

Untersuchungen über das Tragverhalten von Sondernägeln bei Beanspruchung auf Abscheren und Ausziehen

von

Karl Möhler und Jürgen Ehlbeck

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

Sonderdruck aus dem Heft 91
Holzbau-Versuche (IV. Teil)
der Schriftenreihe „Berichte aus der Bauforschung“
(Vertrieb durch den Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn)
Berlin 1973

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Zweck der Versuche	1
2. Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung	1
2.1. Nagelmaterial	1
2.2. Versuchshölzer	3
2.3. Versuche über die Tragfähigkeit der Nägel bei Beanspruchung rechtwinklig zur Schaftrichtung (Abscheren)	3
2.4. Versuche über den Auszieh-widerstand	4
2.4.1. Zusammenhang zwischen Auszieh-widerstand und Einschlagtiefe (1. Versuchsreihe)	4
2.4.2. Zusammenhang zwischen Auszieh-widerstand und Zeit bei gleichbleibendem Feuchtigkeitsgehalt des Holzes (2. Versuchsreihe)	5
2.4.3. Zusammenhang zwischen Auszieh-widerstand und Holz-austrocknung bei Nagelung in nasses Holz (3. Versuchsreihe)	5
2.4.4. Zusammenhang zwischen Auszieh-widerstand und Jahrringverlauf (4. Versuchsreihe)	5
3. Ergebnisse und Auswertung der Versuche	6
3.1. Materialgüte der Nägel	6
3.2. Beanspruchung der Nägel auf Abscheren	6
3.2.1. Eigenschaften der Versuchshölzer	6
3.2.2. Verformungsverhalten und Trag-fähigkeiten	6
3.3. Beanspruchung der Nägel auf Ausziehen	11
3.3.1. Einfluß der Einschlagtiefe (1. Versuchsreihe)	11
3.3.2. Einfluß der Zeit bei gleichbleiben-dem Feuchtigkeitsgehalt des Hol-zes (2. Versuchsreihe)	16
3.3.3. Einfluß der Holz-austrocknung bei Nagelung in nasses Holz (3. Versuchsreihe)	16
3.3.4. Einfluß des Jahrringverlaufes	16
4. Zusammenfassung	16
5. Schrifttum	17
6. Anhang (Tabellen 6 bis 11)	18 ff

2. Versuchsprogramm und Versuchsdurchführungen

2.1. Nagelmaterial

1. Zweck der Versuche

Als Sondernägel werden Nägel bezeichnet, die nach Schaftform und Nagel-Werkstoff von den Drahtnägeln nach DIN 1151 abweichen. Viele Typen von Sondernägeln werden in den USA verwendet, wobei je nach Verwendungszweck die wirkungsvollsten Ausbildungsformen aufgrund umfangreicher Untersuchungen entwickelt wurden. Der Vorteil derartiger Nägel gegenüber den runden, glattschaftigen Nägeln liegt vor allem bei der Beanspruchung auf Ausziehen. Für die Anwendung im Ingenieurholzbau erscheint der sogenannte Schraubnagel geeignet, dessen Schaft auf dem größten Teil der Nagellänge schraubenförmig ausgebildet ist.

Amerikanische Versuche haben gezeigt, daß bei derartigen Nägeln im Laufe der Zeit keine Abnahme des Ausziehwiderstandes zu erwarten ist, während der normale Drahtnagel teilweise erheblich an Haltevermögen verliert, insbesondere wenn bei Nagelung in frisches oder halbtrockenes Holz ein nachträgliches Austrocknen eintritt.

Derartige Schraubnägel sind demnach vor allem dort geeignet, wo eine Beanspruchung in Schaftrichtung auftritt:

Schalungsnägel für die Befestigung von Dachschalungen aus Brettern oder Holzwerkstoffplatten auf Sparren, Pfetten oder Bindern, von Fußbodenbrettern oder Tafeln auf den Unterlagshölzern sowie von untergehängten Decken;

Nägel größerer Länge für die Verankerung von Sparren auf Pfetten oder von Bindern auf Mauerschwellen und dgl.

Bei den Fertigbauweisen sind Schraubnägel für die Befestigung von Bepunktungen auf Rippen und für die Verankerung von Dach- und Wandtafeln auf der Unterkonstruktion besonders geeignet. Schließlich erscheint ihre Anwendung auch bei der Preßnagelung im Holzleimbau geeignet, bei der Holzteile möglichst fest aufeinandergepreßt werden sollen und dieser Preßdruck eine gewisse Zeit erhalten bleiben muß.

Die Tragfähigkeit von Schraubnägeln hängt nicht nur von den Holzeigenschaften (Rohdichte, Jahrringbreite, Holzfeuchtigkeit, Faserrichtung), der Zeit (Beanspruchung des Nagels nach Ablauf eines gewissen Zeitraumes nach dem Einschlagen oder langandauernde Beanspruchung) und der Einschlagmethode (von Hand oder maschinelle Nagelung mit Automaten) ab, sondern wird auch wesentlich von den Nageleigenschaften (Länge, Durchmesser, Schaftoberfläche und -form, Kopfform und Nagelwerkstoff) bestimmt.

Nach DIN 1052 Blatt 1, Abschnitt 11.3.1, sind daher die zulässigen Belastungen bei Beanspruchung auf Abscheren und Ausziehen für Sondernägel aufgrund von Versuchen festzulegen. Diese Regelung muß so lange gelten, bis für derartige Nägel Normen vorliegen, in denen die Schaftform und die Werkstoffe festgelegt sind. Aufgrund ausreichender Tragfähigkeitsuntersuchungen mit derartig genormten Nägeln können dann allgemeingültige zulässige Beanspruchungen in die Holzbauvorschriften aufgenommen werden.

Da eine Vielzahl von Faktoren die Tragfähigkeit von Sondernägeln beeinflusst, sollte an einer bestimmten Auswahl von Nägeln im Vergleich mit entsprechenden Nageldurchmessern glattschaftiger Drahtnägel nach DIN 1151 die Tragfähigkeit bei Abscherbeanspruchung (\perp zum Nagelschaft) einerseits und der Ausziehwiderstand (Beanspruchung in Schaftrichtung) andererseits durch Versuche bestimmt werden. Im letzten Fall sollten dabei insbesondere der Einfluß der Holzbeschaffenheit (Feuchtigkeit, Jahrringlage) und der Einschlagtiefe sowie der Zeiteinfluß untersucht werden. Für alle Versuche wurde Fichtenholz vorgesehen.

Für die systematischen Vergleichsversuche wurden drei Nagelgrößen verwendet, wobei jeweils der für den entsprechenden Anwendungsbereich meist benutzte Nagel nach DIN 1151 mit einem entsprechenden Sondernagel möglichst gleicher Größe (Durchmesser und Schaftlänge) verglichen wurde.

Für die einzelnen Anwendungsbereiche wurden folgende Nagelgrößen ausgewählt:

1. Schalungsnägel: Schraubnagel 28/33 x 60¹⁾
Drahtnagel 28 x 65 DIN 1151
2. Vollholznagelung: Schraubnagel 42/50 x 90¹⁾
Drahtnagel 42 x 110 DIN 1151
3. Sparrennagelung: Schraubnagel 52/58 x 180²⁾
Drahtnagel 55 x 160 DIN 1151

Da in Deutschland z. Z. nur Schraubnägel in Längen bis zu etwa 100 mm hergestellt werden, wurde für die Versuche mit Nägeln großer Abmessungen das Material aus dem Ausland bezogen. Die untersuchten Nageltypen sind in Bild 1 abgebildet. Die genauen Abmessungen sämtlicher Nageltypen mit den Bezeichnungen nach Bild 2 sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die für sämtliche Versuche verwendeten Nägel wurden für jeden Nageltyp stets einer und derselben Packung entnommen. An je 5 Nägeln wurde die Zugfestigkeit des Nagelmaterials bestimmt. Außerdem wurden an je 3 Nägeln eine Härteprüfung nach Vickers und ein Fallversuch mit einem Dorndurchmesser $D = 1,5 \cdot d_n$ bis zu einem Fallwinkel von 180° durchgeführt.

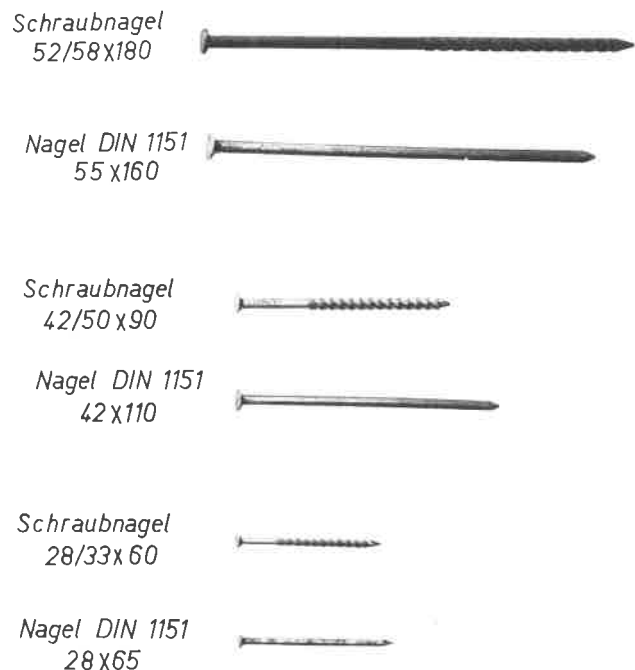


Bild 1: Untersuchte Nageltypen

- 1) Die Schraubnägel wurden von der Firma Friedrich Trurnit, Altena/Westfalen in dankenswerter Weise kostenlos bereitgestellt.
- 2) Die Sondernägel großer Abmessungen wurden durch den Arbeitskreis Fertigbau im Verband des Zimmerer- und Holzbaugewerbes Baden-Württemberg aus dem Ausland beschafft.

Tabelle 1: Abmessungen der untersuchten Nageltypen
1)

Nagelbezeichnung $d_n/d_1 \times l_n$	Nageldurchmesser			Nagellänge		Länge der Nagelspitze z mm	Durchmesser des Nagelkopfes D mm	Gang zahl	Gewinde steigung h mm	Anstiegs winkel α
	Schaft d_n 1/10 mm	Gewindeteil außen d_1 1/10 mm	Kern d_k 1/10 mm	gesamt l_n mm	Gewindeteil l_g mm					
28/33 x 60	28	33	23	60	42	4,2	6,1	4	14,0	53,5°
42/50 x 90	42	50	36	90	63	4,4	9,1	4	15,0	43,7°
52/58 x 180	52	58	50	180	90	7,0	11,0	5	28,5	57,4°
28 x 65	28	-	-	65	-	4,5	5,8	-	-	-
42 x 110	42	-	-	110	-	6,3	9,3	-	-	-
55 x 160	55	-	-	160	-	8,0	11,7	-	-	-

1) Die Maße stellen Mittelwerte aus je 10 Messungen dar

2.2. Versuchshölzer

Für die Scher- und Ausziehversuche wurden Bretter, Bohlen oder Kanthölzer aus einheimischem Fichtenholz verwendet. Das Holz war vor der Verarbeitung zu den Probekörpern über einen längeren Zeitraum in einem überdachten, offenen Schuppen gelagert worden. Die Holzeigenschaften (Jahringbreite, Rohdichte, Druckfestigkeit und Feuchtigkeitsgehalt) wurden jeweils für die bei den einzelnen Versuchsreihen verwendeten Hölzer ermittelt.

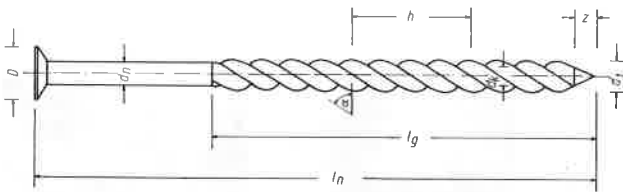


Bild 2: Schraubnagel (Schematisch) mit Bezeichnungen der Masse

2.3. Versuche über die Tragfähigkeit der Nägel bei Beanspruchung rechtwinklig zur Schaftrichtung (Abscheren)

Für die Scherversuche wurden je drei Prüfkörper für jeden Nageltyp nach Bild 3 hergestellt. Dabei wurden zum Vergleich des Verformungsverhaltens und der Tragfähigkeit die Versuchskörper der Schraubnägels und der zugehörigen glattschaftigen Drahtnägels nach DIN 1151 aus den gleichen Bohlen bzw. Kanthölzern mit gleichen Abmessungen und gleicher Anordnung der Nägel hergestellt. Die Nägel

wurden mit Hand derart in das sägerauhe Holz eingeschlagen, daß die Oberfläche der Nagelköpfe noch fühlbar über der Holzoberfläche der Seitenhölzer verblieb, um eine Kraftübertragung durch Reibung so gering wie möglich zu halten. Bei Nägeln mit einer Nagellänge größer als die Dicke der Versuchskörper wurden die aus den Körpern hervorstehenden Nagelspitzen nicht umgeschlagen. Der Feuchtigkeitsgehalt der Hölzer wurde an Darrproben zum Zeitpunkt der Herstellung der Versuchskörper bestimmt. Zusätzlich wurden von jedem Nagelkörper unmittelbar nach Abschluß der Belastungsversuche Druckproben aus den Mittel- und Seitenhölzern entnommen, an denen die Rohdichte, der Feuchtigkeitsgehalt und die Druckfestigkeit bestimmt wurden. Als zulässige Beanspruchungen der Nagelkörper wurden die Werte angenommen, die sich nach DIN 1052 für die Nägel nach DIN 1151 ergaben. Die Prüfung der Körper wurde in Anlehnung an den Normentwurf DIN E 4110 Blatt 8 nach folgendem Verfahren einheitlich durchgeführt:

1. Belastung in 4 Stufen zu $\Delta P = \text{zul } P/4$ bis zur zulässigen Beanspruchung; dabei wurde nach Erreichen jeder Laststufe die Kraft zwei Minuten konstant gehalten.
2. Entlastung und weitere elfmalige Belastung bis $\text{zul } P$.
3. Belastung über $\text{zul } P$ hinaus in Stufen von $\Delta P = \text{zul } P/4$ (mit jeweiliger Wartezeit von 2 Minuten) bis zum Erreichen der aufnehmbaren Höchstlast, jedoch höchstens einer Belastung von etwa 6 Mp.

