

**Sicherheitsrelevante Untersuchungen zum Trag- und
Verformungsverhalten von mehreren in Krafrichtung
hintereinanderliegenden Dübeln besonderer Bauart**

von

H.J. Blaß, J. Ehlbeck, V. Krämer und H. Werner

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abteilung Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Professor Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß
1997

Vorwort

Dübel besonderer Bauart stellen neben den stiftförmigen Verbindungsmitteln eine wichtige Möglichkeit für die Verbindung von Holzbauteilen dar. Sie haben sich seit langer Zeit in Konstruktionen des Ingenieurholzbaus bewährt. Immer anspruchsvollere Konstruktionen mit größeren Stützweiten führen zu immer höheren Kräften, die von Bauteilen und Verbindungen aufgenommen werden müssen. Untersuchungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln haben gezeigt, daß mit zunehmender Anzahl der Verbindungsmittel in einer Verbindung die Tragfähigkeit nicht in gleichem Maße wie die Zahl der Verbindungsmittel zunimmt. Dieses Forschungsvorhaben sollte den Einfluß der Anzahl von Dübeln besonderer Bauart in einer Verbindung auf die Tragfähigkeit der Verbindung klären. Außerdem sollten Angaben zur charakteristischen Tragfähigkeit von Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart gemacht werden, die für eine Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten erforderlich ist.

Das Forschungsvorhaben entstand im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) mit finanzieller Unterstützung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt).

Die umfangreichen Untersuchungen wurden von Dipl.-Ing. Volker Krämer, der auch den Forschungsbericht erstellte, betreut und durchgeführt. An dieser Stelle sei auch Herrn Dipl.-Ing. Christoph Duppel gedankt, der einen maßgeblichen Teil zur Fertigstellung des Forschungsberichtes beitrug. Für die Vorbereitung der Prüfkörper und die Messungen war Herr Johann Lafferthon verantwortlich. Durch seine unermüdliche und gewissenhafte Arbeit war es möglich, daß das Forschungsvorhaben fristgerecht abgeschlossen werden konnte. Den Firmen Gebr. Müller GmbH & Co. KG in Lüdenscheid und Befestigungselemente-Technik in Saarburg ist für die Bereitstellung der Verbindungsmittel besonders zu danken. Die Prüfkörper wurden von Zimmereien, Leimbaubetrieben und Meisterschulen des Zimmerhandwerks in Eigenleistung hergestellt. Für diesen uneigennütigen Beitrag zu diesem Forschungsvorhaben ist den Firmen besonders zu danken. Die Koordination der Herstellung der Prüfkörper und deren Rückführung zur forschenden Stelle oblag dem Bund deutscher Zimmermeister (BDZ). Für die reibungslose Zusammenarbeit sei dem BDZ gedankt. Bei der Auswertung und graphischen Darstellung der Ergebnisse haben die wissenschaftlichen Hilfskräfte des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen gewissenhaft mitgewirkt.

Allen Beteiligten ist für die Mitarbeit zu danken.

Jürgen Ehlbeck

Hans Joachim Blaß

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Ziel der Untersuchungen	2
1.2.1 Bestimmung der Korrelation des Last- Verschiebungsverhaltens einzelner Dübel	3
1.2.2 Entwicklung eines mechanischen Modells	3
1.2.3 Simulation einer großen Anzahl von Bauteilen	3
1.2.4 Berechnen der Traglasten	3
1.2.5 Ableiten von Bemessungsbeiwerten	3
2 Vorversuche	4
2.1 Last- Verschiebungsverhalten einer Verbindung mit einem Dübelpaar ..	4
2.1.1 Versuchsparameter	5
2.2 Zugscherversuche mit mehreren in Krafrichtung hintereinander- liegenden Dübeln	6
2.2.1 Versuchsparameter	6
2.3 Auswertung und Ergebnisse der Vorversuche	7
3 Druckscherversuche	10
3.1 Druckscherversuche mit Einpreßdübeln	10
3.1.1 Versuchsparameter	11
3.1.2 Versuchsprogramm	12
3.1.3 Durchführung und Auswertung der Versuche	14
3.1.4 Gegenüberstellung der M- und N- Serien	17
3.1.5 Rechenmodell	19
3.1.6 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten	21
3.2 Druckscherversuche mit Einlaßdübeln	25
3.2.1 Versuchsparameter	26
3.2.2 Versuchsprogramm	27
3.2.3 Durchführung und Auswertung der Versuche	29
3.2.4 Gegenüberstellung der M- und N- Serien	33
3.2.5 Rechenmodell	34
3.2.6 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten	37

4 Zugversuche	39
4.1 Zugscherversuche mit Einpreßdübeln	39
4.1.1 Versuchsparameter	40
4.1.2 Versuchsprogramm	41
4.1.3 Durchführung und Auswertung der Versuche	42
4.1.4 Gegenüberstellung der A-, B-, C-, D- Serien	46
4.1.5 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten	47
4.2 Zugscherversuche mit Einlaßdübeln	52
4.2.1 Versuchsparameter	52
4.2.2 Versuchsprogramm	54
4.2.3 Durchführung und Auswertung der Versuche	54
4.2.4 Gegenüberstellung der M- und N- Serien	58
4.2.5 Rechenmodell	59
4.2.6 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten	59
5 Zusammenfassung	63
6 Literatur	65

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Für Dübel besonderer Bauart sind die zulässigen Belastungen pro Verbindungsmittel abzumindern, wenn in einer Verbindung mehr als zwei Dübel in Krafrichtung hintereinander angeordnet sind. Dies bedeutet, daß nicht mehr die n -fache zulässige Last des Verbindungsmittels ausgenutzt werden kann, sondern daß nur noch ein Teil der zulässigen Last rechnerisch für die Kraftübertragung zur Verfügung steht. Der Grund für diese Bestimmung der Norm DIN 1052 ist die ungleichmäßige Lastverteilung zwischen den einzelnen hintereinander liegenden Verbindungsmitteln. Solange sich die Verbindung bei Lasteinwirkung im unteren, etwa proportionalen Lastbereich befindet, werden die Verbindungsmittel am Anfang und Ende der Verbindungsmittelreihe stärker belastet als diejenigen in der Mitte. Für die am stärksten belasteten Verbinder soll noch eine ausreichende Sicherheitsspanne gewährleistet werden. Diese Betrachtungsweise ist stark vereinfacht und trifft nicht unbedingt für alle Dübel besonderer Bauart zu, da drei Einflüsse dabei unberücksichtigt bleiben:

Im oberen Lastbereich vor Eintreten des Bruches können plastische Verformungen auftreten. Diese plastischen Verformungen bewirken einen Lastausgleich unter den einzelnen Verbindern, so daß im Bruchzustand alle Verbinder praktisch mit ihrer vollen Tragfähigkeit an der Lastübertragung beteiligt sind. Eine ungleichmäßige Lastverteilung im unteren, proportionalen Lastbereich wirkt sich also nicht notwendigerweise nachteilig auf die Traglast der Gesamtverbindung aus. Diese günstigen plastischen Verformungen treten allerdings bei Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart, insbesondere mit Einlaßdübeln nur in wesentlich geringerem Umfang auf als beispielsweise bei Nagelverbindungen.

Die Traglast der einzelnen Verbinder in der Gesamtverbindung streut in gewissen Grenzen aufgrund von unterschiedlichen Holzeigenschaften (Holzfehler) und von Herstellungseinflüssen. Trotz der unterschiedlichen Höchstlasten der einzelnen Verbinder können jedoch bei einer ausgeprägten plastischen Verformbarkeit alle Verbinder in einer Verbindung ihre individuelle Höchstlast erreichen. Somit ist der für die Festlegung zulässiger Beanspruchungen maßgebende untere Fraktilwert (z.B. der fünftniedrigste von 100 Werten) bei einer Verbindung mit mehreren Verbindern höher als der Fraktilwert eines einzelnen Verbinders, da es immer wahrscheinlicher wird, daß Verbinder mit höheren und niedrigeren Traglasten in der Verbindung eingebaut sind.

Bedingt durch die Art der Herstellung der Verbindung können Verbindungen mit Einlaßdübeln im Gegensatz zu solchen mit Einpreßdübeln unter Lasteinwirkung einen mehr oder weniger großen Schlupf aufweisen. Dieser Schlupf kann sich auf das Zusammenwirken einer Verbindung ungünstig auswirken, insbesondere dann, wenn die Verbindung im Traglastbereich ein wenig ausgeprägtes plastisches Verhalten aufweist. Es kann also nicht davon ausgegangen werden, daß eine Abminderung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit mehreren in Krafrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmitteln bei Einlaß- und Einpreßdübeln gleich ist, wie in den Bemessungsregeln der DIN 1052 angenommen wird.

Ein günstiges Zusammenwirken von mehreren in Krafrichtung hintereinanderliegenden Dübeln kann also nur dann erwartet werden, wenn sich die Verbindungsmittel und das Holz vor dem Versagen plastisch verhalten. Versagt eine Verbindung vor dem Auftreten nennenswerter plastischer Verformungen durch einen spröden Bruch, z.B. durch das Aufspalten des Holzes entlang der Verbindungsmittelreihen oder durch Abscheren des Holzes, dann kann dieser günstige Effekt nicht oder nur zum Teil genutzt werden. Das Versagen von Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart ist bei den zur Zeit zulässigen Verbindungsmittelabständen allerdings oft durch ein Abscheren des Holzes entlang der Verbindungsmittelreihen gekennzeichnet. Daher ist der Verbindungsmittelabstand, der einen beträchtlichen Einfluß auf das Auftreten des Spaltens oder Abscherens im Verbindungsbereich ausübt, ein wichtiger, sicherheitsrelevanter Parameter für die Bestimmung charakteristischer Werte der Tragfähigkeit von derartigen Verbindungen.

1.2 Ziel der Untersuchungen

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Angabe wirklichkeitsnaher Beiwerte zur Berücksichtigung des Einflusses der Anzahl von Dübeln besonderer Bauart in einer Verbindung und des Abstandes dieser Dübel insbesondere in Faserrichtung des Holzes.

Um den Einfluß der Anzahl der in der Verbindung enthaltenen Dübel besonderer Bauart und deren Abstand auf die charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung zu ermitteln und damit realistische Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung des Einflusses der Anzahl der Verbindungsmittel in einer mechanischen Holzverbindung angeben zu können, wurden für Holzverbindungen mit Einlaß- und Einpreßdübeln folgende Teiluntersuchungen durchgeführt:

1.2.1 Bestimmung der Korrelation des Last- Verschiebungsverhaltens einzelner Dübel

Bestimmung der Variation und Beschreibung der Korrelation des Last-Verschiebungsverhaltens der einzelnen Dübel innerhalb eines Anschlusses. Hierzu gehört auch die Bestimmung des Anfangsschlupfes insbesondere bei Einlaßdübeln, die in übergroße Löcher bzw. Vertiefungen eingebaut werden sowie diejenige Relativverschiebung zwischen den Fügeteilen, bei der erstmals ein Aufspalten oder Abscheren des Holzes auftritt.

1.2.2 Entwicklung eines mechanischen Modells

Überprüfen bestehender mechanischer Modelle bzw. Entwickeln eines wirklichkeitsnahen mechanischen Modells, mit dem die Traglast von Dübeln unter Berücksichtigung folgender Einflüsse berechnet werden kann:

- Elastische Verformung der miteinander verbundenen Bauteile.
- Nichtlinearer Verlauf der Last-Verschiebungskurven der einzelnen Verbindungen innerhalb des Gesamtanschlusses.

1.2.3 Simulation einer großen Anzahl von Bauteilen

Simulieren einer großen Anzahl mechanisch verbundener Bauteile mit Dübeln besonderer Bauart auf der Grundlage der Ergebnisse von 1.2.1 .

1.2.4 Berechnen der Traglasten

Berechnen der Traglasten der simulierten Verbindungen und ihrer charakteristischen Werte für Stichproben mit unterschiedlicher Verbindungsmittelanzahl im Anschluß.

1.2.5 Ableiten von Bemessungsbeiwerten

Ableiten von Bemessungsbeiwerten zur Berücksichtigung der Anzahl der Verbinder im Anschluß durch einen Vergleich charakteristischer Werte der Traglast für unterschiedliche Verbindungsmittelanzahl.

Im Zeitraum August 1989 bis Juli 1990 wurde ein entsprechendes Vorhaben für Nagelverbindungen bei Forintek Canada Corp. in Vancouver, B.C., Kanada, erfolgreich bearbeitet [1 - 5]. Ein Ergebnis dieses abgeschlossenen Forschungsvorhabens ist, daß bei Nagelverbindungen mit bis zu 40 hintereinander angeordneten Nägeln die aufnehmbare Kraft pro Nagel entgegen der Bestimmungen in DIN 1052 nicht abgemindert zu werden bräuchte. Da bei anderen Verbindungsmittelarten als Nägeln jedoch als eine mögliche Versagensursache auch

mit einem Aufspalten des Holzes im Verbindungsbereich zu rechnen ist, können die bei Nagelverbindungen gefundenen Ergebnisse nicht ohne weiteres auf Einlaß- und Einpreßdübelverbindungen übertragen werden. Die gegenwärtigen Regelungen der DIN 1052 über den Einfluß der Anzahl der hintereinander angeordneten Verbindungsmittel können wegen fehlender Versuchsergebnisse nur als Näherung angesehen werden.

Gleichzeitig können die Ergebnisse der geplanten Untersuchungen direkt in die Arbeit der zur Zeit laufenden europäischen Bemühungen, eine einheitliche Regelung für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart zu finden (CEN TC 124, WG 4), einfließen. Dies erscheint um so wichtiger, da z.Zt. in Deutschland zu wenig Versuchsdaten verfügbar sind, aus denen sich die für das einheitliche Sicherheitskonzept notwendigen charakteristischen Tragfähigkeiten von Dübeln besonderer Bauart ableiten ließen. Solche Daten sind jedoch für eine Beurteilung der zu erwartenden Normentwürfe des CEN von großer Wichtigkeit.

2 Vorversuche

2.1 Last- Verschiebungsverhalten einer Verbindung mit einem Dübelpaar

Zur Bestimmung der Variation und Beschreibung der Korrelation des Last-Verschiebungsverhaltens der einzelnen Dübelverbindungen wurden Prüfkörper mit zwei zu prüfenden Dübeltypen und verschiedenen Durchmessern hergestellt. Vor dem Aufteilen in einzelne Prüfkörper wurden die Seiten- und Mittelhölzer durch dünne, aufgeleimte Sperrholzplatten unverschieblich gegeneinander fixiert. Danach wurden die Prüfkörper in fünf Einzeldruckscherkörper aufgetrennt. Für die Versuchsbezeichnung wurde folgendes Schema gewählt:

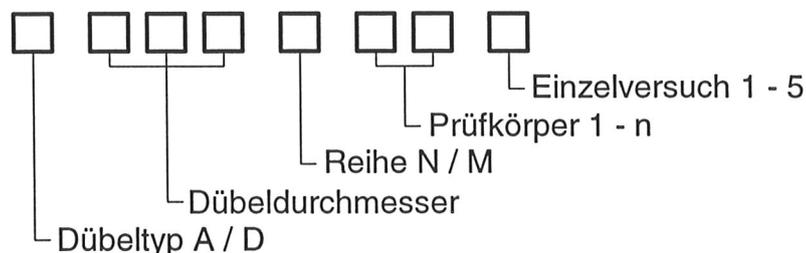


Bild 2-1 Schema für Versuchsbezeichnungen

Vor Versuchsbeginn wurden die Sperrholzplatten an- bzw. aufgeschnitten. Bei Verbindungen mit Einlaßdübeln ist im Gegensatz zu solchen mit Einpreßdübeln ein größerer Schlupf zu erkennen. Dieser Schlupf kann sich auf das Zusammenwirken der einzelnen Verbindungsmittel in einer Verbindung ungünstig auswirken.

2.1.1 Versuchsparameter

Für die Vorversuche wurden 6 Probekörper hergestellt, aus denen wiederum 30 Druckscherkörper herausgeschnitten wurden. Es wurden folgende Parameter für die Vorversuche gewählt:

Tabelle 2-1 Parameter für Vorversuche

Dübeltyp	Durchmesser [mm]	Verhältnis t_1/t_2	Holzabmessungen $t_1/t_2/b/l$ [mm]
A	65	M	35/55/80/160
A	95	M	35/55/120/230
A	128	M	50/85/160/310
D	50	M	30/50/60/120
D	80	M	30/50/100/190
D	115	M	30/50/140/280

Nachstehend sind die einzelnen Parameter näher erläutert:

Dübeltyp: Dübeltyp A (Appel) und Dübeltyp D (Geka) nach DIN 1052- 2

Dübeldurchmesser: Typ A: $d_c = 65; 95$ und 128mm

 Typ D: $d_c = 50; 80$ und 115mm

Verhältnis t_1 / t_2 : Typ A: $3h_e/5h_e$ (Reihe N) und $2,25h_e/3,75h_e$ (Reihe M)

 Typ D: $1,5h_c/2,5h_c$ (Reihe N) und $1,1h_c/1,9h_c$ (Reihe M)

h_e : Einlaßtiefe des Dübels

h_c : Dübelhöhe

2.2 Zugscherversuche mit mehreren in Krafrichtung hintereinanderliegenden Dübeln

Es wurden Zugscherkörper entsprechend Bild 2-2 mit drei hintereinanderliegenden Einlaß- bzw. Einpreßdübeln und verschiedenen Verbindungsmittelabständen geprüft.

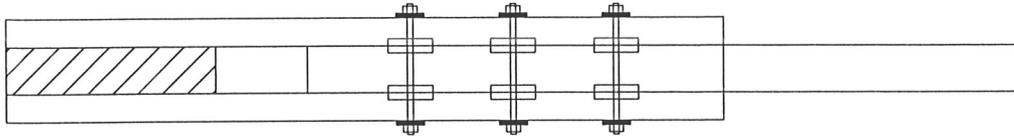


Bild 2-2 Zugscherkörper mit drei hintereinanderliegenden Dübeln

Für die Versuchsbezeichnung wurde folgendes Schema gewählt:

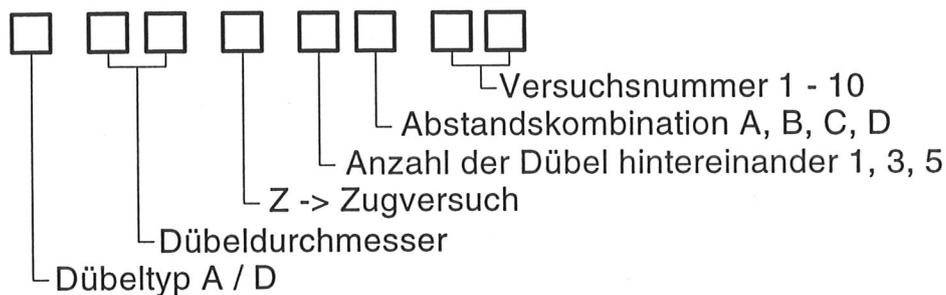


Bild 2-3 Schema für Versuchsbezeichnungen

2.2.1 Versuchsparameter

Für die Vorversuche wurden 6 Prüfkörper, mit je 3 Dübeln hintereinander, hergestellt. Es wurden folgende Parameter für die Vorversuche gewählt:

Tabelle 2-2 Parameter für Vorversuche

Dübeltyp	Durchmesser [mm]	Abstands-kombination	Holzabmessungen $t_1/t_2/b/a_1$ [mm]
A	65	B	45/74/120/130
A	65	D	45/74/120/195
A	95	B	45/74/160/190
D	50	B	40/70/120/100
D	50	D	40/70/120/150
D	80	B	40/70/160/160

Neben den Dübeldurchmessern wurden auch zwei verschiedene Kombinationen von Randabständen (B und D) festgelegt. Nachstehend sind die einzelnen Parameter näher erläutert:

Dübeltyp: Dübeltyp A (Appel) und Dübeltyp D (Geka) nach DIN 1052- 2

Dübeldurchmesser: Typ A: $d_c = 65$ und 95mm

 Typ D: $d_c = 50$ und 80mm

Verbindungsmittelabstand:

Kombination A: $a_1 = 2,0 d_c$; $a_{3,t} = 1,5 d_c$

Kombination B: $a_1 = 2,0 d_c$; $a_{3,t} = 2,0 d_c$

Kombination C: $a_1 = 2,5 d_c$; $a_{3,t} = 2,5 d_c$

Kombination D: $a_1 = 3,0 d_c$; $a_{3,t} = 3,0 d_c$

Verhältnis t_1/t_2 : Typ A: $3h_e/5h_e$

 Typ D: $1,5h_c/2,5h_c$

h_e : Einlaßtiefe des Dübels

h_c : Dübelhöhe

2.3 Auswertung und Ergebnisse der Vorversuche

Die Vorversuche wurden nach DIN EN 26891 "Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens" durchgeführt und ausgewertet.

Tabelle 2-3 Mittelwerte der Vorversuchsergebnisse (Druckscherversuche)

Dübeltyp	\bar{x} F_{\max} [kN]	zul F [kN]	\bar{x} k_s [N/mm]
D50M	37,5	16,0	19000
D80M	64,9	34,0	29400
D115M	107	54,0	127000
A65M	57,1	23,0	12200
A95M	89,5	34,0	36200
A128M	143	56,0	45900

Bild 2-4 zeigt exemplarisch die Last- Verschiebungskurven der Druckscherversuche der D50M- Serie.

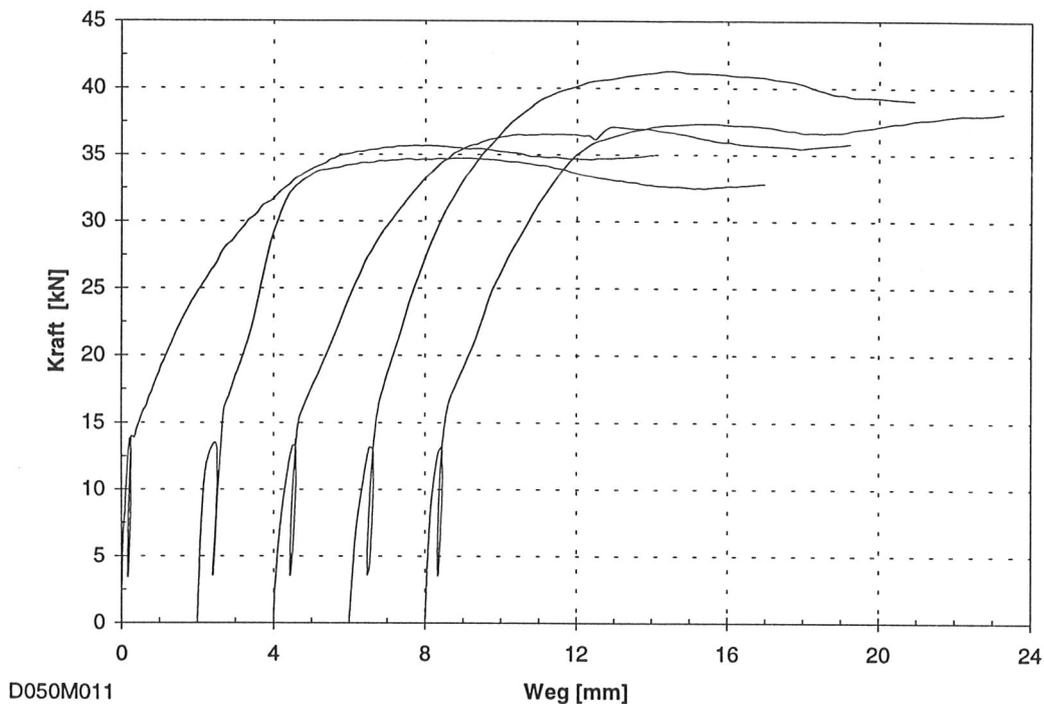


Bild 2-4 Last- Verschiebungskurve der D50M- Serie

Tabelle 2-4 Ergebnisse der Vorversuche (Zugscherversuche)

Dübeltyp	F_{max} [kN]	zul F [kN]	k_s [N/mm]
D50Z3B	110	45,6	44700
D50Z3D	122	45,6	40000
D80Z3B	206	96,9	156000
A65Z3B	155	65,6	22500
A65Z3D	159	65,6	13800
A95Z3B	156	96,9	69500

Bild 2-5 zeigt exemplarisch die Last- Verschiebungskurve der D50Z3- Serie (Zugscherversuch).

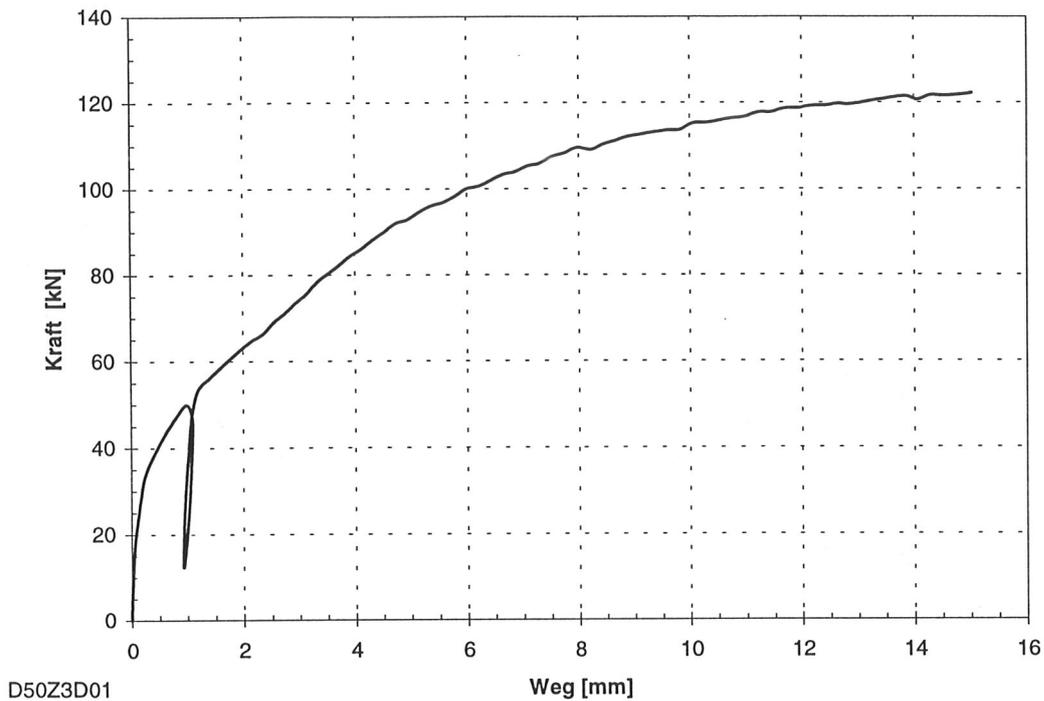


Bild 2-5 Last- Verschiebungskurve der D50Z3- Serie

Die Durchführung und die Auswertung der Vorversuche zeigten, daß das Versuchsprogramm, so wie geplant, durchgeführt werden konnte.

3 Druckscherversuche

3.1 Druckscherversuche mit Einpreßdübeln

Zur Bestimmung der Variation und zur Beschreibung der Korrelation des Last-Verschiebungsverhaltens der einzelnen Dübelverbindungen wurden Prüfkörper mit zwei zu prüfenden Dübeltypen und verschiedenen Durchmessern geprüft. Die Prüfkörper wurden von Zimmereien, Leimbaubetrieben und Meisterschulen des Zimmerhandwerks hergestellt. Damit sollten die in der Praxis unvermeidlichen Paß- und Herstellungsungenauigkeiten bei der Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens mit berücksichtigt werden. Die zur Herstellung der Prüfkörper benötigten Hölzer wurden von den Firmen zur Verfügung gestellt. Die Dübel, Bolzen und Unterlegscheiben wurden den Firmen von der forschenden Stelle zugestellt. Desweiteren erhielt jede Firma genaue Pläne über die herzustellenden Prüfkörper. Jede Firma stellte 10, die Meisterschulen jeweils 25 Prüfkörper her.¹

Bild 3-1 zeigt exemplarisch einen Herstellungsplan eines Prüfkörpers.

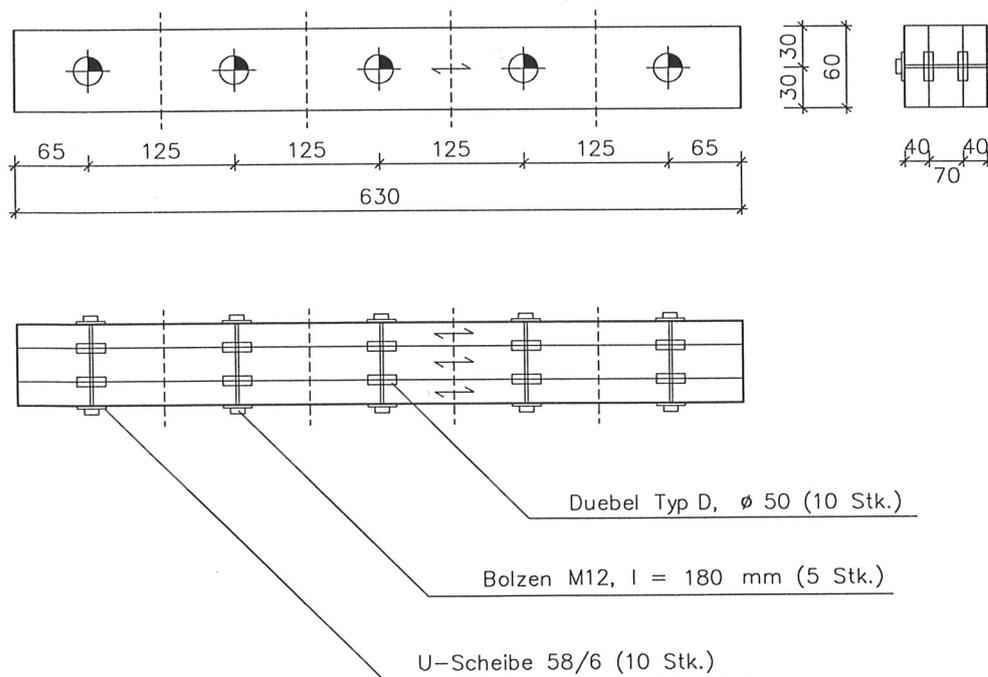


Bild 3-1 Herstellungsplan eines Prüfkörpers der Reihe D

¹ Die Koordination der Rückführung der Prüfkörper zu der prüfenden Stelle oblag dem BDZ (Bund deutscher Zimmermeister)

Jeder der Prüfkörper wurde in 5 Einzelprüfkörper aufgetrennt, um die Variation und Beschreibung der Korrelation des Last-Verschiebungsverhaltens der einzelnen Dübel innerhalb eines Anschlusses bestimmen zu können.

Damit die Information über den Anfangsschlupf nicht verloren ging, wurden die Prüfkörper vor dem Auftrennen durch Aufleimen von dünnen Sperrholzplatten unverschieblich gegeneinander fixiert.

Für die Versuchsbezeichnung wurde folgendes Schema gewählt:

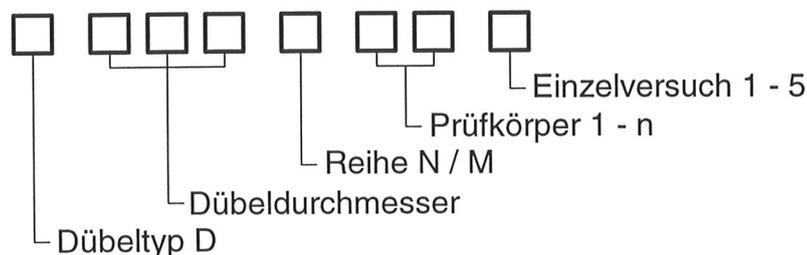


Bild 3-2 Schema für Versuchsbezeichnungen

Vor Versuchsbeginn wurden die Sperrholzplatten an- bzw. aufgeschnitten. Ab dem Zeitpunkt der Anlieferung bis zur Durchführung der Versuche wurden die Prüfkörper in Normalklima nach DIN 50014 - 20/65 -2 gelagert.

3.1.1 Versuchsparameter

Für die Druckscherversuche mit Einpreßdübeln wurden die in Tabelle 3-1 zusammengestellten Parameter gewählt.

Tabelle 3-1 Parameter für Druckscherversuche mit Einpreßdübeln

Dübeltyp	Durchmesser [mm]	Reihe	Verhältnis t_1/t_2	Holzabmessungen $t_1/t_2/b/l$ [mm]
D	50	M	1,1 h_c / 1,9 h_c	30/50/60/120
D	50	N	1,5 h_c / 2,5 h_c	40/70/60/120
D	80	M	1,1 h_c / 1,9 h_c	30/50/100/190
D	80	N	1,5 h_c / 2,5 h_c	40/70/100/190
D	115	M	1,1 h_c / 1,9 h_c	30/50/140/280
D	115	N	1,5 h_c / 2,5 h_c	40/70/140/280

Neben den Dübeldurchmessern wurden auch zwei verschiedene Kombinationen von Holzdimensionen (M und N) festgelegt. Nachstehend sind die einzelnen Parameter erläutert:

Dübeltyp D: Dübeltyp D, nach DIN 1052- 2 (Einpreßdübel)

h_c : Dübelhöhe

t_1 : Seitenholzdicke

t_2 : Mittelholzdicke

b : Breite der Hölzer

l : Länge der Einzelprüfkörper

N: Normale Holzabmessungen (im Bereich der in DIN 1052- 2 geforderten Mindestholzabmessungen)

M: Minimale Holzabmessungen (geringere Holzabmessungen als bei der Reihe N)

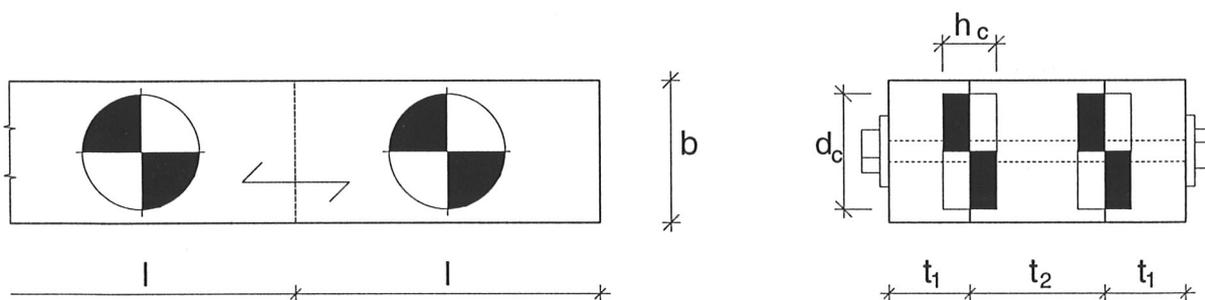


Bild 3-3 Bezeichnungen für Prüfkörper

Für die Herstellung der Prüfkörper galten folgende Vorgaben:

- Seiten- und Mittelhölzer aus gehobeltem Nadelholz (Fichte/Tanne) der Sortierklasse S10.
- Schraubenbolzen der Festigkeitsklasse 4.6 nach DIN EN 20898- 1.
- Dübel besonderer Bauart und U-Scheiben nach DIN 1052- 2.

3.1.2 Versuchsprogramm

Es wurden drei verschiedene Dübeldurchmesser mit jeweils zwei Serien (M und N) geprüft. Die ungleiche Anzahl von Prüfkörpern kam daher, daß einige Firmen ihrer Zusage nicht nachkamen, die Prüfkörper herzustellen.

Tabelle 3-2 Vorhandene Prüfkörper für Druckscherversuche mit Einlaßdübeln

Dübeltyp	Durchmesser [mm]	Reihe	Anzahl	Anzahl Einzelprüfkörper
D	50	M	9	45
D	50	N	9	45
D	80	M	11	55
D	80	N	11	55
D	115	M	10	50
D	115	N	9	45

$$\Sigma = 295$$

Der Versuchsaufbau wurde entsprechend den Vorversuchen gewählt. Die Seitenhölzer lagerten auf 20mm dicken Stahlplatten. Eine Universalprüfmaschine (250kN) erzeugte die Prüfkraft. Unter deren Druckkolben lag ebenfalls eine 20mm dicke Stahlplatte, die als Kraftereinleitungselement in das Mittelholz diente. An den Mittelhölzern waren zwei Wegaufnehmer (W20) an Vorder- und Rückseite angebracht, mit denen die Relativverschiebung der Seiten- und Mittelhölzer gemessen wurde. An die Seitenhölzer wurden U-förmige Blechbügel geschraubt, die die Basis für die Wegaufnehmer bildeten.

Bild 3-4 zeigt den Versuchsaufbau der Druckscherversuche.

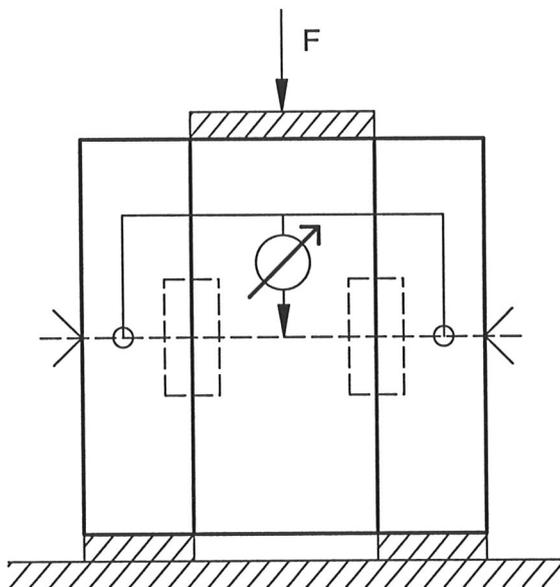


Bild 3-4 Versuchsaufbau für Druckscherversuche

3.1.3 Durchführung und Auswertung der Versuche

Die Durchführung der Versuche mit Einpreßdübeln erfolgte nach DIN EN 26891 "Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens". Hierin ist insbesondere die Vorgehensweise zur Ermittlung der Traglast F_{\max} und des Verschiebungsmoduls k_s geregelt.

Die einzelnen Prüfkörper wurden nach Dübeldurchmesser, Querschnittskombination (Reihe M und N) und Hersteller sortiert und geprüft. Zur Ermittlung der Rohdichte und der Holzfeuchte wurde jeweils der mittlere der fünf Einzelprüfkörper einer Serie herangezogen. Die Holzfeuchte der Druckscherkörper wurde nach DIN 52183 (Darrverfahren) ermittelt, und lag im Bereich von 10,7% bis 14,2%.

Bild 3-5 zeigt beispielhaft die 5 Last- Verschiebungskurven der D50N-Serie eines Herstellers.

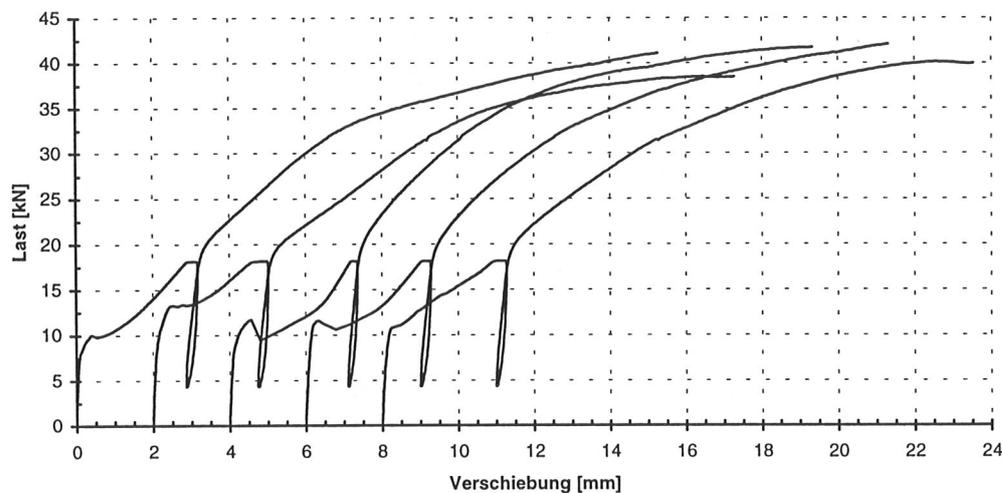


Bild 3-5 Last- Verschiebungskurven eines Prüfkörpers

Für jeden Einzelversuch wurden die Traglast und der Verschiebungsmodul nach DIN EN 26891 ermittelt. Die geschätzte Höchstlast F_{est} berechnete sich durch Multiplikation der zulässigen Lasten zweier Dübel nach DIN 1052- 2, mit dem Faktor 2,7. Die so ermittelten Werte für F_{est} lagen in dem in DIN EN 26891 geforderten Bereich von:

$$0,8 \cdot F_{\max} \leq F_{\text{est}} \leq 1,2 \cdot F_{\max}$$

Für jeden Einzelversuch wurden folgende Werte nach DIN EN 26891 ermittelt:

- Höchstlast F_{\max}
- Anfangsverschiebung $v_i = v_{04} =$ Verschiebung bei 40% F_{est}
- Verschiebung $v_{01} =$ Verschiebung bei 10% F_{est}

- modifizierte Anfangsverschiebung $v_{i, \text{mod}} = \frac{4}{3} \cdot (v_{04} - v_{01})$
- Verschiebungsmodul $k_s = \frac{0,4 \cdot F_{\text{est}}}{v_{i, \text{mod}}}$
- Verschiebung bei 80% der zulässigen Lasten nach DIN 1052- 2, $v_{0,8 \text{ zul F}}$
- Verschiebung bei den zulässigen Lasten nach DIN 1052- 2, $v_{\text{zul F}}$

Bei der Auswertung der Versuche konnte kein Anfangsschlupf festgestellt werden, da die Zähne der Dübel fest im Holz sitzen und dadurch ein Anfangsschlupf verhindert wird.

Tabelle 3-3 Minimal- und Maximalwerte der Einzelprüfkörper

Dübeltyp	zul F DIN 1052- 2 [kN]	F _{max} [kN]		v (0,8 zul F) [mm]		v (zul F) [mm]		k _s ² [N/mm]	
		min	max	min	max	min	max	min	max
D50M	16,0	28,2	48,2	0,31	2,68	0,67	3,41	3550	38300
D50N	16,0	36,0	47,8	0,36	4,10	1,21	4,74	2500	11600
D80M	34,0	44,6	81,2	0,33	3,15	0,68	4,28	7150	68800
D80N	34,0	58,2	103	0,25	2,97	0,42	3,69	7450	67700
D115M	54,0	90,2	111	0,52	2,67	1,01	3,78	13000	86300
D115N	54,0	100	136	0,43	3,66	0,77	4,64	9120	84600

Die in Tabelle 3-3 ersichtlichen Streuungen der Prüfergebnisse lassen sich für Einpreßdübel auf zwei wesentliche Faktoren zurückführen:

- Schwankungen der Rohdichten der verwendeten Hölzer
- Herstellungsbedingte Paßungenauigkeiten

Bei zweiseitigen Einpreßdübeln wird die Kraft zunächst von einem Bauteil über Lochleibungsspannungen in die Zähne des Dübels und dann weiter über die Grundplatte und die Zähne der anderen Seite in das zweite Bauteil übertragen. Es besteht eine enge Korrelation zwischen Rohdichte und der Lochleibungsfestigkeit eines Holzes, wodurch die Unterschiede bei den Traglasten erklärt werden können. Die Auswertung erfolgte mit dem kleinsten Wert der Rohdichte aus den beiden

² Der Verschiebungsmodul k_s wurde für die gesamte Verbindung bestimmt (2 Dübel).

Seitenhölzern und des Mittelholzes einer Herstellerreihe. Die Rohdichten der geprüften Hölzer schwankten zwischen 355 kg/m^3 und 582 kg/m^3 .

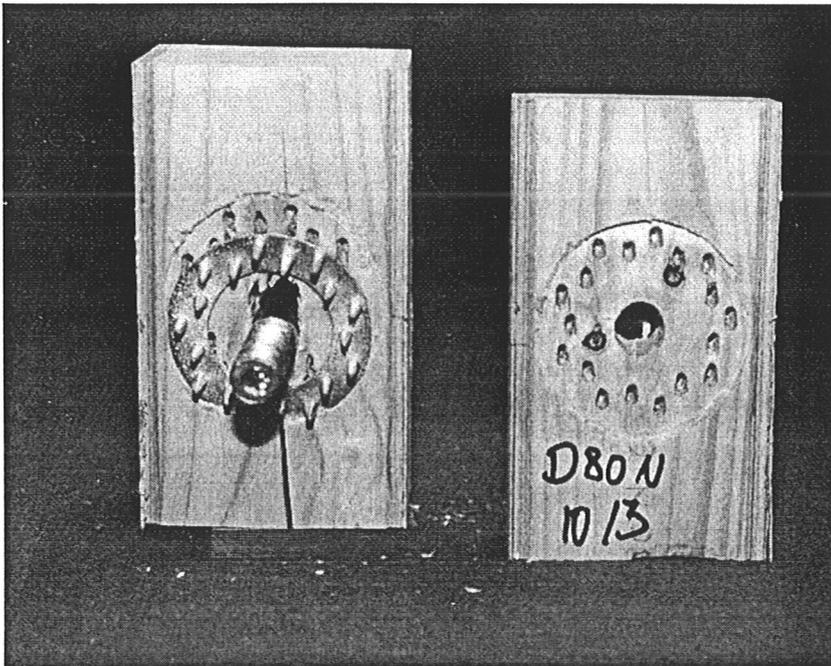


Bild 3-6 Geöffneter Prüfkörper D80N nach dem Versuch

Nach Abschluß der Versuche wurden an den Prüfkörpern die Frästiefe und der Fräsdurchmesser der eingelassenen Grundplatte gemessen. Die Dicke der Grundplatten aller geprüften Einpreßdübel betrug $t_c = 3,0 \text{ mm}$, die Dübelhöhe $h_c = 27 \text{ mm}$. Es ergibt sich eine maximale Eindringtiefe t_z der Zähne zu:

$$t_z = \frac{1}{2} \cdot (h_c - t_c) = \frac{1}{2} (27 \text{ mm} - 3 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$$

Die gemessenen Frästiefen der Versuchskörper lagen zwischen 0 mm und 9 mm . Wegen der reduzierten Eindringtiefe der Zähne in das Holz können Verbindungen mit zu tief eingelassenen Einpreßdübeln nicht ihre volle Traglast erreichen. Diese Serien mit zu tief eingelassenen Grundplatten zeigten deutlich kleinere Traglasten als die nach DIN 1052- 2 hergestellten Prüfkörper. Nach DIN 1052- 2, 4.3.3 dürfen die Grundplatten bis zu 3 mm eingelassen werden. Die Serien, die große Paßungengenauigkeiten bei den Verbindungen zeigten, und somit nicht nach DIN 1052- 2 hergestellt wurden, wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

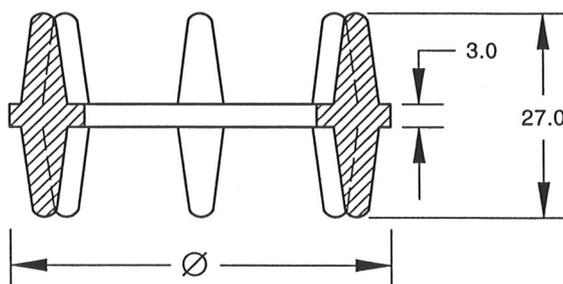


Bild 3-7 Geometrie Einpreßdübel Typ D

Im nächsten Schritt wurden die ermittelten Daten zu Gruppen eines Herstellers, d.h. zu Gruppen mit jeweils 5 Datensätzen, zusammengefaßt. Mit diesen Datengruppen konnten die Mittelwerte der Traglasten, der Verschiebungsmoduln, der Verschiebungen bei 0,8 zur F und zur F eines Prüfkörpers bestimmt werden. Die Zusammenstellung der ermittelten Werte und die Last- Verschiebungsdiagramme finden sich in **Anlage 3-1 bis 3-50**.

Die Last- Verschiebungskurven aus 5 Einzelversuchen wurden zu einer Kurve gemittelt. Diese gemittelten Kurven wurden wiederum zu einer Gesamtkurve zusammengefaßt.

In Bild 3-8 sind die aus 5 Einzelversuchen gemittelten Last- Verschiebungskurven und die gemittelte Gesamtkurve für die Serie D50M dargestellt.

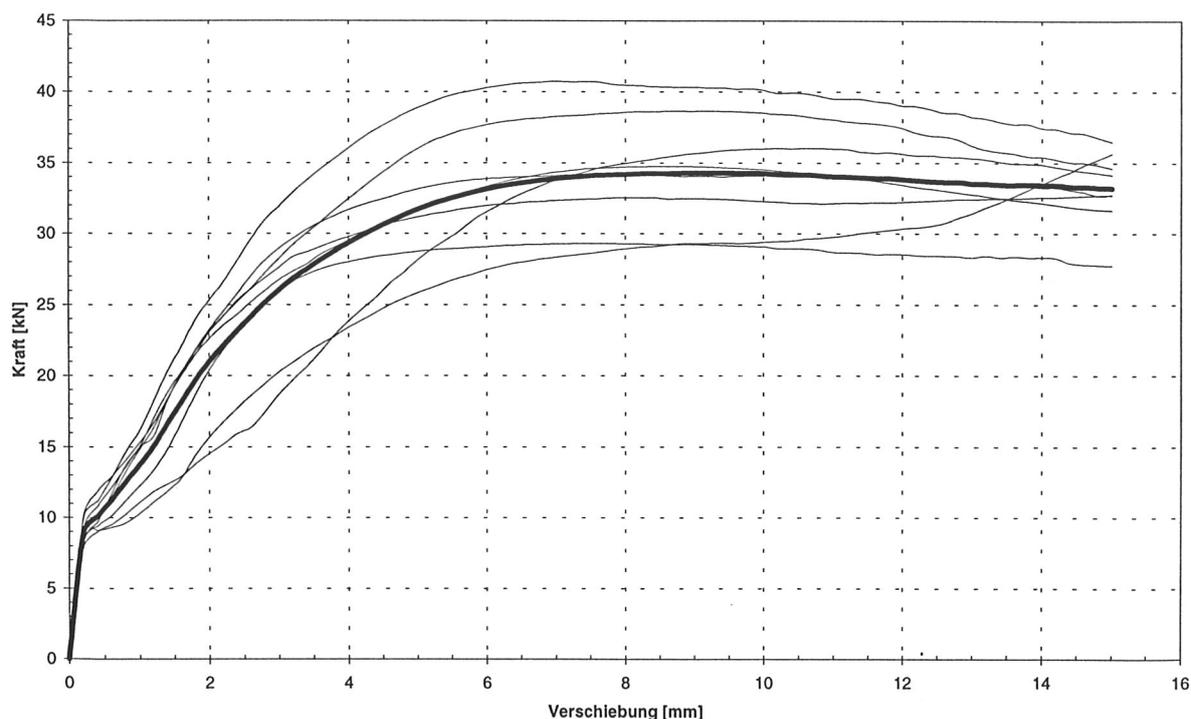


Bild 3-8 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der D50M- Serie

Die fett gezeichnete Kurve stellt den Mittelwert aller Einzelversuche der D50M- Serie dar. Im unteren Lastbereich erhöhen die aufgeleimten Sperrholzplatten die Steifigkeit der Verbindung. Diese Erhöhung der Anfangssteifigkeit einer Dübelverbindung wurde in der Auswertung jedoch nicht berücksichtigt.

3.1.4 Gegenüberstellung der M- und N- Serien

Die Auswertung der Serien M und N der Einpreßdübel ergaben unterschiedliche Traglasten. Dies lag daran, daß beim Erreichen der Traglast ein Spaltversagen der Prüfkörper auftrat. Infolge der größeren Holzquerschnitte boten die Prüfkörper der N-Serie einen größeren Spaltwiderstand als die M- Serie. Vor Erreichen der Traglast

erfuhr der Einpreßdübel eine große plastische Verformung. Das Abscheren des Vorholzes wurde durch den Versuchsaufbau bei den Druckscherkörpern verhindert. Der Einfluß des Abscherens der Vorhölzer wurde bei den Zugscherkörpern untersucht.

Tabelle 3-4 zeigt die unterschiedlichen Mittelwerte der Traglasten und Verschiebungen der M und N Serien, bezogen auf jeweils den gleichen Dübeldurchmesser.

Tabelle 3-4 Mittelwerte der Versuchsergebnisse der M und N Serien

Dübeltyp	\bar{x}	\bar{x}
	F_{\max} [kN]	$v_{\text{zul } F}$ [mm]
D50M	35,9	1,4
	(34,6)	(1,6)
D50N	43,0	2,5
	(42,3)	(2,5)
D80M	62,8	2,4
D80N	82,1	2,2
	(80,0)	(2,2)
D115M	99,0	1,9
D115N	114	1,9

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052- 2 hergestellt waren (Frästiefe, vgl. Abschn. 3.1.3), nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Eine Auswirkung des Durchmessers der eingefrästen Vertiefungen auf die Traglast konnte nicht festgestellt werden.

Tabelle 3-5 zeigt exemplarisch die Korrelationen der D50M- Serie.

Tabelle 3-5 Korrelationen der Auswertungsparameter der D50M- Serie

D50M	F_{\max}	k_s	$v (0,8zul.F)$	$v (zul.F)$	$\min \rho$
F_{\max}	1,0 (0,33)	0,09 (0,33)	0,00 (-0,43)	-0,05 (-0,46)	0,66 (0,37)
k_s	0,09 (0,33)	1,0	-0,69 (0,68)	-0,63 (-0,64)	-0,21 (-0,21)
$v (0,8zul.F)$	0,00 (-0,43)	-0,69 (0,68)	1,0	0,97 (0,98)	0,05 (0,08)
$v (zul.F)$	-0,05 (-0,46)	-0,63 (-0,64)	0,97 (0,98)	1,0	0,00 (0,05)
$\min \rho$	0,66 (0,37)	-0,21 (-0,21)	0,05 (0,08)	0,00 (0,05)	1,0

3.1.5 Rechenmodell

Bei vielen Versuchen der Reihe D (Einpreßdübel) wurde als Versagensursache das Erreichen der Lochleibungsfestigkeit des Holzes sowohl unter den Dübelzähnen als auch unter dem Bolzen beobachtet. Da Verbindungen mit Einpreßdübeln im allgemeinen beträchtliche plastische Verformungen vor dem Erreichen der Höchstlast zeigen, kann ein Zusammenwirken von Einpreßdübeln und Bolzen angenommen werden.

Das Modell zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Einpreßdübelverbindungen berücksichtigt das Zusammenwirken des Dübels und des Bolzens. Die verwendeten Gleichungen sind in Anlehnung an die europäische Normung der STEP- Reihe [6] entnommen.

