

Vergleichende Betrachtungen zur
Tragfähigkeit von Nagelverbindungen
mit und ohne Rißlinienversetzung

T 2504

T 2504

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Fakultät für Bauingenieurwesen

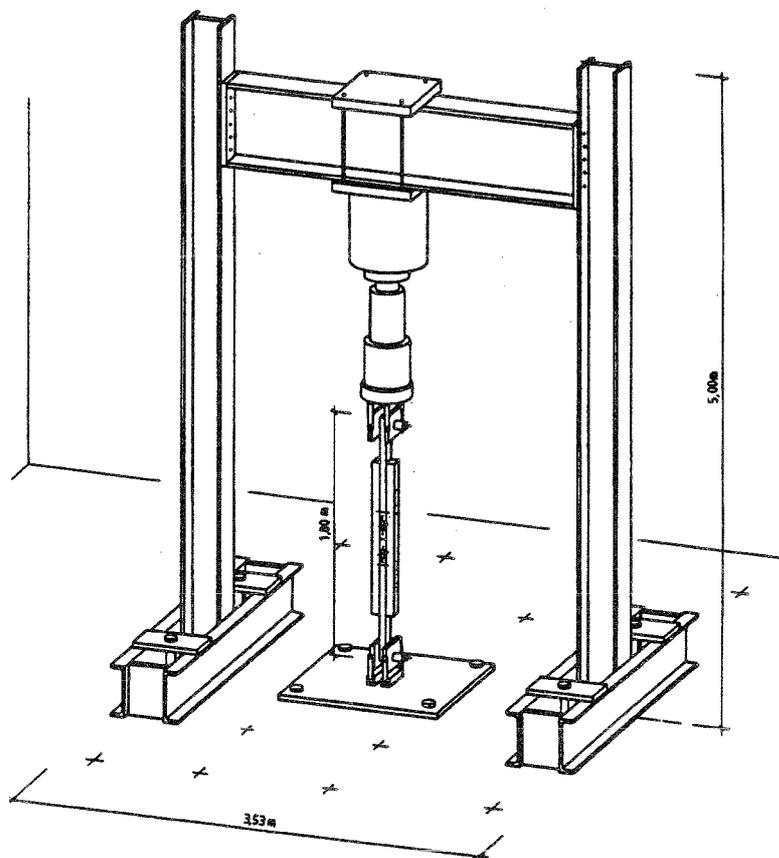
Lehrstuhl für Baukonstruktionen, Ingenieurholzbau und Bauphysik

Prof. Dr.-Ing. E. Reyer

Vergleichende Betrachtungen zur Tragfähigkeit von Nagelverbindungen mit und ohne Rißlinienversetzung

von

Eckhard Reyer und Peter Linzner



Durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) und gefördert durch das Institut für Bautechnik, Berlin

KURZ - INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
2	Ziel des Forschungsvorhabens.....	2
3	Vorversuche (Spaltversuche ohne statische Belastung, Holzfeuchte $u = 14 \%$).....	3
4	Hauptversuche (Holzfeuchte $u = 10 \%$).....	26
5	Langzeitversuche.....	131
6	Nachträgliche Spaltversuche.....	138
7	Zusammenfassende vergleichende Bewertung und Empfehlung.....	143
8	Zusammenfassung	146
9	Anhang.....	149

(Ausführliches Inhaltsverzeichnis nachfolgend)

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
2	Ziel des Forschungsvorhabens.....	2
3	Vorversuche (Spaltversuche ohne statische Belastung, Holzfeuchte $u = 14 \%$).....	3
3.1	Ziel der Vorversuche.....	3
3.2	Untersuchte Parameter.....	5
3.2.1	Nageldurchmesser.....	5
3.2.2	Holzeigenschaft.....	5
3.2.3	Holzfeuchtigkeit.....	6
3.2.4	Holzdicken.....	6
3.2.5	Nagelabstände.....	7
3.2.6	Anzahl der miteinander vernagelten Bretter.....	7
3.3	Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse.....	8
3.3.1	Allgemeines.....	8
3.3.2	Darstellung der Versuchsergebnisse in Tabellenform.....	8
3.4	Beurteilung der Ergebnisse.....	23
3.4.1	Einfluß der Jahrringweite (eng/weit).....	23
3.4.2	Einfluß der Jahrringlage (stehend/liegend).....	23
3.4.3	Einfluß der Einschlagfeuchte.....	23
3.4.4	Einfluß der Trocknung.....	24
3.4.5	Einfluß von Nageldurchmesser und Nagelabstand parallel zur Faser.....	25
3.4.6	Vergleich der Nagelung (versetzt/unversetzt).....	25
4	Hauptversuche (Holzfeuchte $u = 10 \%$).....	26
4.1	Ziel der Hauptversuche.....	26
4.2	Versuchsdurchführung.....	26
4.2.1	Allgemeines.....	26
4.2.2	Versuchsbezeichnung.....	27
4.2.3	Versuchssteuerung und Meßtechnik.....	31
4.2.4	Exemplarische Darstellung von Versuchsauf- zeichnungen und -auswertung am Beispiel von Versuch I2,4.....	34
4.2.5	Versuchsaufbau.....	41
4.3	Parameter der Hauptversuche.....	42
4.3.1	Nageldurchmesser, -form, -länge.....	42
4.3.2	Nagelabstände untereinander \parallel zur Faser.....	44
4.3.3	Randabstände \parallel und \perp zur Faser, Abstände untereinander \perp zur Faser, Nagelreihen, Nagelanzahl hintereinander.....	44
4.3.4	Ermittlung der Holzeigenschaften.....	44
4.3.4.1	Allgemeines.....	44
4.3.4.2	Rohdichte.....	45
4.3.4.3	Holzfeuchtigkeit.....	45

4.3.4.4	Druckfestigkeit.....	46
4.3.4.5	Tabellen "Holzeigenschaften".....	48
4.4	Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung).....	55
4.4.1	Allgemeines	55
4.4.2	Mittelholz.....	55
4.4.3	Seitenholz.....	55
4.5	Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung).....	56
4.5.1	Allgemeines	56
4.5.2	Seitenholz.....	56
4.5.3	Mittelholz.....	56
4.6	Auswertung der Hauptversuche.....	58
4.6.1	Allgemeines.....	58
4.6.1.1	Auswertungsstufe I: Auswertung der einzelnen Versuche.....	58
4.6.1.2	Auswertungsstufe II: Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse aller Versuche einer Serie.....	59
4.6.1.3	Auswertungsstufe III: Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse aller Serien.....	60
4.6.2	Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindest- holzdicke (zweischnittige Verbindung).....	60
4.6.2.1	Ergebnisse aus der Auswertungsstufe II (Ergebnisse aller Versuche einer Serie).....	60
4.6.2.2	Ergebnisse aus der Auswertungsstufe III (Zusammenfassung der Ergebnisse aller Serien).....	76 a
4.6.3	Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung).....	77
4.6.3.1	Ergebnisse aus der Auswertungsstufe II (Ergebnisse aller Versuche einer Serie).....	77
4.6.3.2	Ergebnisse aus der Auswertungsstufe III (Zusammenfassung der Ergebnisse aller Serien).....	89
4.6.4	Zusatzversuche:Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindungen)	90
4.6.4.1	Ergebnisse aus der Auswertungsstufe II (Ergebnisse aller Versuche einer Serie).....	90
4.6.4.2	Ergebnisse aus der Auswertungsstufe III (Zusammenfassung der Ergebnisse aller Serien).....	97
4.7	Vergleichende Bewertung ("versetzt"/"unversetzt") der Hauptversuche.....	98
4.7.1	Allgemeines.....	98

4.7.2	Basistabellen (Tab.4.7.2/1, 4.7.2/2, 4.7.2/3) mit Erläuterungen für die vergleichende Bewertung.....	99
4.7.3	Vergleich der Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)	104
4.7.3.1	Spaltbarkeit.....	104
4.7.3.2	C-Modul bzw. Verschiebung.....	105
4.7.3.2.1	Nagel 3,8*130, glatt.....	105
4.7.3.2.2	Nagel 4,2*120, glatt.....	107
4.7.3.2.3	Nagel 3,8*121, gerillt.....	109
4.7.3.2.4	Nagel 4,6*146, glatt.....	111
4.7.3.3	Quotient $Nu/zul N$ (Sicherheitsfaktor)	113
4.7.3.3.1	Nagel 3,8*130, glatt.....	113
4.7.3.3.2	Nagel 4,2*120, glatt.....	113
4.7.3.3.3	Nagel 3,8*121, gerillt.....	114
4.7.3.3.4	Nagel 4,6*146, glatt.....	114
4.7.3.4	Absolute Versagenshäufigkeit.....	115
4.7.3.4.1	Nagel 3,8*130, glatt.....	115
4.7.3.4.2	Nagel 4,2*120, glatt.....	115
4.7.3.4.3	Nagel 3,8*121, gerillt.....	116
4.7.3.4.4	Nagel 4,6*146, glatt.....	116
4.7.4	Vergleich der Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung)	117
4.7.4.1	Spaltbarkeit.....	117
4.7.4.1.1	Nagel 3,8*130, glatt.....	117
4.7.4.1.2	Nagel 4,2*120, glatt.....	118
4.7.4.1.3	Nagel 3,8*121, gerillt.....	119
4.7.4.1.4	Nagel 4,6*146, glatt.....	120
4.7.4.2	C-Modul bzw. Verschiebung.....	120
4.7.4.2.1	Nagel 3,8*130, glatt.....	120
4.7.4.2.2	Nagel 4,2*120, glatt.....	122
4.7.4.2.3	Nagel 3,8*121, gerillt.....	124
4.7.4.3	Quotient $Nu/zul N$ (Sicherheitsfaktor)	127
4.7.4.3.1	Nagel 3,8*130, glatt.....	127
4.7.4.3.2	Nagel 4,2*120, glatt.....	127
4.7.4.3.3	Nagel 3,8*121, gerillt.....	128
4.7.4.4	Absolute Versagenshäufigkeit.....	129
4.7.4.4.1	Nagel 3,8*130, glatt.....	129
4.7.4.4.2	Nagel 4,2*120, glatt.....	129
4.7.4.4.3	Nagel 3,8*121, gerillt.....	130
4.7.4.4.4	Nagel 4,6*146, glatt.....	130

5	Langzeitversuche.....	131
5.1	Allgemeines/Zielsetzungen.....	131
5.2	Krafteinleitung.....	131
5.3	Versuchsreihen.....	132
5.4	Auswertung der Langzeitversuche.....	133
5.4.1	Rißbildung.....	133
5.4.2	Zeitabhängige Verformungen.....	133
5.4.3	Ermittlung der Bruchlast (bzw. des Quotienten Nu/zul N) nach vorangegangener Langzeitbe- lastung von $1,5 * \text{zul N}$	134
6	Nachträgliche Spaltversuche.....	138
6.1	Allgemeines.....	138
6.2	Versuchsdurchführung.....	139
6.2.1	Versuch 1.....	139
6.2.2	Versuch 2.....	139
6.2.3	Versuch 3.....	140
6.2.4	Versuch 4.....	140
6.2.5	Versuch 5.....	140
6.2.6	Versuch 6.....	141
6.2.7	Versuch 7.....	141
6.2.8	Versuch 8.....	141
6.2.9	Versuch 9.....	142
6.2.10	Versuch 10.....	142
7	Zusammenfassende vergleichende Bewertung und Empfehlung.....	143
7.1	Beurteilung der Spaltneigung und des Trag- und Verformungsverhaltens	143
7.1.1	Ergebnisse aus den Vorversuchen (Kap. 3).....	143
7.1.2	Ergebnisse aus den Hauptversuchen mit Einschlagfeuchte $u = 10 \%$ (Kap. 4).....	143
7.1.3	Ergebnisse aus den nachträglichen Spaltver- suchen mit Einschlagfeuchte $u = 14 \%$ (Kap. 6).....	144
7.1.4	Ergebnisse aus den nachträglichen Spalt- versuchen mit Einschlagfeuchte $u = 10 \%$ (Kap. 6).....	144
7.2	Zusammenfassende Empfehlung.....	145
8	Zusammenfassung	146
9	Anhang.....	149
	- Kraft-Weg Diagramme für alle Versuche	
	- Fotodokumentation der Versuche	

1 Einleitung

Nach DIN 1052, Teil 2, Ausgabe 1988, sind Nägel um den halben Nageldurchmesser abwechselnd gegenüber der Nagelrißlinie versetzt anzuordnen.

Der Grundgedanke dieser versetzten Nagelanordnung liegt in der Reduzierung der Spaltgefahr des Holzes in Faserrichtung. Bei konventioneller Nagelung von Hand mit dem Hammer führt das Versetzen der Nägel zwar zu einem gewissen Mehraufwand, es bereitet jedoch keine grundsätzlichen Schwierigkeiten.

Anders ist die Situation bei maschineller Nagelung mit Handnagel-eintreibgeräten. Da hierbei die Arbeitsgeschwindigkeit ca. 4mal größer ist und die Nagelapparate relativ schwer sind, wird ein versetztes Eintreiben der Nägel nur sehr ungerne - möglichst überhaupt nicht - ausgeführt. Hinzu kommt, daß der Einsatz von Hilfskräften bei der einfacher ausführbaren unversetzten Nagelung erleichtert wird.

Im vorliegenden Bericht wird das Trag-, Verformungs-, und Spaltverhalten maschinell genagelter Anschlüsse mit unversetzter Nagelung in der Rißlinie der mit versetzter Nagelung gegenübergestellt. Darüber hinaus werden Vorschläge zur Bemessung maschinell unversetzt genagelter Verbindungen erarbeitet.

Sämtliche durchgeführten Vor- und Hauptversuche wurden vorher im Detail in Abstimmung mit dem zuständigen Arbeitsausschuß der EGH/DGfH festgelegt. Hierfür fand zur Festlegung der Vorversuche eine Arbeitsausschußsitzung am 3. März 1988 an der Ruhr - Universität Bochum und zur Festlegung der Hauptversuche am 22. Juli 1988 im Hause der EGH/DGfH in München statt.

2 Ziel des Forschungsvorhabens

Das Ziel des Forschungsvorhabens liegt in der vergleichenden Untersuchung des Trag- und Verformungs- und Spaltverhaltens gegenüber der Rißlinie **versetzter** und **unversetzter** maschineller Nagelung und in der Erarbeitung von Vorschlägen zur Bemessung von Nagelverbindungen ohne (die in der DIN 1052 vorgeschriebene) Rißlinienversetzung bei maschineller Nagelung.

Wie weit sich die Ergebnisse auch auf eine konventionell von Hand durchgeführte Nagelung ohne Rißlinienversetzung übertragen lassen, war im Rahmen dieses Vorhabens nicht mehr Gegenstand der Untersuchungen.

Im einzelnen soll überprüft werden:

- Ob die Tragfähigkeit im Vergleich zur versetzten Nagelung besser, schlechter oder etwa gleich ist, sofern in beiden Fällen der Mindest-Nagelabstand $|| Fa$ in Kraftrichtung nach DIN 1052 vorliegt.
- Ob im Falle einer geringeren Tragfähigkeit diese durch einen größeren Nagelabstand kompensiert werden kann und wie groß dieser Nagelabstand sein müßte, so daß etwa gleiche Tragfähigkeit wie bei versetzter Nagelung mit Mindest-Nagelabstand nach DIN 1052 auftritt.
- Ob sich für unversetzte Nagelung aufgrund der Spaltgefährdung obere Grenzen für den Nageldurchmesser ergeben, sofern die unversetzte Nagelung sich überhaupt als geeignet zeigt.

Darüber hinaus sollte in Langzeitversuchen überprüft werden, ob sich - zeitabhängig - ein unterschiedliches Verformungsverhalten und/oder unterschiedliches Rißverhalten zwischen versetzter und unversetzter Nagelung einstellt.

Die Untersuchungen erstrecken sich auf den Anwendungsbereich ein- und zweischnittiger Holz-Holz-Nagelverbindungen, bei denen die Nägel maschinell mit einem Druckluft-Streifennagler in das Holz ohne Vorbohrung eingetrieben werden.

3 Vorversuche (Spaltversuche ohne statische Belastung, Holzfeuchte $u = 14 \%$)

3.1 Ziel der Vorversuche

In den Vorversuchen sollten zunächst die Spaltempfindlichkeit bzw. die Spaltgefährdung bei versetzter und unversetzter Nagelung mit maschinellen Eintreibgeräten untersucht werden.

Es handelte sich dabei um reine Spalt-Tests ohne statische Belastung. Dabei wurden folgende Eintreibgeräte für nachstehend aufgeführte Nageldurchmesser verwendet:

Nagel- ϕ 3,1 mm , glattschaftig und gerillt:

Preßluftnagler (Paslode Streifennagler, Typ 5350/90 S)
(siehe Bild 3.1/1)

Nagel- ϕ 3,8 mm , glattschaftig:

Preßluftnagler (Paslode Streifennagler, Typ SCN 50)
(siehe Bild 3.1/2)

Nagel- ϕ 6,0 mm , glattschaftig:

Preßluft-Meißelhammer (Black und Decker USA)
(siehe Bild 3.1/3)

Alle 3 Eintreibgeräte werden mit Preßluft betrieben. Bei den beiden Streifennaglern der Firma Paslode wird der Nagel mit **einem** Schlag eingetrieben, wogegen bei dem Meißelhammer der Nageleintritt sukzessiv erfolgt.



Bild 3.1/1: Paslode Streifenagler Typ 5350/90 S

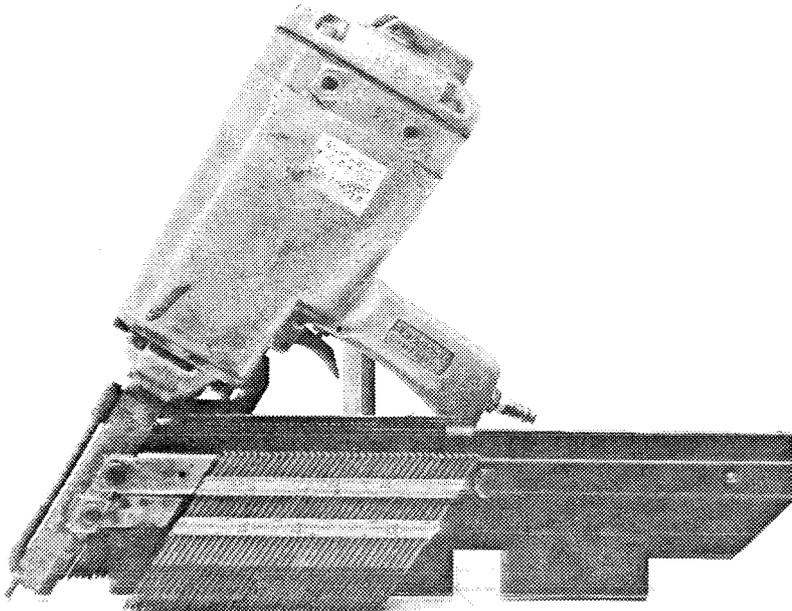


Bild 3.1/2: Paslode Streifenagler, Typ SCN 50

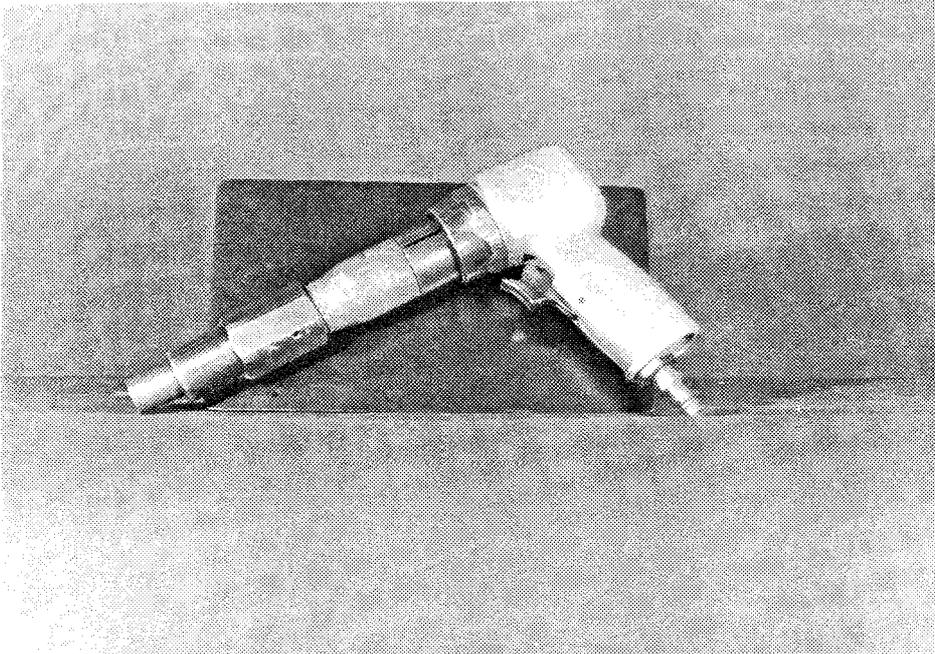


Bild 3.1/3: Black und Decker Meißelhammer

3.2 Untersuchte Parameter

3.2.1 Nageldurchmesser

- ϕ 3,1 mm (glattschaftig, l = 90 mm)
- ϕ 3,8 mm (glattschaftig, l = 130 mm)
- ϕ 6,0 mm (glattschaftig, l = 180 mm)

zusätzlich:

- ϕ 3,1 mm (gerillt , l = 90 mm)

3.2.2 Holzeigenschaften

- a.) Jahrringweite (weit: etwa ≥ 4 mm, eng: ≤ 2 mm), s. Bild 3.2.2/1
- b.) Jahrringlagen (stehend / liegend) siehe Bild 3.2.2/1

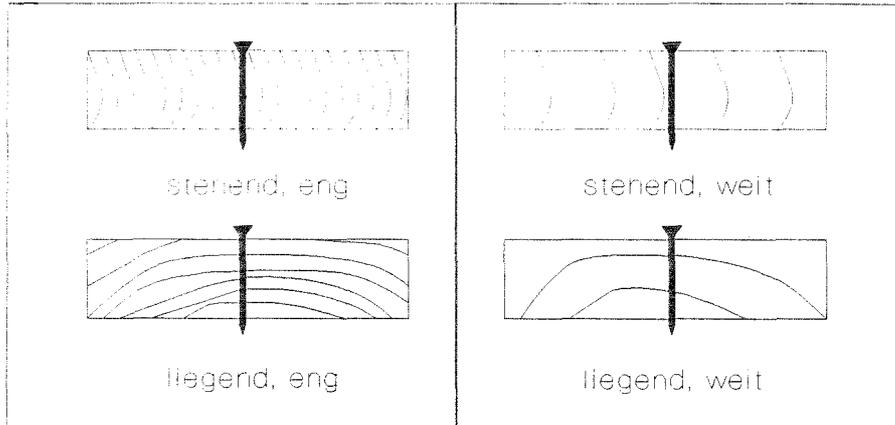


Bild 3.2.2/1: Jahrringweite (eng/weit) und Jahrringlage (stehend/liegend)

3.2.3 Holzfeuchtigkeit

- Holzfeuchte $u = 14 \%$
- Holzfeuchte $u = 24 - 28 \%$
- Holzfeuchte variabel: $u = 24 - 28 \%$ (Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt) und anschließend Trocknung auf $u = 14 \%$ (hierbei erfolgt zusätzlich Beobachtung etwaiger Rißbildung nach dem Einschlagen während der Trocknung)

Darüber hinaus weitere Trocknung auf $u = 8,5 \%$ und Beobachtung über einen Zeitraum von 2 Jahren, ob sich nachträglich eine Spaltbildung einstellt.

3.2.4 Holzdecken

für Nagel- ϕ 3,1 mm und 3,8 mm : 24 mm (= Mindestholzdicke)
 für Nagel- ϕ 6,0 mm : 50 mm (= Mindestholzdicke)

(Holzbreite bei allen Vorversuchen $b = 100$ mm)

3.2.5 Nagelabstände

a.) Nagelabstände untereinander in Faserrichtung

Nagel- ϕ 3,1 mm und 3,8 mm: (10 - 12,5 - 15 - 17,5 - 20) * d_n
 Nagel- ϕ 6,0 mm : (12 - 15 - 18 - 21 - 24) * d_n

Mit den unterstrichenen Abständen wurden keine Versuche mehr durchgeführt, weil bei 12,5 d_n selbst in trockenem ($u = 14\%$) und engringigem Holz kaum noch ein Spalten festzustellen war.

Mit den punktiert unterstrichenen Abständen wurden keine Versuche mehr durchgeführt, da bei 18 d_n (bei versetzter und unversetzter Nagelung im engringigem trockenem Holz) noch so breite Spalte auftraten, daß mehrere der Nägel lose und von Hand herausziehbar waren.

b.) Nagelabstände untereinander senkrecht zur Faser für alle Nägel 5 d_n

c.) Sonstiges

Der Abstand zum Hirnende betrug 15 d_n . Wenn der Abstand untereinander \parallel Faser $> 15 d_n$ wurde, wurde dieser Abstand auch zum Hirnende zugrunde gelegt.

- Anzahl der Nägel hintereinander: 4

- Anzahl der Reihen : 2

(einige Stichproben auch mit 3 bzw. 5 Reihen)

3.2.6 Anzahl der miteinander vernagelten Bretter

Beim Eintreiben der Nägel in trockenes Holz ($u = 14\%$) wurde in vorgeschalteten Tastversuchen festgestellt, daß das Spaltverhalten mehrerer miteinander vernagelter Bretter bis Nageldurchmesser 3,8 mm und ab 12,5 d_n Nagelabstand praktisch gleich dem Spaltverhalten des Einzelbrettes ist.*

Gleiches gilt bezüglich des Spaltverhaltens halbtrockenen Holzes mit $u = 24 - 28\%$ zum Einschlagzeitpunkt.

*Anmerkung: Andere Ergebnisse bei $u = 10\%$:

Bei den in Kap. 4 durchgeführten Hauptversuchen und in Kap. 6 durchgeführten nachträglichen Spaltversuchen zeigte sich bei einer Holzfeuchte von $u = 10\%$ zum Eintreibzeitpunkt, daß sich eine besonders große Spaltneigung immer dann im Brett mit Mindestholzdicke einstellte, wenn dieses in der Nageleindringfolge als erstes durchstoßen wurde oder dieses als Einzelbrett vorhanden war (Näheres s. Kap 4 und 6).

Anmerkungen zur Durchführung der Versuche

a. Spaltversuche an Einzelbrettern:

Die Spaltversuche wurden zunächst generell an Einzelbrettern mit Mindestholzdicke und $u = 14 \%$ und $u = 24 - 28 \%$ durchgeführt.

Das Arbeiten mit Einzelbrettern hatte folgende Vorteile:

- Am Einzelbrett konnte das unterschiedliche Spaltverhalten an Ein- und Austrittsseite beobachtet werden.
- Einflüsse aus Schräg-Verlauf der Nägel - wie bei Vernagelung mehrerer Bretter miteinander kaum vermeidbar - wurden damit ausgeschlossen.

b. Spaltversuche an drei miteinander vernagelten Brettern:

Zusätzlich zu den Spaltversuchen an Einzelbrettern (Mindestholzdicke $t = 24$ mm) wurde das Spaltverhalten von jeweils drei miteinander vernagelten Brettern (Mindestholzdicke $t = 24$ mm) mit $u = 24 - 28 \%$ (Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt) beim Trocknen auf $u = 14 \%$ untersucht.

3.3 Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse

3.3.1 Allgemeines

Es wurden unter Berücksichtigung der entscheidenden Parameter durchgeführt:

- a.) 67 Versuche mit Nägeln, $\phi 3,8$ mm (glattschaftig)
- b.) 60 Versuche mit Nägeln, $\phi 6,0$ mm (glattschaftig)
- c.) 14 Ergänzungs-Versuche mit Nägeln, $\phi 3,1$ mm (glattschaftig)
- d.) 13 Ergänzungs-Versuche mit Nägeln, $\phi 3,1$ mm (gerillt)
- e.) 12 Ergänzungs-Versuche in jeweils drei miteinander vernagelten Brettern mit den Nageldurchmessern $3,8$ mm und $6,0$ mm (glattschaftig)

3.3.2 Darstellung der Versuchsergebnisse in Tabellenform

Auswertungsprotokoll der Spaltversuche

Nagel: 38*130

Holzfeuchte: u = 14 %

Holzdicke: t = 2,4 cm

Tab. 3.3.2/1

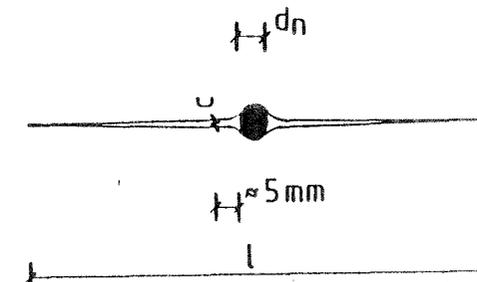
Abstand	Anzahl d. Versuche	e n g r i n g i g		w e i t r i n g i g		Bemerkungen
		stehend	liegend	stehend	liegend	
versetzt 10,0 d _n	13	- ¹ o o o	* - - -	o + + +	-	¹ siehe Bild 3.3.2/1 a,b
unversetzt 10,0 d _n	15	* ² * - o	* * - o	o + + +	+ + o	² siehe Bild 3.3.2/2 a,b
versetzt 12,5 d _n	10	+ + ³ + +	- o o o	+	+	³ siehe Bild 3.3.2/3 a,b
unversetzt 12,5 d _n	12	- + + +	- o ⁴ o +	+	o	⁴ siehe Bild 3.3.2/4 a,b
versetzt 15,0 d _n						
unversetzt 15,0 d _n						
versetzt 17,5 d _n						
unversetzt 17,5 d _n						
versetzt 20,0 d _n						
unversetzt 20,0 d _n						
	Σ 50					

+ ohne Spaltrisse oder mit sehr feinen (c ≤ 0,5 mm) Spaltrissen nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [0 ≤ l ≤ 30 mm]

o feine (c ≤ 0,5 mm) Spaltrisse nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [30 mm ≤ l ≤ 50 (+70)mm]

- breitere (0,5 mm ≤ c ≤ 2,0 mm) Spaltrisse auf Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [70 mm ≤ l ≤ 200 mm]

* sehr breite Spaltrisse (c ≥ 2,0 mm) auf der Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [l ≥ 100 mm] oder Auseinanderbrechen der Holzprobe



l = Rißlänge
c = Rißweite im Abstand von rd.
5 mm neben dem Nagel

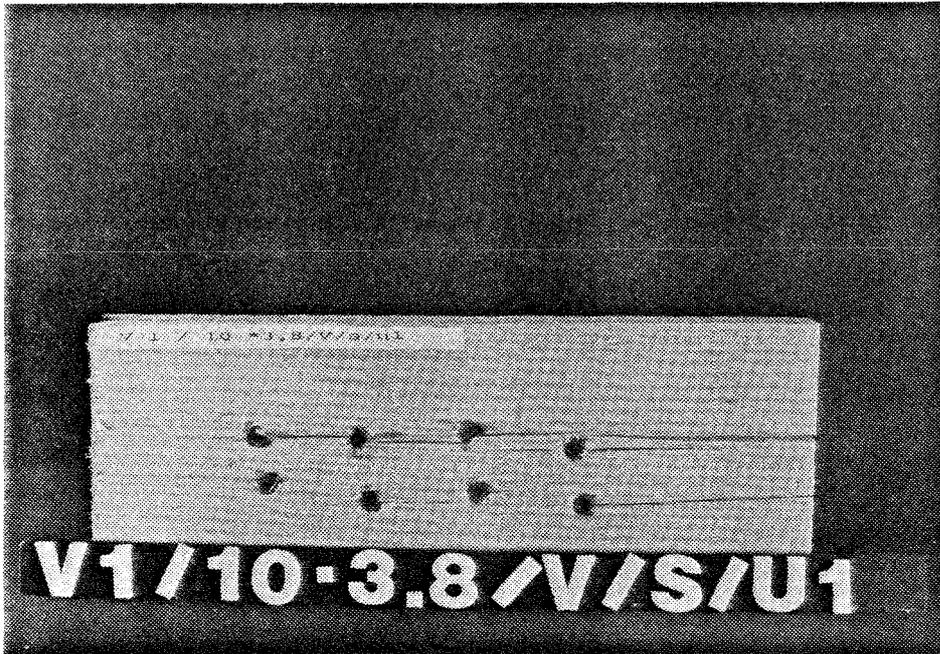


Bild 3.3.2/1 a: Nagel-Eintrittseite

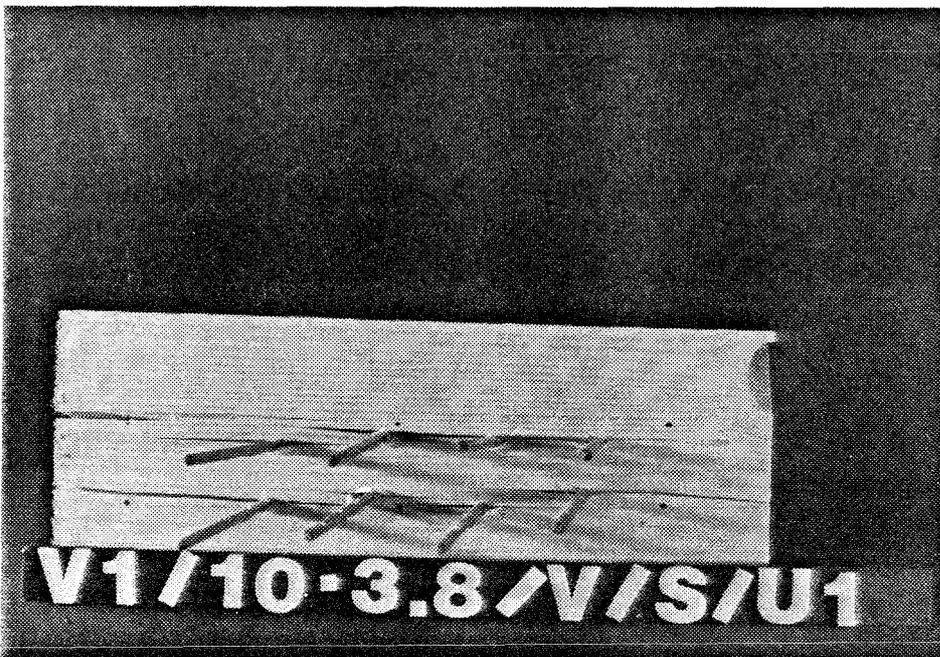


Bild 3.3.2/1 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/1: Versetzte Nagelung mit Nagel 38*130 und Nagelabstand 10 dn || Fa.

- Spaltversuch mit breiteren Spalttrissen von $0,5 \text{ mm} \leq c \leq 2,0 \text{ mm}$ auf Ein- und Austrittsseite um den Nagel und Rißlängen von $70 \text{ mm} \leq l \leq 200 \text{ mm}$
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, stehend
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definition von c und l s. Tabelle 3.3.2/1

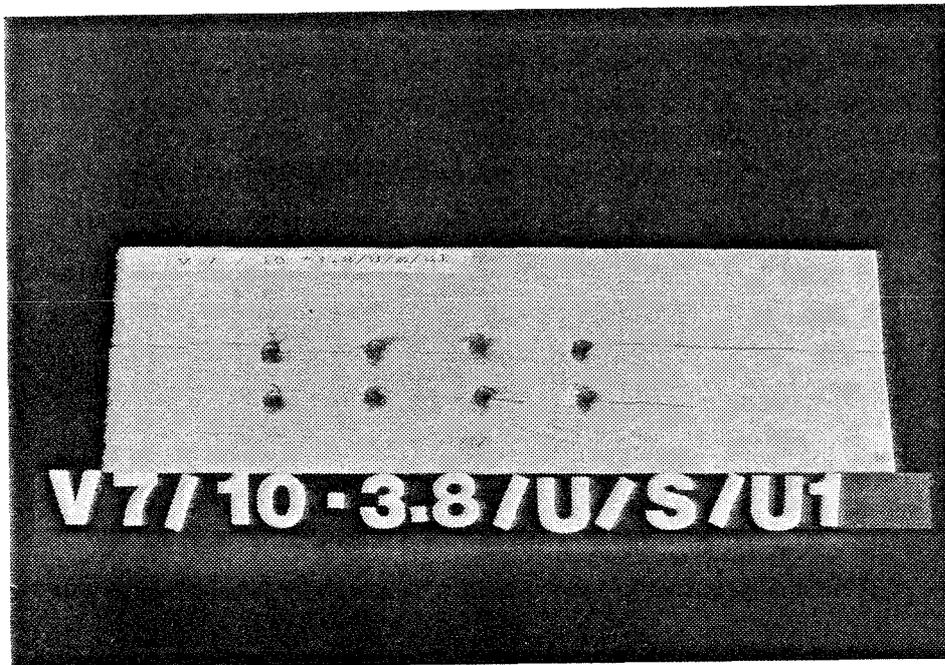


Bild 3.3.2/2 a: Nagel-Eintrittseite

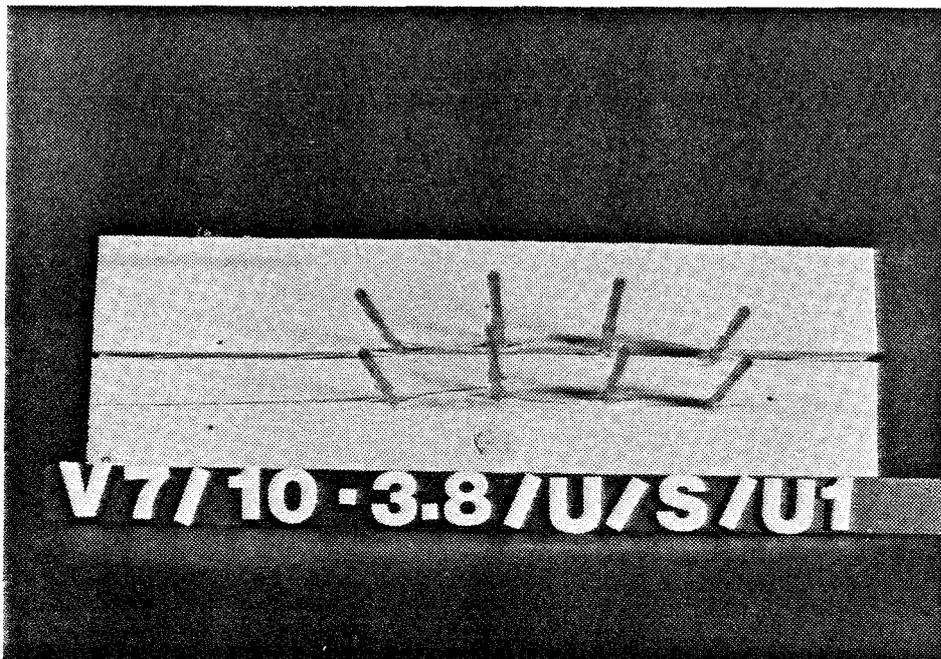


Bild 3.3.2/2 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/2: Unversetzte Nagelung mit Nagel 38*130 und Nagelabstand 10 dn || Fa.

- Spaltversuch mit sehr breiten Spaltrissen von $c \geq 2,0$ mm auf Ein- und Austrittseite um den Nagel (oder Auseinanderbrechen der Holzprobe) und Rißlängen von $l \geq 100$ mm.
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, stehend
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definitionen von c und l s. Tabelle 3.3.2/1

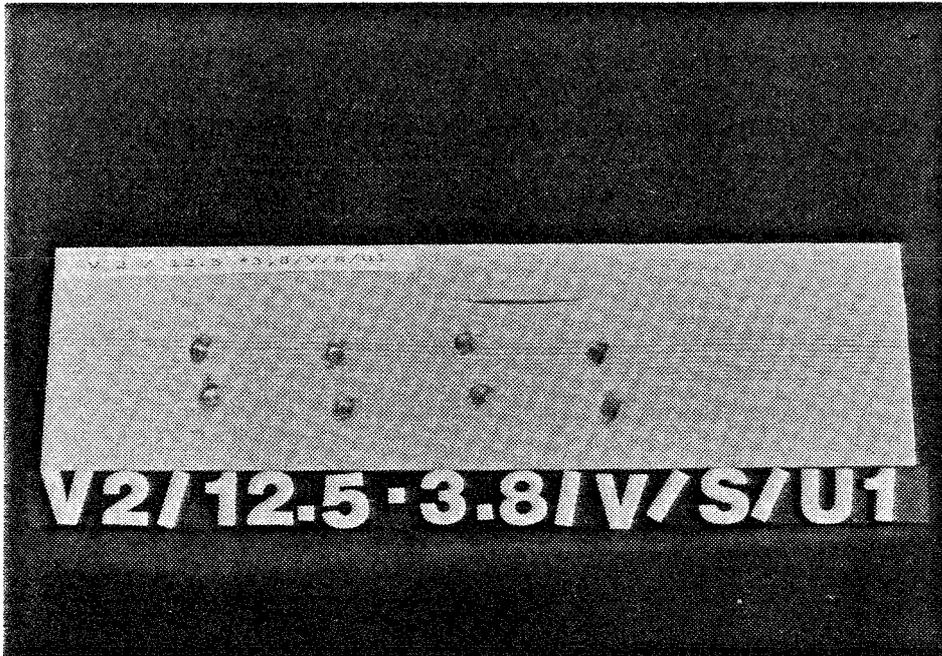


Bild 3.3.2/3 a: Nagel-Eintrittseite

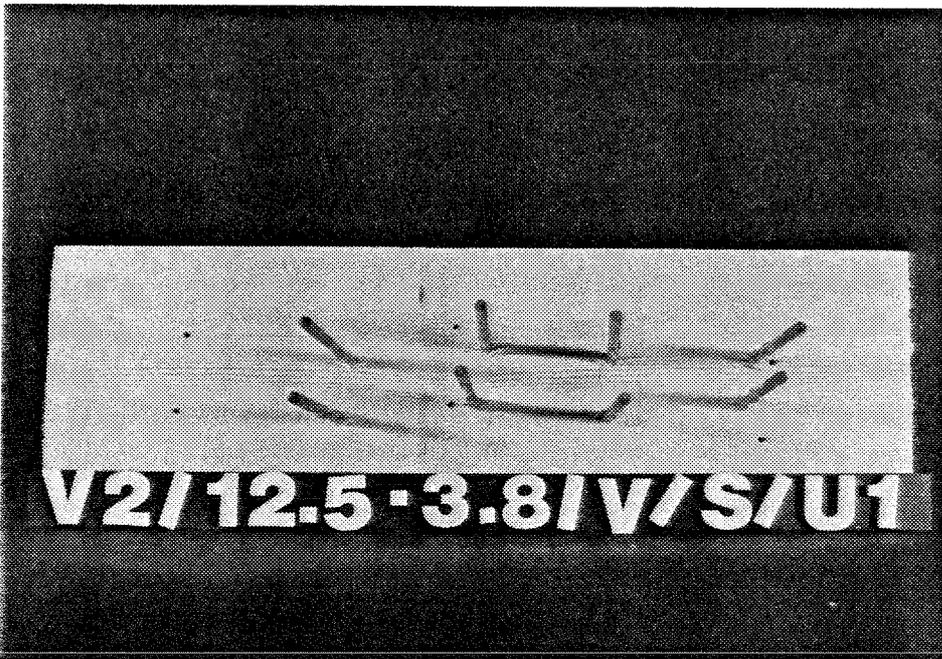


Bild 3.3.2/3 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/3: Versetzte Nagelung mit Nagel 38*130 und Nagelabstand 12,5 dn || Fa.

- Spaltversuch ohne Spaltrisse oder mit sehr feinen Spaltrissen ($c \leq 0,5$ mm) nur auf der Austrittseite um den Nagel und Rißlängen von $0 \leq l \leq 30$ mm.
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, stehend.
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definitionen von c und l s. Tabelle 3.3.2/1

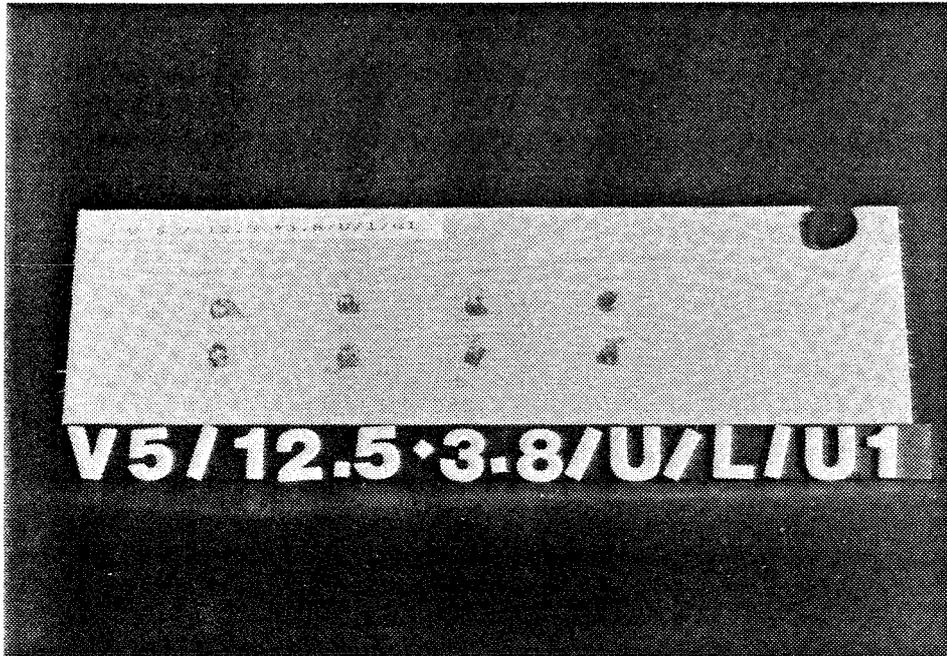


Bild 3.3.2/4 a: Nagel-Eintrittseite

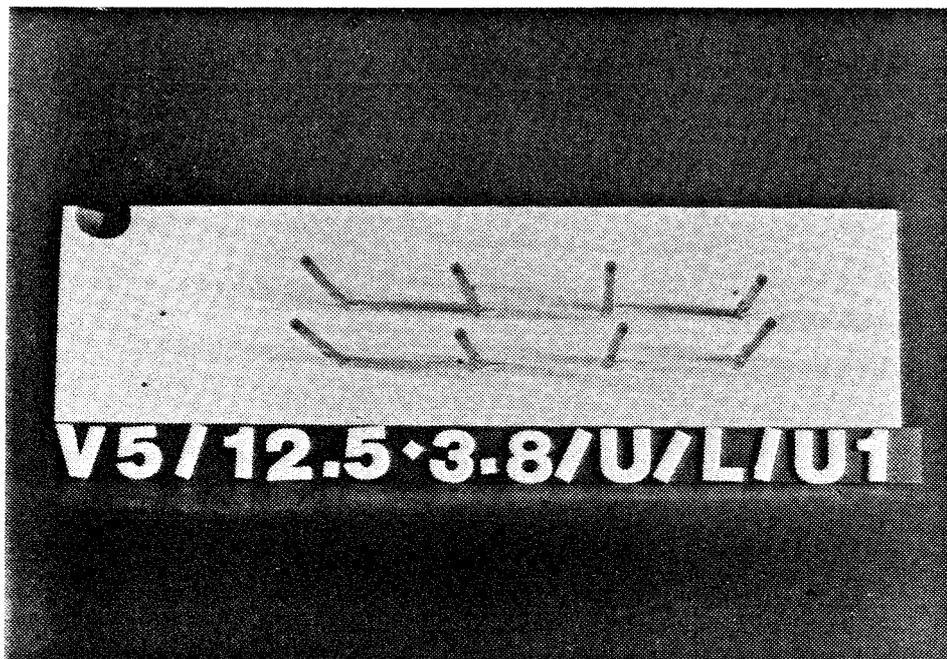


Bild 3.3.2/4 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/4: Unversetzte Nagelung mit Nagel 38*130 und Nagelabstand 12,5 dn || Fa.

- Spaltversuch mit nur feinen Spaltrissen ($c \leq 0,5$ mm) nur auf der Austrittseite um den Nagel und Rißlängen von $30 \text{ mm} \leq l \leq 50$ ($\div 70$) mm.
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, liegend.
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definition von c und l s. Tabelle 3.3.2/1

Auswertungsprotokoll der Spaltversuche

Nagel: 38*130

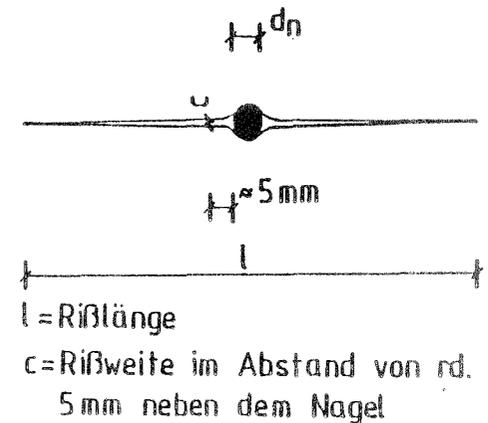
Holzfeuchte: $u = 24-28 \%$

Holzdicke: $t = 2,4 \text{ cm}$

Tab. 3.3.2/2

Abstand	Anzahl d. Versuche	e n g r i n g i g		w e i t r i n g i g		Bemerkungen
		stehend	liegend	stehend	liegend	
versetzt 10,0 d _n	3	-			++	
unversetzt 10,0 d _n	4	o			-+++	
versetzt 12,5 d _n	2			+	+	
unversetzt 12,5 d _n	5			++++	+	
versetzt 15,0 d _n	1			+		
unversetzt 15,0 d _n	2			++		
versetzt 17,5 d _n						
unversetzt 17,5 d _n						
versetzt 20,0 d _n						
unversetzt 20,0 d _n						
	$\Sigma 17$					

- + ohne Spaltrisse oder mit sehr feinen ($c \leq 0,5 \text{ mm}$) Spaltrissen nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [$0 \leq l \leq 30 \text{ mm}$]
- o feine ($c \leq 0,5 \text{ mm}$) Spaltrisse nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [$30 \text{ mm} \leq l \leq 50 (+70) \text{ mm}$]
- breitere ($0,5 \text{ mm} \leq c \leq 2,0 \text{ mm}$) Spaltrisse auf Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [$70 \text{ mm} \leq l \leq 200 \text{ mm}$]
- * sehr breite Spaltrisse ($c \geq 2,0 \text{ mm}$) auf der Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [$l \geq 100 \text{ mm}$] oder Auseinanderbrechen der Holzprobe



Auswertungsprotokoll der Spaltversuche

Nagel: 60*180

Holzfeuchte: u = 14 %

Holzdicke: t = 5,0 cm

Tab. 3.3.2/3

Abstand	Anzahl d. Versuche	e n g r i n g i g		w e i t r i n g i g		Bemerkungen
		stehend	liegend	stehend	liegend	
versetzt 12,0 d _n	11	* ¹ *(-)(-)o	- -	- o +	-	¹ siehe Bild 3.3.2/5 a,b
unversetzt 12,0 d _n	6	(*) * ² -		* * -		² siehe Bild 3.3.2/6 a,b
versetzt 15,0 d _n	10	* (-)(-) o	* *	o o +	+	
unversetzt 15,0 d _n	12	(*) * *	* - -	o o o o	+ +	
versetzt 18,0 d _n	2		* ³ *			³ siehe Bild 3.3.2/7a,b
unversetzt 18,0 d _n	9	(o)	* ⁴ * * * * -		+ +	⁴ siehe Bild 3.3.2/8a,b
versetzt 21,0 d _n						
unversetzt 21,0 d _n						
versetzt 24,0 d _n						
unversetzt 24,0 d _n						
	Σ 50					

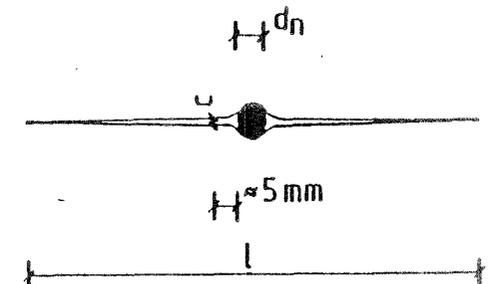
() Werte aus einer bisher nicht erwähnten Vor- Vorversuchserie (Holzdicke t = 5.5 cm)

+ ohne Spaltrisse oder mit sehr feinen (c ≤ 0,8 mm) Spaltrissen nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [0 ≤ l ≤ 45 mm]

o feine (c ≤ 0,5 mm) Spaltrisse nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [45 mm ≤ l ≤ 80 (+ 100)mm]

- breitere (0,8 mm ≤ c ≤ 2,0 mm) Spaltrisse auf Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [80 mm ≤ l ≤ 250 mm]

* sehr breite Spaltrisse (c ≥ 2,0 mm) auf der Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [l ≥ 100 mm] oder Auseinanderbrechen der Holzprobe



l = Rißlänge

c = Rißweite im Abstand von rd. 5 mm neben dem Nagel

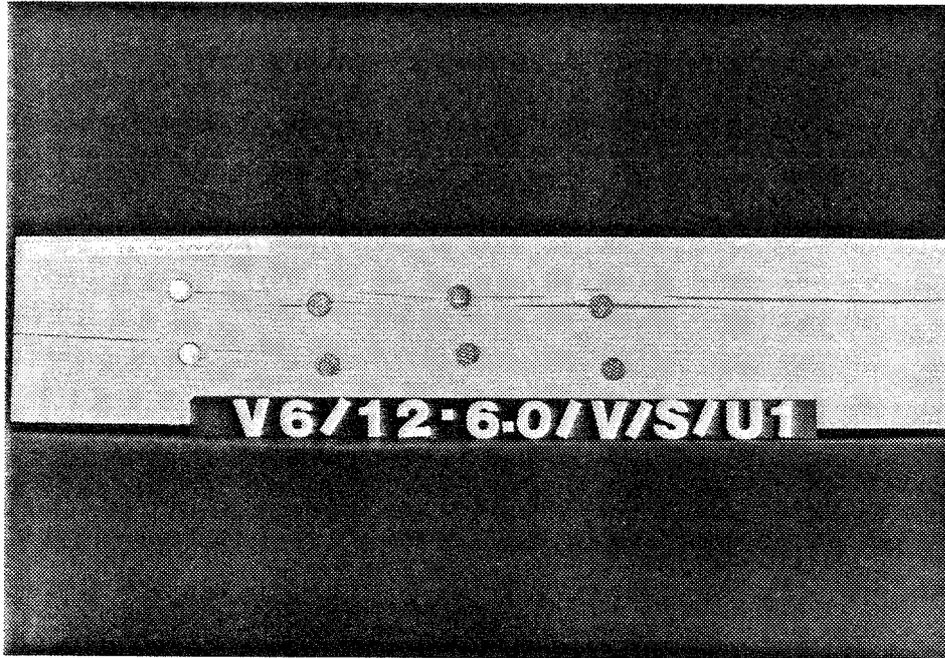


Bild 3.3.2/5 a: Nagel-Eintrittseite

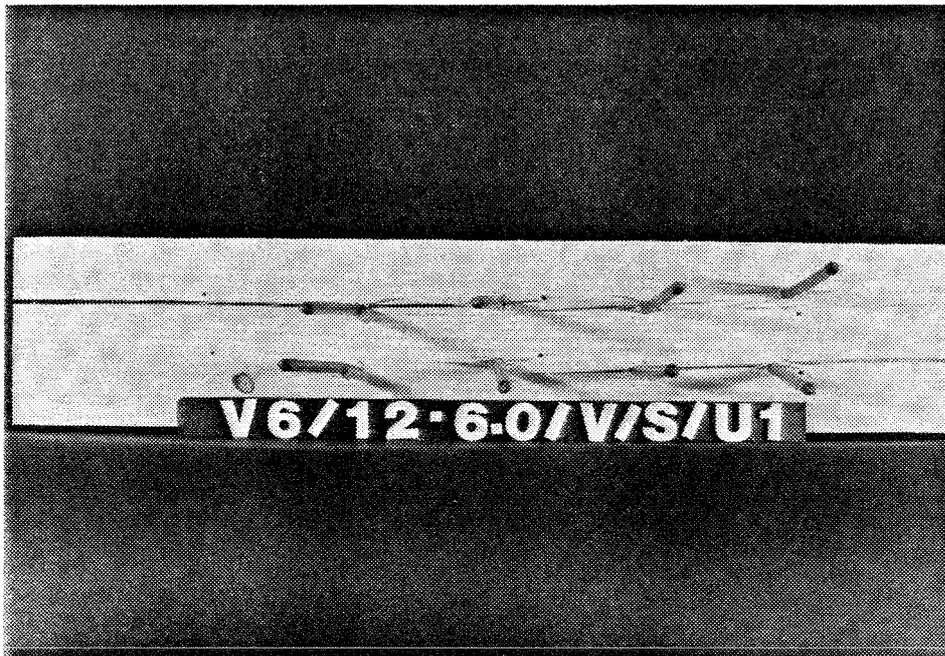


Bild 3.3.2/5 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/5: Versetzte Nagelung mit Nagel 60*180 und Nagelabstand 12 dn || Fa

- Spaltversuch mit sehr breiten Spaltrissen von $c \geq 2,0$ mm auf Ein- und Austrittseite um den Nagel (oder Auseinanderbrechen der Holzprobe) und Rißlängen von $l \geq 100$ mm.
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, stehend
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definition von c und l s. Tabelle 3.3.2/3

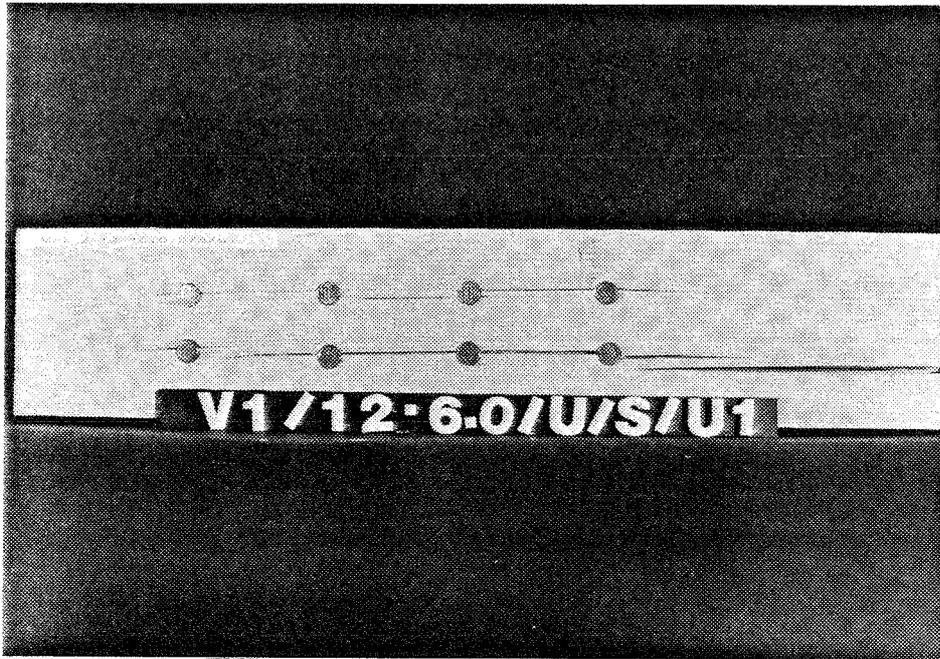


Bild 3.3.2/6 a: Nagel-Eintrittseite

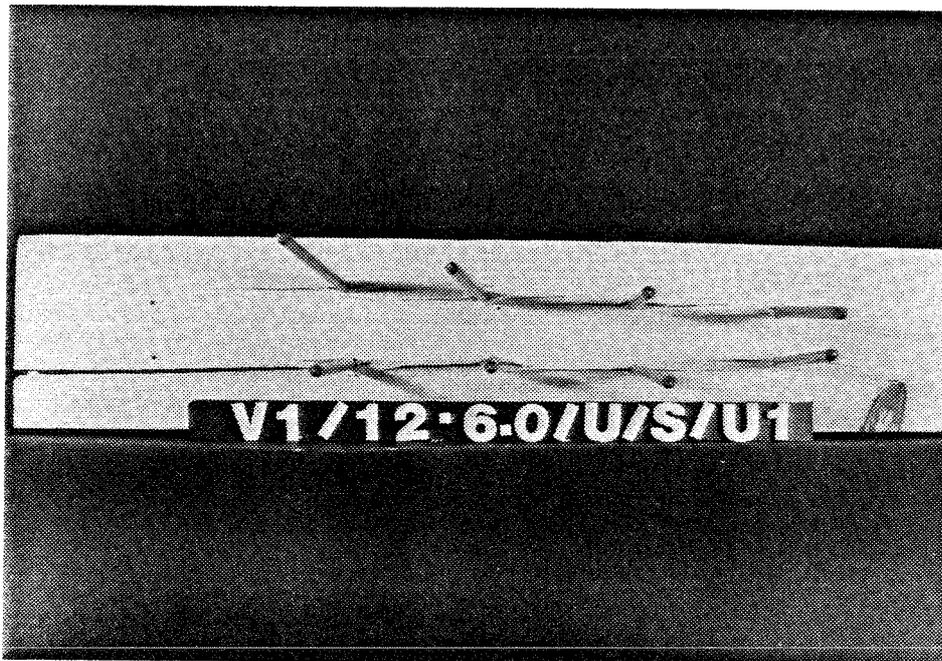


Bild 3.3.2/6 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/6: Unversetzte Nagelung mit Nagel 60*180 und Nagelabstand 12 dn || Fa.

- Spaltversuch mit sehr breiten Spaltrissen von $c \geq 2,0$ mm auf Ein- und Austrittseite um den Nagel (oder Auseinanderbrechen der Holzprobe) und Rißlängen von $l \geq 100$ mm.
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, stehend
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definition von c und l s. Tabelle 3.3.2/3

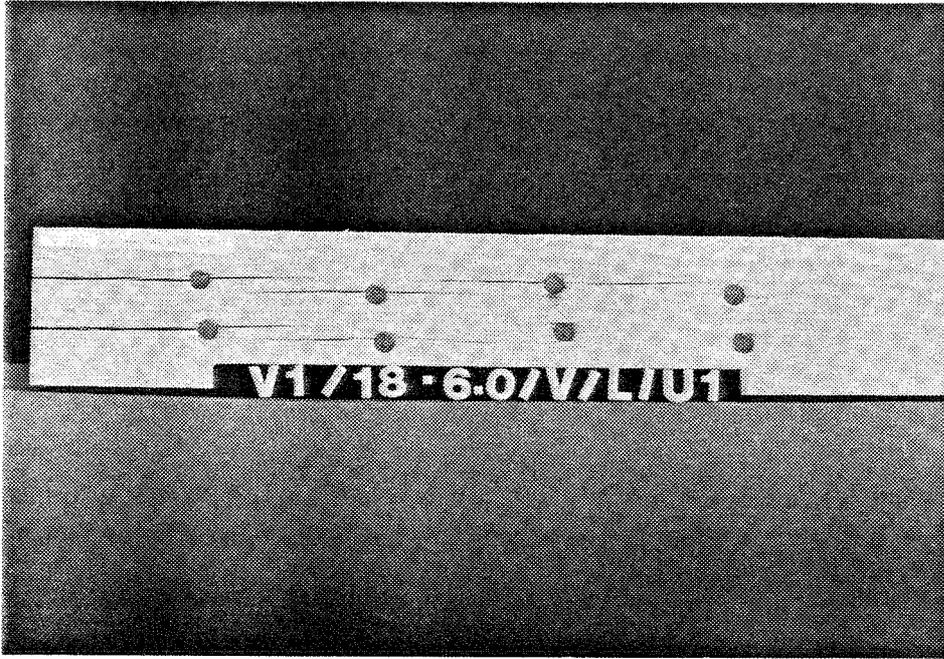


Bild 3.3.2/7 a: Nagel-Eintrittseite



Bild 3.3.2/7 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/7: Versetzte Nagelung mit Nagel 60*180 und Nagelabstand 18 dn || Fa.

- Spaltversuch mit sehr breiten Spaltrissen von $c \geq 2,0$ mm auf Ein- und Austrittseite um den Nagel (oder Auseinanderbrechen der Holzprobe) und Rißlängen von $l \geq 100$ mm.
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, liegend
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definition von c und l s. Tabelle 3.3.2/3

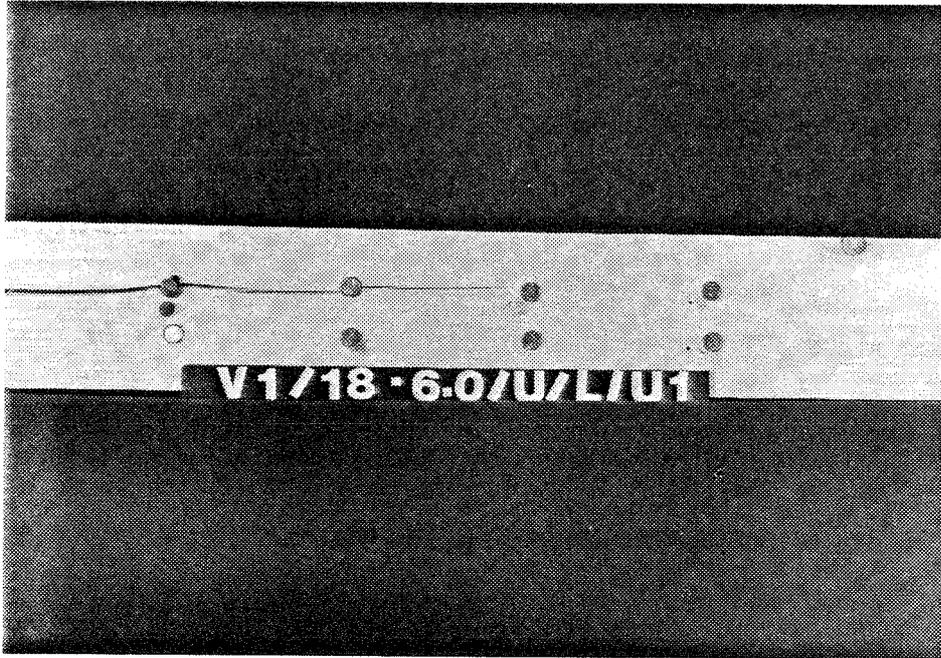


Bild 3.3.2/8 a: Nagel-Eintrittseite

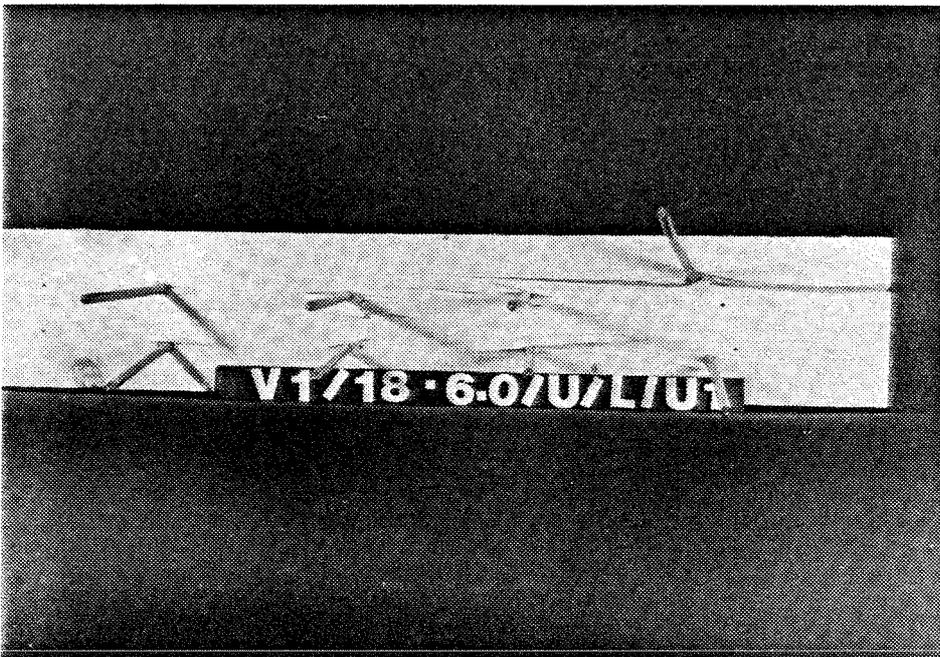


Bild 3.3.2/8 b: Nagel-Austrittseite

Bild 3.3.2/8: Unversetzte Nagelung mit Nagel 60*180 und Nagelabstand 18 dn || Fa.

- Spaltversuch mit sehr breiten Spaltrissen von $c \geq 2,0$ mm auf Ein- und Austrittseite um den Nagel (oder Auseinanderbrechen der Holzprobe) und Rißlängen von $l \geq 100$ mm
- Jahrringweite bzw. -lage: engringig, liegend
- Weitere Angaben zum Versuch sowie Definition von c und l s. Tabelle 3.3.2/3

Auswertungsprotokoll der Spaltversuche

Nagel: 60*180

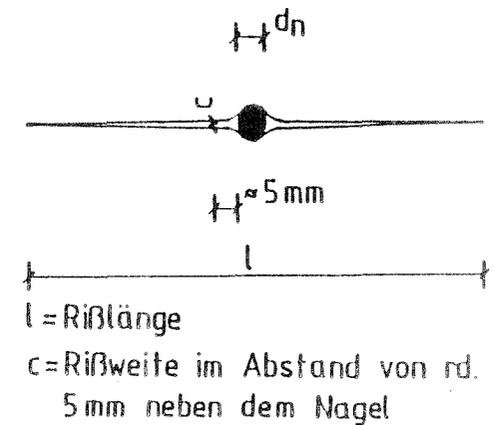
Holzfeuchte: u = 24-28 %

Holzdicke: t = 5,0 cm

Tab. 3.3.2/4

Abstand	Anzahl d. Versuche	e n g r i n g i g		w e i t r i n g i g		Bemerkungen
		stehend	liegend	stehend	liegend	
versetzt 12,0 d _n	3		*	+	o	
unversetzt 12,0 d _n	2		*		o	
versetzt 15,0 d _n	1		+			
unversetzt 15,0 d _n	4		o	o +	+	
versetzt 18,0 d _n						
unversetzt 18,0 d _n						
versetzt 21,0 d _n						
unversetzt 21,0 d _n						
versetzt 24,0 d _n						
unversetzt 24,0 d _n						
	Σ 10					

- + ohne Spaltrisse oder mit sehr feinen (c ≤ 0,8 mm) Spaltrissen nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [0 ≤ l ≤ 45 mm]
- o feine (c ≤ 0,5 mm) Spaltrisse nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [45 mm ≤ l ≤ 80 (+ 100)mm]
- breitere (0,8 mm ≤ c ≤ 2,0 mm) Spaltrisse auf Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [80 mm ≤ l ≤ 250 mm]
- * sehr breite Spaltrisse (c ≥ 2,0 mm) auf der Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [l ≥ 100 mm] oder Auseinanderbrechen der Holzprobe



Auswertungsprotokoll der Spaltversuche

Tab.3.3.2/5

Nagel:31*90

Holzfeuchte: u = 14 %

Holzdicke: t= 2,4 cm

Abstand	Anzahl d. Versuche	e n g r i n g i g		w e i t r i n g i g		Bemerkungen
		stehend	liegend	stehend	liegend	
versetzt 10,0 d _n	2	* *				
unversetzt 10,0 d _n	4	* * o +				
versetzt 12,5 d _n	3	- o +				
unversetzt 12,5 d _n	5	o o o +	*a)			
versetzt 15,0 d _n						
unversetzt 15,0 d _n						
versetzt 17,5 d _n						
unversetzt 17,5 d _n						
versetzt 20,0 d _n						
unversetzt 20,0 d _n						
	Σ 14					

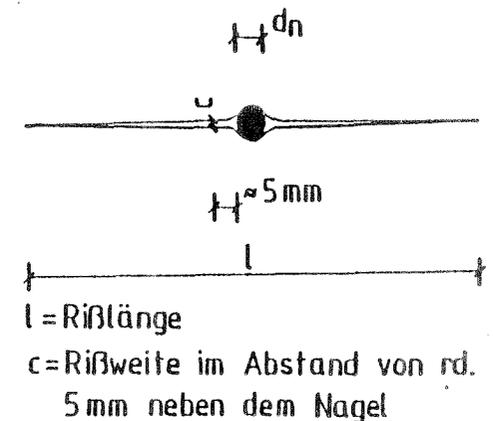
+ ohne Spaltrisse oder mit sehr feinen (c ≤ 0,5 mm) Spaltrissen nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [0 ≤ l ≤ 30 mm]

o feine (c ≤ 0,5 mm) Spaltrisse nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [30 mm ≤ l ≤ 50 (+70)mm]

- breitere (0,5 mm ≤ c ≤ 2,0 mm) Spaltrisse auf Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [70 mm ≤ l ≤ 200 mm]

* sehr breite Spaltrisse (c ≥ 2,0 mm) auf der Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [l ≥ 100 mm] oder Auseinanderbrechen der Holzprobe

a) Es wurden fünf Nagelreihen angeordnet, dabei zeigten vier Nagelreihen feine Spaltrisse (Symbol o) und eine Nagelreihe führte zum Auseinanderbrechen der Probe (Symbol *)



Auswertungsprotokoll der Spaltversuche

Nagel: 31*90 gerillt

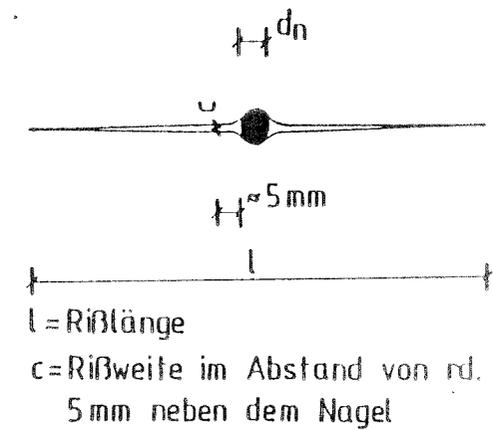
Holzfeuchte: $u_1 = 14 \%$

Holzdicke: $t = 2,4 \text{ cm}$

Tab. 3.3.2/6

Abstand	Anzahl d. Versuche	engringig		weitringig		Bemerkungen
		stehend	liegend	stehend	liegend	
versetzt 10,0 d _n	6		+ o + +		+ +	
unversetzt 10,0 d _n	7		o o o o o		+ +	
versetzt 12,5 d _n						
unversetzt 12,5 d _n						
versetzt 15,0 d _n						
unversetzt 15,0 d _n						
versetzt 17,5 d _n						
unversetzt 17,5 d _n						
versetzt 20,0 d _n						
unversetzt 20,0 d _n						
	Σ 13					

- + ohne Spaltrisse oder mit sehr feinen ($c \leq 0,5 \text{ mm}$) Spaltrissen nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [$0 \leq l \leq 30 \text{ mm}$]
- o feine ($c \leq 0,5 \text{ mm}$) Spaltrisse nur auf der Austrittseite um den Nagel mit [$30 \text{ mm} \leq l \leq 50 (+70) \text{ mm}$]
- breitere ($0,5 \text{ mm} \leq c \leq 2,0 \text{ mm}$) Spaltrisse auf Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [$70 \text{ mm} \leq l \leq 200 \text{ mm}$]
- * sehr breite Spaltrisse ($c \geq 2,0 \text{ mm}$) auf der Ein- und Austrittseite um den Nagel und mit [$l \geq 100 \text{ mm}$] oder Auseinanderbrechen der Holzprobe



3.4 Beurteilung der Ergebnisse

3.4.1 Einfluß der Jahrringweite (eng/weit)

Wie erwartet, zeigte sich die größere Spaltgefährdung bei engringigem Holz.

siehe: Tab.3.3.2/1, Tab.3.3.2/3, Tab.3.3.2/6

Diese Aussage gilt gleichermaßen für versetzte als auch für unversetzte Nagelung.

3.4.2 Einfluß der Jahrringlage (stehend/liegend)

Es war nicht in allen Fällen ein eindeutiger Unterschied in der Spaltgefährdung zwischen liegender und stehender Jahrringlage feststellbar.

Bei Nagel- $\phi = 3,8$ mm (Tab.3.3.2/1) zeigte sich mit liegenden und bei Nagel- $\phi = 6,0$ mm (Tab.3.3.2/3) mit stehenden Jahrringen eine etwas größere Spaltgefährdung.

Diese Aussage gilt gleichermaßen für versetzte als auch für unversetzte Nagelung.

3.4.3 Einfluß der Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt

Untersucht wurden:

a.) trockene Einzelbretter mit Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt von $u = 14$ %.

Dicke der Bretter $t = 24$ mm bei Nägeln $\phi 3,1$ und $3,8$ und $t = 50$ mm bei Nägeln $\phi 6,0$ mm.

b.) halbtrockene Einzelbretter mit Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt von $u = 24 - 28$ %.

Dicke der Bretter $t = 24$ mm bei Nägeln $\phi 3,1$ und $3,8$ und $t = 50$ mm bei Nägeln $\phi 6,0$ mm

c.) halbtrockene, jeweils drei miteinander vernagelte Bretter mit Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt von $u = 24 - 28 \%$.
Nur Versuche mit Nägeln $\phi 3,1$ und $3,8$ mm; Dicke der Bretter 24 mm

Die größte Spaltgefährdung ergab sich erwartungsgemäß bei a.). Diese Aussage gilt gleichermaßen für versetzte als auch für unversetzte Nagelung.

3.4.4 Einfluß der Trocknung

Bei den unter 3.4.3 b.) und c.) genannten Versuchen wurde zusätzlich die Rißentwicklung beim Trocknen von $u = 24 - 28 \%$ (Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt der Nägel) auf $u = 14 \%$ kontinuierlich beobachtet.

Bei den Einzelbrettern nach Abschnitt 3.4.3 b.) konnte keine Vergrößerung der Spaltgefährdung durch die Trocknung festgestellt werden, d.h. es stellen sich auch während des Trocknungsvorganges keine zusätzlichen Spaltungen gegenüber dem Einschlagzeitpunkt ein.

Bei den jeweils drei miteinander vernagelten Brettern nach Abschnitt 3.4.3 c.) war eine leichte Zunahme der Spaltgefährdung durch Trocknung festzustellen, die aber geringer als die Spaltgefährdung der Proben unter Abschnitt 3.4.3 a.) war.

Diese Aussage gilt gleichermaßen für die versetzte als auch für die unversetzte Nagelung.

Die etwas geringere Spaltgefährdung bei drei miteinander vernagelten Brettern im Vergleich zu Einzelbrettern kann auf die, durch die Vernagelung entstehende, gegenseitige Stützung der drei Bretter untereinander in Richtung senkrecht Fa zurückgeführt werden.

Beobachtung des Spaltverhaltens bei weiterer Trocknung auf $u = 8,5\%$

Selbst bei weiterer Trocknung der Holzproben von $u = 14 \%$ auf $u = 8,5 \%$ und einem anschließenden Beobachtungszeitraum von 2 Jahren konnte weder bei den Holzproben die eine Einschlagfeuchte

von $u = 14 \%$ noch bei den Holzproben die eine Einschlagfeuchte von $u = 24-28 \%$ hatten eine Zunahme der Spaltbildung festgestellt werden.

3.4.5 Einfluß von Nageldurchmesser und Nagelabstand || Fa

Die Nageldurchmesser 3,1 und 3,8 mm ergaben bei Abständen von $10 d_n$ noch erkennbare Spaltgefährdung und zwar sowohl bei versetzter als auch bei unversetzter Nagelung, vgl. Abschn. 3.4.6. Erst bei Abständen ab $12,5 d_n$ konnte eine Spaltbildung nicht mehr oder kaum noch beobachtet werden.

Der Nageldurchmesser 6,0 mm ergab noch - sowohl versetzt als auch unversetzt, vgl. Abschn. 3.4.6 - bei Abständen von $18 d_n$ in den meisten Fällen so breite Spaltbildung, daß jeweils mehrere Nägel von Hand herausziehbar waren.

Die geringste Spaltneigung zeigte eindeutig der gerillte Nagel. Tastversuche mit Durchmesser 3,1 mm ergaben unter ungünstigsten Voraussetzungen (trockenes Holz mit $u = 14 \%$, enge Jahrringlage) keine oder kaum noch wahrnehmbare Spaltbildung bei Abständen von $10 d_n$ (s. Tabelle 3.2.2/6), sowohl versetzt als auch unversetzt. Der glattschaftige Nagel mit Durchmesser 3,1 mm zeigte größere Spaltneigung (s. Tab. 3.3.2/5).

Sämtliche Aussagen gelten sowohl für versetzte als auch für unversetzte Nagelung.

3.4.6 Vergleich Nagelung versetzt/unversetzt

Sehr große Unterschiede in der Spaltgefährdung im Vergleich zwischen versetzter und unversetzter Nagelung konnten bei den durchgeführten Versuchen mit dem Nagel ϕ 3,1 und 3,8 mm nicht festgestellt werden.

4 Hauptversuche (Holzfeuchte u = 10 %)

4.1 Ziel der Hauptversuche

Durch die Hauptversuche sollte festgestellt werden, ob das Trag- und Verformungsverhalten bei versetzter und unversetzter Nagelung gleich ist.

Hierzu wurde in Abstimmung mit dem Arbeitsausschuß eine Versuchstechnik gewählt, die den direkten Vergleich zwischen "versetzt" und "unversetzt" unter weitgehendem Ausschluß der Einflüsse aus der Holzstruktur des Prüfkörpers zuläßt. Die Prüfung von versetzter und unversetzter Nagelung erfolgte an **einem** Probekörper.

4.2 Versuchsdurchführung

4.2.1 Allgemeines

Alle Versuchskörper wurden maschinell genagelt. Die Nagelung erfolgte an Zugstoßprobekörpern mit innenliegenden Mindestholzdicken (zweischnittige Verbindungen) und Zugstoßprobekörpern mit außenliegenden Mindestholzdicken (einschnittige Verbindungen) mit glattschaftigen Nägeln 3,8*130 mm, 4,2*120 mm und 4,6*146 mm und mit gerillten Nägeln 3,8*121 mm. Es wurden dabei Streifennagler der Firma Paslode* benutzt.

Insgesamt wurden 133 Versuche mit Zugstoßprobekörpern mit innenliegenden Mindestholzdicken (zweischnittige Verbindungen) und 57 Versuche mit Zugstoßprobekörpern mit außenliegenden Mindestholzdicken (einschnittige Verbindungen) durchgeführt. Der Vergleich Handnagelung mit Maschinennagelung erfolgte in Tastversuchen.

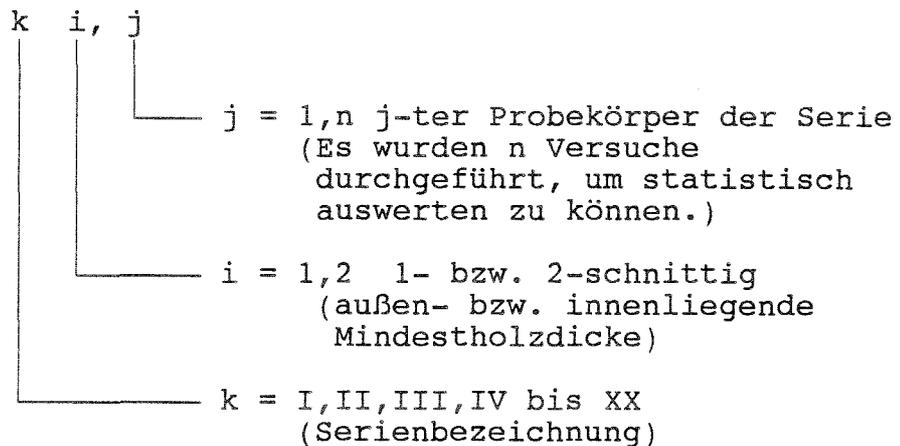
Die Anzahl gleichartiger Versuche für die statistische Auswertung betrug mindestens fünf.

* Die Verfasser danken der Firma Paslode für die kostenlose Bereitstellung der Paslode - Streifennagler sowie der Nägel

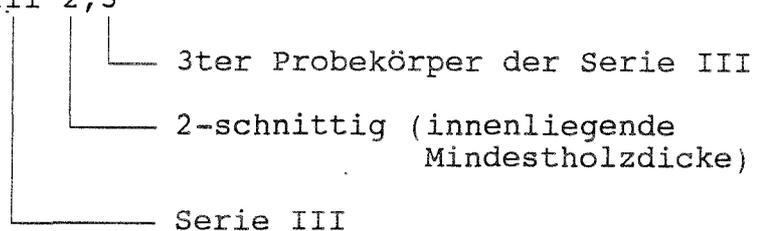
4.2.2 Versuchsbezeichnung

- Feuchtigkeitsbereich:
 - Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt u_1 : 10 %
 - Holzfeuchte zum Prüfzeitpunkt u_1 : 10 %
 - Stichproben:
 - Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt u_2 : 26 ± 2 %
 - Holzfeuchte zum Prüfzeitpunkt u_2 : 10 %
 - Stichproben:
 - Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt u_3 : 20 ± 2 %
 - Holzfeuchte zum Prüfzeitpunkt u_3 : 20 ± 2 %
- Nageldurchmesser: 3,8 4,2 4,6 glatt
3,8 gerillt
- Probekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (2-schnittig)
- Probekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (1-schnittig)

BEZEICHNUNG DER VERSUCHSSERIEN



Beispiel: Kurzbezeichnung III 2,3



Versuchsserienbezeichnung

Probekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (2-schnittig)

Versuchsserie	Kurzbezeichnung
Serie I2 Na- \emptyset 3,8 mm;10 d_n ;glatt;2-schn.;u1	I2,1-11
Serie II2 Na- \emptyset 3,8 mm;12,5 d_n ;glatt;2-schn.;u1	II2,1-9
Serie III2 Na- \emptyset 3,8 mm;15 d_n ;glatt;2-schn.;u1	III2,1-7
Serie IV2 Na- \emptyset 3,8 mm;17,5 d_n ;glatt;2-schn.;u1	IV2,1-6
Serie VI2 Na- \emptyset 3,8 mm;10 d_n ;gerillt;2-schn.;u1	VI2,1-6
Serie VII2 Na- \emptyset 3,8 mm;12,5 d_n ;gerillt;2-schn.;u1	VII2,1-7
Serie VIII2 Na- \emptyset 3,8 mm;15 d_n ;gerillt;2-schn.;u1	VIII2,1-8
Serie XI2 Na- \emptyset 4,2 mm;10 d_n ;glatt;2-schn.;u1	XI2,1-6
Serie XII2 Na- \emptyset 4,2 mm;12,5 d_n ;glatt;2-schn.;u1	XII2,1-7
Serie XIII2 Na- \emptyset 4,2 mm;15 d_n ;glatt;2-schn.;u1	XIII2,1-6
Serie XIV2 Na- \emptyset 4,2 mm;17,5 d_n ;glatt;2-schn.;u1	XIV2,1-5

Serie XVII2 Na- \emptyset 4,6 mm;15 d_n ;glatt;2-schn.;u1	XVII2,1-7
Serie XVIII2 Na- \emptyset 4,6 mm;18 d_n ;glatt;2-schn.;u1	XVIII2,1-5
Serie XIX2 Na- \emptyset 4,6 mm;21 d_n ;glatt;2-schn.;u1	IXX2,1-6
Serie XX2 Na- \emptyset 4,6 mm;24 d_n ;glatt;2-schn.;u1	XX2,1-5

Probekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (1-schnittig)

Versuchsserie	Kurzbezeichnung
Serie I1 Na- \emptyset 3,8 mm;10 d_n ;glatt;1-schn.;u1	I1,1-5
Serie III1 Na- \emptyset 3,8 mm;12,5 d_n ;glatt;1-schn.;u1	III1,1-5
Serie IIII1 Na- \emptyset 3,8 mm;15 d_n ;glatt;1-schn.;u1	IIII1,1-5
Serie IV1 Na- \emptyset 3,8 mm;17,5 d_n ;glatt;1-schn.;u1	IV1,1-7
Serie VII1 Na- \emptyset 3,8 mm;12,5 d_n ;gerillt;1-schn.;u1	VII1,1-5
Serie VIIII1 Na- \emptyset 3,8 mm;15 d_n ;gerillt;1-schn.;u1	VIIII1,1-5

Serie IX1 Na- \emptyset 3,8 mm;17,5 d_n ;gerillt;1-schn.;u1	IX1,1-5
Serie XIII1 Na- \emptyset 4,2 mm;15 d_n ;glatt;1-schn.;u1	XIII1,1-5
Serie XIV1 Na- \emptyset 4,2 mm;17,5 d_n ;glatt;1-schn.;u1	XIV1,1-5
Serie XV1 Na- \emptyset 4,2 mm;20 d_n ;glatt;1-schn.;u1	XV1,1-6
Serie XVII1 Na- \emptyset 4,6 mm;18 d_n ;glatt;1-schn.;u1	XVII1,1-5

Zusatzversuche:

Probekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (2-schnittig)

Serie Z1 Feuchteänderung ;Na- \emptyset 3,8;gerillt;2-schn.;u2 Abstand: 15 d_n	Z1,1-6
Serie Z2 Feuchteänderung ;Na- \emptyset 3,8;glatt;2-schn.;u2 Abstand: 15 d_n	Z2,1-5
Serie Z3 Feuchteänderung ;Na- \emptyset 3,8;gerillt;2-schn.;u3 Abstand: 15 d_n	Z3,1-5
Serie Z4 Feuchteänderung ;Na- \emptyset 3,8;glatt;2-schn.;u3 Abstand: 15 d_n	Z4,1-5
Serie Z5 Handnagelung ;Na- \emptyset 3,8;glatt;2-schn.;u1 Abstand: 15 d_n	Z5,1-5

Serie Z6

Z6,1-3

LangzeitversuchAbstand: $15 d_n$; Na- \emptyset 3.8;glatt;2-schnittig; u_1 ;Belastung: $1,5 * \text{zul P}$

Serie Z7

Z7,1-3

LangzeitversuchAbstand: $15 d_n$; Na- \emptyset 3.8;glatt;2-schnittig; u_1 ;Belastung: $1,0 * \text{zul P}$ 4.2.3 Versuchssteuerung und Meßtechnik

Die Kurzzeitversuche wurden nach ISO 6891 (1983) unter Aufzeichnung der Last-Zeitfunktionen (Bild 4.2.3/1) und der Last-Verschiebungsfunktionen (Bild 4.2.3/2) durchgeführt. Die Versuchsdauer betrug für jeden Versuch ca. 10 bis 15 Minuten.

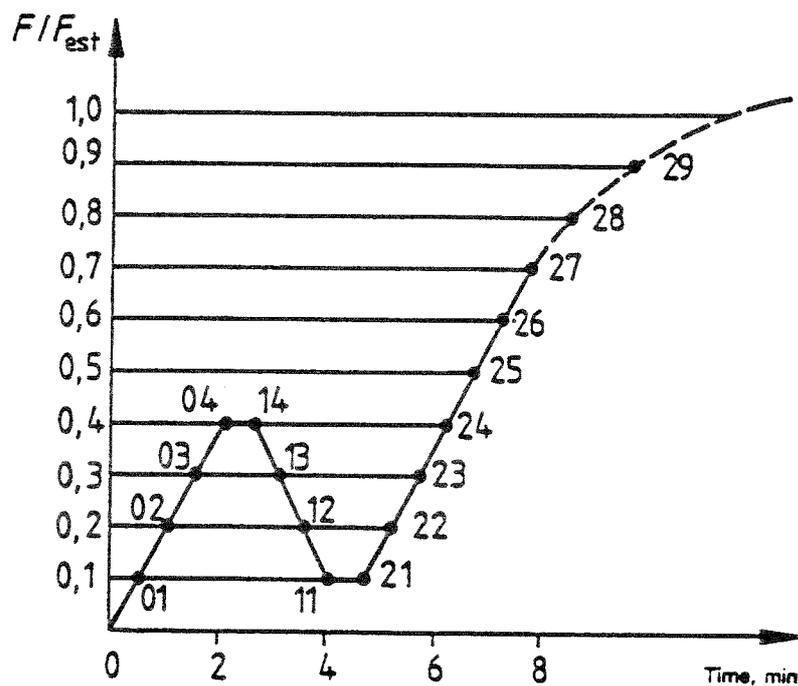


Bild 4.2.3/1: Last-Zeitfunktion nach ISO 6891

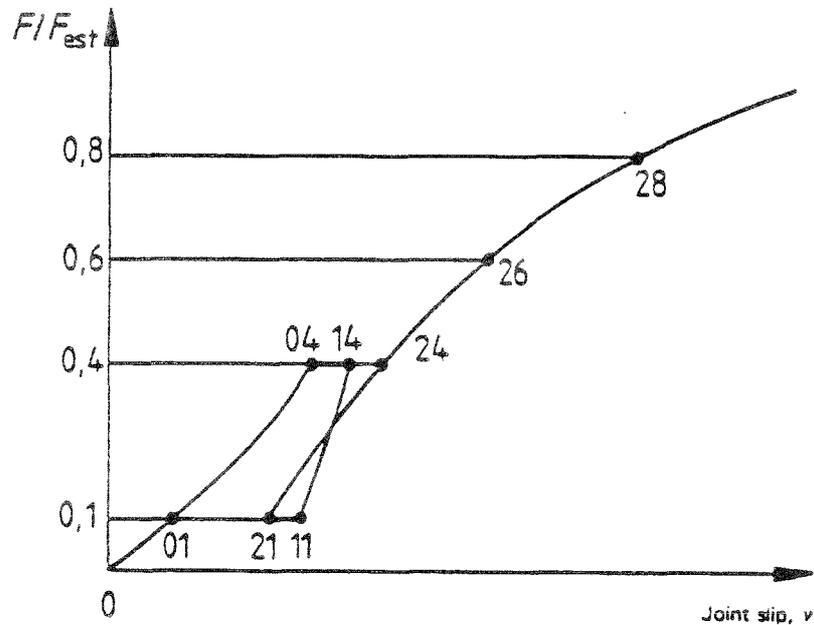


Bild 4.2.3/2: Last-Verschiebungsfunktion nach ISO 6891

Zur Steuerung des Versuchsablaufs in Einklang mit den Bedingungen der ISO 6891 nach Bild 4.2.3/1 wurde ein spezielles Programm geschrieben.

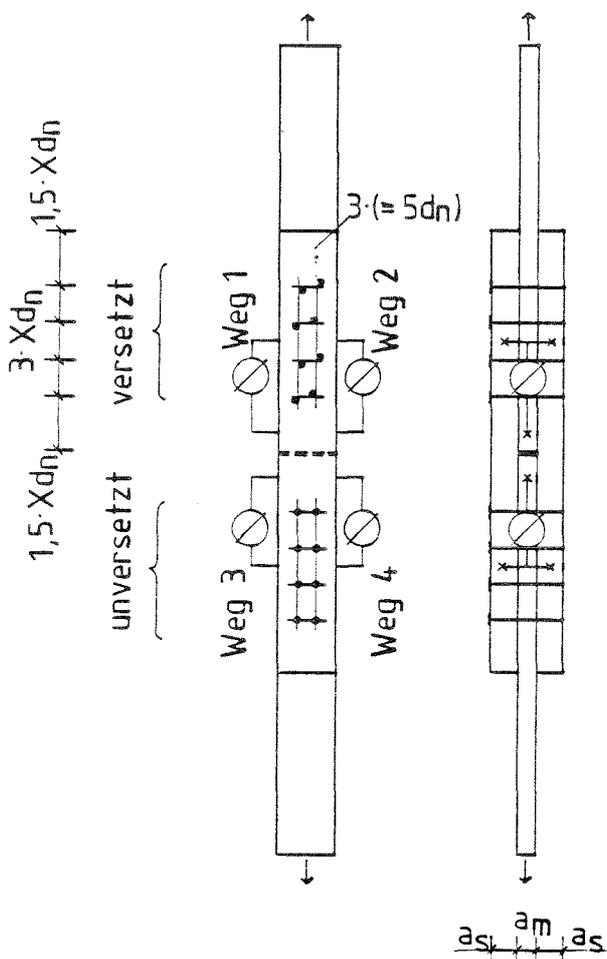
Versuchsablauf:

- Eingabe der geschätzten Maximallast F_{est} (Die Abschätzung erfolgte rechnerisch gestützt.)
 F_{est} = geschätzte Maximallast
 Die tatsächliche (d.h. im Versuch erhaltene) Maximallast wird hier mit "Pmax" bezeichnet. Wenn vor Erreichen der Maximallast eine Verschiebung von ≥ 15 mm auftritt, wird die bei 15 mm vorliegende Last als "Pmax" angesetzt.
- Festlegung der Randwerte der Last-Zeit-Funktion nach Bild 4.2.3/1
- Belastung im Einklang mit Bild 4.2.3/1:
 - Kraftgesteuerter Versuch mit Kraftsteigerung bis zum $0,4 F_{est}$ mit $0,2 F_{est}$ pro Minute ± 25 %
 - Nach Erreichen von $0,4 F_{est}$ Konstanthaltung der Last für 30 s
 Erläuterung:
 Nach ISO 6891 dienen diese 30 s Konstanthaltung dazu, die Lastrichtung zu ändern und nicht dazu, Kriecheffekte mit zu erfassen.
 - Danach Reduzierung der Last auf $0,1 F_{est}$
 - Nach Erreichen von $0,1 F_{est}$ Konstanthaltung der Last für 30 s

(zu den 30 s, siehe Erläuterung zuvor)

- Dann kraftgesteuerter Versuch mit Laststeigerung bis $0,7 F_{est}$ mit $0,2 F_{est}$ pro Minute $\pm 25\%$
- Nach Erreichen von $0,7 F_{est}$ Wegsteuerung des Versuchs so, daß die Maximallast P_{max} (Bruchlast, "ultimate load" oder ein Weg von 15 mm) innerhalb von 3 bis 5 Minuten erreicht wird. Die Wegsteuerung erfolgte mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit von 2-3 mm pro Minute.
- Wenn die im Versuch erhaltene Maximallast P_{max} um mehr als 20 % vom geschätzten Wert F_{est} abweicht, wird der Versuch wiederholt, mit neuem Wert $F_{est} = P_{max}$ aus dem vorherigen Versuch.

Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)



Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung)

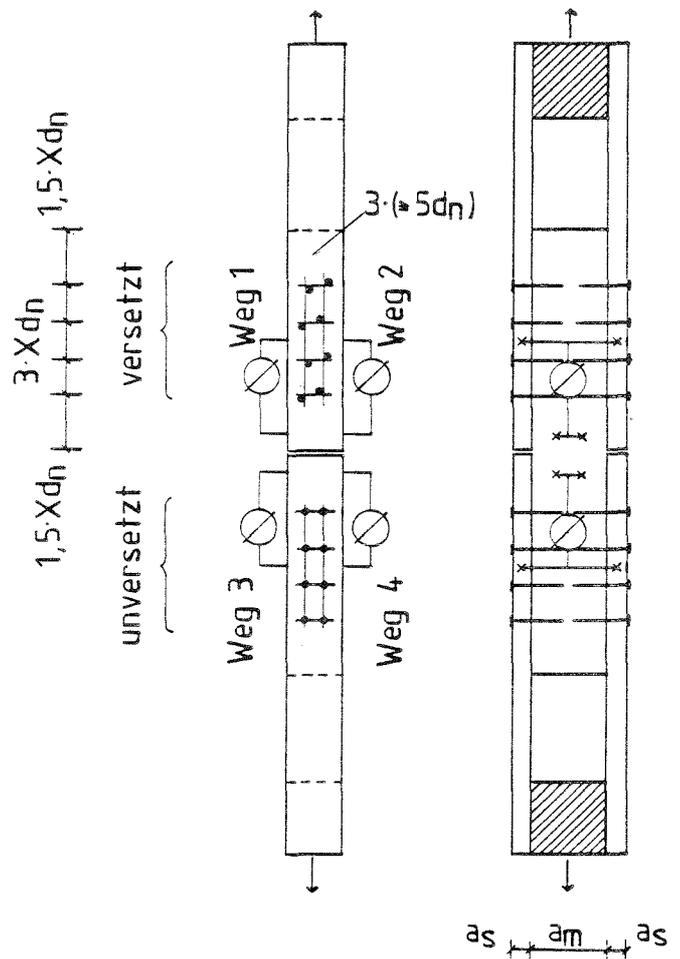


Bild 4.2.3/3: Versuchskörper mit Anordnung der Wegaufnehmer zur Messung von Weg 1, Weg 2, Weg 3, Weg 4

Die Messung der Verformungen (Wege) zwischen Mittel- und Seitenholz erfolgte mit vier ohmschen Wegaufnehmern (Messwert bis 50 mm). Der Aufbau der Versuchskörper mit versetzter und unversetzter Nagelung und die Anordnung der vier Wegaufnehmer (Wege 1 bis 4) gehen aus Bild 4.2.3/3 hervor.

Es wurden jeweils mit zwei Wegaufnehmern die Verschiebung der versetzten (Beispiel s. Bild 4.2.4/1; Weg 1 und 2), und mit den anderen beiden Wegaufnehmern die Verschiebung der unversetzten Nagelung (Beispiel s. Bild 4.2.4/1; Weg 3 und 4), gemessen. Zusätzlich wurde die Kraft und der Kolbenweg des Zylinders aufgenommen (Beispiel s. Bild 4.2.4/1; Kraft und Weg). Die Aufnahme der Messwerte erfolgte alle 2,5 Sekunden.

4.2.4 Exemplarische Darstellung von Versuchsaufzeichnungen und -auswertung am Beispiel von Versuch I2,4

Zur Beschreibung der unmittelbar aus den Versuchen erhaltenen Daten erfolgt deren Darstellung exemplarisch für Versuch I2,4 durch Aufzeichnung des Kraft-Zeit- und Weg-Zeit-Diagramms aller gemessenen Kanäle, s. Bild 4.2.4/1.

Die anschließenden Auswertungsschritte sind:

- Aufzeichnung des Kraft-Verformungsdiagramms für versetzte Nagelung (Bild 4.2.4/2)
- Aufzeichnung des Kraft-Verformungsdiagramms für unversetzte Nagelung (Bild 4.2.4/3)
- Auswertungsprotokoll/Tabellenzusammenstellung:

Angabe der Versagensart // Wege bei P_{max} , $P_{max}/3$, zul P
 Kräfte P bei Weg $w = 0,75; 1,0; 1,5; 3,0; 4,0$ und $5,0$ mm
 Verschiebungsmodul C nach ISO 6891 ermittelt
 Verschiebungsmodul C_{DIN} nach DIN 1052/T2 berechnet
 [s. Versuch I2,4 Auswertungsprotokoll /Tabellen-
 zusammenstellung (Bild 4.2.4/4)]

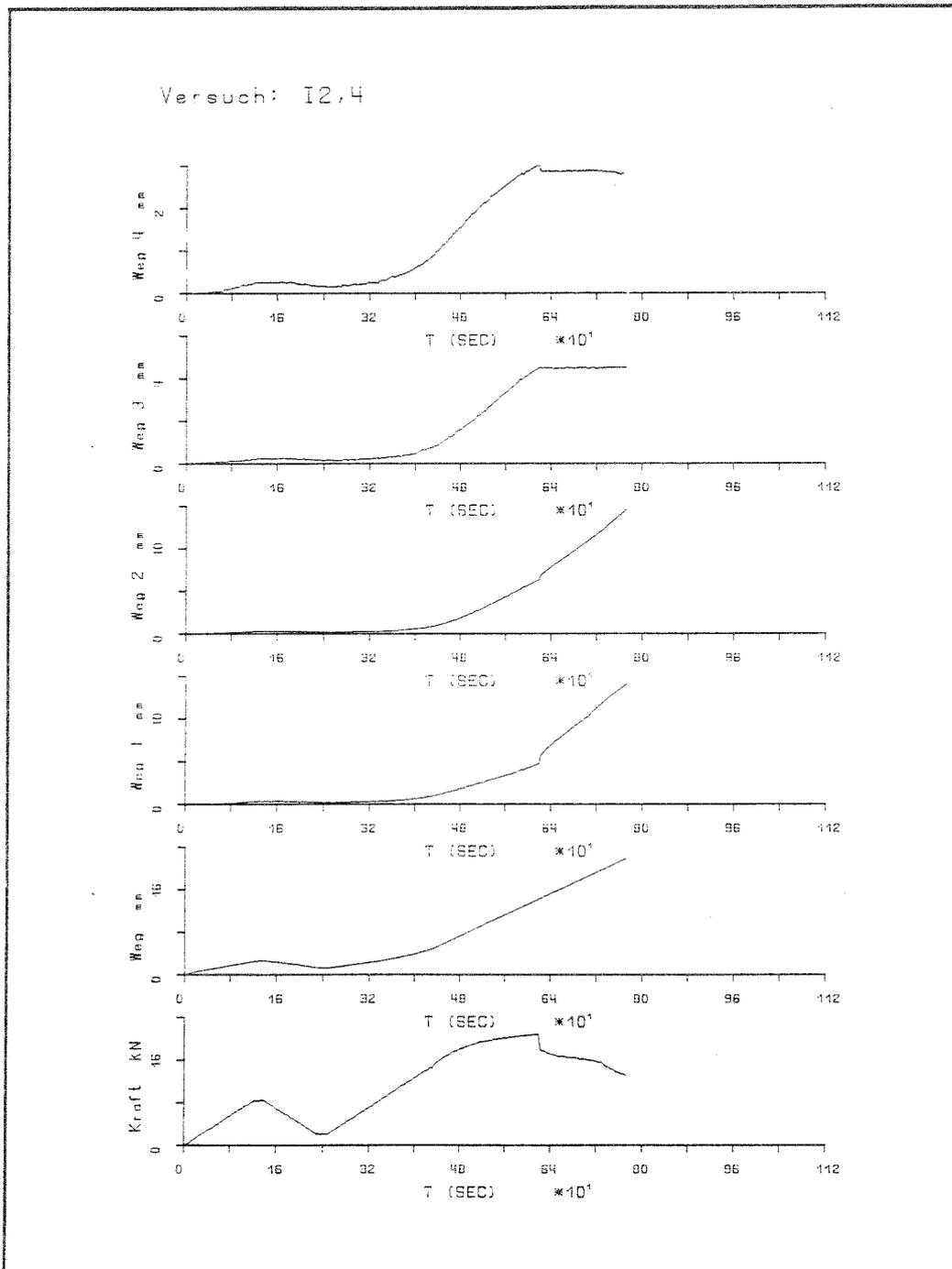


Bild 4.2.4/1: Versuch I2,4: Kraft-Zeit- und Weg-Zeit-Diagramm der einzelnen gemessenen Kanäle. Kraft= Kolbenkraft; Weg = Kolbenweg; Weg 1 und Weg 2: Wege bei versetzter Nagelung (vergl. Bild 4.2.3/3)
Weg 3 und Weg 4: Wege bei unversetzter Nagelung (vergl. Bild 4.2.3/3)

In Bild 4.2.4/2 ist exemplarisch die Kraft-Verformungskurve für die versetzte Nagelung in Versuch I2,4 aus dem Mittel von Weg 1 und Weg 2 dargestellt.

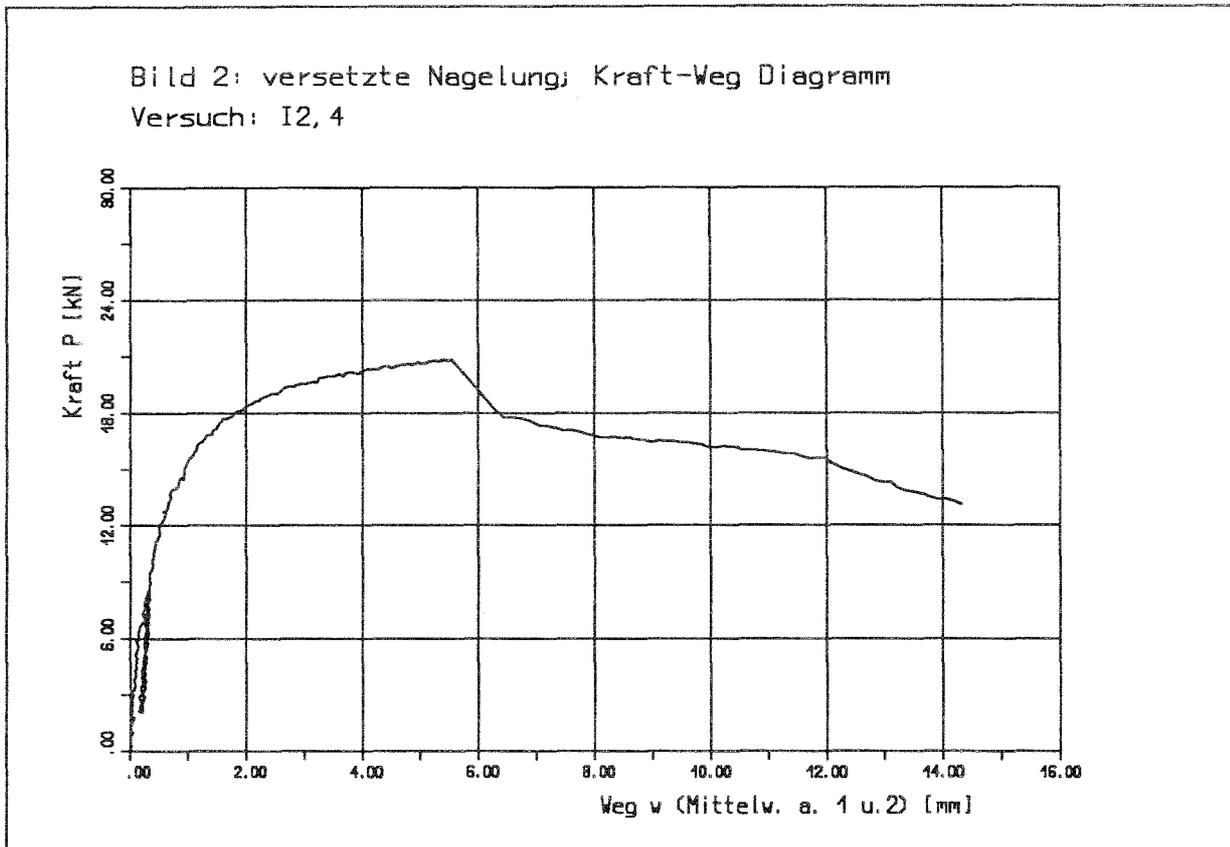


Bild 4.2.4/2: Versuch I2,4: Kraft-Verformungsdiagramm für die versetzte Nagelung. In diesem Falle trat Versagen bei der versetzten Nagelung auf.

Bild 4.2.4/3 zeigt exemplarisch die (zu Bild 4.2.4/2) zugehörige Kraft-Verformungskurve für die unversetzte Nagelung in Versuch I2,4 aus dem Mittel von Weg 3 und Weg 4. Da jeweils mit **einem** Probekörper zwei Nagelverbindungen - auf der einen Seite versetzt und auf der anderen Seite unversetzt - genagelt wurden, kann nur die Aussage über die Maximallast und das Versagen derjenigen der beiden Verbindungen gemacht werden (versetzt oder unversetzt), die als erstes versagt. In diesem Beispiel (Bilder 4.2.4/2 und 4.2.4/3) hat die versetzte Nagelung (Bild 4.2.4/2) versagt. In Bild 4.2.4/3 nimmt nach Erreichen der Maximallast der unversetzten Nagelung aus Bild 4.2.4/3 die Verformung nicht mehr zu, sondern bleibt konstant. Dementsprechend findet nur in Bild 4.2.4/2 eine Verformungszunahme bei gleichzeitigem Kraftabfall statt.

Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,4

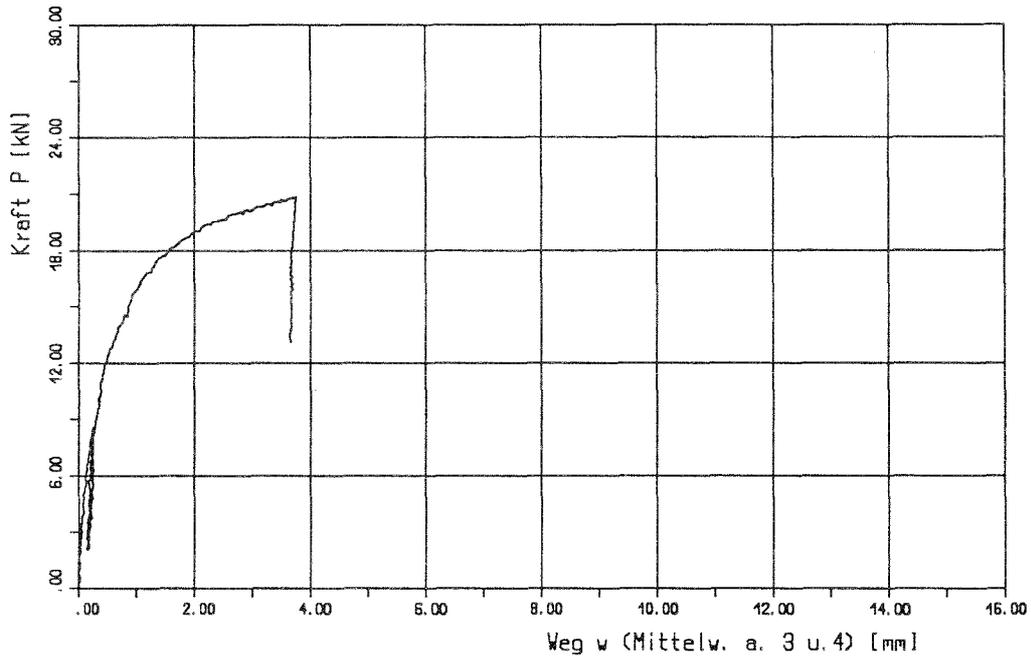


Bild 4.2.4/3: Versuch I2,4: Kraft-Verformungsdiagramm für die unversetzte Nagelung. In diesem Falle trat Versagen bei der versetzten Nagelung auf.

Bild 4.2.4/4 zeigt das zugehörige Auswertungsprotokoll zu dem Versuch I2,4 in einer Tabellenzusammenstellung.

Versuch I2,4: Auswertungsprotokoll/Tabellenzusammenstellung

Nagel : 3.8 * 130 mm ; n= 8 ; zweiseitig ; glatt

Tabelle 1:

Versagen im Bereich:			Pmax:	
ver- setzt	unver- setzt	Holz	Pmax vor 15 mm	Pmax bei 15 mm
X			X	

Tabelle 2:

Nagelabstände:		
	unter- einander	zum Rand
a	10.0 dn	1.5*10.0 dn
	38.0 mm	57.0 mm
a _⊥	5 dn	5 dn
	19.0 mm	19.0 mm

Tabelle 3:

Weg w in Abhängigkeit von der Kraft P:				
	Kraft	Weg w		
		ver- setzt	unver- setzt	Stoßauf- weitung
	kN	mm	mm	mm
Pmax	20.86	5.53	3.75	9.28
Pmax/3	7.01	.23	.18	.41
zulP	8.37	.29	.24	.53

Tabelle 4:

Kraft P in Abhängigkeit von Weg w			
	Weg w	Kraftgrößen	
		ver- setzt	unver- setzt
	mm	kN	kN
P0,75	0.75	13.92	14.11
P1,00	1.00	15.44	15.90
P1,50	1.50	17.23	17.72
P3,00	3.00	19.56	20.13
P4,00	4.00	20.25	*****
P5,00	5.00	20.81	*****

Tabelle 5:

Verschiebungsmodul C		
	Verschiebungsmodul	
	ver- setzt	unver- setzt
	N/mm	N/mm
Cges	23794.7	28535.9
C	1487.2	1783.5
C-Modul nach DIN 1052, T.2		
C _{DIN}	1376.8	
Versuchsdauer:		
12 Min. 55 Sek.		

Bild 4.2.4/4: Ausgabeprotokoll in Tabellenform zu Versuch I 2,4

weitergehende Erläuterungen auf den Folgeseiten

Erläuterungen zur Vorseite (Bild 4.2.4/4): Versuch I2,4: Auswertungsprotokoll/Tabellenzusammenstellung

- Zu Tabelle 1:

- versetzt** : Versagen der Verbindung mit versetzter Nagelung (Nagelversagen, Aufspalten des Holzes in der Nagelrißlinie).
- unversetzt** : Versagen der Verbindung mit der unversetzten Nagelung (Nagelversagen oder Aufspalten des Holzes in der Nagelrißlinie).
- Holz** : Versagen des Holzquerschnittes außerhalb der Bereiche der Nagelverbindung. Hiermit ist das reine Holzversagen aufgrund von Astschwächungen mit Durchriß quer zur Faser gemeint.
- Pmax vor 15 mm** : Erreichen der Maximallast vor einer Verschiebung des einzelnen Anschlusses von 15 mm.
- Pmax bei 15 mm** : Bei Erreichen einer Verschiebung des einzelnen Anschlusses von 15 mm erfolgt der Abbruch des Versuches. Die vorhandene Last wird als Maximallast Pmax angesetzt.

- Zu Tabelle 2:

Angabe der Nagelabstände senkrecht und parallel zur Faser untereinander und zum Rand. Der Abstand zum Rand parallel zur Faser wurde immer mit dem 1,5-fachen Wert des Abstandes parallel zur Faser untereinander festgelegt.

- Zu Tabelle 3:

Angabe von Pmax (= im Versuch erreichte Maximallast), $P_{max}/3$ und zur P (nach DIN 1052) sowie die zugehörigen Verschiebungen (Wege) der Verbindung mit versetzter Nagelung, der Verbindung mit unversetzter Nagelung und - als Summe aus beiden Wegen - die Stoßaufweitung.

- Zu Tabelle 4:

Hier werden zu bestimmten vorgegebenen Wegen (0,75 mm; 1,0 mm; 1,5 mm; 3,0 mm; 4,0 mm und 5,0 mm) die zugehörigen Kraftgrößen P für die versetzte und unversetzte Nagelung angegeben. Bei den mit "*****" bezeichneten Kraftgrößen wird die vorgegebene Verschiebung (Weg) nicht erreicht.

- Zu Tabelle 5:

Hier werden die Verschiebungsmoduln für die versetzte und unversetzte Nagelung angegeben.

Darin bedeuten:

C_{ges} : Gesamtverschiebungsmodul aller Nägel für die Verbindung mit versetzten Nägeln bzw. für die Verbindung mit unversetzten Nägeln, ausgewertet nach ISO 6891

C : Verschiebungsmodul des Einzelnagels für die versetzte und unversetzte Nagelung, ausgewertet nach ISO 6891

C_{DIN} : Verschiebungsmodul, berechnet nach DIN 1052, Teil 2, Tabelle 13, als Vergleichswert

Die Verschiebungsmoduln C_{ges} und C für die versetzte und unversetzte Nagelung wurden durch Versuchsauswertung nach ISO 6891 wie folgt berechnet:

I. Berechnung der modifizierten Verschiebung (Weg)

$$w_{mod} = 4/3 * (w_{04} - w_{01})$$

(w_{01} bzw. w_{04} = Wege bei $0,1 * F_{est}$ bzw. $0,4 * F_{est}$)

II. Berechnung des Verschiebungsmoduls $C = 0,4 * F_{est} / w_{mod}$

Hinweis auf den Anhang (Abschnitt 9)

Im Anhang (Abschnitt 9) wurde aus Platzgründen auf die Darstellung der AUSWERTUNGSPROTOKOLLE/TABELLENZUSAMMENSTELLUNGEN entsprechend der Muster-Angaben auf Seite 38 für die Versuche verzichtet. Es wurden jedoch für alle Versuche die zugehörigen KRAFT-WEG-DIAGRAMME entsprechend den Muster-Angaben in den Bildern 4.2.4/2 und 4.2.4/3 auf den Seiten 36 und 37 für versetzte und unversetzte Nagelung angegeben.

4.2.5 Versuchsaufbau

Die Prüfung wurde ausschließlich unter Zug und reiner Längsbelastung für ein- und zweischnittige Nagelverbindungen durchgeführt. Die Lasteinleitung erfolgte mit einem Prüfzylinder PL 630 N (Nennkraft 630 kN) der Firma Carl Schenck. Der grundsätzliche Versuchsaufbau ist am Beispiel eines Zugstoßprobekörpers mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung) in Bild 4.2.5/1 dargestellt.

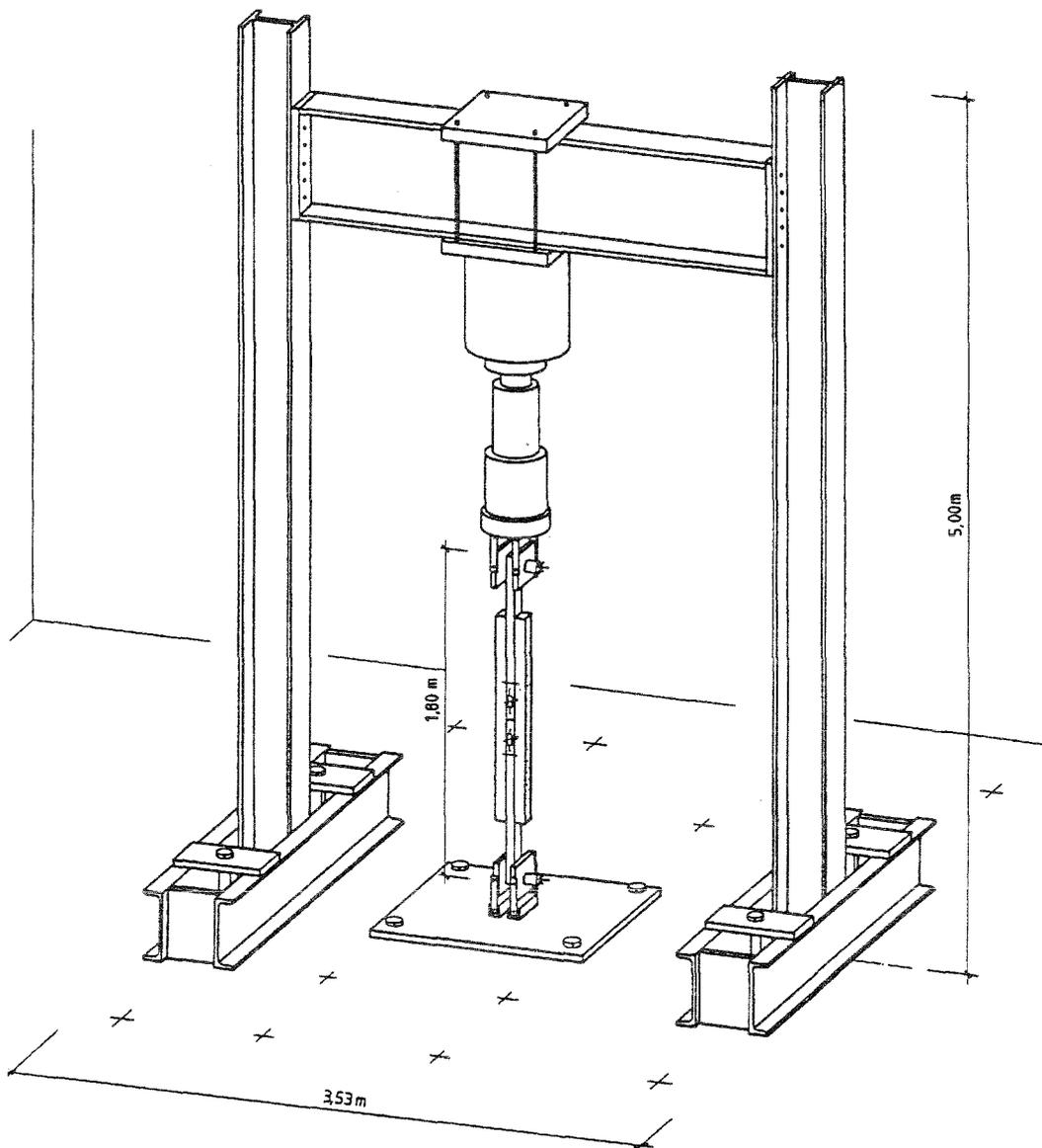


Bild 4.2.5/1: Versuchsaufbau: hier Prüfung eines Zugstoßprobekörpers mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)

4.3 Parameter der Hauptversuche

4.3.1 Nageldurchmesser, -form, -länge

Es wurden nur Nägel der Firma Paslode mit den entsprechenden Nageleintreibgeräten benutzt. Die Zugfestigkeit der Nägel wurde im Versuch bestimmt. Die Nägel erfüllten die Bedingung nach einer Zugfestigkeit von $\geq 600 \text{ MN/m}^2$ gemäß DIN 1052/T2 Abschnitt 6.2.

Typ 1: glatter Nagel

Durchmesser: 3,8 mm

Länge : 130 mm

Zugfestigkeit im Versuch (i.M. aus 3 Versuchen): 752 N/mm^2

Nageleintreibgerät: Paslode Streifennagler Typ SCN 50

Maximaler Druck 8 bar

Typ 2: glatter Nagel

Durchmesser: 4,2 mm

Länge : 120 mm

Zugfestigkeit im Versuch (i.M. aus 3 Versuchen): 634 N/mm^2

Nageleintreibgerät: Paslode Streifennagler Typ SCN 50

Maximaler Druck 8 bar

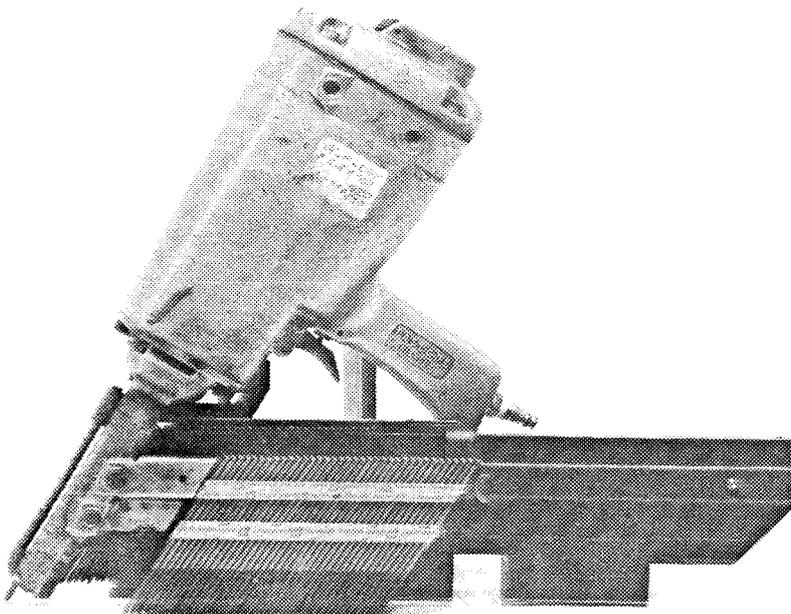


Bild 4.3.1/1: Paslode Streifennagler Typ SCN 50

Typ 3: gerillter Nagel

Durchmesser: 3,8 mm

Länge : 121 mm

Zugfestigkeit im Versuch (i.M. aus 3 Versuchen): 705 N/mm²

Nageleintreibgerät: Paslode Streifennagler Typ GN 131

Maximaler Druck 8 bar

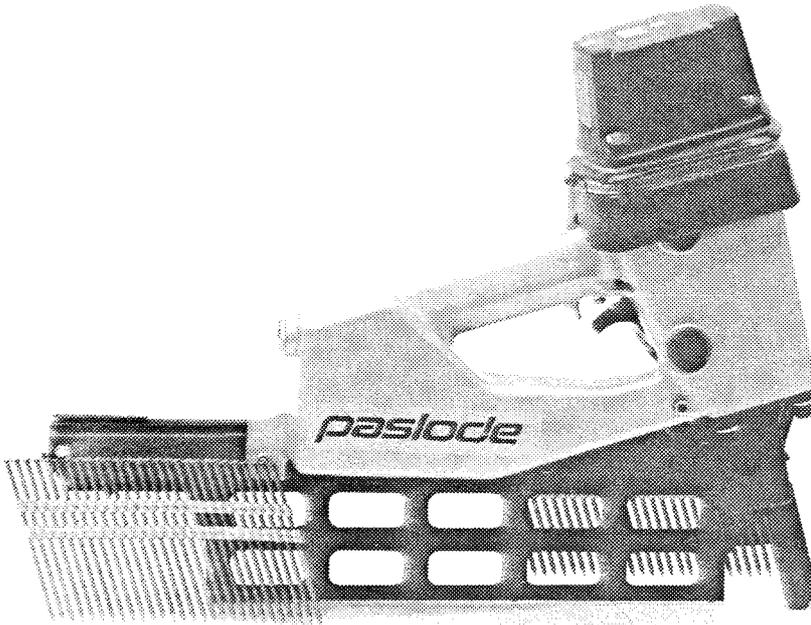


Bild 4.3.1/2: Paslode Streifennagler Typ GN 131

Typ 4: glatter Nagel

Durchmesser: 4,6 mm

Länge : 146 mm

Zugfestigkeit im Versuch (i.M. aus 3 Versuchen): 736 N/mm²

Nageleintreibgerät: Paslode Streifennagler Typ GN 161 S

Maximaler Druck 8 bar

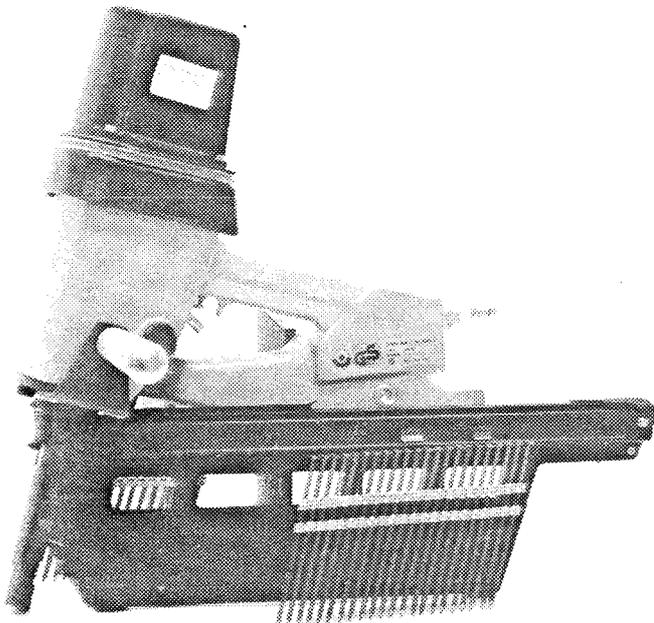


Bild 4.3.1/3: Paslode Streifennagler Typ GN 161 S

4.3.2 Nagelabstände untereinander || zur Faser

Typ 1 / 2 (ϕ 3,8 mm / ϕ 4,2 mm, glatt):	(10 - 12,5 - 15 - 17,5)	d_n
Typ 3 (ϕ 3,8 mm, gerillt)	: (10 - 12,5 - 15 - 17,5)	d_n
Typ 4 (ϕ 4,6 mm, glatt)	: (15 - 18 - 21 - 24)	d_n

4.3.3 Randabstände || und \perp zur Faser, Abstände untereinander \perp zur Faser, Nagelreihen, Nagelanzahl hintereinander

Folgende Randbedingungen wurden bei allen Versuchen eingehalten:

- a) Randabstände zum belasteten Rand || Fa.: = 1,5 x Abstand || Fa
- b) Randabstände \perp Fa.: $5 d_n$ (nach DIN 1052/T2)
- c) Abstände untereinander \perp Fa.: $5 d_n$ (nach DIN 1052/T2)
- d) Nagelreihen: $r = 2$
- e) Nagelanzahl hintereinander: $n = 4$

4.3.4 Ermittlung der Holzeigenschaften: Rohdichte, Holzfeuchtigkeit, Druckfestigkeit

4.3.4.1 Allgemeines

Bei den verwendeten Prüfkörpern handelte es sich um Fichtenholz (*picea abies*) der Güteklasse II. Für die Bestimmung der verschiedenen Holzeigenschaften (Rohdichte, Holzfeuchtigkeit und Druckfestigkeit) wurden stichprobenartig von jeder vorhandenen Jahrringweite (1-7 mm) 3 Proben auf die o.g. Eigenschaften hin untersucht (insgesamt 21 Proben).

Die Ergebnisse der 21 Proben sind im Abschnitt 4.3.4.5 in den Tabellen 4.3.4.5/1 bis 4.3.4.5/6 dargestellt und bilden die Basis für die Auswertungen in den Abschnitten 4.3.4.2 bis 4.3.4.4.