Die Belastungsgeschwindigkeit betrug in allen Fällen etwa 850 kp/Minute. Die Verschiebungen wurden über zwei induktive Wegaufnehmer W 20 der Bauart Hottinger gemessen und über einen Meßverstärker auf einen X-Y-Schreiber übertragen. Die Kraft wurde über eine geeichte DMS-Brücke am Prüfkolben der hydraulischen Prüfmaschine und einen zweiten Meßverstärker dem Schreibgerät zugeführt. War bis $P \approx 6 \text{ Mp}$ die Höchstlast noch nicht erreicht, so wurde die Belastung ohne Aufzeichnung des Last-Verschiebungs-Diagrammes stetig bis zur Höchstlast gesteigert.

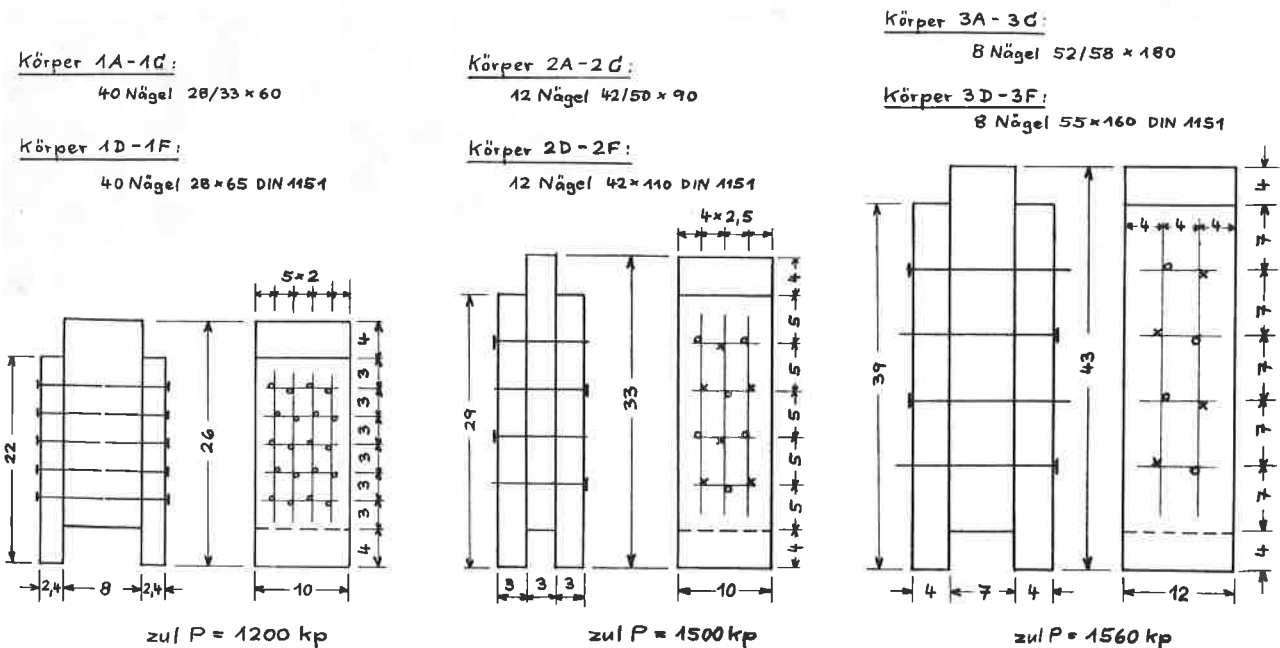


Bild 3: Versuchskörper für Tragfähigkeitsversuche der Nägel auf Abscheren (o = Nagel-Vorderseite; x = Nagel-Rückseite.)

Bild 4 zeigt die Anordnung der induktiven Wegaufnehmer W 20 an einem Prüfkörper, Bild 5 einen Prüfkörper unter der Prüfmaschine während der Versuchsdurchführung.

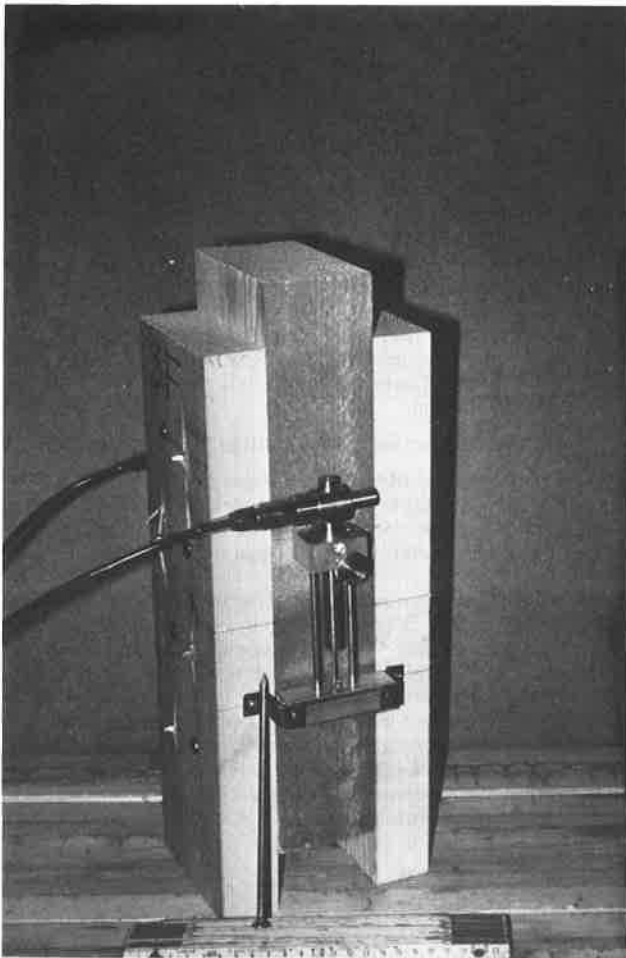


Bild 4: Anordnung der ind. Wegaufnehmer an einem Nagel-Scherkörper

2.4. Versuche über den Auszieh Widerstand

Um den Einfluß verschiedener Faktoren auf den Auszieh Widerstand der Nägel zu bestimmen, wurden mehrere voneinander getrennte Versuchsreihen durchgeführt. Es sollten insbesondere folgende Einflüsse untersucht werden:

- a) die Einschlagtiefe,
- b) die Zeit zwischen Schlagen und Ziehen bei gleichbleibendem Feuchtigkeitsgehalt,
- c) die Holzaustrocknung bei Nagelung in nasses Holz,
- d) der Jahrringverlauf (radial/tantential).

Hieraus ergaben sich 4 Versuchsreihen, bei denen jeweils die drei Schraubnageltypen und die entsprechenden glattschaftigen Nägel nach DIN 1151 in die Versuche einbezogen wurden. Lediglich die Untersuchungen über den Einfluß des Jahrringverlaufes beschränkten sich auf den Schraubnagel 42/50 x 90 und den Nagel 42 x 110 DIN 1151.

Die Nägel wurden in allen Versuchsreihen in Kanthölzer aus Fichtenholz eingeschlagen und mittels einer eigens zu diesem Zweck gebauten Ausziehvorrichtung (Bild 6) wieder gezogen. Die Kraft wirkt dabei über eine Kraftmeßdose und

einen Stahlrahmen auf eine mit Bohrungen versehene Stahlplatte. Durch die Lochungen dieser Stahlplatte wird der aus dem zwischen die Rahmenschinkel durchlaufenden Kantholz ausziehende Nagel gesteckt und am Nagelkopf mit einer passenden Scheibe gefaßt. Das Kantholz liegt dabei unmittelbar neben der Ausziehvorrichtung auf zwei festen Widerlagern. Der drückende Stahlrahmen wird seitlich durch zwei Stahlsäulen geführt, wobei der zurückgelegte Weg des Rahmens dem Ausziehweg des zu ziehenden Nagels entspricht. Dieser Weg wird mit Hilfe zweier induktiver Wegaufnehmer gemessen. Kraft und Weg werden über zwei Meßverstärker auf einen X-Y-Schreiber übertragen, der während des Versuchsablaufes das Kraft-Weg-Diagramm selbsttätig mitschreibt. Für jeden einzelnen Versuchspunkt wurden 10 Einzelversuche vorgesehen.

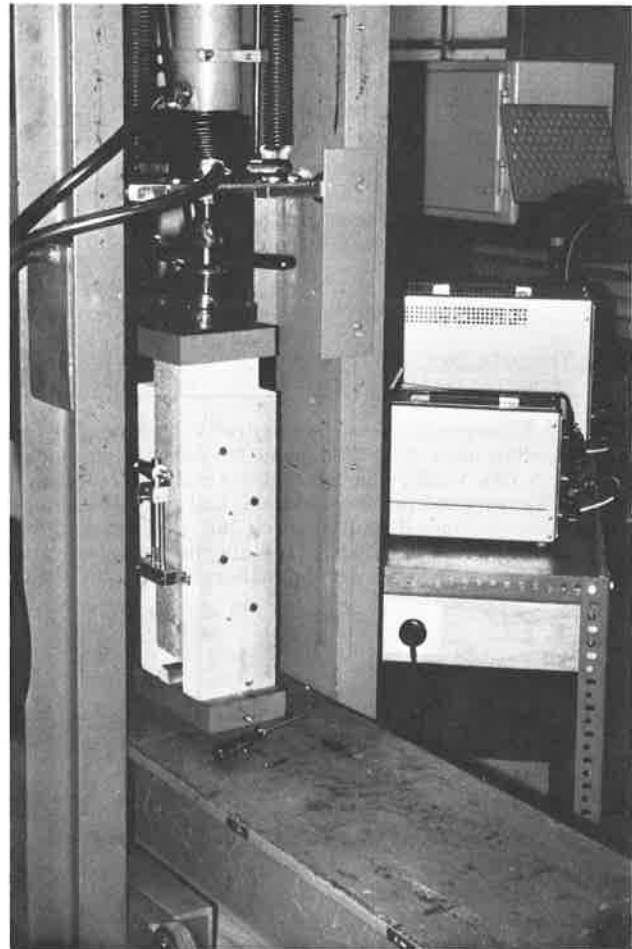


Bild 5: Nagel - Scherkörper unter der Prüfmaschine

2.4.1. Zusammenhang zwischen Auszieh Widerstand und Einschlagtiefe (1. Versuchsreihe)

In der 1. Versuchsreihe wurden die Nägel in Kanthölzer aus Fichte mit verschiedenen Einschlagtiefen geschlagen und nach 24 Stunden wieder gezogen. Im einzelnen wurden folgende Einschlagtiefen s gewählt:

Reihe 1a (Nägel 28/33 x 60 und 28 x 65 DIN 1151)
 $s = 40 - 30 - 20$ mm,

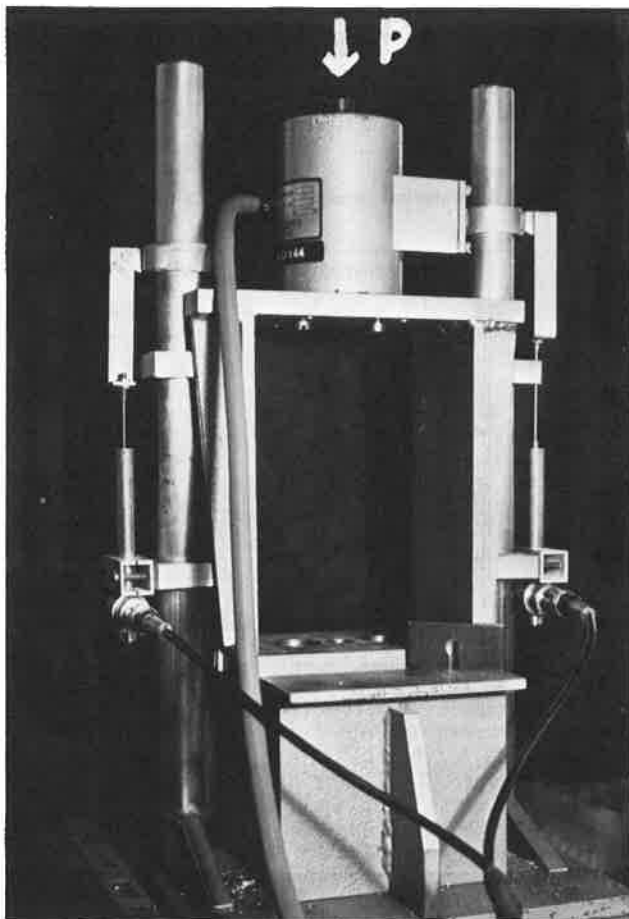
Reihe 1b (Nägel 42/50 x 90 und 42 x 110 DIN 1151)
 $s = 60 - 50 - 40$ mm,

Reihe 1 c (Nägel 52/58 x 180 und 55x160 DIN 1151)
s = 90 - 70 - 50 mm.

Bei der Reihe 1a wurden Kanthölzer 6/6 cm, bei den Reihen 1b und 1c Kanthölzer 10/10 cm verwendet. Die Nägel wurden in diejenige Kantholzseite eingeschlagen, bei der der Winkel zwischen der Nagelschaftrichtung und dem Jahrringverlauf möglichst groß war (d. h. möglichst radiale Einschlagrichtung). Für jede Reihe wurden 5 Kanthölzer von ca. 125 cm Länge benutzt. Neben einem Schraubnagel wurde stets der entsprechende glattschaftige Nagel eingeschlagen. In jedes Kantholz wurden für eine Einschlagtiefe und eine Nagelart jeweils 2 Nägel eingetrieben, so daß insgesamt 10 Einzelwerte für jeden untersuchten Fall erhalten wurden.

Von jedem Kantholz wurden beim Nageln und unmittelbar nach dem Ziehen 1,5 cm dicke Darrproben entnommen, um den Feuchtigkeitsgehalt der Versuchshölzer und etwaige Feuchtigkeitsänderungen während ihrer Lagerungszeit festzustellen. Außerdem wurde an jedem Kantholz die mittlere Jahrringbreite nach DIN 52 181, an 9 Druckproben der Abmessungen 3/3/6 cm die Druckfestigkeit nach DIN 52 185 Blatt 1 sowie die Rohdichte bestimmt.

In der 1. Versuchsreihe wurden insgesamt 180 Ausziehversuche durchgeführt.