Die Tragfähigkeit berechnet sich zu:

$$R_{j,k} = R_{c,k} + R_{b,k}$$

wobei

$R_{j,k}$ die charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung mit Dübel und Bolzen,

$R_{c,k}$ die charakteristische Tragfähigkeit des Einpreßdübels und

$R_{b,k}$ die Tragfähigkeit des Bolzens nach DIN V ENV 1995, Teil 1-1 (EC 5) mit den charakteristischen Werten der Lochleibungsfestigkeit und des Fließmoments des Bolzens ist.

Die charakteristische Tragfähigkeit eines runden Einpreßdübels kann durch folgende empirische Gleichung beschrieben werden:

$$R_{c,k} = A d_c^{1,5}$$

wobei d_c der Dübeldurchmesser und A ein vom Einpreßdübeltyp abhängiger Faktor ist, der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu 25 bestimmt wurde.

Hieraus ergibt sich folgende Gleichung zur Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit eines Einpreßdübels:

$$R_{c,k} = 25 k_p k_{a3} k_t d_c^{1,5} \text{ (N)}$$

$$k_p = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right.$$

Hierin ist ρ_k die charakteristische Rohdichte der Sortierklasse des Holzes in $[\text{kg}/\text{m}^3]$.

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2 d_c} \end{array} \right.$$

Hierin ist $a_{3,t}$ der Abstand zum beanspruchten Hirnholzende mit einem Mindestwert von

$$a_{3,t,\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 d_c \\ 7 d_b \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right.$$

mit d_b als Bolzendurchmesser in $[\text{mm}]$.

Der Modifikationsbeiwert für die Mittel- bzw. Seitenholzdicke lautet:

$$k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{1,5 h_c} \\ \frac{t_2}{2,5 h_c} \end{array} \right.$$

Hierin sind t_1 und t_2 die Seiten- bzw. Mittelholzdicke und h_c ist die Dübelhöhe bei zweiseitigen und die zweifache Dübelhöhe bei einseitigen Einpreßdübeln. Die Bemessungsgleichung ist nur unter der Voraussetzung gültig, daß t_1 bzw. t_2 größer sind als $1,1 h_c$ bzw. $1,9 h_c$.

Die charakteristische Tragfähigkeit eines Bolzens berechnet sich nach den Gleichungen 6.2.1 g/h/j/k des EC 5 [7].

3.1.6 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten

Um die Gültigkeit des Rechenmodells für Einpreßdübel zu überprüfen, wurden die Tragfähigkeiten nach obigem Modell berechnet und mit den Versuchsergebnissen verglichen. Für die Bestimmung des Faktors k_p wird die tatsächliche Rohdichte des Prüfkörpers verwendet.

Beispielhaft wird die Berechnung der Tragfähigkeit der Serie D50M gezeigt.

$$R_{c,k} = 25 k_p k_{a3} k_t d_c^{1,5} \text{ (N)}$$

$$k_p = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{\rho}{350} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{451}{350} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \underline{\underline{1,289}} \end{array} \right.$$

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2 d_c} \end{array} \right. = 1^3$$

$$k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{1,5 h_c} \\ \frac{t_2}{2,5 h_c} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{30\text{mm}}{1,5 \cdot 27\text{mm}} \\ \frac{50\text{mm}}{2,5 \cdot 27\text{mm}} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 0,741 \\ 0,741 \end{array} \right.$$

³ Der Versuchsaufbau der Druckscherversuche läßt ein Abscheren des Vorholzes nicht zu. Der Faktor k_{a3} wird deshalb zu 1 gesetzt.

$$R_{c,k} = 25 \cdot 1,289 \cdot 1 \cdot 0,741 \cdot 50^{1,5} = 8440 \text{ N}$$

Die charakteristische Tragfähigkeit des Bolzens berechnet sich zu:

$$R_k = \min. \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & 6.2.1 \text{ g} \\ 0,5 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta & 6.2.1 \text{ h} \\ 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] & 6.2.1 \text{ j} \\ 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} & 6.2.1 \text{ k} \end{cases}$$

Verwendete Bezeichnungen:

t_1 und t_2 Seiten- und Mittelholzdicken

$f_{h,1,k}$ ($f_{h,2,k}$) charakteristische Werte der Lochleibungsfestigkeiten in t_1 (t_2)

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad [\text{N/mm}^2]$$

Gleichung für charakteristische Lochleibungsfestigkeit

d Durchmesser Bolzen

$M_{y,k}$ charakteristischer Wert des Fließmomentes des Verbindungsmittels

$$M_{y,k} = 0,8 \cdot f_{u,k} \cdot \frac{d^3}{6} \quad [\text{Nmm}]$$

Gleichung für charakteristisches Fließmoment

$f_{u,k}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Stahles

$\rho_k = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ charakteristische Rohdichte für NH, S10

$$f_{u,k} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$\beta = 1$ Quotient der Lochleibungsfestigkeiten ($f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$)

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,8 \cdot 400 \cdot \frac{12^3}{6} = 92160 \text{ Nmm}$$

$$R_{b,k} = \min. \begin{cases} 27,42 \cdot 30 \cdot 12 = 9871 \text{ N} \\ 0,5 \cdot 27,42 \cdot 50 \cdot 12 \cdot 1 = 8226 \text{ N} \\ 1,1 \cdot \frac{27,42 \cdot 30 \cdot 12}{2+1} \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1+1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2+1) \cdot 92160}{27,42 \cdot 12 \cdot 30^2}} - 1 \right] = \underline{\underline{6447 \text{ N}}} \\ 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1+1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 92160 \cdot 27,42 \cdot 12} = 8566 \text{ N} \end{cases}$$

$$R_{j,k} = R_{c,k} + R_{b,k}$$

$$R_{j,k} = 2 \cdot (8535 \text{ N} + 6447 \text{ N}) = 29964 \text{ N}$$

Die Übereinstimmung der berechneten Werte zu den Traglasten aus den Versuchen zeigt, daß das Rechenmodell für die auf Druck beanspruchten Einpreßdübel wirklichkeitsnahe Ergebnisse liefert.

In Bild 3-9 sind die von der Rohdichte abhängigen Berechnungsergebnisse (Gerade) und die Versuchsergebnisse der D50M-Serie dargestellt.

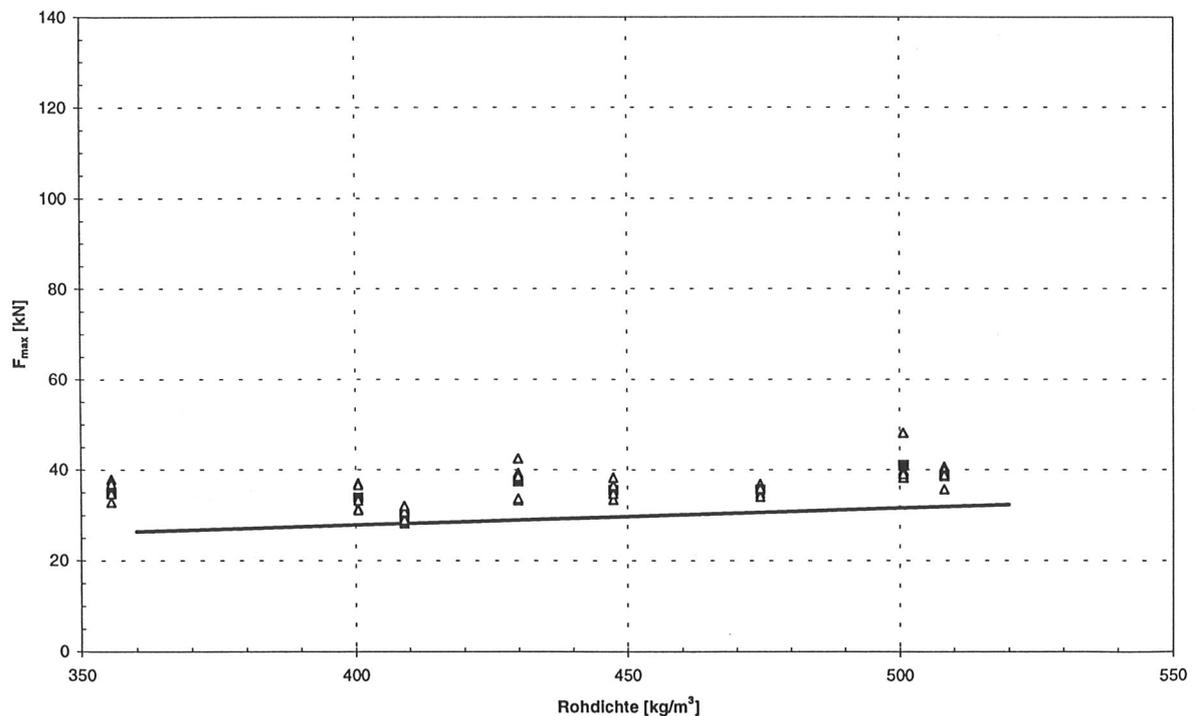


Bild 3-9 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D50M- Serie

In Tabelle 3-6 sind die Verhältnisse der 5%- Fraktile zu den charakteristischen Werten der Druckversuche zusammengestellt.

Tabelle 3-6 Verhältnis 5%- Fraktile zu charakteristischen Werte

Dübeltyp	$R_{j,k}$ [kN]	$F_{0,05}$ [kN]	$F_{0,05} / R_{j,k}$
D50M	27,1	28,8 (24,1)	1,06
D50N	33,1	37,92 (36,2)	1,14
D80M	53,7	47,3 (47,3)	0,88
D80N	70,9	63,0 (57,6)	0,89
D115M	78,0	91,0 (91,0)	1,17
D115N	106	100 (100)	0,95

Die Serien D80M, D80N und D115N weisen eine kleinere 5%- Fraktile als die charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung auf. Dies liegt daran, daß Prüfkörperserien mit geringen Paßungenauigkeiten für die Auswertung verwendet wurden. Prüfkörper mit zu tief eingelassenen Grundplatten können nicht ihre volle Traglast erreichen. Abhängig von der jeweiligen Rohdichte können die ungenau hergestellten Prüfkörper jedoch hohe Traglasten erreichen. In den Bildern A3-38, A3-52 und A3-64 ist zu erkennen, daß entweder sämtliche Traglasten einer Herstellerserie oberhalb oder unterhalb der berechneten charakteristischen Tragfähigkeit liegen. Dies deutet auf einen signifikanten Einfluß der Art der Herstellung der Prüfkörper hin. Die Ergebnisse der ungenau hergestellten Prüfkörper haben jedoch keinen Einfluß auf die Richtigkeit des Berechnungsmodells.

3.2 Druckscherversuche mit Einlaßdübeln

Zur Bestimmung der Variation und zur Beschreibung der Korrelation des Last-Verschiebungsverhaltens der einzelnen Dübelverbindungen wurden Prüfkörper mit Einlaßdübeln Typ A und verschiedenen Durchmessern geprüft. Die Prüfkörper wurden von Zimmereien, Leimbaubetrieben und Meisterschulen des Zimmerhandwerks hergestellt. Damit sollten die in der Praxis unvermeidlichen Paß- und Herstellungsungenauigkeiten bei der Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens mit berücksichtigt werden. Die zur Herstellung der Prüfkörper benötigten Hölzer wurden von den Firmen zur Verfügung gestellt. Die Dübel, Bolzen und Unterlegscheiben wurden den Firmen von der forschenden Stelle zugestellt. Jede Firma stellte 10 Prüfkörper, die Meisterschulen jeweils 25 Prüfkörper her.⁴

Bild 3-10 zeigt exemplarisch einen Herstellungsplan der Prüfkörper.

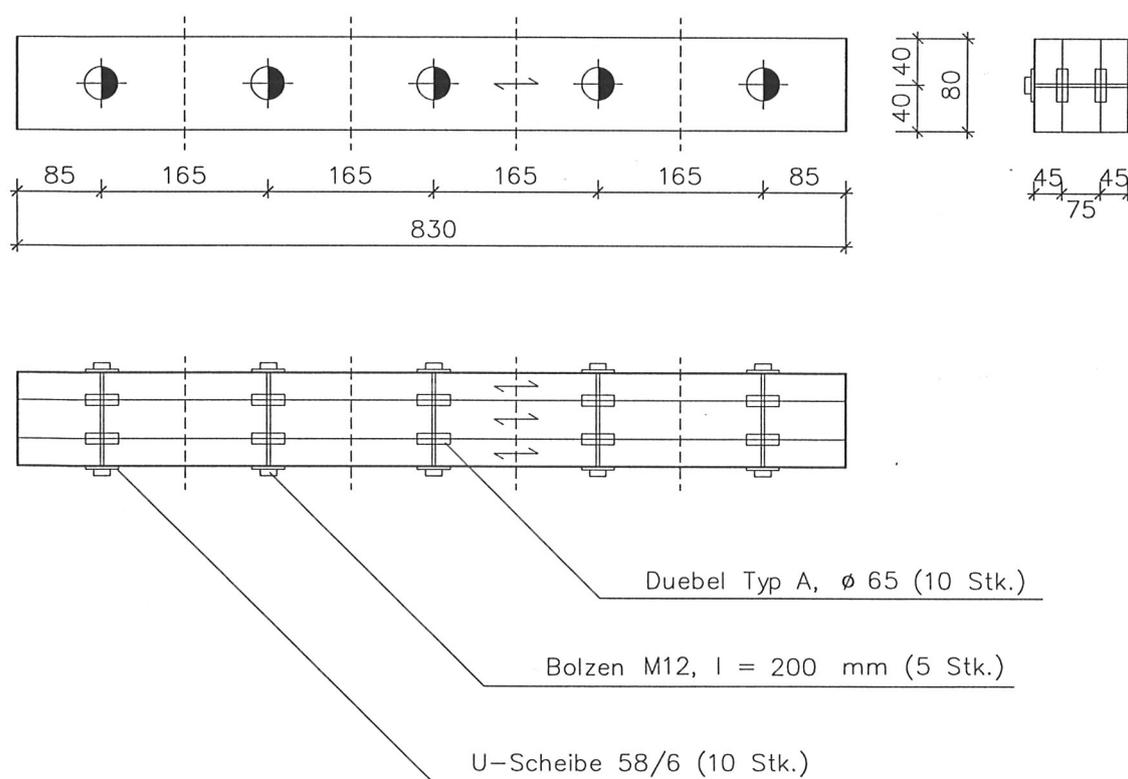


Bild 3-10 Herstellungsplan eines Prüfkörpers der Reihe A

⁴ Die Koordination der Rückführung der Prüfkörper zu der prüfenden Stelle oblag dem BDZ (Bund deutscher Zimmermeister)

Jeder der Prüfkörper wurde in 5 Einzelprüfkörper aufgetrennt, um die Variation und Beschreibung der Korrelation des Last-Verschiebungsverhaltens der einzelnen Dübel innerhalb eines Anschlusses bestimmen zu können.

Damit die Information über den Anfangsschlupf nicht verloren ging, wurden die Prüfkörper vor dem Auftrennen durch Aufleimen von dünnen Sperrholzplatten unverschieblich gegeneinander fixiert.

Für die Versuchsbezeichnung wurde folgendes Schema gewählt:

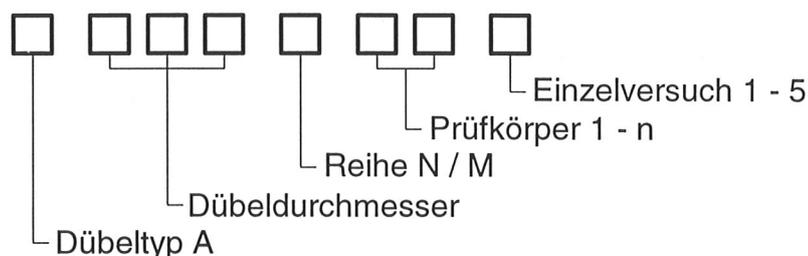


Bild 3-11 Schema für Versuchsbezeichnungen

Vor Versuchsbeginn wurden die Sperrholzplatten an- bzw. aufgeschnitten. Ab dem Zeitpunkt der Anlieferung bis zur Durchführung der Versuche wurden die Prüfkörper in Normalklima nach DIN 50014 - 20/65 - 2 gelagert.

3.2.1 Versuchsparameter

Für die Druckscherversuche mit Einlaßdübeln wurden folgende Parameter gewählt:

Tabelle 3-7 Parameter für Druckversuche mit Einlaßdübeln

Dübeltyp	Durchmesser [mm]	Reihe	Verhältnis t_1/t_2	Holzabmessungen $t_1/t_2/b/l$ [mm]
A	65	M	$2,25 h_e / 3,75 h_e$	35/55/80/160
A	65	N	$3,0 h_e / 5,0 h_e$	45/75/80/160
A	95	M	$2,25 h_e / 3,75 h_e$	35/55/120/230
A	95	N	$3,0 h_e / 5,0 h_e$	45/75/120/230
A	128	M	$2,25 h_e / 3,75 h_e$	50/85/160/310
A	128	N	$3,0 h_e / 5,0 h_e$	70/115/160/310

Neben den Dübeldurchmessern wurden auch zwei verschiedene Kombinationen von Holzdimensionen (M und N) festgelegt. Nachstehend sind die einzelnen Parameter näher erläutert:

Dübeltyp: Dübeltyp A nach DIN 1052- 2

h_e : Einlaßtiefe des Dübels

t_1 : Seitenholzdicke

t_2 : Mittelholzdicke

b : Breite der Hölzer

l : Länge der Einzelprüfkörper

N: Normale Holzabmessungen (im Bereich der in DIN 1052- 2 geforderten Mindestholzabmessungen)

M: Minimale Holzabmessungen (geringere Holzabmessungen als bei der Reihe N)

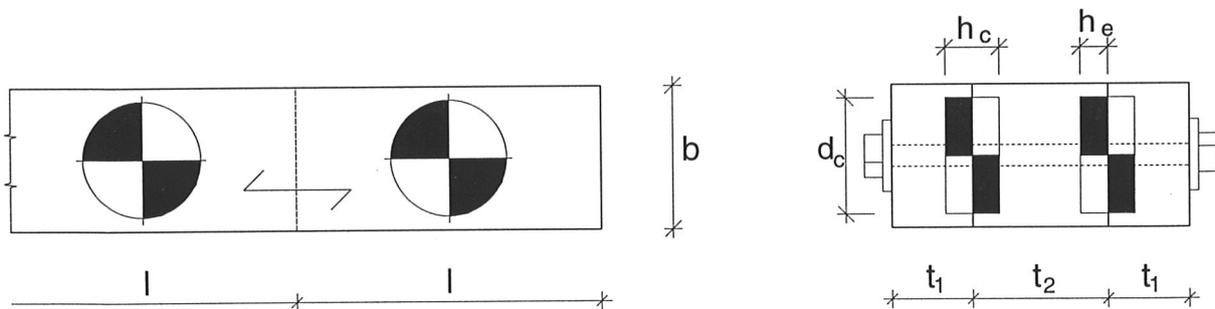


Bild 3-12 Prüfkörperbezeichnungen

Für die Herstellung der Prüfkörper galten folgende Vorgaben:

- Seiten- und Mittelhölzer aus gehobeltem Nadelholz (Fichte/Tanne) der Sortierklasse S10.
- Schraubenbolzen der Festigkeitsklasse 4.6 nach DIN EN 20898- 1.
- Dübel besonderer Bauart und U-Scheiben nach DIN 1052- 2.

3.2.2 Versuchsprogramm

Es wurden drei verschiedene Dübeldurchmesser mit jeweils zwei Serien (M und N) geprüft. Die ungleiche Anzahl von Prüfkörpern kam daher, daß einige Firmen ihrer Zusage nicht nachkamen, die Prüfkörper herzustellen.

Tabelle 3-8 Vorhandene Prüfkörper für Druckversuche mit Einpreßdübeln

Dübeltyp	Durchmesser [mm]	Reihe	Anzahl	Anzahl Einzelprüfkörper
A	65	M	13	65
A	65	N	13	65
A	95	M	12	60
A	95	N	12	60
A	128	M	12	60
A	128	N	13	65

$$\Sigma = 375$$

Der Versuchsaufbau wurde entsprechend den Vorversuchen gewählt. Die Seitenhölzer lagerten auf 20mm dicken Stahlplatten. Eine Universalprüfmaschine (250kN) erzeugte die Prüfkraft. Unter deren Druckkolben lag ebenfalls eine 20mm dicke Stahlplatte, die als Krafteinleitungselement in das Mittelholz diente. An den Mittelhölzern waren zwei Wegaufnehmer (W20) an Vorder- und Rückseite angebracht, mit denen die Relativverschiebung der Seiten- und Mittelhölzer gemessen wurde. An die Seitenhölzer wurden U-förmige Blechbügel geschraubt, die die Basis für die Wegaufnehmer bildeten.

Bild 3-13 zeigt den Versuchsaufbau der Druckscherversuche.

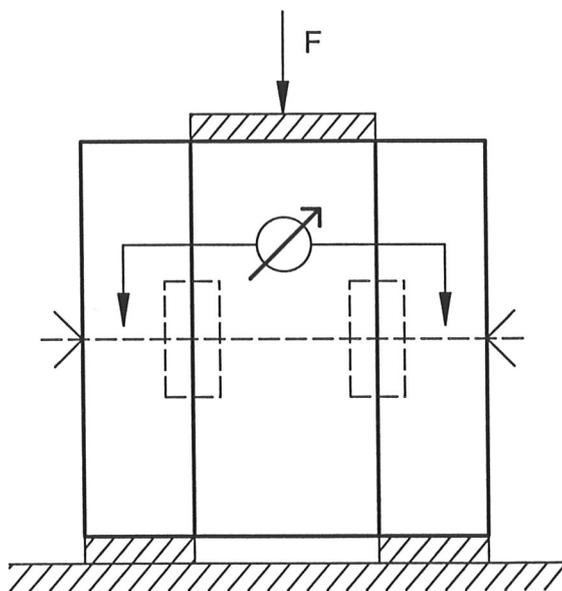


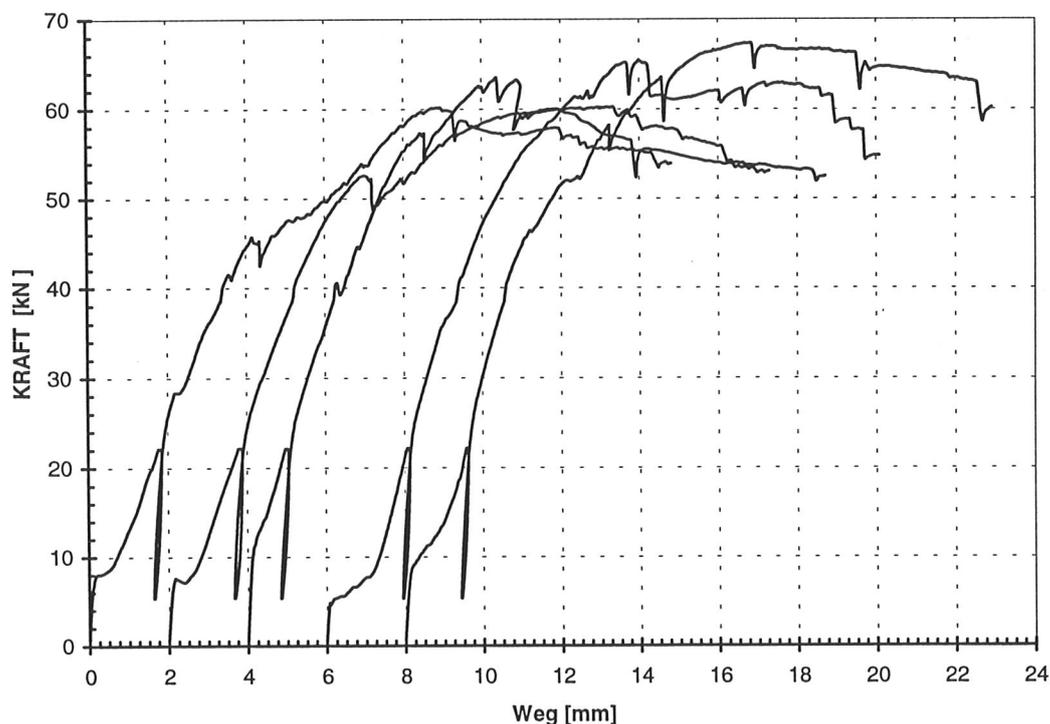
Bild 3-13 Versuchsaufbau für Druckscherversuche

3.2.3 Durchführung und Auswertung der Versuche

Die Durchführung der Versuche mit Einlaßdübeln erfolgte nach DIN EN 26891 "Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens". Hierin ist insbesondere die Vorgehensweise zur Ermittlung der Traglast F_{\max} und des Verschiebungsmoduls k_s geregelt.

Die einzelnen Versuchskörper wurden nach Dübeldurchmesser, Querschnittskombination (Reihe M und N) und Hersteller sortiert und geprüft. Zur Ermittlung der Rohdichte und der Holzfeuchte wurde jeweils der mittlere der fünf Einzelprüfkörper herangezogen. Die Holzfeuchte der Druckscherkörper wurde nach DIN 52183 (Darrverfahren) ermittelt, und lag im Bereich von 9,9% bis 13,6%.

Bild 3-14 zeigt beispielhaft die 5 Last- Verschiebungskurven der A65M-Serie eines Herstellers.



A65M1_i

Bild 3-14 Last- Verschiebungskurve einer A65M- Serie

Für jeden Einzelversuch wurden die Traglast und der Verschiebungsmodul nach DIN EN 26891 ermittelt. Die geschätzte Höchstlast F_{est} berechnete sich durch Multiplikation der zulässigen Lasten zweier Dübel nach DIN 1052- 2 mit dem Faktor 2,7. Die so ermittelten Werte für F_{est} lagen in dem in DIN EN 26891 geforderten Bereich von:

$$0,8 \cdot F_{\max} \leq F_{\text{est}} \leq 1,2 \cdot F_{\max}$$

Für jeden Einzelversuch wurden folgende Werte nach DIN EN 26891 ermittelt:

- Höchstlast F_{\max}
- geschätzte Höchstlast F_{est}
- Anfangsverschiebung $v_i = v_{04} =$ Verschiebung bei 40% F_{est}
- Verschiebung $v_{01} =$ Verschiebung bei 10% F_{est}
- modifizierte Anfangsverschiebung $v_{i, \text{mod}} = \frac{4}{3} \cdot (v_{04} - v_{01})$
- Verschiebungsmodul $k_s = \frac{0,4 \cdot F_{\text{est}}}{v_{i, \text{mod}}}$
- Verschiebung bei 80% der zulässigen Lasten nach DIN 1052- 2, $v_{0,8 \text{ zul } F}$
- Verschiebung bei den zulässigen Lasten nach DIN 1052- 2, $v_{\text{zul } F}$

Tabelle 3-9 Minimal- und Maximalwerte der Einzelprüfkörper

Dübeltyp	zul F DIN 1052- 2 [kN]	F_{\max} [kN]		v (0,8 zul F) [mm]		v (zul F) [mm]		k_s [N/mm]		Schlupf [mm]
		min	max	min	max	min	max	min	max	max
A65M	23,0	57,5 (52,6)	88,1	0,5	3,0	0,7	3,3	6580	25500	1,6
A65N	23,0	58,5 (53,7)	99,3	0,2	3,3	0,4	3,63	6590	41700	2,1
A95M	34,0	90,2 (90,2)	115	0,2	2,9	0,3	3,1	13100	71000	1,3
A95N	34,0	101 (101)	135	0,1	3,0	0,2	3,3	15800	121000	1,7
A128M	56,0	139 (130)	190	0,6	3,9	0,8	4,2	14800	57700	2,0
A128N	56,0	143 (120)	195	0,3	3,9	0,4	4,2	14900	100000	2,1

Die unteren, in Klammer geschriebenen Werte resultieren aus der Gesamtheit der durchgeführten Versuche. Die oberen Werte in der Tabelle resultieren aus den Prüfkörpern, die nach DIN 1052- 2 hergestellt wurden.

Bei ca. der Hälfte der Prüfkörper der Serien des Typs A konnte ein Anfangsschlupf festgestellt werden, was auf zu große Fräsringbreiten in den Hölzern schließen läßt.

Die in Tabelle 3-9 ersichtlichen Streuungen der Prüfergebnisse lassen sich für Einlaßdübel auf zwei wesentliche Faktoren zurückführen:

- Schwankungen bei den Rohdichten der verwendeten Hölzer
- Herstellungsbedingte Paßungenauigkeiten

Bei zweiseitigen Einlaßdübeln wird die Kraft zunächst von einem Bauteil über Lochleibungsspannungen in den Dübel und dann weiter über den Scherwiderstand des Dübels in das zweite Bauteil übertragen. Der Bolzen übernimmt das dabei auftretende Versatzmoment und hält die Verbindung zusammen.

Die Rohdichten der geprüften Hölzer schwankten zwischen 340kg/m^3 und 584kg/m^3 . Für die Auswertung wurde nur der kleinste Wert der Rohdichte, d.h. der Kleinstwert der beiden Seitenhölzern und des Mittelholzes, berücksichtigt. Es besteht eine enge Korrelation zwischen Rohdichte und Lochleibungsfestigkeit des Holzes, wodurch die Unterschiede bei den Traglasten erklärt werden können.

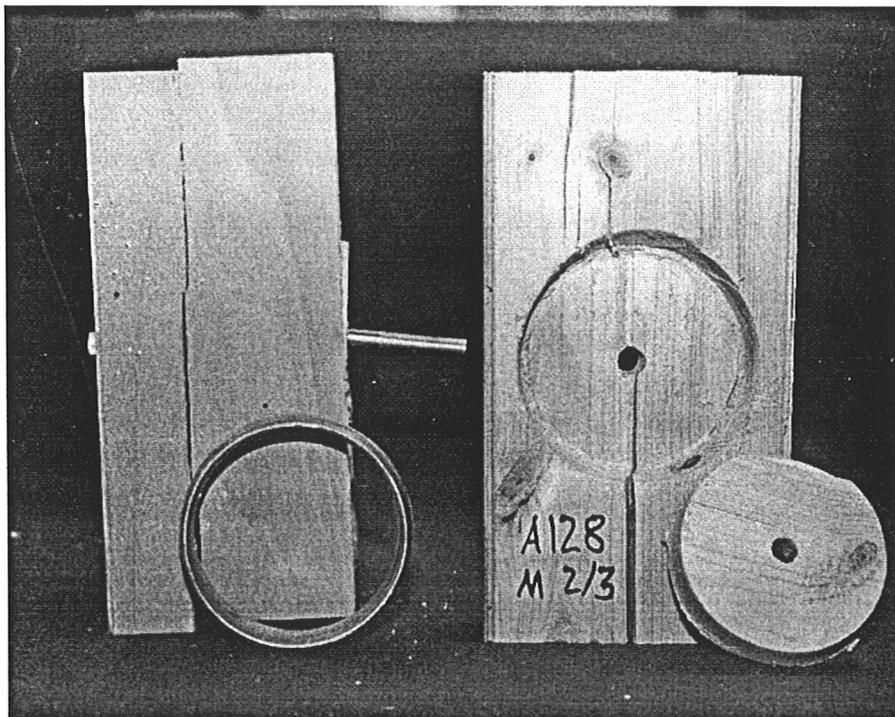


Bild 3-15 Geöffneter Prüfkörper A128M nach dem Versuch

Nach Abschluß der Versuche wurden bei den Prüfkörpern die Frästiefe und Fräsringbreite der eingelassenen Dübel gemessen. Das Messen der Fräsringbreite war nur noch teilweise möglich, da die Prüfkörper bei Erreichen der Traglast eine Verformung von bis zu 15mm aufwiesen. Die Breite des Fräsringes hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Traglast einer Holzverbindung mit Einlaßdübeln, sie beeinflußt jedoch das Verformungsverhalten einer solchen Verbindung wesentlich.

Einen Einfluß auf die Traglast einer Einlaßdübelverbindung hat die Frästiefe in den Bauteilen. Die Frästiefen der Prüfkörper der A65- und A95- Serie streuten bei einer Dübelhöhe $h_c = 30\text{mm}$ von 15mm bis zu 23mm. Bei den Prüfkörpern der A128- Serie streuten die Frästiefen bei einer Dübelhöhe von $h_c = 45\text{mm}$ von 22mm bis zu 30mm. Die zu tief eingelassenen Dübel können aufgrund der verringerten Kontaktfläche zwischen Dübel und Holz nicht die volle Traglast erreichen.

Im nächsten Schritt wurden die ermittelten Daten zu Gruppen eines Herstellers, d.h. Gruppen mit jeweils 5 Datensätzen, zusammengefaßt. Mit diesen Datengruppen konnten die Mittelwerte der Traglasten, Verschiebungsmoduln und die Verschiebungen bei 0,8 F und F eines Prüfkörpers, d.h. eines Herstellers, bestimmt werden. Die Zusammenstellung der ermittelten Werte und die Last-Verschiebungsdiagramme können in den **Anlagen 3-51 bis 3-107** eingesehen werden.

Die Last- Verschiebungskurven aus 5 Einzelversuchen wurden zu einer Kurve gemittelt. Diese gemittelten Kurven wurden wiederum zu einer Gesamtkurve zusammengefaßt.

In Bild 3-16 sind die aus 5 Einzelversuchen gemittelten Last- Verschiebungskurven und die gemittelte Gesamtkurve für die Serie A65M exemplarisch dargestellt.

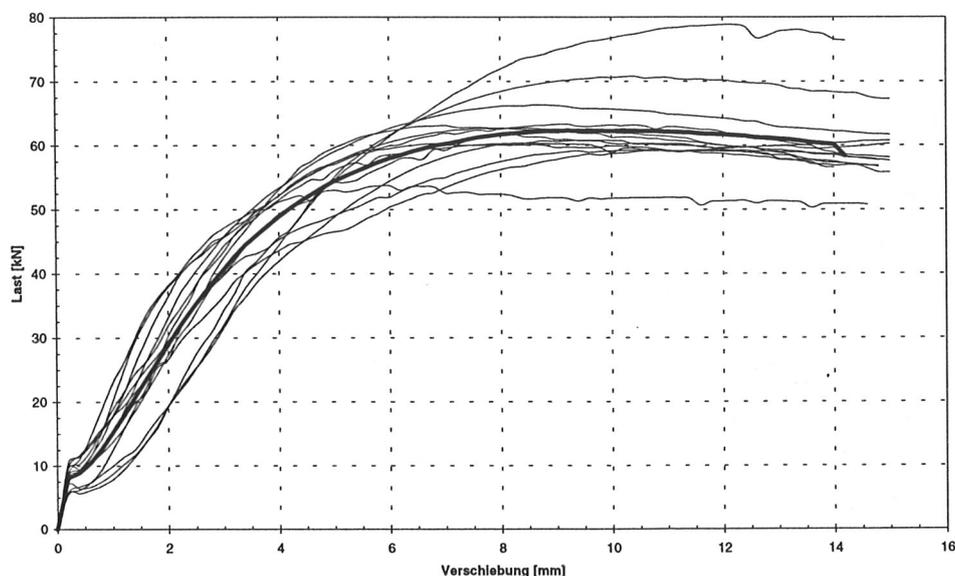


Bild 3-16 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der A65M- Serie

Die fett gezeichnete Kurve stellt den Mittelwert aller Einzelversuche der A65M- Serie dar. Im unteren Lastbereich erhöhen die aufgeleimten Sperrholzplatten die Steifigkeit der Verbindung. Diese Erhöhung der Anfangssteifigkeit einer Dübelverbindung wurde in der Auswertung jedoch nicht berücksichtigt.

3.2.4 Gegenüberstellung der M- und N- Serien

Die Auswertung der Serien M und N der Einlaßdübel ergaben deutliche Unterschiede bei den Traglasten. Dies lag daran, daß beim Erreichen der Traglast ein Spaltversagen der Prüfkörper auftrat. Infolge der größeren Holzquerschnitte boten die Prüfkörper der N- Serie einen größeren Spaltwiderstand als die der M- Serie. Vor Erreichen der Traglast erfuhr der Einlaßdübel und der Bolzen eine große plastische Verformung. Das Abscheren des Vorholzes wurde durch den Versuchsaufbau bei den Druckscherkörpern verhindert. Untersuchungen über das Abscheren der Vorhölzer wurde bei den Zugscherkörpern durchgeführt.

Tabelle 3-10 zeigt die unterschiedlichen Mittelwerte der Traglasten, Verschiebungen und des Anfangsschlupfes der M- und N- Serien, bezogen auf jeweils den gleichen Dübeldurchmesser.

Tabelle 3-10 Mittelwerte der Versuchsergebnisse der M und N Serien

Dübeltyp	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $v_{\text{zul } F}$ [mm]	\bar{X} Schlupf [mm]
A65M	65,0 (64,1)	1,7 (1,6)	0,4 (0,3)
A65N	74,1 (73,0)	1,6 (1,6)	0,5 (0,5)
A95M	103 (103)	1,2 (1,2)	0,2 (0,2)
A95N	117 (117)	1,4 (1,4)	0,3 (0,3)
A128M	163 (160)	2,2 (2,1)	0,4 (0,4)
A128N	171 (168)	2,1 (2,0)	0,4 (0,3)

Nach der Durchführung der Versuchsserien wurden die Prüfkörper geöffnet, und auf ihre Herstellungsgenauigkeit hin überprüft. Hierin fanden insbesondere die Frästiefen der eingelassenen Dübel und die Fräsringbreiten Beachtung. Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052-2 hergestellt waren (vgl. Abschn. 3.2.3), nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle 3-11 Korrelation der Auswertungsparameter der A65M- Serie

A65M	F_{\max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	Schlupf	min ρ
F_{\max}	1,0 (0,54)	-0,03 (-0,21)	0,27 (0,33)	0,23 (0,31)	0,17 (0,26)	0,63 (0,54)
k_s	-0,03 (-0,21)	1,0	-0,63 (0,66)	-0,67 (-0,70)	-0,33 (-0,40)	-0,16 (-0,09)
v (0,8zul.F)	0,27 (0,33)	-0,63 (0,66)	1,0	0,99 (0,99)	0,80 (0,80)	0,56 (0,51)
v (zul.F)	0,23 (0,31)	-0,67 (-0,70)	0,99 (0,99)	1,0	0,76 (0,77)	0,46 (0,41)
Schlupf	0,17 (0,26)	-0,33 (-0,40)	0,80 (0,80)	0,76 (0,77)	1,0	0,62 (0,56)
min ρ	0,63 (0,54)	-0,16 (-0,09)	0,56 (0,51)	0,46 (0,41)	0,62 (0,56)	1,0

3.2.5 Rechenmodell

Bei den Druckscherversuchen der Reihe A (Einlaßdübel) wurde neben dem Aufspalten der Hölzer auch das Erreichen der Lochleibungsfestigkeit als Versagensursache festgestellt.

Das Modell zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Dübels geht von einem Abscher- und Lochleibungsversagen aus. Hierzu werden die in Wirklichkeit ungleichmäßig verteilten Lochleibungsspannungen als gleichmäßig verteilt und parallel zur Krafrichtung angenommen.

Die verwendeten Gleichungen sind in Anlehnung an die europäische Normung der STEP- Reihe [6] entnommen.

Die Tragfähigkeit wird demzufolge berechnet zu:

$$R_c = \min \begin{cases} f_v \cdot A_s \\ f_h \cdot d_c \cdot h_e \end{cases}$$

wobei

R_c die Tragfähigkeit eines Einlaßdübels,

f_v die scheinbare oder mittlere Scherfestigkeit des Holzes,

A_s die Scherfläche pro Dübel,

f_h die Lochleibungsfestigkeit des Holzes,

d_c der Dübeldurchmesser und

h_e die Einlaßtiefe des Dübels im Holz bedeutet.

$$f_v = K_k \cdot A_s^{-0,25}$$

Wird f_v in obige Gleichung eingesetzt, folgt:

$$R_c = \min \begin{cases} K_k \cdot A_s^{0,75} \\ f_h \cdot d_c \cdot h_e \end{cases}$$

K_k ist ein Parameter zur Beschreibung der Scherfestigkeit des Holzes und ergibt sich zu:

$$K_k = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^{1,5}}$$

Die Lochleibungsfestigkeit wird angenommen zu:

$$f_{h,k} = 0,09 \rho_k \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right], \text{ mit } \rho_k \text{ in } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Für eine Verbindung mit einem Dübel beträgt die Scherfläche

$$A_s = (d_c + 2 h_e) \cdot a_{3,t} - \pi d_c^2 / 8$$

wobei $a_{3,t}$ der Abstand zum beanspruchten Hirnholze ist.

Mit diesem Wert für K_k und einer charakteristischen Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k} = 0,09 \rho_k$ ergibt sich die charakteristische Tragfähigkeit einer Einlaßdübelverbindung:

$$R_{c,0,k} = \min \begin{cases} 20 \cdot A_s^{0,75} \text{ (N)} \\ 0,09 \cdot \rho_k \cdot d_c \cdot h_e \text{ (N)} \end{cases}$$

Für Verbindungen mit einem Abstand zum beanspruchten Hirnholzende $a_{3,t}$ von $2 d_c$, einer Seitenholzdicke von $3 h_e$, einer Mittelholzdicke von $5 h_e$ und einer charakteristischen Rohdichte von 350 kg/m^3 , ergibt sich die charakteristische Tragfähigkeit zu:

$$R_{c,0,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot d_c^{1,5} \text{ (N)} \\ 31,5 \cdot d_c \cdot h_e \text{ (N)} \end{array} \right. \text{ mit } d_c \text{ und } h_e \text{ in [mm]}$$

Für andere Abstände $a_{3,t}$, Holzabmessungen oder Rohdichten beträgt $R_{c,0,k}$:

$$R_{c,0,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot d_c^{1,5} \cdot k_p \cdot k_{a3} \cdot k_t \text{ (N)} \\ 31,5 \cdot d_c \cdot h_e \cdot k_p \cdot k_t \text{ (N)} \end{array} \right. \text{ mit } d_c \text{ und } h_e \text{ in [mm]}$$

$$k_p = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right.$$

Hierin ist ρ_k die charakteristische Rohdichte des Holzes in kg/m^3 .

$$k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3 h_e} \\ \frac{t_2}{5 h_e} \end{array} \right.$$

Hierin bedeuten t_1 bzw. t_2 die Seiten- bzw. Mittelholzdicke und h_e die Einlaßtiefe des Dübels. Die Bemessungsgleichung gilt nur unter der Voraussetzung, daß t_1 und t_2 größer als $2,25 h_e$ bzw. $3,75 h_e$ sind.

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \\ \frac{a_{3,t}}{2 d_c} \end{array} \right.$$

Hierin ist $a_{3,t}$ der Abstand zum beanspruchten Hirnholzende mit einem Mindestwert von $1,5 d_c$.

3.2.6 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten

Um die Gültigkeit des Rechenmodells für Einpreßdübel zu überprüfen, wurden die Tragfähigkeiten nach obigem Modell berechnet und mit den Versuchsergebnissen verglichen. Für die Bestimmung des Faktors k_p die tatsächliche Rohdichte des Prüfkörpers verwendet.

Beispielhaft wird die Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit der Serie A65N gezeigt.

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{3 \cdot h_e}{5 \cdot h_e} = \frac{45 \text{ mm}}{75 \text{ mm}}$$

$$k_p = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ \frac{380}{350} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ 1,086 \end{array} \right.$$

$$k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{45 \text{ mm}}{3 \cdot 15 \text{ mm}} \\ \frac{75 \text{ mm}}{5 \cdot 15 \text{ mm}} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \\ \frac{a_{3,t}}{2 d_c} = 1^5 \end{array} \right.$$

$$R_{c,0,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot 65^{1,5} \cdot 1,086 \cdot 1 \cdot 1 = \underline{\underline{19919 \text{ N}}} \\ 31,5 \cdot 65 \cdot 15 \cdot 1,086 \cdot 1 = 33354 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$R_{c,0,k} = 2 \cdot 19,92 \text{ kN} = 39,84 \text{ kN}$$

Die Übereinstimmung der berechneten Werte zu den Traglasten aus den Versuchen zeigt, daß das Rechenmodell für die auf Druck beanspruchten Einpreßdübel wirklichkeitsnahe Ergebnisse liefert.

In Bild 3-17 sind die von der Rohdichte abhängigen Berechnungsergebnisse (Gerade) und die Versuchsergebnisse der A65N- Serie dargestellt.

Die durchgehende Gerade zeigt die Berechnungsergebnisse des Nachweises der Lochleibungsfestigkeit des Holzes. Die gestrichelte Gerade zeigt die Berechnungsergebnisse des Nachweises der Scherfestigkeit des Holzes.

⁵ Der Versuchsaufbau der Druckscherversuche läßt ein Abscheren des Vorholzes nicht zu. Der Faktor k_{a3} wird deshalb zu 1 gesetzt.

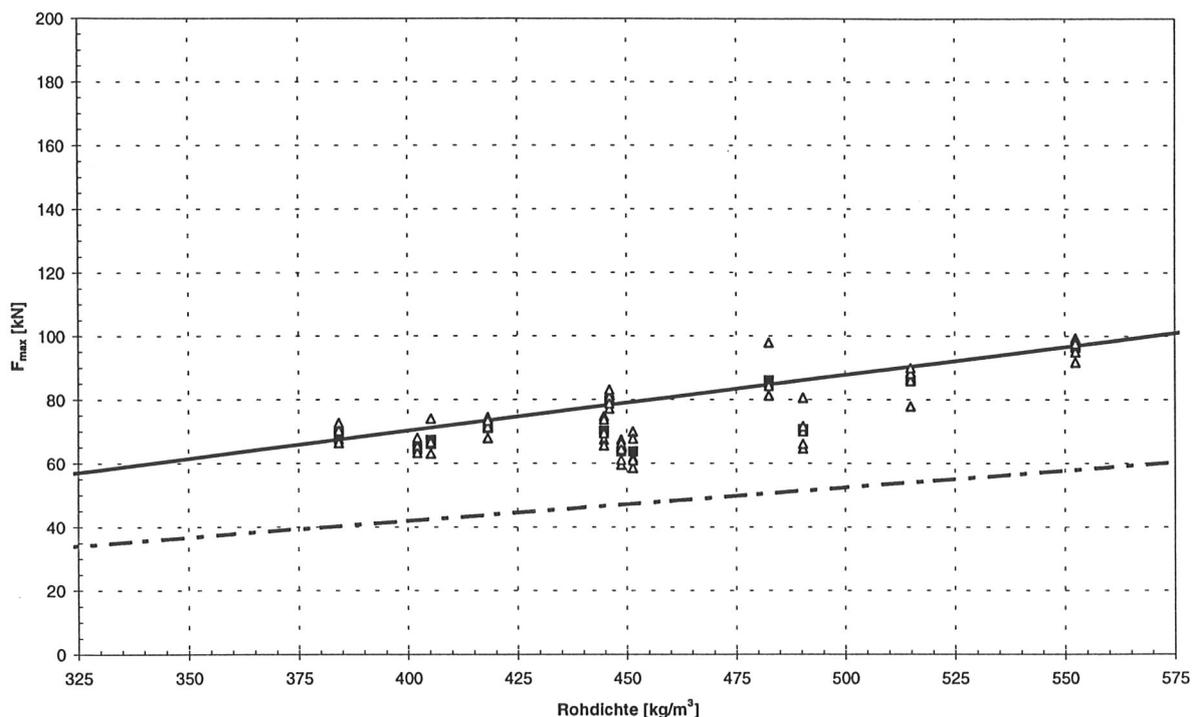


Bild 3-17 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A65N- Serie

In Tabelle 3-12 sind die Verhältnisse der 5%- Fraktile zu den charakteristischen Werten der Druckscherversuche zusammengestellt.

Tabelle 3-12 Verhältnis 5%- Fraktilwerte zu charakteristische Werte

Dübeltyp	$R_{j,k}$ [kN]	$F_{0,05}$ [kN]	$F_{0,05} / R_{j,k}$
A65M	29,2	57,7 (53,5)	1,98
A65N	39,8	60,9 (58,8)	1,53
A95M	51,6	93,8 (93,8)	1,82
A95N	70,4	106 (106)	1,51
A128M	81,5	141 (136)	1,73
A128N	110	153 (132)	1,39

4 Zugscherversuche

4.1 Zugscherversuche mit Einpreßdübeln

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit mehreren in Krafrichtung hintereinander liegenden Dübeln besonderer Bauart (Typ D nach DIN 1052- 2) wurden Zugscherversuche nach DIN EN 26891 durchgeführt.

Die Prüfkörper wurden von Zimmereien, Leimbaubetrieben und Meisterschulen des Zimmerhandwerks hergestellt. Damit sollten die in der Praxis unvermeidlichen Paß- und Herstellungsungenauigkeiten bei der Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens mit berücksichtigt werden. Die zur Herstellung der Prüfkörper benötigten Hölzer wurden von den Firmen zur Verfügung gestellt. Die Dübel, Bolzen und Unterlegscheiben wurden den Firmen von der forschenden Stelle zugestellt. Desweiteren erhielt jede Firma genaue Pläne über die herzustellenden Prüfkörper.

Bild 4-1 zeigt exemplarisch einen Herstellungsplan eines Prüfkörpers.

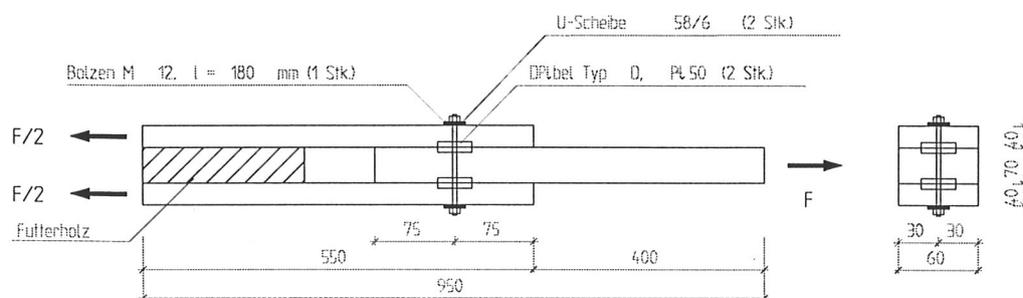


Bild 4-1 Herstellungsplan eines Prüfkörpers der Reihe D

Bei den Zugscherkörpern entfiel das Aufleimen von Sperrholzplatten, da diese nicht in einzelne Prüfkörper aufgetrennt wurden. Dadurch bestand nicht die Gefahr, die Information über den Anfangsschlupf zu verlieren.

Für die Versuchsbezeichnung wurde folgendes Schema gewählt:

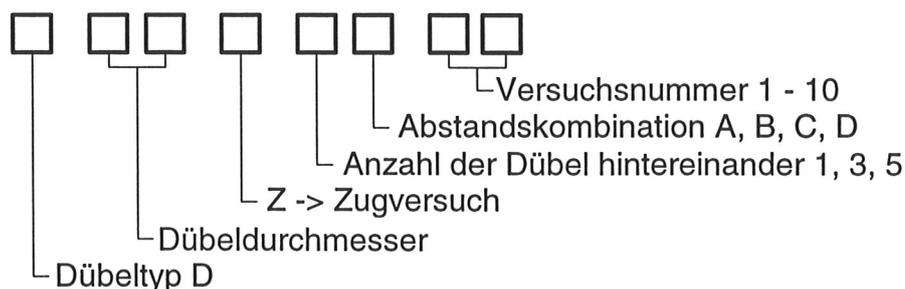


Bild 4-2 Schema für Versuchsbezeichnungen

Ab dem Zeitpunkt der Anlieferung bis zur Durchführung der Versuche wurden die Prüfkörper in Normalklima nach DIN 50014 20/65 - 2 gelagert.

4.1.1 Versuchsparameter

Es wurden Prüfkörper mit einem, drei und fünf in Krafrichtung hintereinander liegenden Dübeln hergestellt. Für die Zugscherversuche mit Einpreßdübeln wurden die in Tabelle 4-1 zusammengestellten Parameter gewählt.

Tabelle 4-1 Parameter für Zugscherversuche mit Einpreßdübeln

Dübel - typ	\varnothing [mm]	Abstands-kombination	Dübelabstand untereinander a_1 [mm]	Randabstand $a_{3,t}$ [mm]	Verhältnis t_1/t_2
D	50	A	$2 d_c$	$1,5 d_c$	$1,5 h_c / 2,5 h_c$
D	50	B	$2 d_c$	$2 d_c$	$1,5 h_c / 2,5 h_c$
D	50	C	$2,5 d_c$	$2,5 d_c$	$1,5 h_c / 2,5 h_c$
D	50	D	$3 d_c$	$3 d_c$	$1,5 h_c / 2,5 h_c$
D	85	B	$2 d_c$	$2 d_c$	$1,5 h_c / 2,5 h_c$

Neben den Dübeldurchmessern wurden auch vier verschiedene Kombinationen von Rand- und Dübelabständen (A, B, C und D) festgelegt. Nachstehend sind die einzelnen Parameter erläutert:

Dübeltyp: Dübeltyp D, nach DIN 1052- 2 (Einpreßdübel)

d_c : Dübeldurchmesser

h_c : Dübelhöhe

t_1 : Seitenholzdicke

t_2 : Mittelholzdicke

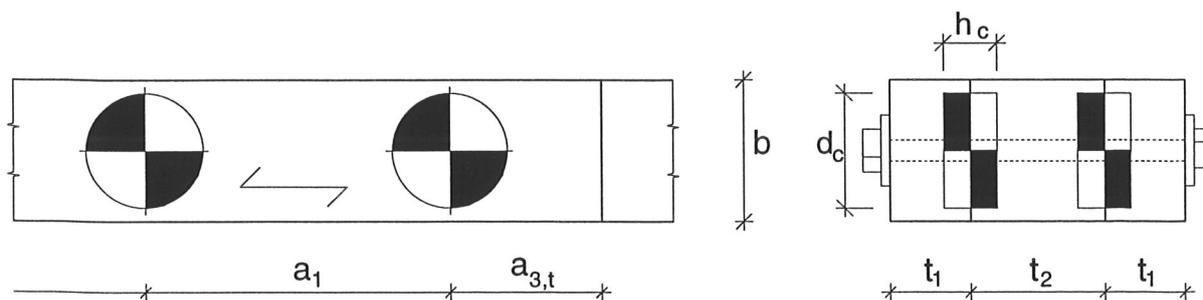


Bild 4-3 Prüfkörperbezeichnungen

Für die Herstellung der Prüfkörper galten folgende Vorgaben:

- Seiten- und Mittelhölzer aus gehobeltem Nadelholz (Fichte/Tanne) der Sortierklasse S10.
- Schraubenbolzen der Festigkeitsklasse 4.6 nach EN 20898- 1.
- Dübel besonderer Bauart und U-Scheiben nach DIN 1052- 2.

4.1.2 Versuchsprogramm

Es wurden verschiedene Dübeldurchmesser, Randabstandskombinationen und Anzahl der Dübel pro Prüfkörper geprüft. Die ungleiche Anzahl von Prüfkörpern kam daher, daß einige Firmen ihrer Zusage nicht nachkamen, die Prüfkörper herzustellen.