Die Jahrringangaben (stehend/liegend und eng/weit) für die Versuche nach ISO 6891 wurden zu jedem Versuch notiert. Sie sind aber kein Versuchsparameter.

Die Angaben über Rohdichte, Holzfeuchte und Druckfestigkeit (Abschnitt 4.3.4.2 bis 4.3.4.4) geben lediglich Einblick in die Eigenschaften des verwendeten Holzes, sie sind jedoch keine Versuchsparameter.

4.3.4.2 Rohdichte

Die Bestimmung der Rohdichte erfolgte nach DIN 52182. Dabei ergab sich eine Darr-Rohdichte von $0,32 \text{ g/cm}^3$ bei einer Jahrringweite von 7 mm und von $0,43 \text{ g/cm}^3$ bei einer Jahrringweite von 1 mm. Bild 4.3.4.2/1 zeigt die Abhängigkeit der Darr-Rohdichte von der Jahrringweite.

Darr-Rohdichte in Abhängigkeit der Jahrringweite

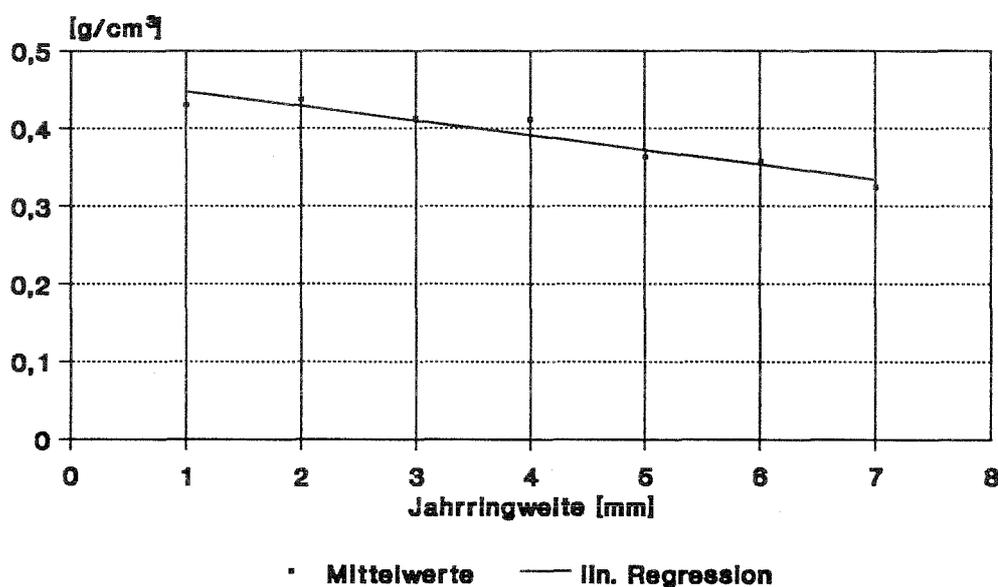


Bild 4.3.4.2/1: Darr-Rohdichte in Abhängigkeit der Jahrringweite

4.3.4.3 Holzfeuchtigkeit

Die Bestimmung der Holzfeuchtigkeit der 21 Proben erfolgte nach DIN 52183 (Darrprobe). Es wurde eine Holzfeuchtigkeit von $u \leq 10 \%$ festgestellt.

Bei der Durchführung der Kurz-Zeit-Versuche nach ISO 6891 erfolgte die Holzfeuchtemessung nicht über Darrprobe nach DIN 52183 sondern über eine elektrische Widerstandsmessung mit dem GANN-Gerät "Hydromette HTR 300" für jeden Versuchskörper.

Tastversuche mit einer Einschlagfeuchte von $u = 24-28 \%$ und einer Prüffeuchte von $u = 10 \%$, sowie mit einer Einschlag- und Prüffeuchte von $u = 18-22 \%$ fanden ebenfalls statt (s. Zusatzversuche in Abschn. 4.6.4).

4.3.4.4 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit parallel zur Faser wurde nach DIN 52185 bestimmt. Die Bestimmung erfolgte unter der vorhandenen Feuchte in Abhängigkeit von der Jahrringweite. Bild 4.3.4.4/1 zeigt einen Probekörper (Abmessungen $20 \times 25 \times 60$ mm) in der Prüfmaschine.

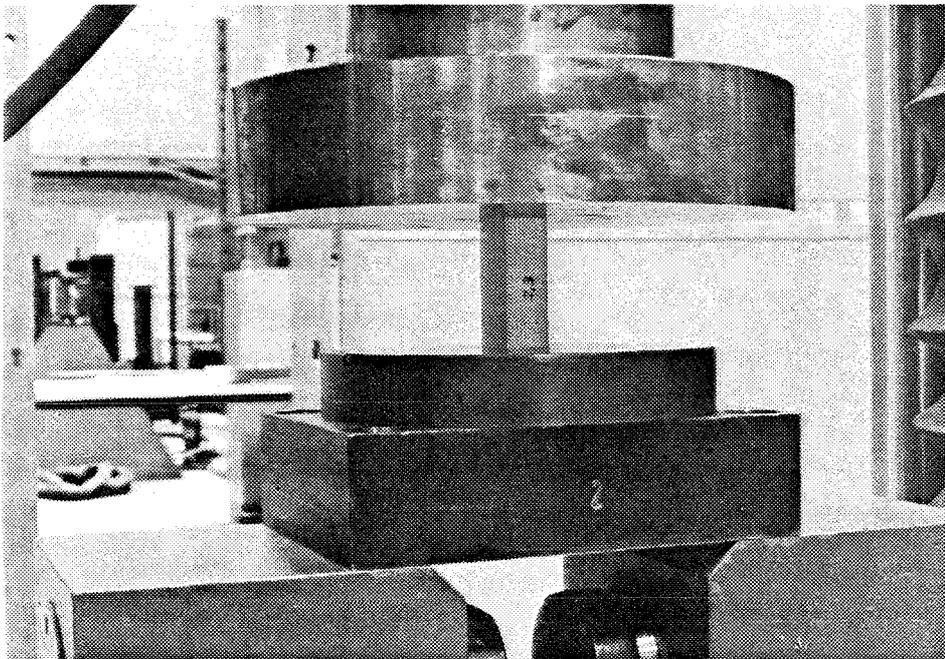


Bild 4.3.4.4/1: Versuch zur Bestimmung der Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeiten lagen i.M. zwischen $37,76 \text{ N/mm}^2$ (Jahrringweite 7 mm) und $62,47 \text{ N/mm}^2$ (Jahrringweite 1 mm). Der Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit und der Jahrringweite ist in Bild 4.3.4.4/2 dargestellt. Daraus resultierend ist ebenfalls ein sehr guter linearer Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit und der Darr-Rohdichte festzustellen (Bild 4.3.4.4/3).

Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Jahrringweite

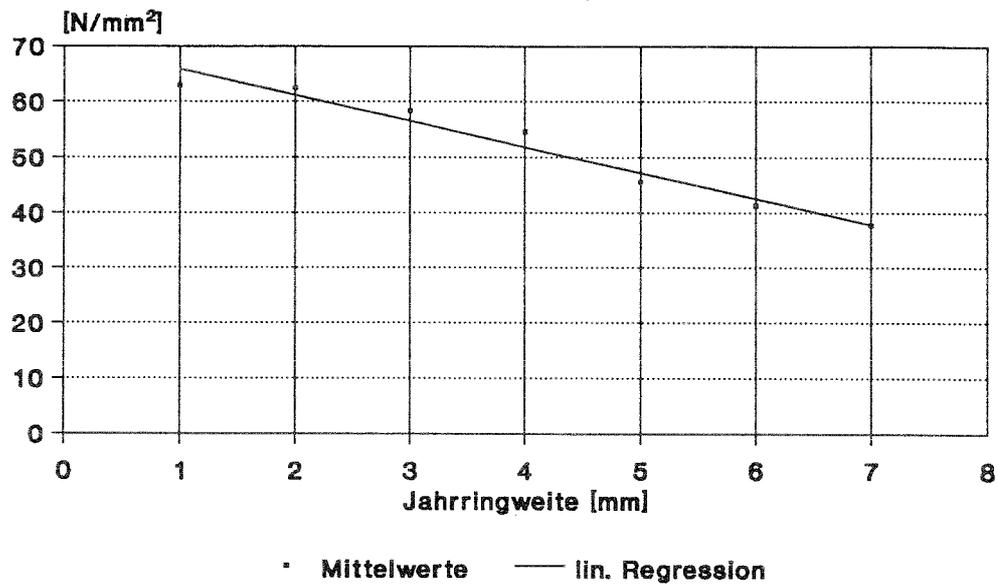


Bild 4.3.4.4/2: Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Jahrringweite

Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Darr-Rohdichte

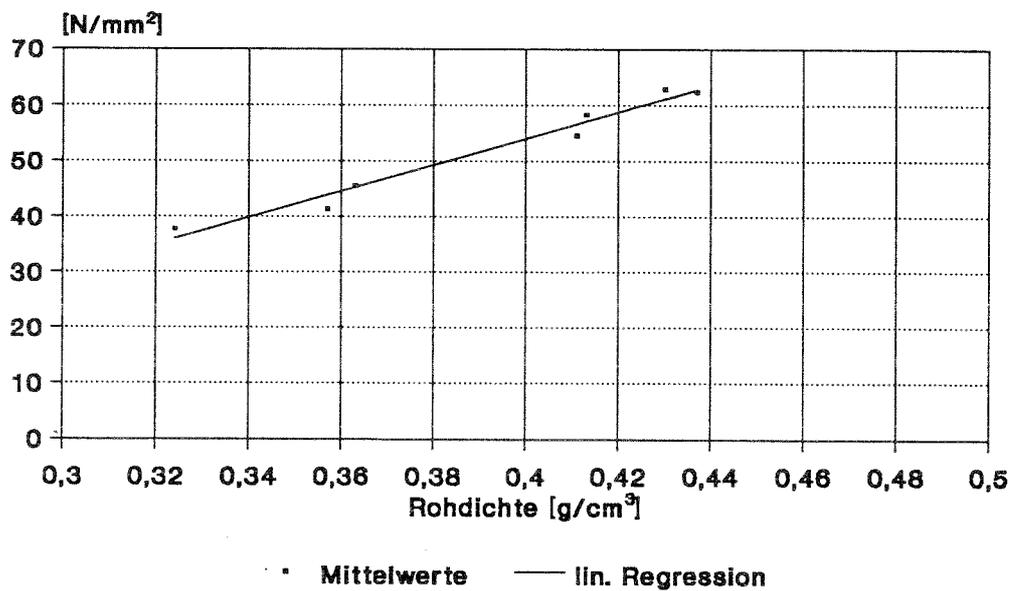


Bild 4.3.4.4/3: Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Darr-Rohdichte

4.3.4.5 Tabellen "Holzeigenschaften"

Versuche mit Jahrringweite 1,0 mm

Versuch	1,1	1,2	1,3
Jahrringweite [mm]	1,0		
Abmessungen (Feuchtprobe) mm*mm*mm	20,4*24,3*60,2	20,5*24,4*60,2	20,8*24,2*60,3
A_{N2} [mm ²]	495,72	500,20	503,36
V_{N3} [cm ³]	29,842	30,112	30,353
g_N [g]	13,10	13,76	14,11
ρ_N [g/cm ³]	0,439	0,457	0,465
Abmessungen (Darrprobe) mm*mm*mm	20,0*23,8*60,2	20,0*23,7*60,2	20,1*23,6*60,2
A_{O2} [mm ²]	476,0	474,0	476,37
V_{O3} [cm ³]	28,655	28,535	28,677
g_0 [g]	11,93	12,51	12,85
ρ_0 [g/cm ³]	0,416	0,438	0,436
Feuchtigkeitsgehalt [%]	9,8	10,0	10,0
Druckkraft [kN]	29,27	32,26	32,91
Druckfestigkeit [N/mm ²]	59,04	64,49	65,38

Tabelle 4.3.4.5/1: Ergebnisse für Rohdichte, Feuchtegehalt und Druckfestigkeit bei einer Jahrringweite von 1 mm.

Versuche mit Jahrringweite 2,0 mm

Versuch	2,1	2,2	2,3
Jahrringweite [mm]	2,0		
Abmessungen (Feuchtprobe) mm*mm*mm	20,7*24,2*60,4	20,6*24,3*60,0	20,6*24,1*60,2
A_{N2} [mm ²]	500,94	500,58	496,46
V_{N3} [cm ³]	30,257	30,035	29,887
g_N [g]	13,77	14,20	13,32
ρ_N [g/cm ³]	0,455	0,473	0,446
Abmessungen (Darrprobe) mm*mm*mm	20,1*23,8*60,3	19,9*23,8*60,0	20,0*23,7*60,2
A_{O2} [mm ²]	478,38	473,62	474,00
V_{O3} [cm ³]	28,846	28,417	28,535
g_0 [g]	12,48	12,88	12,10
ρ_0 [g/cm ³]	0,433	0,453	0,424
Feuchtigkeitsgehalt [%]	10,3	10,2	10,1
Druckkraft [kN]	30,57	32,95	30,21
Druckfestigkeit [N/mm ²]	60,73	65,82	60,85

Tabelle 4.3.4.5/2: Ergebnisse für Rohdichte, Feuchtegehalt und Druckfestigkeit bei einer Jahrringweite von 2 mm.

Versuche mit Jahrringweite 3,0 mm

Versuch	3,1	3,2	3,3
Jahrringweite [mm]	3,0		
Abmessungen (Feuchtprobe) mm*mm*mm	20,5*25,0*60,4	20,7*25,0*60,3	20,5*24,7*60,3
A_{N_2} [mm ²]	512,50	517,50	506,35
V_{N_3} [cm ³]	30,955	31,205	30,533
g_N [g]	13,03	13,90	12,84
ρ_N [g/cm ³]	0,421	0,445	0,421
Abmessungen (Darrprobe) mm*mm*mm	20,0*24,4*60,4	20,3*24,5*60,3	20,1*24,1*60,3
A_{O_2} [mm ²]	488,00	497,35	484,41
V_{O_3} [cm ³]	29,475	29,990	29,210
g_0 [g]	11,86	12,91	11,93
ρ_0 [g/cm ³]	0,402	0,430	0,408
Feuchtigkeitsgehalt [%]	9,9	7,7	7,6
Druckkraft [kN]	29,26	32,33	28,17
Druckfestigkeit [N/mm ²]	57,09	62,47	55,63

Tabelle 4.3.4.5/3: Ergebnisse für Rohdichte, Feuchtegehalt und Druckfestigkeit bei einer Jahrringweite von 3 mm.

Versuche mit Jahrringweite 4,0 mm

Versuch	4,1	4,2	4,3
Jahrringweite [mm]	4,0		
Abmessungen (Feuchtprobe) mm*mm*mm	20,7*24,8*60,4	20,8*24,6*60,2	20,7*24,3*60,4
A_{N2} [mm ²]	513,36	511,68	503,01
V_{N3} [cm ³]	31,007	30,803	30,281
g_N [g]	13,10	12,44	14,06
ρ_N [g/cm ³]	0,422	0,404	0,464
Abmessungen (Darrprobe) mm*mm*mm	20,3*24,4*60,4	20,3*24,3*60,2	20,7*23,7*60,4
A_{O2} [mm ²]	495,32	493,29	490,59
V_{O3} [cm ³]	29,917	29,696	29,632
g_0 [g]	12,06	11,60	13,03
ρ_0 [g/cm ³]	0,403	0,391	0,440
Feuchtigkeitsgehalt [%]	8,6	7,2	7,9
Druckkraft [kN]	28,35	28,87	(*Ast) 26,26
Druckfestigkeit [N/mm ²]	55,22	56,42	52,21

Tabelle 4.3.4.5/4: Ergebnisse für Rohdichte, Feuchtegehalt und Druckfestigkeit bei einer Jahrringweite von 4 mm.

Versuche mit Jahrringweite 5,0 mm

Versuch	5,1	5,2	5,3
Jahrringweite [mm]	5,0		
Abmessungen (Feuchtprobe) mm*mm*mm	20,7*24,5*60,2	20,8*24,6*60,3	20,9*24,9*60,4
A_{N_2} [mm ²]	507,15	511,68	520,41
V_{N_3} [cm ³]	30,530	30,854	31,433
g_N [g]	10,21	13,10	11,89
ρ_N [g/cm ³]	0,334	0,425	0,378
Abmessungen (Darrprobe) mm*mm*mm	20,5*24,0*60,2	20,5*24,0*60,3	20,7*24,4*60,4
A_{O_2} [mm ²]	492,00	492,00	505,08
V_{O_3} [cm ³]	29,618	29,668	30,507
g_0 [g]	9,51	12,17	10,94
ρ_0 [g/cm ³]	0,321	0,410	0,359
Feuchtigkeitsgehalt [%]	7,4	7,6	8,7
Druckkraft [kN]	21,55	27,43	21,10
Druckfestigkeit [N/mm ²]	42,49	53,60	40,55

Tabelle 4.3.4.5/4: Ergebnisse für Rohdichte, Feuchtegehalt und Druckfestigkeit bei einer Jahrringweite von 5 mm.

Versuche mit Jahrringweite 6,0 mm

Versuch	6,1	6,2	6,3
Jahrringweite [mm]	6,0		
Abmessungen (Feuchtprobe) mm*mm*mm	20,8*25,0*60,2	20,9*24,6*60,4	20,6*24,3*60,3
A_{N2} [mm ²]	520,00	514,14	500,58
V_{N3} [cm ³]	31,304	31,054	30,185
g_N [g]	12,52	10,71	12,50
ρ_N [g/cm ³]	0,400	0,345	0,414
Abmessungen (Darrprobe) mm*mm*mm	20,5*24,6*60,2	20,7*24,1*60,4	20,4*24,0*60,3
A_{O2} [mm ²]	504,30	498,87	489,60
V_{O3} [cm ³]	30,359	30,132	29,523
g_0 [g]	11,49	9,93	11,62
ρ_0 [g/cm ³]	0,378	0,330	0,394
Feuchtigkeitsgehalt [%]	9,0	7,9	7,6
Druckkraft [kN]	18,36	21,40	23,57
Druckfestigkeit [N/mm ²]	35,30	41,62	47,10

Tabelle 4.3.4.5/5: Ergebnisse für Rohdichte, Feuchtegehalt und Druckfestigkeit bei einer Jahrringweite von 6 mm.

Versuche mit Jahrringweite 7,0 mm

Versuch	7,1	7,2	7,3
Jahrringweite [mm]	7,0		
Abmessungen (Feuchtprobe) mm*mm*mm	20,8*24,7*60,2	20,6*25,0*60,8	20,7*24,9*56,3
A_{N_2} [mm ²]	513,76	515,00	515,43
V_{N_3} [cm ³]	30,928	31,312	29,019
g_N [g]	10,19	10,36	10,16
ρ_N [g/cm ³]	0,329	0,331	0,350
Abmessungen (Darrprobe) mm*mm*mm	20,2*24,3*60,2	20,4*24,4*60,8	20,7*24,4*56,3
A_{O_2} [mm ²]	490,86	497,76	505,08
V_{O_3} [cm ³]	29,550	30,264	28,436
g_0 [g]	9,47	9,68	9,45
ρ_0 [g/cm ³]	0,320	0,320	0,332
Feuchtigkeitsgehalt [%]	7,6	7,0	7,5
Druckkraft [kN]	20,14	19,50	18,83
Druckfestigkeit [N/mm ²]	39,20	37,86	36,53

Tabelle 4.3.4.5/6: Ergebnisse für Rohdichte, Feuchtegehalt und Druckfestigkeit bei einer Jahrringweite von 7 mm.

4.4 Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)

4.4.1 Allgemeines

Das Ziel der Untersuchungen bei den Zugstoßprobekörpern mit innenliegenden Mindestholzdicken (zweischnittige Verbindungen) lag in der Ermittlung der Tragfähigkeit im spaltgefährdeten Mittelholz. Die Zugstoßprobekörper wurden auf der einen Seite versetzt und auf der anderen Seite unversetzt genagelt, so daß der direkte Vergleich zwischen versetzt und unversetzt sofort bei jedem einzelnen Versuch möglich war (Bild 4.4/1 und 4.4/2). Das Mittelholz des Zugstoßprobekörpers wurde aus einem einzigen Holz, das am Stoßpunkt getrennt war, hergestellt.

Um eine praxisgerechte schnelle Herstellung der Verbindung zu realisieren, wurden die Nägel nicht abwechselnd von beiden Seiten eingetrieben, sondern lediglich von einer Seite.

4.4.2 Mittelholz

Planmäßige Durchführung der Versuche mit Mindestholzdicken a_m nach DIN 1052 für das Mittelholz

für Na- ϕ 3,8 mm: min $a_m = 24$ mm

für Na- ϕ 4,2 mm: min $a_m = 26$ mm

für Na- ϕ 4,6 mm: min $a_m = 30$ mm

4.4.3 Seitenholz

Die Dicke des Seitenholzes a_s wurde in Abhängigkeit von der Nagellänge unter der Bedingung der Mindesteinschlagtiefe $8 d_n$ (für glatte und gerillte Nägel bei Zweischnittigkeit) bestimmt.

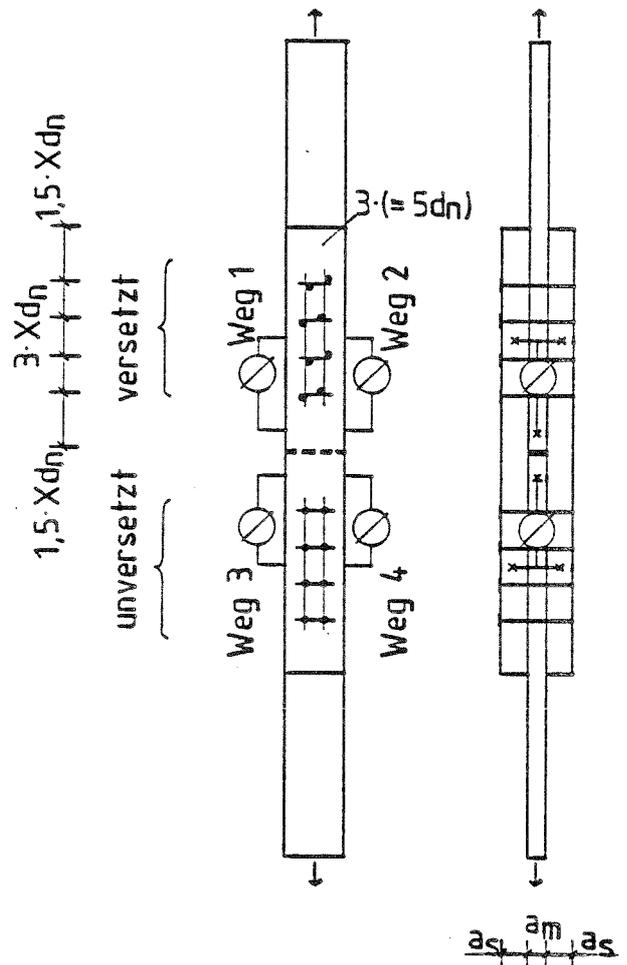


Bild 4.4/1: Prinzipskizze Versuchskörper (zweischnittige Verbindung)

4.5 Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung)

4.5.1 Allgemeines

Das Ziel der Untersuchungen bei den Zugstoßprobekörpern mit außenliegenden Mindestholzdicken (einschnittige Verbindungen) lag in der Ermittlung der Tragfähigkeit im spaltgefährdeten Seitenholz. Die Zugstoßprobekörper wurden auf der einen Seite versetzt und auf der anderen Seite unversetzt genagelt, so daß der direkte Vergleich zwischen versetzt und unversetzt sofort bei jedem einzelnen Versuch möglich war (Bild 4.5/1 und 4.5/2). Die Seitenhölzer des Zugstoßprobekörpers wurden aus einem einzigen Holz, das an den Stoßpunkten getrennt war, hergestellt.

4.5.2 Seitenholz

Planmäßige Durchführung der Versuche mit Mindestholzdicken a_s nach DIN 1052 für das Seitenholz

für Na- ϕ 3,8 mm: min $a_s = 24$ mm

für Na- ϕ 4,2 mm: min $a_s = 26$ mm

für Na- ϕ 4,6 mm: min $a_s = 30$ mm

4.5.3 Mittelholz

Die Dicke des Mittelholzes a_m wurde in Abhängigkeit von der Nagellänge unter der Bedingung der Mindesteinschlagtiefe $8 d_n$ (für gerillte Nägel) und $12 d_n$ (für glatte Nägel) bestimmt.

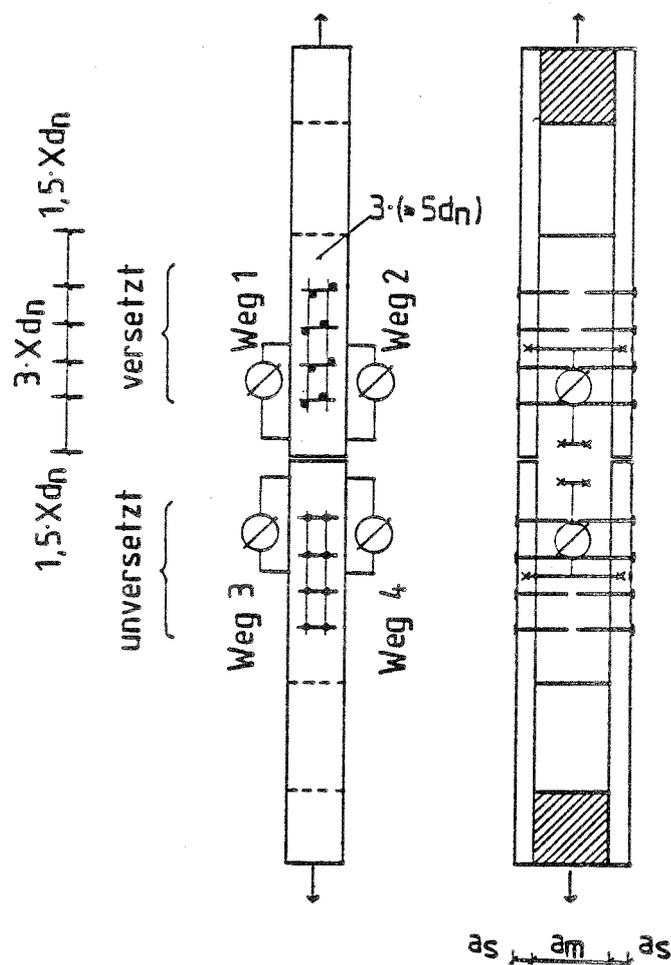


Bild 4.5/1: Prinzipskizze Versuchskörper (einschnittige Verbindung)



Bild 4.4/2: Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischrittige Verbindung)

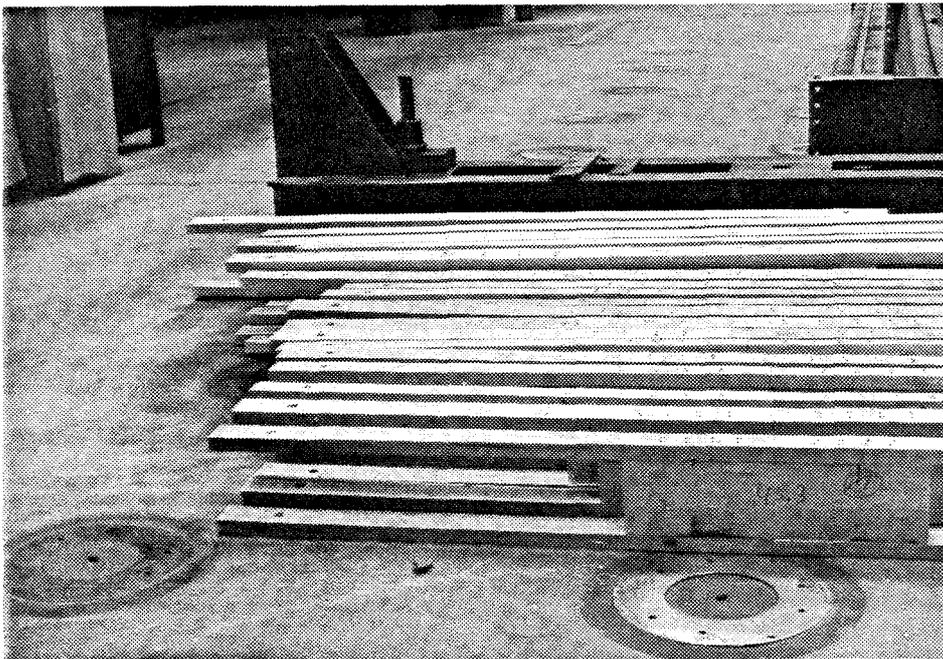


Bild 4.5/2: Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung)

4.6 Auswertung der Hauptversuche

4.6.1 Allgemeines

Die Auswertung der umfangreichen Versuchsdaten erfolgt in drei aufeinanderfolgenden Auswertungsstufen: Auswertungsstufen I, II und III.

Die Versuchsbezeichnungen: s. Abschnitt 4.2.2

4.6.1.1 Auswertungsstufe I: Auswertung der einzelnen Versuche

Auswertungsstufe I besteht aus den in Abschnitt 4.2.4 detailliert beschriebenen Auswertungsschritten, die hier nochmals stichwortartig genannt werden:

- Aufzeichnung des Kraft-Verformungsdiagramms für versetzte Nagelung. Exemplarische Darstellung in Bild 4.2.4/2
- Aufzeichnung des Kraft-Verformungsdiagramms für unversetzte Nagelung. Exemplarische Darstellung in Bild 4.2.4/3
- Erstellung eines Auswertungsprotokolls/Tabellenzusammensetzung. Exemplarische Darstellung in Bild 4.2.4/4 mit den Tabellen 1 bis 5

■ Tabelle 1: Angabe, wo Versagen eintrat (versetzt, unversetzt, Holz) und Angabe, ob P_{\max} = Bruchlast oder P_{\max} = Last bei 15 mm Verschiebung (wenn 15 mm Verschiebung vor der Bruchlast erreicht wird)

■ Tabelle 2: Angabe der im Versuch verwendeten Nagelabstände

■ Tabelle 3: Angabe von P_{\max} , $P_{\max}/3$, zul P und die zugehörigen Verschiebungen bei versetzter und unversetzter Nagelverbindung sowie die Summe der beiden Verschiebungen als Stoßaufweitung.

P_{\max} = Maximallast (= Bruchlast bzw. Last bei 15 mm Verschiebung)

$P_{\max}/3$ = 1/3 der Kurzzeitbruchlast
willkürlich gewählter Vergleichswert zu zul P

zul P = zulässige Belastung der Verbindung nach DIN 1052 bei versetzter Nagelung. zul P

dient als Vergleichswert zu P_{\max} bzw. $P_{\max}/3$.

Die zugehörigen Wege dienen zur Beurteilung der Steifigkeit der Verbindungen. U.a. ist die Aussage, ob 1,50 mm Weg bei P eingehalten wurde, informativ.

- Tabelle 4: Angabe der Lasten P bei einer Verschiebung (Weg) von 0,75/1,00/1,50/3,00/4,00/5,00 mm, separat für versetzte und unversetzte Nagelung.

Die Verschiebungen (Wege) 0,75 ... 5,00 wurden willkürlich gewählt. Die Lasten P in Abhängigkeit von den Verschiebungen ermöglichen u.a. eine Beurteilung der Steifigkeit der Verbindungen. Z.B. ist der Vergleich der Verschiebungen (Wege) zwischen versetzter und unversetzter Nagelung und die Größe der Last P bei 1,5 mm Verschiebung ($P_{1,50}$) informativ.

- Tabelle 5: Angabe des Verschiebungsmoduls (ausgewertet nach ISO 6891) für die Gesamtverbindung (C_{ges}) und für den Einzelnagel (C) - separat für versetzt und unversetzt - und des Einzelnagels (C_{DIN}), berechnet nach DIN 1052 T2.

Aufzeichnungen der Auswertungsstufe I

Exemplarisch liegen die Aufzeichnungen in Abschnitt 4.2.4 vor. Summarisch werden für jeden Versuch die Kraft-Verformungsdiagramme für versetzte und unversetzte Nagelung im Anhang angegeben.

4.6.1.2 Auswertungsstufe II: Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse aller Versuche einer Serie

Aus den Ergebnissen der Auswertungsstufe I (s. Abschnitt 4.6.1.1) werden die Ergebnisse der Auswertungsstufe II gewonnen.

Die Ergebnisse der Auswertungsstufe II liegen für alle Versuche einer Serie in Tabellenform vor.

Hierbei werden angegeben:

- Maximallast P_{\max} und zugehörige Verschiebung w_{\max} sowie An-

- gaben darüber, wo Versagen eintrat (versetzt, unversetzt, Holz)
- Kräfte P bei 1,5 mm Verschiebung w und Verschiebungen w bei $zul\ P$ (Bedeutung von $zul\ P \rightarrow$ s. Abschnitt 4.6.1.1)

Aufzeichnungen der Auswertungsstufe II:

s. Abschnitte 4.6.2.1, 4.6.3.1 und 4.6.4.1

4.6.1.3 Auswertungsstufe III: Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse aller Serien

Aus den Ergebnissen der Auswertungsstufe II (s. Abschnitt 4.6.1.2) werden die Ergebnisse der Auswertungsstufe III gewonnen.

Hierbei werden angegeben:

- Mittelwert der Maximallast \bar{P}_{max} pro Nagelscherfläche, getrennt für versetzte und unversetzte Nagelung
- Quotient $\bar{P}_{max}/zul\ P$ pro Nagelscherfläche, getrennt für versetzte und unversetzte Nagelung.

Aufzeichnungen der Auswertungsstufe III

s. Abschnitt 4.6.2.2, 4.6.3.2 und 4.6.4.2

4.6.2 Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)

4.6.2.1 Ergebnisse aus der Auswertungsstufe II (Ergebnisse aller Versuche einer Serie)

Es folgen Tabellen für die Versuchsserien

I2	II2
III2	IV2
VI2	VII2
VIII2	XI2
XII2	XIII2
XIV2	XVII
XVIII2	IXX2
XX2	

Weitere Informationen zur Auswertungsstufe II in Abschnitt 4.6.1.2.

Tabelle 4.6.2.1/1: Versuchsserie I2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch I	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	V	15,38	0,96	1,63
2,2	V	23,84	1,49	8,83
2,3	U	15,47	0,97	2,22
2,4	V	20,86	1,30	5,53
2,5	H	11,56		
2,6	H	12,60		
2,7	U	15,40	0,96	3,08
2,8	V	15,66	0,98	3,68
Fortsetzung der Tabelle nächste Seite				

zulässige Belastung

Einzelnagel
zul P = 0,525 kNGesamtverbindung
zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	10 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch I	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
2,1	*****	0,62	15,13	0,71
2,2	16,05	0,34	15,98	0,37
2,3	14,59	0,38	*****	0,28
2,4	17,72	0,24	17,23	0,29
2,5	*****	0,42	*****	0,35
2,6	11,82	0,69	*****	0,06
2,7	13,31	0,52	13,89	0,46
2,8	14,11	0,40	14,79	0,22
Fortsetzung der Tabelle nächste Seite				

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/2: Versuchsserie I2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung (Fortsetzung)

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch I	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,9	U	27,21	1,70	9,43
2,10	V	17,20	1,08	9,77
2,11	H	15,32		

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	10 dn
a_{\perp}	5 dn

- *) U: Versagen bei unversetzter Nagelung
 V: Versagen bei versetzter Nagelung
 H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch I	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
2,9	21,36	0,21	18,99	0,23
2,10	15,46	0,35	14,45	0,43
2,11	*****	0,29	*****	0,11

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/3: Versuchsserie II2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch II	Ver- sagen)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	V	21,27	1,33	8,23
2,2	U	15,32	0,96	1,48
2,3	U	22,63	1,41	4,79
2,4	U	19,9	1,24	5,92
2,5	U	14,4	0,90	9,76
2,6	H	14,02		
2,7	U	26,20	1,64	14,42
2,8	V	24,23	1,51	9,72
2,9	V	18,00	1,13	2,14

zulässige Belastung

Einzelnagel
zul $P = 0,525$ kNGesamtverbindung
zul $P = 8,40$ kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	19 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	12,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch II	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	w_{zulP}	$P_{1,50}$	w_{zulP}
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
2,1	16,03	0,22	17,18	0,16
2,2	15,25	0,27	*****	0,24
2,3	keine Daten vorhanden			
2,4	keine Daten vorhanden			
2,5	keine Daten vorhanden			
2,6	*****	0,21	*****	0,47
2,7	15,46	0,29	14,18	0,47
2,8	18,36	0,15	16,56	0,16
2,9	16,63	0,22	17,58	0,13

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/4: Versuchsserie III2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{\max} und zugehörige Verschiebung $w_{P\max}$

Versuch	Ver-sagen)	Bruchwerte		
		P_{\max} in kN		$w_{P\max}$
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
III				
2,1	U	22,86	1,43	7,64
2,2	V	20,96	1,31	6,24
2,3	V	23,16	1,45	8,82
2,4	V	21,99	1,37	8,93
2,5	H	15,01		
2,6	U	20,33	1,27	7,52
2,7	U	22,81	1,43	9,82

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15,0dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
2,1	keine Daten vorhanden			
2,2	15,39	0,41	14,87	0,48
2,3	13,01	0,51	12,77	0,58
2,4	15,42	0,36	14,12	0,41
2,5	13,62	0,47	13,77	0,50
2,6	15,81	0,27	15,26	0,29
2,7	14,07	0,25	15,20	0,39

Tabelle 4.6.2.1/5: Versuchsserie IV2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch IV	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	H	15,24		
2,2	V	23,04	1,44	10,98
2,3	V	27,01	1,69	12,63
2,4	U	22,18	1,39	8,34
2,5	V/U	30,76	1,92	14,76
2,6	U	23,73	1,48	7,43

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	26 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	17,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch IV	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
2,1	*****	0,43	*****	0,39
2,2	15,57	0,37	15,38	0,39
2,3	15,63	0,34	16,42	0,35
2,4	16,28	0,30	17,19	0,29
2,5	15,73	0,38	15,57	0,43
2,6	18,10	0,08	16,36	0,31

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/6: Versuchsserie VI2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{\max} und zugehörige Verschiebung $w_{P_{\max}}$

Versuch VI	Ver- sagen)	Bruchwerte		
		P_{\max} in kN		$w_{P_{\max}}$
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	V	25,60	1,60	8,43
2,2	V	18,88	1,18	4,52
2,3	V	22,05	1,38	9,32
2,4	U	15,89	0,99	1,23
2,5	U	15,65	0,98	6,95
2,6	U	16,90	1,06	2,70

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	10 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch VI	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
2,1	18,49	0,17	17,15	0,29
2,2	16,33	0,47	15,21	0,43
2,3	16,80	0,09	15,02	0,24
2,4	15,38	0,37	*****	0,29
2,5	12,02	0,57	*****	0,24
2,6	15,23	0,22	15,16	0,22

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/7: Versuchsserie VII2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{\max} und zugehörige Verschiebung $w_{P_{\max}}$

Versuch	Ver-sagen)	Bruchwerte		
		P_{\max} in kN		$w_{P_{\max}}$
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
VII				
2,1	U	23,09	1,44	6,76
2,2	U	13,20	0,83	2,67
2,3	V	32,13	2,01	13,28
2,4	V	27,11	1,69	11,07
2,5	V	17,18	1,07	2,34
2,6	V	18,21	1,14	4,06
2,7	U	18,65	1,17	3,02

zulässige Belastung

Einzelnagel
zul $P = 0,525$ kN

Gesamtverbindung
zul $P = 8,40$ kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	19 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	12,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{\text{zul } P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{\text{zul } P}$ [mm]
VII				
2,1	15,62	0,43	15,10	0,43
2,2	11,50	0,82	12,68	0,53
2,3	16,31	0,40	14,56	0,50
2,4	15,64	0,16	14,04	0,22
2,5	*****	0,18	15,62	0,39
2,6	17,40	0,17	15,28	0,40
2,7	15,82	0,32	17,49	0,22

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/8: Versuchsserie VIII2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
VIII				
2,1	U	19,18	1,20	6,57
2,2	V	22,24	1,39	7,22
2,3	U	18,62	1,16	5,39
2,4	V	24,94	1,56	8,78
2,5	U	26,67	1,67	7,83
2,6	U	27,14	1,70	6,33
2,7	V	29,01	1,81	9,62
2,8	V	33,05	2,07	9,90

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
VIII				
2,1	15,24	0,41	16,14	0,35
2,2	13,12	0,67	13,52	0,53
2,3	13,49	0,57	15,03	0,44
2,4	13,46	0,56	13,45	0,44
2,5	13,47	0,56	13,47	0,44
2,6	16,96	0,28	18,60	0,15
2,7	19,16	0,11	18,52	0,13
2,8	17,34	0,38	16,22	0,43

Tabelle 4.6.2.1/9: Versuchsserie XI2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,2 * 120 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch XI	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	U	12,69	0,79	1,83
2,2	U	16,73	1,05	2,63
2,3	U	16,91	1,06	1,01
2,4	H	19,75		
2,5	U	18,49	1,16	4,13
2,6	U	15,36	0,96	4,93

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,625 kN
Gesamtverbindung zul P = 10,0 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	10 dn
a_{\perp}	5 dn

- *) U: Versagen bei unversetzter Nagelung
 V: Versagen bei versetzter Nagelung
 H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XI	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
2,1	12,42	0,59	*****	0,35
2,2	15,88	0,36	16,47	0,35
2,3	16,69	0,24	*****	0,27
2,4	*****	0,21	*****	0,18
2,5	16,85	0,22	*****	0,13
2,6	14,99	0,49	13,25	0,64

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/10: Versuchsserie XII2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,2 * 120 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
2,1		Probe für Versuch unbrauchbar		
2,2	V	15,22	0,95	0,49
2,3	V	16,27	1,02	1,14
2,4	H	10,64		
2,5	U	20,42	1,28	11,70
2,6	V	22,88	1,43	7,85
2,7	V	17,54	1,10	1,85

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,625 kN
Gesamtverbindung zul P = 10,0 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	19 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	12,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
2,1	gespalten bei unversetzt			
2,2	*****	0,28	15,06	0,12
2,3	*****	0,17	15,46	0,27
2,4	*****	0,17	*****	0,26
2,5	19,46	0,12	19,67	0,10
2,6	17,88	0,0	15,59	0,40
2,7	*****	0,19	17,21	0,32

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/11: Versuchsserie XIII2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,2 * 120 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{\max} und zugehörige Verschiebung $w_{P_{\max}}$

Versuch	Ver-sagen *)	Bruchwerte		
		P_{\max} in kN		$w_{P_{\max}}$
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
XIII				
2,1	U	28,13	1,76	6,16
2,2	U	17,95	1,12	2,09
2,3	V	19,98	1,25	2,08
2,4	V	16,87	1,05	1,4
2,5	Probe für Versuch unbrauchbar			
2,6	U	28,26	1,77	8,98

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,625 kN
Gesamtverbindung zul P = 10,0 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{\text{zul P}}$	$P_{1,50}$	$w_{\text{zul P}}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
2,1	19,58	0,19	19,86	0,22
2,2	17,43	0,11	*****	0,23
2,3	19,93	0,19	19,44	0,25
2,4	*****	0,26	16,33	0,20
2,5	gespalten bei versetzt und unversetzt			
2,6	20,78	0,18	22,72	0,15

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/12: Versuchsserie XIV2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,2 * 120 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{\max} und zugehörige Verschiebung $w_{P_{\max}}$

Versuch XIV	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{\max} in kN		$w_{P_{\max}}$
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	V	30,63	1,91	8,63
2,2	V	30,36	1,90	9,08
2,3	V	26,29	1,64	9,45
2,4	V/U	26,00	1,63	8,12
2,5	V	27,08	1,69	6,78

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,625 kN
Gesamtverbindung zul P = 10,0 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	26 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	17,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XIV	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{\text{zul P}}$	$P_{1,50}$	$w_{\text{zul P}}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
2,1	18,97	0,29	19,64	0,0
2,2	20,05	0,18	20,34	0,06
2,3	20,89	0,01	19,06	0,27
2,4	17,24	0,05	16,31	0,42
2,5	24,27	0,50	24,21	0,45

Tabelle 4.6.2.1/13: Versuchsserie XVII2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,6 * 146 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch XVII	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	U	14,03	0,88	1,24
2,2	U	13,81	0,86	2,32
2,3	V	14,55	0,91	1,22
2,4	U	21,40	1,34	1,40
2,5	U	18,30	1,14	1,47
2,6	V	18,19	1,14	1,31
2,7	U	19,08	1,19	1,18

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,725 kN
Gesamtverbindung zul P = 11,6 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XVII	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
2,1	13,50	0,66	*****	0,42
2,2	13,00	0,65	*****	0,34
2,3	*****	0,43	14,41	0,27
2,4	21,00	0,26	21,36	0,28
2,5	18,30	0,34	*****	0,26
2,6	17,81	0,57	18,17	0,01
2,7	18,87	0,15	*****	0,02

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/14: Versuchsserie XVIII2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,6 * 146 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{\max} und zugehörige Verschiebung $w_{P\max}$

Versuch	Ver-sagen *)	Bruchwerte		
		P_{\max} in kN		$w_{P\max}$ [mm]
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	
XVIII				
2,1	U	16,77	1,05	4,19
2,2	U	19,09	1,19	2,46
2,3	U	15,20	0,95	1,37
2,4	V	19,68	1,23	2,26
2,5	U	24,17	1,51	3,26

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,725 kN
Gesamtverbindung zul P = 11,6 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	27 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	18 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
XVIII				
2,1	16,72	0,50	16,21	0,52
2,2	16,99	0,52	17,33	0,50
2,3	15,10	0,74	*****	0,28
2,4	*****	0,21	19,15	0,33
2,5	22,64	0,29	20,83	0,35

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/15: Versuchsserie XIX2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,6 * 146 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch XIX	Ver- sagen)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	U	19,97	1,25	1,69
2,2	U	23,02	1,44	3,94
2,3	V	24,25	1,52	3,22
2,4	U	13,99	0,87	1,42
2,5	U	25,33	1,58	4,71
2,6	V	18,79	1,17	2,78

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,725 kN
Gesamtverbindung zul P = 11,6 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	31,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	21 dn
a_{\perp}	5 dn

- *) U: Versagen bei unversetzter Nagelung
 V: Versagen bei versetzter Nagelung
 H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XIX	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
2,1	19,64	0,27	*****	0,29
2,2	21,12	0,23	20,82	0,11
2,3	24,10	0,23	20,99	0,31
2,4	*****	0,31	*****	0,26
2,5	23,03	0,09	22,37	0,19
2,6	18,64	0,20	17,52	0,51

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.2.1/16: Versuchsserie XX2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,6 * 146 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch XX	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
2,1	U	26,98	1,69	5,84
2,2	V	21,46	1,34	2,40
2,3	U	22,24	1,39	6,27
2,4	V	23,04	1,44	7,73
2,5	U	19,69	1,23	1,94

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,725 kN
Gesamtverbindung zul P = 11,6 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	36 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	24 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XX	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
2,1	21,71	0,00	21,51	0,20
2,2	*****	0,19	20,95	0,28
2,3	19,46	0,26	19,48	0,25
2,4	21,92	0,20	17,85	0,45
2,5	19,65	0,31	*****	0,00

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

4.6.2.2 Ergebnisse aus der Auswertungsstufe III
(Zusammenfassung der Ergebnisse aller Serien)

Versuche mit innen- liegender Mindestholz- dicke (zweischnittig)			versetzt			unversetzt			Holzdurchriß außerhalb des Anschlußbereiches (Versagen durch Ast)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nagel	Abstand Fa	Anzahl Versuchs- körper	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.*) -Last Nu	$\frac{-\bar{N}u}{zulN}$	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.*) -Last Nu	$\frac{-\bar{N}u}{zulN}$	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.-Last
3,8*130 glatt	10,0 d _n	11	5	1,16	>2,25	3	1,21	2,31	3	13,16
	12,5 d _n	9	3	1,32	2,52	5	1,23	>2,41	1	14,02
	15,0 d _n	7	3	1,38	2,63	3	1,38	2,63	1	15,01
	17,5 d _n	6	3	1,68	3,21	3	1,60	>3,13	1	15,24
		33	14			14			6	
3,8*121 gerillt	10,0 d _n	6	3	1,39	2,64	3	1,01	>2,28		
	12,5 d _n	7	4	1,48	2,81	3	1,15	>2,54		
	15,0 d _n	8	4	1,71	3,25	4	1,43	>2,99		
		21	11			10				
4,2*120 glatt	10,0 d _n	6	0	--	>1,91	5	1,00	1,91	1	19,75
	12,5 d _n	7	4	1,13	>1,85	2 ¹⁾)	1,28	2,05	1	10,64
	15,0 d _n	6	3 ¹⁾)	1,15	>2,22	4 ¹⁾)	1,55	2,48		
	17,5 d _n	5	5	1,75	2,81	1	1,63	>2,77		
		24	12			12			2	
4,6*146 glatt	15,0 d _n	7	2	1,03	>1,47	5	1,08	1,49		
	18,0 d _n	5	1	1,23	1,70	4	1,18	>1,64		
	21,0 d _n	6	2	1,35	1,86	4	1,29	>1,80		
	24,0 d _n	5	2	1,39	>1,96	3	1,44	1,98		
		23	7			16				

Tabelle 4.6.2.2/1: Ergebnisse für Versuche mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)

*) Maximallast pro Nagel-Scherfläche

1) 1 Probekörper in der Nagelrißlinie beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit Versuch getestet.

4.6.3 Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke
(einschnittige Verbindungen)

4.6.3.1 Ergebnisse aus der Auswertungsstufe II
(Ergebnisse aller Versuche einer Serie)

Es folgen die Tabellen für die Versuchsserien

I1

II1

III1

IV1

VIII1

VIII11

IX1

XIII1

XIV1

XVIII1

Weitere Informationen zur Auswertungsstufe II in Abschnitt 4.6.1.2.

Tabelle 4.6.3.1/1: Versuchsserie I1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver- sagen)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
1,1	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,2	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,3	V	11,49	0,72	3,66
1,4	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,5	Probe für Versuch unbrauchbar			

zulässige Belastung

Einzelnagel
zul P = 0,525 kN

Gesamtverbindung
zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	10 dn
a_{\perp}	5 dn

- *) U: Versagen bei unversetzter Nagelung
 V: Versagen bei versetzter Nagelung
 H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
1,1	gespalten bei versetzt und unversetzt			
1,2	gespalten bei unversetzt			
1,3	*****	0,20	10,91	0,78
1,4	gespalten bei versetzt und unversetzt			
1,5	gespalten bei versetzt und unversetzt			

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.3.1/2: Versuchsserie III Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
1,1	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,2	V	19,57	1,22	5,58
1,3	V/U	13,81	0,863	3,69
1,4	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,5	Probe für Versuch unbrauchbar			

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	19 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	12,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
1,1	gespalten bei versetzt und unversetzt			
1,2	18,71	0,16	15,42	0,30
1,3	13,13	0,33	13,03	0,42
1,4	gespalten bei unversetzt			
1,5	gespalten bei unversetzt			

Tabelle 4.6.3.1/3: Versuchsserie IIII Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
1,1	V	25,63	1,60	12,23
1,2	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,3	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,4	U	13,14	0,82	2,42
1,5	Probe für Versuch unbrauchbar			

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
1,1	17,60	0,22	16,95	0,15
1,2	gespalten bei versetzt			
1,3	gespalten bei unversetzt			
1,4	11,45	0,71	12,87	0,52
1,5	gespalten bei unversetzt			

Tabelle 4.6.3.1/4: Versuchsserie IV1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch IV	Ver- sagen)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
1,1	U	27,08	1,70	8,41
1,2	U	15,18	0,95	18,84
1,3	U	20,82	1,30	19,23
1,4	U	31,24	1,95	17,39
1,5	U	18,51	1,16	5,42
1,6	U	15,49	0,97	4,43
1,7	U	14,76	0,92	3,88

zulässige Belastung

Einzelnagel
zul P = 0,525 kN

Gesamtverbindung
zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	26 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	17,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch IV	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
1,1	17,75	0,28	18,83	0,14
1,2	12,23	0,58	*****	0,17
1,3	15,24	0,32	17,63	0,22
1,4	17,47	0,15	20,41	0,00
1,5	14,95	0,02	18,25	0,15
1,6	12,55	0,59	*****	0,22
1,7	12,81	0,54	14,67	0,40

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.3.1/5: Versuchsserie VIII1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver- sagen (*)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
VII				
1,1	V	17,05	1,07	5,51
1,2	V	14,05	0,88	3,93
1,3	V	20,39	1,27	14,49
1,4	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,5	Probe für Versuch unbrauchbar			

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	19 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	12,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
VII				
1,1	*****	0,00	11,87	0,76
1,2	*****	0,21	11,28	0,73
1,3	18,21	0,07	15,26	0,23
1,4	gespalten bei unversetzt			
1,5	gespalten bei unversetzt			

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.3.1/6: Versuchsserie VIII1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
VIII				
1,1	V	23,05	1,44	12,89
1,2	V	28,49	1,78	11,06
1,3	V	19,34	1,21	6,71
1,4	-V	15,85	0,99	1,90
1,5	V	24,59	1,54	13,08

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
VIII				
1,1	17,29	0,15	13,67	0,39
1,2	17,53	0,01	14,22	0,06
1,3	15,99	0,23	12,03	0,47
1,4	*****	0,17	13,16	0,26
1,5	17,59	0,14	12,75	0,53

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.3.1/7: Versuchsserie IX1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

IX	Versagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
1,1	U	12,16	0,76	2,27
1,2	U	29,59	1,85	12,30
1,3	U	11,38	0,71	2,72
1,4	U	16,51	1,03	6,77
1,5	V	28,00	1,75	11,34

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	26 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	17,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

IX	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
1,1	11,27	0,94	*****	0,17
1,2	13,76	0,23	17,61	0,13
1,3	10,09	0,23	*****	0,65
1,4	13,99	0,00	16,14	0,13
1,5	14,02	0,68	11,60	0,79

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.3.1/8: Versuchsserie XIII1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,2 * 120 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{pmax}

Versuch XIII	Ver- sagen (*)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
1,1	U	8,06	0,50	3,72
1,2	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,3	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,4	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,5	Probe für Versuch unbrauchbar			

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,625 kN
Gesamtverbindung zul P = 10,0 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XIII	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
1,1	6,79	0,00	*****	0,00
1,2	gespalten bei unversetzt			
1,3	gespalten bei unversetzt			
1,4	gespalten bei versetzt und unversetzt			
1,5	gespalten bei versetzt und unversetzt			

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.3.1/9: Versuchsserie XIV1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,2 * 120 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch XIV	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
1,1	U	11,24	0,70	2,66
1,2	U	23,94	1,50	14,52
1,3	U	23,86	1,49	12,06
1,4	U	13,30	0,83	2,20
1,5	U	18,77	1,17	15,54

zulässige Belastung

Einzelnagel
zul P = 0,625 kN

Gesamtverbindung
zul P = 10,0 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	26 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	17,5dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XIV	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
1,1	9,52	1,71	11,20	1,10
1,2	16,40	0,26	20,59	0,23
1,3	17,62	0,23	17,26	0,43
1,4	12,27	0,77	*****	0,57
1,5	14,23	0,54	*****	0,22
	14,01	0,70	16,35	0,51

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.3.1/10: Versuchsserie XV1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,2 * 120 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch XV	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
1,1	V	15,77	0,99	8,26
1,2	U	20,00	1,25	5,70
1,3	U	22,61	1,41	13,30
1,4	U	22,16	1,39	11,24
1,5	U	22,79	1,42	13,18
1,6	U	21,85	1,37	13,81

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,625 kN
Gesamtverbindung zul P = 10,0 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	30 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	20 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch XV	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
1,1	13,54	0,70	13,65	0,57
1,2	17,44	0,23	14,69	0,72
1,3	15,33	0,17	17,32	0,44
1,4	16,25	0,13	15,55	0,64
1,5	13,82	0,10	16,94	0,50
1,6	15,82	0,06	18,18	0,22

Tabelle 4.6.3.1/11: Versuchsserie XVIII1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 4,6 * 146 mm, Anzahl: n = 8, 1-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
XVIII				
1,1	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,2	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,3	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,4	Probe für Versuch unbrauchbar			
1,5	Probe für Versuch unbrauchbar			

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,725 kN
Gesamtverbindung zul P = 11,6 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	27 dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	18 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
1,1	gespalten bei unversetzt und versetzt			
1,2	gespalten bei unversetzt			
1,3	gespalten bei unversetzt			
1,4	gespalten bei unversetzt und versetzt			
1,5	gespalten bei unversetzt			

4.6.3.2 Ergebnisse aus der Auswertungsstufe III
(Zusammenfassung der Ergebnisse aller Serien)

Tabelle 4.6.3.2/1: Ergebnisse für Versuche mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung)

Versuche mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittig)			versetzt			unversetzt			Holzdurchriß außerhalb des Anschlußbereiches (Versagen durch Ast)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nagel	Abstand Fa	Anzahl Versuchskörper	Versagenshäufigkeit	Mittelwert der Max.*) -Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$	Versagenshäufigkeit	Mittelwert der Max.*) -Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$	Versagenshäufigkeit	Mittelwert der Max.-Last
3,8*130 glatt	10,0 d _n	5	4 ³⁾	0,72	1,37	4 ⁴⁾	--	>1,37		
	12,5 d _n	5	3 ¹⁾	1,04	1,98	4 ³⁾	0,86	>1,86		
	15,0 d _n	5	2 ¹⁾	1,60	3,05	3 ²⁾	0,82	>2,31		
	17,5 d _n	7	0	--	>2,43	7	1,28	2,43		
		21	9			18				
3,8*121 gerillt	12,5 d _n	5	3	1,07	2,04	2 ²⁾	--	>2,04		
	15,0 d _n	5	5	1,39	2,65	0	--	>2,65		
	17,5 d _n	5	1	1,75	3,33	4	1,09	>2,32		
		15	9			6				
4,2*120 glatt	15,0 d _n	5	2 ²⁾	--	>0,96	5 ⁴⁾	0,50	0,96		
	17,5 d _n	5	0	--	>1,82	5	1,14	1,82		
	20,0 d _n	6	1	0,99	>2,09	5	1,37	2,19		
		16	3			15				
4,6*146 glatt	18,0 d _n	5	2 ²⁾	--	--	5 ⁵⁾	--	--		
		5	2	--	--	5	--	--		

*) Maximallast pro Nagel-Scherfläche

- 1) 1 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 2) 2 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 3) 3 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 4) 4 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 5) 5 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.

4.6.4 Zusatzversuche: Zugstoßprobekörper mit innenliegender
Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindungen)

Anmerkung: Es wurden 6 Serien Zusatzversuche aus folgendem Gründen gefahren:

- a) Einfluß der Holzfeuchtigkeit zum Einschlag- und Prüfzeitpunkt
- b) Vergleich von Maschinen- und Handnagelung
- c) Einfluß einer Langzeitbeanspruchung auf den Kurz-Zeit Bruchversuch

4.6.4.1 Ergebnisse aus der Auswertungsstufe II
(Ergebnisse aller Versuche einer Serie)

Es folgen die Tabellen für die Versuchserien

Z1 Einschlagfeuchte u = 26 % Prüffeuchte u = 10 %

Z2 Einschlagfeuchte u = 26 % Prüffeuchte u = 10 %

Z3 Einschlagfeuchte u = 20 % Prüffeuchte u = 20 %

Z4 Einschlagfeuchte u = 20 % Prüffeuchte u = 20 %

Z5 Handnagelung

Z6 Langzeitversuch mit 1,5 zul N über 3500 Stunden
(\approx 145 Tage), dann Kurz-Zeit Bruchversuch, weitere
Angaben zum Langzeitversuch in Abschnitt 5

Weitere Informationen zur Auswertungsstufe II in Abschnitt 4.6.1.2.

Tabelle 4.6.4.1/1: Versuchsserie z1 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch z1	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
1,1	V	12,73	0,80	2,62
1,2	V	18,01	1,13	7,98
1,3	V	18,75	1,17	10,54
1,4	V	17,16	1,07	3,71
1,5	V	18,94	1,18	9,52
1,6	V	16,25	1,02	10,96

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch z1	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
1,1	12,18	0,59	10,52	0,88
1,2	14,99	0,00	14,99	0,63
1,3	14,04	0,22	11,93	0,77
1,4	14,21	0,35	13,31	0,53
1,5	14,05	0,01	12,35	0,59
1,6	13,92	0,87	13,90	0,64

Nagel 3,8*121 mm gerillt
Prüffeuchte 10 %
Einschlagfeuchte 26 %

Tabelle 4.6.4.1/2: Versuchsserie z2 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen (*)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
z2				
2,1	U	21,77	1,36	9,02
2,2	V	15,25	0,95	11,10
2,3	V/U	20,44	1,28	8,37
2,4	U	14,68	0,92	5,90
2,5	V	18,84	1,18	9,48

zulässige Belastung

Einzelnagel
zul P = 0,525 kN

Gesamtverbindung
zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
z2				
2,1	14,44	0,29	14,09	0,50
2,2	14,39	0,26	10,10	0,85
2,3	14,06	0,33	13,57	0,52
2,4	9,63	1,08	12,07	0,69
2,5	14,71	0,17	13,86	0,24

Nagel 3,8*130 mm glatt
Einschlagfeuchte 26 %
Prüffeuchte 10 %

Tabelle 4.6.4.1/3: Versuchsserie z3 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 121 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, gerillt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver- sagen)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax} [mm]
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	
z3				
3,1	V	11,61	0,73	4,94
3,2	V	12,64	0,79	6,12
3,3	U	13,51	0,84	8,83
3,4	V	11,77	0,74	15,68
3,5	V	14,60	0,91	7,03

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
z3				
3,1	9,65	0,77	9,36	1,14
3,2	10,38	0,54	8,95	1,30
3,3	10,41	0,29	10,88	0,60
3,4	8,94	1,30	6,85	3,26
3,5	11,58	0,45	10,92	0,55

Nagel 3,8*121 mm gerillt
Einschlagfeuchte 20 %
Prüffeuchte 20 %

Tabelle 4.6.4.1/4: Versuchsserie Z4 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver-sagen)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel-scherfläche	[mm]
Z4				
4,1	V	12,95	0,81	7,55
4,2	U	14,40	0,90	10,26
4,3	V	13,05	0,82	3,39
4,4	U	10,17	0,64	16,38
4,5	V	10,54	0,66	2,86

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w=1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$	$P_{1,50}$	$w_{zul P}$
Z4	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
4,1	11,35	0,48	10,52	0,90
4,2	11,25	0,32	10,80	0,67
4,3	12,33	0,16	11,40	0,60
4,4	keine Daten vorhanden			
4,5	*****	0,01	9,82	0,87

Nagel 3,8*130 mm glatt
Einschlagfeuchte 20 %
Prüffeuchte 20 %

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

Tabelle 4.6.4.1/5: Versuchsserie z5 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax}
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	[mm]
z5				
5,1	V/U	20,08	1,26	8,40
5,2	U	22,68	1,42	3,80
5,3	U	18,31	1,14	2,61
5,4	U	29,79	1,86	9,56
5,5	U	21,17	1,32	7,76

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
z5				
5,1	13,95	0,52	14,61	0,27
5,2	18,35	0,16	19,02	0,01
5,3	16,81	0,28	17,70	0,13
5,4	16,90	0,18	17,32	0,10
5,5	17,15	0,19	17,21	0,01

Nagel 3,8*130 mm glatt
Einschlagfeuchte 10 %
Prüffeuchte 10 %
Handnagelung

Tabelle 4.6.4.1/6: Versuchsserie Z6 Kräfte P und Verschiebungen w der Gesamtverbindung

Nagel: 3,8 * 130 mm, Anzahl: n = 8, 2-schnittig, glatt

Bruchwerte P_{max} und zugehörige Verschiebung w_{Pmax}

Versuch	Ver- sagen *)	Bruchwerte		
		P_{max} in kN		w_{Pmax} [mm]
		gesamt	pro Nagel- scherfläche	
Z6				
6,1	V	25,52	1,60	9,15
6,2	U	15,24	0,95	1,87
6,3	V/U	16,35	1,02	1,25

zulässige Belastung

Einzelnagel zul P = 0,525 kN
Gesamtverbindung zul P = 8,40 kN

Nagelabstände

zum Rand

$a_{ }$	22,5dn
a_{\perp}	5 dn

untereinander

$a_{ }$	15 dn
a_{\perp}	5 dn

*) U: Versagen bei unversetzter Nagelung

V: Versagen bei versetzter Nagelung

H: Holz-Versagen: Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

Kräfte P bei $w = 1,5$ mm und Verschiebung w bei zul P

Versuch	unversetzt		versetzt	
	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]	$P_{1,50}$ [kN]	$w_{zul P}$ [mm]
Z6				
6,1	17,81	0,34	16,41	0,81
6,2	12,71	1,24	*****	0,56
6,3	15,89	0,43	16,08	0,05

Nagel 3,8*130 mm glatt
Langzeitversuch mit
1,5 zul N, dann Kurz-
zeit Bruchversuch

Langzeitversuch über 3500
Stunden (≈ 145 Tage),
vergl. Abschnitt 5

***** : Wert der Verschiebung wurde nicht erreicht

4.6.4.2 Ergebnisse aus der Auswertungsstufe III: Zusatzversuche
(Zusammenfassung der Ergebnisse aller Serien)

Tabelle 4.6.4.2/1: Ergebnisse für Zusatzversuche mit außenliegender Mindestholzdicke (zweischrittige Verbindung)

Zusatzversuche mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischrittig)			versetzt			unversetzt		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Serie	Abstand Fa	Anzahl Versuchs- körper	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.- -Last Nu	$\frac{-\text{Nu}}{\text{zulN}}$	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.- -Last Nu	$\frac{-\text{Nu}}{\text{zulN}}$
Z1 Nagel 3,8*121 mm gerillt Einschlagfeuchte 26 % Prüffeuchte 10 %	15,0 dn	6	6	1,06	2,02	0	-	>2,02
Z2 Nagel 3,8*130 mm glatt Einschlagfeuchte 26 % Prüffeuchte 10 %	15,0 dn	5	3	1,14	>2,22	3	1,19	2,26
Z3 Nagel 3,8*121 mm gerillt Einschlagfeuchte 20 % Prüffeuchte 20 %	15,0 dn	5	4	0,79	>1,83*	1	0,84	1,92*
Z4 Nagel 3,8*130 mm glatt Einschlagfeuchte 20 % Prüffeuchte 20 %	15,0 dn	5	3	0,76	1,74*	2	0,77	1,76*
Z5 Nagel 3,8*130 mm glatt Einschlagfeuchte 10 % Prüffeuchte 10 % Handnagelung	15,0 dn	5	1	1,26	>2,68	5	1,43	2,73
Z6** Nagel 3,8*130 mm glatt Langzeitversuch mit 1,5 zul N, dann Kurz- Zeit Bruchversuch	15,0 dn	3	2	1,31	2,50	2	0,99	>2,19

* Abminderung von zul N durch Feuchteinfluß um 1/6

** vgl. auch Abschnitt 5.4.3

4.7 Vergleichende Bewertung ("versetzt"/"unversetzt") der Hauptversuche

4.7.1 Allgemeines

Die vergleichende Bewertung erfolgt getrennt für Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischrittige Verbindung, Abschnitt 4.7.3) und für Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung, Abschnitt 4.7.4). Um Abschnitt 4.7 geschlossen beurteilen zu können, wurden in Abschn. 4.7.2 nochmals die Ergebnisse aller Serien in den Tabellen 4.7.2/1, 4.7.2/2, 4.7.2/3 dargestellt, wie bereits in den Abschnitten 4.6.2.2, 4.6.3.2 und 4.6.4.2.

Für die vergleichende Bewertung werden 4 Kriterien benutzt:

Kriterium 1: **Spaltbarkeit**

Kriterium 2: **C-Modul bzw. Verschiebung**

Kriterium 3: **Quotient \bar{N}_u /zul N ("Sicherheitsfaktor")**

Kriterium 4: **Absolute Versagenshäufigkeit**

Wie bereits beschrieben (s. Abschn. 4.4 und 4.5), ließ jeder Zugprobekörper die gleichzeitige Prüfung von versetzter und unversetzter Verbindung zu, da er auf der einen Seite versetzt und auf der anderen Seite unversetzt genagelt wurde und aus einem einzigen am Stoßpunkt zerschnitten Brett hergestellt war. Damit lagen die gleichen Versuchsvoraussetzungen (z.B. gleiche Temperatur, Holzfeuchte, Holzstruktur, selbst gleicher Vibrationseinfluß des Prüfzylinders) für "versetzt" und "unversetzt" vor.

Der große Vorteil der hier verwendeten Zugstoßprobekörper liegt in der Möglichkeit des d i r e k t e n Vergleiches aller vorgenannten Kriterien innerhalb e i n e s Versuches.

Der einzige Nachteil bei der gleichzeitigen Prüfung von "versetzt" und "unversetzt" an einem Probekörper lag darin, daß sich nicht für beide Verbindungen die Bruchlast bestimmen ließ. Bei den Zugversuchen war es nach dem Versagen einer Seite ("versetzt" oder "unversetzt") nicht möglich, den anderen Versuchskörperabschnitt für sich weiter zu prüfen, da die Probekörper meist so zerstört waren, daß sie nicht mehr eingespannt werden konnten (keine hinreichende Einspannlänge). Es gilt jedoch, daß die Bruchlast desjenigen Versuchskörperabschnittes ("versetzt" oder "unversetzt"), der nicht zuerst versagt hat, mindestens so groß ist wie die Bruchlast desjenigen, der zuerst versagt hat.

4.7.2 Basistabellen (Tabellen 4.7.2/1, 4.7.2/2, 4.7.2/3) mit

Erläuterungen für die vergleichende Bewertung

Tabelle 4.7.2/1: Ergebnisse für Versuche mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischrittige Verbindung)

Versuche mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischrittig)			versetzt			unversetzt			Holzdurchriß außerhalb des Anschlußbereiches (Versagen durch Ast)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nagel	Abstand Fa	Anzahl Versuchs körper	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max. *) -Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max. *) -Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.-Last
3,8*130 glatt	10,0 d _n	11	5	1,16	>2,25	3	1,21	2,31	3	13,16
	12,5 d _n	9	3	1,32	2,52	5	1,23	>2,41	1	14,02
	15,0 d _n	7	3	1,38	2,63	3	1,38	2,63	1	15,01
	17,5 d _n	6	3	1,68	3,21	3	1,60	>3,13	1	15,24
		33	14			14			6	
3,8*121 gerillt	10,0 d _n	6	3	1,39	2,64	3	1,01	>2,28		
	12,5 d _n	7	4	1,48	2,81	3	1,15	>2,54		
	15,0 d _n	8	4	1,71	3,25	4	1,43	>2,99		
		21	11			10				
4,2*120 glatt	10,0 d _n	6	0	--	>1,91	5	1,00	1,91	1	19,75
	12,5 d _n	7	4	1,13	>1,85	2 ¹⁾	1,28	2,05	1	10,64
	15,0 d _n	6	3 ¹⁾	1,15	>2,22	4 ¹⁾	1,55	2,48		
	17,5 d _n	5	5	1,75	2,81	1	1,63	>2,77		
		24	12			12			2	
4,6*146 glatt	15,0 d _n	7	2	1,03	>1,47	5	1,08	1,49		
	18,0 d _n	5	1	1,23	1,70	4	1,18	>1,64		
	21,0 d _n	6	2	1,35	1,86	4	1,29	>1,80		
	24,0 d _n	5	2	1,39	>1,96	3	1,44	1,98		
		23	7			16				

*) Maximallast pro Nagel-Scherfläche

1) 1 Probekörper in der Nagelrißlinie beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit Versuch getestet.

Versuche mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittig)			versetzt			unversetzt			Holzdurchriß außerhalb des Anschlußbereiches (Versagen durch Ast)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nagel	Abstand Fa	Anzahl Versuchskörper	Versagenshäufigkeit	Mittelwert der Max.*) -Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$	Versagenshäufigkeit	Mittelwert der Max.*) -Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$	Versagenshäufigkeit	Mittelwert der Max.-Last
3,8*130 glatt	10,0 d _n	5	4 ³⁾	0,72	1,37	4 ⁴⁾	--	>1,37		
	12,5 d _n	5	3 ¹⁾	1,04	1,98	4 ³⁾	0,86	>1,86		
	15,0 d _n	5	2 ¹⁾	1,60	3,05	3 ²⁾	0,82	>2,31		
	17,5 d _n	7	0	--	>2,43	7	1,28	2,43		
		21	9			18				
3,8*121 gerillt	12,5 d _n	5	3	1,07	2,04	2 ²⁾	--	>2,04		
	15,0 d _n	5	5	1,39	2,65	0	--	>2,65		
	17,5 d _n	5	1	1,75	3,33	4	1,09	>2,32		
		15	9			6				
4,2*120 glatt	15,0 d _n	5	2 ²⁾	--	>0,96	5 ⁴⁾	0,50	0,96		
	17,5 d _n	5	0	--	>1,82	5	1,14	1,82		
	20,0 d _n	6	1	0,99	>2,09	5	1,37	2,19		
		16	3			15				
4,6*146 glatt	18,0 d _n	5	2 ²⁾	--	--	5 ⁵⁾	--	--		
		5	2	--	--	5	--	--		

*) Maximallast pro Nagel-Scherfläche

- 1) 1 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 2) 2 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 3) 3 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 4) 4 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.
- 5) 5 Probekörper beim Einschlagen gespalten. Nicht im Kurz-Zeit-Versuch getestet.

Erläuterung zu den Tabellen 4.7.2/1 und 4.7.2/2

- Spalte 1 : Nageldurchmesser, Nagellänge, Nageltyp
- Spalte 2 : Nagelabstand parallel zur Faser untereinander
- Spalte 3 : Anzahl der Versuchskörper, die pro Serie geprüft wurden.
- Spalte 4 : Absolute Versagenshäufigkeit bei versetzter Nagelung.
- Spalte 5 : Mittelwert der Maximallast \bar{N}_u pro Nagelscherfläche für die versetzte Nagelung.
- Spalte 6 : Quotient $\bar{N}_u/zulN$. Zur sprachlichen Abkürzung der Beschreibung wird der Quotient vereinfacht als "Sicherheitsfaktor" bezeichnet.
- Spalte 7 : Absolute Versagenshäufigkeit bei unversetzter Nagelung.
- Spalte 8 : Mittelwert der Maximallast \bar{N}_u pro Nagelscherfläche für die versetzte Nagelung.
- Spalte 9 : Quotient $\bar{N}_u/zulN$. "Sicherheitsfaktor" (s.o.)
- Spalte 10: Absolute Versagenshäufigkeit bei Holzversagen. Mit Holzversagen ist hier ein Holzdurchriß außerhalb des untersuchten Anschlußbereiches gemeint, infolge einer Astschwächung.
- Spalte 11: Mittelwert der Maximallast bei Holzversagen.

Ergänzende Erläuterungen zu Spalte 6 und 9 für das Symbol ">":

Bei der Berechnung des "Sicherheitsfaktors" sind einige Werte in Spalte 6 bzw. 9 mit dem ">"-Zeichen versehen. Dieses bedeutet, daß für die betreffende Versuchsserie mindestens dieser "Sicherheitsfaktor" gilt. Hierbei wurde anteilmäßig der "Sicherheitsfaktor" der anderen versagenden (versetzten bzw. unversetzten) Nagelung mitberücksichtigt. Dieses Prinzip wurde nur bei der Berechnung des kleineren der beiden "Sicherheitsfaktoren" bei "versetzt" und "unversetzt" vorgesehen. Das Prinzip läßt sich einfacher an einem Beispiel erklären:

Beispiel: Tabelle 4.7.2/1, Nagel 3,8*130 mm, glatt, Abstand 10 d_n
 versetzte Nagelung: absolute Versagenshäufigkeit 5

- Würde man nur die Versager bei versetzter Nagelung zugrunde legen, so ergäbe sich Mittelwert der Max. Last $\bar{N}_u = 1,16$ kN

$$\text{"Sicherheitsfaktor"} \frac{\bar{N}_u}{\text{zul } N} = \frac{1,16}{0,525} = 2,21$$

- Hier wurde jedoch folgendermaßen ausgewertet:
 Da bei der unversetzten Nagelung 3 Probekörper zuerst versagt haben, kann für die versetzte Nagelung mindestens der gleiche "Sicherheitsfaktor" wie für die unversetzte Nagelung angesetzt werden.
 Damit ergibt sich:

$$\text{"Sicherheitsfaktor"} \frac{5 \cdot 2,21 + 3 \cdot 2,31}{5 + 3} = 2,25$$

Da für die vorgenannten 3 Probekörper mindestens 2,31 ansetzbar waren, d.h. da >2,31 gilt, wird auch geschrieben

>2,25.

Ergänzende Erläuterung zu den Spalten 3, 4 und 7

Bei einigen Versuchen ergibt die Summe der absoluten Versagenshäufigkeit aus versetzter (Spalte 4) und unversetzter (Spalte 7) Nagelung einen größeren Wert als die Gesamtzahl aller Versuchskörper (Spalte 3). Dies liegt darin begründet, daß einige Versuchskörper gleichzeitig bei versetzter und unversetzter Nagelung versagten und damit doppelt gezählt wurden.

Beispiel: Tabelle 4.7.2/1, Nagel 4,2*120 mm, glatt, Abstand 17,5 d_n

absolute Versagenshäufigkeit "versetzt"	(Spalte 4)	5
absolute Versagenshäufigkeit "unversetzt"	(Spalte 7)	1
	Summe	6
Gesamtanzahl der Versuchskörper	(Spalte 3)	5

6 > 5, d.h. 1 Versuch wurde doppelt gezählt.

Zusatzversuche mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittig)			versetzt			unversetzt		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Serie	Abstand Fa	Anzahl Versuchskörper	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.- Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$	Versagens- häufigkeit	Mittelwert der Max.- Last Nu	$\frac{-Nu}{zulN}$
Z1 Nagel 3,8*121 mm gerillt Einschlagfeuchte 26 % Prüffeuchte 10 %	15,0 dn	6	6	1,06	2,02	0	-	>2,02
Z2 Nagel 3,8*130 mm glatt Einschlagfeuchte 26 % Prüffeuchte 10 %	15,0 dn	5	3	1,14	>2,22	3	1,19	2,26
Z3 Nagel 3,8*121 mm gerillt Einschlagfeuchte 20 % Prüffeuchte 20 %	15,0 dn	5	4	0,79	>1,83*	1	0,84	1,92*
Z4 Nagel 3,8*130 mm glatt Einschlagfeuchte 20 % Prüffeuchte 20 %	15,0 dn	5	3	0,76	1,74*	2	0,77	1,76*
Z5 Nagel 3,8*130 mm glatt Einschlagfeuchte 10 % Prüffeuchte 10 % Handnagelung	15,0 dn	5	1	1,26	>2,68	5	1,43	2,73
Z6** Nagel 3,8*130 mm glatt Langzeitversuch mit 1,5 zul N, dann Kurz- Zeit Bruchversuch	15,0 dn	3	2	1,31	2,50	2	0,99	>2,19

* Abminderung von zul N durch Feuchteinfluß um 1/6

** vgl. auch Abschnitt 5.4.3

Tabelle 4.7.2/3: Ergebnisse für Zusatzversuche mit außenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)

In Tabelle 4.7.2/3 sind alle durchgeführten zusätzlichen Tastversuche aufgeführt. Alle Versuche wurden zweiseitig und mit einem Nagelabstand von $15 d_n$ parallel zur Faser untereinander durchgeführt. Diese zusätzlichen Tastversuche sollten klären:

- Nageltragfähigkeit (gerillte und glatte Nägel) bei hoher Einschlagfeuchte (26 %) und niedriger Prüffeuchte (10 %).
Serien Z1 und Z2.
- Nageltragfähigkeit (gerillte und glatte Nägel) bei höherer Feuchte (Einschlag- und Prüffeuchte 20 %).
Serien Z3 und Z4.
- Nageltragfähigkeitsvergleich zwischen (bisher untersuchten) Maschinennagelung und Handnagelung.
Serie Z5
- Nageltragfähigkeit im Kurz-Zeit Bruchversuch nach vorangegangener Langzeitbelastung mit $1,5^*$ zur N
Serie Z6

Tabelle 4.7.2/3 ist nach gleichem Schema wie Tabelle 4.7.2/1 und 4.7.2/2 aufgebaut, entsprechende Erläuterungen siehe Abschnitt 4.7.2.1.

4.7.3 Vergleich der Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweiseitige Verbindung)

4.7.3.1 Spaltbarkeit

Die Spaltbarkeit bei den Zugstoßprobekörpern mit innenliegender Mindestholzdicke (zweiseitige Verbindung) konnte nicht direkt visuell auf ganzer Anschlußlänge verfolgt werden, da das zu untersuchende Brett als Mittelholz (Mindestholzdicke) zwischen den beiden (wesentlich dickeren) Seitenhölzern lag. Spaltrisse im Mittelholz außerhalb der Seitenhölzer konnten bei keinem der Versuchskörper festgestellt werden. Man kann aber davon ausgehen, daß selbst im Anschlußbereich keine oder kaum Risse auftraten (gutes Tragverhalten). Dies wurde auch durch die zusätzlichen Tastversuche bestätigt. Hier zeigte sich ein eindeutig geringeres Spaltverhalten immer dann, wenn der Nagel zuerst durch ein "dickes" und dann durch ein "dünnere" (Mindestholzdicke) Brett eingetrieben wurde (entspricht der Nagelung bei den zweiseitigen Versuchen).

Der umgekehrte Fall, also zuerst ein "dünnere" und dann ein "dickere" Brett, zeigte bei einem Feuchtigkeitsbereich von $u = 10 \%$ eine viel größere Spaltneigung (entspricht der Nagelung bei den einschnittigen Versuchen).

4.7.3.2 Verschiebungsmodul C bzw. Verschiebung

4.7.3.2.1 Nagel 3,8*130 mm, glatt

■ VERSCHIEBUNGSMODUL C

Abstand	Mittelwert C-Modul in N/mm	
	versetzt	unversetzt
10.0 d_n	1770	1331
12.5 d_n	1991	2140
15.0 d_n	1180	1356
17.5 d_n	1268	1181
Summe i.M.	1552	1502

Tabelle 4.7.3.2.1/1 Verschiebungsmodul C: Mittelwerte von C bei verschiedenen Nagelabständen und Summe im Mittel aus allen Versuchen unabhängig vom Nagelabstand

Verschiebungsmodul C nach DIN 1052 $C_{DIN} = 1377 \text{ N/mm}$

Allgemeine Aussagen zu Tabelle 4.7.3.2.1/1:

- Die Schwankungsbreite von C ist relativ groß
- Der Verschiebungsmodul C ist praktisch unabhängig vom Nagelabstand
- Die Summe im Mittel aus allen Versuchen liegt mit $C = 1552 \text{ N/mm}$ (versetzt) und $C = 1502 \text{ N/mm}$ (unversetzt) etwas oberhalb von $C_{DIN} = 1377 \text{ N/mm}$ (DIN 1052/T2, Tab. 13)

Vergleichende Bewertung: Betrachtung der Summen i.M.

1552 N/mm \leftrightarrow 1502 N/mm
 "versetzt" "unversetzt"

$$\text{Abweichung} = \frac{(1552 - 1502)}{1502} * 100 = 3,3 \%$$

Im vorliegenden Fall ist "versetzt" 3,3 % steifer als "unversetzt"

■ VERSCHIEBUNG: Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm

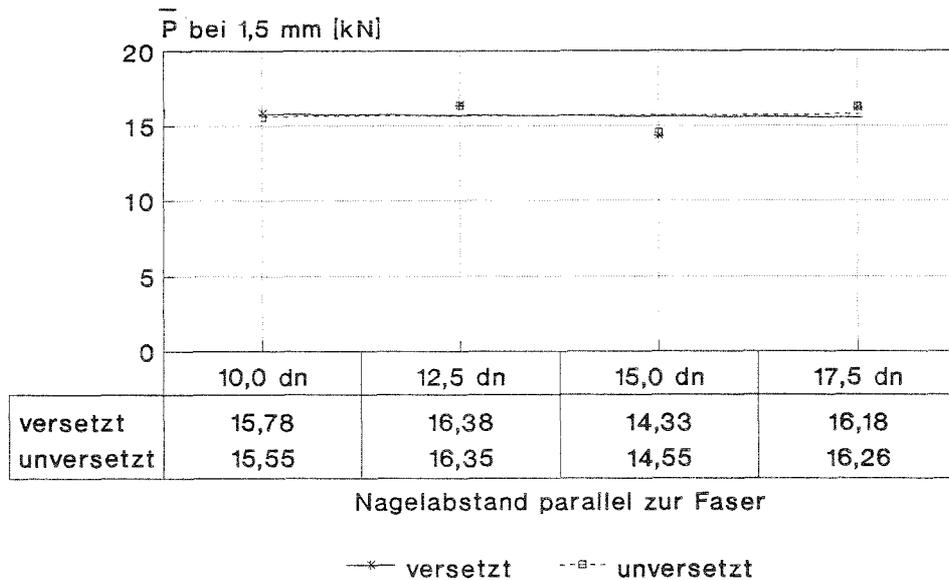


Bild 4.7.3.2.1/1: Vergleich der Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 3,8*130 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

■ VERSCHIEBUNG: Weg \bar{w} bei zul P = 8,40 kN

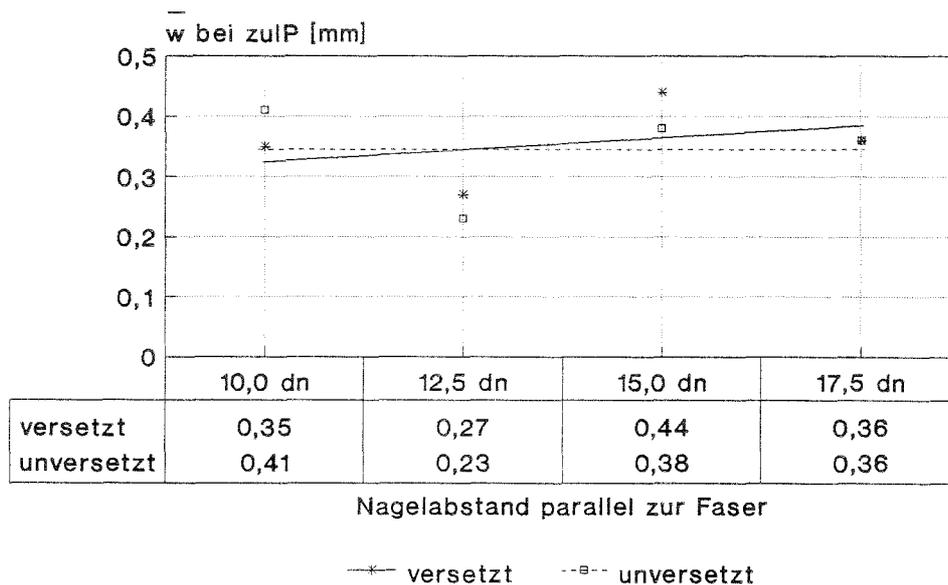


Bild 4.7.3.2.1/2: Mittelwert der Verschiebung \bar{w} bei zul P = 8,40 kN für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 3,8*130 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

4.7.3.2.2 Nagel 4,2*120 mm, glatt

■ VERSCHIEBUNGSMODUL C

Abstand	Mittelwert C-Modul in N/mm	
	versetzt	unversetzt
10.0 d _n	2201	2362
12.5 d _n	2353	2882
15.0 d _n	3218	3161
17.5 d _n	1318	2443
Summe i.M.	2273	2712

Tabelle 4.7.3.2.2/1 Verschiebungsmodul C: Mittelwerte von C bei verschiedenen Nagelabständen und Summe im Mittel aus allen Versuchen unabhängig vom Nagelabstand

Verschiebungsmodul C nach DIN 1052 $C_{DIN} = 1479$ N/mm

Allgemeine Aussagen zu Tabelle 4.7.3.2.2/1:

- Die Schwankungsbreite von C ist relativ groß
- Der Verschiebungsmodul C ist praktisch unabhängig vom Nagelabstand
- Die Summe im Mittel aus allen Versuchen liegt mit $C = 2273$ N/mm (versetzt) und $C = 2712$ N/mm (unversetzt) oberhalb von $C_{DIN} = 1479$ N/mm (DIN 1052/T2, Tab. 13)

Vergleichende Bewertung: Betrachtung der Summen i.M.

2273 N/mm <-> 2712 N/mm
 "versetzt" "unversetzt"

$$\text{Abweichung} = \frac{(2712 - 2273)}{2273} * 100 = 19,3 \%$$

Im vorliegenden Fall ist "unversetzt" 19,3 % steifer als versetzt.

■ VERSCHIEBUNG: Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm

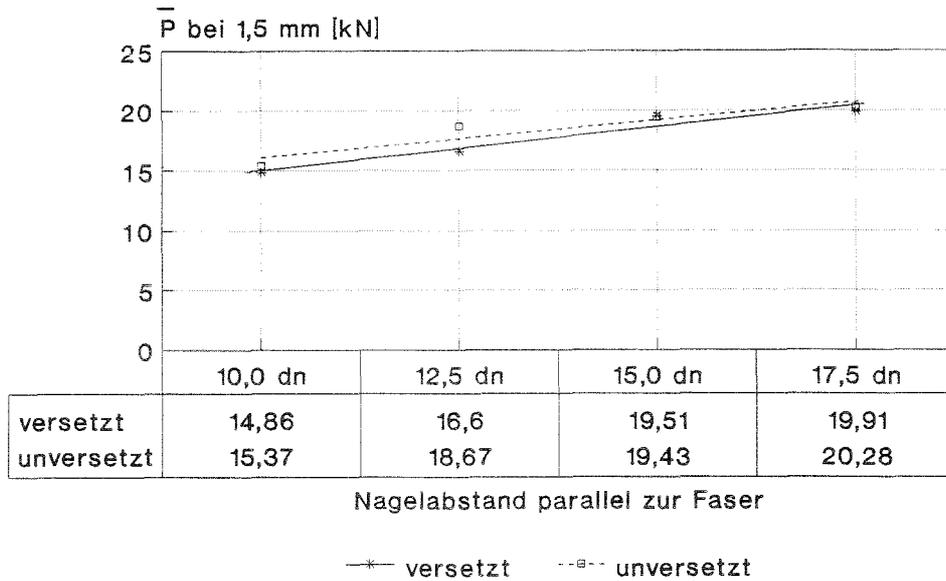


Bild 4.7.3.2.2/1: Vergleich der Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 4,2*120 mm; zweiseitig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

■ VERSCHIEBUNG: Weg \bar{w} bei zul $P = 10,00$ kN

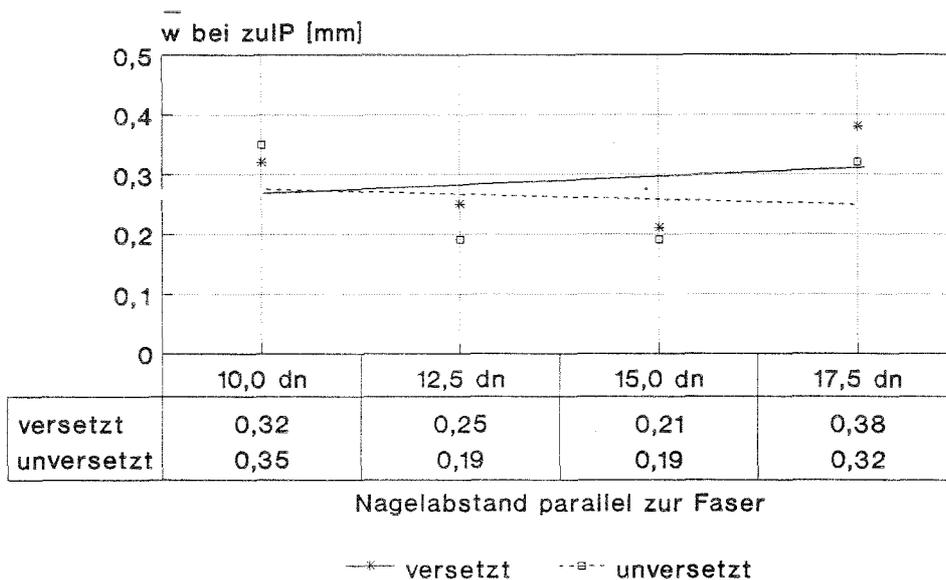


Bild 4.7.3.2.2/2: Mittelwert der Verschiebung \bar{w} bei zul $P = 10,00$ kN für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 4,2*120 mm; zweiseitig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

4.7.3.2.3 Nagel 3,8*121 mm, gerillt

■ VERSCHIEBUNGSMODUL C

Abstand	Mittelwert C-Modul in N/mm	
	versetzt	unversetzt
10.0 d _n	1835	1894
12.5 d _n	1762	2034
15.0 d _n	1658	1394
Summe i.M.	1752	1774

Tabelle 4.7.3.2.3/1 Verschiebungsmodul C: Mittelwerte von C bei verschiedenen Nagelabständen und Summe im Mittel aus allen Versuchen unabhängig vom Nagelabstand

Verschiebungsmodul C nach DIN 1052 $C_{DIN} = 1377 \text{ N/mm}$

Allgemeine Aussagen zu Tabelle 4.7.3.2.3/1:

- Die Schwankungsbreite von C ist relativ groß
- Der Verschiebungsmodul C ist praktisch unabhängig vom Nagelabstand
- Die Summe im Mittel aus allen Versuchen liegt mit $C = 1752 \text{ N/mm}$ (versetzt) und $C = 1774 \text{ N/mm}$ (unversetzt) oberhalb von $C_{DIN} = 1377 \text{ N/mm}$ (DIN 1052/T2, Tab. 13)

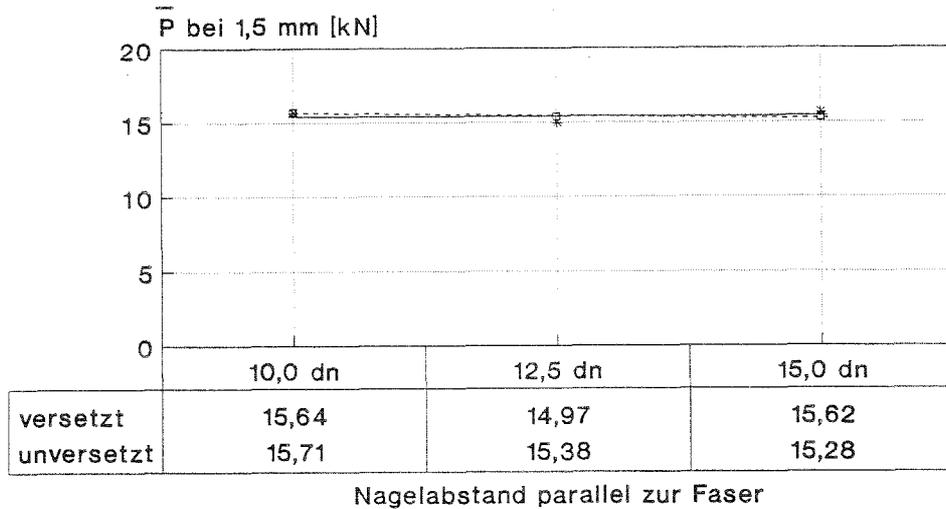
Vergleichende Bewertung: Betrachtung der Summen i.M.

1752 N/mm <-> 1774 N/mm
 "versetzt" "unversetzt"

$$\text{Abweichung} = \frac{(1774 - 1752)}{1752} * 100 = 1,3 \%$$

Im vorliegenden Fall ist "unversetzt" 1,3 % steifer als versetzt.

■ VERSCHIEBUNG: Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm



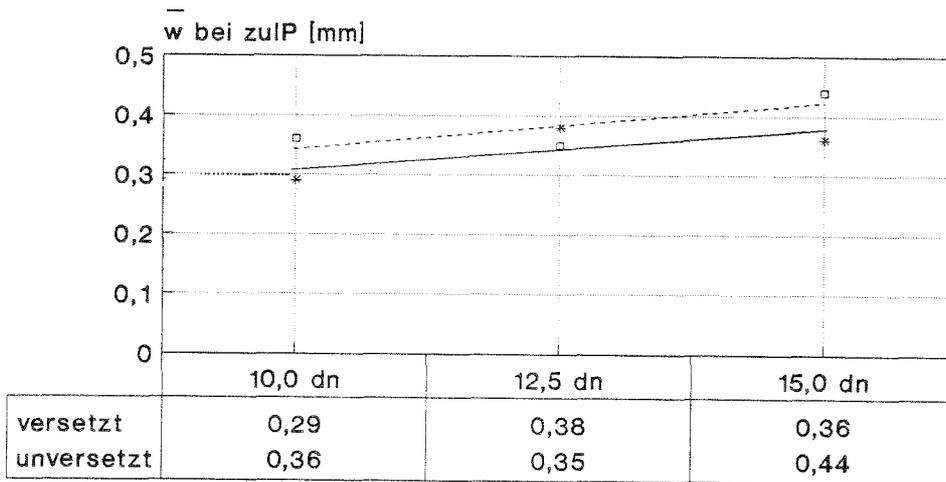
Nagelabstand parallel zur Faser

—*— versetzt -□- unversetzt

Bild 4.7.3.2.3/1: Vergleich der Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 3,8*121 mm; zweischnittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

■ VERSCHIEBUNG: Weg \bar{w} bei zul $P = 8,40$ kN



Nagelabstand parallel zur Faser

—*— versetzt -□- unversetzt

Bild 4.7.3.2.3/2: Mittelwert der Verschiebung \bar{w} bei zul $P = 8,40$ kN für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 3,8*121 mm; zweischnittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: geringfügiger Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

4.7.3.2.4 Nagel 4,6*146 mm, glatt

■ VERSCHIEBUNGSMODUL C

Abstand	Mittelwert C-Modul in N/mm	
	versetzt	unversetzt
15.0 d _n	3085	2155
18.0 d _n	2159	1634
21.0 d _n	2325	2265
24.0 d _n	2491	2863
Summe i.M.	2515	2229

Tabelle 4.7.3.2.4/1 Verschiebungsmodul C: Mittelwerte von C bei verschiedenen Nagelabständen und Summe im Mittel aus allen Versuchen unabhängig vom Nagelabstand

Verschiebungsmodul C nach DIN 1052 $C_{DIN} = 1573$ N/mm

Allgemeine Aussagen zu Tabelle 4.7.3.2.4/1:

- Die Schwankungsbreite von C ist relativ groß
- Der Verschiebungsmodul C ist praktisch unabhängig vom Nagelabstand
- Die Summe im Mittel aus allen Versuchen liegt mit $C = 2515$ N/mm (versetzt) und $C = 2229$ N/mm (unversetzt) oberhalb von $C_{DIN} = 1573$ N/mm (DIN 1052, T2, Tab. 13)

Vergleichende Bewertung: Betrachtung der Summen i.M.

2515 N/mm <-> 2229 N/mm
 "versetzt" "unversetzt"

$$\text{Abweichung} = \frac{(2515 - 2229)}{2229} * 100 = 12,8 \%$$

Im vorliegenden Fall ist "versetzt" 12,8 % steifer als "unversetzt".

■ VERSCHIEBUNG: Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm

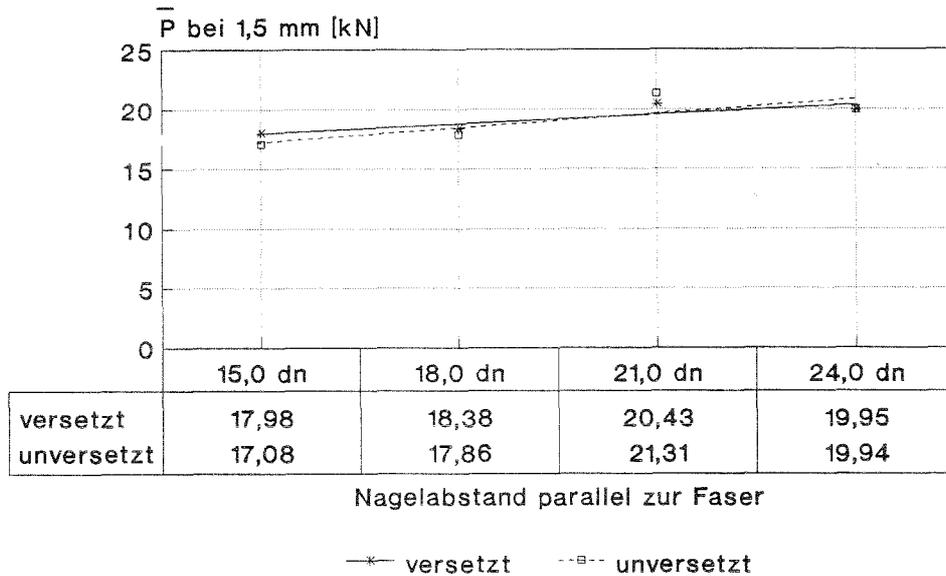


Bild 4.7.3.2.4/1: Vergleich der Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5$ mm für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 4,6*146 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

■ VERSCHIEBUNG: Weg \bar{w} bei $zul\ P = 11,60$ kN

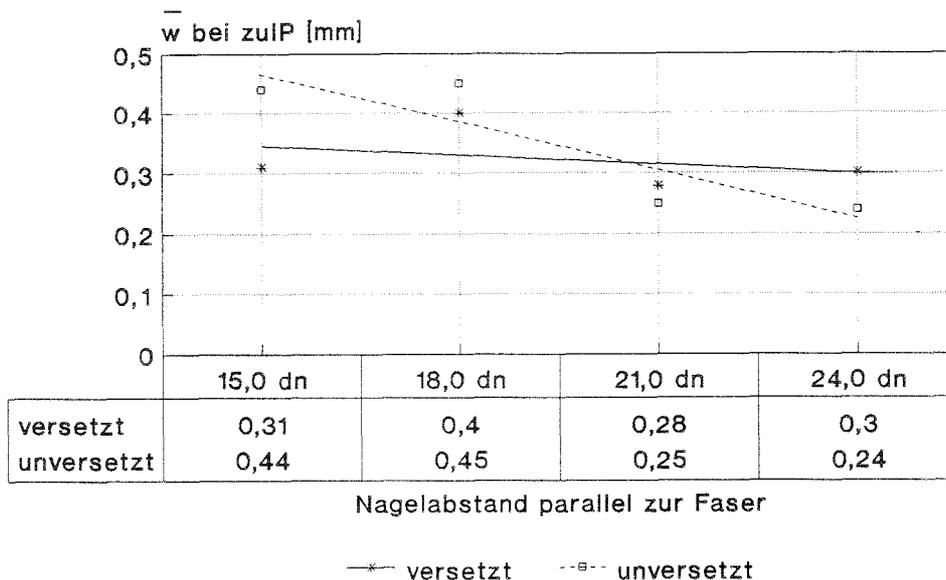


Bild 4.7.3.2.4/2: Mittelwert der Verschiebung \bar{w} bei $zul\ P = 11,60$ kN für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 4,6*146 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Im Mittel ist der Unterschied gering. Bei Nagelabständen von 15 d_n und 24 d_n größere Unterschiede.

4.7.3.3 Quotient $\bar{N}_u/zul\ N$ ("Sicherheitsfaktor")

4.7.3.3.1 Nagel 3,8*130, glatt

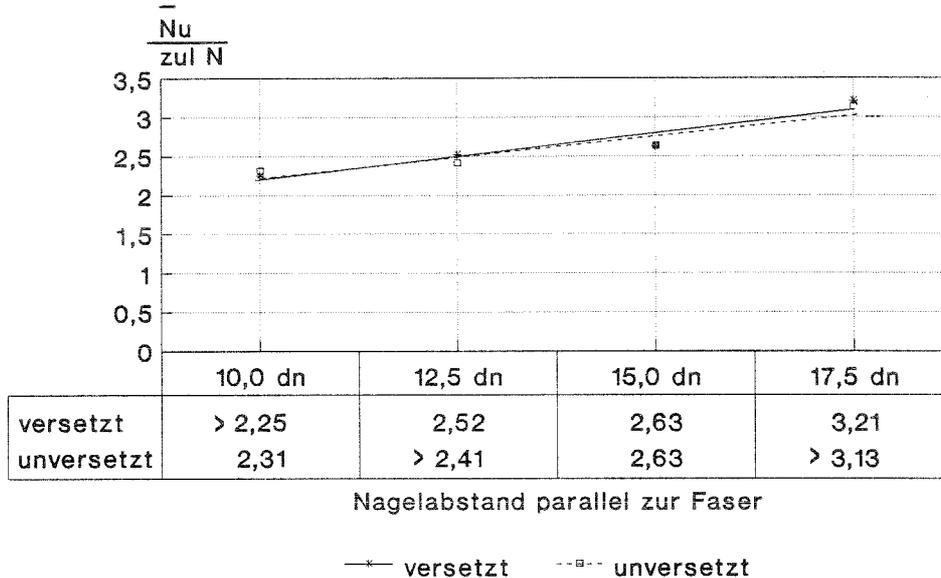


Bild 4.7.3.3.1/1: Quotient $\bar{N}_u/zul\ N$ ("Sicherheitsfaktor") für versetzte und unversetzte Nagelung; $zul\ N = 0,525\ kN$; Nagel 3,8*130 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

4.7.3.3.2 Nagel 4,2*120, glatt

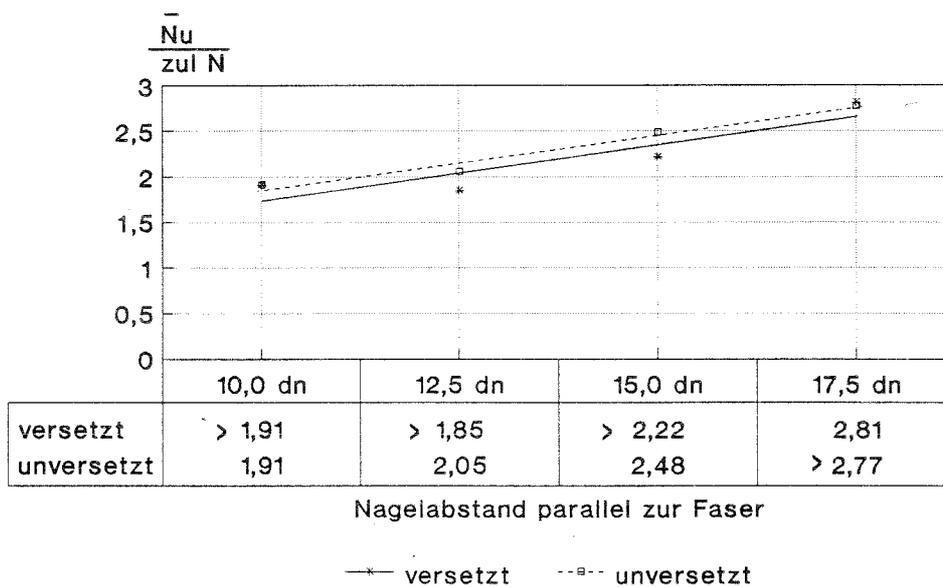
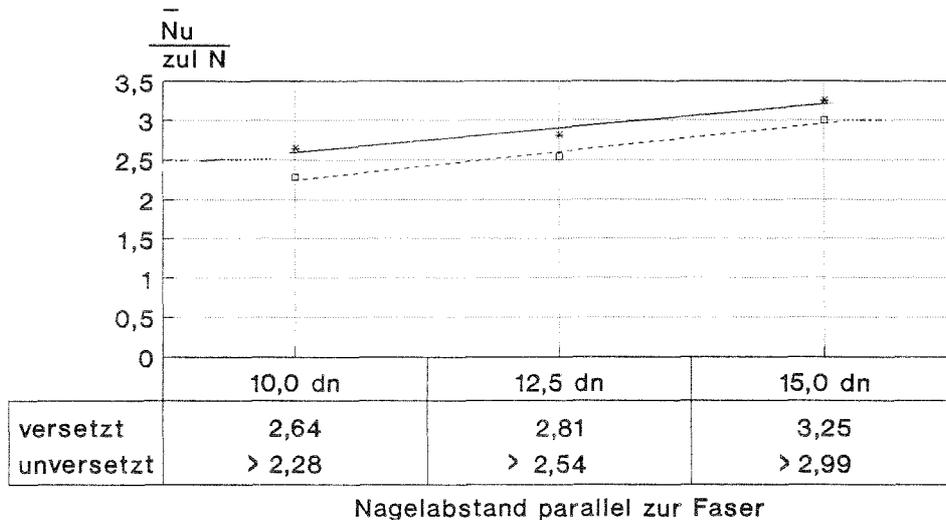


Bild 4.7.3.3.2/1: Quotient $\bar{N}_u/zul\ N$ ("Sicherheitsfaktor") für versetzte und unversetzte Nagelung; $zul\ N = 0,625\ kN$; Nagel 4,2*120 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: geringer Unterschied, "unversetzt" liegt etwas oberhalb versetzt.

4.7.3.3.3 Nagel 3,8*121, gerillt



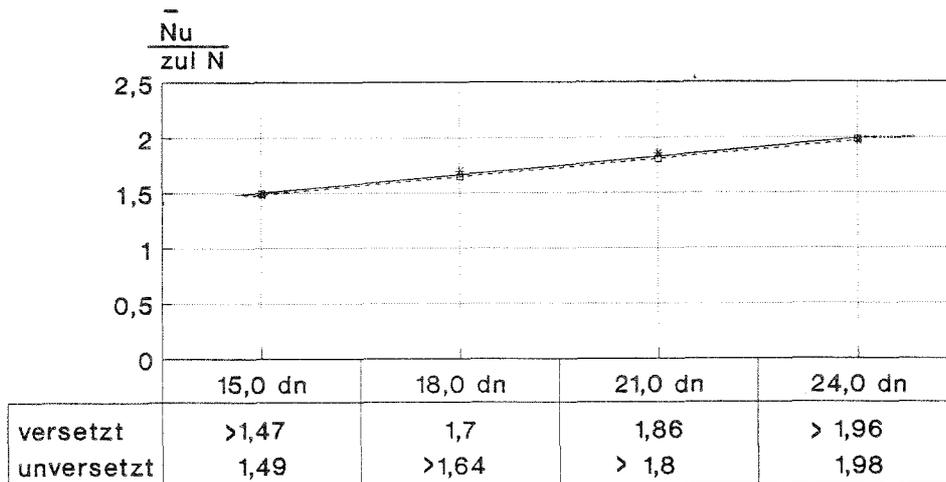
Nagelabstand parallel zur Faser

—*— versetzt -□- unversetzt

Bild 4.7.3.3.3/1: Quotient $\bar{N}_u/\text{zul } N$ ("Sicherheitsfaktor") für versetzte und unversetzte Nagelung; $\text{zul } N = 0,525 \text{ kN}$; Nagel 3,8*121 mm; zweischnittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: größerer Unterschied, "versetzt" liegt oberhalb "unversetzt".

4.7.3.3.4 Nagel 4,6*146, glatt



Nagelabstand parallel zur Faser

—*— versetzt -□- unversetzt

Bild 4.7.3.3.4/1: Quotient $\bar{N}_u/\text{zul } N$ ("Sicherheitsfaktor") für versetzte und unversetzte Nagelung; $\text{zul } N = 0,725 \text{ kN}$; Nagel 4,6*146 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

4.7.3.4 Absolute Versagenshäufigkeit

4.7.3.4.1 Nagel 3,8*130, glatt

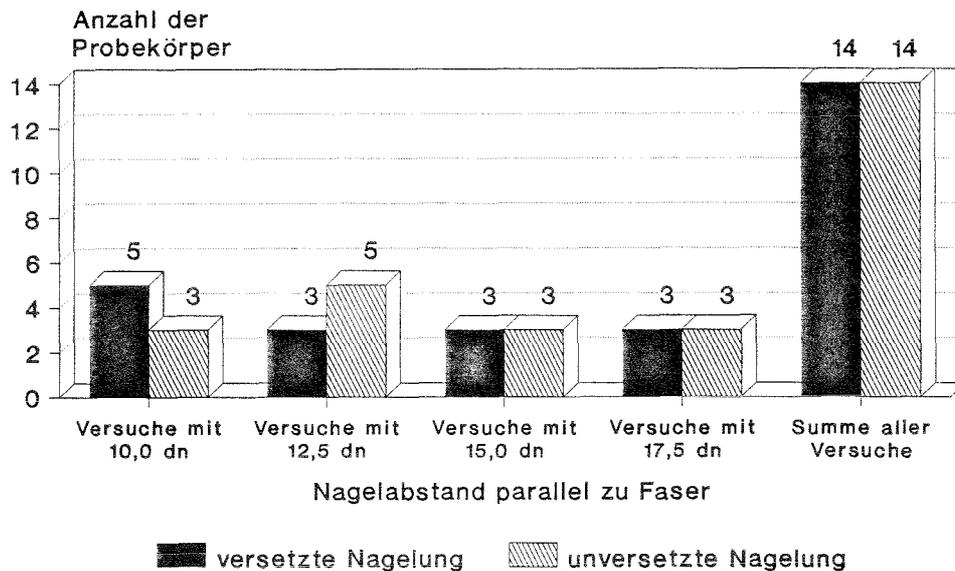


Bild 4.7.3.4.1/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 3,8*130 mm; zweischneittig; glatt

Vergleichende Bewertung: kein auffälliger Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt": Bei 10 d_n mehr Versager bei "versetzt", bei 12,5 d_n mehr Versager bei "unversetzt" (<< Z U F A L L >>). Bei 15 d_n , 17,5 d_n und bei "Summe aus allen Versuchen" völlige Übereinstimmung von "versetzt" und "unversetzt".

4.7.3.4.2 Nagel 4,2*120, glatt

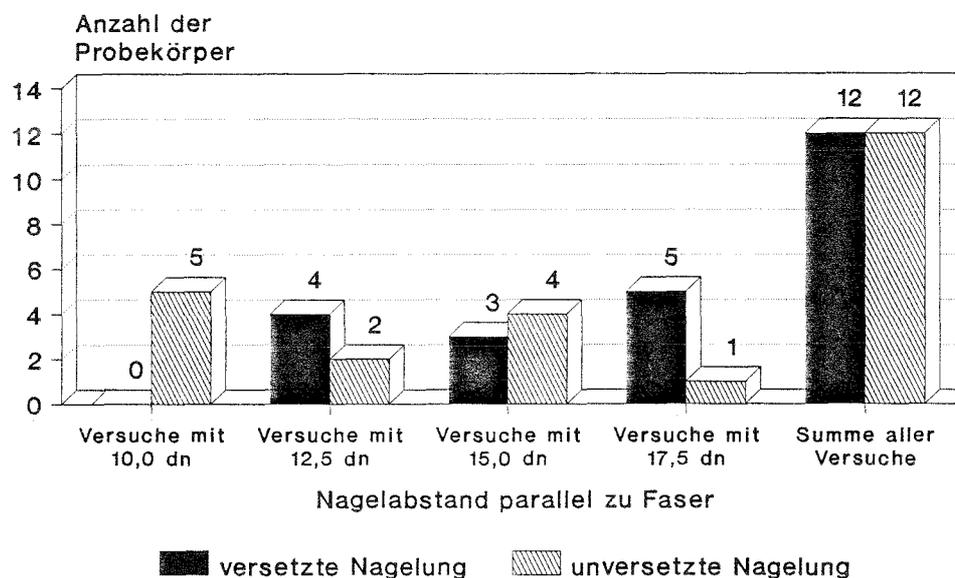


Bild 4.7.3.4.2/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 4,2*120 mm; zweischneittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Im Prinzip kein auffälliger Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt": Zwar bei 10 d_n alle Versager bei "unversetzt", bei 12,5 d_n und 17,5 d_n mehr Versager bei "versetzt" (<< Z U F A L L >>). Bei "Summe aus allen Versuchen" völlige Übereinstimmung von "versetzt" und "unversetzt"

4.7.3.4.3 Nagel 3,8*121, gerillt

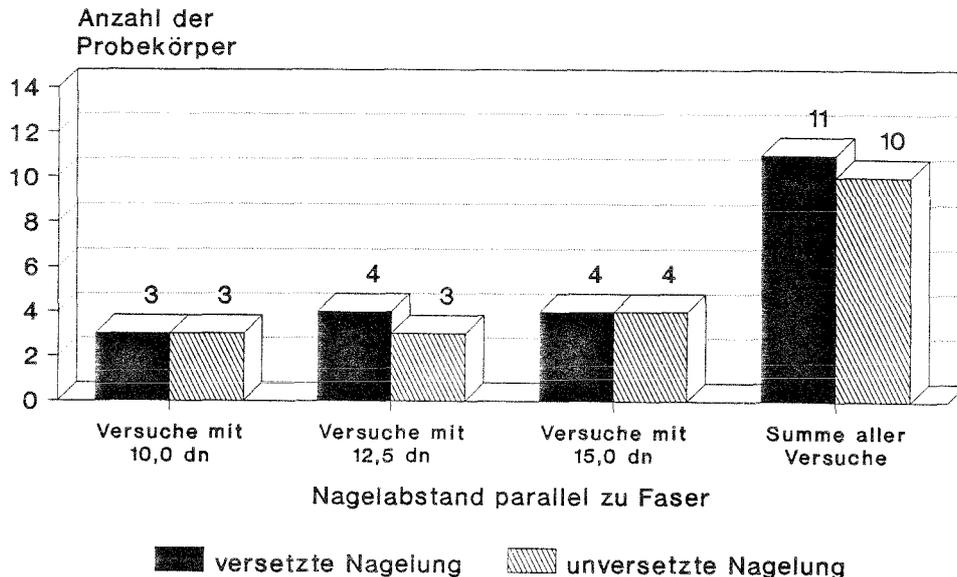


Bild 4.7.3.4.3/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 3,8*121 mm; zweischnittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

4.7.3.4.4 Nagel 4,6*146, glatt

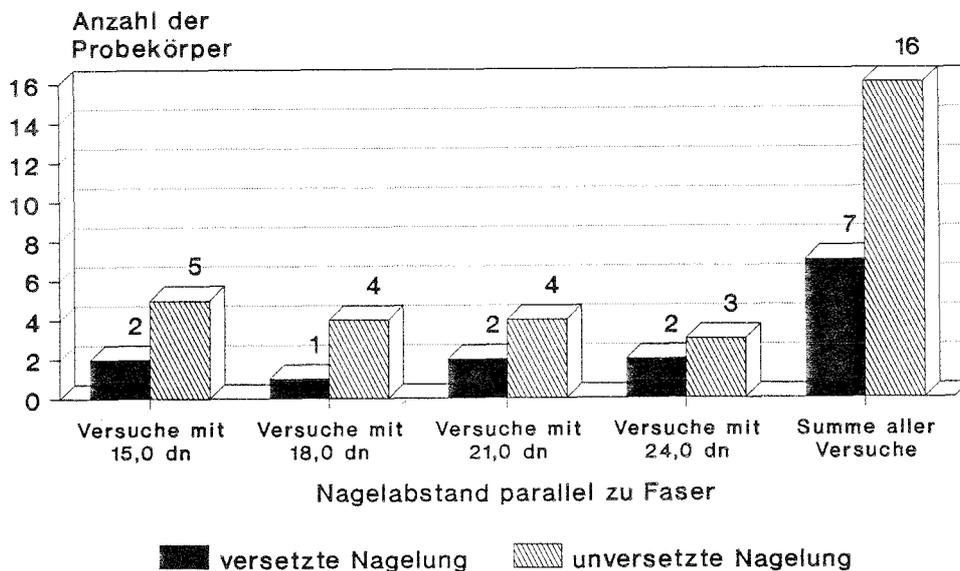


Bild 4.7.3.4.4/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 4,6*146 mm; zweischnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Bei allen Nagelabständen ($15 d_n$, $18 d_n$, $21 d_n$, $24 d_n$) jeweils etwa doppelt so viele Versager bei "unversetzt" im Vergleich zu "versetzt".

4.7.4 Vergleich der Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung)

Die hier verwendeten Prüfkörper zeigten eine sehr hohe Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt", so daß viele Verbindungen wegen vorausgegangenen Spaltens beim Eintreiben der Nägel anschließend nicht mehr geprüft werden konnten. Die größere Spaltneigung geht zurück auf:

- niedrige Holzfeuchte beim Einschlagen ("Einschlagfeuchte" $u = 10 \%$)
und
- "dünnes Brett oben" (d.h. zuerst durchnageltes Brett hatte Mindestholzdicke bzw. Prüfkörper mit außenliegenden Mindestholzdicken).

Die (relativ wenigen) für die statische Prüfung verbliebenen Versuchskörper zeigen in den Ergebnissen größere Streubreiten als die Ergebnisse in Abschnitt 4.7.3 (Prüfkörper mit innenliegenden Mindestholzdicken), da auch bei mehreren statisch geprüften Verbindungen eine Riß-Vorschädigung (Vor-Spaltung) nicht auszuschließen war.

4.7.4.1 Spaltbarkeit

4.7.4.1.1 Nagel $3,8 \times 130$ mm, glatt

Abstand $10 d_n$: Von 5 Probekörpern waren 4 für den statischen Versuch durch Spaltung nach dem Eintreiben der Nägel unbrauchbar.

- 4* Spaltung bei "unversetzt"
- 3* Spaltung bei "versetzt"

Vergleichende Bewertung: Anzahl Spaltung "versetzt" zu Spaltung "unversetzt" 3:4.

Bemerkung: Etwa gleich ungünstiges Verhalten bei "versetzt" und "unversetzt".

Selbst der einzig geprüfte Probekörper zeigte durchgehende kleine Spaltrisse von 0,5 mm bei der versetzten Nagelung. Deshalb sind

die Ergebnisse für die statistische Auswertung nicht verwendbar (siehe Tab. 4.6.3.2/1).

Abstand 12,5 d_n: Von 5 Probekörpern waren 3 für den statischen Versuch durch Spaltung nach dem Eintreiben der Nägel unbrauchbar.

- 3* Spaltung bei "unversetzt"
- 1* Spaltung bei "versetzt"

Vergleichende Bewertung: Anzahl Spaltung "versetzt" zu Spaltung "unversetzt" 1:3.

Bemerkung: Ungünstiges Spaltverhalten bei "versetzt" und "unversetzt", jedoch bessere Ergebnisse bei versetzt.

Abstand 15,0 d_n: Von 5 Probekörpern waren 3 für den statischen Versuch durch Spaltung nach dem Eintreiben der Nägel unbrauchbar.

- 3* Spaltung bei "unversetzt"
- 1* Spaltung bei "versetzt"

Vergleichende Bewertung: Anzahl Spaltung "versetzt" zu Spaltung "unversetzt" 1:3.

Bemerkung: Ungünstiges Spaltverhalten bei "versetzt" und "unversetzt", jedoch bessere Ergebnisse bei "versetzt".

Abstand 17,5 d_n: Von 5 Probekörpern waren alle für den statischen Versuch brauchbar.

Vergleichende Bewertung: keine oder kaum noch Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt" feststellbar.

4.7.4.1.2 Nagel 4,2*120 mm, glatt

Abstand 15,0 d_n: Von 5 Probekörpern waren 4 für den statischen Versuch durch Spaltung nach dem Eintreiben der Nägel unbrauchbar.

- 4* Spaltung bei "unversetzt"
- 2* Spaltung bei "versetzt"

Vergleichende Bewertung: Anzahl Spaltung "versetzt" zu Spaltung "unversetzt" 2:4.

Bemerkung: Ungünstiges Spaltverhalten bei "versetzt" und "unversetzt", jedoch bessere Ergebnisse bei "versetzt". Selbst der einzig geprüfte Probekörper zeigte durchgehende kleine Spaltrisse bei der unversetzten Nagelung: Diese führten zu der sehr niedrigen Bruchlast (unterhalb von zul N s. Tab. 4.6.3.1/8)

Abstand 17,5 d_n : Von 5 Probekörpern waren alle für den statischen Versuch brauchbar.

- keine Spaltung bei "versetzt" und "unversetzt", jedoch kleinere Rißneigung in 2 Fällen bei "unversetzt" andeutungsweise erkennbar.

Vergleichende Bewertung: "versetzt" und "unversetzt" gleichermaßen geeignet, ggf. leicht erhöhte Rißgefährdung bei "unversetzt".

Abstand 20,0 d_n : Von 5 Probekörpern waren alle für den statischen Versuch brauchbar.

- keine Spaltung bei "versetzt" und "unversetzt"

Vergleichende Bewertung: keine oder kaum noch Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt" feststellbar.

4.7.4.1.3 Nagel 3,8*121 mm, gerillt

Abstand 12,5 d_n : Von 5 Probekörpern waren 2 für den statischen Versuch durch Spaltung nach dem Eintreiben der Nägel unbrauchbar.

- 2* Spaltung bei "unversetzt"
- keine Spaltung bei "versetzt"

Vergleichende Bewertung: Der zahlenmäßige Vergleich Spaltung "versetzt" zu Spaltung "unversetzt" 0:2.

Bemerkung: Tatsächlich liegt jedoch der Eindruck vor, daß hier ähnliche Verhältnisse vorliegen wie beim Nagel 3,8 * 130 mm, glatt Abstand 12,5 d_n (s. Abschn. 4.7.4.1.1), da andeutungsweise in 2 Fällen eine leichte Rißbildung bei "versetzt" erkennbar ist.

Abstand 15,0 d_n : Von 5 Probekörpern waren alle für den statischen Versuch brauchbar.

Vergleichende Bewertung: keine oder kaum noch Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt" feststellbar.

Abstand 17,5 d_n : Von 5 Probekörpern waren alle für den statischen Versuch brauchbar.

Vergleichende Bewertung: keine oder kaum noch Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt" feststellbar.

4.7.4.1.4 Nagel 4,6*146 mm, glatt

Aufgrund der Spaltergebnisse mit Nagel 4,2* 120 mm bei einem Abstand von $15 d_n$ (s. Abschn. 4.7.4.1.2) wurde beim Nagel 4,6*146 mm erst mit einem Nagelabstand von $18 d_n$ die Untersuchung begonnen.

Abstand 18,0 d_n : Von 5 Probekörpern waren alle 5 für den statischen Versuch durch Spaltung nach dem Eintreiben der Nägel unbrauchbar.

- 5* Spaltung bei "unversetzt"
- 2* Spaltung bei "versetzt"

Vergleichende Bewertung: Anzahl Spaltung "versetzt" zu Spaltung "unversetzt" 2:5.

Bemerkung: Bei Nagel 4,6*146 mm deutlich größere Spaltneigung bei "unversetzt" gegenüber "versetzt". Nagel 4,6*146 mm ungeeignet für "unversetzt".

4.7.4.2 Verschiebungsmodul C bzw. Verschiebung

4.7.4.2.1 Nagel 3,8*130 mm, glatt

■ VERSCHIEBUNGSMODUL C^{*)}

Abstand	Mittelwert C-Modul in N/mm	
	versetzt	unversetzt
10.0 d_n		
12.5 d_n	1477	2218
15.0 d_n	1948	1502
17.5 d_n	2021	1314
Summe i.M.	1815	1678

Tabelle 4.7.4.2.1/1 Verschiebungsmodul C: Mittelwerte von C bei verschiedenen Nagelabständen und Summe im Mittel aus allen Versuchen unabhängig vom Nagelabstand

Verschiebungsmodul C nach DIN 1052 $C_{DIN} = 688 \text{ N/mm}$

Allgemeine Aussagen zu Tabelle 4.7.4.2.1/1:

- Die Schwankungsbreite von C ist relativ groß

*)Bei der Berechnung nach DIN 1052, T2, Tab.13 ist der Verschiebungsmodul C der zweischnittigen Verbindung pro Scherfläche doppelt so groß wie der der einschnittigen Verbindung. Dieses bestätigt sich bei den Versuchswerten im Vergleich der Mittelwerte nicht. Die Mittelwerte der Verschiebungsmoduln C der einschnittigen Verbindungen sind ungefähr gleich den Mittelwerten der zweischnittigen Verbindungen. Dies liegt darin begründet, daß die Einzelwerte der einschnittigen Verbindungen, bei den wenigen durchgeführten Versuchen, sehr große Streuungen zeigten (z.B. nur 2 Versuche bei Nagelabstand $12,5 d_n$, davon bei "versetzt": zum einem $C = 2306 \text{ N/mm}$, zum anderem $C = 648 \text{ N/mm}$ [i.M. $c = 1477 \text{ N/mm}$] und bei "unversetzt": zum einem $C = 3558 \text{ N/mm}$, zum anderem $C = 878 \text{ N/mm}$ [i.M. $c = 2218 \text{ N/mm}$].

- Der Verschiebungsmodul C ist praktisch unabhängig vom Nagelabstand
- Die Summe im Mittel aus allen Versuchen liegt mit $C = 1815 \text{ N/mm}$ (versetzt) und $C = 1678 \text{ N/mm}$ (unversetzt) weit oberhalb von $C_{\text{DIN}} = 688 \text{ N/mm}$ (DIN 1052/T2, Tab. 13)

Vergleichende Bewertung: Betrachtung der Summen i.M.

1815 N/mm <-> 1678 N/mm
 "versetzt" "unversetzt"

$$\text{Abweichung} = \frac{(1815 - 1678)}{1678} * 100 = 8,6 \%$$

Im vorliegenden Fall ist "versetzt" 8,6 % steifer als "unversetzt".

■ **VERSCHIEBUNG:** Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5 \text{ mm}$

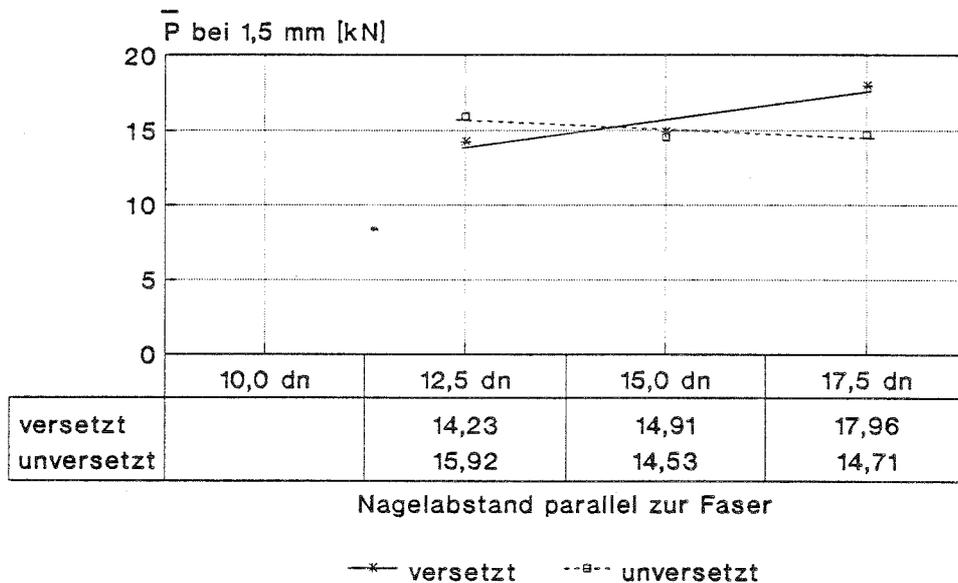
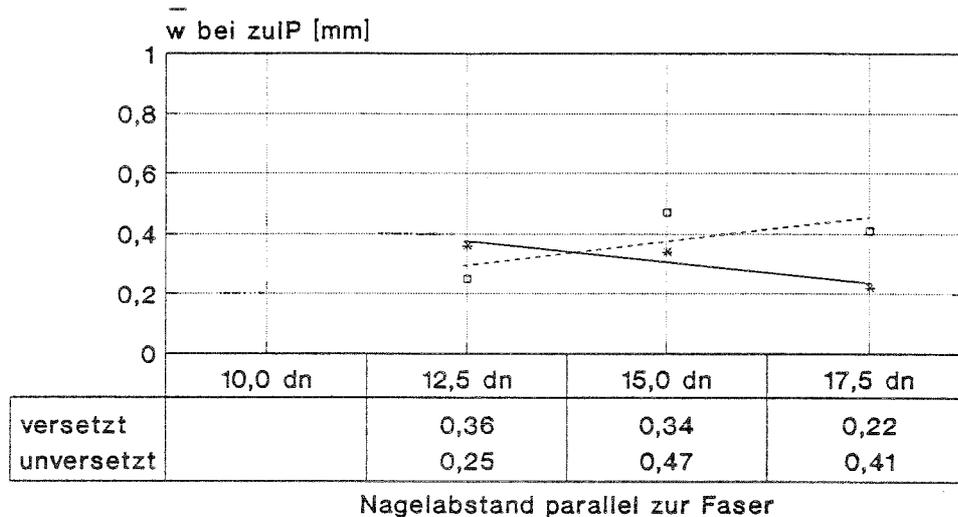


Bild 4.7.4.2.1/1: Vergleich der Kraft P bei Weg $w = 1,5 \text{ mm}$ für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel $3,8 \times 130 \text{ mm}$; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Abweichungen alternierend:

- bei $12,5 d_n$ $\bar{P}_{\text{ver}} < \bar{P}_{\text{unv}}$
- bei $15,0 d_n$ $\bar{P}_{\text{ver}} \sim \bar{P}_{\text{unv}}$
- bei $17,5 d_n$ $\bar{P}_{\text{ver}} > \bar{P}_{\text{unv}}$

■ VERSCHIEBUNG: Weg \bar{w} bei zul P = 8,40 kN



—*— versetzt - - - □ - - - unversetzt

Bild 4.7.4.2.1/2: Mittelwert der Verschiebung \bar{w} bei zul P = 8,40 kN für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 3,8*130 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Abweichungen alternierend:

- bei 12,5 d_n $\bar{w}_{ver} > \bar{w}_{unv}$

- bei 15,0 d_n $\bar{w}_{ver} < \bar{w}_{unv}$

- bei 17,5 d_n $\bar{w}_{ver} < \bar{w}_{unv}$

4.7.4.2.2 Nagel 4,2*120 mm, glatt

■ VERSCHIEBUNGSMODUL C (siehe Fußnote auf Seite 120)

Abstand	Mittelwert C-Modul in N/mm	
	versetzt	unversetzt
12.5 dn	--	--
15.0 dn	1814	1346
17.5 dn	1255	2591
Summe i.M.	1535	1969

Tabelle 4.7.4.2.2/1 Verschiebungsmodul C: Mittelwerte von C bei verschiedenen Nagelabständen und Summe im Mittel aus allen Versuchen unabhängig vom Nagelabstand

Verschiebungsmodul C nach DIN 1052 $C_{DIN} = 739 \text{ N/mm}$

Allgemeine Aussagen zu Tabelle 4.7.4.2.2/1

- Die Schwankungsbreite von C ist relativ groß
- Der Verschiebungsmodul C ist praktisch unabhängig vom Nagelabstand
- Die Summe im Mittel aus allen Versuchen liegt mit $C = 1535 \text{ N/mm}$ (versetzt) und $C = 1969 \text{ N/mm}$ (unversetzt) weit oberhalb von $C_{DIN} = 739 \text{ N/mm}$ (DIN 1052/T2, Tab. 13)

Vergleichende Bewertung: Betrachtung der Summen i.M.