P = Kraft aus Prüfmaschine

Bild 6: Vorrichtung für Nagel - Ausziehversuche

2.4.2. Zusammenhang zwischen Auszieh Widerstand und Zeit bei gleichbleibendem Feuchtigkeitsgehalt des Holzes (2. Versuchsreihe)

Bei der 2. Versuchsreihe wurden die Kanthölzer der 1. Versuchsreihe wiederverwendet. In diese Hölzer wurden nach Beendigung der Ausziehversuche nach Abschnitt 2.4.1 weitere 6 Nägel der entsprechenden Nageltypen pro Kantholz eingeschlagen. Hierbei betragen die Einschlagtiefen stets 40 mm bei den kleinen, 60 mm bei den mittleren und 90 mm bei den großen Nägeln. Die Hölzer wurden nach dem Einschlagen der Nägel über längere Zeit gelagert, wobei der Feuchtigkeitsgehalt möglichst konstant gehalten wurde. Je zwei Nägel jeden Typs wurden nach einer Woche, nach vier Wochen und nach acht Wochen Lagerungsdauer gezogen, so daß aus den fünf Kanthölzern jeder Teilreihe wiederum 10 Einzelwerte für jeden untersuchten Fall erhalten wurden. Zur Feuchtigkeitskontrolle wurden unmittelbar nach dem Ziehen von Nägeln aus den Versuchshölzern jedesmal 1,5 cm dicke Darrproben entnommen.

In der 2. Versuchsreihe wurden insgesamt 180 Ausziehversuche durchgeführt.

2.4.3. Zusammenhang zwischen Auszieh Widerstand und Holzaustrocknung bei Nagelung in nasses Holz (3. Versuchsreihe)

Die 3. Versuchsreihe sollte den Einfluß der Holzaustrocknung nach Nagelung in nasses Holz klären. Zu diesem Zweck wurden zunächst für jede Teilreihe 3 Kanthölzer 6/6 bzw. 10/10 cm nach Bestimmung der Jahrringbreiten, der Druckfestigkeit und der Rohdichten durch Wasserlagerung auf einen Feuchtigkeitsgehalt oberhalb des Fasersättigungspunktes gebracht. Die drei Einzelhölzer jeder Teilreihe stammten dabei jeweils aus einem Kantholz von rd. 4,0 m Länge und wurden wegen der besseren Handlichkeit bei den Versuchen auf etwa 120 cm Länge abgelängt, während an den Reststücken die Holzeigenschaften bestimmt wurden. Nach Erreichen des gewünschten Feuchtigkeitsgehaltes, das durch Gewichtskontrollen aufgrund der bekannten Ausgangsfeuchtigkeit bestimmbar war, wurden in die nassen Hölzer Nägel eingeschlagen.

In der Reihe 3a (Nägel 28/33 x 60 und 28 x 65 DIN 1151) wurden die Nägel mit einer Einschlagtiefe s = 40 mm geschlagen. Gezogen wurden je 10 Nägel ca. 15 Minuten danach sowie nach einer Austrocknung des Holzes auf etwa 28 %, 15 % und 11 % Feuchtigkeitsgehalt. In der Reihe 3b (Nägel 42/50 x 90 und 42 x 110 DIN 1151) wurde bei Einschlagtiefen von s = 60 mm in gleicher Weise verfahren, wobei das Holz von etwa 40 % auf ca. 33 %, 22 % und 15 % austrocknete. In der Reihe 3c (Nägel 52/58x180 und 55x160 DIN 1151) wurden je 10 Nägel mit Einschlagtiefen von s = 90 mm nach Herabtrocknung des Holzes auf ca. 33 %, 21 % bzw. 14 % Feuchtigkeitsgehalt ausgezogen. Die Zeitspanne bis zum Erreichen der genannten Feuchtigkeitsgehalte war je nach Klima unterschiedlich, da die Hölzer in einer überdachten, offenen Halle gelagert wurden. Durch Gewichtskontrollen konnte die Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes überwacht werden. Jeweils unmittelbar nach dem Ziehen einzelner Nägel wurde der genaue Feuchtigkeitsgehalt durch Entnahme von Darrproben aus den Versuchshölzern ermittelt. Insgesamt wurden in der 3. Versuchsreihe 220 Ausziehversuche durchgeführt.

2.4.4. Zusammenhang zwischen Auszieh Widerstand und Jahrringverlauf (4. Versuchsreihe)

Durch Anschlußversuche mit Schraubnägeln 42/50 x 90 und Drahtnägeln 42 x 110 bei Einschlagtiefen von s = 60 mm in Kanthölzern aus Fichte wurde in der 4. Versuchsreihe untersucht, ob zwischen der Einschlagrichtung radial oder tangential zu den Jahrringen ein merklicher Unterschied im Auszieh Widerstand der Nägel auftritt. Hierzu wurden die Nägel in ein Kantholz eingeschlagen, bei dem die Jahrrin-

Tabelle 2: Gesamtübersicht über die Versuchsreihen zur Ermittlung des Auszieh Widerstandes.

Nageltyp	Schraubnägeln 28/33 x 60 Nägel 28 x 65 DIN 1151			Schraubnägeln 42/50 x 90 Nägel 42 x 110 DIN 1151			Schraubnägeln 52/58 x 180 Nägel 55 x 160 DIN 1151		
	s mm	u %	t	s mm	u %	t	s mm	u %	t
Reihe 1 (s. Abschn. 2.4.1)	40 30 20	} const.	1 Tag 1 " 1 "	60 50 40	} const.	1 Tag 1 " 1 "	90 70 50	} const.	1 Tag 1 " 1 "
Reihe 2 (s. Abschn. 2.4.2)	40 40 40 40		1 Tag 1 Woche 4 Wochen 8 Wochen	60 60 60 60		1 Tag 1 Woche 4 Wochen 8 Wochen	90 90 90 90		1 Tag 1 Woche 4 Wochen 8 Wochen
Reihe 3 (s. Abschn. 2.4.3)	40 40 40 40		40 40→30 40→20 40→14	15 Min. 1 Tag 27 Tage 58 Tage		60 60 60 60	40 40→33 40→20 40→14		15 Min. 1 Tag 11 Tage 75 Tage
Reihe 4 (s. Abschn. 2.4.4)	-	-	-	60	const.	1 Stunde	-	-	-

s = Einschlagtiefe einschl. Nagelspitze; u = Holzfeuchtigkeitsgehalt
t = Zeitdauer zwischen Einschlagen und Ausziehen des Nagels.

ge durchgehend parallel zu einer Schnittkante verliefen. Das Versuchsholz war trocken; die Nägel wurden etwa eine Stunde nach dem Einschlagen wieder gezogen. Je 10 Einzelversuche bei radialer bzw. tangentialer Einschlagrichtung ergaben insgesamt 40 Ausziehversuche in dieser Versuchsreihe.

Eine Gesamtübersicht über alle Ausziehversuche enthält Tabelle 2. Die Angaben über den Feuchtigkeitsgehalt u stellen dabei die vorgesehenen Werte dar. Die tatsächlichen Werte wurden von Fall zu Fall exakt im Darrverfahren bestimmt und sind bei den Ergebnissen der Versuche (s. Abschnitt 3.3) zusammen mit den jeweiligen Eigenschaften der Versuchshölzer angegeben.

Die Gesamtzahl der durchgeführten Ausziehversuche umfaßte nach Tabelle 2 bei je 10 Einzelversuchen für jeden Versuchspunkt 620 Einzelversuche. Einige Werte für die 2. Versuchsreihe konnten aus der Reihe 1 übernommen werden, und in der Reihe 4 war eine Unterscheidung zwischen radialer und tangentialer Einschlagrichtung vorzunehmen.

3. Ergebnisse und Auswertung der Versuche

3.1. Materialgüte der Nägel

Die mittlere Zugfestigkeit von je 5 Nägeln und die mittlere Vickershärte von je 3 Nägeln sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Von den Schraubnägeln 52/58 x 180 wurde die Zugfestigkeit auch an Proben aus dem glattschaftigen Teil ermittelt. Hierbei ergab sich eine mittlere Zugfestigkeit von $\beta_Z = 178,8 \text{ kp/mm}^2$. Die Bruchdehnung betrug hierbei 4,2 %, die Brucheinschnürung 40,0 %. Bei den Kaltversuchen mit einem Dorndurchmesser von $1,5 \cdot d_n$ ergab sich bei sämtlichen Nageltypen Rissefreiheit bis zu einem Kaltwinkel von 180°.

Tabelle 3: Materialeigenschaften der Nägel

Nageltyp		Zugfestigkeit β_Z kp/mm ²	Vickershärte HV 2 kp/mm ²
28/33 x 60	Schraubnägeln	97,3	253
42/50 x 90		84,9	216
52/58 x 180		188,6	576
28 x 65	Nägelnach DIN 1151	86,1	276
42 x 110		73,0	247
55 x 160		67,1	232

3.2. Beanspruchung der Nägel auf Abscheren

3.2.1. Eigenschaften der Versuchshölzer

Der Feuchtigkeitsgehalt der Hölzer bei Herstellung der Prüfkörper betrug im Mittel $u = 19,5 \%$ bei den Körpern 1 A-F, $u = 22,6 \%$ bei den Körpern 2 A-F und $u = 17,9 \%$ bei den Körpern 3 A-F. Die Körper wurden bis zur Prüfung einige Tage in einer überdeckten, offenen Halle gelagert, um größere Feuchtigkeitsänderungen zu vermeiden. Die unmittelbar nach Abschluß der Versuche bestimmten Holzeigenschaften sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Die angegebenen Werte stellen Mittelwerte aus 6, 12 bzw. 18 Einzelwerten dar (geringe Streuung). Die Druckfestigkeiten der Hölzer der Körper 3 A-F wurden an Proben der Abmessungen 3/3/6 cm, alle übrigen Werte an Proben 2/2/4 cm bestimmt.

3.2.2. Verformungsverhalten und Tragfähigkeiten

Die für die einzelnen Nageltypen bei dem in Abschnitt 2.3 beschriebenen Prüfverfahren aufgenommenen Last-Ver-

Tabelle 4: Holzigenschaften unmittelbar nach Prüfung der Versuchskörper nach Bild 3 (Mittelwerte aus N Einzelwerten)

Versuchskörper	1 A bis 1 F	2 A bis 2 F	3 A bis 3 F		
	Mittelhölzer N = 6	Seitenhölzer N = 12	Mittel- und Seitenhölzer N = 18		
			Mittelhölzer N = 6		
			Seitenhölzer N = 12		
Feuchtigkeitsgehalt u (%)	17,9	19,0	21,3	16,6	16,4
Druckfestigkeit $\beta_{DII}^{1)}$ (kp/cm ²)	329	344	366	387	329
Rohdichte $\rho_u^{1)}$ (g/cm ³)	0,39	0,47	0,51	0,46	0,40

1) Werte ermittelt bei den angegebenen Feuchtigkeitsgehalten

schiebungsdiagramme sind in den Bildern 7 - 12 wiedergegeben. Die Anfangsverschiebungen bis zu $\delta = 2,0$ mm sind dabei für die Nagelkörper 1 F, 3 C und 3 F gesondert in vergrößertem Wegmaßstab dargestellt. Die Steifigkeiten der Nagelkörper mit Schraubnägeln sind bis zu einer Belastung in der Höhe des 1,5 - 2 - fachen zulässigen Wertes in etwa gleich wie bei den entsprechenden Körpern mit glattschaftigen Nägeln nach DIN 1151. Die Verschiebungszunahmen bei einer Wartezeit von 2 Minuten bei jeder Laststufe wachsen bei allen Versuchskörpern mit der Höhe der Belastung. Bei Belastungen von mehr als den doppelten zuläs-

sigen Werten tritt ein deutlicher Unterschied im Verformungsverhalten der Schraubnägeln und der glattschaftigen Nägel auf. Die Körper mit Schraubnägeln zeigen zum Teil erheblich geringere Verschiebungszunahmen und erreichen durchweg eine höhere Bruchlast. Die Bruchursache war bei allen Versuchen ein Aufplatzen der Seitenhölzer entlang der Nagelrißlinien. Gelegentlich platzten auch die Mittelhölzer, insbesondere bei den Versuchskörpern 2A bis 2F, auf. In Tabelle 5 sind sämtliche Versuchsergebnisse zusammengestellt. Dabei sind die Verschiebungen unter zul P bei der 13. Belastung, die Lasten $P_{1,5}$, bei denen erstmals

Tabelle 5: Ergebnisse der Versuche mit den Scherkörpern nach Bild 3

Nageltyp und Anzahl	Körper Nr.	zul P nach DIN 1052 kp	Verschiebung δ unter zul P (13. Belastung) mm	Last $P_{1,5}$ bei $\delta = 1,5$ mm kp	Höchstlast max P kp	$\gamma = \frac{\max P}{\text{zul P}}$
40 Schraubnägeln 28/33 x 60	1 A	1200	0,60	2050	6640	5,53
	1 B		0,75	1800	6400	5,33
	1 C		0,40	2100	6550	5,46
40 Nägel 28 x 65 DIN 1151	1 D	1200	0,38	2050	3820	3,18
	1 E		0,48	1800	3600 (1' 30")	3,00
	1 F		0,37	1975	3900	3,25
12 Schraubnägeln 42/50 x 90	2 A	1500	0,33	2625	4850	3,24
	2 B		0,50	2250	4870	3,25
	2 C		0,38	2500	5560	3,71
12 Nägel 42 x 110 DIN 1151	2 D	1500	0,20	2520	3000 (1' 20")	2,00
	2 E		0,35	2420	3375 (1' 40")	2,25
	2 F		0,30	2250	3000 (1' 30")	2,00
8 Schraubnägeln 52/58 x 180	3 A	1560	0,60	2450	7540	4,83
	3 B		0,50	2700	8210	5,26
	3 C		0,64	2340	7720	4,95
8 Nägel 55 x 160 DIN 1151	3 D	1560	0,28	2730	6000	3,84
	3 E		0,28	2680	5850	3,85
	3 F		0,21	2660	5800	3,72