Tabelle 4-2 Vorhandene Prüfkörper für Zugscherversuche mit Einpreßdübeln

Dübeltyp D	1 Dübel		3 Dübel		5 Dübel	
	hintereinander		hintereinander		hintereinander	
	Ø 50	Ø 80	Ø 50	Ø 80	Ø 50	Ø 80
Abstandskomb. A	5	-	8	-	6	-
Abstandskomb. B	4	4	8	4	7	4
Abstandskomb. C	4	-	6	-	7	-
Abstandskomb. D	5	-	6	-	7	-

Der Versuchsaufbau wurde entsprechend den Vorversuchen gewählt. Eine Universalprüfmaschine erzeugte die Prüfkraft. Die Krafteinleitung in die Prüfkörper erfolgte über eine Stahlblech- Holz- Verbindung mit Stabdübeln. An den Mittelhölzern waren zwei Wegaufnehmer (W20) an Vorder- und Rückseite angebracht, mit denen die Relativverschiebung der Seiten- und Mittelhölzer gemessen wurde. An die Seitenhölzer wurden U-förmige Blechbügel geschraubt, die die Basis für die Wegaufnehmer bildeten.

Bild 4-4 zeigt den Versuchsaufbau der Zugscherversuche.

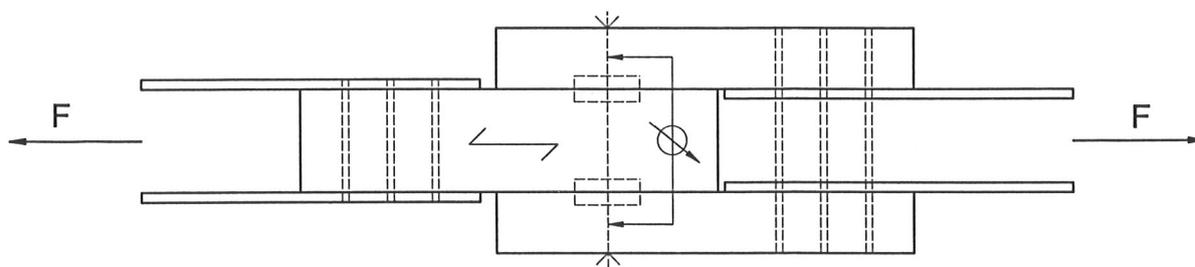


Bild 4-4 Versuchsaufbau für Zugscherversuche

4.1.3 Durchführung und Auswertung der Versuche

Die Durchführung der Versuche mit Einpreßdübeln erfolgte nach DIN EN 26891 "Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens". Hierin ist insbesondere die Vorgehensweise zur Ermittlung der Traglast F_{\max} und des Verschiebungsmoduls k_s geregelt.

Die einzelnen Prüfkörper wurden nach Dübelndurchmesser und Abstandskombination (A, B, C, und D) sortiert und geprüft. Für jeden Prüfkörper wurde die Rohdichte und die Holzfeuchte ermittelt. Die Holzfeuchte der Zugscherkörper wurde nach DIN 52183 (Darrverfahren) ermittelt, und lag im Bereich von 11,4% bis 13,3%.

Bild 4-5 zeigt beispielhaft die Last- Verschiebungskurven der D50Z1C- Prüfkörper.

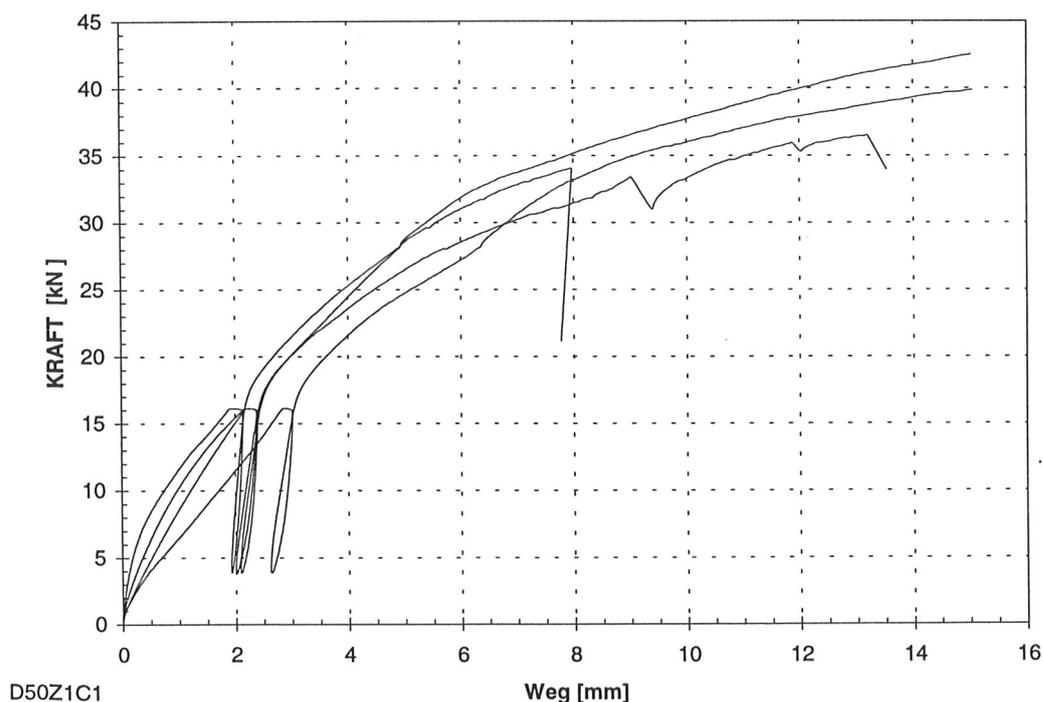


Bild 4-5 Last- Verschiebungskurven der D50Z1C- Prüfkörper

Für jeden Einzelversuch wurden die Traglast und der Verschiebungsmodul nach DIN EN 26891 ermittelt. Die geschätzte Höchstlast F_{est} berechnete sich durch Multiplikation der zulässigen Lasten der Dübel nach DIN 1052- 2, mit dem Faktor 2,7. Zur Ermittlung der geschätzten Höchstlast wurde eine effektive Dübelanzahl $n = 2 + (1 - n/20) \cdot (n - 2)$ nach DIN 1052- 2 berücksichtigt. Die so ermittelten Werte für F_{est} lagen zum Teil in dem in DIN EN 26891 geforderten Bereich von:

$$0,8 \cdot F_{max} \leq F_{est} \leq 1,2 \cdot F_{max}$$

Für jeden Einzelversuch wurden folgende Werte nach DIN EN 26891 ermittelt:

- Höchstlast F_{max}
- Anfangsverschiebung $v_i = v_{04} =$ Verschiebung bei 40% F_{est}
- Verschiebung $v_{01} =$ Verschiebung bei 10% F_{est}
- modifizierte Anfangsverschiebung $v_{i, mod} = \frac{4}{3} \cdot (v_{04} - v_{01})$
- Verschiebungsmodul $k_s = \frac{0,4 \cdot F_{est}}{v_{i, mod}}$
- Verschiebung bei den zulässigen Lasten nach DIN 1052- 2, $v_{zul F}$

Bei der Auswertung der Versuche konnte kein Anfangsschlupf festgestellt werden, da die Zähne der Dübel fest im Holz sitzen und dadurch ein Anfangsschlupf verhindert wird.

Tabelle 4-3 Minimal- und Maximalwerte der Einzelprüfkörper

Dübeltyp	zul F nach DIN 1052- 2 [kN]	F _{max} [kN]		v (zul F) [mm]		k _s [N/mm]	
		min	max	min	max	min	max
D50Z1A	16,0	32,8	41,9	1,0	2,6	5040	13300
D50Z1B	16,0	33,8	39,0	1,7	2,5	5170	7710
D50Z1C	16,0	34,0	42,5	1,9	2,8	5130	6830
D50Z1D	16,0	38,1	44,4	1,4	2,5	5380	9280
D50Z3A	45,6	82,2	103,4	1,2	2,7	16000	33100
D50Z3B	45,6	88,2	130	1,5	4,3	8810	27500
D50Z3C	45,6	94,4	126	1,5	3,9	9620	30000
D50Z3D	45,6	79,6	133	1,3	2,2	16500	31500
D50Z5A	68,0	117	144	1,2	2,8	21500	51300
D50Z5B	68,0	114	175	1,6	4,6	12200	39000
D50Z5C	68,0	156	211	1,7	4,2	14300	36900
D50Z5D	68,0	125	212	0,9	2,4	22200	60900
D80Z1B	34,0	69,8	85,2	1,0	2,6	12600	30500
D80Z3B	96,9	155	216	1,4	2,1	48100	64600
D80Z5B	145	178	260	1,4	2,1	59200	89800

Die in Tabelle 4-3 ersichtlichen Streuungen der Prüfergebnisse lassen sich für Einpreßdübel auf drei wesentliche Faktoren zurückführen:

- Starke Schwankungen der Festigkeitswerte der verwendeten Hölzer
- Schwankungen der Rohdichten der verwendeten Hölzer
- Herstellungsbedingte Paßungengenauigkeiten

Bei Zugscherversuchen spielen die Festigkeitswerte der verwendeten Hölzer eine weit größere Rolle als bei Druckscherversuchen. Abhängig vom Faserverlauf, der Ästigkeit und der Rohdichte der Hölzer trat bei den Zugscherversuchen kein Versagen der Verbindungsmittel auf, sondern es versagten meist die Hölzer im Nettoquerschnitt. Die häufigste Versagensart war das Aufspalten der Seiten- oder

Mittelhölzer, wobei auch teilweise die Hölzer abrissen. Diese Versagensmechanismen traten vor dem Erreichen der geschätzten Höchstlast ein.

Es besteht eine enge Korrelation zwischen Rohdichte und Lochleibungsfestigkeit des Holzes, wodurch die Unterschiede bei den Traglasten der nicht aufgespaltenen Prüfkörper erklärt werden können. Die Auswertung erfolgte mit dem kleinsten Wert der Rohdichte aus den beiden Seitenhölzern und des Mittelholzes eines Prüfkörpers. Die Rohdichten der geprüften Hölzer schwankten zwischen 337 kg/m^3 und 614 kg/m^3 .

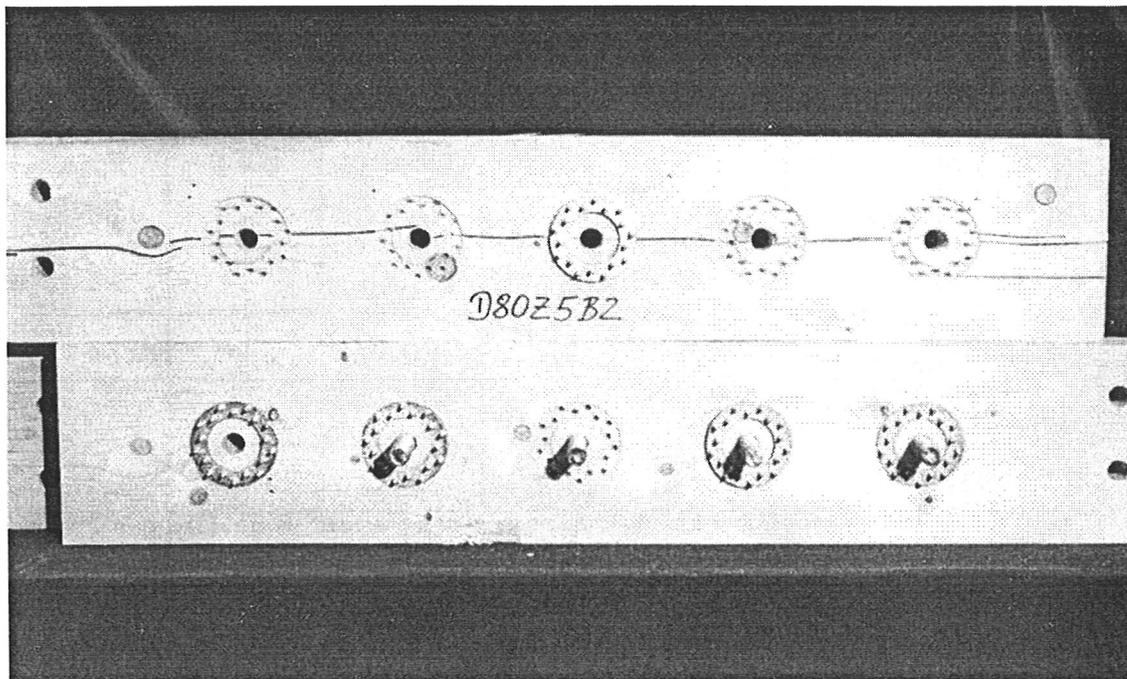


Bild 4-6 Geöffneter Prüfkörper D80Z5B nach dem Versuch

Nach Abschluß der Versuche wurden an den Prüfkörpern die Frästiefen und Fräsdurchmesser der eingelassenen Grundplatten gemessen. Die Dicke der Grundplatten aller geprüften Einpreßdübel betrug $t_c = 3,0 \text{ mm}$, die Dübelhöhe $h_c = 27 \text{ mm}$. Es ergibt sich eine maximale Eindringtiefe t_z der Zähne zu:

$$t_z = \frac{1}{2} \cdot (h_c - t_c) = \frac{1}{2} (27 \text{ mm} - 3 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$$

Die gemessenen Frästiefen der Versuchskörper lagen zwischen 0 mm und 9 mm . Die Serien mit zu tief eingelassenen Grundplatten zeigten deutlich kleinere Traglasten als die nach DIN 1052- 2 hergestellten Prüfkörpern.

Im nächsten Schritt wurden die Mittelwerte der Traglasten, der Verschiebungsmoduln und der Verschiebungen bei z_{ul} F eines Prüfkörpers bestimmt. Die Zusammenstellung der ermittelten Werte und die Last-Verschiebungsdiagramme finden sich in **Anlage 4-1 bis 4-10**.

4.1.4 Gegenüberstellung der A-, B-, C- und D- Serien

Die Auswertung der A-, B-, C- und D- Serien der Einpreßdübel ergaben unterschiedliche Traglasten. Dies lag daran, daß beim Erreichen der Traglast meist ein Spaltversagen der Prüfkörper auftrat. Infolge der zunehmenden Randabstände boten die Prüfkörper einen größeren Spaltwiderstand.

Tabelle 4-4 zeigt die unterschiedlichen Mittelwerte der Traglasten und Verschiebungen der A-, B-, C- und D- Serien, bezogen auf jeweils den gleichen Dübeldurchmesser.

Tabelle 4-4 Mittelwerte der Versuchsergebnisse der A-, B-, C- und D- Serien

Dübeltyp	zul F [kN]	\bar{x} F _{max} [kN]	\bar{x} V _{zul F} [mm]	Dübeltyp	zul F [kN]	\bar{x} F _{max} [kN]	\bar{x} V _{zul F} [mm]
D50Z1A	16,0	37,0	1,8	-	-	-	-
D50Z1B	16,0	36,7	2,1	D80Z1B	34,0	77,1	1,8
D50Z1C	16,0	38,2	2,3	-	-	-	-
D50Z1D	16,0	40,9	1,9	-	-	-	-
D50Z3A	45,6	91,6	1,9	-	-	-	-
D50Z3B	45,6	106	2,0	D80Z3B	96,9	185	1,7
D50Z3C	45,6	108	2,2	-	-	-	-
D50Z3D	45,6	113	1,6	-	-	-	-
D50Z5A	68,0	132	1,9	-	-	-	-
D50Z5B	68,0	157	2,5	D80Z5B	145	223	1,6
D50Z5C	68,0	184	2,4	-	-	-	-
D50Z5D	68,0	176	1,9	-	-	-	-

Eine Auswirkung des Durchmessers der eingefrästen Vertiefungen auf die Traglast konnte nicht festgestellt werden.

4.1.5 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten

Um die Gültigkeit des Rechenmodells für Einpreßdübel (vgl. Abschn. 3.1.6) zu überprüfen, wurden die Tragfähigkeiten nach obigem Modell berechnet und mit den Versuchsergebnissen verglichen.

Beispielhaft wird die Berechnung der Tragfähigkeit der Serie D50Z1A gezeigt.

$$R_{c,k} = 25 k_p k_{a3} k_t d_c^{1,5} \text{ (N)}$$

$$k_p = \min \left\{ \frac{1,5}{\frac{\rho}{350}} \right\} = \left\{ \frac{1,5}{\frac{392}{350}} \right\} = \left\{ \frac{1,5}{1,120} \right\}$$

$$k_{a3} = \min \left\{ \frac{1}{\frac{a_{3,t}}{2 d_c}} \right\} = \frac{1}{\frac{1,5 d_c}{2 d_c}} = \underline{0,75}$$

$$k_t = \min \left\{ \frac{1}{\frac{t_1}{1,5 h_c}} \right\} = \left\{ \frac{1}{\frac{40\text{mm}}{1,5 \cdot 27\text{mm}}} \right\} = \left\{ \frac{1}{1,037} \right\}$$

$$\left\{ \frac{1}{\frac{t_2}{2,5 h_c}} \right\} = \left\{ \frac{1}{\frac{70\text{mm}}{2,5 \cdot 27\text{mm}}} \right\} = \left\{ \frac{1}{1,037} \right\}$$

$$R_{c,k} = 25 \cdot 1,120 \cdot 0,75 \cdot 0,987 \cdot 50^{1,5} = 7276 \text{ N}$$

Die charakteristische Tragfähigkeit des Bolzens berechnet sich zu:

$$\rho_k = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$f_{u,k} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta = 1$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,8 \cdot 400 \cdot \frac{12^3}{6} = 92160 \text{ Nmm}$$

$$R_{b,k} = \min. \left\{ \begin{array}{l} 27,42 \cdot 40 \cdot 12 = 13162\text{N} \\ 0,5 \cdot 27,42 \cdot 70 \cdot 12 \cdot 1 = 11516\text{N} \\ 1,1 \cdot \frac{27,42 \cdot 40 \cdot 12}{2+1} \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1+1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2+1) \cdot 92160}{27,42 \cdot 12 \cdot 40^2}} - 1 \right] = \underline{\underline{7094\text{N}}} \\ 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1+1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 92160 \cdot 27,42 \cdot 12} = 8566\text{N} \end{array} \right.$$

$$R_{j,k} = R_{c,k} + R_{b,k}$$

$$R_{j,k} = 2 \cdot (7276\text{N} + 7094\text{N}) = 28740\text{N}$$

Die Übereinstimmung der berechneten Werte zu den Traglasten aus den Versuchen zeigt, daß das Rechenmodell für die auf Zug beanspruchten Einpreßdübel (Z1- Serie) wirklichkeitsnahe Ergebnisse liefert.

In Bild 4-7 sind die von der Rohdichte abhängigen Berechnungsergebnisse (Gerade) und die Versuchsergebnisse der D50Z1A-Serie dargestellt.

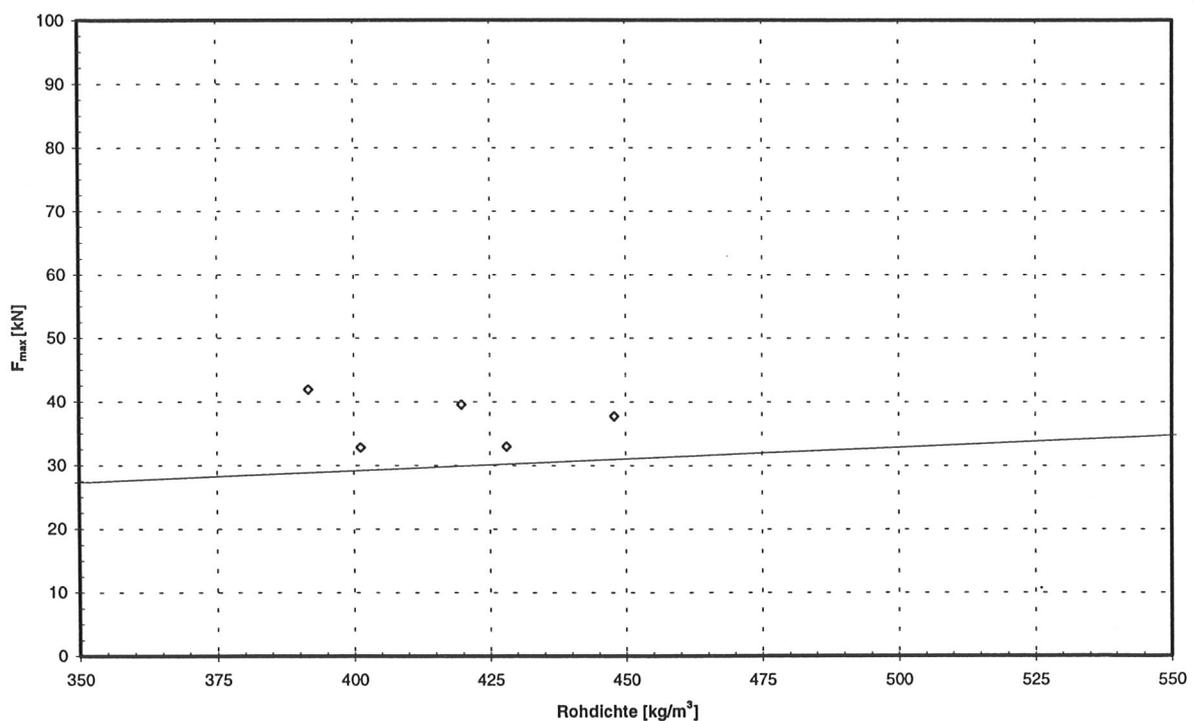


Bild 4-7 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D50Z1A- Serie

Aufgrund der Tatsache, daß die häufigste Versagensursache ein Aufspalten bzw. ein Abreißen der Seiten- oder Mittelhölzer war, kann das oben gezeigte Rechenmodell nur bedingt auf seine Richtigkeit hin untersucht werden. Die Versagensursachen deuten auf zu geringe Holzquerschnitte der Prüfkörper hin. Die Vorbemessung der Prüfkörper erfolgte nach DIN 1052- 1. Hierin wird in Abschnitt 7.3 gefordert, daß einseitig beanspruchte Holzteile von Stößen und Anschlüssen für die 1,5- fache anteilige Zugkraft zu bemessen sind. Außerdem waren die vorhandenen Holzquerschnitte größer als die nach DIN 1052- 2 für Einpreßdübel geforderten Mindestquerschnitte. Nach den vorliegenden Versuchsergebnissen liegt diese Rechenvorschrift für Stöße und Anschlüsse mit Einlaßdübeln weit auf der unsicheren Seite. Damit die Dübel ihre maximale Kraft übertragen können, müssen die Anschlußhölzer entsprechend dimensioniert werden. Hierfür sollte der Nettoquerschnitt der Anschlußhölzer ermittelt und das entstehende Exzentrizitätsmoment in den Seitenhölzern wirklichkeitsnah in Rechnung gestellt werden. Die Bemessung der Seitenhölzer sollte nach folgender Gleichung erfolgen:

$$\frac{\frac{N_z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z||}} + \frac{\frac{M}{W_N}}{\text{zul } \sigma_B} \leq 1$$

Die Bemessung der Mittelhölzer sollte nach folgender Gleichung erfolgen:

$$\frac{\frac{N_z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z||}} \leq 1$$

Für eine genaue Bemessung ist es notwendig, die Netto- Querschnittswerte möglichst exakt zu bestimmen.

Nachfolgend werden die beiden Nachweise für einen Zugscherkörper (D50Z1) verglichen.

Vorwerte:

$t_1 / t_2 / b$: 40/70/60 mm

h_c : 27 mm

d_c : 50 mm

zul F: $2 * 8,0 \text{ kN} = 16,0 \text{ kN}$

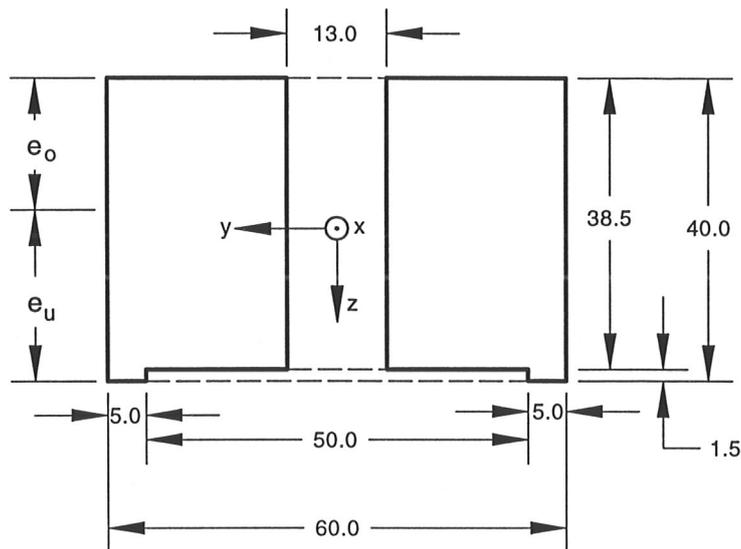


Bild 4-8 Nettoquerschnitt eines Seitenholzes (D50Z1)

Genauerer Nachweis (Seitenholz):

$$A_N = 2 \cdot (23,5 \cdot 38,5 + 5 \cdot 1,5) = 1824,5 \text{ mm}^2$$

$$e_o = \frac{2 \cdot 5,0 \cdot 40^2 + 37 \cdot 38,5^2}{2 \cdot [2 \cdot 5,0 \cdot 40 + 37 \cdot 38,5]} = 19,4 \text{ mm (Schwerpunkt Abstand vom äußeren Rand)}$$

$$e_u = 40 - 19,4 = 20,6 \text{ mm (Schwerpunkt Abstand vom inneren Rand)}$$

$$I_y = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot 5,0 \cdot 40^3 + 37 \cdot 38,5^3) - 19,4^2 \cdot (2 \cdot 5,0 \cdot 40 + 37 \cdot 38,5) = 230486 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,u} = 230486 / 20,6 = 11189 \text{ mm}^3$$

$$M = 0,5 \cdot F \cdot (0,5 \cdot t_1 - 6,0 \text{ mm}) = 0,5 \cdot 16000 \text{ N} \cdot (0,5 \cdot 40 \text{ mm} - 6,0 \text{ mm}) = 112000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{\frac{M}{W_N}}{\text{zul } \sigma_B} = \frac{\frac{112000 \text{ Nmm}}{11189 \text{ mm}^3}}{10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1,001 \cong 1$$

$$\frac{\frac{N_z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z|l}} = \frac{\frac{8000 \text{ N}}{1824,5 \text{ mm}^2}}{7,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,626 < 1$$

$$\frac{\frac{N_z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z|l}} + \frac{\frac{M}{W_N}}{\text{zul } \sigma_B} = 0,626 + 1,001 = 1,627 > 1$$

Vereinfachter Nachweis nach DIN 1052, Teil 1:

$$\frac{1,5 \cdot \frac{N_z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z||}} = \frac{1,5 \cdot \frac{8000\text{N}}{1824,5\text{mm}^2}}{7,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,940 < 1$$

Die unterschiedlichen Ausnutzungsgrade der beiden Nachweise zeigen deutlich, wie sehr der vereinfachte Nachweis nach DIN 1052- 1 auf der unsicheren Seite liegt. Durch die Versuchsergebnisse und die Vergleichsrechnung wurde gezeigt, daß die momentane Nachweisführung für Einpreßdübelverbindungen nicht zufriedenstellend ist. Bei einem Versagen der Verbindung versagen nicht die Einlaßdübel, sondern die Hölzer im Nettoquerschnitt. Der Nachweis für einseitig beanspruchte Holzteile von Stößen und Anschlüssen nach DIN 1052- 1 sollte daher geändert werden. Die Bemessung sollte unter der Annahme erfolgen, daß die Wirkungslinie der übertragenen Kraft in der Fuge zwischen Seiten- und Mittelholz verläuft.

4.2 Zugscherversuche mit Einlaßdübeln

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit mehreren in Krafrichtung hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart (Typ A, nach DIN 1052- 2) wurden Zugscherversuche nach DIN EN 26891 durchgeführt.

Alle Prüfkörper wurden von Zimmereien, Leimbaubetrieben und Meisterschulen des Zimmerhandwerks hergestellt. Damit sollten die in der Praxis unvermeidlichen Paß- und Herstellungsungenauigkeiten bei der Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens mit berücksichtigt werden. Die zur Herstellung der Prüfkörper benötigten Hölzer wurden von den Firmen zur Verfügung gestellt. Die Dübel, Bolzen und Unterlegscheiben wurden den Firmen von der forschenden Stelle zugestellt. Desweiteren erhielt jede Firma genaue Pläne über die herzustellenden Prüfkörper. Jede Firma stellte 10 Prüfkörper, die Meisterschulen jeweils 25 Prüfkörper her.

Bild 4-9 zeigt exemplarisch einen Herstellungsplan eines Prüfkörpers.

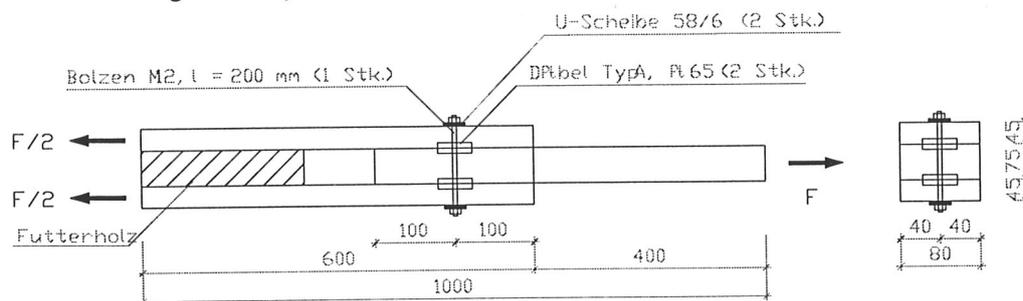


Bild 4-9 Herstellungsplan eines Prüfkörpers der Reihe A

Bei den Zugscherkörpern entfiel das Aufleimen von Sperrholzplatten, da diese nicht in einzelne Prüfkörper aufgetrennt wurden. Dadurch bestand nicht die Gefahr, die Information über den Anfangsschlupf zu verlieren.

Für die Versuchsbezeichnung wurde das gleiche Schema wie für die Einpreßdübel gewählt.

Ab dem Zeitpunkt der Anlieferung bis zur Durchführung der Versuche wurden die Prüfkörper in Normalklima nach DIN 50014 - 20/65 - 2 gelagert.

4.2.1 Versuchsparameter

Es wurden Prüfkörper mit einem, drei und fünf in Krafrichtung hintereinander liegenden Dübeln hergestellt. Für die Zugscherversuche mit Einlaßdübeln wurden die in Tabelle 4-5 zusammengestellten Parameter gewählt.

Tabelle 4-5 Parameter für Zugscherversuche mit Einlaßdübeln

Dübel- typ	\varnothing [mm]	Abstands- kombination	Dübelabstand untereinander a_1 [mm]	Randabstand $a_{3,t}$ [mm]	Verhältnis t_1/t_2
A	65	A	$2 d_c$	$1,5 d_c$	$3 h_e / 5 h_e$
A	65	B	$2 d_c$	$2 d_c$	$3 h_e / 5 h_e$
A	65	C	$2,5 d_c$	$2,5 d_c$	$3 h_e / 5 h_e$
A	65	D	$3 d_c$	$3 d_c$	$3 h_e / 5 h_e$
A	95	B	$2 d_c$	$2 d_c$	$3 h_e / 5 h_e$

Neben den Dübeldurchmessern wurden auch vier verschiedene Kombinationen von Rand- und Dübelabständen (A, B, C und D) festgelegt. Nachstehend sind die einzelnen Parameter erläutert:

Dübeltyp: Dübeltyp A, nach DIN 1052- 2 (Einlaßdübel)

d_c : Dübeldurchmesser

h_e : Einlaßtiefe des Dübels

t_1 : Seitenholzdicke

t_2 : Mittelholzdicke

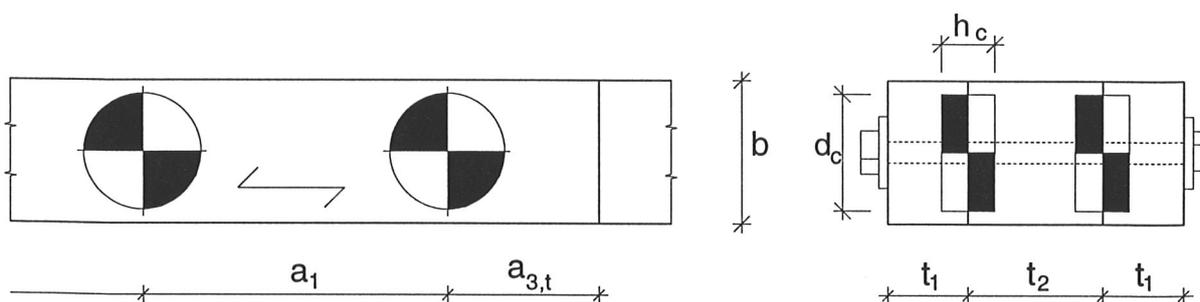


Bild 4-10 Prüfkörperbezeichnungen

Für die Herstellung der Prüfkörper galten folgende Vorgaben:

- Seiten- und Mittelhölzer aus gehobeltem Nadelholz (Fichte/Tanne) der Sortierklasse S10.
- Schraubenbolzen der Festigkeitsklasse 4.6 nach EN 20898- 1.
- Dübel besonderer Bauart und U-Scheiben nach DIN 1052- 2.

4.2.2 Versuchsprogramm

Es wurden verschiedene Dübeldurchmesser, Randabstandskombinationen und Anzahl der Dübel pro Prüfkörper geprüft.

Tabelle 4-6 Vorhandene Prüfkörper für Zugscherversuche mit Einlaßdübeln

Dübeltyp A	1 Dübel		3 Dübel		5 Dübel	
	hintereinander		hintereinander		hintereinander	
	Ø 65	Ø 95	Ø 65	Ø 95	Ø 65	Ø 95
Abstandskomb. A	3	-	8	-	6	-
Abstandskomb. B	5	5	9	5	8	5
Abstandskomb. C	5	-	10	-	8	-
Abstandskomb. D	3	-	7	-	7	-

Der Versuchsaufbau wurde entsprechend den Vorversuchen gewählt. Eine Universalprüfmaschine erzeugte die Prüfkraft. Die Krafteinleitung in die Prüfkörper erfolgte über eine Stahlblech- Holz- Verbindung mit Stabdübeln. An den Mittelhölzern waren zwei Wegaufnehmer (W20) an Vorder- und Rückseite angebracht, mit denen die Relativverschiebung der Seiten- und Mittelhölzer gemessen wurde. An die Seitenhölzer wurden U-förmige Blechbügel geschraubt, die die Basis für die Wegaufnehmer bildeten.

Bild 4-11 zeigt den Versuchsaufbau der Zugscherversuche.

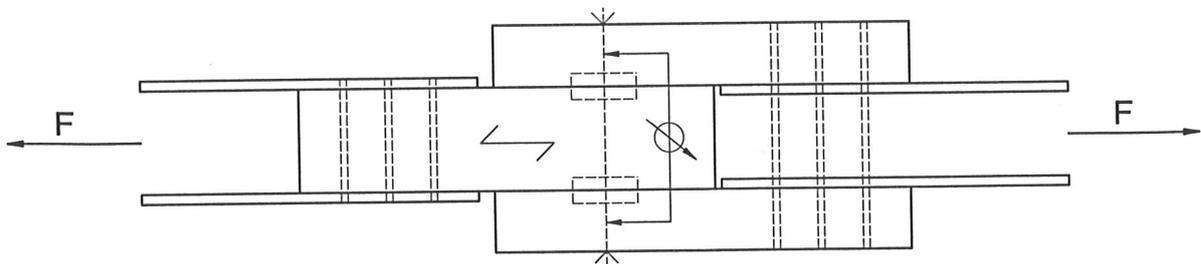


Bild 4-11 Versuchsaufbau für Zugscherversuche

4.2.3 Durchführung und Auswertung der Versuche

Die Durchführung der Versuche mit Einlaßdübeln erfolgte nach DIN EN 26891 "Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens". Hierin ist insbesondere die Vorgehensweise zur Ermittlung der Traglast F_{\max} und des Verschiebungsmoduls k_s geregelt.

Die einzelnen Prüfkörper wurden nach Dübeldurchmesser und Abstandskombination (A, B, C, und D) sortiert und geprüft. Für jeden Prüfkörper wurde die Rohdichte und die Holzfeuchte ermittelt. Die Holzfeuchte der Zugscherkörper wurde nach DIN 52183 (Darrverfahren) ermittelt, und lag im Bereich von 11,9% bis 13,8%.

Bild 4-12 zeigt beispielhaft die Last- Verschiebungskurven der A65Z1B- Prüfkörper.

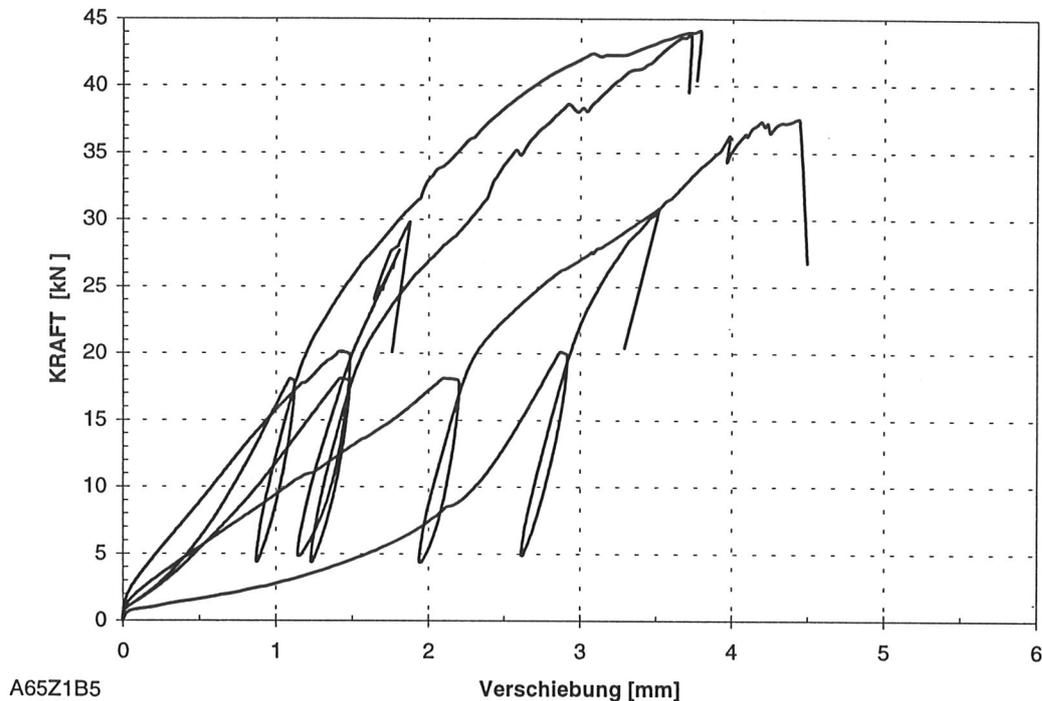


Bild 4-12 Last- Verschiebungskurve der A65Z1B- Prüfkörper

Für jeden Einzelversuch wurden die Traglast und der Verschiebungsmodul nach DIN EN 26891 ermittelt. Die geschätzte Höchstlast F_{est} berechnete sich durch Multiplikation der zulässigen Lasten der Dübel nach DIN 1052, Teil 2, mit dem Faktor 2,7. Zur Ermittlung der geschätzten Höchstlast wurde eine effektive Dübelanzahl e_f nach $e_f = 2 + (1 - n/20) \cdot (n - 2)$ nach DIN 1052- 2 berücksichtigt. Die so ermittelten Werte für F_{est} lagen zum Teil in dem in DIN EN 26891 geforderten Bereich von:

$$0,8 \cdot F_{max} \leq F_{est} \leq 1,2 \cdot F_{max}$$

Für jeden Einzelversuch nach DIN EN 26891 wurden u.a. folgende Werte ermittelt:

- Höchstlast F_{max}
- geschätzte Höchstlast F_{est}
- Anfangsverschiebung $v_i = v_{04} =$ Verschiebung bei 40% F_{est}
- Verschiebung $v_{01} =$ Verschiebung bei 10% F_{est}

- modifizierte Anfangsverschiebung $v_{i, \text{mod}} = \frac{4}{3} \cdot (v_{04} - v_{01})$
- Verschiebungsmodul $k_s = \frac{0,4 \cdot F_{\text{est}}}{v_{i, \text{mod}}}$
- Verschiebung bei den zulässigen Lasten nach DIN 1052- 2, $v_{\text{zul F}}$

Tabelle 4-7 Minimal- und Maximalwerte der Einzelprüfkörper

Dübeltyp	zul F nach DIN 1052- 2 [kN]	F _{max} [kN]		v (zul F) [mm]		k _s [N/mm]	
		min	max	min	max	min	max
A65Z1A	23,0	34,4	48,7	0,5	1,9	16000	44900
A65Z1B	23,0	29,8	44,0	1,3	3,0	7910	19300
A65Z1C	23,0	26,2	62,2	1,5	3,3	11700	17000
A65Z1D	23,0	47,5	74,8	0,6	2,0	13800	36500
A65Z3A	66,6	67,5	126	0,9	4,4	24900	76500
A65Z3B	66,6	78,5	156	1,3	3,2	30100	55500
A65Z3C	66,6	93,9	183	1,3	3,3	24200	55000
A65Z3D	66,6	120	190	0,4	2,3	31700	132000
A65Z5A	97,8	108	168	0,7	2,6	33900	124000
A65Z5B	97,8	99,7	191	1,0	3,3	33200	84600
A65Z5C	97,8	125	236	1,1	2,8	28000	80600
A65Z5D	97,8	177	276	1,1	2,6	40600	93800
A95Z1B	34,0	56,1	65,4	1,0	2,7	18500	31100
A95Z3B	96,9	150	205	0,6	2,4	55100	121000
A95Z5B	145	187	287	0,5	2,4	69900	247000

Die in Tabelle 4-7 ersichtlichen Streuungen der Prüfergebnisse lassen sich für Einlaßdübel auf drei wesentliche Faktoren zurückführen:

- Starke Schwankungen bei den Festigkeitswerten der verwendeten Hölzer
- Schwankungen bei den Rohdichten der verwendeten Hölzer
- Herstellungsbedingte Paßungenauigkeiten

Die Rohdichten der geprüften Hölzer schwankten zwischen 319kg/m^3 und 596kg/m^3 . Für die Auswertung kam nur der kleinste Wert der Rohdichte, d.h. der Kleinstwert der beiden Seitenhölzern und dem Mittelholz, in Verwendung. Es besteht eine enge Korrelation zwischen Rohdichte und Lochleibungsfestigkeit des Holzes, wodurch die Unterschiede bei den Traglasten der nicht gespaltenen Prüfkörper erklärt werden können.

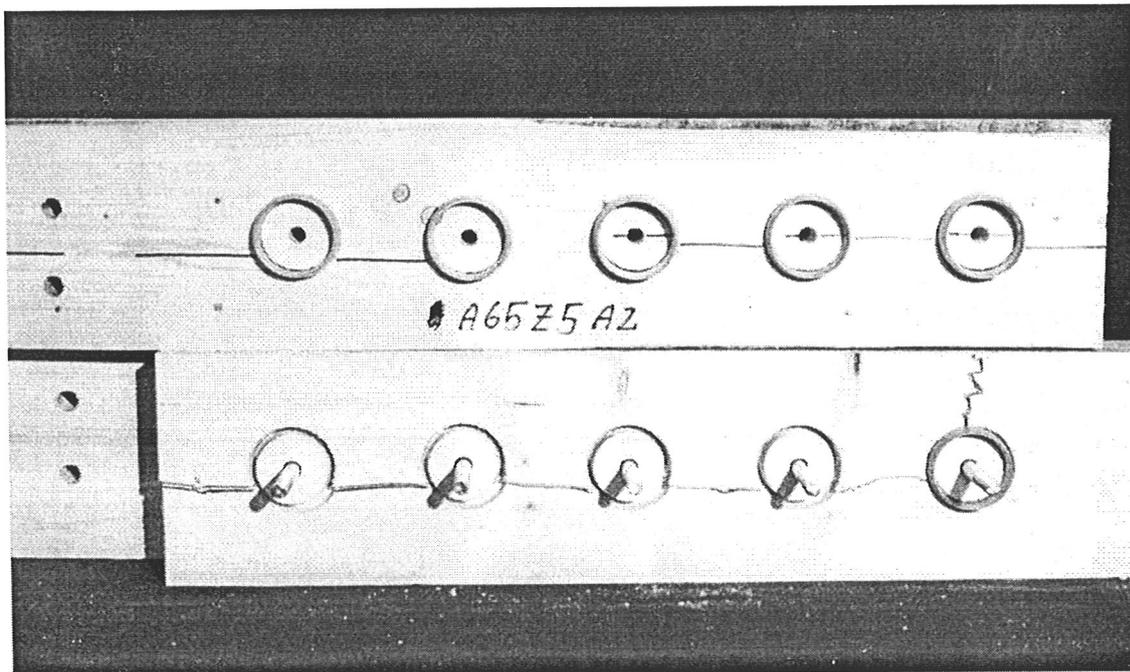


Bild 4-13 Geöffneter Prüfkörper A65Z5A nach dem Versuch

Nach Abschluß der Versuche wurden bei den Prüfkörpern die Frästiefe und Fräsringbreite der eingelassenen Dübel gemessen. Das Messen der Fräsringbreite war nur noch teilweise möglich, da einige Prüfkörper bei Erreichen der Traglast eine Verformung von bis zu 15mm aufwiesen. Die Breite des Fräsringes hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Traglast einer Holzverbindung mit Einlaßdübeln, sie beeinflusst jedoch das Verformungsverhalten einer solchen Verbindung deutlich.

Einen Einfluß auf die Traglast einer Einlaßdübelverbindung hat die Frästiefe in den Bauteilen. Die Frästiefen der Prüfkörper der A65- und A95- Serie streuten bei einer Dübelhöhe $h_c = 30\text{mm}$ von 15mm bis zu 23mm. Die zu tief eingelassenen Dübel können aufgrund der verringerten Kontaktfläche zwischen Dübel und Holz nicht die volle Traglast erreichen.

Im nächsten Schritt wurden die Mittelwerte der Traglasten, der Verschiebungsmoduln und der Verschiebungen bei $z_{ul} F$ eines Prüfkörpers bestimmt. Die Zusammenstellung der ermittelten Werte und die Last-Verschiebungsdiagramme finden sich in **Anlage 4-11 bis 4-20**.

4.2.4 Gegenüberstellung der M- und N- Serien

Die Auswertung der A-, B-, C- und D- Serien der Einlaßdübel ergaben unterschiedliche Traglasten. Dies lag daran, daß beim Erreichen der Traglast meist ein Spaltversagen der Prüfkörper auftrat. Infolge der zunehmenden Randabstände boten die Prüfkörper einen größeren Spaltwiderstand.

Tabelle 4-8 zeigt die unterschiedlichen Mittelwerte der Traglasten und Verschiebungen der A-, B-, C- und D- Serien, bezogen auf jeweils den gleichen Dübeldurchmesser.

Tabelle 4-8 Versuchsergebnisse der A-, B-, C- und D- Serien

Dübeltyp	$z_{ul} F$ [kN]	$\bar{x} F_{max}$ [kN]	$F_{max}/z_{ul}F$	Dübeltyp	$z_{ul} F$ [kN]	$\bar{x} F_{max}$ [kN]	$F_{max}/z_{ul}F$
A65Z1A	23,0	41,6	1,81	-		-	-
A65Z1B	23,0	37,2	1,62	A95Z1B	34,0	61,4	1,81
A65Z1C	23,0	41,6	1,81	-		-	-
A65Z1D	23,0	56,9	2,48	-		-	-
A65Z3A	65,6	97,8	1,49	-		-	-
A65Z3B	65,6	120	1,83	A95Z3B	96,6	182	1,88
A65Z3C	65,6	142	2,17	-		-	-
A65Z3D	65,6	144	2,19	-		-	-
A65Z5A	97,8	142	1,45	-		-	-
A65Z5B	97,8	146	1,49	A95Z5B	145	226	1,57
A65Z5C	97,8	176	1,81	-		-	-
A65Z5D	97,8	226	2,31	-		-	-

Nach der Durchführung der Versuchsserien wurden die Prüfkörper geöffnet, und auf ihre Herstellungsgenauigkeit hin überprüft. Hierin fanden insbesondere die Frästiefe der eingelassenen Dübel und die Fräsringbreiten Beachtung.

4.2.5 Rechenmodell

Bei den Zugscherversuchen der Reihe A (Einlaßdübel) wurde neben dem Aufspalten der Hölzer auch das Erreichen der Lochleibungsfestigkeit als Versagensursache festgestellt.

Das Rechenmodell für Einlaßdübel findet sich in Abschnitt 3.2.5.

4.2.6 Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeiten

Um die Gültigkeit des Rechenmodells für Einlaßdübel zu überprüfen, wurden die Tragfähigkeiten nach dem vorgeschlagenen Modell berechnet und mit den Versuchsergebnissen verglichen.

Beispielhaft wird die Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit der Serie A65Z1C gezeigt.

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{3 \cdot h_e}{5 \cdot h_e} = \frac{45 \text{ mm}}{75 \text{ mm}}$$

$$k_p = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ \frac{380}{350} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ 1,086 \end{array} \right.$$

$$k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{45 \text{ mm}}{3 \cdot 15 \text{ mm}} \\ \frac{75 \text{ mm}}{5 \cdot 15 \text{ mm}} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \\ \frac{a_{3,t}}{2 d_c} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \\ \frac{2,5 d_c}{2 d_c} = 1,25 \end{array} \right.$$

$$R_{c,0,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot 65^{1,5} \cdot 1,086 \cdot 1 \cdot 1,25 = 24899 \text{ N} \\ 31,5 \cdot 65 \cdot 15 \cdot 1,086 \cdot 1 = 33354 \text{ N} \end{array} \right.$$

Die Versuchsergebnisse liegen meist unter den Ergebnissen nach dem Rechenmodell. Grund hierfür ist, daß andere Versagensmechanismen als die erwarteten eingetreten sind. Die Prüfkörper versagten in der Regel durch Aufspalten oder Abreißen der Seiten- oder Mittelhölzer, bevor die Verbindungsmittel ihre Traglast erreichten.

In Bild 4-14 sind die von der Rohdichte abhängigen Berechnungsergebnisse (Gerade) und die Versuchsergebnisse der A65Z1C- Serie dargestellt.

Die durchgehende Gerade zeigt die Berechnungsergebnisse des Nachweises der Lochleibungsfestigkeit des Holzes. Die gestrichelte Gerade zeigt die Berechnungsergebnisse des Nachweises der Scherfestigkeit des Holzes.

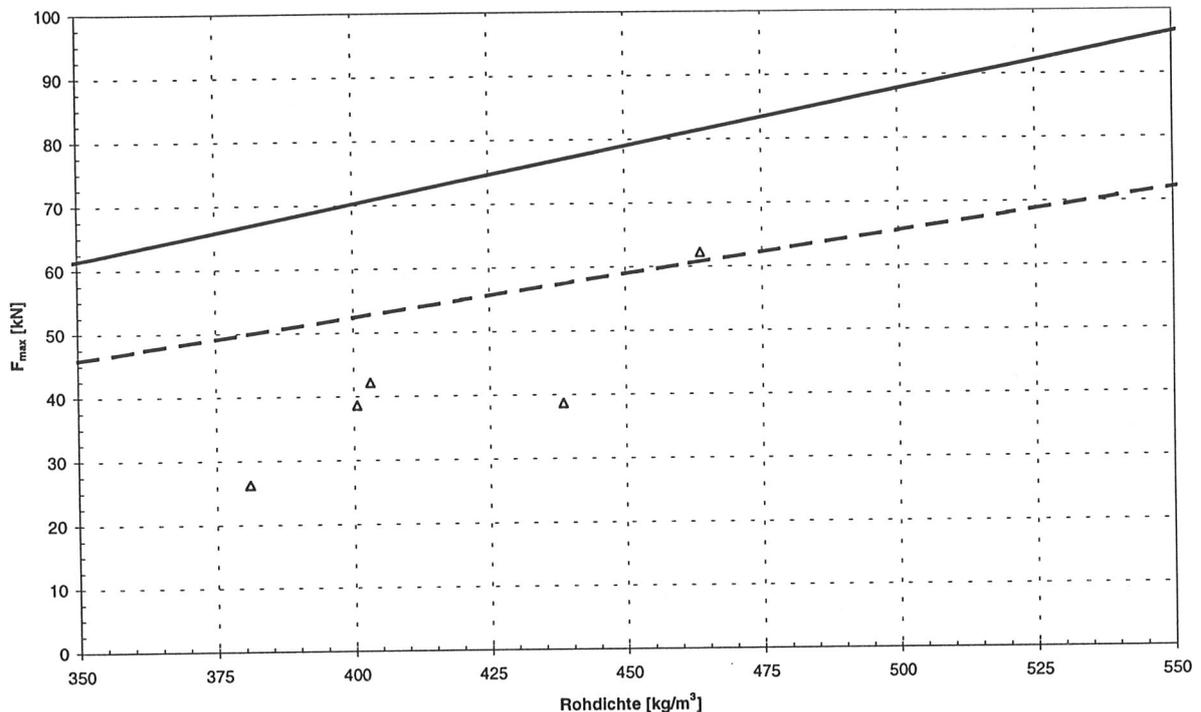


Bild 4-14 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A65Z1C- Serie

Aufgrund der Tatsache, daß die häufigste Versagensursache ein Aufspalten bzw. ein Abreißen der Seiten- oder Mittelhölzer war, kann das Rechenmodell die Traglasten nicht zuverlässig vorhersagen.

Die Versagensursachen deuten auf zu geringe Maße der Holzquerschnitte hin. Die Bemessung für einseitig beanspruchte Holzteile von Stößen und Anschlüssen sollte nach dem in Abschnitt 4.1.5 gezeigten Rechenmodell erfolgen.

Nachfolgend werden der genauere und der vereinfachte Nachweis nach DIN 1052- 2 für ein Zugscherkörper (A65Z1) verglichen.

