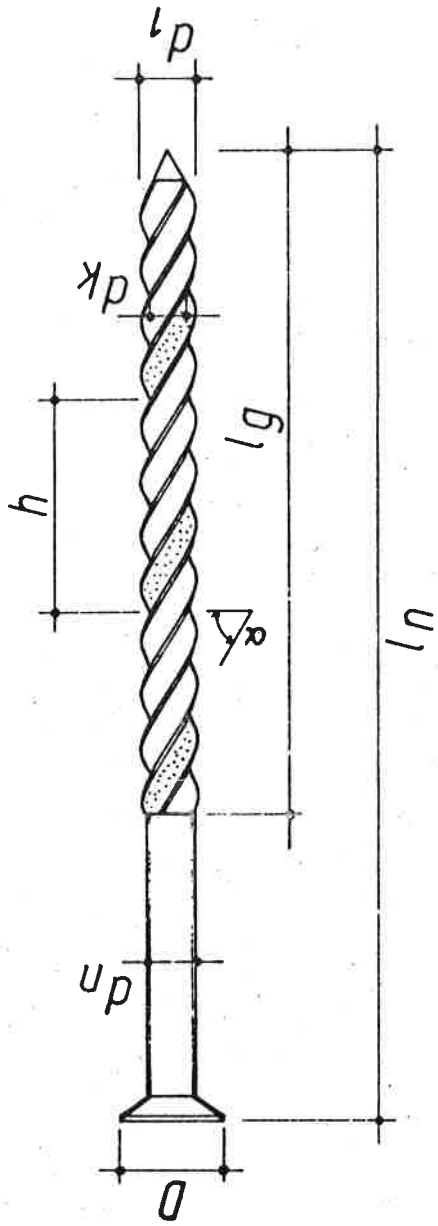
$$\max Z = K \cdot d_n \cdot s \quad \text{in kp}$$

bei europäischem Nadelholz erwarten lassen.

In ergänzenden Untersuchungen müßten dann für diese Nageltypen die Grenzwerte bei Kopfdurchziehen durch die angeschlossenen Werkstoffe (Vollholz oder Holzwerkstoffplatten) ermittelt werden, wobei gegebenenfalls noch unterschiedliche Kopfformen und Kopfabmessungen zu untersuchen wären. Eine Begrenzung der maximalen Haftkraft im Hinblick auf das Abreißen des Nagelschaftes ist aufgrund der bisherigen Versuche mit Nadelholz kaum zu erwarten. Die höchstens in Rechnung zu stellende Einschlagtiefe kann jedoch aufgrund der Zugfestigkeit des Schaftes angegeben werden.

7. Schrifttum

- [1] Möhler, K. u. J. Ehlbeck: Untersuchungen über das Tragverhalten von Sondernägeln bei Beanspruchung auf Abscheren und Ausziehen.
Berichte aus der Bauforschung, Heft 91, Holzbau-Versuche (IV. Teil), Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin 1973.
- [2] Zulassungsbescheid vom 14.11.1973 des Instituts für Bautechnik Berlin, Gesch.Z.: II/21-1.9.1-1955, über die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von BIRA-Sparrennägeln.
- [3] Feldborg, T. u. M. Johansen: Forsög med söms udträksstyrke (Ausziehwiiderstand von Nägeln); Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-Rapport 84, Kopenhagen 1972.

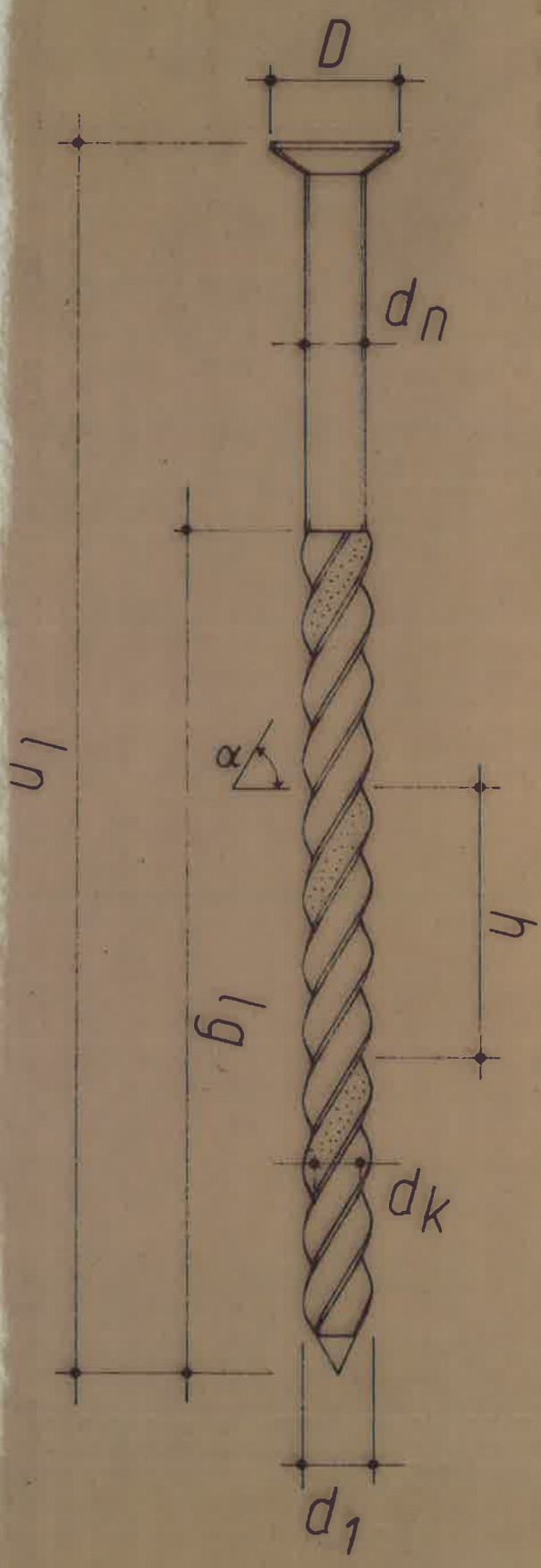


d_n Schaftdurchmesser glatter Teil l_n Nagellänge gesamt
 d_1 Außendurchmesser } Gewindeteil l_g Länge des Gewindeteiles
 d_k Kerndurchmesser } h Ganghöhe des Gewindes
 α Anstiegswinkel des Gewindes D Kopfdurchmesser

Nagelkennzeichnung : $d_n / d_1 \times l_n$

Bild 1: Form und Abmessungen von Sondernägeln (schematisch)

Bild 1: Form und Abmessungen von Sondernägeln (schematisch)



- | | | | | |
|----------|-----------------------------|--------------|-------|-------------------------|
| d_n | Schaftdurchmesser | glatter Teil | l_n | Nagellänge gesamt |
| d_1 | Außendurchmesser | Gewindeteil | l_g | Länge des Gewindeteiles |
| d_k | Kerndurchmesser | | h | Ganghöhe des Gewindes |
| α | Anstiegswinkel des Gewindes | | D | Kopfdurchmesser |

Nagelkennzeichnung : $d_n / d_1 \times l_n$

Bild 1: Form und Abmessungen von Sondernägeln (schematisch)

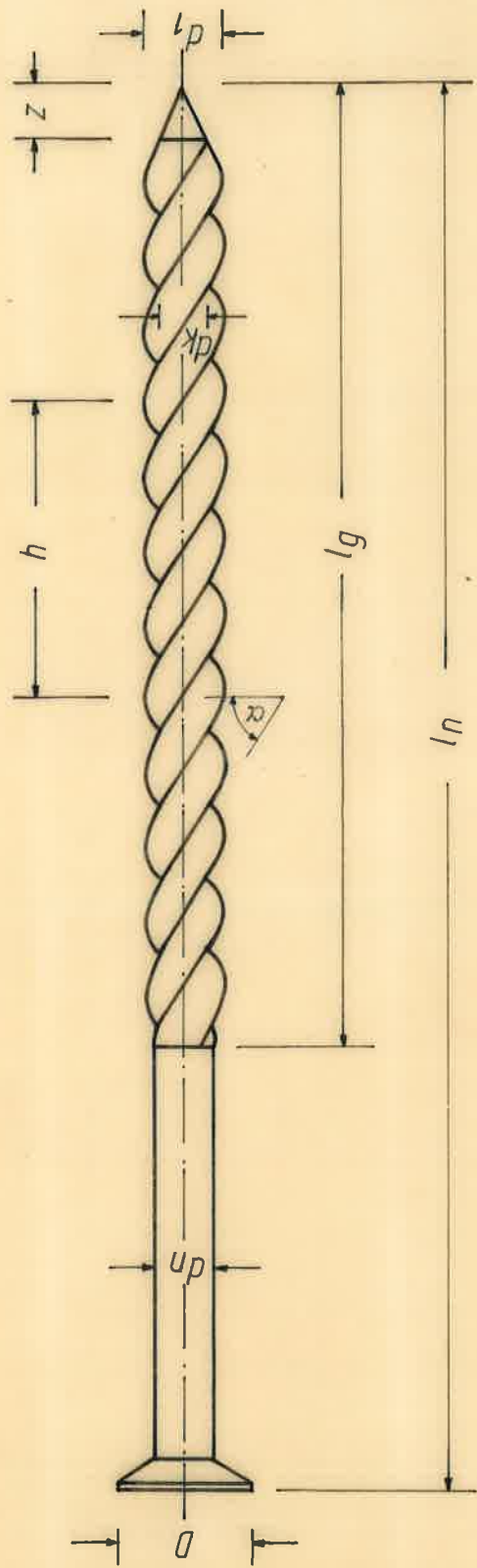


BILD 2: SCHRAUBNAGEL (SCHEMATISCH) MIT BEZEICHNUNGEN DER MASSE.

Bild 2: Sondernägel der Typen
A1, B1, B2, B3 und A2

Bild 3: Sondernägel der Typen
C1, C2, B4, A4 und A5

Bild 4: Sondernägel der Typen
A6, A8, D2, D3 und C3

Bild 5: Sondernägel der Typen
B6, B7, D4 und B8

Bild 6: Sondernägel der Typen
A3, D1, A7 und B5

Bild 7: Runde Drahtstifte nach DIN 1151
28 x 65, 31 x 70 und 42 x 110

Tabelle 2: Eigenschaften des Fichtenholzes für Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Holzrohichte auf die Haftkraft der Nägel - Werte nach Klimatisierung 20/65

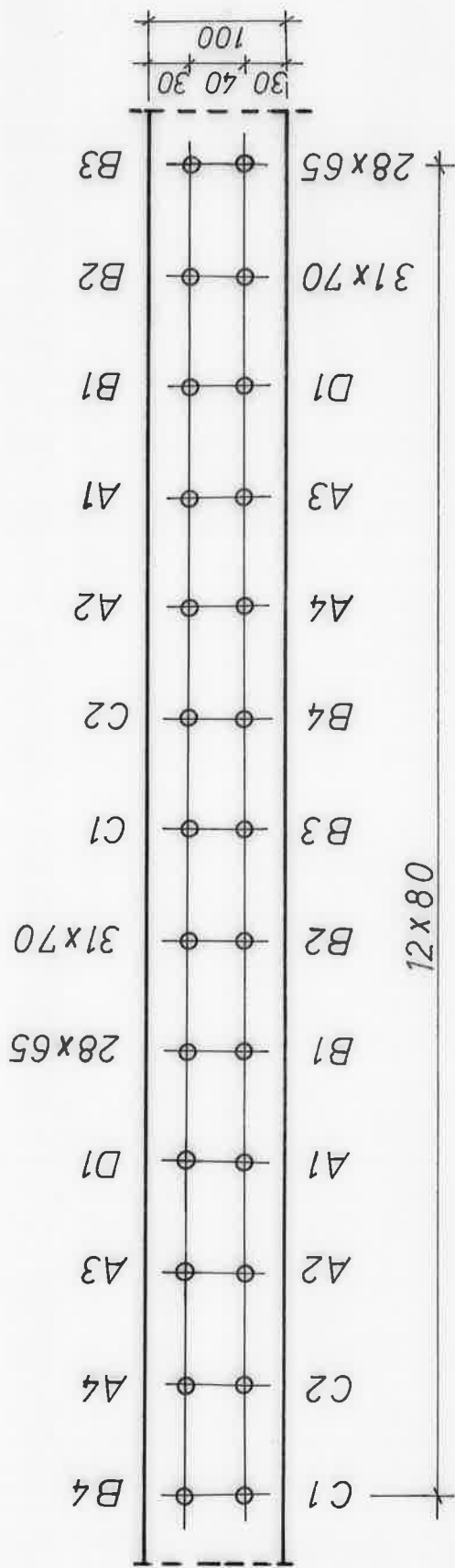
Holz Nr.	Feuchtigkeitsgehalt u %	mittlere Jahrringbreite b mm	Druckfestigkeit ¹⁾ $\sigma_{D }$ kp/cm ²	Rohdichte ¹⁾ r_u g/cm ³
1	11,6	3,6	306	0,345
2	13,9	2,7	372	0,395
3	13,0	2,9	468	0,465
4	13,4	1,4	518	0,490