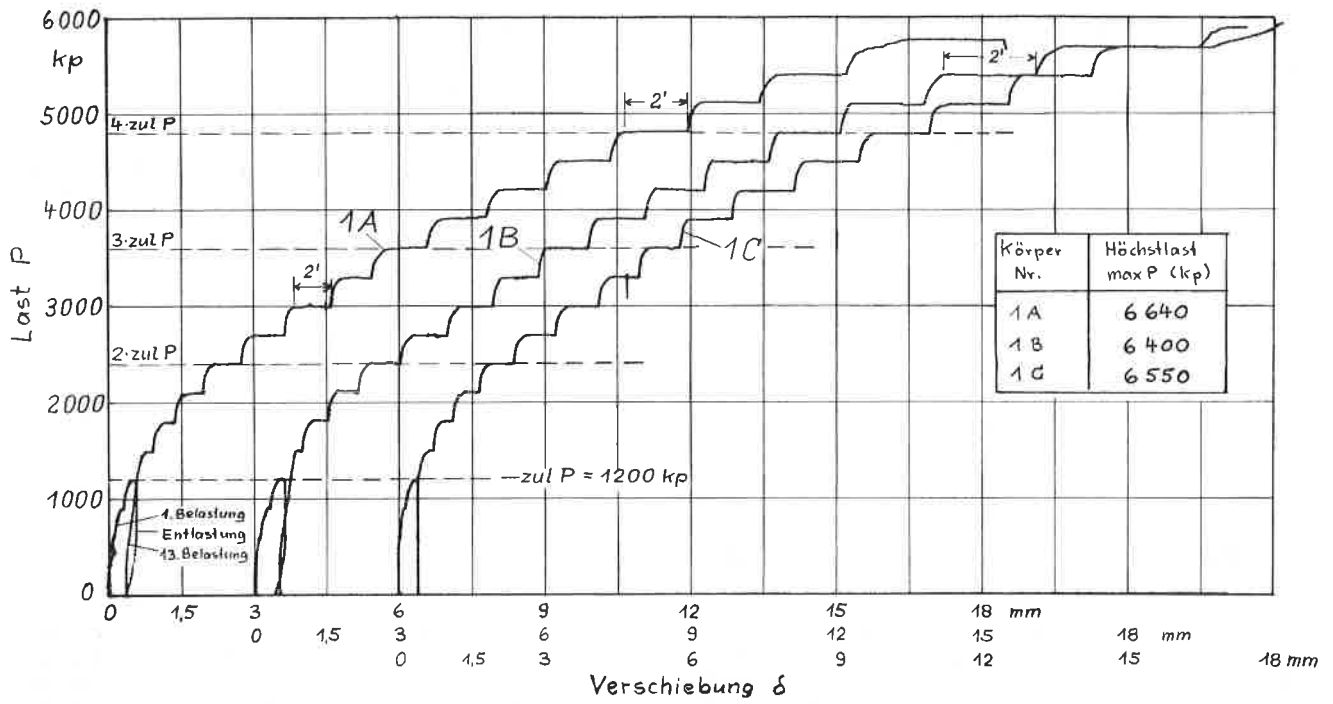


Bild 7: Last-Verschiebungs-Diagramme der Nagelkörper 1A, 1B und 1C. 40 Schraubnägeln 28/33 x 60, einschnittig

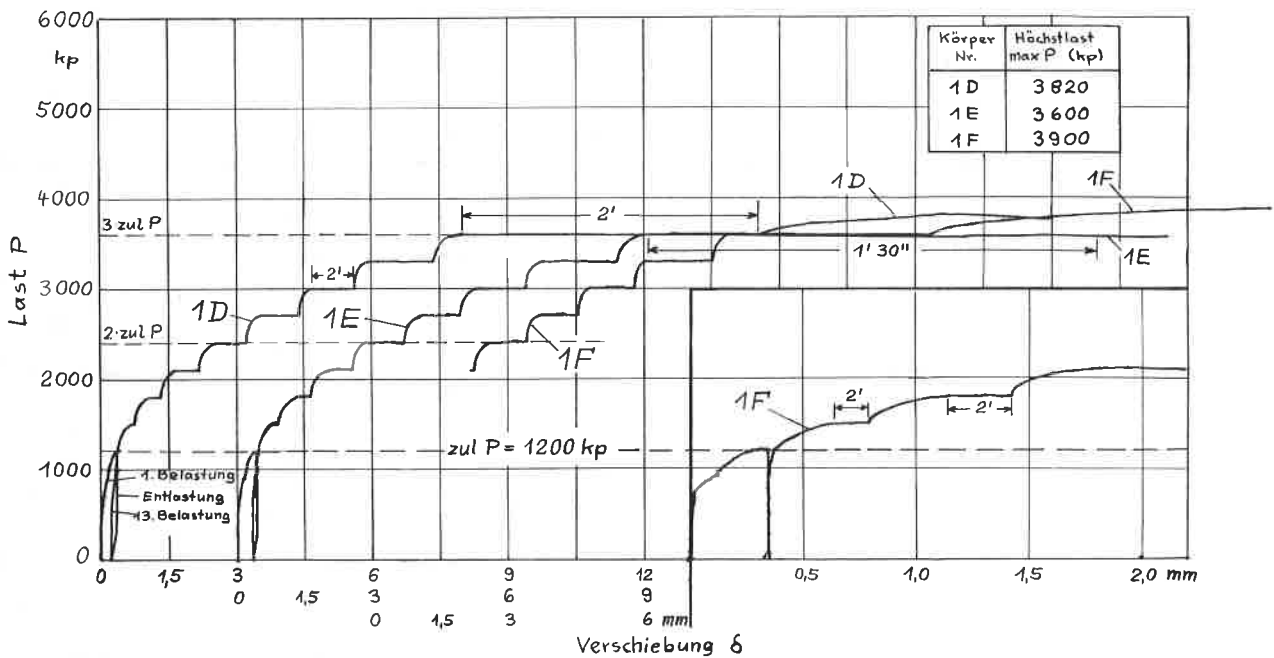


Bild 8: Last-Verschiebungs-Diagramme der Nagelkörper 1D, 1E und 1F. 40 Nägel 28 x 65 DIN 1151, einschnittig

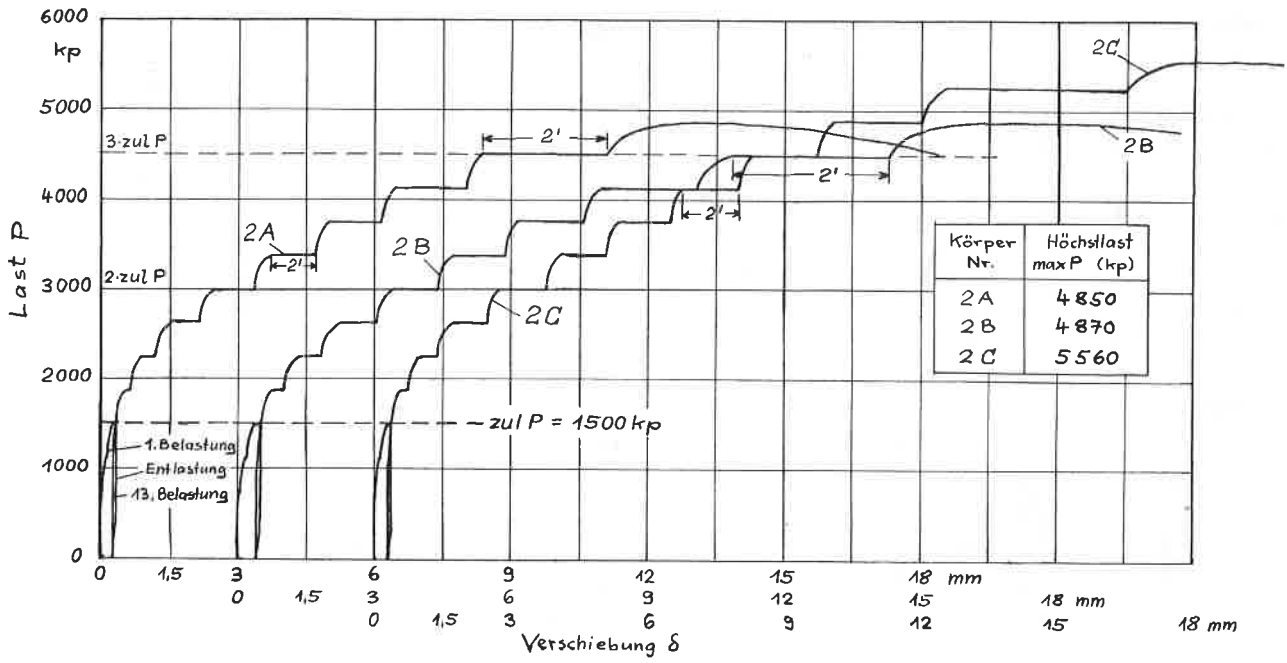


Bild 9: Last-Verschiebungs-Diagramme der Nagelkörper 2A, 2B und 2C. 12 Schraubnägel 42/50 x 90, einschneittig

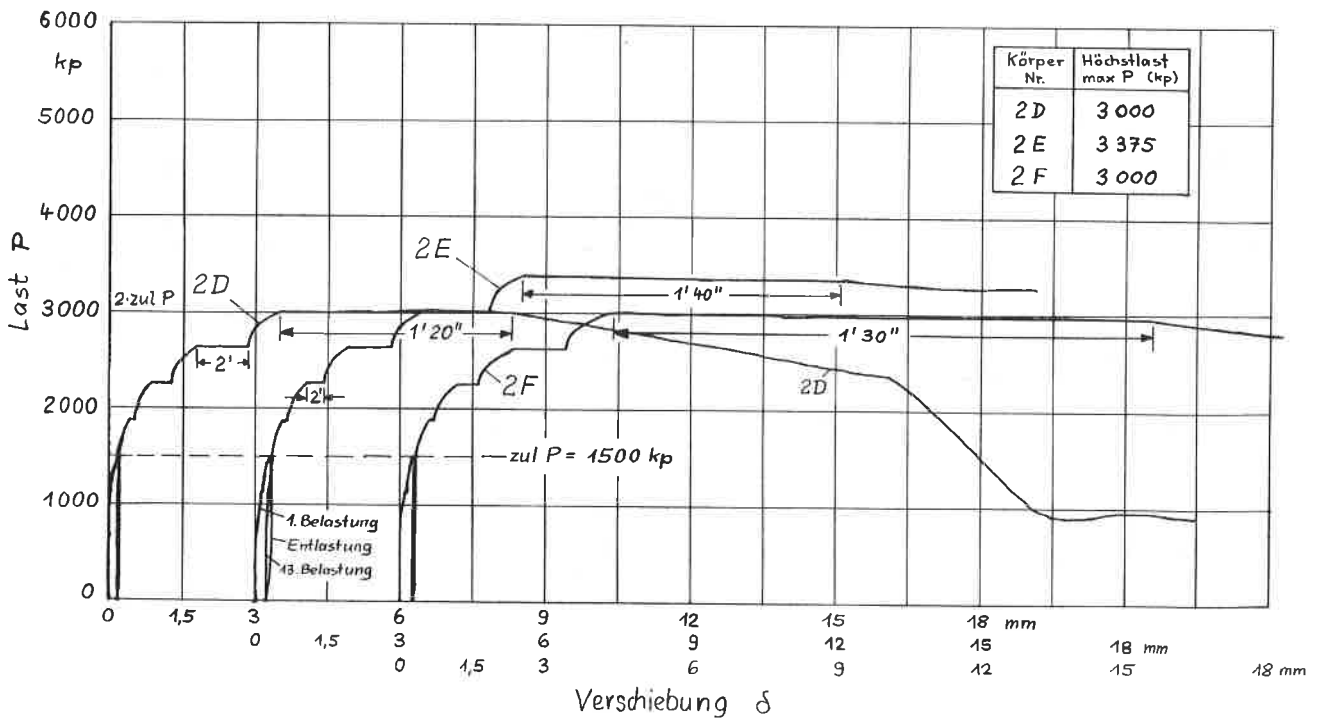


Bild 10: Last-Verschiebungs-Diagramme der Nagelkörper 2D, 2E und 2F. 12 Nägel 42 x 110 DIN 1151, zweischneittig

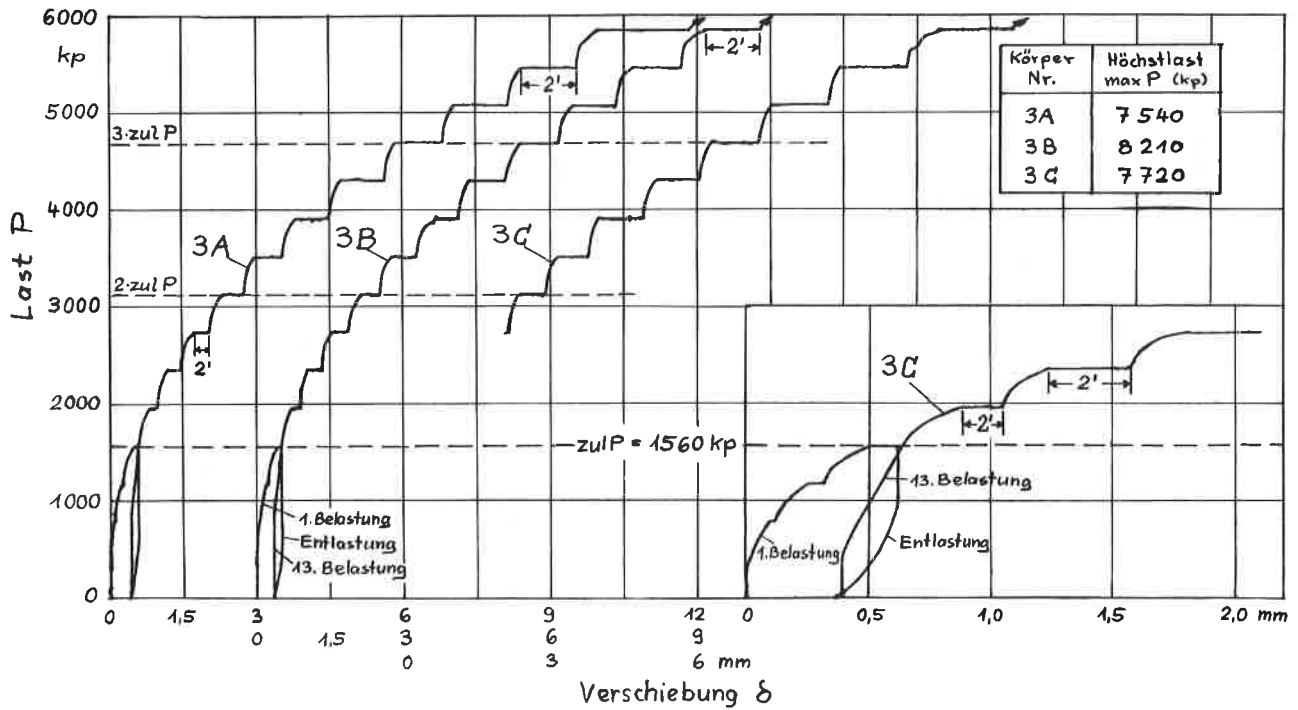


Bild 11: Last-Verschiebungs-Diagramme der Nagelkörper 3A, 3B und 3C. 8 Schraubnägeln 52/58 x 180, zweiseitig