Vorwerte:

$t_1 / t_2 / b$: 45/75/80 mm

h_e : 15 mm

h_c : 30 mm

d_c : 65 mm

zul F: $2 * 11,5 \text{ kN} = 23 \text{ kN}$

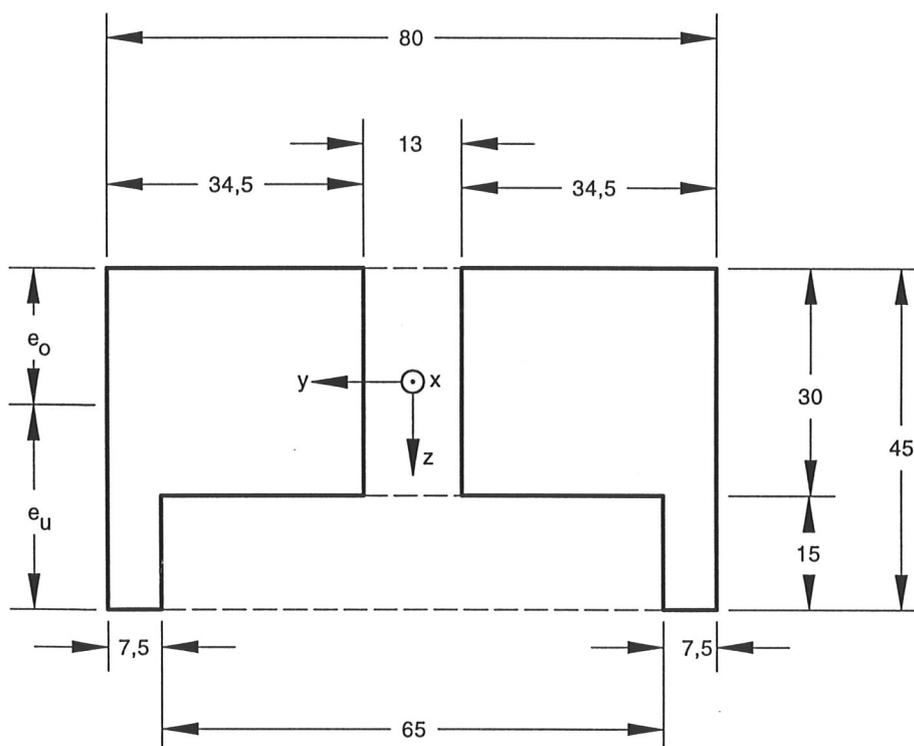


Bild 4-15 Nettoquerschnitt eines Seitenholzes (A65Z1)

Genauerer Nachweis (Seitenholz):

$$A_N = 2 \cdot (7,5 \cdot 15 + 34,5 \cdot 30) = 2295 \text{ mm}^2$$

$$e_o = \frac{2 \cdot 7,5 \cdot 45^2 + 52 \cdot 30^2}{2 \cdot [2 \cdot 7,5 \cdot 45 + 52 \cdot 30]} = 17,3 \text{ mm (Schwerpunktabstand vom äußeren Rand)}$$

$$e_u = 45 - 17,3 = 27,7 \text{ mm (Schwerpunktabstand vom inneren Rand)}$$

$$I_y = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot 7,5 \cdot 45^3 + 52 \cdot 30^3) - 17,3^2 \cdot (2 \cdot 7,5 \cdot 45 + 52 \cdot 30) = 254712 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,u} = 254712 / 27,7 = 9195 \text{ mm}^3$$

$$M = 0,5 \cdot F \cdot (0,5 \cdot t_1 - 7,5 \text{ mm}) = 0,5 \cdot 23000 \text{ N} \cdot (0,5 \cdot 45 \text{ mm} - 7,5 \text{ mm}) = 172500 \text{ Nmm}$$

$$\frac{\frac{M}{W_N}}{\text{zul } \sigma_B} = \frac{\frac{172500 \text{ Nmm}}{9195 \text{ mm}^3}}{10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1,876 > 1$$

$$\frac{\frac{N_Z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z|l}} = \frac{\frac{11500 \text{ N}}{2295 \text{ mm}^2}}{7,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,716 < 1$$

$$\frac{\frac{N_Z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z|l}} + \frac{\frac{M}{W_N}}{\text{zul } \sigma_B} = 0,716 + 1,876 = 2,592 \gg 1$$

Vereinfachter Nachweis nach DIN 1052, Teil 1:

$$\frac{1,5 \cdot \frac{N_Z}{A_N}}{\text{zul } \sigma_{z|l}} = \frac{1,5 \cdot \frac{11500 \text{ N}}{2295 \text{ mm}^2}}{7,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1,074 > 1$$

Der Ausnutzungsgrad der Hölzer im Nettoquerschnitt ist nach dem genaueren Nachweis wesentlich höher als nach dem vereinfachten Nachweis nach DIN 1052- 1. Es gelten demnach die gleichen Aussagen wie für die Einpreßdübel.

5 Zusammenfassung

Dübel besonderer Bauart finden im konstruktiven Ingenieurholzbau vielfach Verwendung. Die Dübel werden in zwei Gruppen unterteilt:

- Einpreßdübel
- Einlaßdübel

In DIN 1052- 2 finden sich abhängig von Dübeltyp und Dübeldurchmesser Werte für zulässige Belastungen der Dübel, sowie Mindestquerschnitte der Anschlußhölzer. Liegen mehr als zwei Dübel in Krafrichtung hintereinander, so ist nach DIN 1052- 2 die Anzahl der Dübel auf eine wirksame Anzahl $e_f n$ zu reduzieren. Mehr als 10 Dübel dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.

In Hinblick auf die Harmonisierung der europäischen Normen werden Rechenmodelle vorgeschlagen, um die charakteristische Tragfähigkeit von Dübeln besonderer Bauart bestimmen zu können. Hierbei werden die jeweiligen Versagensmechanismen (Nachweis der Lochleibungsfestigkeit und der Scherfestigkeit des Holzes) untersucht. Bei mehr als zwei Dübeln in Krafrichtung hintereinander wird der in DIN 1052- 2 enthaltene Abminderungsfaktor vorgeschlagen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, realistische Beiwerte zur Berücksichtigung des Einflusses der Anzahl von Dübeln besonderer Bauart in einer Verbindung und der Abstände dieser Dübel insbesondere in Faserrichtung anzugeben. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen auch direkt in die Arbeit der zur Zeit laufenden europäischen Bemühungen, eine einheitliche Regelung für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart zu finden, einfließen.

Um das geplante Versuchsprogramm auf seine Durchführbarkeit hin zu überprüfen, wurden Vorversuche mit Druckscher- und Zugscherkörpern durchgeführt. Für die Druckscherversuche wurden zwei Dübeltypen (Typ A und Typ D) und jeweils drei Dübeldurchmesser variiert. Insgesamt standen 30 Druckscherkörper zur Verfügung. Für die Zugscherversuche wurden zwei Dübeltypen (Typ A und Typ D), jeweils zwei Dübeldurchmesser und zwei Randabstandskombinationen gewählt. Es wurden 6 Zugscherkörper geprüft. Die Vorversuche zeigten, daß das Versuchsprogramm, so wie geplant, durchgeführt werden konnte.

Die Prüfkörper der Hauptversuche wurden von Zimmereien, Leimbaubetrieben und Meisterschulen des Zimmerhandwerks hergestellt, um die in der Praxis unvermeidlichen Paß- und Herstellungsungenauigkeiten zu ermitteln.

Für die Druckscherkörper wurden zwei verschiedene Holzbreiten (Reihe N und M) geprüft.

Die Ergebnisse der Druckscherversuche mit Einpreßdübeln (Typ D) zeigen, daß die vorgeschlagene Bemessungsgleichung wirklichkeitsnahe Ergebnisse liefert. Die Versuchsreihe mit den geringeren Holzdicken (Reihe M) zeigte im Mittel kleinere Traglasten. Ein Anfangsschlupf konnte nicht festgestellt werden. Es besteht eine geringe Korrelation zwischen Rohdichte und Traglast.

Die Versuchsergebnisse der Druckscherversuche mit Einlaßdübeln (Typ A) zeigen ebenfalls, daß die vorgeschlagenen Bemessungsgleichungen wirklichkeitsnahe Ergebnisse liefern. Einige Verbindungen mit Einlaßdübeln wiesen einen Anfangsschlupf auf, der sich auf herstellungsbedingte Paßungenauigkeiten zurückführen läßt. Die Versuchsreihe mit den geringeren Holzdicken (Reihe M) zeigte im Mittel kleinere Traglasten. Es besteht eine geringe Korrelation zwischen Rohdichte und Traglast.

Infolge der herstellungsbedingten Paßungenauigkeiten streuten die Traglasten der Prüfkörper beider Dübeltypen (Typ A und Typ D) in weiten Grenzen. Die in DIN 1052 angegebenen zulässigen Beanspruchungen von Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart erfordern eine sorgfältige und paßgenaue Herstellung der Verbindungen. Dies gilt sinngemäß auch für das in CEN TC 124 WG 4 erarbeitete Bemessungsverfahren für Dübel besonderer Bauart.

Für die Zugscherversuche wurden Prüfkörper mit einem, drei und fünf Dübeln in Krafrichtung hintereinander liegend hergestellt. Es wurden zwei Dübeldurchmesser und vier Randabstandskombinationen untersucht. Hier zeigten sich andere als die erwarteten Versagensmechanismen. Bis auf wenige Ausnahmen spalteten die Hölzer entlang der Verbindungsmittelreihe auf, oder rissen im Nettoquerschnitt ab. Eine Nachbemessung der Seitenhölzer zeigte, daß der Bemessungsvorschlag der DIN 1052- 1 weit auf der unsicheren Seite liegt. In Abschnitt 7.3 wird gefordert, die einseitig beanspruchten Holzteile von Stößen und Anschlüssen für die 1,5- fache anteilige Zugkraft zu bemessen. Für Zuganschlüsse mit Dübeln besonderer Bauart ist dringend geboten, einen genaueren Spannungsnachweis der Hölzer im Nettoquerschnitt mit Ansatz des eingepprägten Exzentrizitätsmomentes zu führen.

Aufgrund der unerwarteten Versagensmechanismen und der daraus resultierenden geringen Traglasten, sind die Versuchsergebnisse der Zugscherversuche nicht für die geplante Auswertung der Ergebnisse in Hinblick auf das Zusammenwirken mehrerer Dübel in einer Verbindung zu verwenden.

Für die Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens mehrerer in Krafrichtung hintereinanderliegender Dübel besonderer Bauart sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

6 Literatur

- [1] Blaß, H.J. (1990). Untersuchungen über die Variation des Last-Verschiebungsverhaltens in Nagelverbindungen. Variation rechtwinklig zur Faserrichtung, Holz als Roh- und Werkstoff 48, Springer-Verlag
- [2] Blaß, H.J. (1991). Untersuchungen zur Lastverteilung in Nagelverbindungen. Holz als Roh- und Werkstoff 49, Springer-Verlag
- [3] Blaß, H.J. (1990). Untersuchungen über die Variation des Last-Verschiebungsverhaltens in Nagelverbindungen. Variation rechtwinklig zur Faserrichtung, Holz als Roh- und Werkstoff 48, Springer-Verlag
- [4] Blaß, H.J. (1991). Traglastberechnung von Nagelverbindungen, Holz als Roh- und Werkstoff 49, Springer-Verlag
- [5] Blaß, H.J. (1991). Zum Einfluß der Nagelanzahl auf die Tragfähigkeit von Nagelverbindungen. Holzbauforschung/Statik, Bauen mit Holz 93(1)
- [6] Blaß, H.J.; Görlacher, R.; Steck, G. (Herausgeber, 1995). Holzbauwerke STEP 1 - Bemessung und Baustoffe. Fachverlag Holz, Düsseldorf
- [7] ARGE HOLZ e.V., Düsseldorf, Bruderverlag, Karlsruhe (Herausgeber, 1995). Holzbauwerke STEP 4 - Eurocode 5 - Nationales Anwendungsdokument. Fachverlag Holz, Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis - Anlagen

Druckscherversuche

Einpreßdübel

D50N

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 3-1 bis 3-5

Statistische Auswertung - Tabellen.....Anlage 3-6 bis 3-7

Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...Anlage 3-8

D50M

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 3-9 bis 3-13

Statistische Auswertung - Tabellen.....Anlage 3-14 bis 3-15

Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...Anlage 3-16

D80M

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 3-17 bis 3-22

Statistische Auswertung - Tabellen.....Anlage 3-23 bis 3-24

Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...Anlage 3-25

D80N

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 3-26 bis 3-31

Statistische Auswertung - Tabellen.....Anlage 3-32 bis 3-33

Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...Anlage 3-34

D115N

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 3-35 bis 3-39

Statistische Auswertung - Tabellen.....Anlage 3-40 bis 3-41

Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...Anlage 3-42

D115M

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 3-43 bis 3-48

Statistische Auswertung - Tabellen.....Anlage 3-48 bis 3-49

Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...Anlage 3-50

Einlaßdübel**A65N**

Last- Verschiebungsdiagramme.....	Anlage 3-51 bis 3-57
Statistische Auswertung - Tabellen.....	Anlage 3-58 bis 3-59
Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...	Anlage 3-60

A65M

Last- Verschiebungsdiagramme.....	Anlage 3-61 bis 3-67
Statistische Auswertung - Tabellen.....	Anlage 3-68 bis 3-69
Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...	Anlage 3-70

A95M

Last- Verschiebungsdiagramme.....	Anlage 3-71 bis 3-77
Statistische Auswertung - Tabellen.....	Anlage 3-77 bis 3-78
Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...	Anlage 3-79

A95N

Last- Verschiebungsdiagramme.....	Anlage 3-80 bis 3-86
Statistische Auswertung - Tabellen.....	Anlage 3-86 bis 3-87
Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...	Anlage 3-88

A128N

Last- Verschiebungsdiagramme.....	Anlage 3-89 bis 3-95
Statistische Auswertung - Tabellen.....	Anlage 3-96 bis 3-97
Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...	Anlage 3-98

A128M

Last- Verschiebungsdiagramme.....	Anlage 3-99 bis 3-105
Statistische Auswertung - Tabellen.....	Anlage 3-105 bis 3-106
Mittelwert-, Fraktil- und Rechenmodellldiagramme...	Anlage 3-107

Zugscherversuche

Einpreßdübel

D50Z1A/B/C/D

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-1 bis 4-2

D50Z3A/B/C/D

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-3 bis 4-4

D50Z5A/B/C/D

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-5 bis 4-6

D80Z1/3/5B

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-7 bis 4-8

Statistische Auswertung - Tabellen..... Anlage 4-9 bis 4-10

Einlaßdübel

A65Z1A/B/C/D

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-11 bis 4-12

A65Z3A/B/C/D

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-13 bis 4-14

A65Z5A/B/C/D

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-15 bis 4-16

A95Z1/3/5B

Last- Verschiebungsdiagramme.....Anlage 4-17 bis 4-18

Statistische Auswertung - Tabellen..... Anlage 4-19 bis 4-20

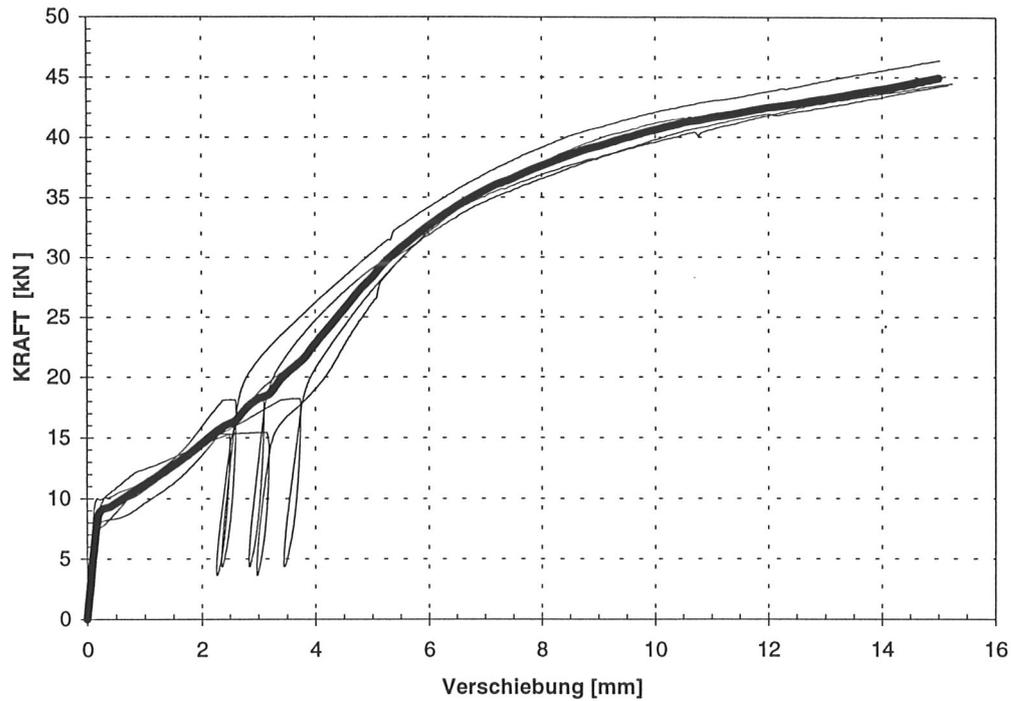


Bild A3-1 Last- Verschiebungskurven der D50N1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

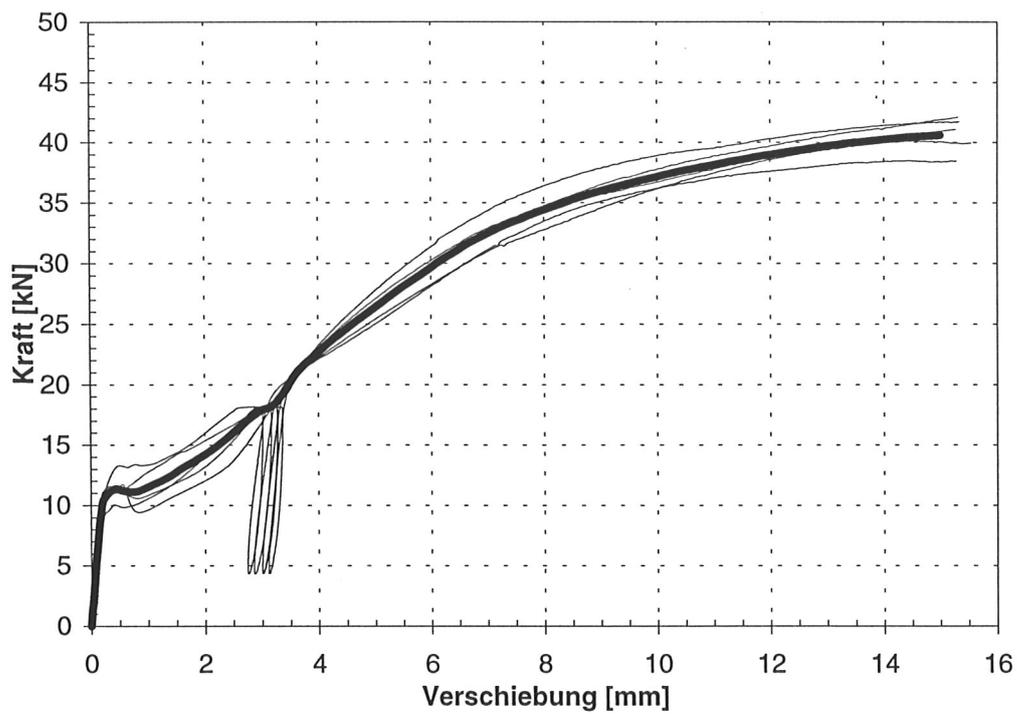


Bild A3-2 Last- Verschiebungskurven der D50N2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

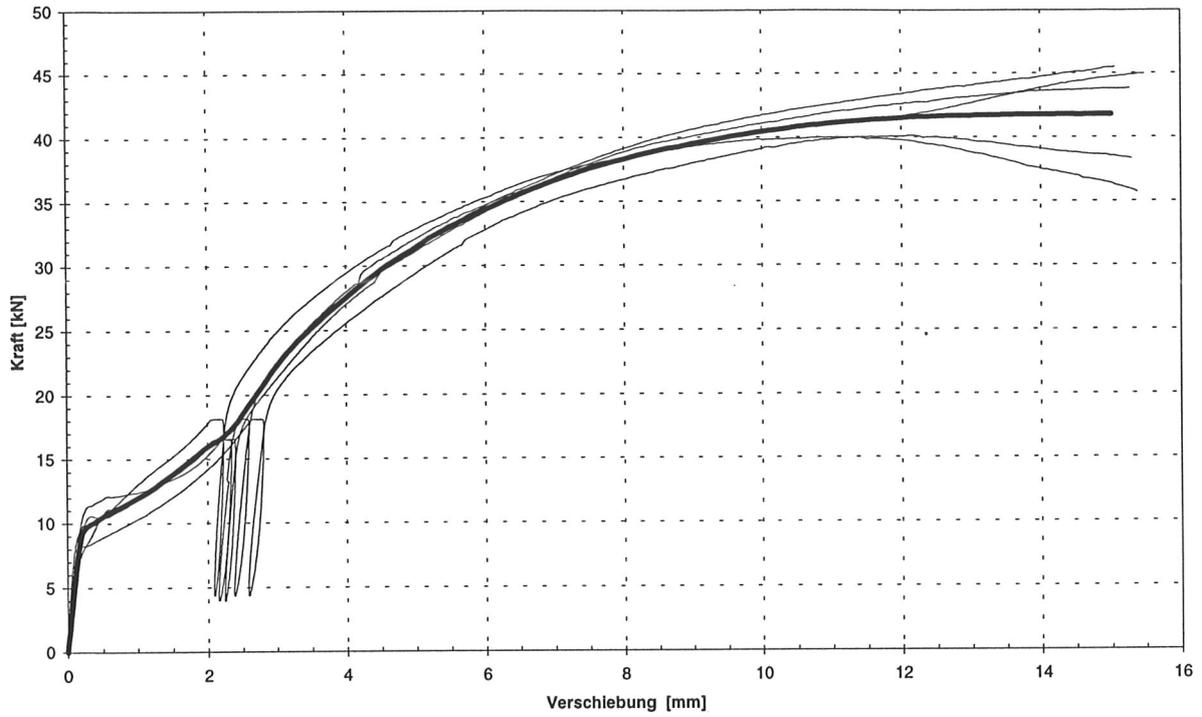


Bild A3-3 Last- Verschiebungskurven der D50N3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

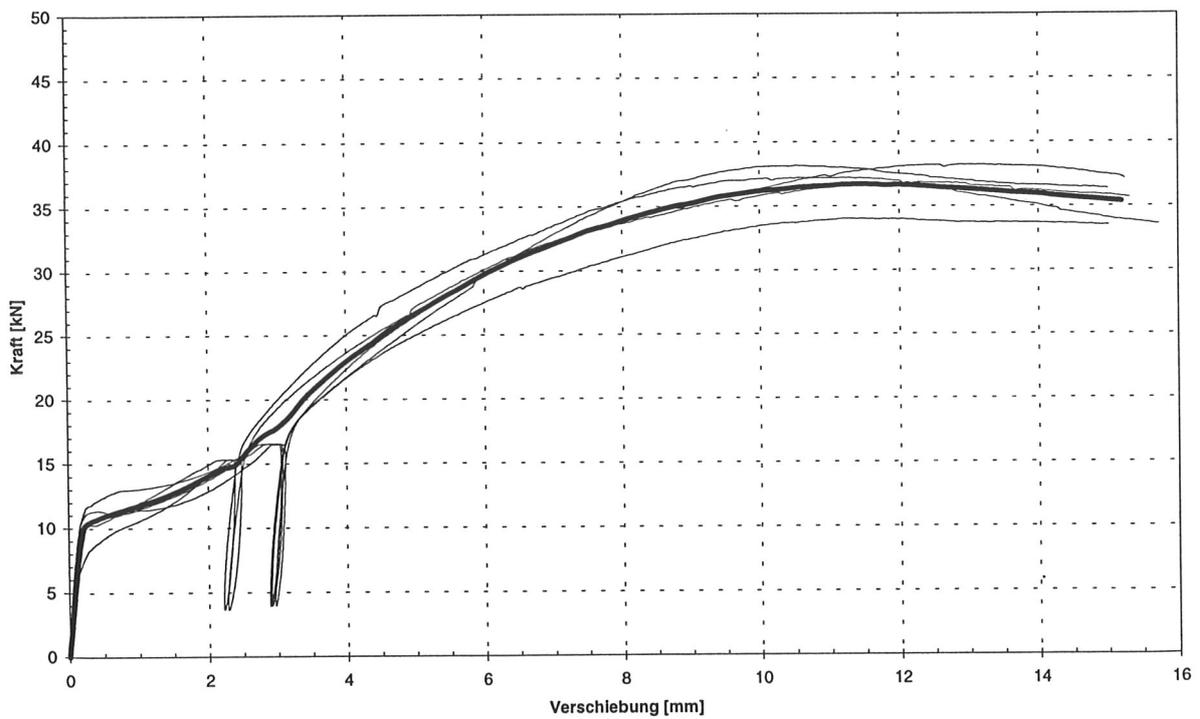


Bild A3-4 Last- Verschiebungskurven der D50N4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

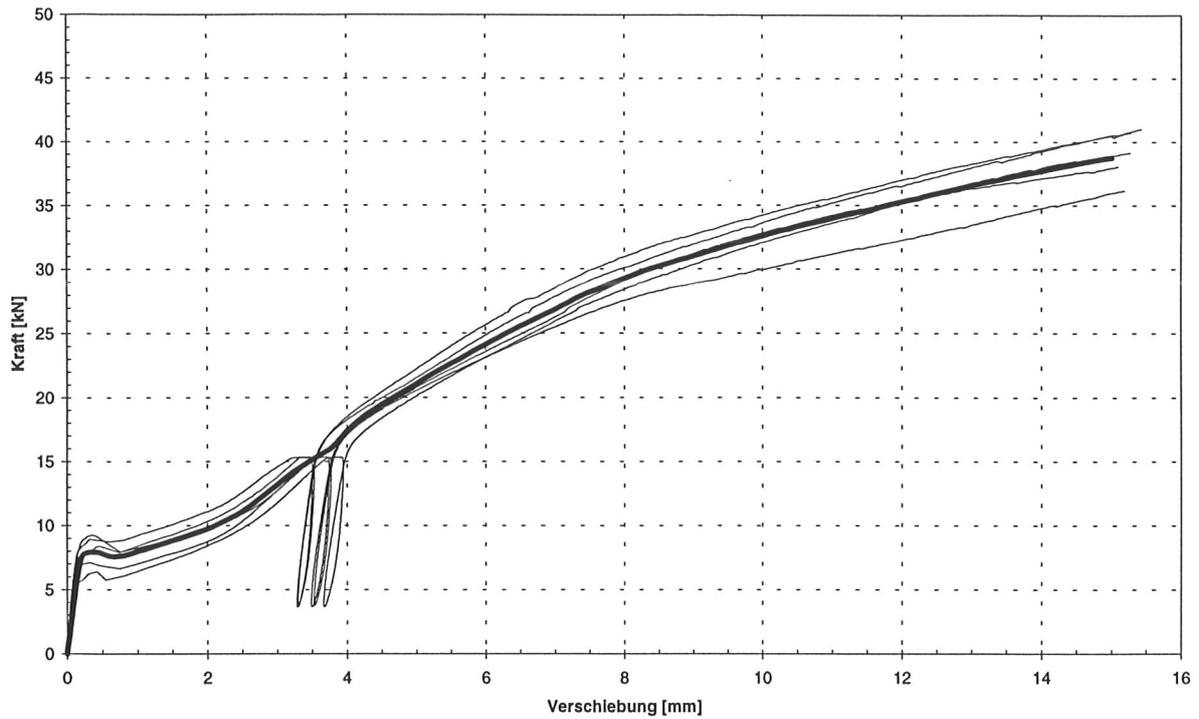


Bild A3-5 Last- Verschiebungskurven der D50N5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

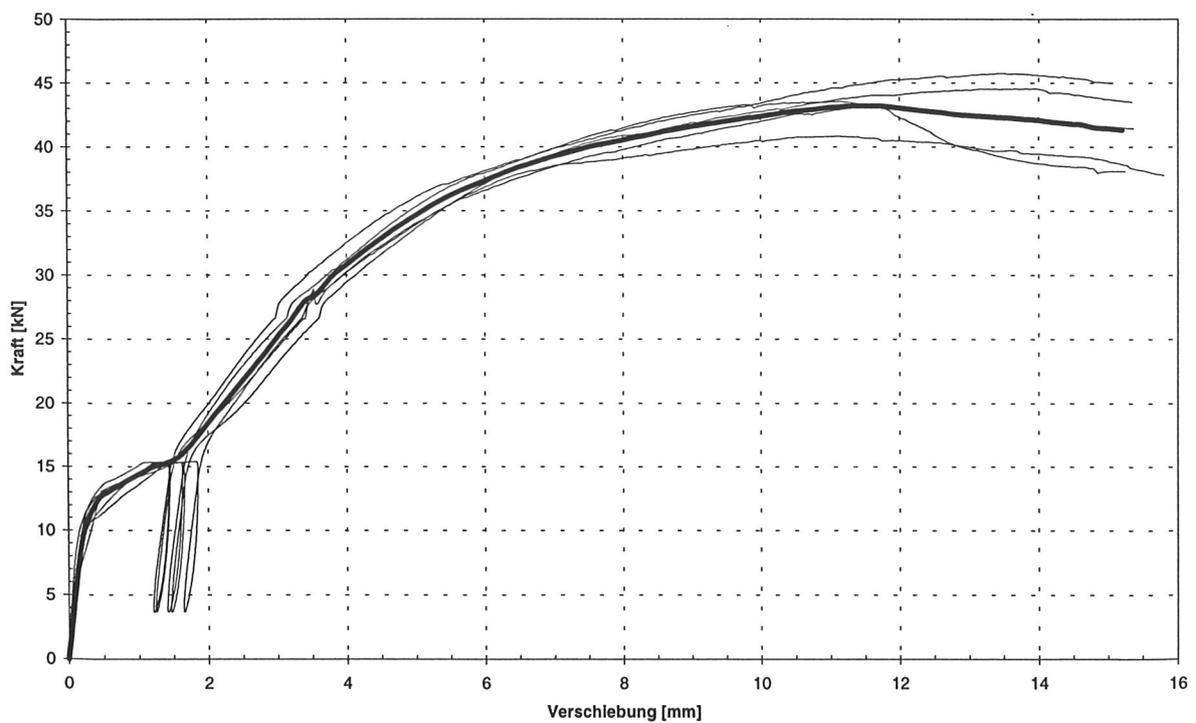


Bild A3-6 Last- Verschiebungskurven der D50N6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

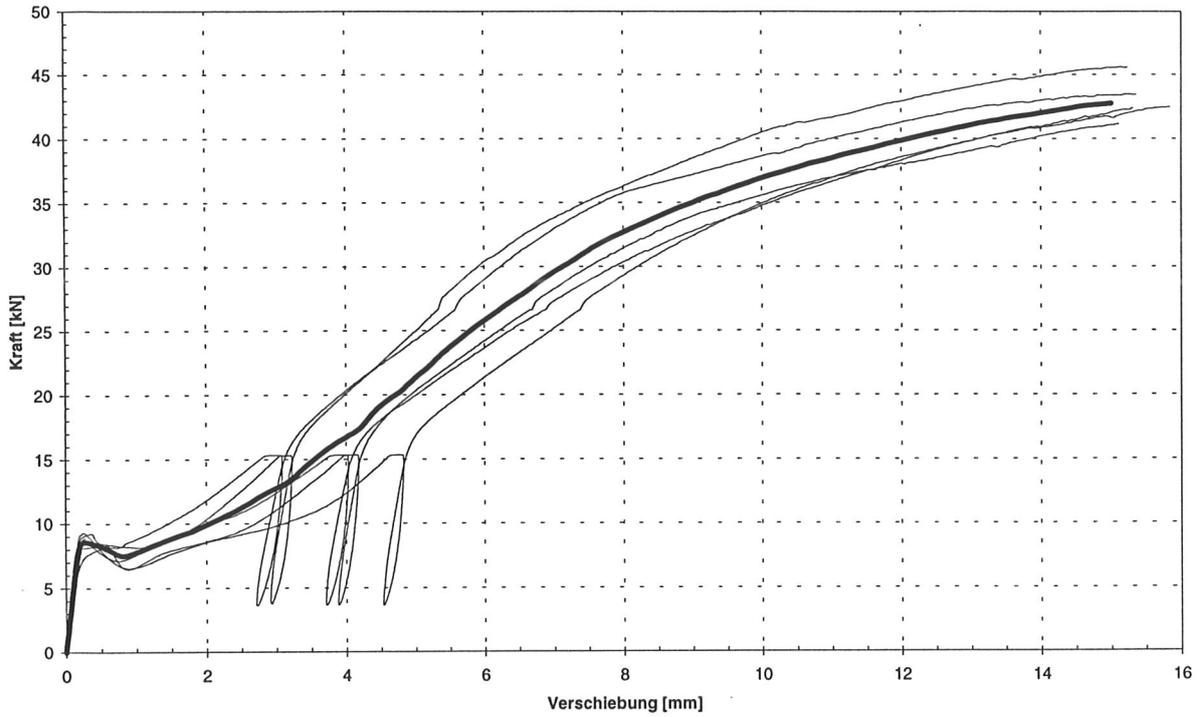


Bild A3-7 Last- Verschiebungskurven der D50N7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

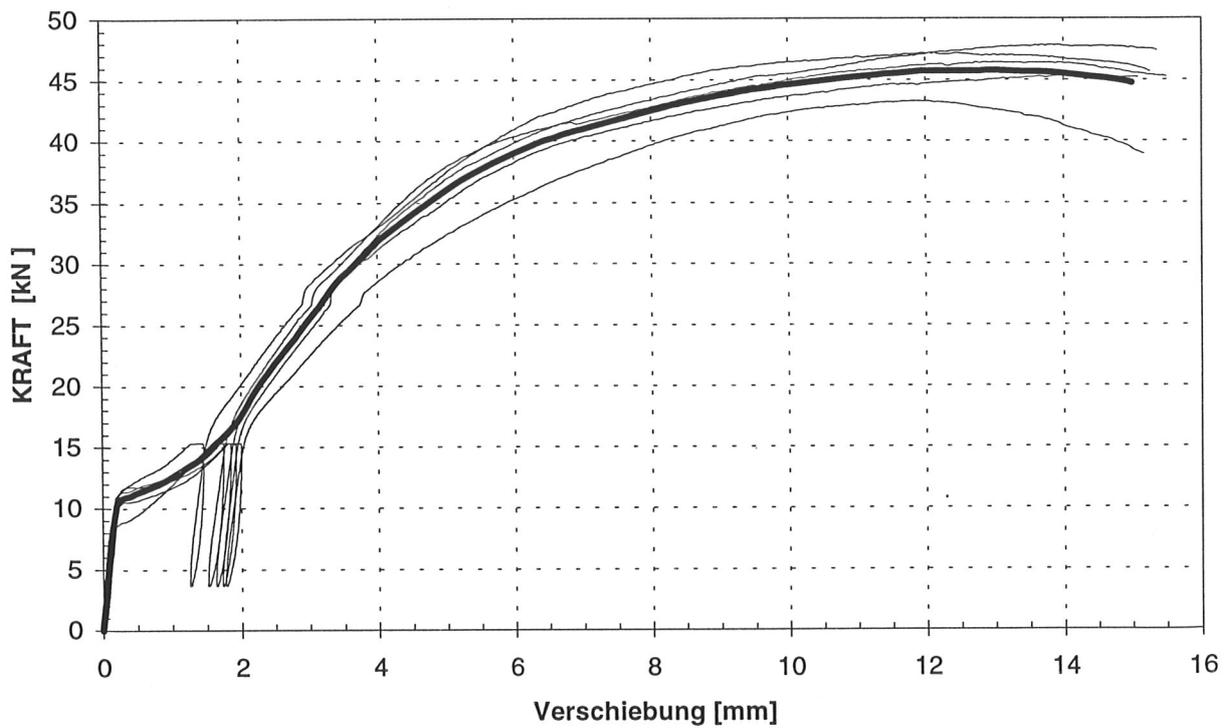


Bild A3-8 Last- Verschiebungskurven der D50N8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

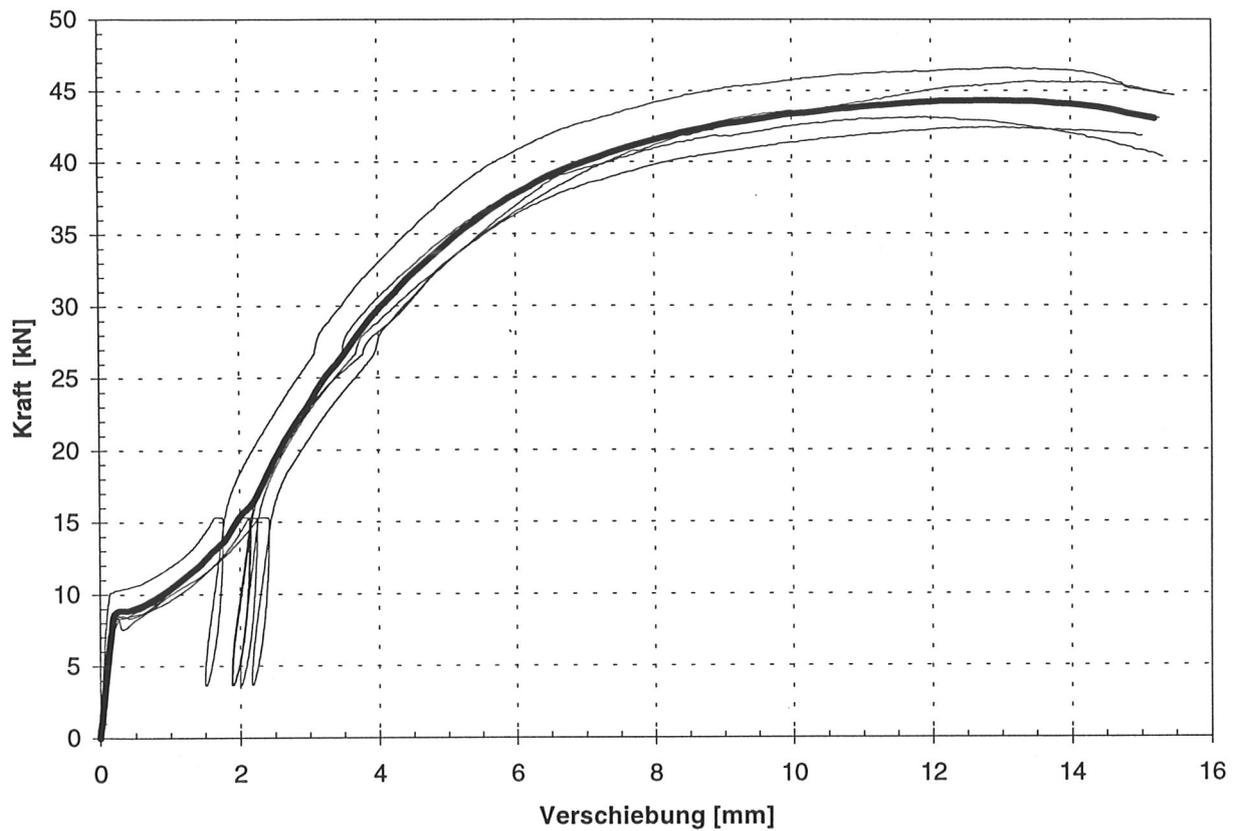


Bild A3-9 Last- Verschiebungskurven der D50N9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

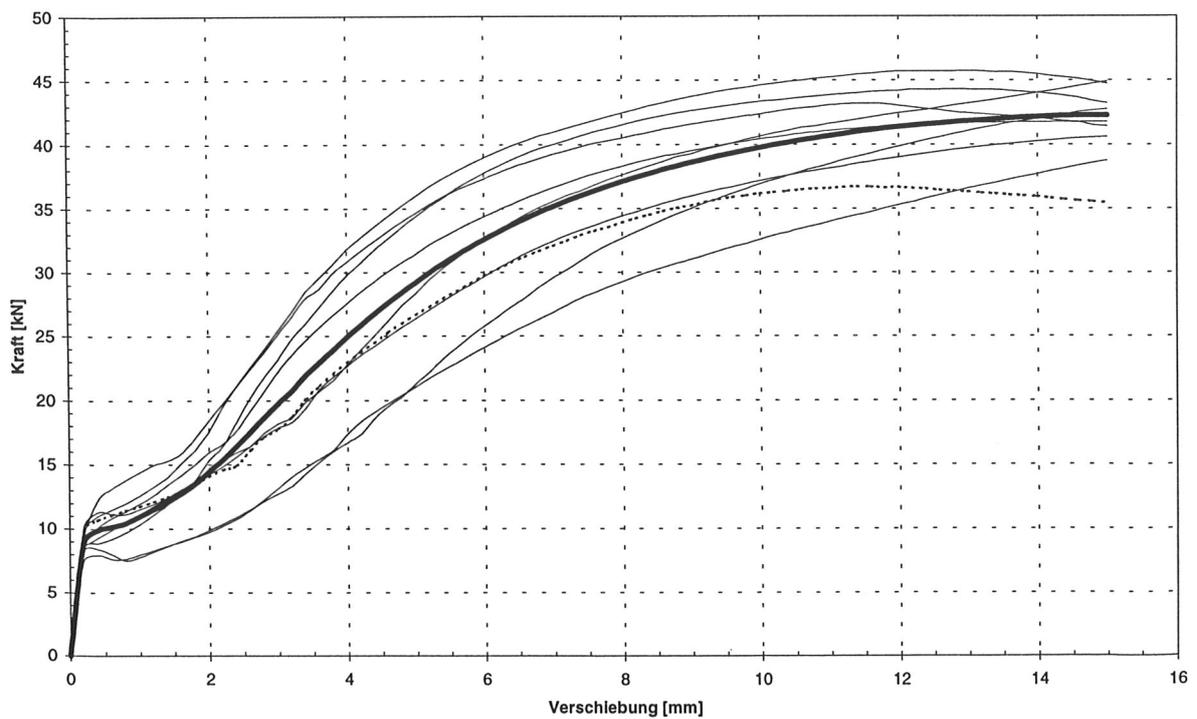


Bild A3-10 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der D50N- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-1 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe D50N

Dübeltyp D50N	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ zul $F=16\text{kN}$	\bar{X} $v (0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	\bar{X} $v (\text{zul } F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	44,9	2,81	1,5	2,6	4883	432
2	40,6	2,54	1,6	2,4	4747	390
3	42,8	2,68	1,3	2,0	5990	391
4 ¹	36,9	2,31	1,6	2,6	4818	367
5	38,7	2,42	2,9	3,6	3373	436
6	43,6	2,72	0,6	1,4	9484	442
7	42,8	2,67	3,1	3,8	3291	449
8	46,0	2,88	1,1	1,7	7342	423
9	44,4	2,78	1,6	2,1	5878	462

Tabelle A3-2 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe D50N

Dübeltyp D50N	F_{\max} [kN]	$v (0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	$v (\text{zul } F)$ [mm]	k_s [N/mm]
Mittelwert	43,0 (42,3)	1,7 (1,7)	2,5 (2,5)	5624 (5534)
5%- Fraktile	37,9 (36,2)	0,4 (0,5)	1,3 (1,3)	2930 (2968)
Standard- abweichung	2,8 (3,3)	0,9 (0,8)	0,9 (0,8)	2095 (1995)

¹ Die Serie D50N4 wurde aufgrund der Herstellungsungenauigkeiten bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052- 2 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-3 Korrelation der Auswertungsparameter der Reihe D50N

D50N	F_{\max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	min ρ
F_{\max}	1,0 (0,40)	0,42 (0,40)	-0,44 (-0,32)	-0,48 (-0,41)	0,25 (0,58)
k_s	0,42 (0,40)	1,0	-0,85 (-0,83)	-0,88 (-0,88)	0,01 (0,09)
v (0,8zul.F)	-0,44 (-0,32)	-0,85 (-0,83)	1,0	0,95 (0,94)	0,28 (0,26)
v (zul.F)	-0,48 (-0,41)	-0,88 (-0,88)	0,95 (0,94)	1,0	0,21 (0,13)
min ρ	0,25 (0,58)	0,01 (0,09)	0,28 (0,26)	0,21 (0,13)	1,0

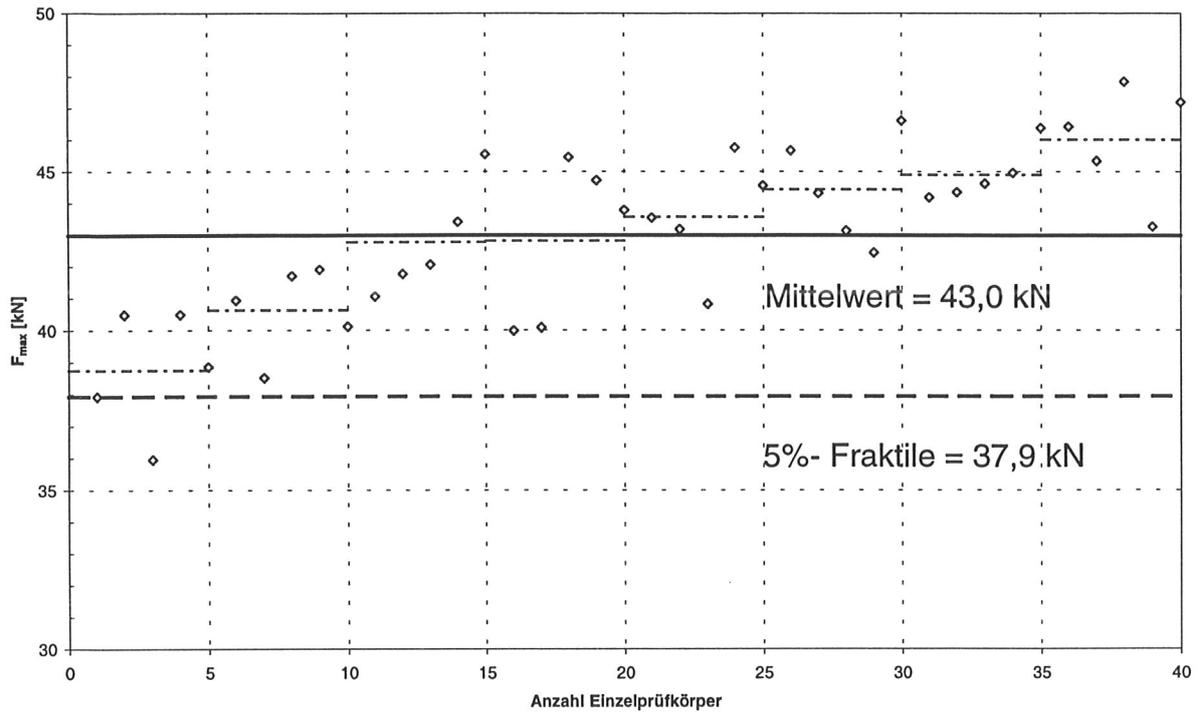


Bild A3-11 Mittelwert und 5%- Fraktile der D50N- Serie

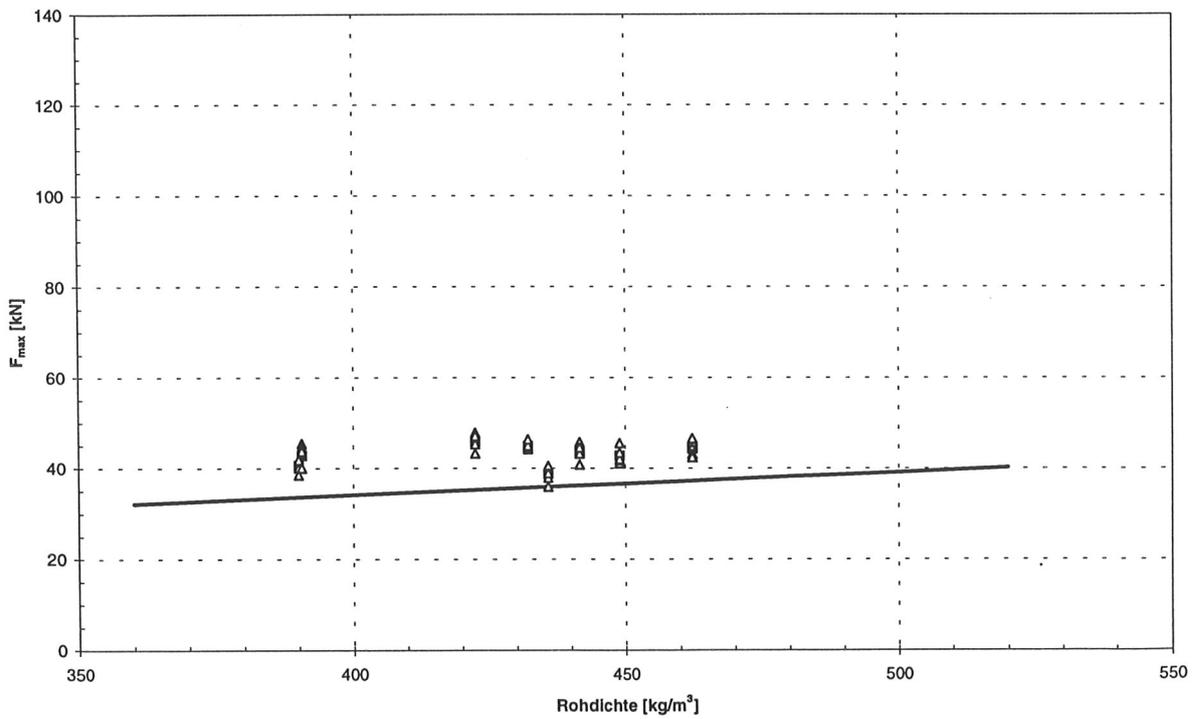


Bild A3-12 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D50N- Serie

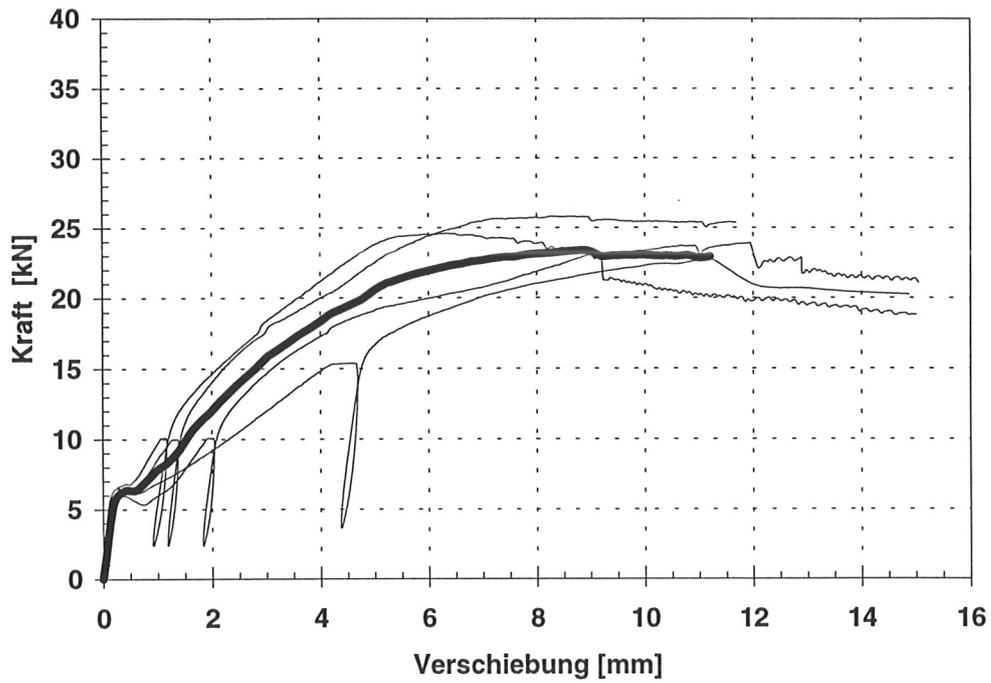


Bild A3-13 Last- Verschiebungskurven der D50M1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

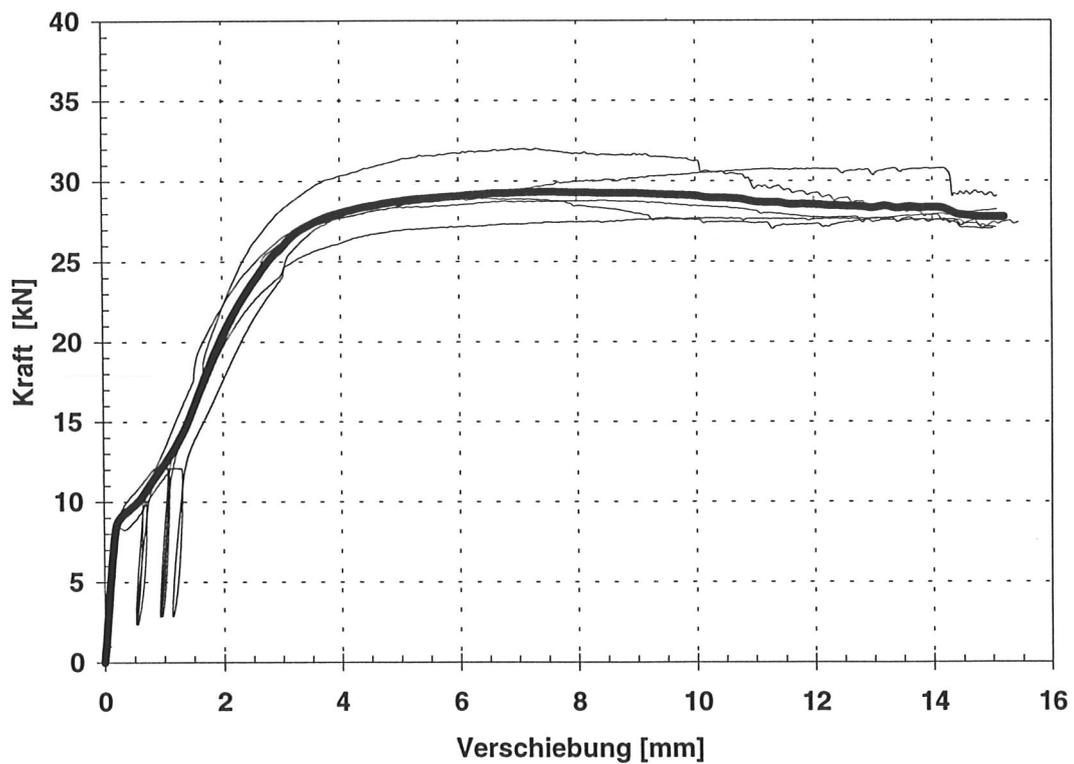


Bild A3-14 Last- Verschiebungskurven der D50M2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