1) bei dem angegebenen Feuchtigkeitsgehalt

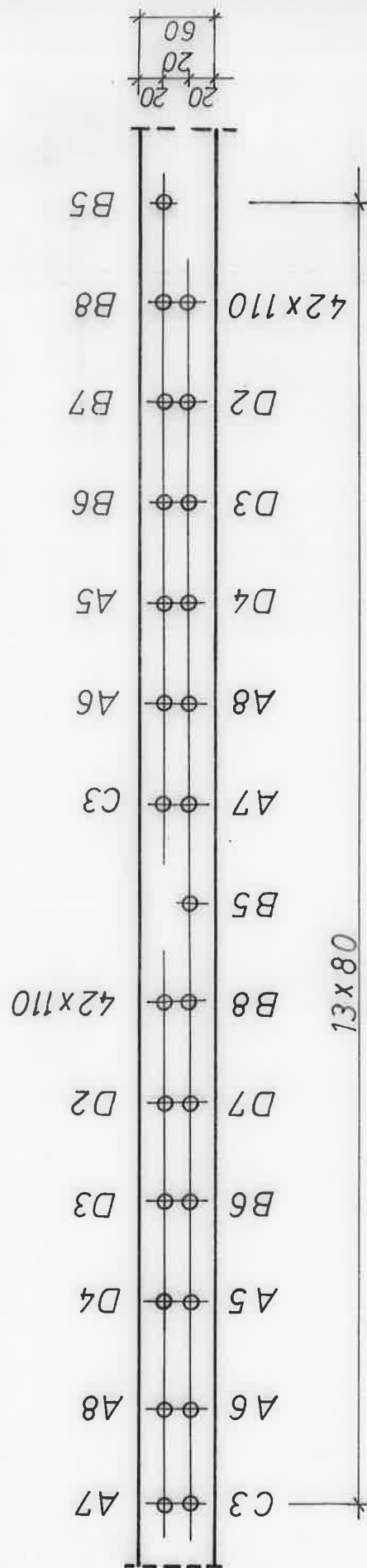
Tabelle 3: Eigenschaften der Hölzer für vergleichende Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Holzart auf die Haftkraft der Nägel

Holzart	Feuchtigkeits- gehalt u %	mittlere Jahr- ringbreite b mm	Druckfestig- ¹⁾ keit $\sigma_{D }$ kp/cm ²	Roh- dichte ¹⁾ r_u g/cm ³
Fichte	16,5	1,7	451	0,48
Buche	17,6	2,3	380	0,66
Eiche	18,1	1,8	543	0,74

1) bei dem angegebenen Feuchtigkeitsgehalt



Ⓐ Nägel mit $d_n \leq 3,4 \text{ mm}$; Einschlagtiefe $s = 40 \text{ mm}$; Holzdicke 60 mm



Ⓑ Nägel mit $d_n \geq 3,4 \text{ mm}$; Einschlagtiefe $s = 50$ bzw. 55 mm ; Holzdicke 100 mm

Bild 8: Nagelschema für die Hauptversuche

Tabelle 4: Haftkräfte verschiedener Nageltypen in Fichtenholz unterschiedlicher Rohdichte r (\bar{x} = Mittelwert, x_5 = 5%-Fraktile, V = Variationskoeffizient)

Nageltyp und Einschlagtiefe s	$r = 0,345 \text{ g/cm}^3$			$r = 0,395 \text{ g/cm}^3$			$r = 0,465 \text{ g/cm}^3$			$r = 0,490 \text{ g/cm}^3$		
	Haftkraft max Z \bar{x}	kp x_5	V %	Haftkraft max Z \bar{x}	kp x_5	V %	Haftkraft max Z \bar{x}	kp x_5	V %	Haftkraft max Z \bar{x}	kp x_5	V %
31x70 DIN 1151 $s = 40 \text{ mm}$	52	30	22,6	80	65	10,4	118	78	18,8	134	98	14,7
42x110 DIN 1151 $s = 50 \text{ mm}$	93	60	19,5	124	99	10,9	173	120	16,6	191	158	9,4
Schraubnagel B 1 $s = 40 \text{ mm}$	114	98	7,5	151	119	11,6	203	174	7,8	226	195	7,4
Schraubnagel B 6 $s = 50 \text{ mm}$	240	199	9,4	348	285	9,8	491	418	8,1	-	-	-
Nagelschraube B 5 $s = 50 \text{ mm}$	178	147	9,4	244	206	8,5	348	310	6,0	400	359	5,4

- 31×70 DIN 1151
- - - 42×110 DIN 1151
- Typ B 1 28/34 × 60 bk
- · - · Typ B 6 42/50 × 90 bk
- · - · Typ B 5 42/47 × 80 bk

$$\max \bar{Z} = \bar{A}_0 \cdot \pi \cdot d_n \cdot s$$

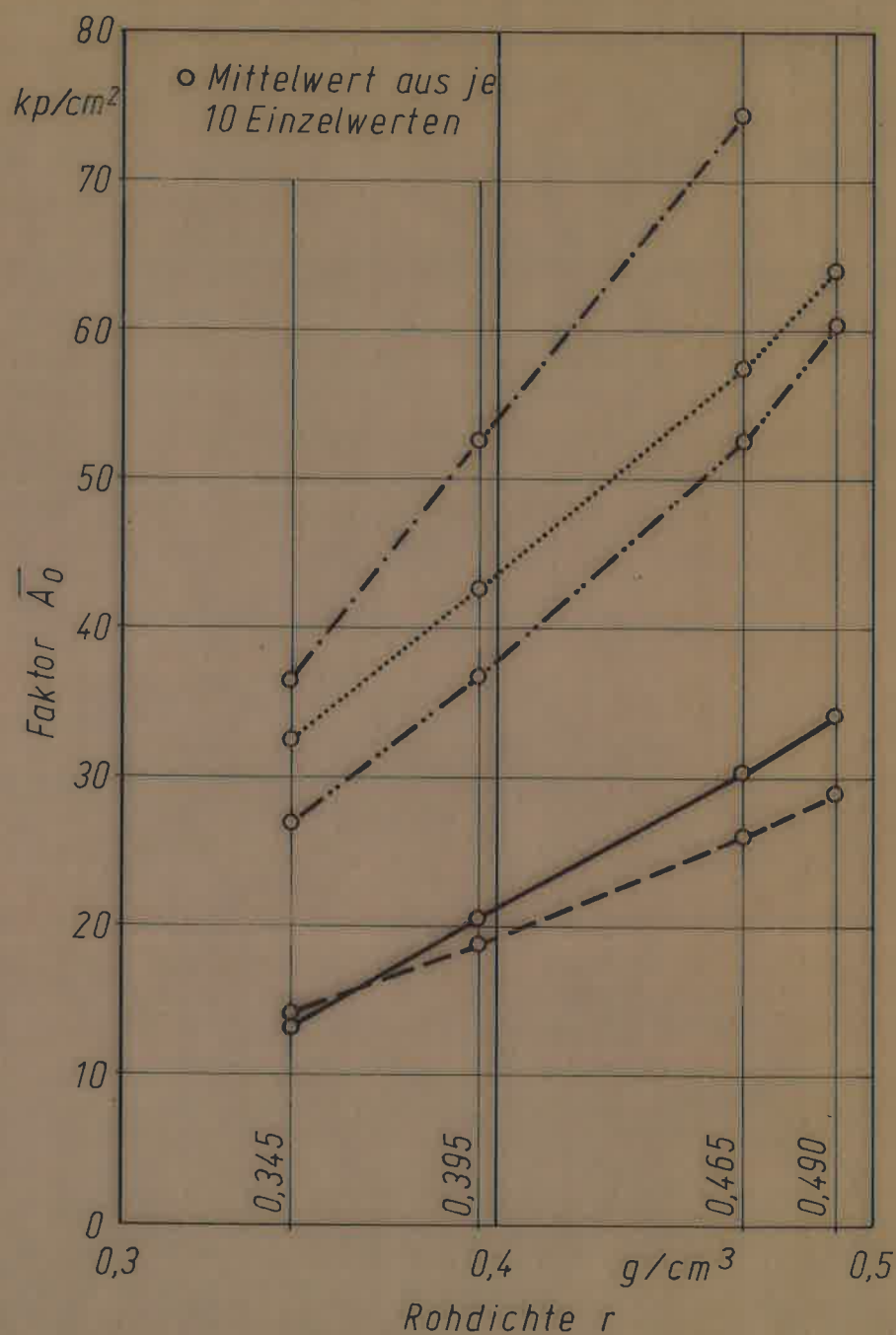


Bild 9: Mittlere maximale Haftkraft $\max \bar{Z}$ einiger Nageltypen in Abhängigkeit von der Rohdichte des Fichtenholzes (Versuchswerte)

- 31×70 DIN 1151
- - - 42×110 DIN 1151
- Typ B 1 28/34 × 60 bk
- · - · Typ B 6 42/50 × 90 bk
- · - · Typ B 5 42/47 × 80 bk

$$\max Z_{(5)} = A_{0(5)} \cdot \pi \cdot d_n \cdot s$$

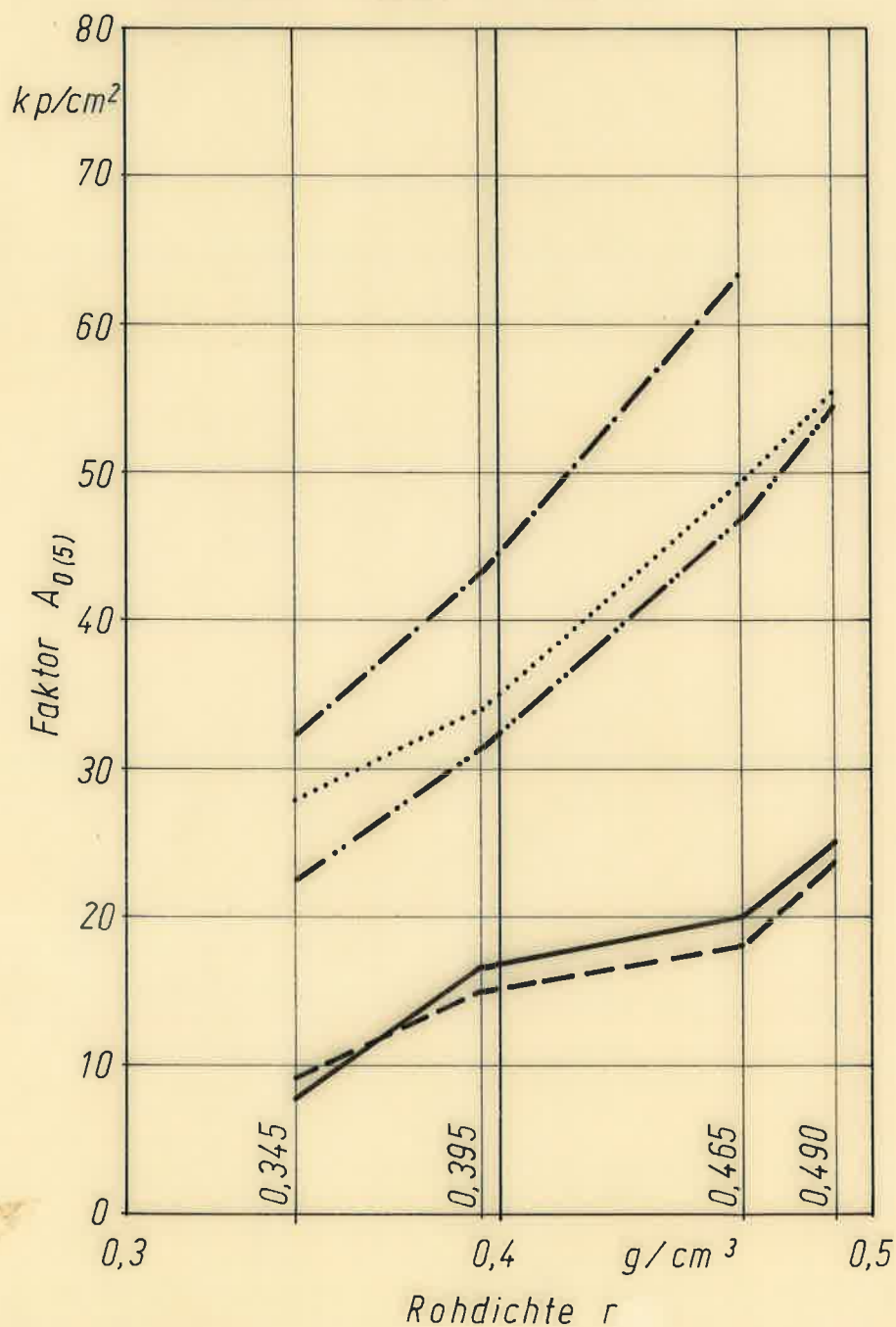


Bild 10: Maximale Haftkraft $\max Z_{(5)}$ einiger Nageltypen in Abhängigkeit von der Rohdichte des Fichtenholzes (5% - Fraktilen)