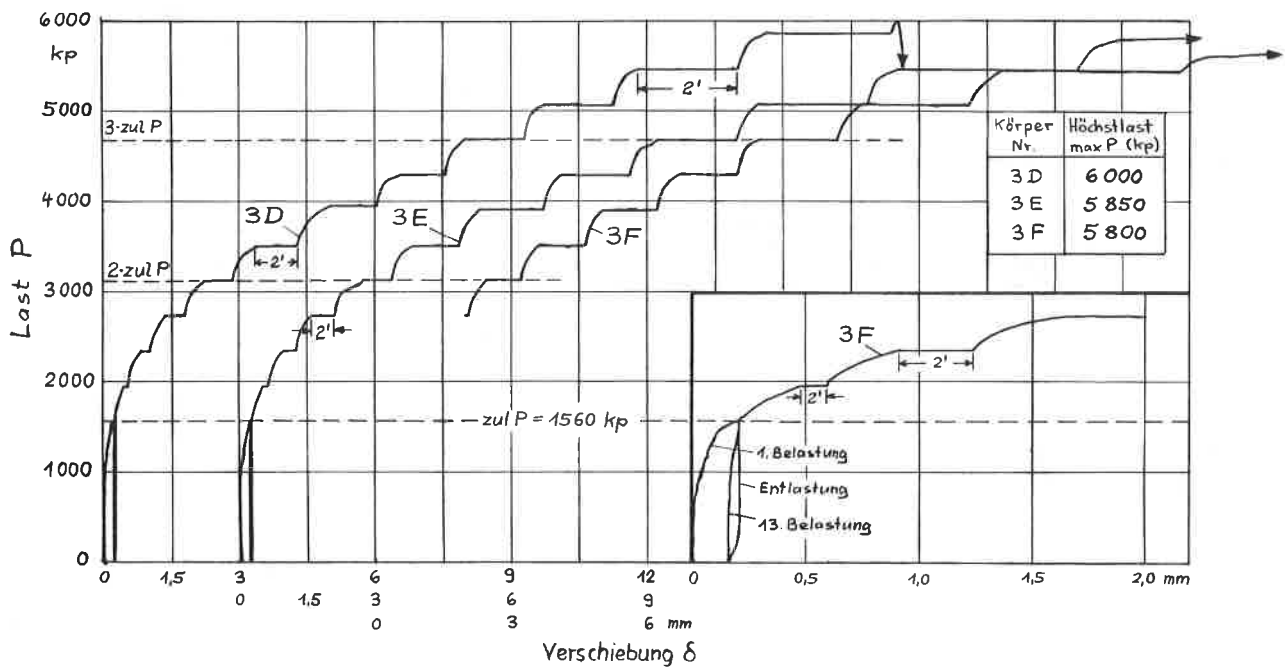
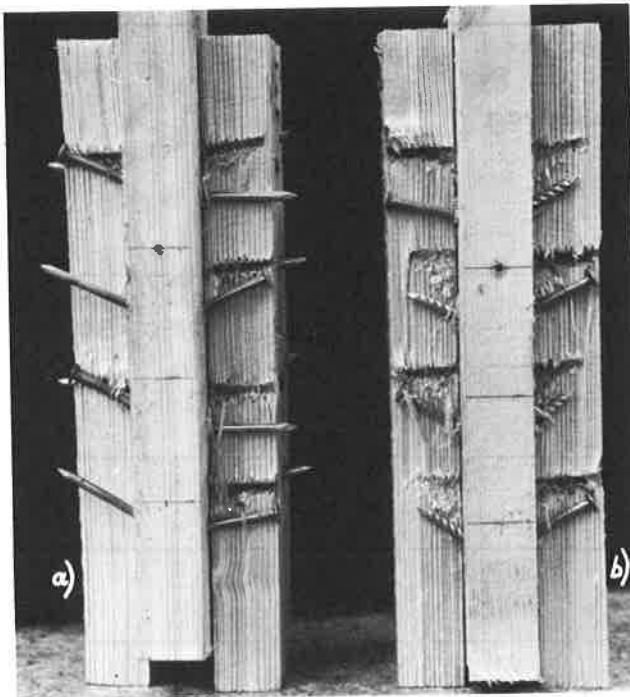


Bild 12: Last-Verschiebungs-Diagramme der Nagelkörper 3D, 3E und 3F. 8 Nägel 55 x 160 DIN 1151, zweiseitig

eine Verschiebung von 1,5 mm auftrat, und die erreichten Höchstlasten angegeben. War die Tragfähigkeit im Verlauf der zweiminütigen Konstanthaltung einer bestimmten Laststufe erschöpft, so ist die Zeit angegeben, nach der die Kraft nicht mehr aufgenommen werden konnte. Schließlich enthält Tabelle 4 noch die Bruchsicherheiten gegenüber den zulässigen Beanspruchungen nach DIN 1052. Diese Sicherheitswerte liegen bei den Schraubnägeln durchweg wesentlich höher als bei den entsprechenden glattschaftigen Nägeln, und zwar im Mittel um etwa 73 % bei den kleinen, 63 % bei den mittleren und 33 % bei den großen Nageltypen. Zwei Bruchbilder von Scherkörpern der Serie 2 (s. Bild 13) machen deutlich, daß die Schraubnägel sich bei hohen Lasten mit ihren Gewindeteilen im Holz verkrallen, während die normalen Drahtnägel stärker im Holz gleiten. Hierauf kann auch zurückgeführt werden, daß bei vielen kleinen einschmittigen Nägeln der Unterschied in der Bruchsicherheit größer ist als bei wenig großen zweisechmittigen Nägeln. Auffallend sind bei den Nagelkörpern der Serie 2 die verhältnismäßig geringen Sicherheiten, obwohl es sich bei diesen Nagelkörpern um relativ schweres Holz mit einer Druckfestigkeit von über 350 kp/cm^2 bei einem Feuchtigkeitsgehalt von mehr als 21 % handelte. Allerdings war bei diesen Körpern das Verhältnis von Holzdicke zu Nageldurchmesser am geringsten, und bei der Herstellung der Körper hatte sich bereits eine erhöhte Neigung zum Aufspalten des Holzes gezeigt.



a) Nägel 42 x 110 DIN 1151
b) Schraubnägel 42/50 x 90

Bild 13: Bruchbilder von Scherkörpern der Reihe 2

3.3. Beanspruchung der Nägel auf Ausziehen

Die Versuchswerte sämtlicher Ausziehversuche nach Abschnitt 2.4 wurden statistisch ausgewertet. Aus jeweils 10 gleichartigen Einzelversuchen wurden die maximalen Haftkräfte aus den aufgezeichneten Kraft-Ausziehweg-Diagrammen unter Beachtung der durch die Versuchsanordnung bedingten Vorlasten bestimmt. Für diese Werte wurden statistisch berechnet:

a) die Mittelwerte :
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

b) die Variationskoeffizienten:
$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{\bar{x}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

c) die Vertrauensbereiche der Mittelwerte:
$$\bar{p} = \pm t \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

d) die 5 %-Fraktile:
$$x_5 = \bar{x} - t' \cdot \bar{s} \quad (4)$$

Darin bedeuten:

- n Anzahl der Einzelwerte,
- x_i Einzelwerte der maximalen Haftkraft,
- \bar{s} Standardabweichung der n-Einzelwerte vom Mittelwert \bar{x}

t, t' Zahlenfaktoren in Abhängigkeit von n für eine beidseitige bzw. einseitige statistische Sicherheit von 95 %.

3.3.1. Einfluß der Einschlagtiefe (1. Versuchsreihe)

Die Ergebnisse der 1. Versuchsreihe sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Die Bilder 14 bis 17 zeigen einige typische Kraft-Ausziehweg-Diagramme aus dieser Versuchsreihe. Diese Diagramme sind für alle Ausziehversuche, auch der anderen Versuchsreihen, charakteristisch. Während glattschaftige Drahtnägel beim Ausziehen plötzlich nachgeben und sich bei einer niedrigeren Kraft, die allmählich abfällt, stetig aus dem Holz herausziehen, zeigen die Schraubnägel bei höherer statischer Haltekraft ein allmähliches Überschreiten eines Größtwertes mit nachfolgendem Kraftabfall. Die geleistete Auszieharbeit entspricht dem Flächeninhalt unter den Kraft-Ausziehweg-Kurven und ist bei Schraubnägeln im allgemeinen größer als bei glattschaftigen Drahtnägeln. In Bild 18 sind die mittleren Auszieh-widerstände in Abhängigkeit von der Einschlagtiefe dargestellt. Daraus kann geschlossen werden, daß von einer gewissen Mindesteinschlagtiefe an mit einer praktisch geradlinigen Zunahme der Haftkraft gerechnet werden kann. Bezieht man die mittleren maximalen Haftkräfte nach Tabelle 6 auf die Einschlagtiefen, so zeigt sich mit kleiner werdender Einschlagtiefe ein geringer Abfall der bezogenen Haftkraft. Dies ist auf den prozentual steigenden Anteil der Länge der Nagelspitze an der Einschlagtiefe zurückzuführen. Wird dagegen die Haftkraft auf die um die Länge der Nagelspitze verminderte Einschlagtiefe bezogen, so ergeben sich in etwa gleich groß bezogene Haftkräfte bei jeder Einschlagtiefe. Diese Werte sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Dividiert man diese Werte durch die Nagelumfänge $\pi \cdot d_n$, so erhält man mittlere Haftspannungen für die verschiedenen Nageltypen. Für die Drahtnägel 42 x 110 und 55 x 160 nach DIN 1151 betragen diese Haftspannungen 31,4 bzw. 31,9 kp/cm^2 und erreichen für die Schraubnägel 42/50 x 90 und 52/58 x 180 mit 58,0 bzw. 58,5 kp/cm^2 um etwa 80 bis 85 % höhere Werte. Die Haftspannungen der Drahtnägel 28 x 65 DIN 1151 liegen mit 18,8 kp/cm^2 erheblich niedriger, und auch die Schraubnägel 28/33 x 60 haben zwar etwa 70 % höhere, aber im Vergleich zu den

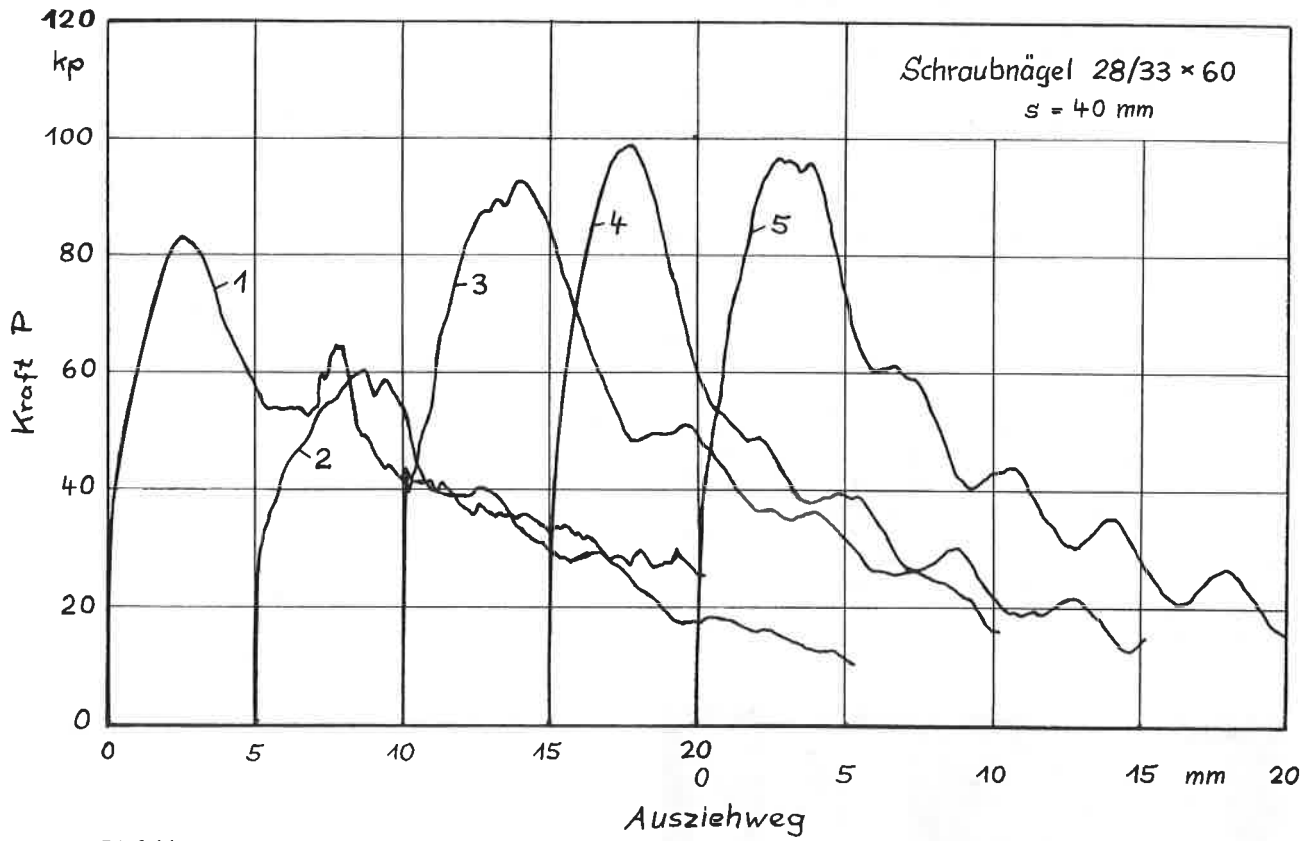


Bild 14:

Kraft-Ausziehweg-Diagramme von Schraubnägeln 28/33 x 60
(Versuchsreihe 1a)