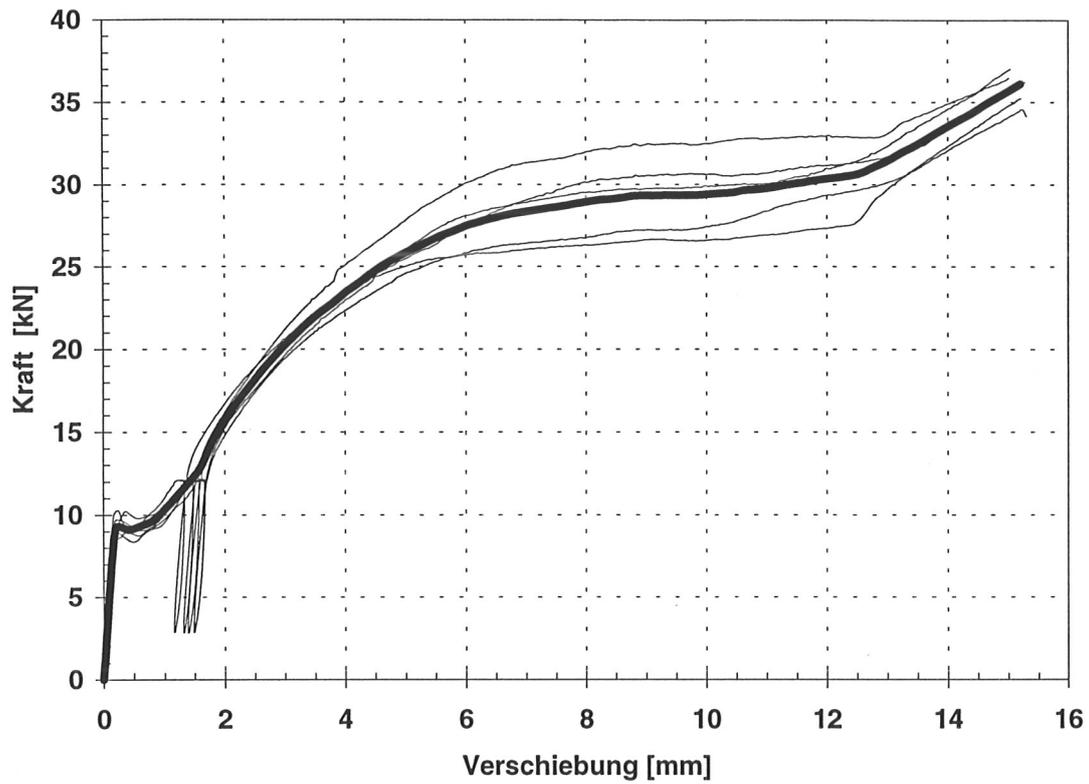


Bild A3-15 Last- Verschiebungskurven der D50M3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

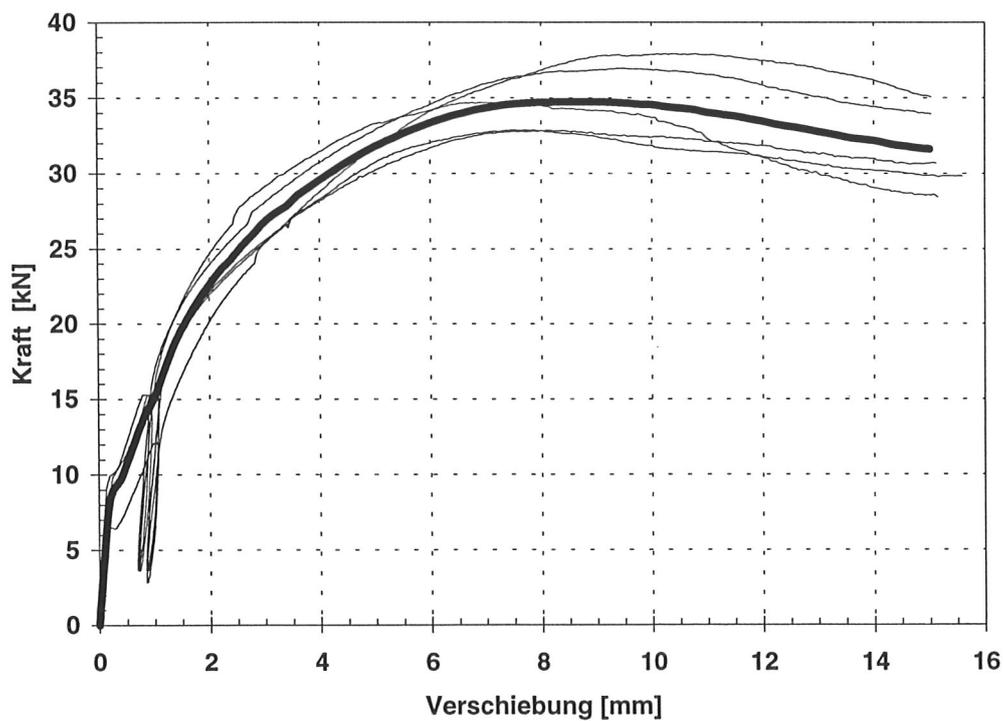


Bild A3-16 Last- Verschiebungskurven der D50M4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

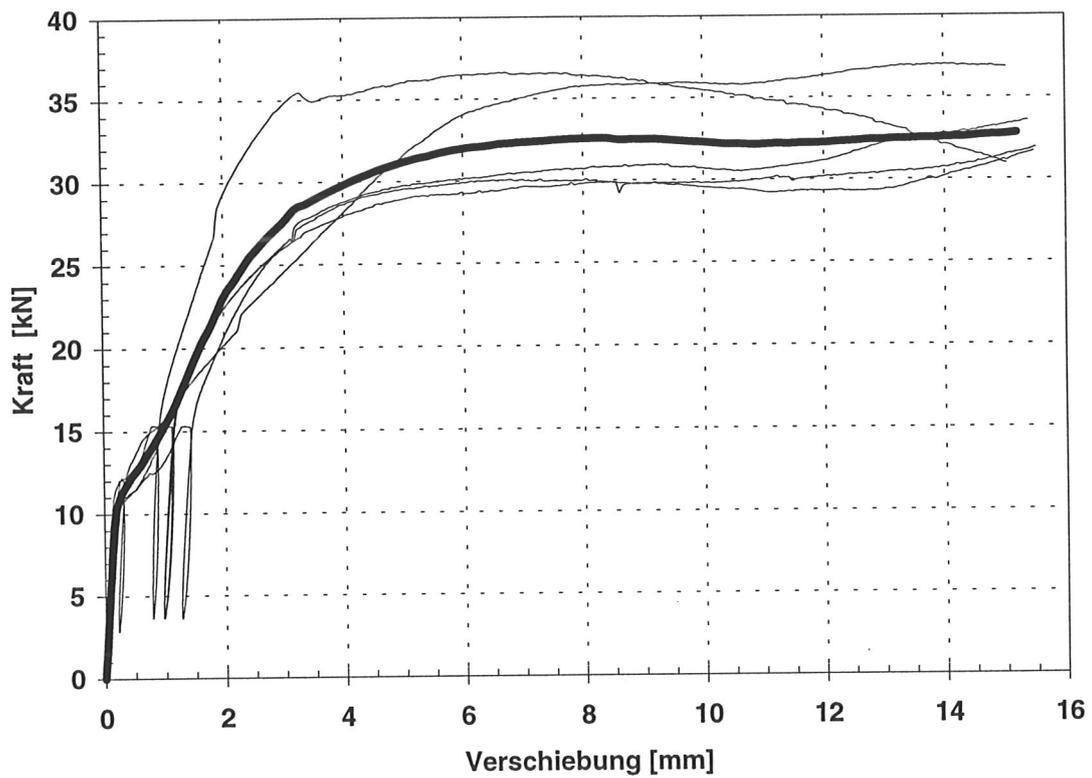


Bild A3-17 Last- Verschiebungskurven der D50M5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

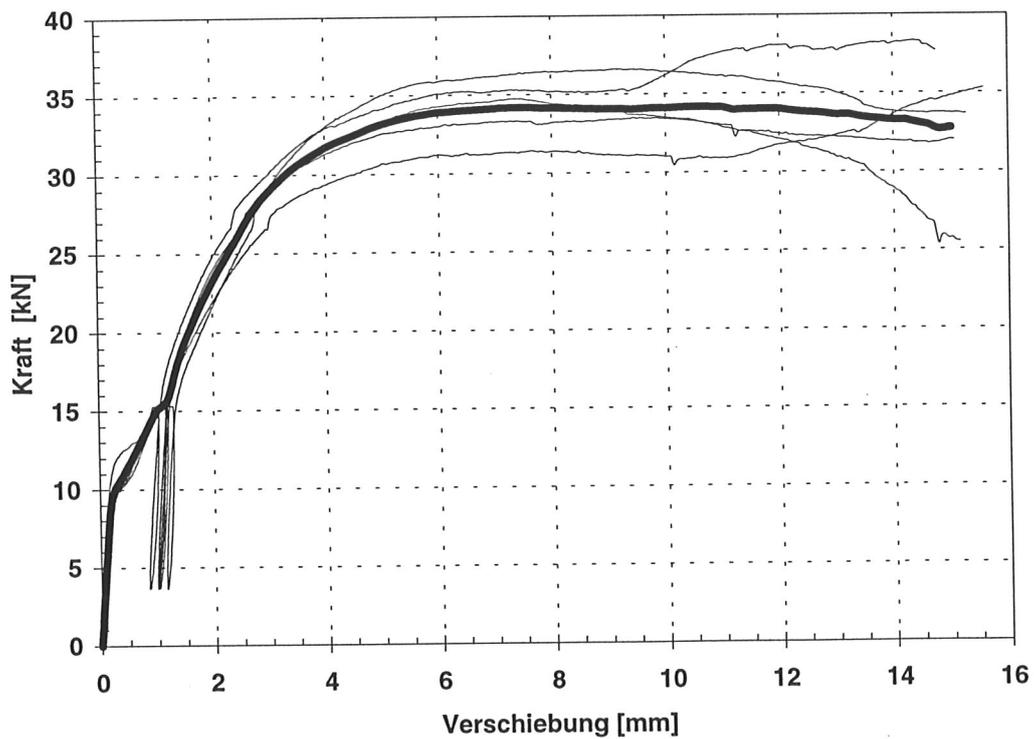


Bild A3-18 Last- Verschiebungskurven der D50M6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

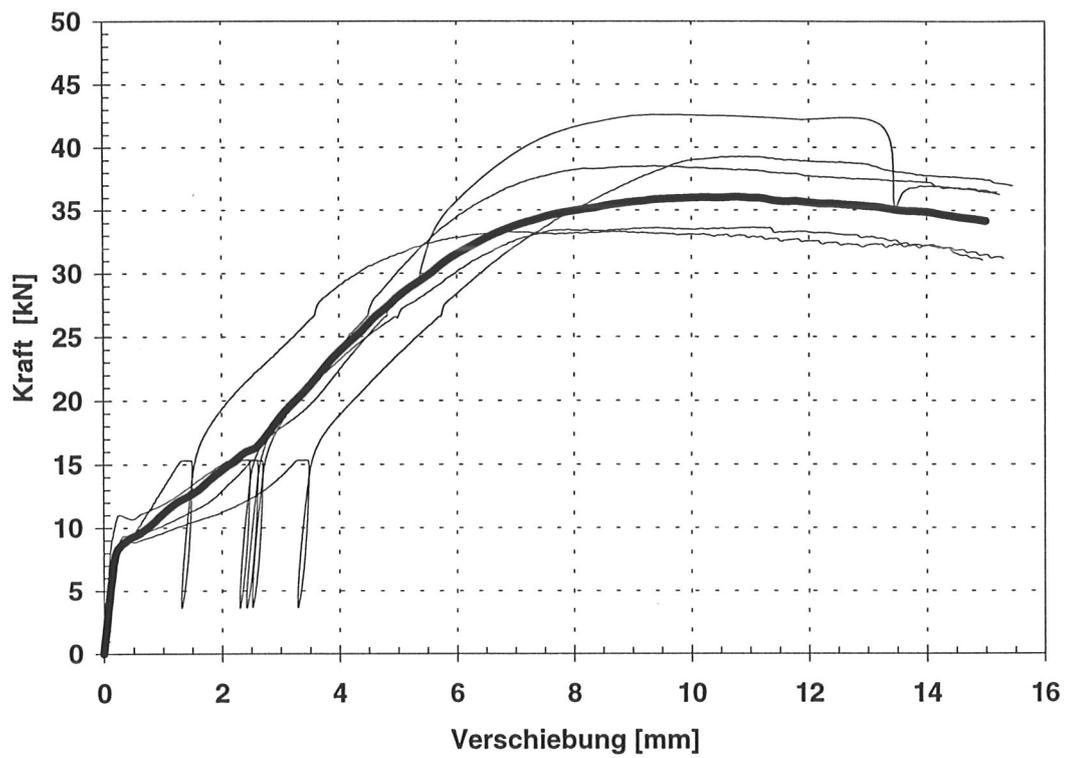


Bild A3-19 Last- Verschiebungskurven der D50M7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

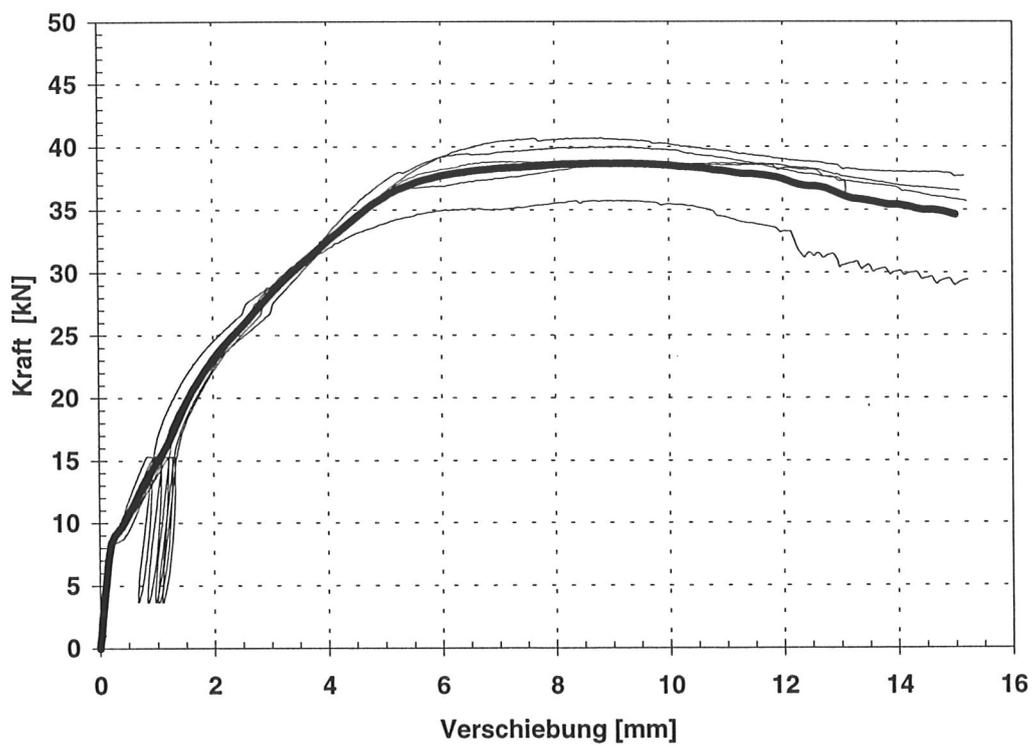


Bild A3-20 Last- Verschiebungskurven der D50M8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

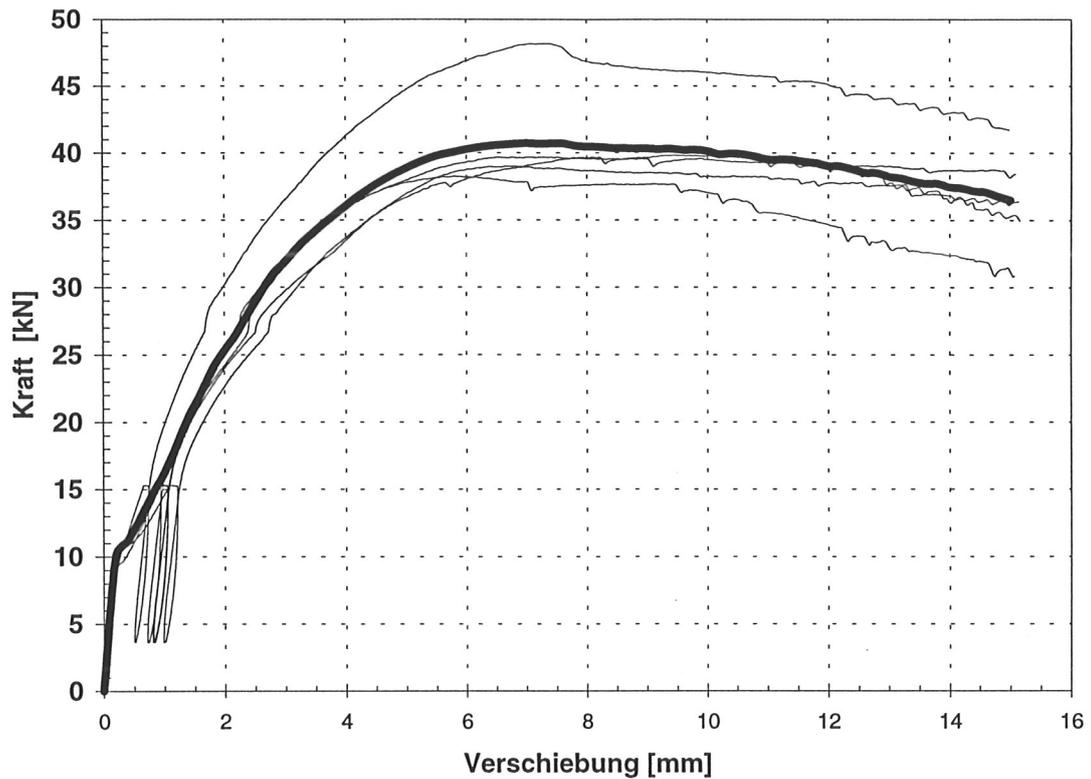


Bild A3-21 Last- Verschiebungskurven der D50M9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

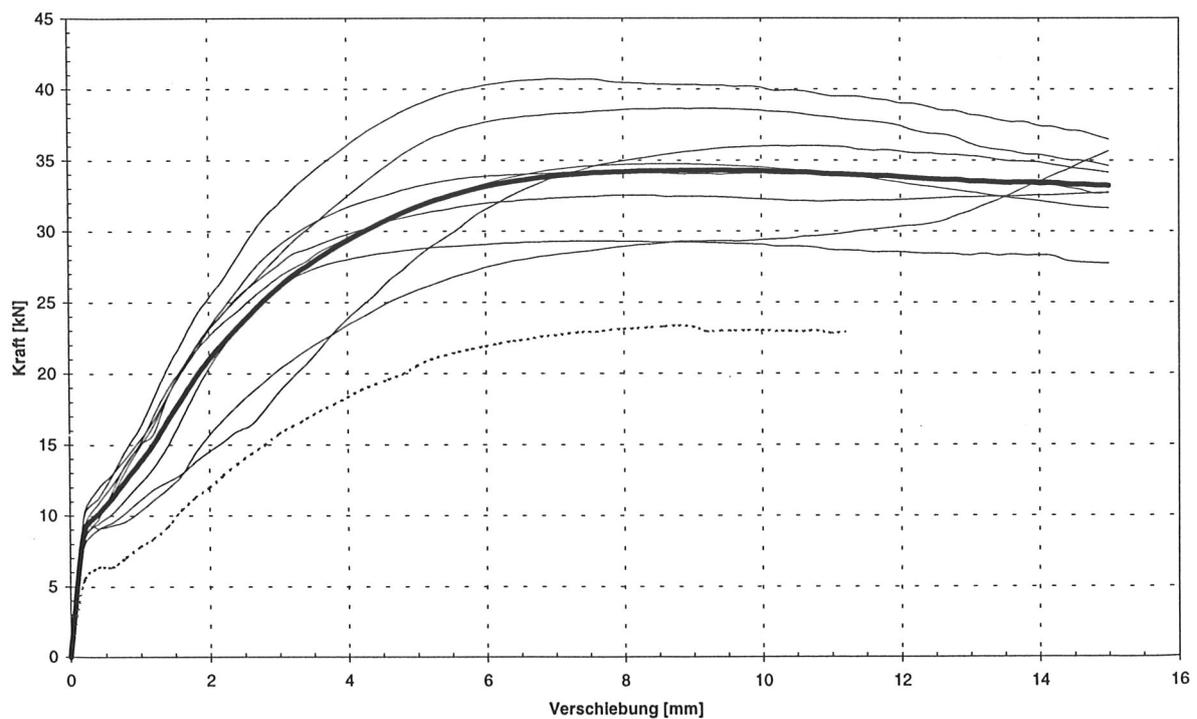


Bild A3-22 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der D50M- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-4 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe D50M

Dübeltyp D50M	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max}/\text{zul } F$ zul $F=16\text{kN}$	\bar{X} $v (0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	\bar{X} $v (\text{zul } F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
1 ²	24,5	1,53	2,1	2,9	4364	451
2	29,7	1,86	1,0	1,5	11723	409
3	35,6	2,22	1,5	2,1	6699	474
4	35,1	2,19	0,7	1,0	12926	355
5	33,9	2,12	0,6	1,1	17309	401
6	35,6	2,22	0,7	1,1	11788	447
7	37,5	2,34	1,7	2,4	5587	430
8	38,8	2,42	0,8	1,1	11753	508
9	41,0	2,56	0,6	0,9	14014	501

Tabelle A3-5 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe D50M

Dübeltyp D50M	F_{\max} [kN]	$v (0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	$v (\text{zul } F)$ [mm]	k_s [N/mm]
Mittelwert	35,9 (34,6)	0,9 (1,1)	1,4 (1,6)	11475 (10685)
5%- Fraktile	28,8 (24,1)	0,5 (0,5)	0,8 (0,8)	4660 (2972)
Standard- abweichung	4,0 (5,2)	0,5 (0,6)	0,6 (0,8)	5527 (5712)

² Die Serie D50M1 wurde aufgrund der Herstellungsungenauigkeiten bei der Auswertung nicht berücksichtigt

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-6 Korrelation der Auswertungsparameter der Reihe D50M

D50M	F_{max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	min ρ
F_{max}	1,0 (0,33)	0,09 (0,33)	0,00 (-0,43)	-0,05 (-0,46)	0,66 (0,37)
k_s	0,09 (0,33)	1,0	-0,69 (0,68)	-0,63 (-0,64)	-0,21 (-0,21)
v (0,8zul.F)	0,00 (-0,43)	-0,69 (0,68)	1,0	0,97 (0,98)	0,05 (0,08)
v (zul.F)	-0,05 (-0,46)	-0,63 (-0,64)	0,97 (0,98)	1,0	0,00 (0,05)
min ρ	0,66 (0,37)	-0,21 (-0,21)	0,05 (0,08)	0,00 (0,05)	1,0

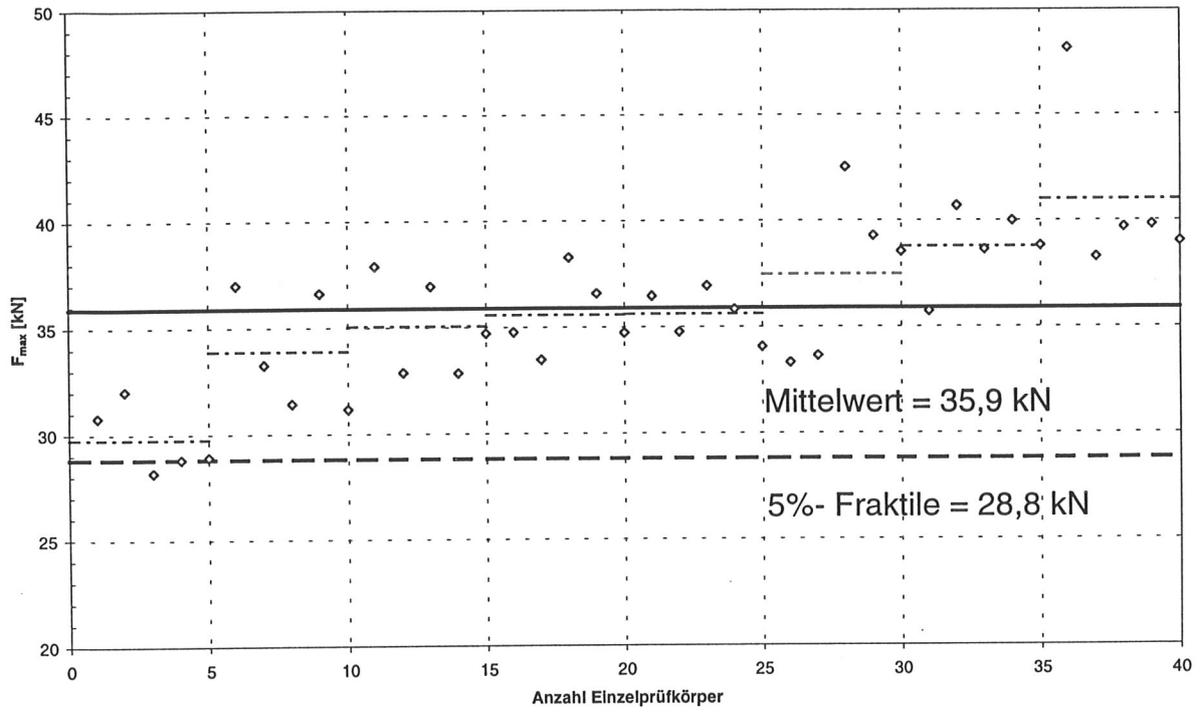


Bild A3-23 Mittelwert und 5%- Fraktile der D50M- Serie

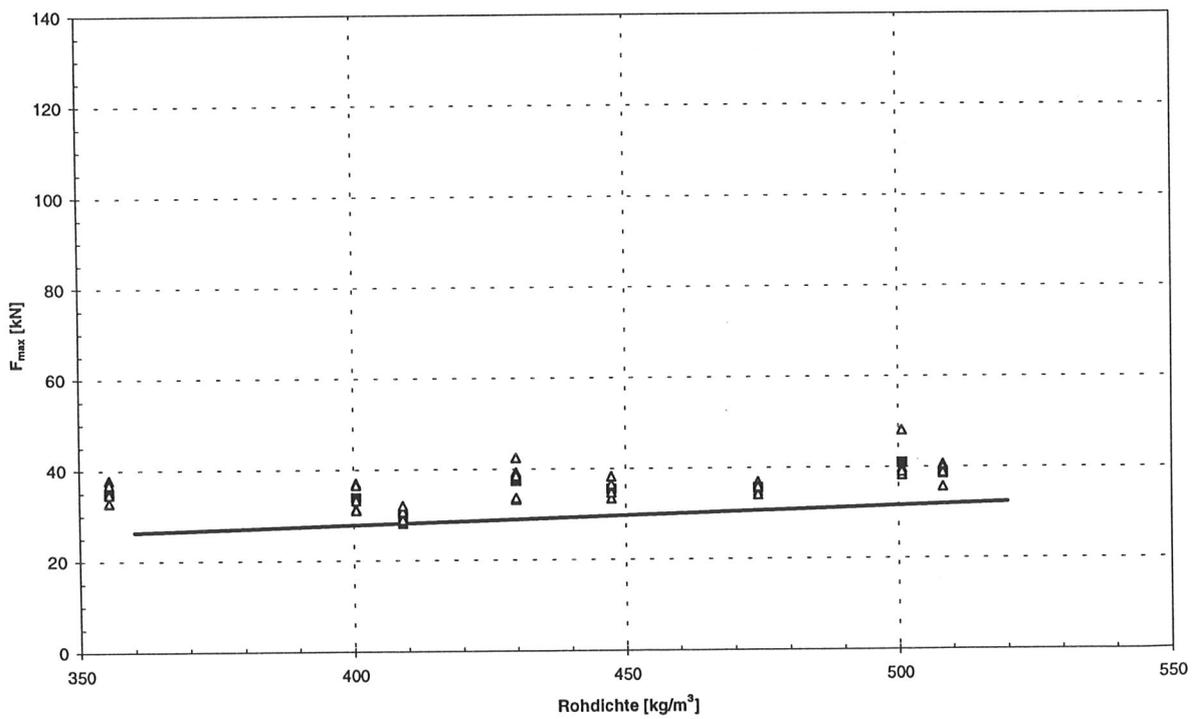


Bild A3-24 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D50M- Serie

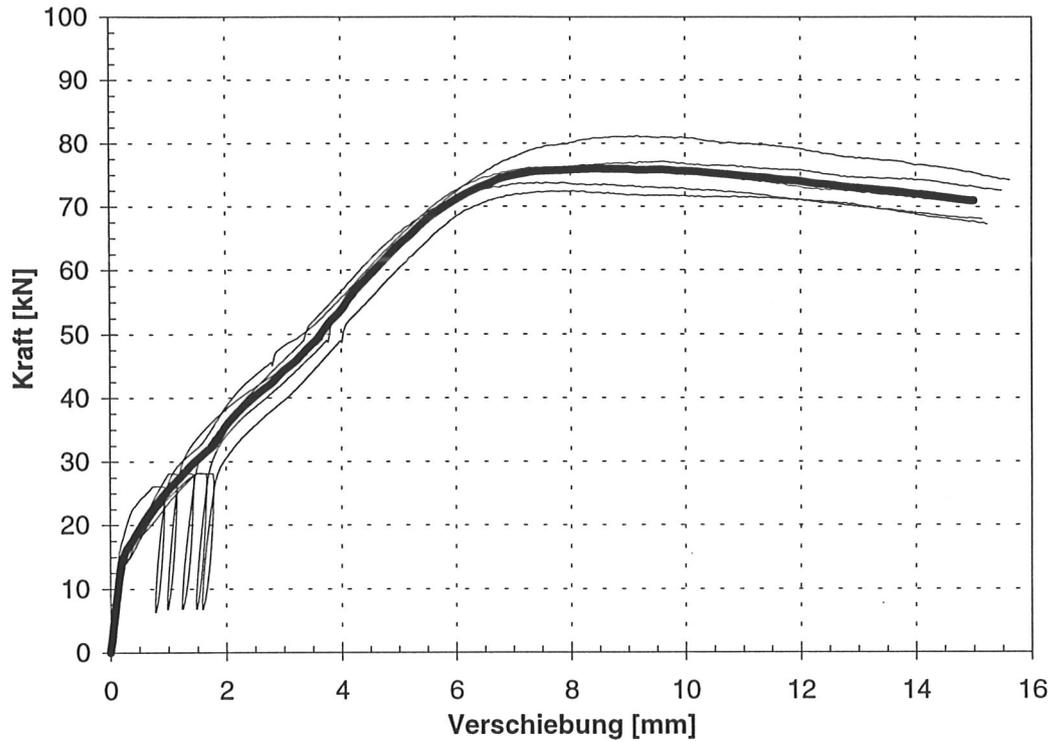


Bild A3-25 Last- Verschiebungskurven der D80M1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

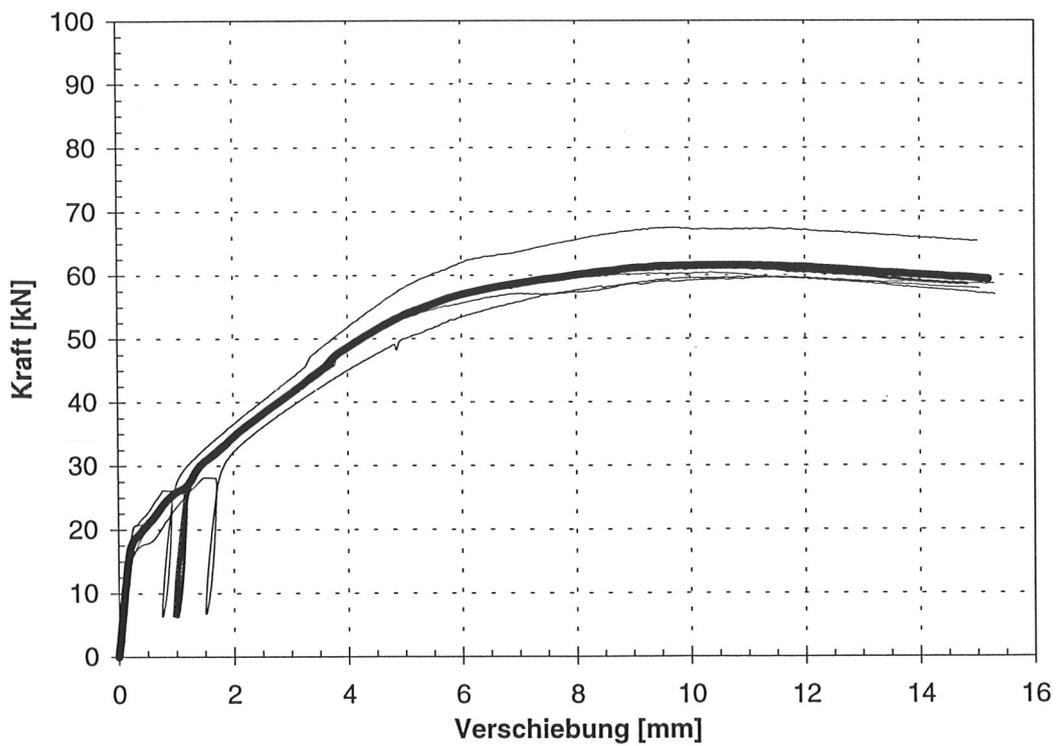


Bild A3-26 Last- Verschiebungskurven der D80M2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

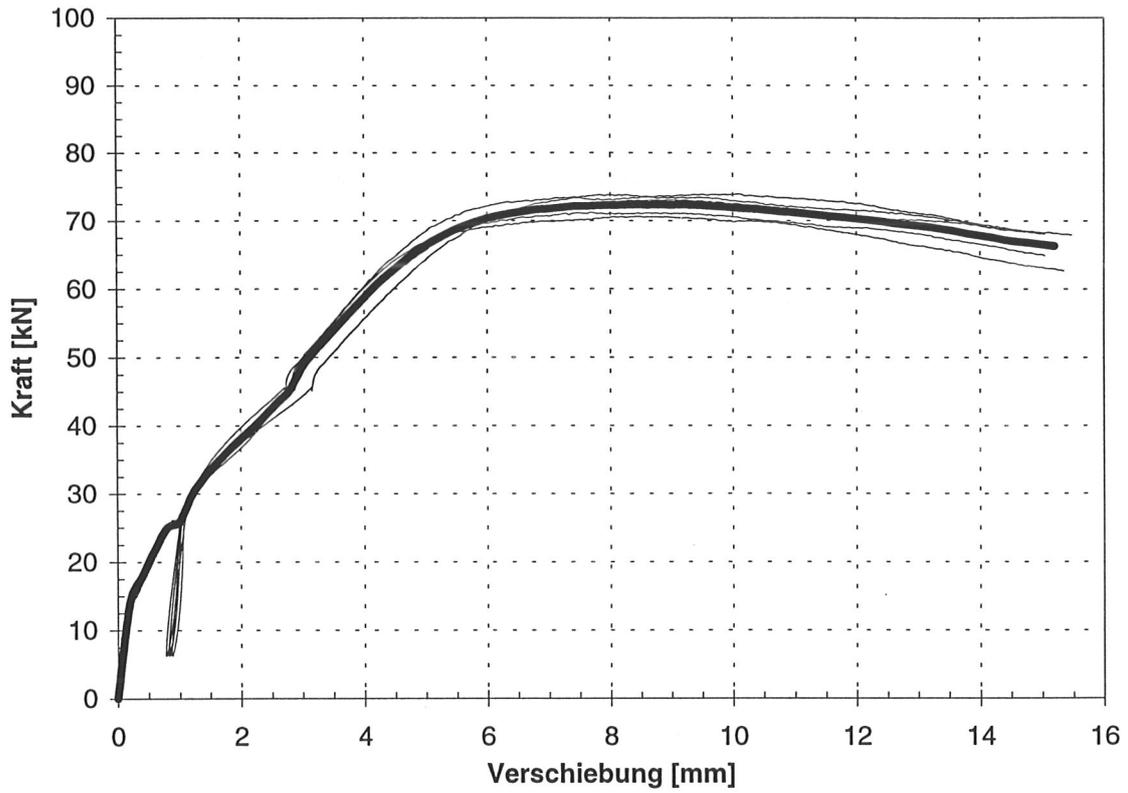


Bild A3-27 Last- Verschiebungskurven der D80M3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

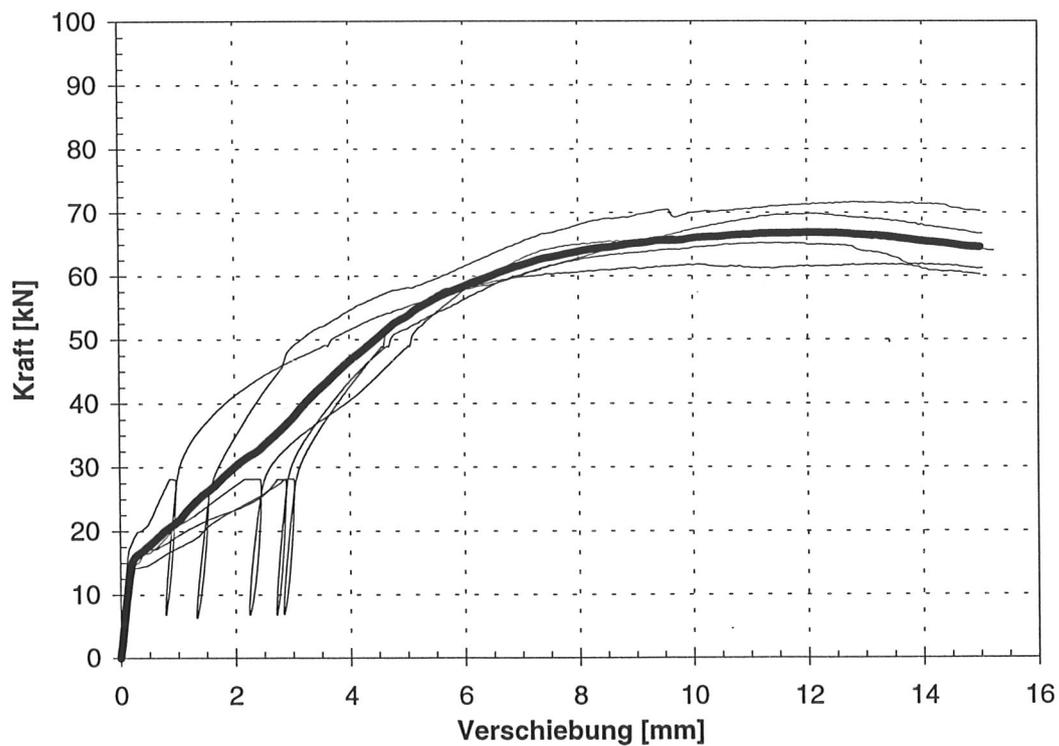


Bild A3-28 Last- Verschiebungskurven der D80M4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

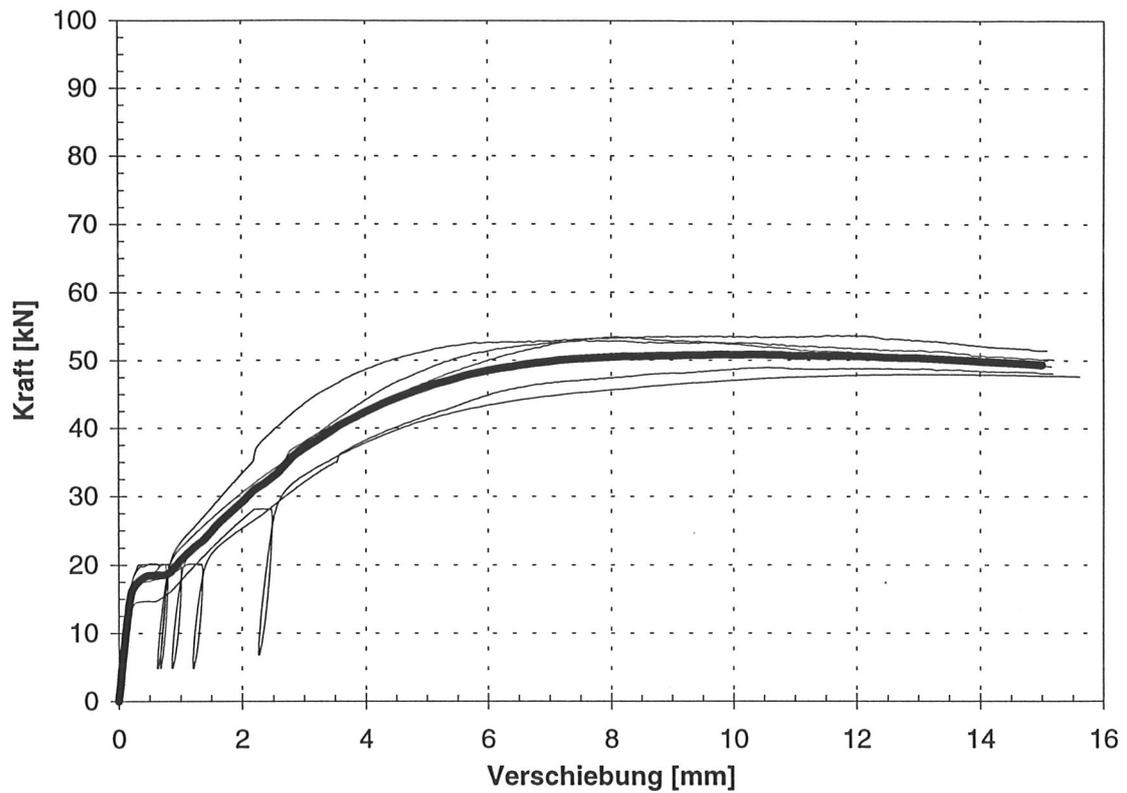


Bild A3-29 Last- Verschiebungskurven der D80M5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

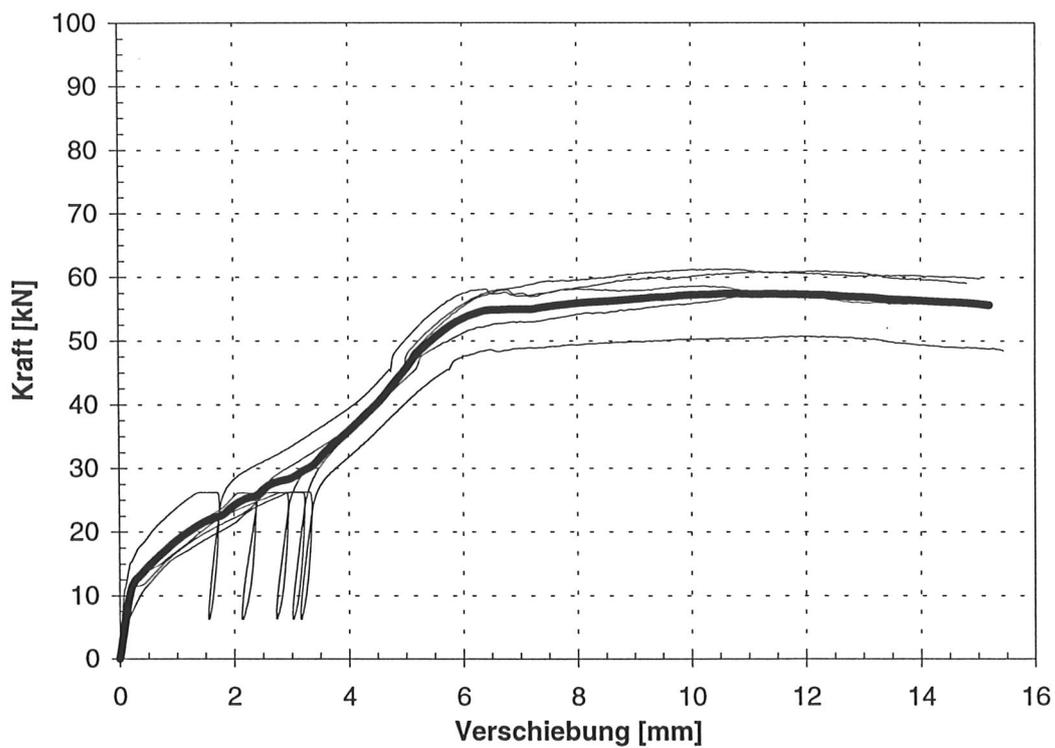


Bild A3-30 Last- Verschiebungskurven der D80M6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

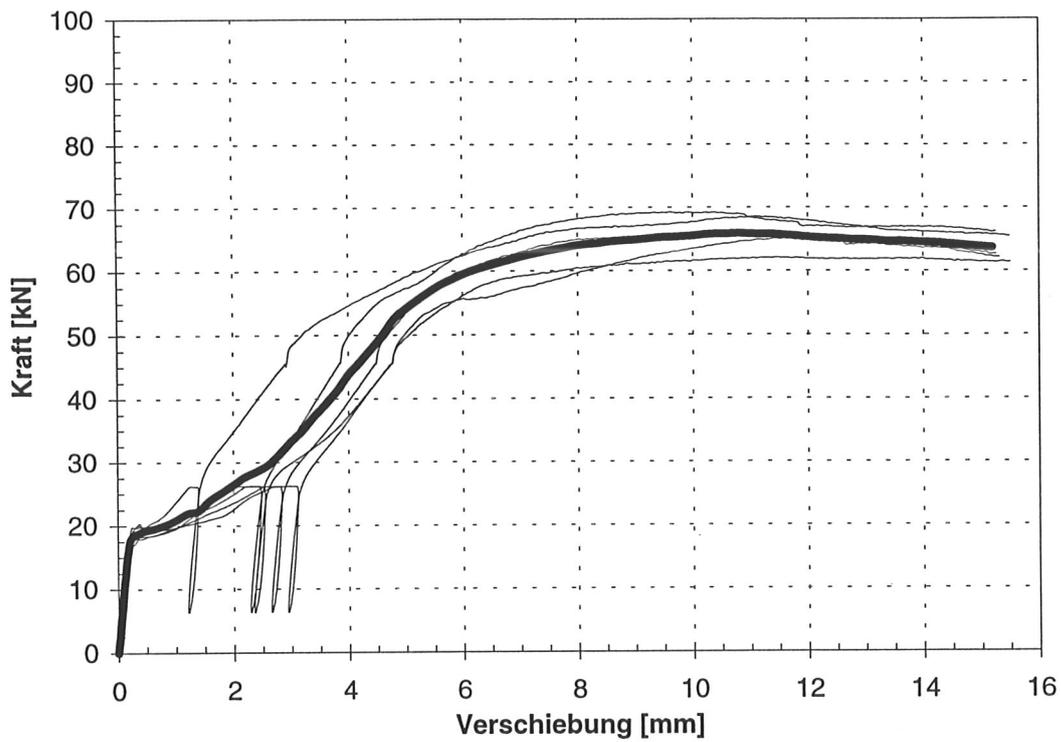


Bild A3-31 Last- Verschiebungskurven der D80M7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

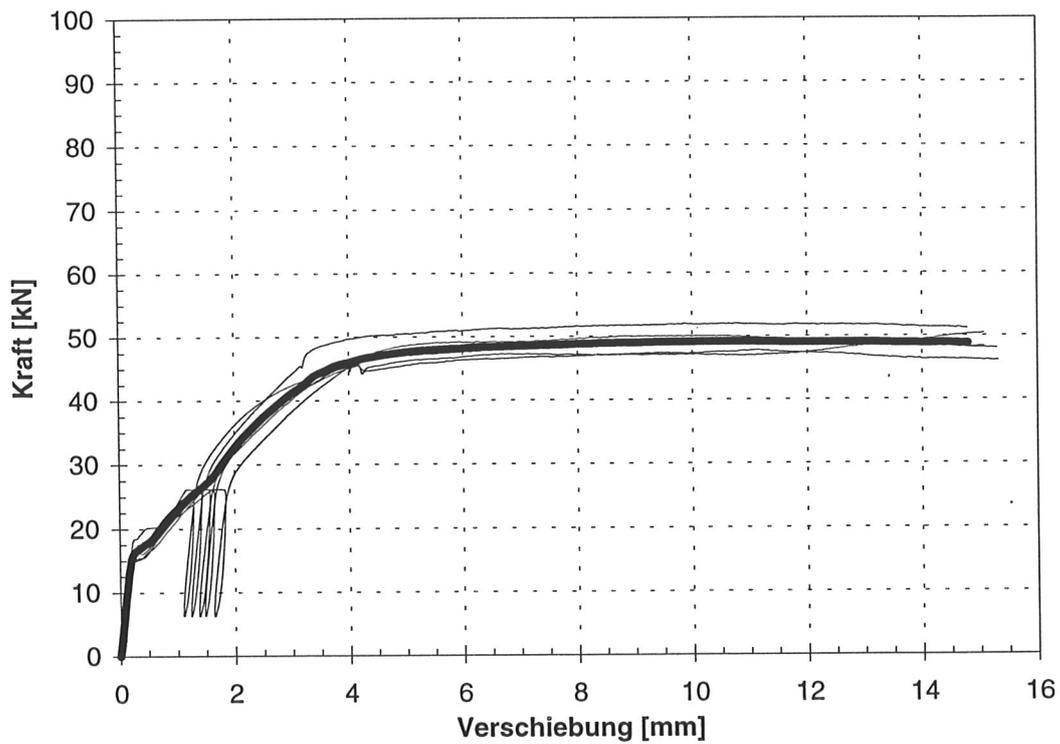


Bild A3-32 Last- Verschiebungskurven der D80M8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

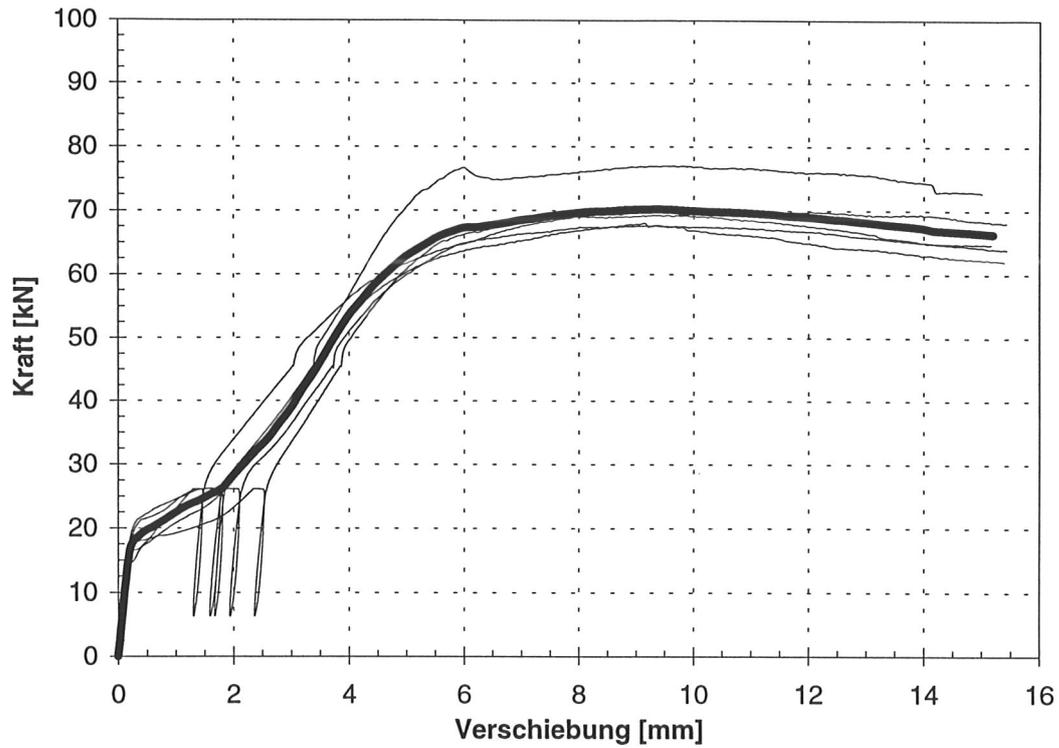


Bild A3-33 Last- Verschiebungskurven der D80M9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

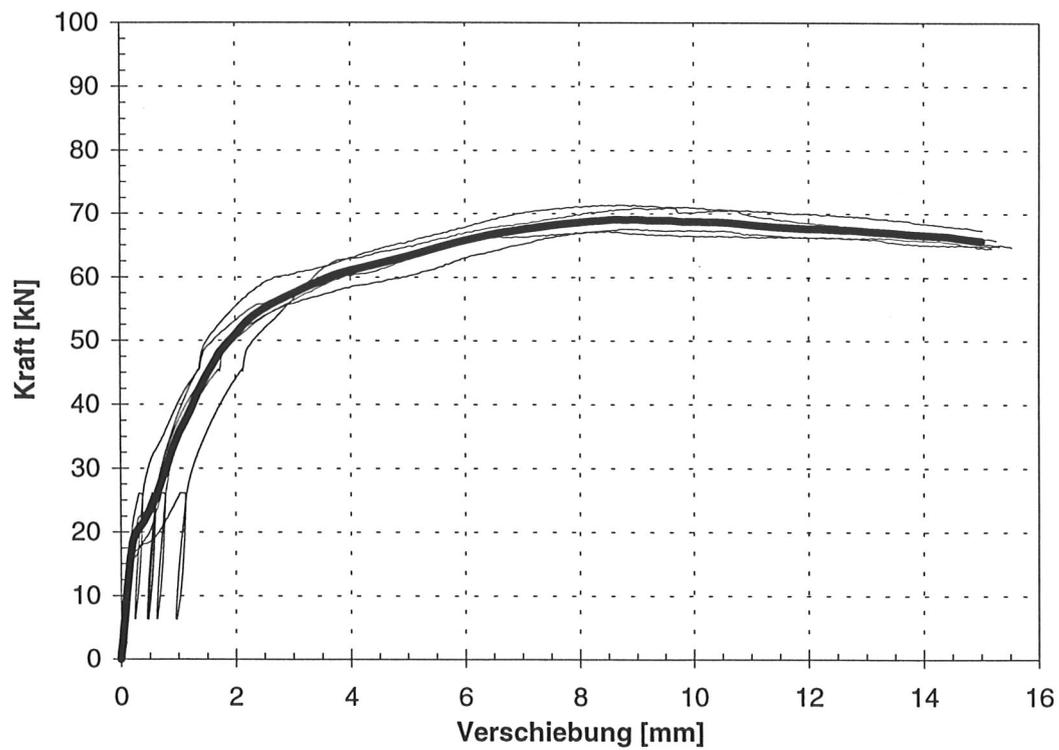


Bild A3-34 Last- Verschiebungskurven der D80M10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