- Typ A2 28/32 × 65 bk
- - - Typ A4 33/38 × 75 zn
- · - · - Typ A6 35/40 × 75 bk
- Rohling A2, φ 28
- - - Rohling A4, φ 33
- · - · - Rohling A6, φ 35

$$\max \bar{Z} = \bar{A}_0 \cdot \pi \cdot d_n \cdot s$$

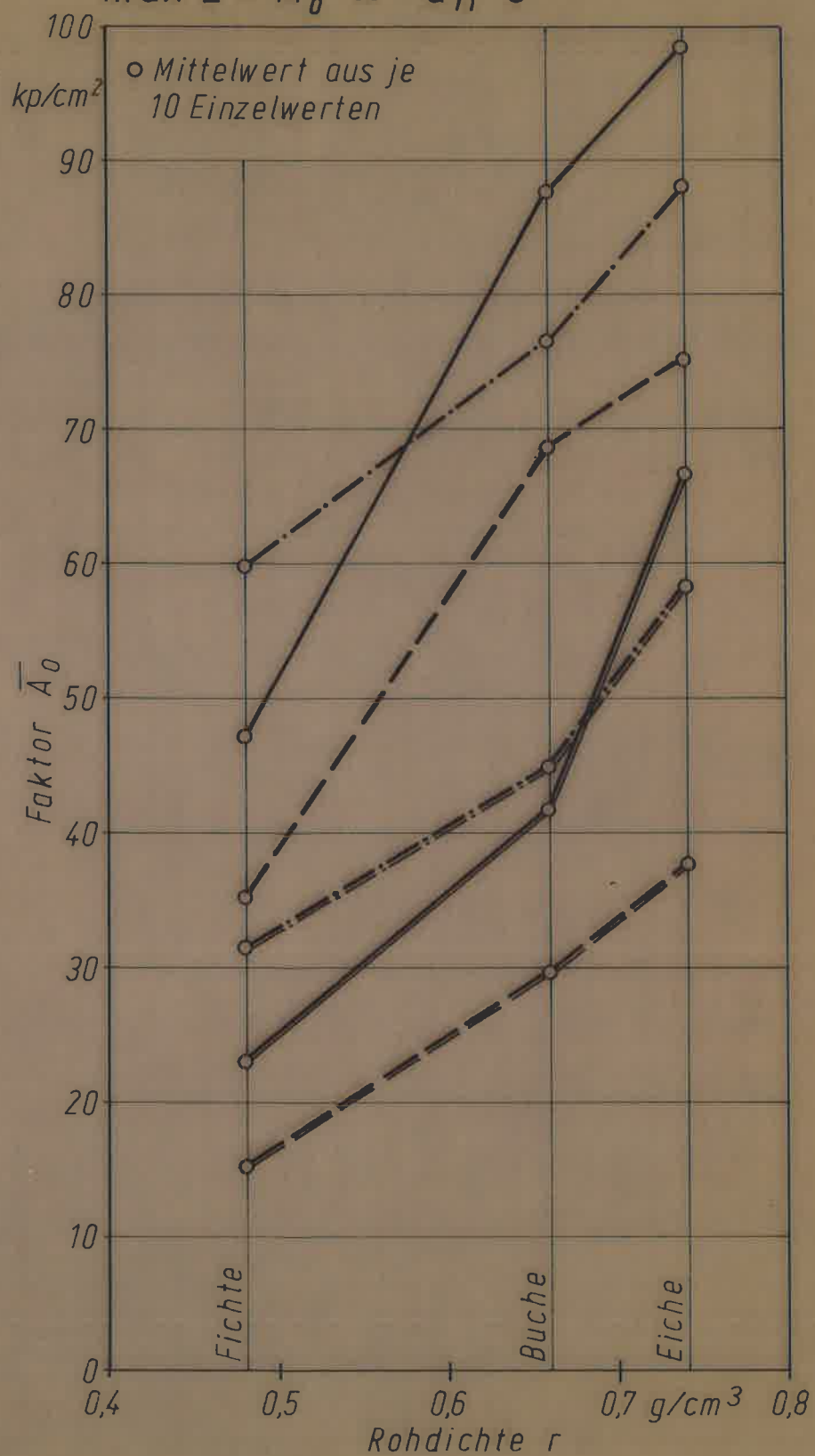


Bild 11: Mittlere maximale Haftkraft $\max \bar{Z}$ einiger Nageltypen in drei verschiedenen Holzarten (Versuchswerte)

- Typ A2 28/32 × 65 bk
- - - Typ A4 33/38 × 75 zn
- · - · Typ A6 35/40 × 75 bk
- Rohling A2, φ 28
- - - Rohling A4, φ 33
- · - · Rohling A6, φ 35

$$\max Z_{(5)} = A_{0(5)} \cdot \pi \cdot d_n \cdot s$$

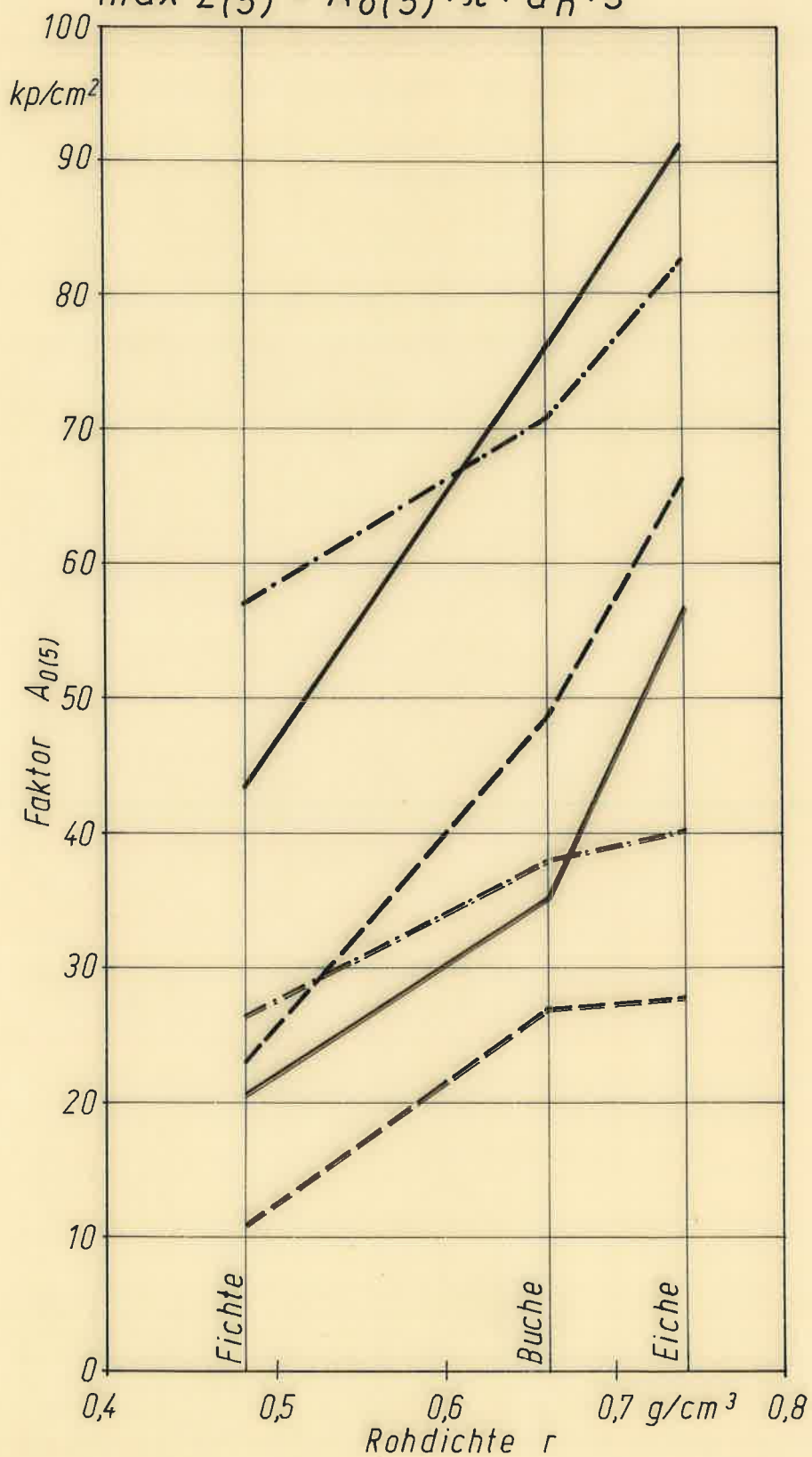
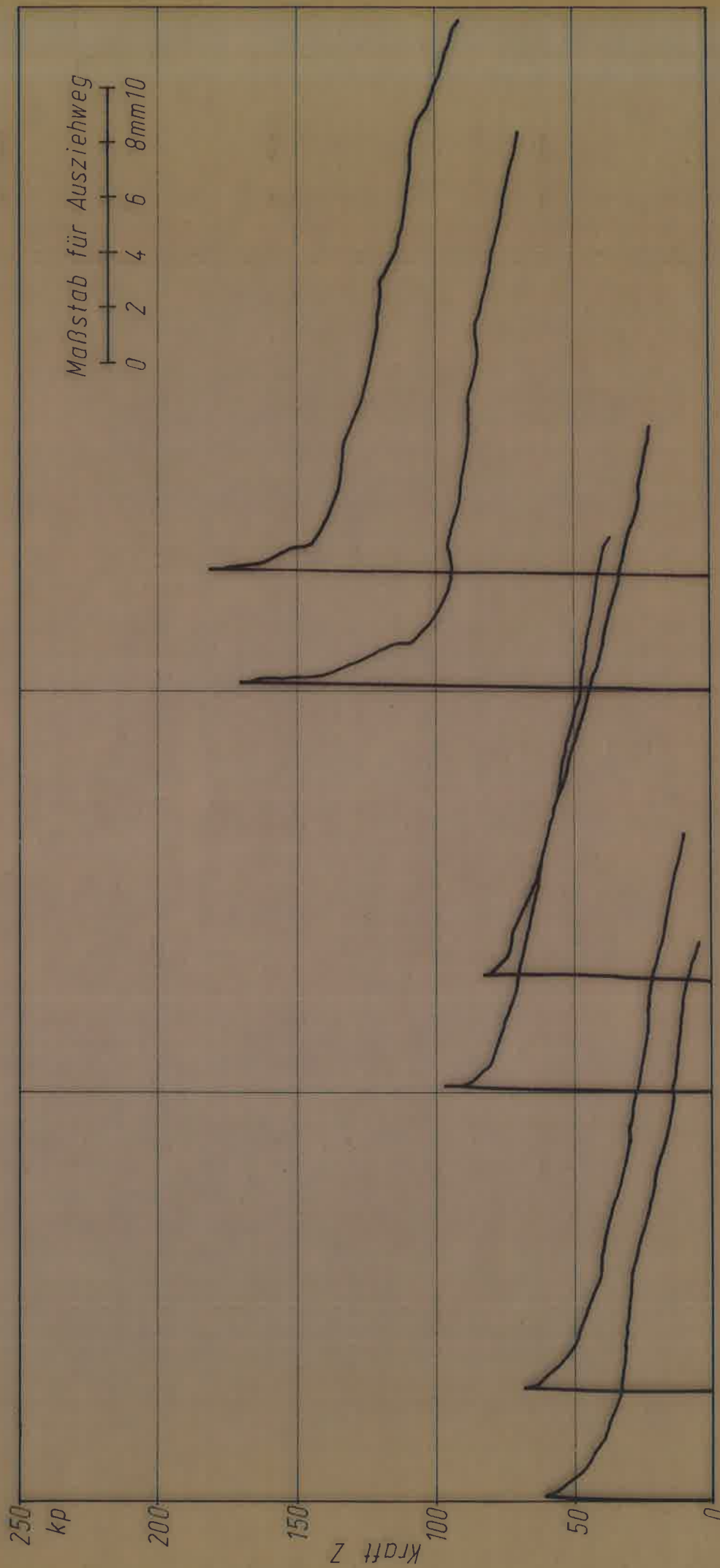