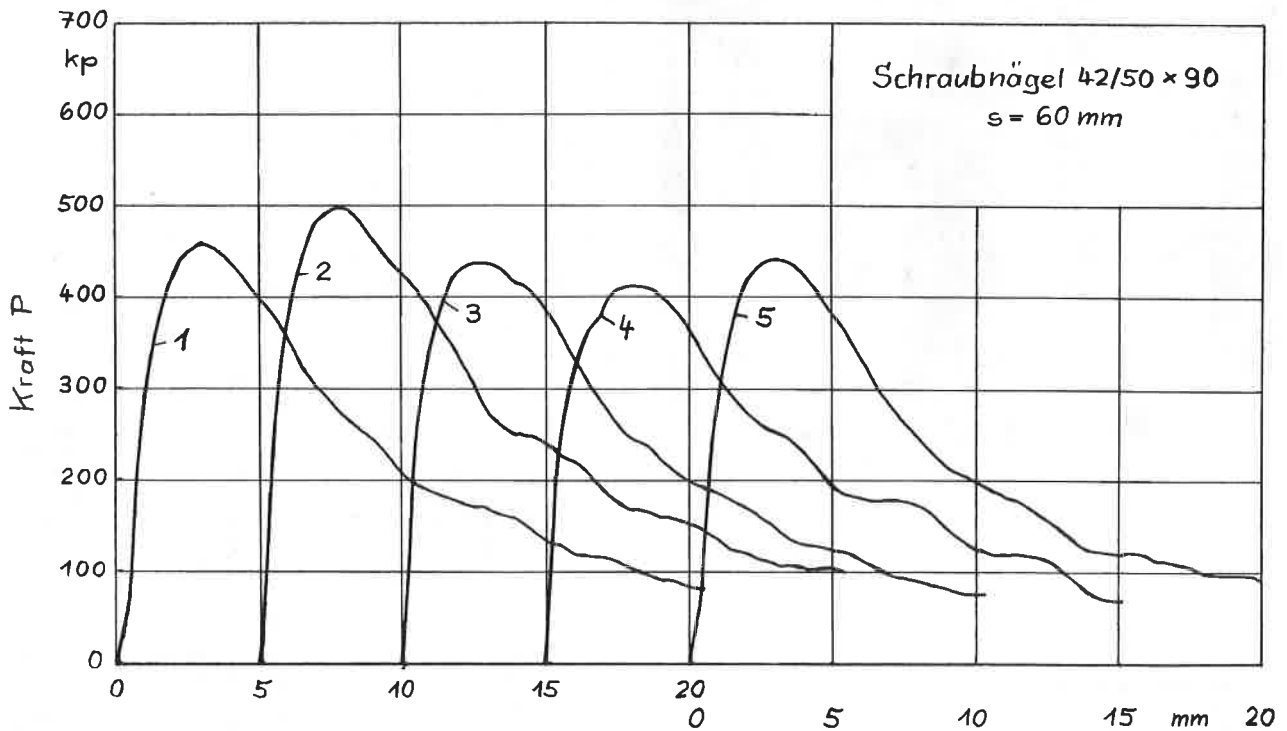


Bild 15: Kraft-Ausziehweg-Diagramme von Schraubnägeln 42/50 x 90
(Versuchsreihe 1b)

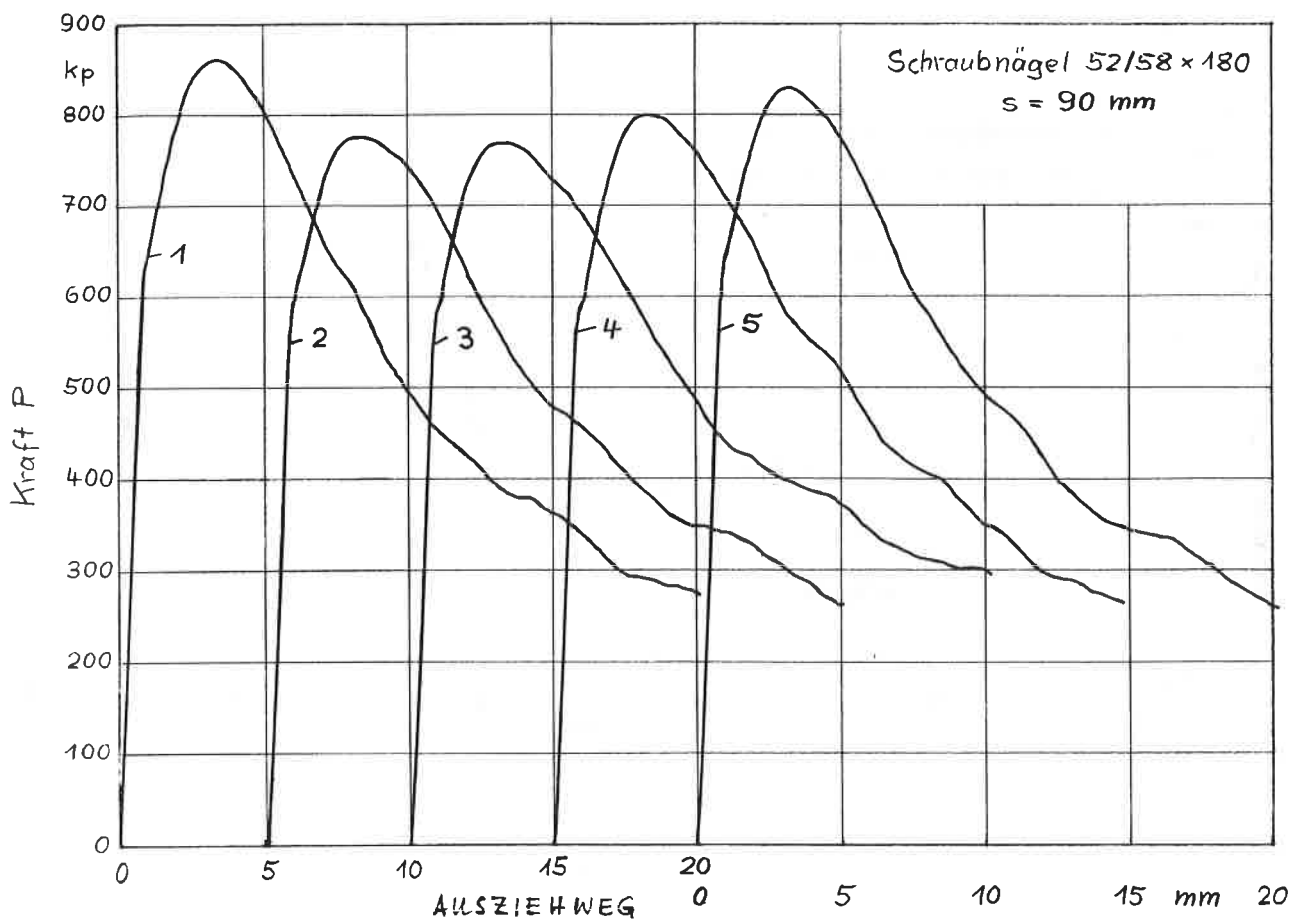


Bild 16: Kraft-Auszehweg-Diagramme von Schraubnägeln 52/58 x 180 (Versuchsreihe 1c)

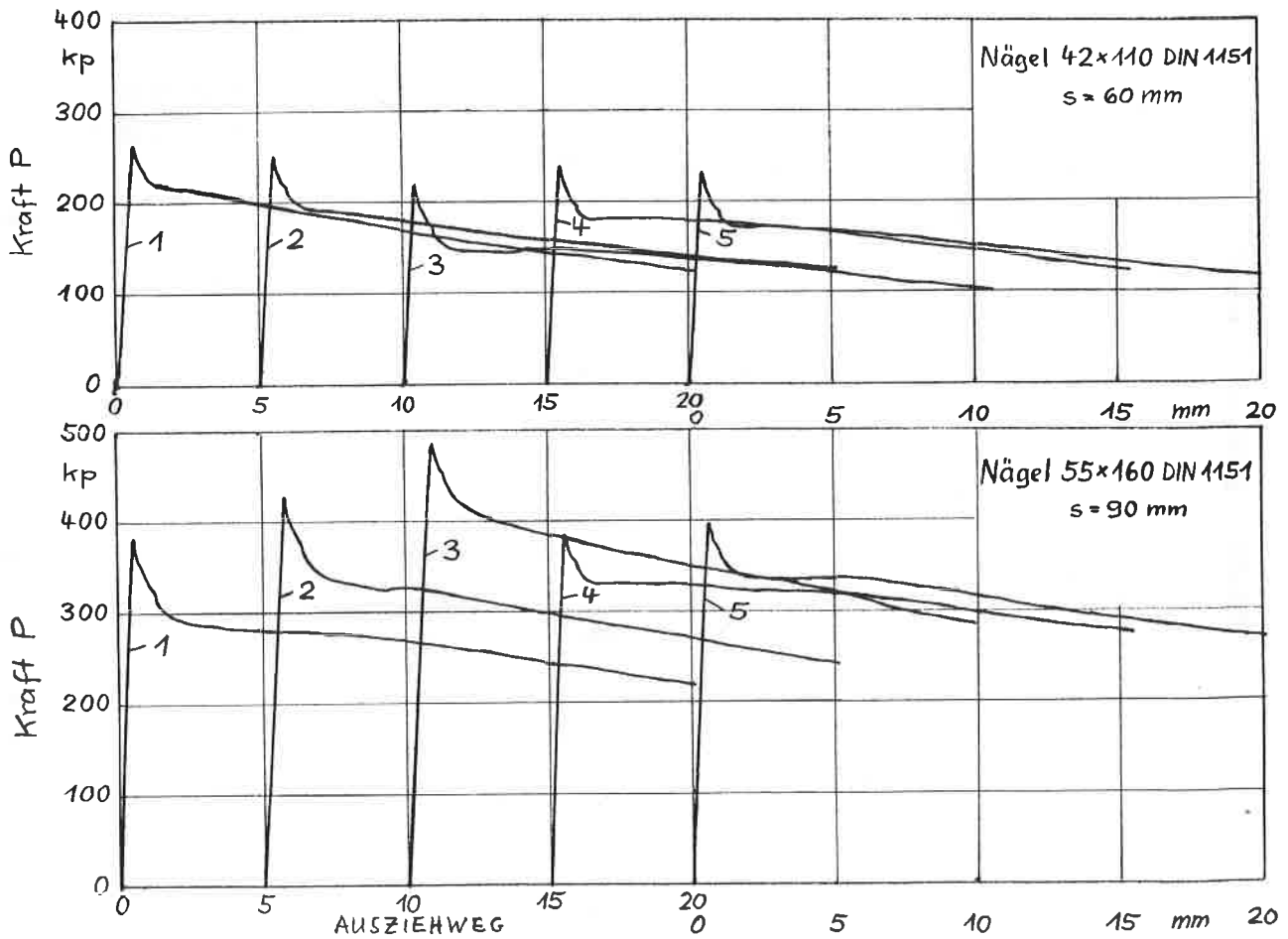


Bild 17: Kraft-Auszehweg-Diagramme von Drahtnägeln 42 x 110 und 55 x 160 DIN 1151 (Versuchsreihe 1b und 1c)

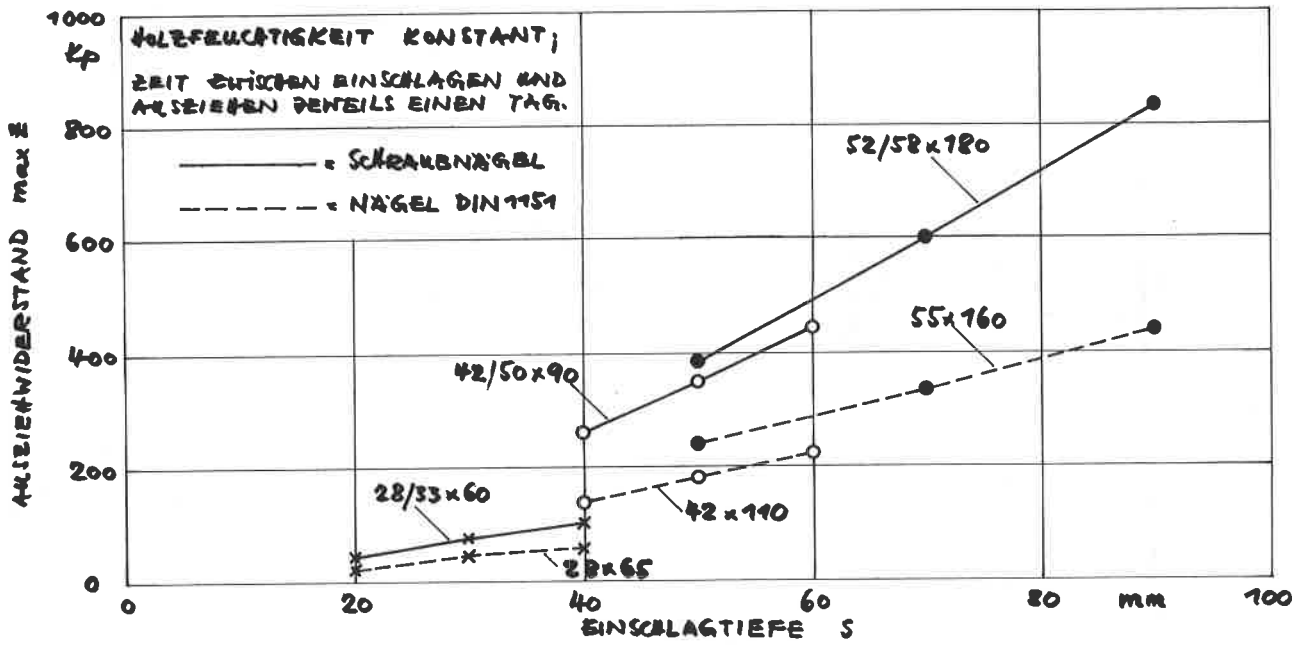


Bild 18: Ausziehewiderstand (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Einschlagtiefe

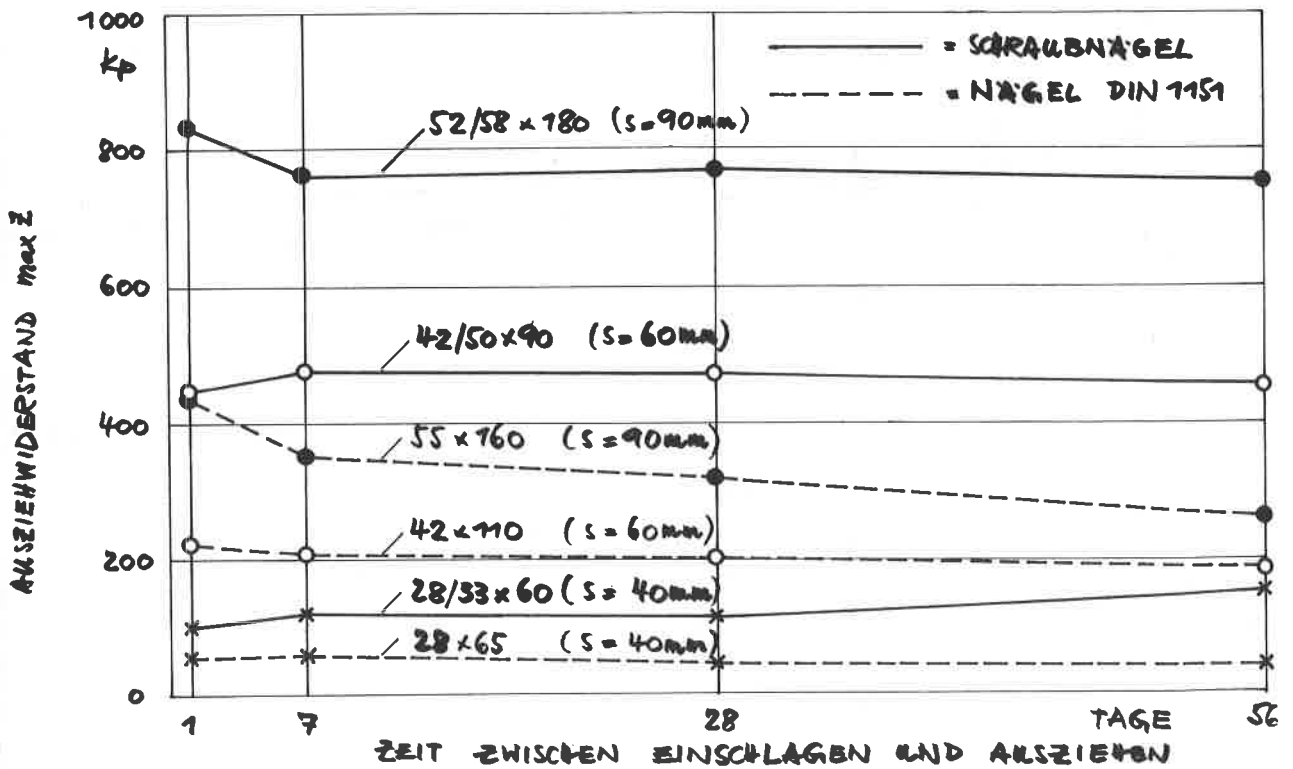


Bild 19: Ausziehewiderstand (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Zeit bei gleichbleibendem Feuchtigkeitsgehalt des Holzes