1535 N/mm <-> 1969 N/mm
 "versetzt" "unversetzt"

$$\text{Abweichung} = \frac{(1969 - 1535)}{1535} * 100 = 28,3 \%$$

Im vorliegenden Fall ist "unversetzt" 28,3 % steifer als versetzt.

■ **VERSCHIEBUNG:** Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5 \text{ mm}$

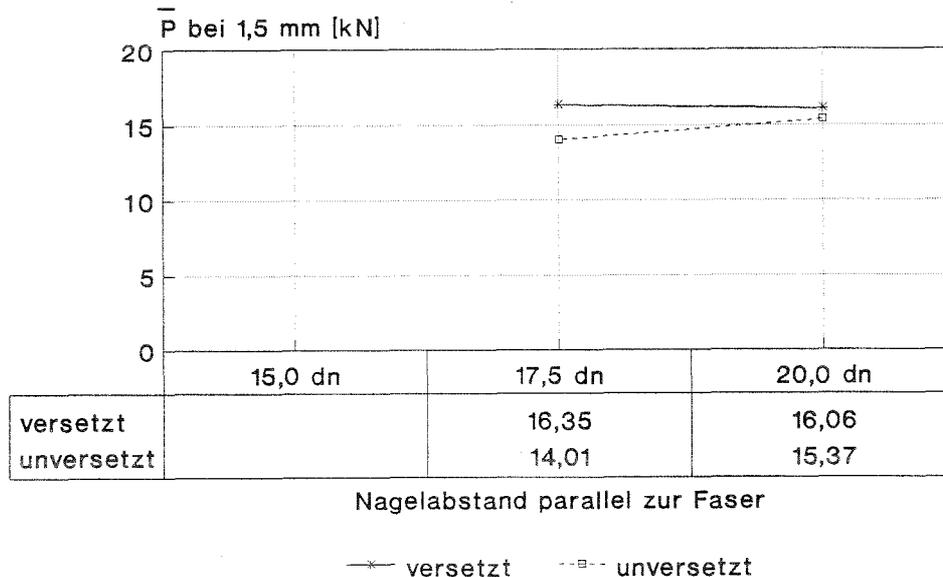
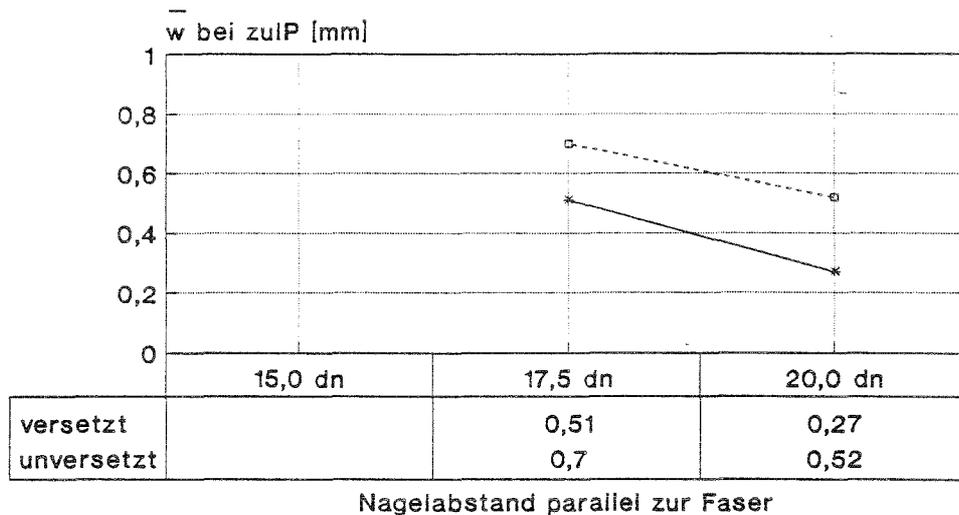


Bild 4.7.4.2.2/1: Vergleich der Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5 \text{ mm}$ für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 4,2*120 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: geringfügiger Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt". "Versetzt" liegt etwas oberhalb von "unversetzt".

■ VERSCHIEBUNG: Weg \bar{w} bei zul P = 10,00 kN



—*— versetzt - - - - unversetzt

Bild 4.7.4.2.2/2: Mittelwert der Verschiebung \bar{w} bei zul P = 10,00 kN für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 4,2*120 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: geringfügiger Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt". Verschiebungen bei "versetzt" liegen etwas oberhalb von "unversetzt".

4.7.4.2.3 Nagel 3,8*121 mm, gerillt

■ VERSCHIEBUNGSMODUL C (siehe Fußnote auf Seite 120)

Abstand	Mittelwert C-Modul in N/mm	
	versetzt	unversetzt
12.5 d_n	1265	2398
15.0 d_n	1176	2410
17.5 d_n	1515	795
Summe i.M.	1318	1867

Tabelle 4.7.4.2.3/1 Verschiebungsmodul C: Mittelwerte von C bei verschiedenen Nagelabständen und Summe im Mittel aus allen Versuchen unabhängig vom Nagelabstand

Verschiebungsmodul C nach DIN 1052 $C_{DIN} = 688$ N/mm

Allgemeine Aussagen zu Tabelle 4.7.4.2.3/1:

- Die Schwankungsbreite von C ist relativ groß

- Der Verschiebungsmodul C ist praktisch unabhängig vom Nagelabstand
- Die Summe im Mittel aus allen Versuchen liegt mit $C = 1318 \text{ N/mm}$ (versetzt) und $C = 1867 \text{ N/mm}$ (unversetzt) oberhalb von $C_{\text{DIN}} = 688 \text{ N/mm}$ (DIN 1052/T2, Tab. 13)

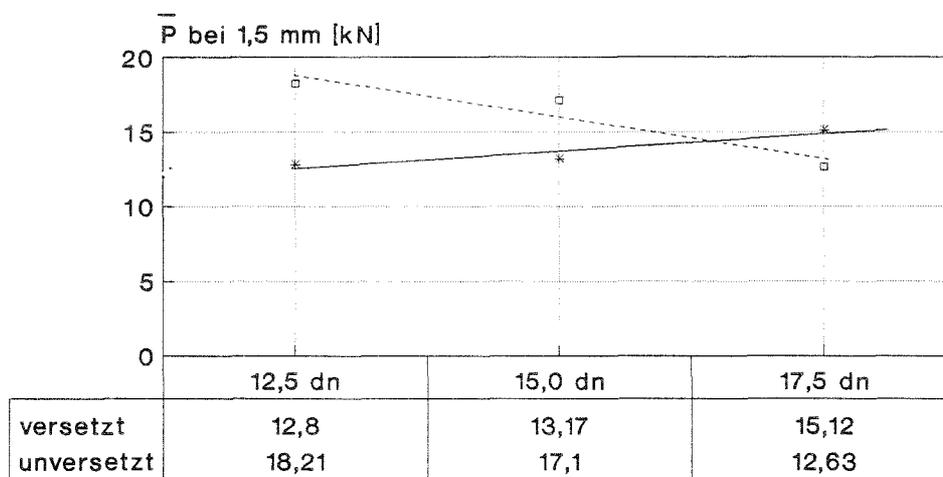
Vergleichende Bewertung: Betrachtung der Summen i.M.

1318 N/mm \leftrightarrow 1867 N/mm
 "versetzt" "unversetzt"

$$\text{Abweichung} = \frac{(1867 - 1318)}{1318} * 100 = 41,7 \%$$

Im vorliegenden Fall ist "unversetzt" 41,7 % steifer als versetzt.

■ VERSCHIEBUNG: Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5 \text{ mm}$



Nagelabstand parallel zur Faser

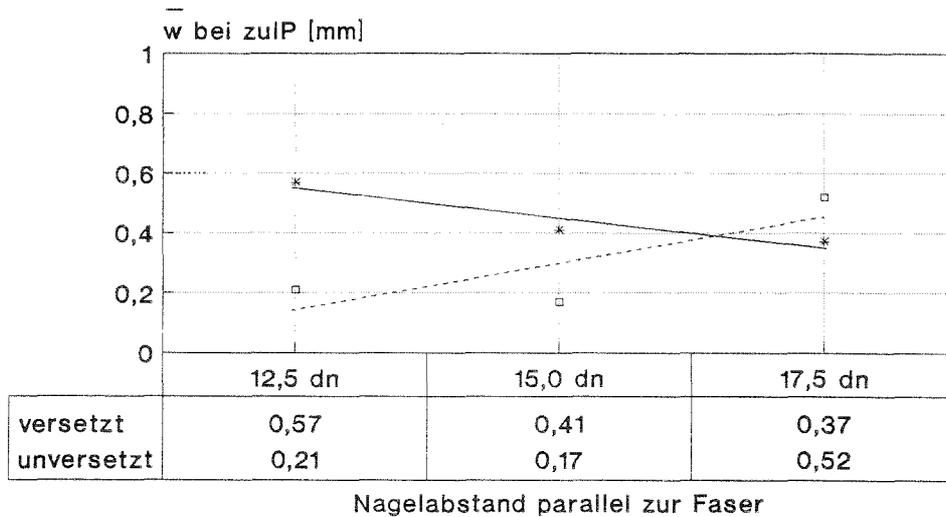
—*— versetzt -□- unversetzt

Bild 4.7.4.2.3/1: Vergleich der Kraft \bar{P} bei Weg $w = 1,5 \text{ mm}$ für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel $3,8 \times 121 \text{ mm}$; einschnittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: Abweichungen alternierend:

- bei $12,5 \text{ d}_n$ $\bar{P}_{\text{ver}} < \bar{P}_{\text{unv}}$
- bei $15,0 \text{ d}_n$ $\bar{P}_{\text{ver}} < \bar{P}_{\text{unv}}$
- bei $17,5 \text{ d}_n$ $\bar{P}_{\text{ver}} > \bar{P}_{\text{unv}}$

■ VERSCHIEBUNG: Weg \bar{w} bei zul P = 8,40 kN



—*— versetzt -□- unversetzt

Bild 4.7.4.2.3/2: Mittelwert der Verschiebung \bar{w} bei zul P = 8,40 kN für versetzte und unversetzte Nagelung. Nagel 3,8*121 mm; einschneittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: Abweichungen alternierend:

- bei 12,5 d_n $\bar{w}_{\text{ver}} > \bar{w}_{\text{unv}}$

- bei 15,0 d_n $\bar{w}_{\text{ver}} > \bar{w}_{\text{unv}}$

- bei 17,5 d_n $\bar{w}_{\text{ver}} < \bar{w}_{\text{unv}}$

4.7.4.3 Quotient $\bar{N}_u/\text{zul N}$ ("Sicherheitsfaktor")

4.7.4.3.1 Nagel 3,8*130, glatt

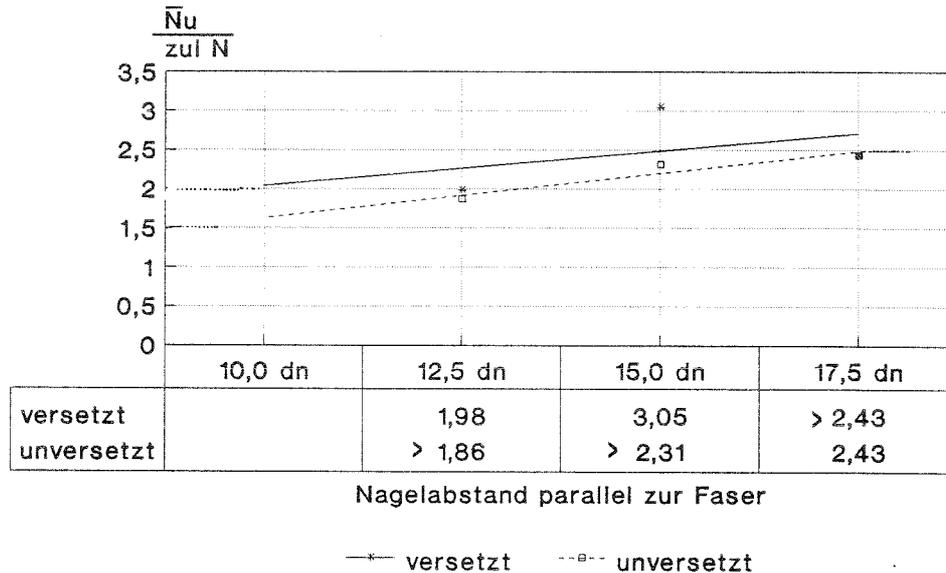


Bild 4.7.4.3.1/1: Quotient $\bar{N}_u/\text{zul N}$ ("Sicherheitsfaktor") für versetzte und unversetzte Nagelung; zul N = 0,525 kN; Nagel 3,8*130 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt". Nur bei 15 dn besitzt "versetzt" wesentlich höheren "Sicherheitsfaktor".

4.7.4.3.2 Nagel 4,2*120, glatt

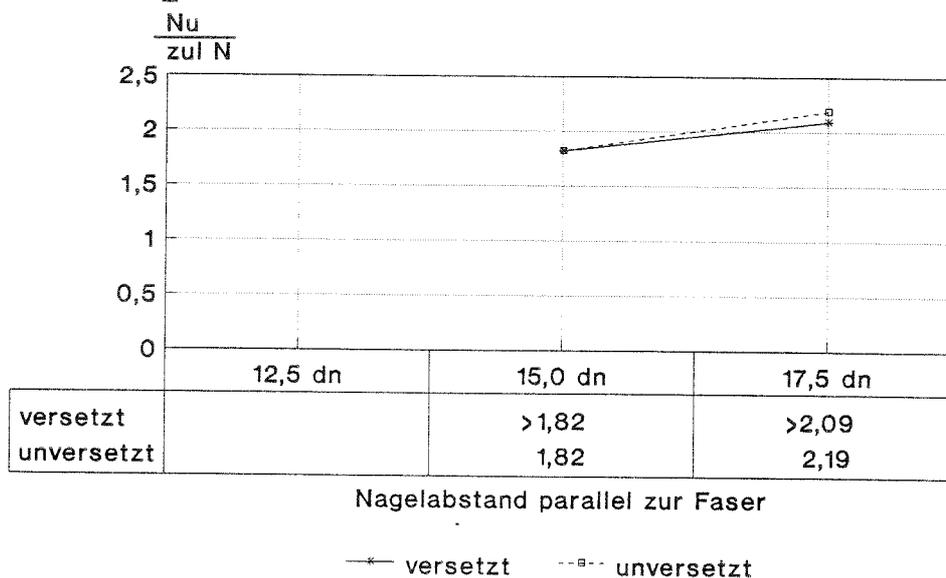


Bild 4.7.4.3.2/1: Quotient $\bar{N}_u/\text{zul N}$ ("Sicherheitsfaktor") für versetzte und unversetzte Nagelung; zul N = 0,625 kN; Nagel 4,2*120 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt".

4.7.4.3.3 Nagel 3,8*121, gerillt

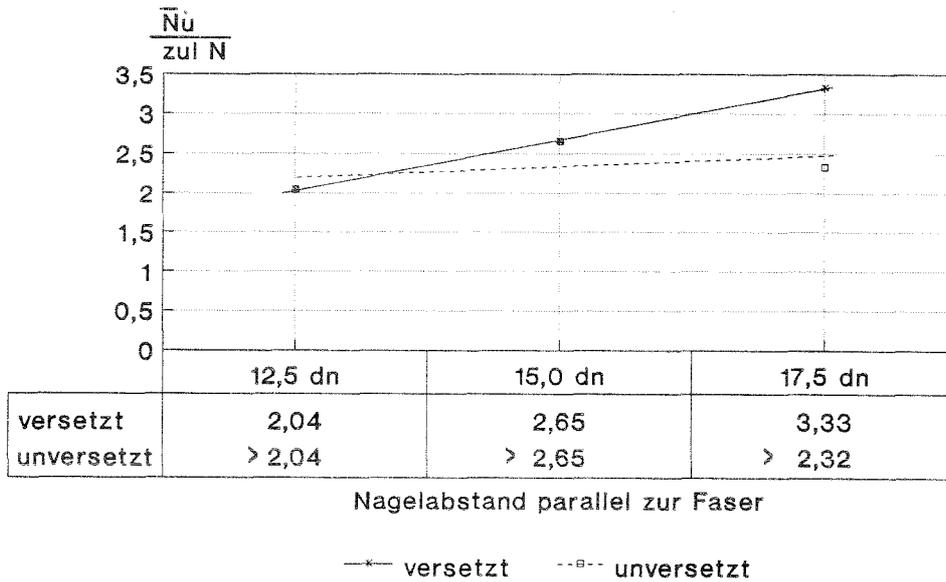


Bild 4.7.4.3.3/1: Quotient $\bar{N}_u / \text{zul } N$ ("Sicherheitsfaktor") für versetzte und unversetzte Nagelung; $\text{zul } N = 0,525 \text{ kN}$; Nagel 3,8*121 mm; einschnittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: praktisch kein Unterschied zwischen "versetzt" und "unversetzt". Nur bei 15 dn besitzt "versetzt" wesentlich höheren "Sicherheitsfaktor".

4.7.4.4 Absolute Versagenshäufigkeit

4.7.4.4.1 Nagel 3,8*130, glatt

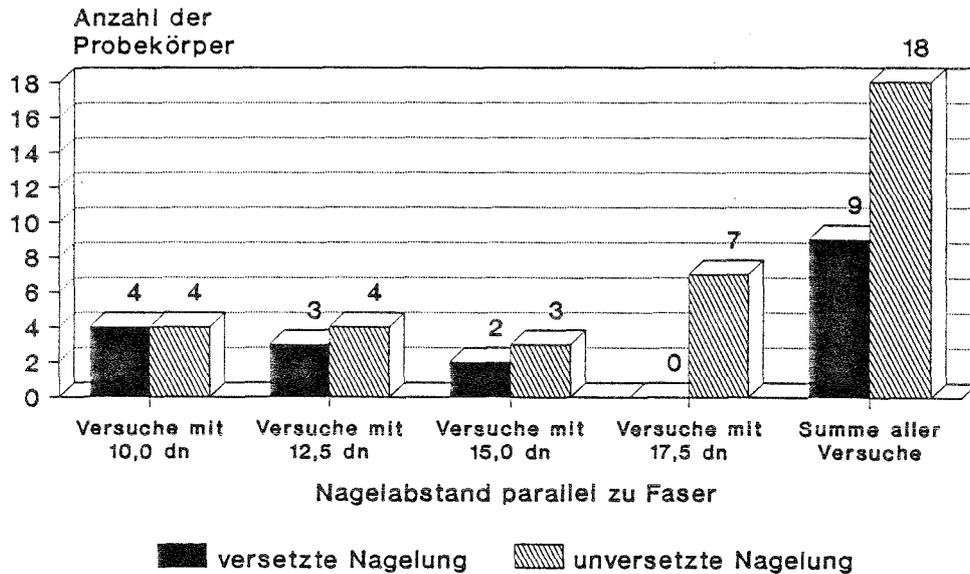


Bild 4.7.4.4.1/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 3,8*130 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Bei den Abständen $10 d_n$, $12,5 d_n$ und $15 d_n$ etwa gleiches Verhalten bei "versetzt" und "unversetzt". Lediglich bei $17,5 d_n$ waren alle Versager bei "unversetzt" aufgetreten (<< Zufall >>), dadurch ergibt sich in der "Summe aller Versuche", daß doppelt so viele Versager bei "unversetzt" im Vergleich zu "versetzt" vorliegen.

4.7.4.4.2 Nagel 4,2*120, glatt

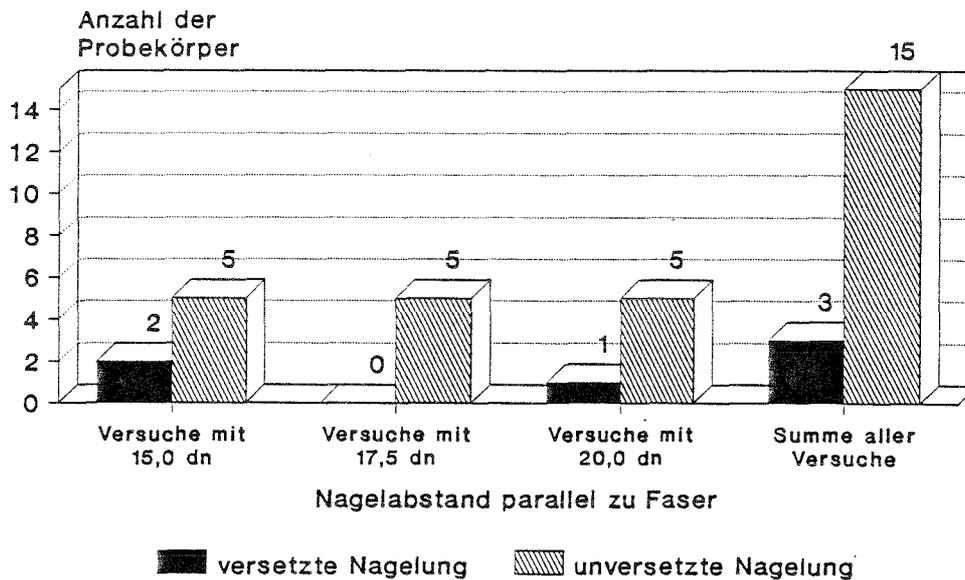


Bild 4.7.4.4.2/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 4,2*120 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Bei allen Nagelabständen ($15,0 d_n$, $17,5 d_n$ und $20 d_n$) mehr als doppelt so viele Versager bei "unversetzt" im Vergleich zu "versetzt".

4.7.4.4.3 Nagel 3,8*121, gerillt

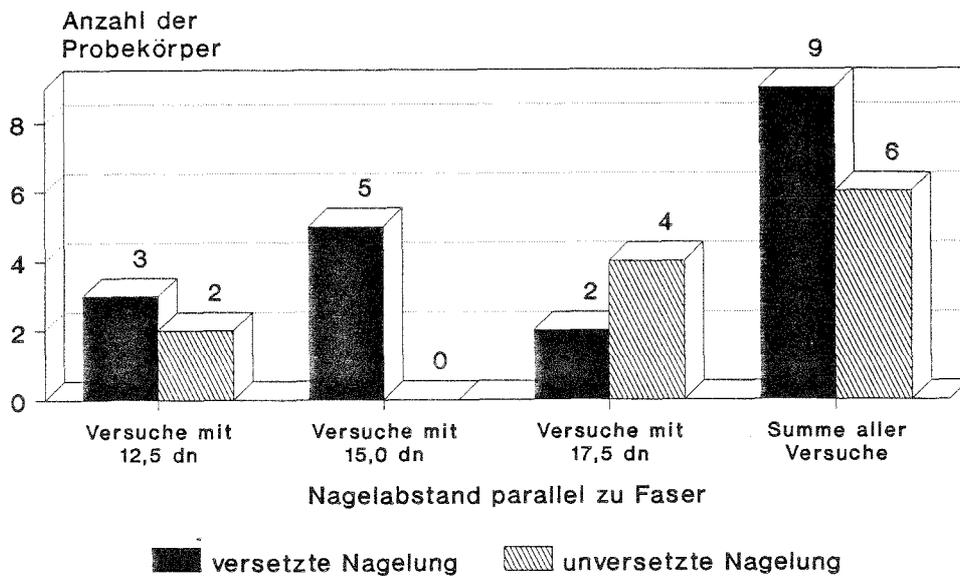


Bild 4.7.4.4.3/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 3,8*121 mm; einschnittig; gerillt

Vergleichende Bewertung: In der "Summe aller Versuche" 50 % mehr Versager bei "versetzt" im Vergleich zu "unversetzt". Bei den Abständen 12,5 d_n und 15 d_n mehr Versager bei "versetzt", bei 17,5 d_n mehr Versager bei "unversetzt".

4.7.4.4.4 Nagel 4,6*146, glatt

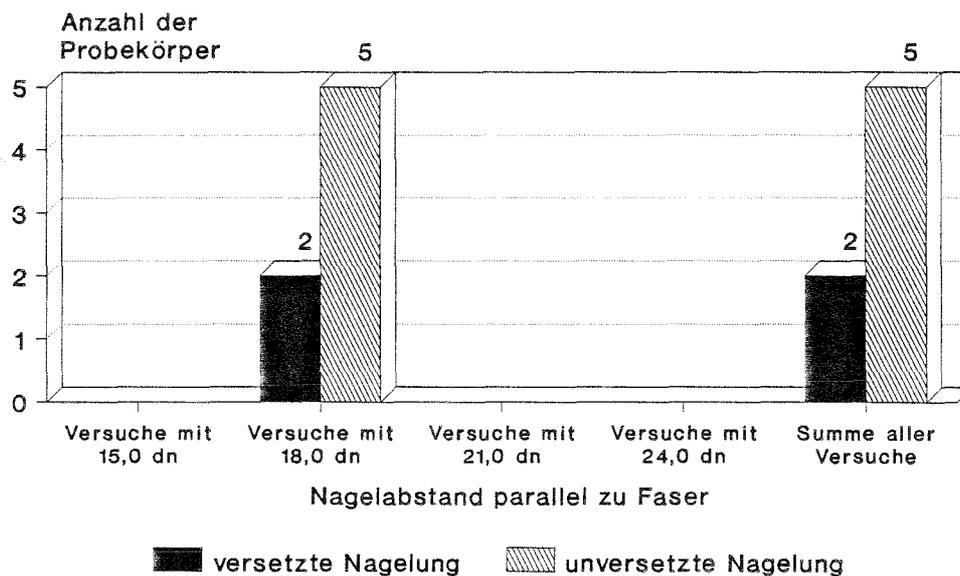


Bild 4.7.4.4.4/1: Absolute Versagenshäufigkeit für versetzte und unversetzte Nagelung; Nagel 4,6*146 mm; einschnittig; glatt

Vergleichende Bewertung: Beim einzig untersuchten Nagelabstand von 18 dn mehr als doppelt so viele Versager bei "unversetzt" im Vergleich zu "versetzt".

5 Langzeitversuche

5.1 Allgemeines/Zielsetzungen

Die durchgeführten Langzeitversuche erstreckten sich über einen Zeitraum von jeweils 145 Tagen. Die Zugstoßprobekörper mit innenliegenden Mindestholzdicken (zweischnittige Verbindungen) wurden, wie unter 4.4 beschrieben, auf der einen Seite versetzt und auf der anderen Seite unversetzt genagelt.

Es wurden zwei Versuchsreihen mit 3 Probekörpern untersucht, die sich nur durch eine unterschiedliche Laststufe auszeichneten. Der grundsätzliche Versuchsaufbau ist in Bild 5.3/1 dargestellt. Bei den Versuchen wurden die zeitabhängigen Verschiebungen kontinuierlich aufgezeichnet und das auftretende Rißverhalten untersucht.

Zielsetzungen:

- Feststellung, ob sich unterschiedliches Rißverhalten bei "versetzt" und "unversetzt" zeigt
- Feststellung, ob sich unter Langzeitbelastung unterschiedliches Verformungsverhalten bei "versetzt" und "unversetzt" zeigt.
- Ermittlung der Kurzzeit-Bruchlast nach ISO 6891 (bzw des Quotienten $\bar{N}_u/zul N$) nach vorangegangener Langzeitbelastung von $1,5 * zul N$

5.2 Krafteinleitung

Die Krafteinleitung erfolgte über geeichte Gewindestangen, die mit DMS-Streifen versehen waren. Dabei wurde die Kraft über die Dehnung der Gewindestangen mit DMS-Streifen gemessen. Die Dehnung wurde in DIGIT an einem Meßgerät (Digital Transducer CA 310) abgelesen. Durch die Eichkurven der Gewindestangen konnte so die gemessene Dehnung in eine Kraft umgerechnet werden.

Die Kraft und die Verformungen wurden in der Anfangsphase der Versuche stündlich und beim späteren Abklingen der Verformungen täglich kontrolliert. Der auftretende Kraftabfall durch den Verformungszuwachs wurde durch das Nachziehen der Gewindestangen kompensiert. Oben angeordnete Tellerfederstapel, deren Federkennlinien einen degressiven Verlauf hatten, verringerten zusätzlich den auftretenden Kraftabfall.

5.3 Versuchsreihen

Die beiden Versuchsreihen unterscheiden sich nur durch ihre Laststufen:

- Versuchsreihe 1: belastet mit $1,0 * \text{zul } P = 8,40 \text{ kN}$
- Versuchsreihe 2: belastet mit $1,5 * \text{zul } P = 12,60 \text{ kN}$

Ansonsten galt für beide Versuchsreihen:

Nagel $3,8 * 130 \text{ mm}$, glatt ; Verbindung: zweischnittig

Nagelanzahl: $n = 8$; Nagelabstand: $15 d_n$; Holzfeuchte: $u = 10 \%$

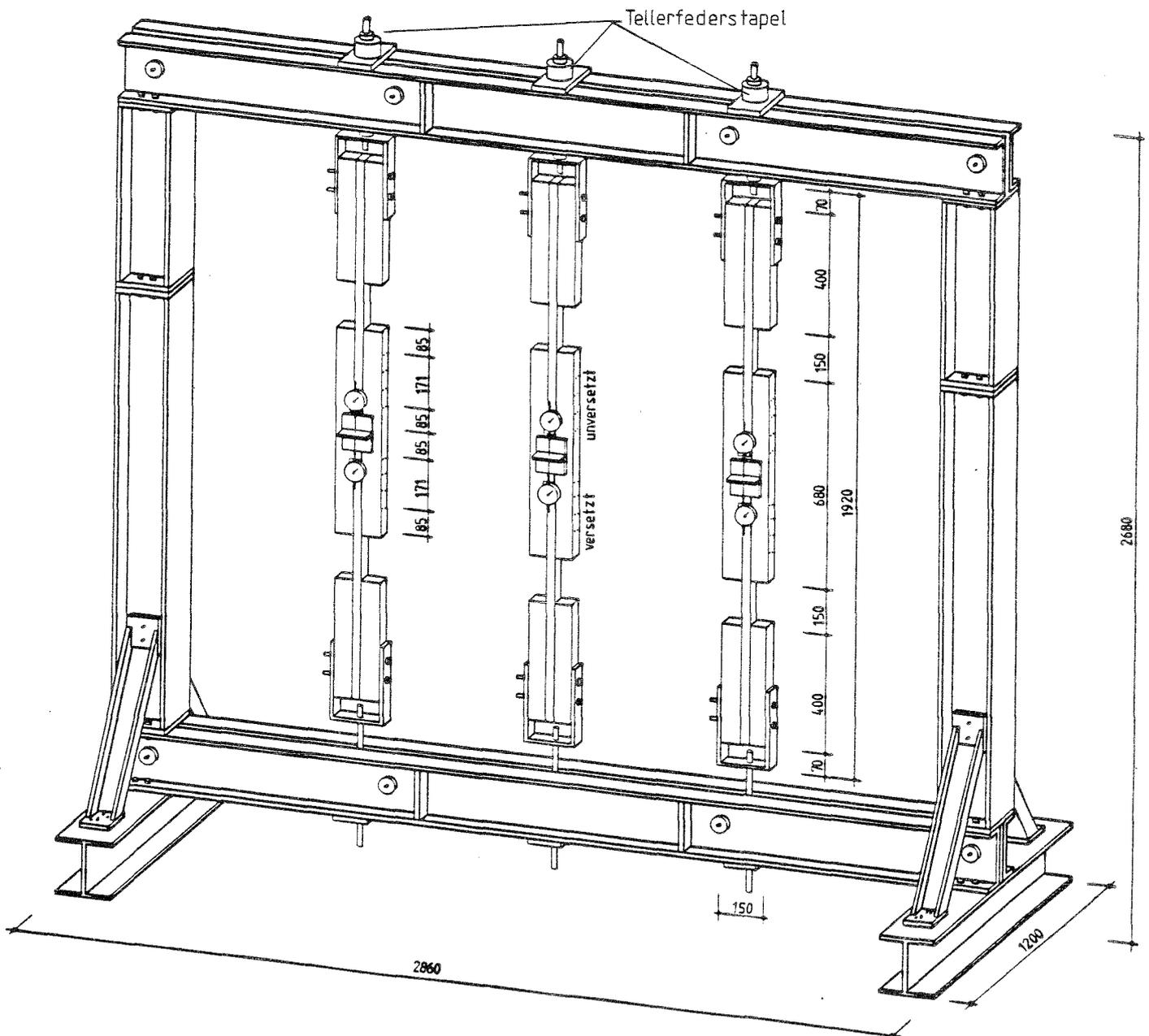


Bild 5.3/1 : Prinzipskizze der Dauerstandversuche: Es können jeweils 3 Proben gleichzeitig untersucht werden

5.4 Auswertung der Langzeitversuche

5.4.1 Rißbildung

An allen 6 Versuchskörpern konnte während des ganzen Beobachtungszeitraumes, selbst unter 1,5facher Belastung, keine Rißbildung festgestellt werden. Dies gilt sowohl für die versetzte als auch für die unversetzte Nagelung.

5.4.2 Zeitabhängige Verformungen

Der zeitliche Verlauf der Verformungen ist in den Bildern 5.4.2/1 (Belastung $1,0 * \text{zul } P = 8,40 \text{ kN}$) und 5.4.2/2 (Belastung $1,5 * \text{zul } P = 12,60 \text{ kN}$) dargestellt. Die Tabelle 5.4.2/1 zeigt die Anfangsverformung zur Zeit $t = 0$ Stunden und die Endverformung zur Zeit $t = 3480$ Stunden für beide Laststufen. Es handelt sich dabei jeweils um die Mittelwerte aus drei Versuchen.

	1,0 * zul P			1,5 * zul P	
	versetzt [mm]	unversetzt [mm]		versetzt [mm]	unversetzt [mm]
f_0 t=0 h	0,25	0,25	f_0 t=0 h	0,59	0,53
f_t t=3480 h	0,73	0,69	f_t t=3480 h	2,40	2,58

Tabelle 5.4.2/1: Anfangs- und Endverformung für die versetzte und unversetzte Nagelung

Vergleichende Bewertung:

Bei direktem Vergleich der Anfangs- und Endverformungsgrößen der versetzten und unversetzten Nagelung ist kein gravierender Unterschied erkennbar. Unter den Belastungen $1,0 * \text{zul } P$ (s. Bild 5.4.2/1 a) und $1,5 * \text{zul } P$ (s. Bild 5.4.2/2 a) sind die Verformungen der versetzten und unversetzten Nagelung nahezu identisch, vgl. auch Tabelle 5.4.2/1.

Obwohl bei jedem Versuch die versetzte und unversetzte Nagelverbindung mit Holz aus demselben Brett - das zuvor lediglich

an der Stoßstelle getrennt wurde - hergestellt wurden, sind die vorhandenen geringen Unterschiede in den Verformungen mit Sicherheit nicht auf die unterschiedliche Nagelung (versetzt, unversetzt), sondern auf die Strukturunterschiede des Holzes zurückzuführen.

Dieses wird unter anderem auch durch die unterschiedlichen Verformungen bei gleicher Nagelung mit je drei unterschiedlichen Proben in den Bildern 5.4.2/1 b), 5.4.2/1 c) und 5.4.2/2 b), 5.4.2/2 c) belegt.

5.4.3 Ermittlung der Bruchlast (bzw des Quotienten \bar{N}_u /zul N) nach vorangegangener Langzeitbelastung von 1,5 * zul N

	versetzt	unversetzt
Nagel 3,8 *130 mm,glatt Abstand Fa: 15 d _n Holzfeuchte u = 10 %	$\frac{N_u}{zulN}$	$\frac{N_u}{zulN}$
* Kurz-Zeit Bruchversuch	2,63	2,63
** Langzeitversuch mit 1,5 zul N, dann Kurz- Zeit Bruchversuch	2,50	>2,19

Tabelle 5.4.3/1: Vergleich des Quotienten N_u /zul N zwischen Kurz-Zeit Bruchversuch und Kurz-Zeit Bruchversuch nach Langzeitversuch mit 1,5 zul N

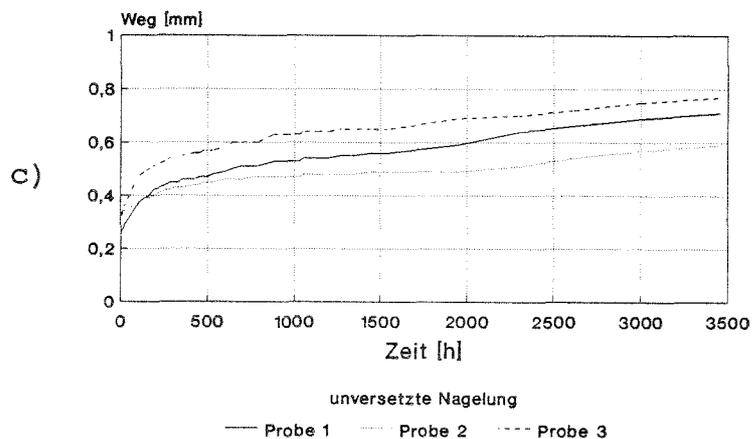
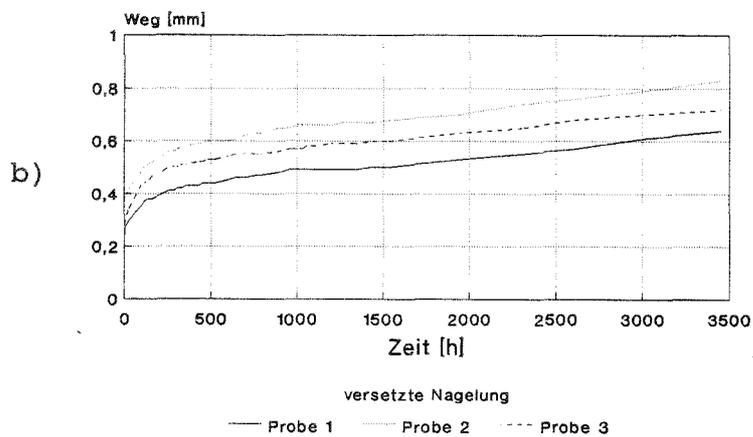
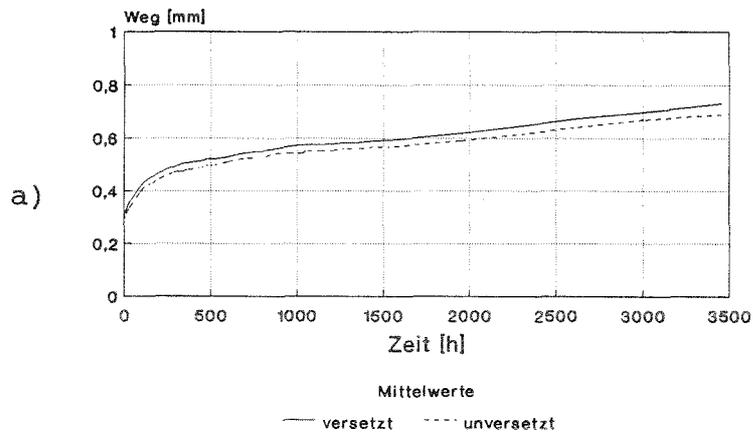
Vergleichende Bewertung:

- bei "versetzt" : 2,50 <-> 2,63 etwa gleiches Verhalten
- bei "unversetzt": >2,19 <-> 2,63 geringfügige Unterschiede

* vgl. Tabelle 4.6.2.2/1 und 4.7.2/1

**vgl. Tabelle 4.6.4.2/1 und 4.7.2/3

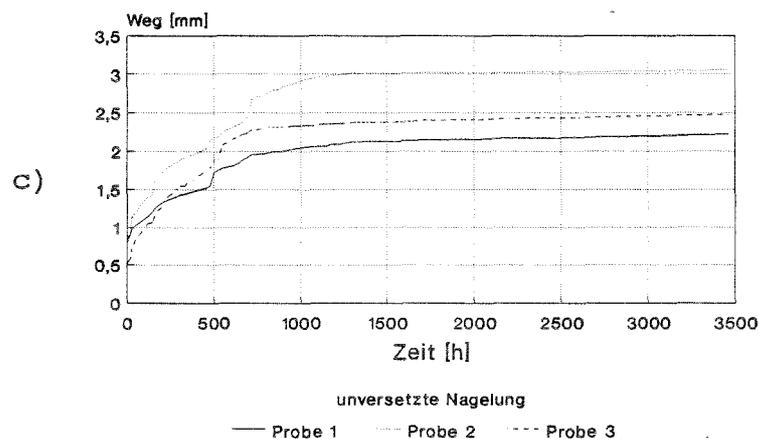
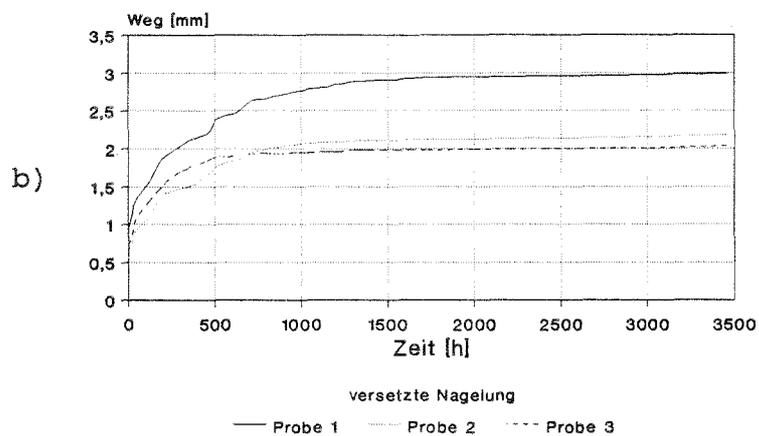
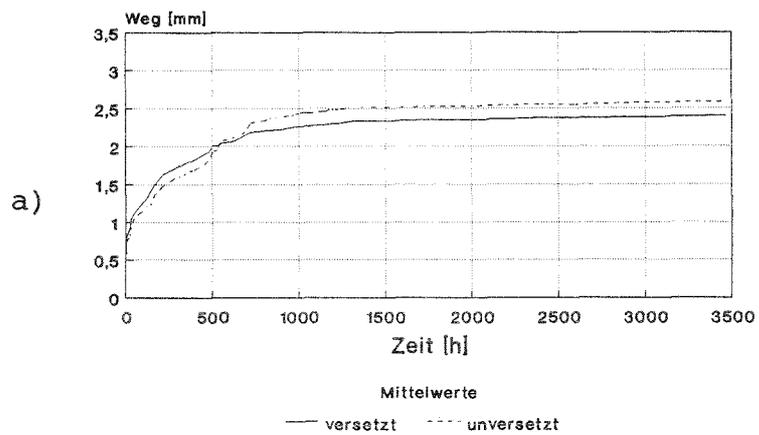
Zeitlicher Verlauf der Verformungen



Belastung: $1,0 \cdot \text{zul } P = 8,40 \text{ kN}$
 Nagel $3,8 \times 130 \text{ mm}$, glatt, 2-schnittig
 Nagelanzahl $n = 8$, Nagelabstand 15 dn

Bild 5.4.2/1: Zeitlicher Verlauf der Verformungen; Laststufe $1,0 \cdot \text{zul } P$. a) Mittelwerte versetzte und unversetzte Nagelung
 b) Einzelwerte "versetzt" c) Einzelwerte "unversetzt"

Zeitlicher Verlauf der Verformungen



Belastung: $1,5 \cdot \text{zul } P = 12,60 \text{ kN}$
 Nagel $3,8 \times 130 \text{ mm}$, glatt, 2-schnittig
 Nagelanzahl $n = 8$, Nagelabstand 15 dn

Bild 5.4.2/2 : Zeitlicher Verlauf der Verformungen; Laststufe $1,5 \cdot \text{zul } P$. a) Mittelwerte versetzte und unversetzte Nagelung
 b) Einzelwerte "versetzt" c) Einzelwerte "unversetzt"

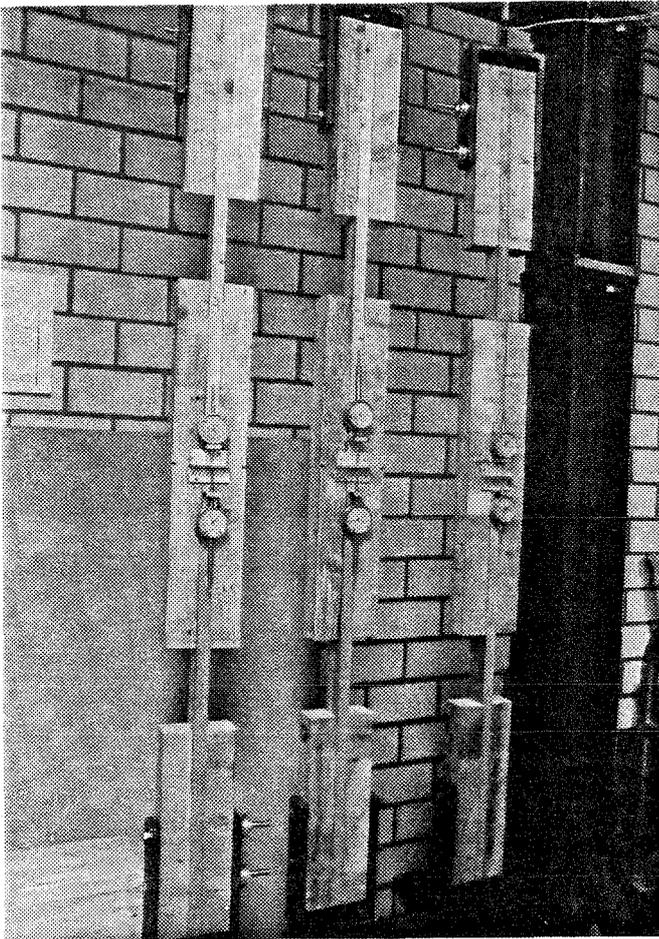


Bild 5.4.2/3:
Dauerstandversuchskörper
mit innenliegender Mindest-
holzdicke (zweischnittige
Verbindung) im Dauerstand-
versuchsrahmen

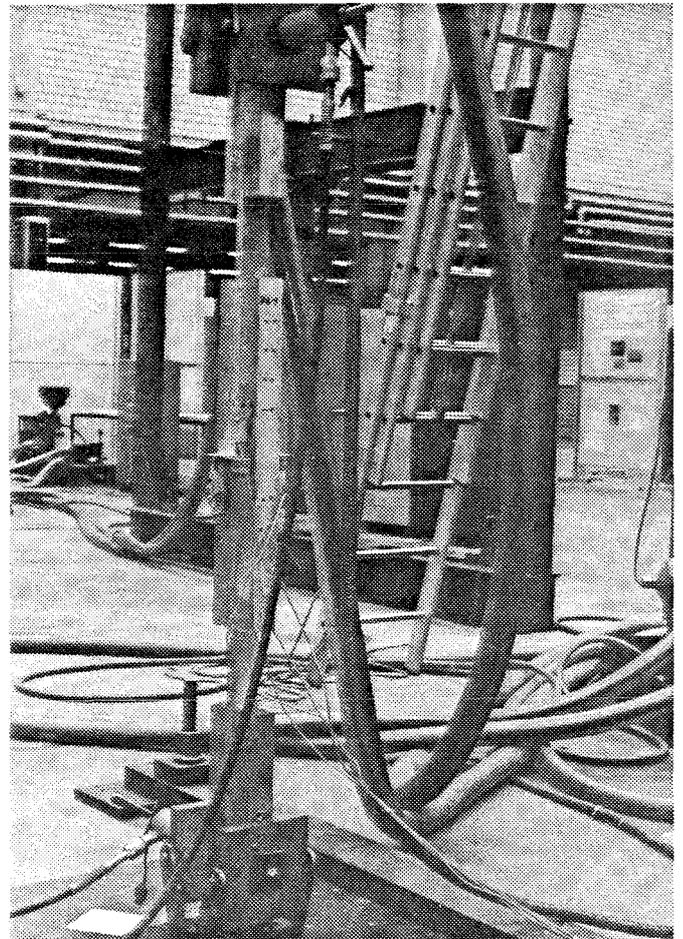


Bild 5.4.2/4:
Dauerstandversuchskörper
mit innenliegender Mindest-
holzdicke (zweischnittige
Verbindung) nach Beendigung
des Langzeitversuches im
Kurz-Zeit-Versuch nach ISO
6891

6 Nachträgliche Spaltversuche

6.1 Allgemeines

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Spaltergebnisse bei den Haupt- und Vorversuchen waren zur Klärung der aufgetretenen Fragen noch zusätzliche Spaltversuche erforderlich.

Zusammengefaßt lassen sich die Fakten aus den Vorversuchen (Kap. 3) und aus den Hauptversuchen (Kap. 4) wie folgt darstellen:

Ergebnis aus den Vorversuchen (Kap. 3):

Kaum oder sehr geringe Spaltneigung (Einzelbrettversuche mit einer Holzfeuchte von $u = 14 \%$) bei Nageldurchmesser $\leq 3,8$ mm und einem Nagelabstand von $\geq 12,5 d_n$. Unter diesen Randbedingungen ist praktisch kein Unterschied in der Spaltneigung zwischen versetzter und unversetzter Nagelung festzustellen.

Ergebnis aus den Hauptversuchen (Kap. 4):

a) Kaum oder sehr geringe Spaltneigung mit innenliegenden *) Mindestholzdicken (zweischnittigen Verbindungen mit einer Holzfeuchte von $u = 10 \%$) bei Nageldurchmesser $\leq 4,2$ mm und einem Nagelabstand von $\geq 12,5 d_n$. Unter diesen Randbedingungen ist praktisch kein Unterschied in der Spaltneigung zwischen versetzter und unversetzter Nagelung festzustellen.

b) Größere Spaltneigung als unter a) bei außenliegenden **) Mindestholzdicken (einschnittige Verbindungen mit einer Holzfeuchte von $u = 10 \%$) selbst bei Nageldurchmesser von nur 3,8 mm und einem Nagelabstand von $\geq 12,5 d_n$. Diese größere Spaltneigung wurde sowohl bei "versetzt" als auch bei "unversetzt" festgestellt. Im Vergleich miteinander zeigte sich jedoch bei "unversetzt" eine noch größere Spaltneigung als bei "versetzt".

Durch die nachträglichen Spaltversuche sollte zum einen der Einfluß der Holzfeuchtigkeit -speziell zum Vergleich bei $u = 14 \%$ und $u = 10 \%$ - zum Zeitpunkt des Eintreibens der Nägel und zum

*) D.h. beim Eintreiben des Nagels wird zuerst ein dickeres Brett durchschlagen und erst danach das Brett mit Mindestholzdicke. Im Abschnitt 6.2 wird die innenliegende Mindestholzdicke mit Mindestholzdicke "unten" simuliert und bezeichnet.

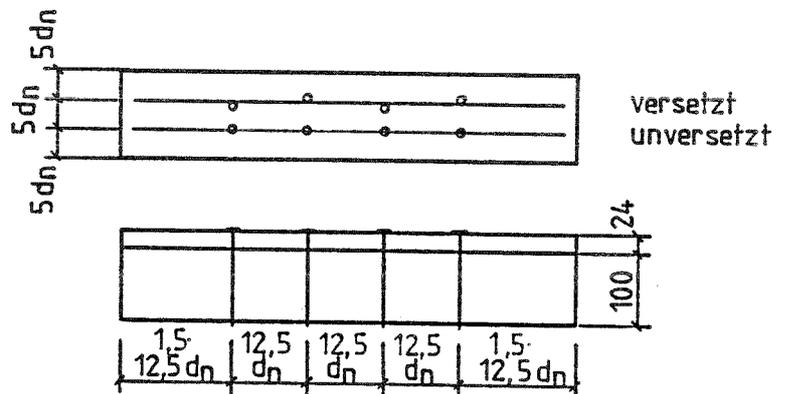
**) D.h. beim Eintreiben des Nagels wird zuerst das Brett mit Mindestholzdicke und dann ein dickeres Brett durchschlagen. Im Abschnitt 6.2 wird die außenliegende Mindestholzdicke mit Mindestholzdicke "oben" simuliert und bezeichnet.

anderen der Einfluß der Lage der Mindestholzdicke, "innenliegend" oder "außenliegend", auf die Spaltneigung geklärt werden. Zum anderen sollte zusätzlich überprüft werden, ob ein Unterschied zwischen Hand- und Maschinennagelung bezüglich der Spaltneigung besteht. Die Versuchskörper der nachträglichen Spaltversuche wurden statisch nicht mehr geprüft: Die Hauptversuche haben gezeigt, daß immer dann mit gutem Tragverhalten gerechnet werden kann, wenn nach dem Eintreiben der Nägel (vor der statischen Belastung) keine oder kaum Spaltrisse erkennbar waren. Diese Aussage gilt gleichermaßen für "versetzt" als auch für "unversetzt".

6.2 Versuchsdurchführung

6.2.1 Versuch 1

- Maschinennagelung
- Holzfeuchte $u = 14 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "oben" (zuerst durchnagelt)
- Anzahl der Versuche 5

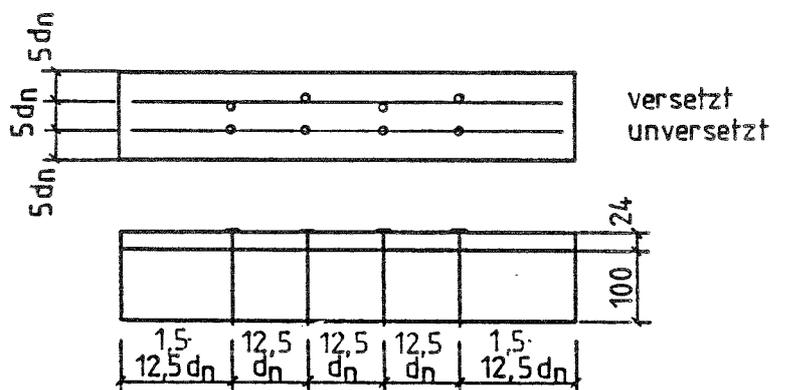


Vergleichende Bewertung:

- 5 Versuche "versetzt": davon keine Spaltrisse
 5 Versuche "unversetzt": davon keine Spaltrisse

6.2.2 Versuch 2

- Handnagelung
- Holzfeuchte $u = 14 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "oben" (zuerst durchnagelt)
- Anzahl der Versuche 5



Vergleichende Bewertung:

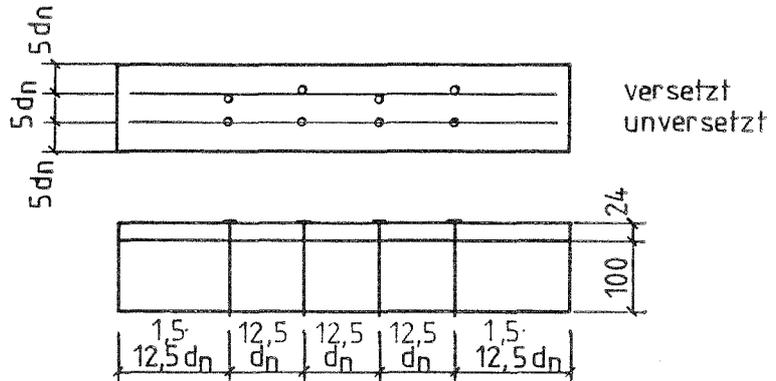
- 5 Versuche "versetzt": davon keine Spaltrisse
 5 Versuche "unversetzt": davon keine Spaltrisse

6.2.3 Versuch 3

- Maschinennagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "oben" (zuerst durchnagelt)
- Anzahl der Versuche 5

Vergleichende Bewertung:

- 5 Versuche "versetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse
 5 Versuche "unversetzt": davon 3x deutliche Spaltrisse



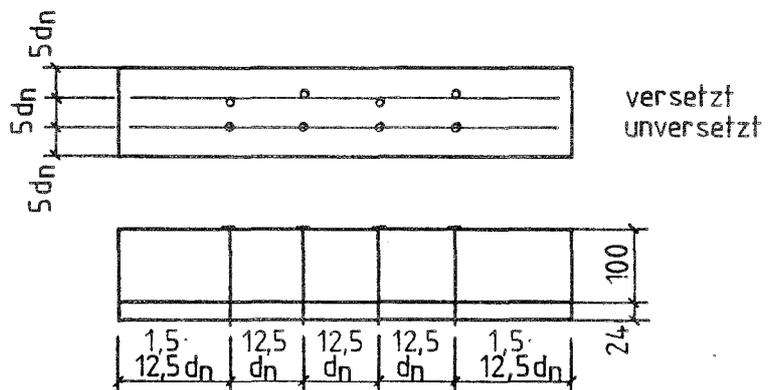
6.2.4 Versuch 4

- Maschinennagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "unten" (zuletzt durchnagelt)
- Anzahl der Versuche 5

Vergleichende Bewertung:

- 5 Versuche "versetzt": davon keine Spaltrisse
 5 Versuche "unversetzt": davon keine Spaltrisse

Bemerkung: Durch leichten Nagelschräglauf im dickeren Holz war kaum noch ein Unterschied in der Position zwischen "versetzt" und "unversetzt" auf der Nagelaustrittsseite zu erkennen.

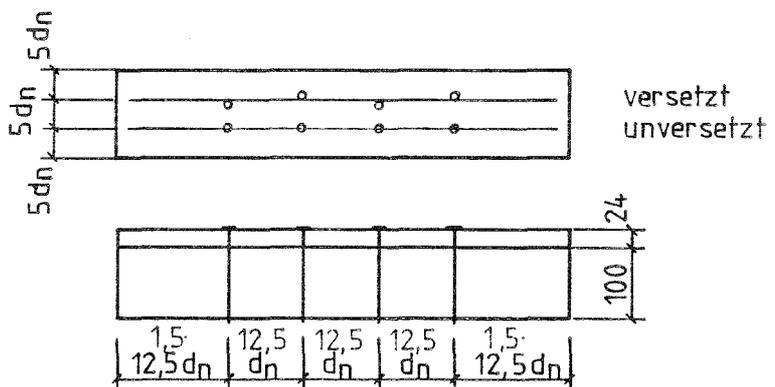


6.2.5 Versuch 5

- Handnagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "oben" (zuerst durchnagelt)
- Anzahl der Versuche 5

Vergleichende Bewertung:

- 5 Versuche "versetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse
 5 Versuche "unversetzt": davon 3x deutliche Spaltrisse



6.2.6 Versuch 6

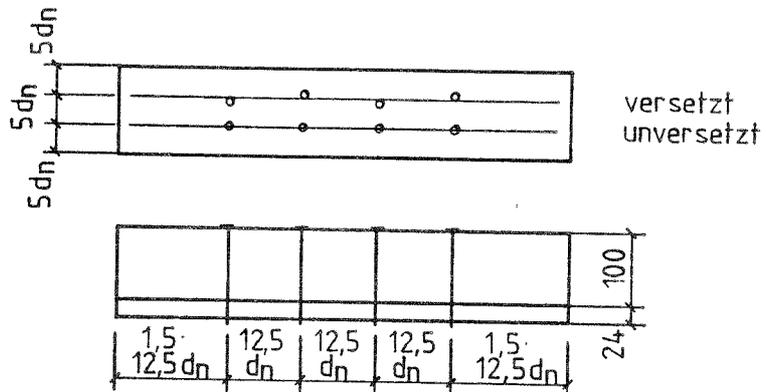
- Handnagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "unten" (zuletzt durchnagelt)
- Anzahl der Versuche 5

Vergleichende Bewertung:

5 Versuche "versetzt": davon 1x deutlicher Spaltriß

5 Versuche "unversetzt": davon keine Spaltrisse

Es gilt die gleiche Bemerkung wie bei Versuch 4 (Abschnitt 6.2.4)

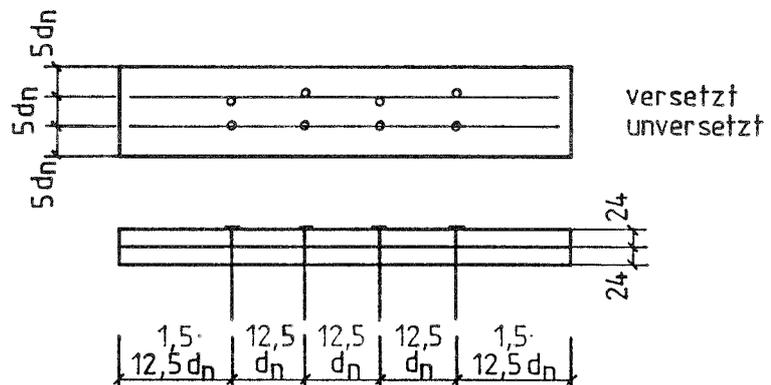
6.2.7 Versuch 7

- Maschinennagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "unten" und "oben"
- Anzahl der Versuche 5

Vergleichende Bewertung:

5 Versuche "versetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse "oben" keine Spaltrisse "unten"

5 Versuche "unversetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse "oben" davon 1x deutlicher Spaltriß "unten"

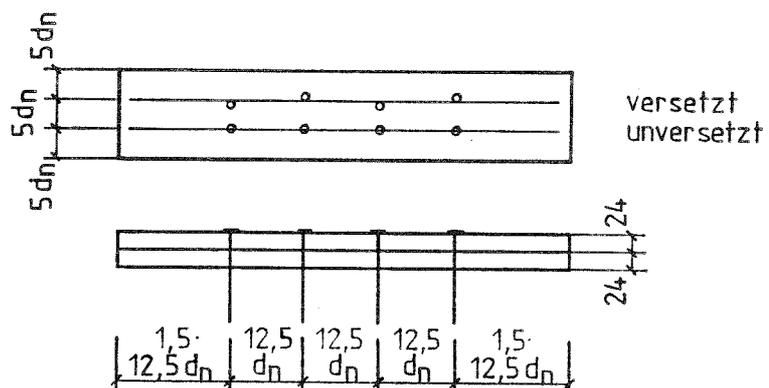
6.2.8 Versuch 8

- Handnagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- Mindestholzdicke "unten" und "oben"
- Anzahl der Versuche 5

Vergleichende Bewertung:

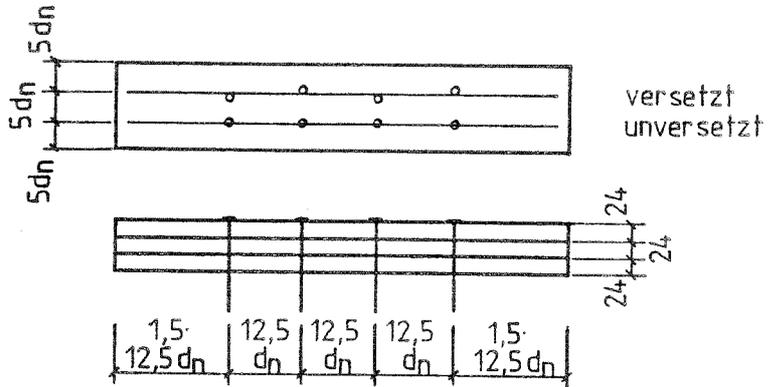
5 Versuche "versetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse "oben" davon 1x deutlicher Spaltriß "unten"

5 Versuche "unversetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse "oben" keine Spaltrisse "unten"



6.2.9 Versuch 9

- Maschinennagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- 3 Bretter mit Mindestholzdicke (zweischneittig)
- Anzahl der Versuche 5

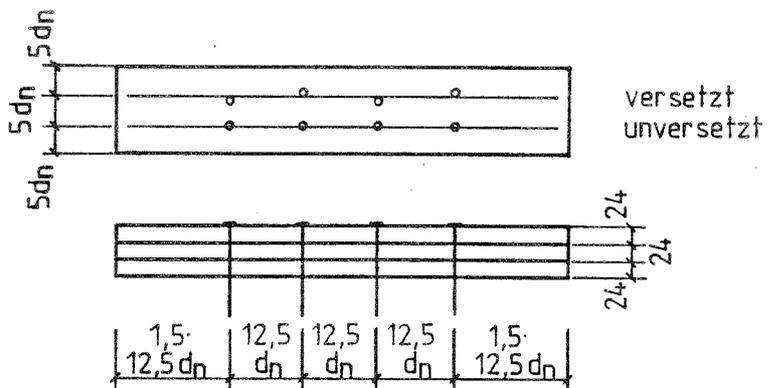


Vergleichende Bewertung:

- 5 Versuche "versetzt": davon 1x deutlicher Spaltriß "oben"
keine Spaltrisse "unten"
- 5 Versuche "unversetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse "oben"
davon 1x deutlicher Spaltriß "unten"

6.2.10 Versuch 10

- Handnagelung
- Holzfeuchte $u = 10 \%$
- Nagel $3,8 \times 130$ mm; glatt
- Nagelabstand $12,5 d_n$
- 3 Bretter mit Mindestholzdicke (zweischneittig)
- Anzahl der Versuche 5



Vergleichende Bewertung:

- 5 Versuche "versetzt": davon 2x deutliche Spaltrisse "oben"
davon 1x deutlicher Spaltriß "unten"
- 5 Versuche "unversetzt": davon 3x deutliche Spaltrisse "oben"
keine Spaltrisse "unten"

7 Zusammenfassende vergleichende Bewertung und Empfehlung

7.1 Beurteilung der Spaltneigung und des Trag- und Verformungsverhaltens

7.1.1 Ergebnisse aus den Vorversuchen (Kap. 3)

- | | |
|---|---|
| <p>a. bei Einschlagfeuchte $u = 14 \%$
mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8 \text{ mm}$
und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$</p> | <p><u>günstige Ergebnisse:</u>
- geringe Spaltneigung
- etwa gleiche Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt"</p> |
| <p>b. bei Einschlagfeuchte $u = 14 \%$ und anschließender Trocknung auf $u = 8,5 \%$
mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8 \text{ mm}$
und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$</p> | <p><u>günstige Ergebnisse:</u>
- wie unter a.
(keine Erhöhung der Spaltneigung gegenüber a., auch nicht nach 2-jähriger Standzeit mit $u = 8,5 \%$)</p> |
| <p>c. bei Einschlagfeuchte $u = 24 - 28 \%$ und anschließender Trocknung auf $u = 14 \%$ und weiter auf $u = 8,5 \%$
mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8 \text{ mm}$
und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$</p> | <p><u>günstige Ergebnisse:</u>
- wie unter a. und b.</p> |

7.1.2 Ergebnisse aus den Hauptversuchen mit Einschlagfeuchte $u = 10 \%$ (Kap. 4)

- | | |
|--|---|
| <p>a. Versuche mit Mindestholzdicke außenliegend (einschnittig)
mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8 \text{ mm}$
und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$</p> | <p><u>ungünstige Ergebnisse:</u>
- große Spaltneigung
Mehrere Probekörper mit Mindestholzdicke brachen bereits beim Eintreiben der Nägel auseinander bzw. zeigten breite Spaltrisse
- Versuche mit den nicht auseinandergebrochenen Proben zeigten Rißvorschädigung und ungünstiges Tragverhalten
- "versetzt" und "unversetzt" zeigten deutliche Spaltneigung. Bei "unversetzt" größere Spaltneigung als bei "versetzt"</p> |
|--|---|

- b. Versuche mit Mindestholzdicke
innenliegend (zweischnittig)
 mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8$ mm
 und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$

günstige Ergebnisse:

- gutes Trag- und Verformungsverhalten und daraus Rückschluß auf (visuell nicht kontrollierbare) geringe Spaltneigung
- etwa gleiches Tragverhalten bei "versetzt" und "unversetzt"

7.1.3 Ergebnisse aus den nachträglichen Spaltversuchen mit Einschlagfeuchte $u = 14$ % (Kap. 6)

- a. Versuche mit Mindestholzdicke
außenliegend bzw. Mindestholzdicke
 "oben"
 mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8$ mm
 und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$

günstige Ergebnisse:

- keine Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt" festgestellt

7.1.4 Ergebnisse aus den nachträglichen Spaltversuchen mit Einschlagfeuchte $u = 10$ % (Kap. 6)

- a. Versuche mit Mindestholzdicke
außenliegend bzw. Mindestholzdicke
 "oben"
 mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8$ mm
 und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$

ungünstige Ergebnisse:

- große Spaltneigung
- etwa gleiche Spaltneigung bei "versetzt" und "unversetzt"

- b. Versuche mit Mindestholzdicke
innenliegend bzw. Mindestholzdicke
 "unten"
 mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8$ mm
 und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$

günstige Ergebnisse:

- keine Spaltbildung bei "versetzt" und "unversetzt" festgestellt. Allerdings ist im Brett mit Mindestholzdicke "unten" bezüglich der Position der Nägel wegen faserbeeinflussten Schräglaufs des Nagels kein Unterschied mehr festzustellen.

<p>c. Versuche mit 2 miteinander vernagelten Mindestholzdicken mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8$ mm und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$</p>	<p><u>ungünstige Ergebnisse</u> beim oberen Brett wie unter a. <u>günstige Ergebnisse</u> beim unteren Brett wie unter b.</p>
<p>d. Versuche mit 3 miteinander vernagelten Mindestholzdicken mit Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8$ mm und Nagelabstand $\geq 12,5 d_n$</p>	<p><u>ungünstige Ergebnisse</u> beim oberen Brett wie unter a. <u>günstige Ergebnisse</u> beim unteren Brett wie unter b.</p>

7.2 Zusammenfassende Empfehlung

1. Wenn die Einschlagfeuchte $u \geq 14$ % beträgt ist die Spaltneigung bei Nageldurchmesser $\leq 3,8$ mm und einem Nagelabstand von $\geq 12,5 d_n$ gering und verändert sich nicht bei anschließender Trocknung des Holzes auf bis zu $u = 8,5$ %
2. Da **keine Spaltschädigung** des Holzes Voraussetzung für gutes anschließendes Trag- und Verformungsverhalten ist, wird aus den Abschnitten 7.1.1 bis 7.1.4 folgende **Empfehlung** abgeleitet:

bei unversetzter Nagelung ist einzuhalten:

- Nageldurchmesser $\leq 3,8$ mm
- Nagelabstand \parallel Fa untereinander $\geq 12,5 d_n$
- Nagelabstand zum belasteten Rand \parallel Fa $\geq 1,5 * 12,5 d_n$
- Mindestholzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt $u \geq 14$ %

Unter diesen Voraussetzungen kann bei unversetzter Nagelung wie bei versetzter Nagelung nach DIN 1052/T2 bemessen werden, da praktisch keine Unterschiede im Trag-, Verformungs-, und Spaltverhalten im Vergleich zur versetzten Nagelung mehr auftreten.

8 Zusammenfassung

Das Ziel des Forschungsvorhabens lag in der vergleichenden Untersuchung des Trag-, Verformungs- und Spaltverhaltens gegenüber der Rißlinie **versetzter** und **unversetzter** maschineller Nagelung und in der Erarbeitung von Vorschlägen zur Bemessung von Nagelverbindungen ohne (die in der DIN 1052 vorgeschriebene) Rißlinienversetzung bei maschineller Nagelung.

Sämtliche Versuchskörper waren maschinell (Streifennagler bei \varnothing 3,1 mm bis 4,6 mm, Meißelhammer bei \varnothing 6 mm) genagelt. Die Nägel hatten folgende Durchmesser und Beschaffenheit:

- 3,1 mm, glatt und gerillt
- 3,8 mm, glatt und gerillt
- 4,2 mm, glatt
- 4,6 mm, glatt
- 6,0 mm, glatt

Folgende Versuchsreihen wurden durchgeführt:

- a) Vorversuche: reine Spaltversuche ohne statische Belastung bei einer Holzfeuchte von 14 %
- b) Hauptversuche: Spalt- und statische Versuche
Beobachtung des Spaltverhaltens (10 % Holzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt) und anschließend statische Belastung nach ISO 6891 mit innenliegenden Mindestholzdicken (zweischnittige Verbindungen) und außenliegenden Mindestholzdicken (einschnittige Verbindungen) bei einer Holzfeuchte von 10 %
- c) Zusatzversuche:
 - statische Belastung nach ISO 6891 mit innenliegenden Mindestholzdicken (zweischnittige Verbindungen) mit unterschiedlichen Holzfeuchten zum Einschlag- und Prüfzeitpunkt. Zweck: Einfluß der Holzfeuchtigkeit zum Einschlagzeitpunkt und zum Prüfzeitpunkt auf das Trag- und Verformungsverhalten.
 - Vergleich zwischen Maschinen- und Handnagelung
 - Ermittlung der Bruchlast im Kurz-Zeitversuch nach vorangegangener Langzeitbelastung mit $1,5 \cdot N$

- d) Langzeitversuche: statische Belastung mit $1,0 * \text{zul P}$ und $1,5 * \text{zul P}$ mit innenliegenden Mindestholzdicken (zweischnittige Verbindungen) bei einer Holzfeuchte von 10 %
- e) Nachträgliche Spaltversuche: Spaltversuche ohne statische Belastung bei Holzfeuchten von 10 und 14 %

Aufgrund der Ergebnisse dieser Versuchsreihen kann für eine unversetzte Nagelung die folgende **Empfehlung** ausgesprochen werden:

bei unversetzter Nagelung ist einzuhalten:

- Nageldurchmesser $\leq 3,8 \text{ mm}$
- Nagelabstand $\parallel Fa$ untereinander $\geq 12,5 d_n$
- Nagelabstand zum belasteten Rand $\parallel Fa \geq 1,5 * 12,5 d_n$
- Mindestholzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt $u \geq 14 \%$
- Wenn möglich, keine Verwendung von Mindestholzdicken

Unter diesen Voraussetzungen kann bei unversetzter Nagelung wie bei versetzter Nagelung nach DIN 1052/T2 bemessen werden, da praktisch keine Unterschiede im Trag-, Verformungs-, und Spaltverhalten im Vergleich zur versetzten Nagelung mehr auftreten.

Darüberhinaus kann festgestellt werden:

- a) Für Nägel mit einem Nageldurchmesser von $4,2 \text{ mm}$ ist eine unversetzte Nagelung nur **beschränkt zu empfehlen**, da geringe Spaltneigung und damit gute Tragfähigkeitseigenschaften erst bei größerem Nagelabstand ($\geq 17,5 d_n$) untereinander auftreten.
- Unterschiede im Trag-, Verformungs- und Spaltverhalten zwischen "versetzt" und "unversetzt" sind nur geringfügig.

- b) Für Nägel mit einem Nageldurchmesser von $\geq 4,6$ mm ist eine unversetzte Nagelung **nicht zu empfehlen** (vgl. Kap. 4.7). Unterschiede im Trag-, Verformungs- und Spaltverhalten zwischen "versetzt" und "unversetzt" sind hier im Vergleich zu a zugunsten von "versetzt" ausgeprägter.
- c) Der Vergleich von **Maschinennagelung** und **Handnagelung** ergab praktisch keine Unterschiede in Bezug auf die **Spaltneigung** (vgl. Kap 6) und auf das **Trag- und Verformungsverhalten** (vgl. Abschn.4.6.4).

Bochum, Juli 1991

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Fakultät für Bauingenieurwesen

Lehrstuhl für Baukonstruktionen, Ingenieurholzbau und Bauphysik

Prof. Dr.-Ing. E. Reyer

D 4630 Bochum

Universitätstrasse 150



.....
Prof. Dr.-Ing. E Reyer



.....
Dipl.-Ing. P. Linzner

9 Anhang

Kraft - Weg Diagramme für alle Versuche

Seite A1 bis A160

Fotodokumentation der Versuche

Seite A161 bis A165

Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,1

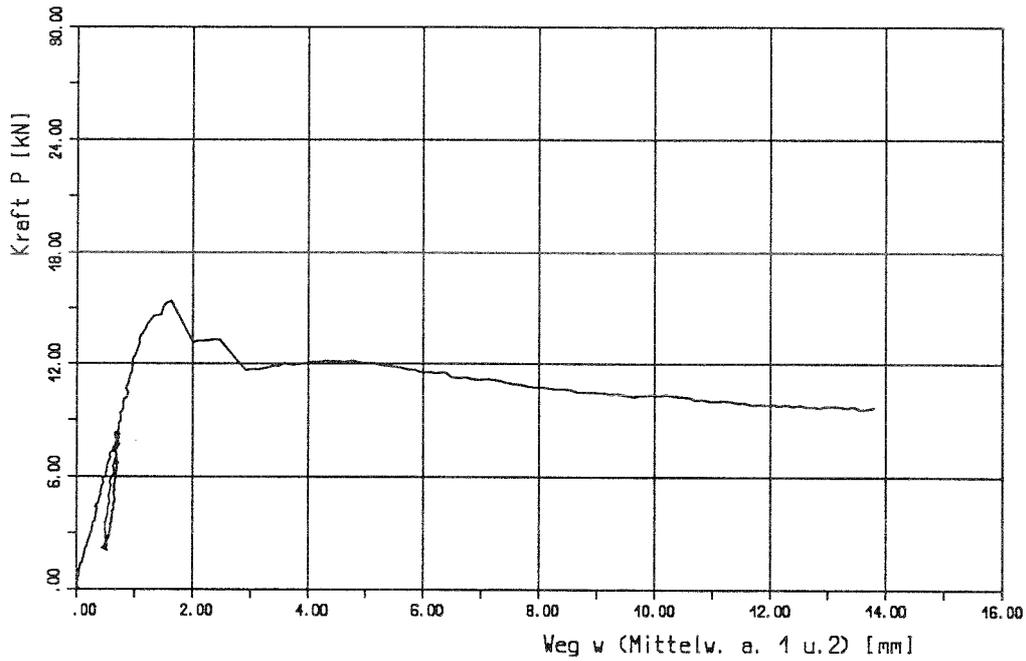


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,1

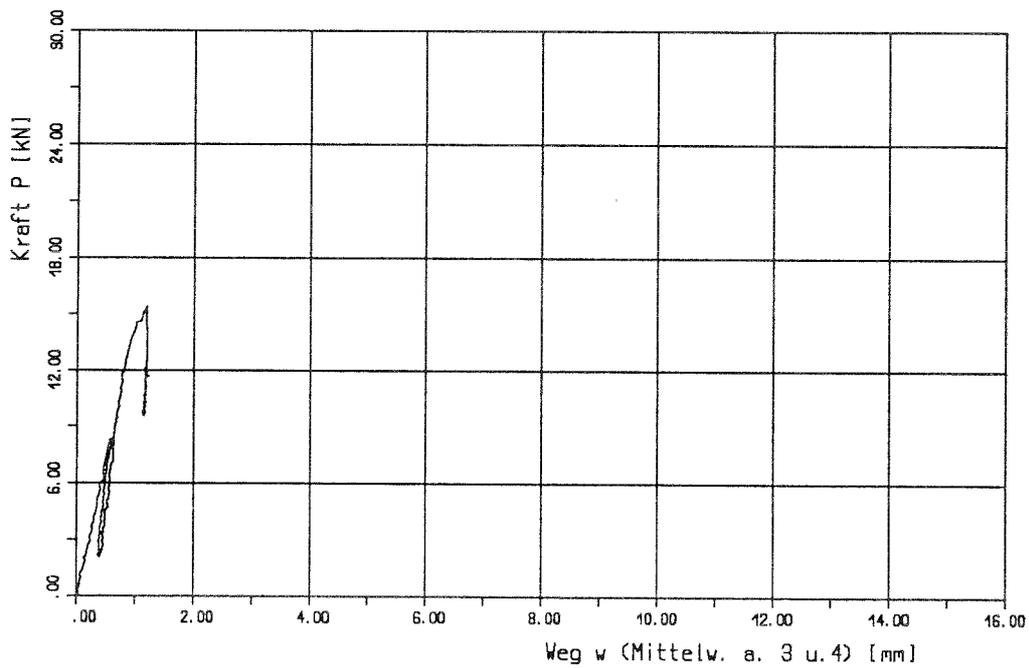


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,2

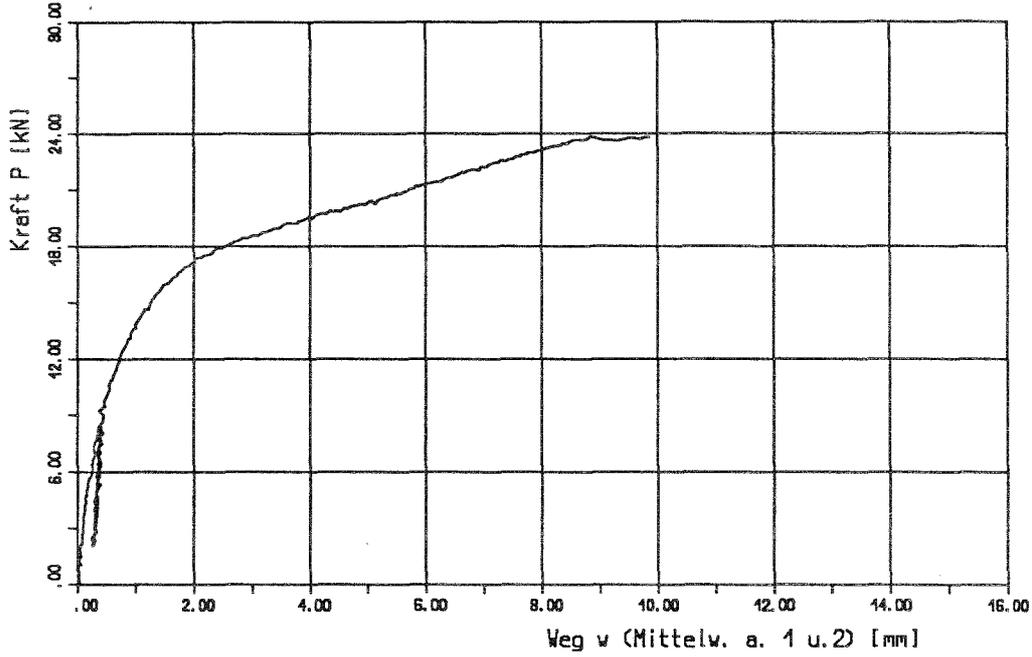


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,2

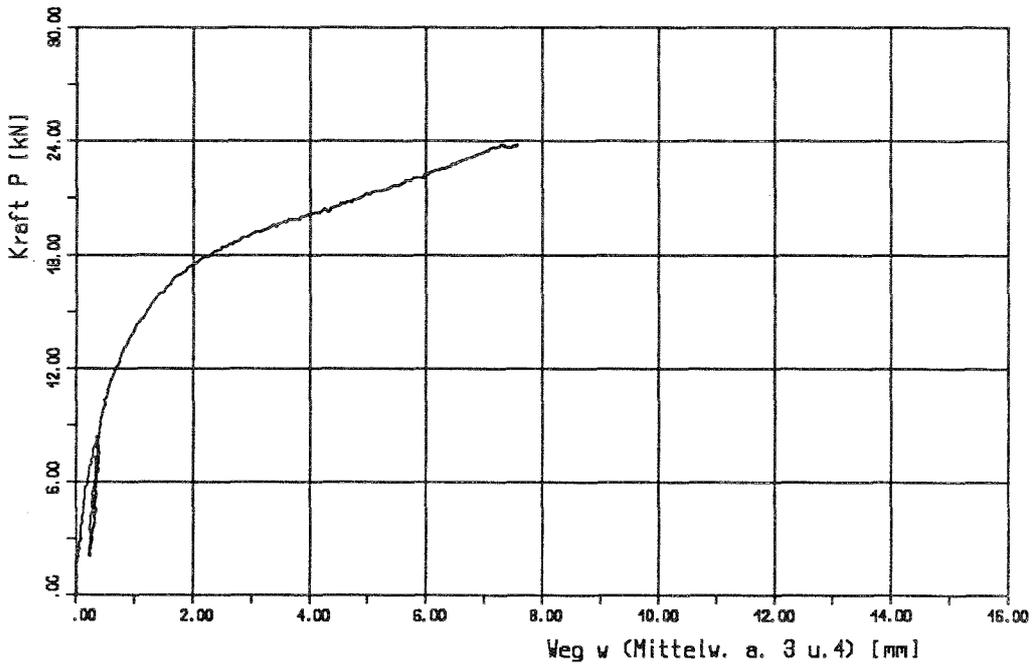


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,3

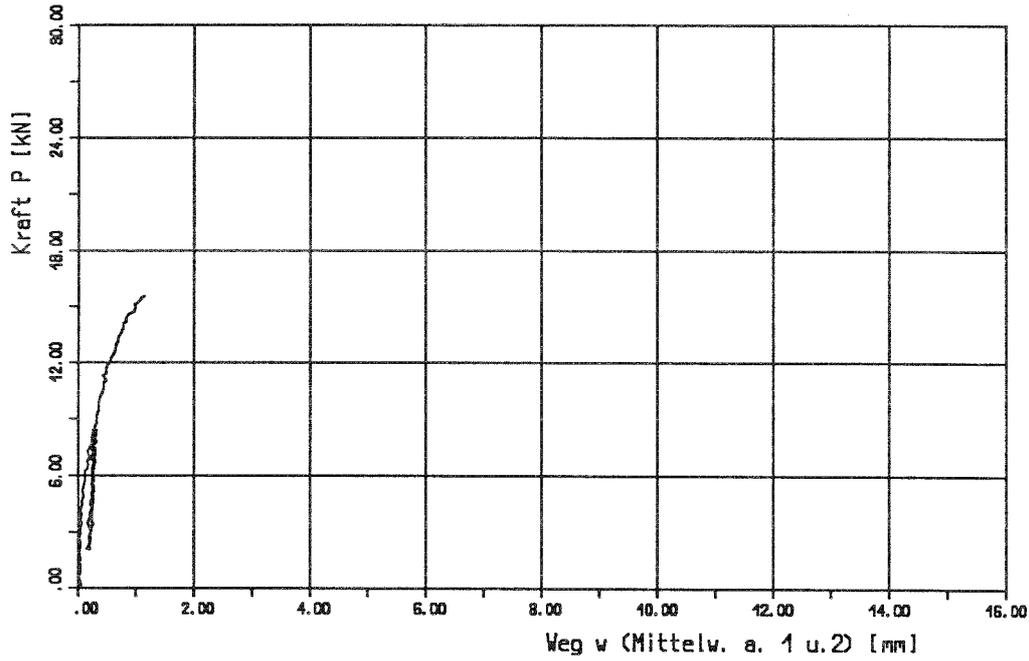


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,3

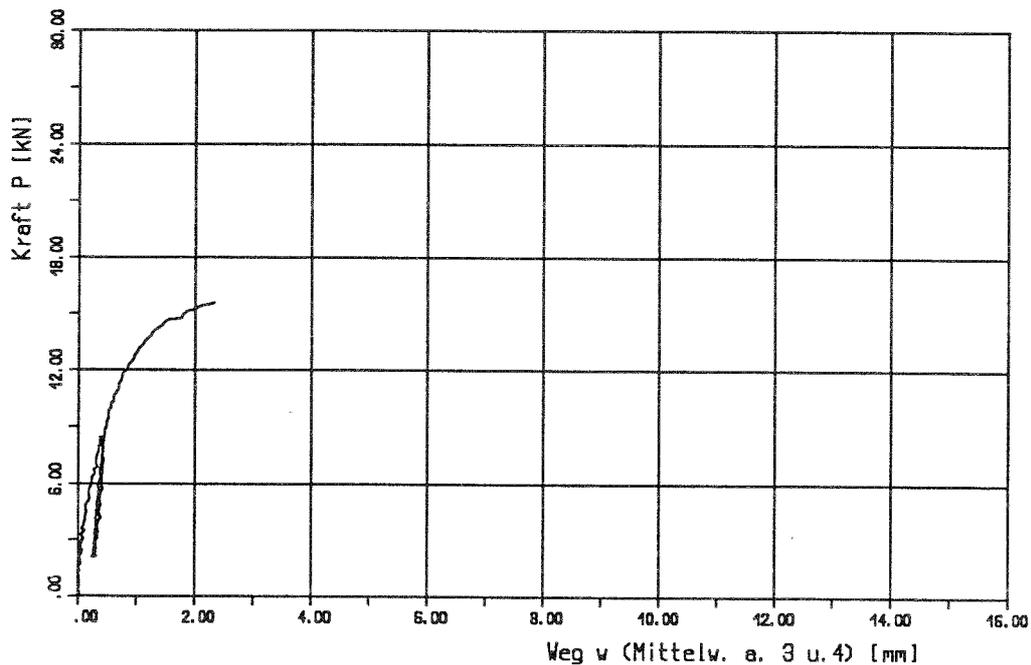


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2, 4

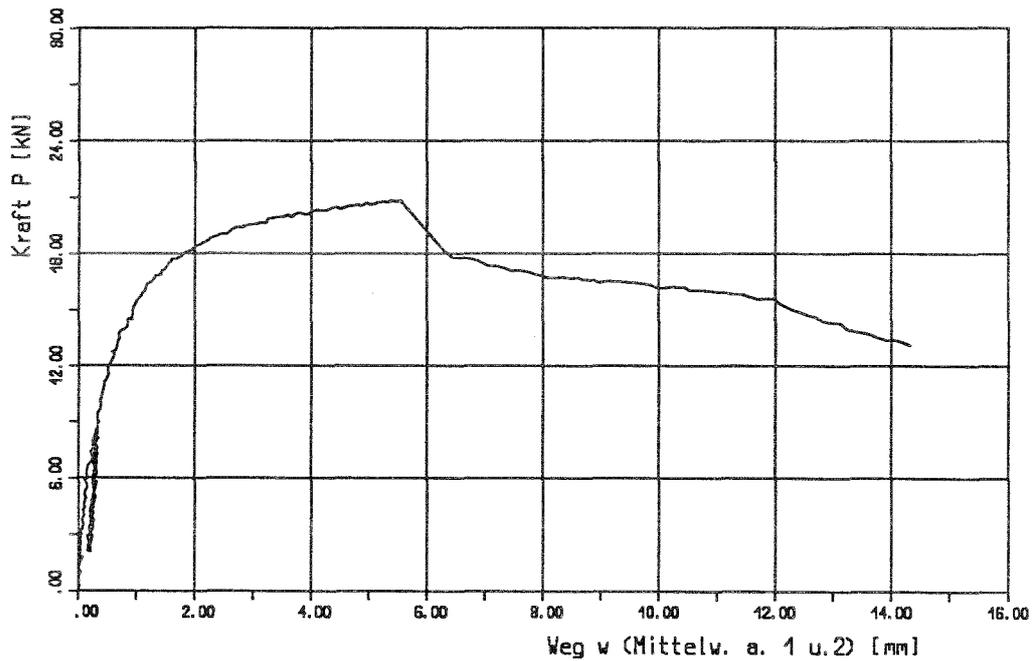


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2, 4

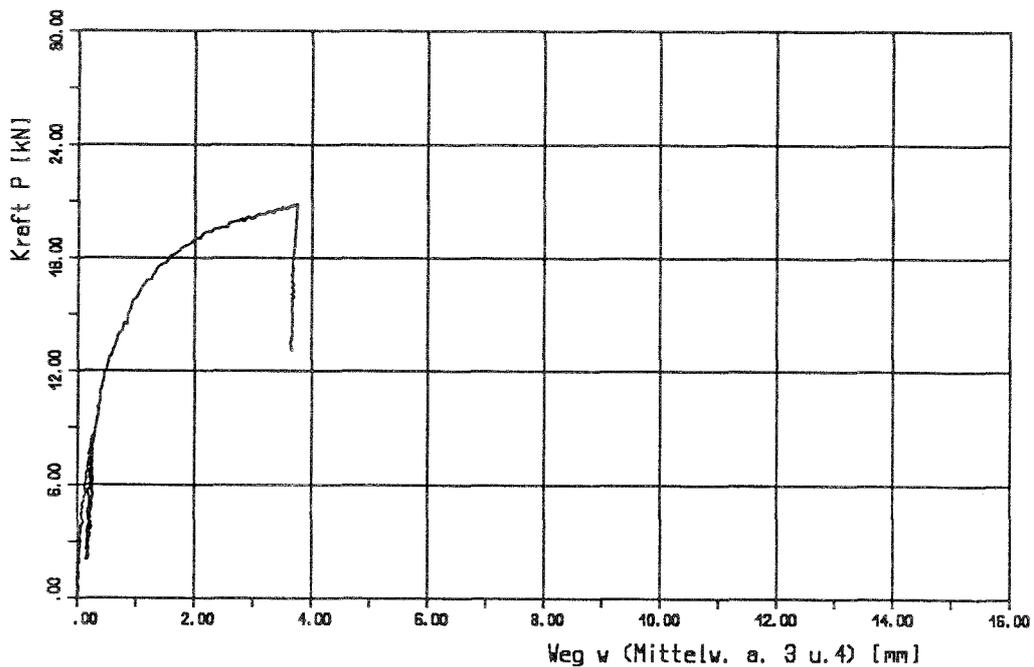


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,5

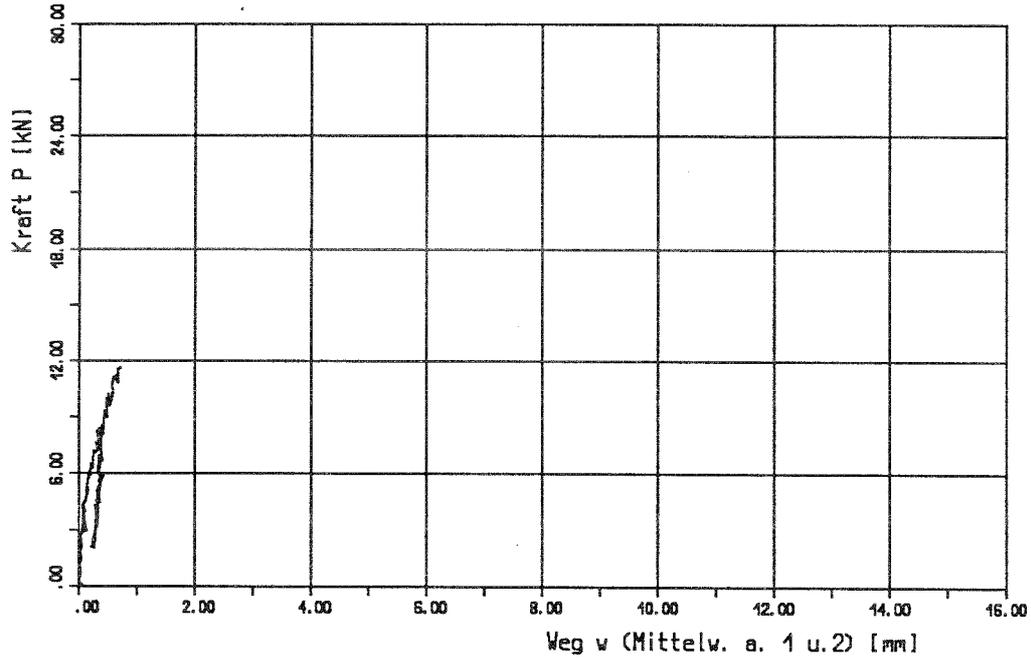


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,5

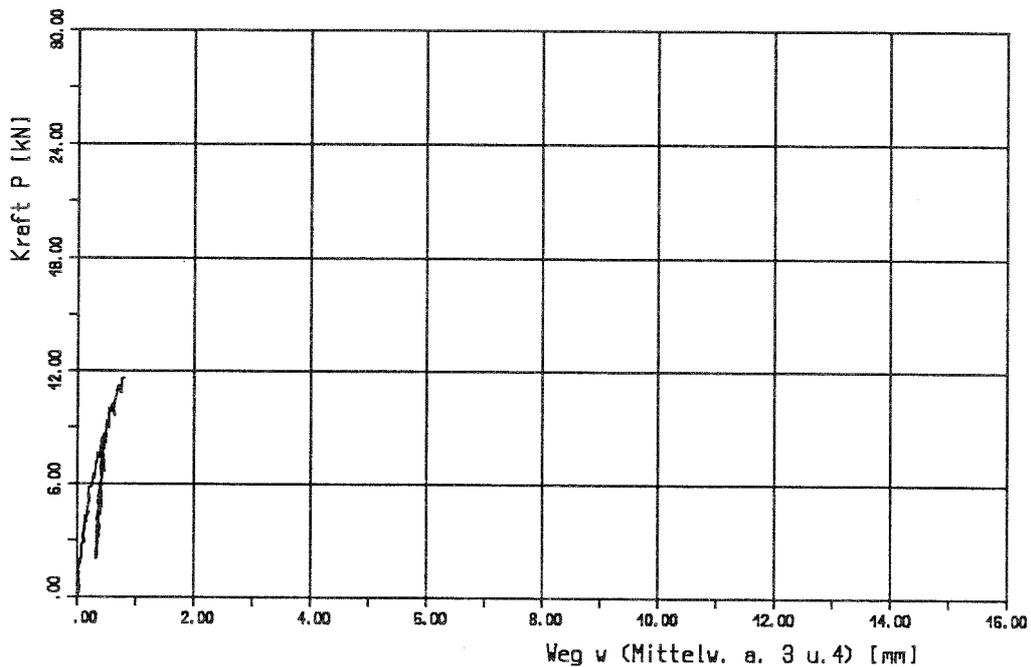


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,6

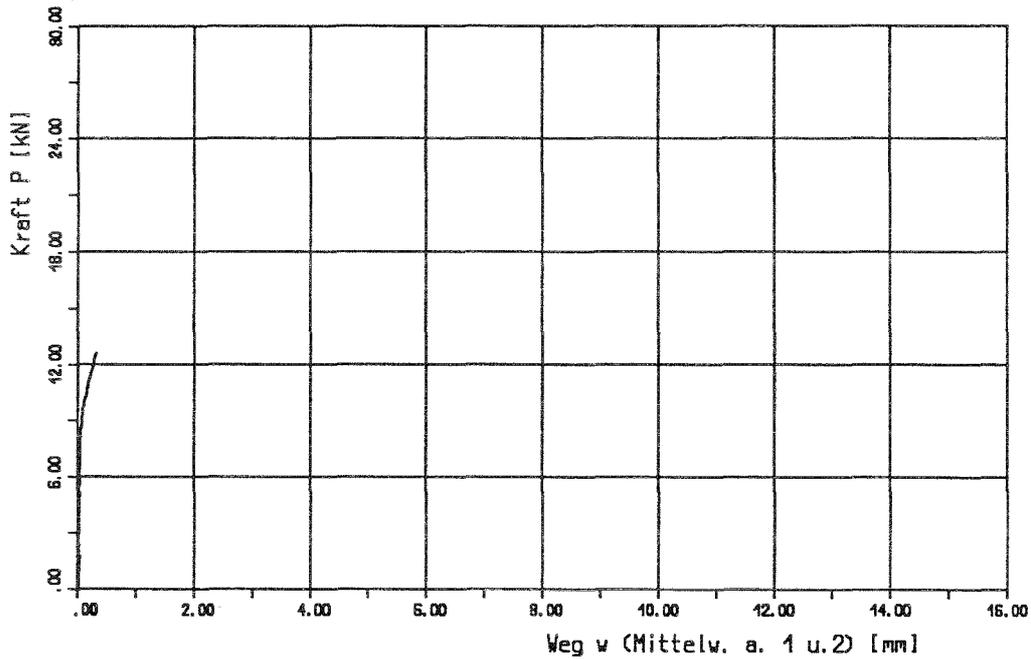


Bild 3: unversetzte Nagelung ; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,6