Bild 12: Maximale Haftkraft $\max Z_{(5)}$ einiger Nageltypen in drei verschiedenen Holzarten (5% - Fraktilen)



Typ: 28x65, s = 40 mm

31x70, s = 40 mm

42x110, s = 55 mm

nach DIN 1151

Ausziehweg

Bild 13: Kraft - Ausziehweg - Diagramme runder Drahtstifte in Fichtenholz

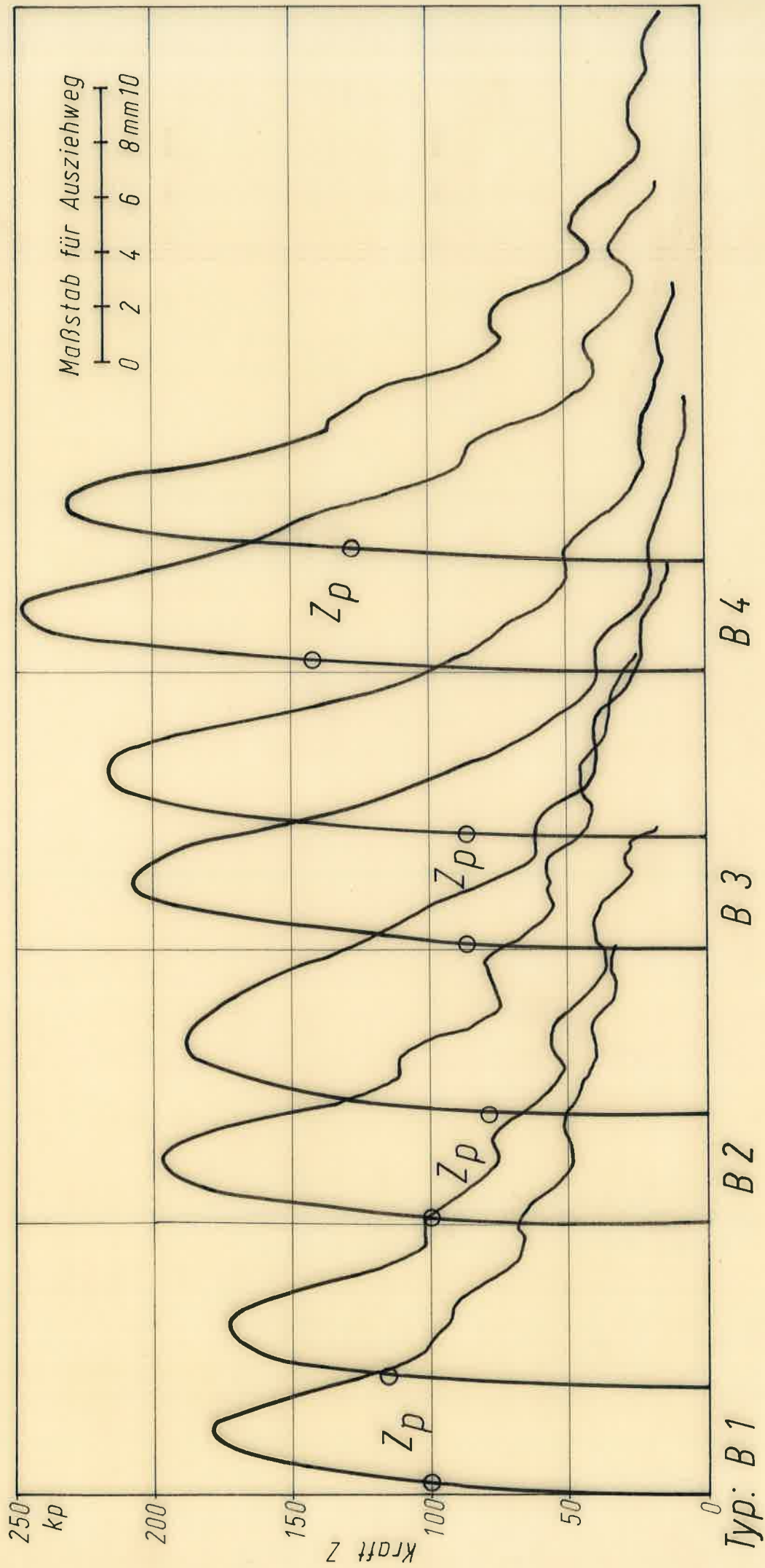


Bild 14: Kraft - Ausziehweg - Diagramme der Nageltypen B 1 bis B 4;
Einschlagtiefe $s = 40 \text{ mm}$; $0,5 \text{ mm}$ Ausziehweg bei Z_p

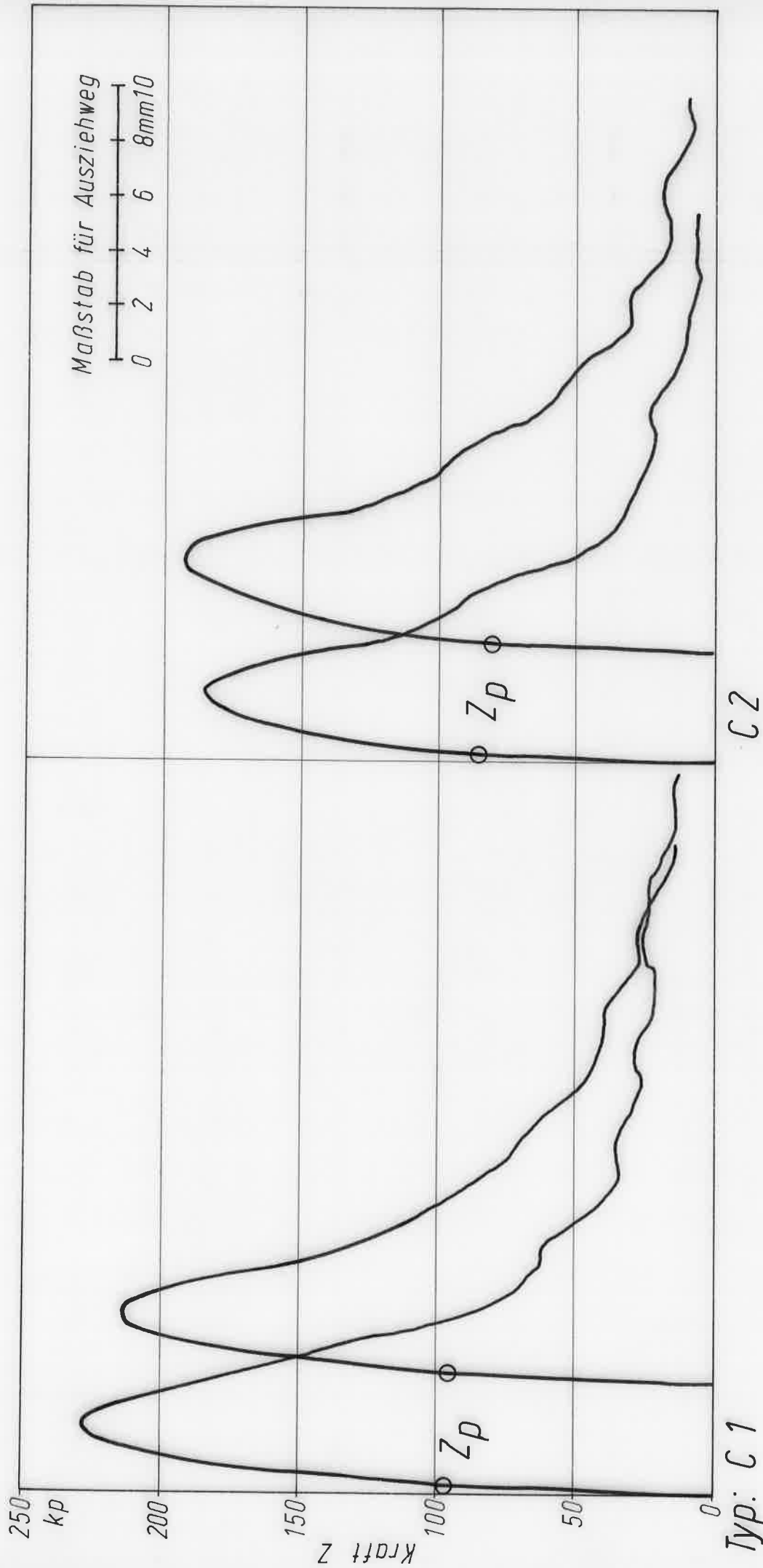


Bild 15: Kraft - Ausziehweg - Diagramme der Nageltypen C1 und C2;
Einschlagtiefe $s = 40$ mm; $0,5$ mm Ausziehweg bei Z_p