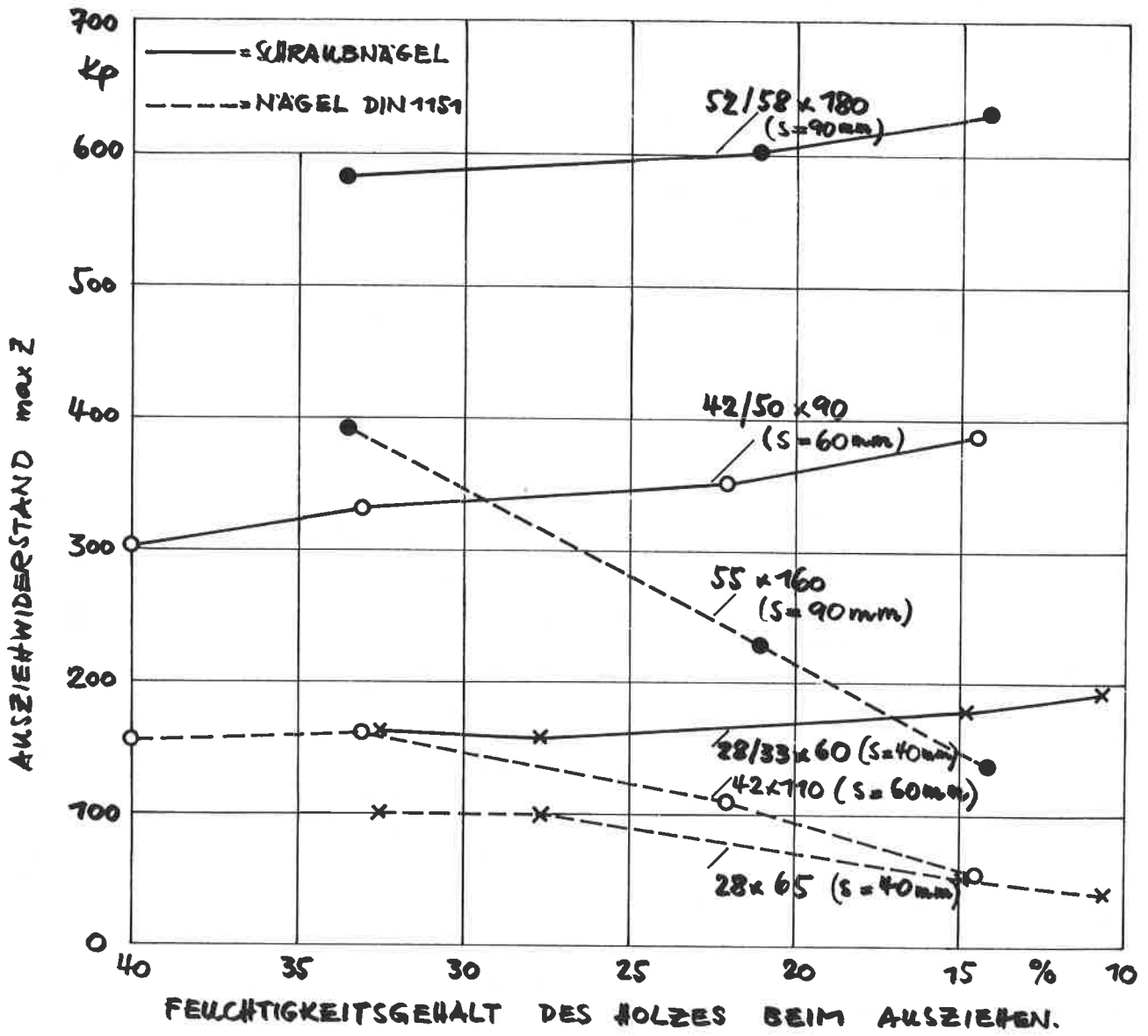


Bild 20: Auszieh-widerstand (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit bei Einschlagen über dem Fasersättigungspunkt

größeren Schraubnageltypen mit 32,0 kp/cm² merklich kleinere Haftspannungen erreicht (vgl. Tabelle 7).

Diese Ergebnisse machen den bedeutsamen Einfluß der Holzbeschaffenheit auf den Auszieh Widerstand deutlich, da die Ergebnisse für die kleinen Nageltypen an Holz mit geringer Rohdichte (0,40 g/cm³) und großer Jahrringbreite (3,44 mm), für die mittleren und großen Nageltypen jedoch an Holz mit größerer Rohdichte (0,45 bzw. 0,48 g/cm³) und kleiner Jahrringbreite (1,85 bzw. 1,98 mm) ermittelt wurden, während der Holzfeuchtigkeitsgehalt bei allen Versuchen der Serie 1 um 20 % lag. Diese Ergebnisse bestätigen in etwa Untersuchungen des U. S. Forest Products Laboratory, nach denen sich die Rohdichte des Holzes überproportional auf den Auszieh Widerstand auswirkt. Eine zusätzlich durchgeführte Ergänzungsreihe, bei der Schraubnägeln 28/33 x 60 und Nägel 28 x 65 DIN 1151 mit einer Einschlagtiefe von 40 mm in das Versuchsholz der Reihe 1b eingeschlagen und nach 24 Stunden wieder gezogen wurden, ergab mittlere bezogene Haftkräfte von 43,8 bzw. 22,2 kp/cm. Diese Werte entsprechen einer Haftspannung von 50,0 bzw. 25,3 kp/cm² und liegen immer noch um 15 bis 20 % unter den mit den größeren Nageltypen bei größerer Einschlagtiefe erzielten Ergebnissen. Der Unterschied dürfte auf andere Einflüsse (Form, Oberflächenbeschaffenheit, Durchmesser oder sonstige Faktoren) zurückzuführen sein.

3.3.2. Einfluß der Zeit bei gleichbleibendem Feuchtigkeitsgehalt des Holzes (2. Versuchsreihe)

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe nach Abschnitt 2.4.2 enthält Tabelle 8. Bei praktisch gleichbleibender Holzfeuchtigkeit zeigte sich bei den glattschaftigen Nägeln ein Nachlassen des Auszieh Widerstandes um etwa 25 % nach 8 Wochen, während bei den Schraubnägeln teilweise sogar eine Zunahme des Auszieh Widerstandes festzustellen war. Die Variationskoeffizienten änderten unregelmäßig ihre Größe, so daß über eine zu- oder abnehmende Streuung mit der Zeit keine Aussage gemacht werden kann. Die in Bild 19 dargestellten Mittelwerte der Auszieh Widerstände in Abhängigkeit von der Zeit veranschaulichen, daß bei gleichbleibendem Feuchtigkeitsgehalt zumindest bei glattschaftigen Nägeln im Laufe der Zeit mit einem Rückgang des Auszieh Widerstandes gerechnet werden muß.

3.3.3. Einfluß der Holzaustrocknung bei Nagelung in nasses Holz (3. Versuchsreihe)

Die Ergebnisse der in Abschnitt 2.4.3 beschriebenen 3. Versuchsreihe sind in Tabelle 9 enthalten. Werden die Nägel in Holz mit einem Feuchtigkeitsgehalt über dem Fasersättigungspunkt eingeschlagen und nach Austrocknung des Holzes ausgezogen, so zeigt sich bei Schraubnägeln eine Zunahme der Haftkraft mit abnehmender Holzfeuchtigkeit. Bei glattschaftigen Nägeln nach DIN 1151 dagegen fällt die Haftkraft erheblich ab. In Bild 20 sind die Mittelwerte der maximalen Ausziehkräfte in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit beim Ausziehen dargestellt. Am Beispiel der Drahtnägeln 28 x 65 und 42 x 110 nach DIN 1151 wird außerdem deutlich, daß ein merkliches Nachlassen des Auszieh Widerstandes erst dann eintritt, wenn die Holzfeuchtigkeit unter den Fasersättigungspunkt abfällt. Bemerkenswert bei dieser Versuchsreihe ist ferner, daß die Streuung (Variationskoeffizienten) bei den glattschaftigen Nägeln stets größer als bei den entsprechenden Schraubnägeln war.

Bei der Auswertung dieser Versuchsreihe ist auch der Einfluß der Holzigenschaften, insbesondere der Rohdichte zu beachten. Vergleicht man die maximalen Auszieh Widerstände aus der Versuchsreihe 1 (s. Tabelle 6) mit den entsprechenden Werten der Versuchsreihe 3 (s. Tabelle 9), bei denen die Holzfeuchtigkeit über dem Fasersättigungspunkt beim Einschlagen und Herausziehen nach einem Tag lag, so bestehen unterschiedliche Voraussetzungen nur im Holz-

feuchtigkeitsgehalt und der Holzbeschaffenheit (Rohdichte). Die vergleichbaren mittleren maximalen Ausziehkräfte sind in Tabelle 10 einander gegenübergestellt. Hieraus kann geschlossen werden, daß die Rohdichte des Holzes den erreichbaren Auszieh Widerstand eines Nagels mehr beeinflusst als die Holzfeuchtigkeit zum Zeitpunkt des Einschlagens. Die tatsächlichen Abhängigkeiten können aber nur durch entsprechende systematische Versuche geklärt werden.

3.3.4. Einfluß des Jahrringverlaufes (4. Versuchsreihe)

Die mit den Schraubnägeln 42/50 x 90 und den glattschaftigen Drahtnägeln 42 x 110 DIN 1151 durchgeführten Vergleichsversuche bei radialer und tangentialer Einschlagrichtung lieferten die Ergebnisse nach Tabelle 11. Hieraus können folgende Schlüsse gezogen werden:

Bezogen auf die Mittelwerte besitzen radial eingeschlagene Nägel einen um etwa 4 % höheren Auszieh Widerstand. Bei glattschaftigen Drahtnägeln ist die Streuung bei tangentialer Einschlagrichtung jedoch erheblich größer, so daß in diesem Falle mit um 15 bis 20 % niedrigeren unteren Grenzwerten als bei radialer Einschlagrichtung gerechnet werden muß. Bei Schraubnägeln dagegen spielt die Einschlagrichtung nur eine unwesentliche Rolle.

4. Zusammenfassung

In vergleichenden Versuchen mit drei Schraubnageltypen und den hinsichtlich des Schaftdurchmessers entsprechenden glattschaftigen Drahtnägeln nach DIN 1151 wurde bei einheimischem Fichtenholz die Tragfähigkeit auf Abscheren und auf Ausziehen ermittelt. Dabei wurde bei den Ausziehversuchen die Abhängigkeit des Auszieh Widerstandes von der Einschlagtiefe, der Zeit zwischen Einschlagen und Ausziehen, der Zeit und Holzfeuchtigkeitsabnahme bei Einschlagen in nasses Holz und der Einschlagrichtung bezogen auf den Jahrringverlauf untersucht.

Bei Beanspruchung auf Abscheren verhalten sich die Schraubnägeln etwa bis zur doppelten zulässigen Belastung nach DIN 1052 hinsichtlich der auftretenden Verschiebungen wie glattschaftige Nägel. Dagegen wiesen die Schraubnagelverbindungen durchweg höhere Bruchlasten auf, weil die Nägel bei größeren Verformungen mit ihren Gewindeteilen besser im Holz haften. Je größer der Gewindeanteil der Nägel an der Gesamtverbindung ist, um so mehr wirkt sich dieser Effekt auf die Tragfähigkeit aus.

Bei Beanspruchung auf Ausziehen können aus den durchgeführten Versuchen folgende Feststellungen getroffen werden:

1. Von einer gewissen Mindesteinschlagtiefe an steigt der Auszieh Widerstand praktisch linear mit der Einschlagtiefe. Die Haftspannungen sind bei größeren Einschlagtiefen auch bei verschiedenen Nageldurchmessern weitgehend gleich, zeigen bei kleinen Einschlagtiefen jedoch einen geringfügigen Abfall.
2. Einen beträchtlichen Einfluß übt die Rohdichte des Holzes aus. Mit zunehmender Rohdichte kann mit einem überproportionalen Ansteigen des Auszieh Widerstandes gerechnet werden.
3. Bei gleichbleibendem Holzfeuchtigkeitsgehalt tritt mit zunehmender Zeitdauer zwischen dem Einschlagen und dem Ausziehen der Nägel ein allmähliches Nachlassen des Auszieh Widerstandes bei glattschaftigen Nägeln ein. Bei Schraubnägeln ist dies nicht oder nur in unbedeutendem Maße der Fall.

4. Der Auszieh-widerstand von Nägeln in nassem Holz (Feuchtigkeitsgehalt über dem Fasersättigungspunkt) ist bei gleicher Rohdichte des Holzes geringer als derjenige in trockenem Holz.
5. Werden Nägel in nasses Holz eingeschlagen und erst nach Austrocknung des Holzes wieder gezogen, so fällt der Auszieh-widerstand bei glattschaftigen Nägeln erheblich ab, und zwar um so mehr, je mehr das Holz austrocknet.
6. Schraubnägeln erleiden beim Einschlagen in nasses Holz mit anschließender Holzaustrocknung keine Einbuße ihres Auszieh-widerstandes. Dieser steigt sogar mit weiterer Holzaustrocknung an.
7. Bei radial eingeschlagenen Nägeln ist der Auszieh-widerstand etwas höher als bei tangentialer Einschlag-richtung. Bei glattschaftigen Nägeln, die tangential zu den Jahrringen eingeschlagen sind, muß mit größeren Streuungen als radial gerechnet werden, da sich hier die unterschiedliche Festigkeit von Früh- und Spätholz besonders auswirkt.