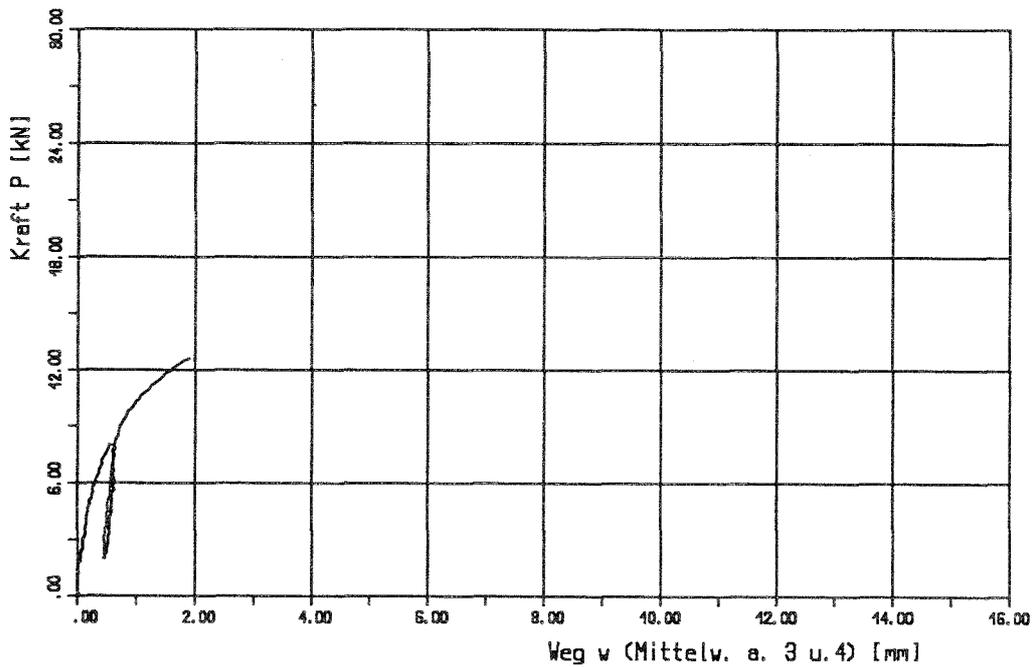


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: I2,7

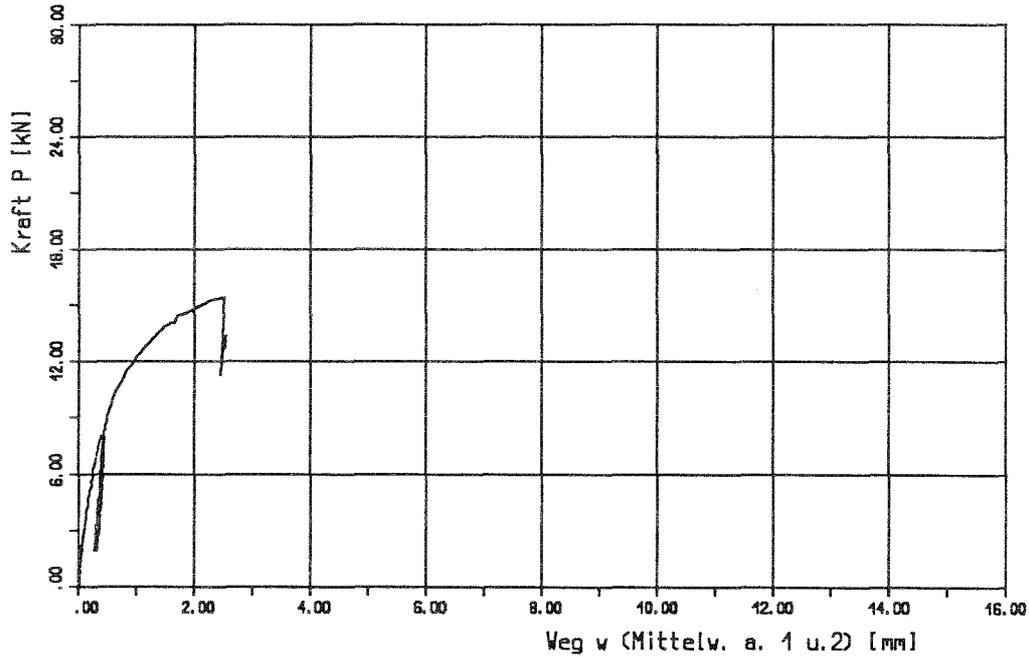


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: I2,7

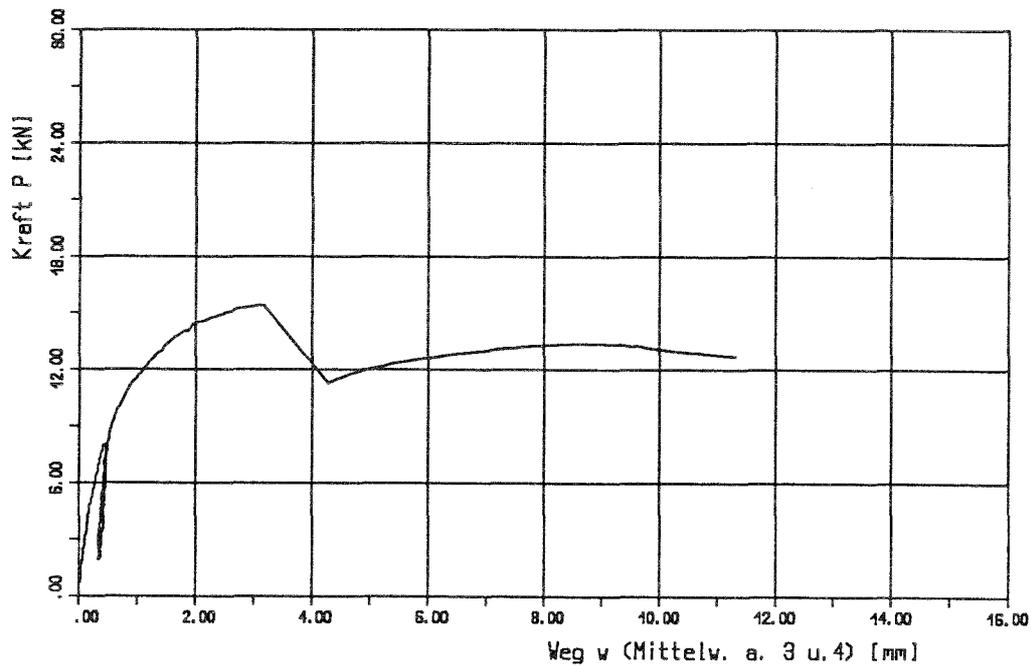


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: I2,8

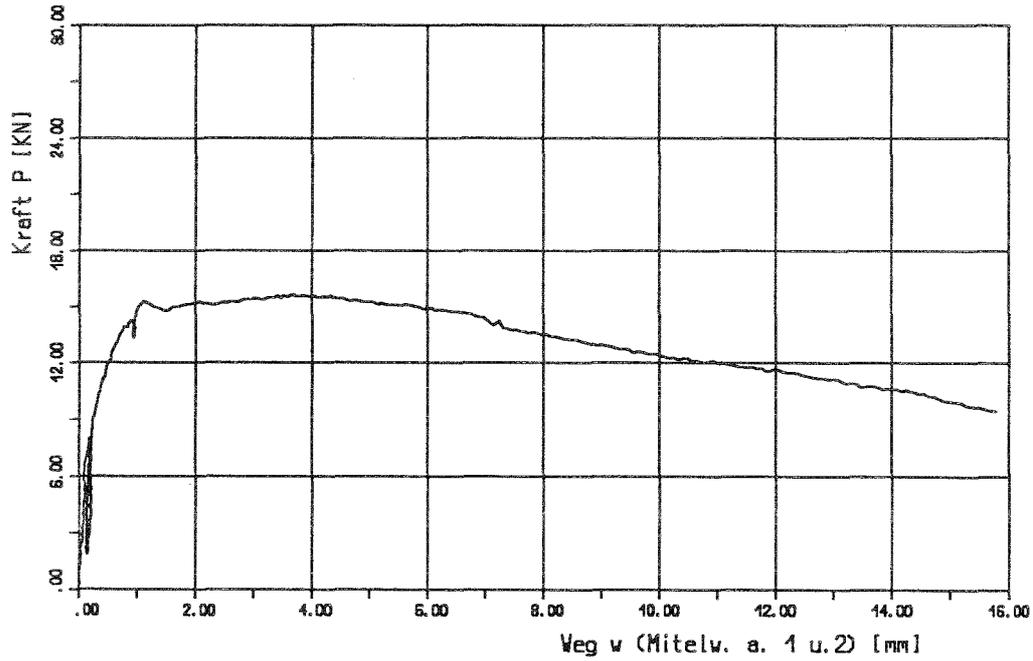


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: I2,8

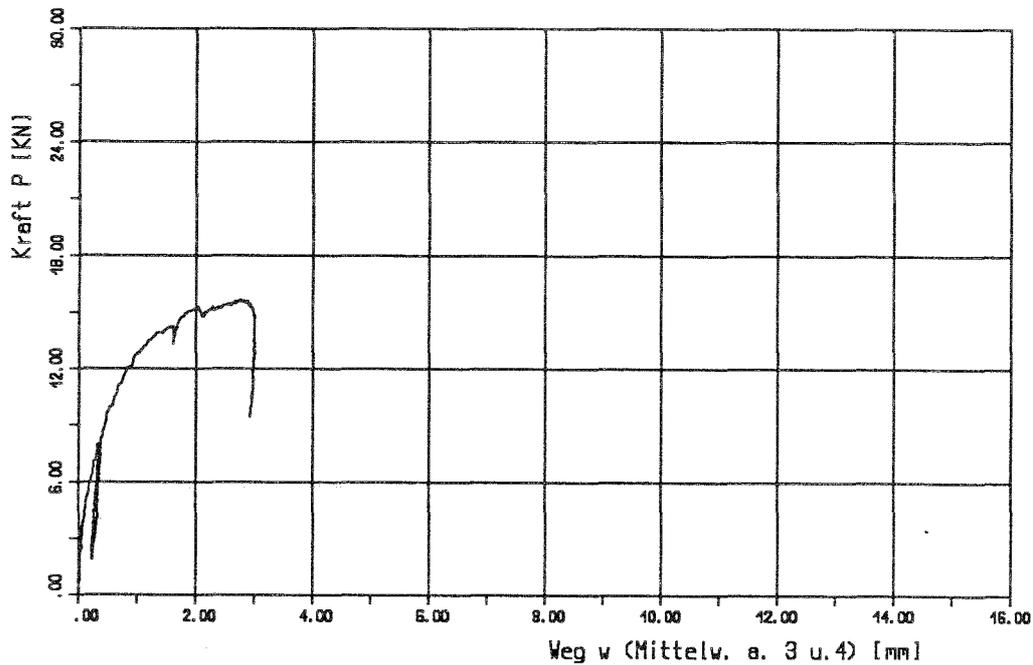


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,9

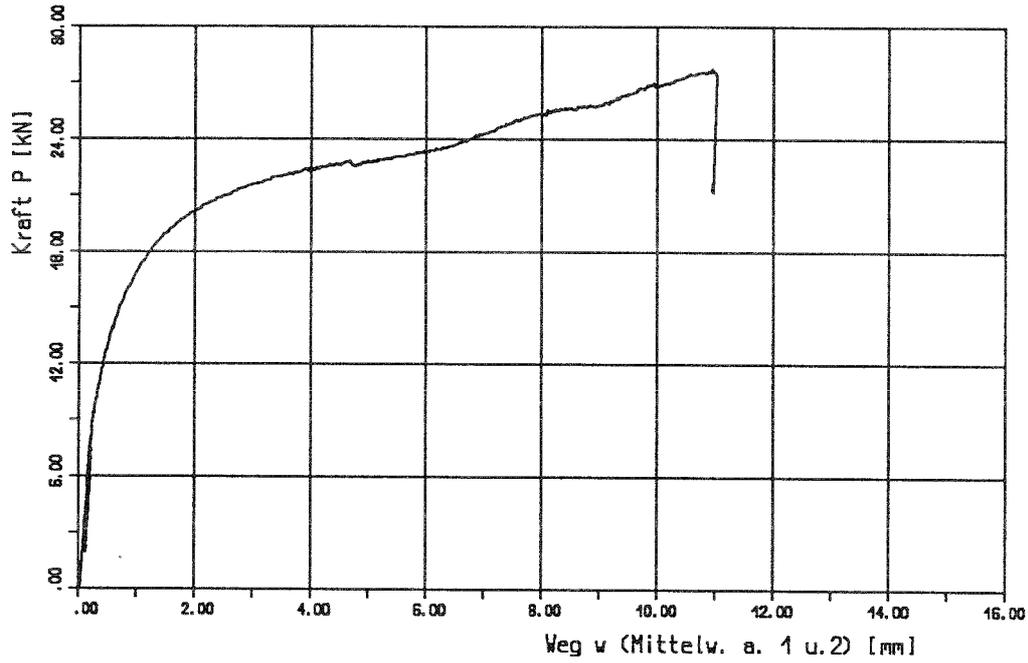


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,9

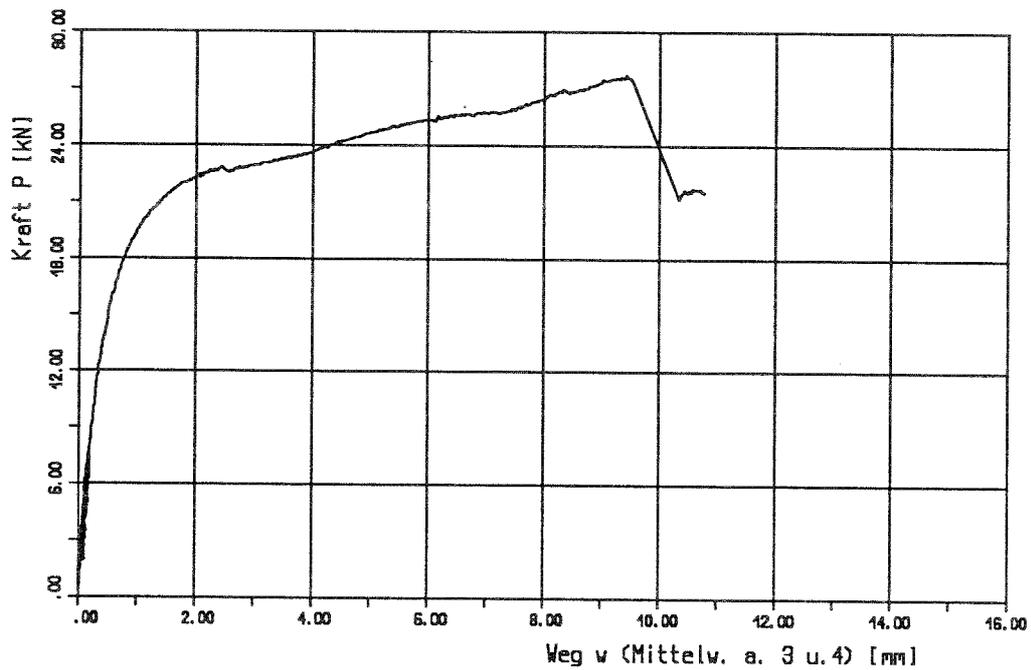


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch I2,10

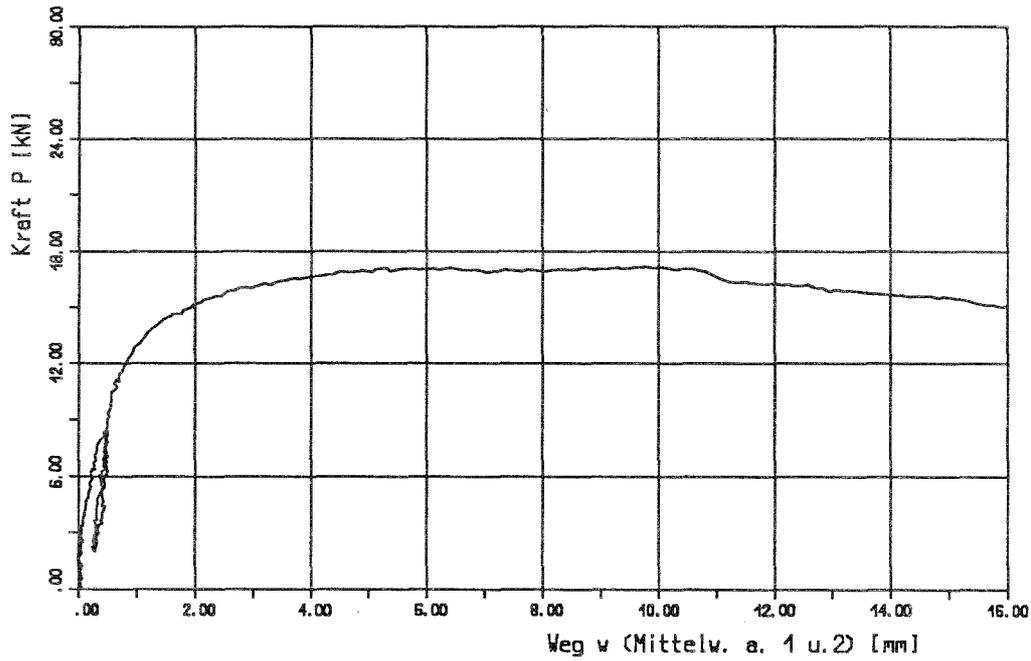


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch I2,10

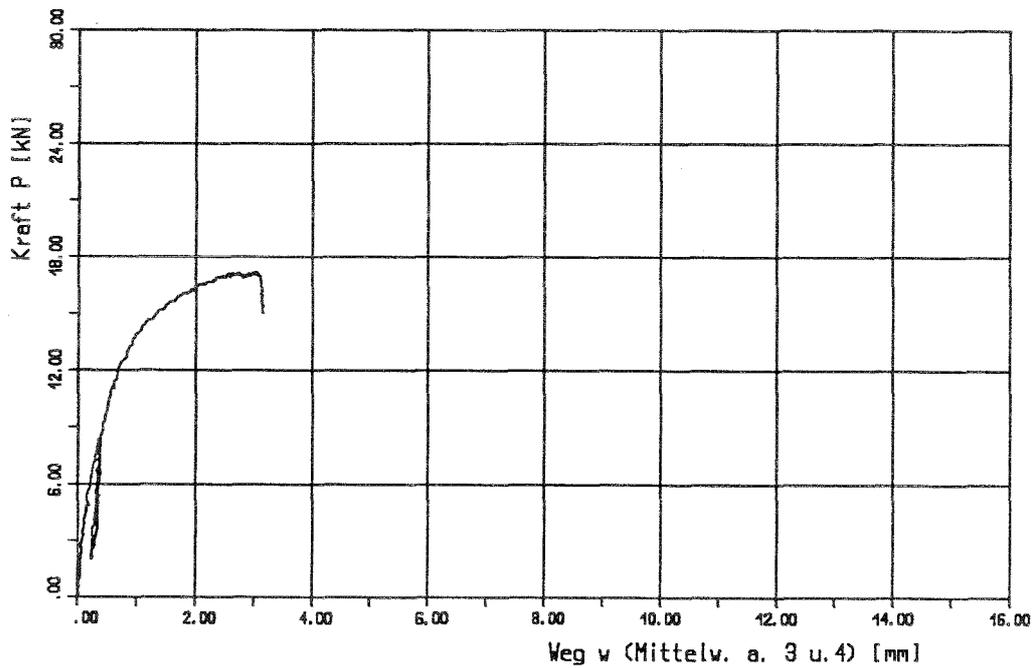


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,11

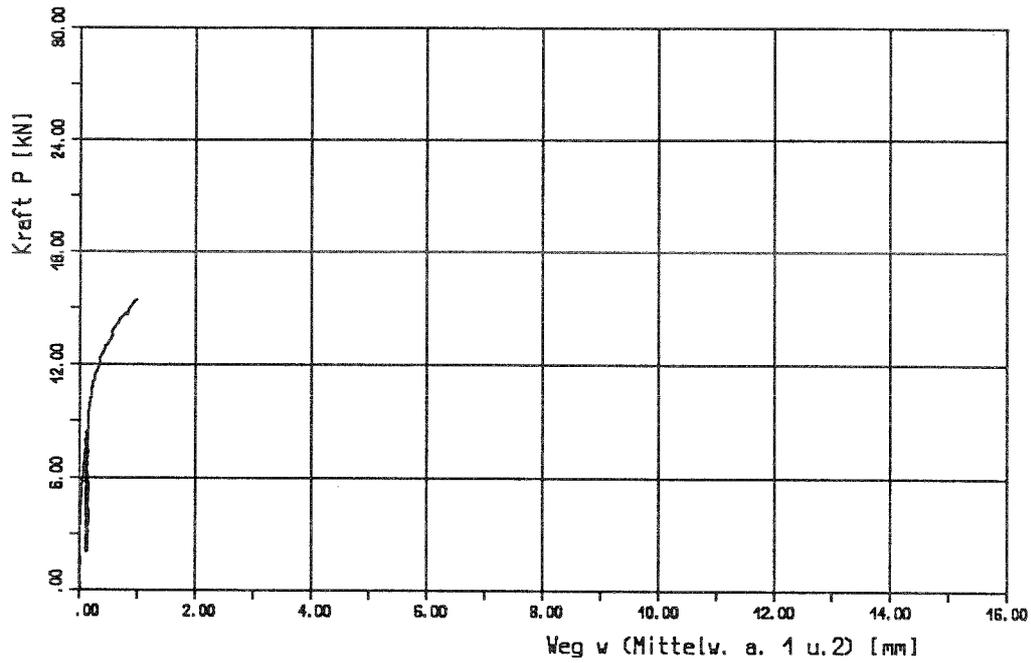


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I2,11

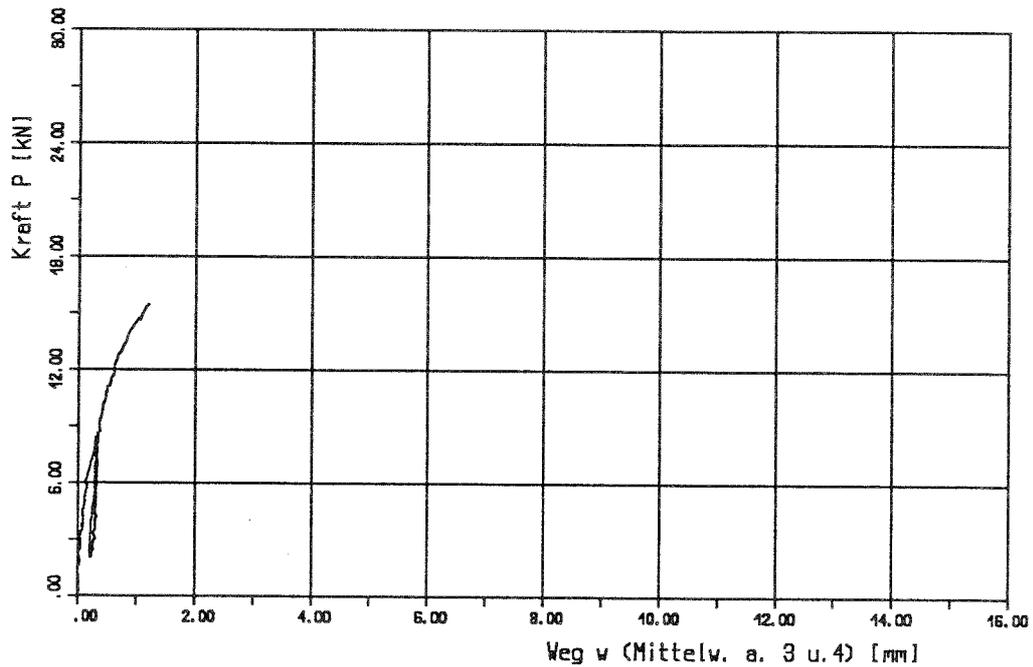


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,1

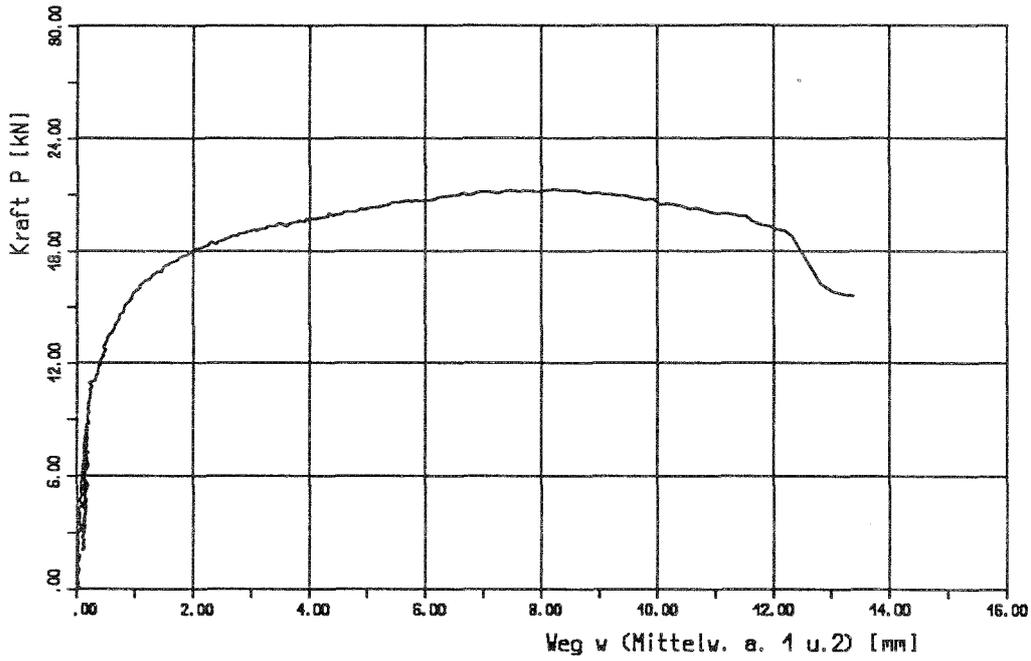


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,1

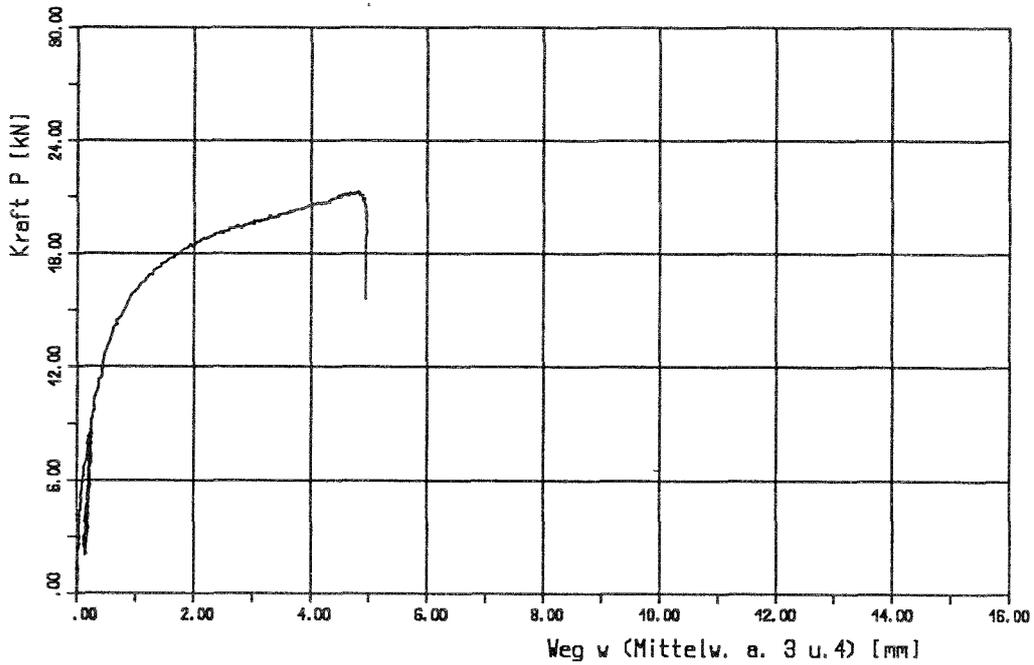


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: II2,2

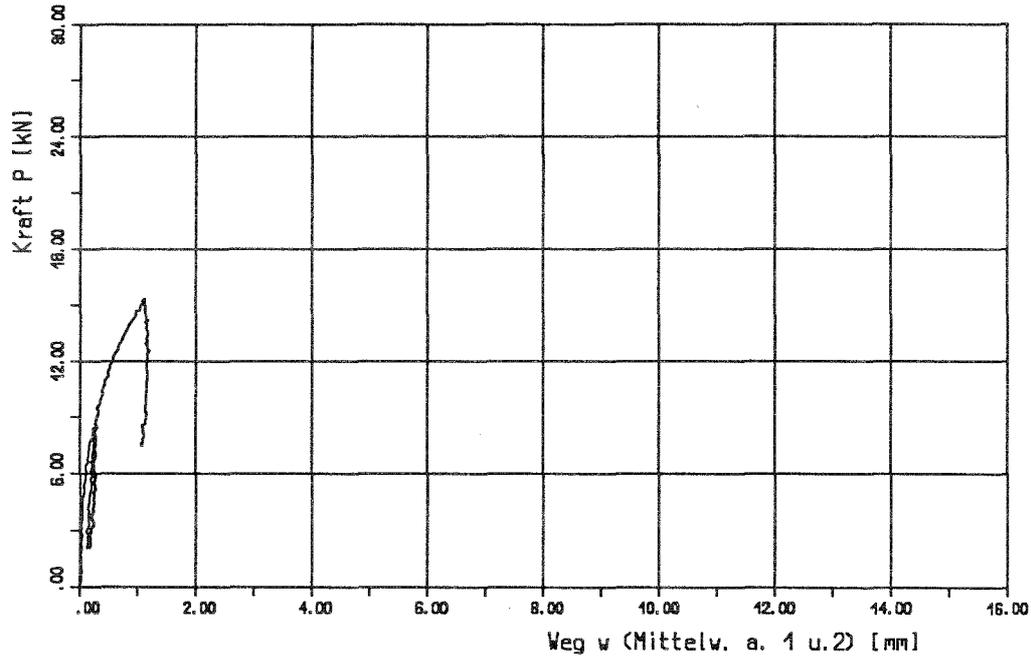


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: II2,2

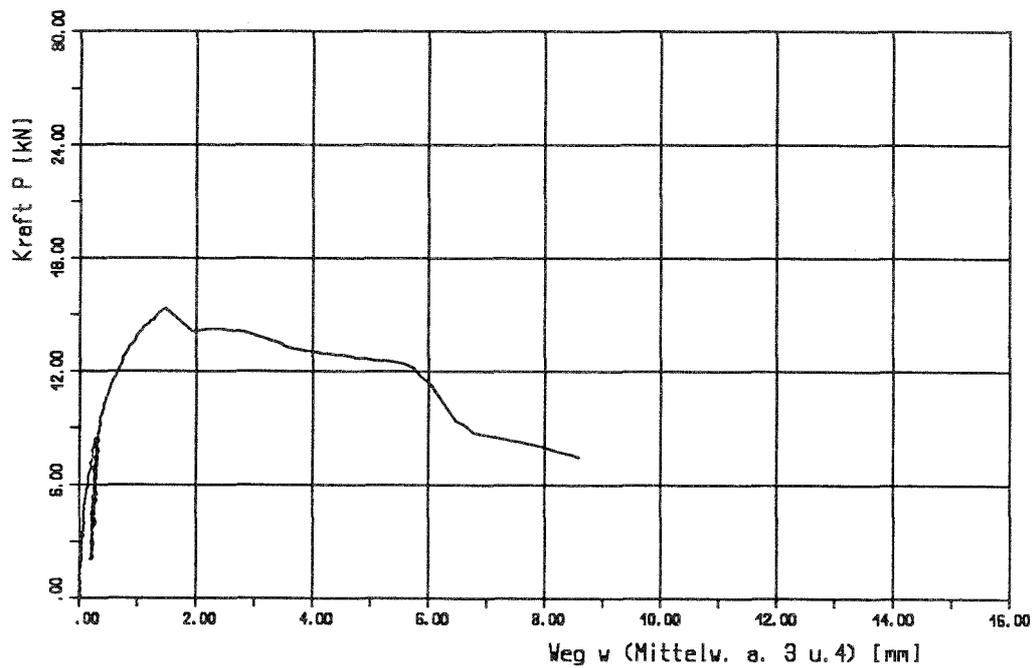


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: II2,6

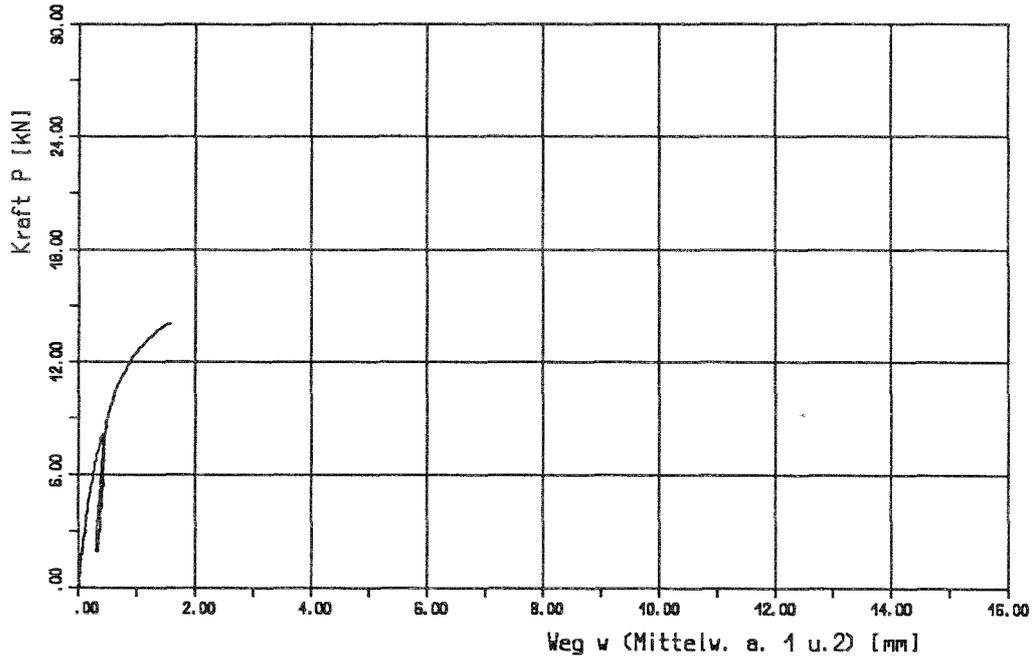


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: II2,6

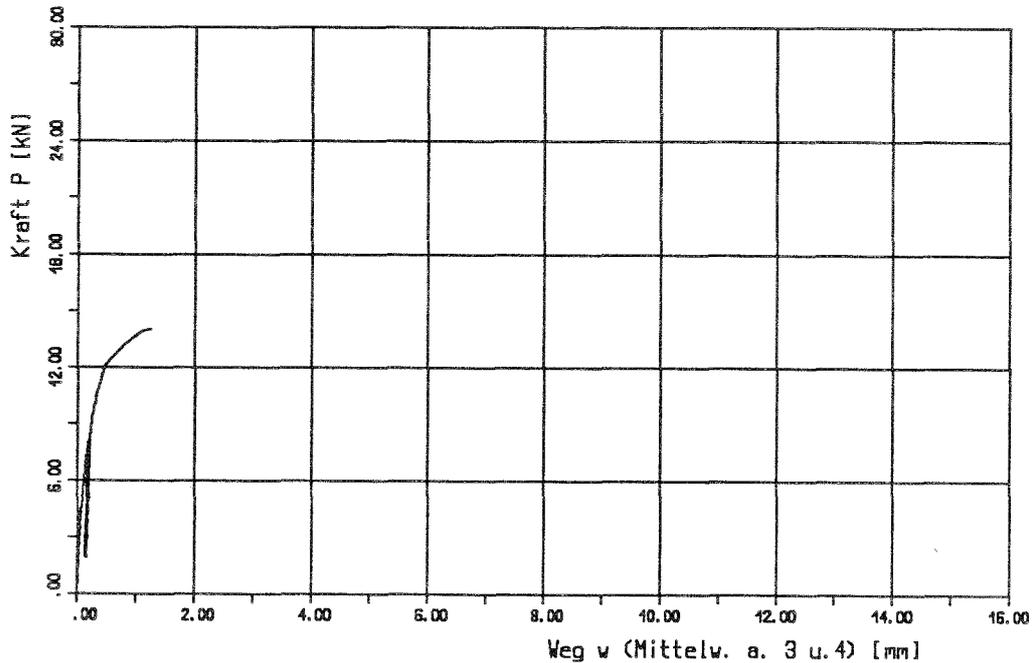


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,7

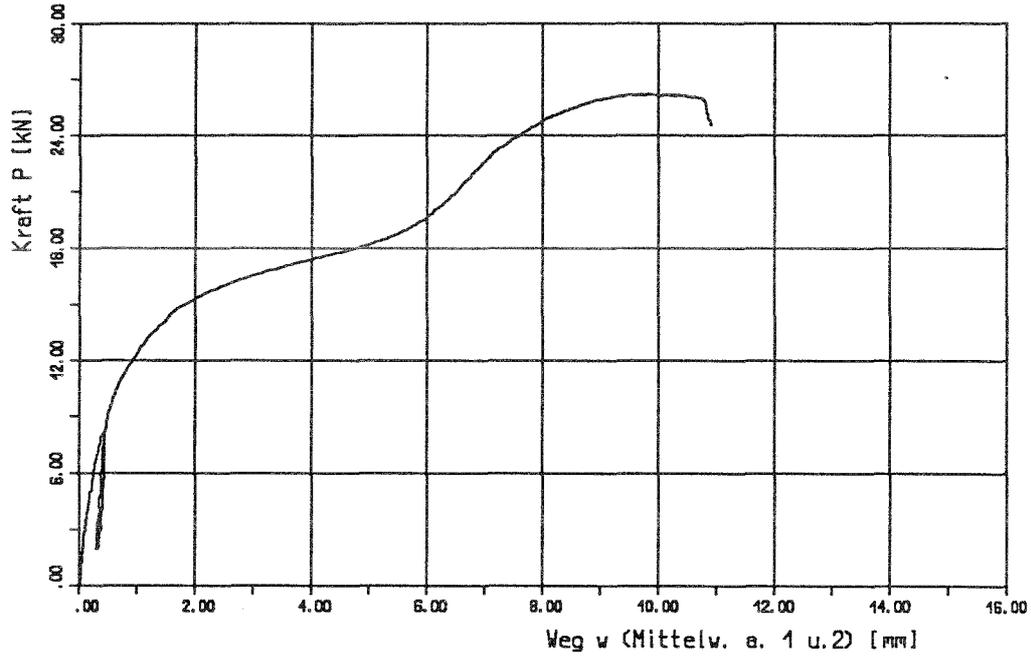


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,7

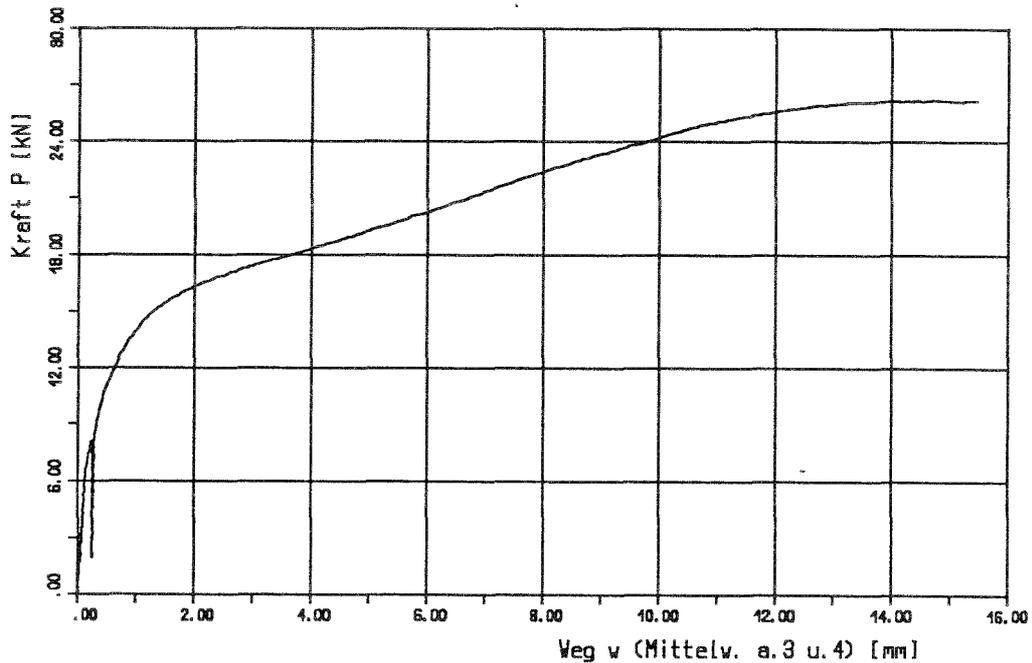


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,8

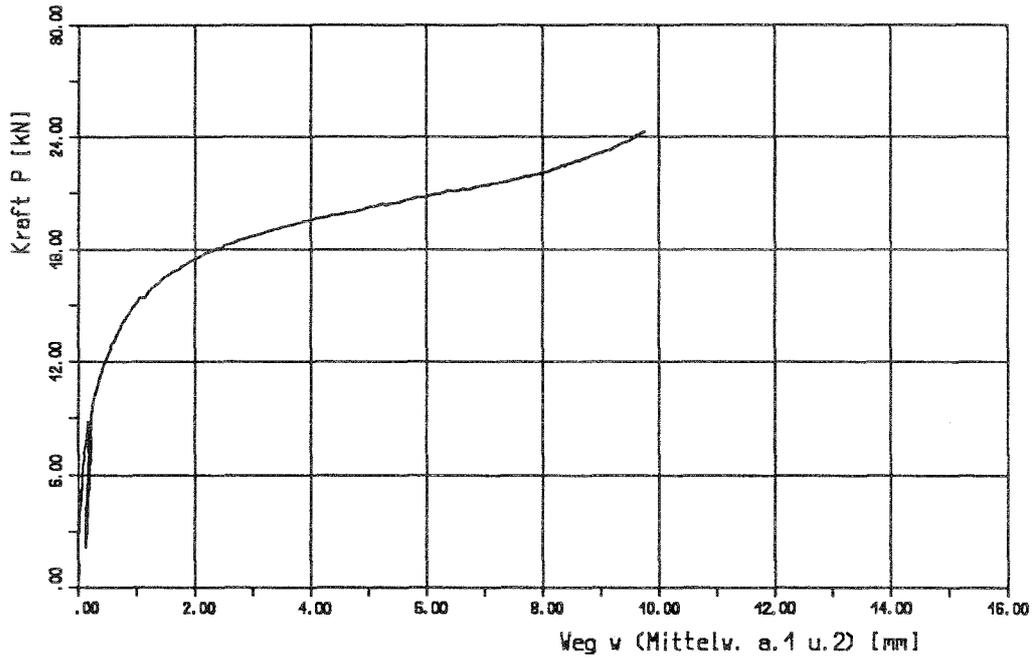


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,8

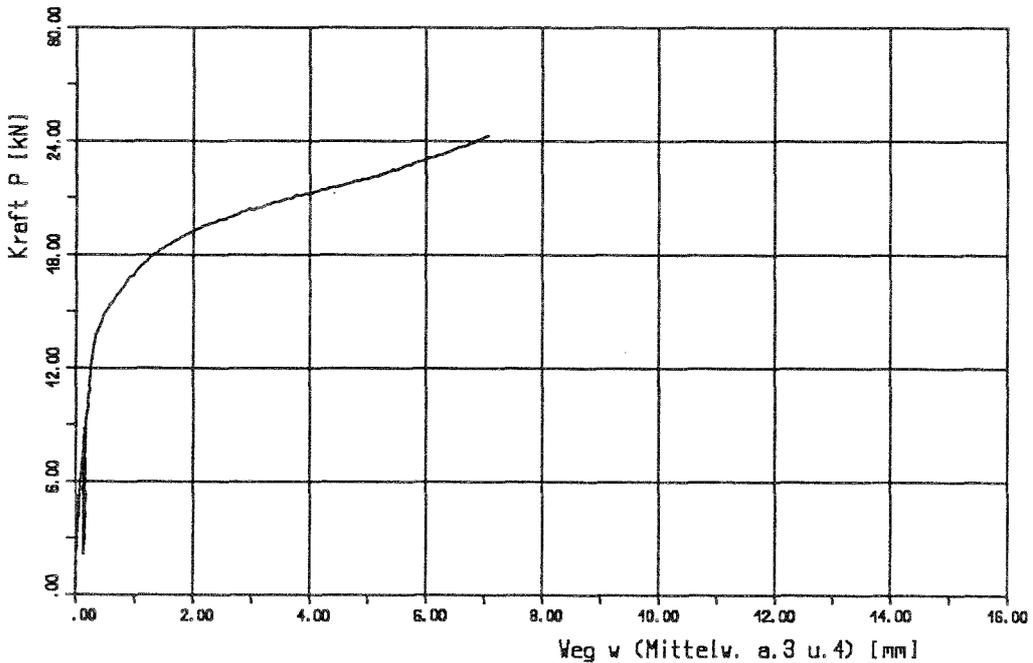


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,9

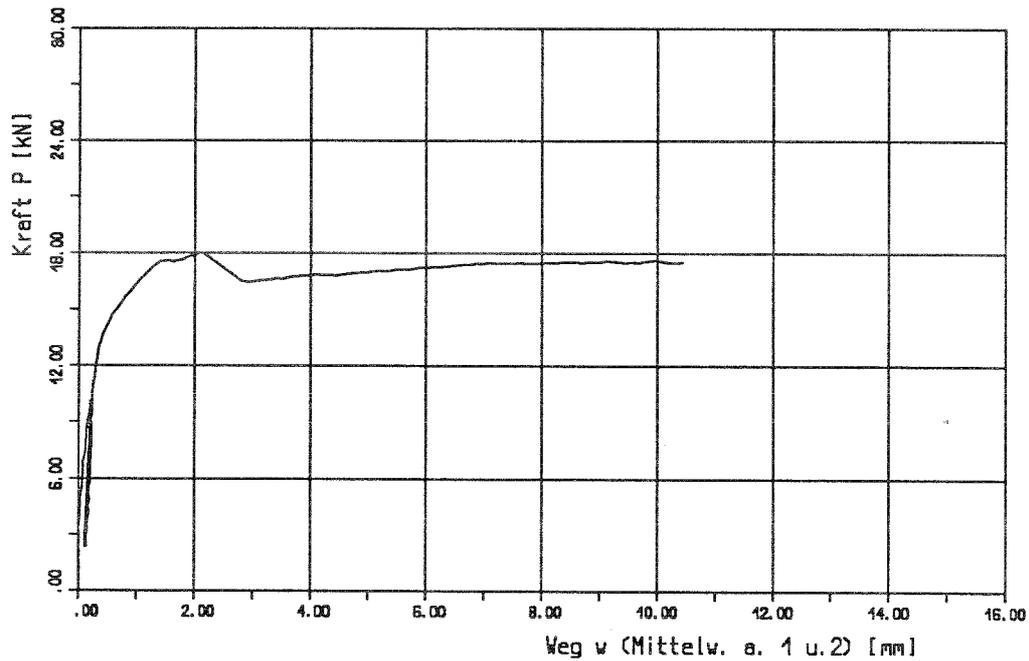


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II2,9

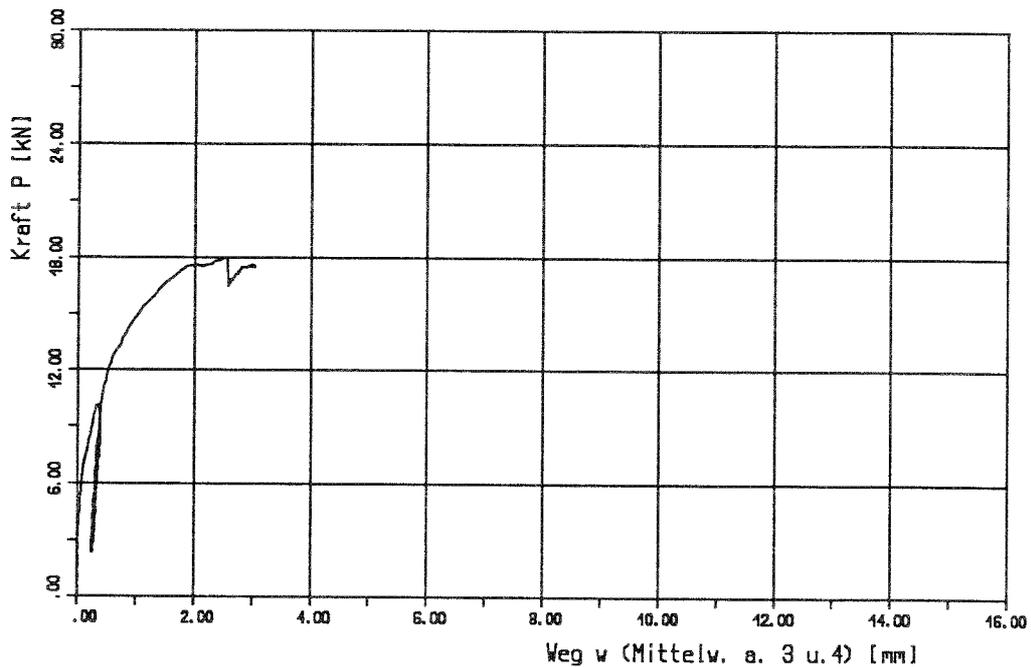


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: III2,2

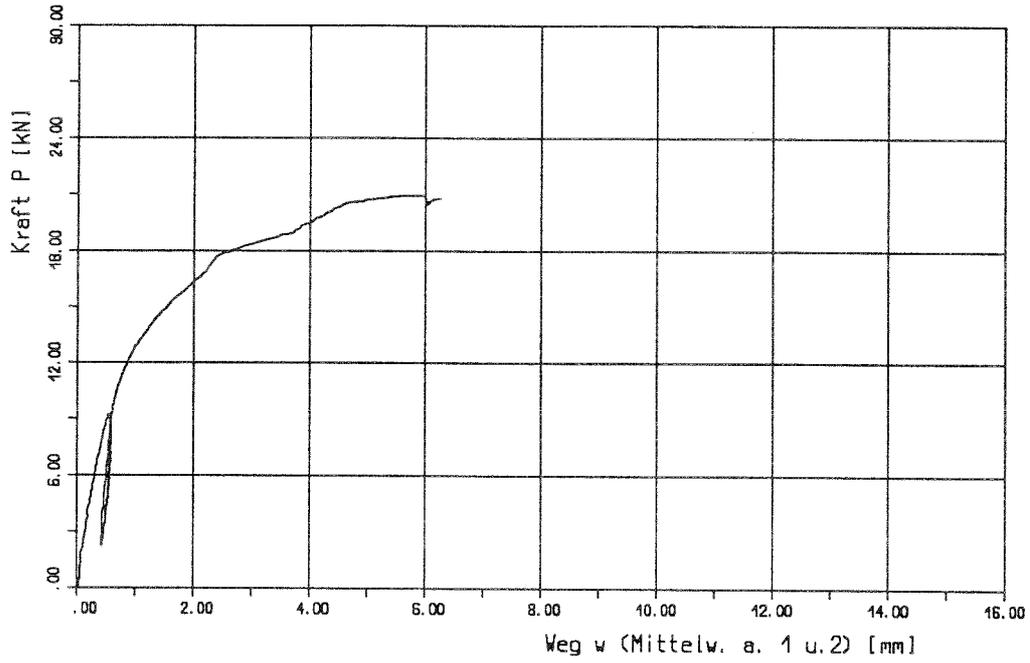


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: III2,2

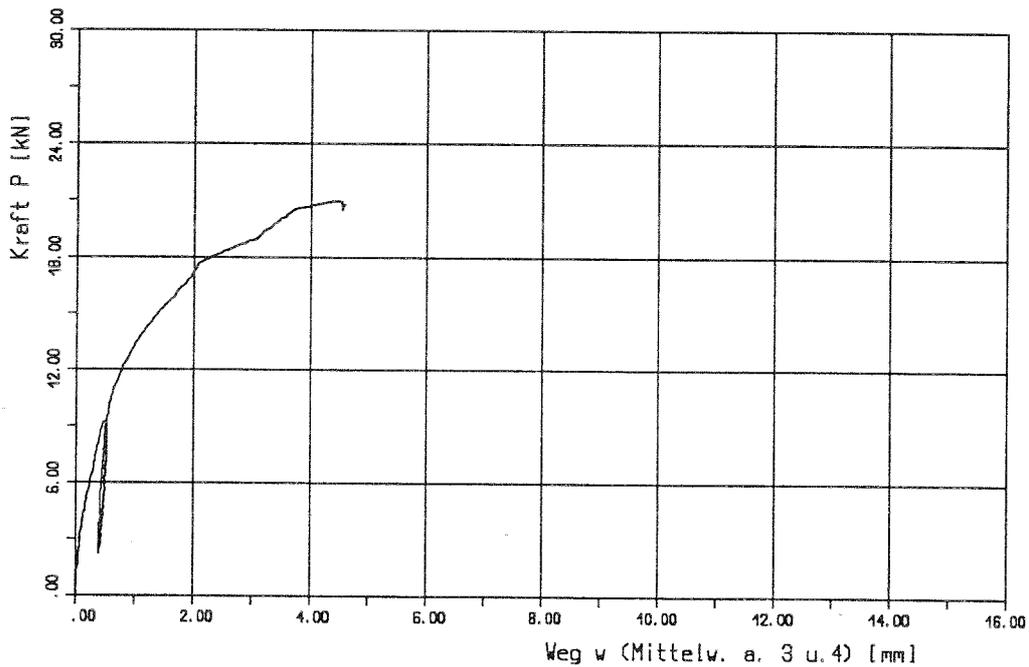


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,3

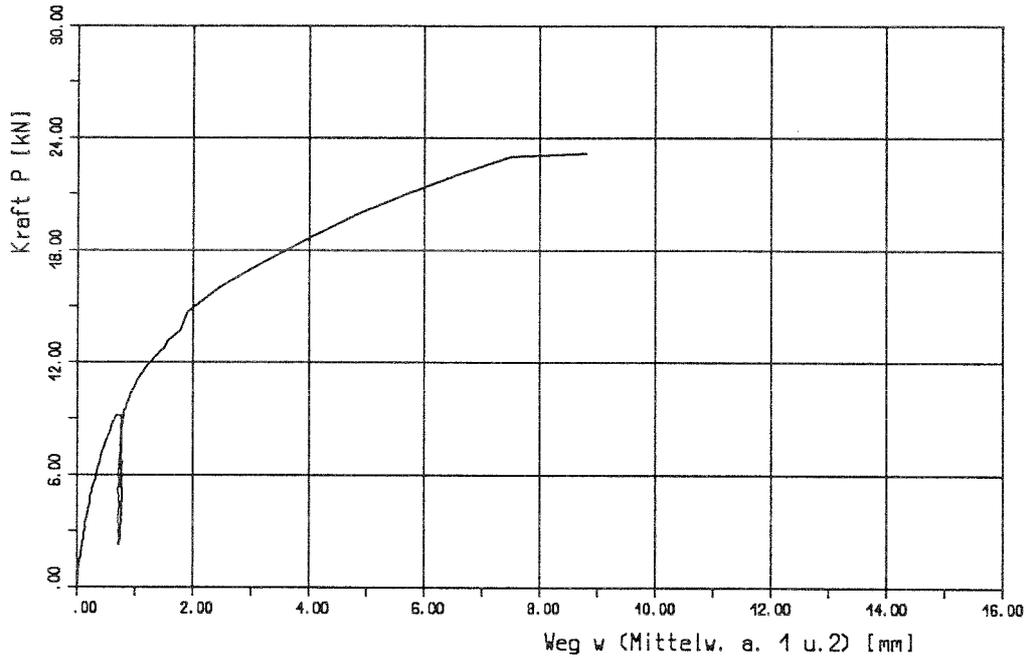


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,3

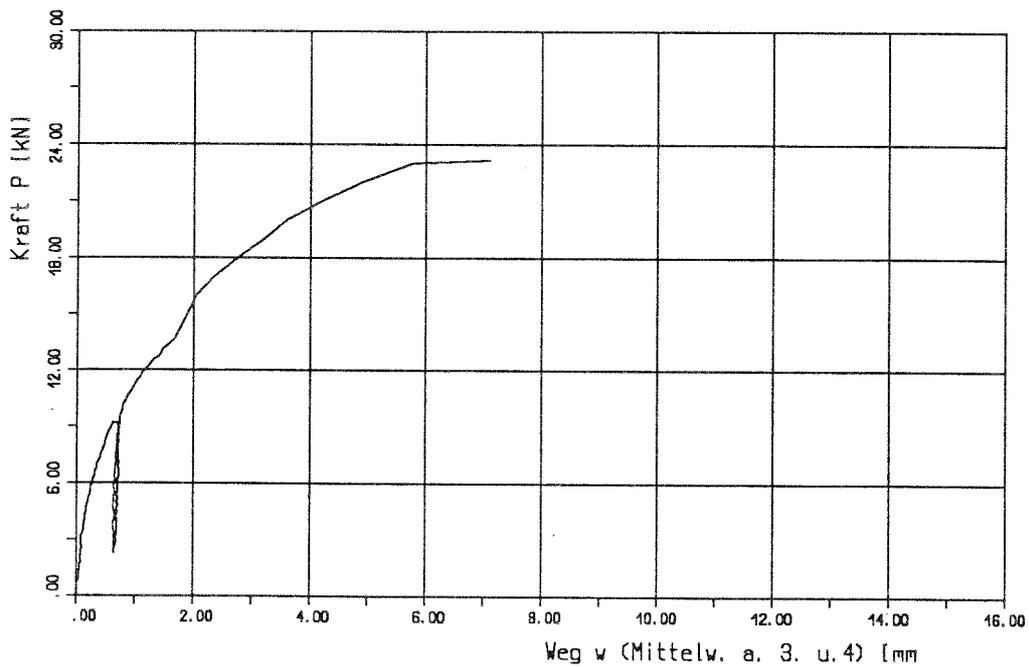


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2, 4

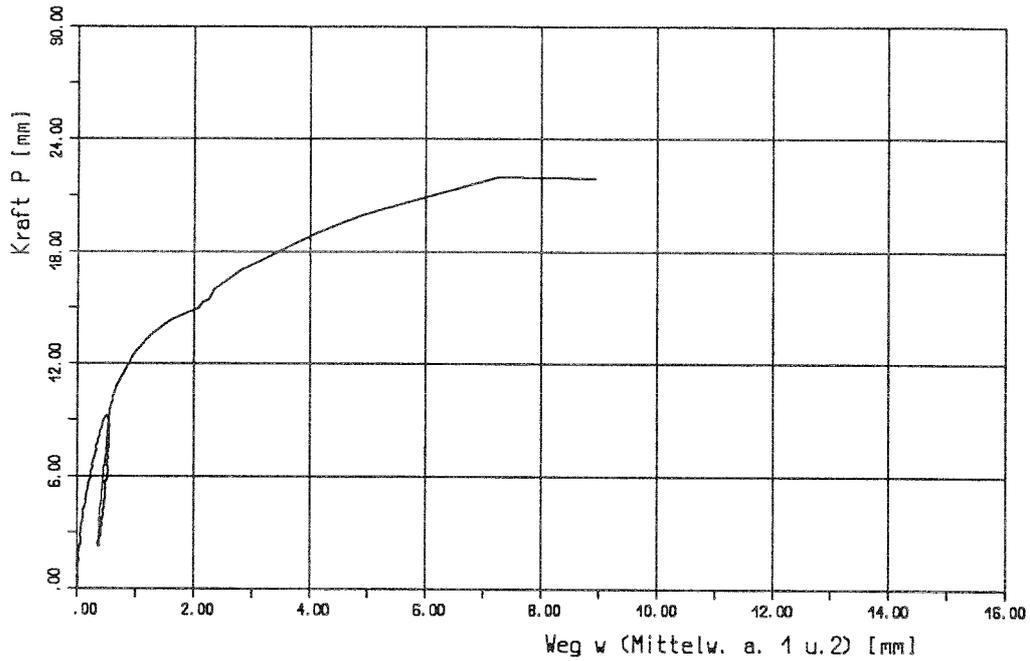


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2, 4

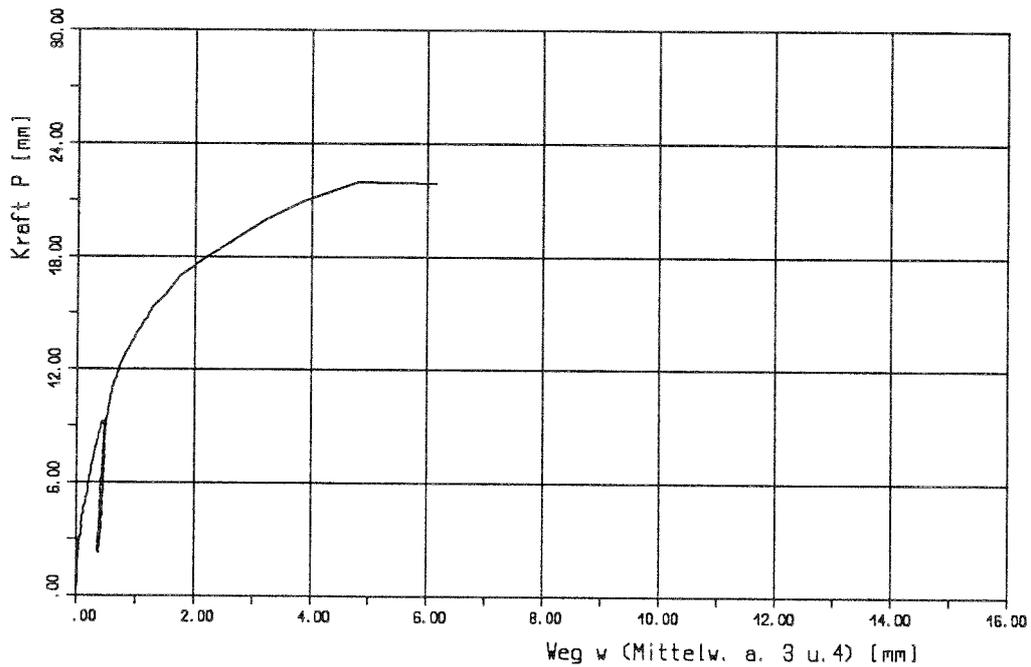


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,5

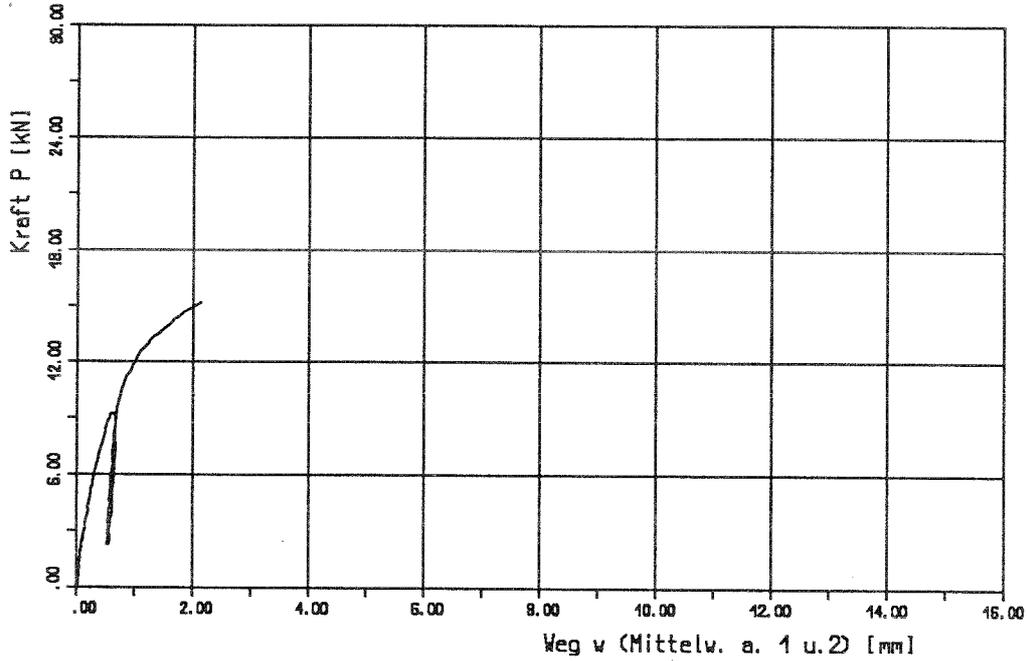


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,5

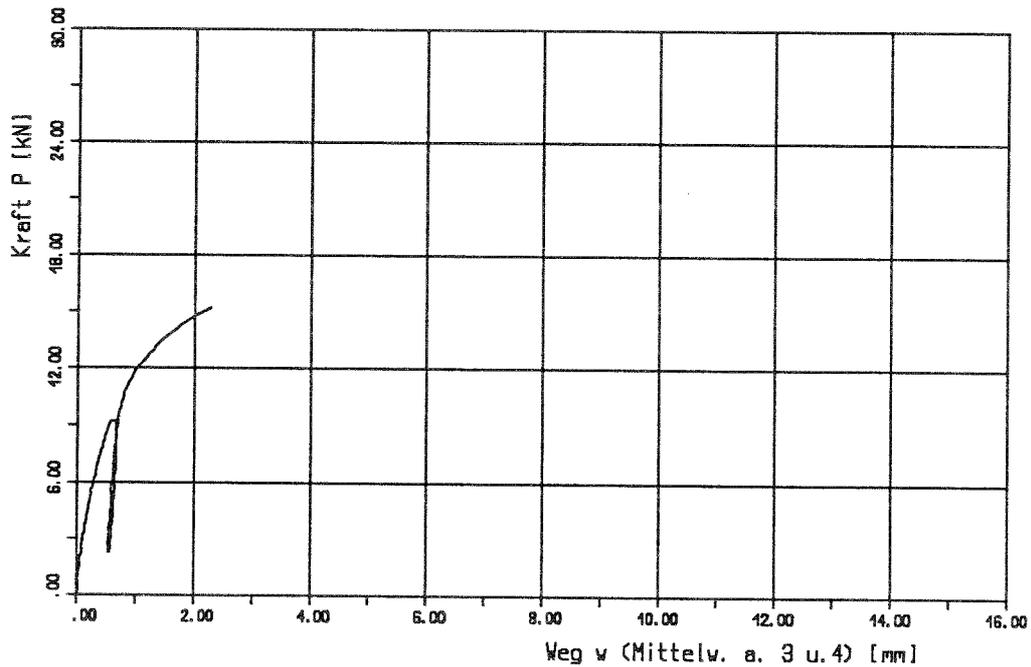


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,6

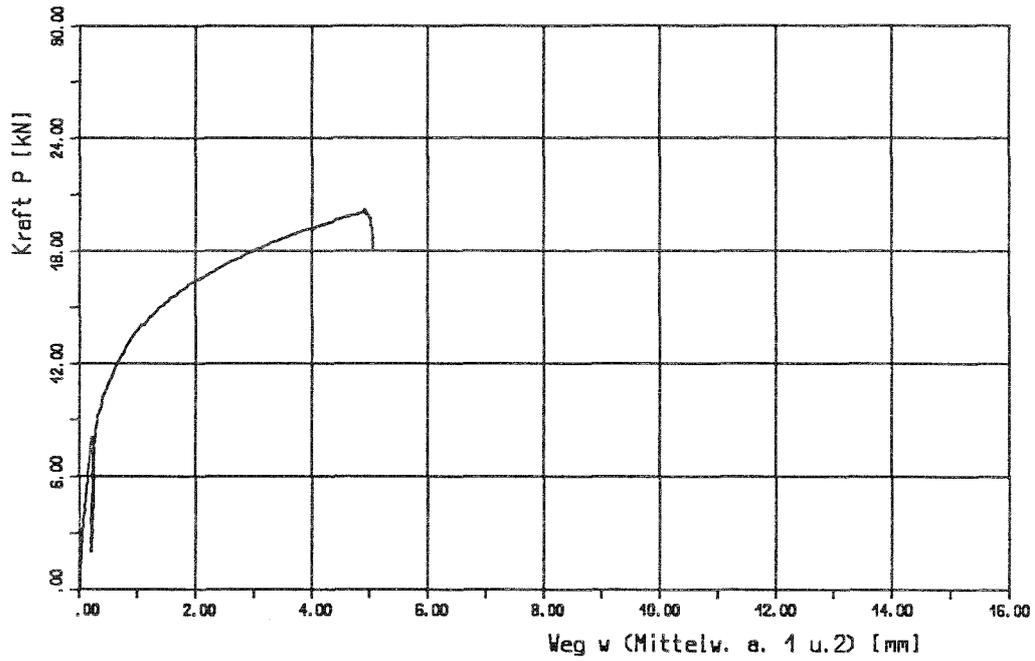


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,6

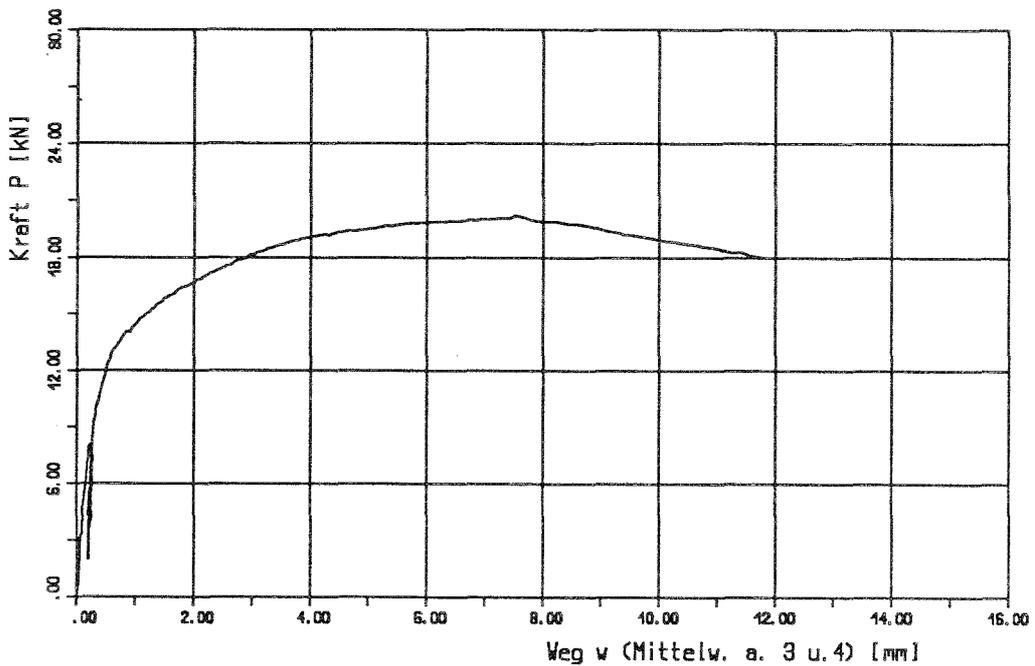


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,7

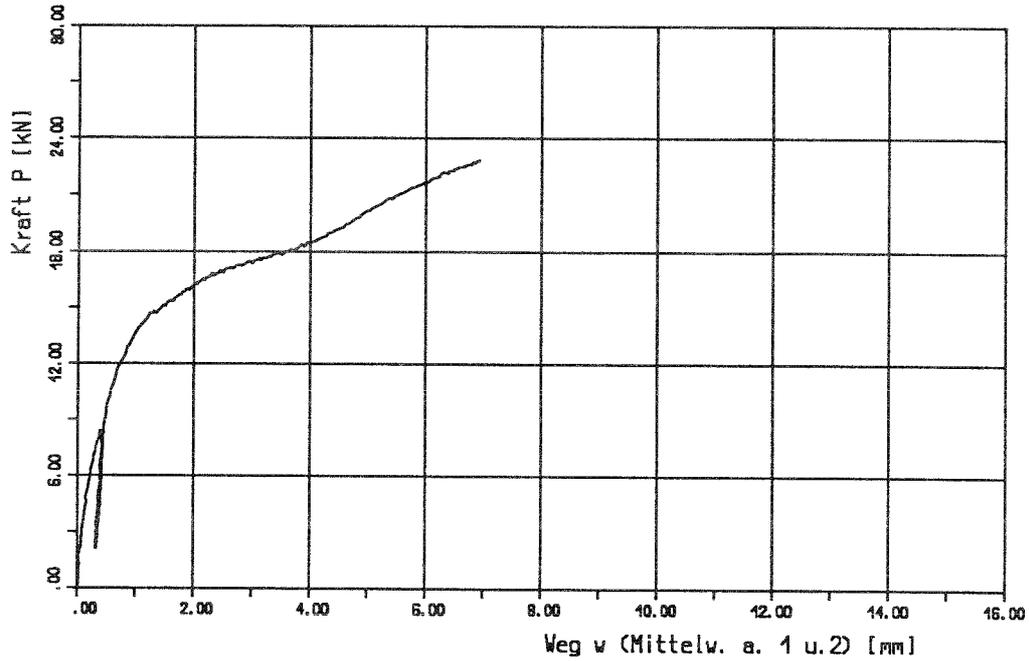


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III2,7

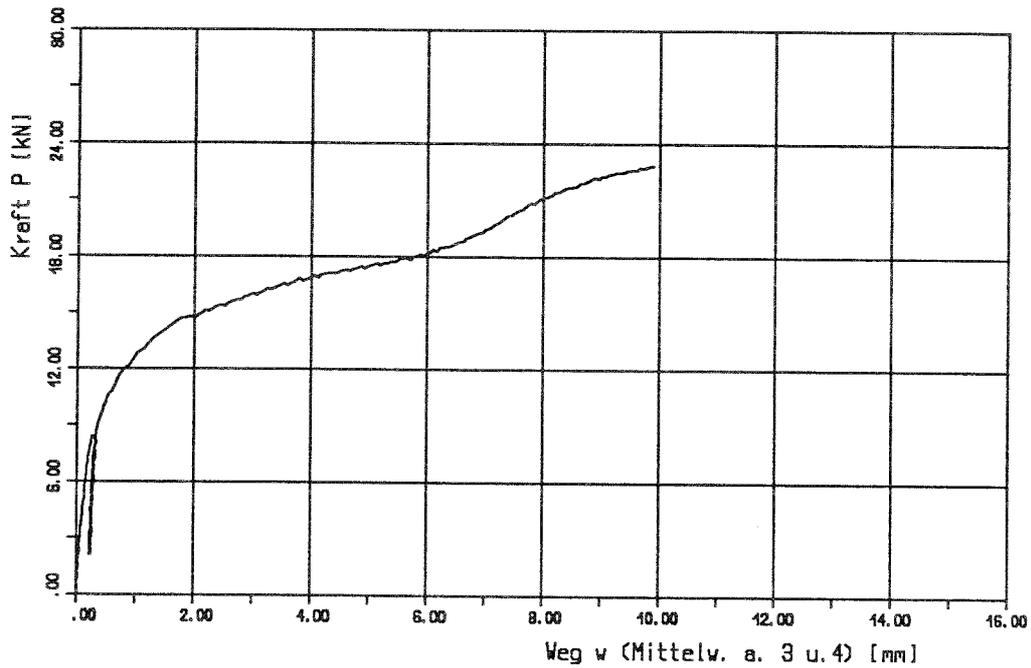


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2, 1

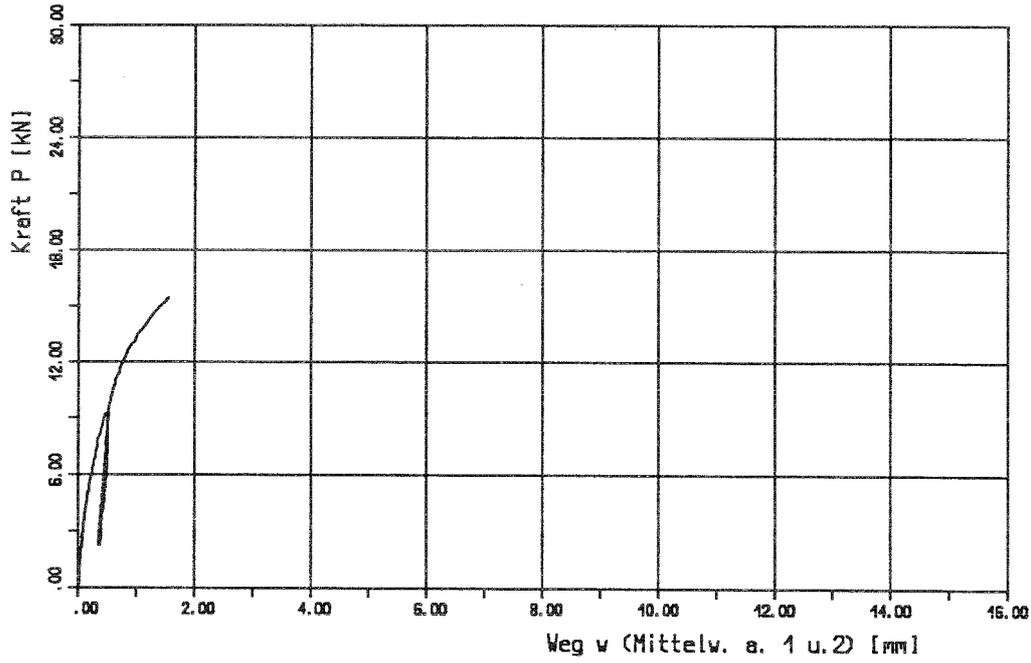


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2, 1

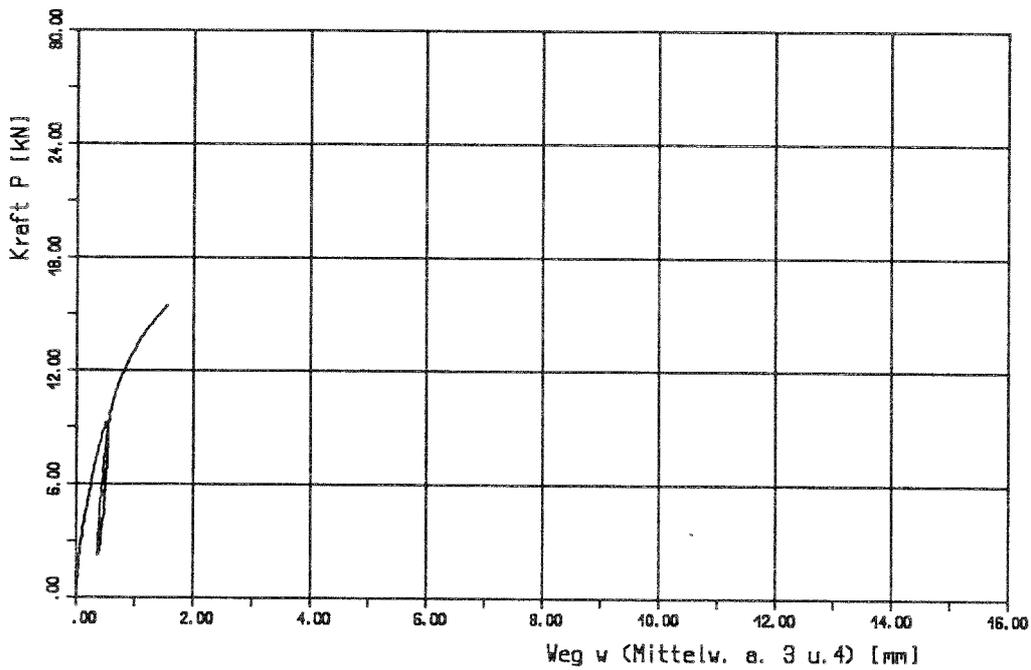


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg-Diagramm
Versuch: IV2, 2

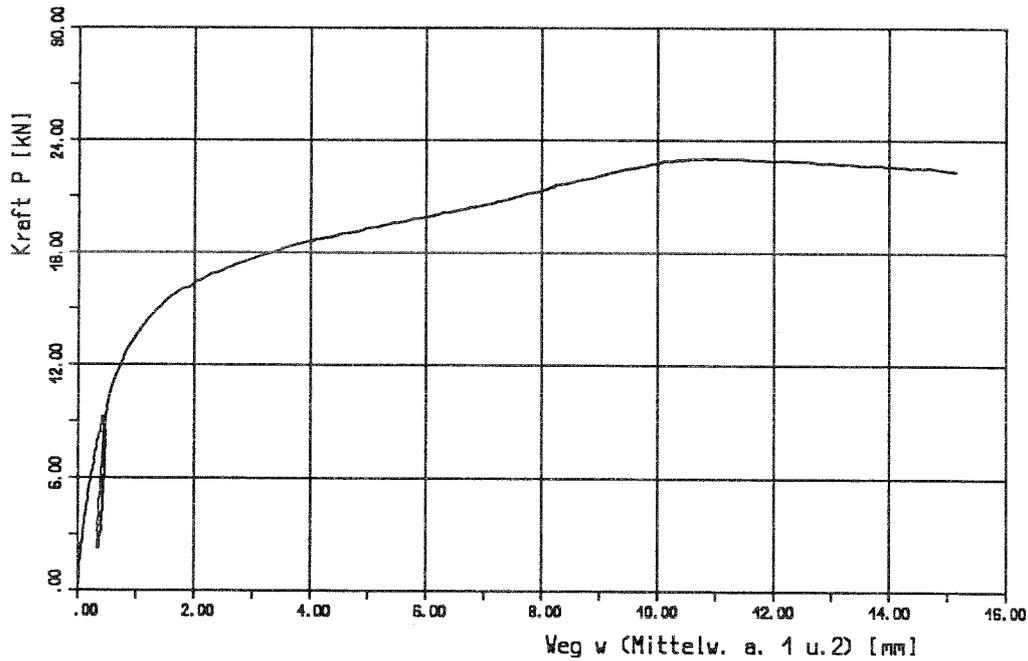


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg-Diagramm
Versuch: IV2, 2

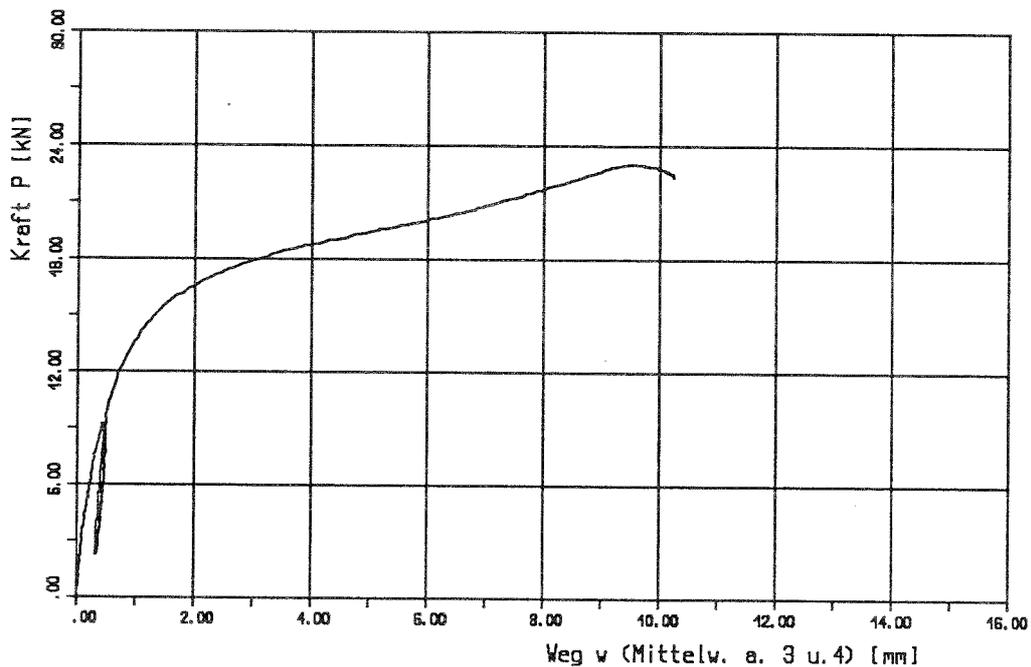


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2,3

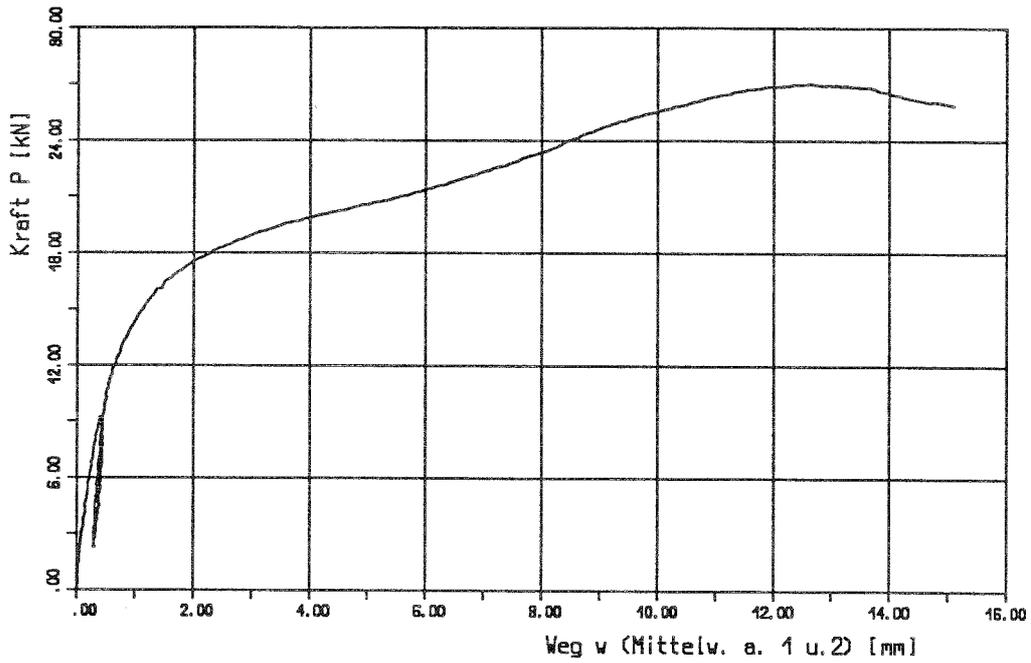


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2,3

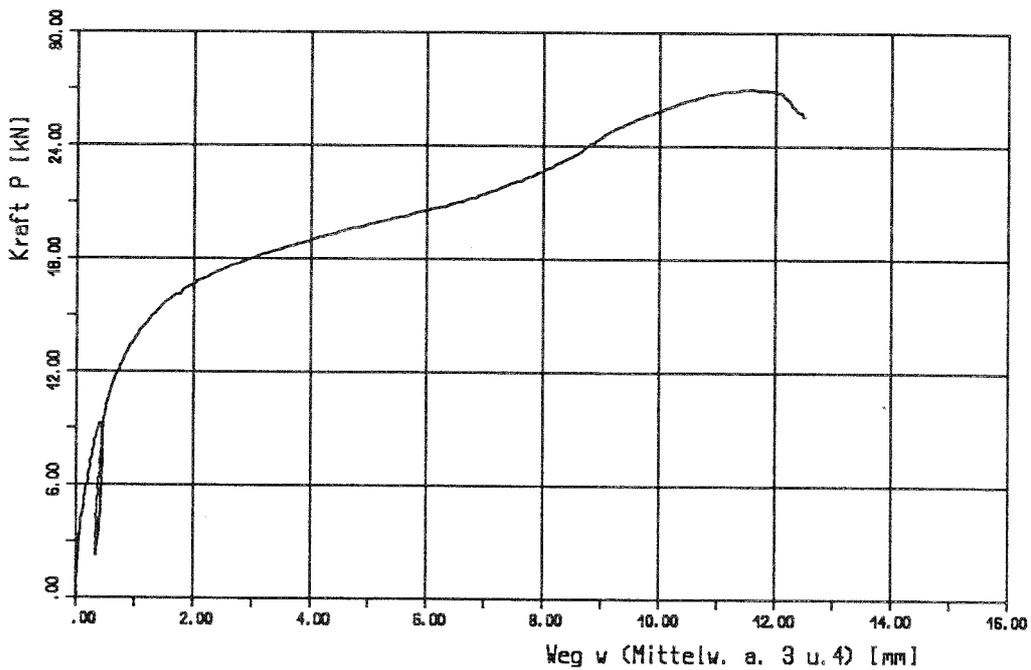


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: IV2, 4

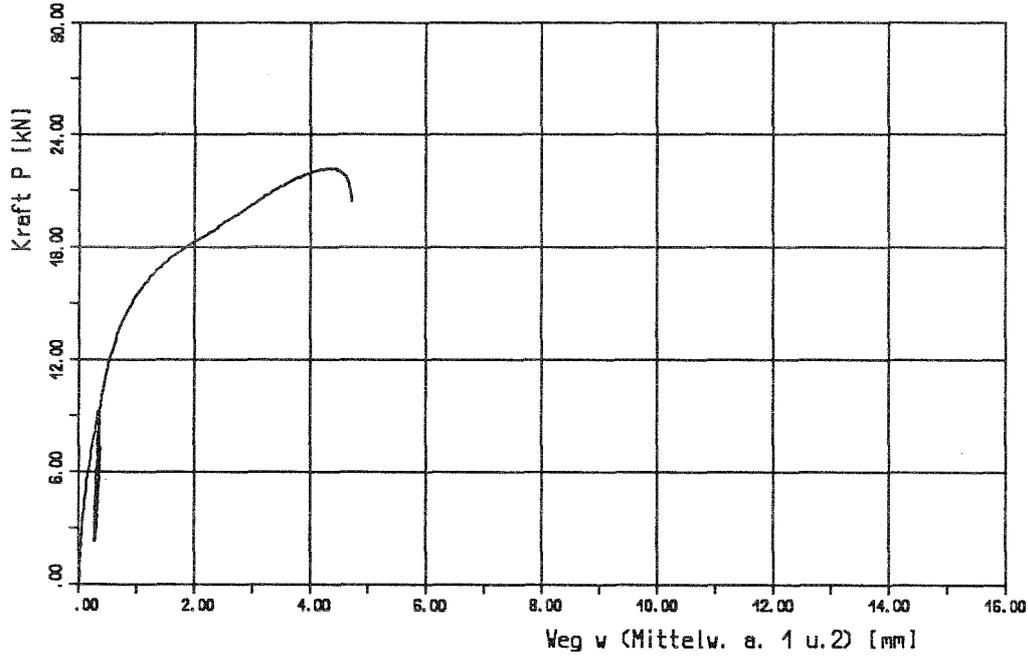


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: IV2, 4

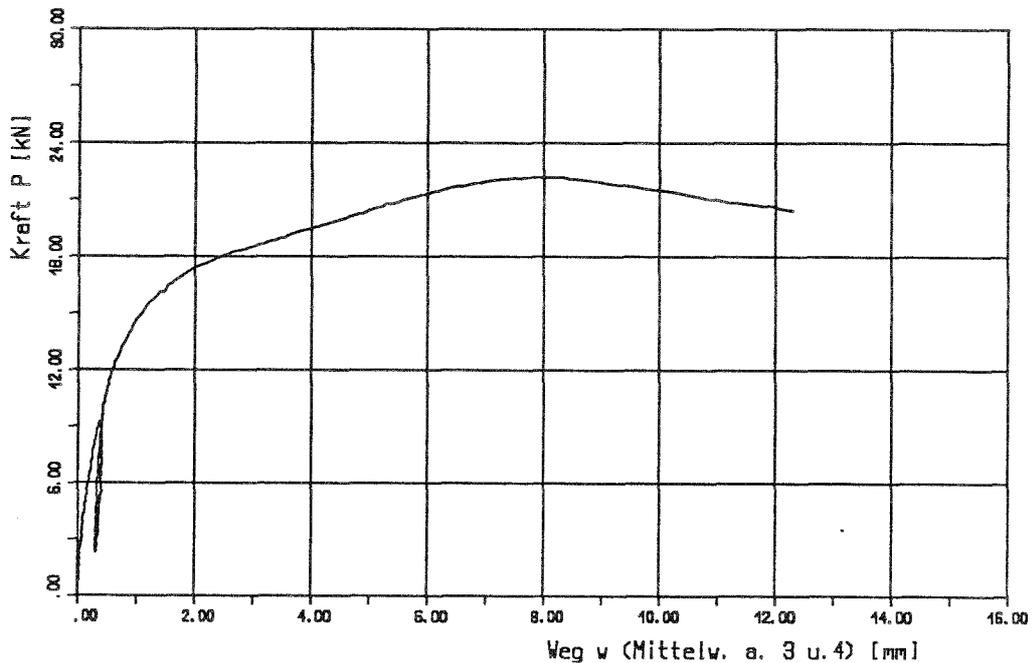


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2,5

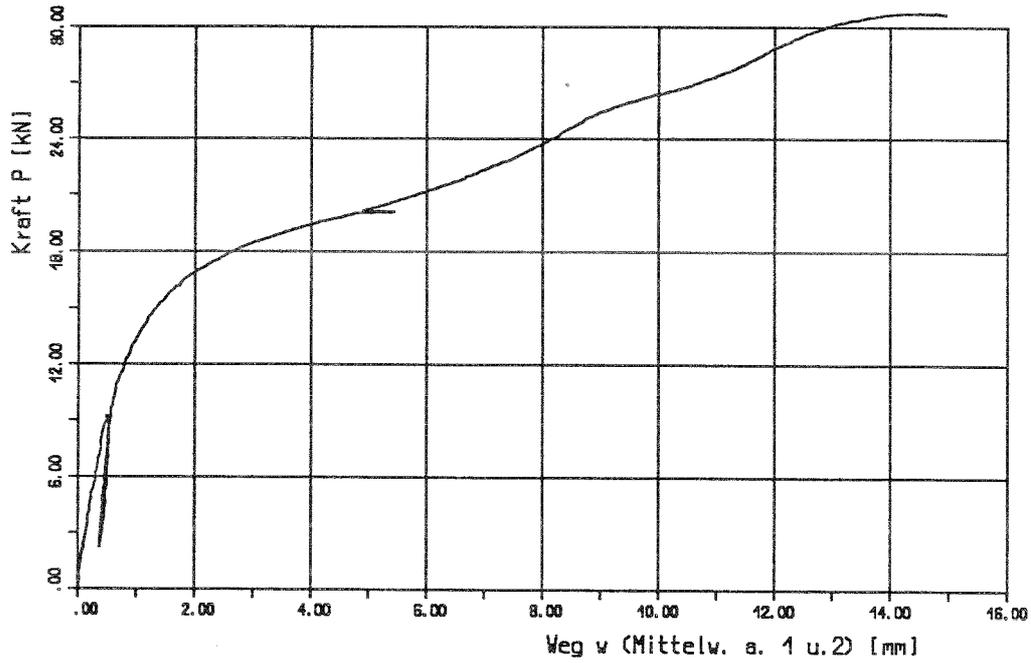


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2,5

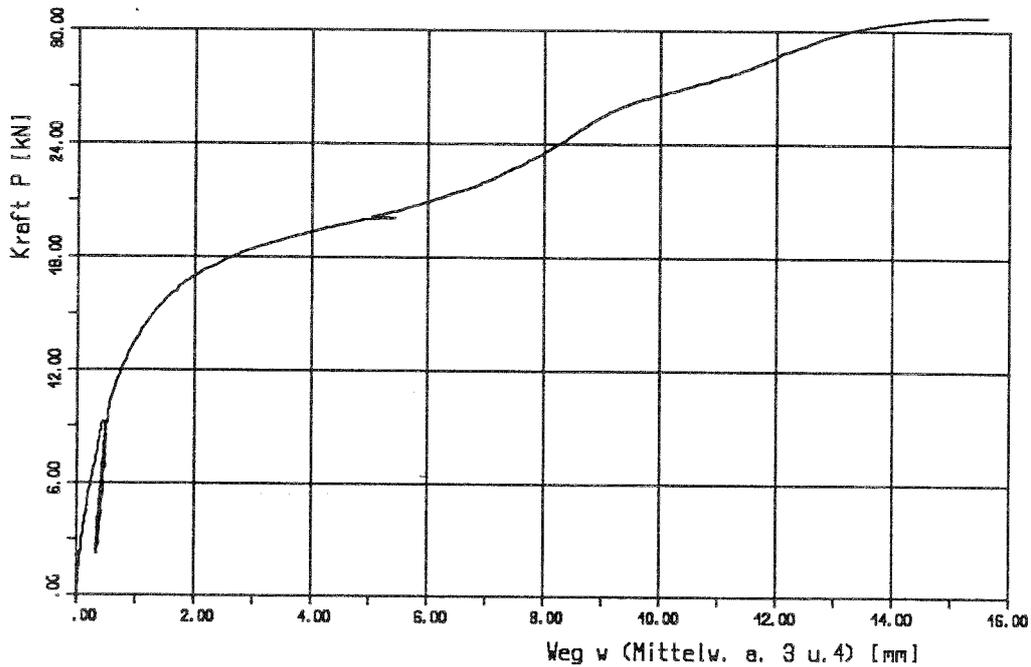


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2, 6

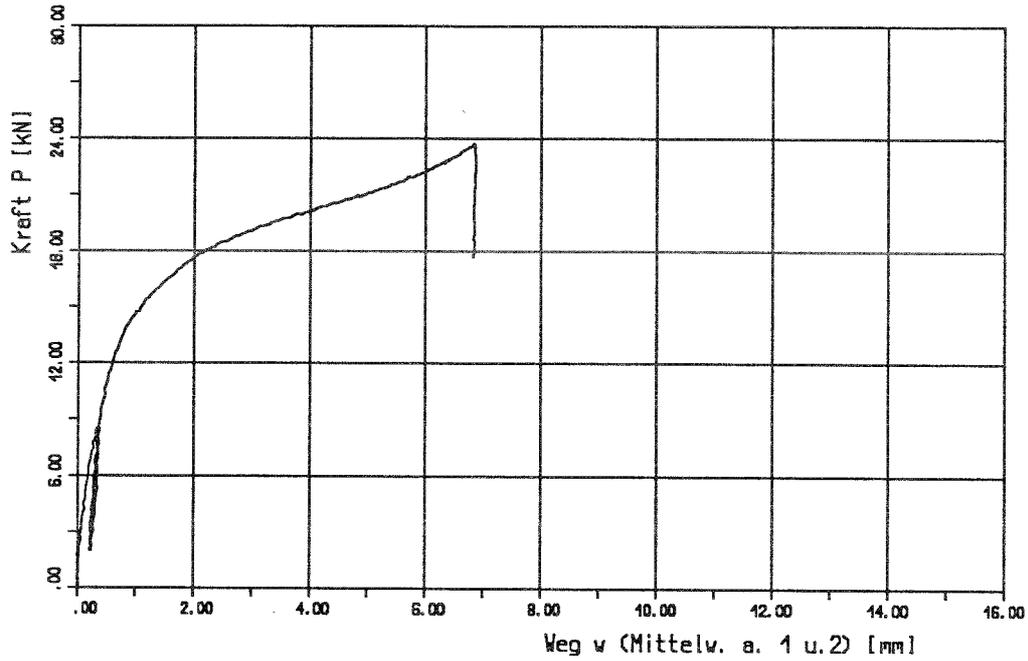


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV2, 6

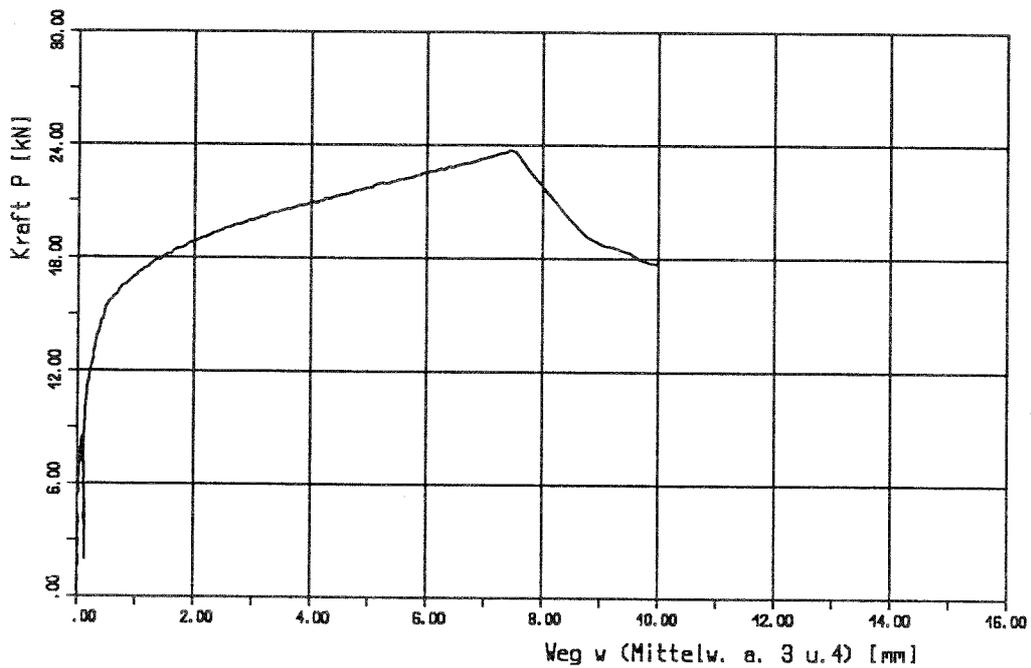


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2, 1

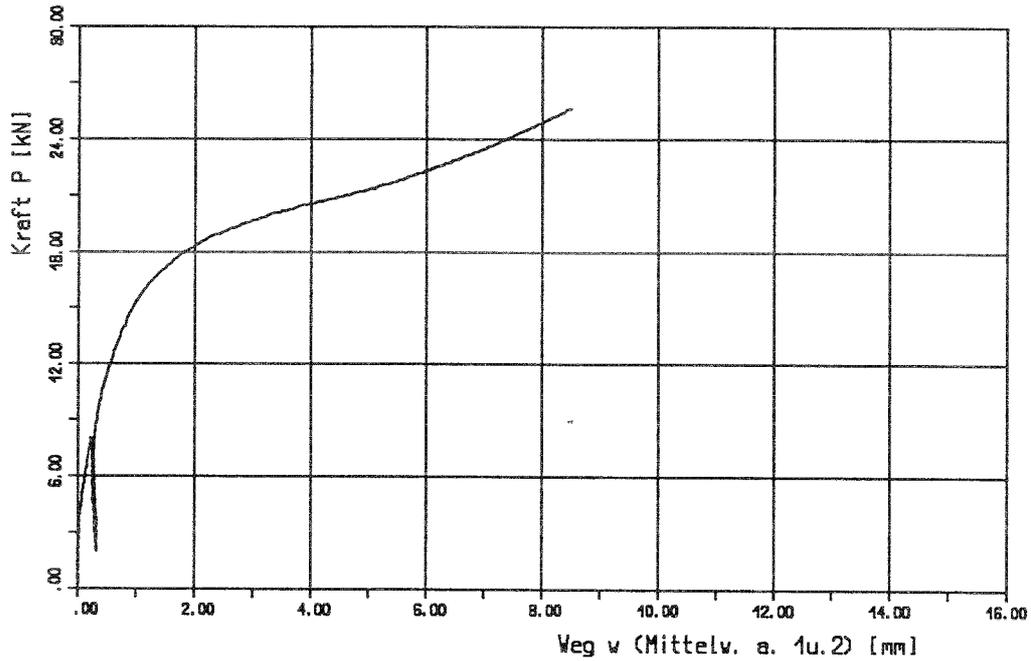


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2, 1

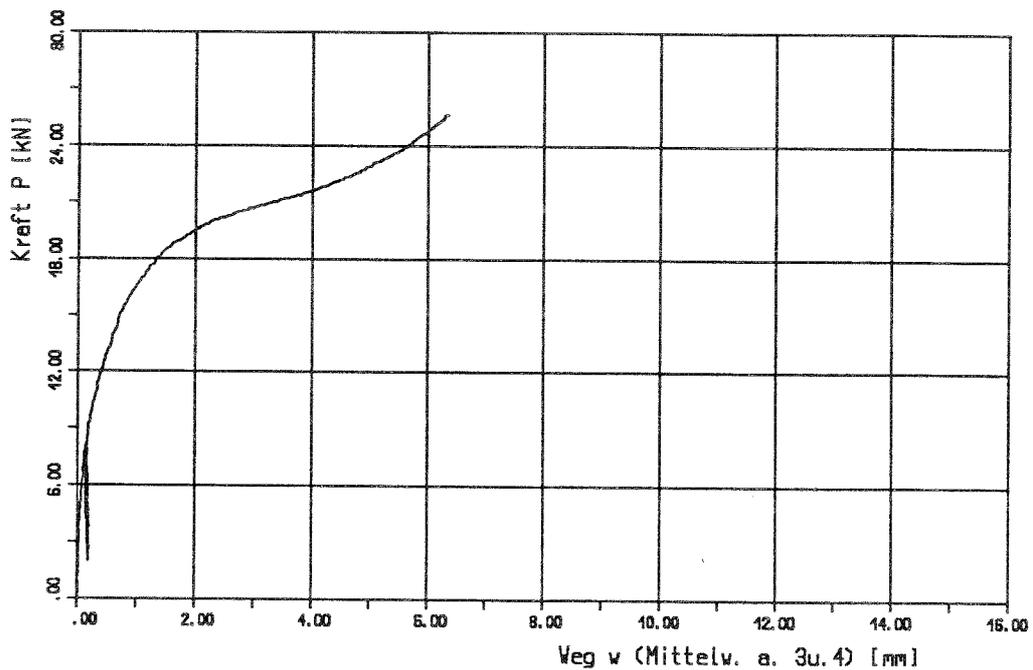


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2, 2

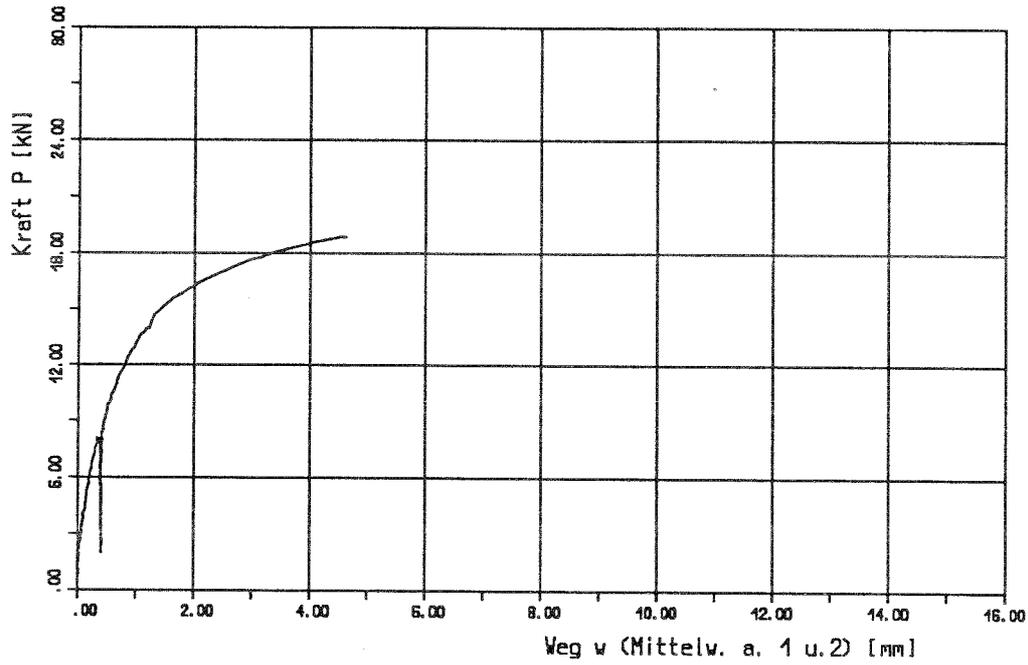


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2, 2

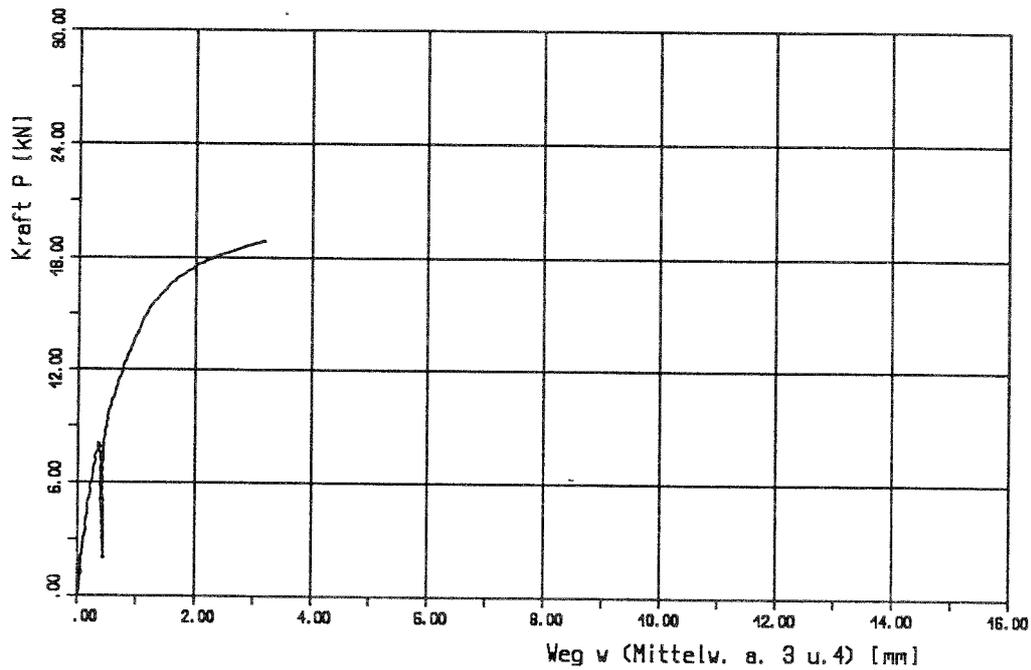


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2,3

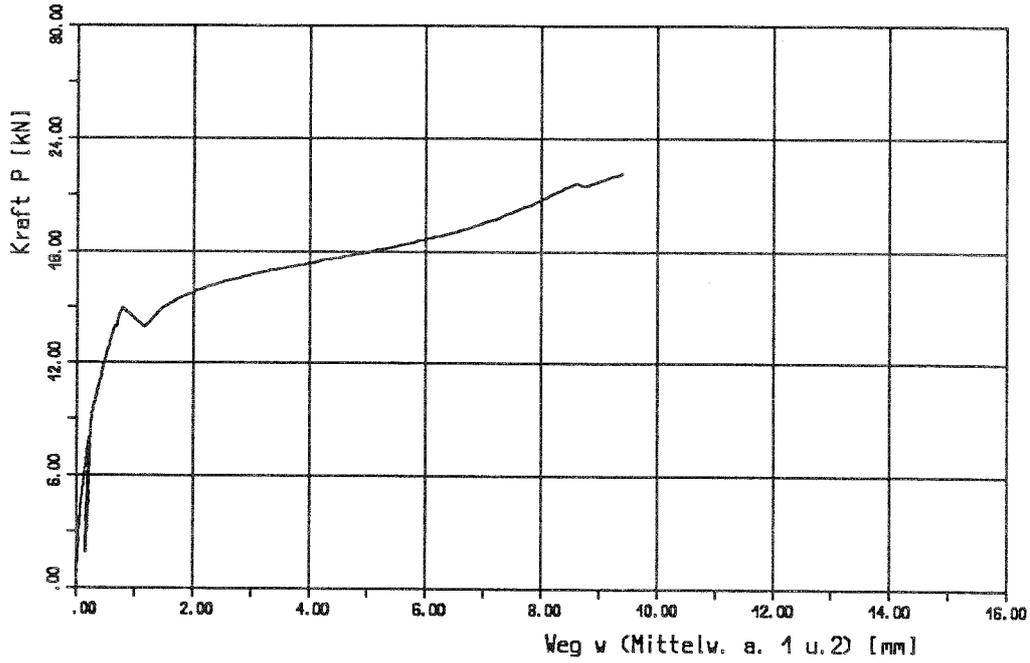


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2,3

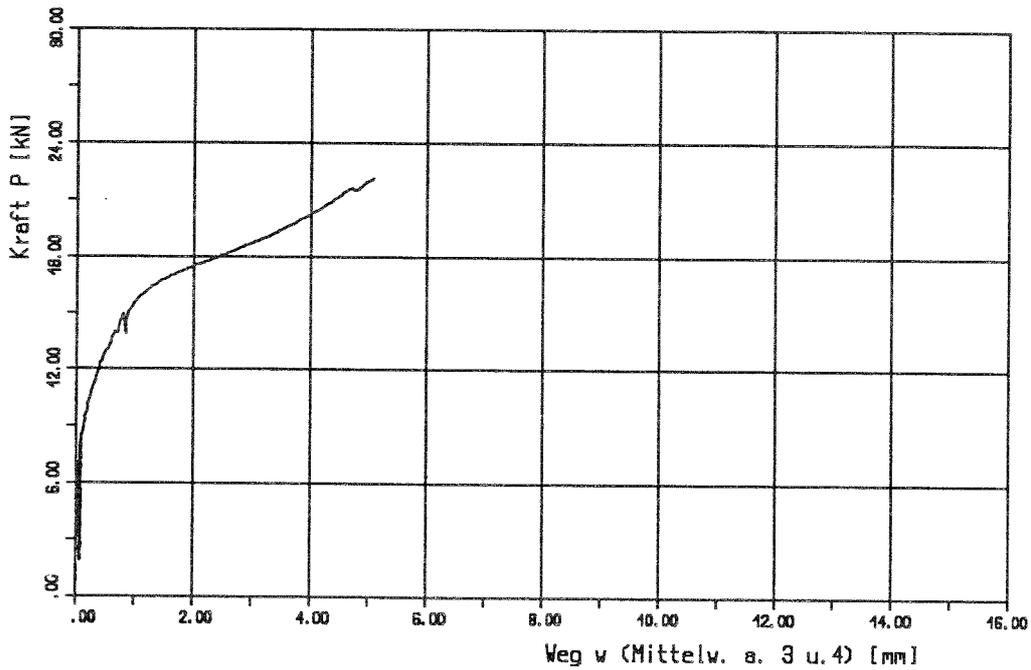


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2, 4

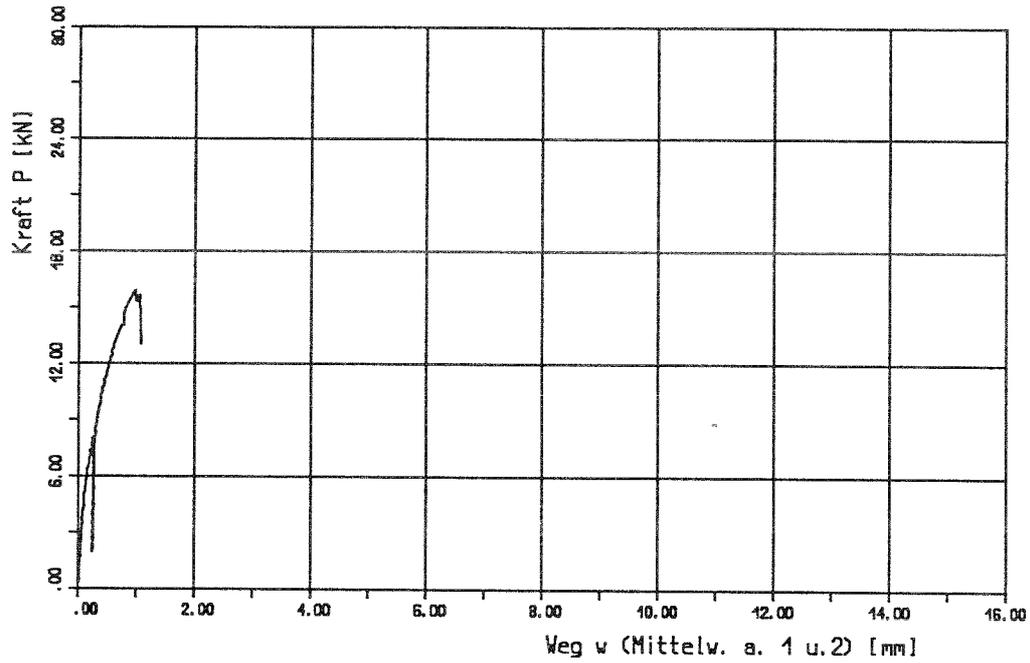


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2, 4

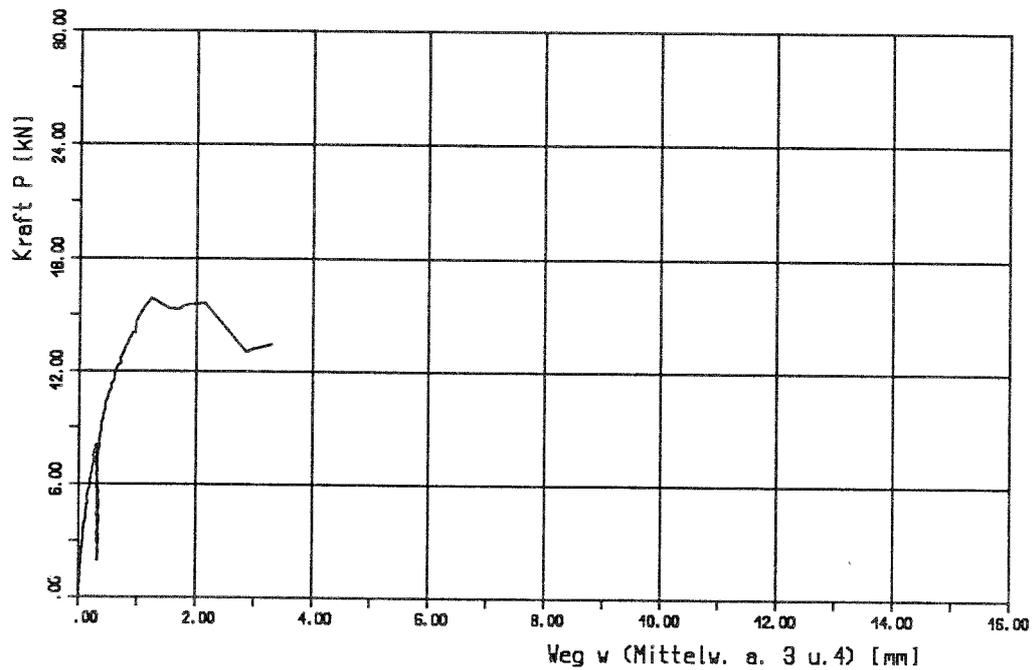


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2,5

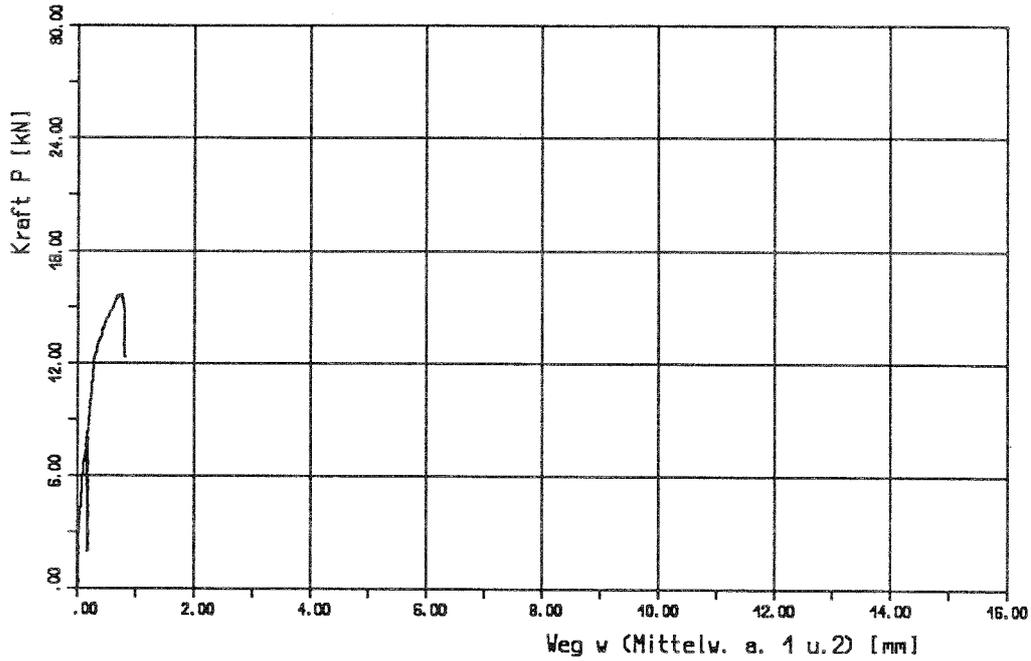


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2,5

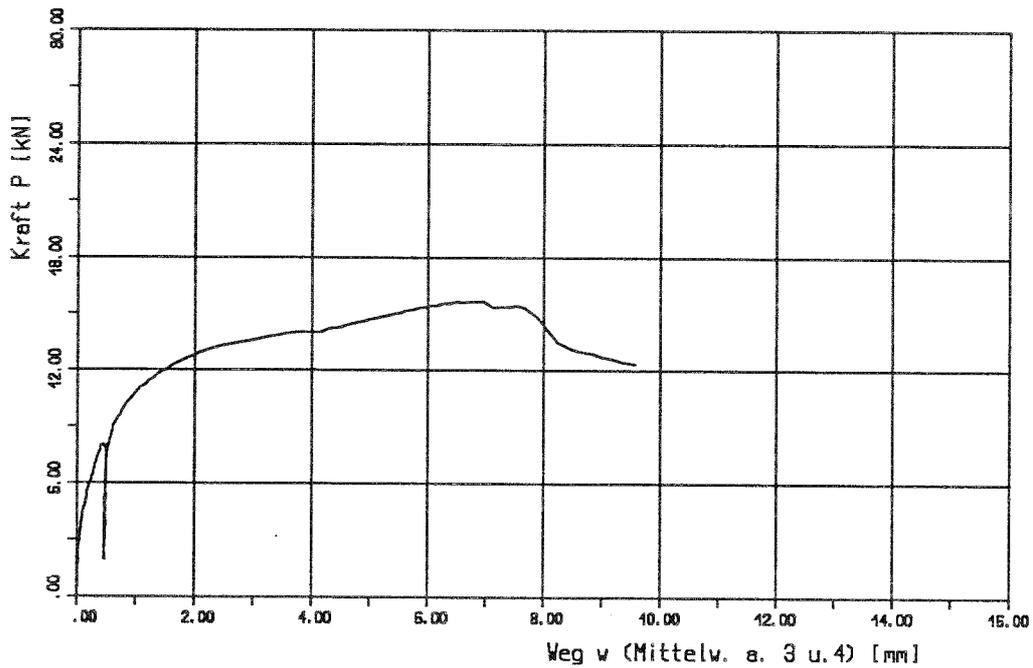


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2,6

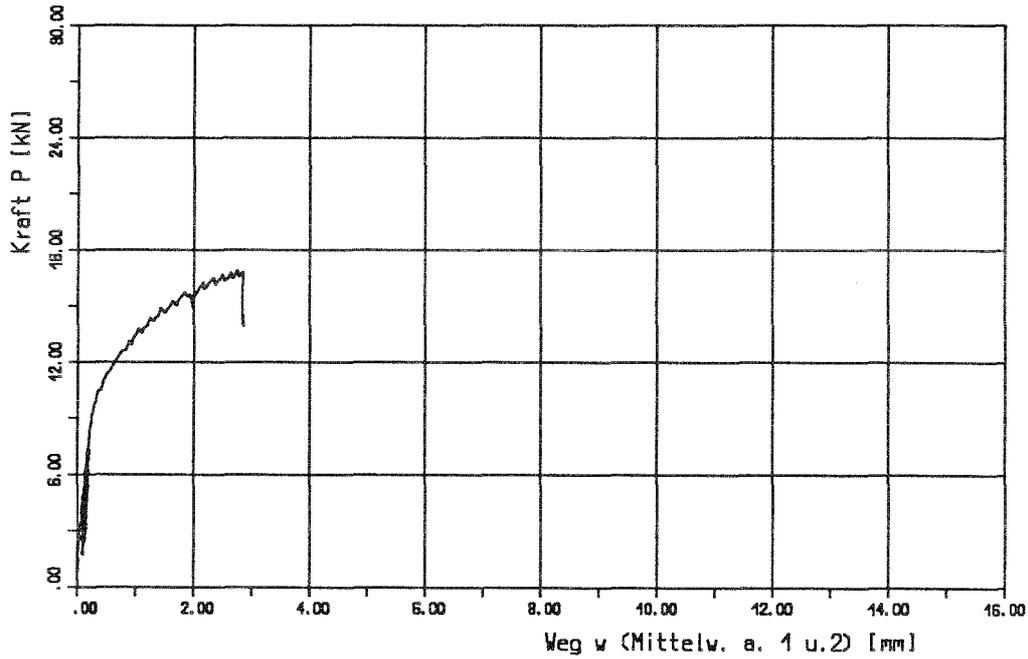


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VI2,6

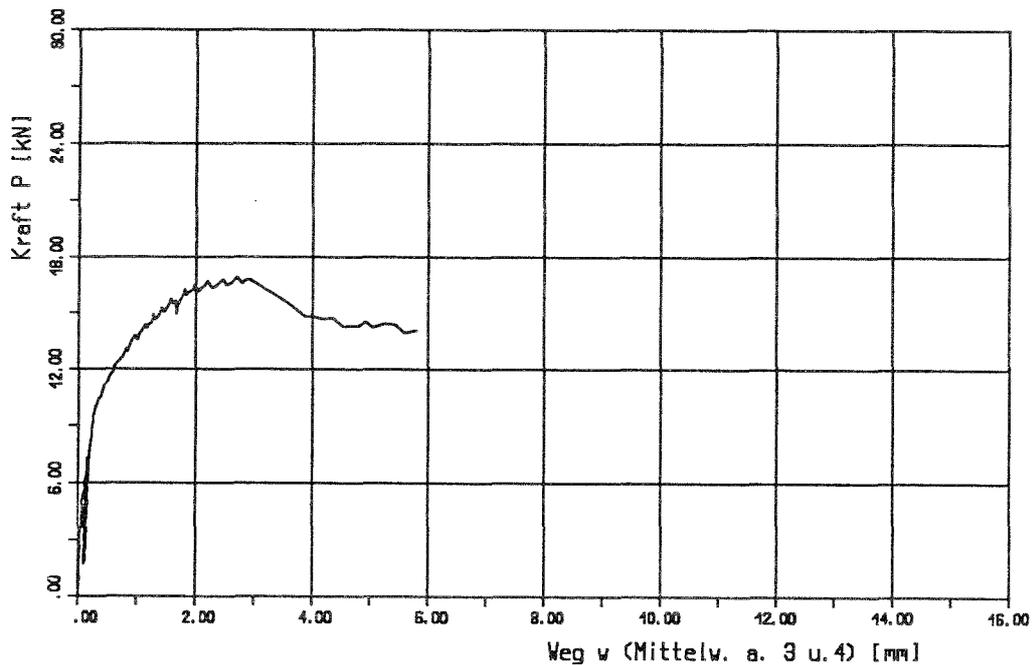


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,1

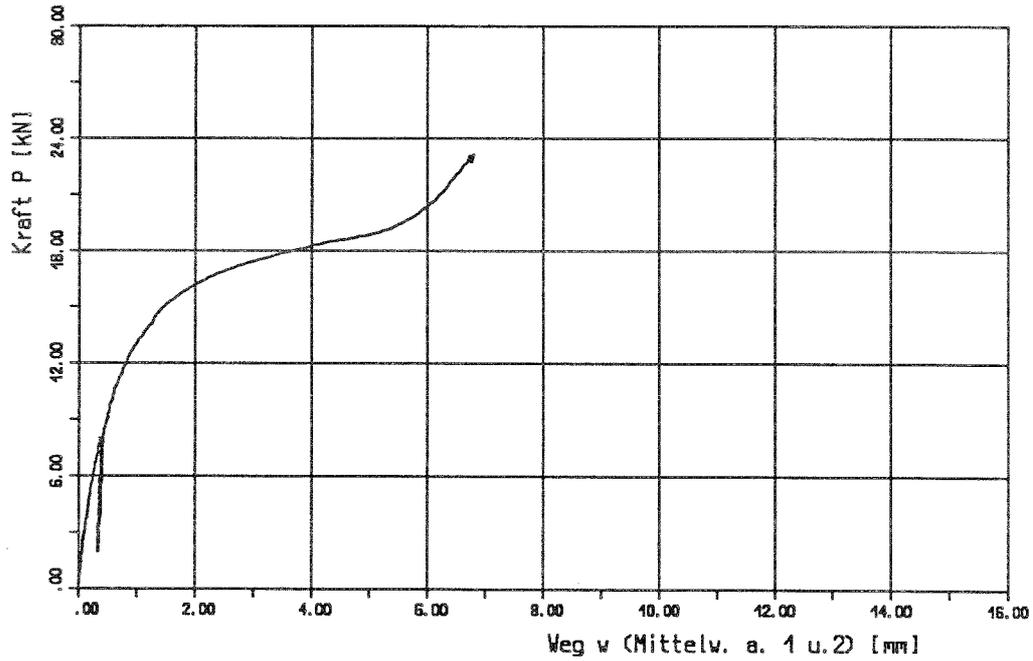


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,1

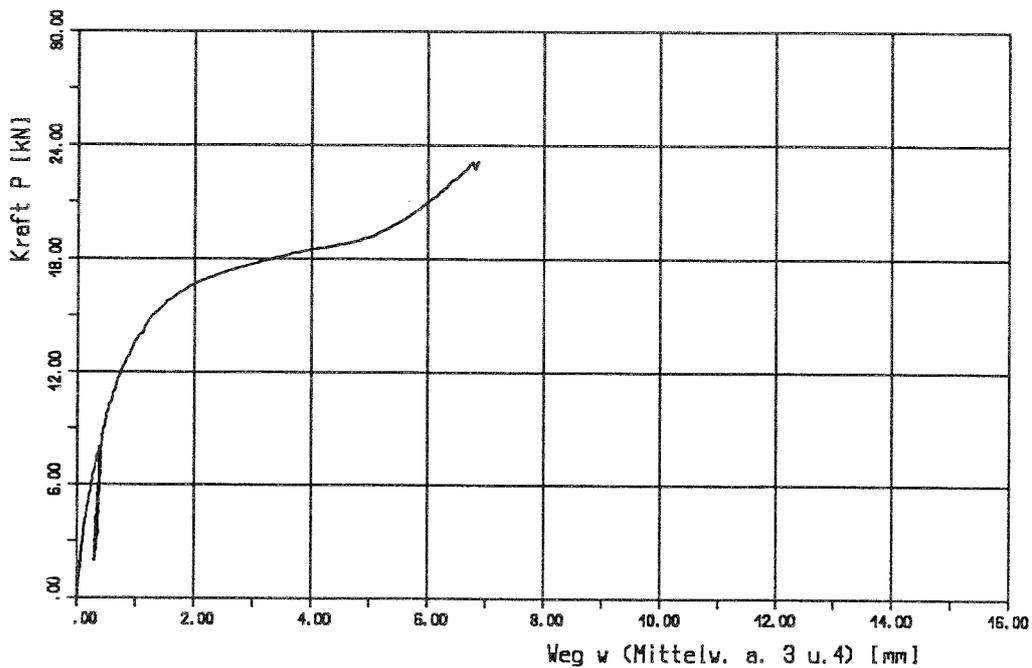


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2, 2

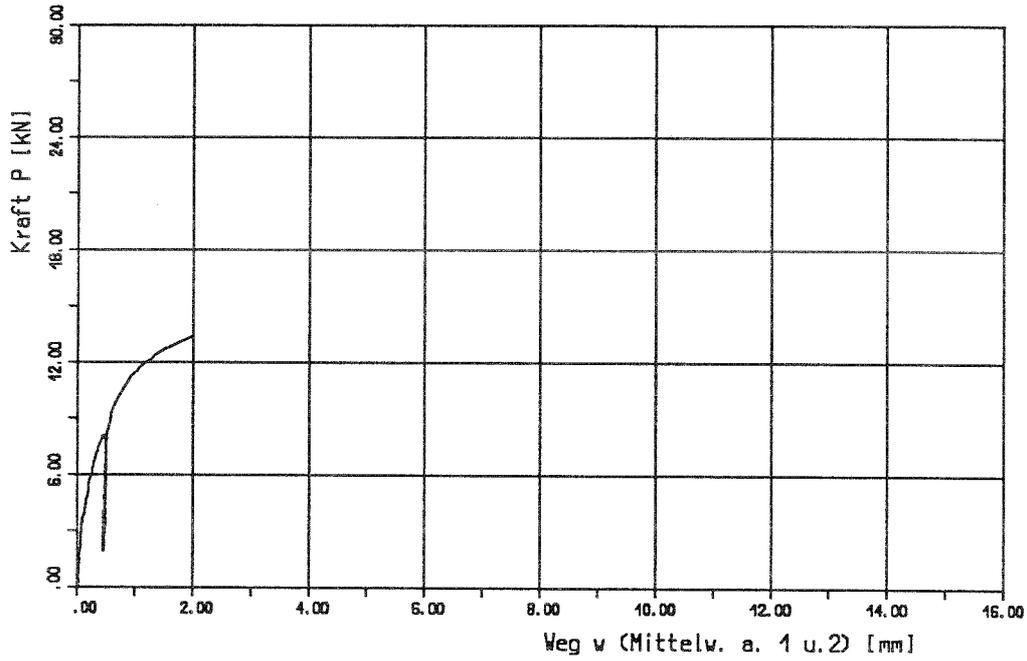


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2, 2