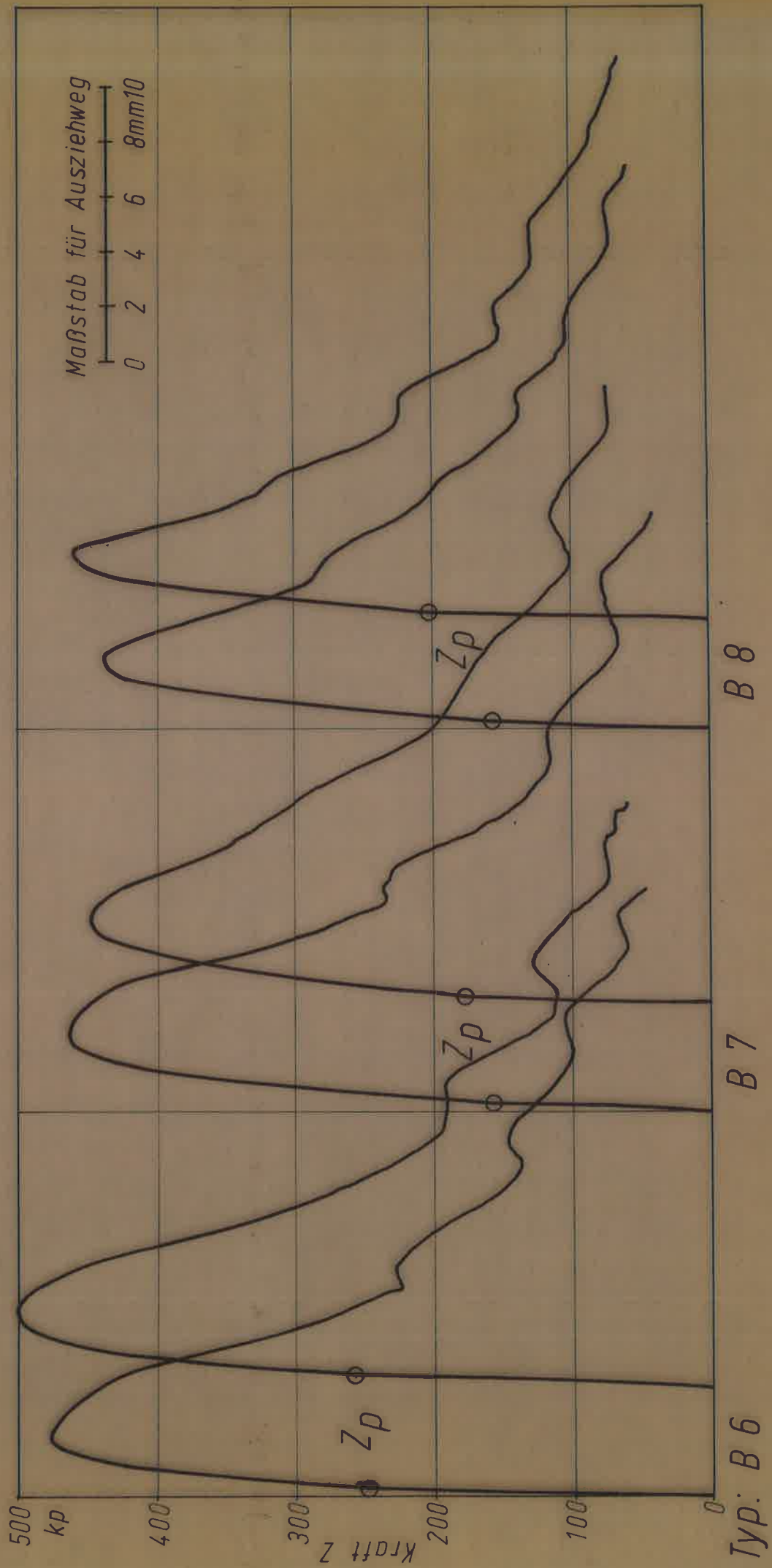
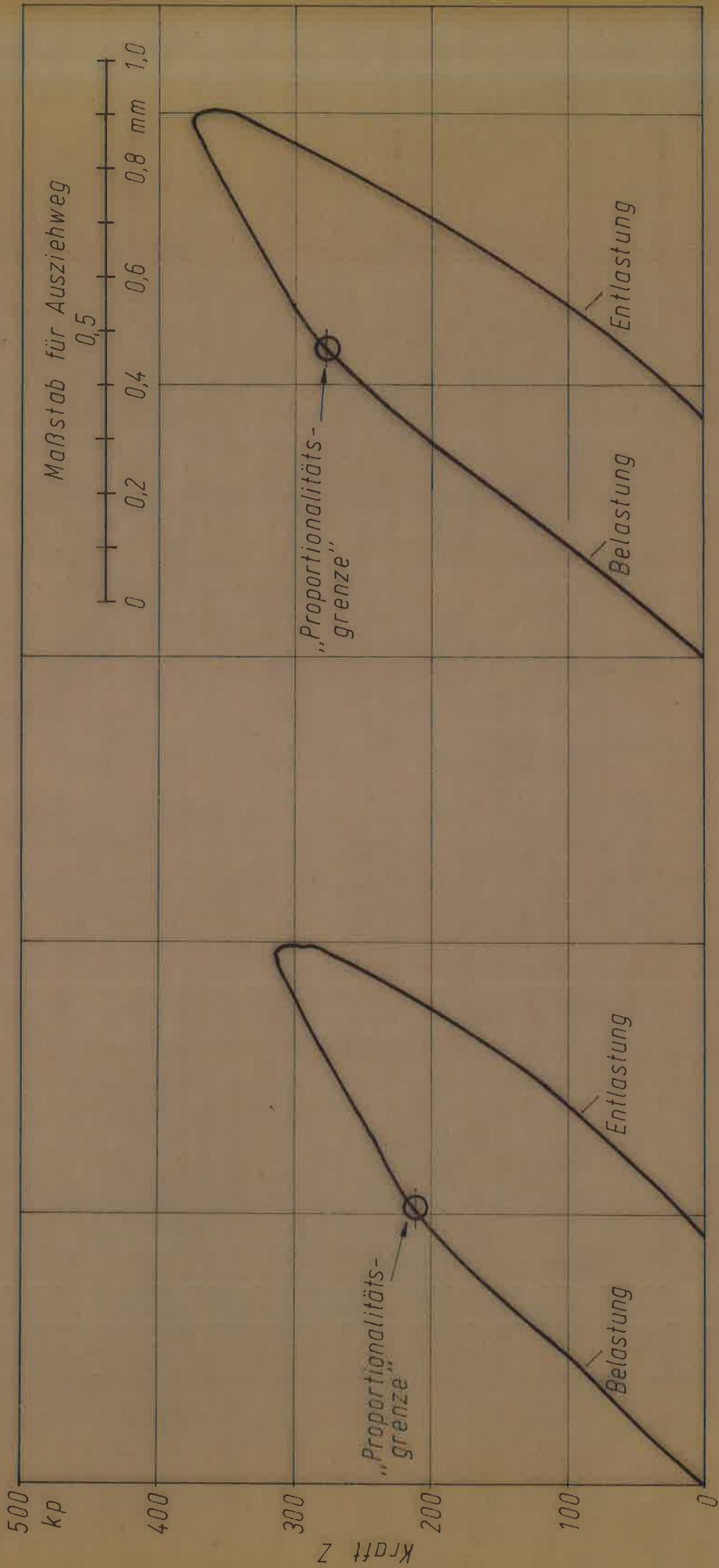


Bild 16: Kraft-Ausziehweg - Diagramme der Nageltypen B 6, B 7 und B 8;
Einschlagtiefe $s = 55 \text{ mm}$; $0,5 \text{ mm}$ Ausziehweg bei Z_p



Ausziehweg

Bild 17: Kraft - Ausziehweg - Diagramme für Nageltyp B 6 bis etwas oberhalb der „Proportionalitätsgrenze“

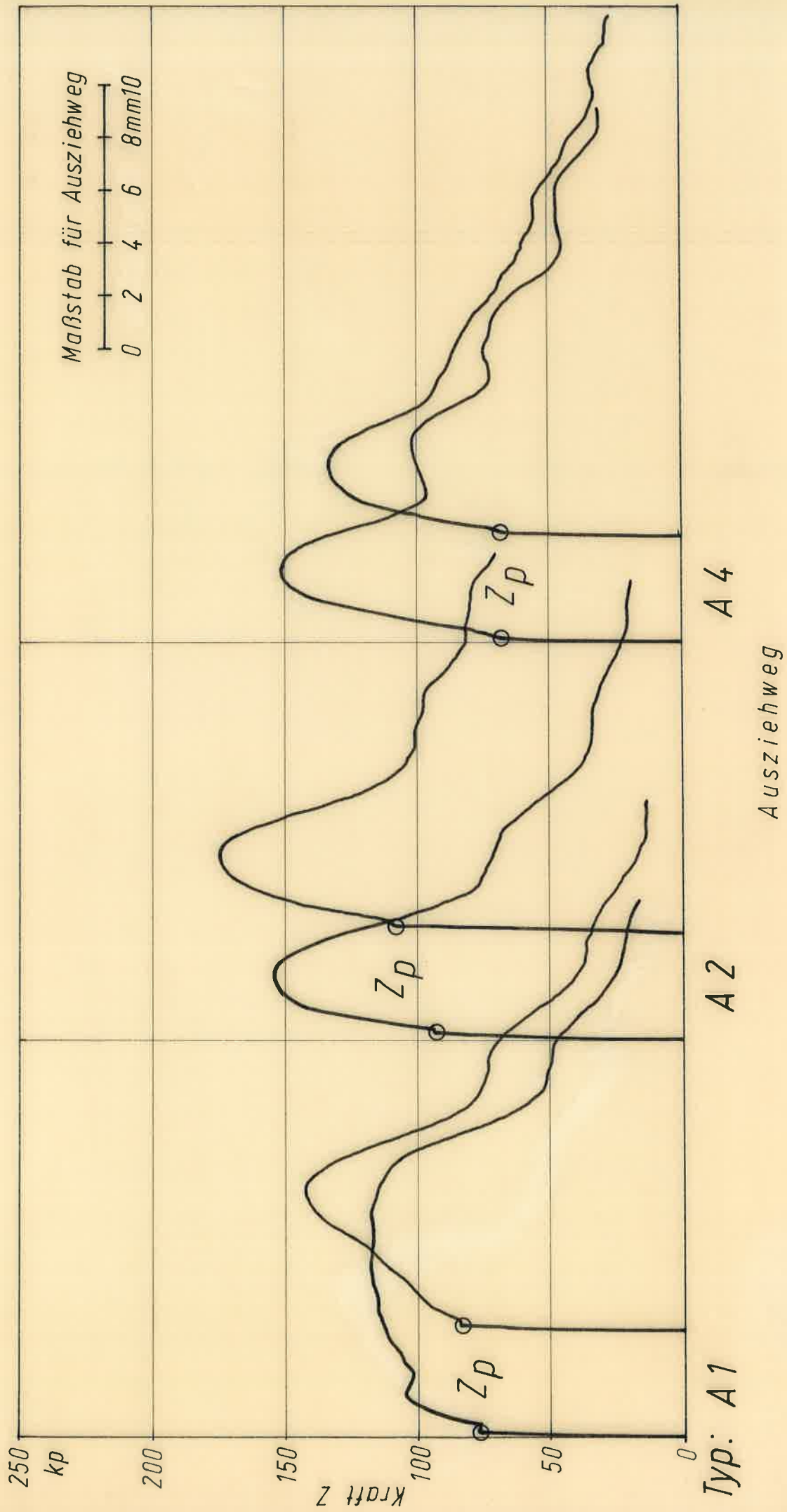


Bild 18: Kraft - Ausziehweg - Diagramme der Nageltypen A1, A2 und A4;
Einschlagtiefe $s = 40 \text{ mm}$