Bei den untersuchten Schraubnägeln lagen die Auszieh-widerstände in allen Versuchsreihen über den vergleichbaren Werten der glattschaftigen Nägel. Es erscheint daher möglich, für Schraubnägeln höhere zulässige Beanspruchungen

auf Ausziehen festzulegen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Tatsache, daß nicht nur die anfänglichen Auszieh-widerstände der Schraubnägeln ein Mehrfaches der Werte für glattschaftige Nägel erreichen, sondern auch nach längerer Zeit mit oder ohne Austrocknung des Holzes nach dem Einschlagen der Schraubnägeln kein Nachlassen des Auszieh-widerstandes auftritt, während bei glattschaftigen Nägeln mit einem erheblichen Abfall zu rechnen ist.

Da der Auszieh-widerstand von Schraubnägeln nicht nur von den Holzeigenschaften, sondern insbesondere auch von der Gewindeform und dem Werkstoff der Nägel abhängt, sollten für die Anwendungsbereiche des Ingenieurholzbaues auch genormte Schraubnägeln verwendet werden. Für derart normenmäßig bezüglich Werkstoff und Form festgelegte Schraubnägeln können aufgrund von Tragfähigkeitsuntersuchungen zulässige Beanspruchungen in Schaffrichtung in den einschlägigen Holzbaubestimmungen festgelegt werden. Dabei wird zusätzlich zu untersuchen sein, bei welchen Beanspruchungen die Nagelköpfe sich durch das zu befestigende Bauteil (Bretter, Bohlen, Holzwerkstoffplatten) hindurchziehen. Außerdem muß geprüft werden, ob bei Schraubnägeln andere (ggf. günstigere) Mindestnagelabstände möglich sind als die für glattschaftige Drahtnägeln nach DIN 1151 festgelegten Werte der DIN 1052.

S C H R I F T T U M

- Burmester, A. :
Das Nagelhaltevermögen von Holz.
Moderne Holzverarbeitung 1963, Nr. 31, S. 186/87.
(Beilage zu Holz-Zentralblatt 89 (1963), Nr. 144).
- Stern, E. G. :
Better Utilization of Wood through assembly with improved Fasteners.
Virginia Polytechnic Institute Wood Research Laboratory
Rep. 38 (1959).
- Stern, E. G. :
Withdrawal Resistance of plain-shank and threaded Nails of 2 1/2 " Length, driven by hand-hammer vs. single-blow powasert automatic power Nailer.
V. P. I. Wood Res. Lab. Rep. 50 (1963).
- Stern, E. G. :
Influence of Rate of Withdrawal on Holding Power of plain - shank, twisted, fluted, and threaded Nails driven by hand-hammer or nailing machine.
V. P. I. Wood Res. Lab. Rep. 51 (1963).

- Stern, E. G. :
Moisture Content of Lumber influences Nail-Holding Power.
V. P. I. Wood Res. Lab. Rep. 53 (1964).
- Stern, E. G. :
Fastening of Steel Truss Plates with Threaded Nails.
V. P. I. Wood Res. Lab. Rep. 54 (1964).
- Stern, E. G. :
Effects of angular driving of Nails on automatic clinching of diamond Points.
V. P. I. Res. Division; Wood Res. and Wood Constr. Lab;
Rep. 66 (1968).
- Stern, E. G. :
Nails in Residential Buildings and Farm Structures .
V. P. I. Res. Division; Wood Res. and Wood Constr. Lab ;
Rep. 74 (1968).

Tabelle 6: Auszieh widerstände bei verschiedener Einschlagtiefe (1. Versuchsreihe)

Nageltyp	Einschlagtiefe s mm	Auszieh widerstand max Z			Eigenschaften des Fichtenholzes					
		Mittelwert kp	Var. Koeff. %	Vertrauensbereich des Mittelwertes kp	5 %- Fraktile kp	Rohdichte r 12 g/cm ³	mittl. Jahrr. breite mm	Druckfestigkeit bei u = 12 % kp/cm ²	Feuchtigkeitsgehalt beim Ein- schlagen %	Feuchtigkeitsgehalt beim Aus- ziehen %
28/33 x 60 Schraubnagel	40	99	11,7	90 ... 108	77,5					
	30	76	8,9	71 ... 81	63					
	20	43	10,9	39,5 ... 46,5	34,5	0,40	3,44	429	24,8	24,4
28 x 65 DIN 1151	40	58	8,8	54 ... 62	48,5					
	30	47	7,9	44,5 ... 49,5	40					
	20	23	20,9	19,5 ... 26,5	14	0,45	1,85	576	20,7	20,0
42/50 x 90 Schraubnagel	60	446	7,1	419 ... 473	388					
	50	349	3,7	340 ... 358	325					
	40	260	5,6	249 ... 271	233	0,45	1,85	576	20,7	20,0
42 x 110 DIN 1151	60	226	14,4	203 ... 249	166					
	50	181	17,3	159 ... 203	123					
	40	138	13,4	125 ... 151	104	0,48	1,98	555	19,3	19,0
52/58 x 180 Schraubnagel	90	836	5,1	806 ... 866	758					
	70	605	7,3	574 ... 636	525					
	50	387	5,0	373 ... 401	351	0,48	1,98	555	19,3	19,0
55 x 160 DIN 1151	90	441	9,5	411 ... 471	364					
	70	336	5,9	322 ... 350	300					
	50	241	8,5	226 ... 256	203	0,48	1,98	555	19,3	19,0

Ausziehen 24 Stunden nach dem Einschlagen.

T A B E L L E 7: Bezogene Haftkräfte kp/cm und durchschnittliche Haftspannungen kp/cm²
aus den mittleren Ausziehungswiderständen max \bar{Z} der 1. Versuchsreihe

Nageltyp	Bezogene Haftkraft (kp/cm)							mittlere bezogene Haftkraft kp/cm	durchschnittliche Haftspannung kp/cm ²	
	s = 20 mm	s = 30 mm	s = 40 mm	s = 50 mm	s = 60 mm	s = 70 mm	s = 90 mm			
Schraubnägelnach DIN 1151	28/33x60	27,2	29,4	27,6 (43,8)	-	-	-	-	28,1	32,0 (50,0)
	42/50x90	-	-	73,1	76,5	80,2	-	-	76,6	58,0
	52/58x180	-	-	-	90,0	-	96,0	100,8	95,6	58,5
Nägelnach DIN 1151	28 x 65	14,8	18,4	16,3 (22,2)	-	-	-	-	16,5	18,8 (25,3)
	42 x 110	-	-	41,0	41,3	42,1	-	-	41,5	31,4
55 x 160	-	-	-	57,4	-	54,2	53,8	55,1	31,9	

Werte berechnet unter Abzug der Spitzenlänge von der Einschlagtiefe s.

Klammerwerte : Ergänzungsreihe mit Holz der Reihe 1 b.

Tabelle 8: Auszieh widerstände bei unterschiedlicher Zeit zwischen Einschlagen und Ausziehen (2. Versuchsreihe)

Nageltyp	Einschlag- tiefe s mm	Zeit zwischen Einschlagen u. Ausziehen	Auszieh widerstand max Z			Eigenschaften des Fichtenholzes					
			Mittel- wert kp	Var.- Koeff. %	Vertrauensbereich des Mittelwertes kp	5 %- Fraktile kp	Feuchtigkeitsgehalt beim Einschlagen %	Feuchtigkeitsgehalt beim Ausziehen %	Rohdichte r_{12} g/cm^3	mitt. Jahrring- breite mm	Druckfestigkeit bei $u = 12\%$ kp/cm^2
28/33 x 60 Schraubnagel	40	1 Tag	99	11,7	90 ... 108	77,5	24,8	24,4	0,40	3,44	429
		1 Woche	117	10,1	109 ... 126	95	24,4	23,7			
		4 Wochen	113	13,0	102,5 ... 123,5	86	24,4	20,7			
		8 Wochen	152	11,9	139 ... 165	119	24,4	19,6			
28 x 65 DIN 1151	40	1 Tag	58	8,8	54 ... 62	48,5	24,8	24,4	0,40	3,44	429
		1 Woche	60	8,5	56 ... 64	51	24,4	23,7			
		4 Wochen	44	13,8	39 ... 48	33	24,4	20,7			
		8 Wochen	43	11,8	39 ... 47	34	24,4	19,6			
42/50 x 90 Schraubnagel	60	1 Tag	446	7,1	419 ... 473	388	20,7	20,0	0,45	1,85	576
		1 Woche	479	8,1	451 ... 507	408	20,0	21,1			
		4 Wochen	472	4,0	459 ... 486	437	20,0	19,9			
		8 Wochen	457	3,2	447 ... 468	430	20,0	19,7			
42 x 110 DIN 1151	60	1 Tag	226	14,4	203 ... 249	166	20,7	20,0	0,45	1,85	576
		1 Woche	212	7,9	200 ... 224	181	20,0	21,1			
		4 Wochen	203	11,2	187 ... 219	161	20,0	19,9			
		8 Wochen	184	14,4	165 ... 203	135	20,0	19,7			
52/58 x 180 Schraubnagel	90	1 Tag	836	5,1	806 ... 863	758	19,3	19,0	0,48	1,98	555
		1 Woche	765	3,8	744 ... 786	712	19,0	18,7			
		4 Wochen	772	7,1	733 ... 811	671	19,0	19,6			
		8 Wochen	754	4,2	731 ... 777	696	19,0	17,5			
55 x 160 DIN 1151	90	1 Tag	441	9,5	411 ... 471	364	19,3	19,0	0,48	1,98	555
		1 Woche	351	8,8	329 ... 373	294	19,0	18,7			
		4 Wochen	320	16,6	282 ... 353	222	19,0	19,6			
		8 Wochen	261	8,9	244 ... 273	218	19,0	17,5			

Tabelle 9: Auszieh widerstände bei Einschlagen in nasses Holz mit nachfolgender Holzauströcknung (3. Versuchsreihe)

Nageltyp	Einschlag- tiefe mm	Feuchtigkeitseinhalt des Holzes		Zeit zwischen Einschlagen u. Ausziehen	Auszieh widerstand max Z				Eigenschaften des Fichtenholzes		
		beim Einschlagen	u (%) beim Ausziehen		Mittel- wert kp	Var.- koeff. %	Vertrauens- bereich des Mittelwertes kp	5 %- Fraktile kp	Roh- dichte ρ_{12} g/cm ³	mittl. Jahr- ringbreite mm	Druckfestigkeit bei $u = 12\%$ kp/cm ²
28/33 x 60 Schraubnagel	40	32,5	32,5	15 Min.	163	3,5	158,5...167	152	0,49	2,25	600
		31,7	27,7	1 Tag	157	3,7	152,5...160,6	146			
		40,1	14,8	21 Tage	179	2,8	175... 182	169,5			
		40,1	10,6	52 Tage	195	2,1	192... 198	187,5			
28 x 65 DIN 1151	40	32,5	32,5	15 Min.	101	9,2	94,5...108	84			
		31,7	27,7	1 Tag	99	13,5	90...109	75			
		40,1	14,8	21 Tage	52	15,0	46,5... 58,5	38			
		40,1	10,6	52 Tage	40	9,8	37,5... 43	33			
42/50 x 90 Schraubnagel	60	40,3	40,3	15 Min.	303	7,1	287... 320	263			
		39,7	33,1	1 Tag	332	6,3	317... 347	294			
		37,4	22,1	11 Tage	352	3,6	341... 363	328			
		37,4	14,5	75 Tage	387	10,5	358... 416	313			
42 x 110 DIN 1151	60	40,3	40,3	15 Min.	156	20,3	133... 179	98	0,39	3,22	414
		39,7	33,1	1 Tag	162	23,9	134... 190	91			
		37,4	22,1	11 Tage	110	20,4	91... 129	68			
		37,4	14,5	75 Tage	55	24,3	45... 65	31			
52/58 x 180 Schraubnagel	90	40,2	33,5	1 Tag	584	6,8	555... 613	511			
		40,1	21,1	25 Tage	604	3,8	587... 621	562			
		40,1	14,2	96 Tage	632	4,7	609... 655	577			
		40,2	33,5	1 Tag	393	9,0	368... 418	328			
55 x 160 DIN 1151	90	40,1	21,1	25 Tage	229	9,1	214... 244	191	0,43	3,19	455
		40,1	14,2	96 Tage	139	8,9	130... 148	116			

Tabelle 10: Auszieh Widerstände bei verschiedener Rohdichte und Feuchtigkeit des Holzes

Nageltyp	Einschlag- tiefe s mm	aus Versuchsreihe 1			aus Versuchsreihe 3		
		Rohdichte r_{12} g/cm ³	Feuchtigkeits- gehalt u %	Ausziehwi- der- stand max \bar{Z} kp	Rohdichte r_{12} g/cm ³	Feuchtigkeits- gehalt u %	Ausziehwi- der- stand max \bar{Z} kp
28/33 x 60 Schraubnagel	40	0,40	24,5	99	0,49	> 28	157
28 x 65 DIN 1151	40	0,40	24,5	58	0,49	> 28	99
42/50 x 90 Schraubnagel	60	0,45	20,5	446	0,39	> 33	332
42 x 110 DIN 1151	60	0,45	20,5	226	0,39	> 33	162
42/58 x 180 Schraubnagel	90	0,48	19,1	836	0,43	> 33	584
55 x 160 DIN 1151	90	0,48	19,1	441	0,43	> 33	393

Tabelle 11: Auszieh Widerstände bei radialer und tangentialer Einschlagrichtung (4. Versuchsreihe)
(Einschlagtiefe s = 60 mm)

Nageltyp	Einschlag- richtung	Auszieh Widerstand max Z				Eigenschaften des Fichtenholzes
		Mittelwert kp	Var. Koeff. %	Vertrauensbereich des Mittelwertes kp	5 %- Fraktile kp	
42/50 x 90 Schraubnagel	radial	565	5,7	542 ... 589	506	Rohdichte $r_{12} = 0,47$ g/cm ³ mittl. Jahrr. breite 2,75 mm
	tangential	543	4,7	525 ... 562	497	
42 x 110 DIN 1151	radial	211	6,9	201 ... 222	185	Druckfestigkeit bei $u = 12$ % : 505 kp/cm ² Holzfeuchtigkeitsgehalt: u = 14,7 %
	tangential	203	12,6	185 ... 221	156	