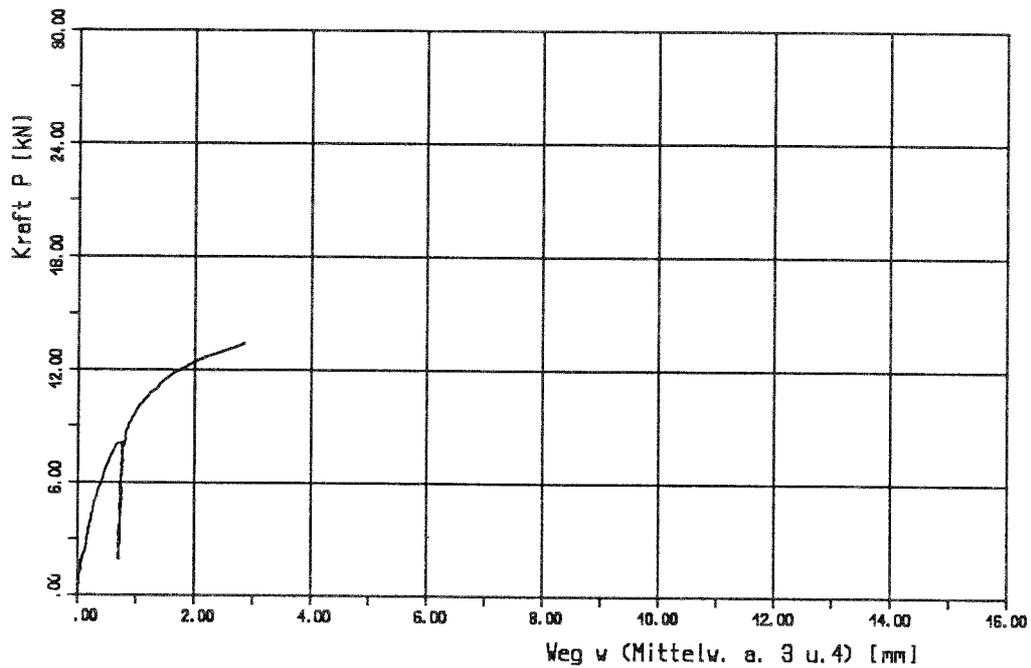


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,3

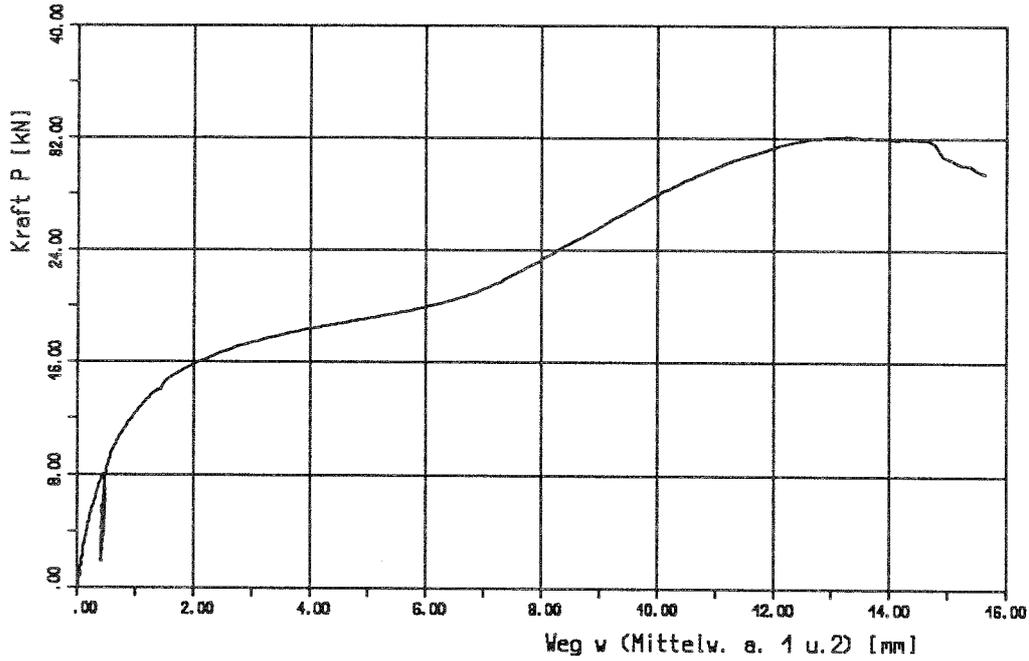


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,3

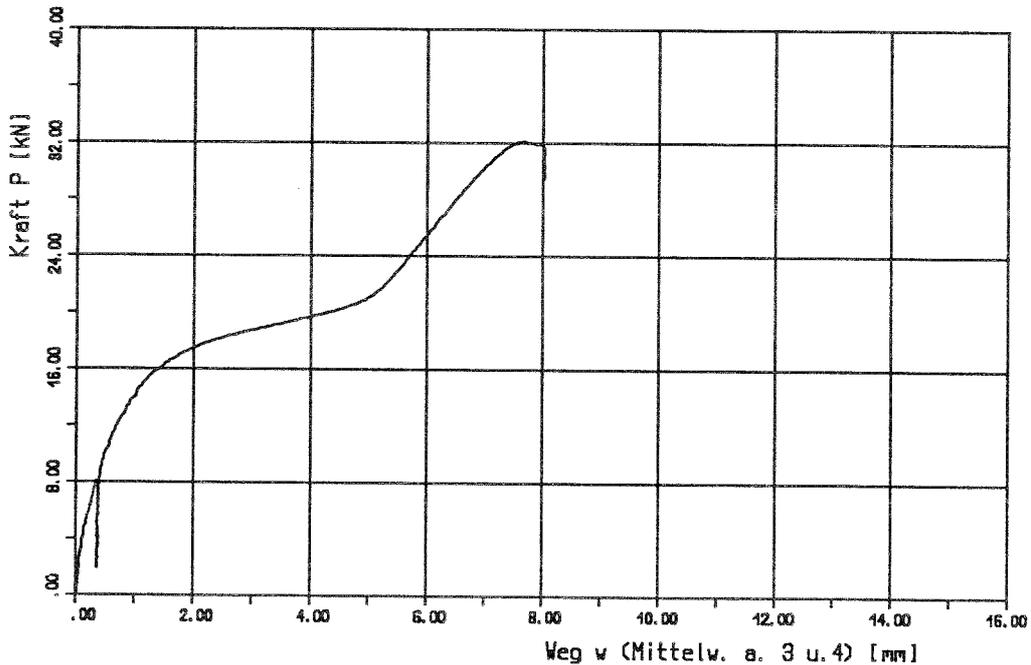


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2, 4

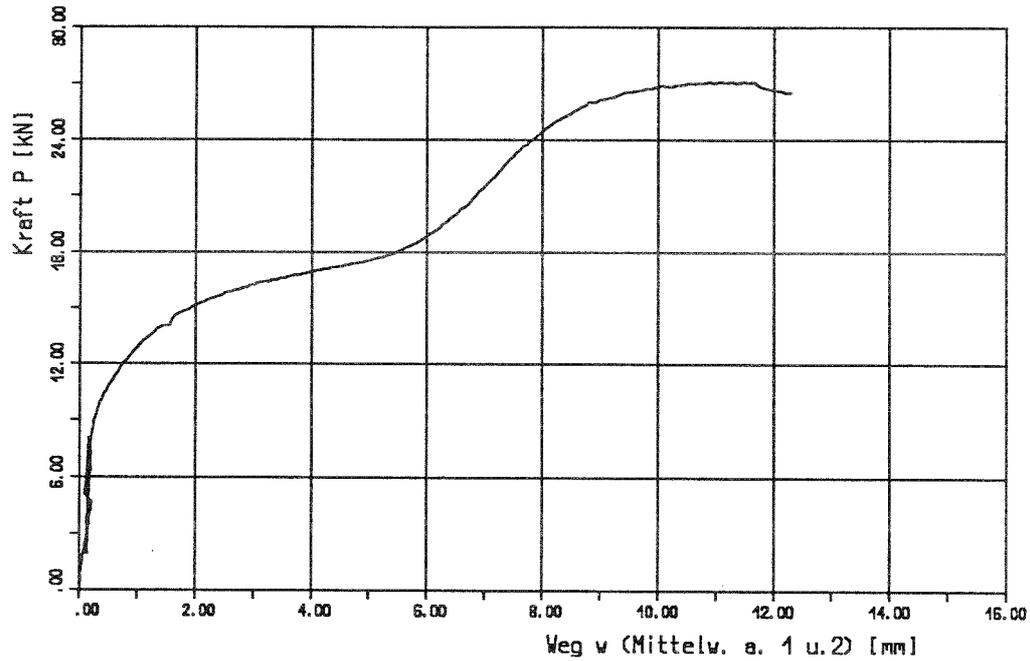


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2, 4

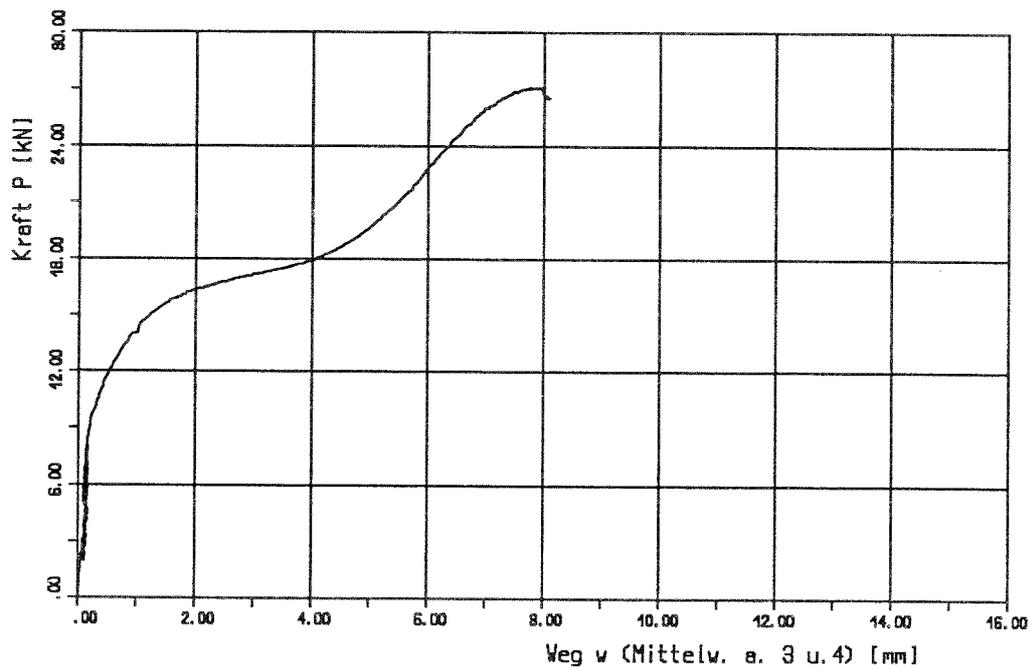


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,5

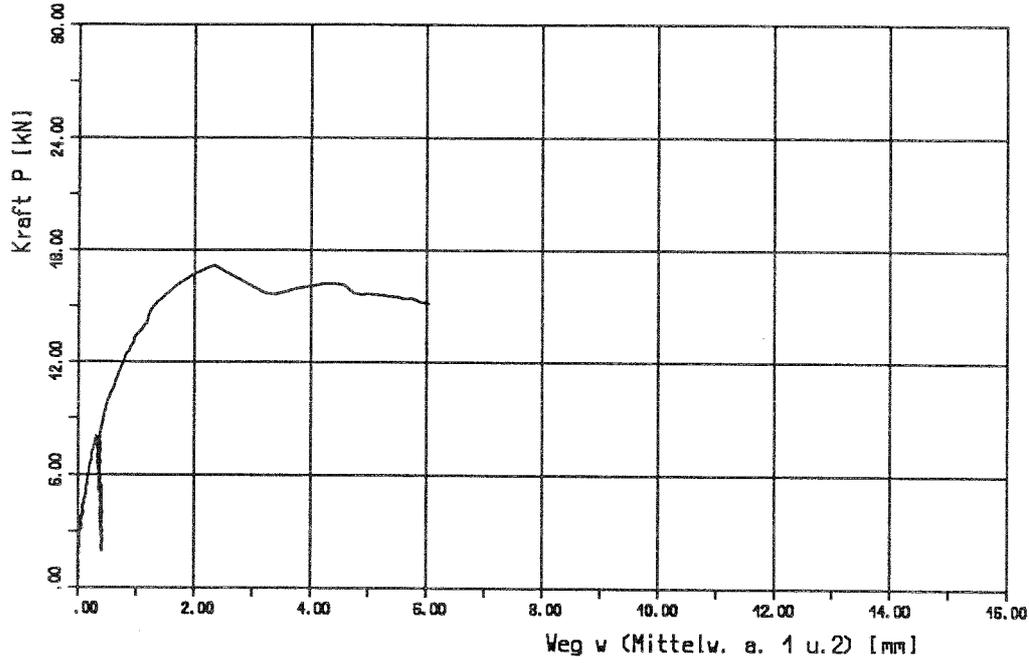


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,5

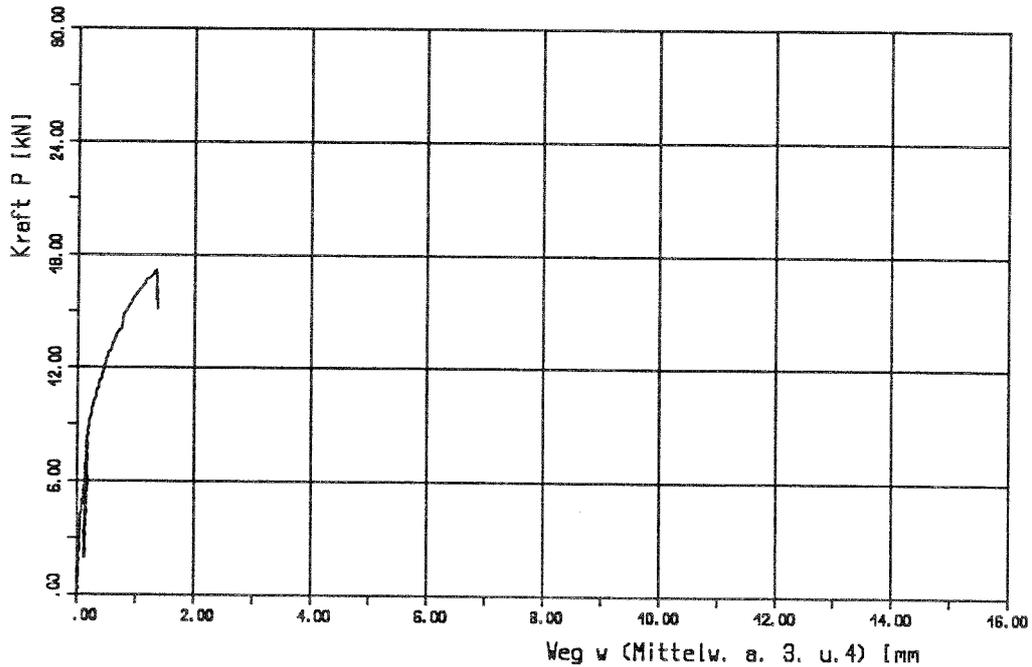


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,6

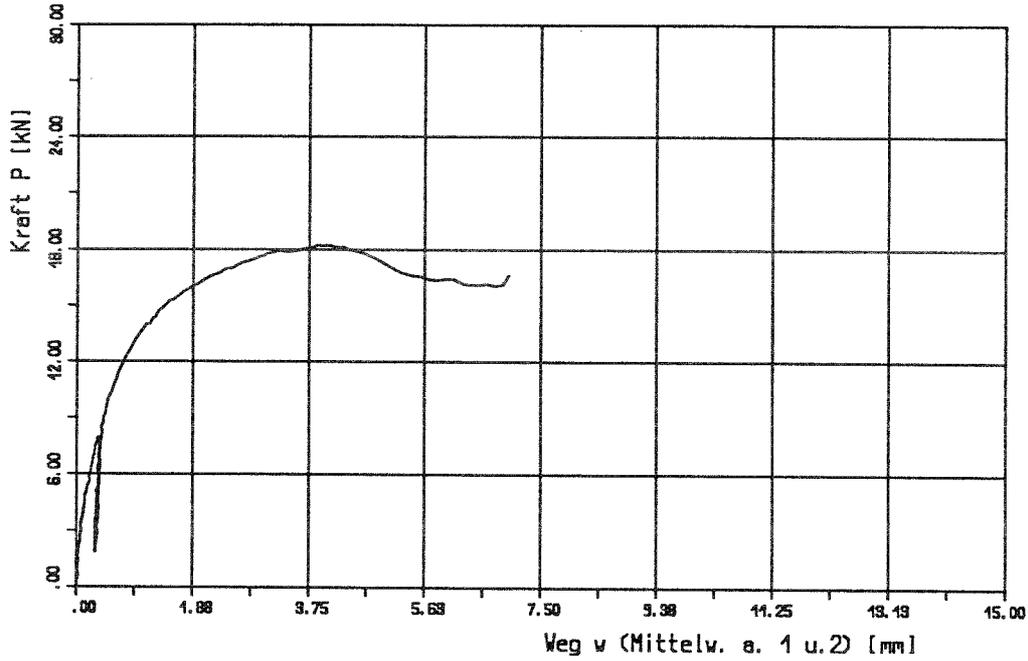


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII2,6

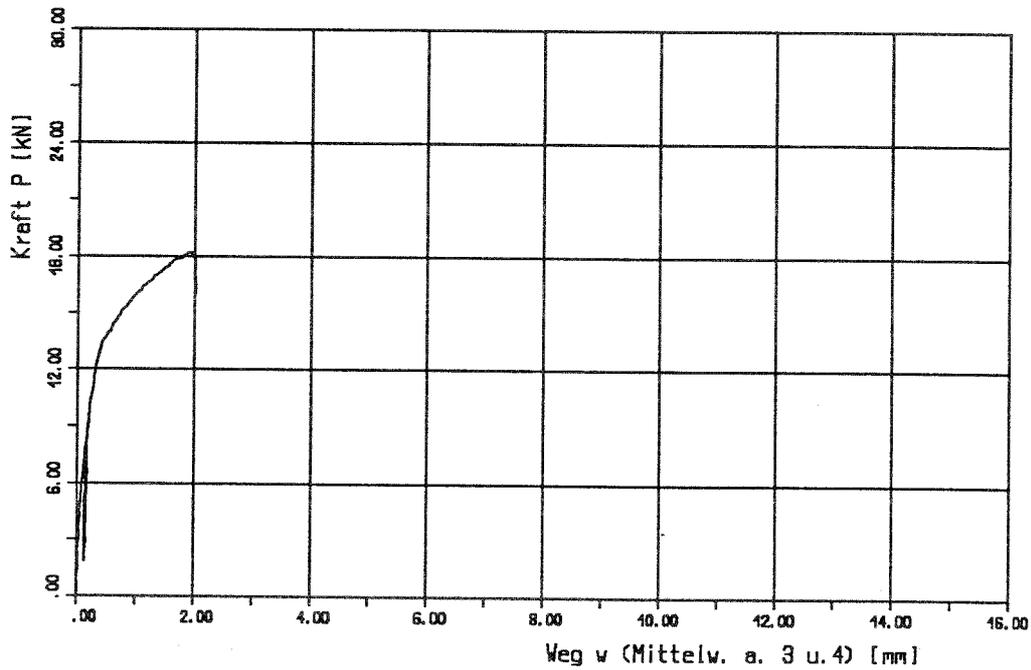


Bild 2 : versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: VII2,7

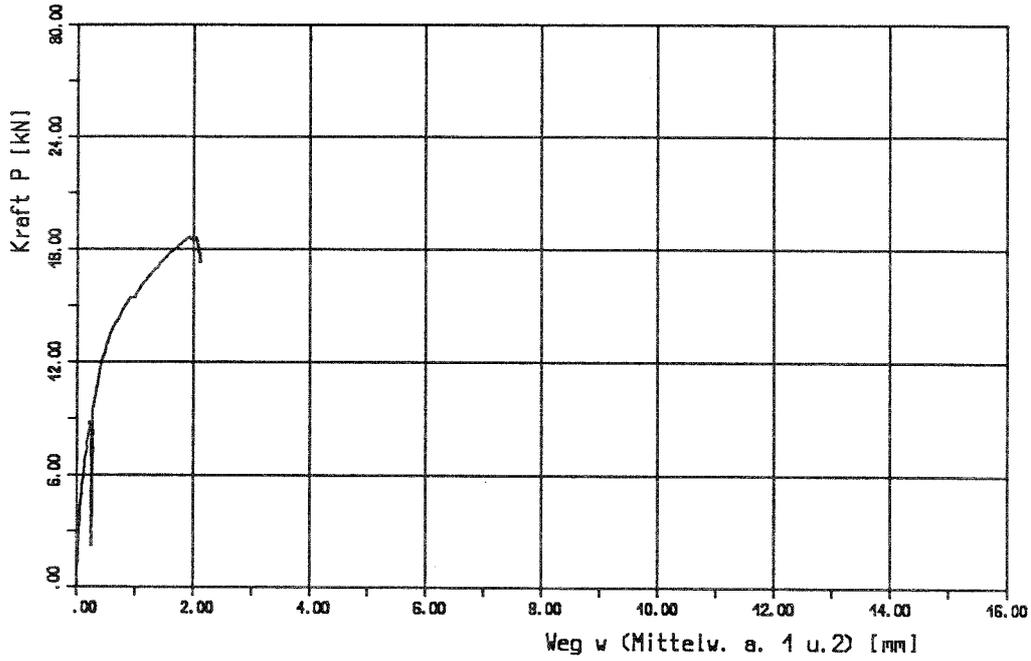


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: VII2,7

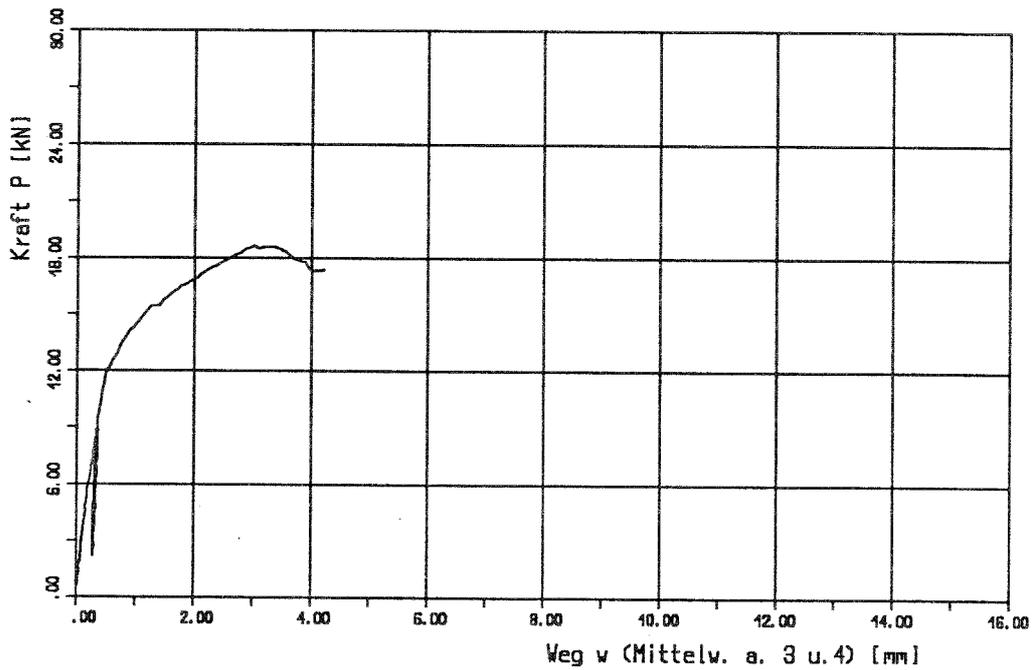


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2, 1

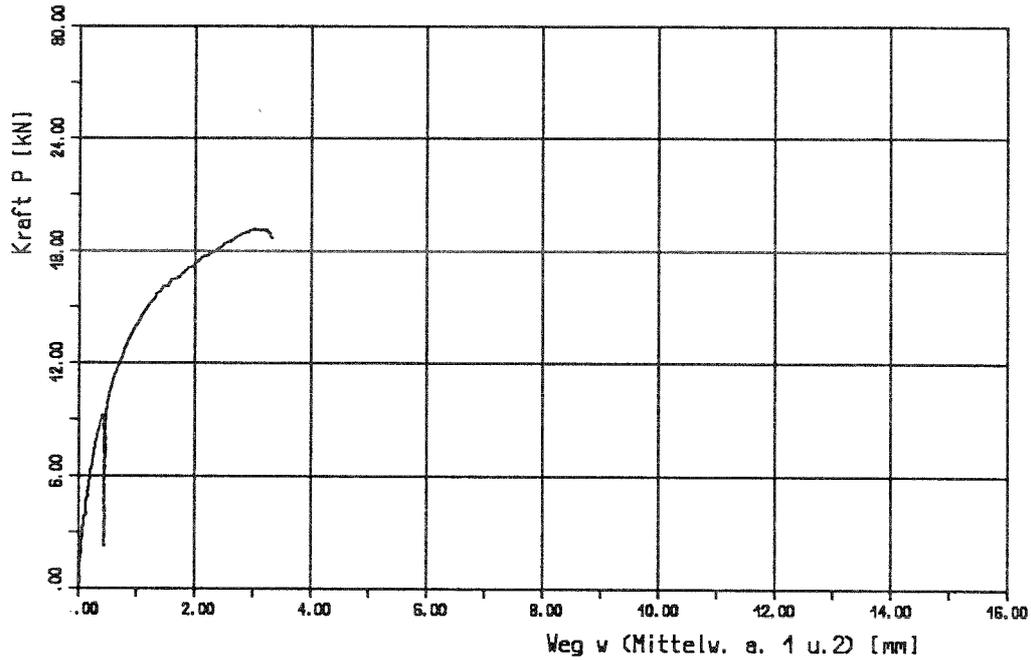


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2, 1

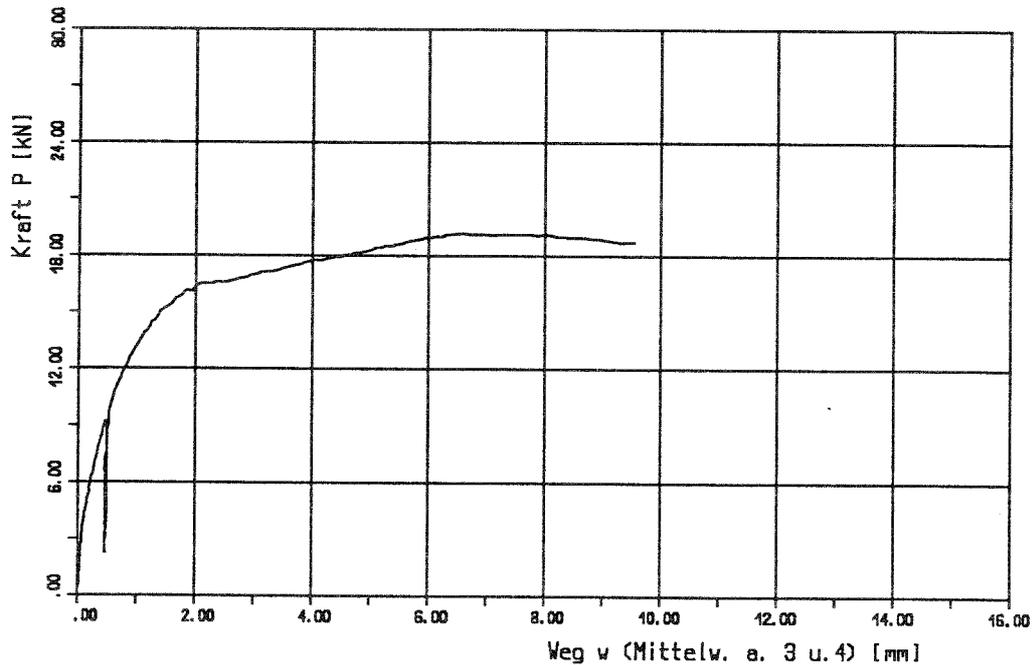


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,2

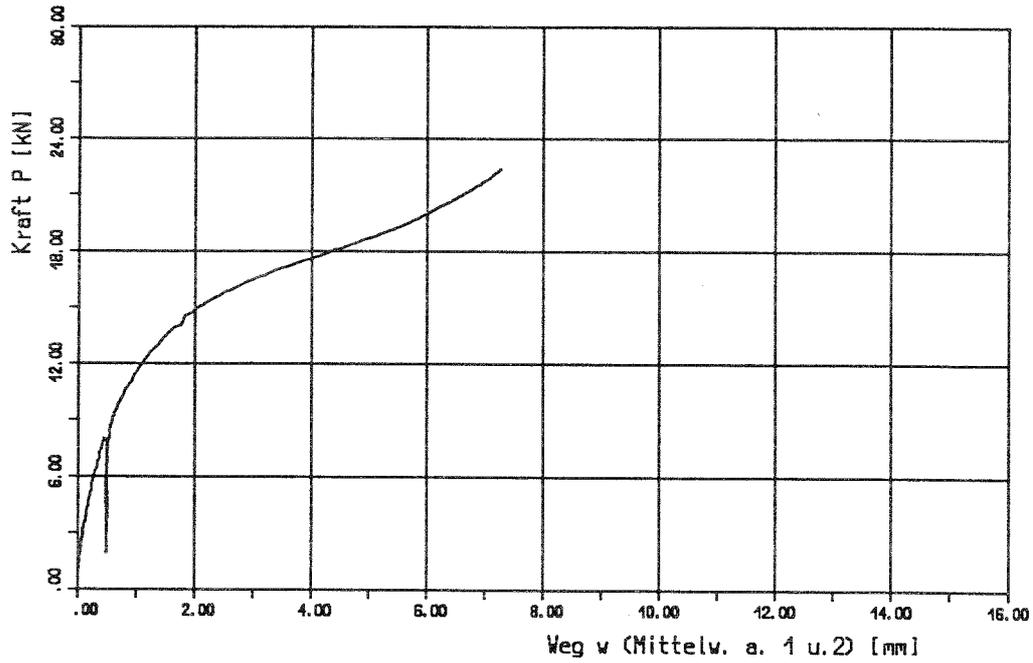


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,2

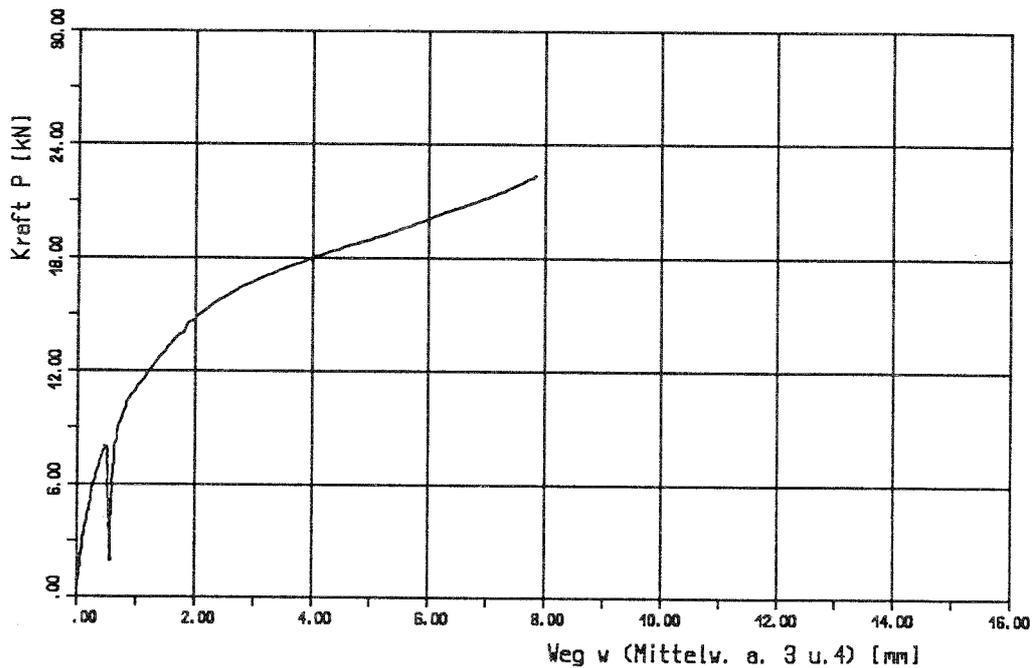


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,3

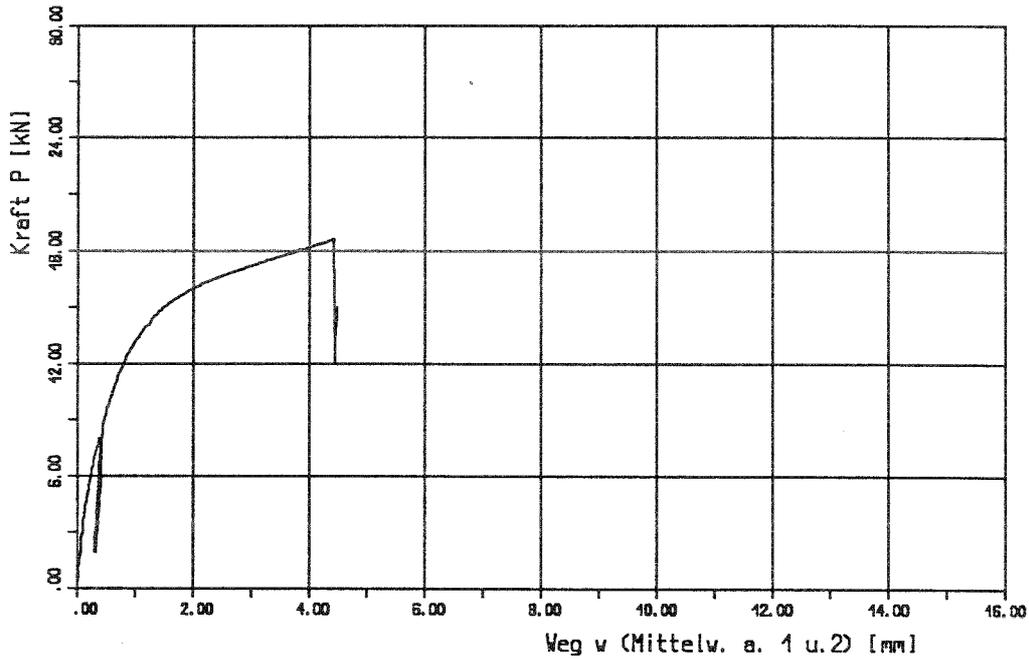


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,3

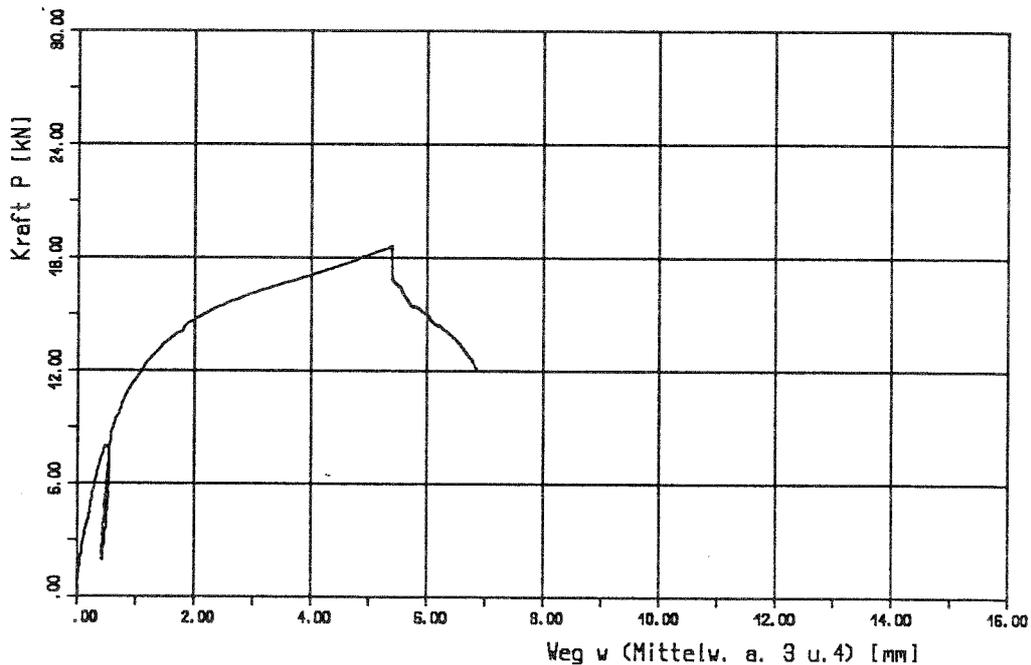


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: VIII2, 4

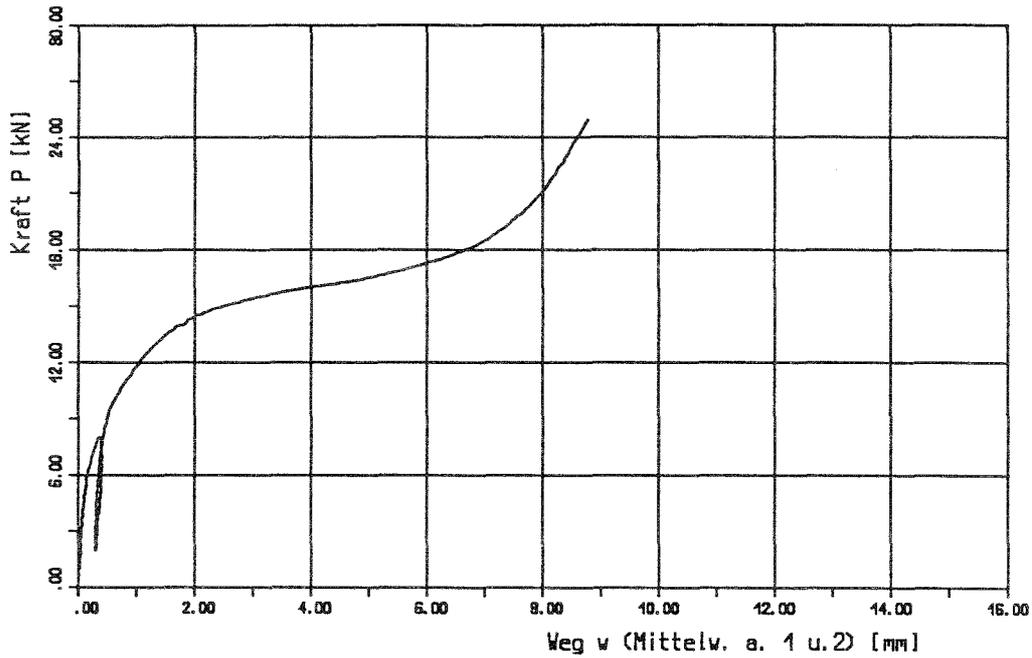


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: VIII2, 4

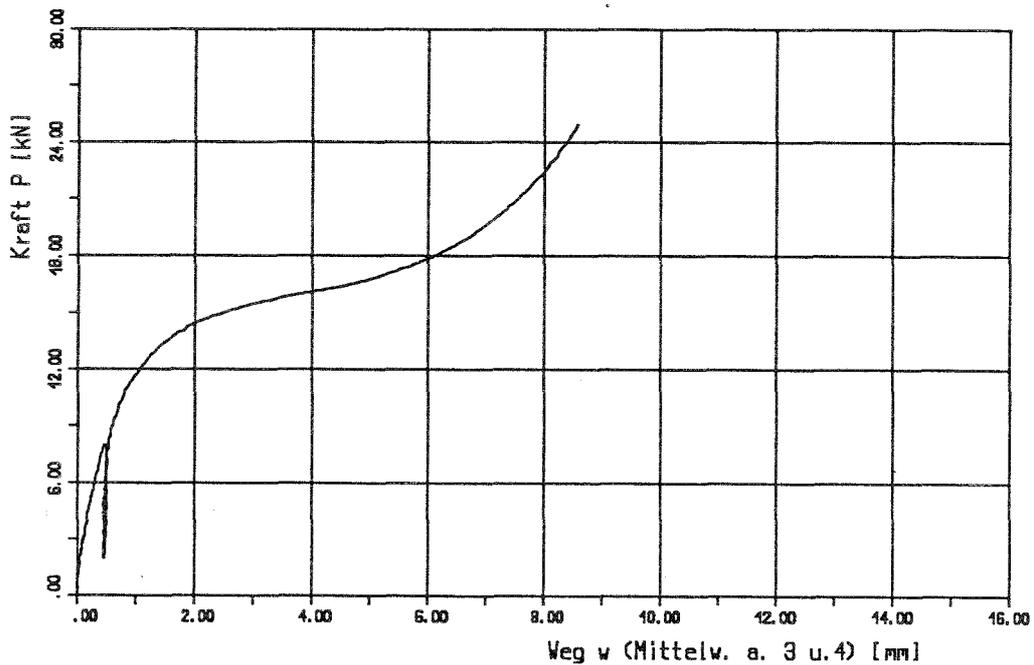


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,5

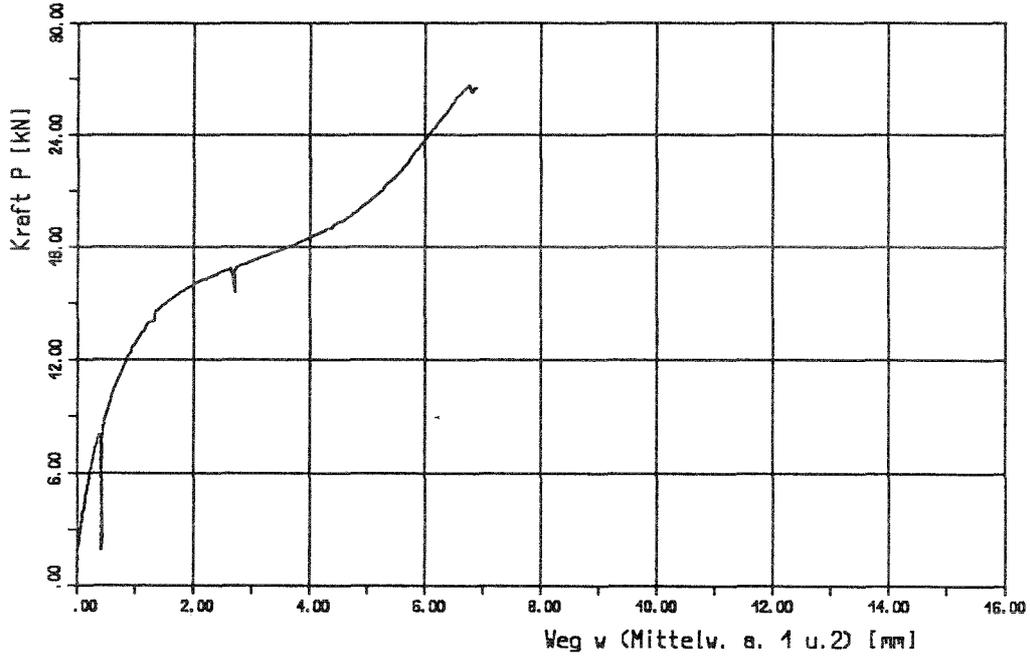


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,5

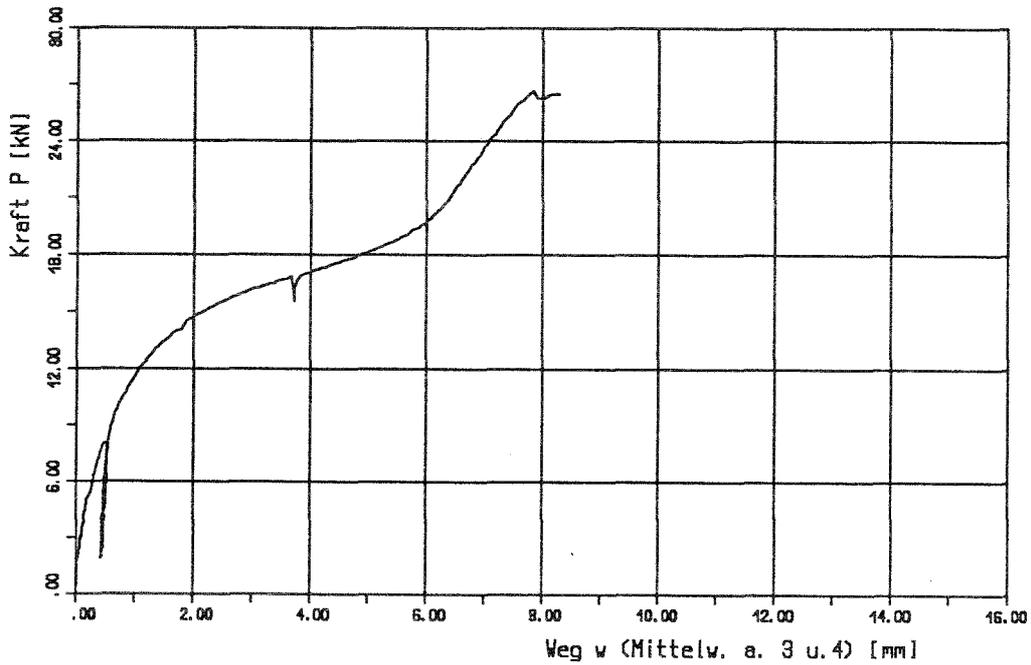


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,6

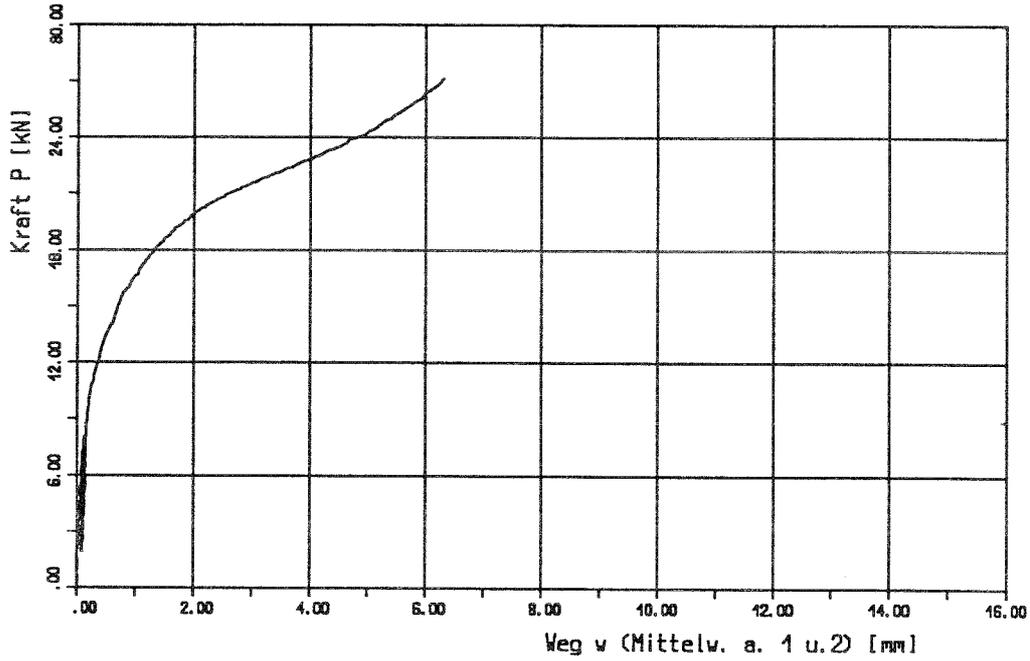


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,6

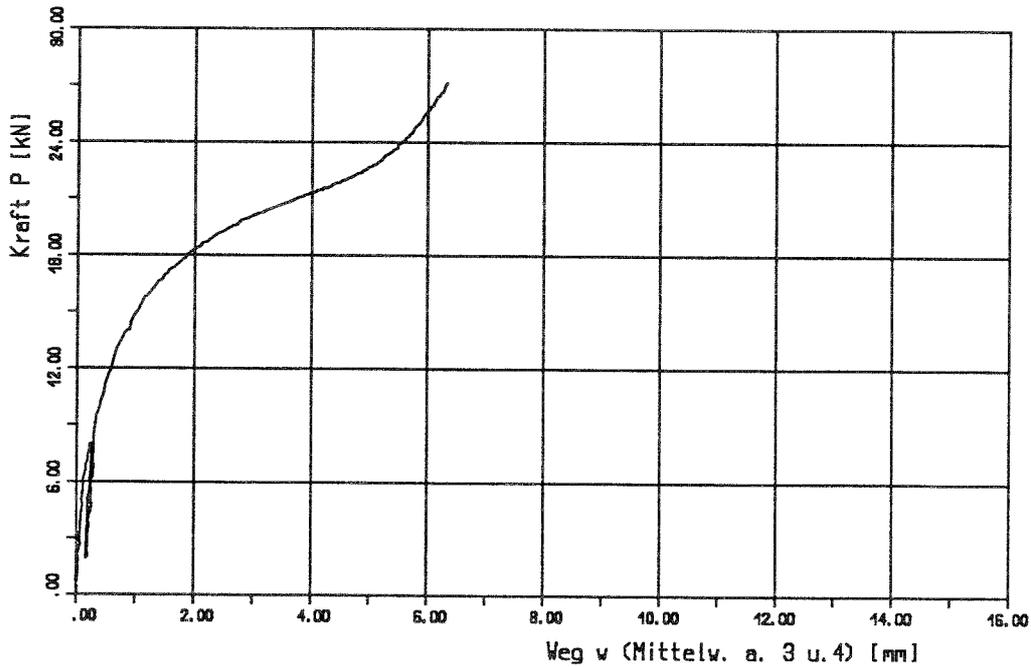


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,7

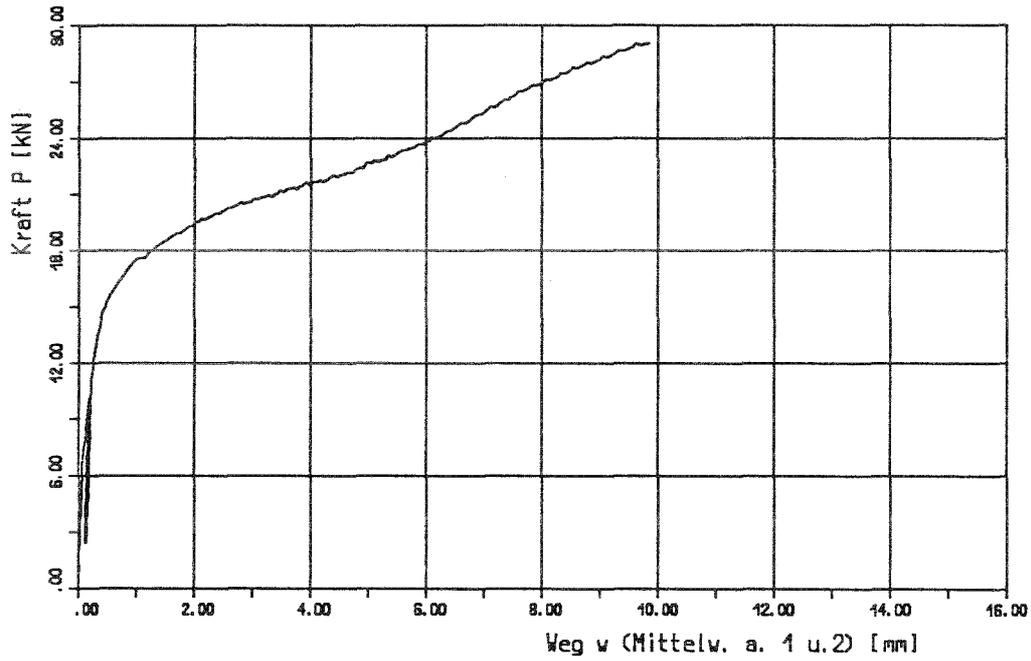


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,7

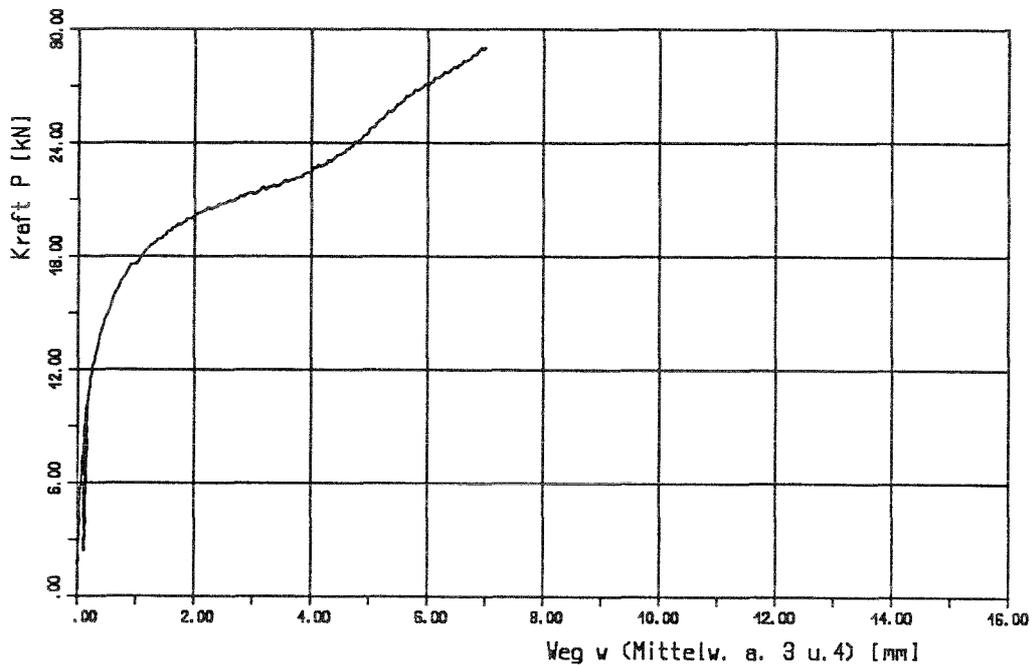


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,8

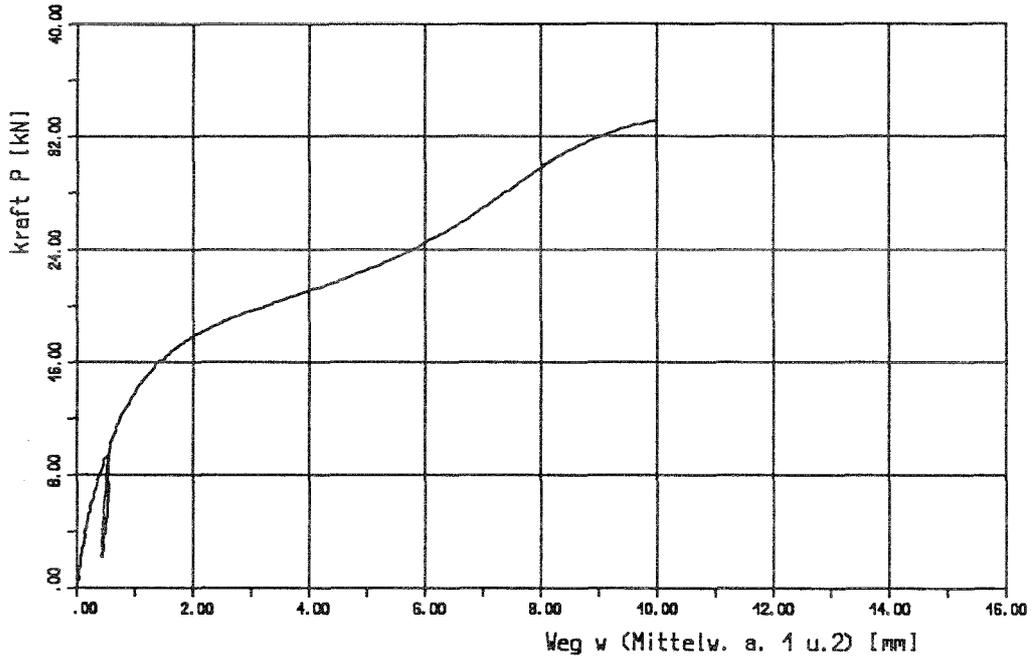


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII2,8

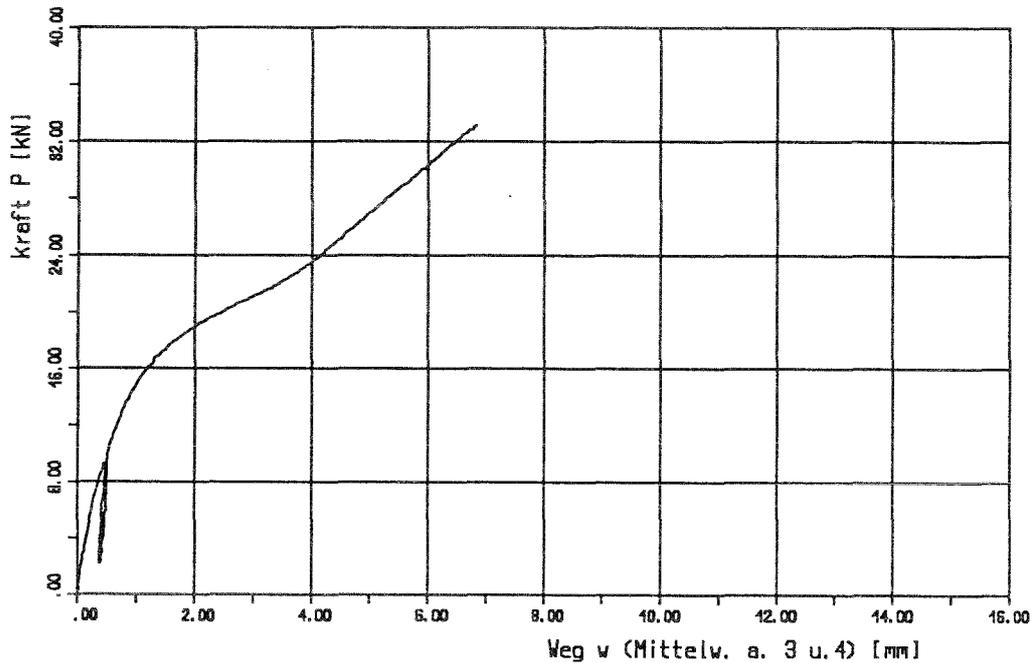


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm;
Versuch: XI2, 1

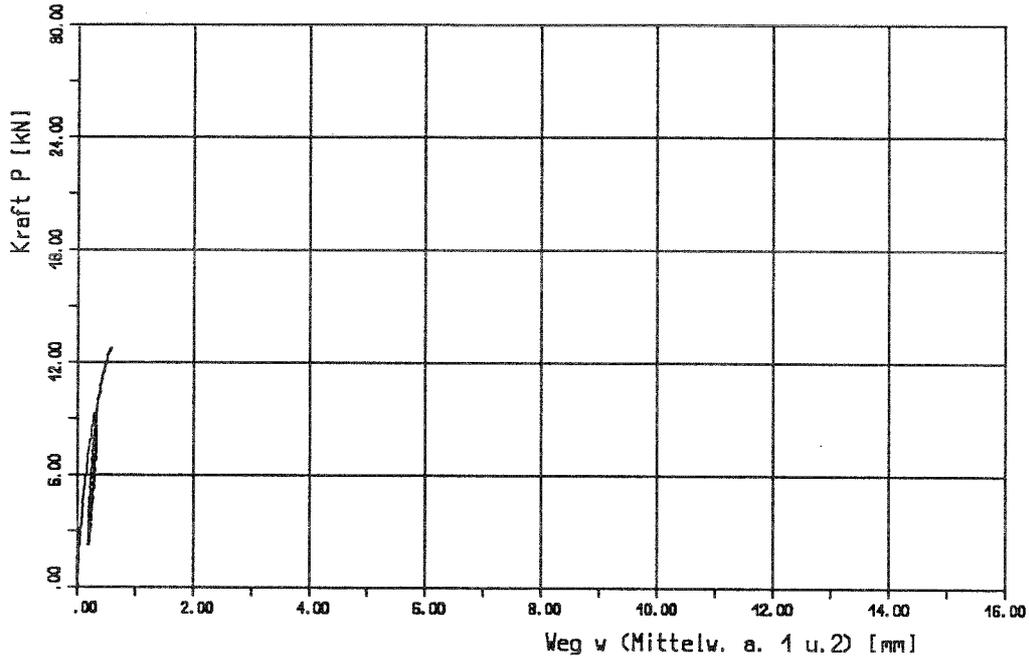


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2, 1

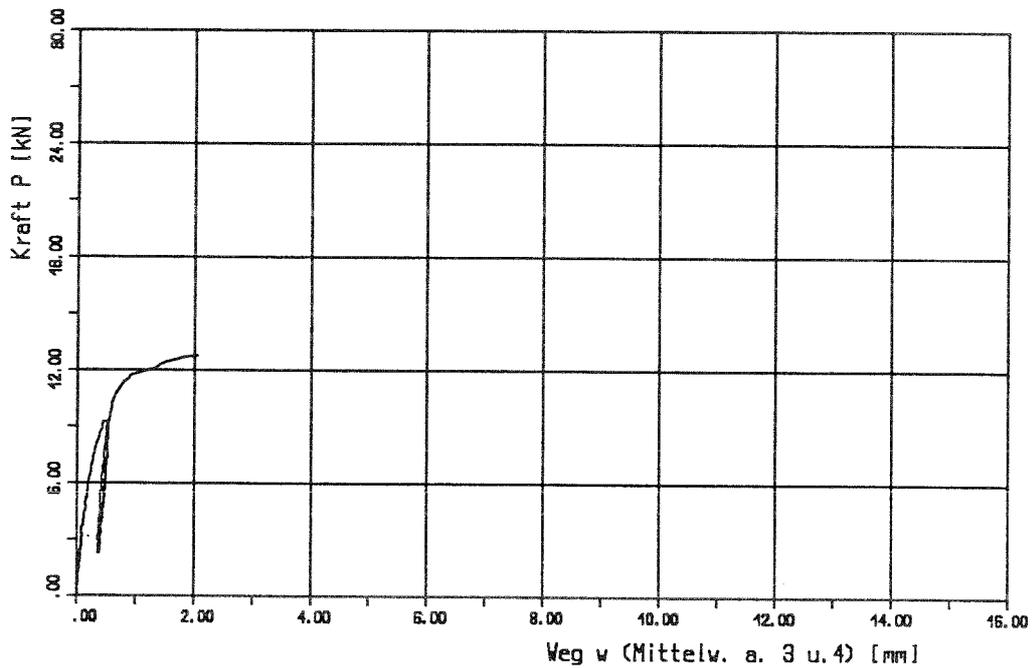


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2, 2

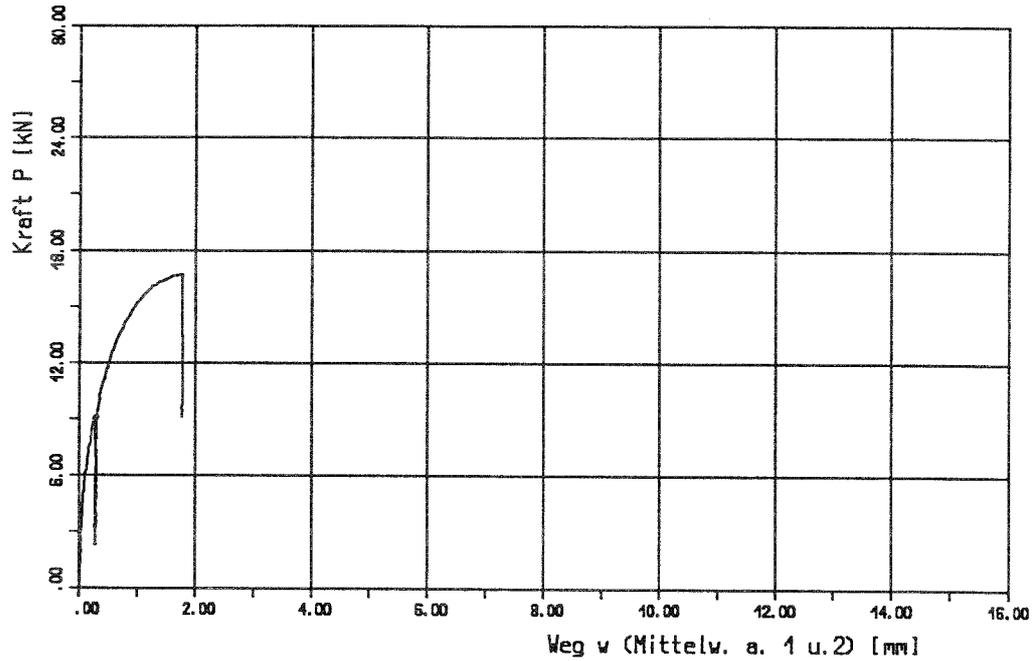


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2, 2

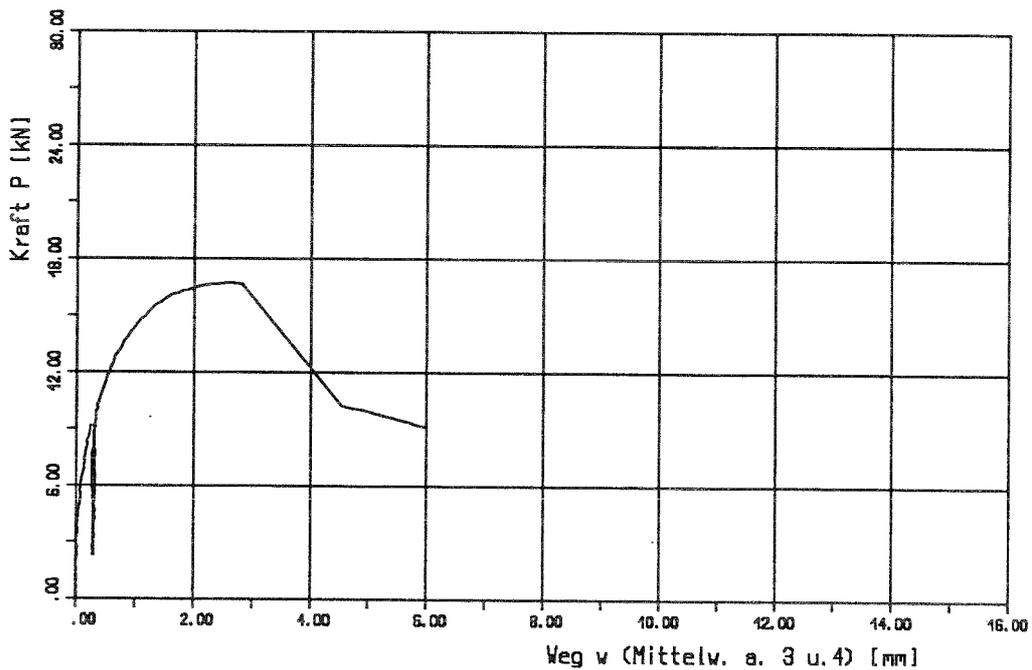


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2,3

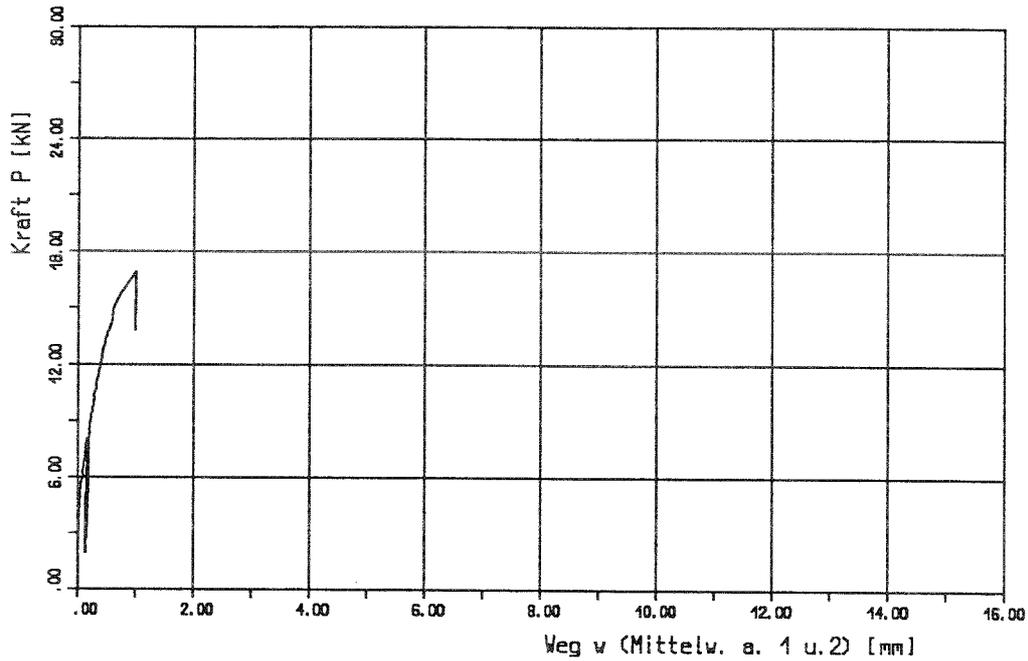


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2,3

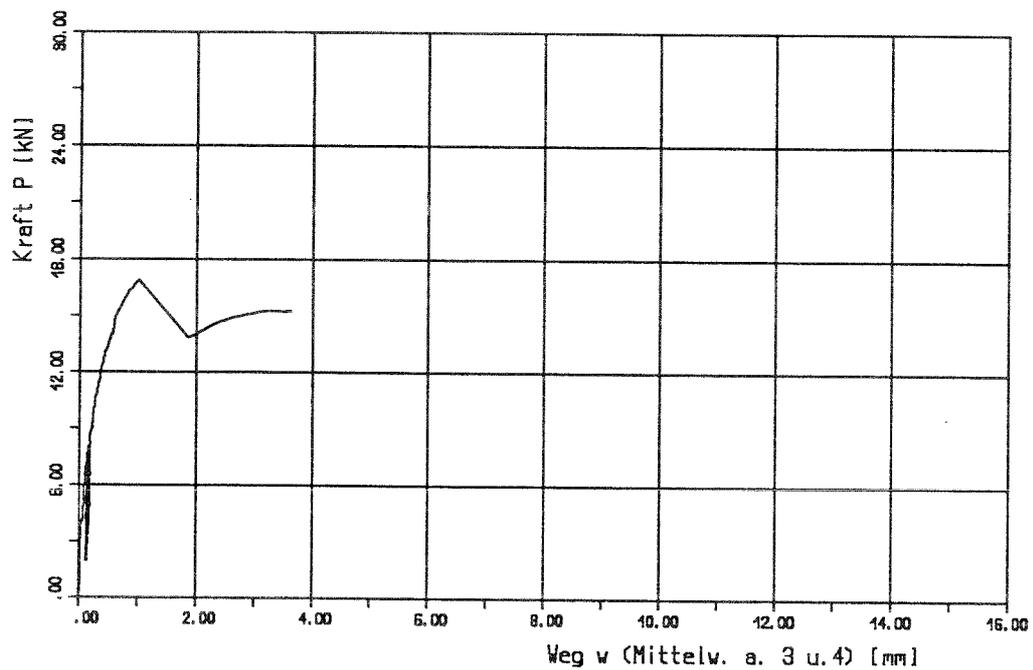


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2, 4

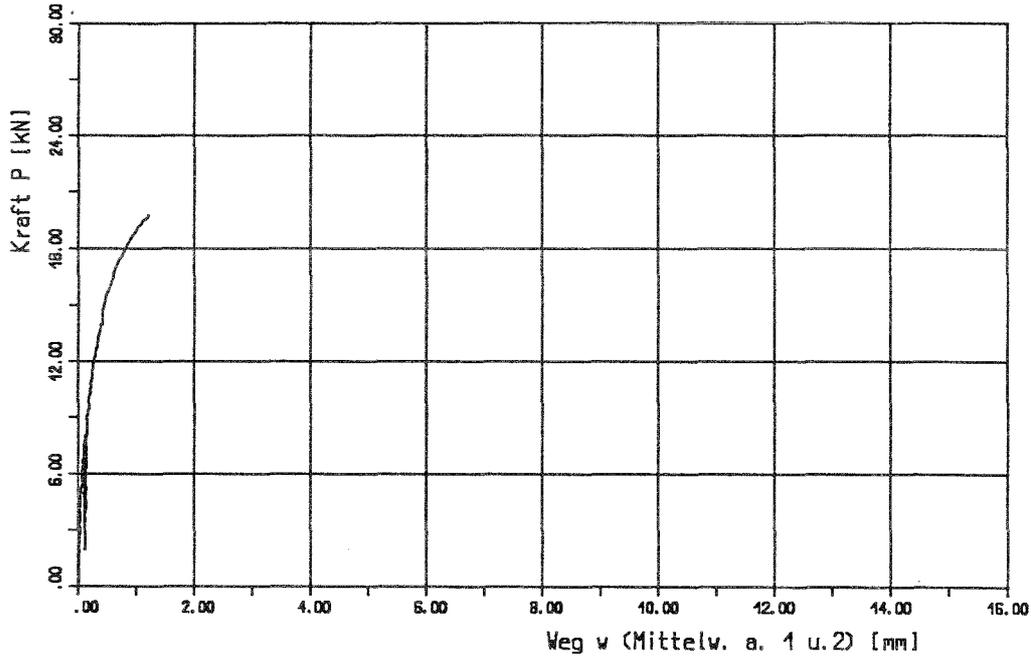


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2, 4

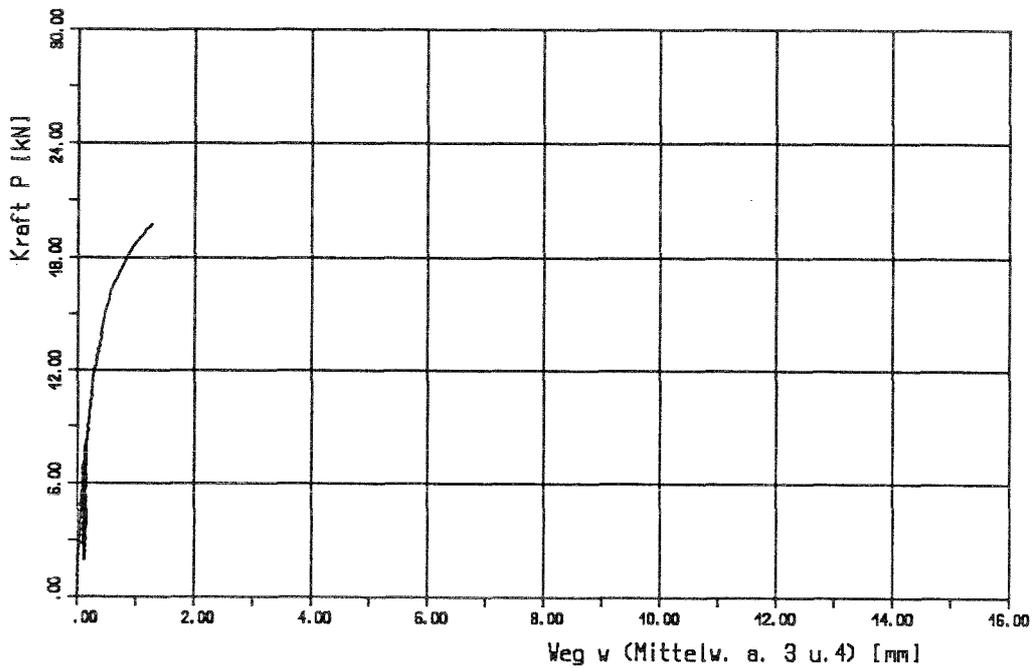


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2,5

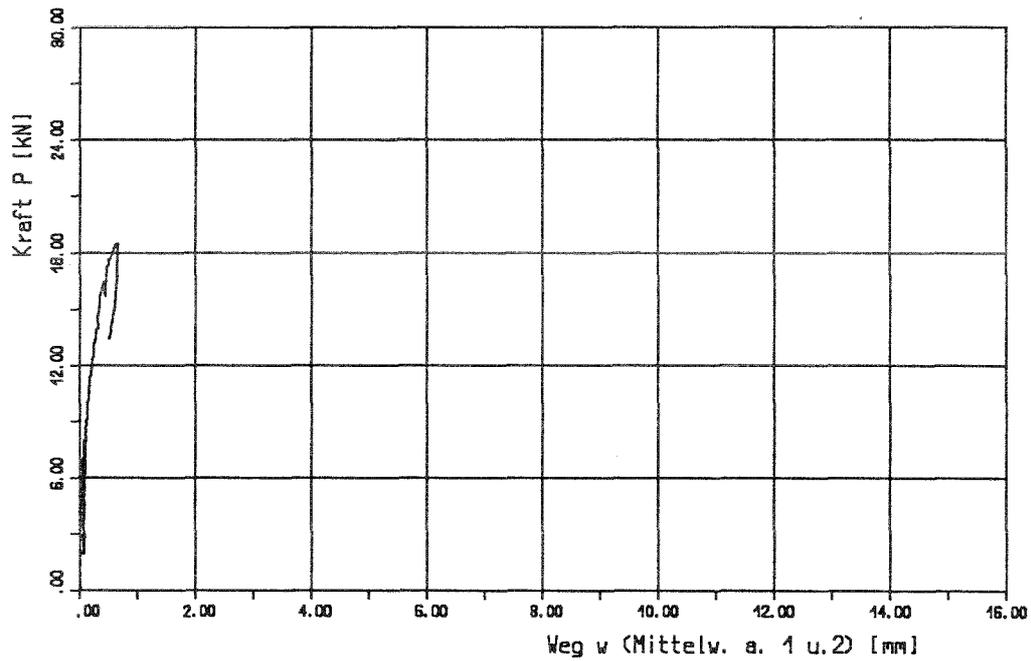


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2,5

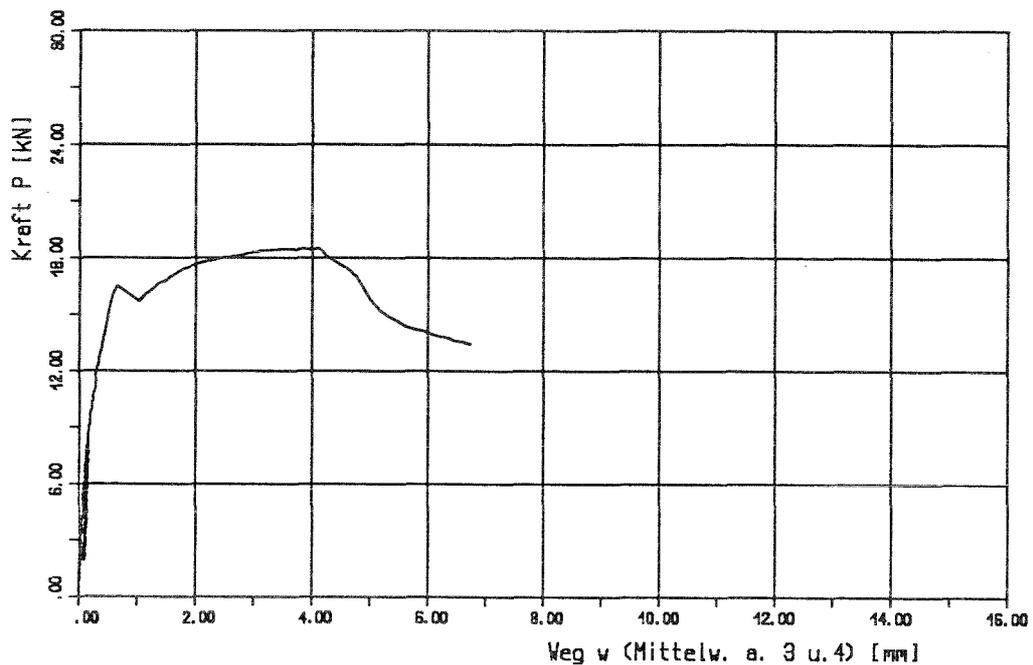


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2,6

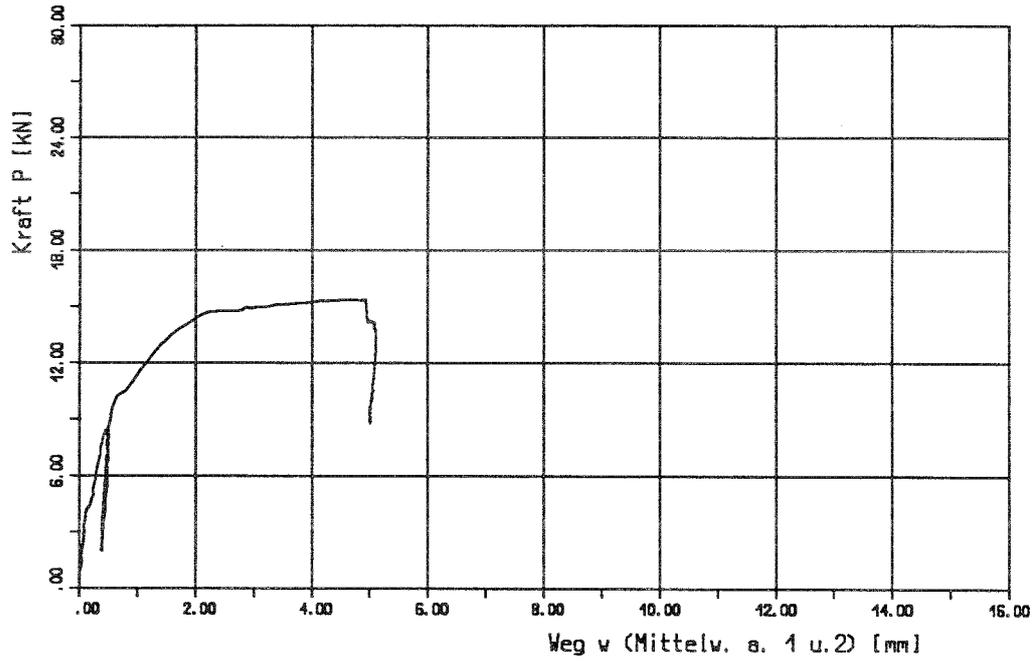


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XI2,6

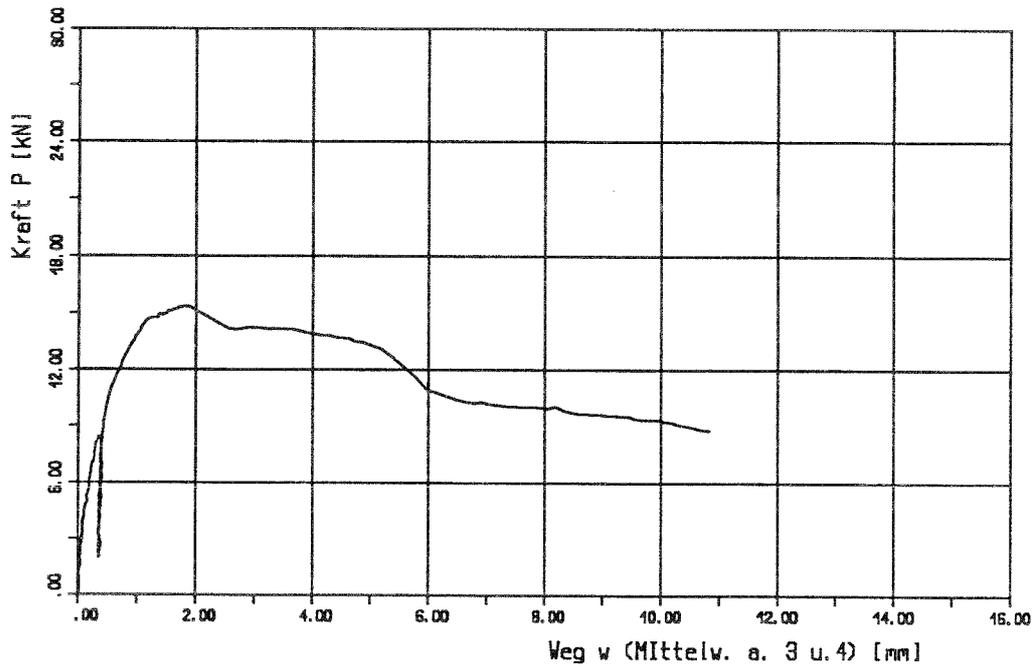


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2, 2

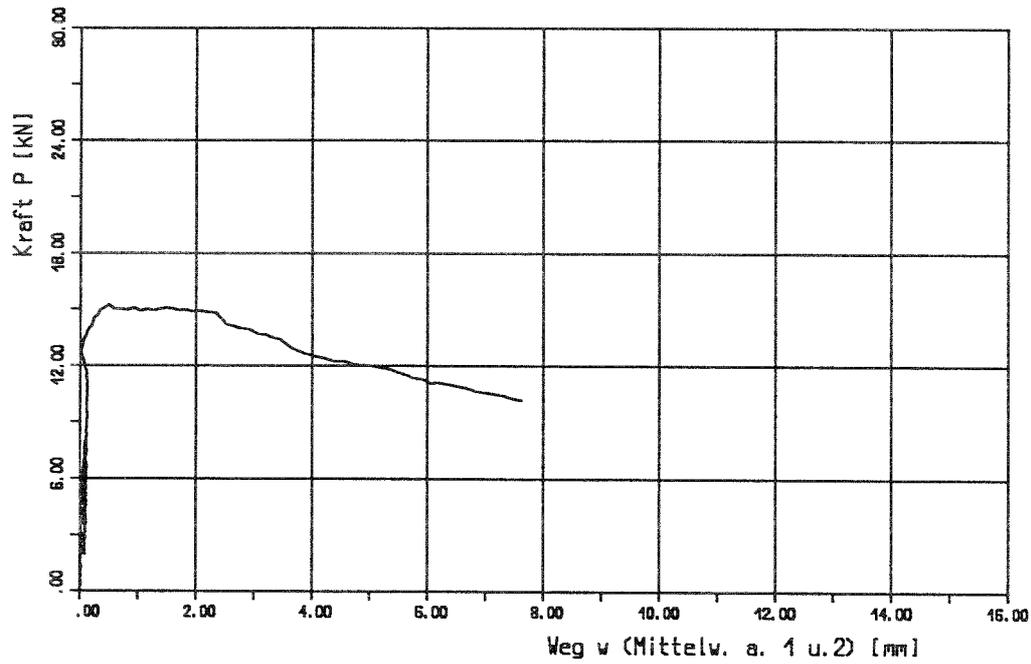


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2, 2

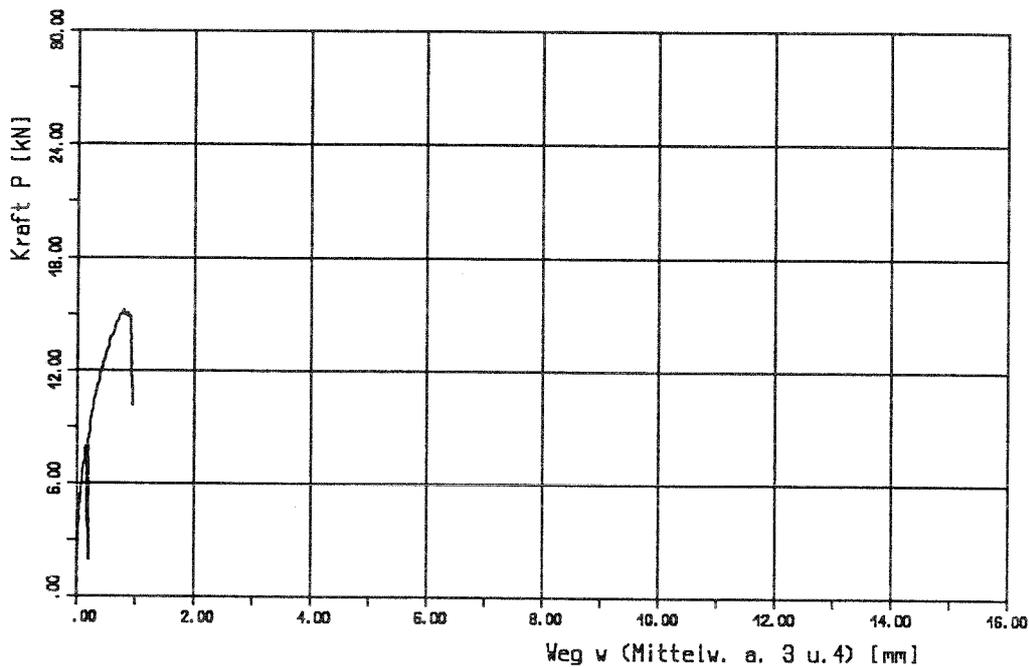


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,3

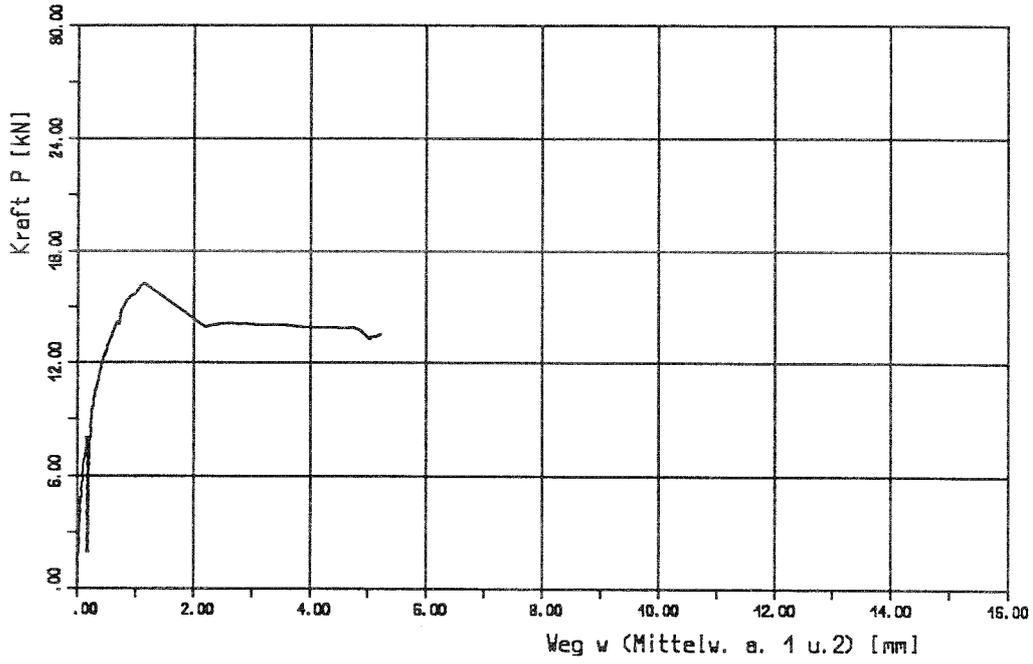


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,3

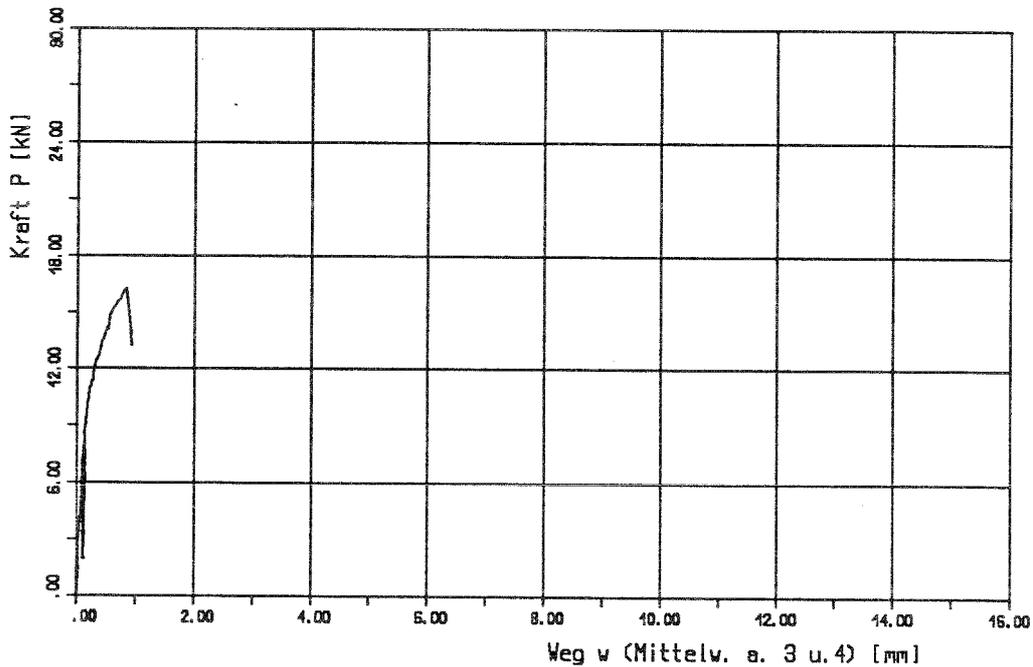


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XII2, 4

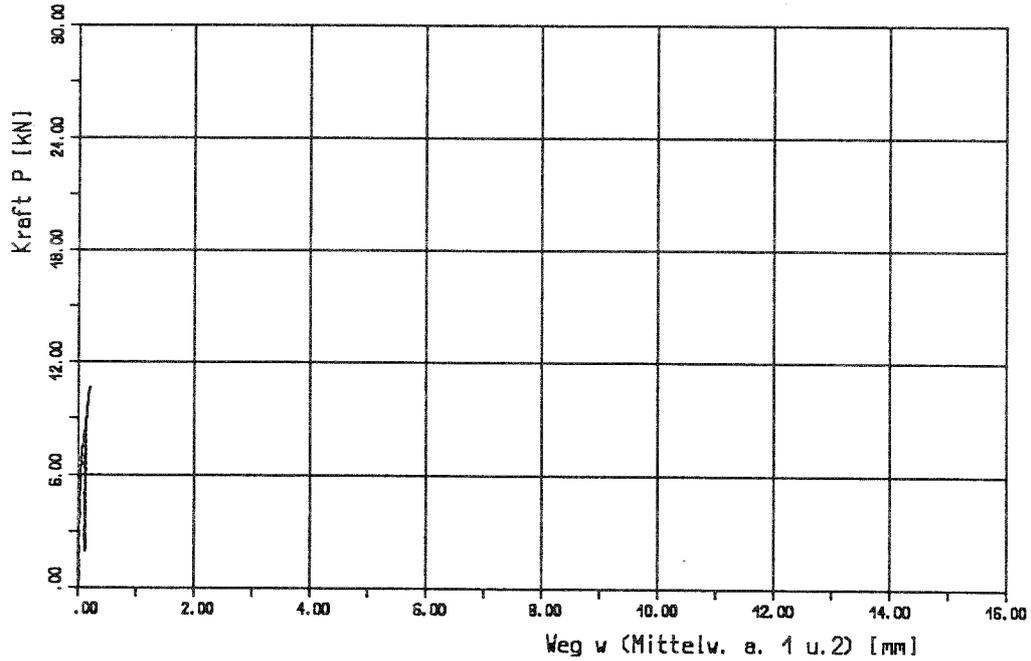


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XII2, 4

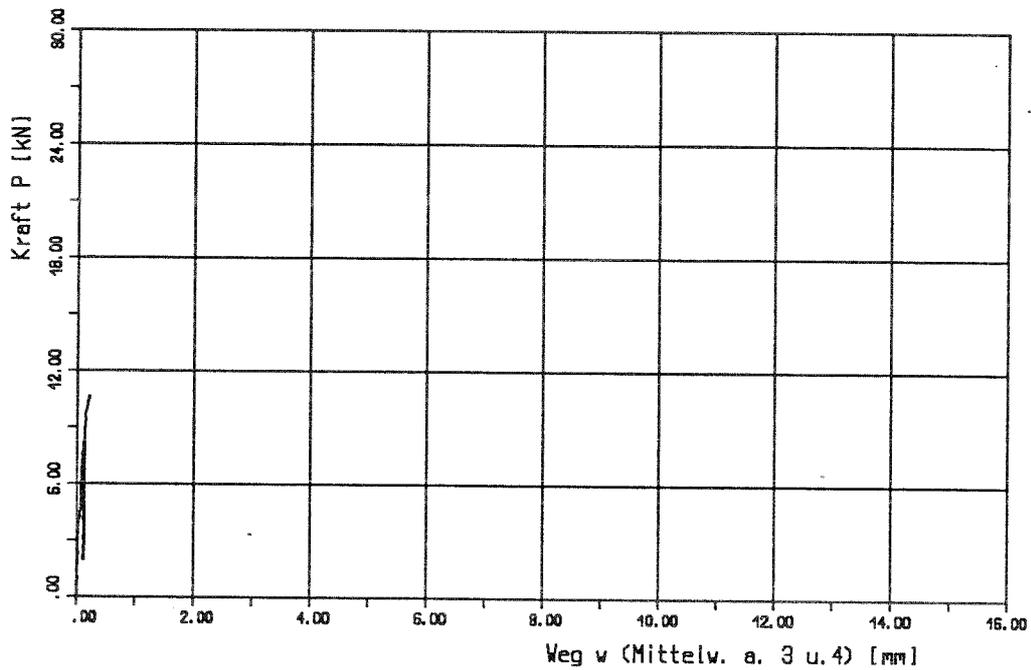


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,5

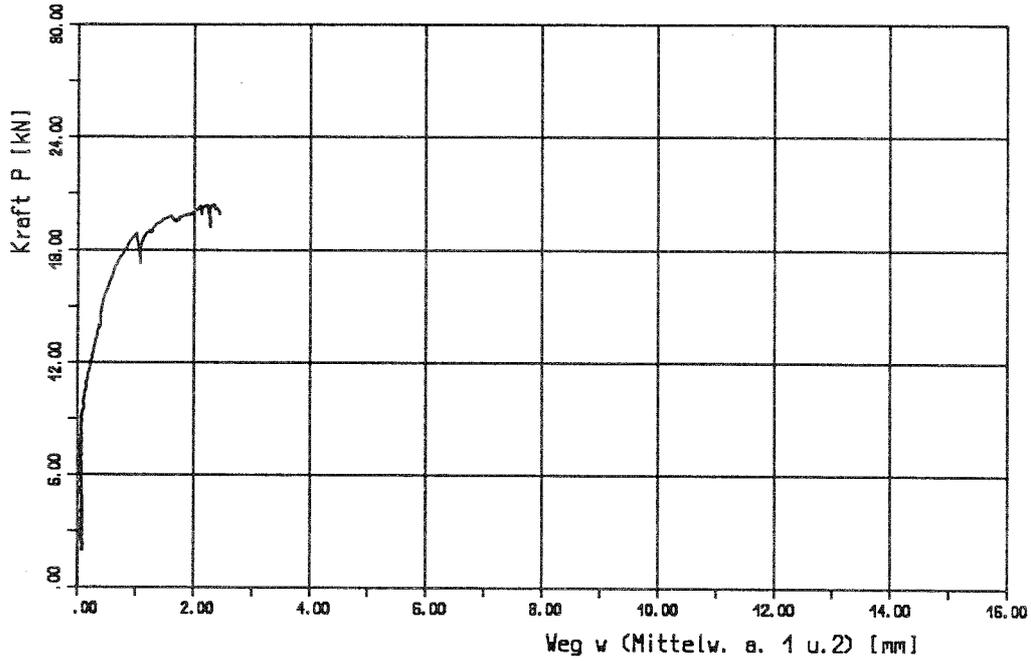


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,5

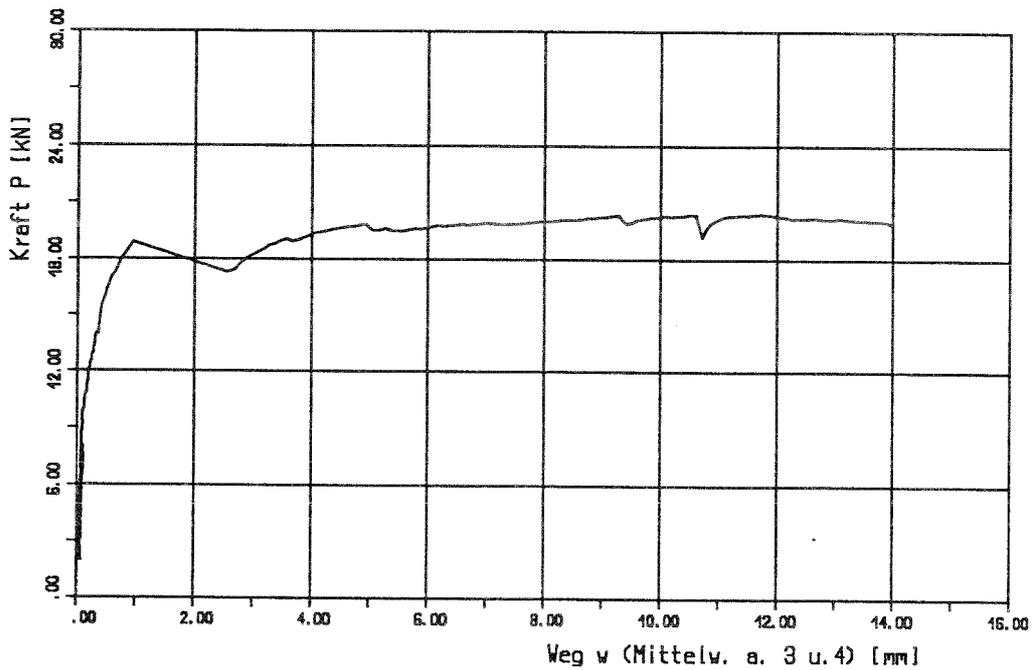


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,6

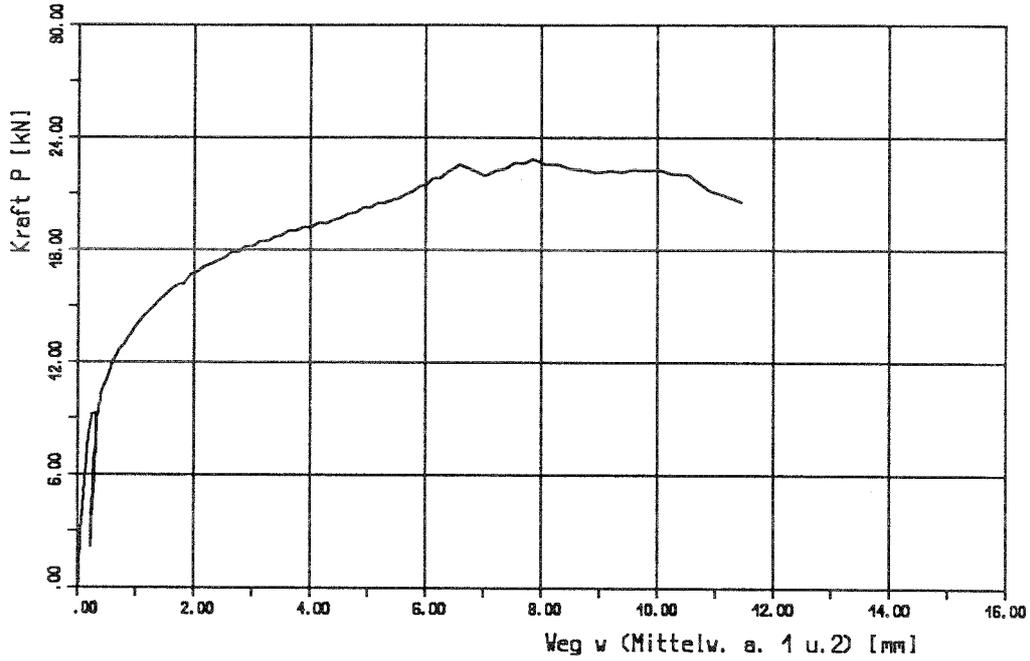


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,6

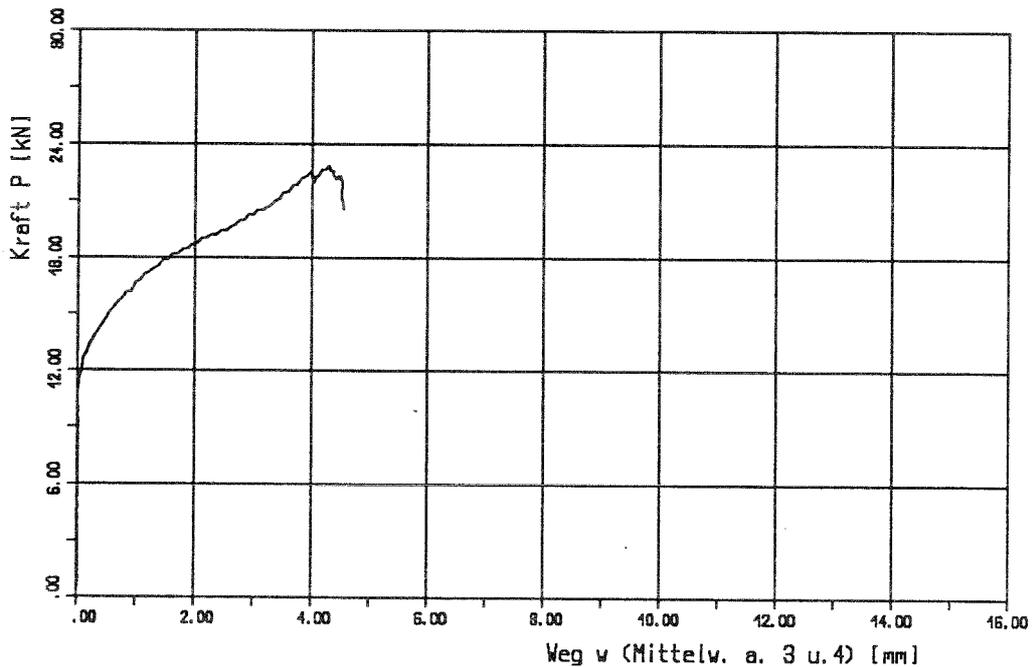


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,7

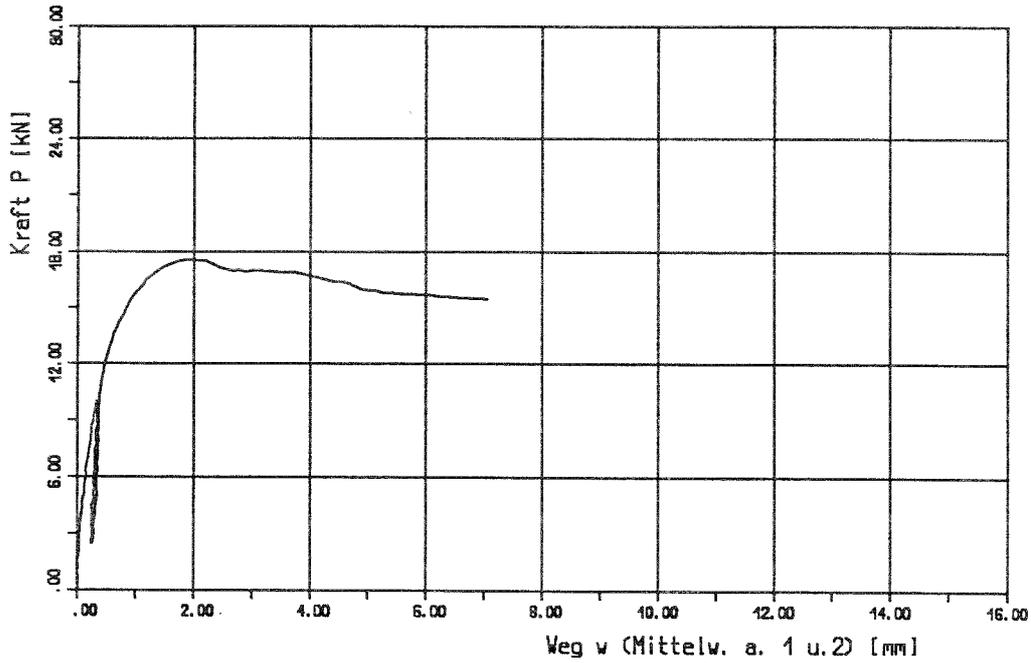


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XII2,7

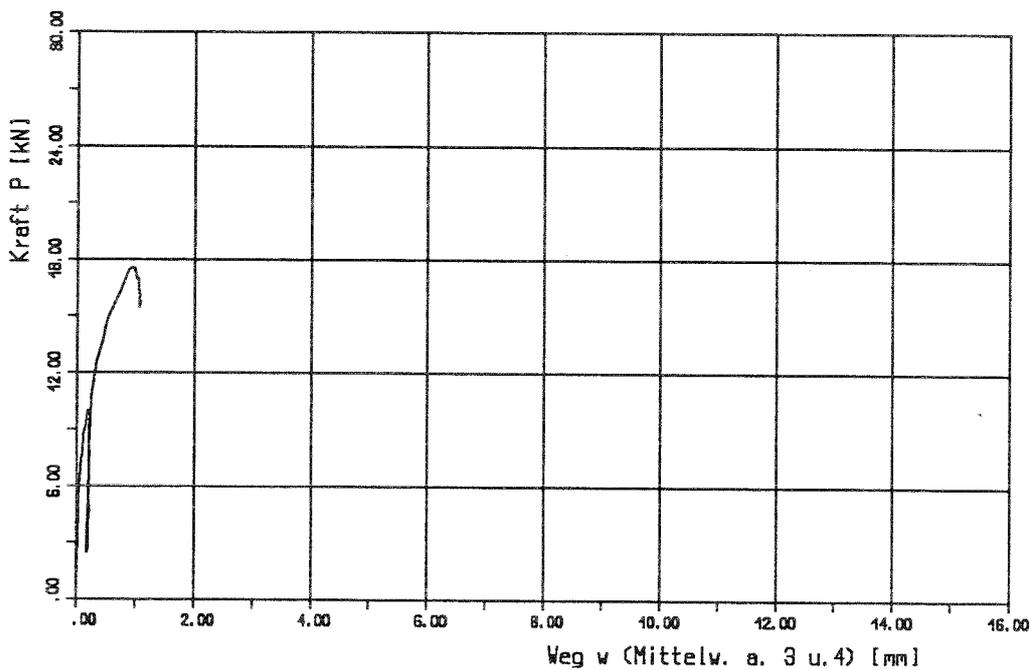


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII2,1

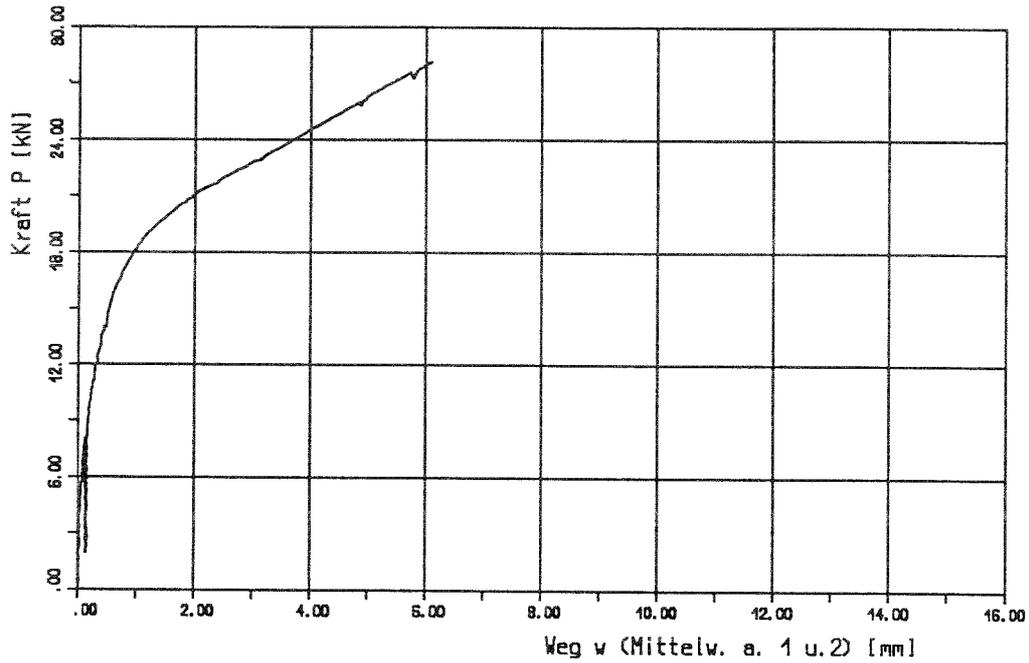


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII2,1

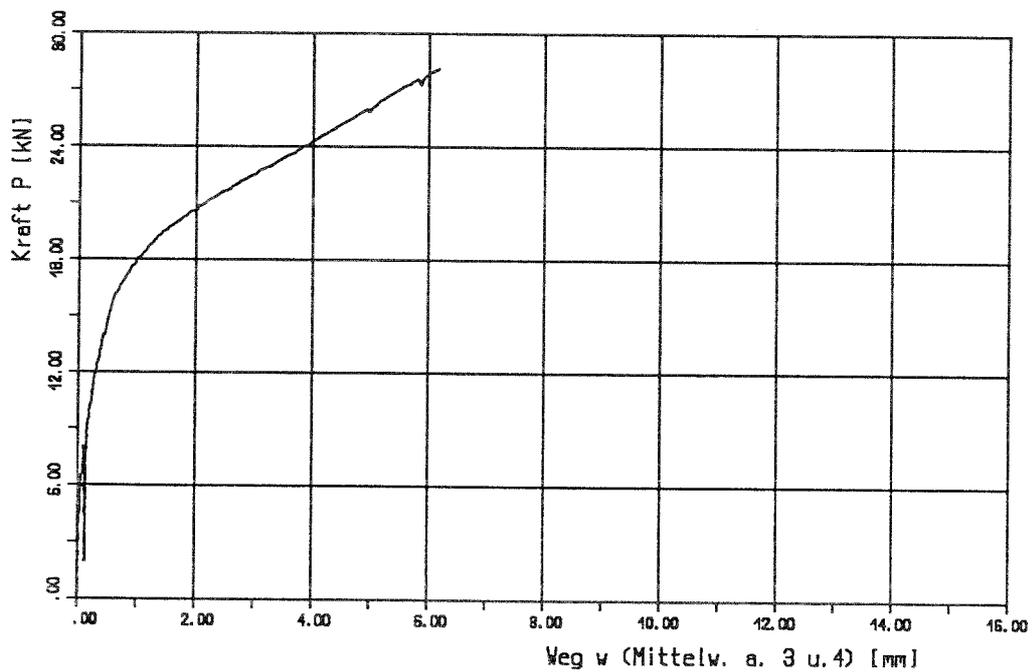


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII2,2

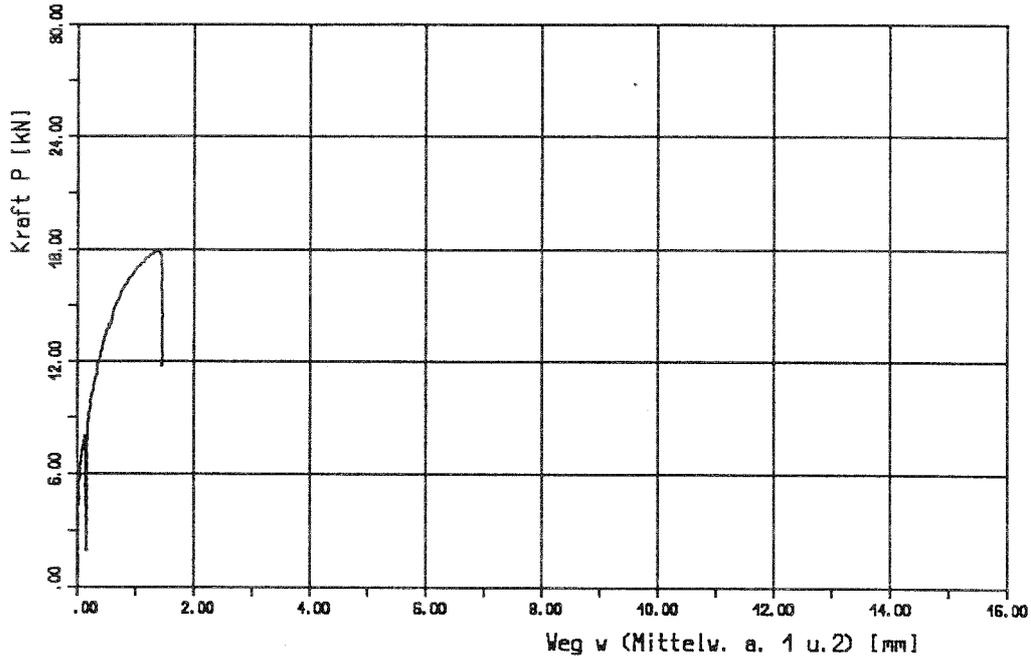


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII2,2

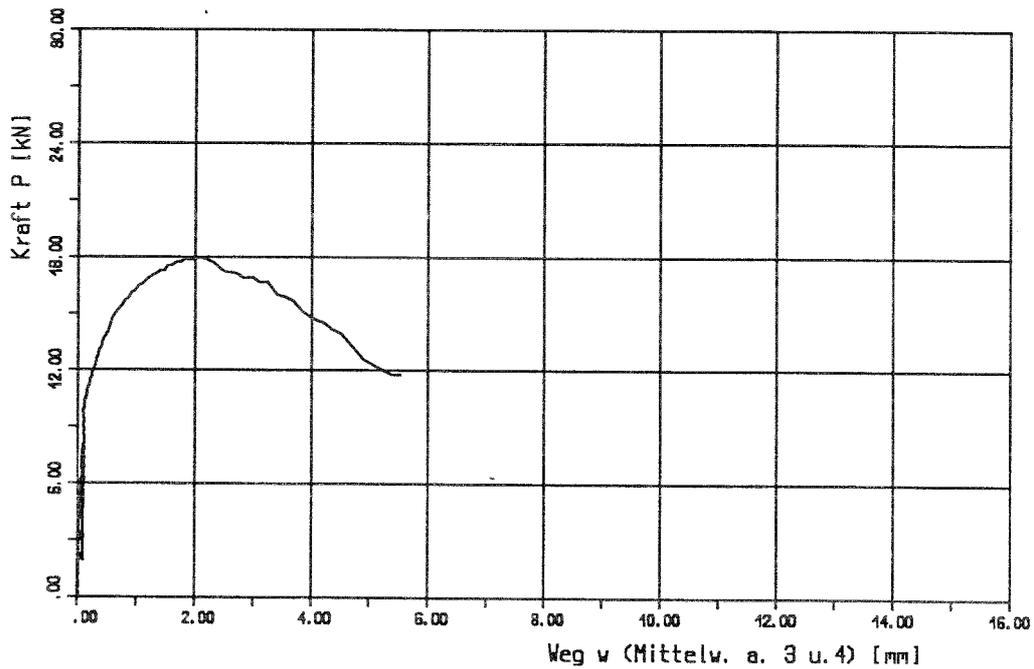


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIII2,3

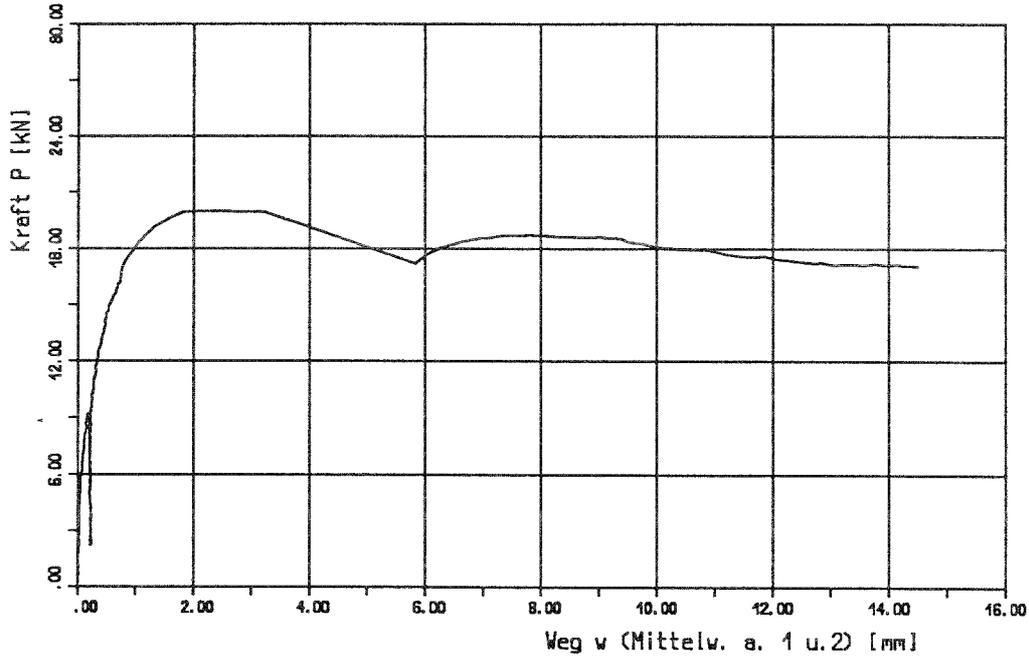


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIII2,3

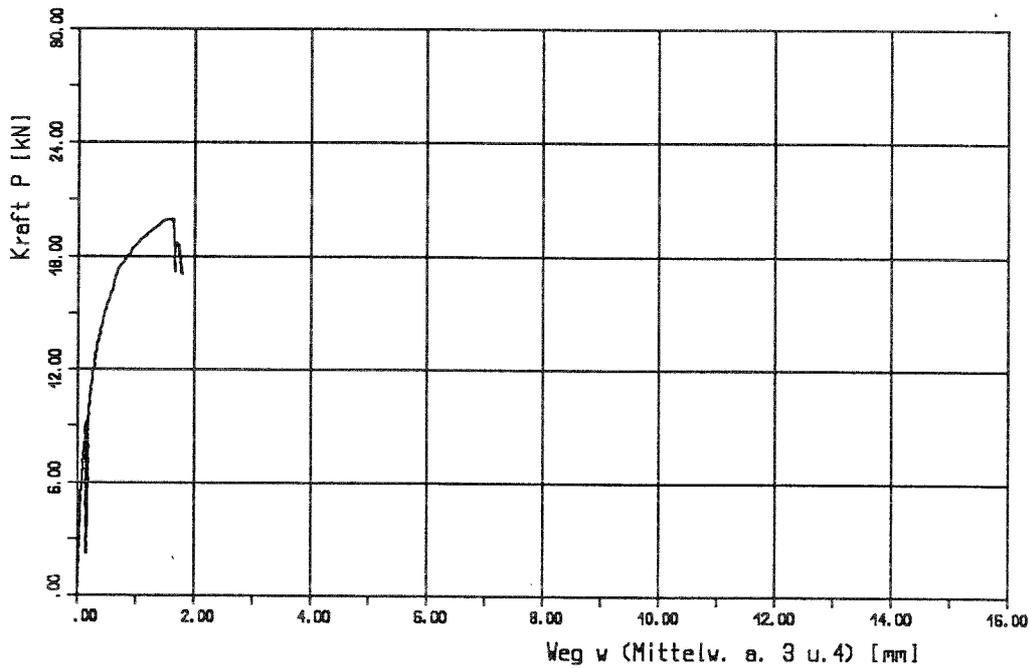


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIII2,4

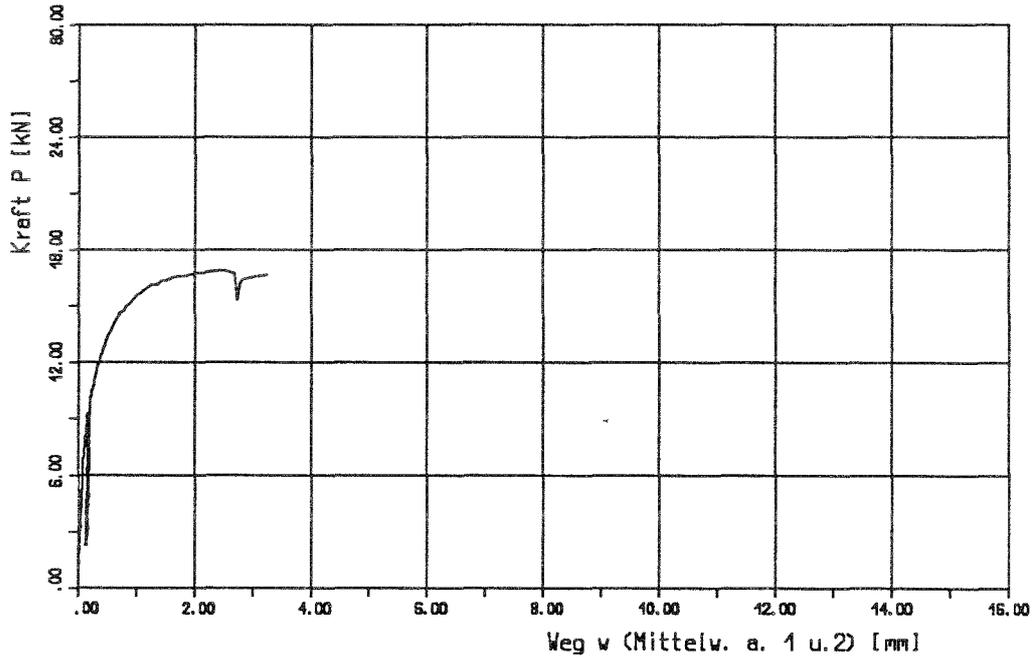


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIII2,4

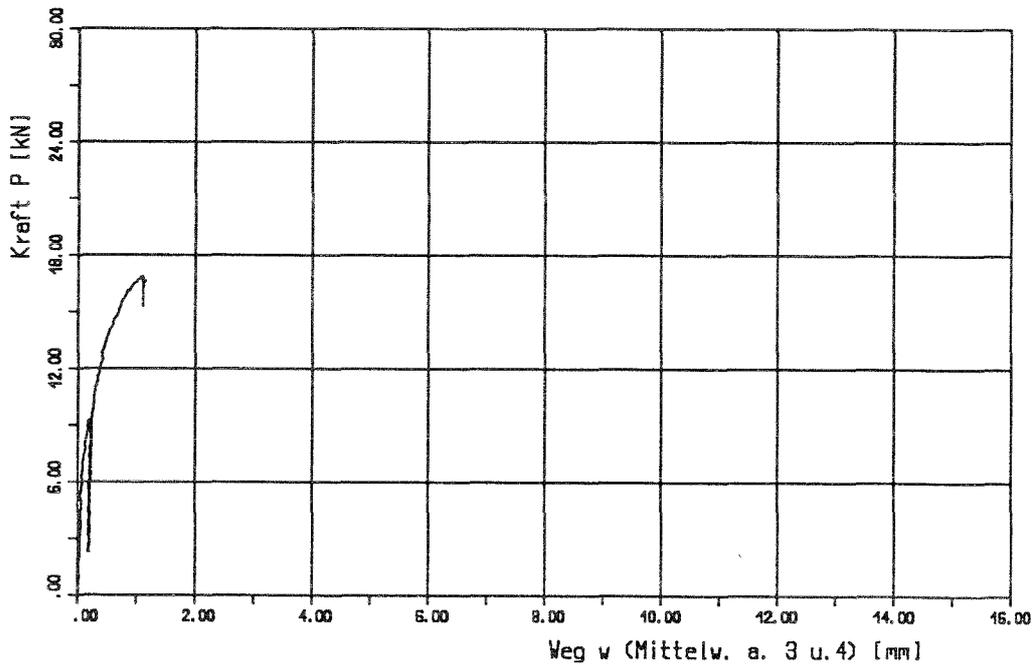


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII2,6

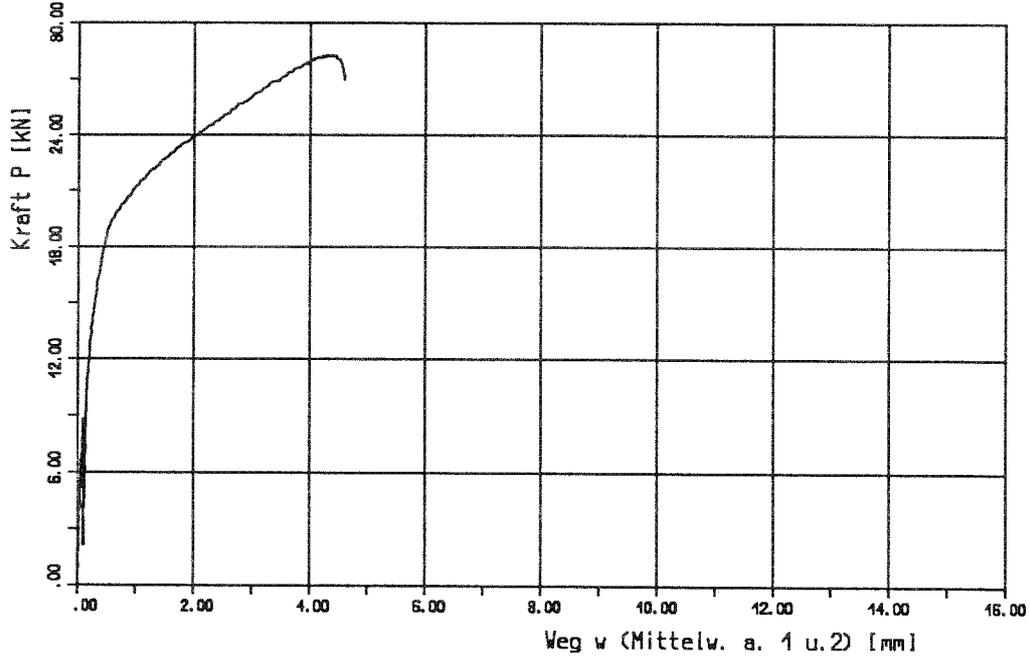


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII2,6

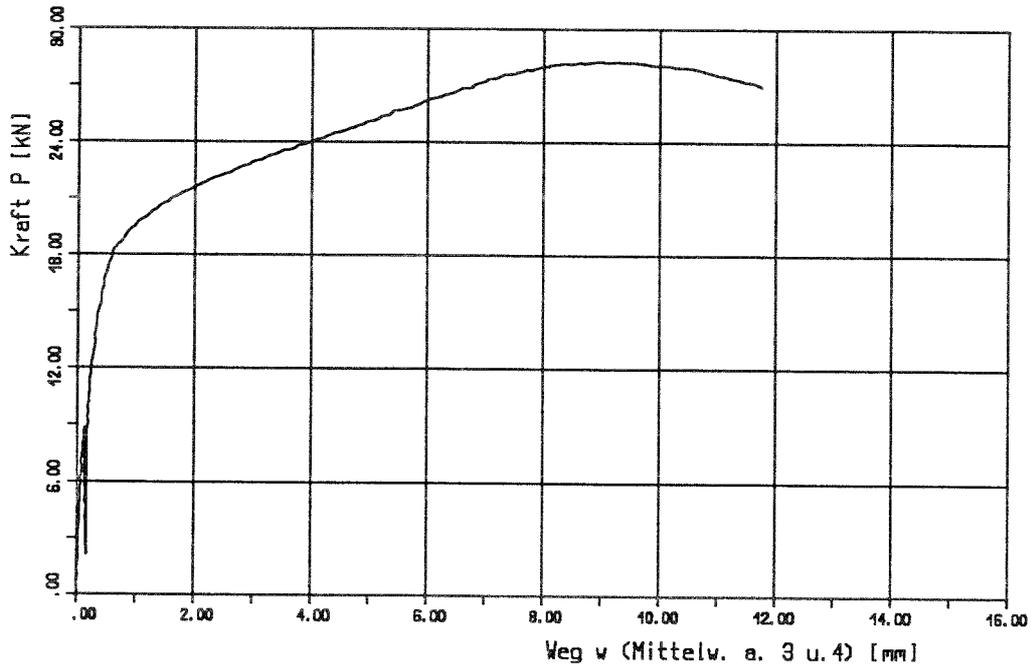


Bild 2: versetzte Nagelung: Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV2,1

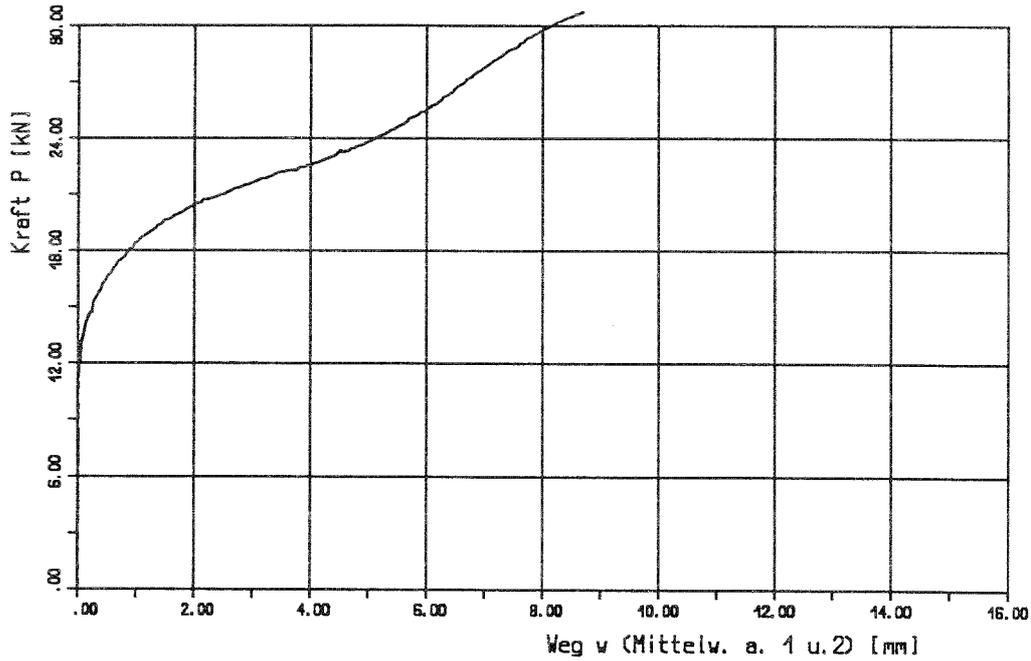


Bild 3: unversetzte Nagelung: Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV2,1