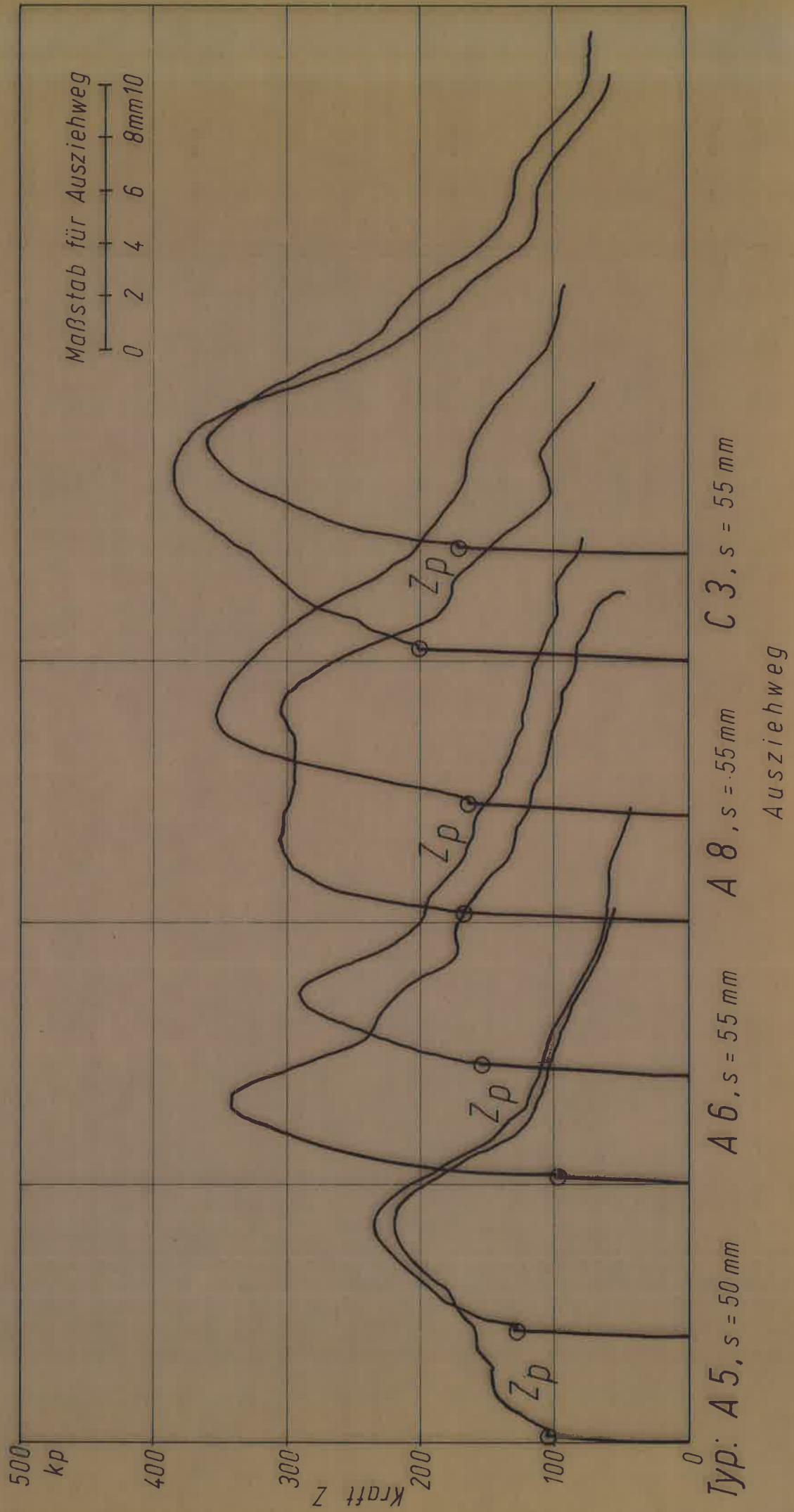


Bild 19: Kraft - Ausziehweg - Diagramme der Nageltypen A5, A6, A8 und C3

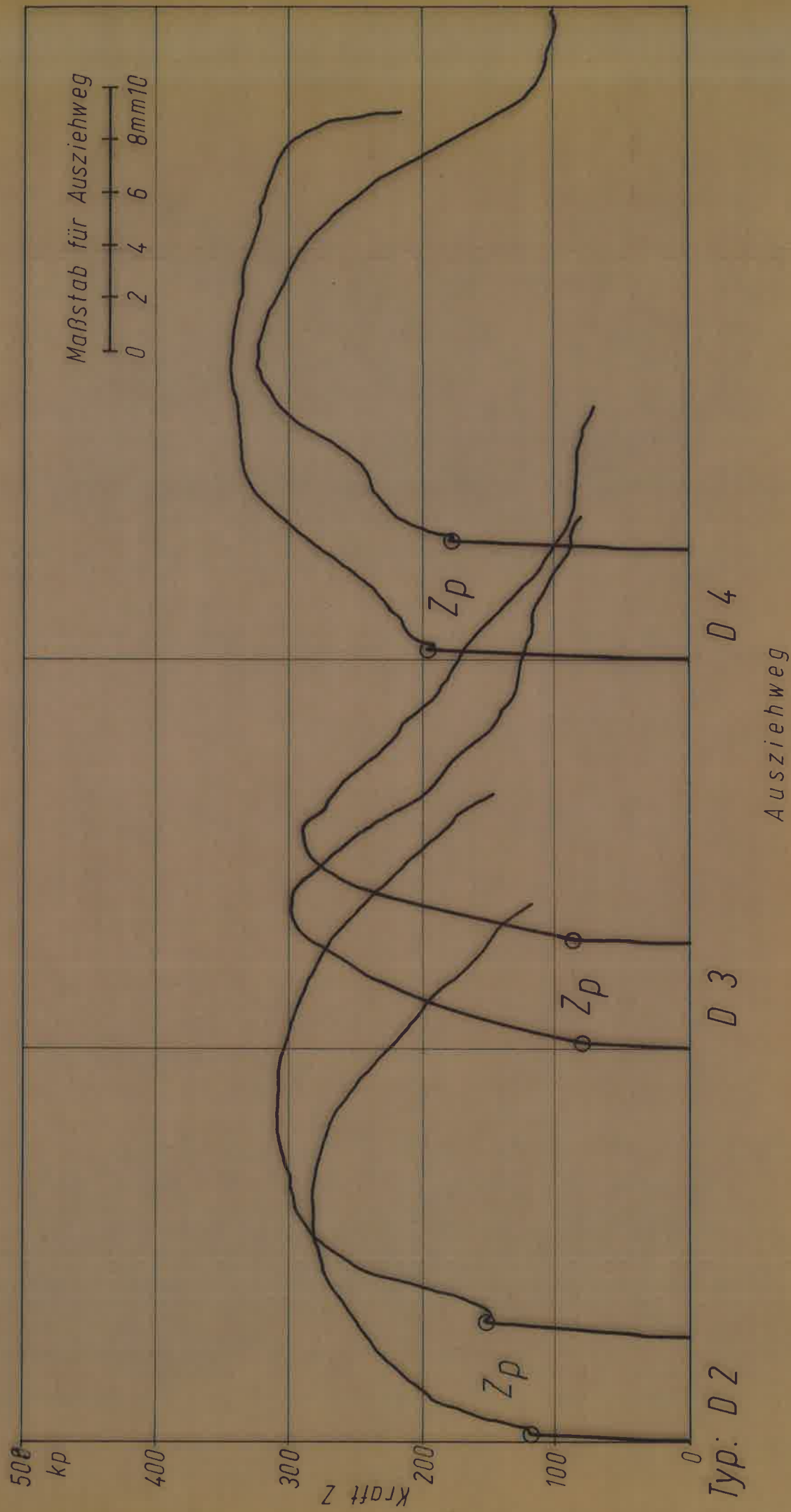


Bild 20: Kraft - Ausziehweg - Diagramme der Nageltypen D2, D3 und D4;
 Einschlagtiefe $s = 55 \text{ mm}$

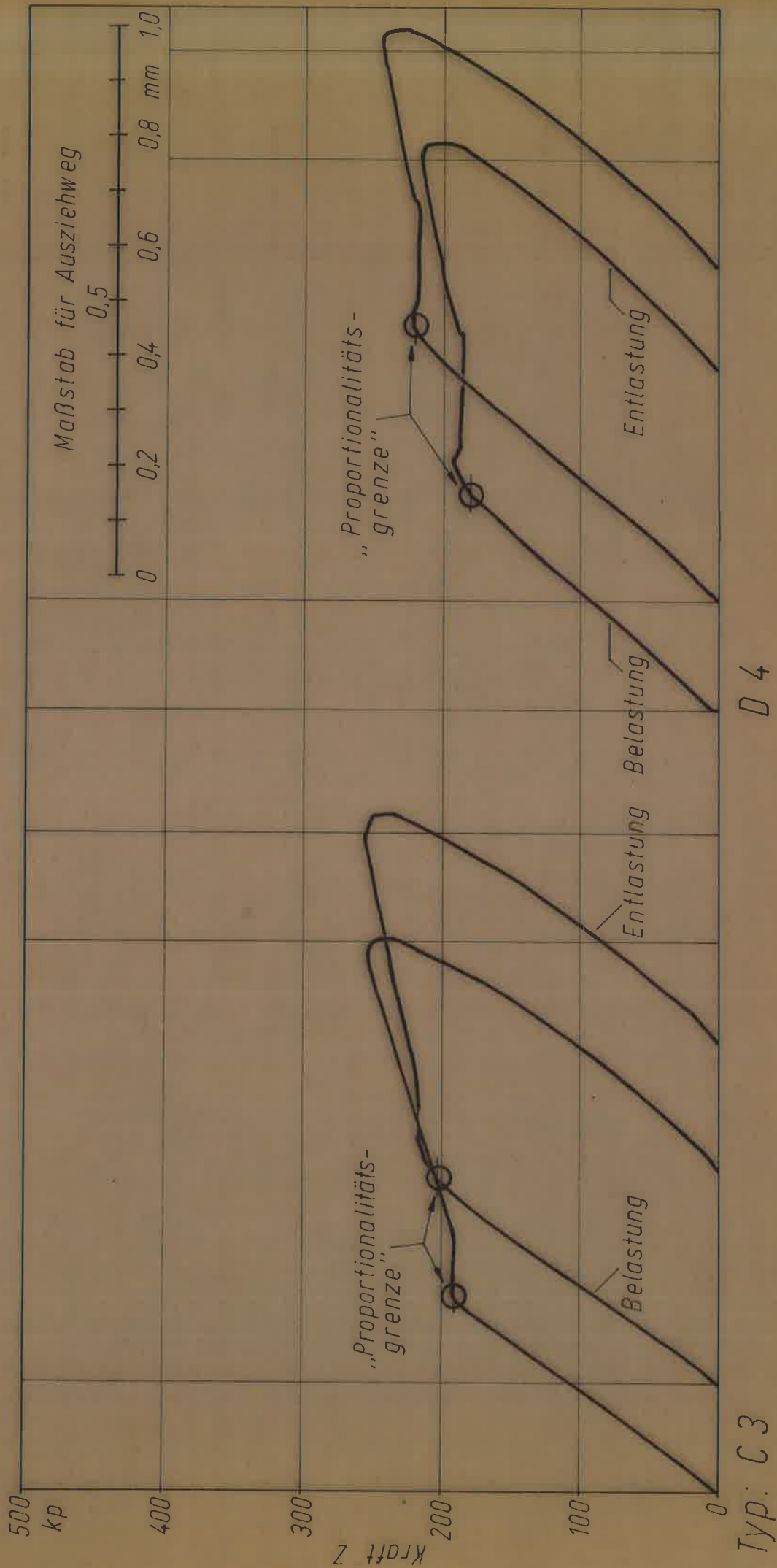


Bild 21: Kraft - Ausziehweg - Diagramme für die Nageltypen C 3 und D 4 bis etwas oberhalb der „Proportionalitätsgrenze“

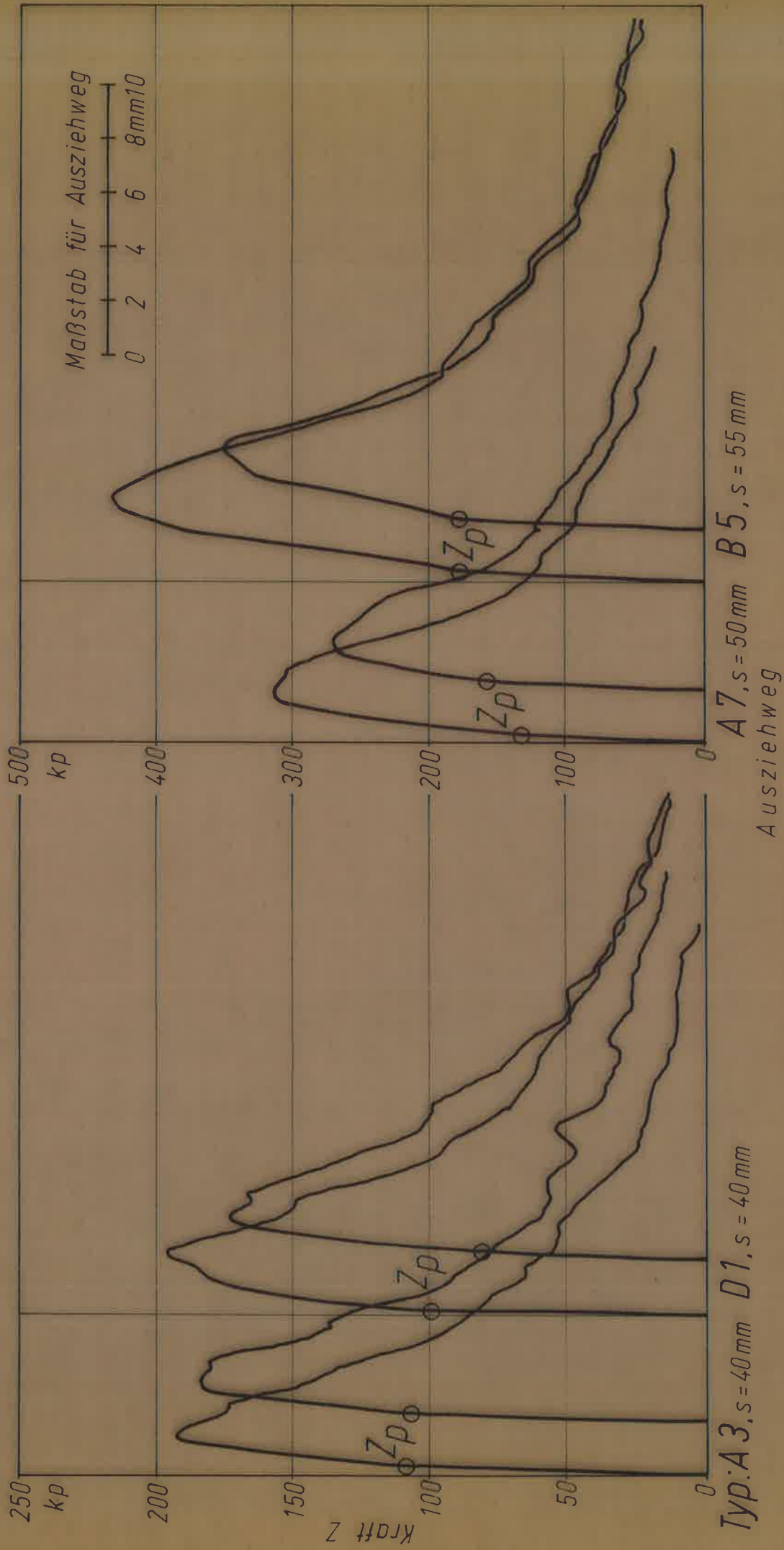


Bild 22: Kraft - Ausziehweg - Diagramme von Schraubnägeln mit $\alpha < 20^\circ$ (Typ D1, A7 und B5) sowie eines Ringnut - Nagels (Typ A3); 0,5 mm Ausziehweg bei Z_p