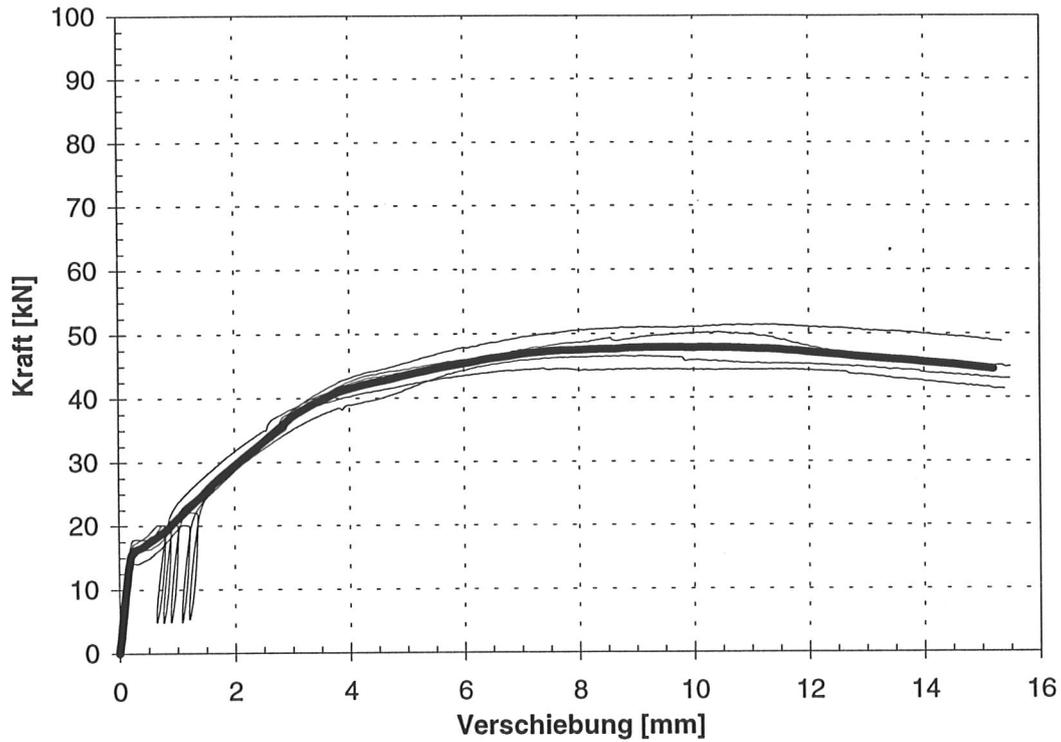


Bild A3-35 Last- Verschiebungskurven der D80M11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

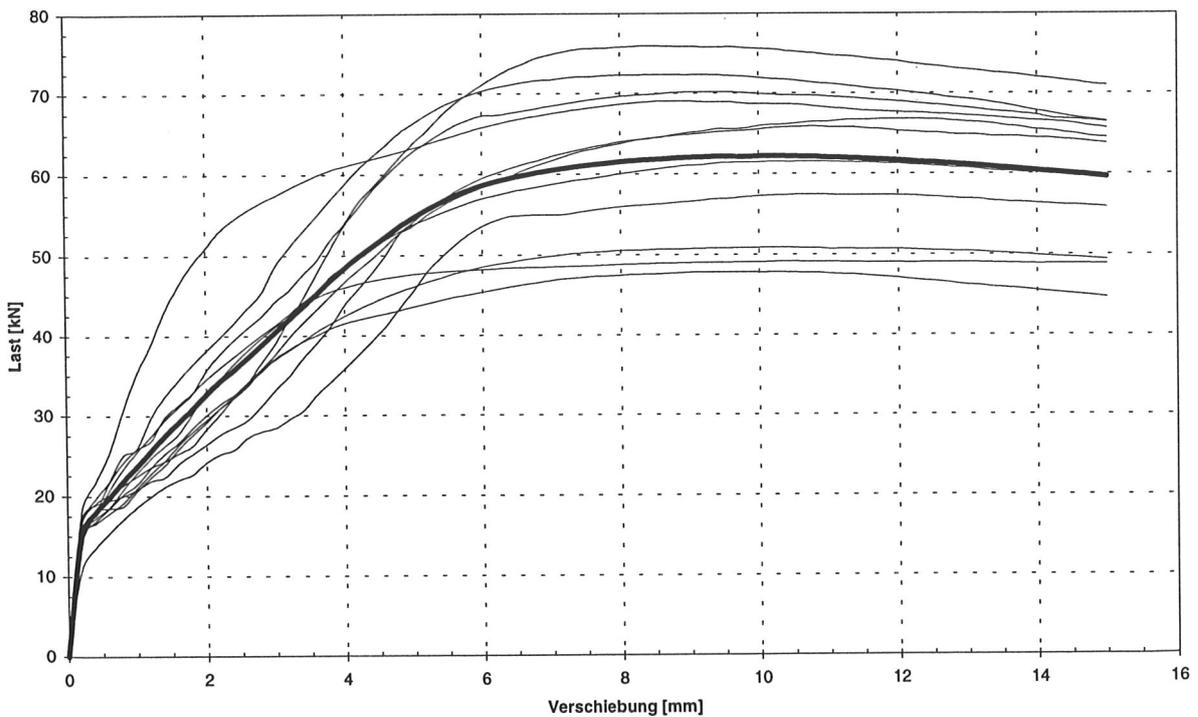


Bild A3-36 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der D80M- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-7 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe D80M

Dübeltyp D80M	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max}/\text{zul } F$ zul $F=34\text{kN}$	\bar{X} $v(0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	\bar{X} $v(\text{zul } F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	76,2	2,24	1,1	1,9	19540	442
2	61,7	1,81	1,0	1,9	21242	395
3	72,5	2,13	0,9	1,6	23542	422
4	67,0	1,97	1,9	2,6	13070	420
5	51,4	1,51	1,8	2,7	27059	399
6	57,8	1,70	2,6	3,7	9416	489
7	66,1	1,95	2,3	3,2	10160	436
8	49,9	1,47	1,5	2,2	15140	388
9	70,3	2,07	1,8	2,6	12935	472
10	69,2	2,03	0,7	1,0	38990	469
11	48,1	1,41	1,7	2,6	19004	403

Tabelle A3-8 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe D80M

Dübeltyp D80M	F_{\max} [kN]	$v(0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	$v(\text{zul } F)$ [mm]	k_s [N/mm]
Mittelwert	62,8 (62,8)	1,6 (1,6)	2,4 (2,4)	19100 (19100)
5%- Fraktile	47,3 (47,3)	0,6 (0,6)	0,8 (0,8)	7400 (7400)
Standard- abweichung	9,7 (9,7)	0,7 (0,7)	0,9 (0,9)	11379 (11379)

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungengenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-9 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe D80M

D80M	F_{max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	min ρ
F_{max}	1,0 (0,10)	0,10 (0,10)	-0,31 (-0,31)	-0,37 (-0,37)	0,50 (0,50)
k_s	0,10 (0,10)	1,0	-0,69 (-0,69)	-0,68 (-0,68)	-0,08 (-0,08)
v (0,8zul.F)	-0,31 (-0,31)	-0,69 (-0,69)	1,0	0,96 (0,96)	0,22 (0,22)
v (zul.F)	-0,37 (-0,37)	-0,68 (-0,68)	0,96 (0,96)	1,0	0,16 (0,16)
min ρ	0,50 (0,50)	-0,08 (-0,08)	0,22 (0,22)	0,16 (0,16)	1,0

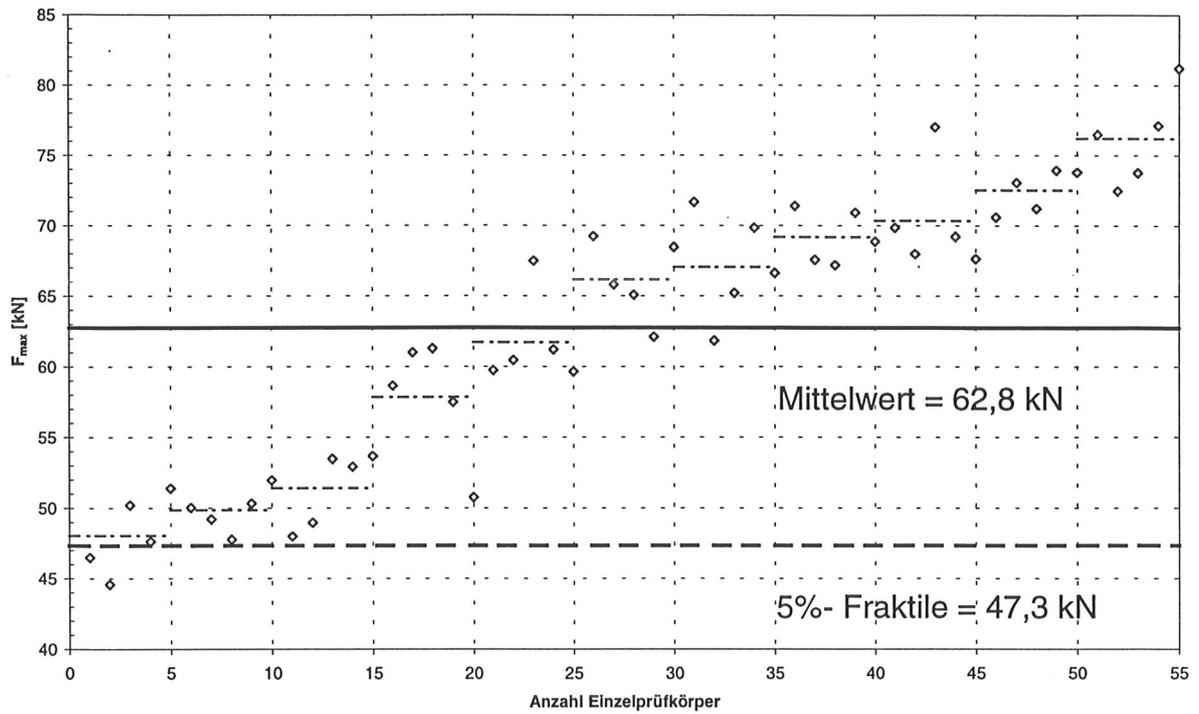


Bild A3-37 Mittelwert und 5%- Fraktile der D80M- Serie

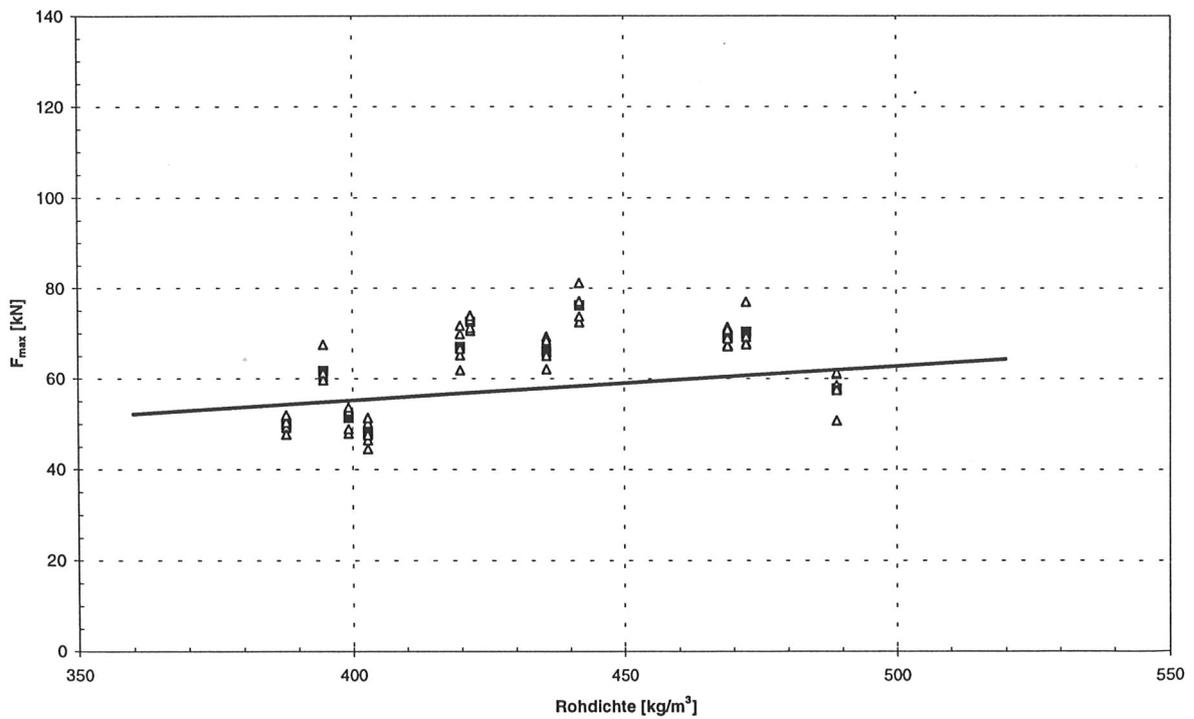


Bild A3-38 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D80M- Serie

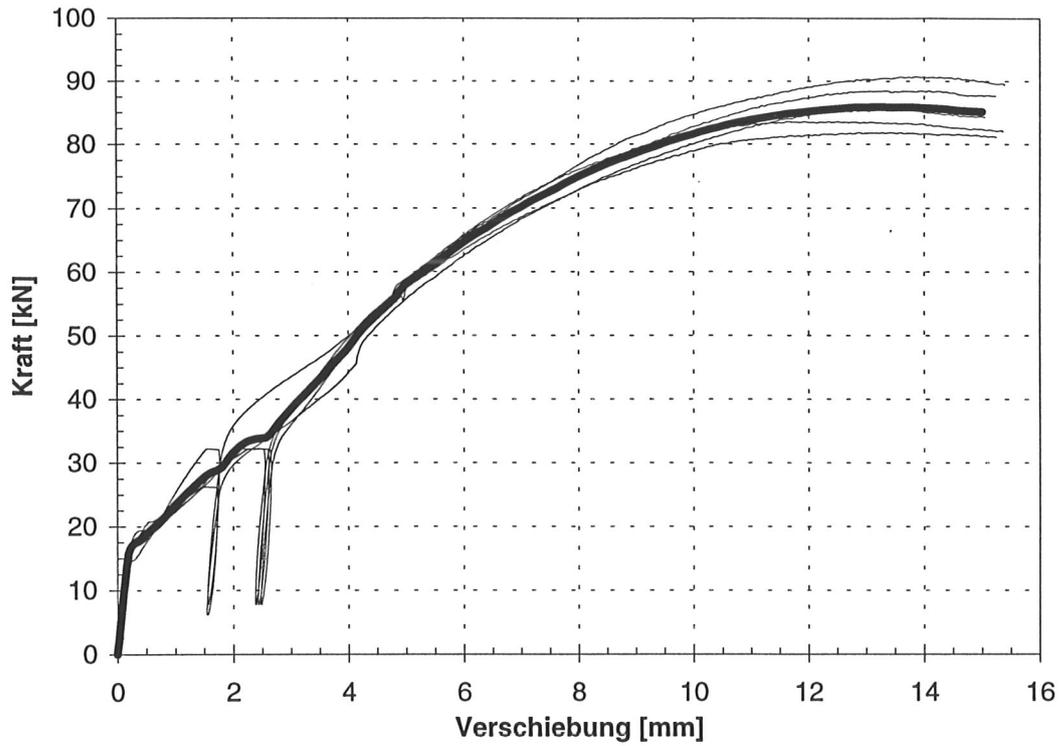


Bild A3-39 Last- Verschiebungskurven der D80N1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

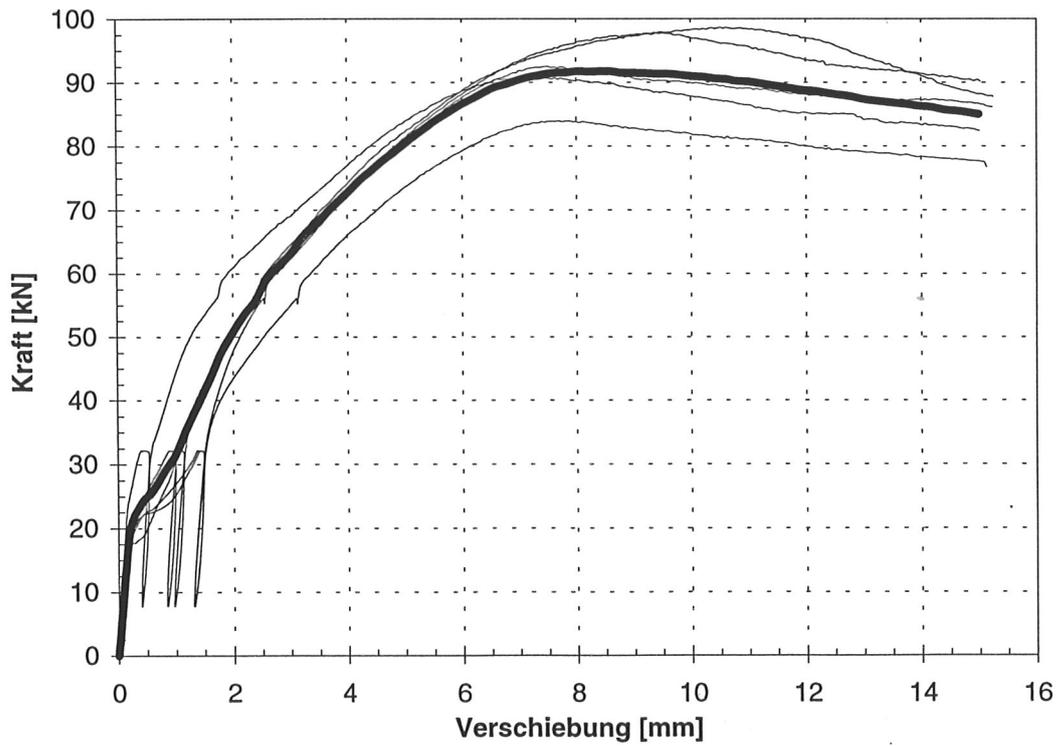


Bild A3-40 Last- Verschiebungskurven der D80N2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

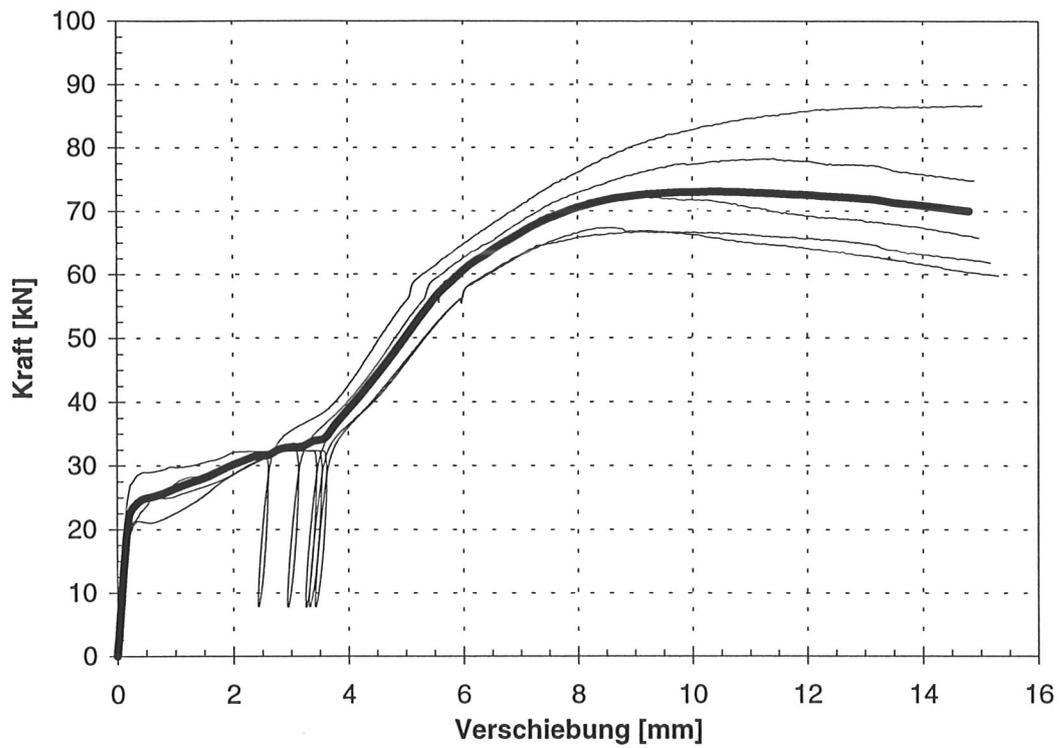


Bild A3-41 Last- Verschiebungskurven der D80N3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

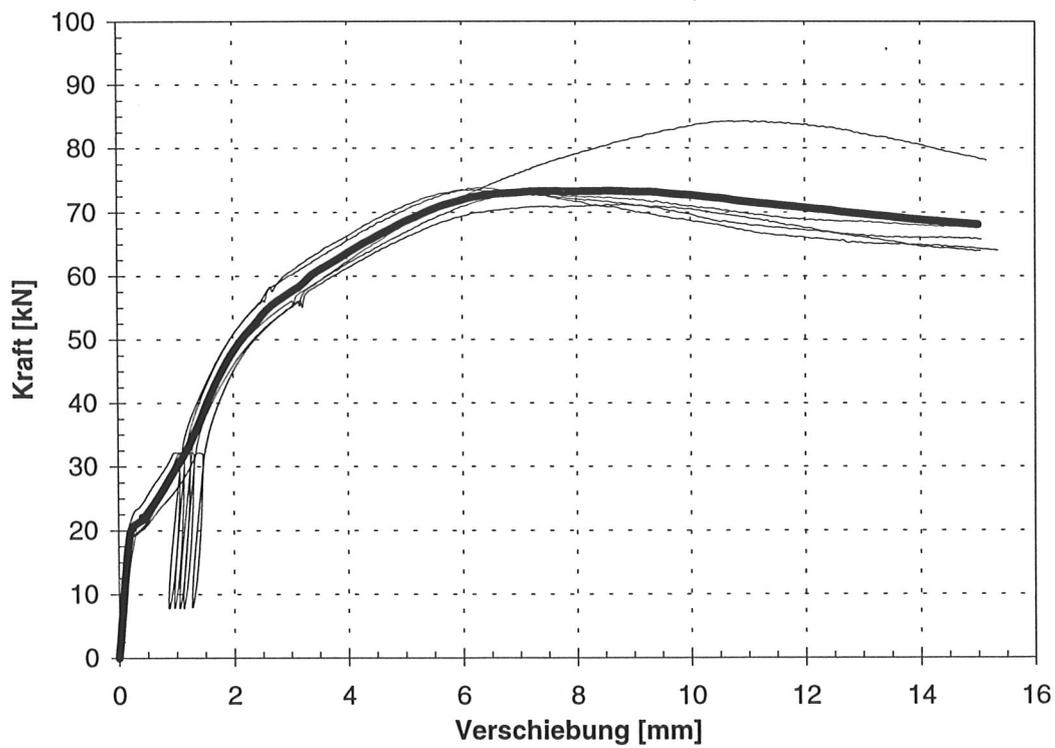


Bild A3-42 Last- Verschiebungskurven der D80N4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

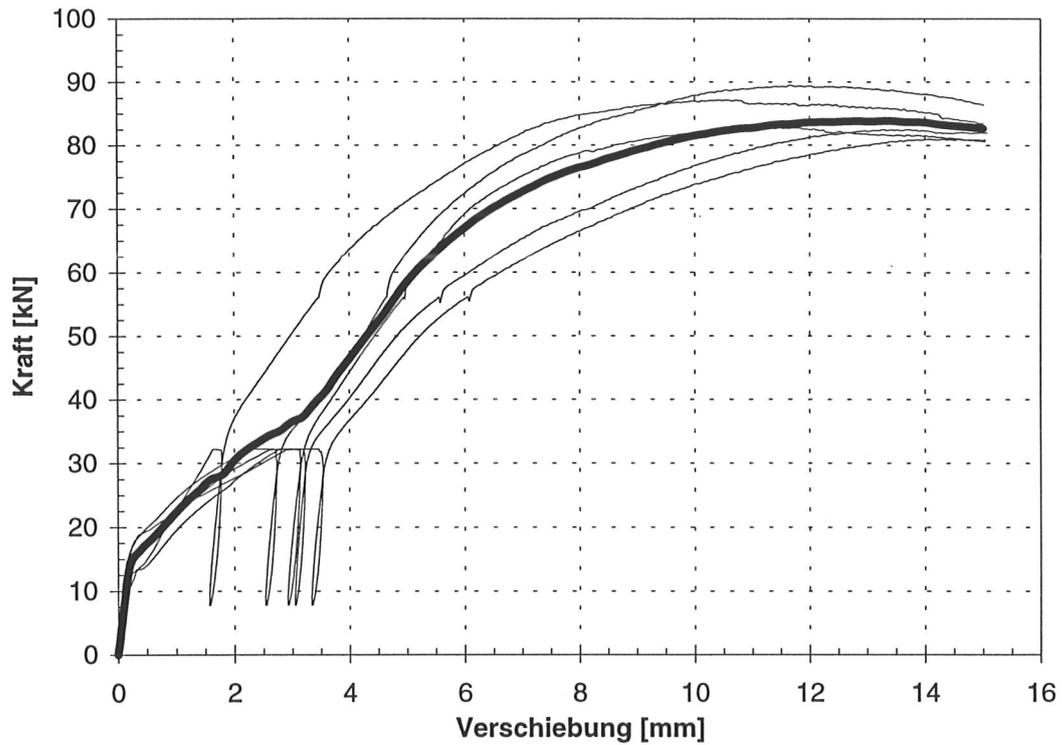


Bild A3-43 Last- Verschiebungskurven der D80N5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

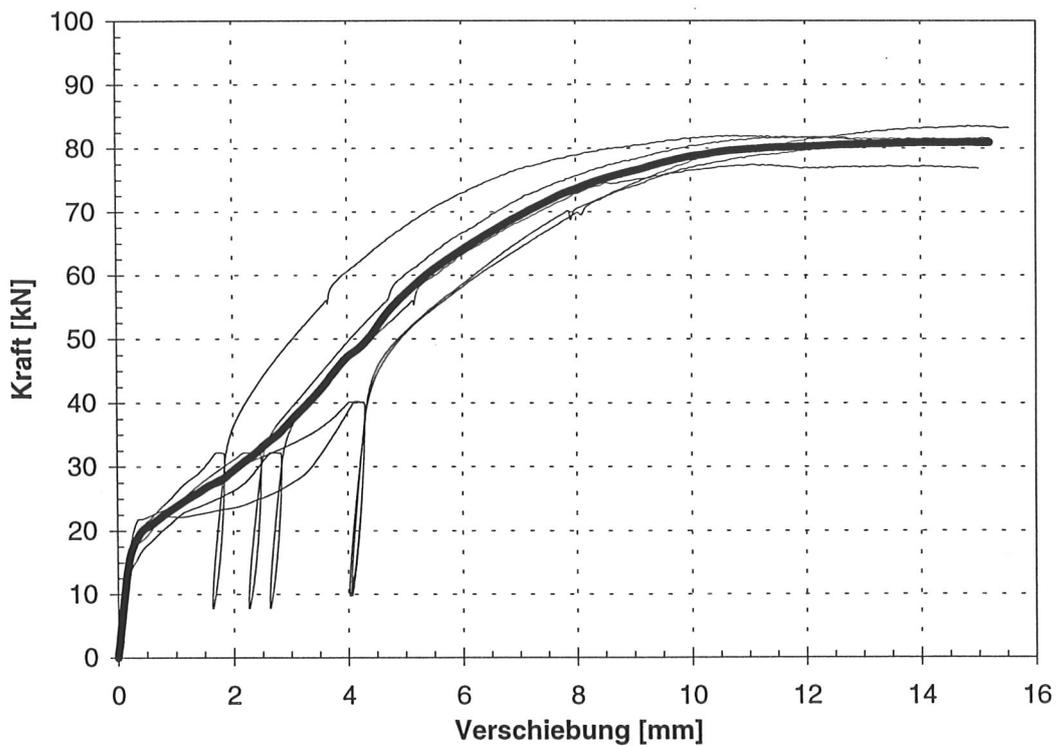


Bild A3-44 Last- Verschiebungskurven der D80N6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

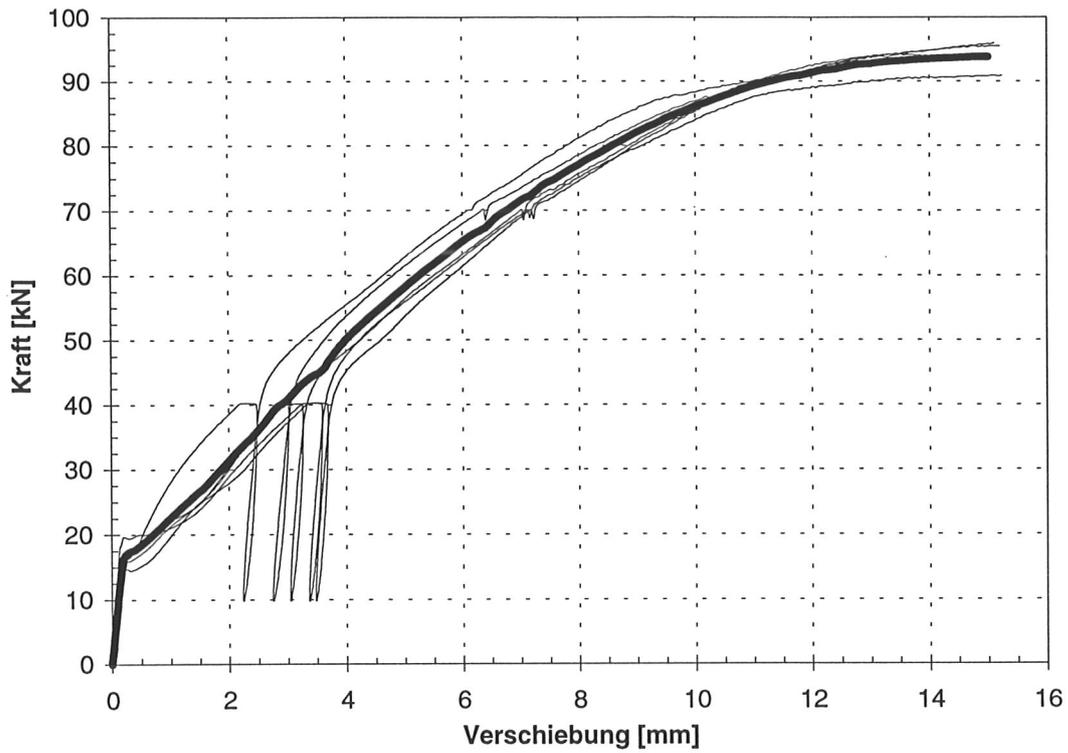


Bild A3-45 Last- Verschiebungskurven der D80N7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

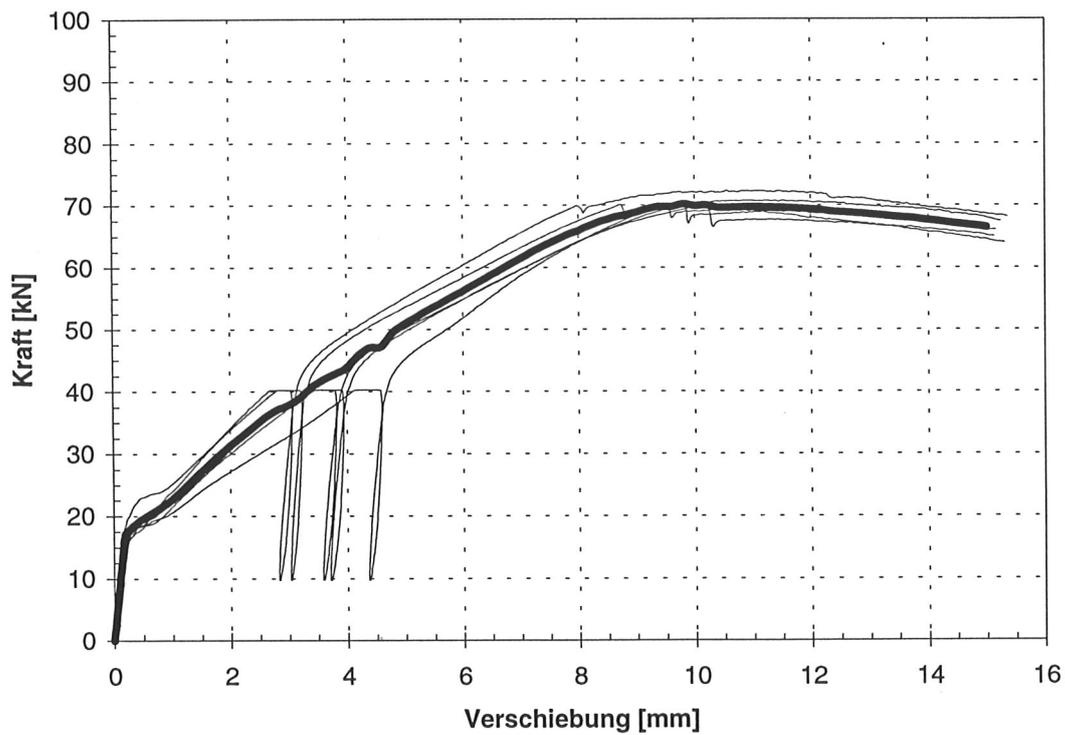


Bild A3-46 Last- Verschiebungskurven der D80N8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

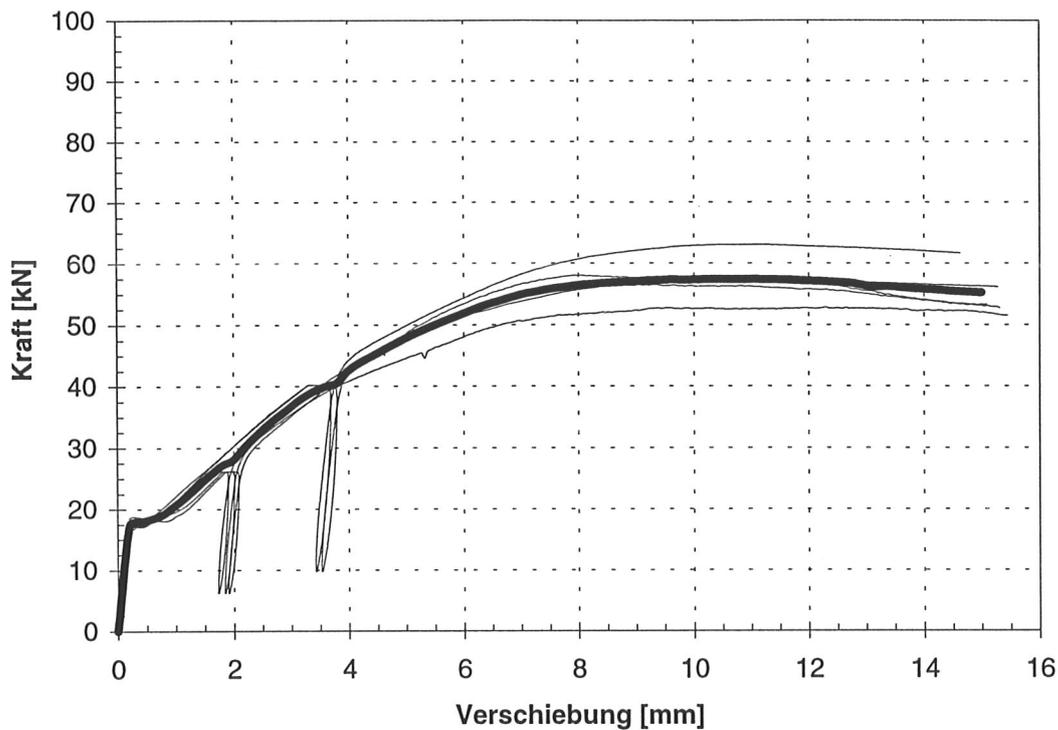


Bild A3-47 Last- Verschiebungskurven der D80N9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

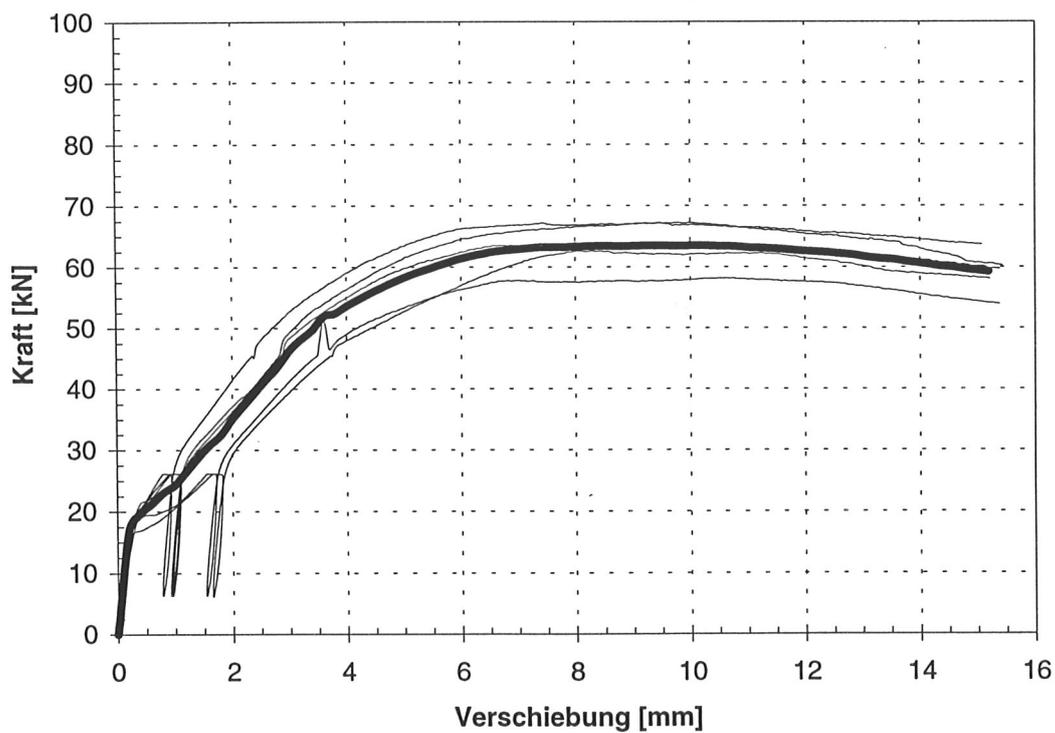


Bild A3-48 Last- Verschiebungskurven der D80N10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

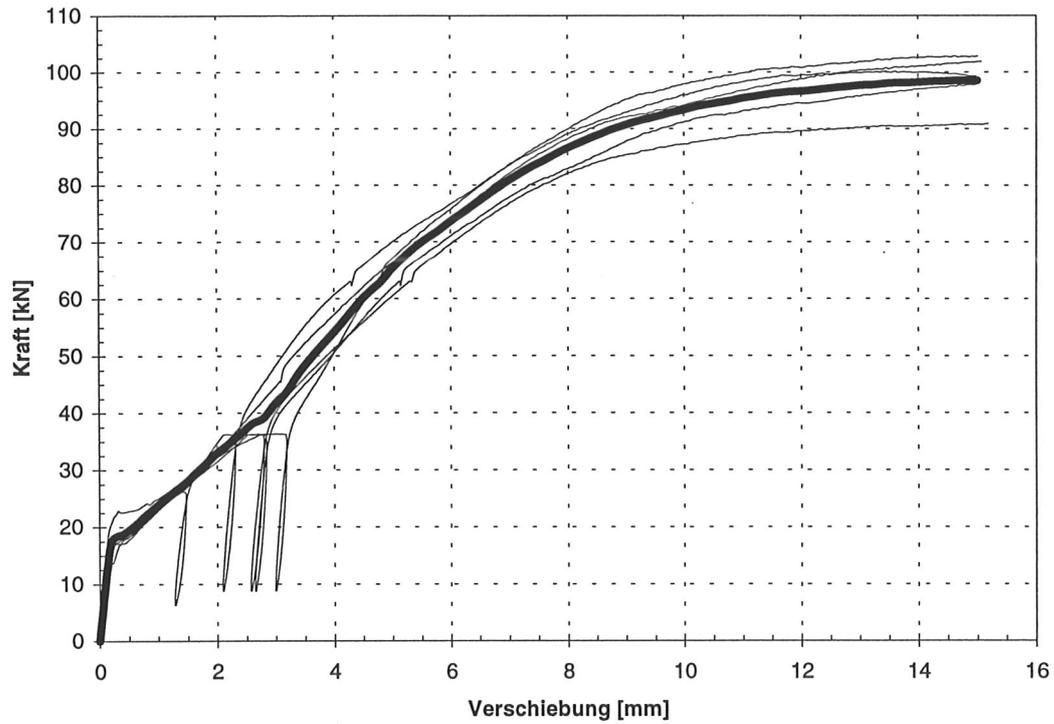


Bild A3-49 Last- Verschiebungskurven der D80N11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

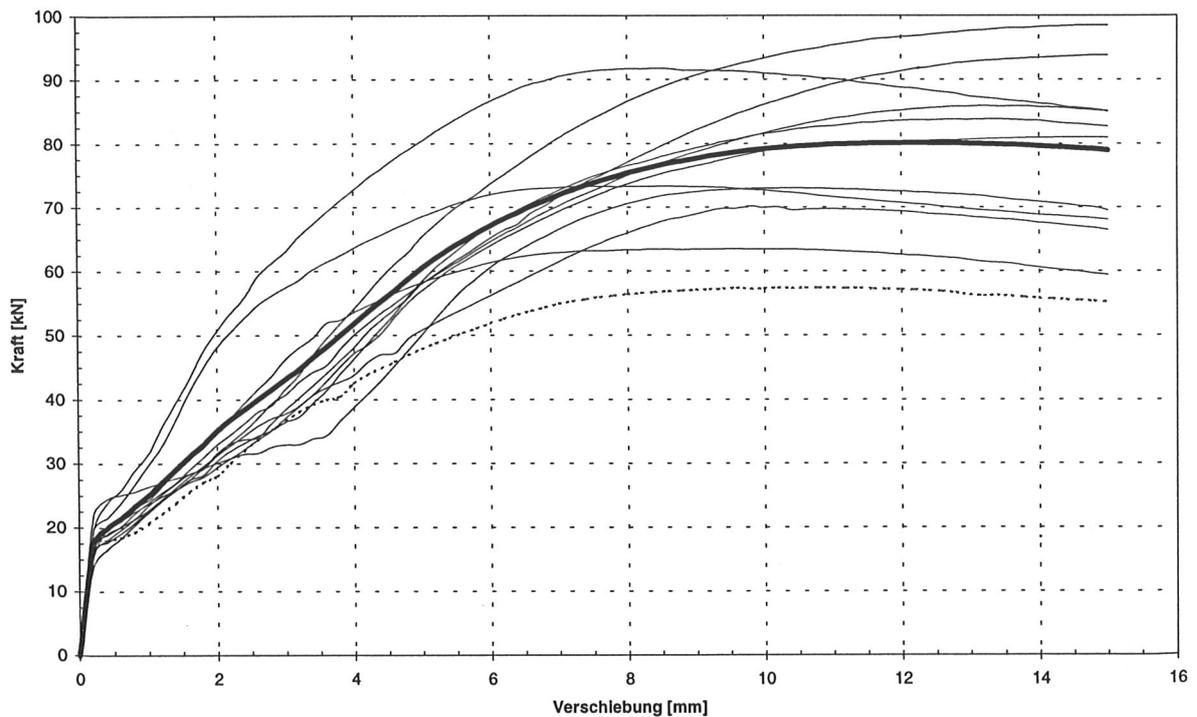


Bild A3-50 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der D80N- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-10 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe D80N

Dübeltyp D80N	\bar{x} F_{\max} [kN]	\bar{x} $F_{\max}/\text{zul } F$ zul $F=34\text{kN}$	\bar{x} v (0,8 zul F) [mm]	\bar{x} v (zul F) [mm]	\bar{x} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	86,0	2,53	1,5	2,2	12811	409
2	92,7	2,73	0,8	1,1	31254	409
3	74,3	2,18	1,2	3,0	9945	503
4	75,1	2,21	0,8	1,2	22599	446
5	84,6	2,49	1,7	2,7	10769	410
6	81,3	2,39	1,8	2,8	10118	424
7	94,0	2,76	1,6	2,3	10903	417
8	70,7	2,08	1,6	2,4	9670	396
9 ³	58,7	1,73	1,8	2,7	10532	380
10	63,7	1,87	1,3	2,2	19491	395
11	98,7	2,90	1,4	2,2	14585	434

Tabelle A3-11 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe D80N

Dübeltyp D80N	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]
Mittelwert	82,1 (80,0)	1,4 (1,4)	2,2 (2,2)	14990 (14585)
5%- Fraktile	63,0 (57,6)	0,4 (0,5)	1,0 (1,0)	7531 (7562)
Standard- abweichung	11,5 (12,9)	0,5 (0,5)	0,7 (0,7)	9503 (9150)

³ Die Serie D80N9 wurde aufgrund der Herstellungsungenauigkeiten bei der Auswertung nicht berücksichtigt

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenaugigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-12 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe D80N

D80N	F_{max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	min ρ
F_{max}	1,0	0,05 (0,11)	-0,04 (-0,18)	-0,15 (-0,23)	-0,03 (0,20)
k_s	0,05 (0,11)	1,0	-0,67 (-0,67)	-0,77 (-0,77)	-0,16 (-0,06)
v (0,8zul.F)	-0,04 (-0,18)	-0,67 (-0,67)	1,0	0,77 (0,78)	-0,28 (0,40)
v (zul.F)	-0,15 (-0,23)	-0,77 (-0,77)	0,77 (0,78)	1,0	0,24 (0,12)
min ρ	-0,03 (0,20)	-0,16 (-0,06)	-0,28 (0,40)	0,24 (0,12)	1,0

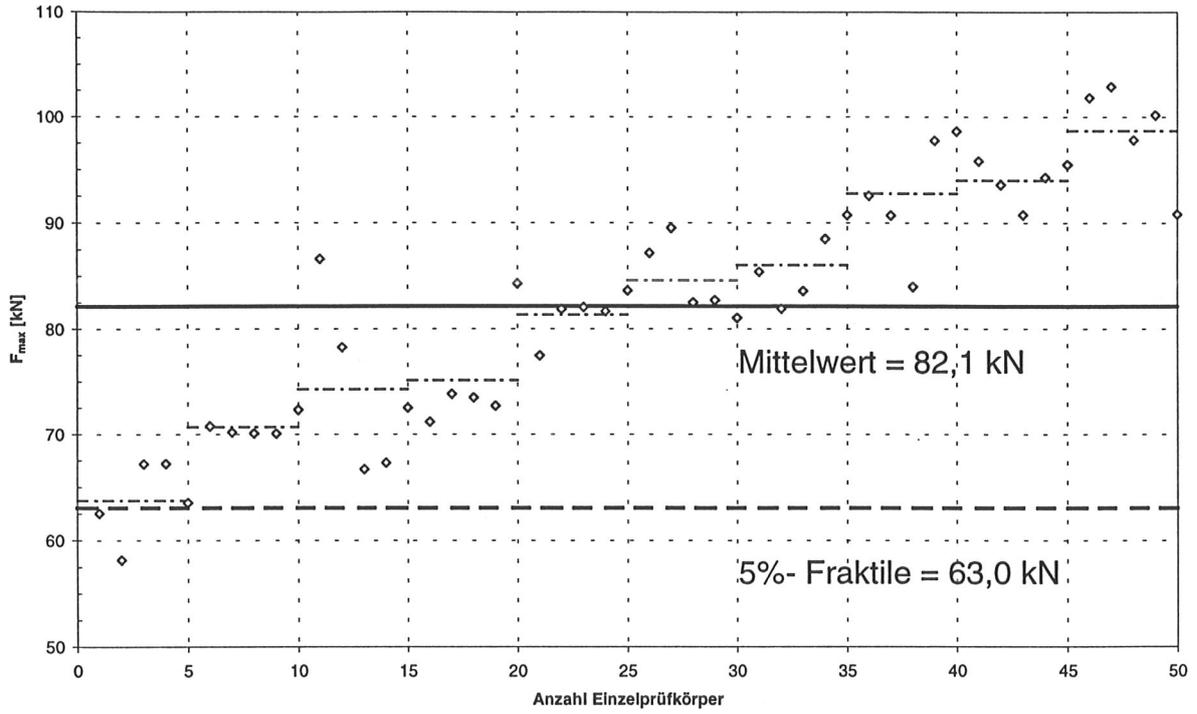


Bild A3-51 Mittelwert und 5%- Fraktile der D80N- Serie

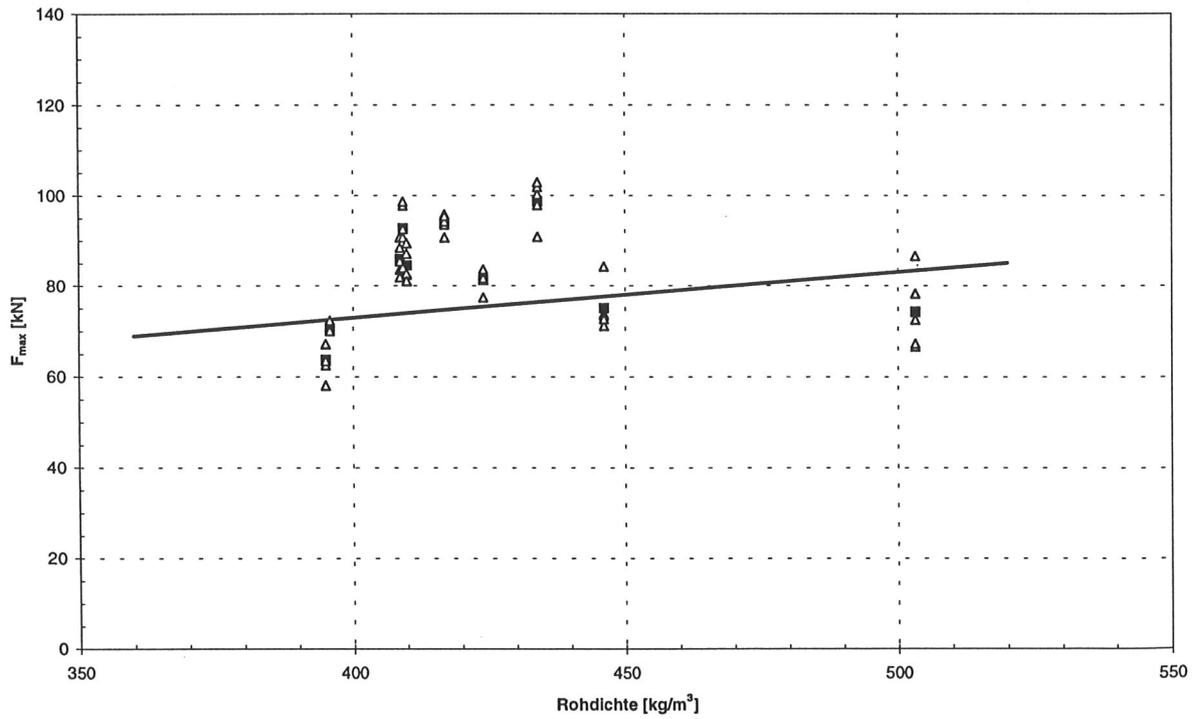


Bild A3-52 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D80N- Serie

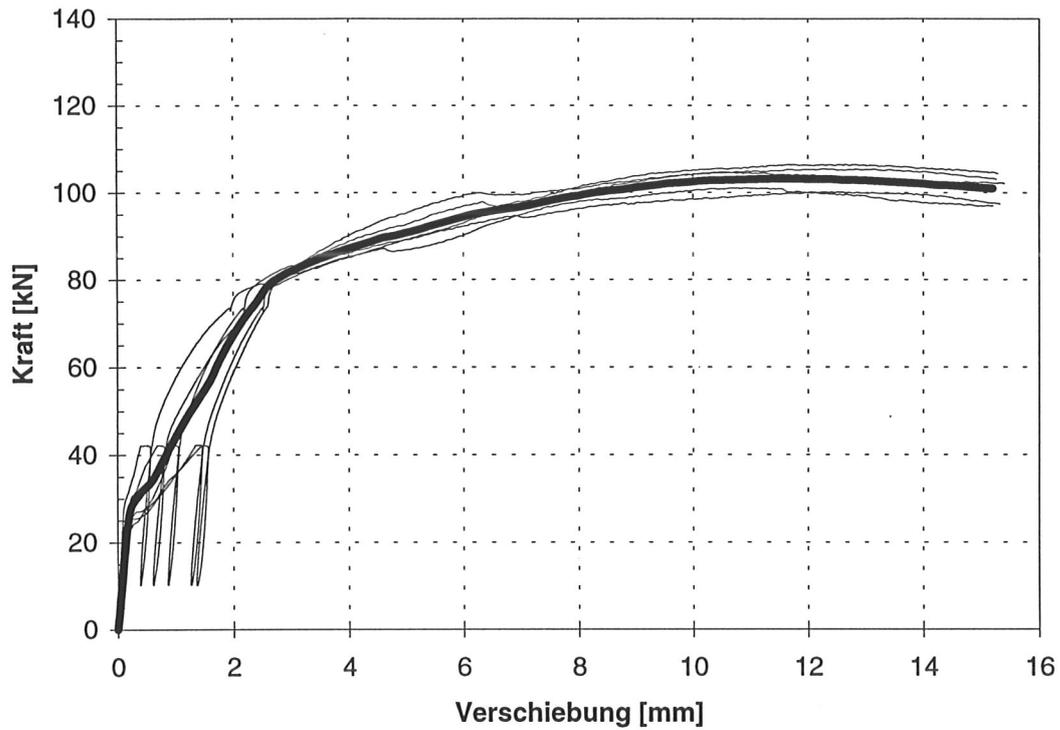


Bild A3-53 Last- Verschiebungskurven der D115N1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

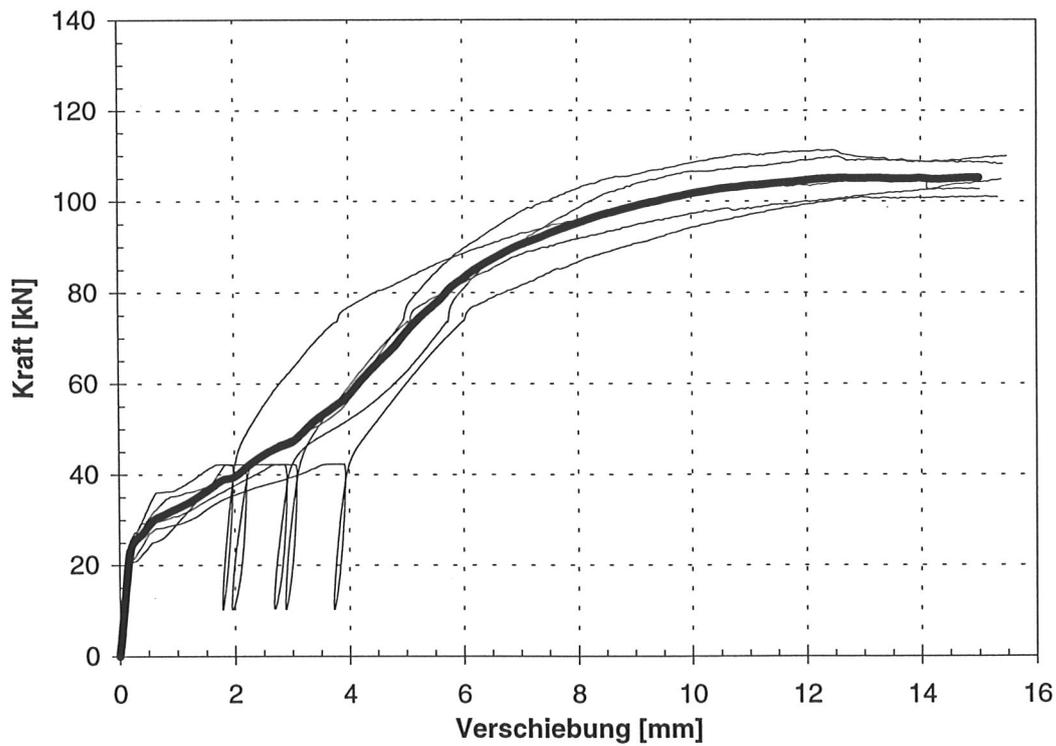


Bild A3-54 Last- Verschiebungskurven der D115N2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