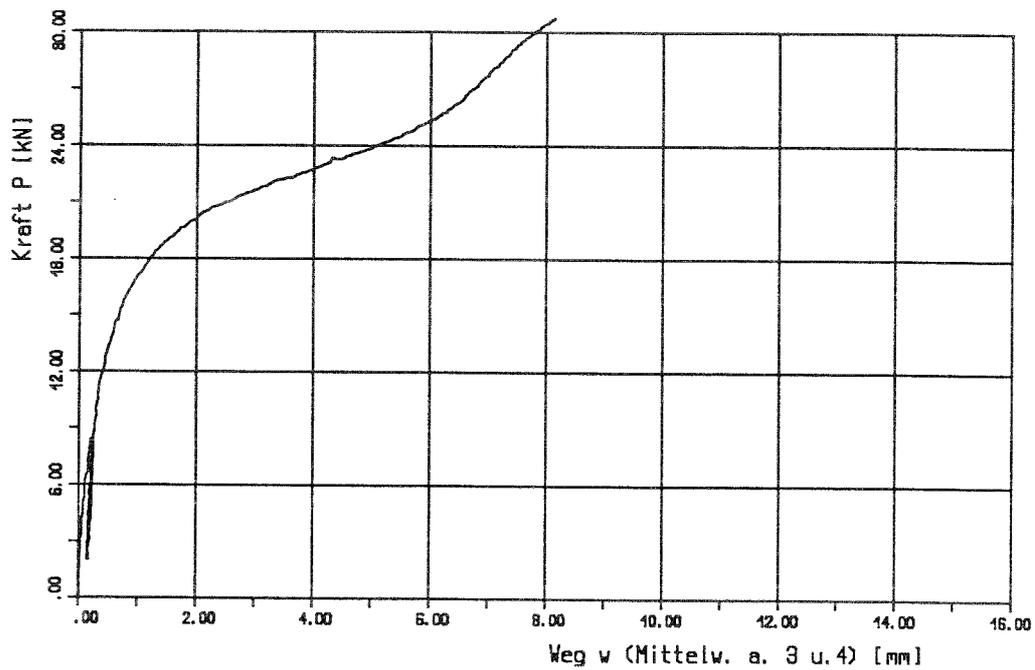


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV2,2

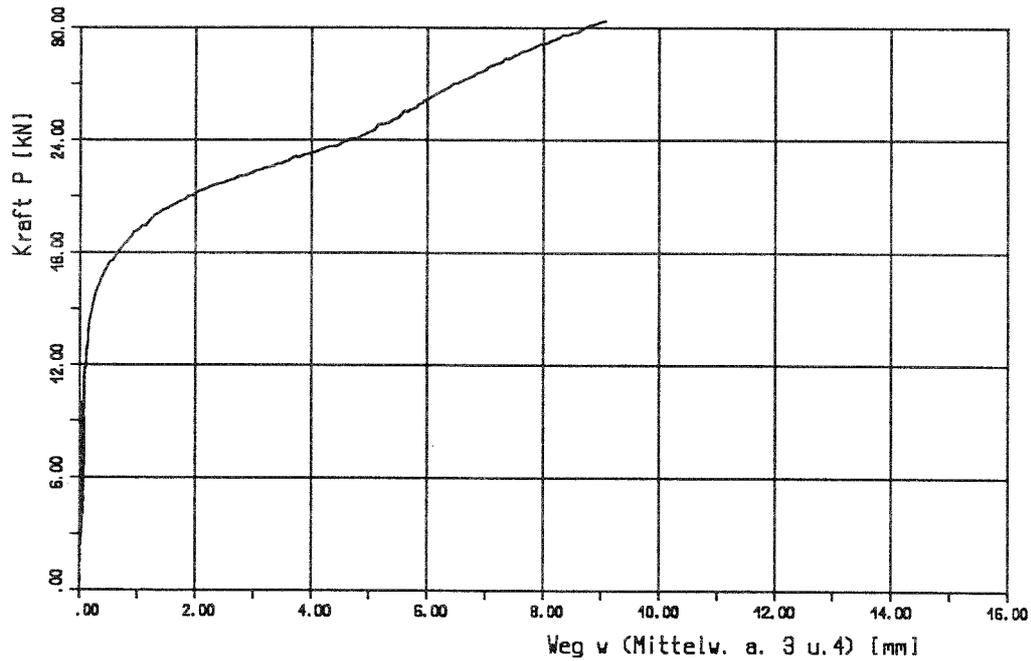


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV2,2

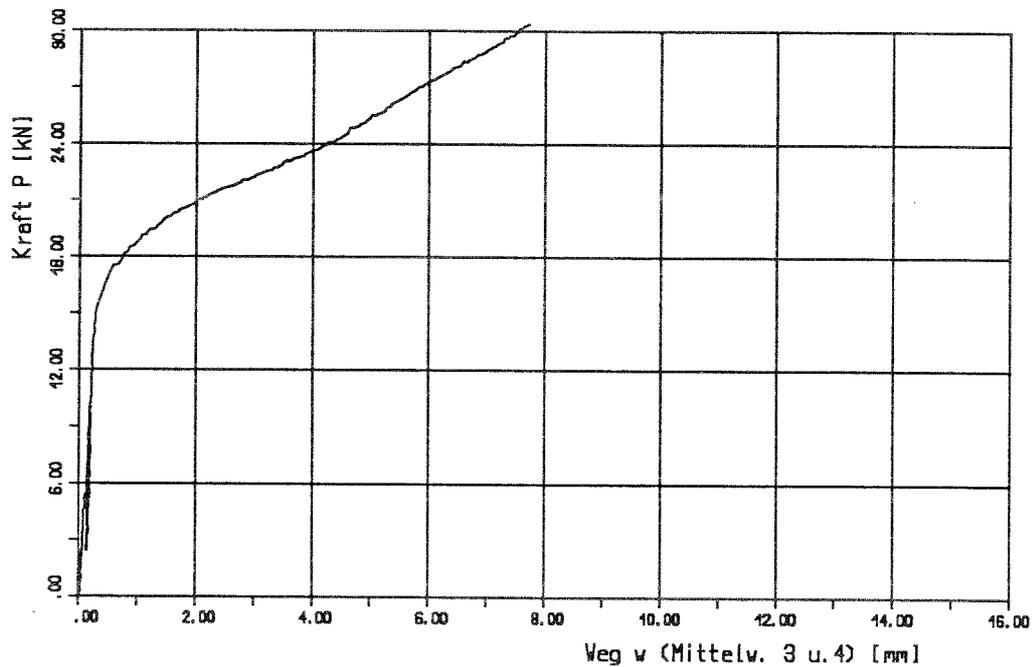


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV2, 3

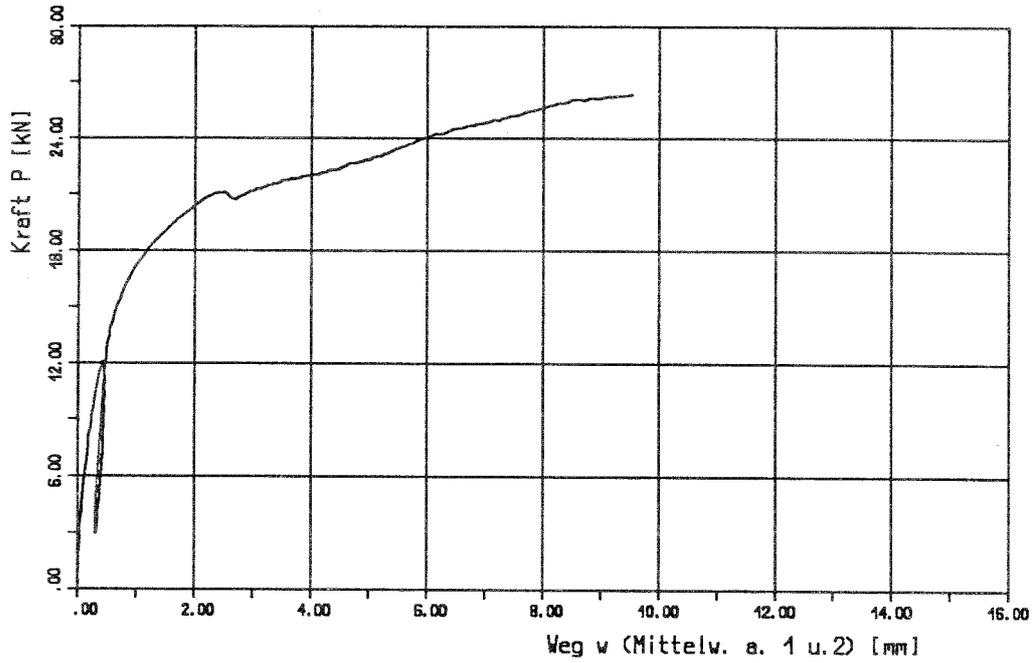


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV2, 3

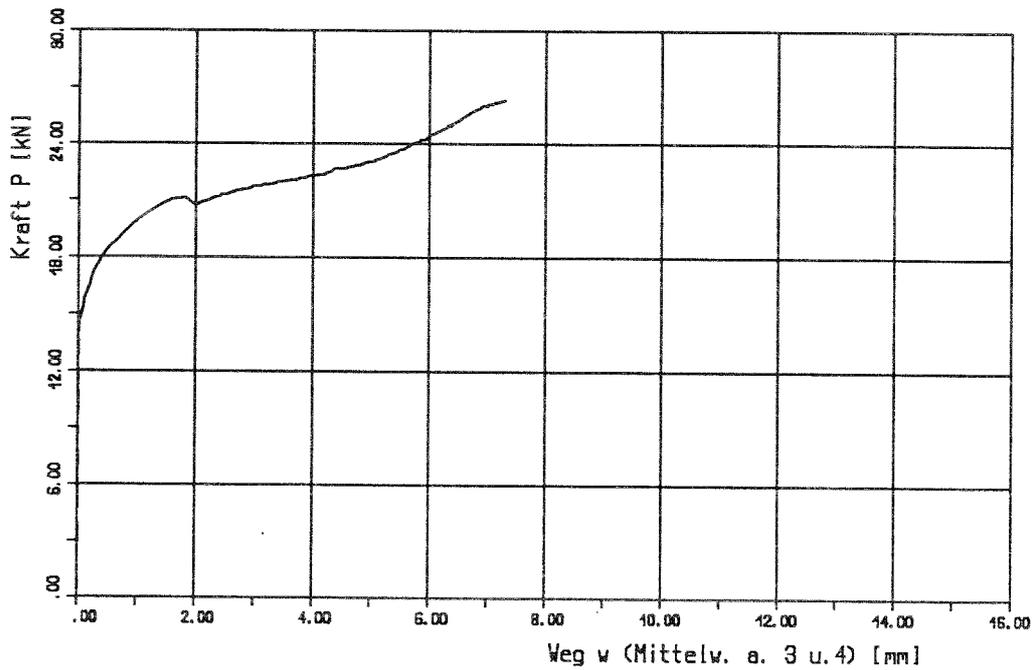


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV2, 4

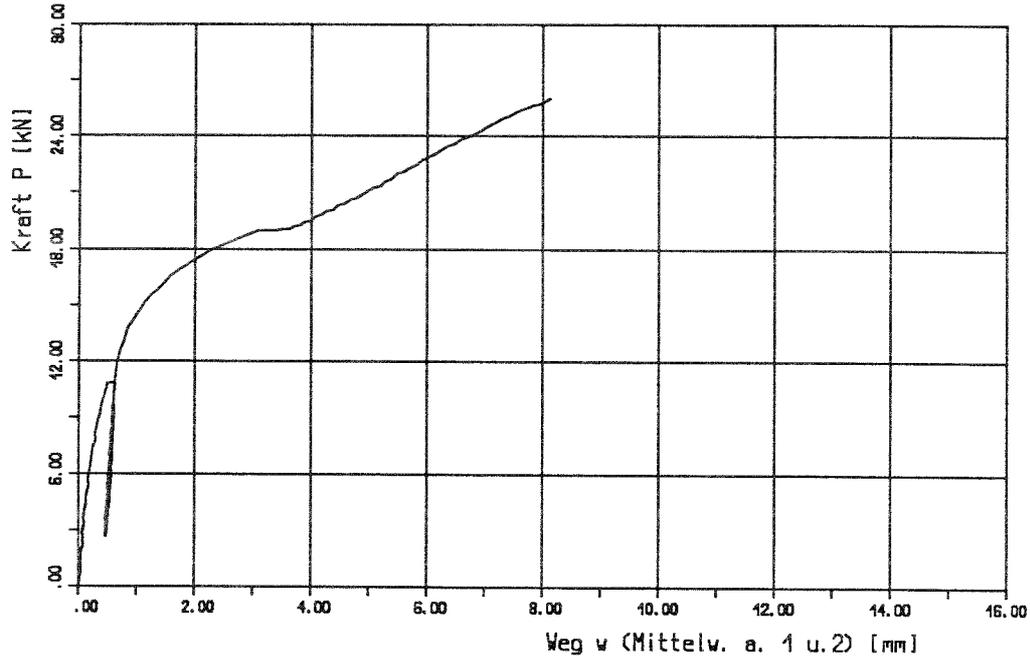


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV2, 4

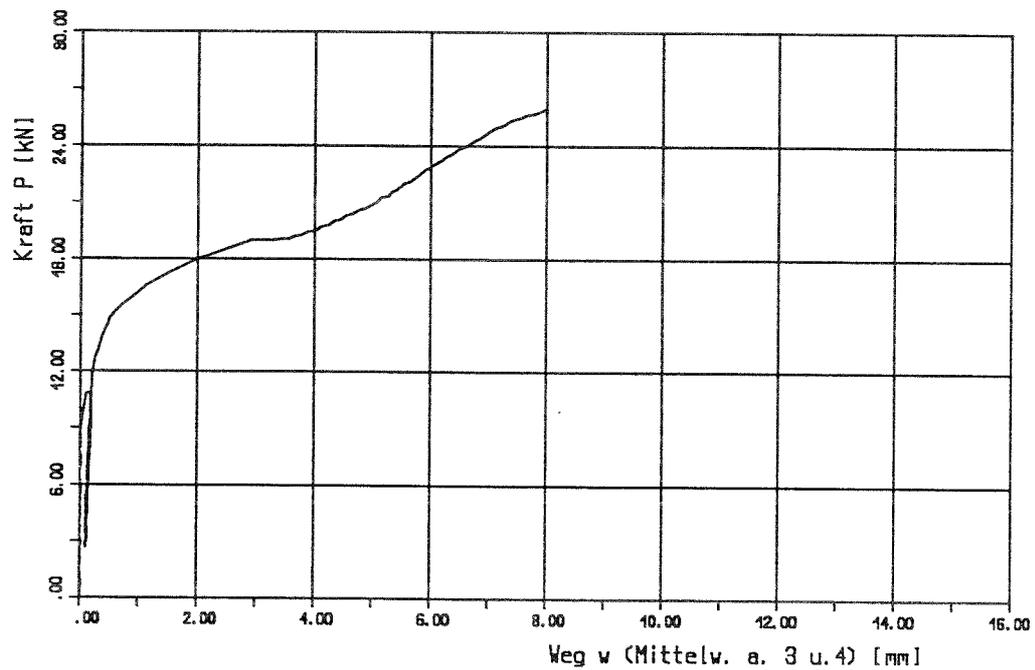


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV2,5

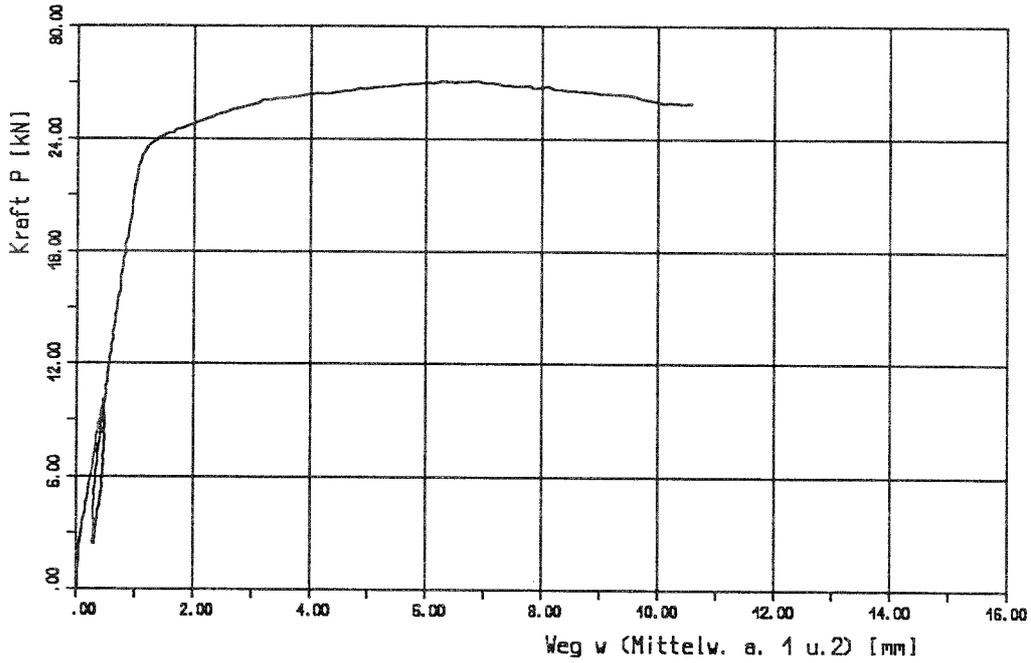


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV2,5

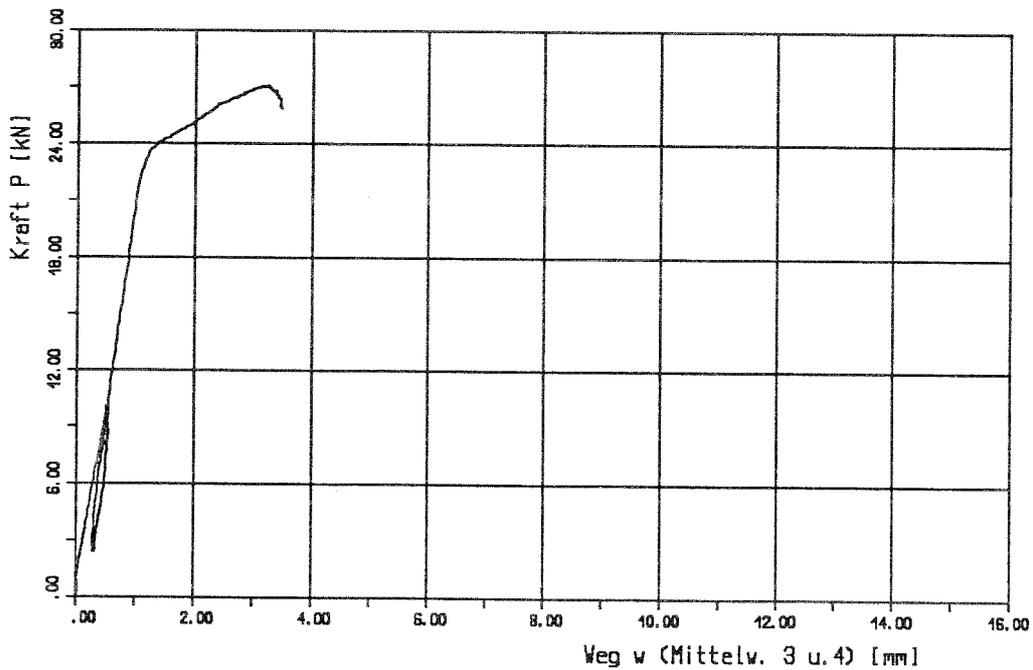


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2, 1

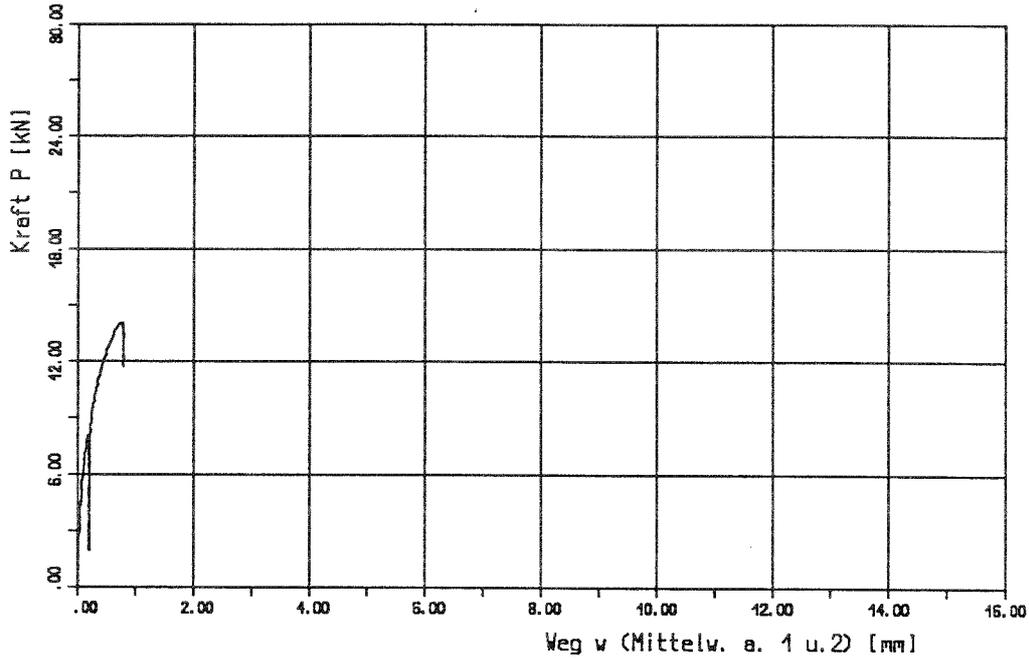


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2, 1

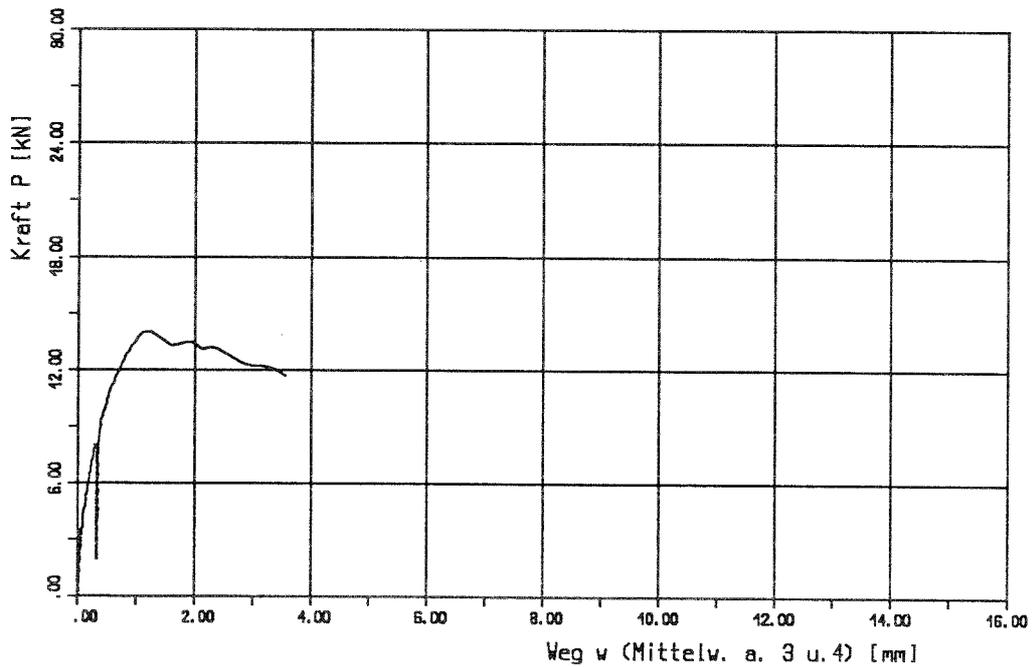


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,2

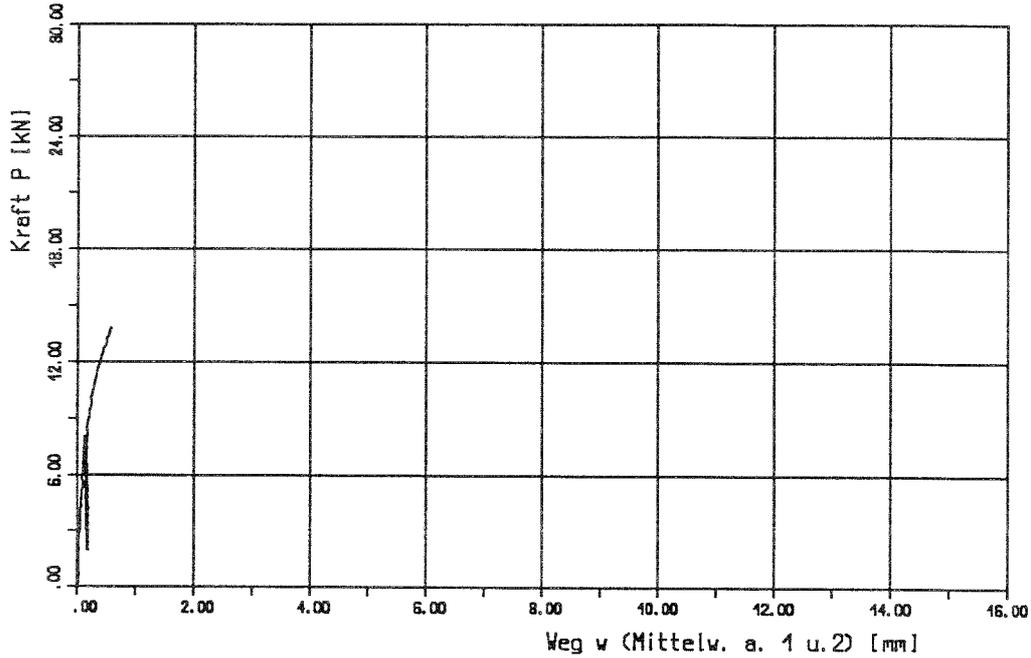


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,2

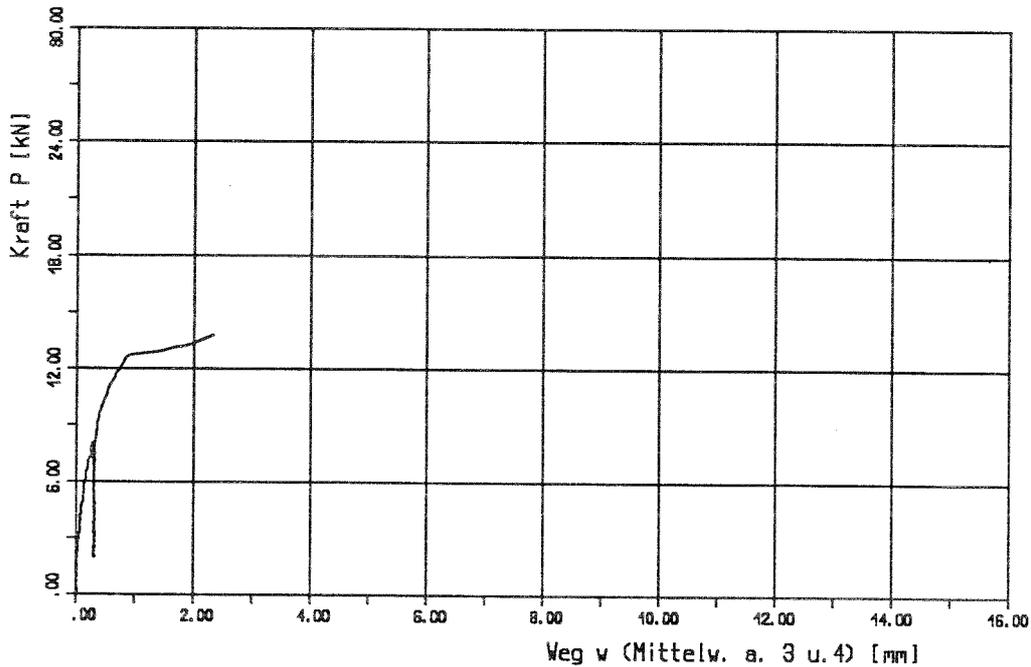


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,3

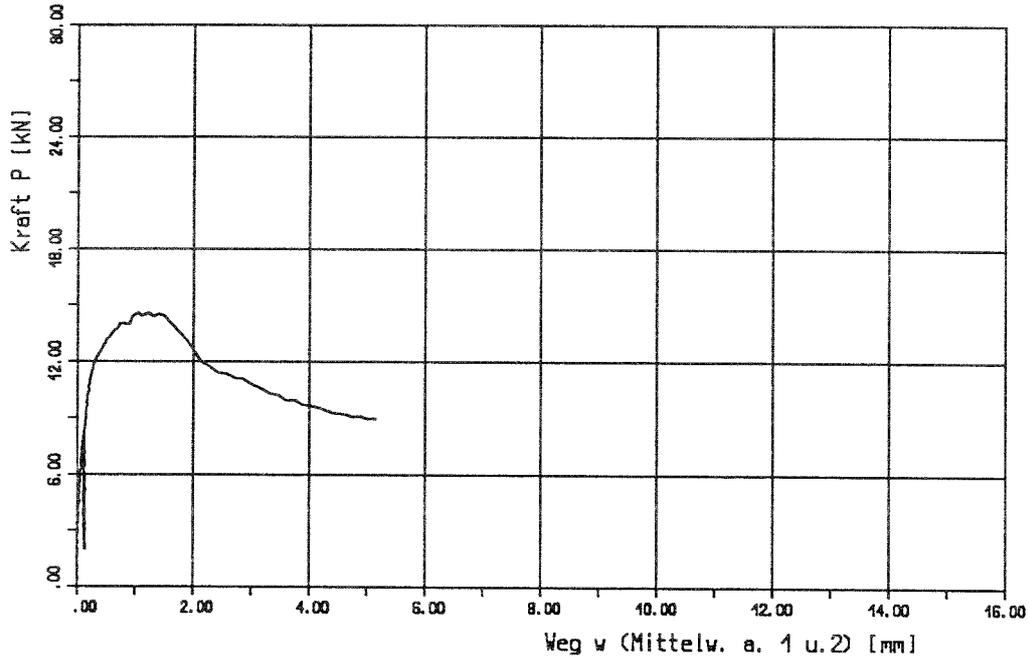


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,3

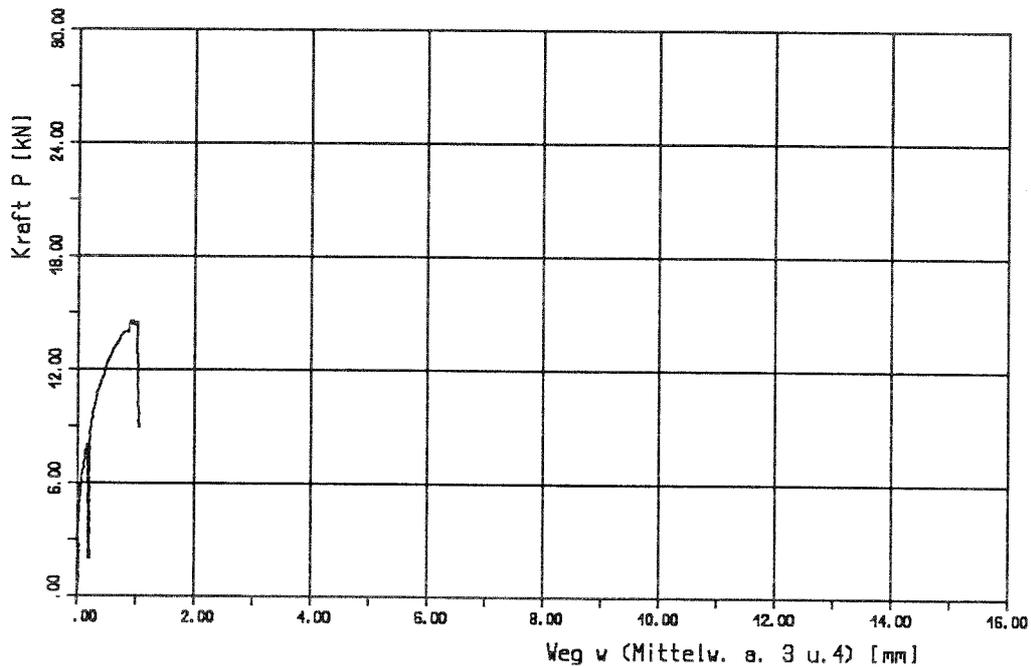


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch; XVII2, 4

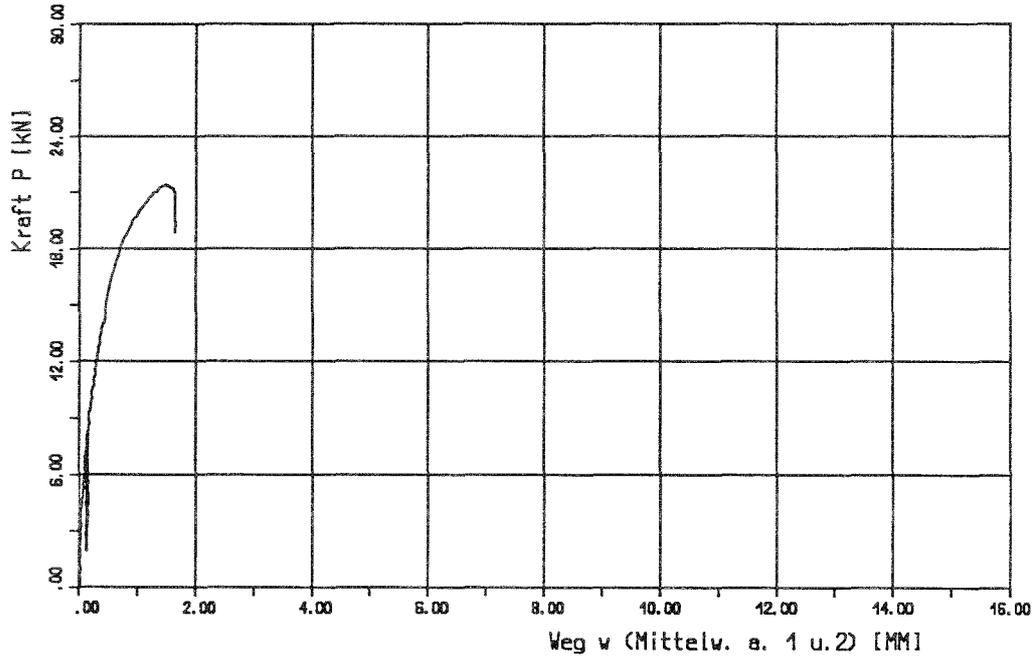


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch; XVII2, 4

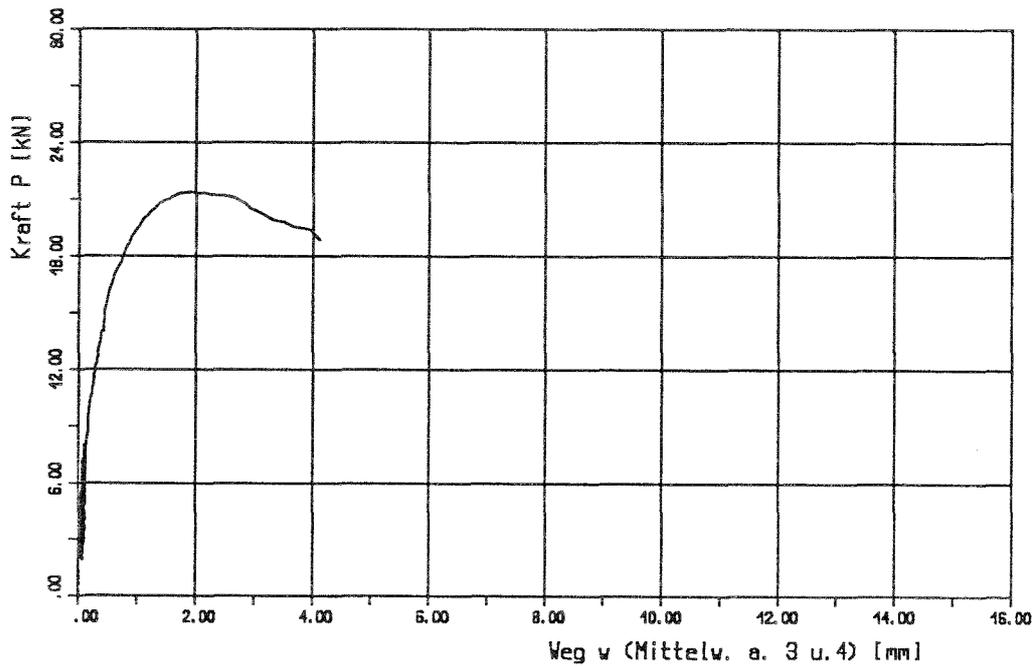


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,5

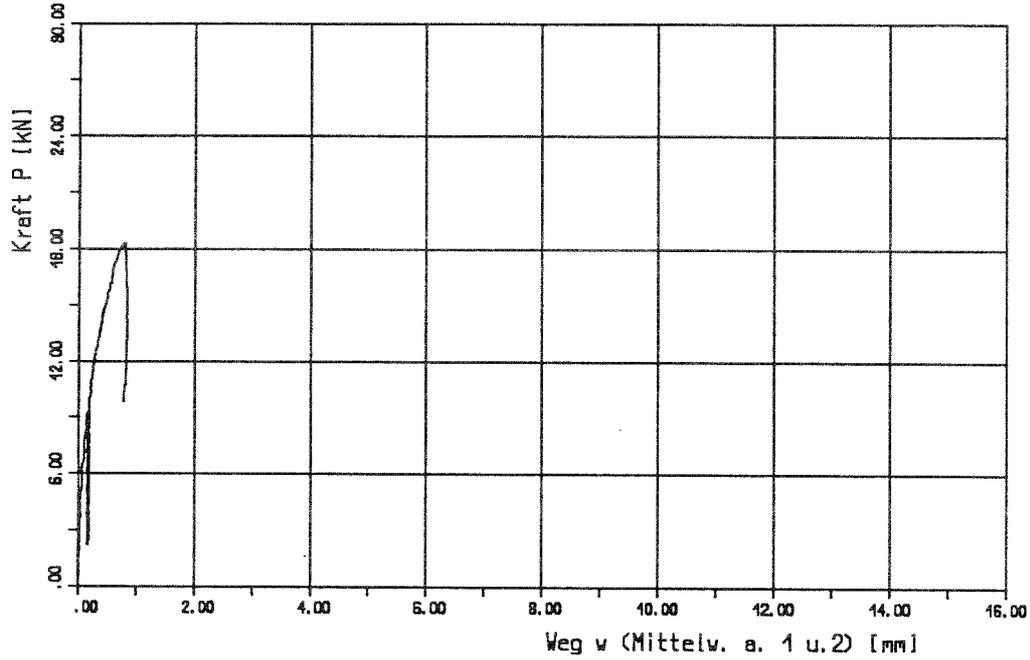


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,5

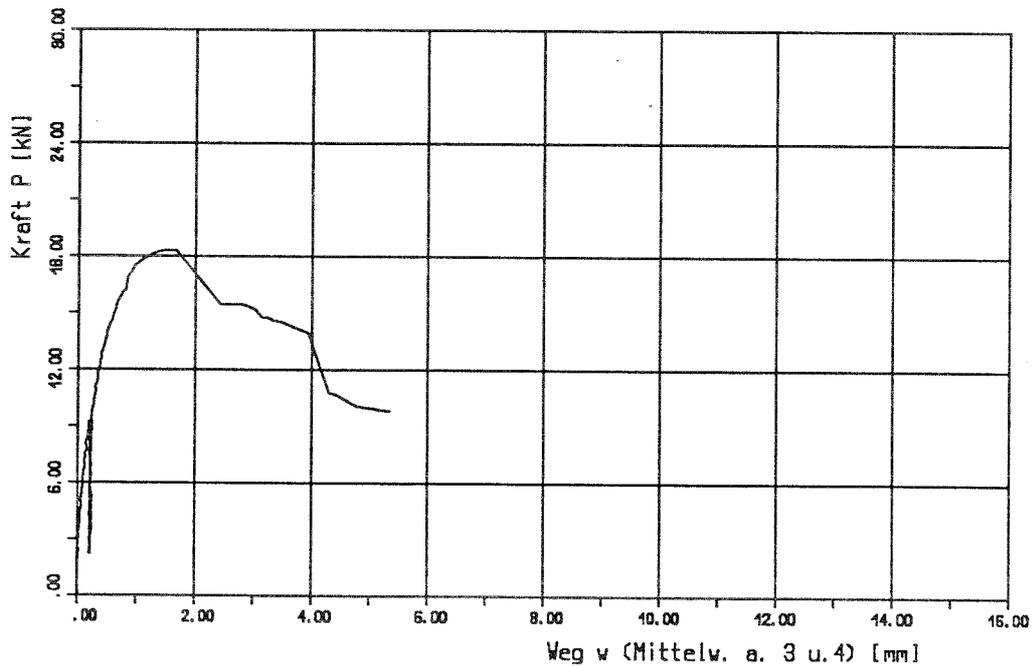


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XVII2,6

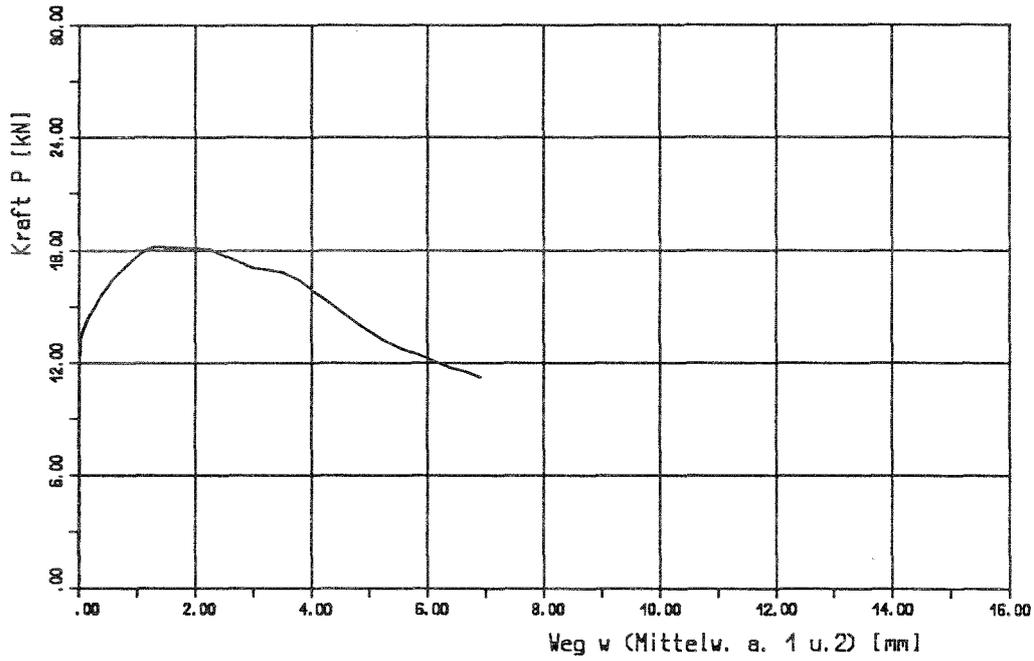


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XVII2,6

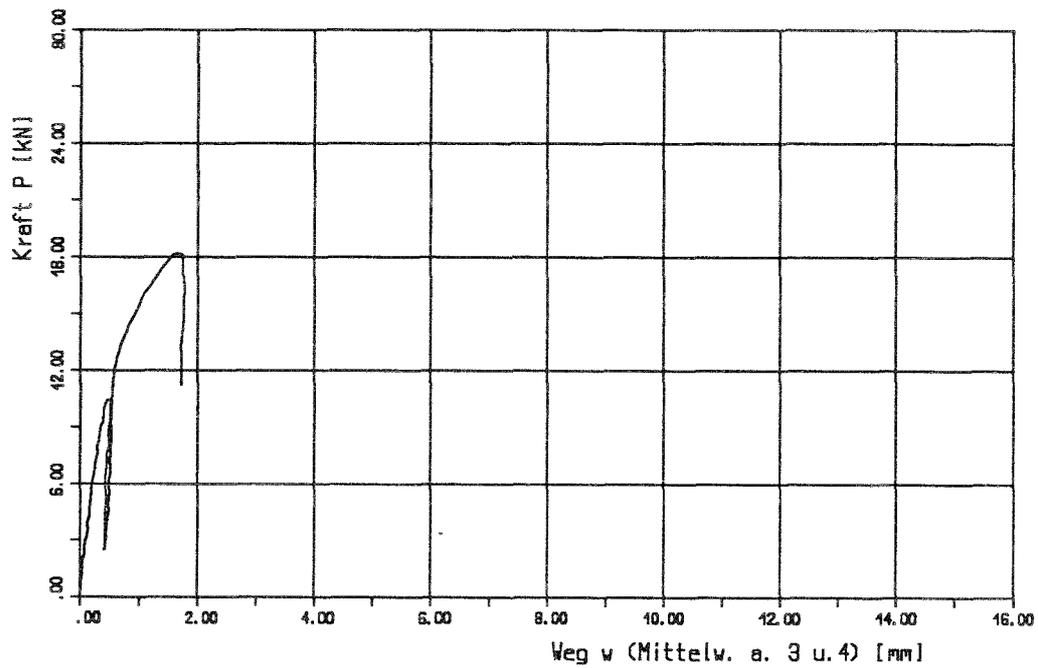


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,7

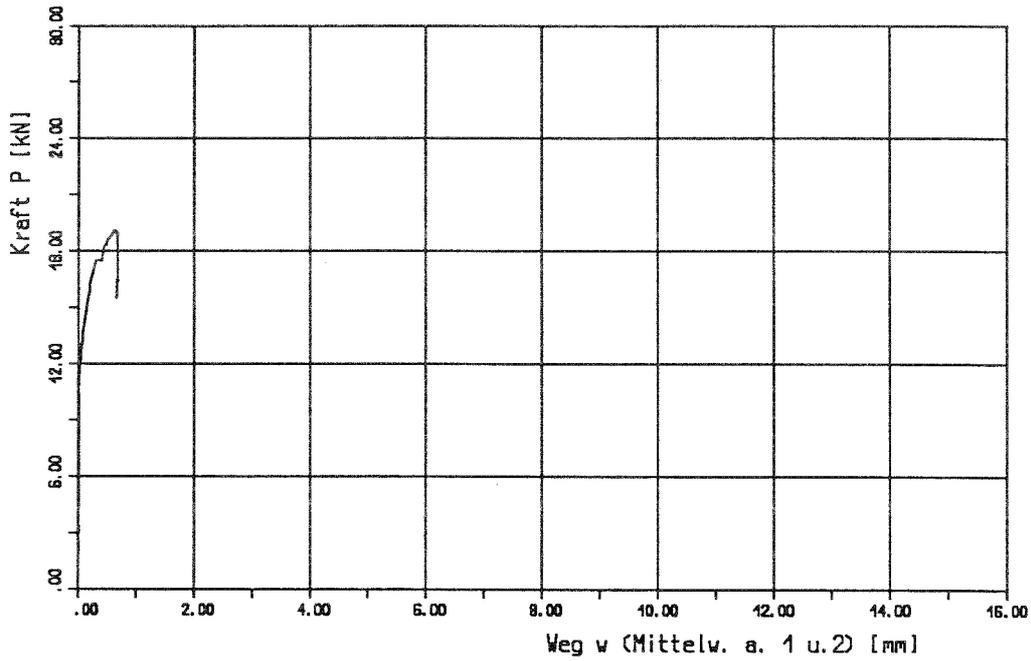


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVII2,7

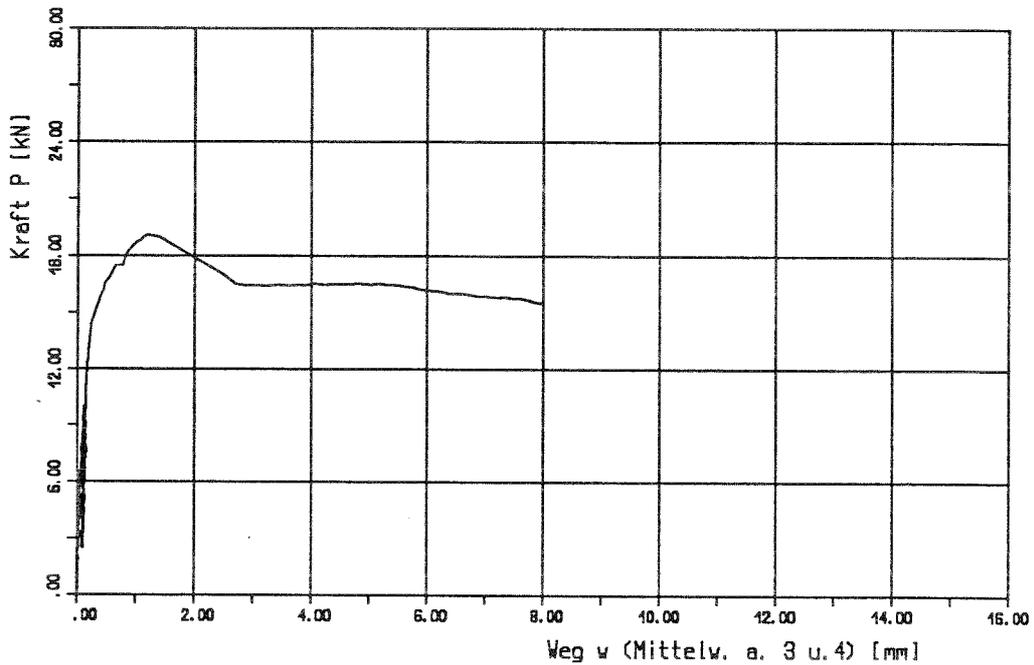


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2,1

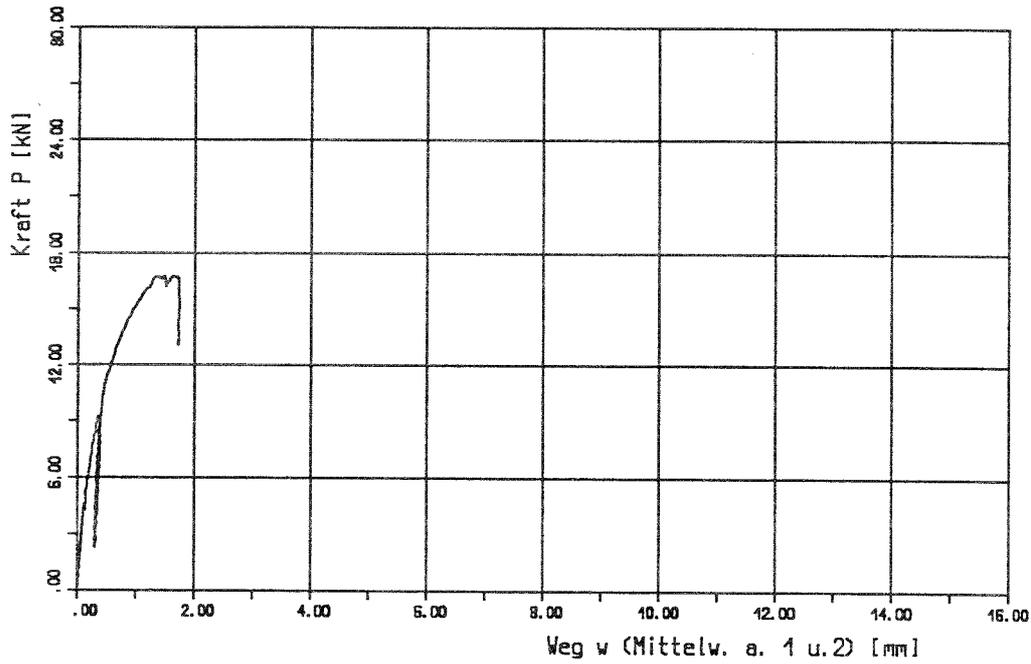


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2,1

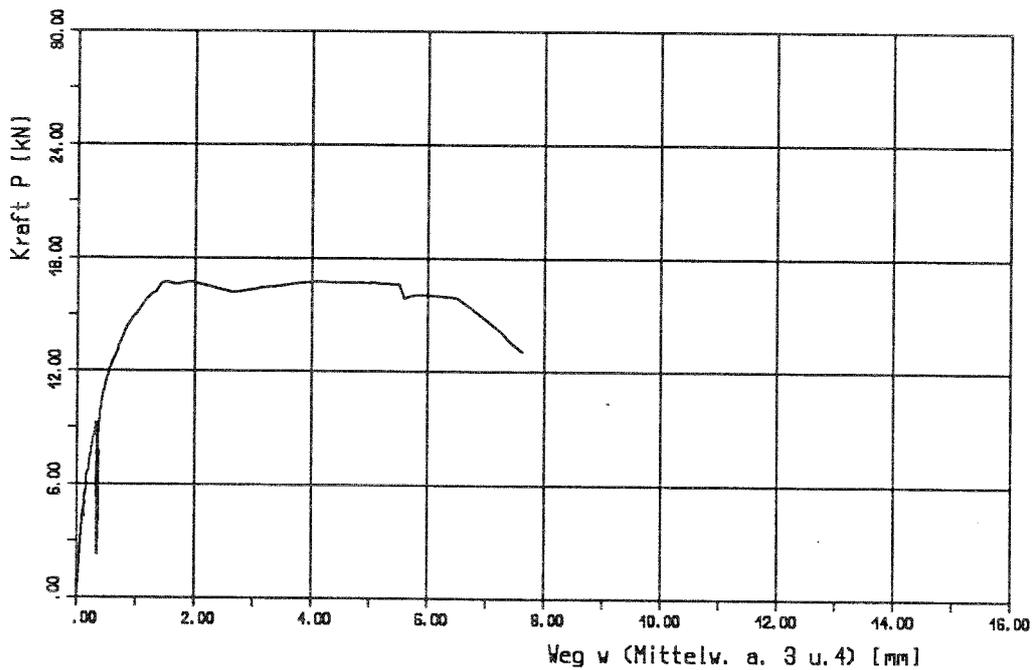


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2,2

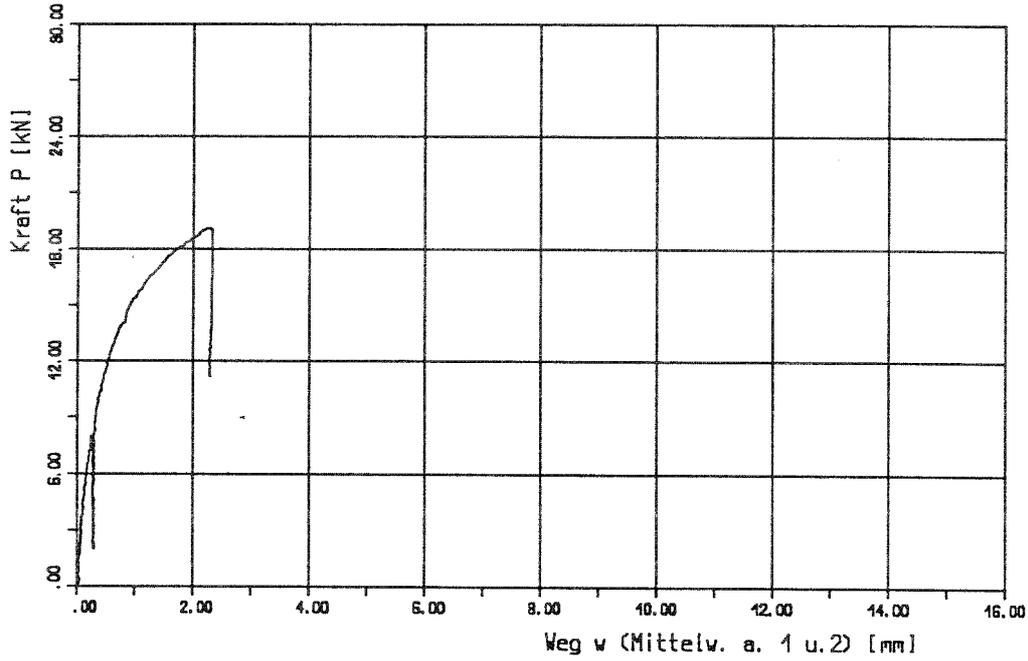


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2,2

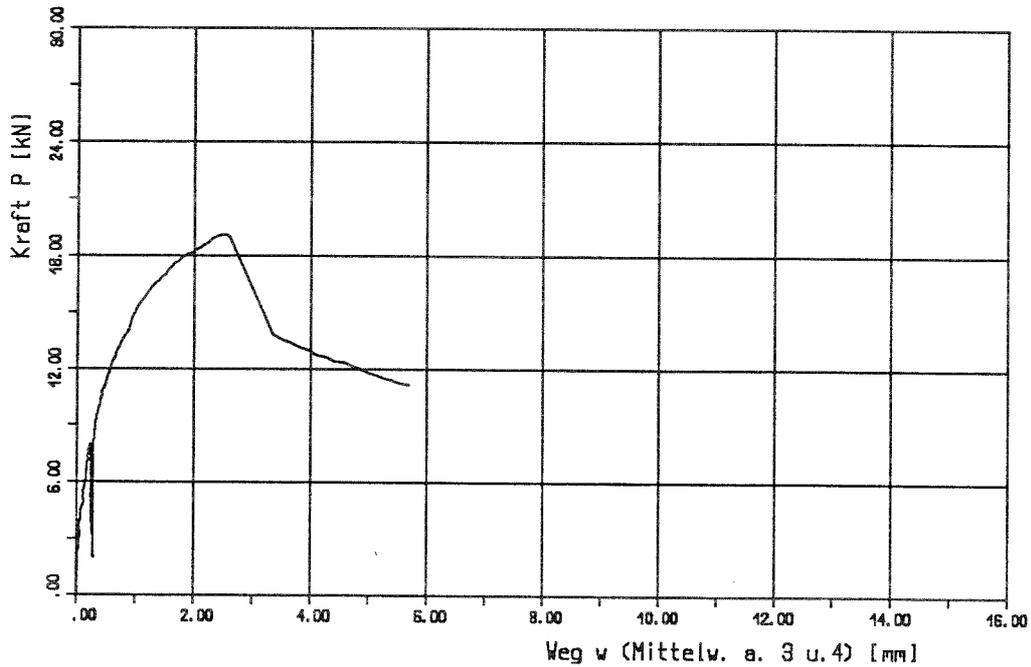


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2,3

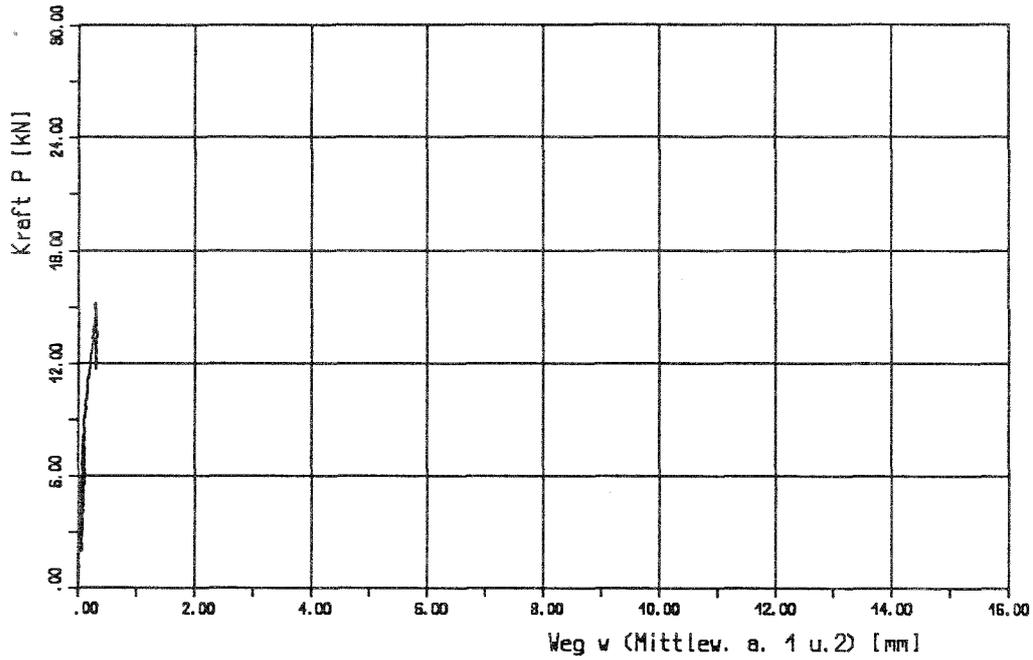


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2,3

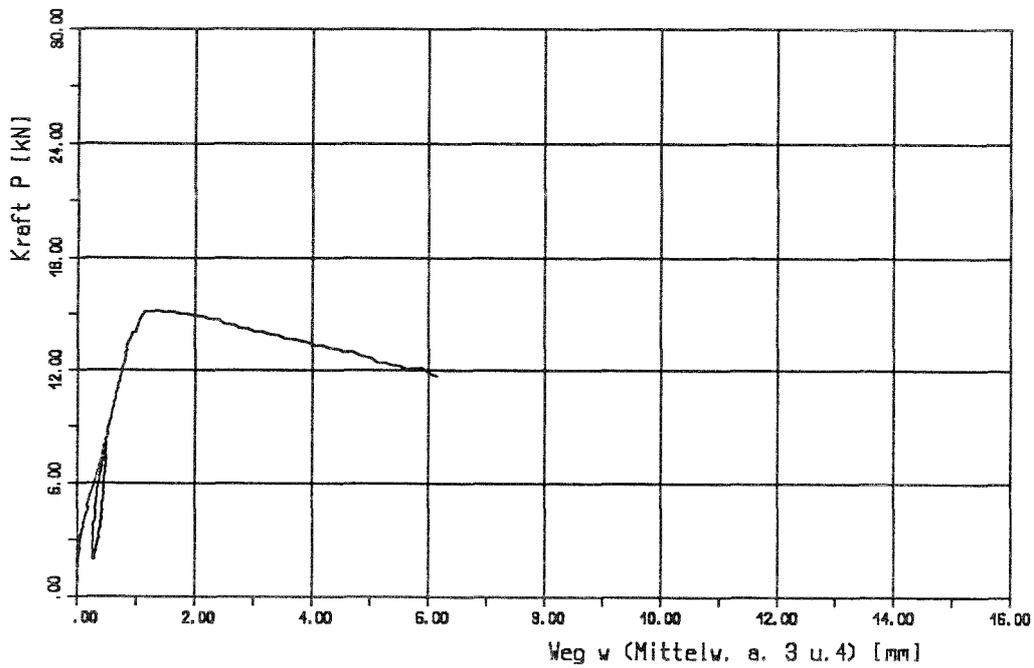


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2, 4

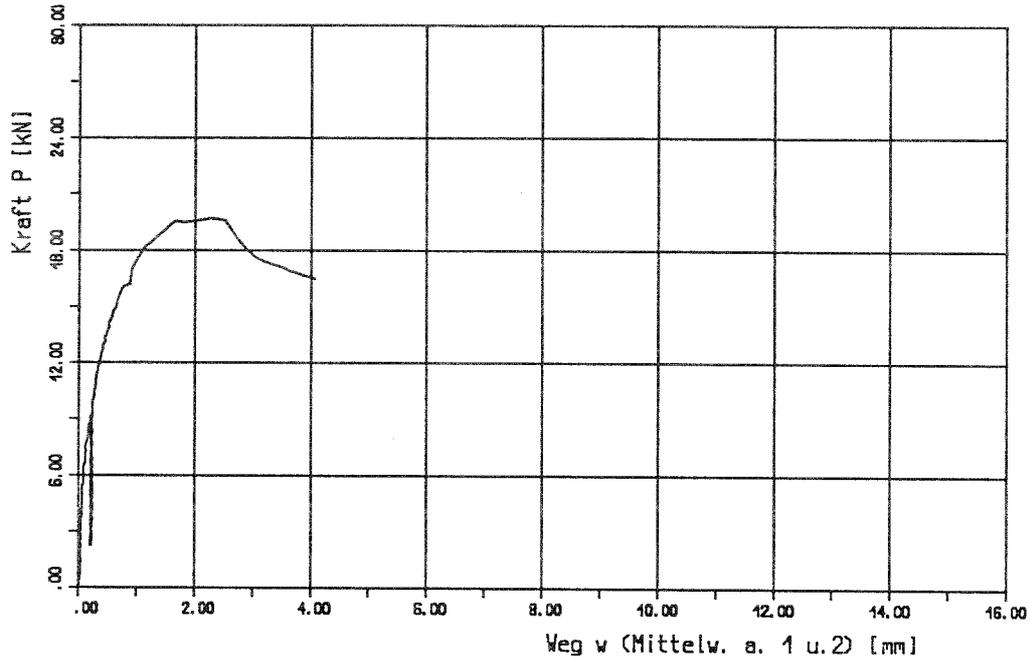


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XVIII2, 4

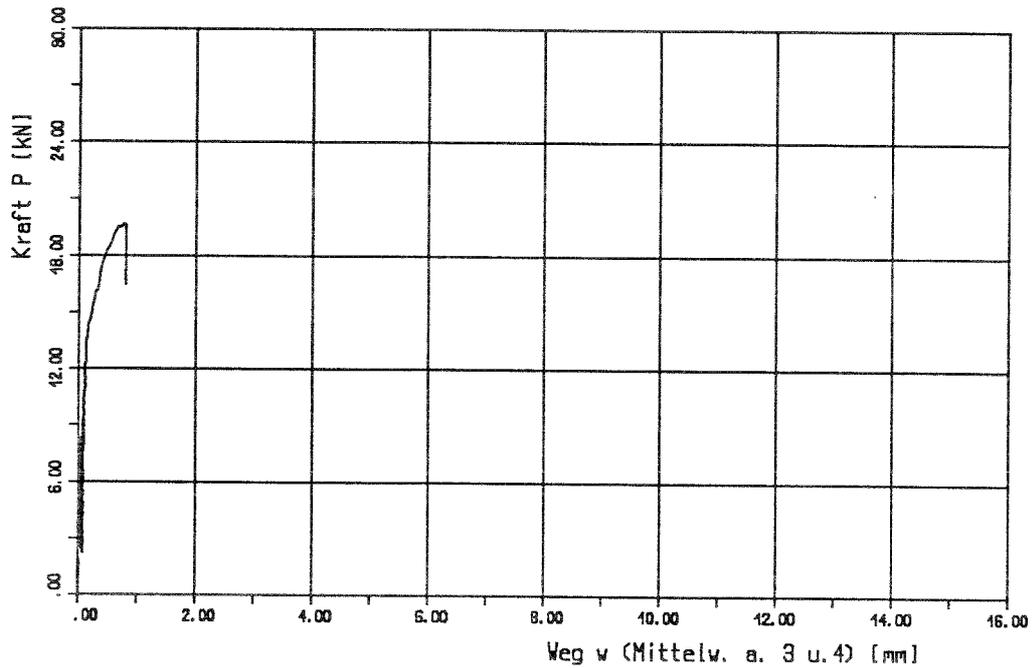


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XVIII2,5

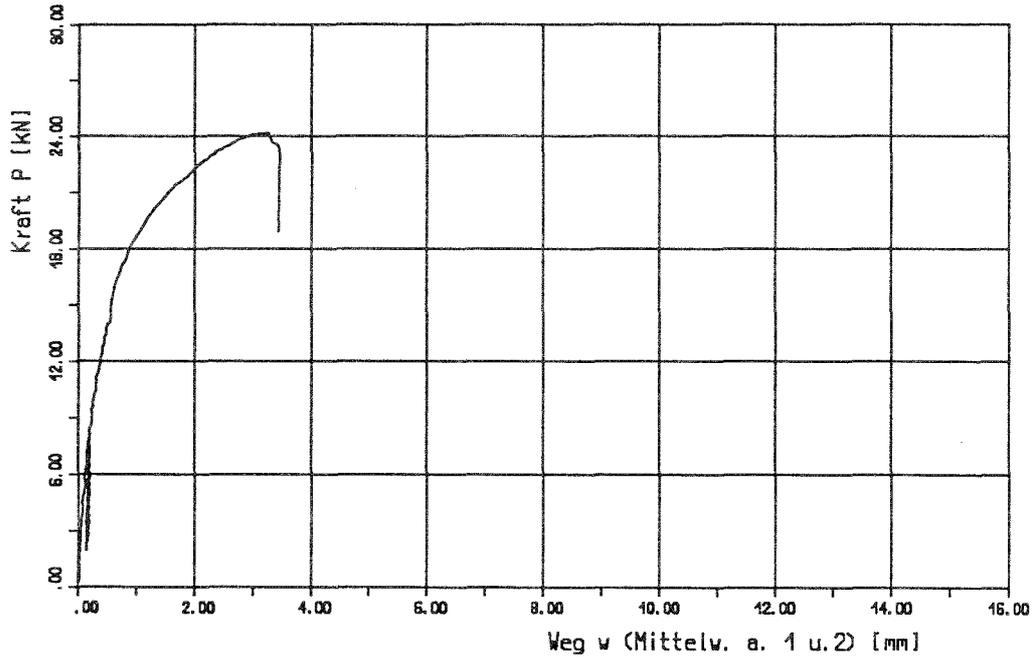


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XVIII2,5

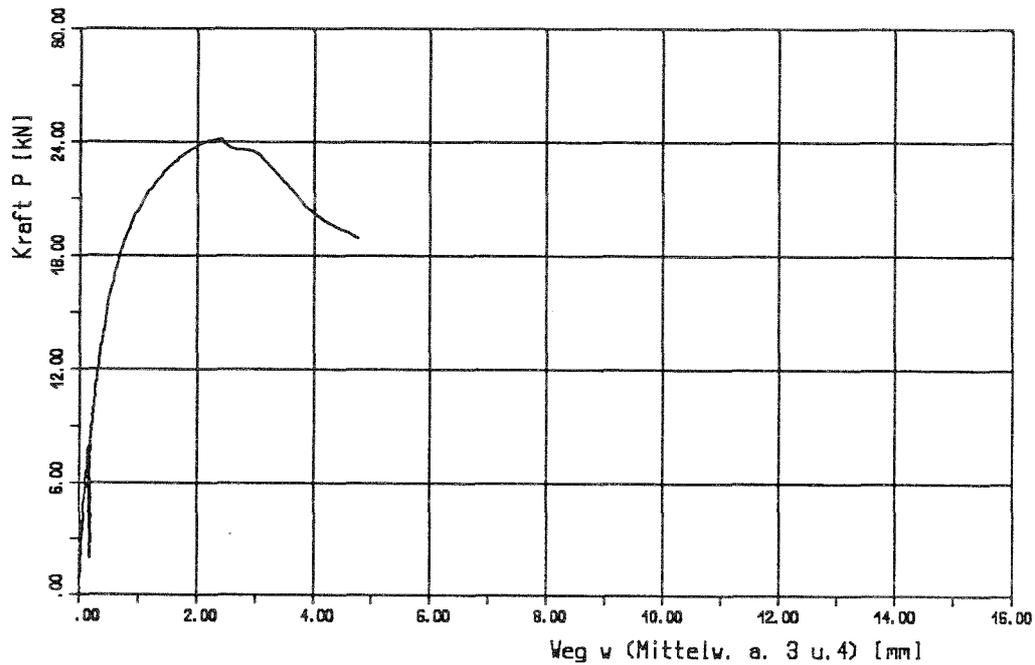


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2,1

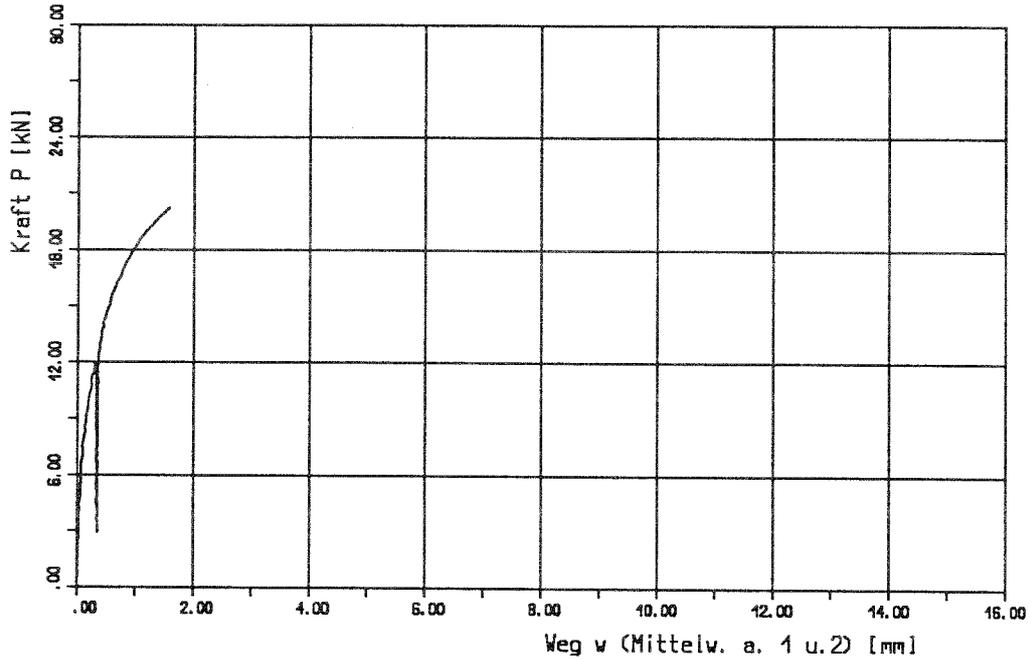


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2,1

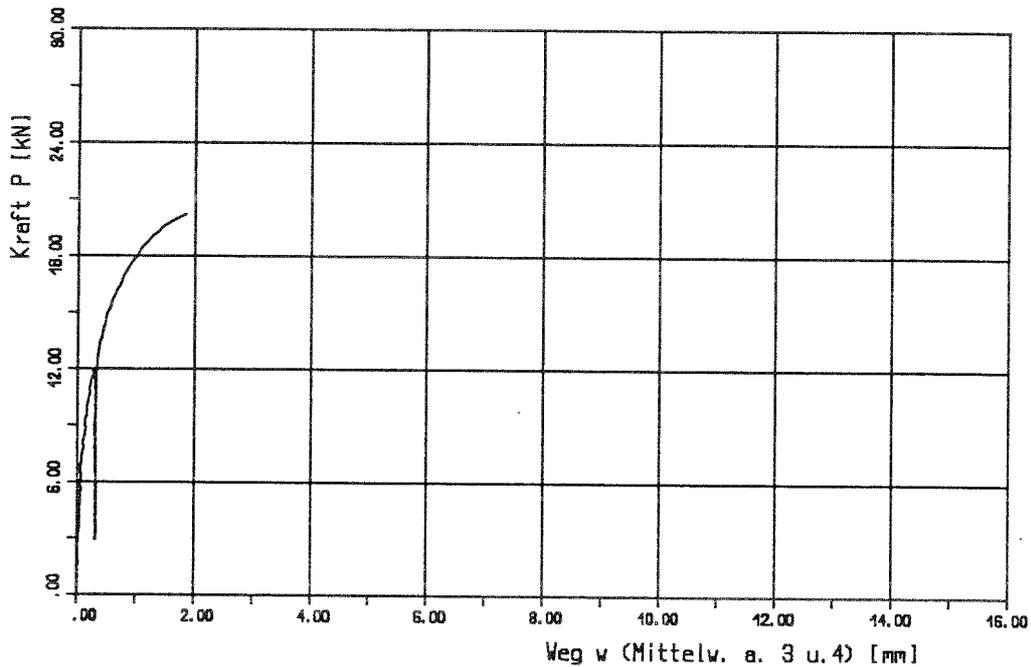


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIX2, 2

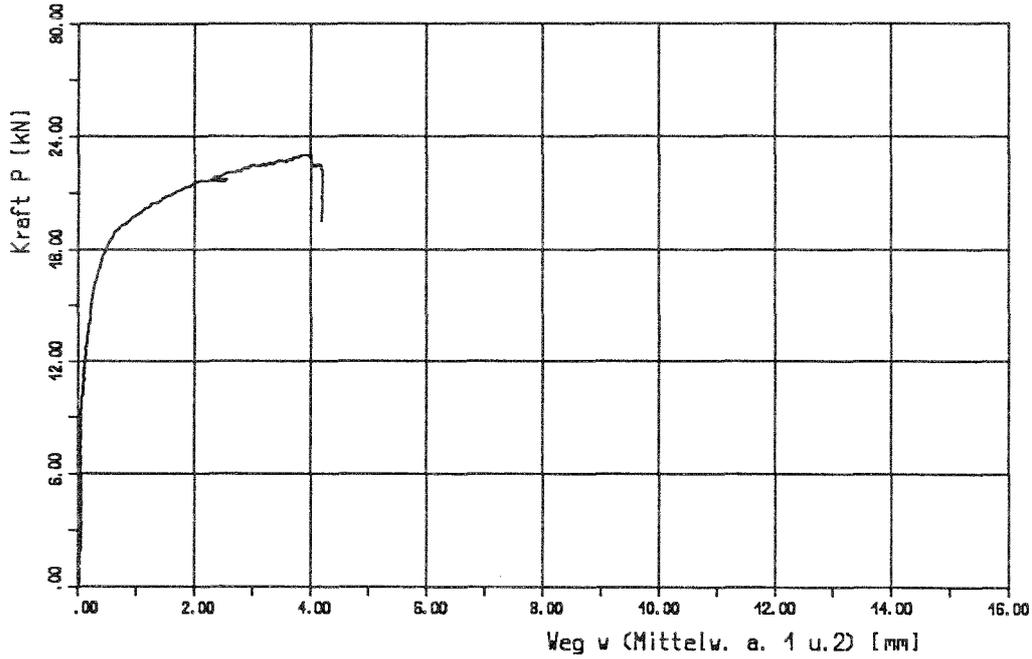


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIX2, 2

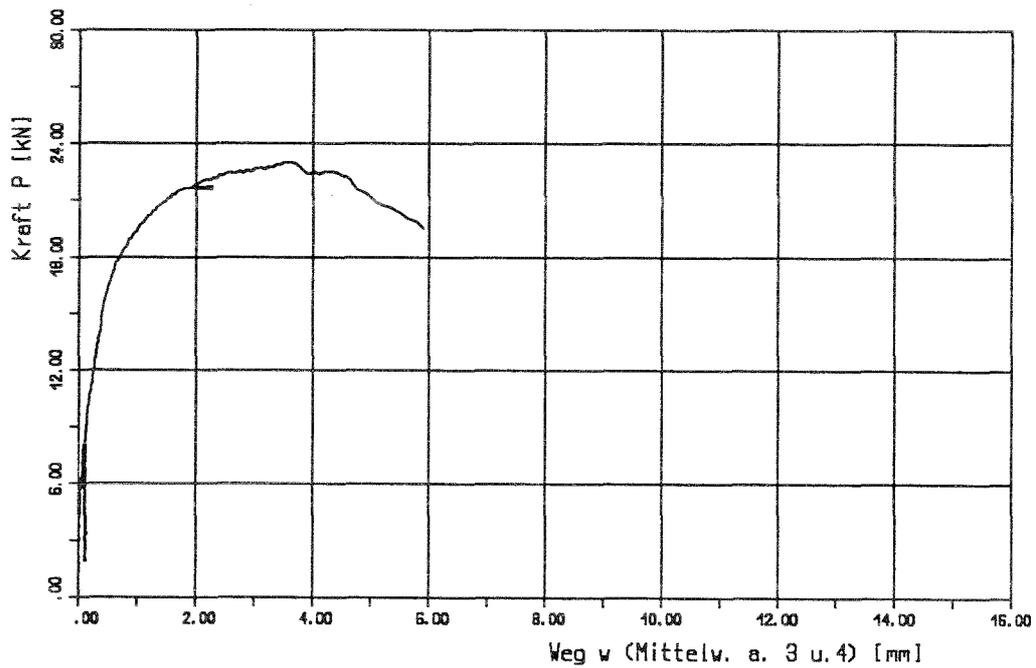


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2, 3

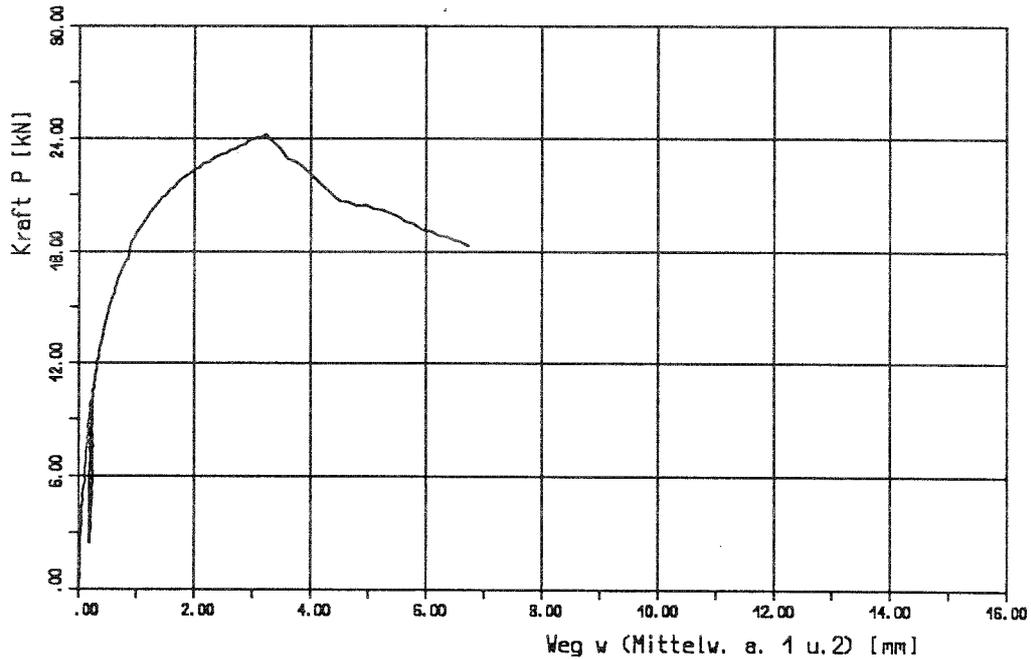


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2, 3

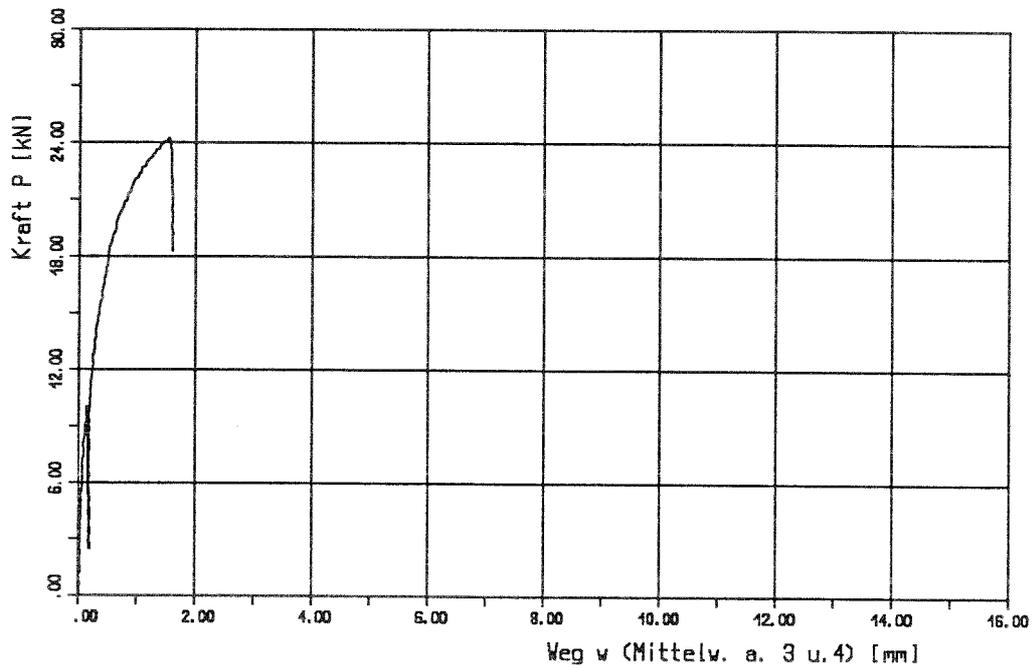


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2, 4

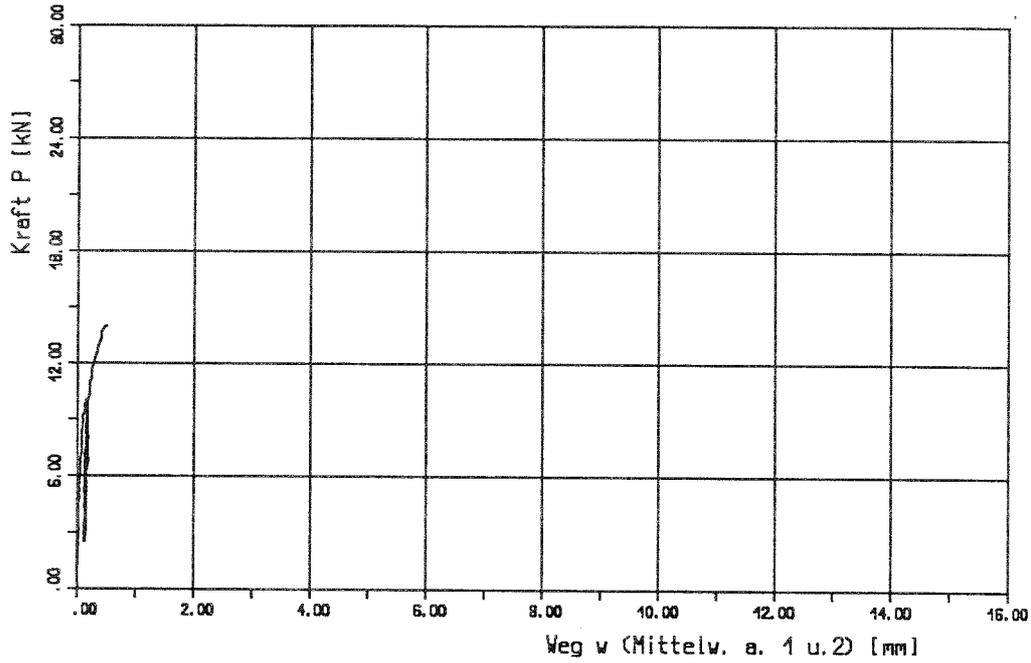


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2, 4

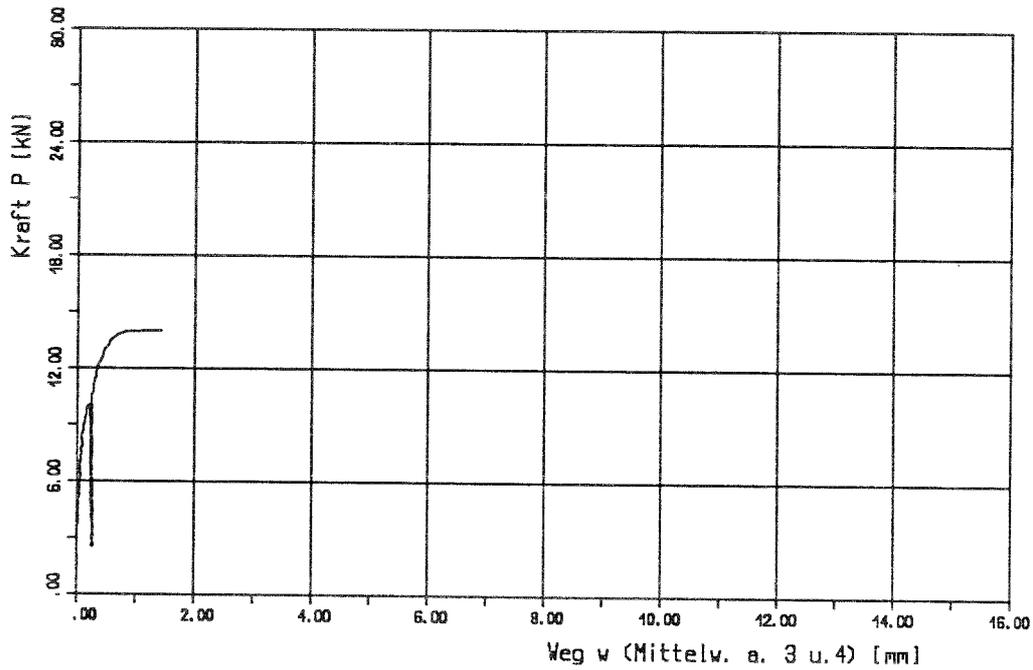


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2,5

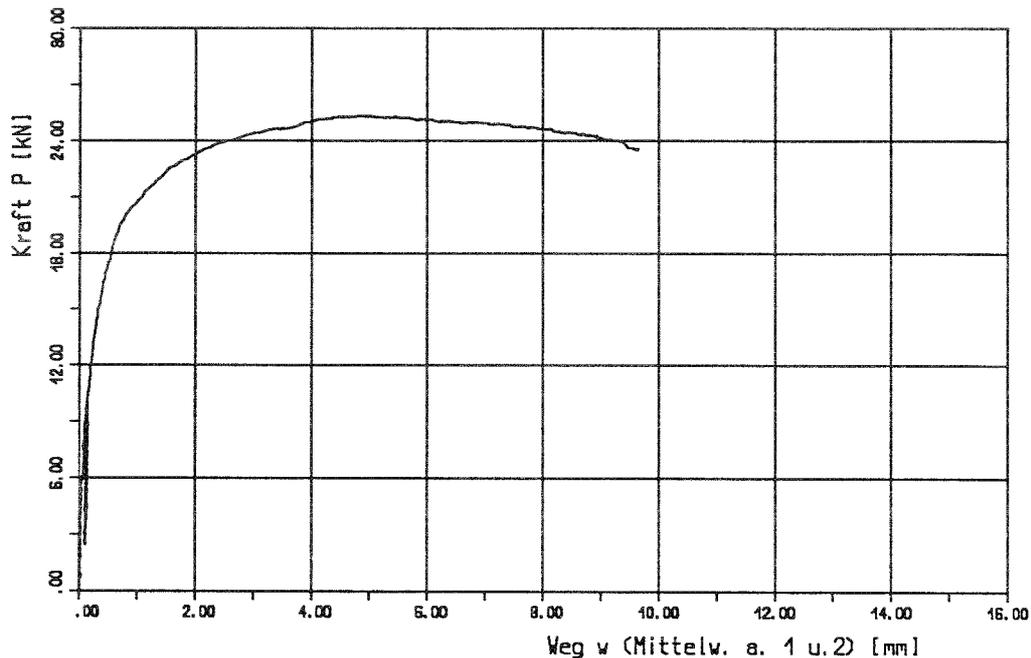


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2,5

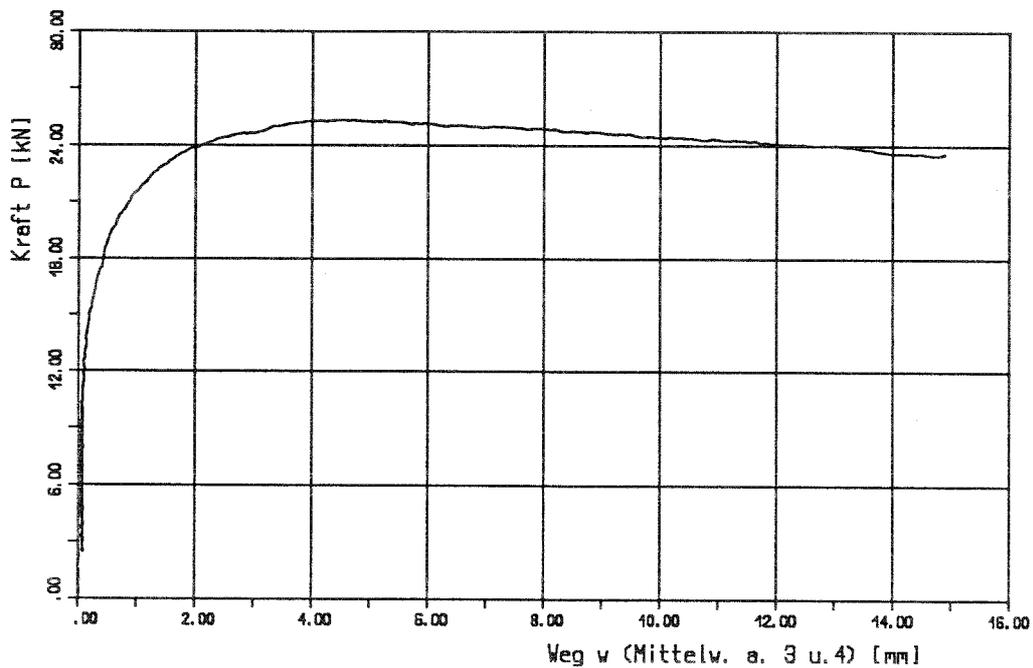


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2,6

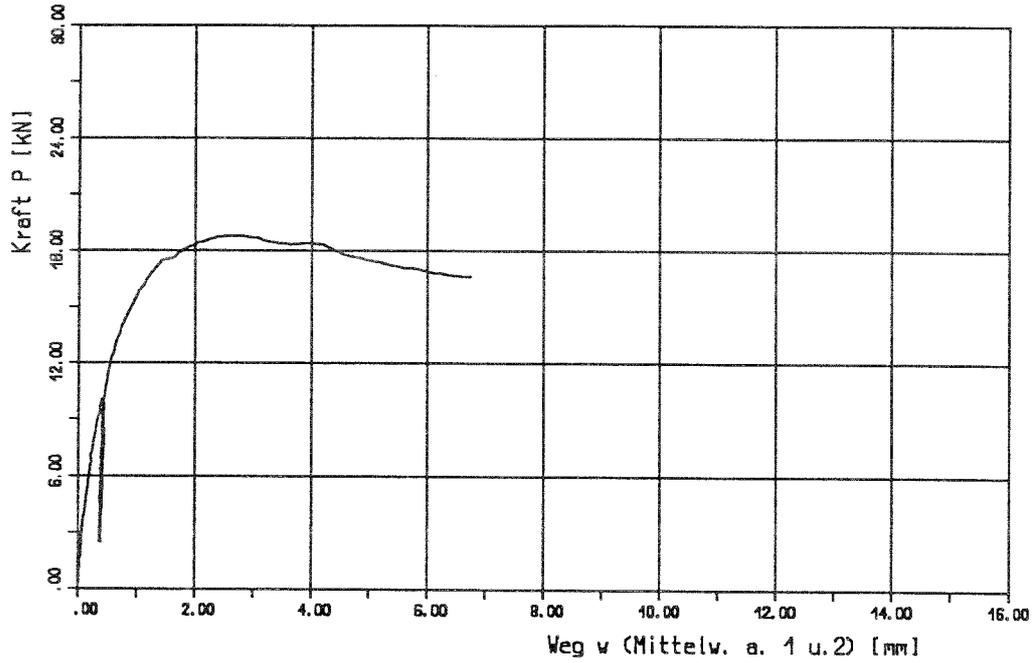


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIX2,6

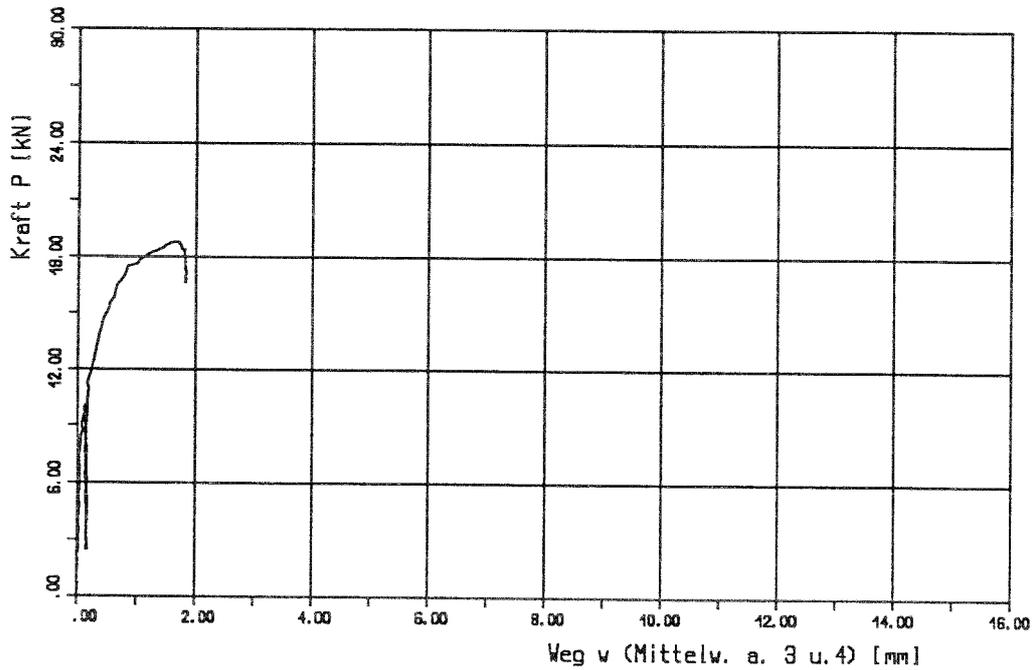


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2, 1

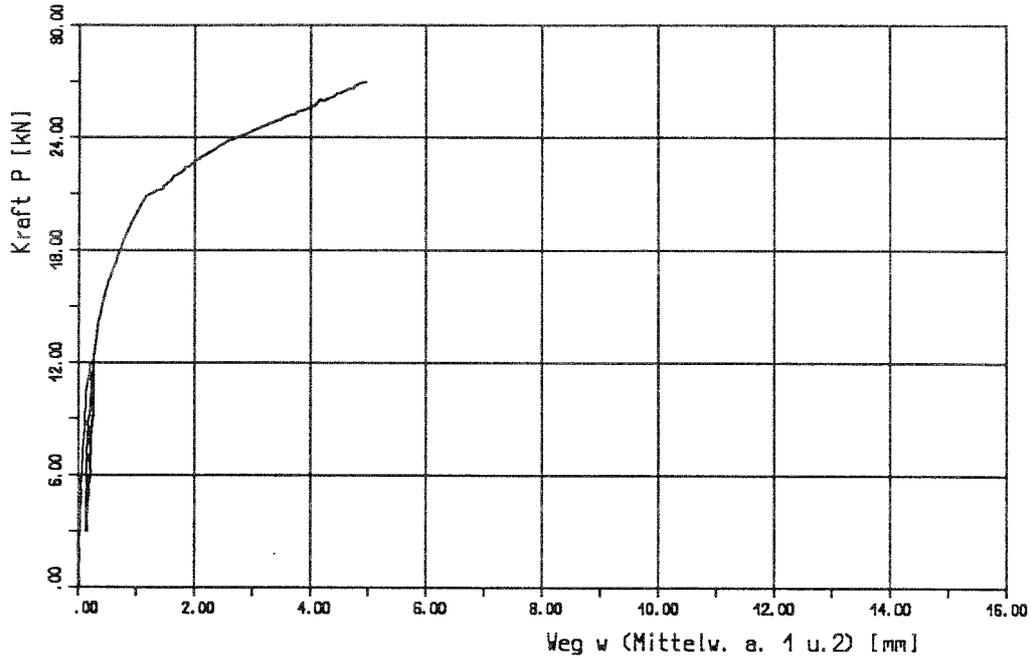


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2, 1

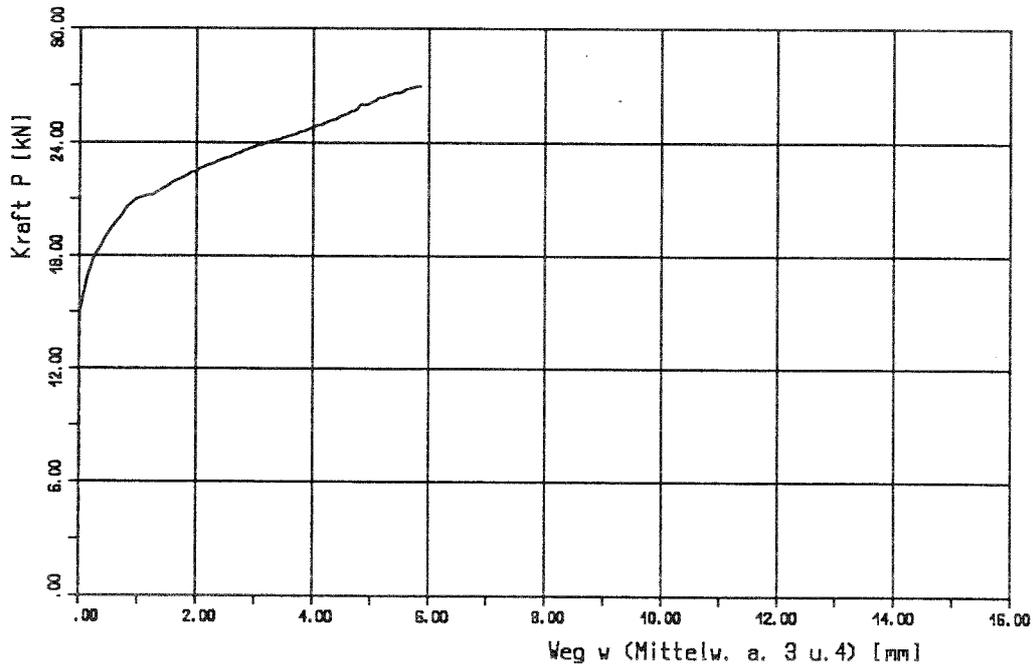


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2, 2

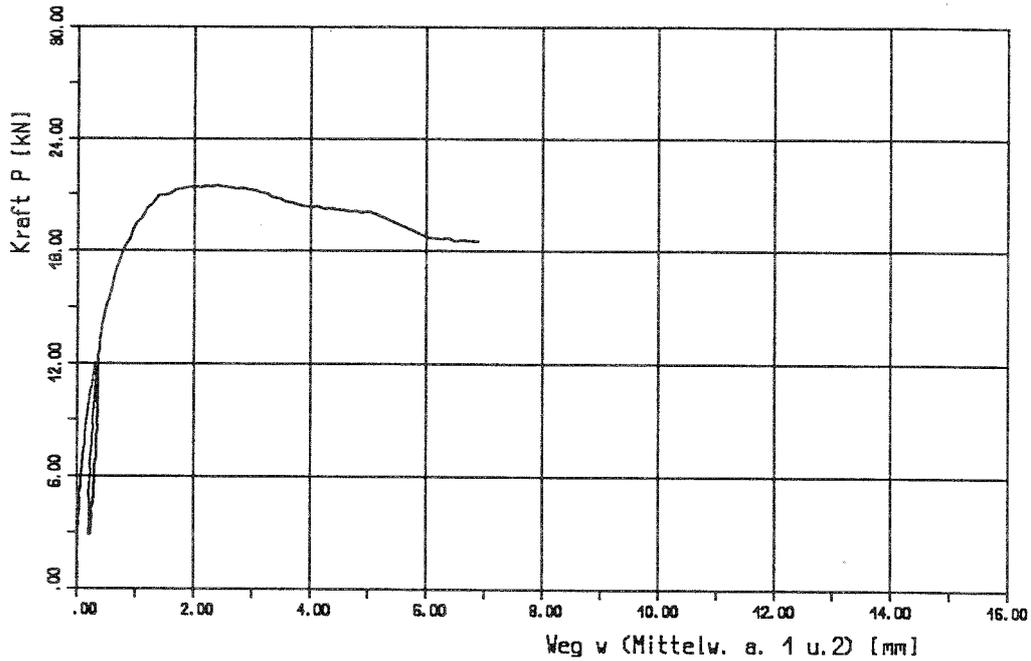


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2, 2

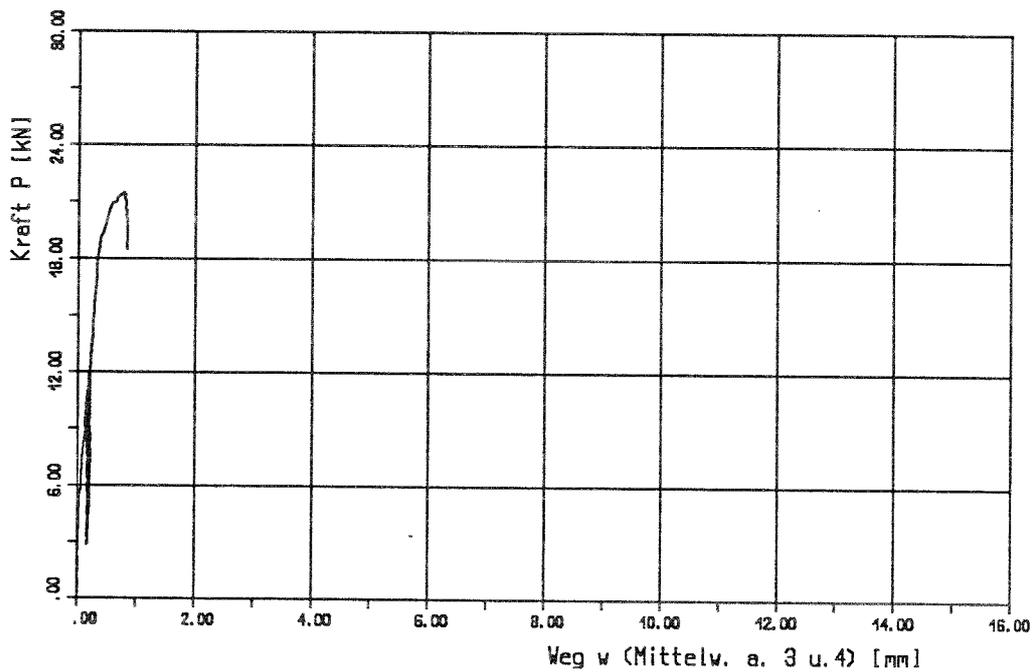


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2, 3

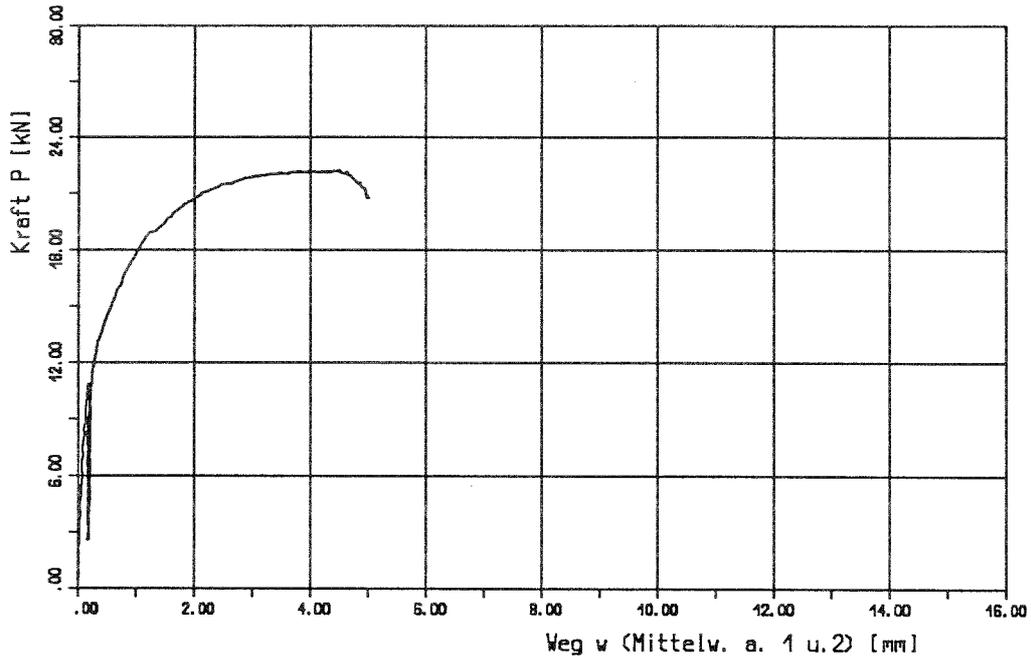


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2, 3

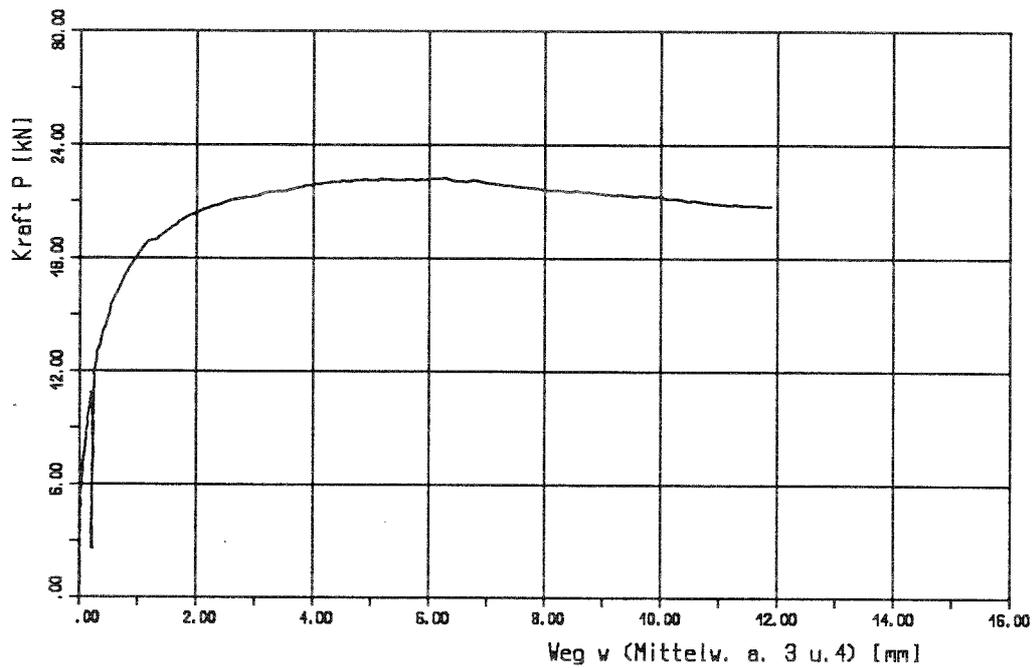


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch; XX2, 4

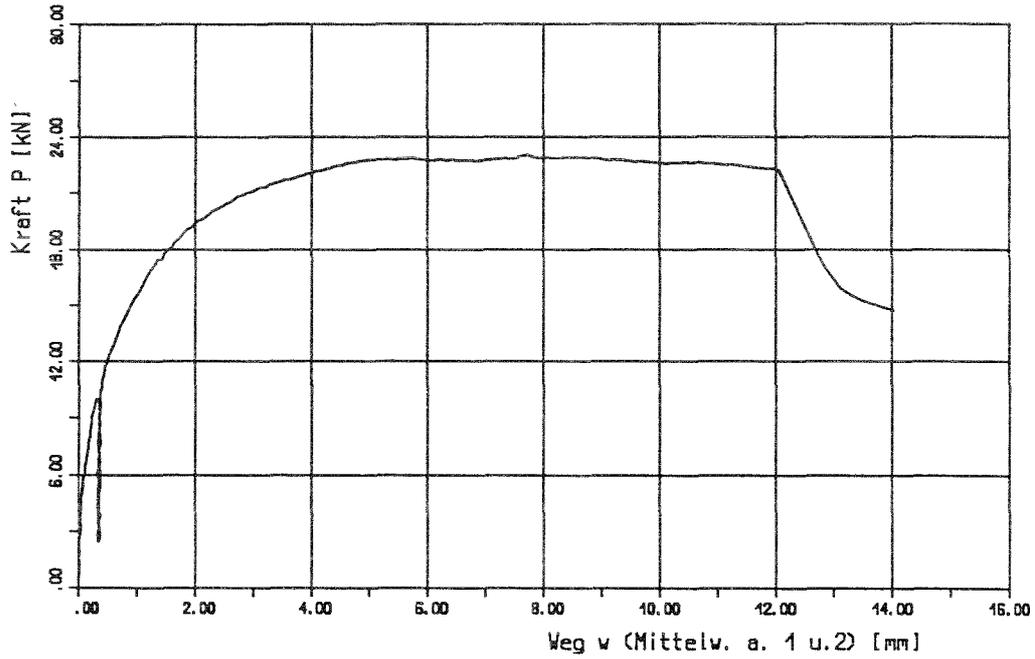


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch; XX2, 4

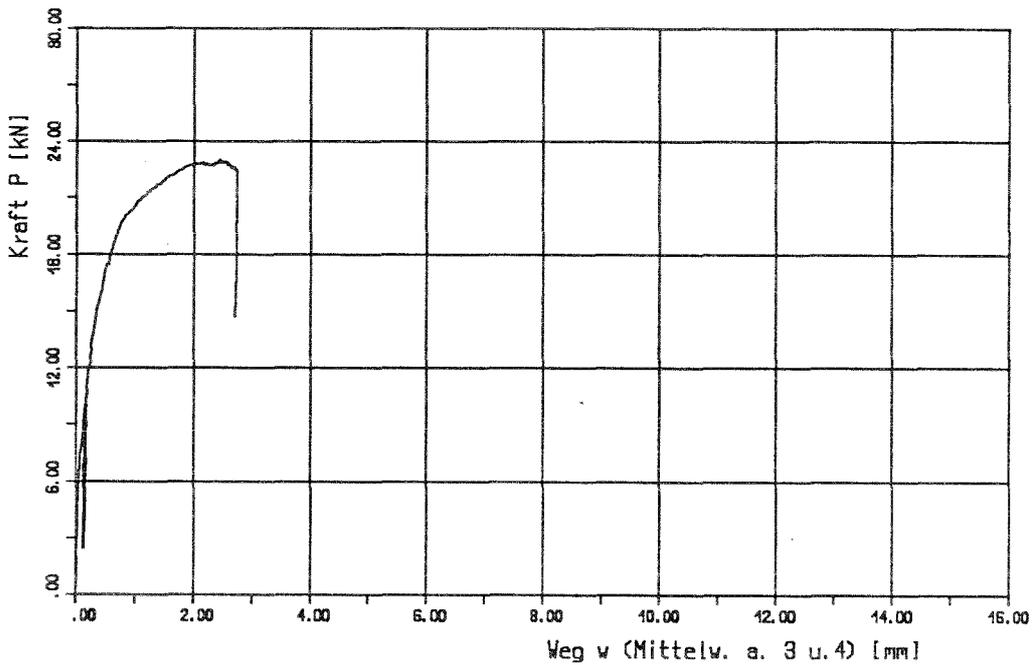


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2,5

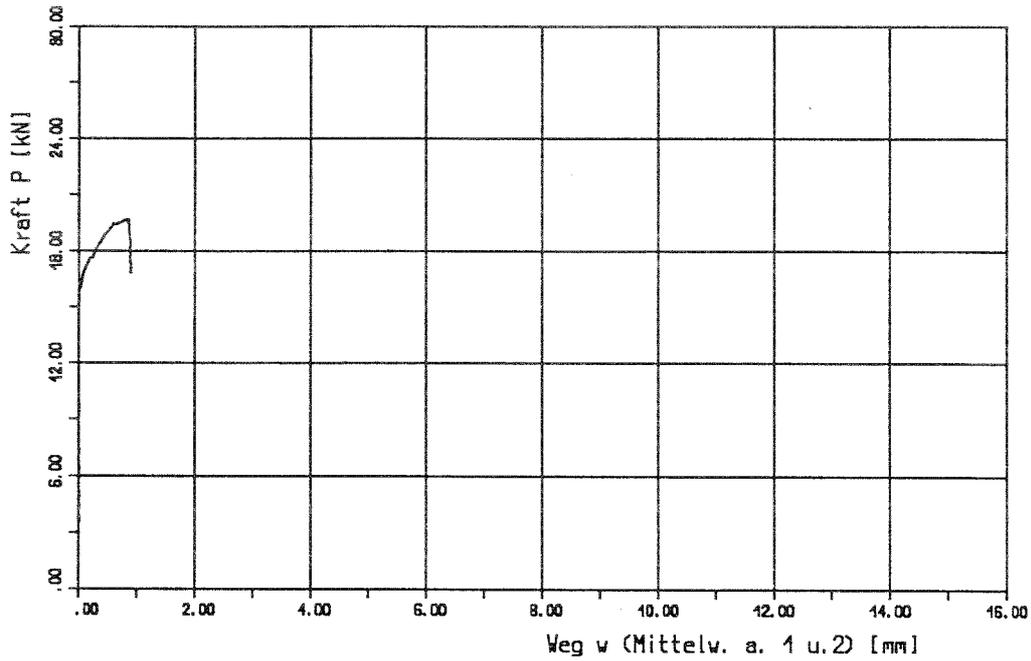


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XX2,5

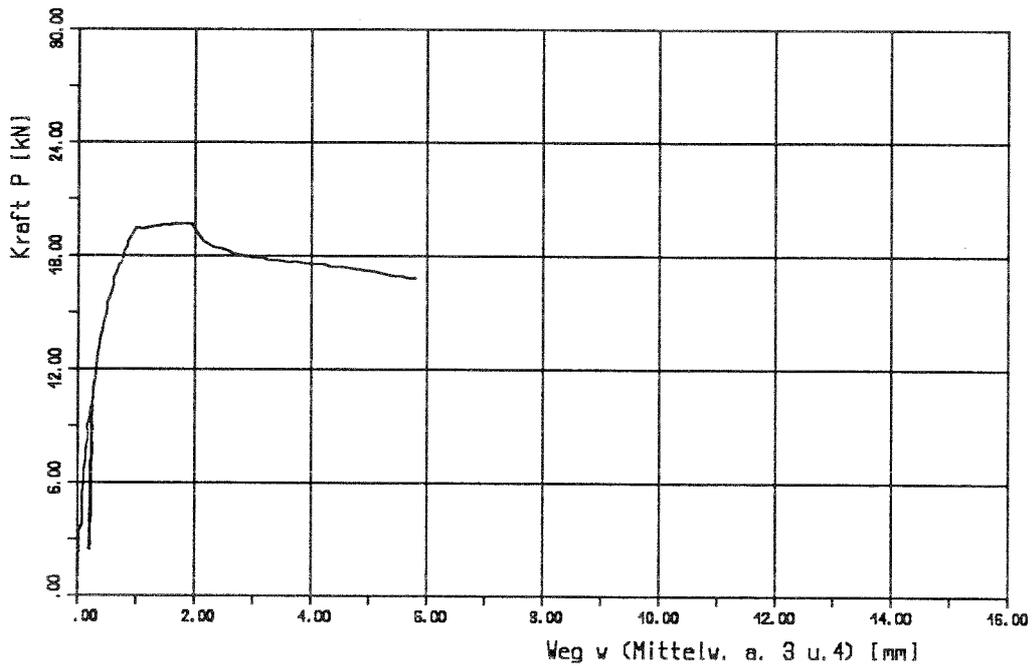


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I1,3

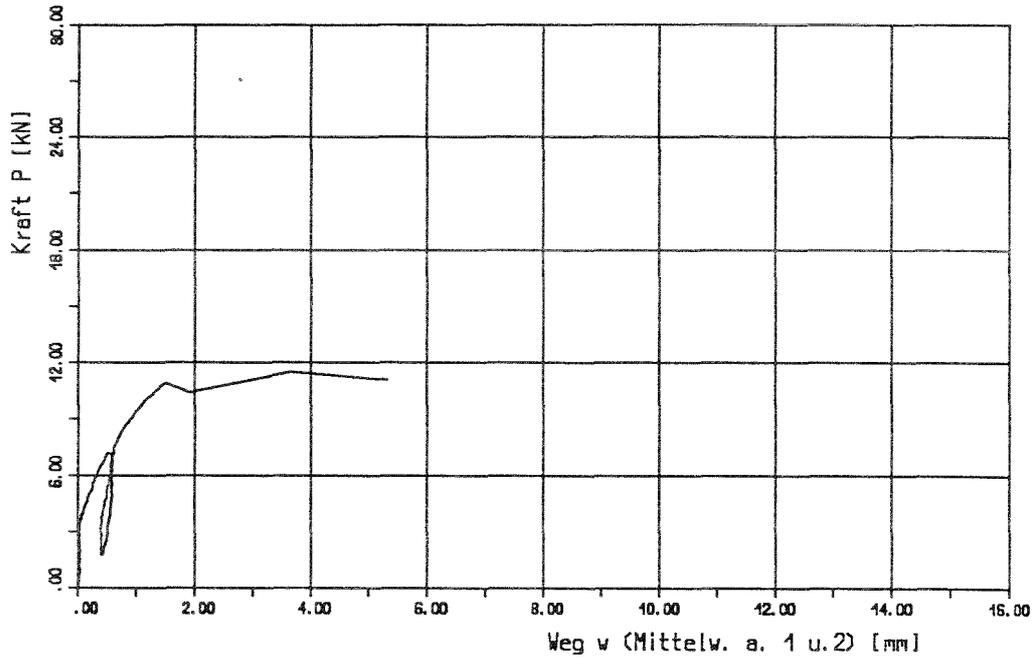


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: I1,3

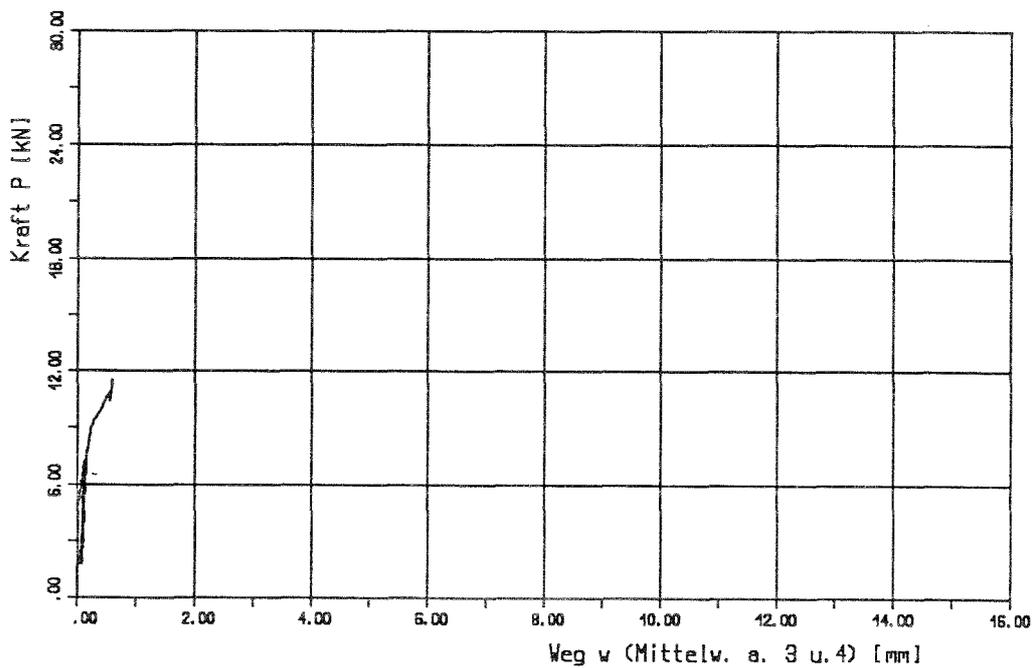


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II1,2

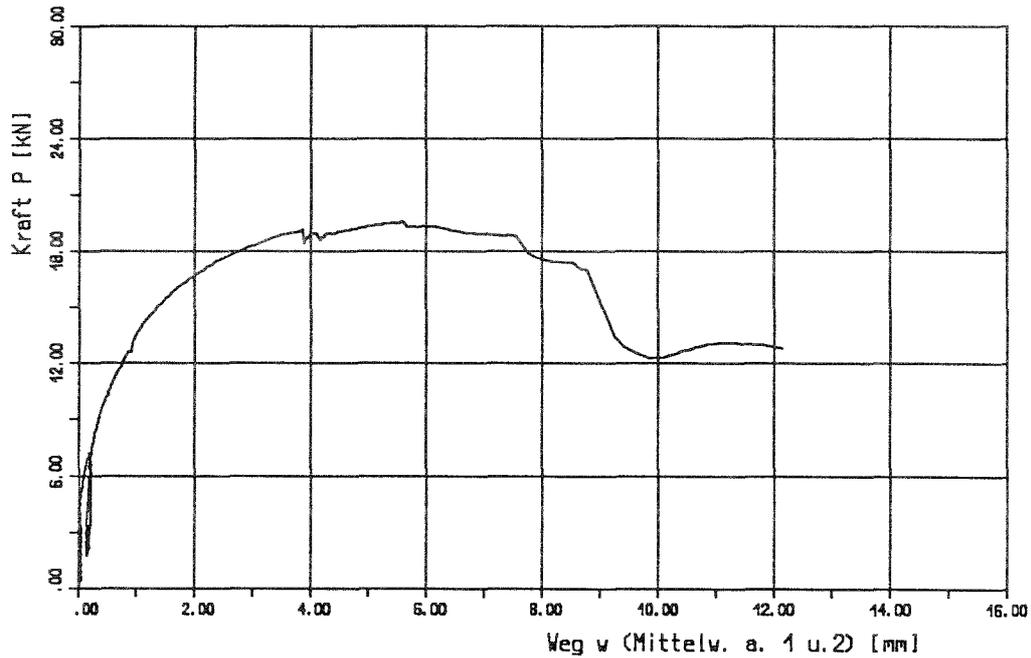


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II1,2

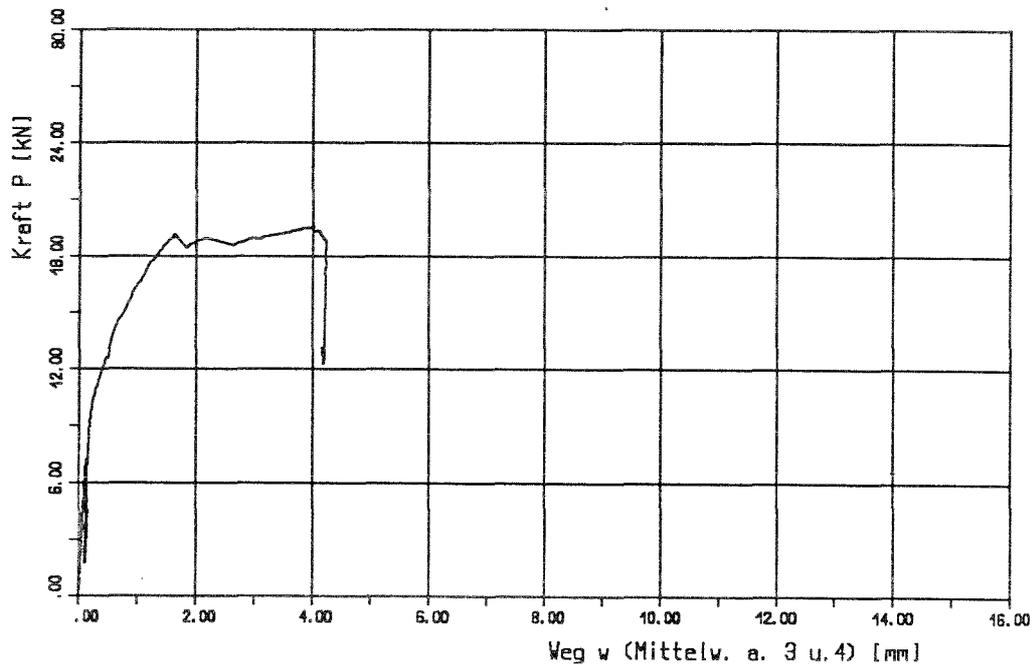


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II1,3

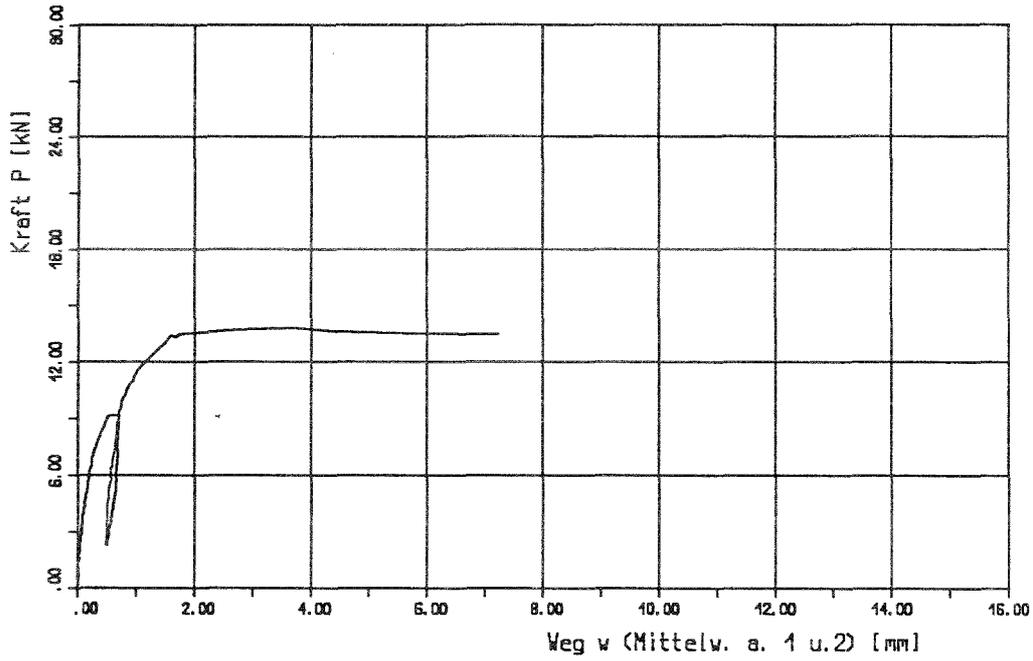


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: II1,3

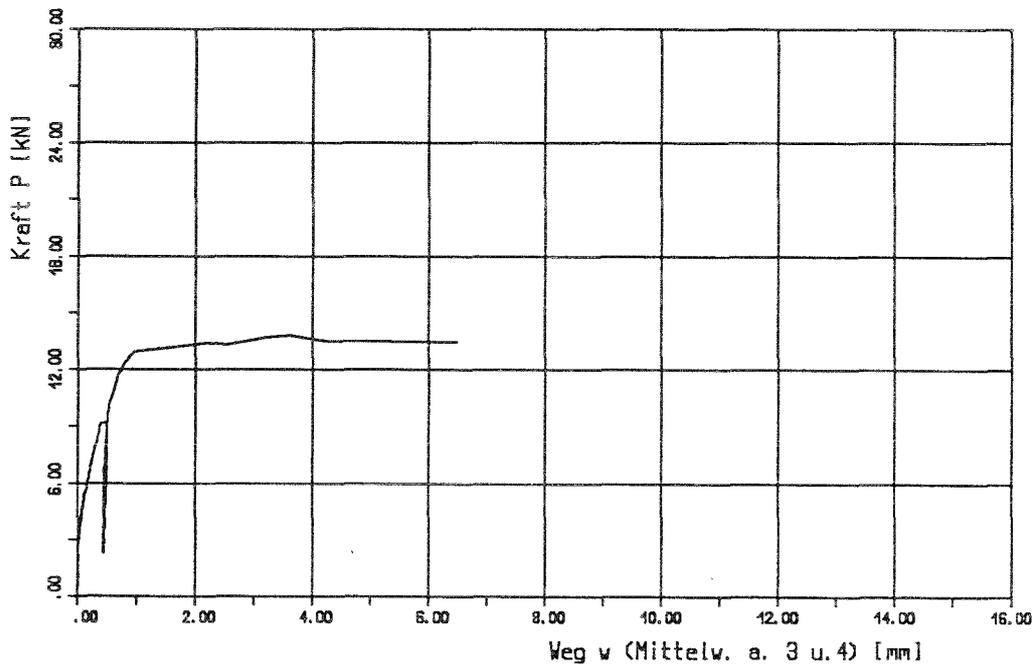


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III1,1

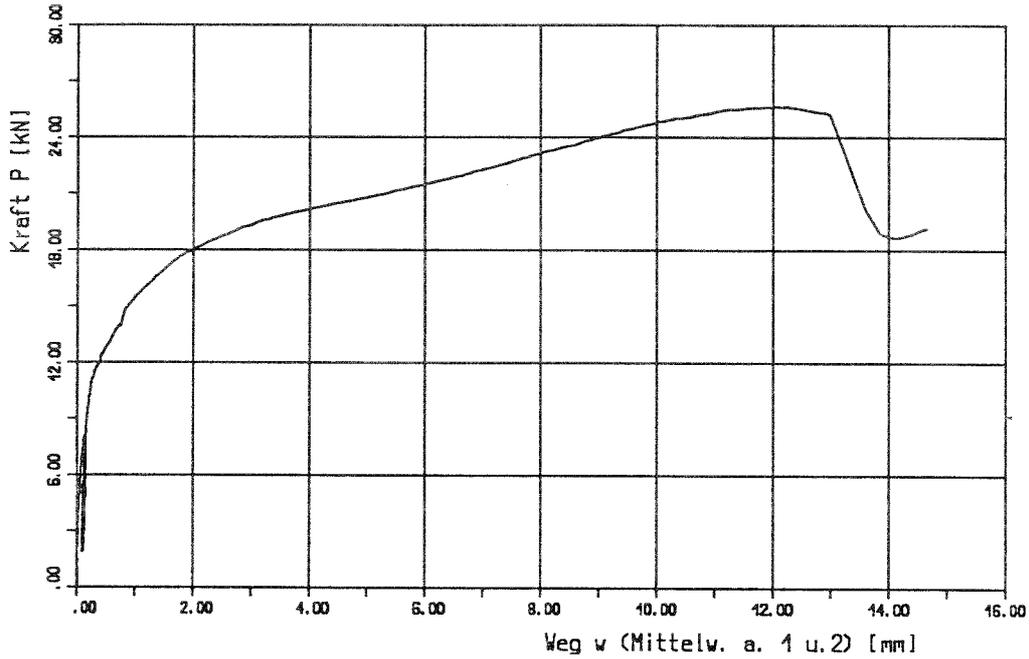


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III1,1

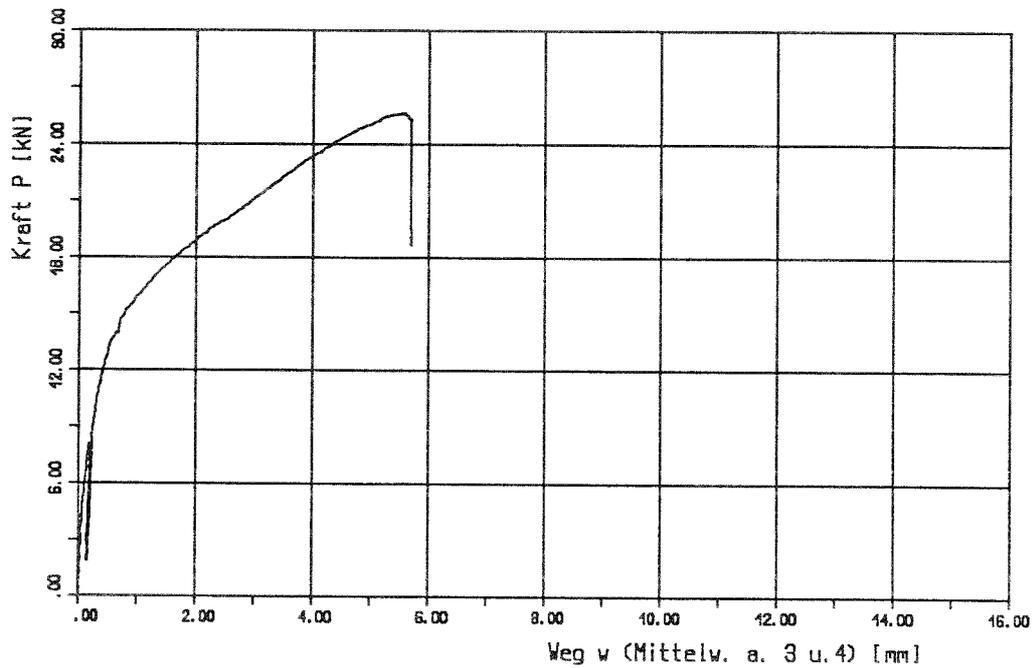


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III1, 4

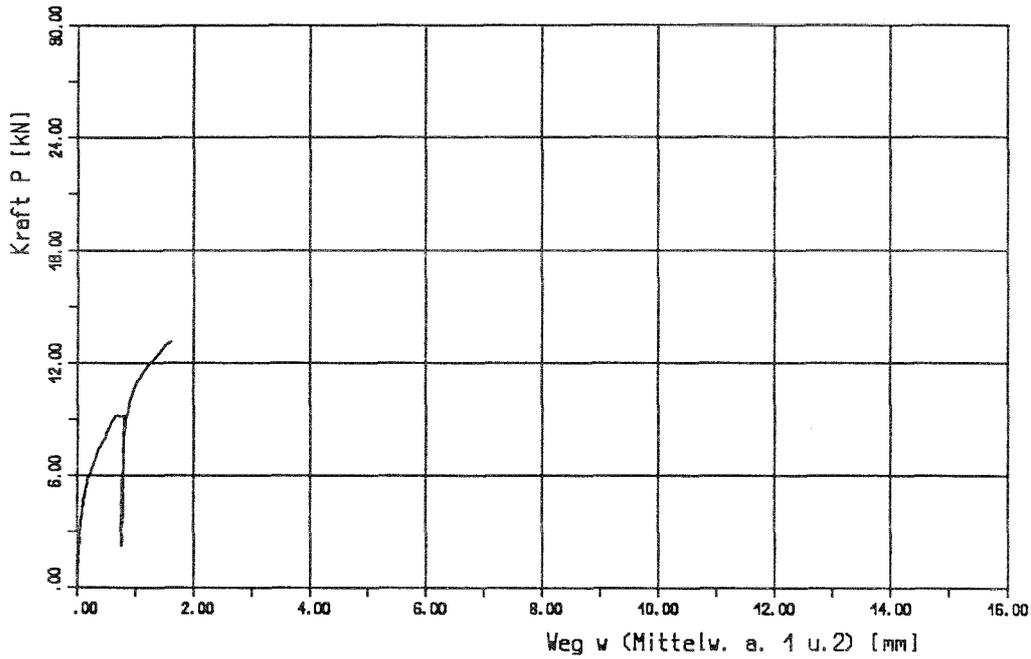


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: III1, 4

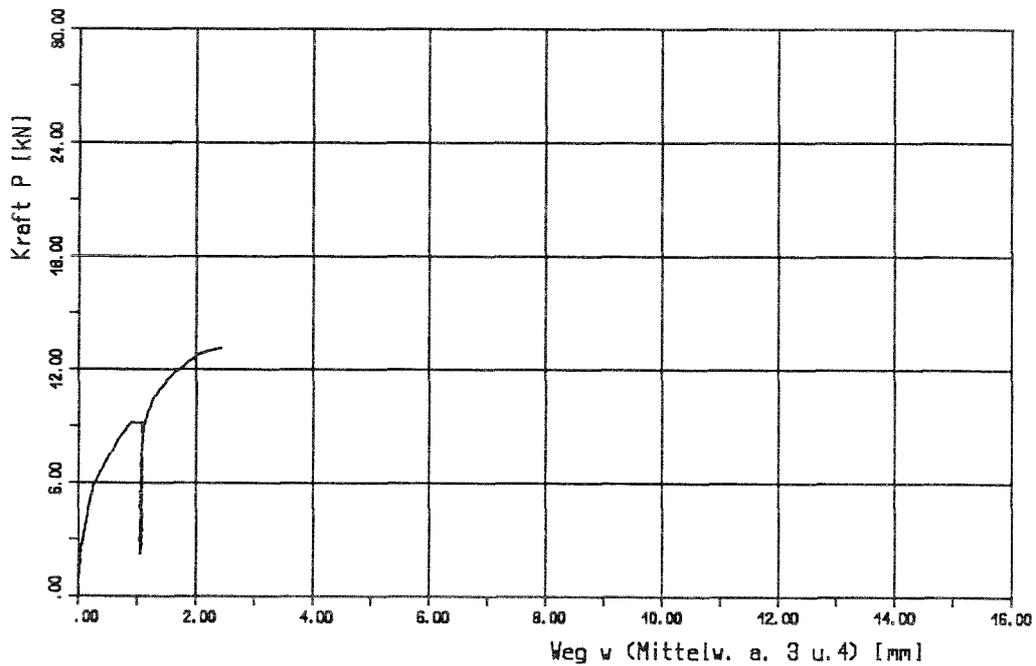


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,1

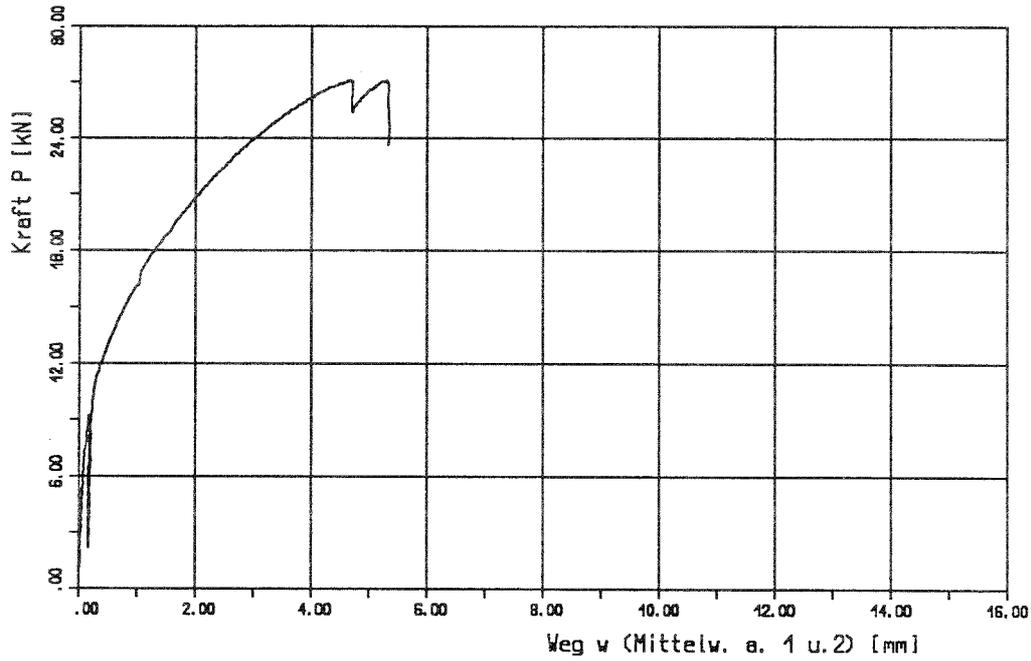


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,1

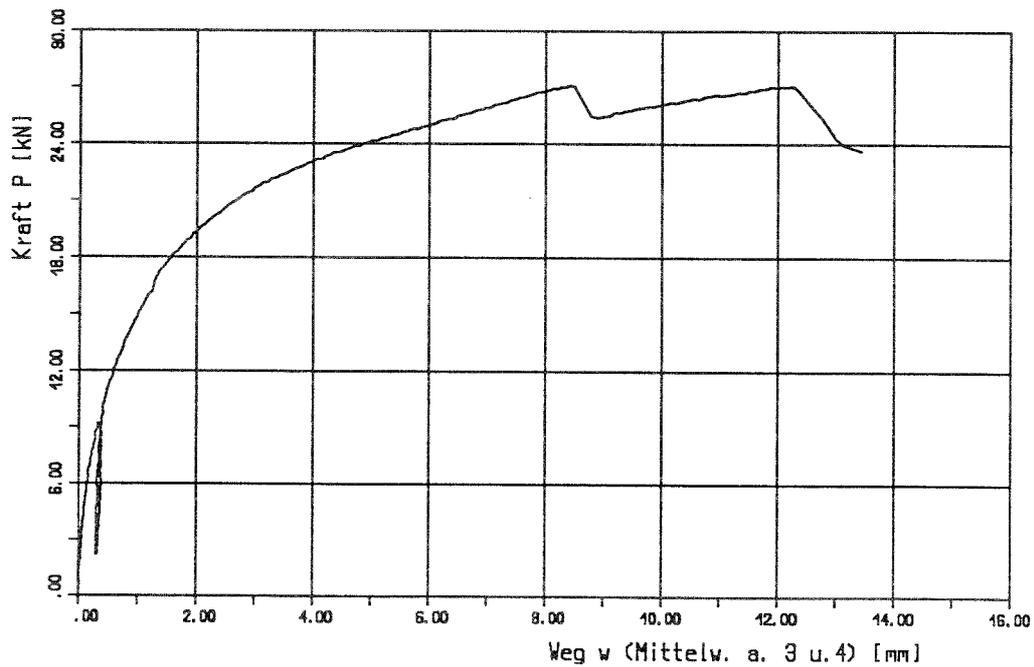


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1, 2

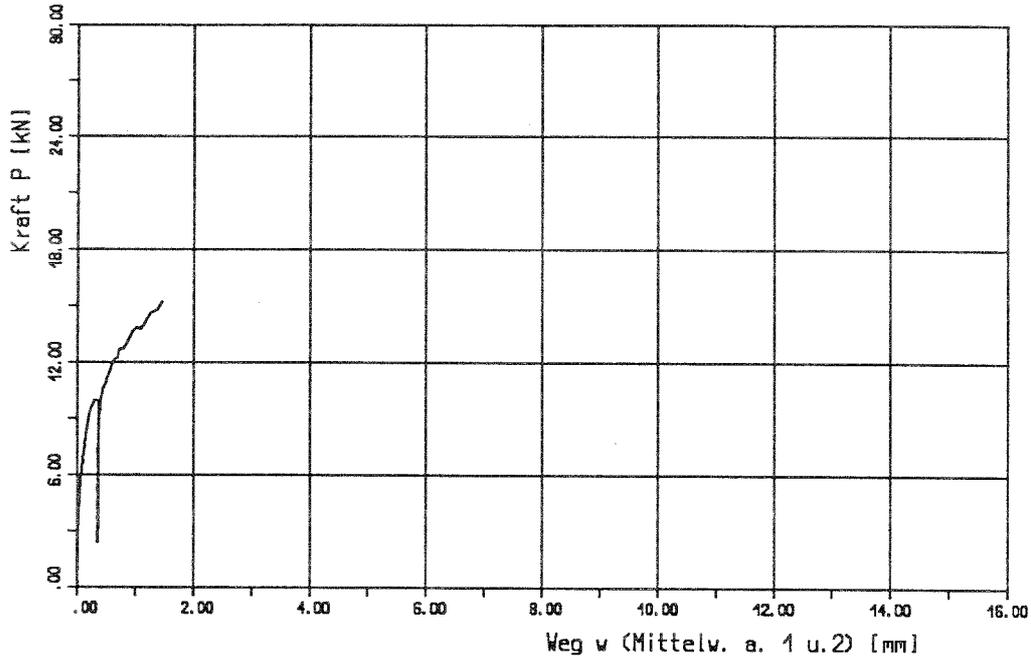


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1, 2

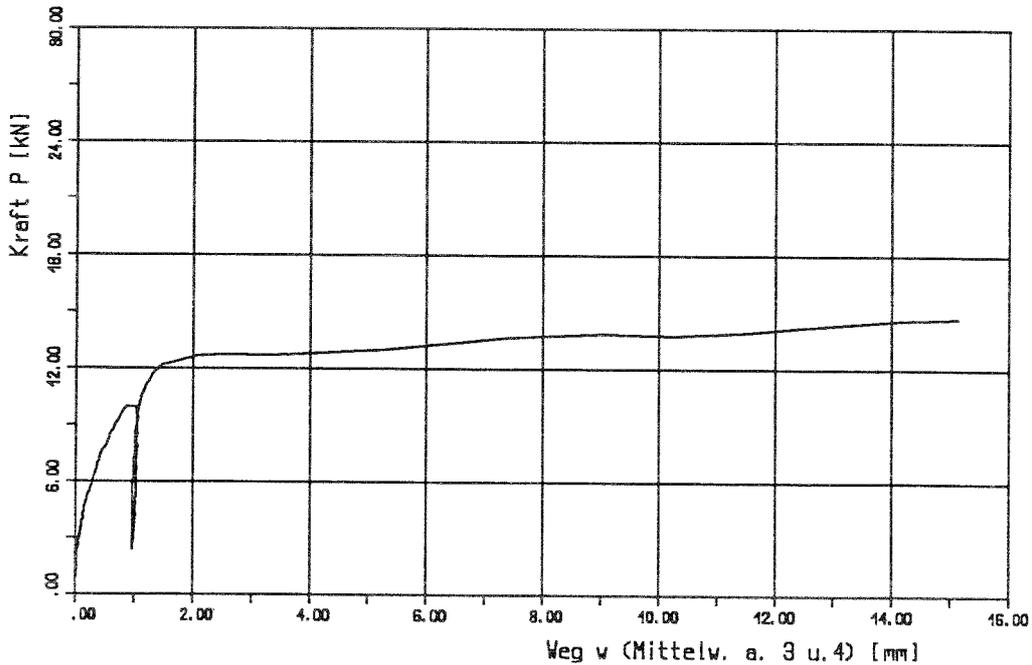


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,3

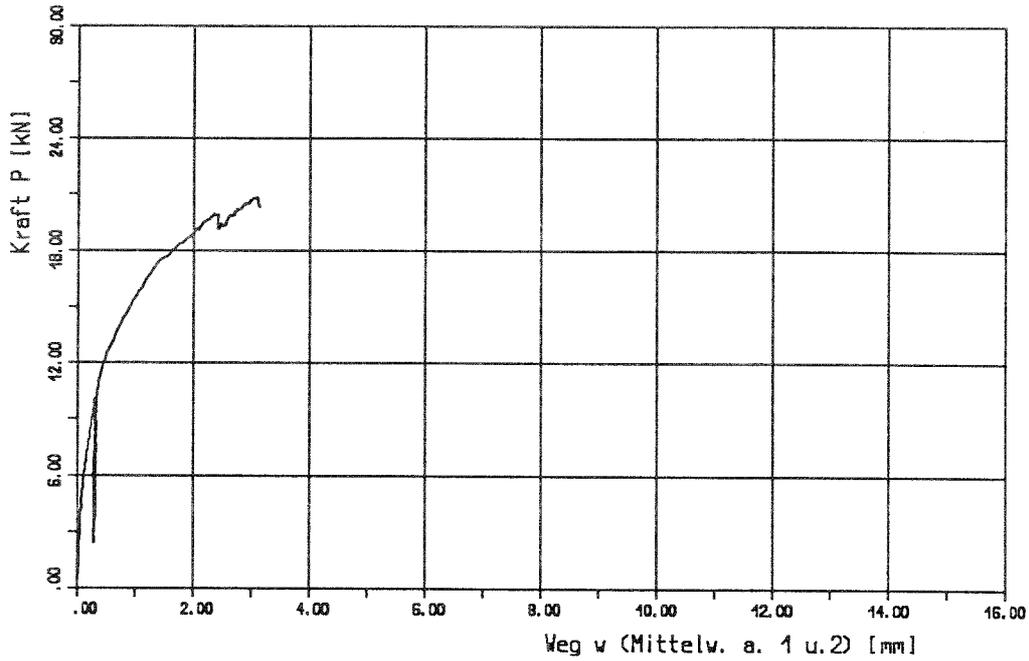