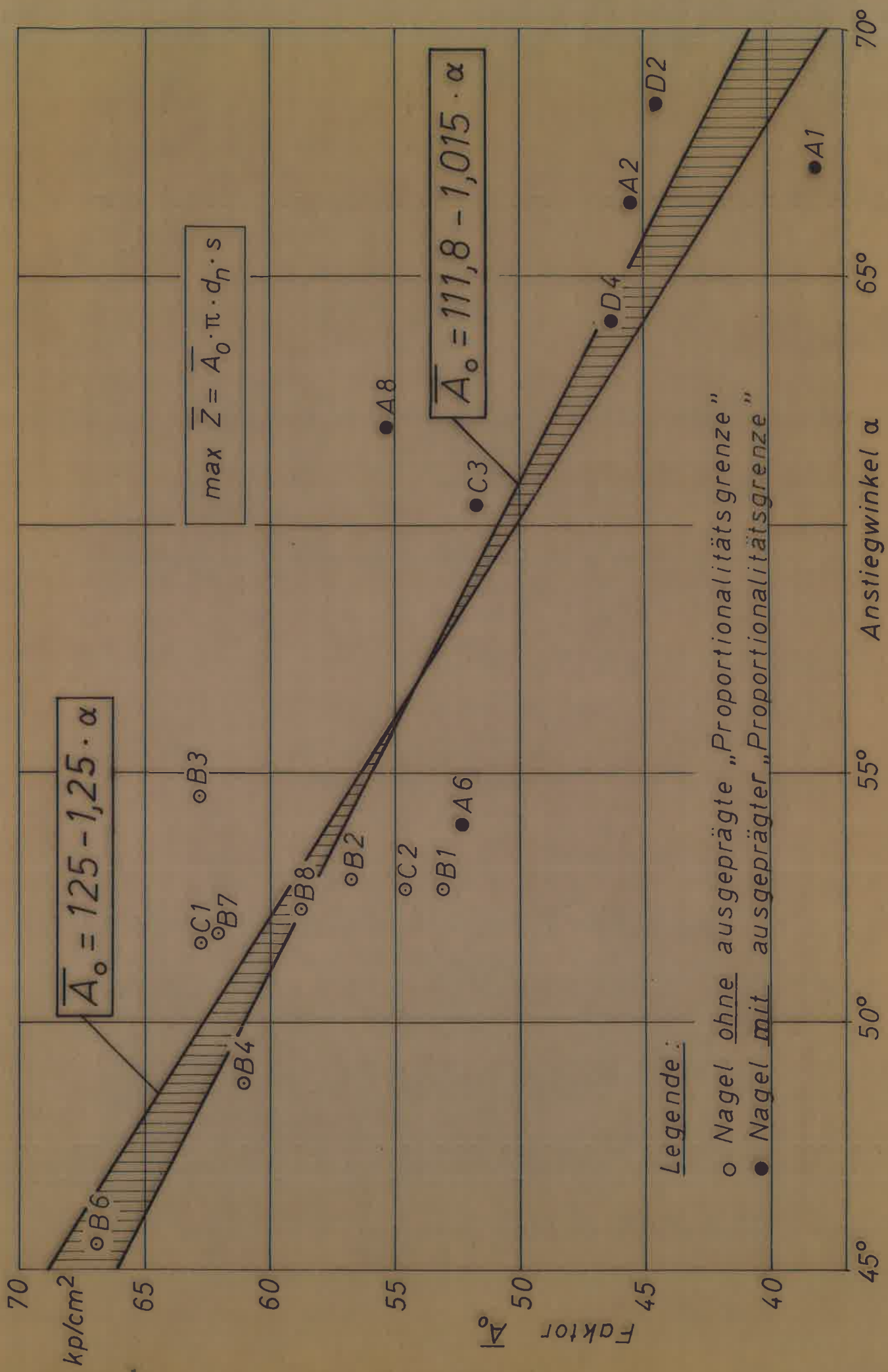


Bild 23: Abhängigkeit der maximalen Haftkraft \bar{Z} (Mittelwerte) vom Anstiegswinkel des Gewindes

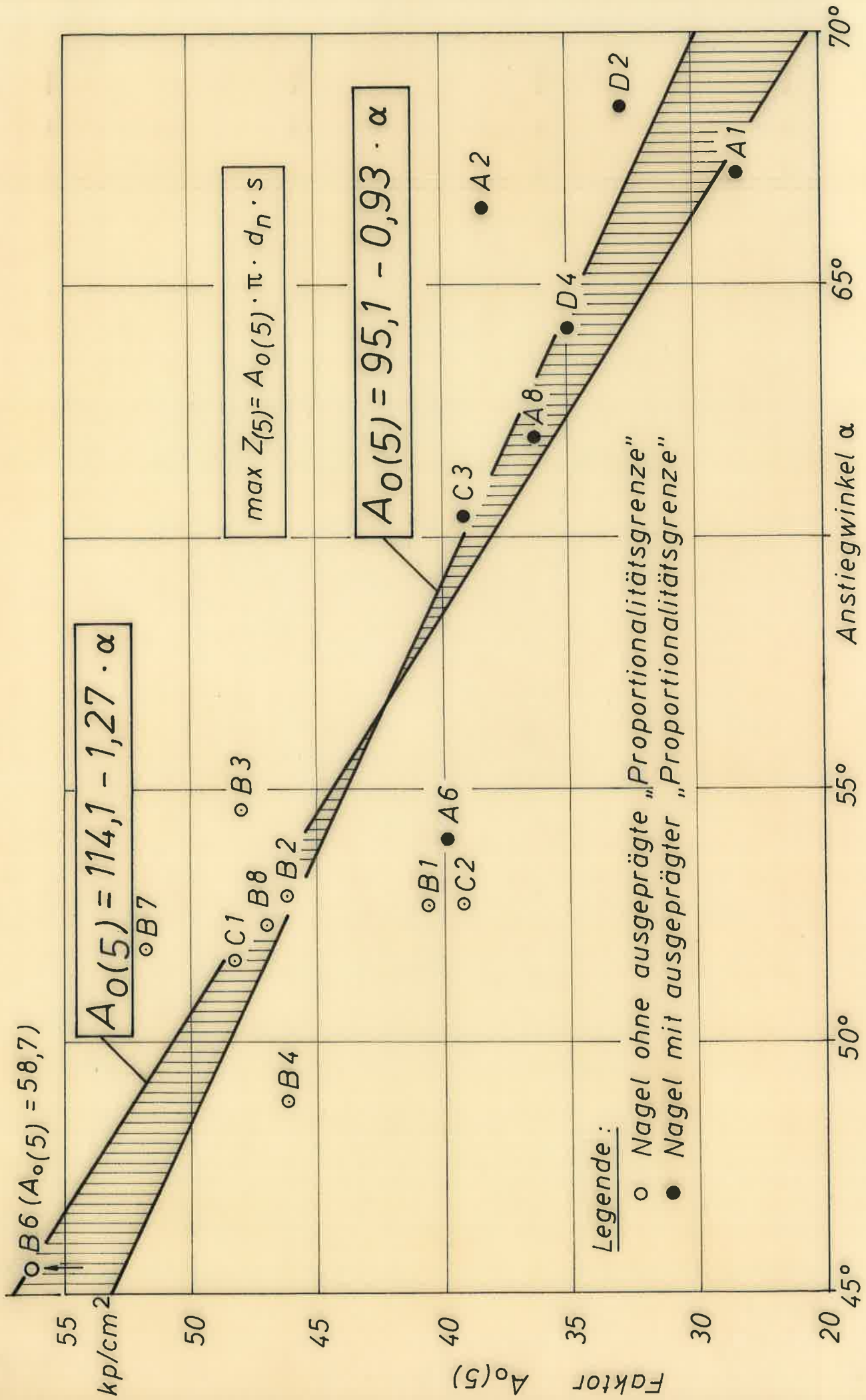


Bild 24: Abhängigkeit der maximalen Haftkraft $\max Z_{(5)}$ (5%-Fraktile) vom Anstiegswinkel des Gewindes

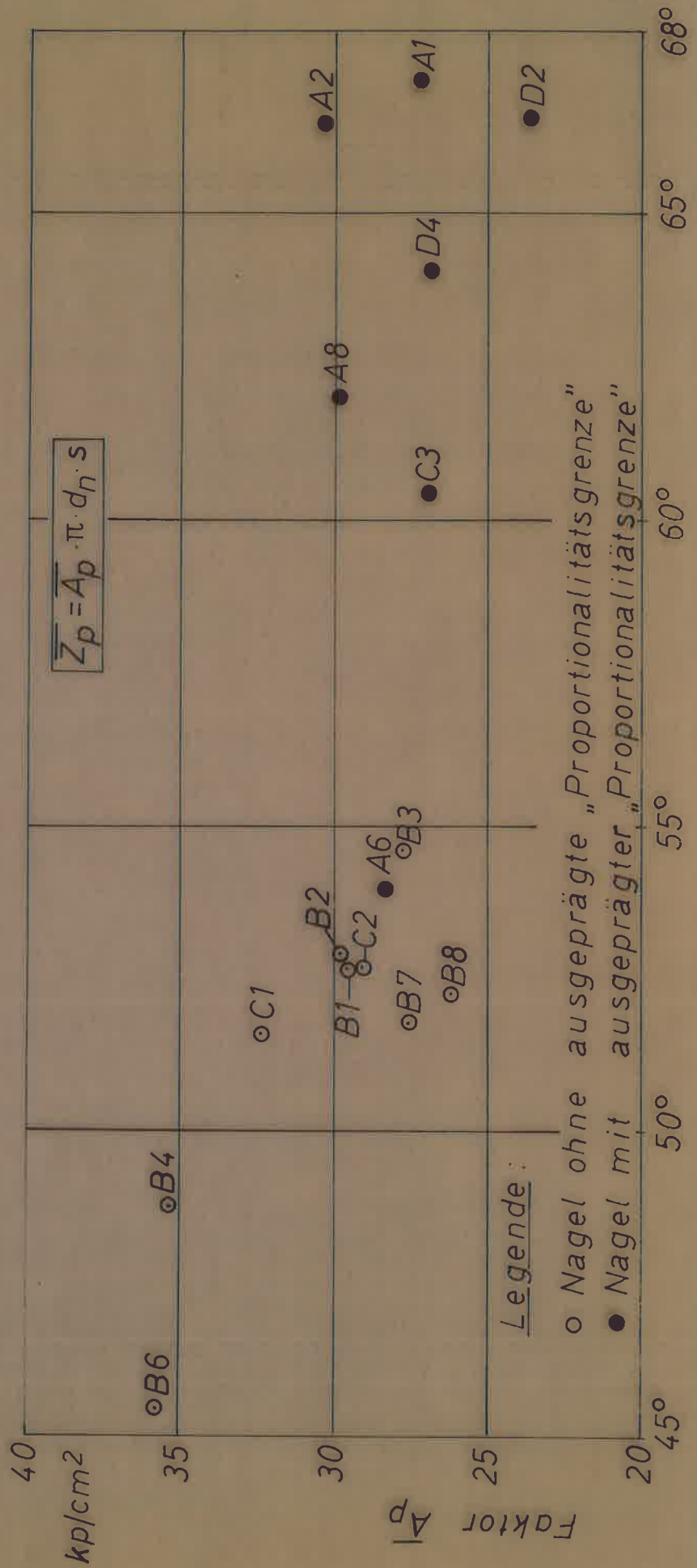


Bild 25: Abhängigkeit der „Proportionalitätsgrenze“ Z_p vom Anstiegswinkel des Gewindes

Tabelle 9: Haftkräfte max Z von runden Drahtstiften
 nach DIN 1151 in Fichtenholz; Einschlagtiefen:
 Typ 28 x 65 und 31 x 70: s = 40 mm
 Typ 42 x 110: s = 55 mm
 Holzrohddichte r = 0,44 g/cm³

Drahtstift nach DIN 1151	Kraft-Ausziehweg-Diagramm nach Bild	Haftkraft max Z			A ₀ = $\frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$	
		Mittelwert kp	5%-Fraktile kp	Variationskoeffizient V %	Mittelwert \bar{A}_0 2 kp/cm ²	5%-Fraktile A ₀₍₅₎ 2 kp/cm ²
28 x 65	13	72	55	13,1	20,5	15,6
31 x 70	13	100	64	19,7	25,7	16,4
42 x 110	13	173	145	9,0	23,8	20,0