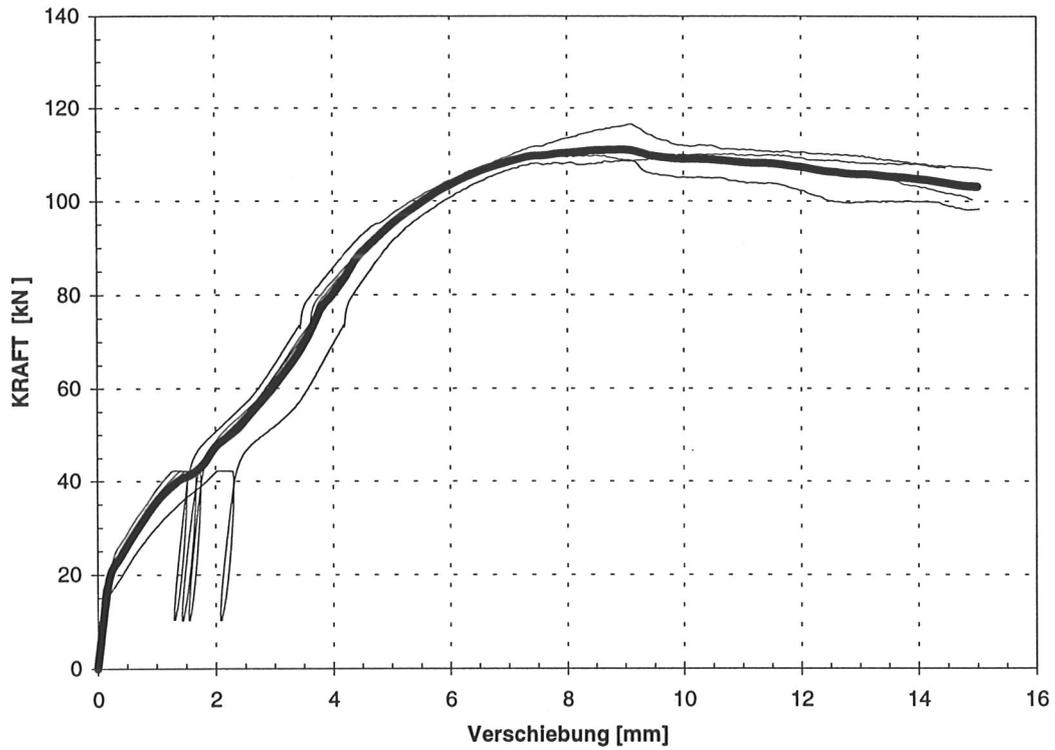


Bild A3-55 Last- Verschiebungskurven der D115N3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

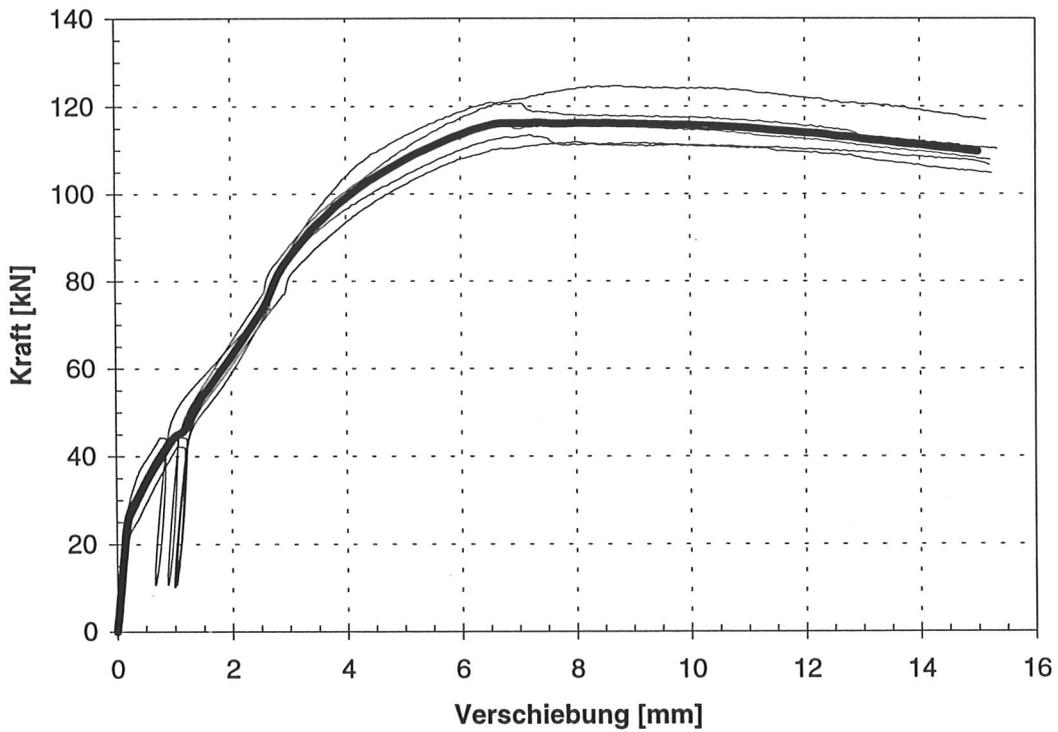


Bild A3-56 Last- Verschiebungskurven der D115N4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

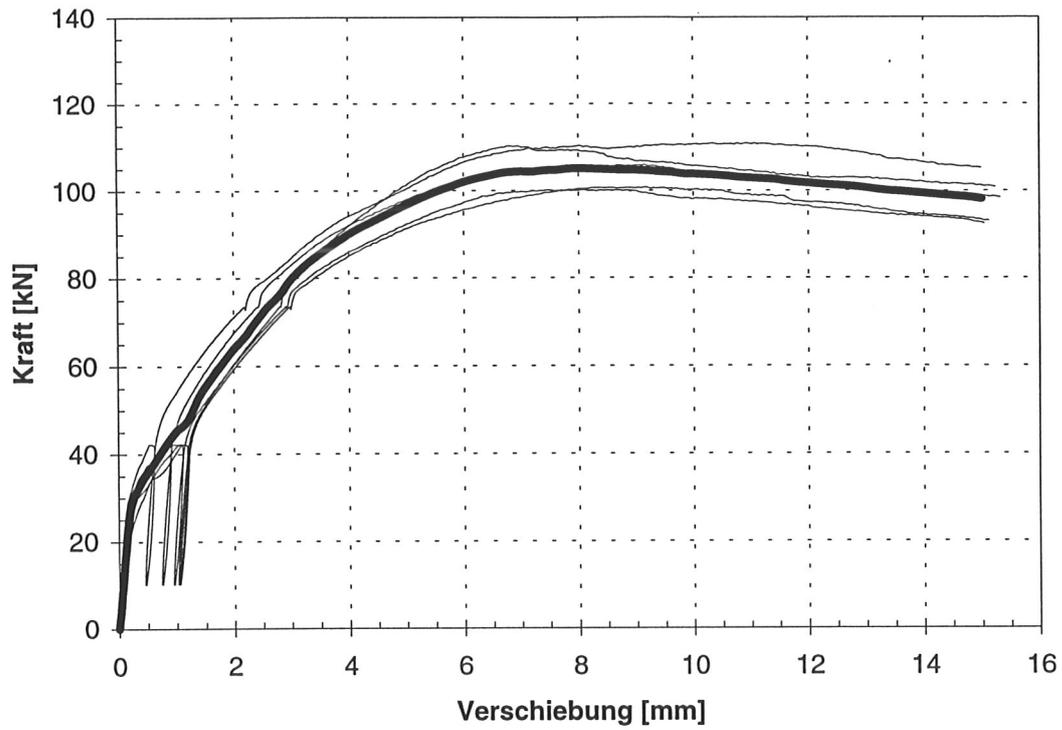


Bild A3-57 Last- Verschiebungskurven der D115N5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

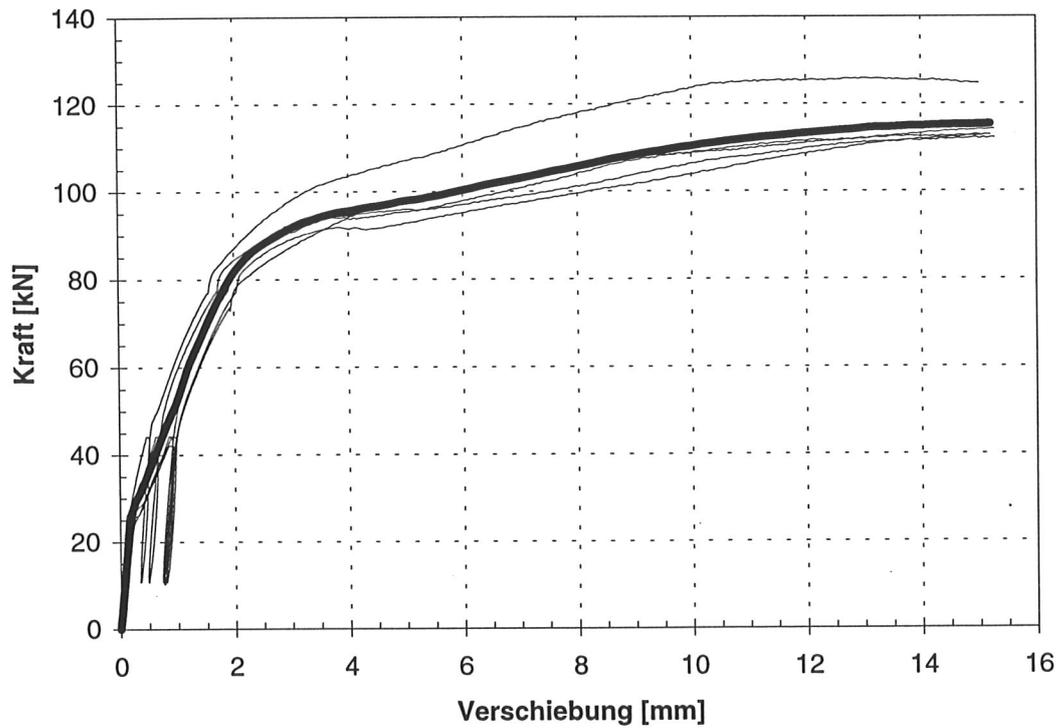


Bild A3-58 Last- Verschiebungskurven der D115N6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

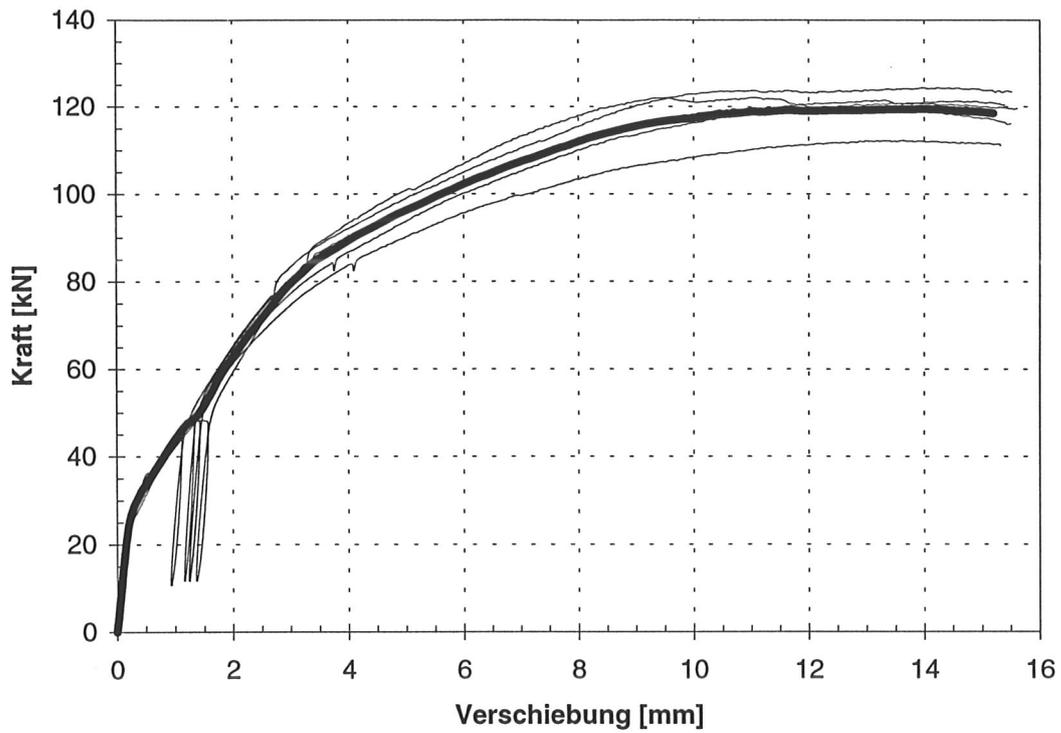


Bild A3-59 Last- Verschiebungskurven der D115N7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

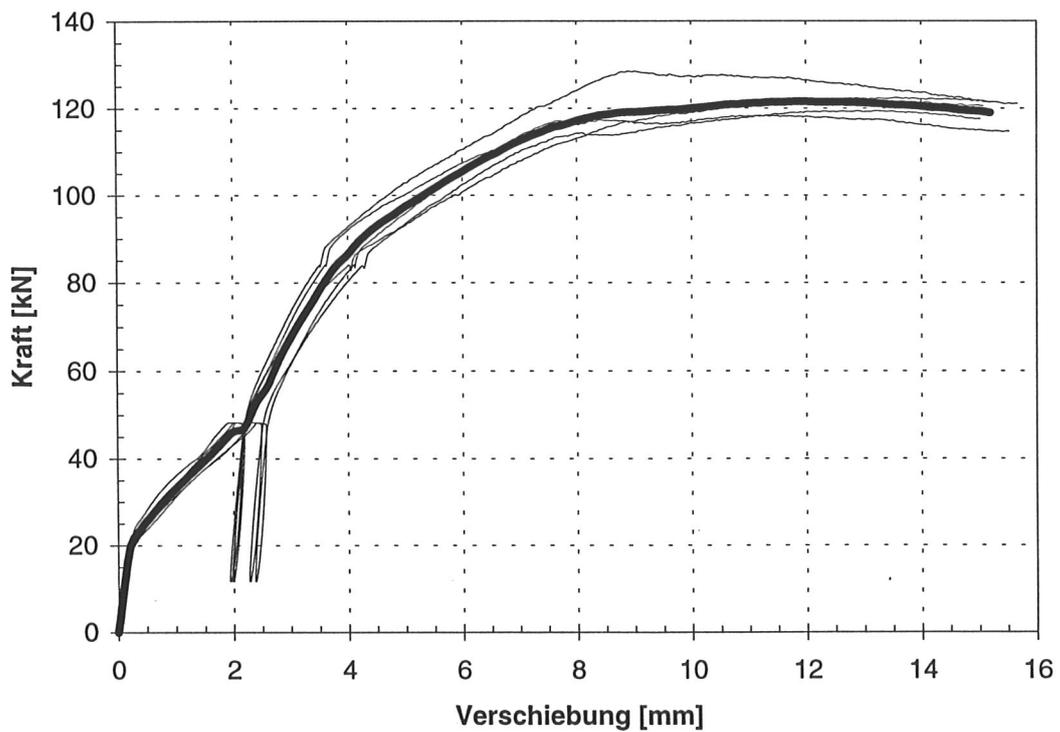


Bild A3-60 Last- Verschiebungskurven der D115N8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

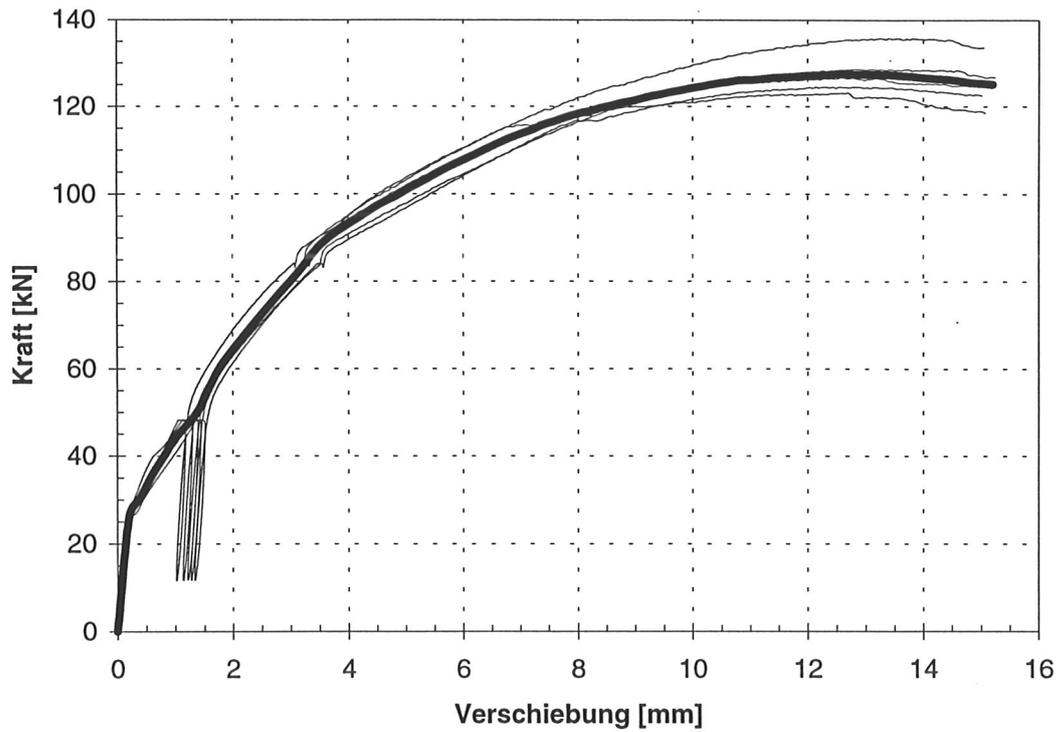


Bild A3-61 Last- Verschiebungskurven der D115N9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

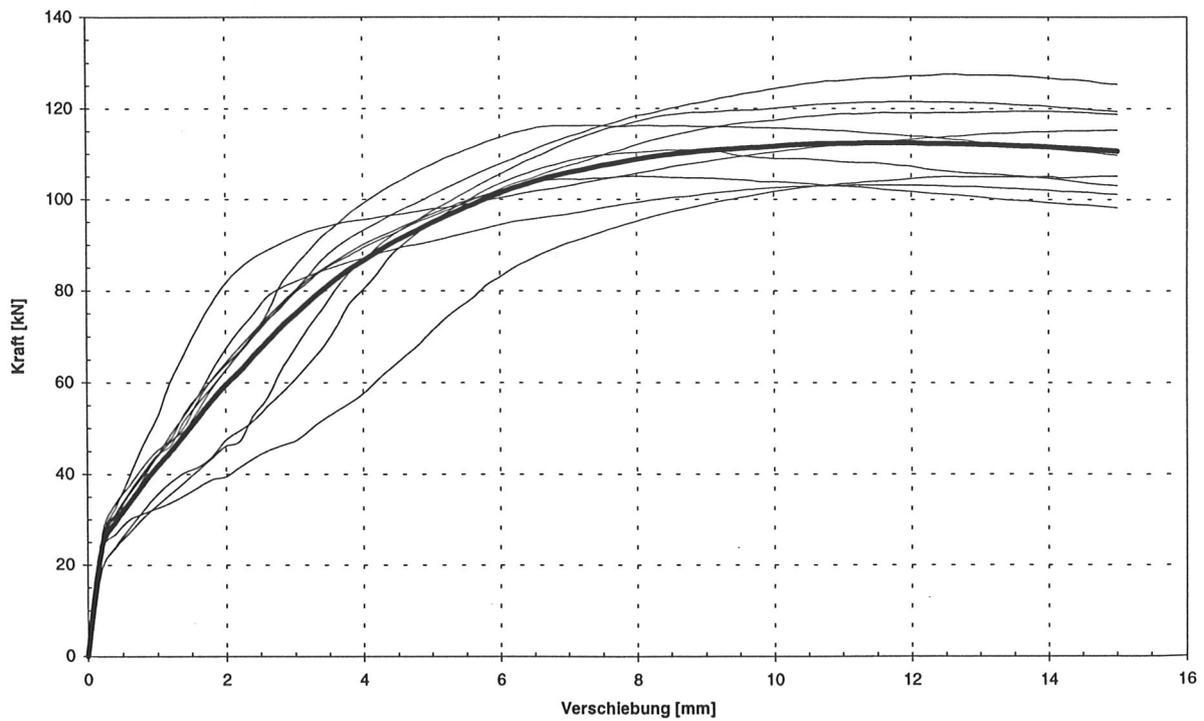


Bild A3-62 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der D115N- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-13 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe D115N

Dübeltyp D115N	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max}/\text{zul } F$ zul $F=54\text{kN}$	\bar{X} $v(0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	\bar{X} $v(\text{zul } F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	103,6	1,88	1,0	1,4	42853	384
2	105,9	1,93	2,5	3,8	14407	449
3	110,7	2,01	1,7	2,6	21621	442
4	117,4	2,13	0,9	1,5	36232	425
5	105,6	1,92	0,9	1,4	40770	406
6	115,5	2,10	0,7	1,0	50506	406
7	120,3	2,19	1,0	1,6	31034	411
8	122,2	2,22	1,8	2,5	17648	415
9	127,8	2,32	1,0	1,5	31231	426

Tabelle A3-14 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe D115N

Dübeltyp D115N	F_{\max} [kN]	$v(0,8 \text{ zul } F)$ [mm]	$v(\text{zul } F)$ [mm]	k_s [N/mm]
Mittelwert	114,3 (114,3)	1,3 (1,3)	1,9 (1,9)	31811 (31811)
5%- Fraktile	100,3 (100,3)	0,5 (0,5)	0,9 (0,9)	12482 (12482)
Standard- abweichung	9,0 (9,0)	0,6 (0,6)	0,9 (0,9)	15567 (15567)

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungengenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-15 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe D115N

D115N	F_{max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	min ρ
F_{max}	1,0 (0,01)	0,01 (0,01)	-0,25 (-0,25)	-0,22 (-0,22)	0,13 (0,13)
k_s	0,01 (0,01)	1,0	-0,78 (-0,78)	-0,77 (-0,77)	-0,74 (-0,74)
v (0,8zul.F)	-0,25 (-0,25)	-0,78 (-0,78)	1,0	0,96 (0,96)	0,69 (0,69)
v (zul.F)	-0,22 (-0,22)	-0,77 (-0,77)	0,96 (0,96)	1,0	0,74 (0,74)
min ρ	0,13 (0,13)	-0,74 (-0,74)	0,69 (0,69)	0,74 (0,74)	1,0

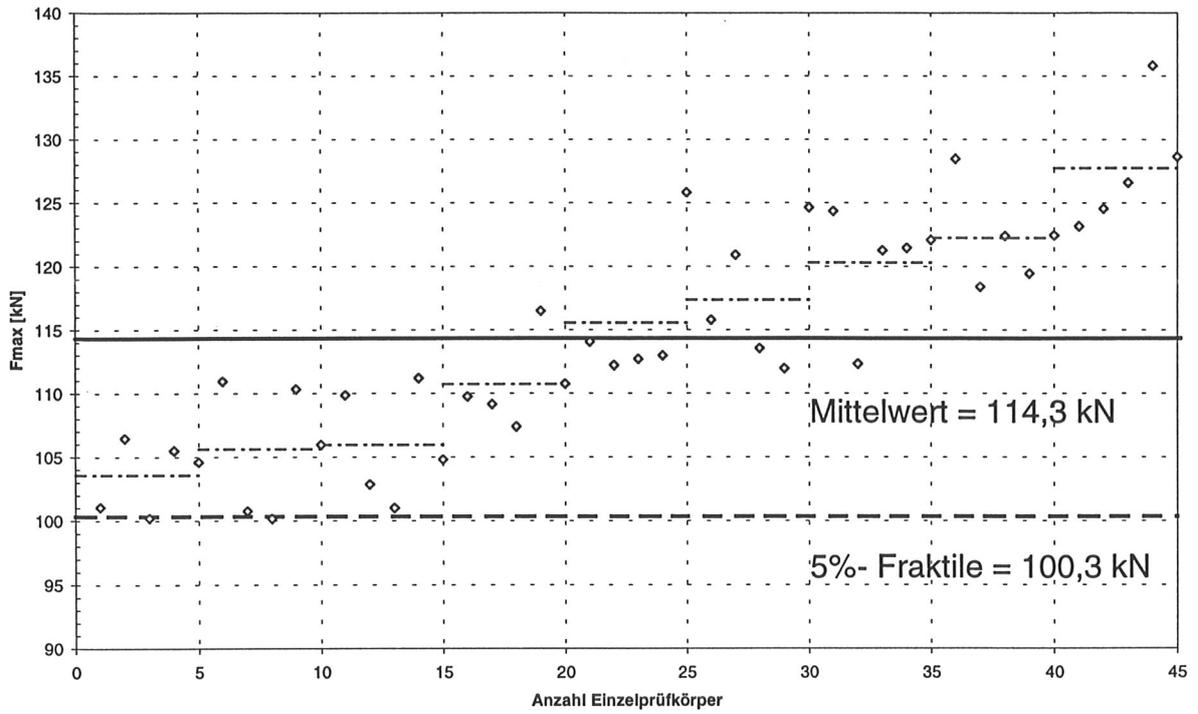


Bild A3-63 Mittelwert und 5%- Fraktile der D115N- Serie

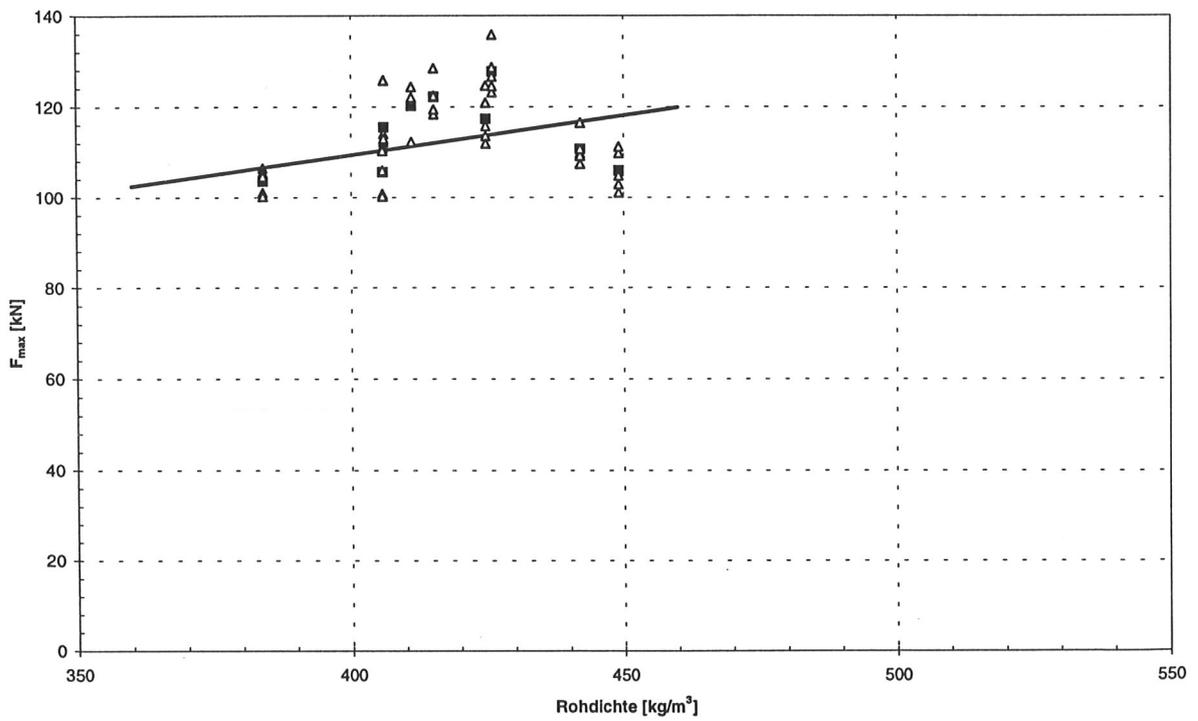


Bild A3-64 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D115N- Serie

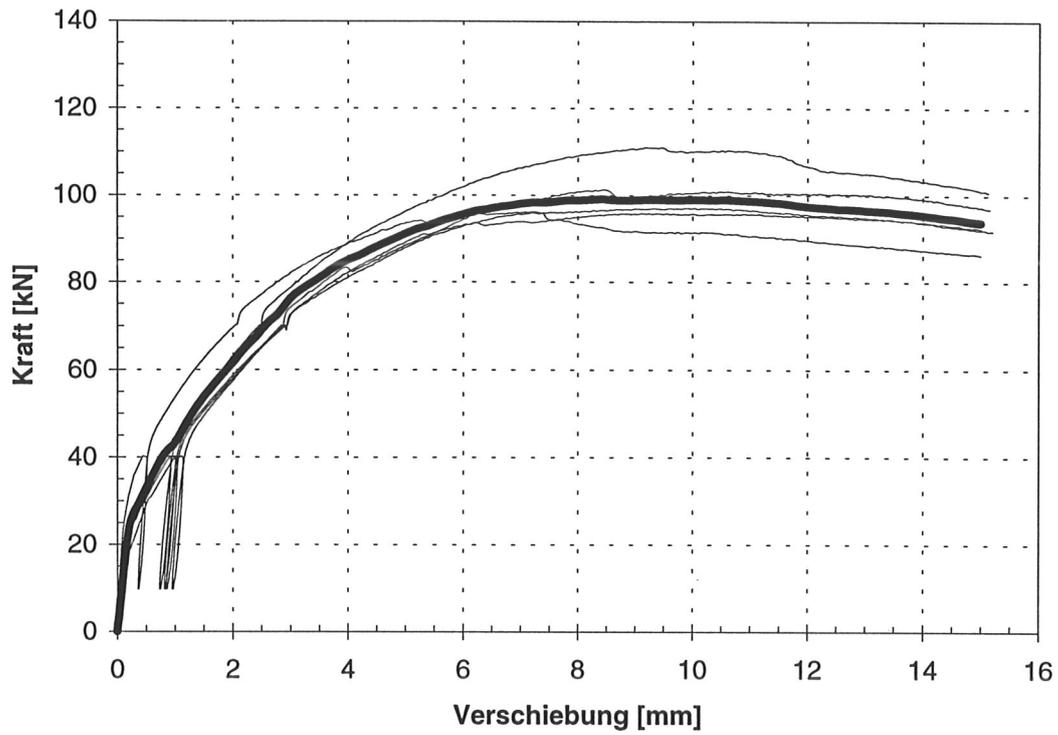


Bild A3-65 Last- Verschiebungskurven der D115M1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

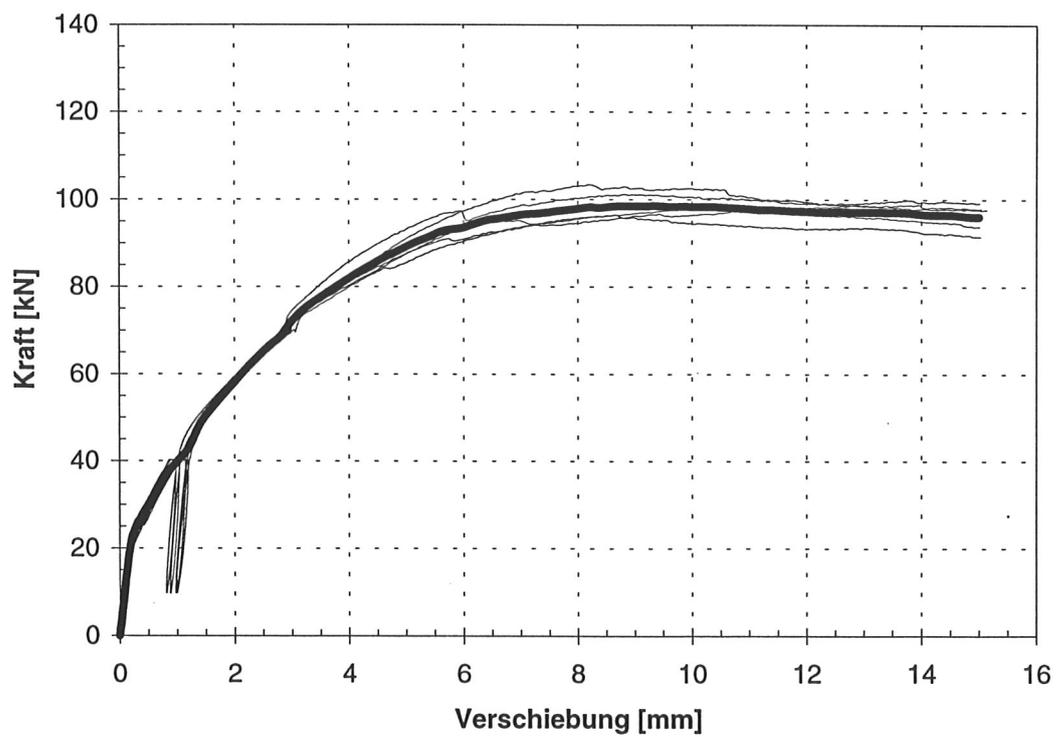


Bild A3-66 Last- Verschiebungskurven der D115M2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

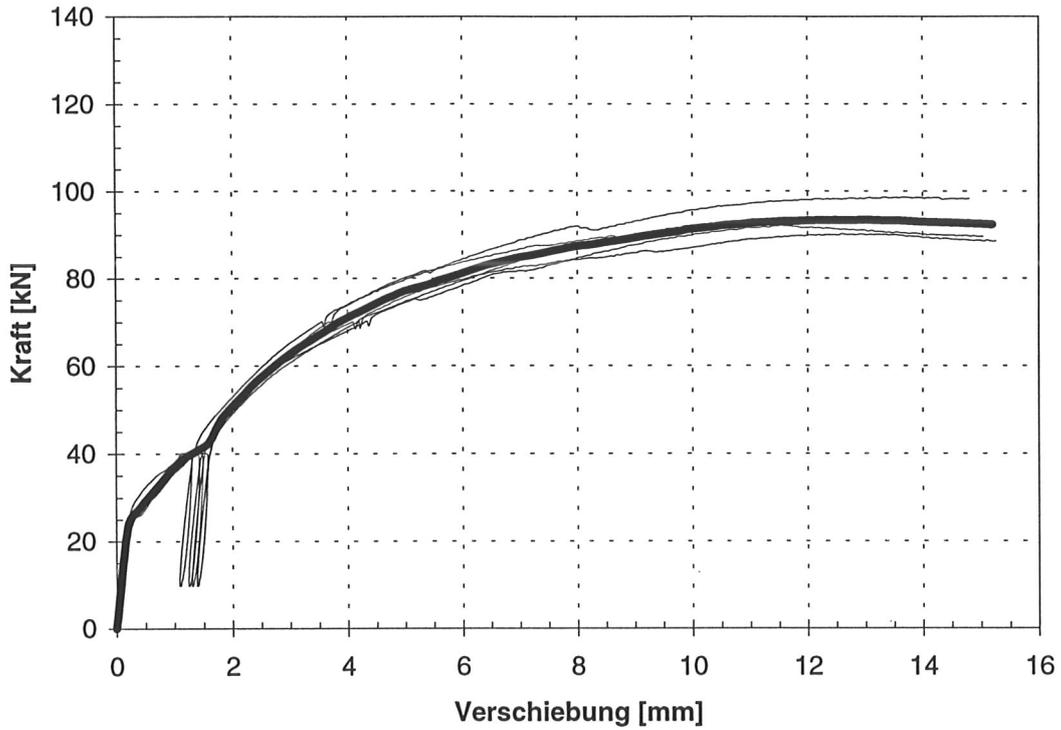


Bild A3-67 Last- Verschiebungskurven der D115M3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

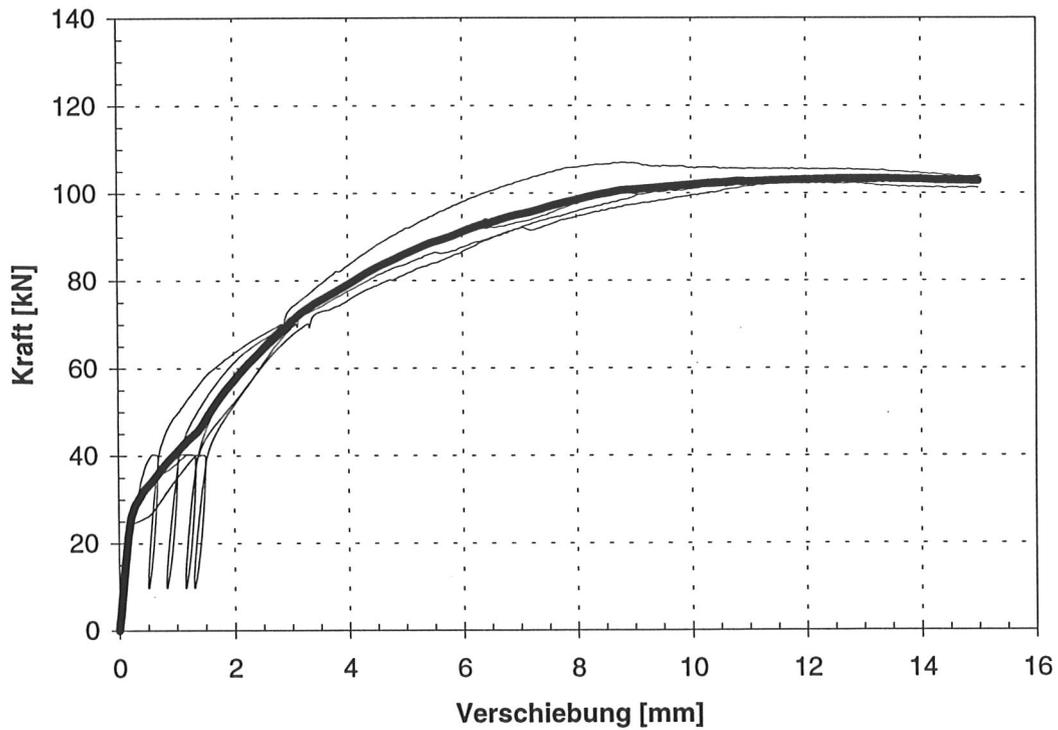


Bild A3-68 Last- Verschiebungskurven der D115M4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

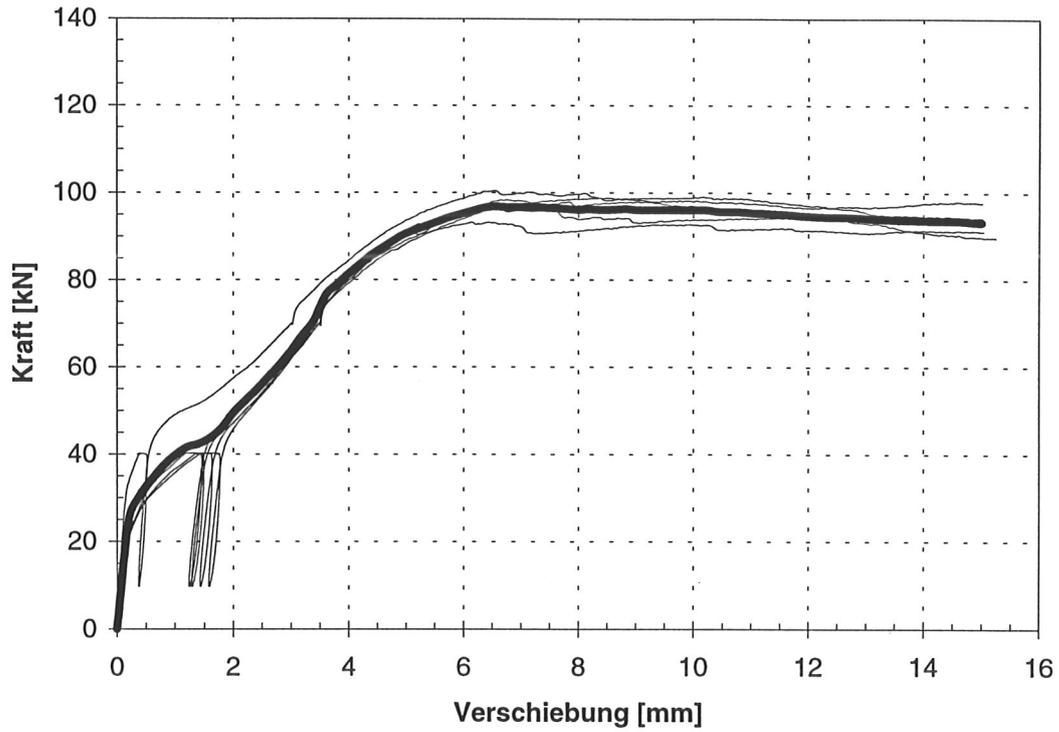


Bild A3-69 Last- Verschiebungskurven der D115M5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

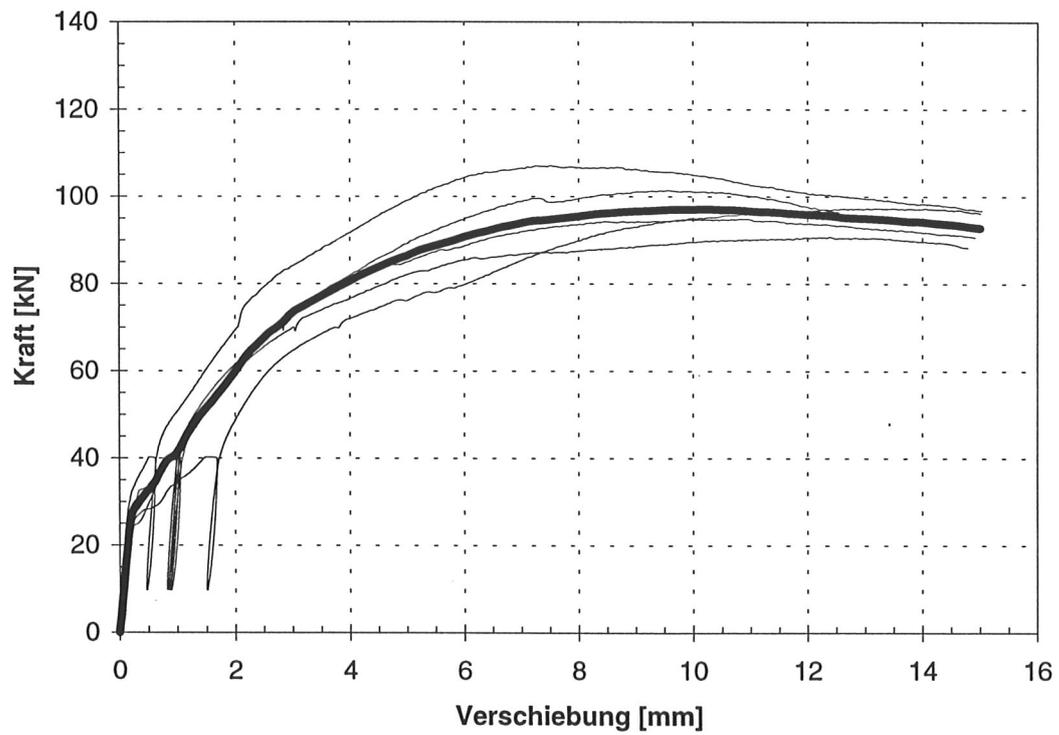


Bild A3-70 Last- Verschiebungskurven der D115M6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

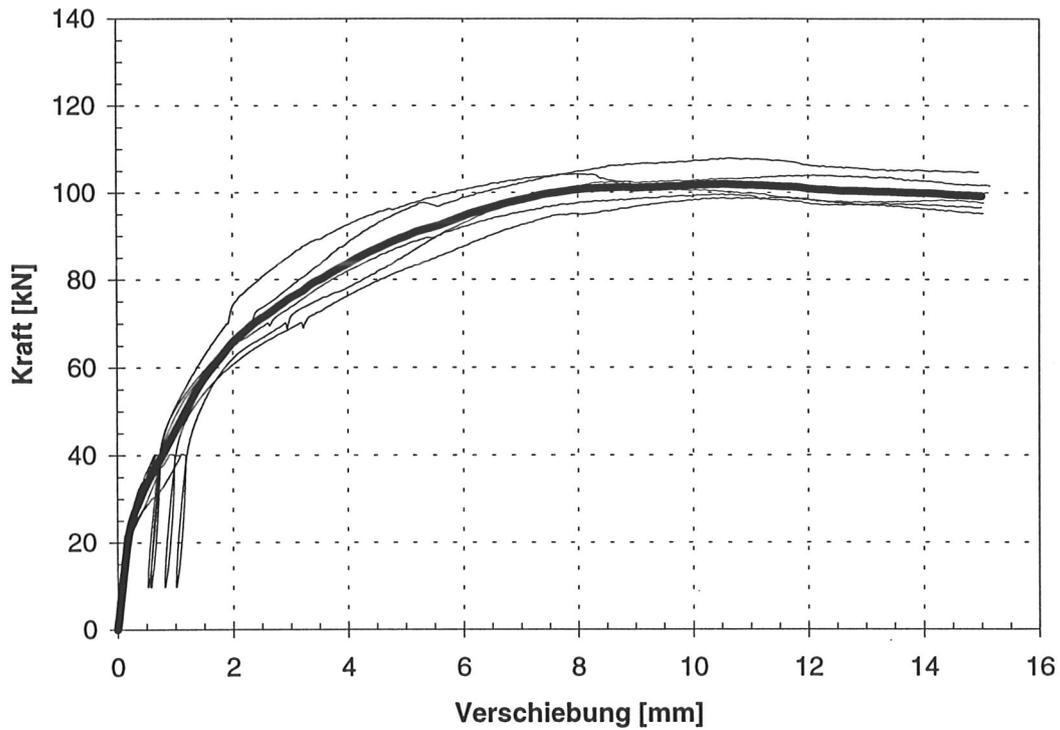


Bild A3-71 Last- Verschiebungskurven der D115M7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

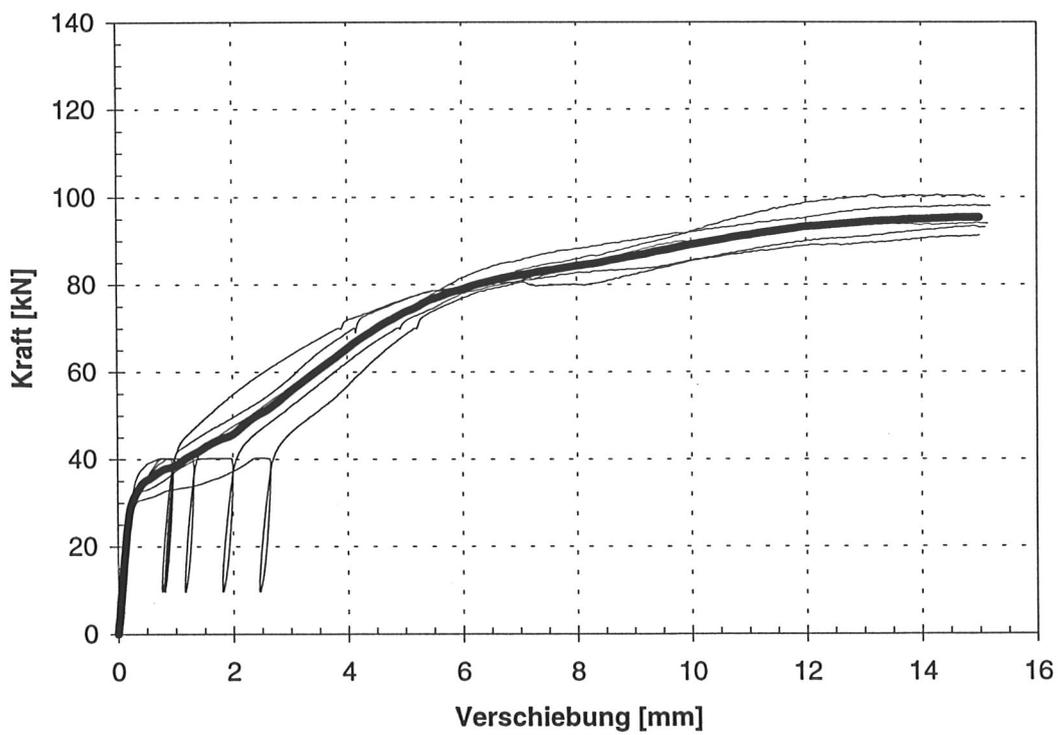


Bild A3-72 Last- Verschiebungskurven der D115M8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

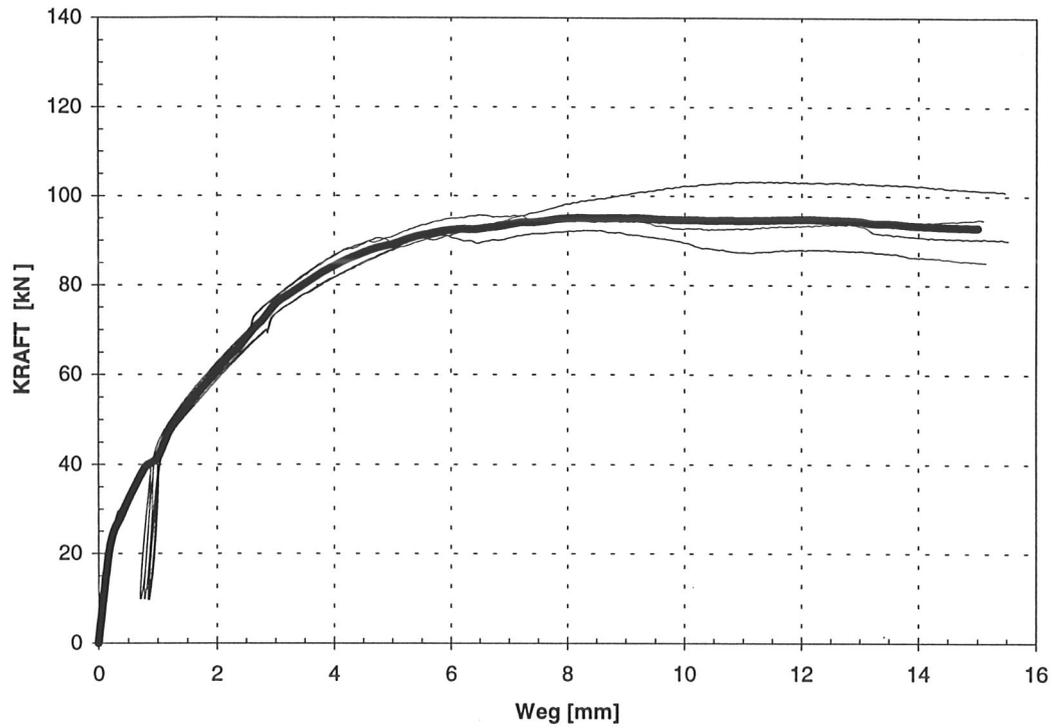


Bild A3-73 Last- Verschiebungskurven der D115M9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

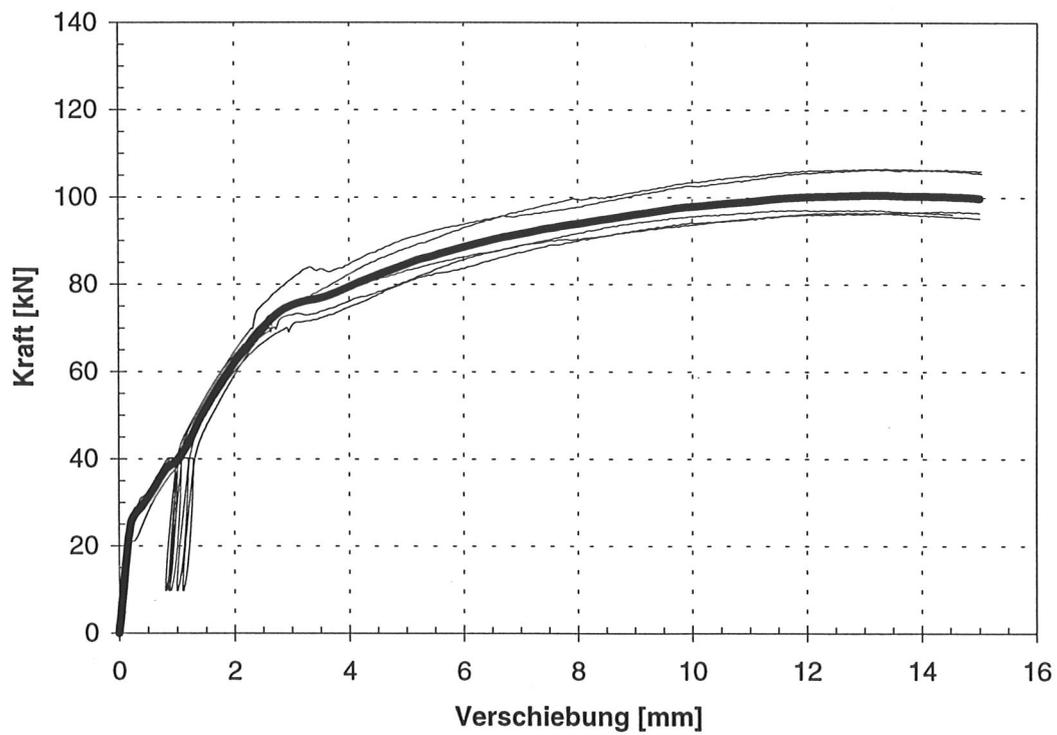


Bild A3-74 Last- Verschiebungskurven der D115M10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