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,3

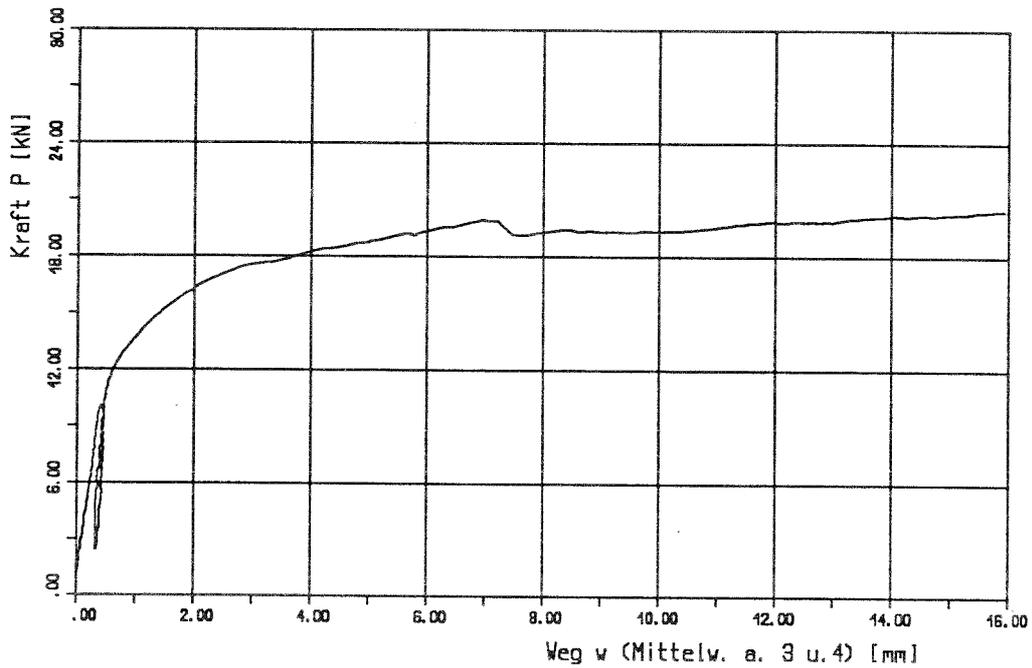


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1, 4

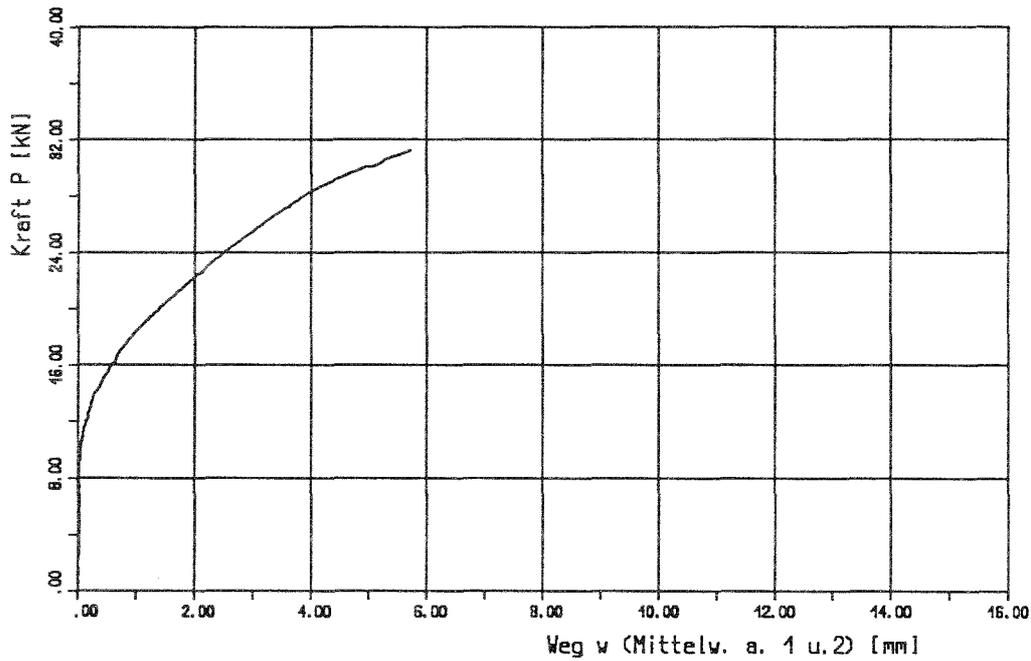


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1, 4

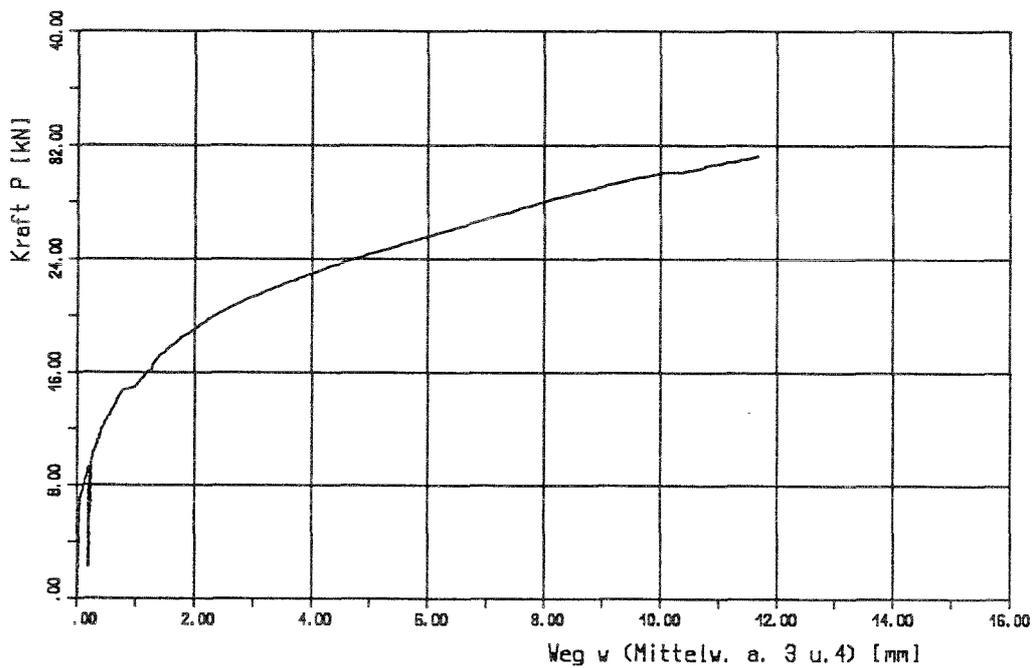


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,5

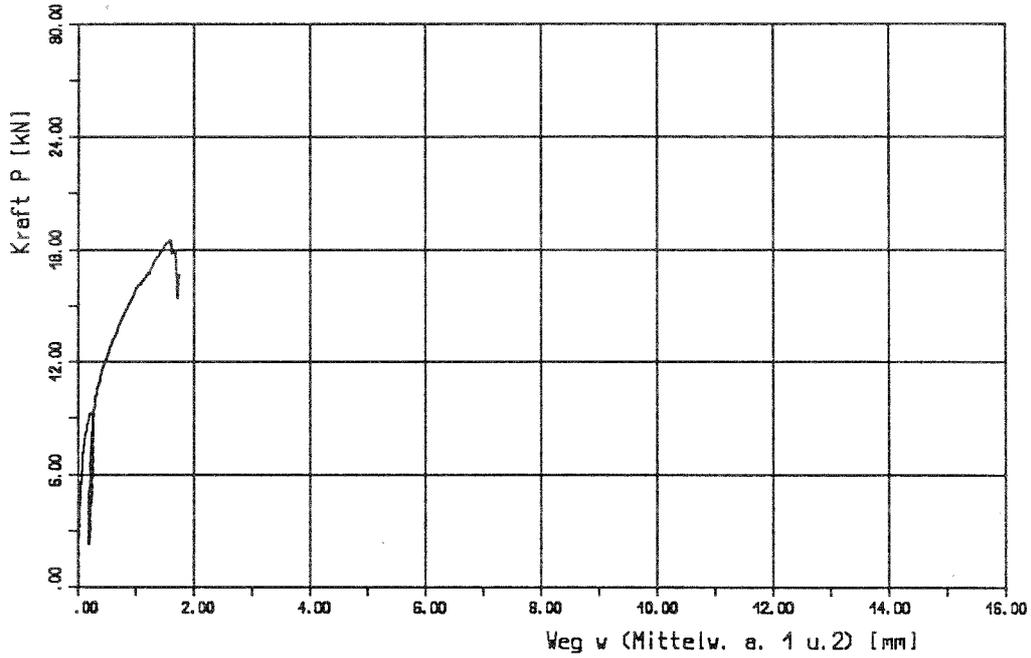


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,5

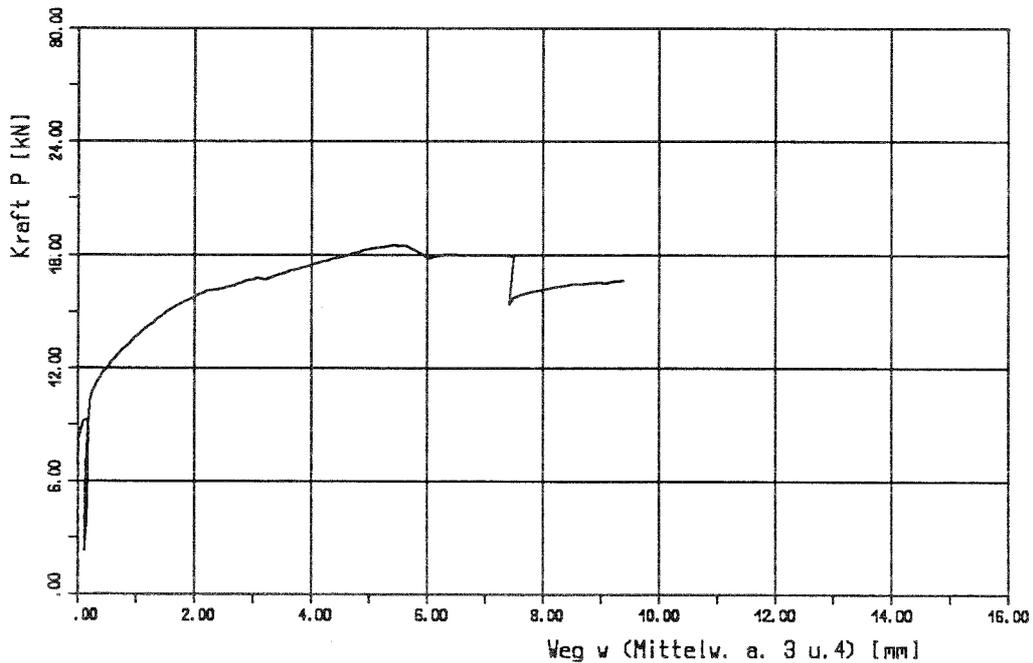


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,6

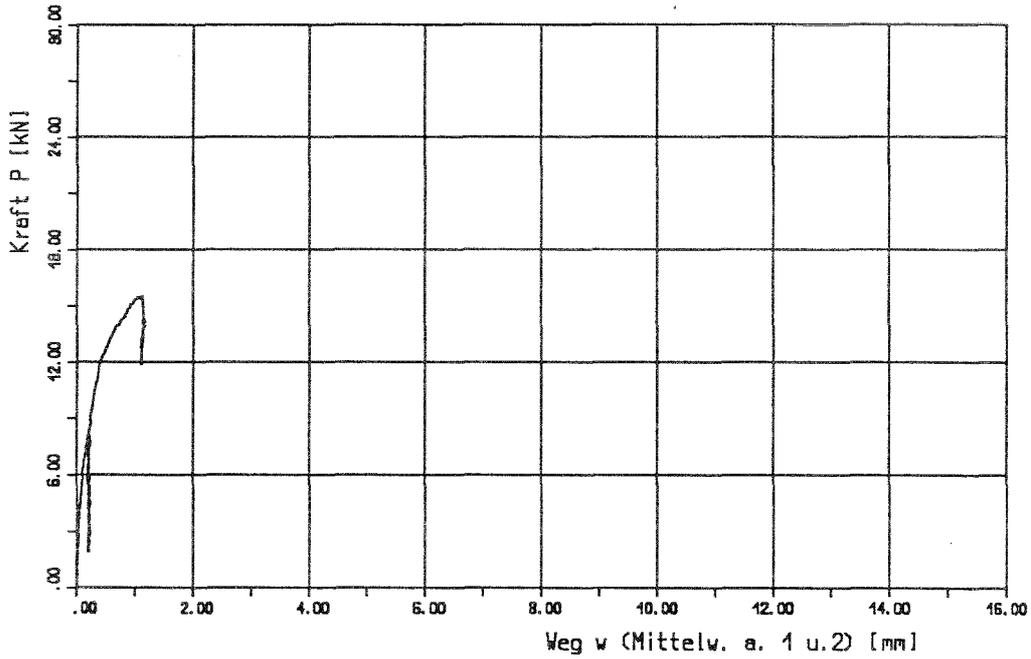


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,6

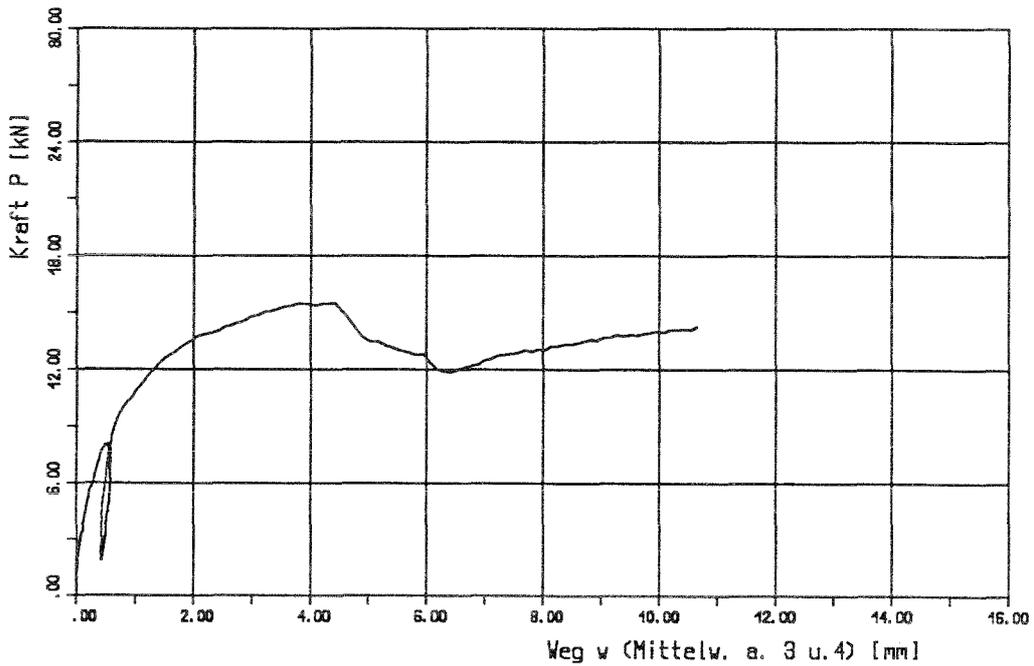


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,7

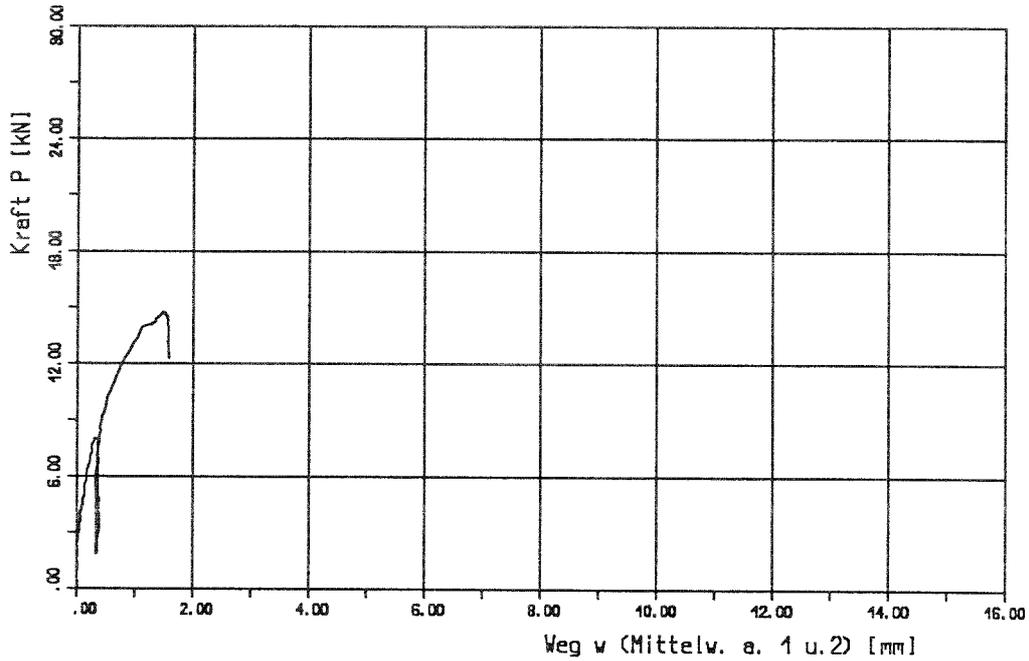


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IV1,7

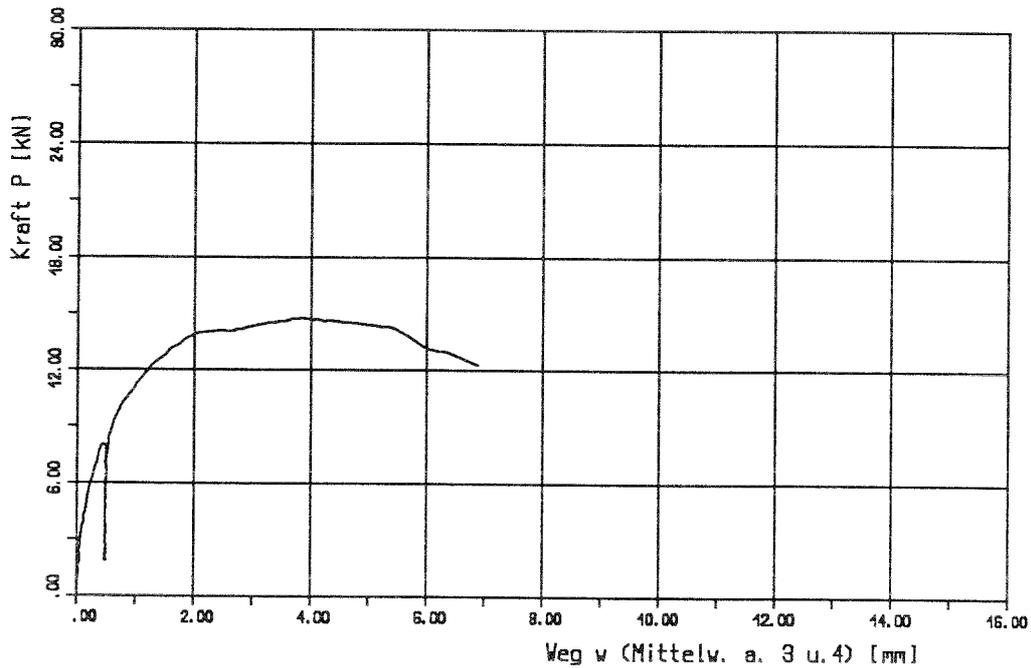


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: VII1,1

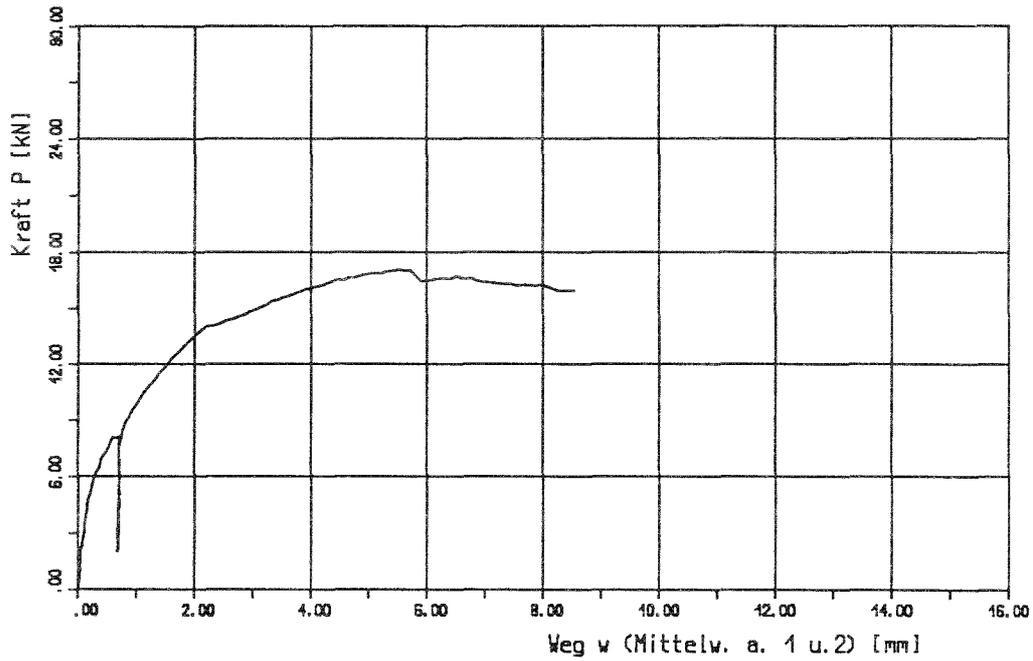


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: VII1,1

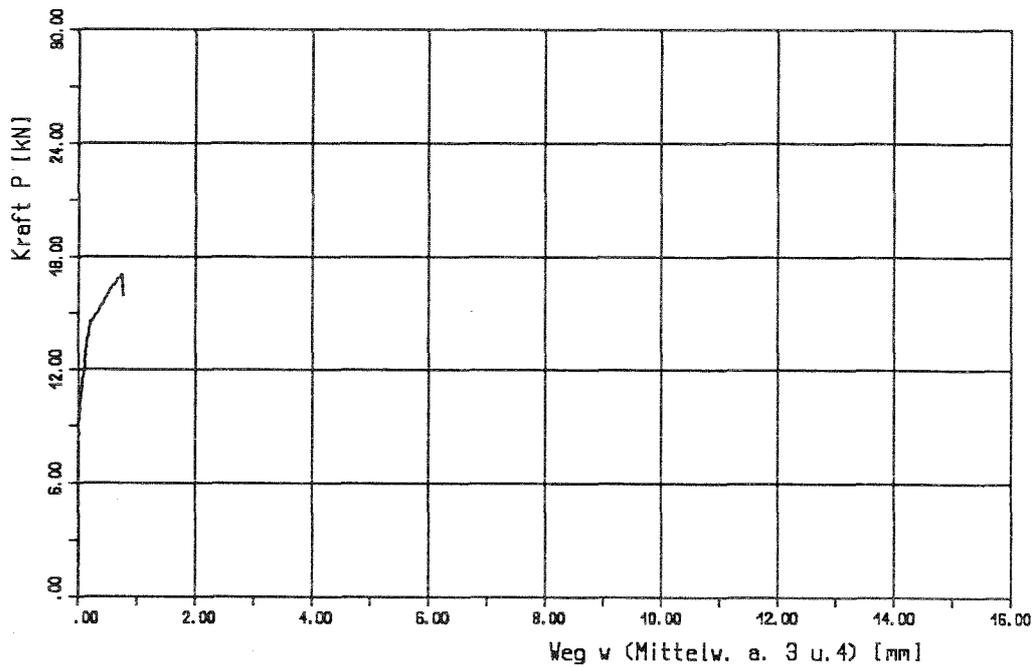


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII1,2

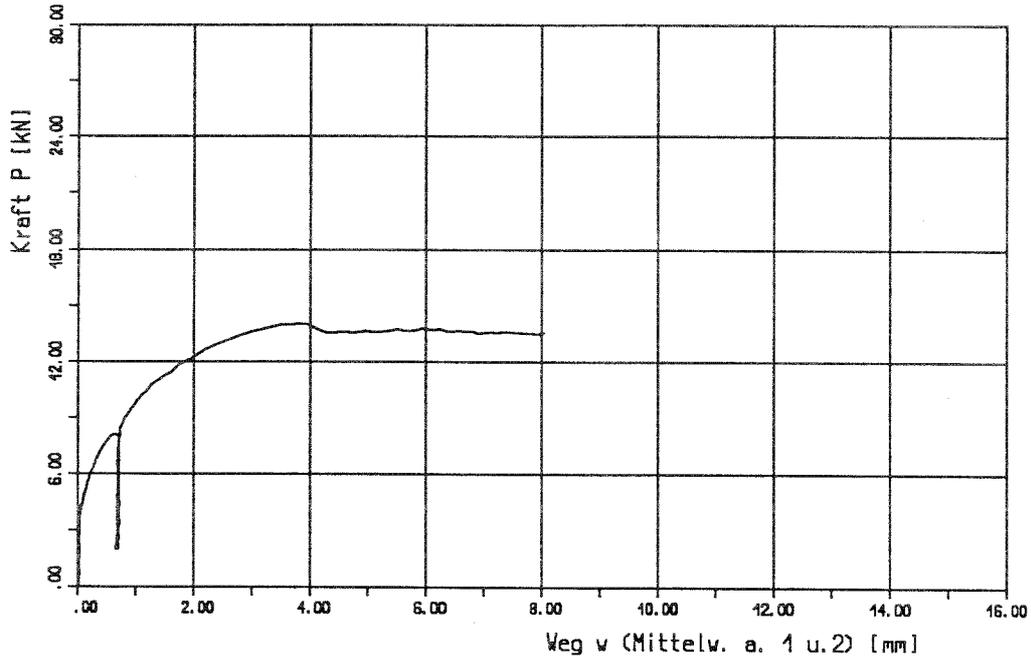


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII1,2

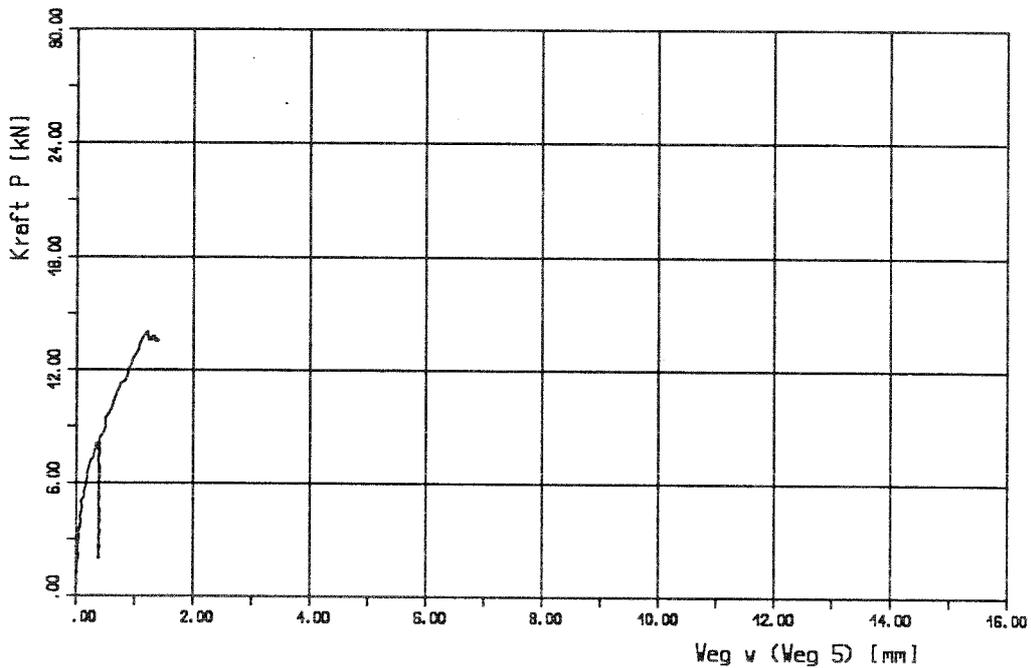


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII1,3

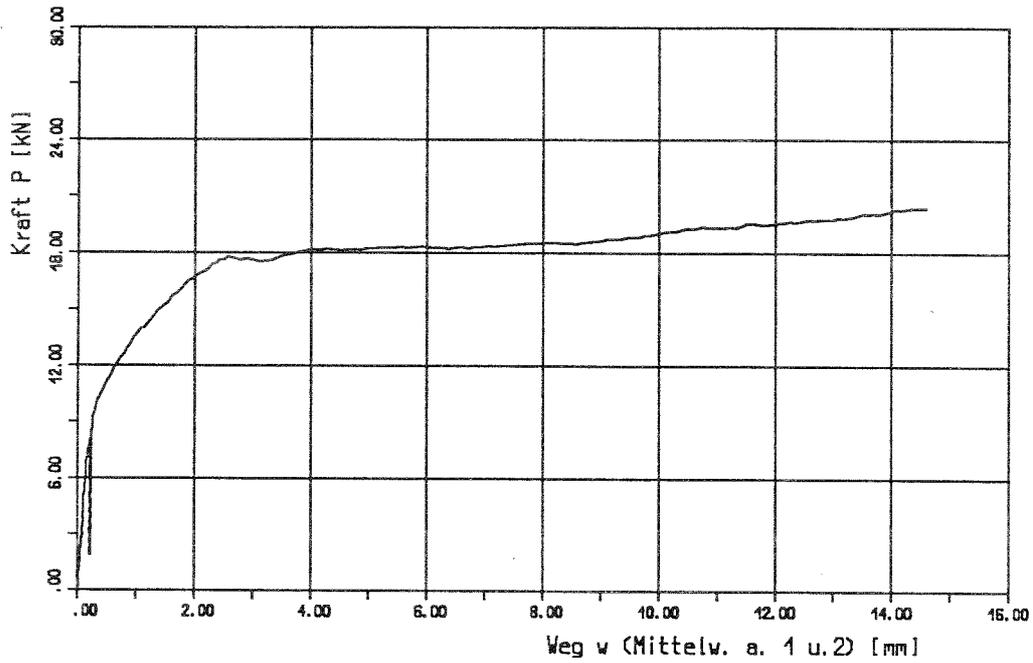


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VII1,3

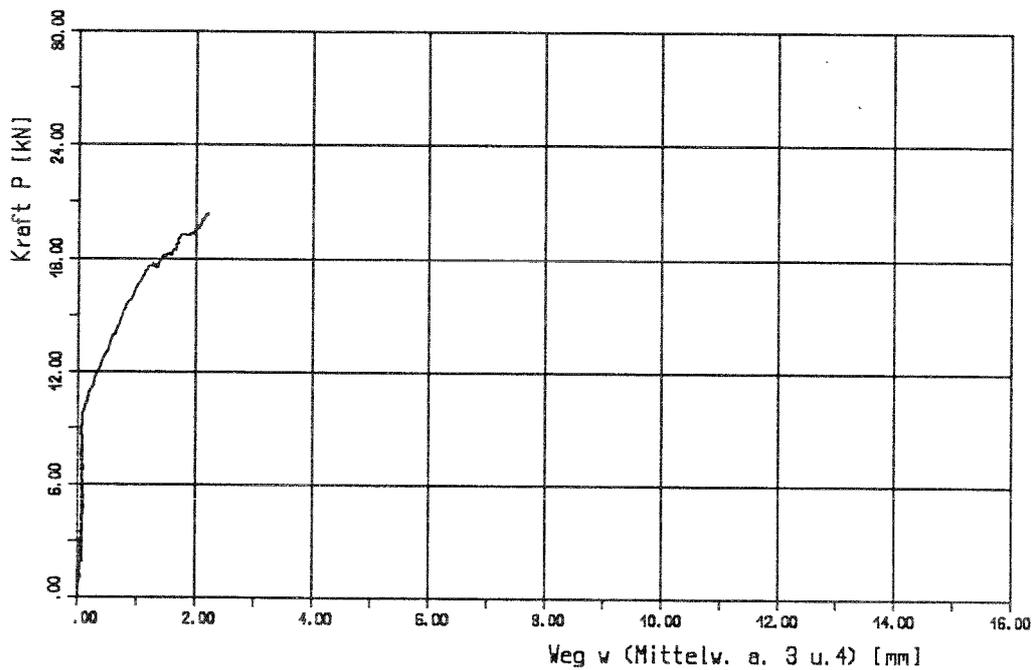


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1, 1

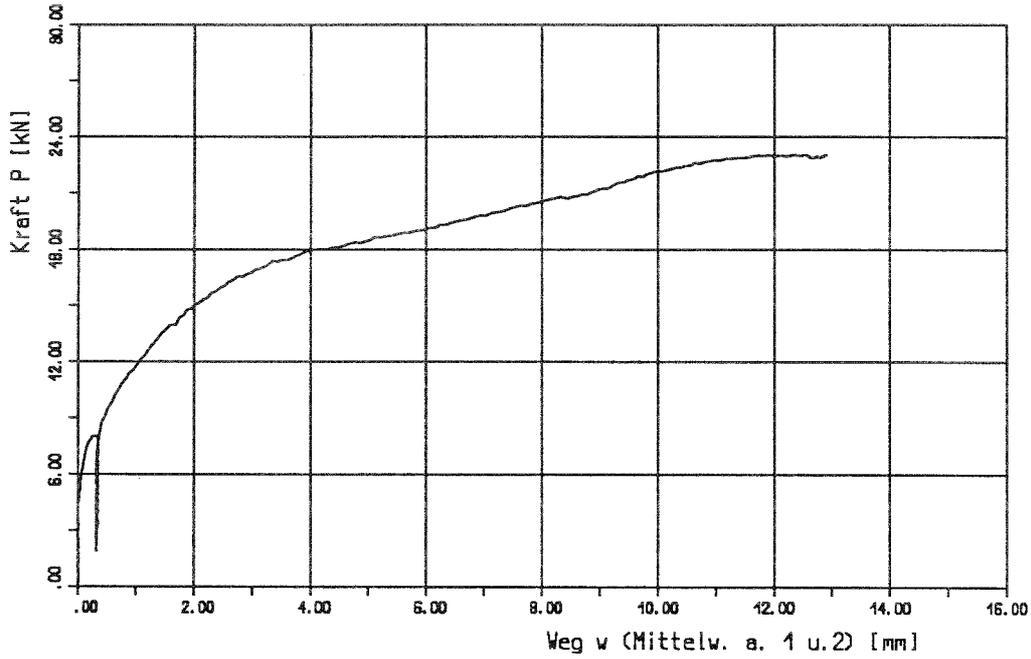


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1, 1

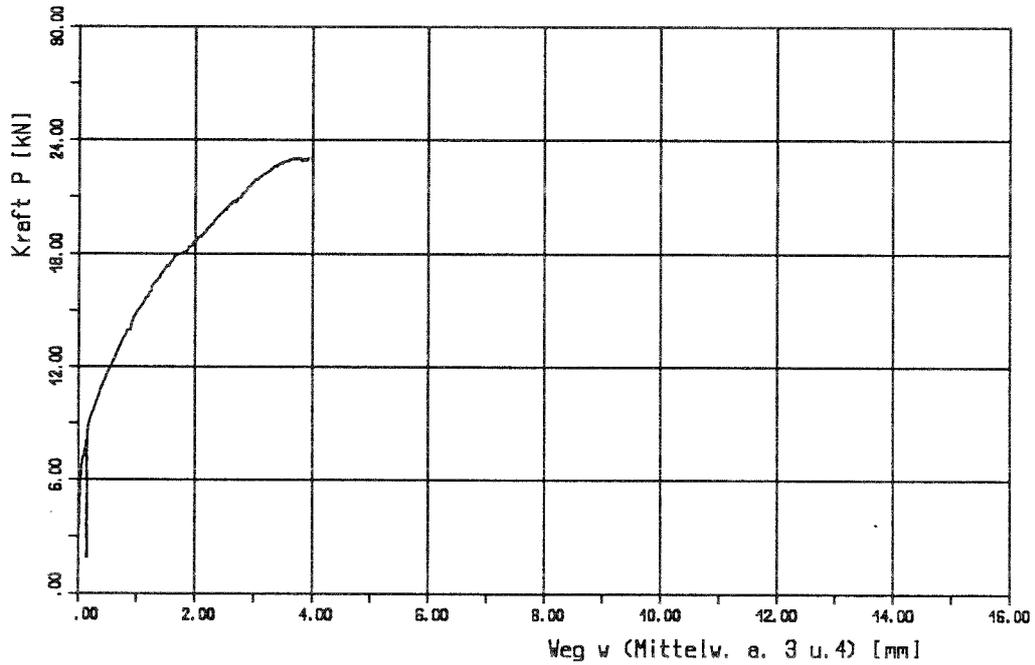


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,2

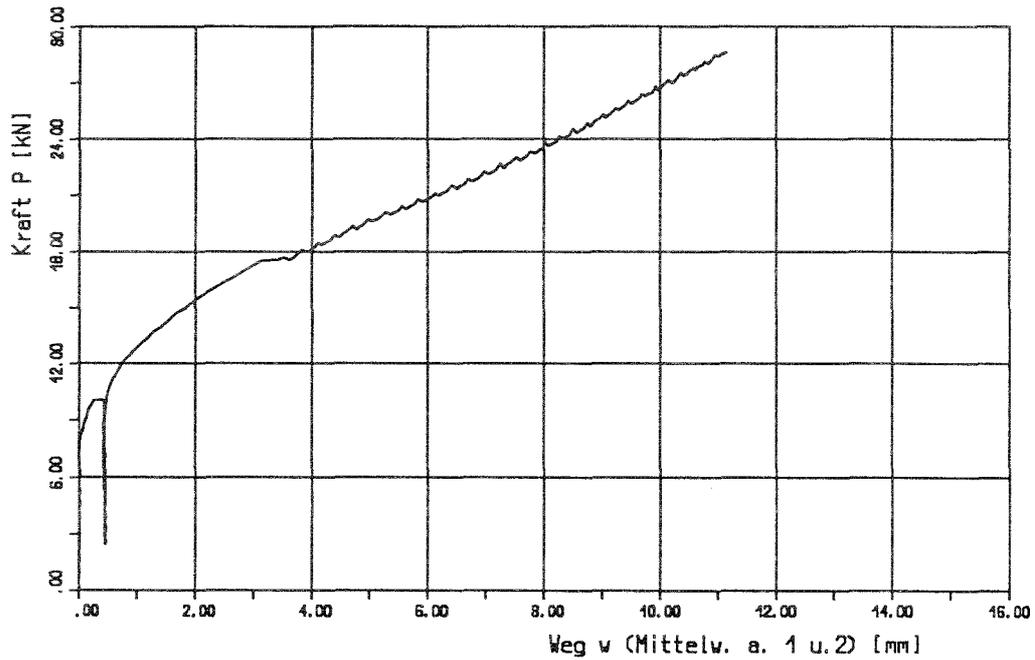


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,2

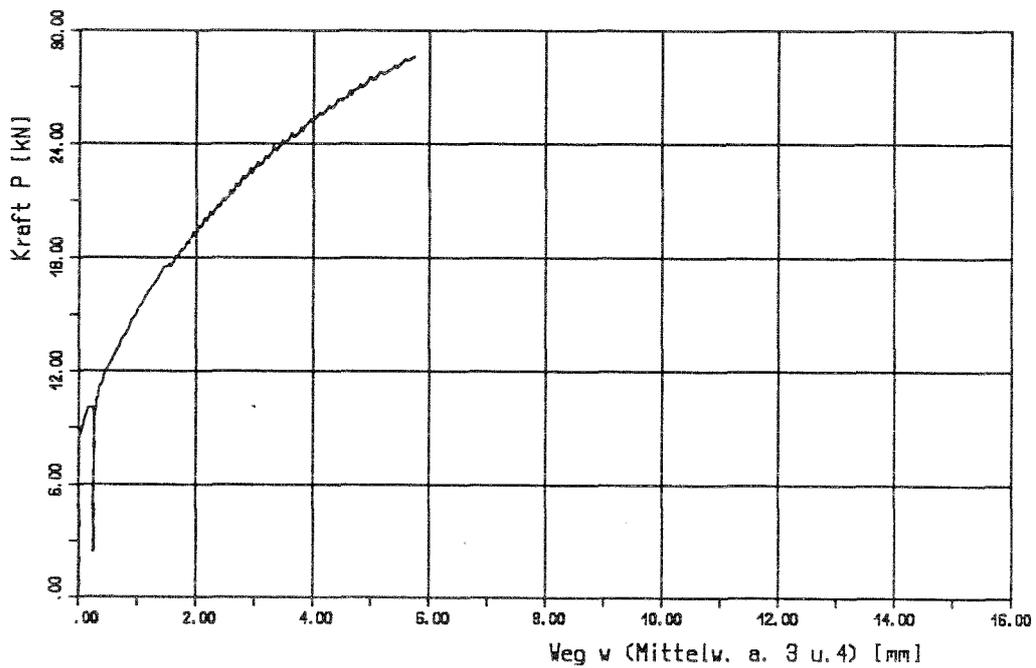


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,3

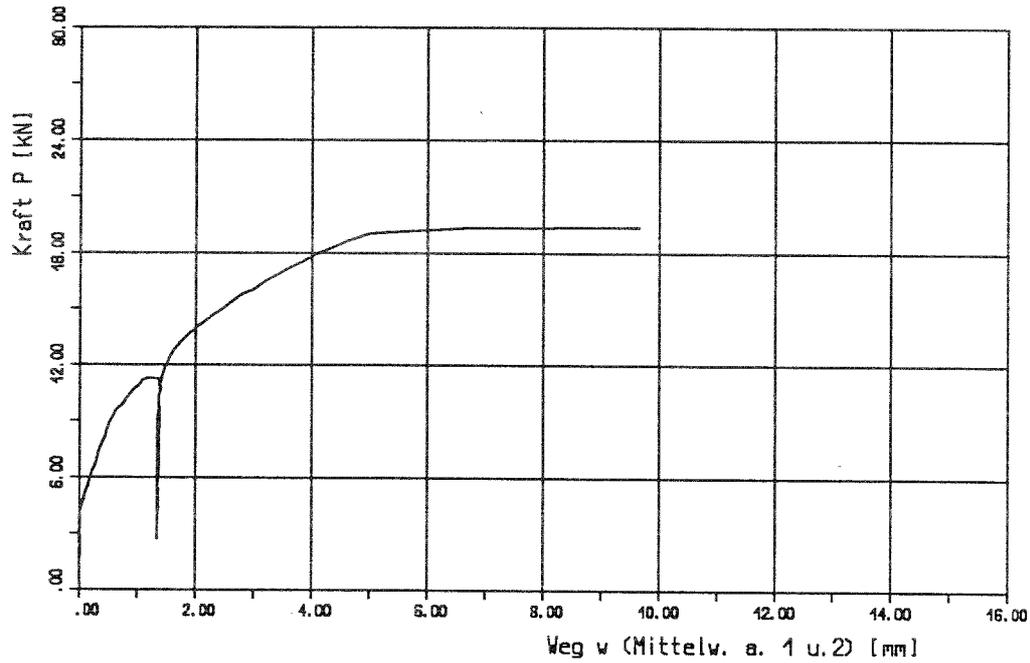


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,3

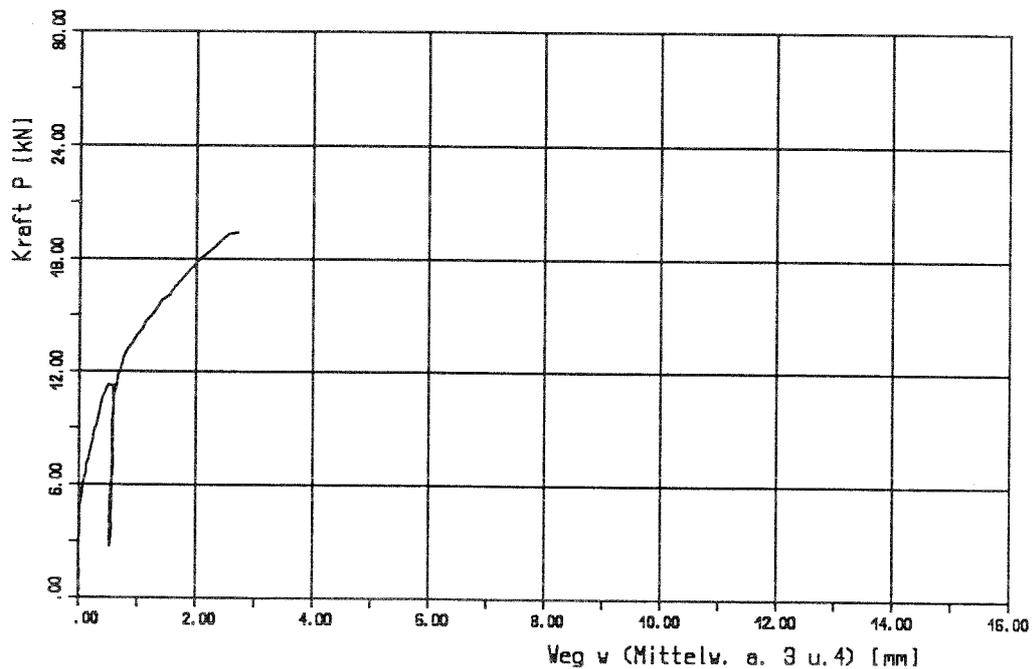


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,4

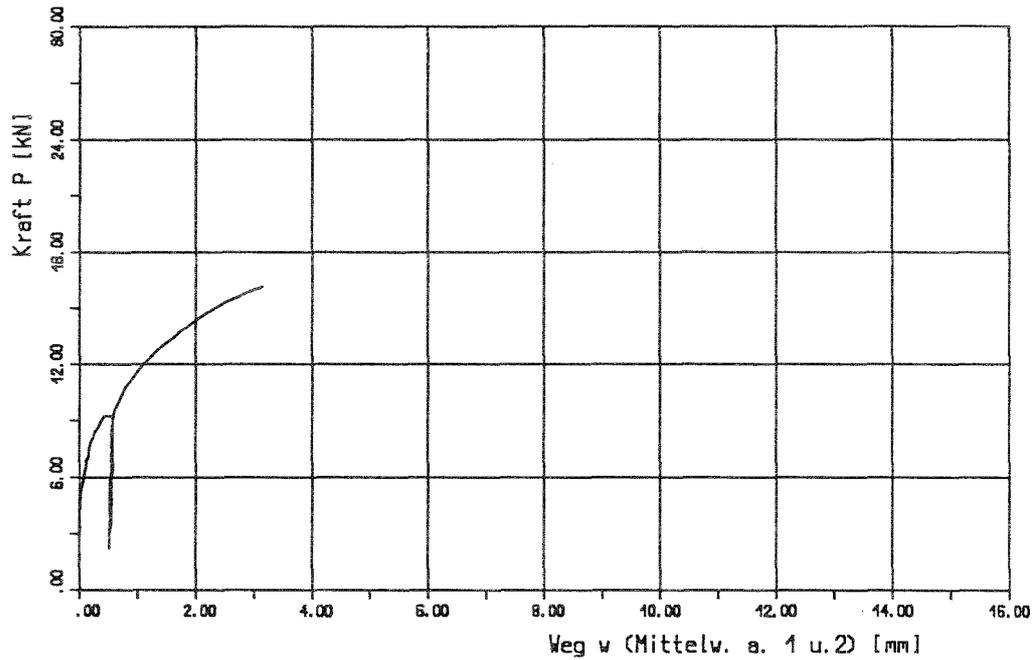


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,4

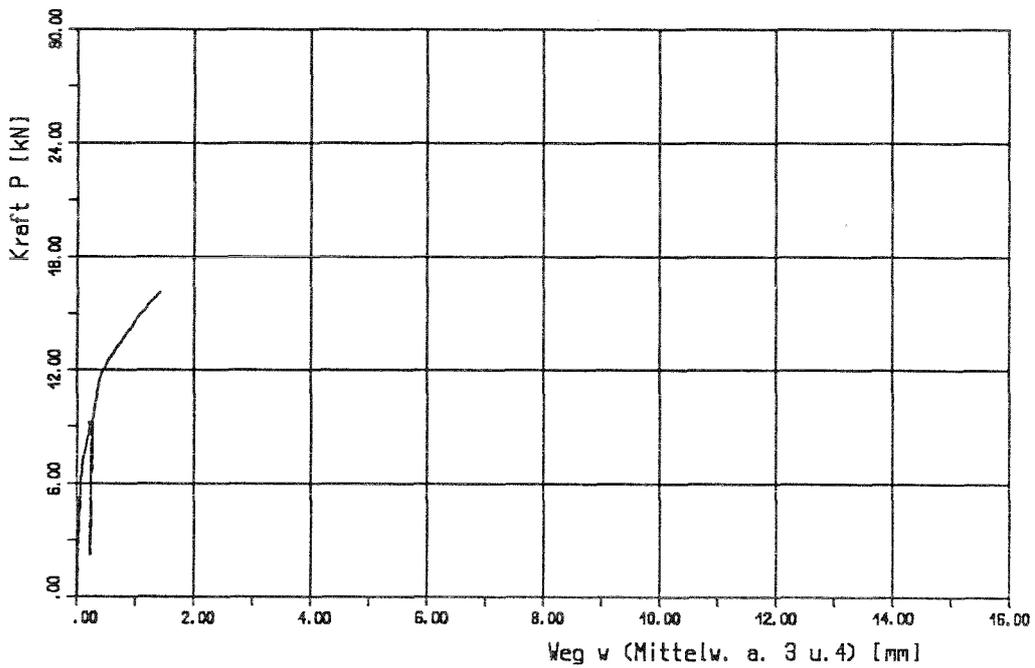


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,5

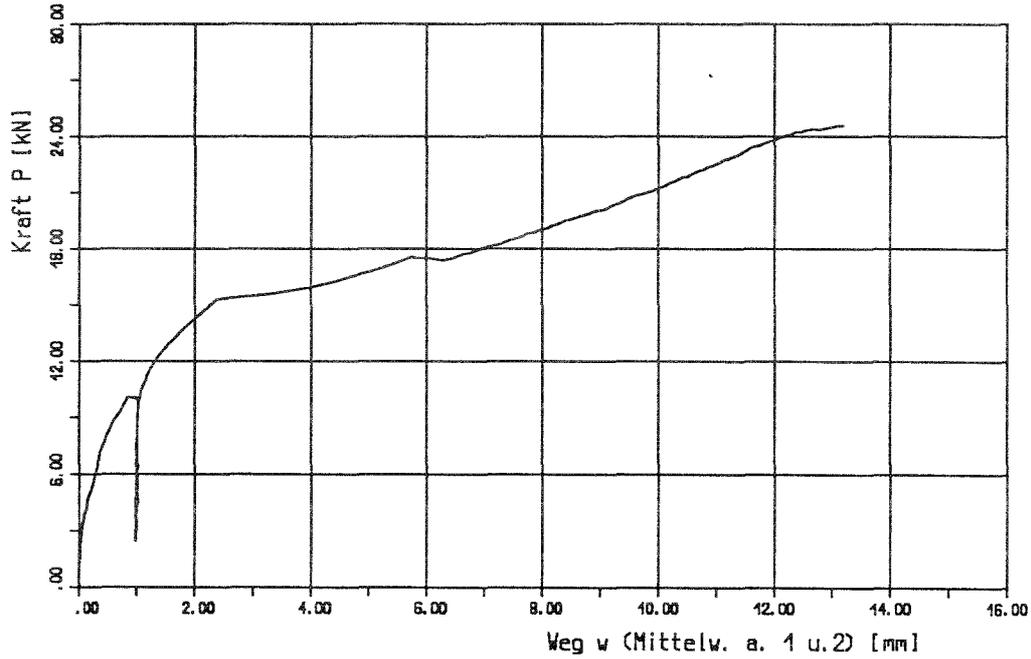


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: VIII1,5

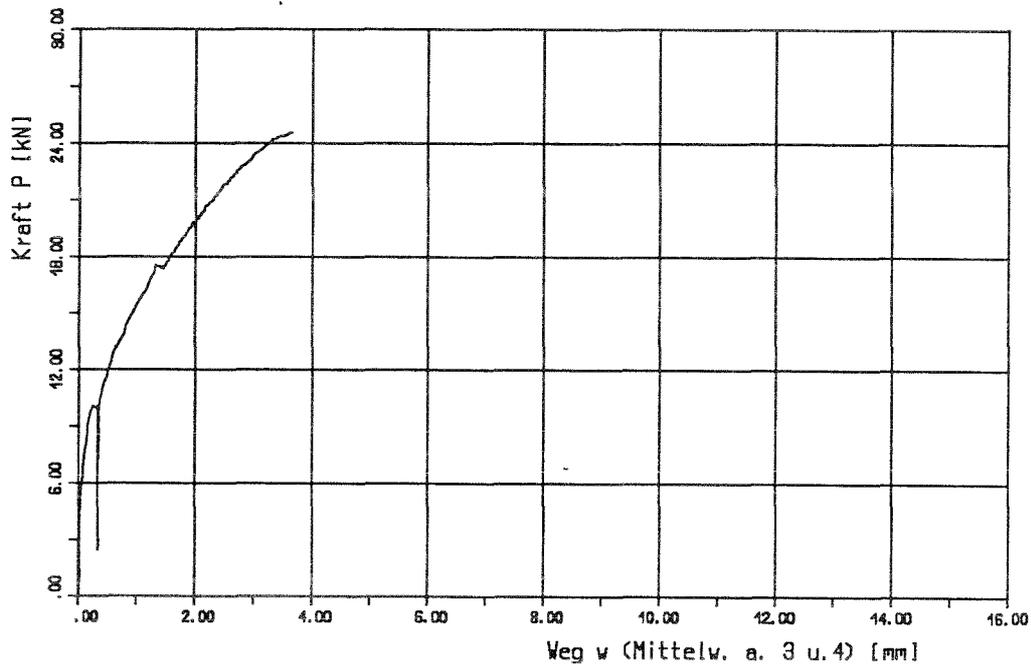


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,1

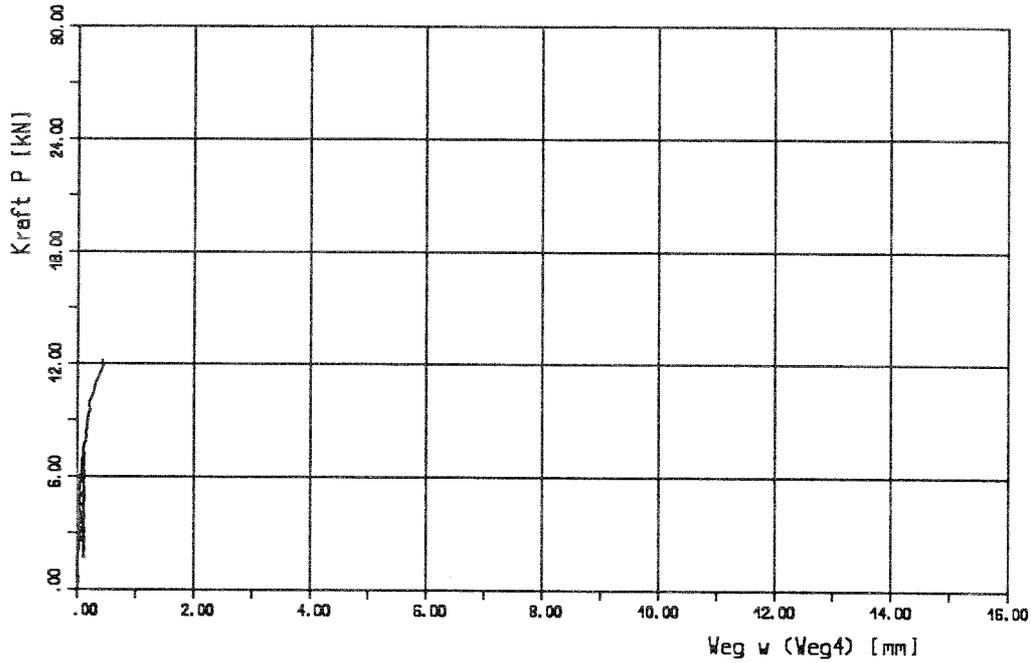


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,1

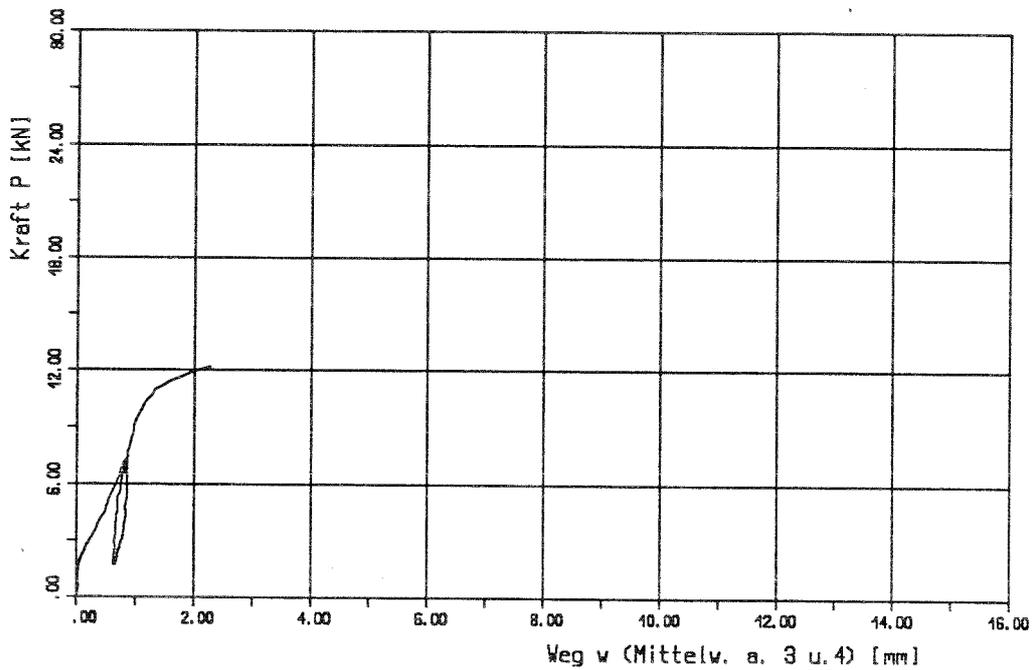


Bild 2; versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,2

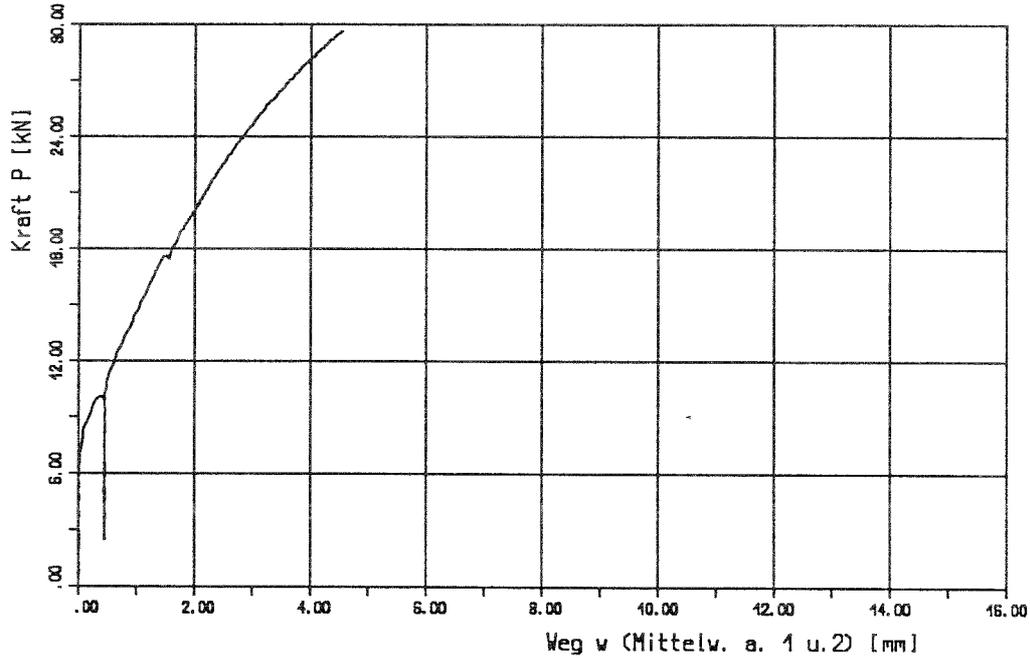


Bild 3; unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,2

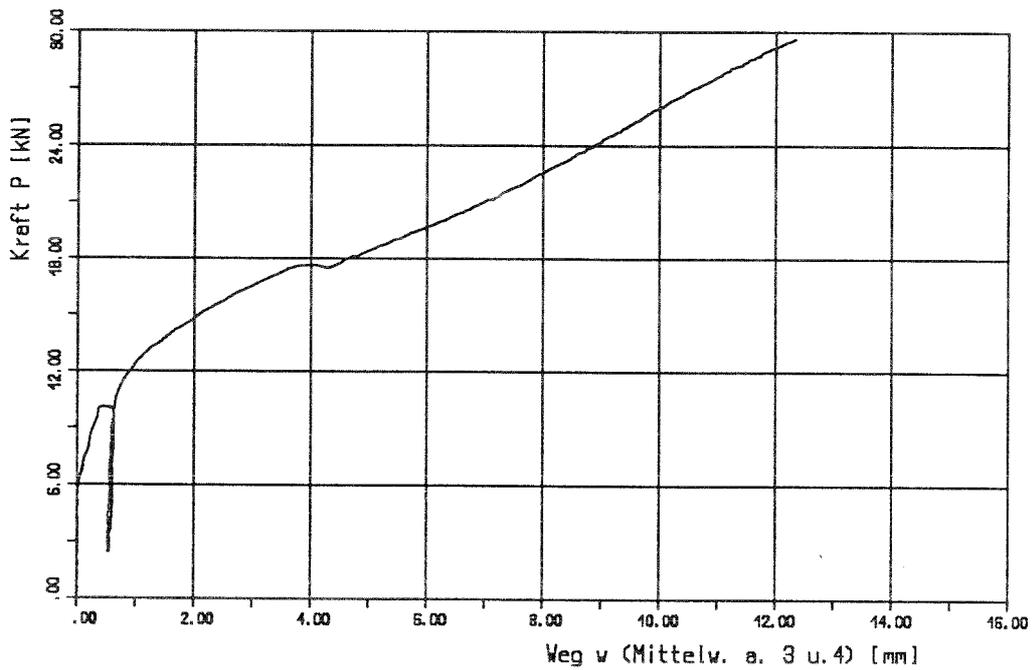


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,3

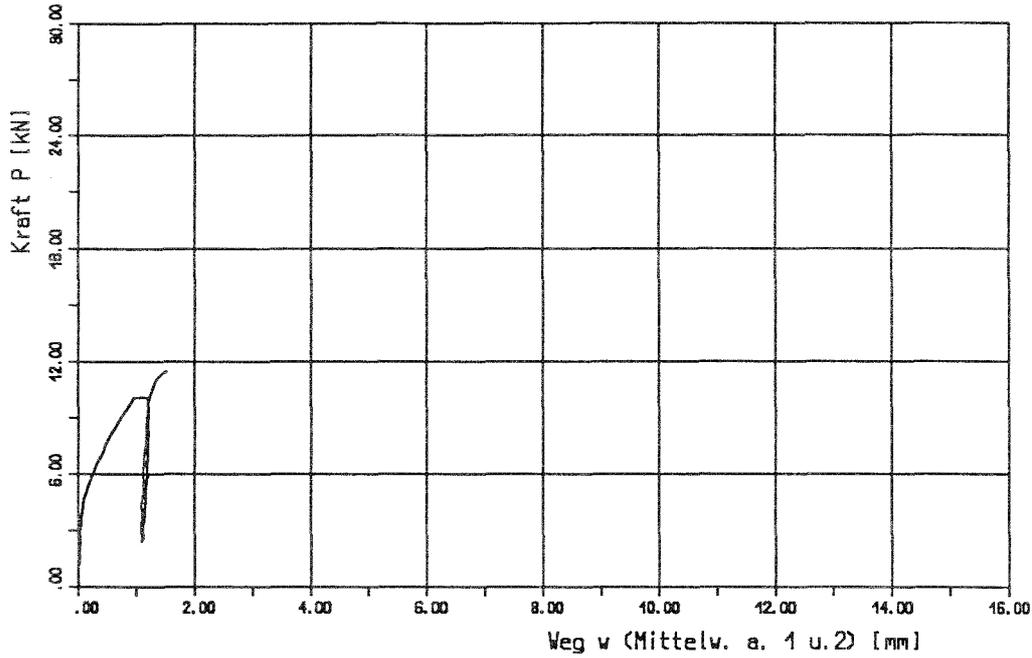


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,3

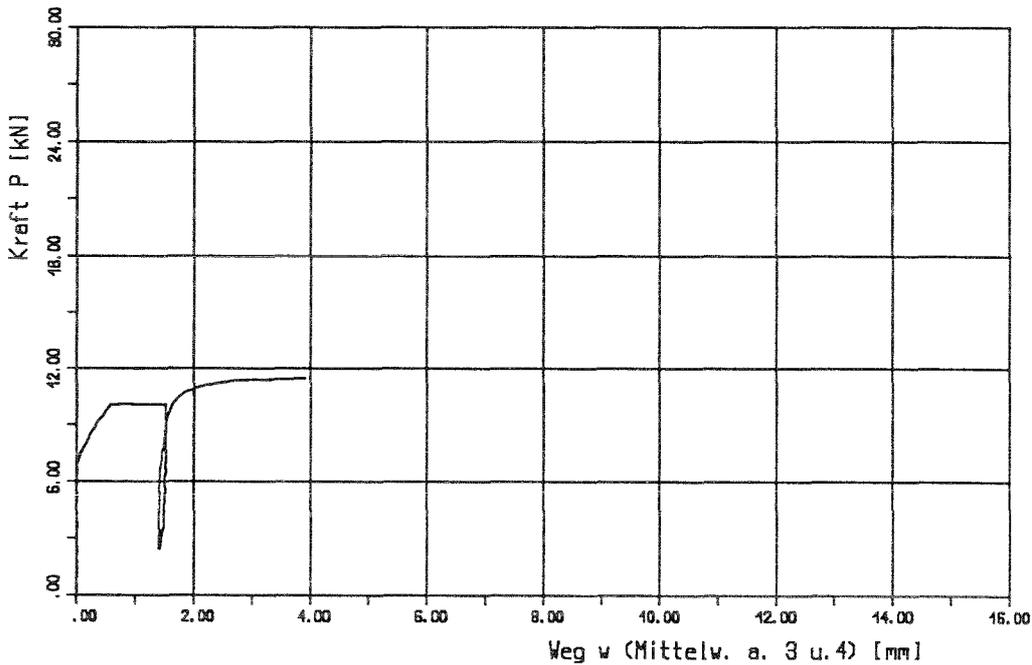


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1, 4

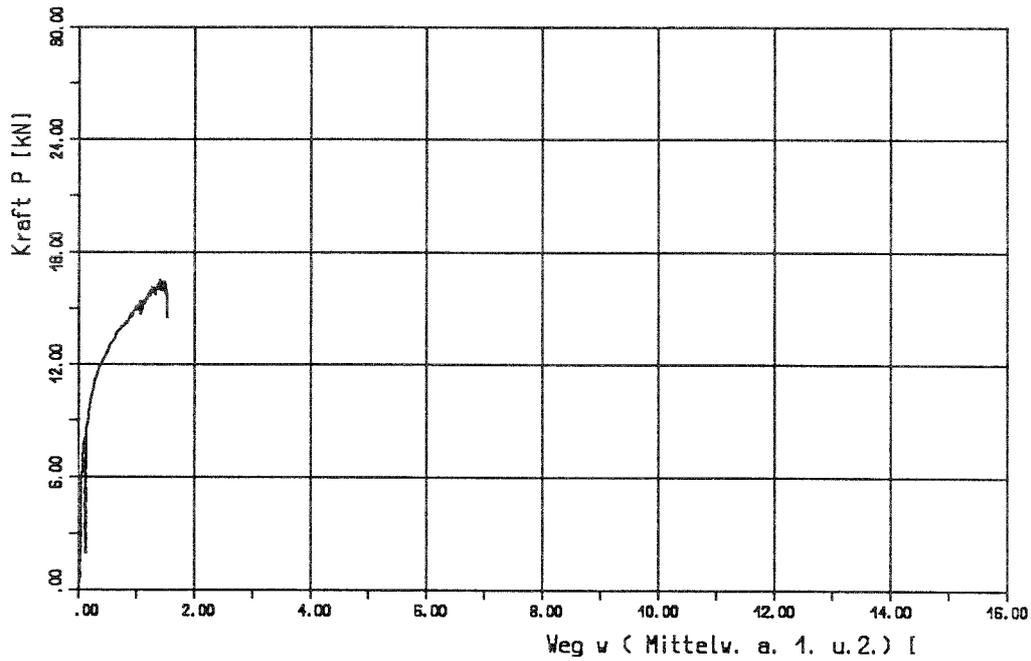


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1, 4

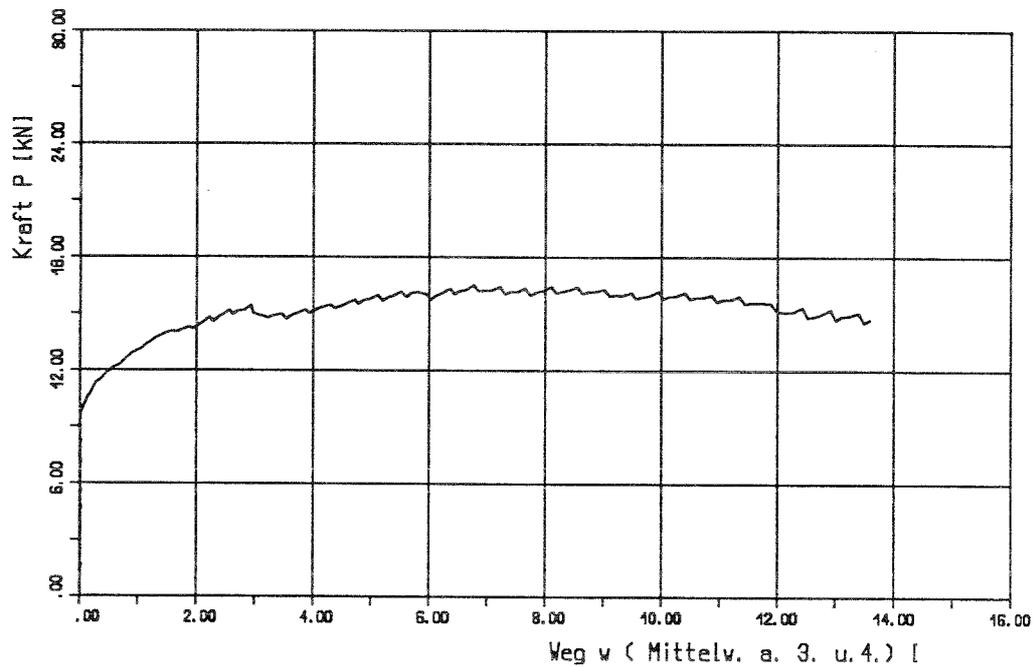


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,5

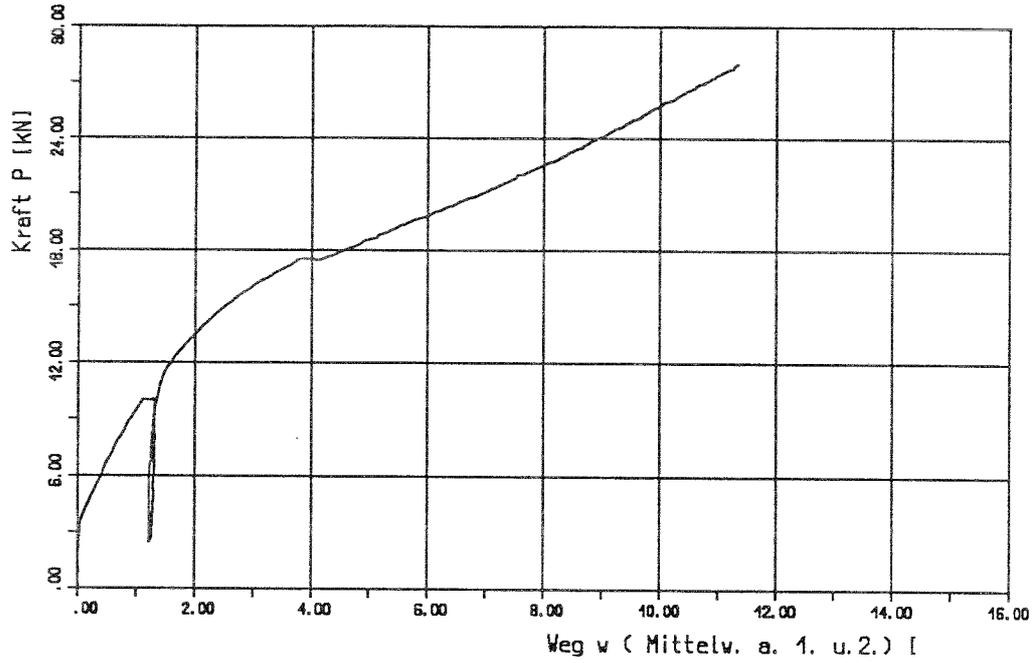


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: IX1,5

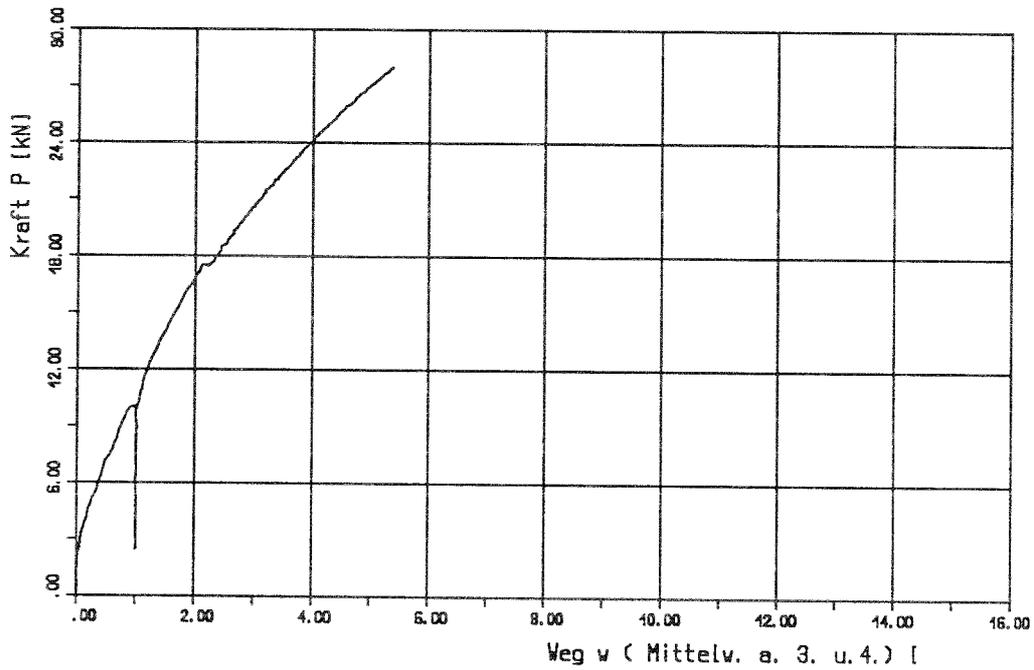


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII1,1

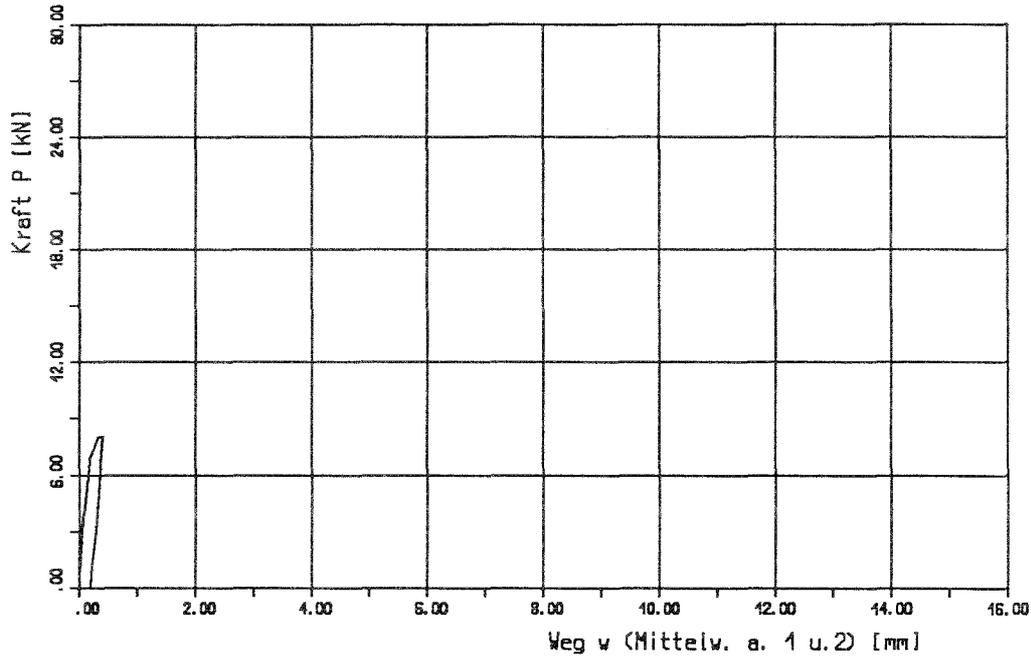


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIII1,1

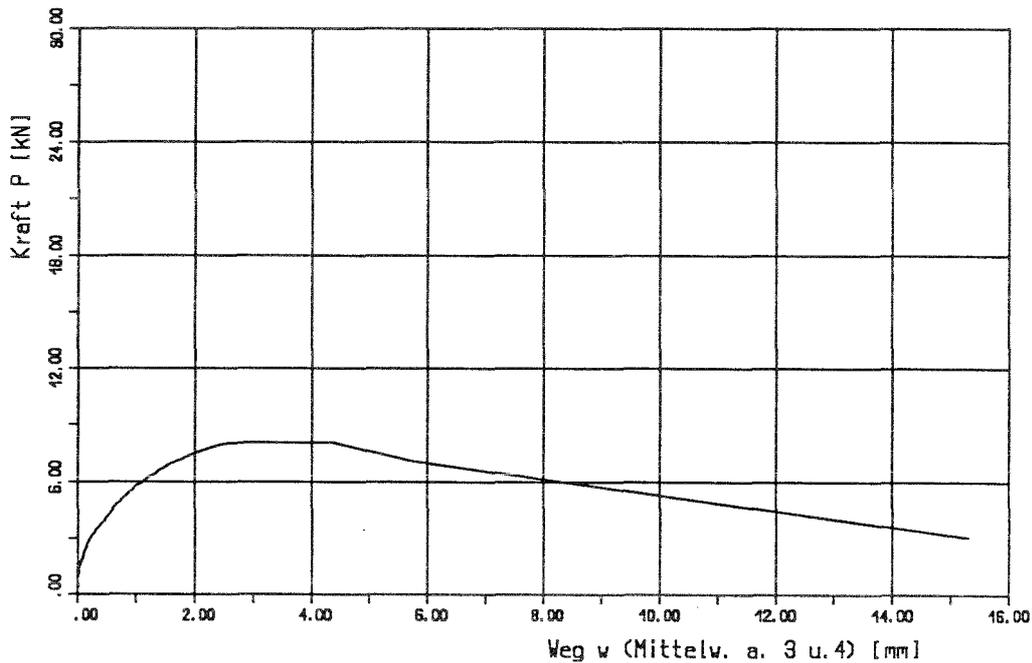


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV1,1

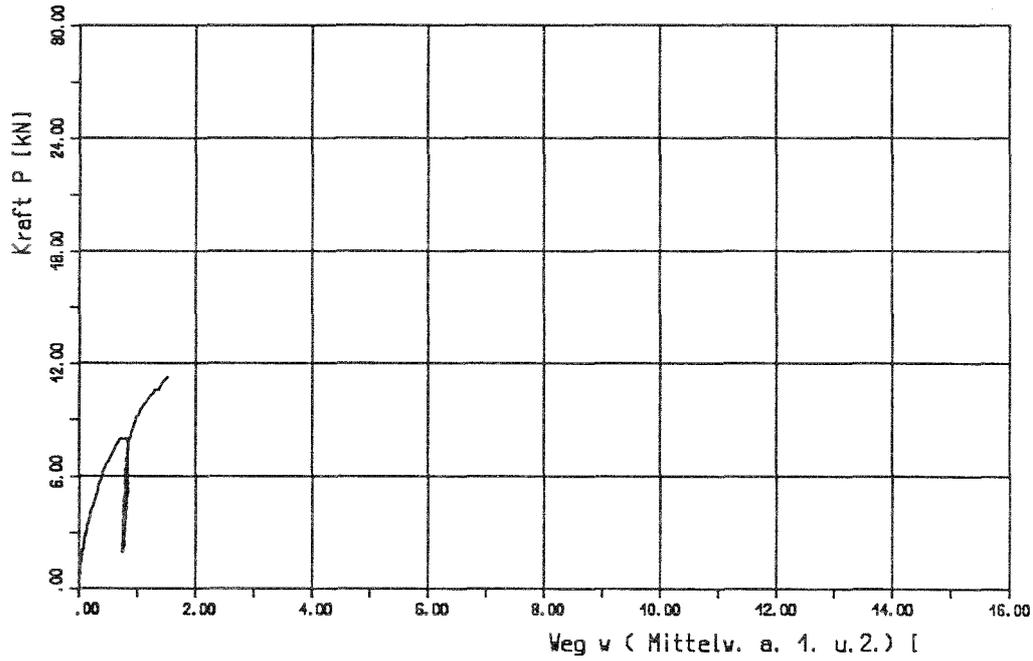


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV1,1

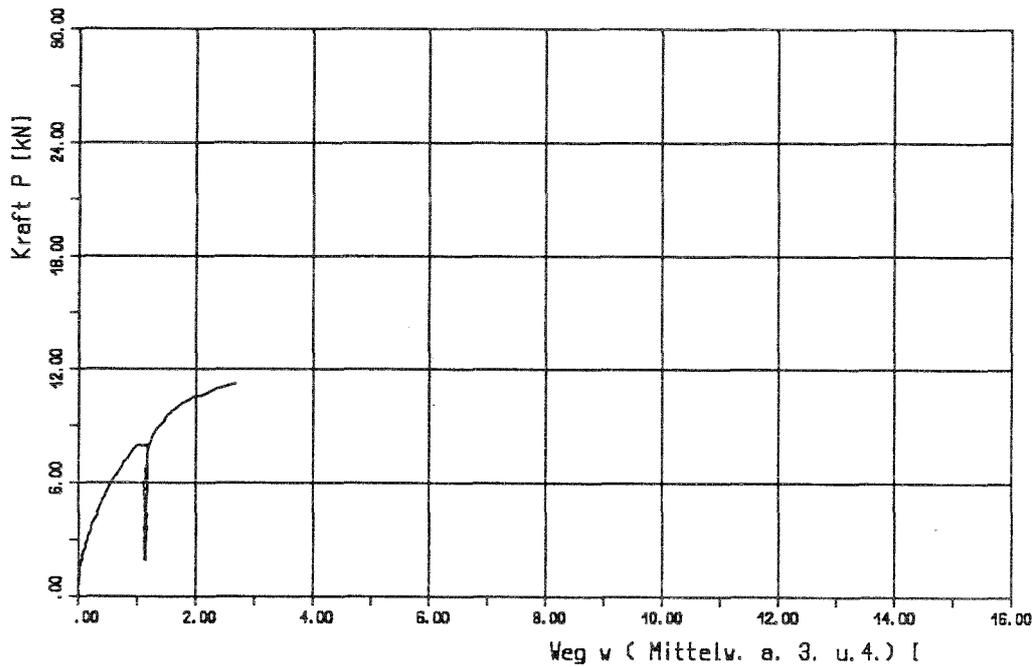


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV1,2

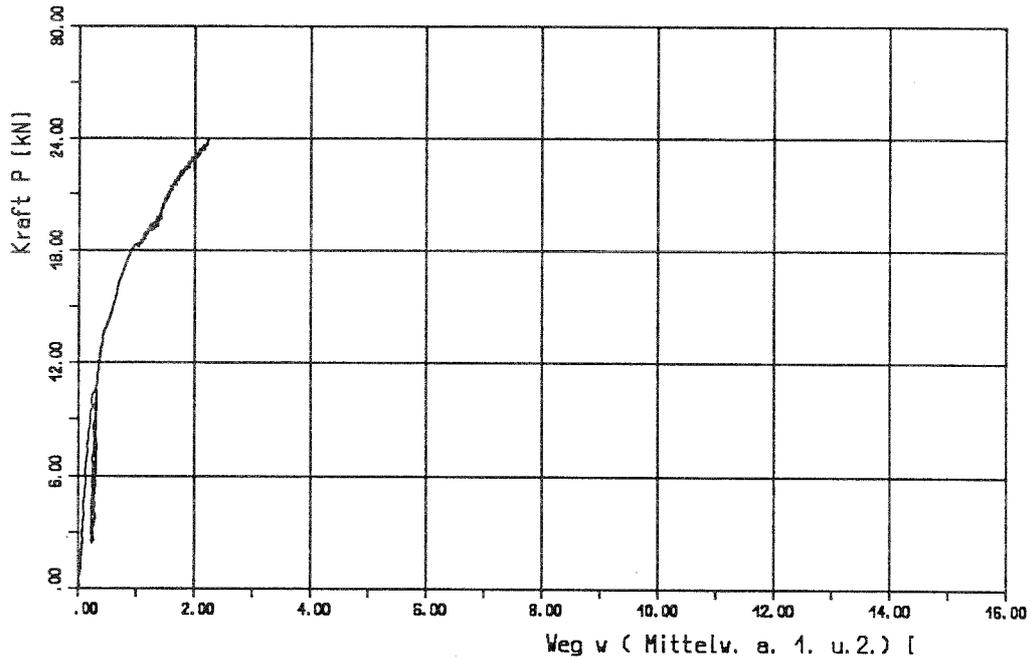


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV1,2

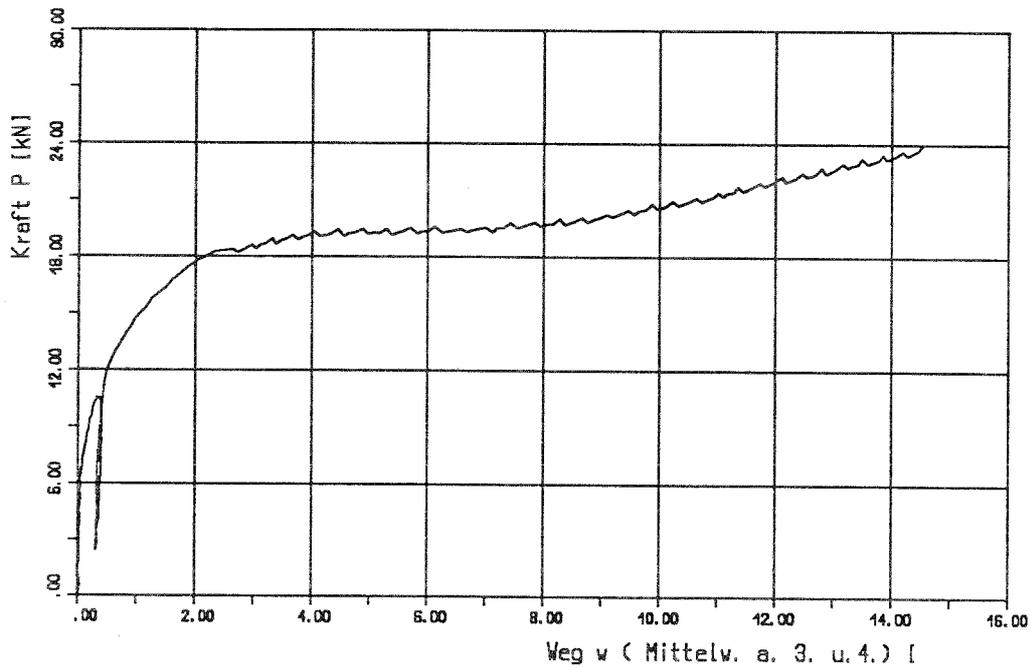


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV1, 3

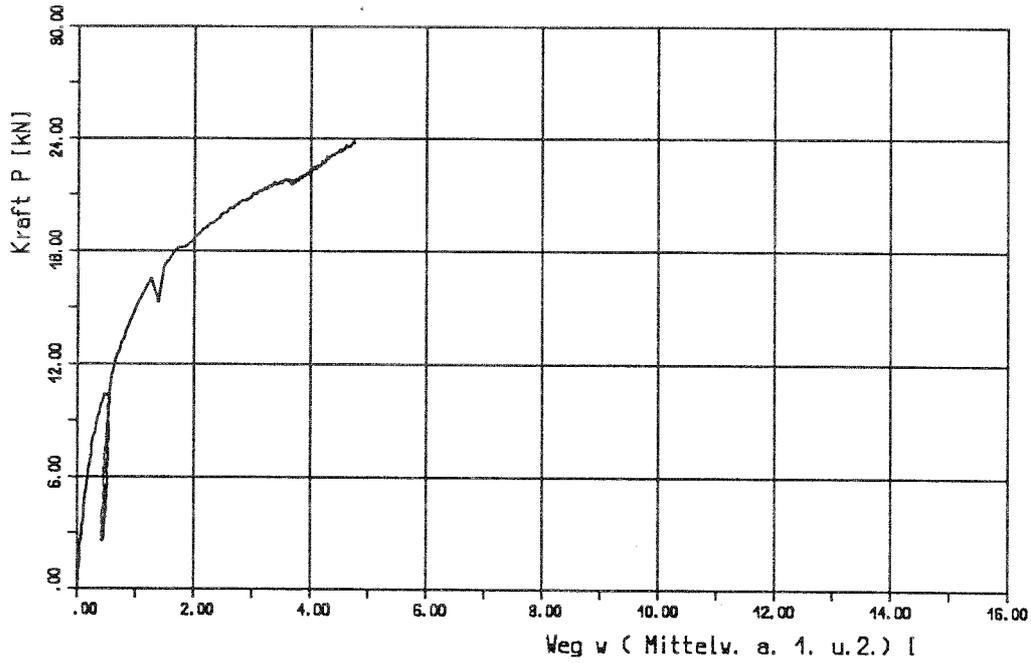


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV1, 3

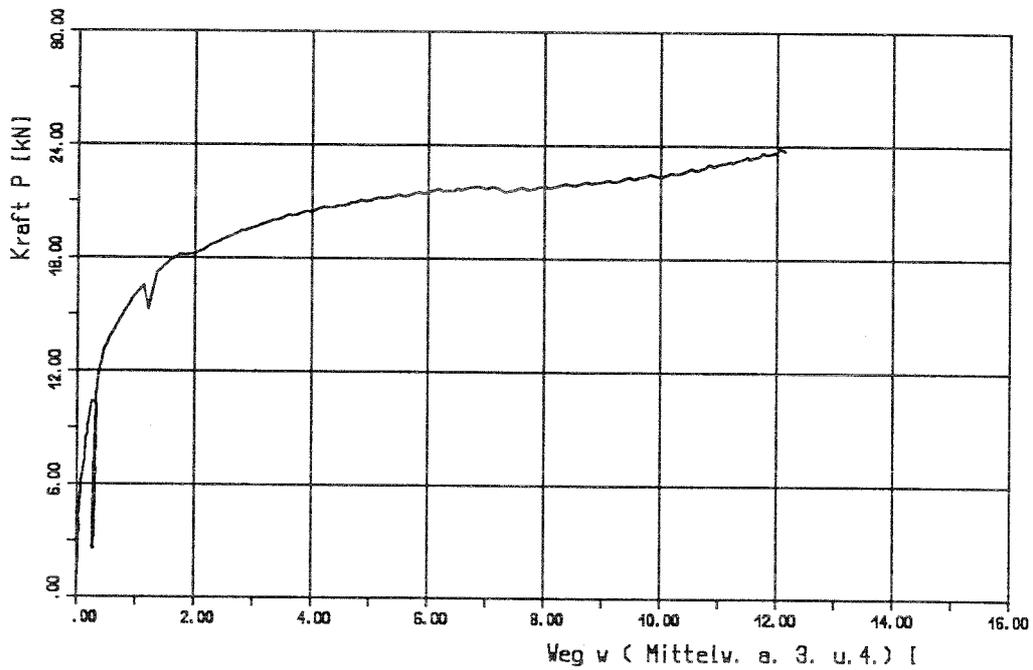


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV1, 4

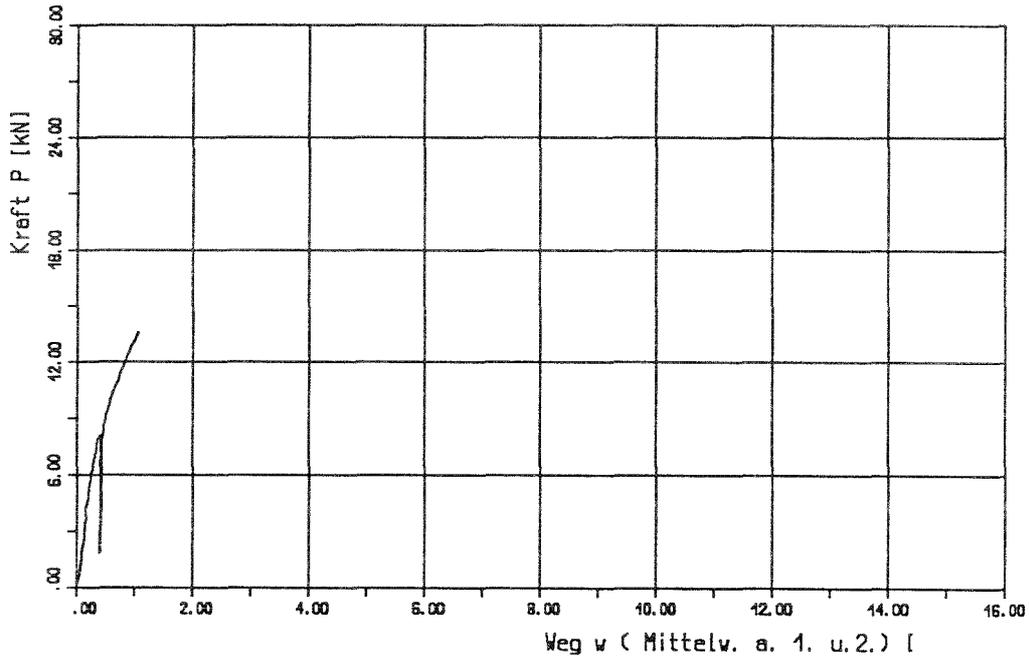


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XIV1, 4

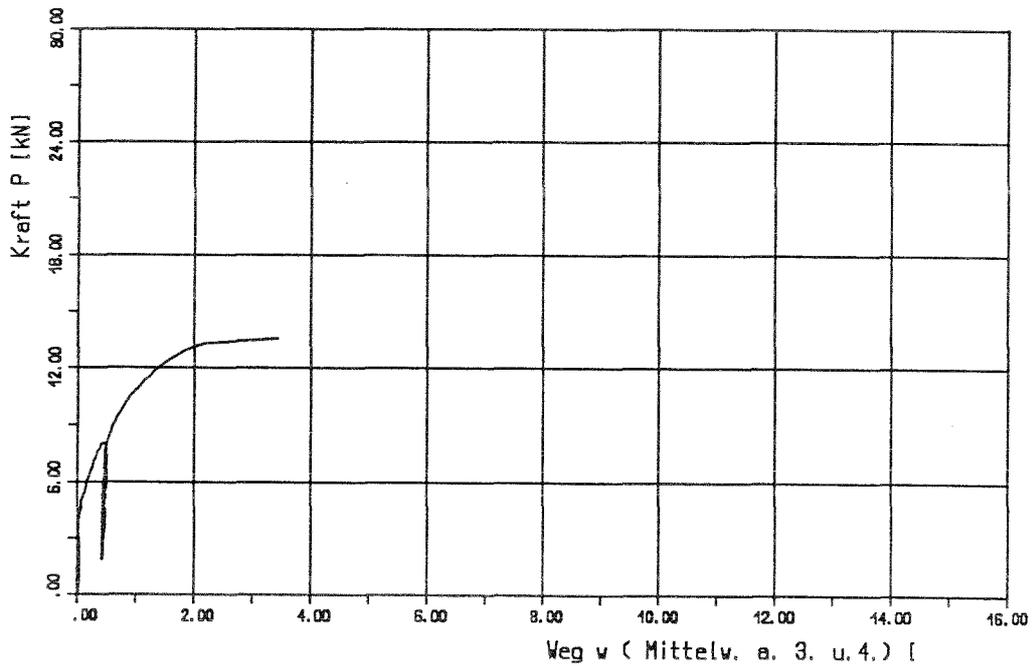


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV1,5

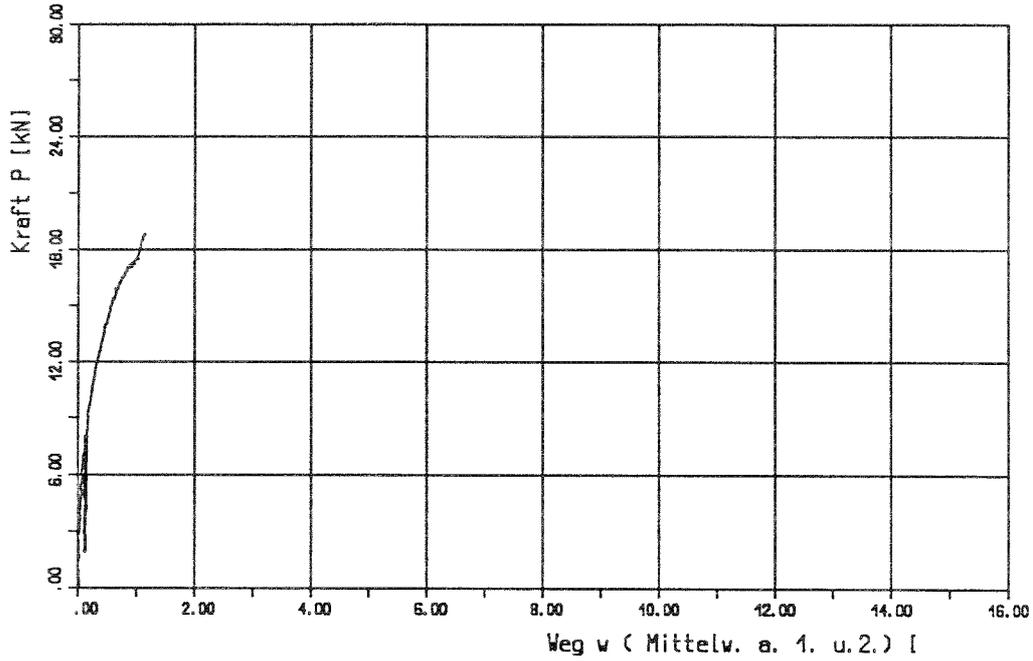


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: XIV1,5

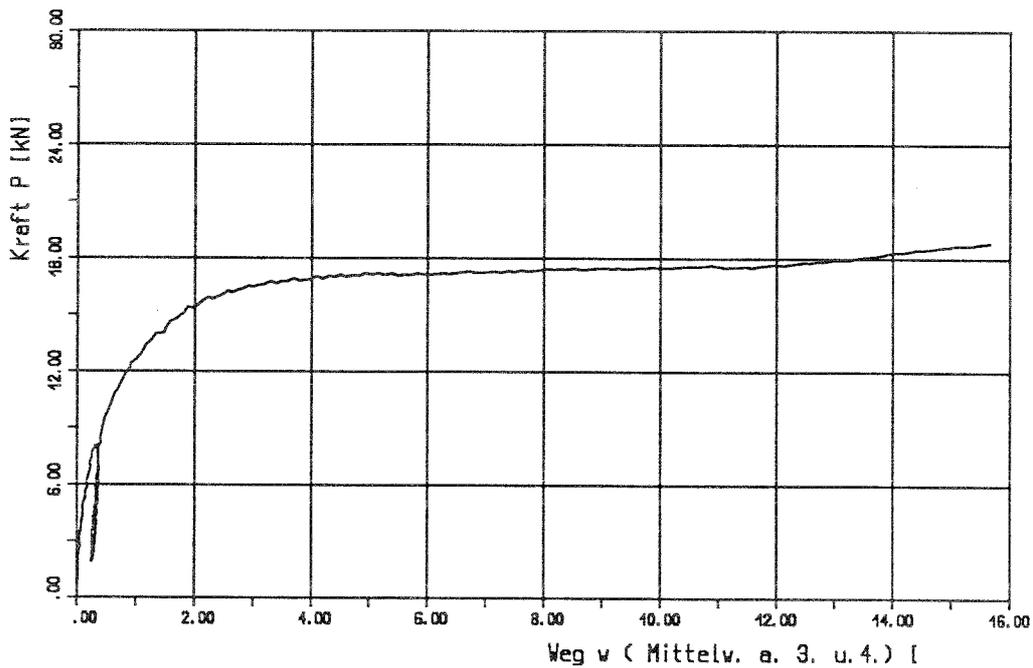


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1, 1

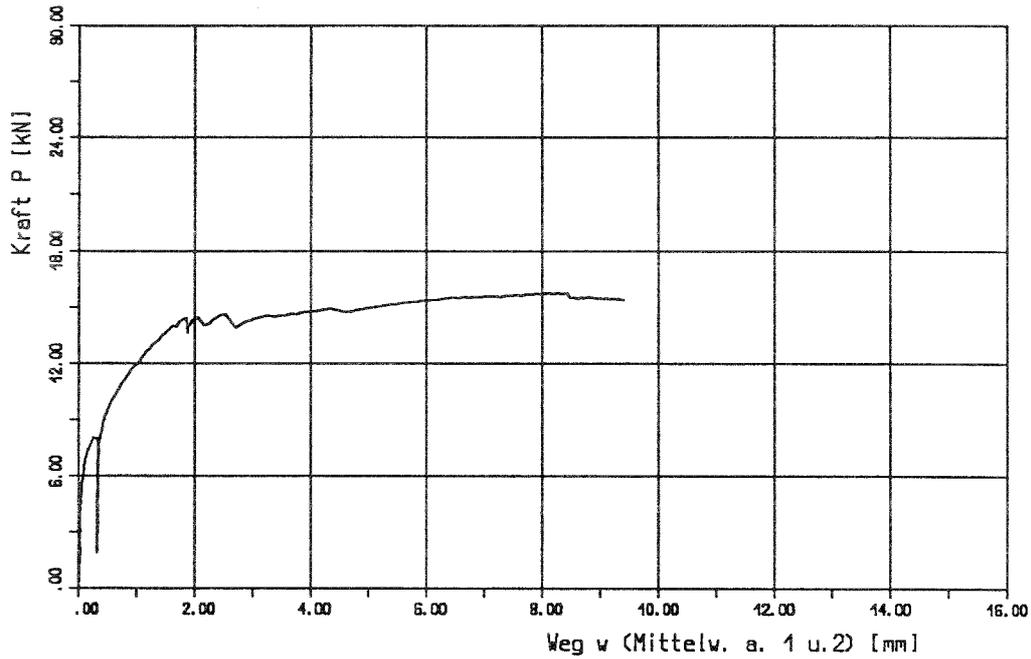


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1, 1

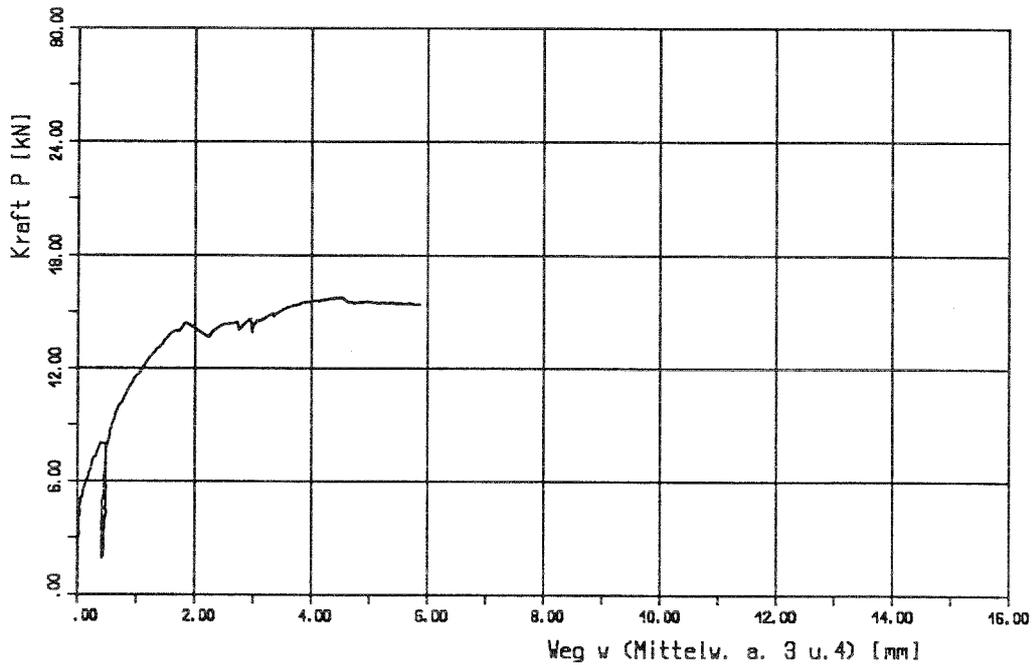


Bild 2: veretzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1, 2

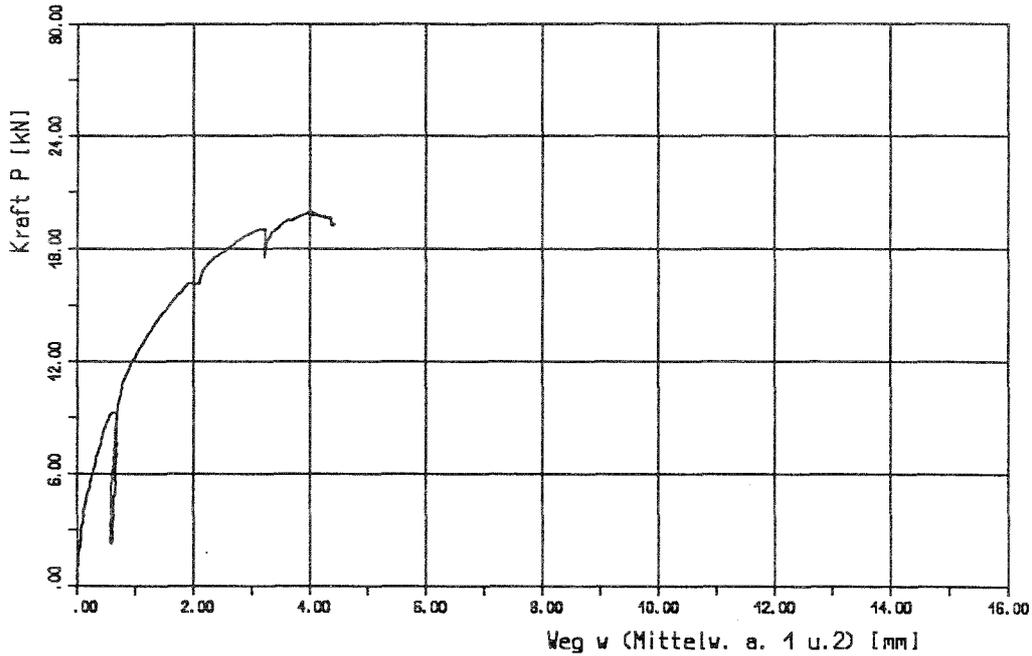


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1, 2

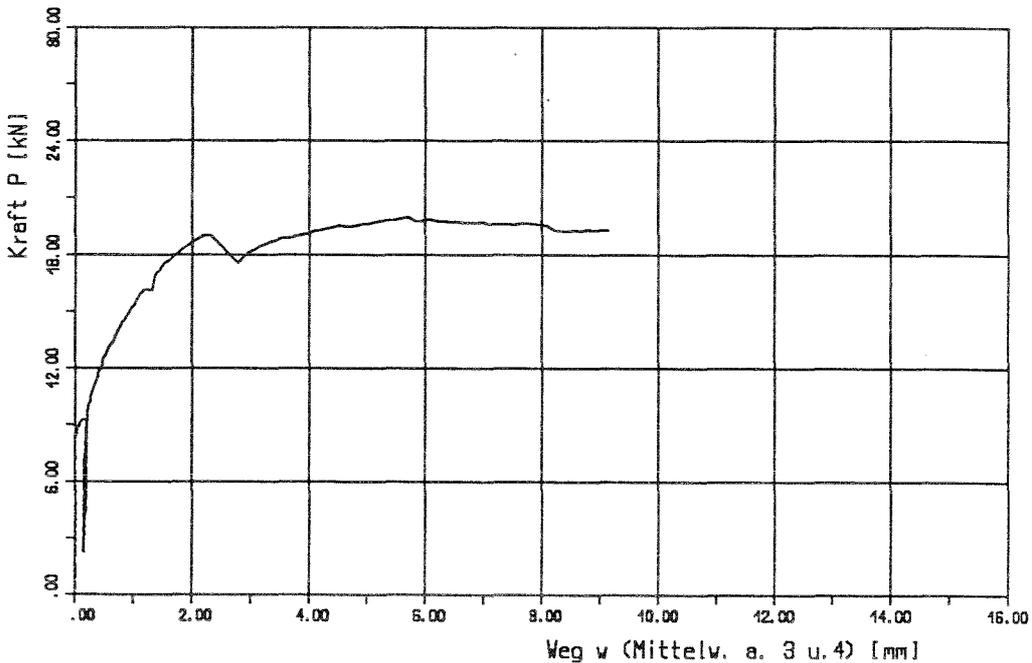


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1,3

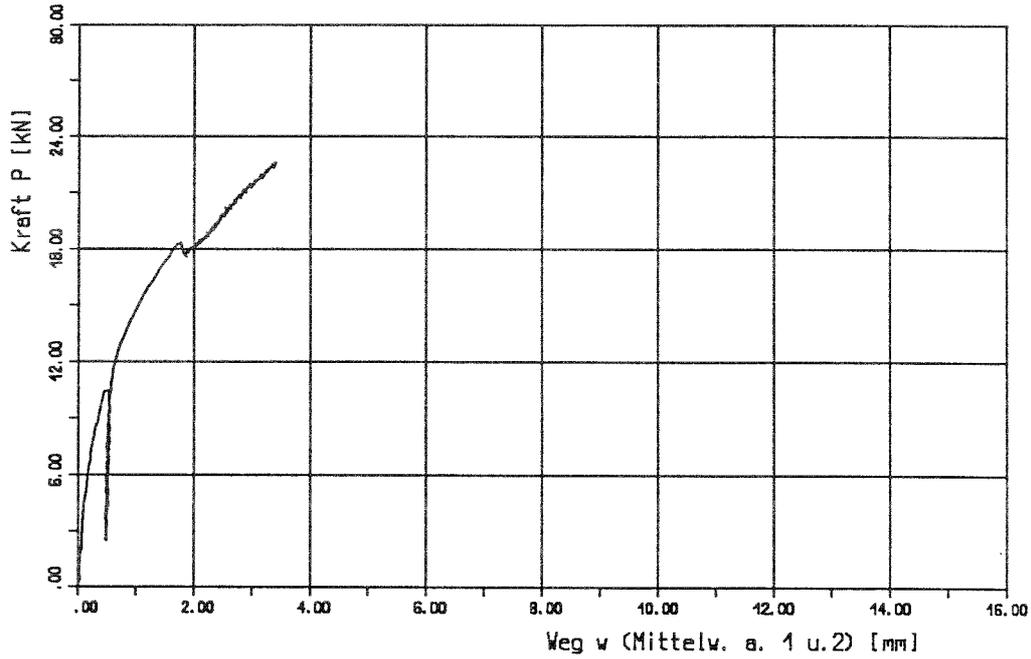


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1,3

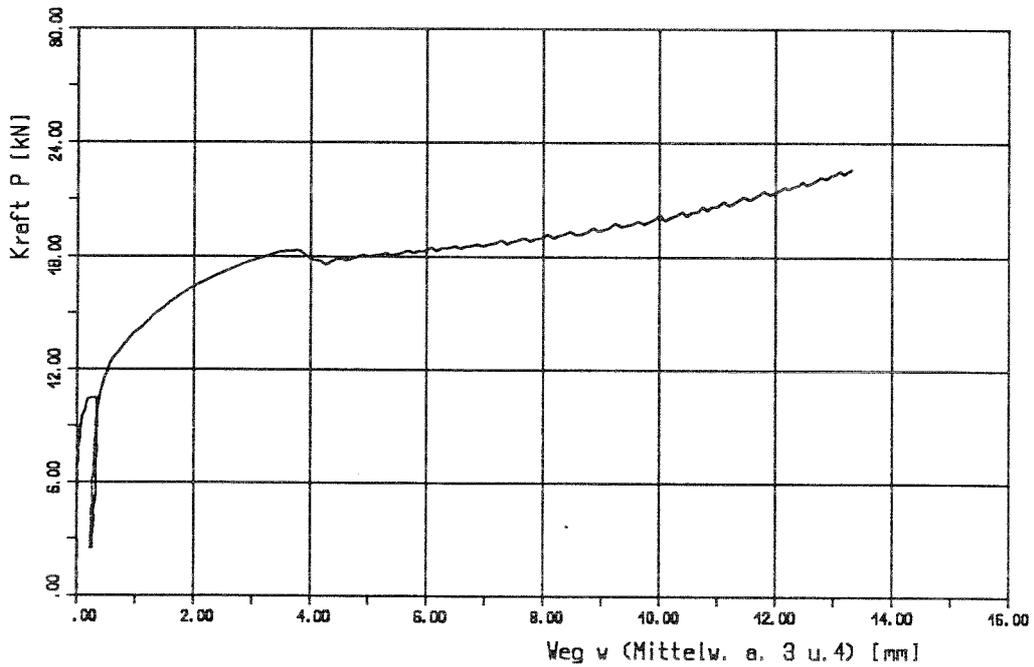


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1, 4

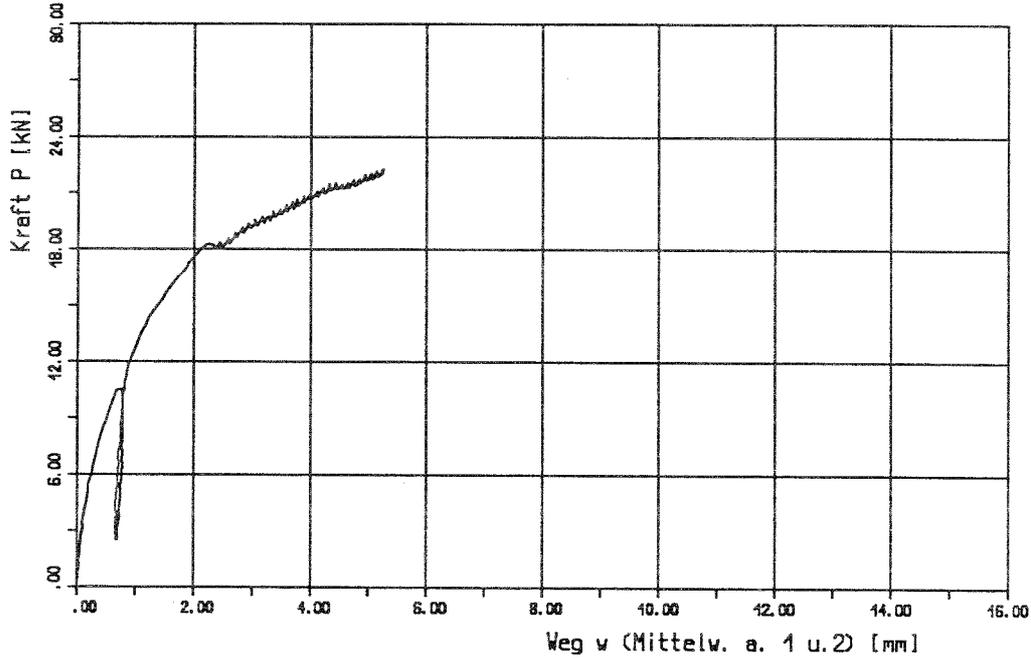


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1, 4

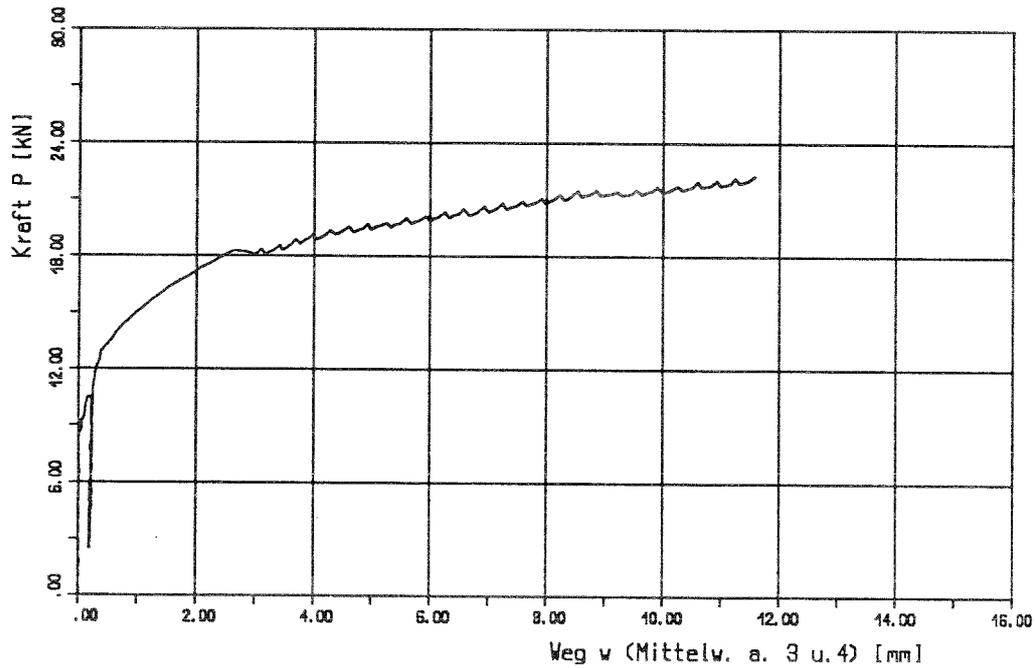


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1,5

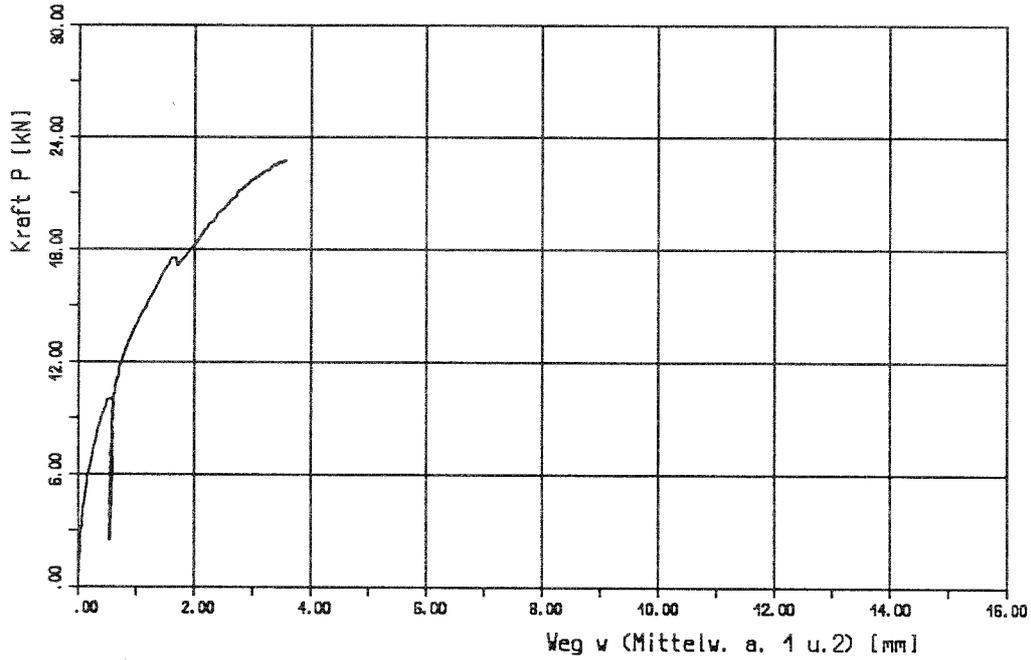


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1,5

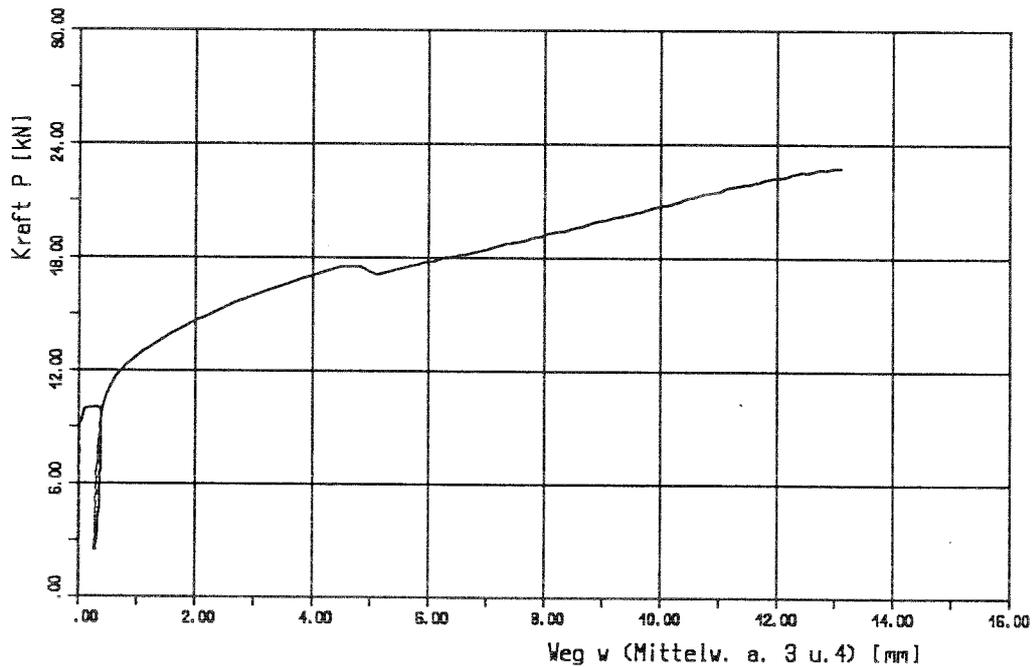


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1,6

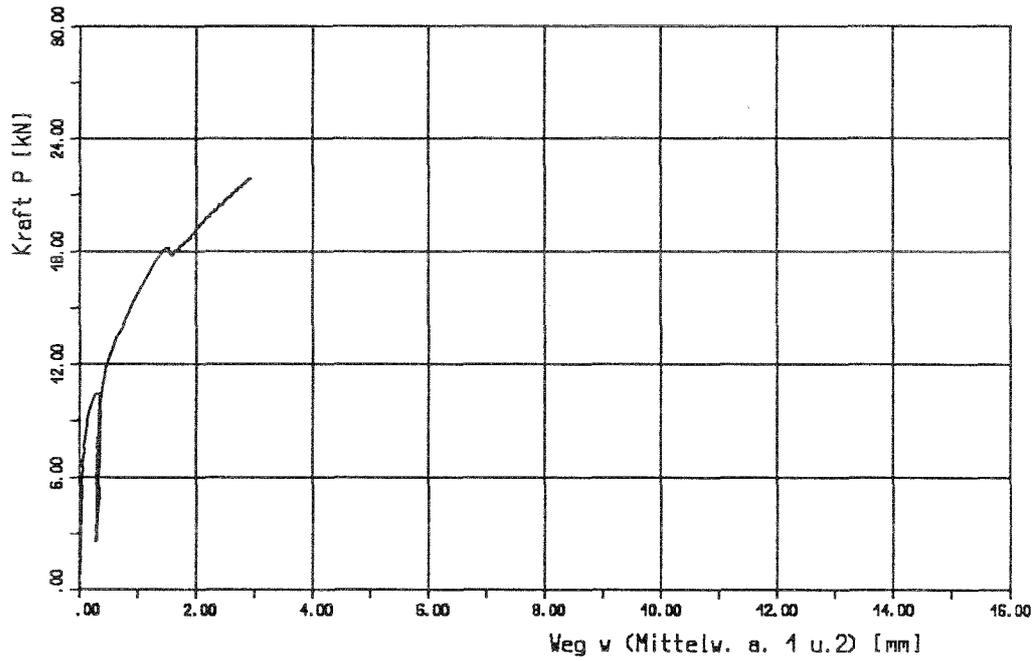


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: XV1,6

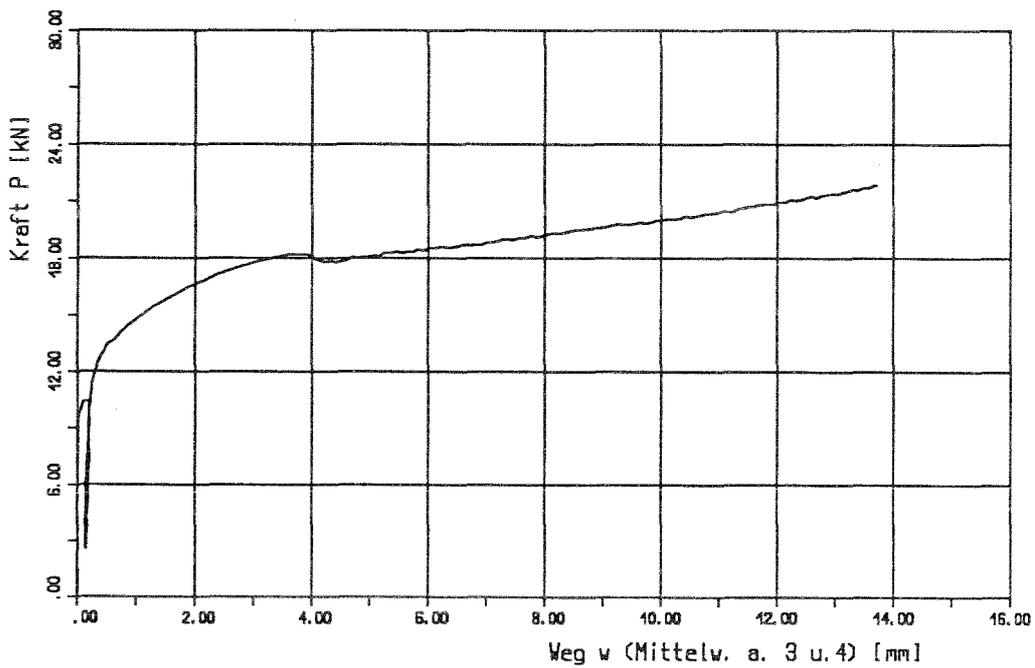


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,1

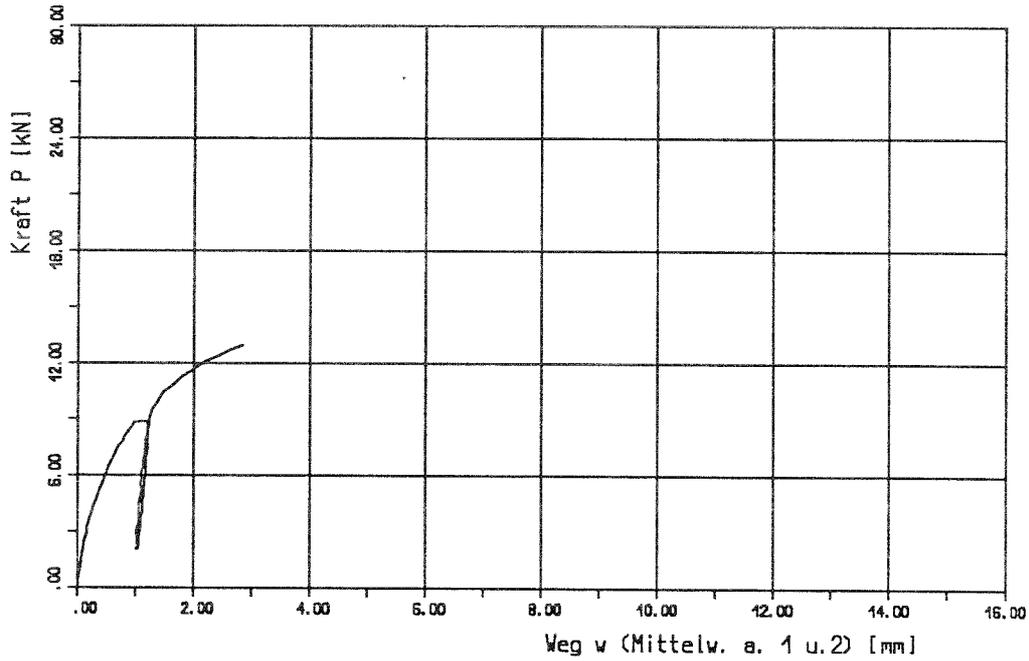


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,1

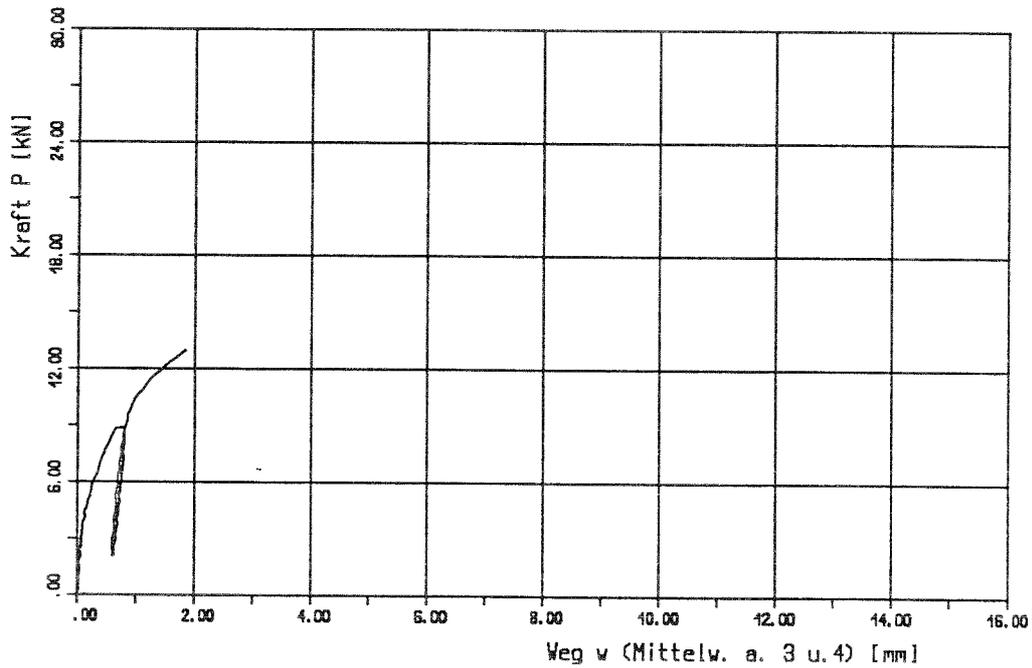


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,2

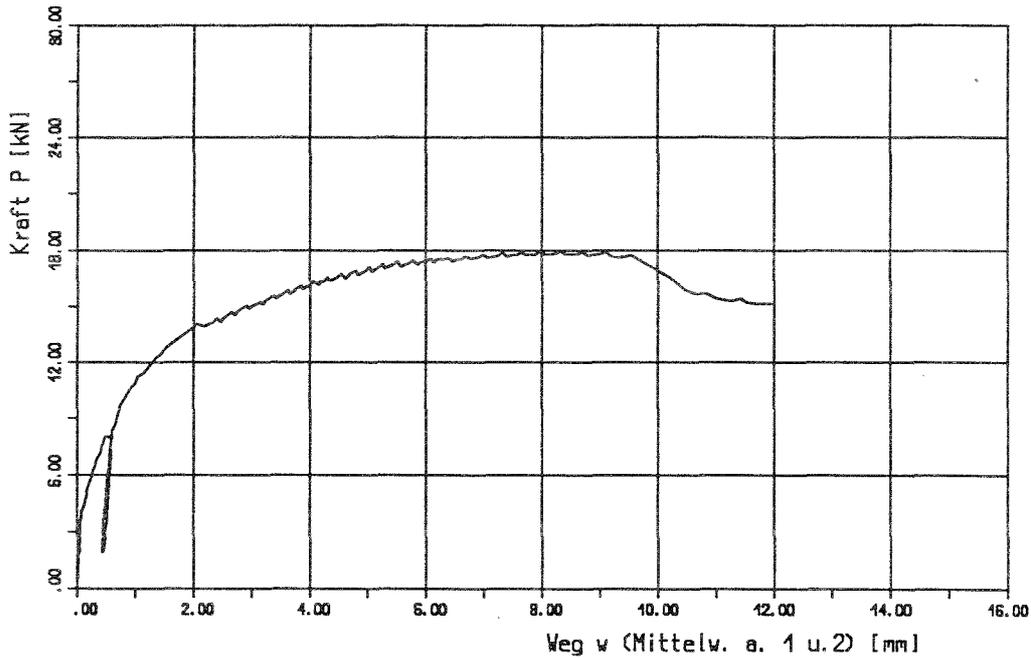


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,2

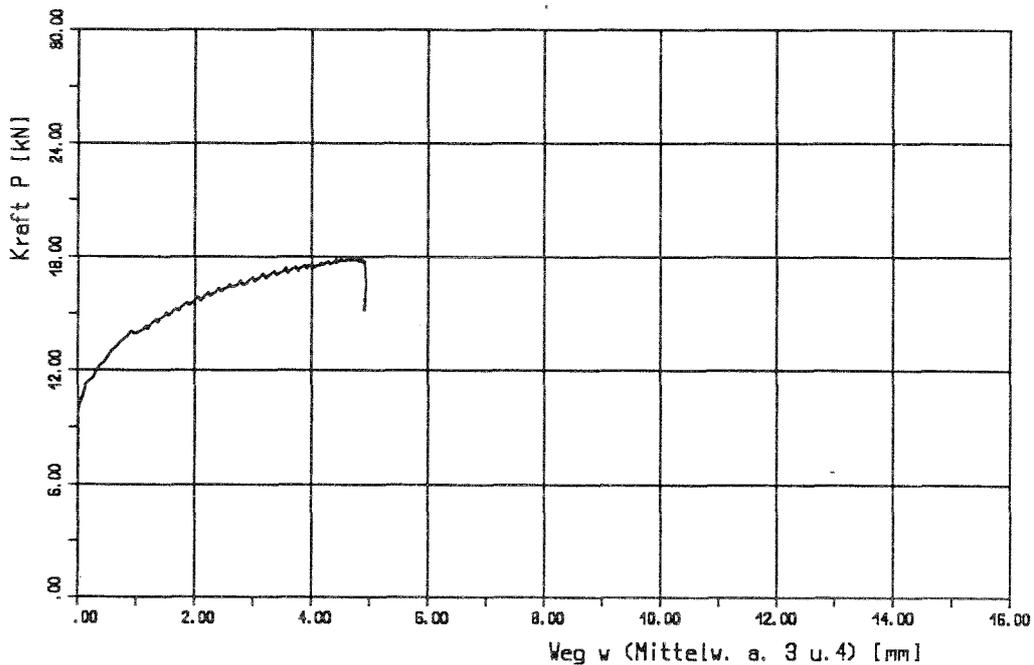


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,3

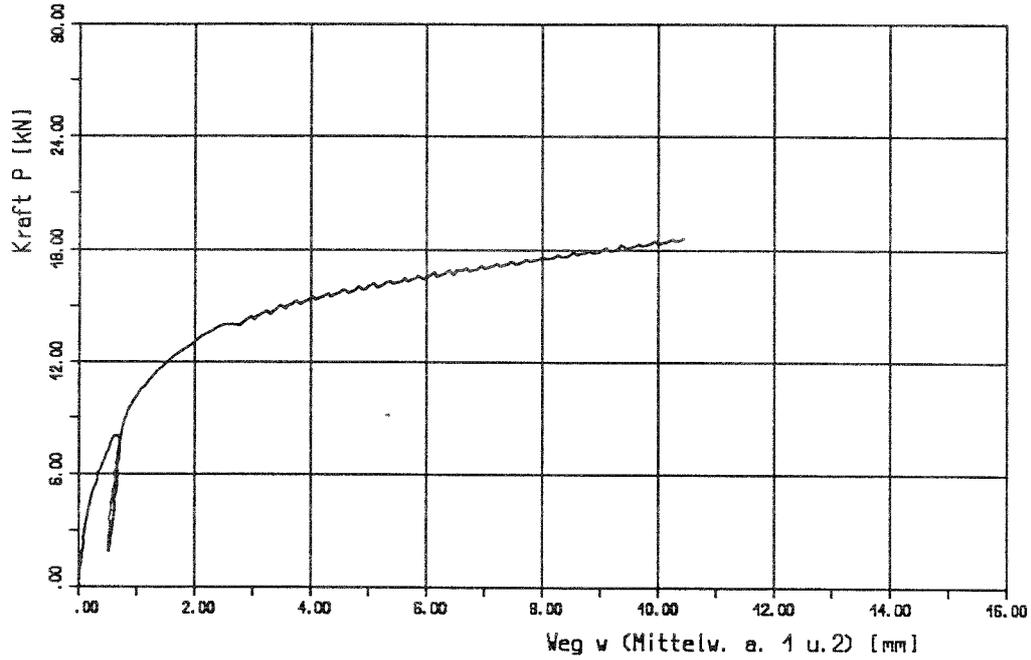


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,3

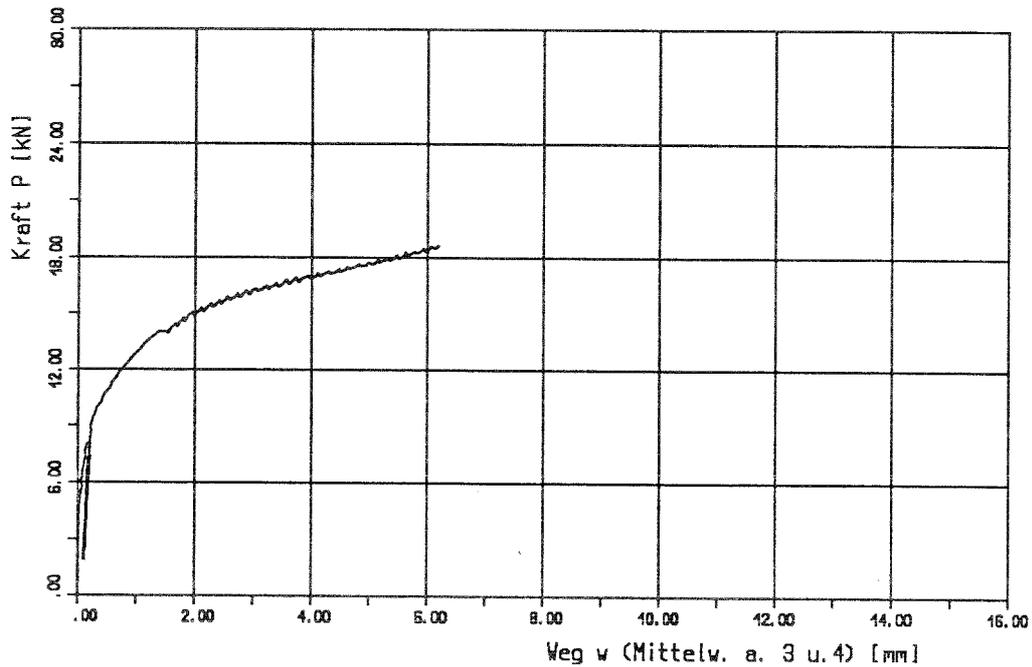


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z1, 4

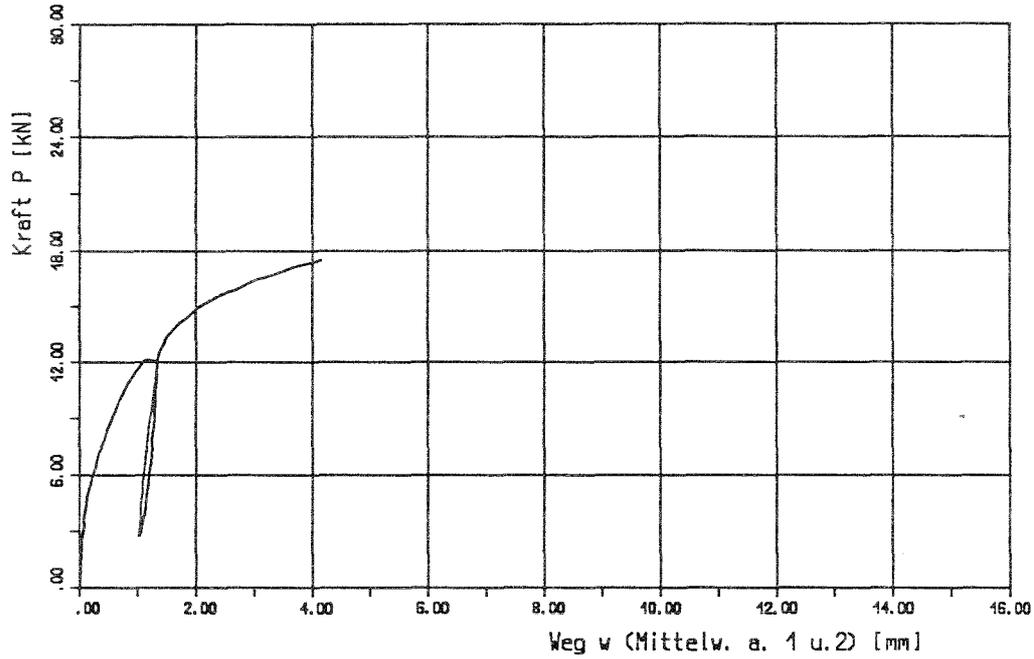


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z1, 4

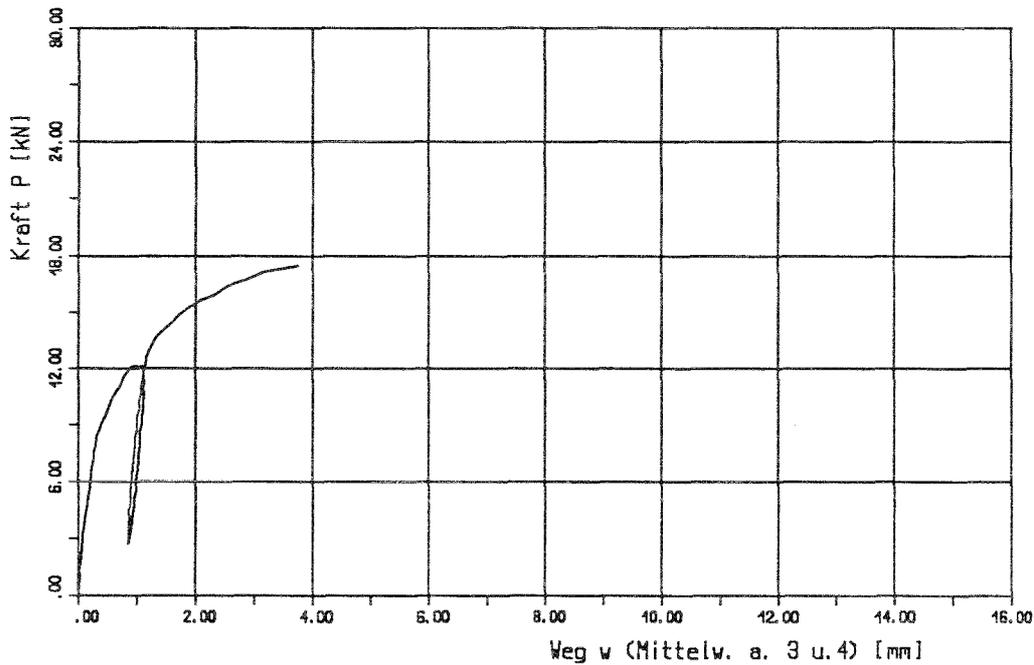


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,5

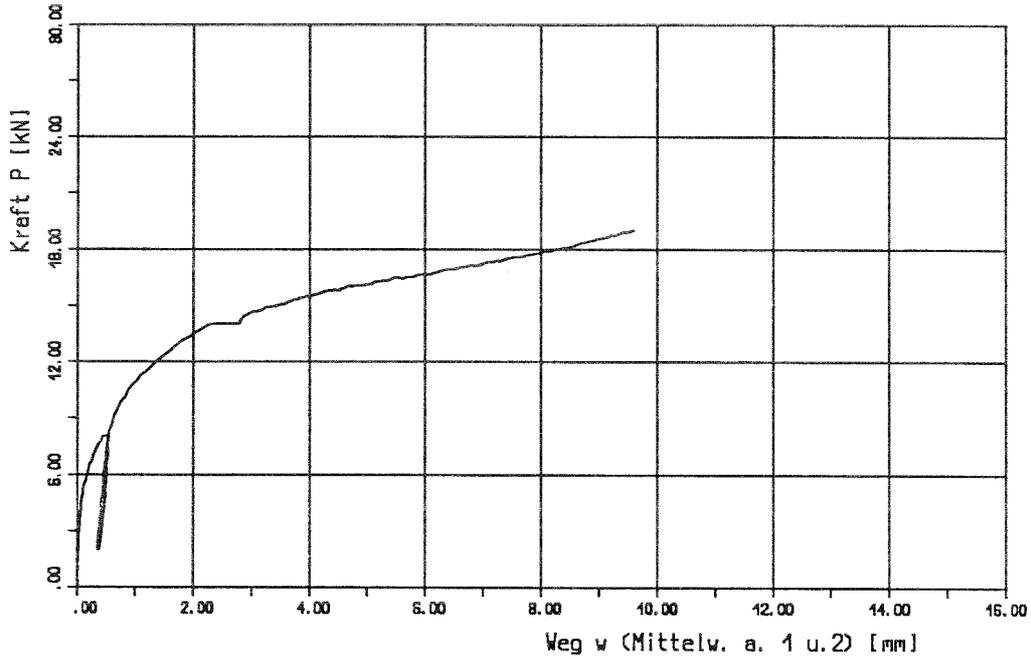


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z1,5

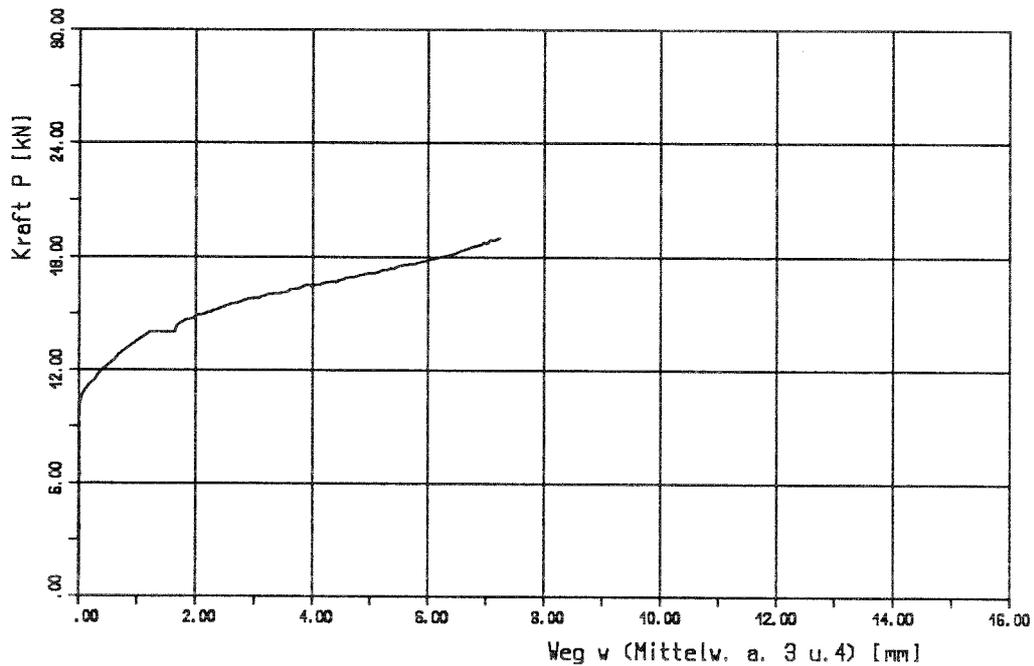
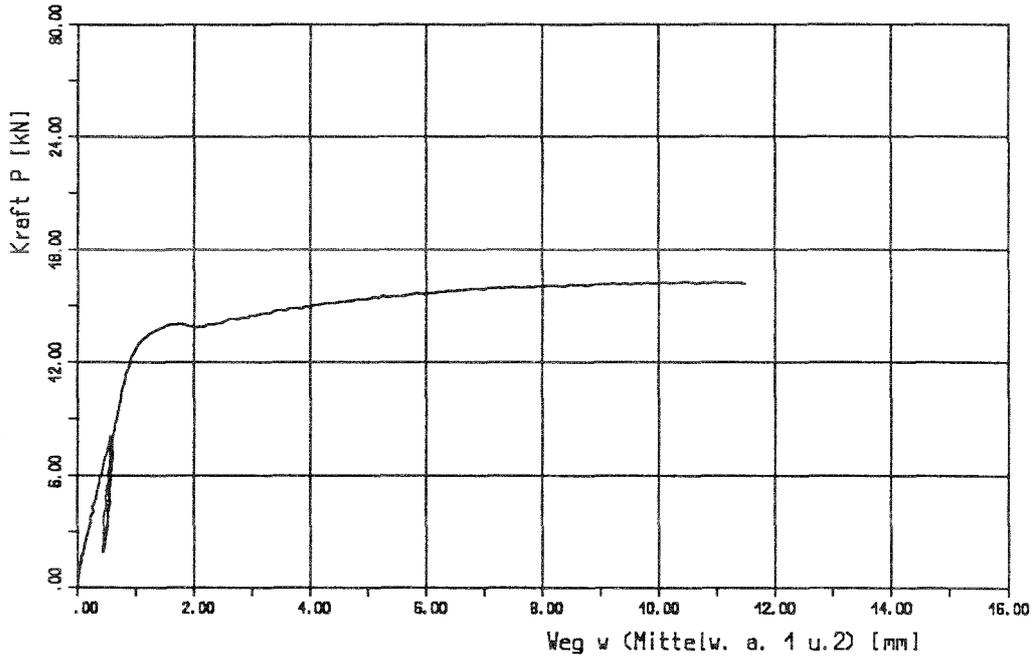