Bild 26: Oberfläche des Nageltyps B1
28/34 x 60 bk

Bild 27: Oberfläche des Nageltyps B2
28/34 x 60 cd

Bild 28: Oberfläche des Nageltyps B3
28/34 x 60 zn

Bild 29: Oberfläche des Nageltyps C1
29/36 x 60 bk

Bild 30: Oberfläche des Nageltyps C2
29/36 x 60 cd

Bild 31: Oberfläche des Nageltyps B6
42/50 x 90 bK

Bild 32: Oberfläche des Nageltyps B7
42/50 x 90 zn

Bild 33: Oberfläche des runden Drahtstiftes
28 x 65 DIN 1151 bK

Bild 34: Oberfläche des runden Drahtstiftes
31 x 70 DIN 1151 bK

Bild 35: Oberfläche des runden Drahtstiftes
42 x 110 DIN 1151 bk

Tabelle 10: Abmessungen mehrerer Entwicklungsstufen eines Sparren-Schraubnagels

Zeile	Typ	Kennzeichnung (Nennmaße) $d_n/d_1 \times l_n$	Nageldurchmesser			Kopfdurchm. D mm	Nagellängen		Spitzenlänge z mm	Gangzahl n -	Gewindesteigung	
			d_n mm	d_1 mm	d_k mm		l_n mm	l_g mm			Höhe h mm	Winkel α °
1	1. Entwicklungsstufe	55/65 x 180	5,5	6,5	4,8	10,5	180	85	9,9	5	40,0	63,0
2	2. Entwicklungsstufe	55/63 x 180	5,5	6,3	5,0	10,7	180	100	10,0	5	41,0	64,2
3	3. Entwicklungsstufe	51/57 x 180	5,1	5,7	4,5	12,5	180	85	7,8	5	29,0	57,8
4	Endstufe	51/60 x 180	5,1	6,0	4,6	12,5	180	80	8,0	5	28,0	56,0
5	US-Nagel (Vergleich)	52/58 x 180	5,2	5,8	5,0	11,0	180	90	7,0	5	28,5	57,4

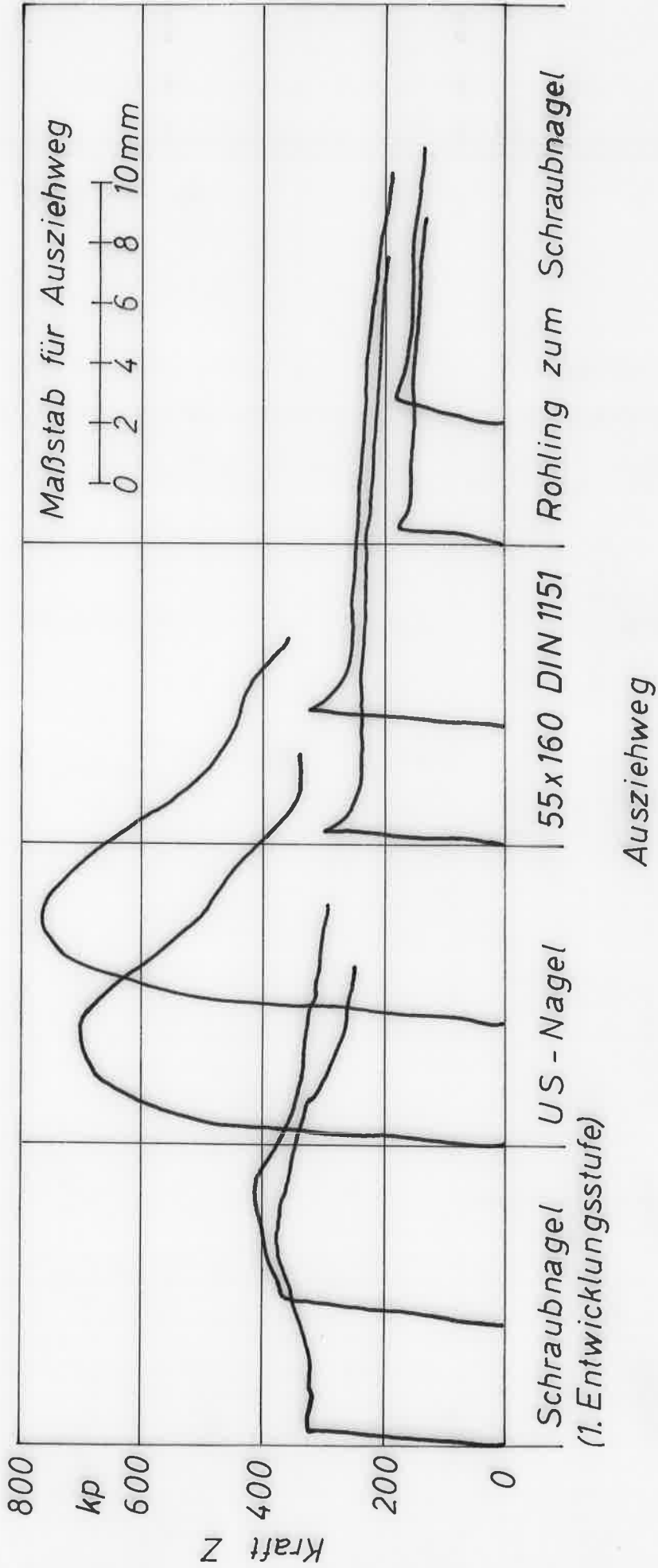


Bild 36: Kraft – Ausziehweg – Diagramme der Vergleichsversuche für einen Sparrennagel

Tabelle 11: Haftkräfte max Z und Z_p von Vergleichsversuchen für die Entwicklung eines Sparrenschraubnagels (Mittelwerte aus je 5 Einzelversuchen)

Nageltyp	Haftkraft max Z k_p	Proportionalitäts- grenze Z_p k_p
Sparrenschraubnagel (1. Entwicklungsstufe)	397	367
US-Sparrennagel	758	505
55 x 160 DIN 1151	337	-
Rohling zum Sparrenschraubnagel	202	-

	max Z			Zp			$A_0 = \frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$		$A_p = \frac{Z_p}{\pi \cdot d_n \cdot s}$	
	N	5%- N	V %	N	5%- N	V %	A_0 N/mm ²	5%- $A_0(5)$ N/mm ²	A_p N/mm ²	5%- $A_p(5)$ N/mm ²
A 1	1290	960	14,0	920	680	14,4	3,80	2,83	2,71	2,00
B 1	1870	1430	12,8	1040	750	15,4	5,31	4,06	2,96	2,13
B 2	1990	1630	9,9	1050	730	16,4	5,66	4,63	2,98	2,07
B 3	2220	1690	13,0	980	670	17,1	6,31	4,80	2,79	1,90
A 2	1600	1350	8,6	1070	860	10,8	4,55	3,84	3,04	2,44
C 1	2290	1760	12,5	1180	780	18,2	6,28	4,83	3,24	2,14
C 2	1990	1430	15,4	1060	750	15,7	5,46	3,92	2,91	2,06
B 4	2380	1800	13,1	1380	1070	12,0	6,11	4,62	3,54	2,75

	max Z				Zp				A ₀ = $\frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$		A _p = $\frac{Z_p}{\pi \cdot d_n \cdot s}$	
	5%-		V %		5%-		V %		A ₀ N/mm ²		A _p N/mm ²	
	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
A 3	2070	1500	15,1	1220	780	19,7	4,99	3,62	2,94	1,88	5%-	A _p (5) N/mm ²
A 4	1410	1010	15,5	770	630	10,2	3,40	2,44	1,86	1,52		
D 1	1900	1410	14,0	1020	630	20,3	4,45	3,30	2,39	1,47		
A 5	2210	1620	14,5	1250	1010	10,7	4,14	3,03	2,34	1,89		
A 6	3160	2410	12,9	1720	1470	7,9	5,23	3,99	2,84	2,43		
A 7	2820	2330	9,4	1650	1220	14,0	5,13	4,24	3,00	2,22		
A 8	3150	2200	16,4	1810	1530	8,5	5,21	3,64	2,99	2,53		

	max Z		Zp		A _o = $\frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$	A _p = $\frac{Z_p}{\pi \cdot d_n \cdot s}$			
	N	5%- N	V %	N			5%- N	V %	
									A _o (5) N/mm ²
D 2	2920	2160	14,2	1550	1260	11,4	4,45	2,36	1,92
D 3	2990	2160	15,1	1020	740	14,8	4,44	1,51	1,10
C 3	3660	2780	13,0	1910	1620	8,3	5,17	2,70	2,29
B 5	3840	3170	9,5	1600	1070	18,0	5,29	2,21	1,47
B 6	4860	4260	6,7	2600	2200	8,4	6,70	3,58	3,03
B 7	4510	3760	9,1	2000	1630	10,0	6,21	2,76	2,25
D 4	3360	2540	13,4	1950	1660	8,1	4,63	2,69	2,29
B 8	4260	3410	10,6	1900	1450	12,8	5,87	2,62	2,00

	max Z			$A_0 = \frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$	
	N	5%- N	V %	\bar{A}_0 N/mm ²	5%- $A_{0(5)}$ N/mm ²
28 x 65	720	550	13,1	2,05	1,56
31 x 70	1000	640	19,7	2,57	1,64
42 x 110	1730	1450	9,0	2,38	2,00

	max Z		Zp		$A_0 = \frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$		$A_p = \frac{Z_p}{\pi \cdot d_n \cdot s}$	
	N	5%- V %	N	5%- V %	\bar{A}_0 N/mm ²	5%- $A_0(5)$ N/mm ²	\bar{A}_p N/mm ²	5%- $A_p(5)$ N/mm ²
A 1	1290	960	920	680	3,80	2,83	2,71	2,00
B 1	1870	1430	1040	750	5,31	4,06	2,96	2,13
B 2	1990	1630	1050	730	5,66	4,63	2,98	2,07
B 3	2220	1690	980	670	6,31	4,80	2,79	1,90
A 2	1600	1350	1070	860	4,55	3,84	3,04	2,44
C 1	2290	1760	1180	780	6,28	4,83	3,24	2,14
C 2	1990	1430	1060	750	5,46	3,92	2,91	2,06
B 4	2380	1800	1380	1070	6,11	4,62	3,54	2,75

	max Z		Zp			A ₀ = $\frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$		A _p = $\frac{Z_p}{\pi \cdot d_n \cdot s}$	
	5%-	V %	5%-	V %	Mittelwert \bar{A}_0 N/mm ²	5%-	\bar{A}_p N/mm ²	5%-	
	N	N	N	N	N	N	N	N/mm ²	
A 3	2070	15,1	1220	19,7	4,99	780	2,94	1,88	
A 4	1410	15,5	770	10,2	3,40	630	1,86	1,52	
D 1	1900	14,0	1020	20,3	4,45	630	2,39	1,47	
A 5	2210	14,5	1250	10,7	4,14	1010	2,34	1,89	
A 6	3160	12,9	1720	7,9	5,23	1470	2,84	2,43	
A 7	2820	9,4	1650	14,0	5,13	1220	3,00	2,22	
A 8	3150	16,4	1810	8,5	5,21	1530	2,99	2,53	

	max Z		Zp		$A_o = \frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$		Z_p		$A_p = \frac{\max Z}{\pi \cdot d_n \cdot s}$		Z_p	
	N	5%-	V %	N	5%-	V %	N	5%-	\bar{A}_o $\frac{N}{\text{mm}^2}$	$A_o(5)$ $\frac{N}{\text{mm}^2}$	A_p $\frac{N}{\text{mm}^2}$	$A_p(5)$ $\frac{N}{\text{mm}^2}$
D 2	2920	2160	14,2	1550	1260	11,4	1260	4,45	3,29	2,36	1,92	
D 3	2990	2160	15,1	1020	740	14,8	740	4,44	3,21	1,51	1,10	
C 3	3660	2780	13,0	1910	1620	8,3	1620	5,17	3,92	2,70	2,29	
B 5	3840	3170	9,5	1600	1070	18,0	1070	5,29	4,37	2,21	1,47	
B 6	4860	4260	6,7	2600	2200	8,4	2200	6,70	5,87	3,58	3,03	
B 7	4510	3760	9,1	2000	1630	10,0	1630	6,21	5,18	2,76	2,25	
D 4	3360	2540	13,4	1950	1660	8,1	1660	4,63	3,50	2,69	2,29	
B 8	4260	3410	10,6	1900	1450	12,8	1450	5,87	4,70	2,62	2,00	

Tabelle 5: Haftkräfte max Z von runden Drahtstiften
 nach DIN 1151 in Fichtenholz; Einschlagtiefen:
 Typ 28 x 65 und 31 x 70: s = 40 mm
 Typ 42 x 110: s = 55 mm
 Holzrohddichte r = 0,44 g/cm³

	max Z		V %	A ₀ = $\frac{\max Z}{\pi \cdot d_{II} \cdot s}$
	N	5%-		
28 x 65	720	550	13,1	2,05
31 x 70	1000	640	19,7	2,57
42 x 110	1730	1450	9,0	2,38
				A ₀₍₅₎ N/mm ²
				5%-
				1,56
				1,64
				2,00