Bild2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z16



unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z16

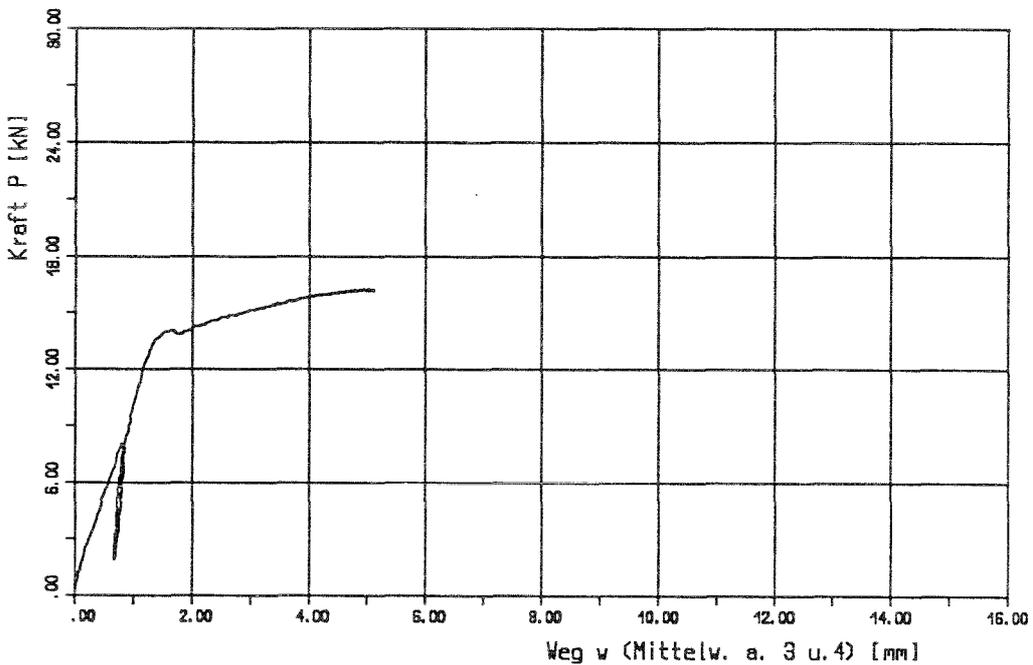


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2,1

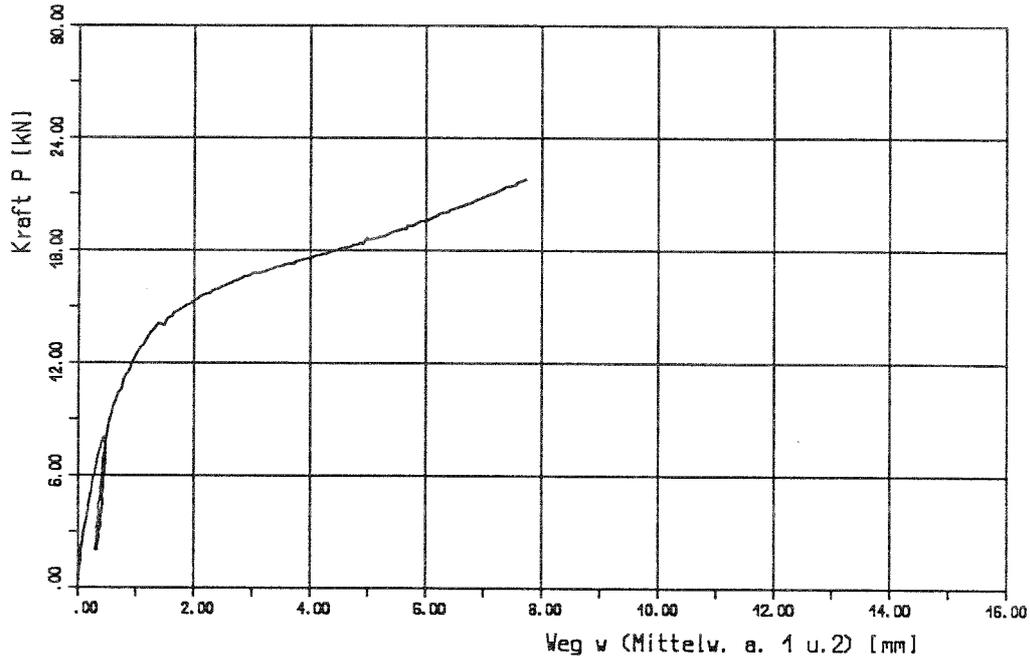


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2,1

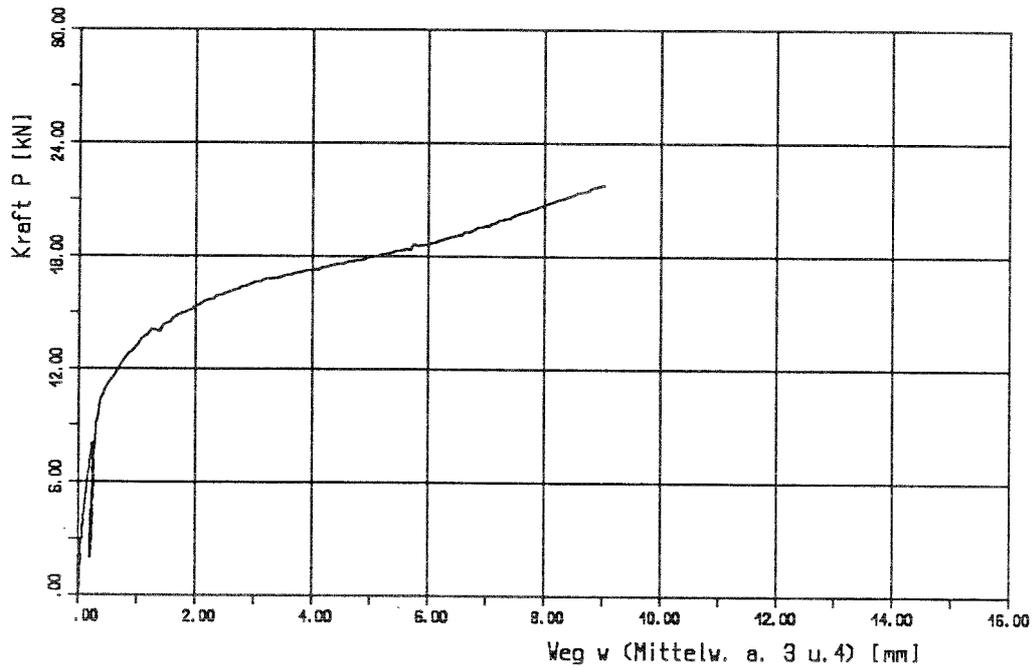


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z2,2

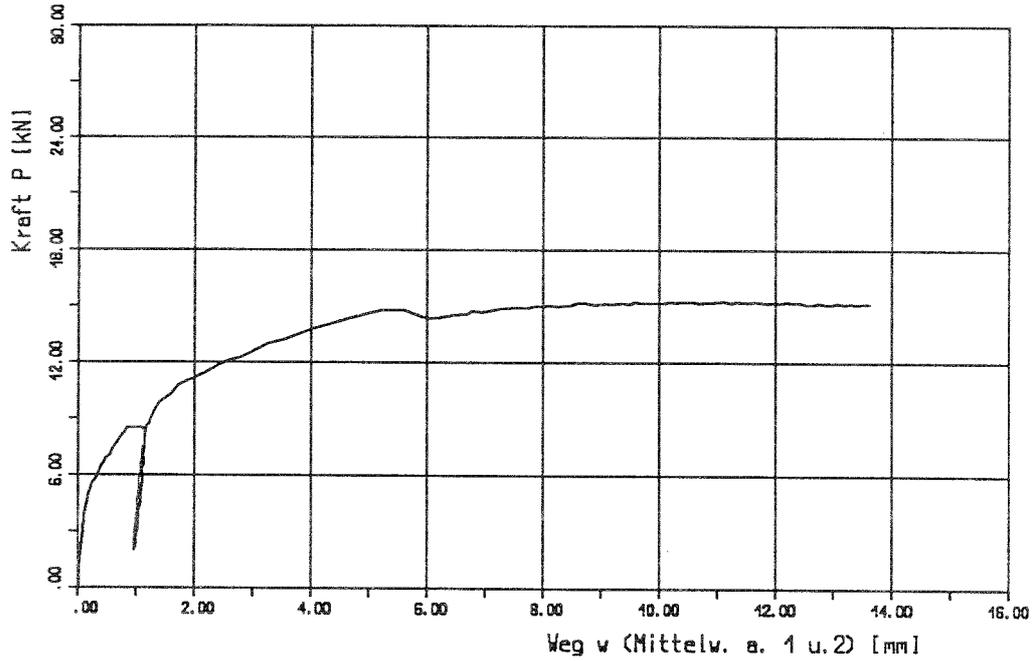


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z2,2

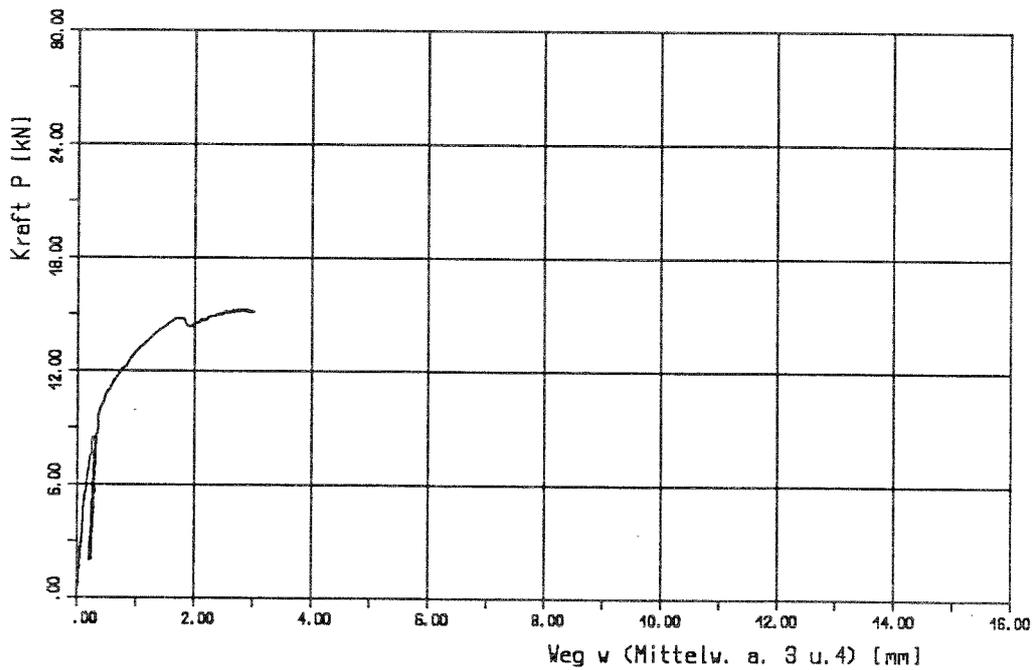


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2,3

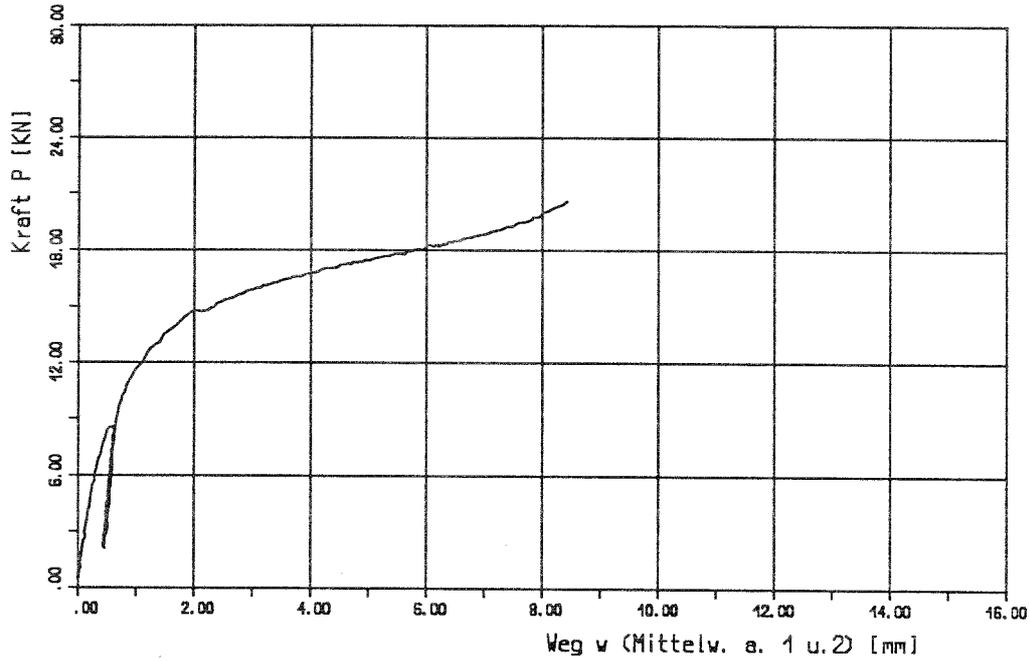


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2,3

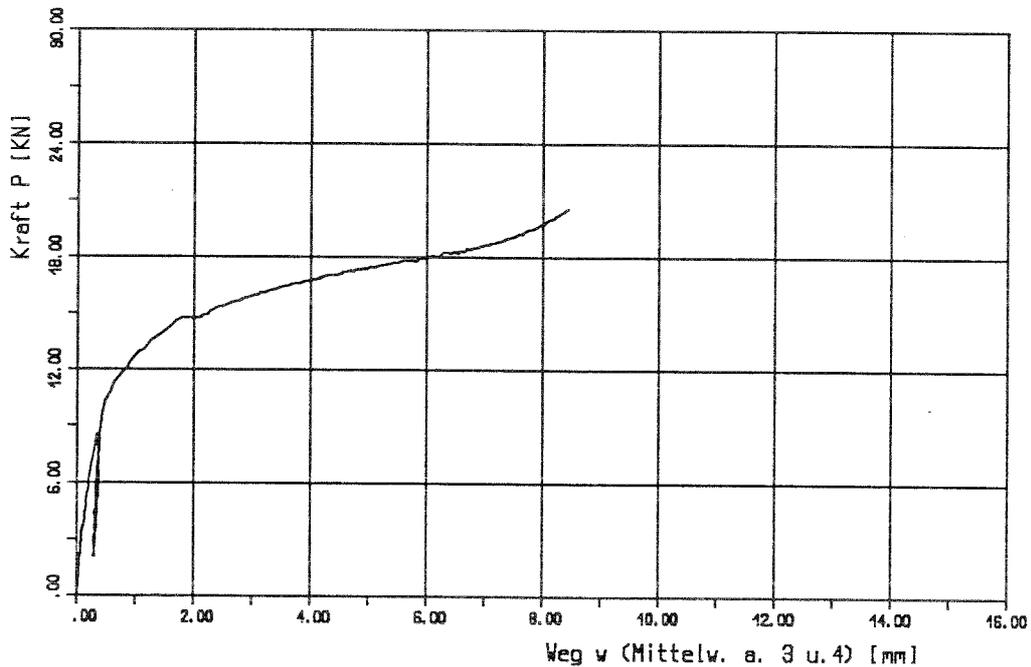


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2, 4

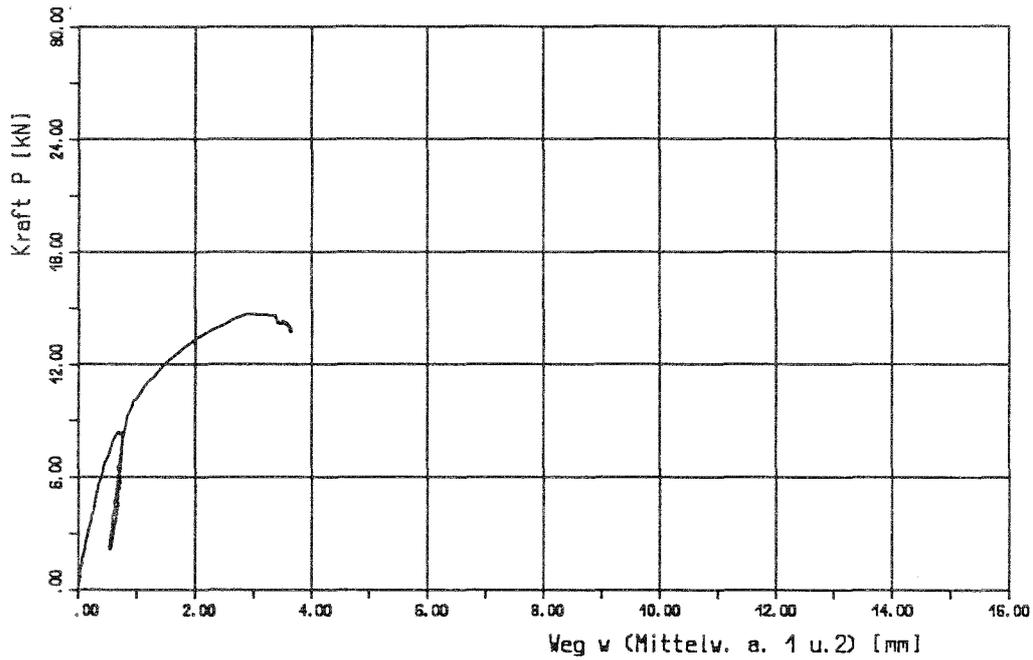


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2, 4

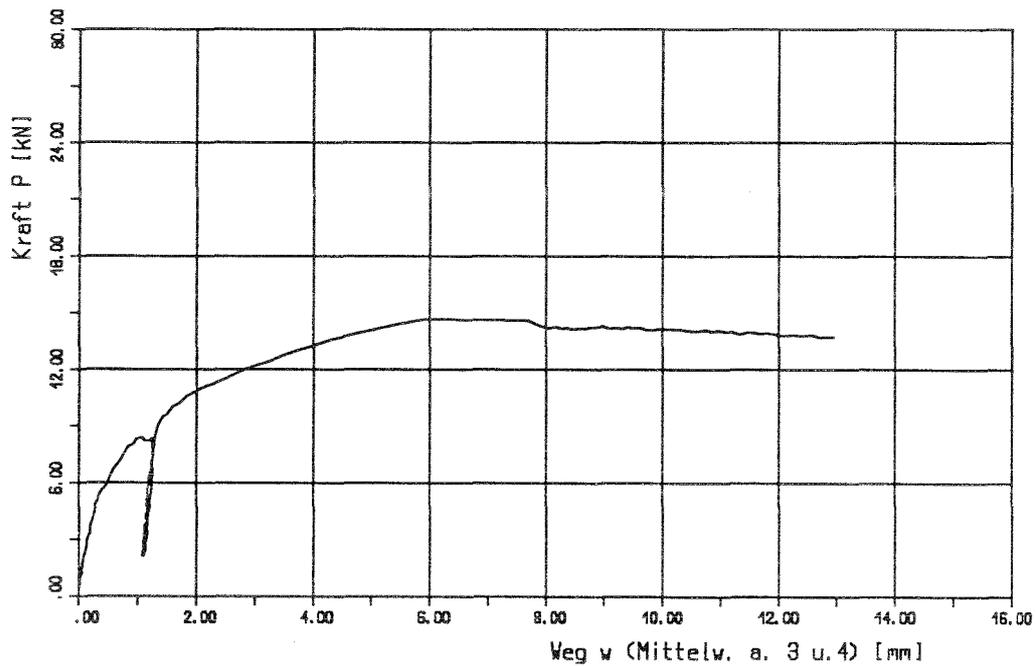


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2,5

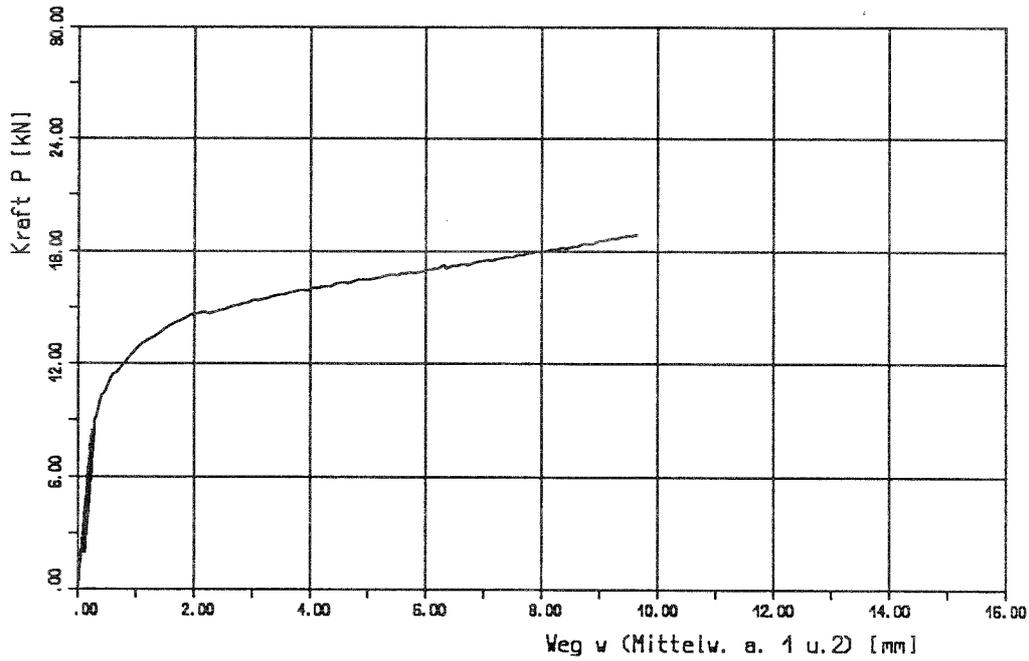


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z2,5

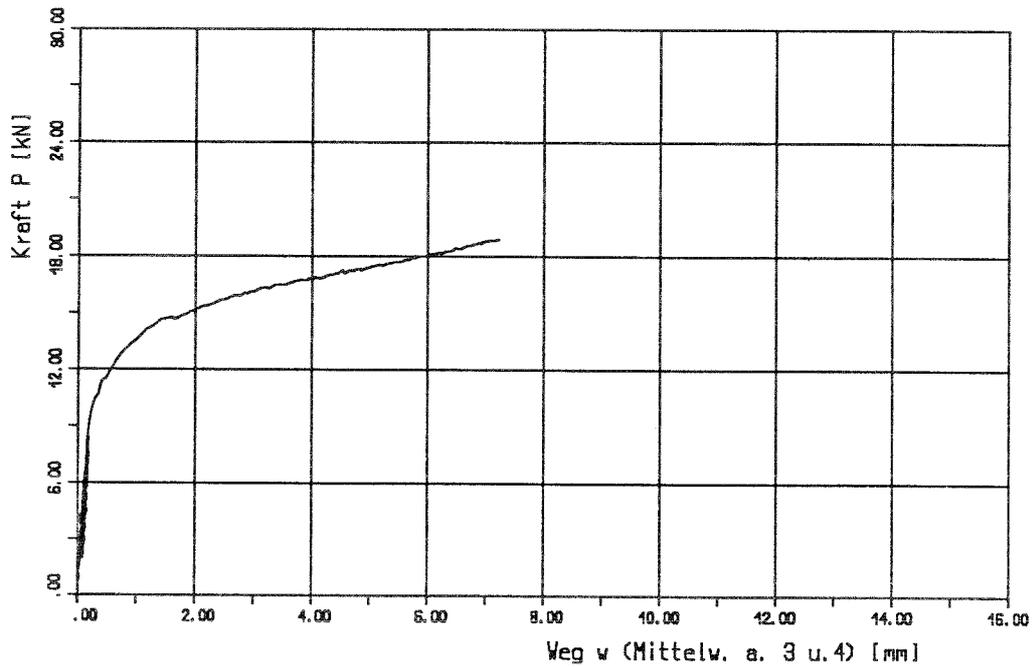


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z31

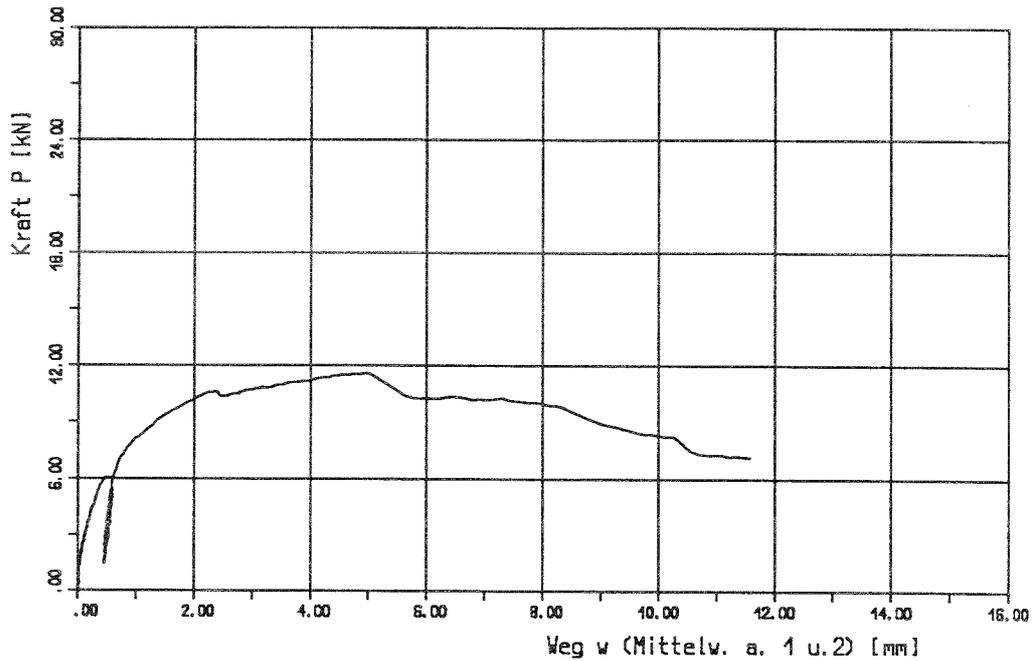


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z31

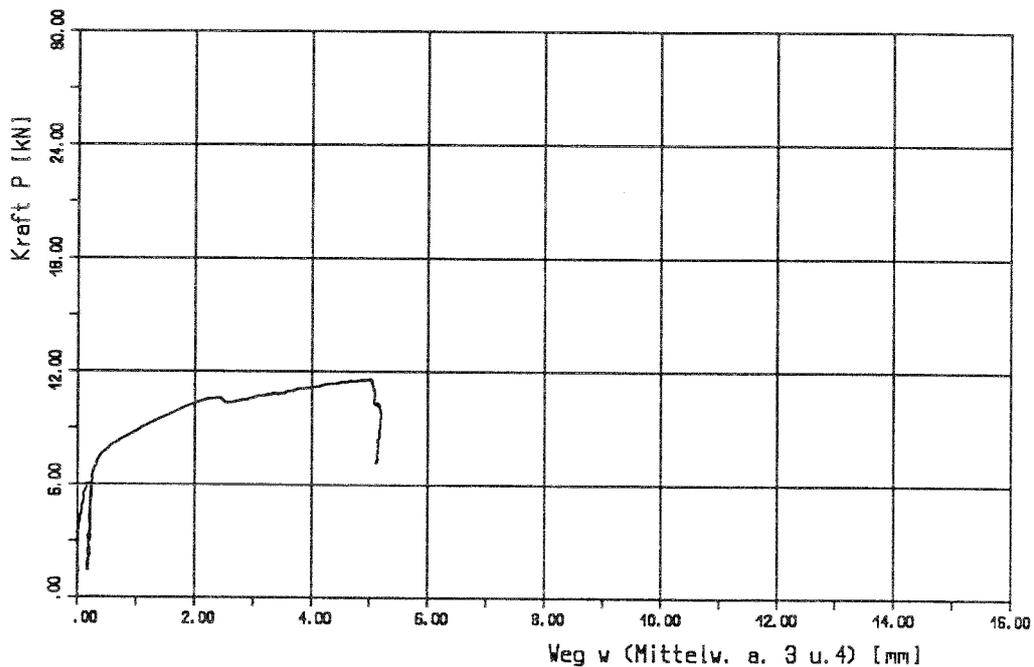
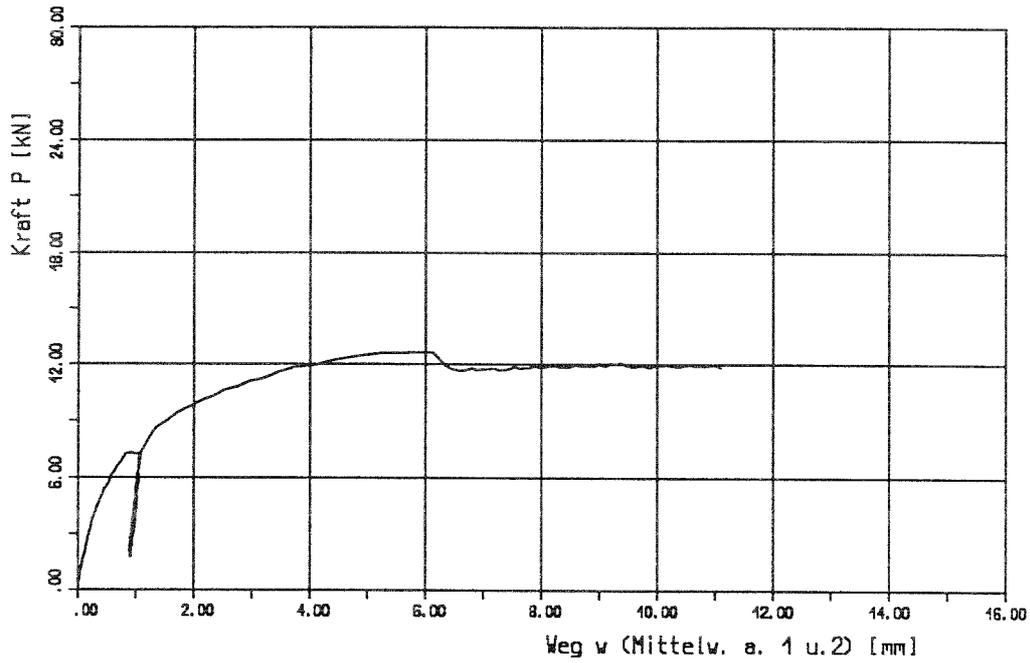


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z32



unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z32

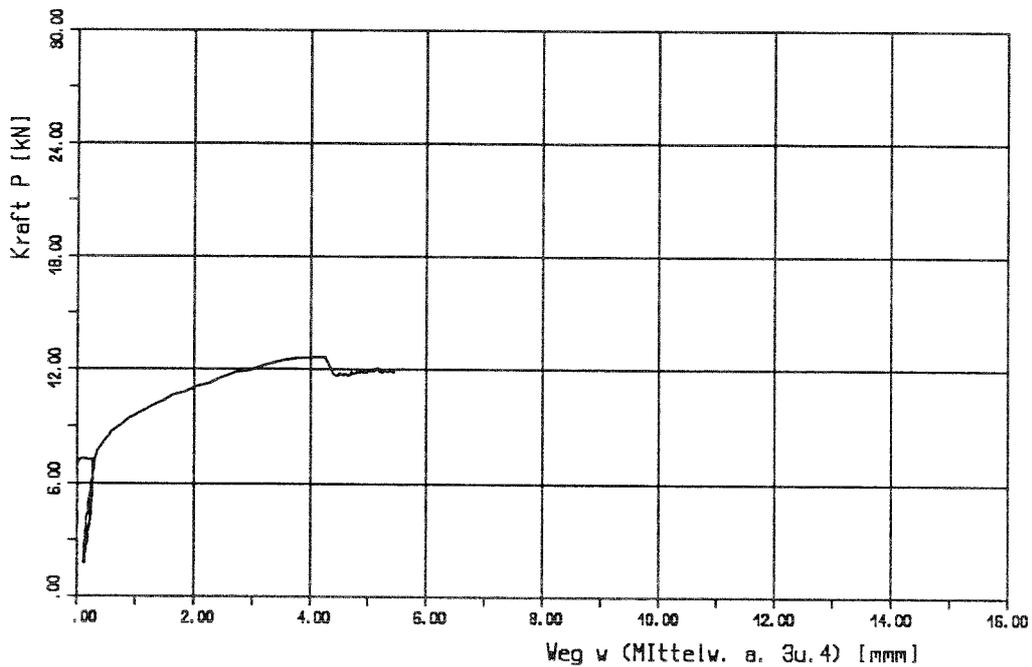


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z33

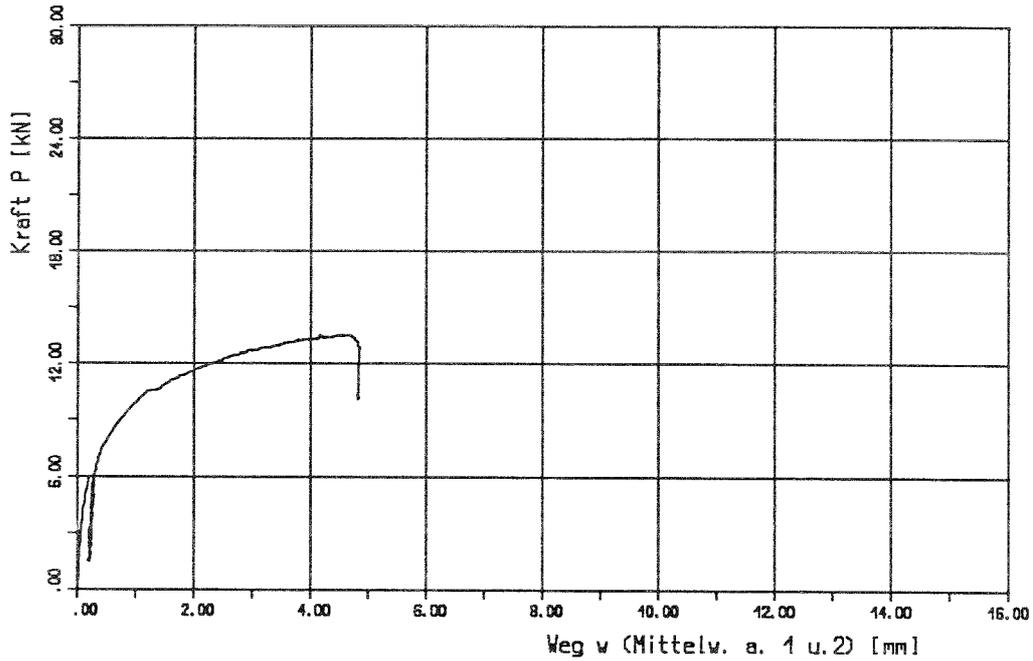


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z33

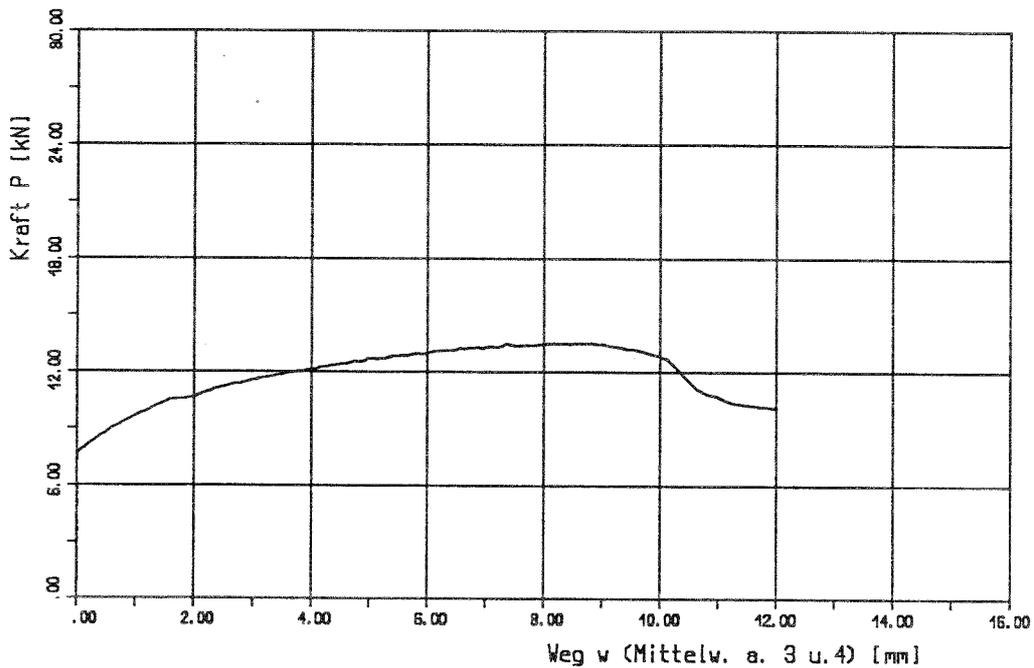


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z34

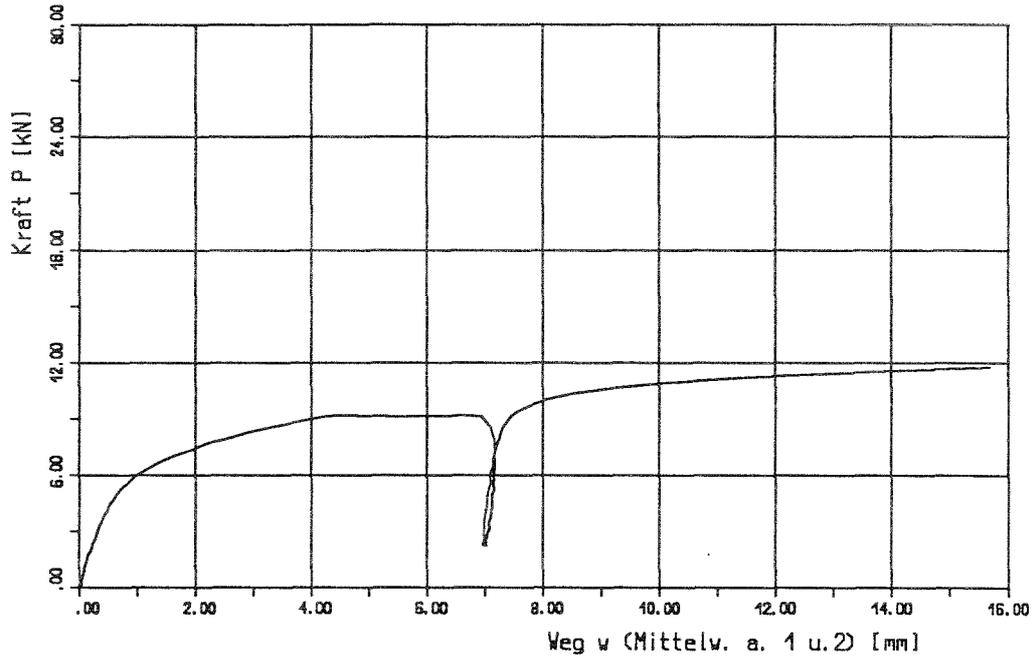


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z34

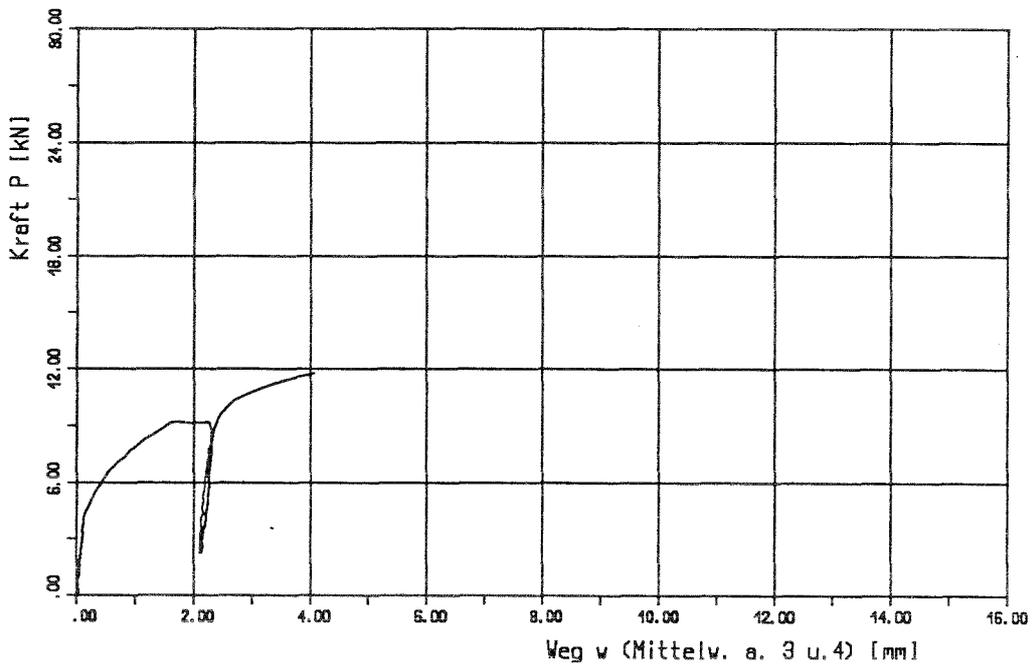


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z35

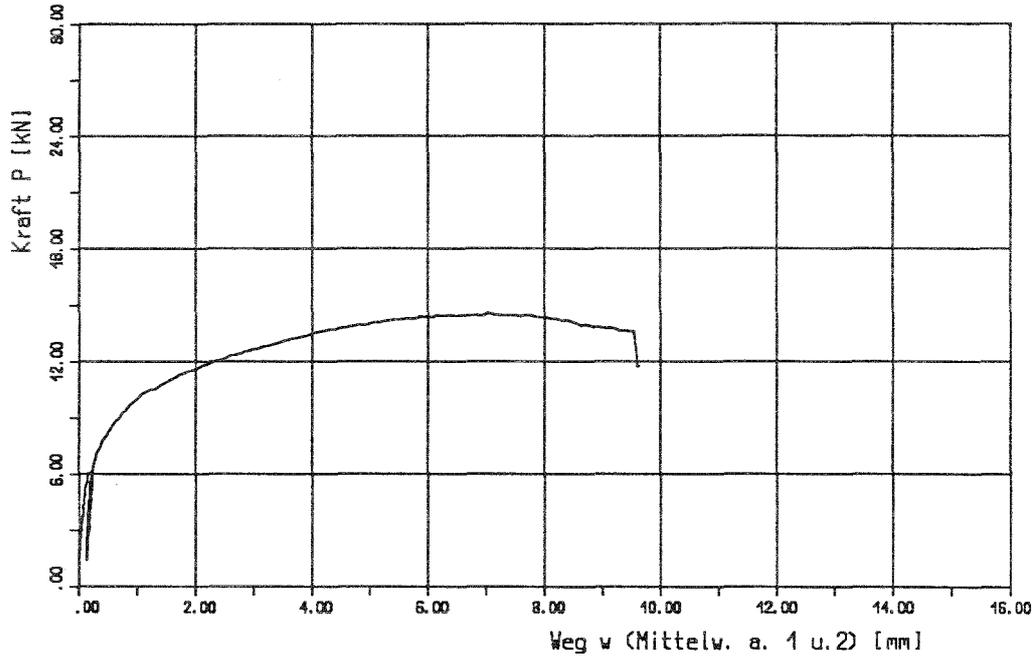


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z35

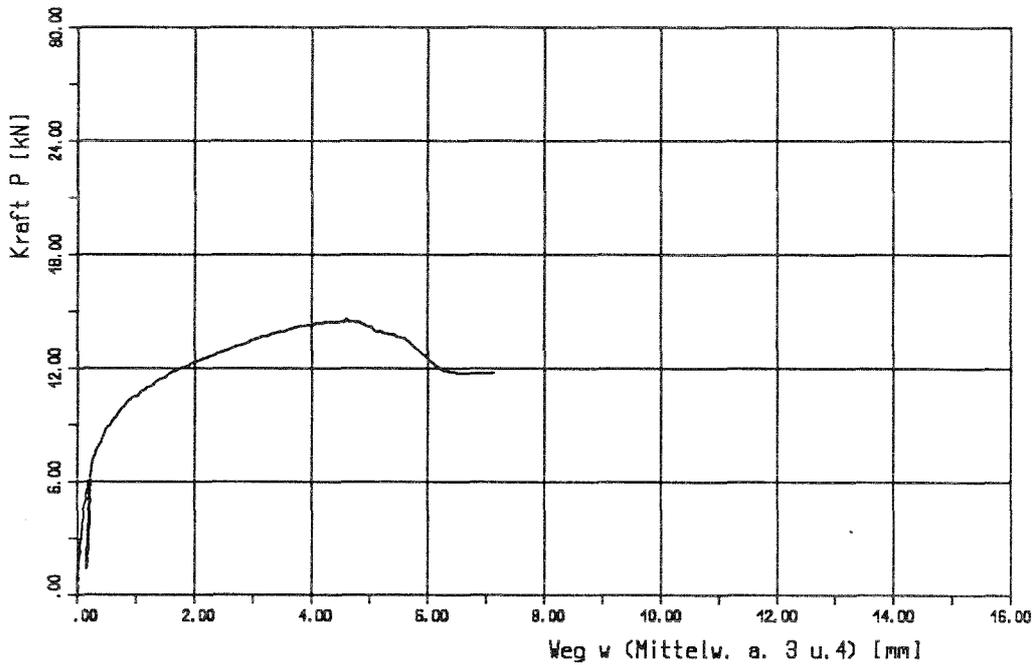


Bild 2: versetzte Nagelung, Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z41

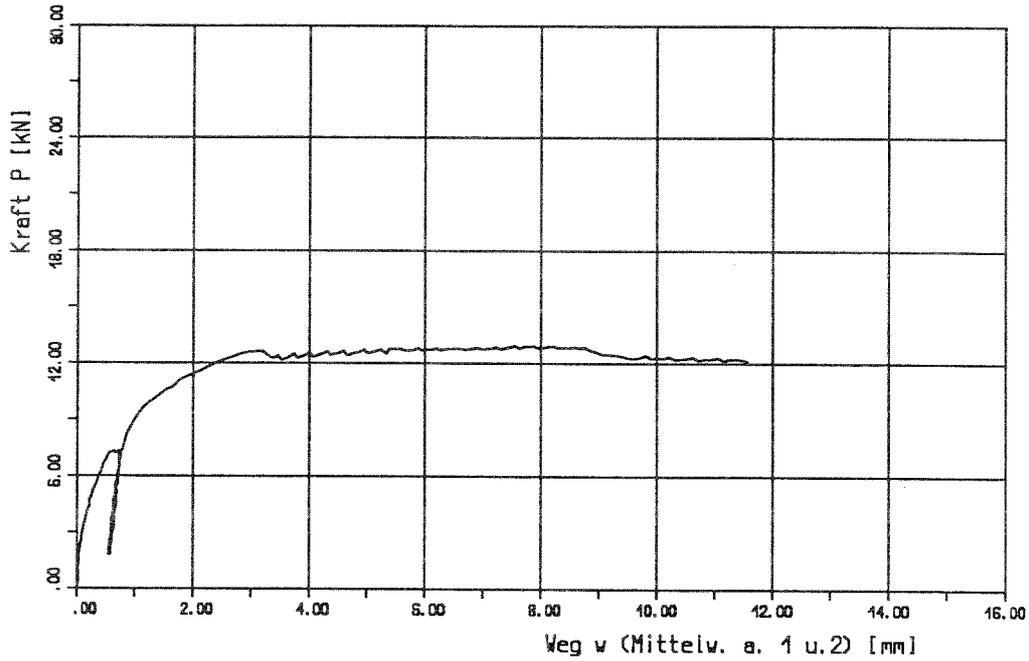


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z41

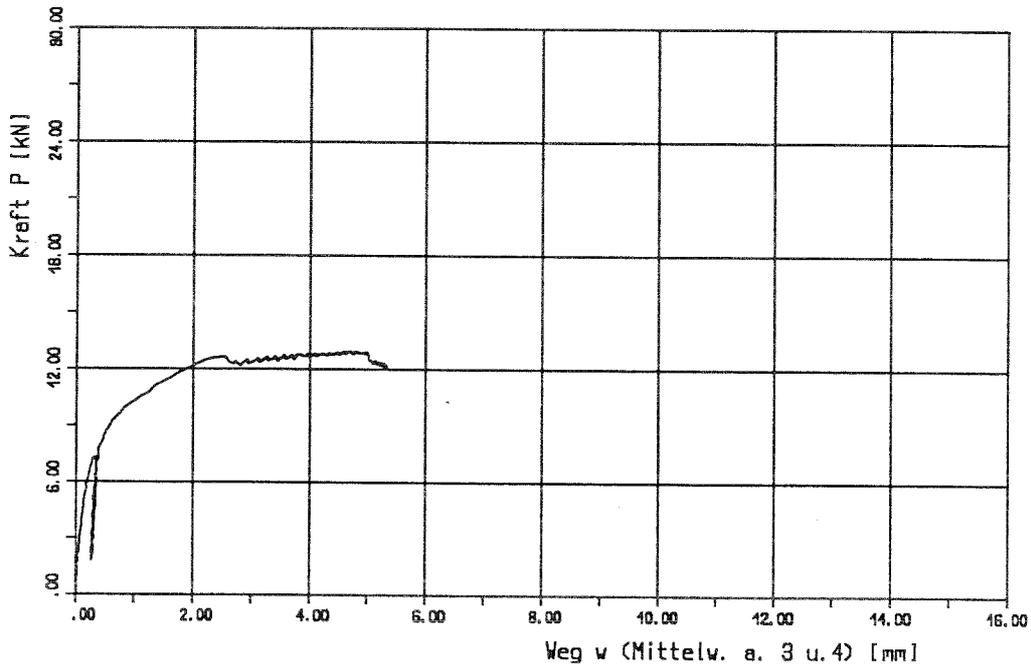


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z42

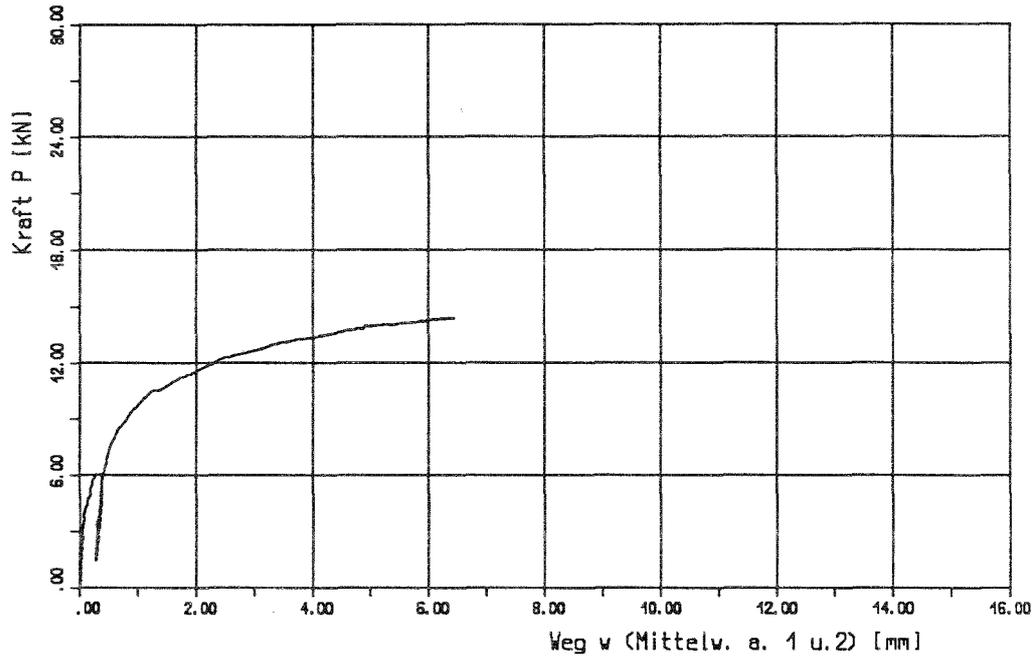


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm

Versuch: Z42

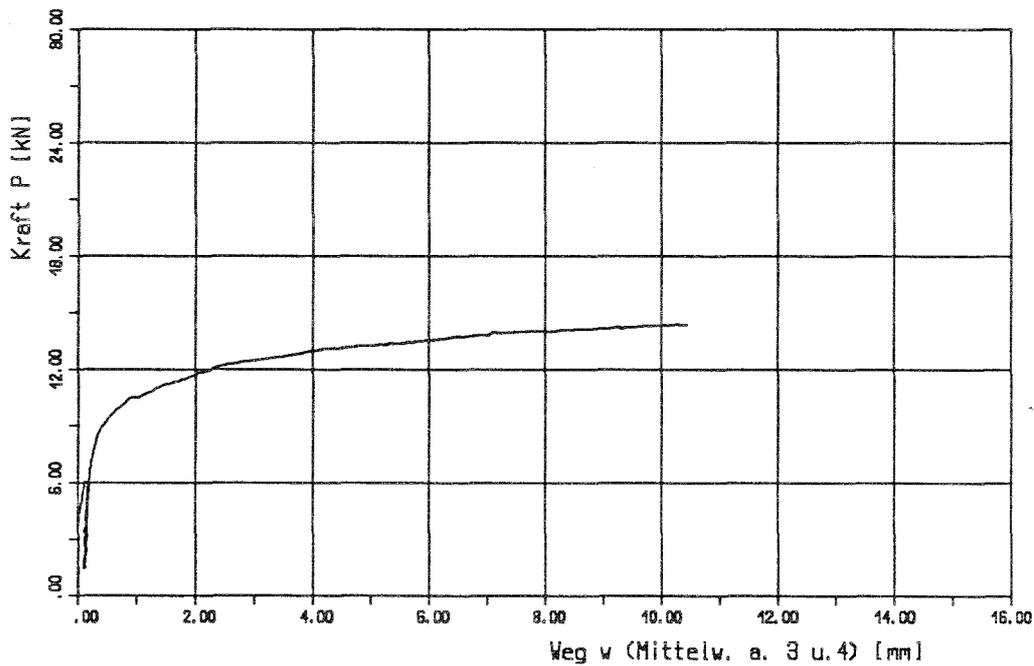


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z4,3

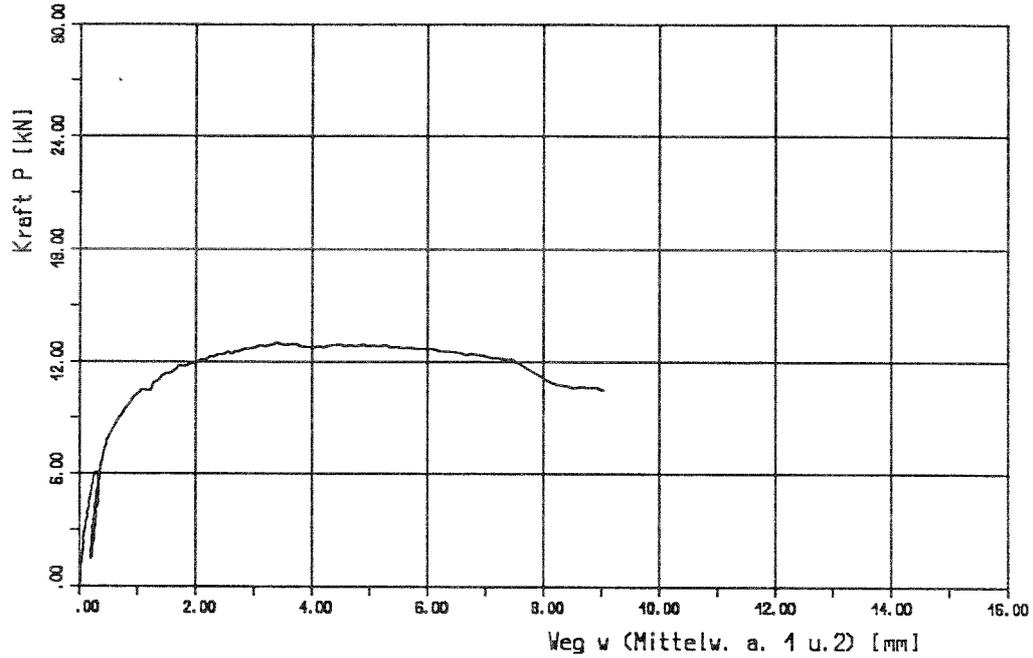


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z4,3

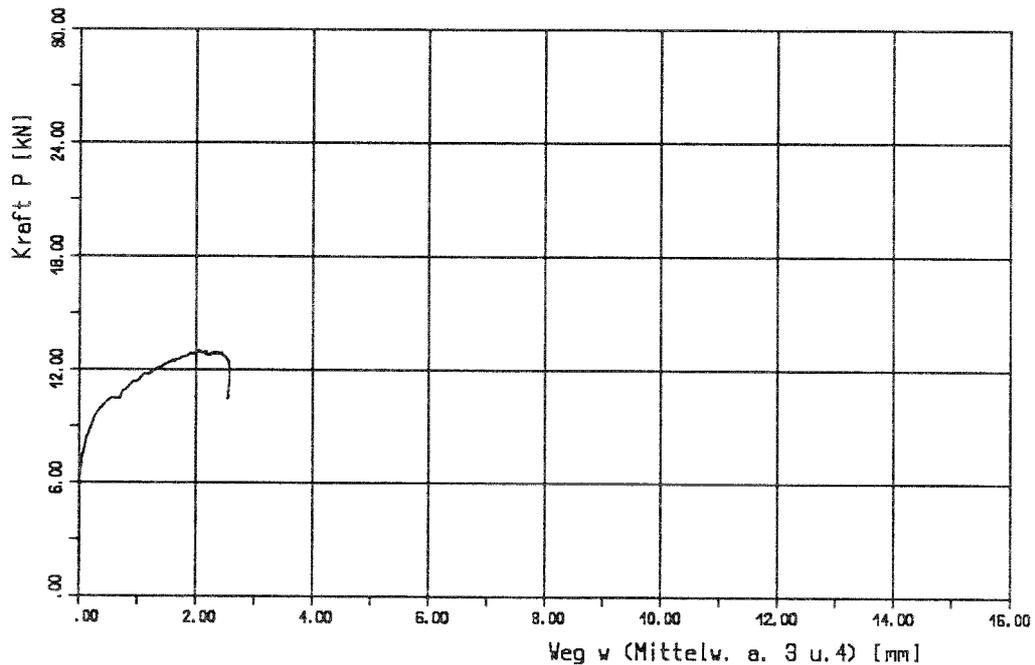
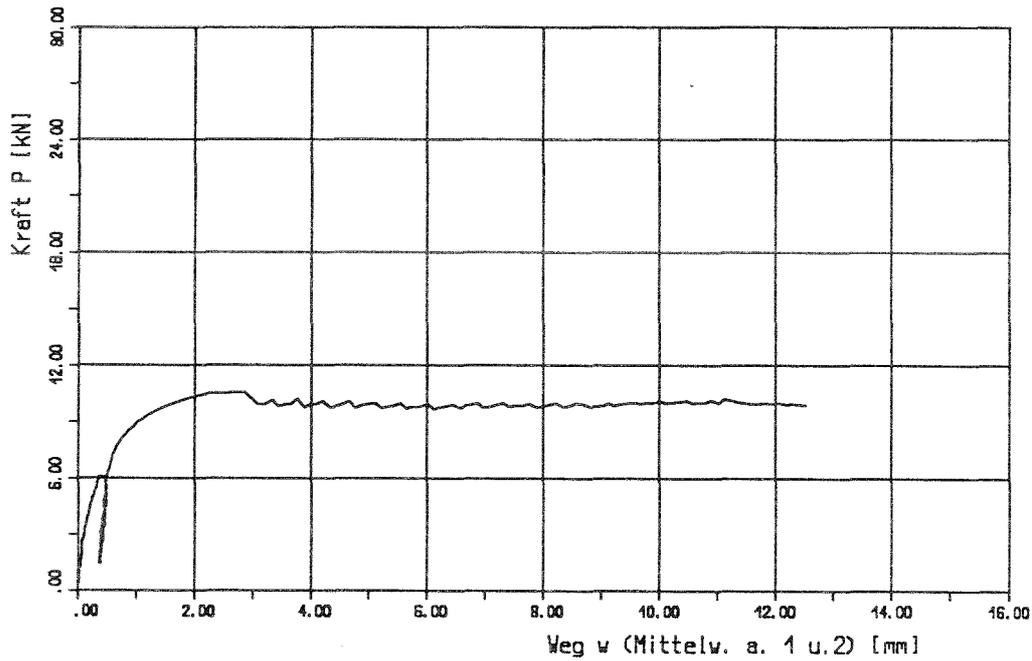


Bild 2: verstzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z45



unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z45

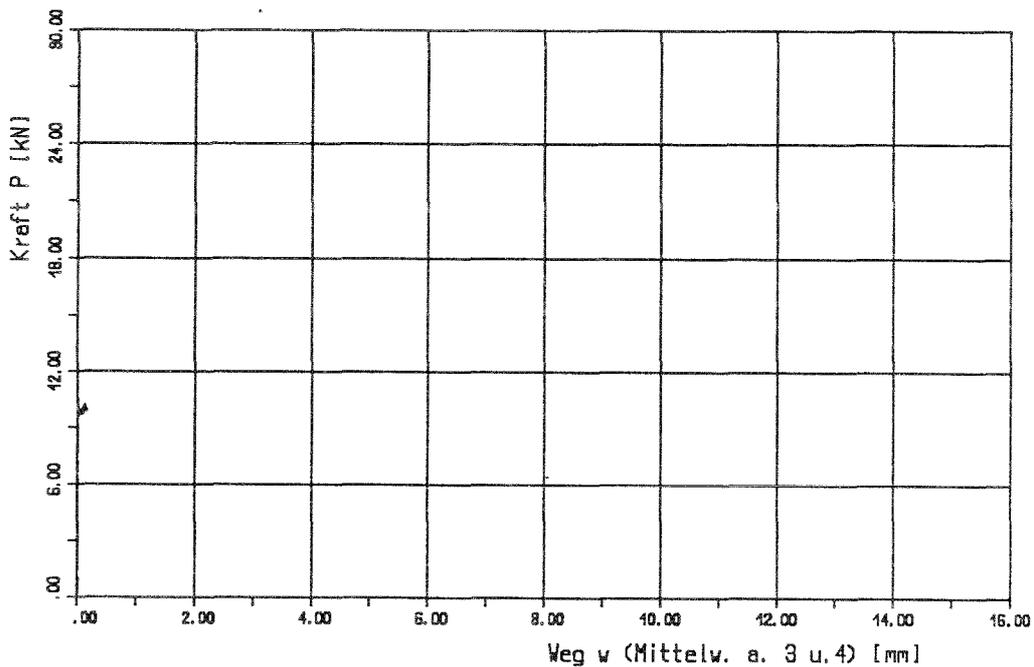


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z51

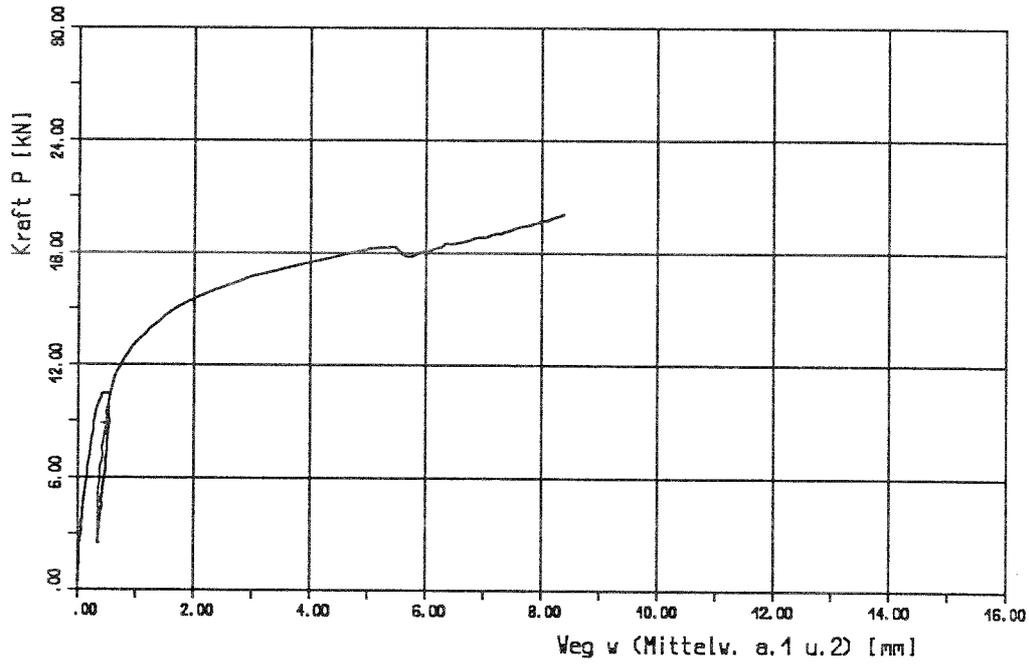


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z51

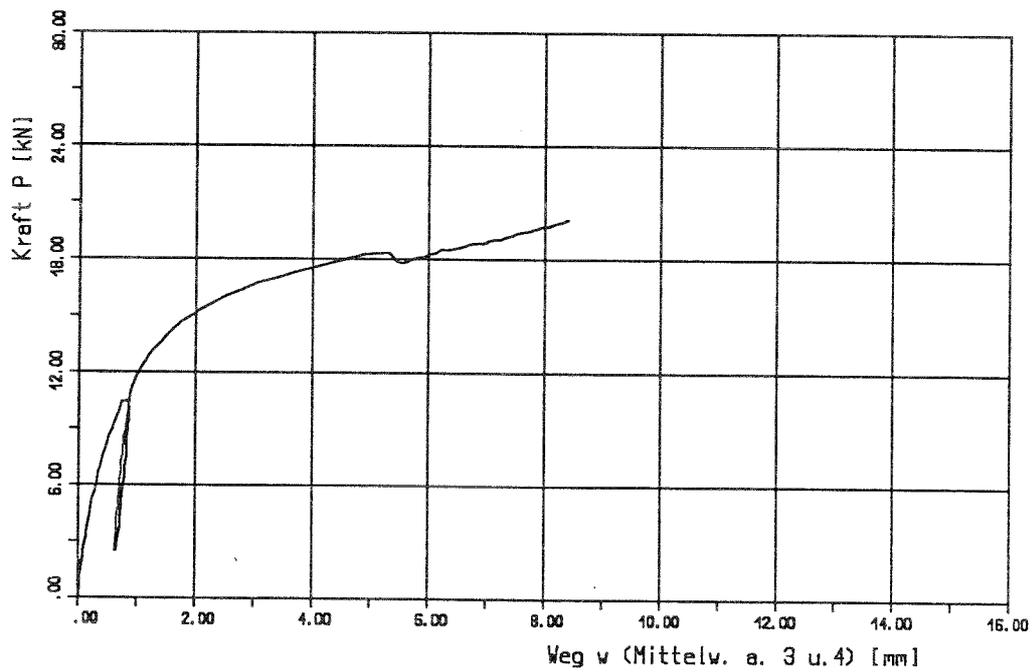


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z52

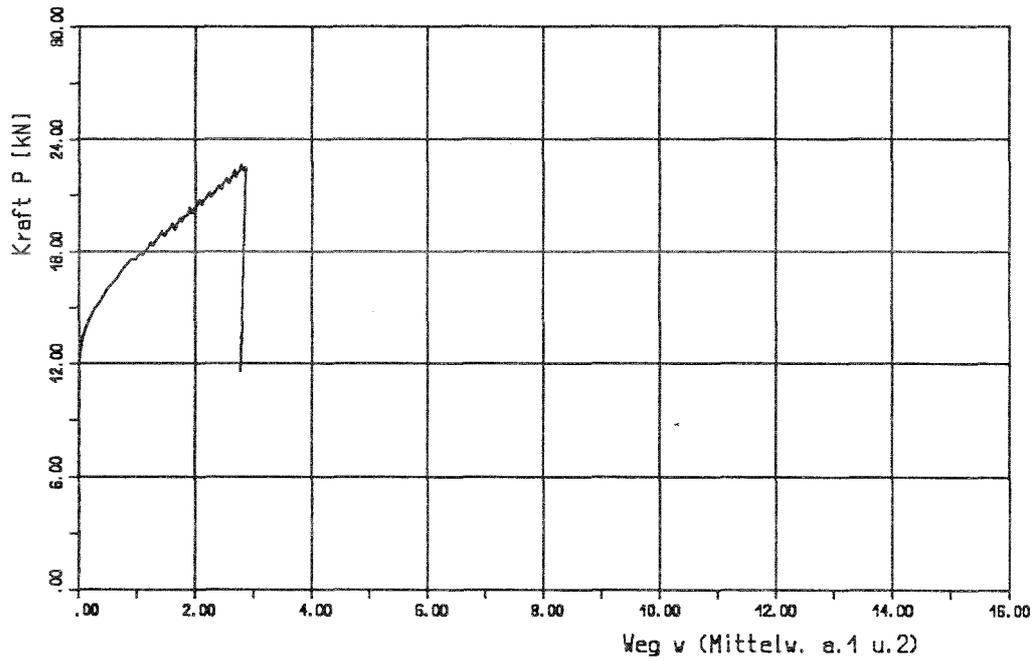


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z52

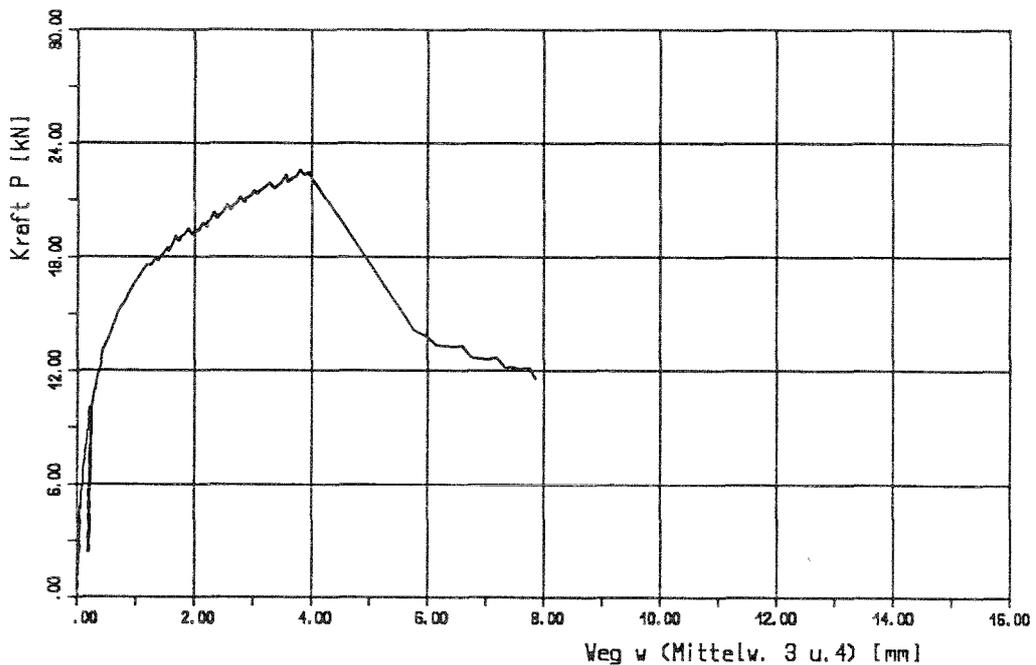


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch Z53

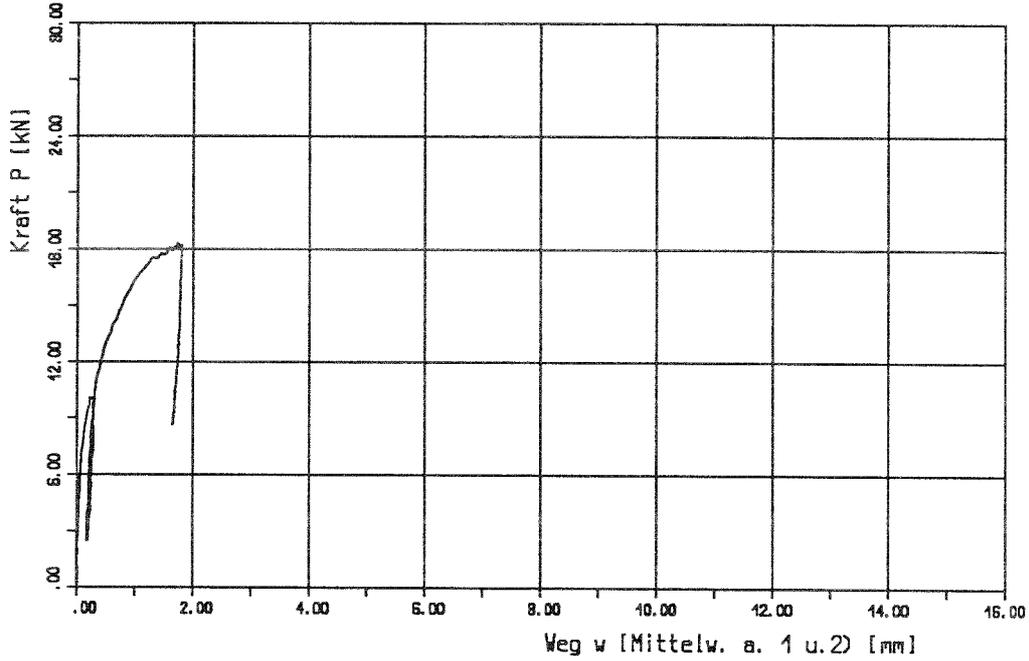


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch Z53

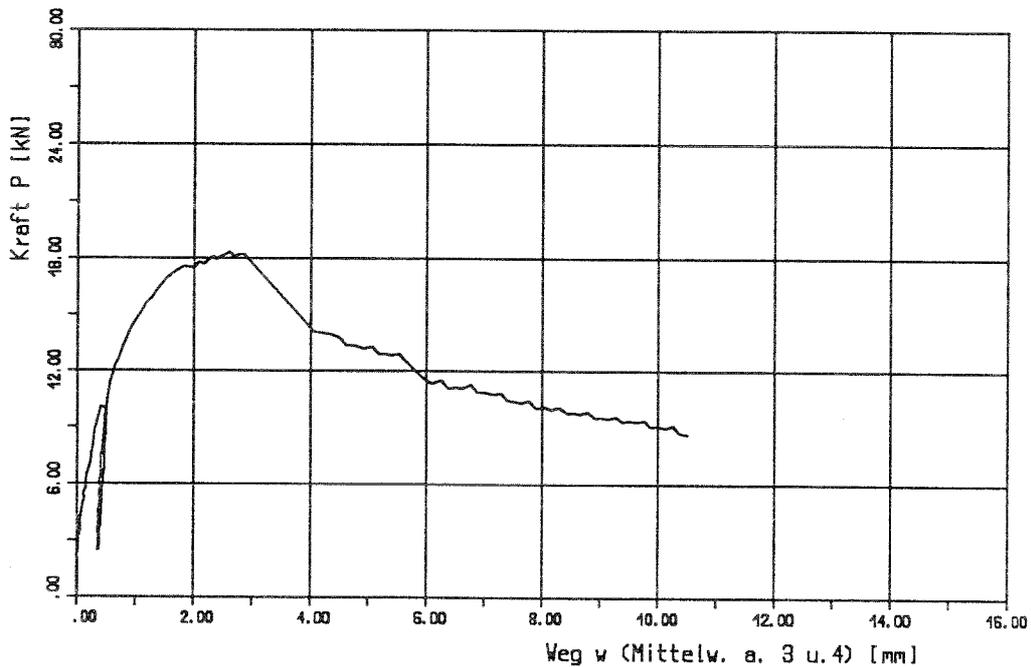


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z54

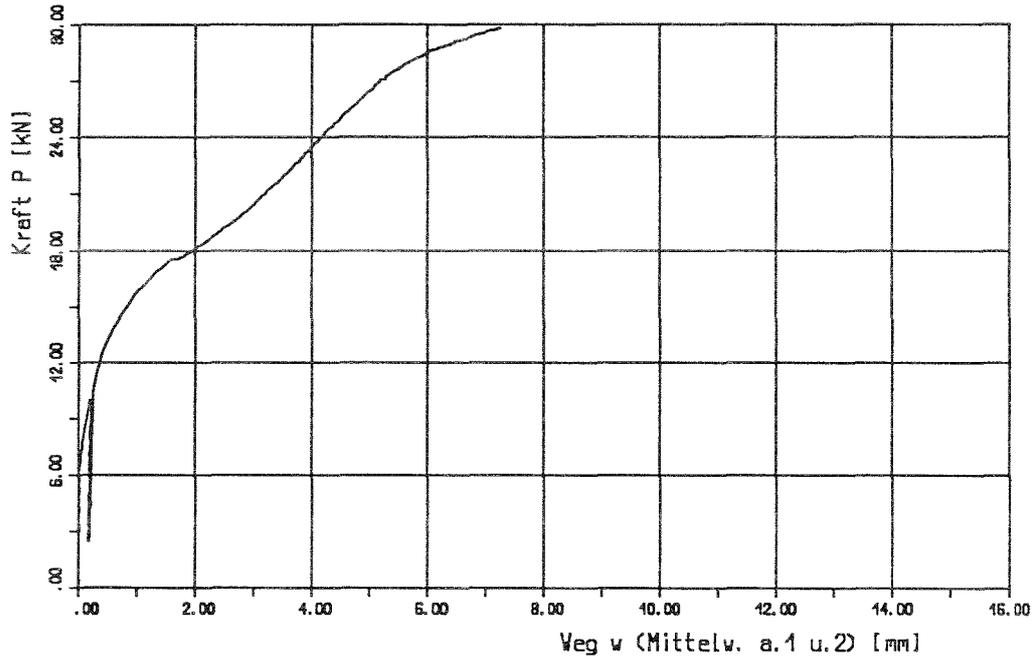


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z54

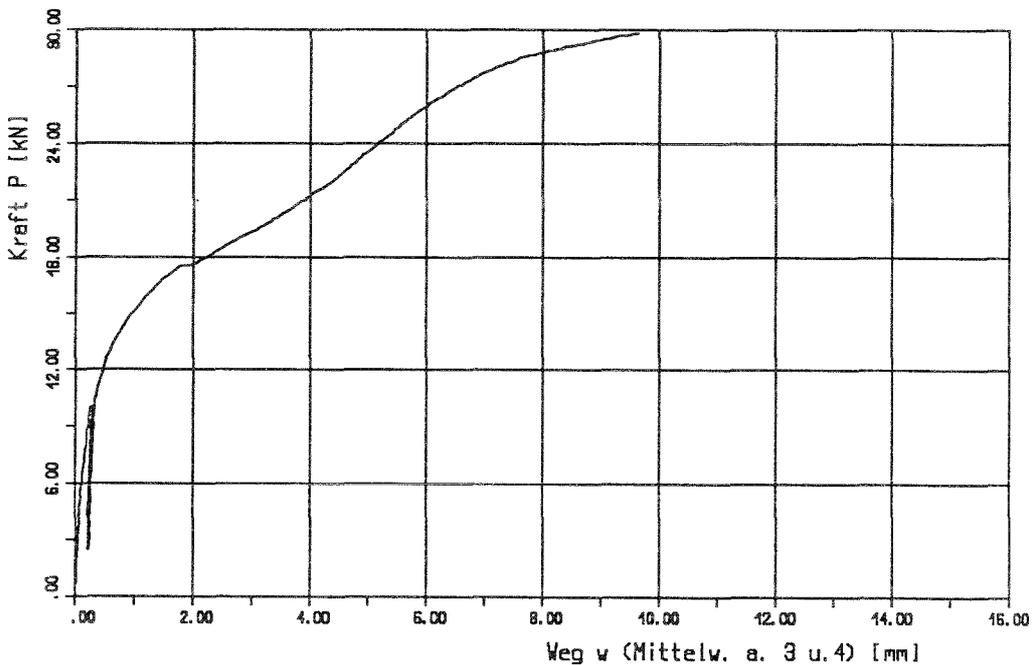


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z55

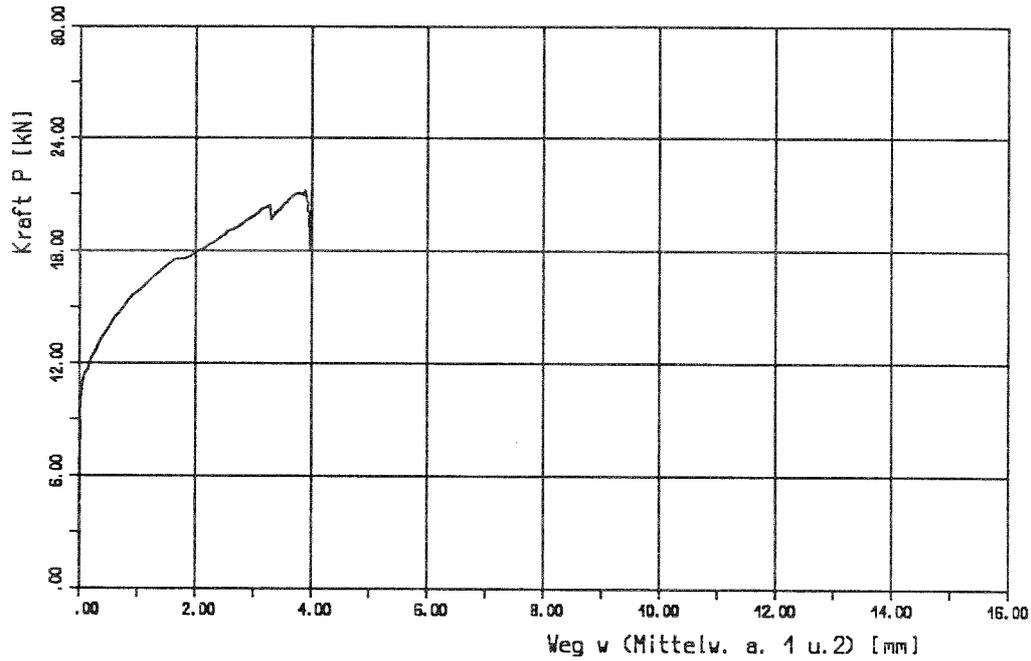


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z55

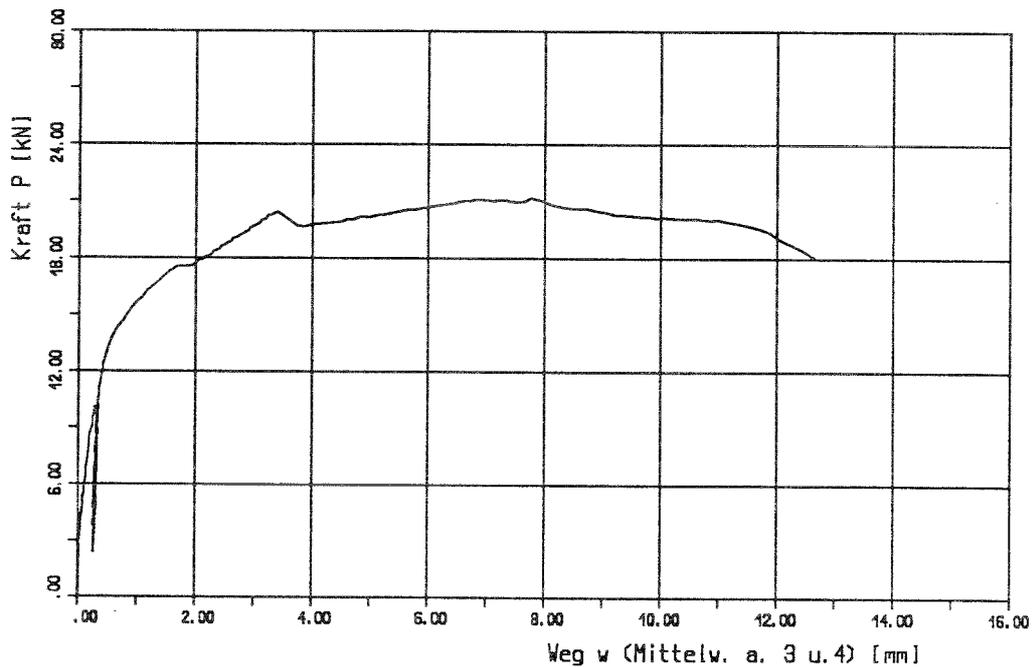


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z61

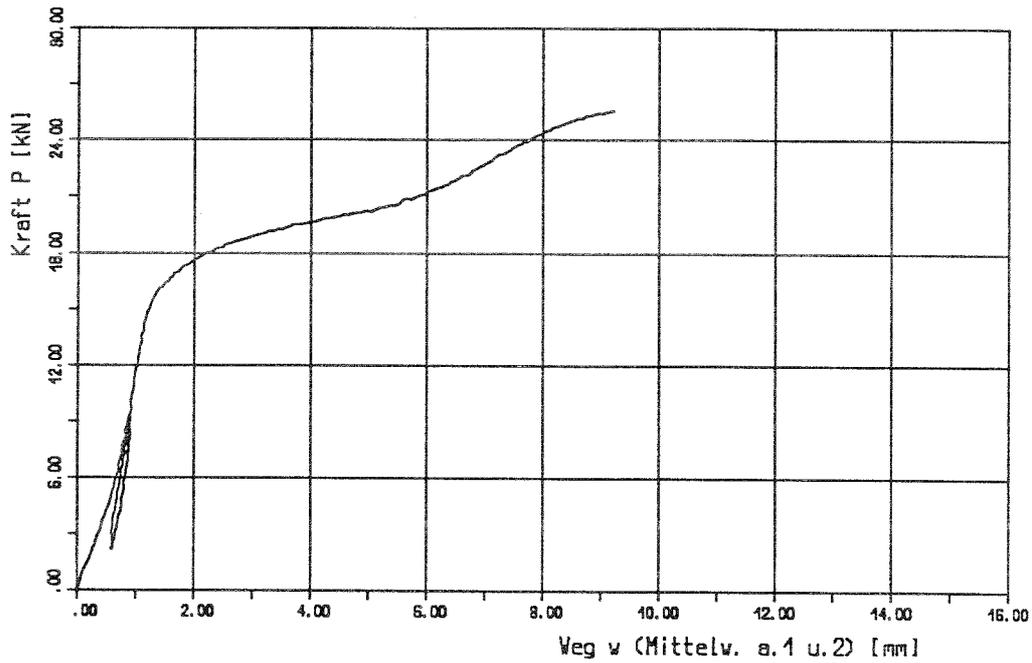


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z61

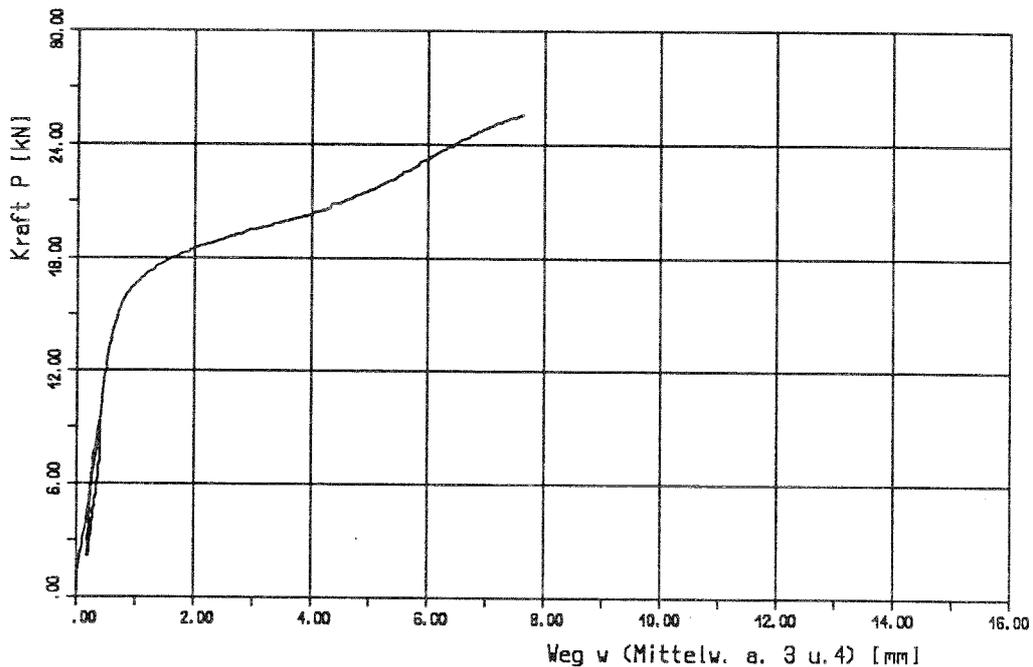


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z62

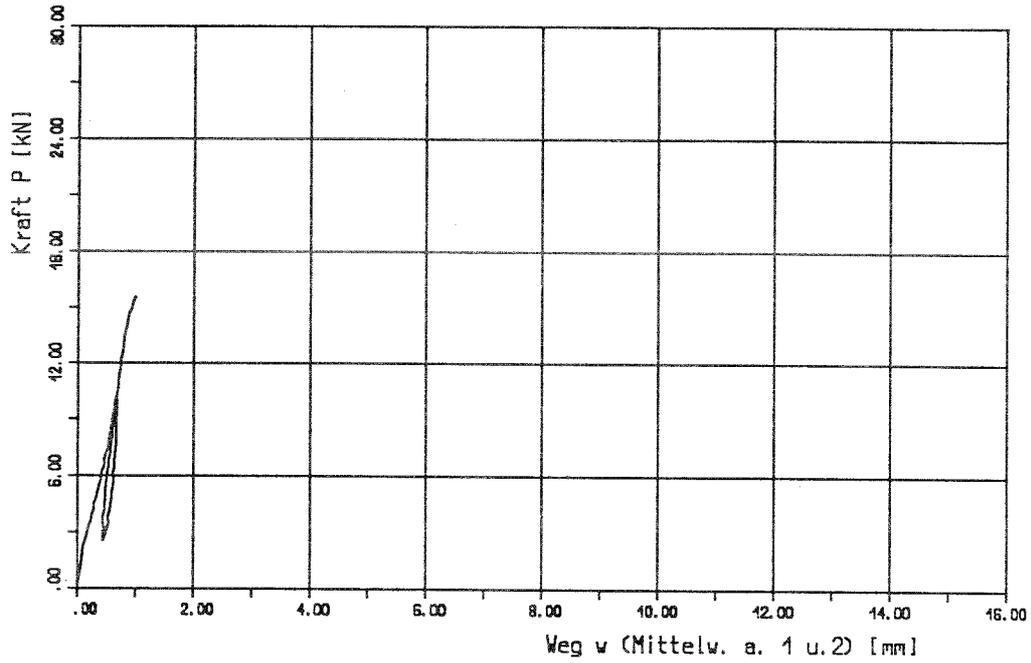


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z62

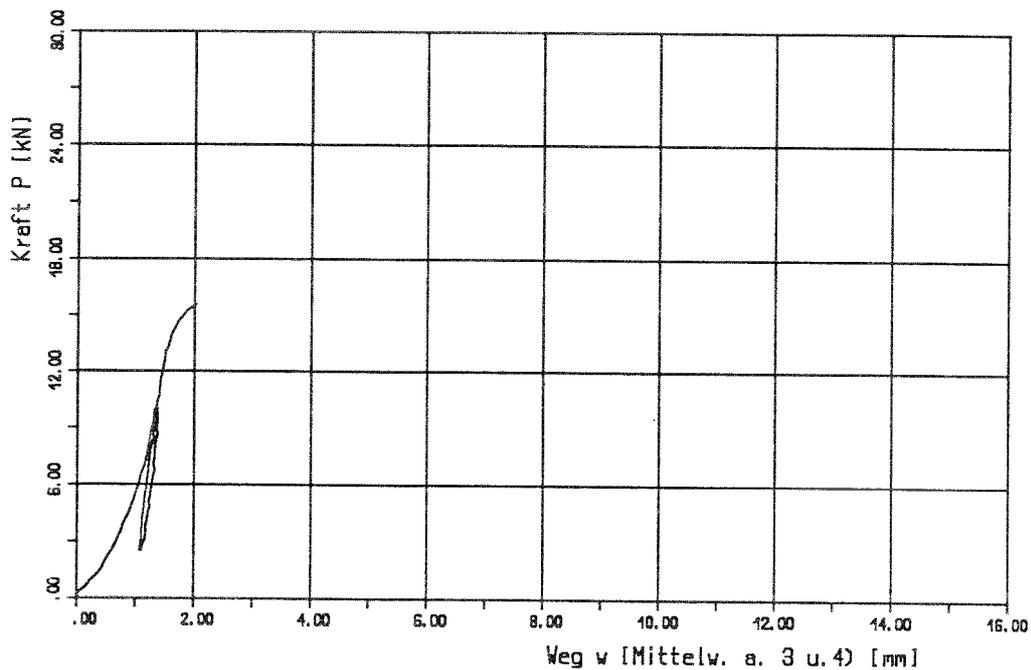


Bild 2: versetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z63

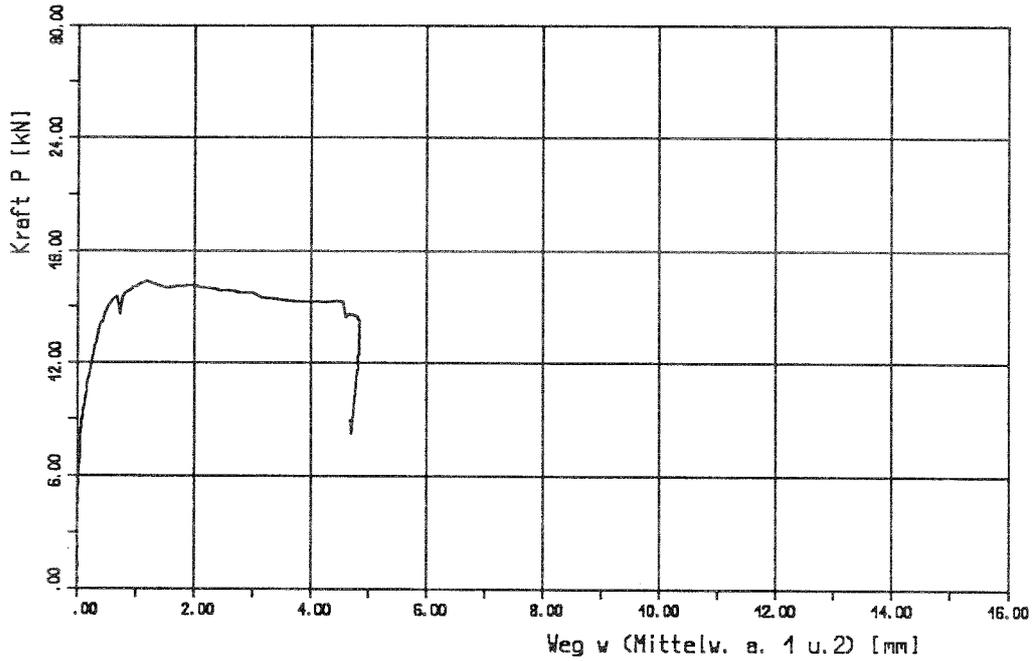
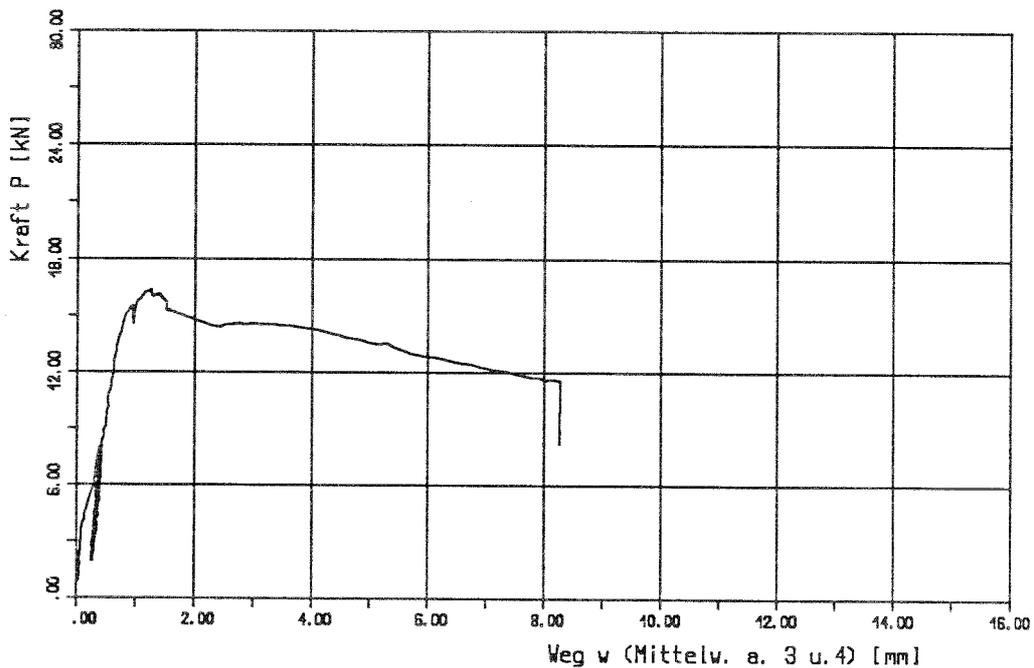


Bild 3: unversetzte Nagelung; Kraft-Weg Diagramm
Versuch: Z63



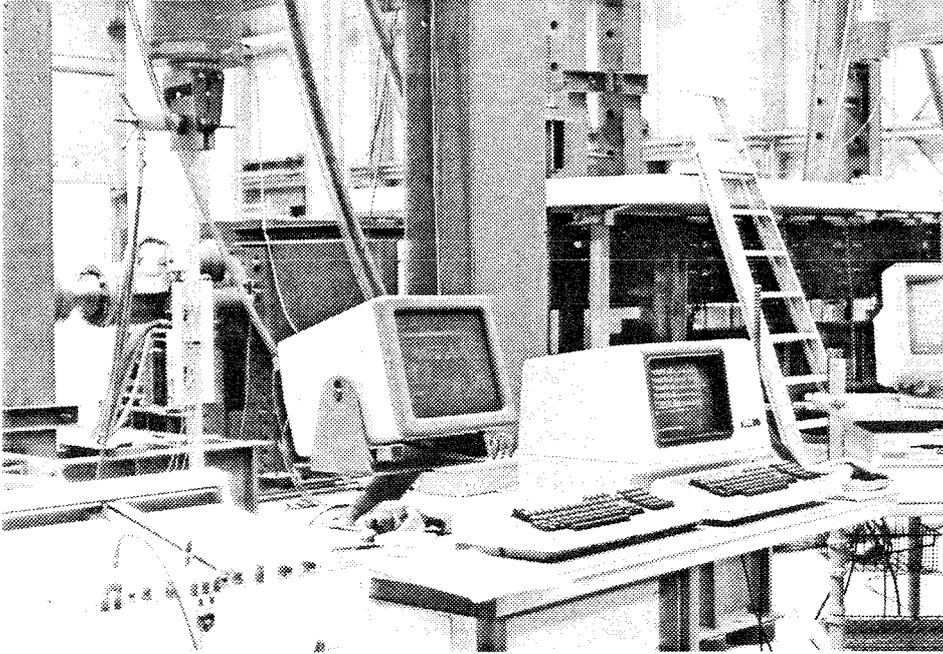


Bild 9/1: Computeranlage zur Versuchssteuerung, Meßwertaufzeichnung und Datenverarbeitung

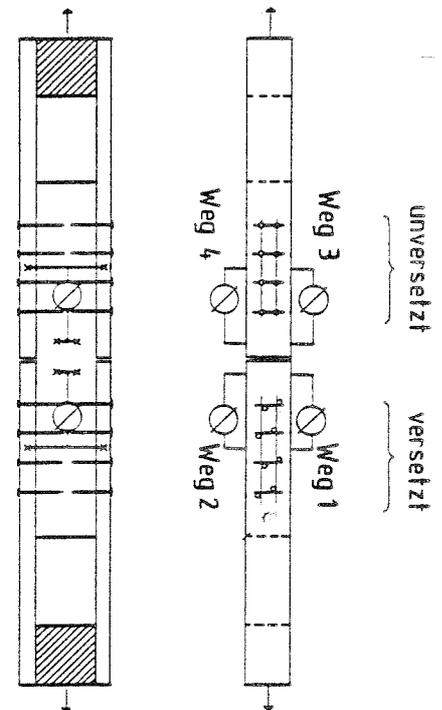
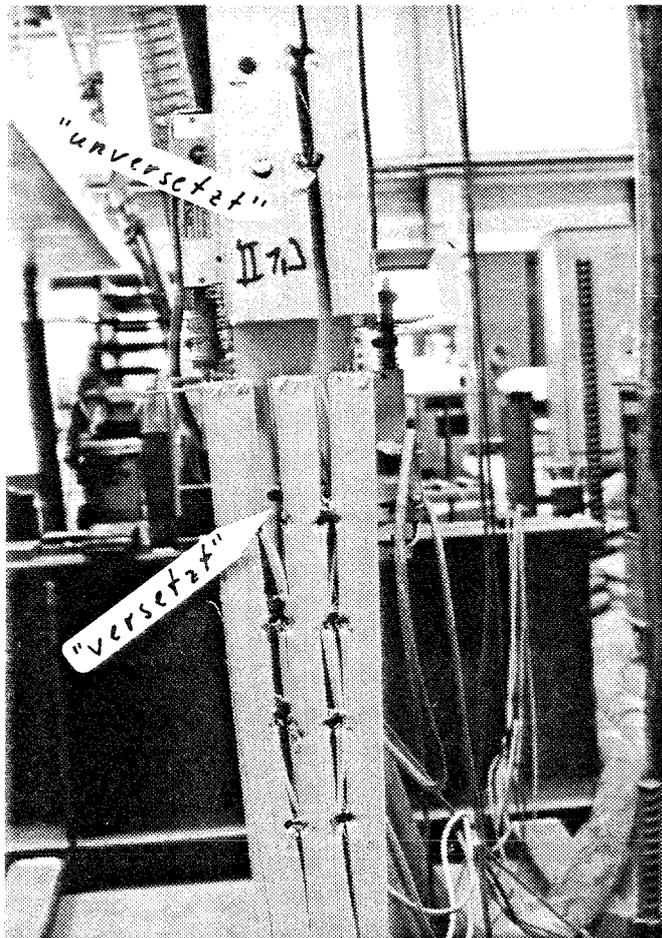


Bild 9/2: Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung): Gleichzeitiges Versagen von "versetzt" und "unversetzt".

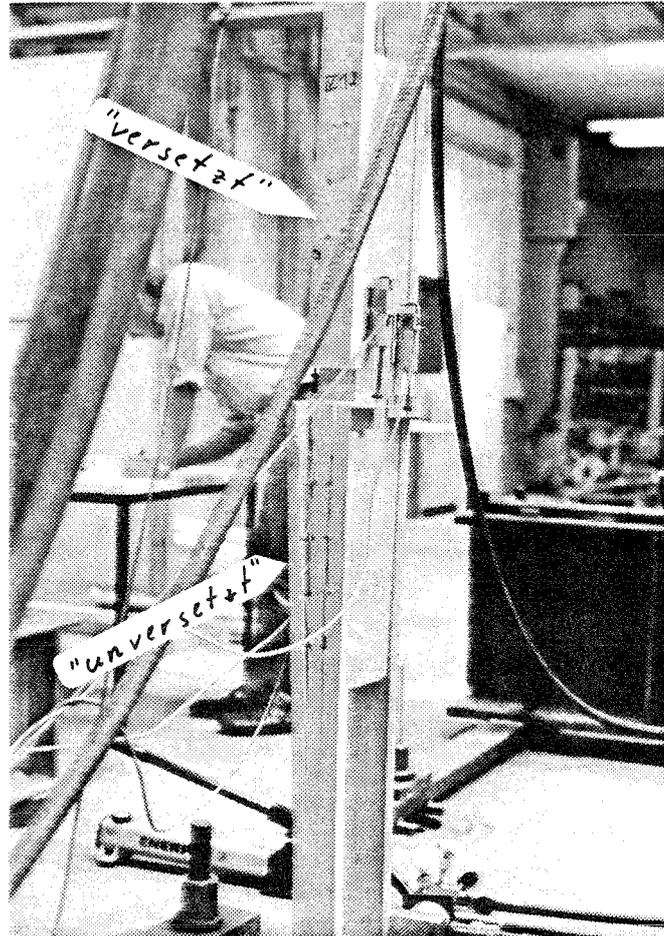


Bild 9/3: Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung): Versagen bei "unversetzt".

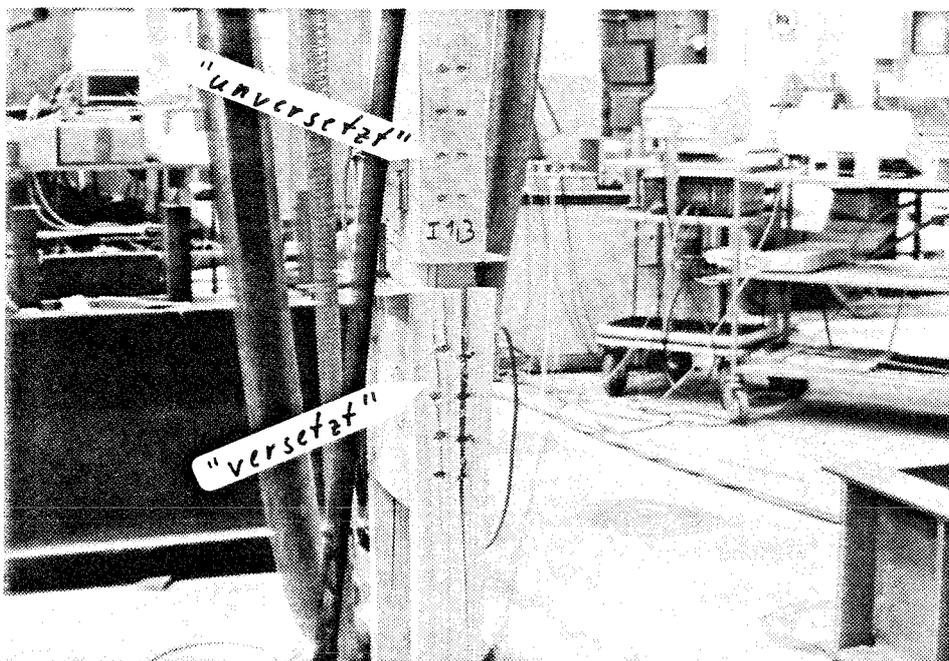


Bild 9/4: Zugstoßprobekörper mit außenliegender Mindestholzdicke (einschnittige Verbindung): Versagen bei "versetzt".

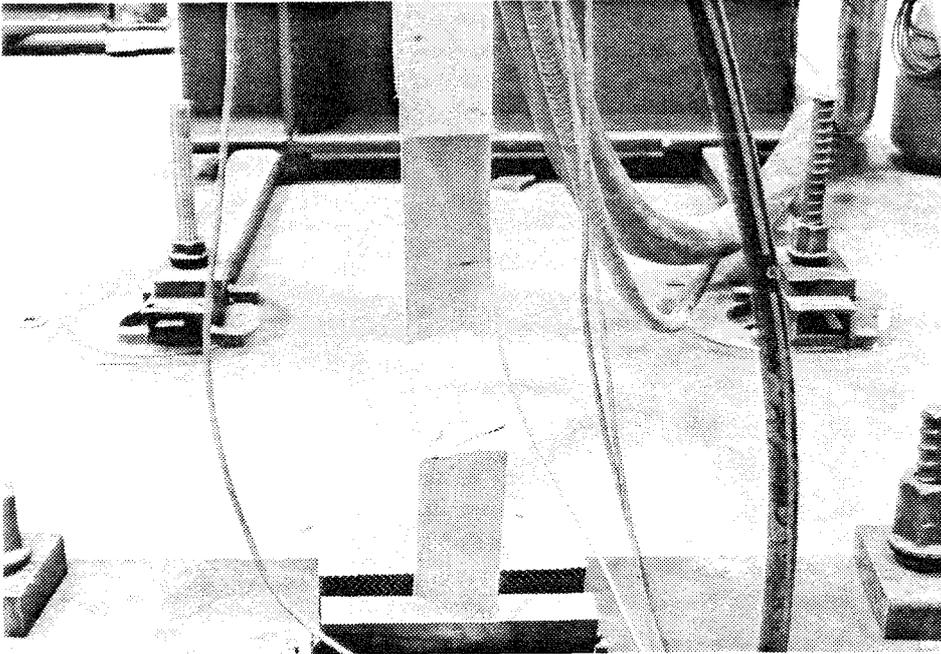


Bild 9/5: Holzversagen bei Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung): Holzdurchriß außerhalb der Verbindung durch Astschwächung

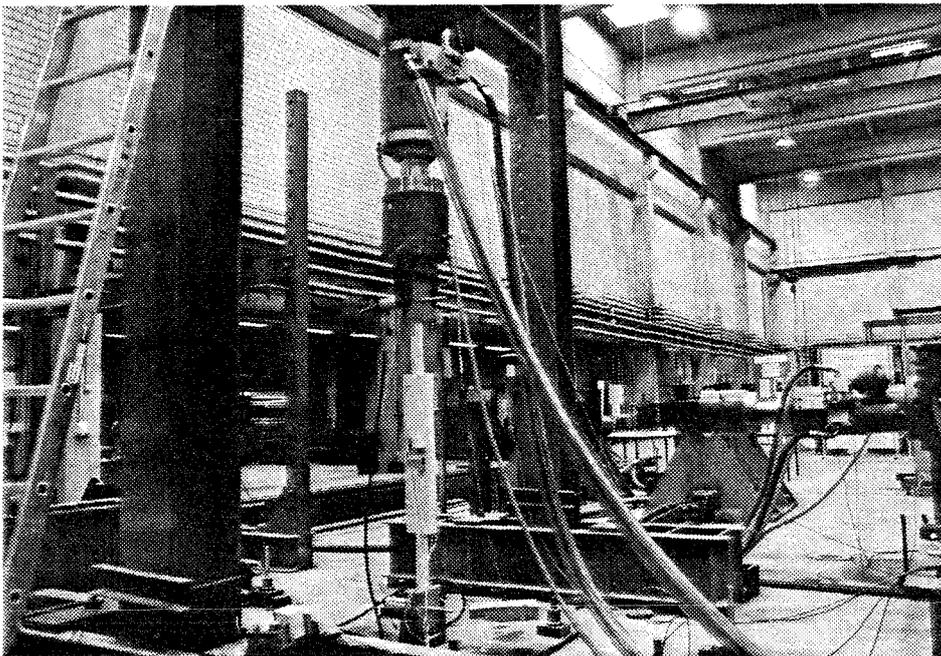


Bild 9/6: Prüfzylinder mit eingebauten Zugstoßprobekörper mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischnittige Verbindung)

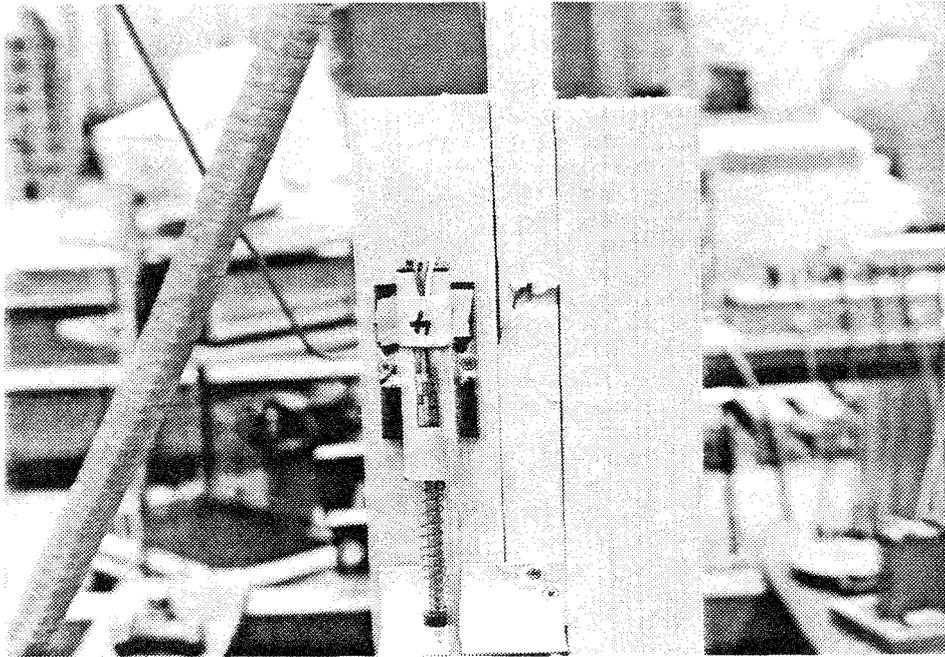


Bild 9/7: Ohmscher Wegaufnehmer zur Meßwerterfassung der Verschiebung w (Weg 4).

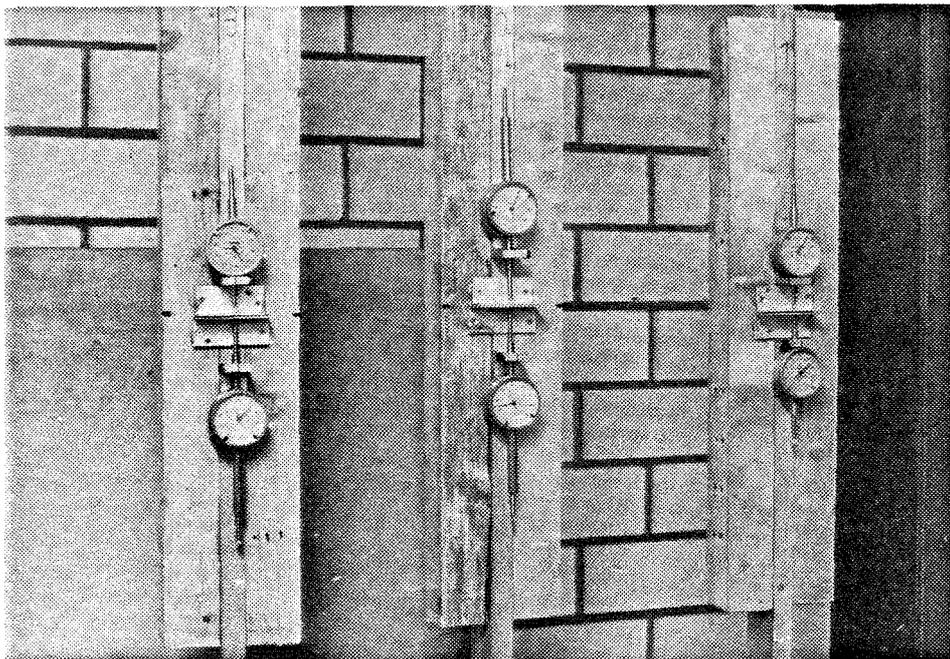


Bild 9/8: Meßuhrenanordnung zur Meßwerterfassung der Verschiebung w bei den Dauerstandversuchskörpern mit innenliegender Mindestholzdicke (zweischrittige Verbindung).

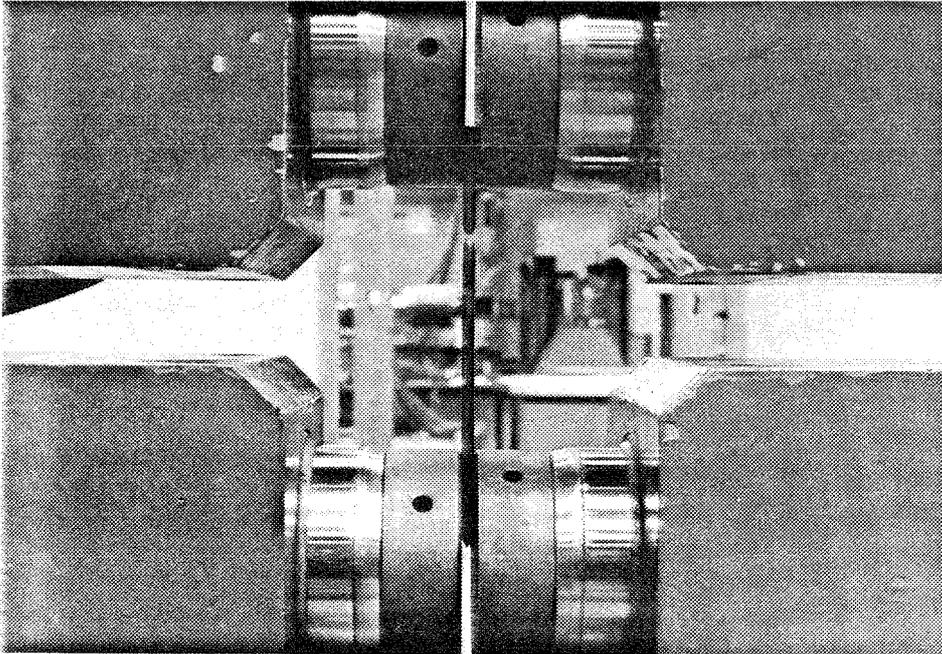


Bild 9/9: Versuch zur Bestimmung der Nagelzugfestigkeit (Nagel und Einspannvorrichtung).

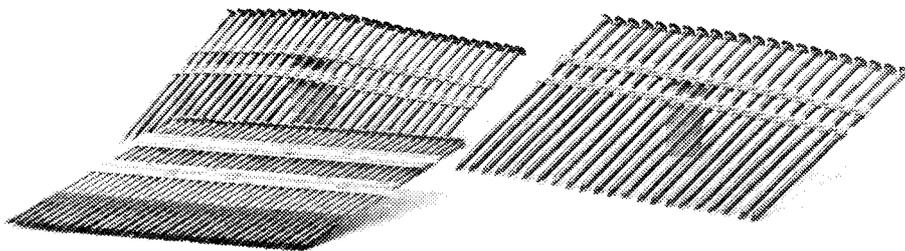


Bild 9/10: Nagelstreifen für die Magazinierung der Paslode
Streifennagler: Nagel 3,8 * 130 mm; glatt 3,8 * 121 mm; gerillt
und Nagel 4,6 * 146 mm; glatt

Vergleichende Betrachtungen zur Tragfähigkeit von Nagelverbindungen mit und ohne
Rißlinienversetzung

von Eckhard Reyer, Prof. Dr.-Ing. und Peter Linzner, Dipl.-Ing.

13.67

2504

Kurzfassung

Das Ziel des Forschungsvorhabens lag in der vergleichenden Untersuchung des Trag-, Verformungs- und Spaltverhaltens gegenüber der Rißlinie **versetzter** und **unversetzter** maschineller Nagelung und in der Erarbeitung von Vorschlägen zur Bemessung von Nagelverbindungen ohne die in der DIN 1052 vorgeschriebene Rißlinienversetzung bei maschineller Nagelung.

Aufgrund der Ergebnisse kann für eine **unversetzte Nagelung** die folgende **Empfehlung** ausgesprochen werden:

- Nageldurchmesser $d_n \leq 3,8$ mm
- Nagelabstand \parallel Fa untereinander $\geq 12,5 d_n$
- Nagelabstand zum belasteten Rand \parallel Fa $\geq 1,5 \cdot 12,5 d_n$
- Mindestholzfeuchte zum Einschlagzeitpunkt $u \geq 14$ %
- Wenn möglich, keine Verwendung von Mindestholzdicken

Unter diesen Voraussetzungen kann bei unversetzter Nagelung wie bei versetzter Nagelung nach DIN 1052/T2 bemessen werden, da praktisch keine Unterschiede im Trag-, Verformungs-, und Spaltverhalten im Vergleich zur versetzten Nagelung mehr auftreten.

Comparative study of the load carrying capacity of nailed joints oriented in a line parallel to the grain and staggered along the grain.

from Eckhard Reyer, Prof. Dr.-Ing. and Peter Linzner, Dipl.-Ing.

Abstract

The present research work is a comparative study about the behavior of nailed joints oriented in a line parallel to the grain and staggered along the grain. The comparison included the load carrying capacity, the deformations and the splitting of both nailed joints systems. The nails in both systems were driven using nailing guns. Moreover, a procedure for the design of nailed joints oriented in a line parallel to the grain is proposed. In this design procedure, the following boundary conditions must be fulfilled:

- Diameter of the nail $d_n \leq 3.8$ mm
- Spacing between adjacent nails in any one line parallel to grain $\geq 12.5 d_n$
- End distance parallel to grain $\geq 1.5 \cdot 12.5 d_n$
- Minimum wood moisture at the time of driving in the nails $u \geq 14$ %
- It is recommended to use thicknesses greater than the minimum allowed wood thickness

Under these boundary conditions, the design of nailed joints oriented in a line parallel to grain, follow the same design procedure as nailed joints staggered along the grain (according to DIN 1052/T2)

Réflexions comparées eu égard à la force portante d'assemblages par clouage avec et sans quinconçage de trace de fissure

par Eckhard Reyer, Prof. Dr. Ing. et Peter Linzner, Dipl. Ing.

Version abrégée

Ce projet de recherche avait pour but l'étude comparée de la tenue de force portante, de déformation et de fissuration en face de la trace de fissure de clouage mécanique en quinconce ou non, ainsi que l'élaboration de propositions pour le dimensionnement des assemblages par clouage sans quinconce prescrit par DIN 1052 (=normes de l'industrie allemande) sous clouage mécanique.

A base des résultats obtenus il convient un clouage non en quinconce en cas de:

- diamètre de clou de $d_n \leq 3,8$ mm
- espacement des clous \parallel fibre de bois $\geq 12,5 d_n$
- espacement de clous vers le bord chargé \parallel Fa $\geq 1,5 \cdot 12,5 d_n$
- taux d'humidité minimum du bois au moment de clouage $u \geq 14$ %
- Si possible, ne pas utiliser des épaisseurs minimum de bois

Sous ces conditions préalables on peut dimensionner selon DIN 1052/T2 lors le clouage en quinconce ainsi que non, car, en effet, il n'y a presque plus de différence quant au comportement de force portante, de déformation et de fissuration en comparaisant avec celui sous clouage en quinconce.