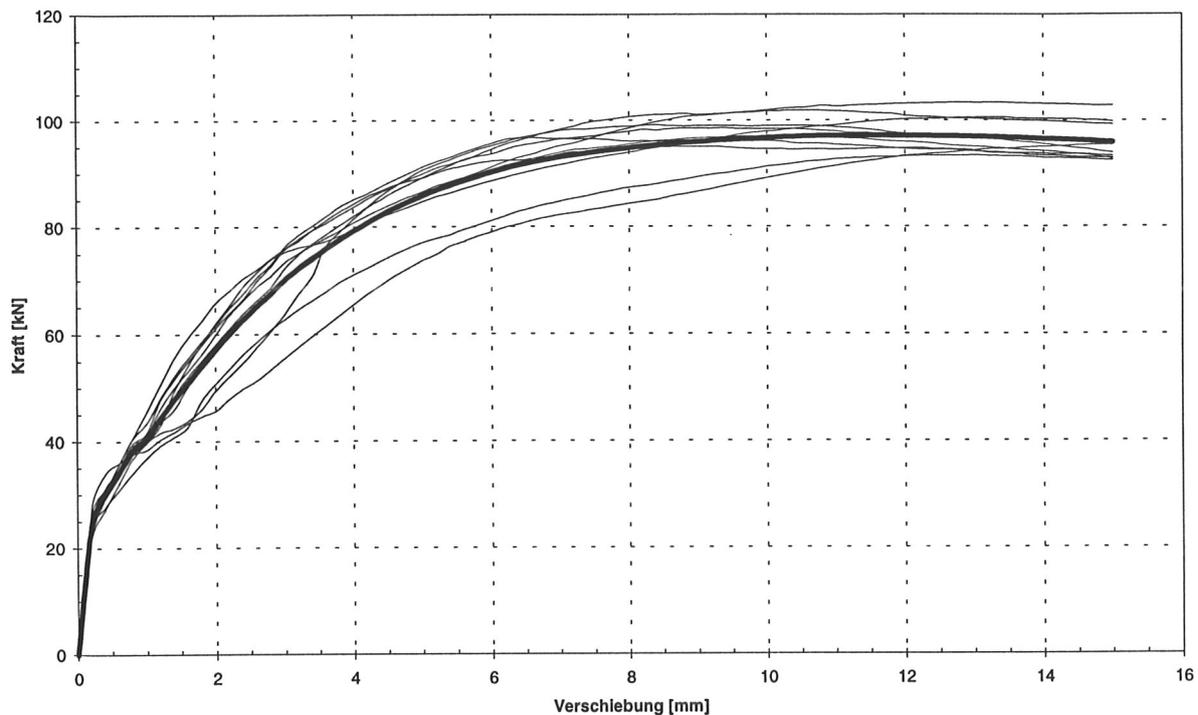


Bild A3-75 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der D115M- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-16 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe D115M

Dübeltyp D115M	\bar{X} F_{max} [kN]	\bar{X} $F_{max}/zul F$ zul F=54kN	\bar{X} $v (0,8\ zul F)$ [mm]	\bar{X} $v (zul F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	100,3	1,86	1,0	1,5	42939	406
2	99,6	1,84	1,1	1,7	33019	436
3	93,7	1,74	1,4	2,2	24792	403
4	104,0	1,93	1,1	1,8	35313	396
5	97,6	1,81	1,3	2,3	37154	527
6	98,3	1,82	1,0	1,6	38619	408
7	103,0	1,91	0,9	1,3	42249	389
8	95,5	1,77	1,7	2,8	32303	419
9	96,6	1,79	0,9	1,6	39707	391
10	100,7	1,87	1,1	1,6	32777	432

Tabelle A3-17 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe D115M

Dübeltyp D115M	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]
Mittelwert	99,0 (99,0)	1,2 (1,2)	1,9 (1,9)	35887 (35887)
5%- Fraktile	91,0 (91,0)	0,6 (0,6)	1,2 (1,2)	21422 (21422)
Standard- abweichung	5,0 (5,0)	0,4 (0,4)	0,5 (0,5)	13342 (13342)

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-18 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe D115M

D115M	F_{\max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	min ρ
F_{\max}	1,0 (0,24)	0,24 (0,24)	-0,34 (-0,34)	-0,40 (-0,40)	-0,18 (-0,18)
k_s	0,24 (0,24)	1,0	-0,81 (-0,81)	-0,62 (-0,62)	-0,09 (-0,09)
v (0,8zul.F)	-0,34 (-0,34)	-0,81 (-0,81)	1,0	0,92 (0,92)	0,35 (0,35)
v (zul.F)	-0,40 (-0,40)	-0,62 (-0,62)	0,92 (0,92)	1,0	0,42 (0,42)
min ρ	-0,18 (-0,18)	-0,09 (-0,09)	0,35 (0,35)	0,42 (0,42)	1,0

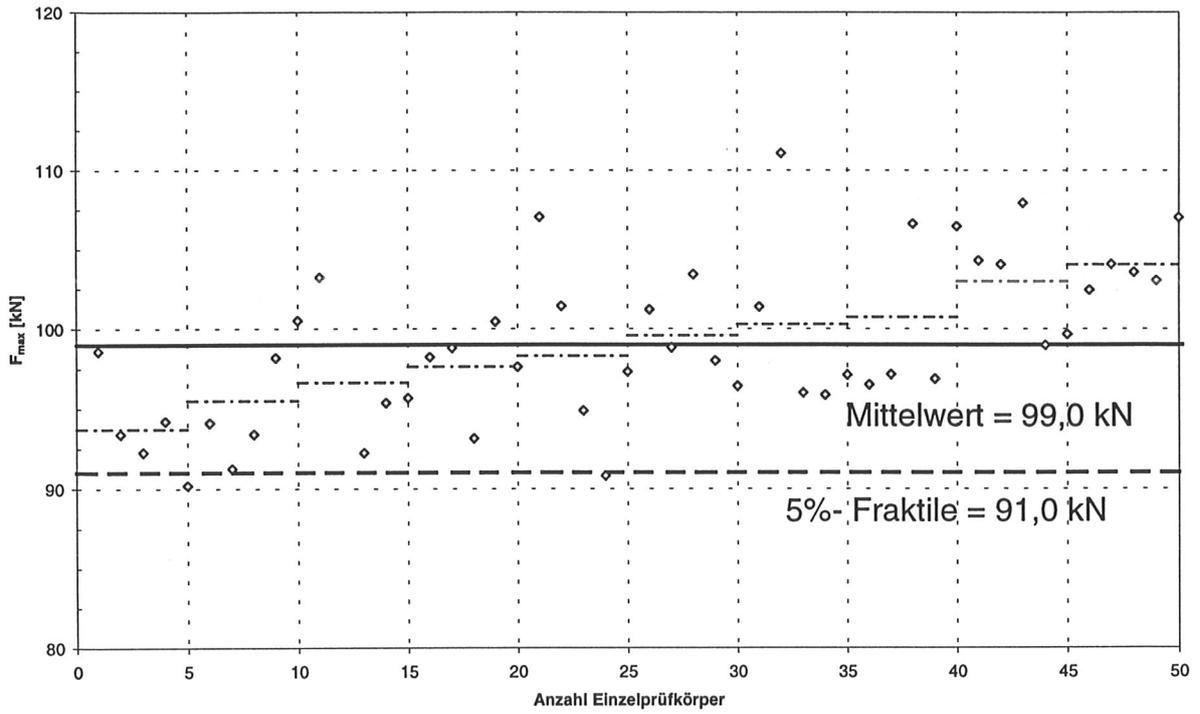


Bild A3-76 Mittelwert und 5%- Fraktile der D115M- Serie

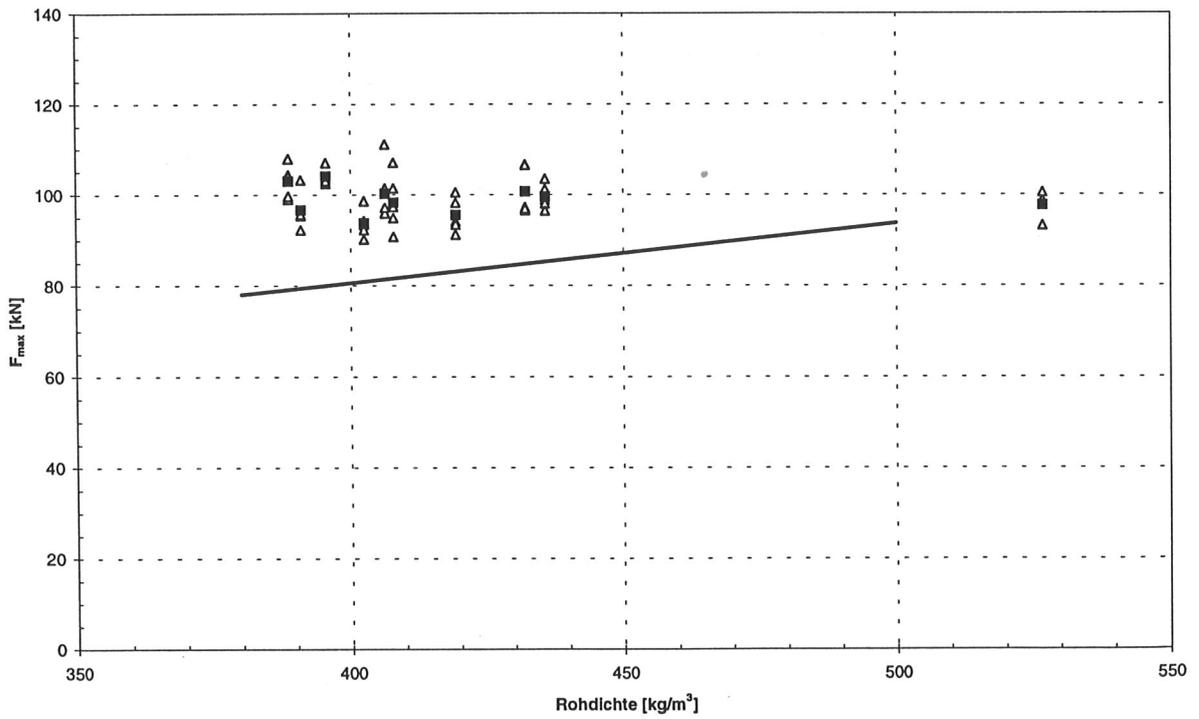


Bild A3-77 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der D115M- Serie

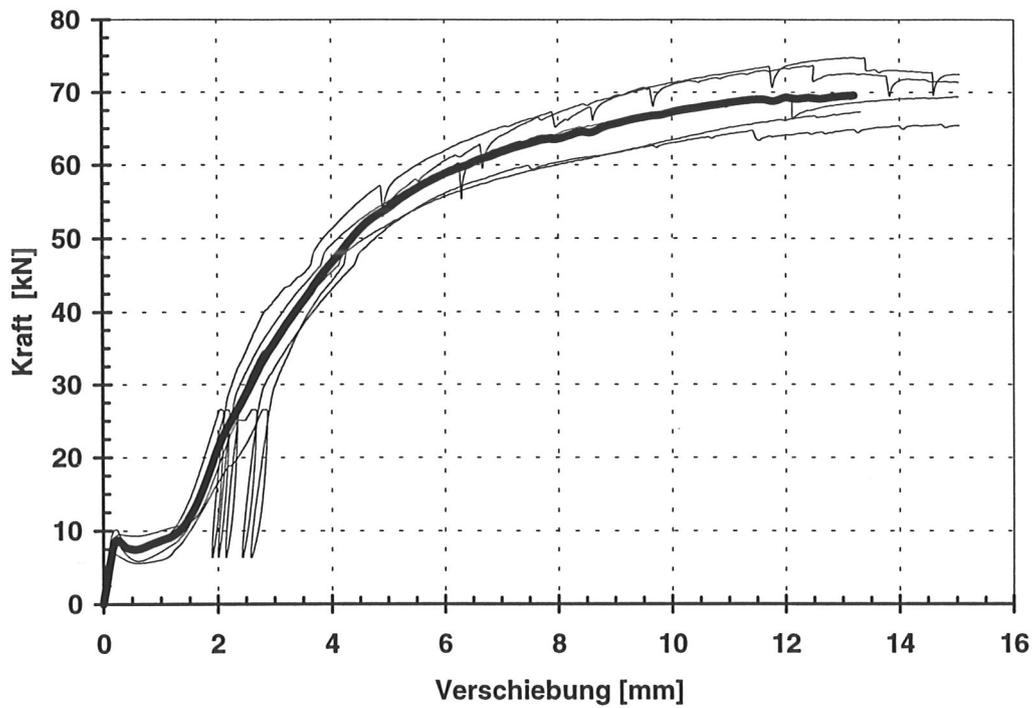


Bild A3-78 Last- Verschiebungskurven der A65N1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

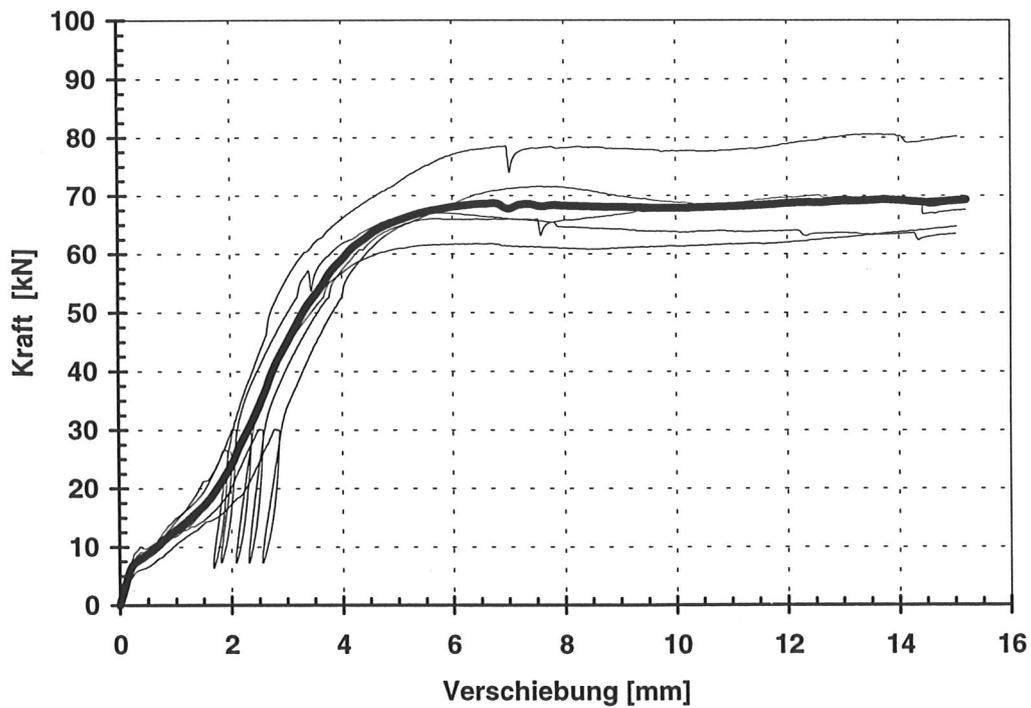


Bild A3-79 Last- Verschiebungskurven der A65N2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

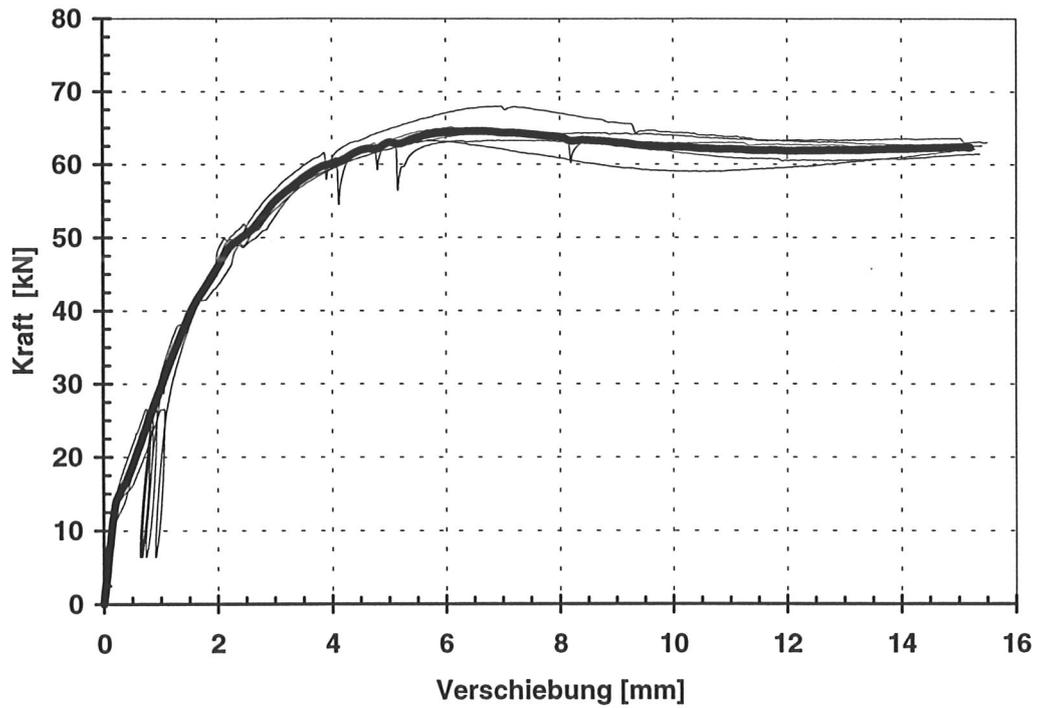


Bild A3-80 Last- Verschiebungskurven der A65N3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

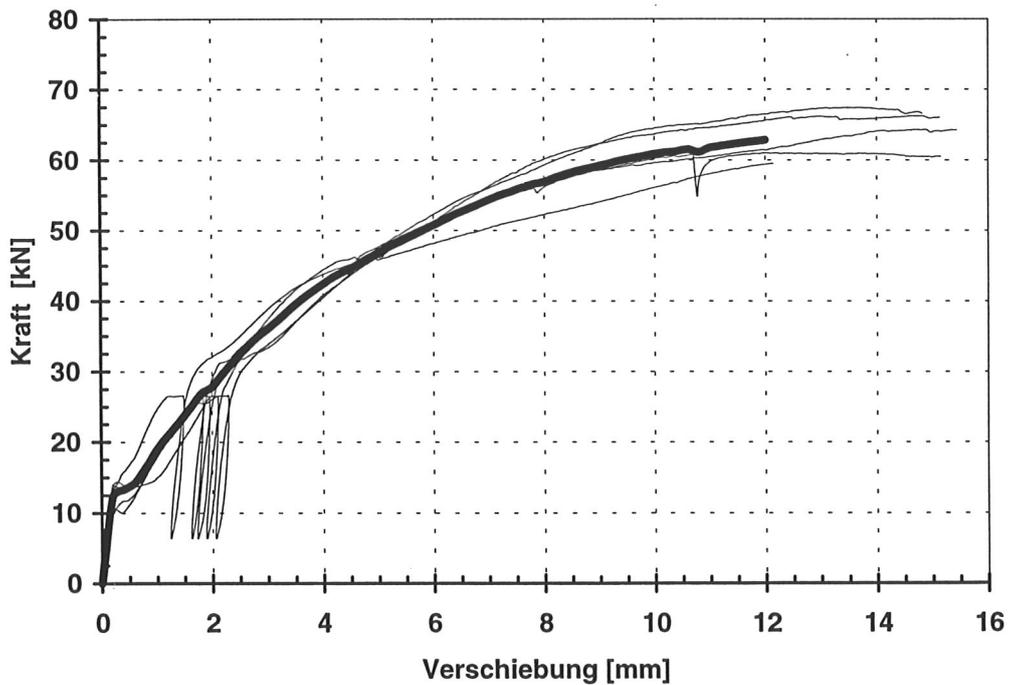


Bild A3-81 Last- Verschiebungskurven der A65N4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

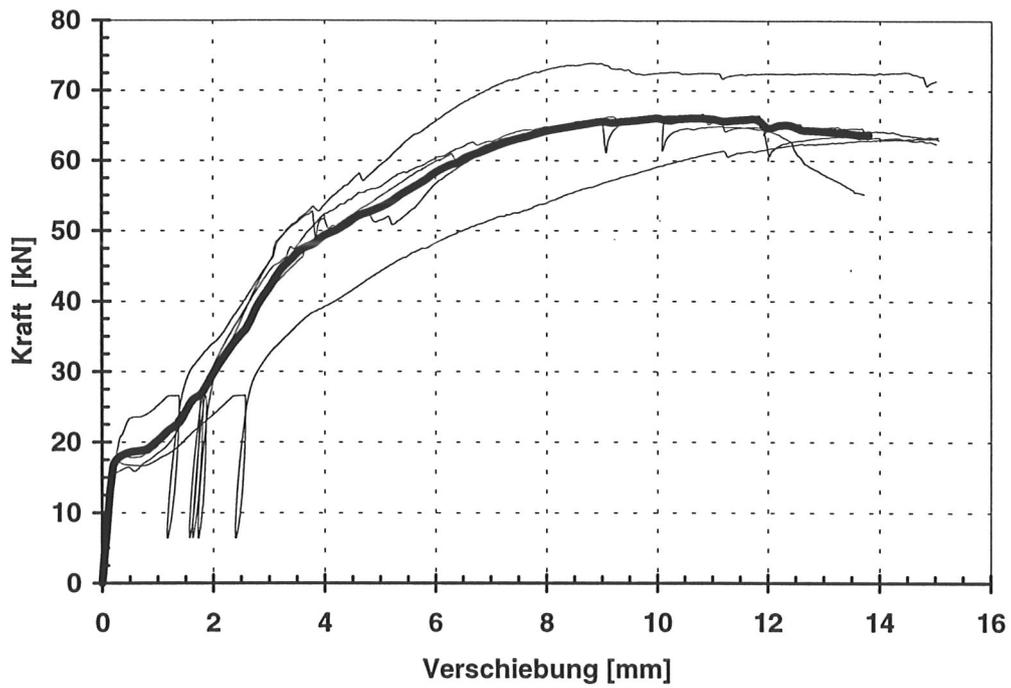


Bild A3-82 Last- Verschiebungskurven der A65N5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

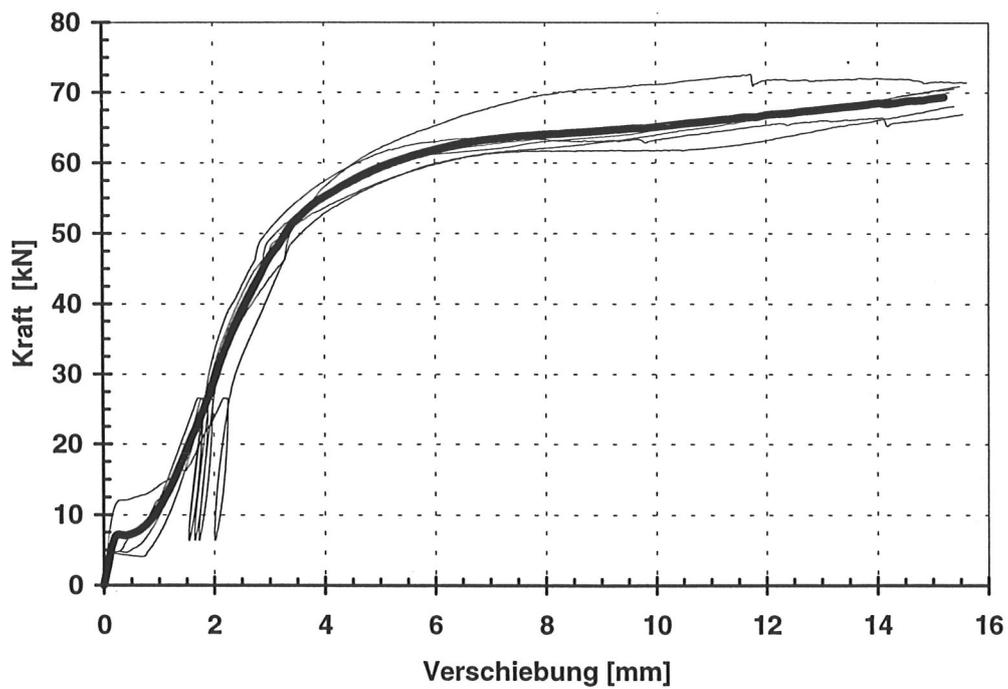


Bild A3-83 Last- Verschiebungskurven der A65N6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

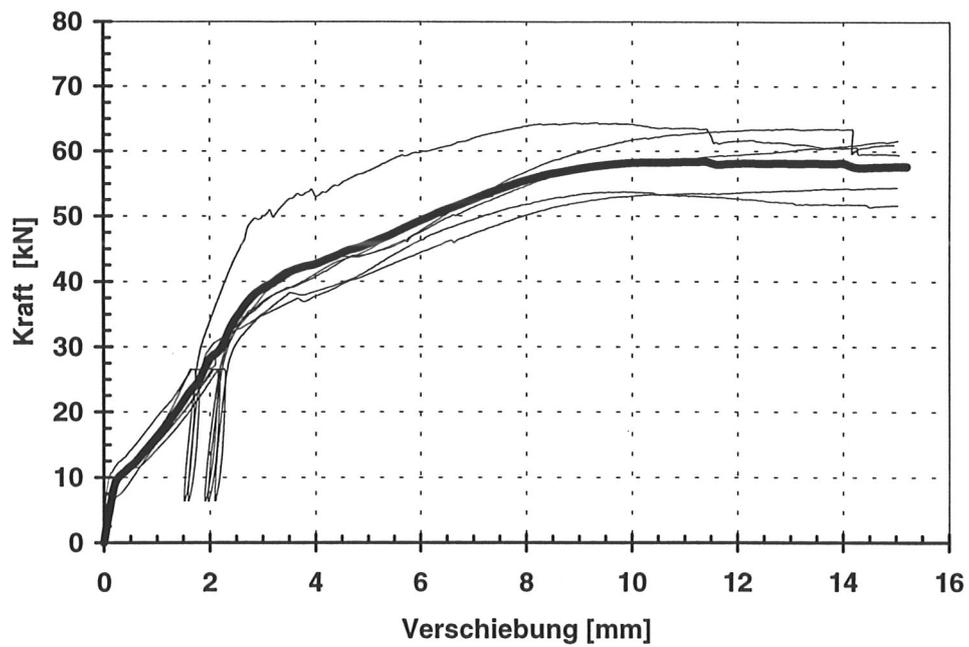


Bild A3-84 Last- Verschiebungskurven der A65N7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

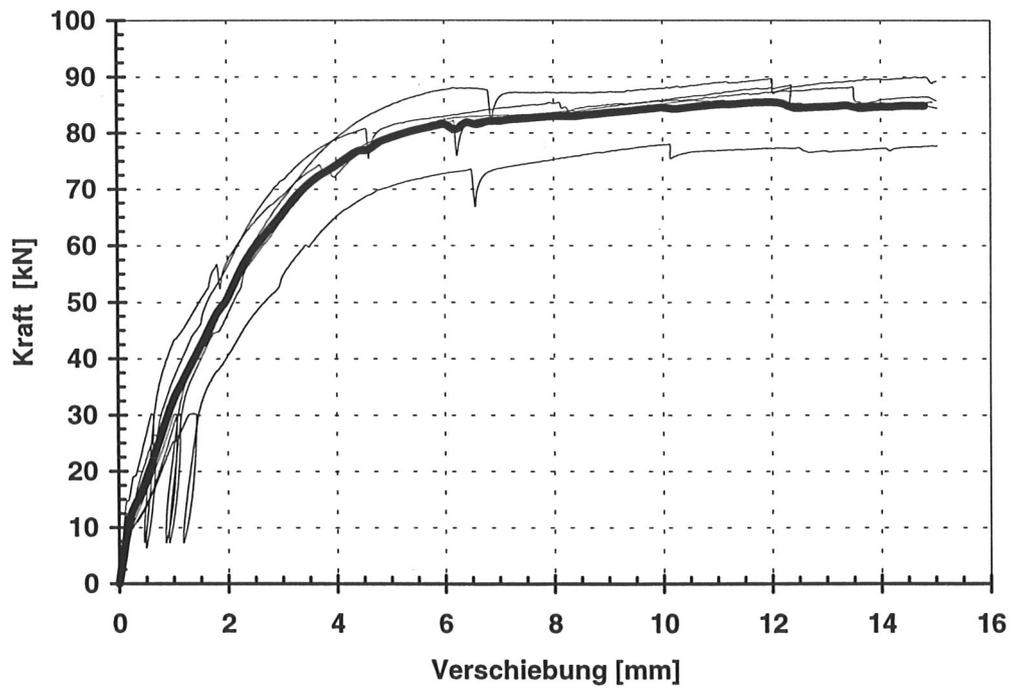


Bild A3-85 Last- Verschiebungskurven der A65N8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

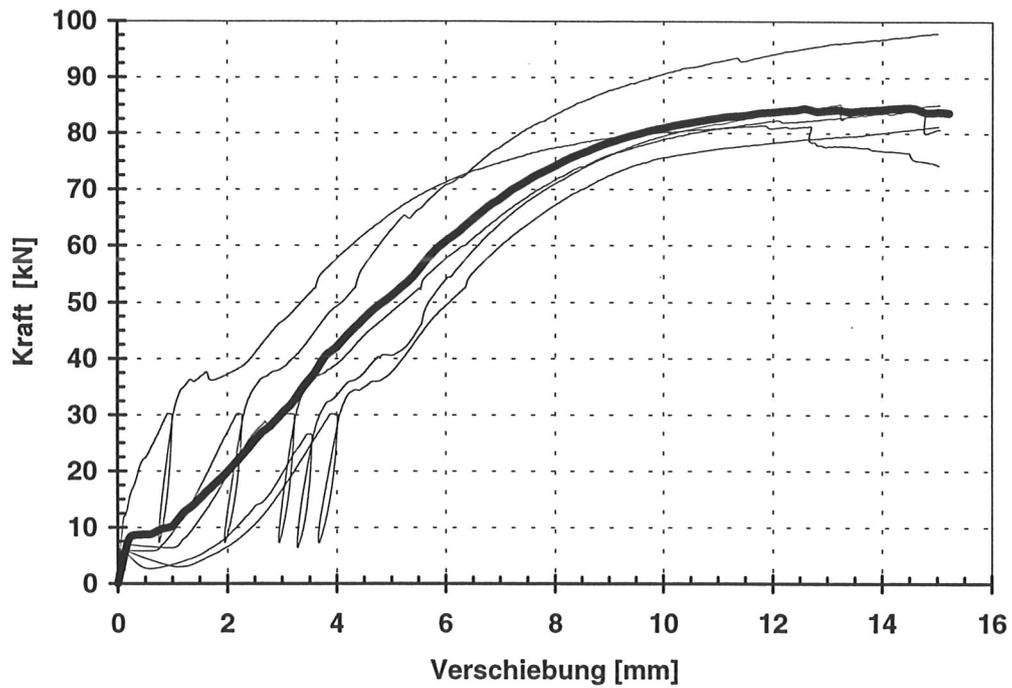


Bild A3-86 Last- Verschiebungskurven der A65N9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

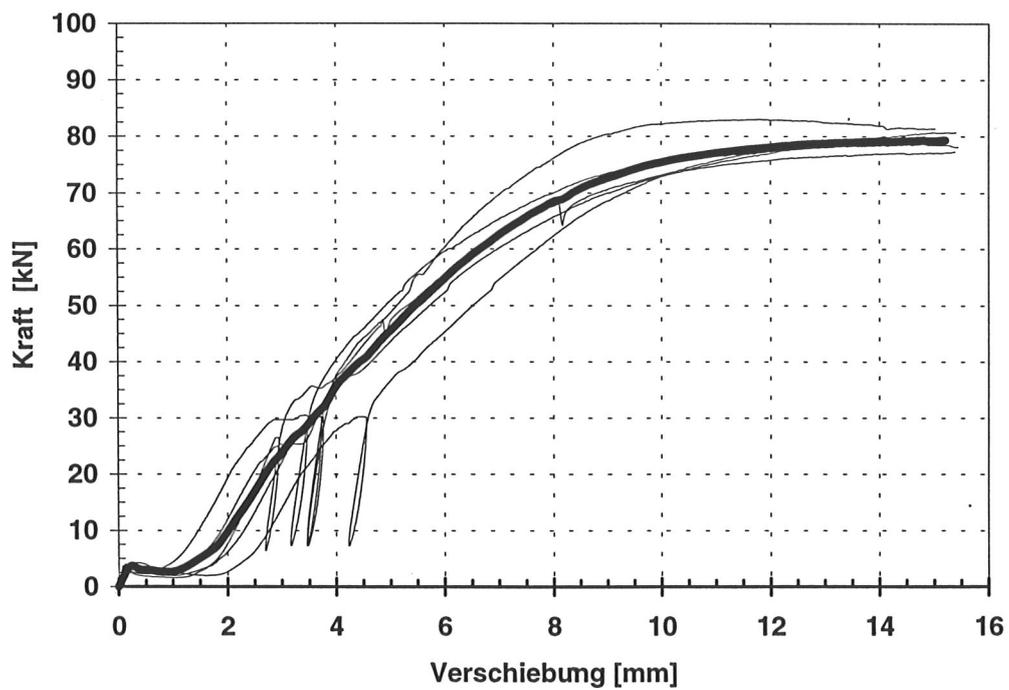


Bild A3-87 Last- Verschiebungskurven der A65N10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

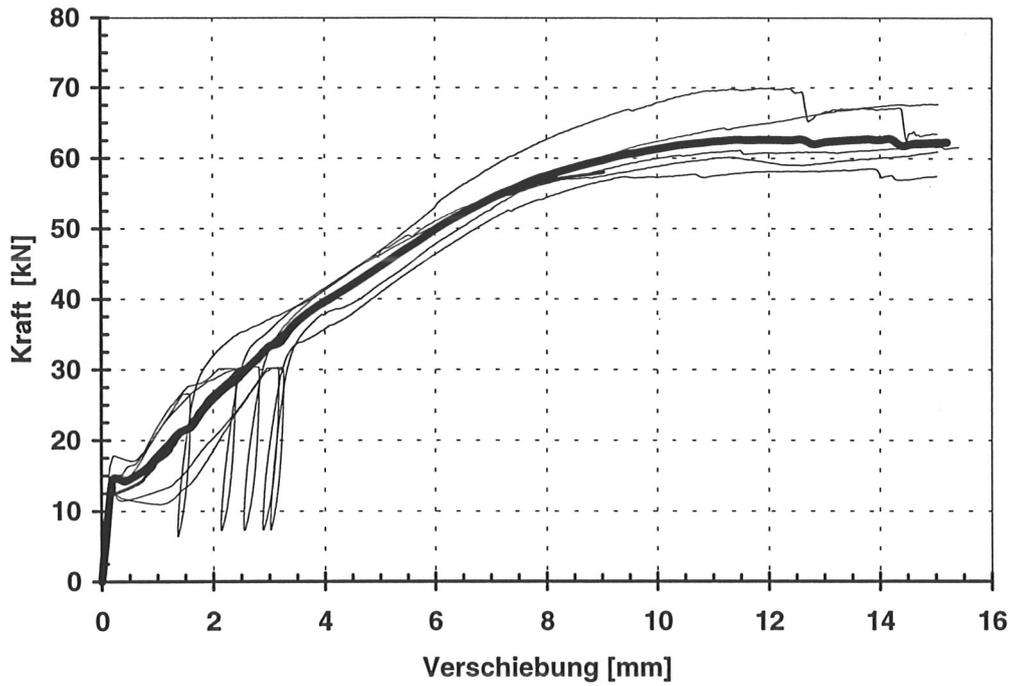


Bild A3-88 Last- Verschiebungskurven der A65N11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

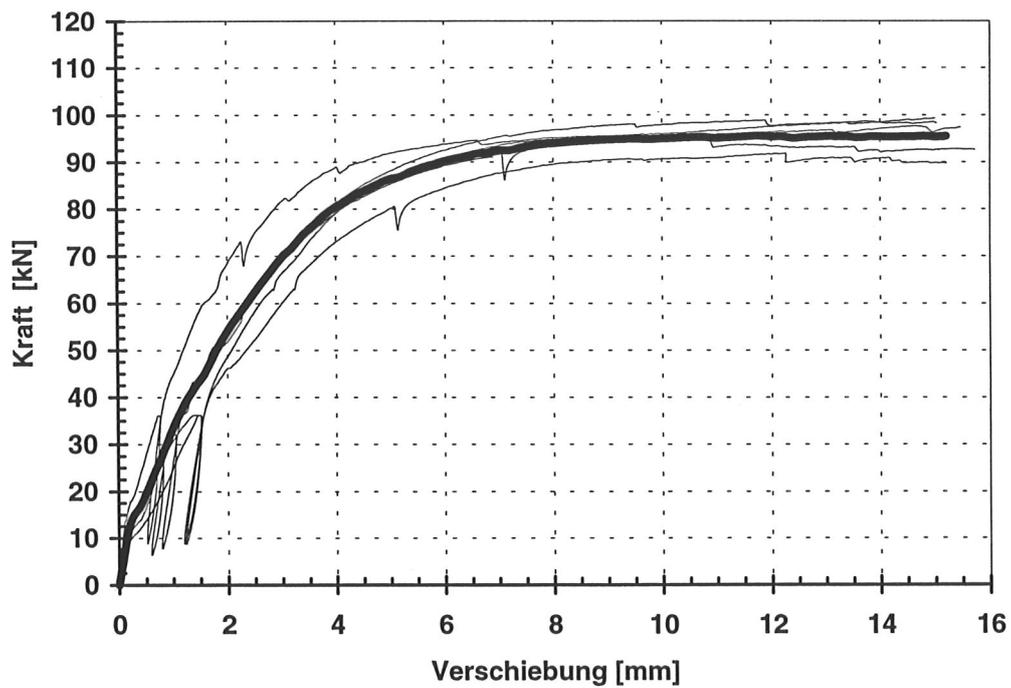


Bild A3-89 Last- Verschiebungskurven der A65N12- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

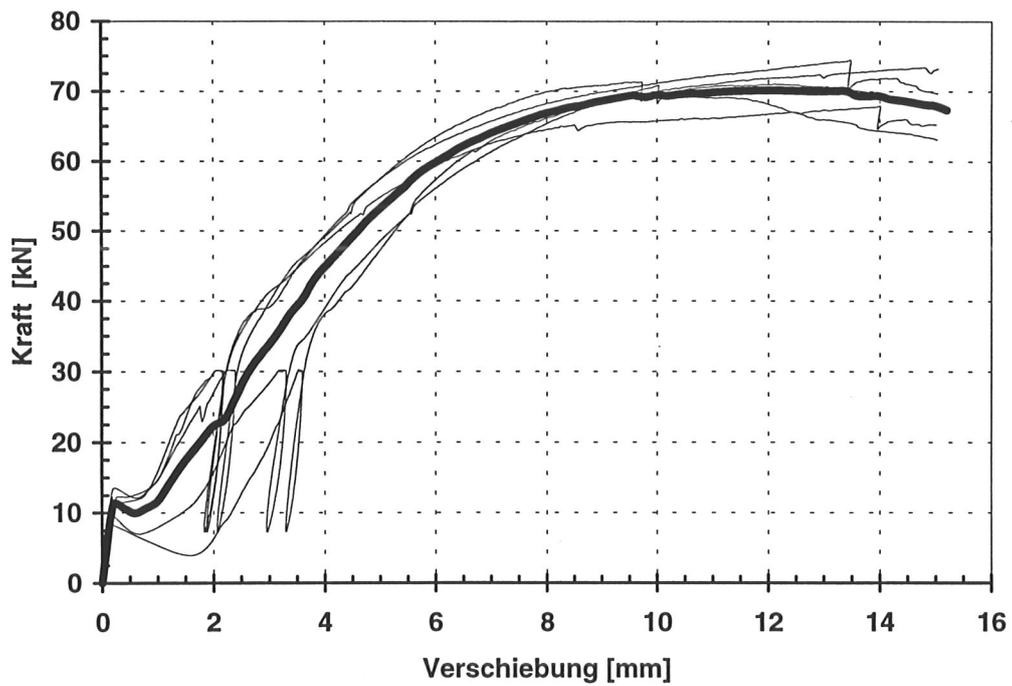


Bild A3-90 Last- Verschiebungskurven der A65N13- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

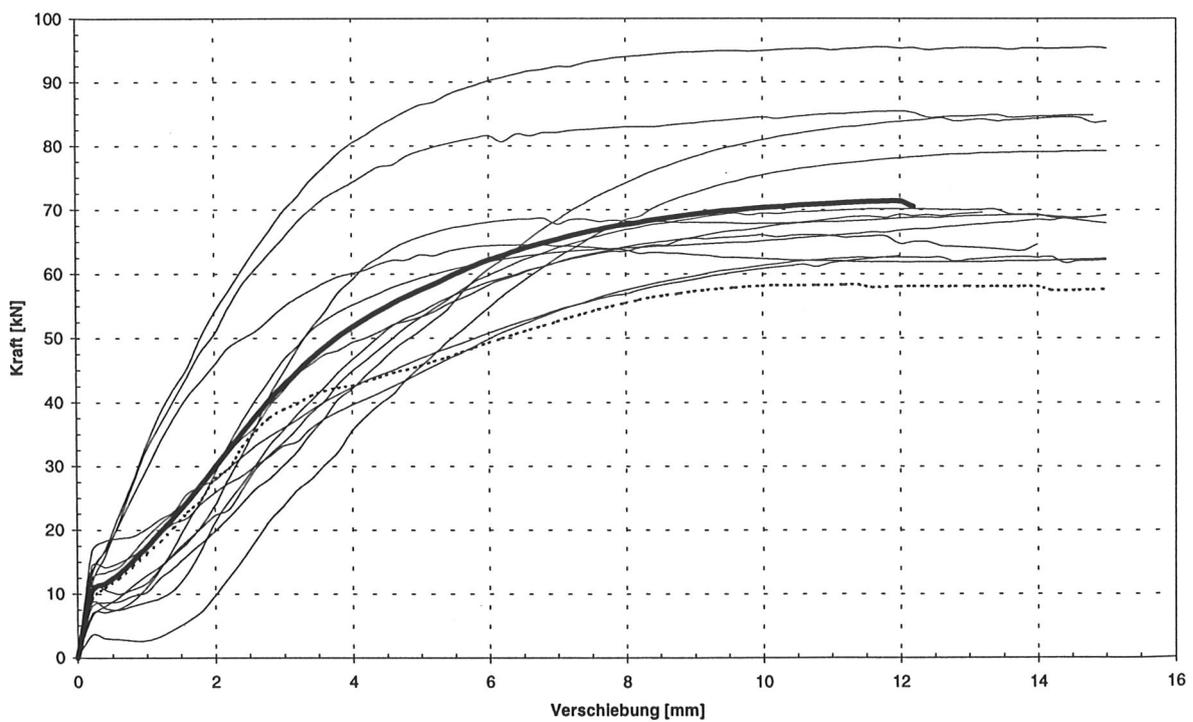


Bild A3-91 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der A65N- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-19 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe A65N

Dübeltyp A65N	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} v (0,8 zul F) [mm]	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	\bar{X} Schlupf [mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	70,1	1,9	2,2	8887	1,1	445
2	70,6	1,7	2,0	11553	0,1	490
3	64,8	0,5	0,7	25552	0,0	402
4	63,7	1,0	1,4	12356	0,3	449
5	67,3	0,8	1,4	12536	0,4	405
6	69,4	1,5	1,7	15107	0,4	384
7 ⁴	59,5	1,2	1,6	10972	0,1	364
8	86,1	0,5	0,7	28031	0,1	515
9	86,0	2,0	2,2	16140	1,0	483
10	79,6	2,6	2,9	14327	1,3	446
11	63,7	1,2	1,6	10026	0,5	451
12	96,4	0,5	0,7	27399	0,0	552
13	71,6	1,7	2,0	9532	1,0	418

Tabelle A3-20 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe A65N

Dübeltyp A65N	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]	Schlupf [mm]
Mittelwert	74,1 (73,0)	1,3 (1,3)	1,6 (1,6)	15954 (15571)	0,5 (0,5)
5%- Fraktile	60,9 (58,8)	0,3 (0,3)	0,5 (0,5)	7510 (7546)	0,0 (0,0)
Standard- abweichung	10,8 (11,2)	0,8 (0,8)	0,8 (0,8)	8040 (7844)	0,5 (0,5)

⁴ Die Serie A65N7 wurde aufgrund der Herstellungsungenauigkeiten bei der Auswertung nicht berücksichtigt

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-21 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe A65N

A65N	F_{max}	k_s	v(0,8zul.F)	v (zul.F)	Schlupf	min ρ
F_{max}	1,0 (0,52)	0,50 (0,52)	-0,05 (-0,03)	-0,12 (-0,11)	-0,03 (0,05)	0,78 (0,81)
k_s	0,50 (0,52)	1,0	-0,61 (-0,60)	-0,68 (-0,67)	-0,52 (-0,46)	0,47 (0,50)
v (0,8zul.F)	0,50 (0,52)	-0,61 (-0,60)	1,0	0,99 (0,99)	0,88 (0,86)	-0,19 (-0,15)
v (zul.F)	-0,12 (-0,11)	-0,68 (-0,67)	0,99 (0,99)	1,0	0,88 (0,85)	-0,25 (-0,23)
Schlupf	-0,03 (0,05)	-0,52 (-0,46)	0,88 (0,86)	0,88 (0,85)	1,0	-0,27 (-0,10)
min ρ	0,78 (0,81)	0,47 (0,50)	-0,19 (-0,15)	-0,25 (-0,23)	-0,27 (-0,10)	1,0

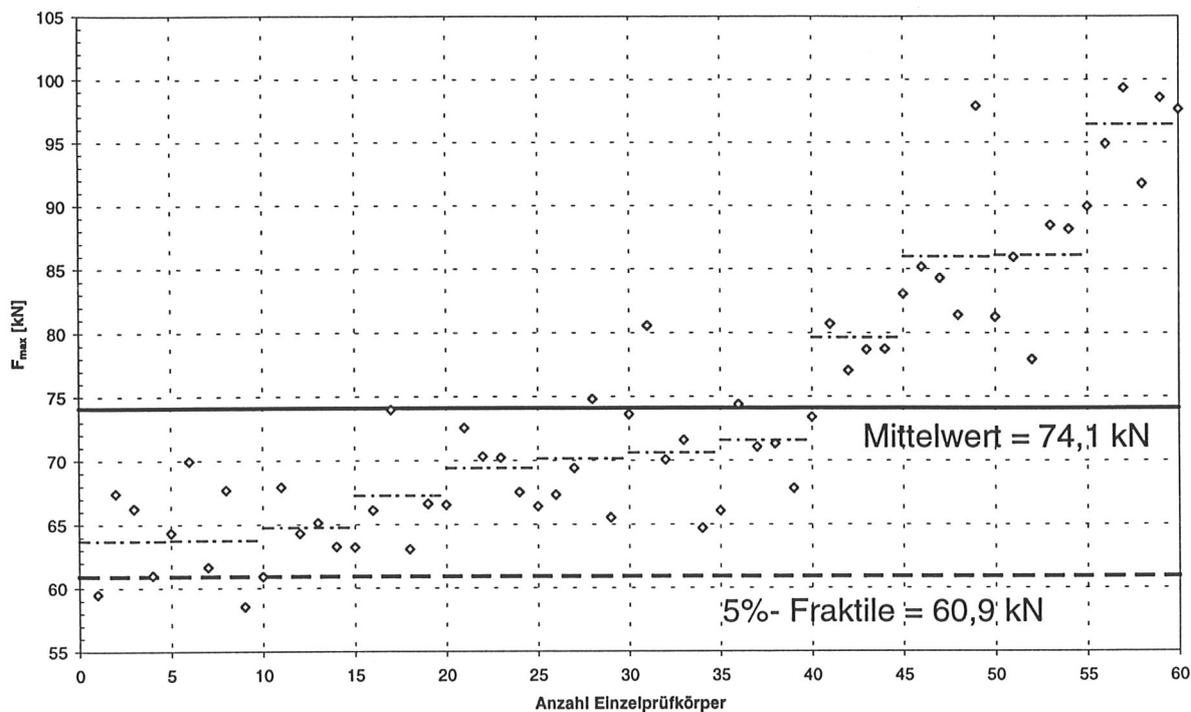


Bild A3-92 Mittelwert und 5%- Fraktile der A65N- Serie

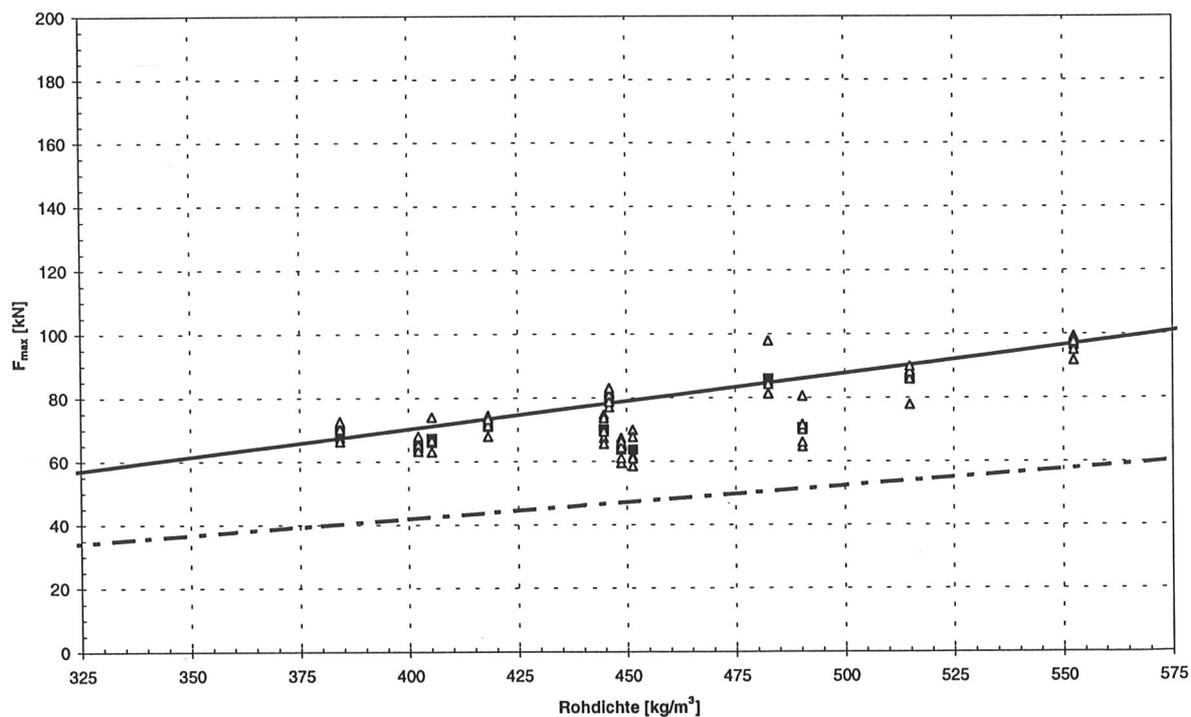


Bild A3-93 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A65N- Serie

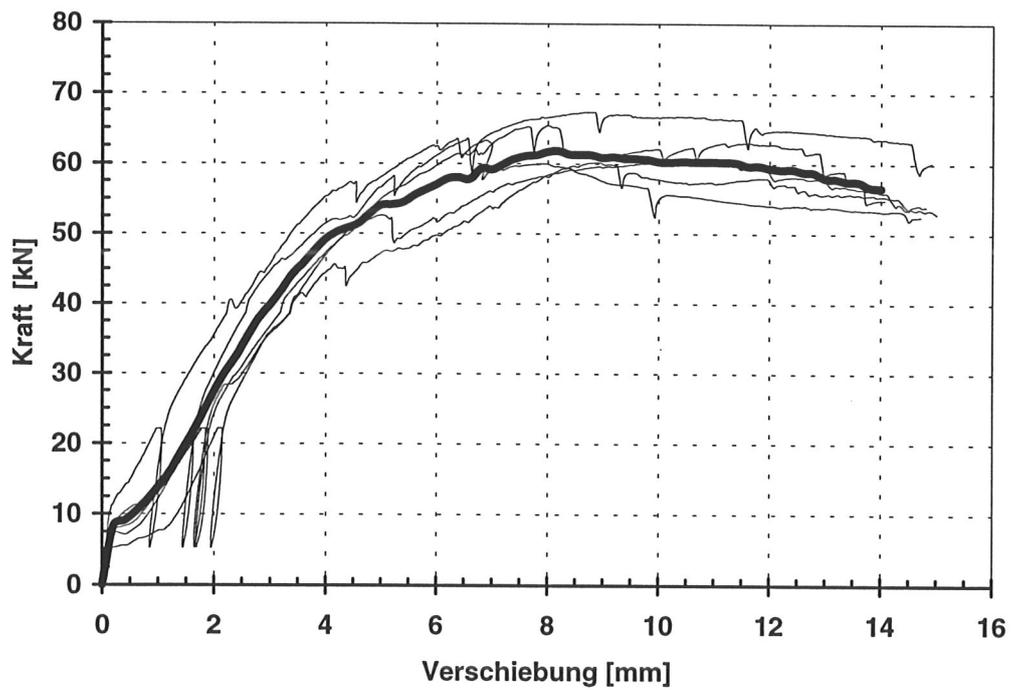


Bild A3-94 Last- Verschiebungskurven der A65M1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

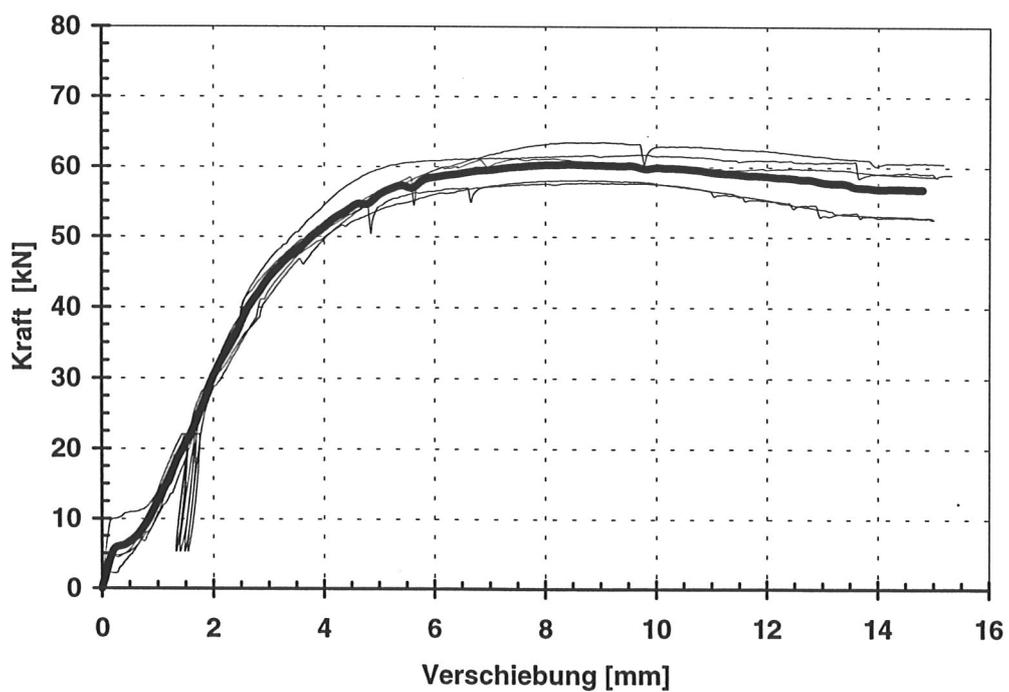


Bild A3-95 Last- Verschiebungskurven der A65M2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

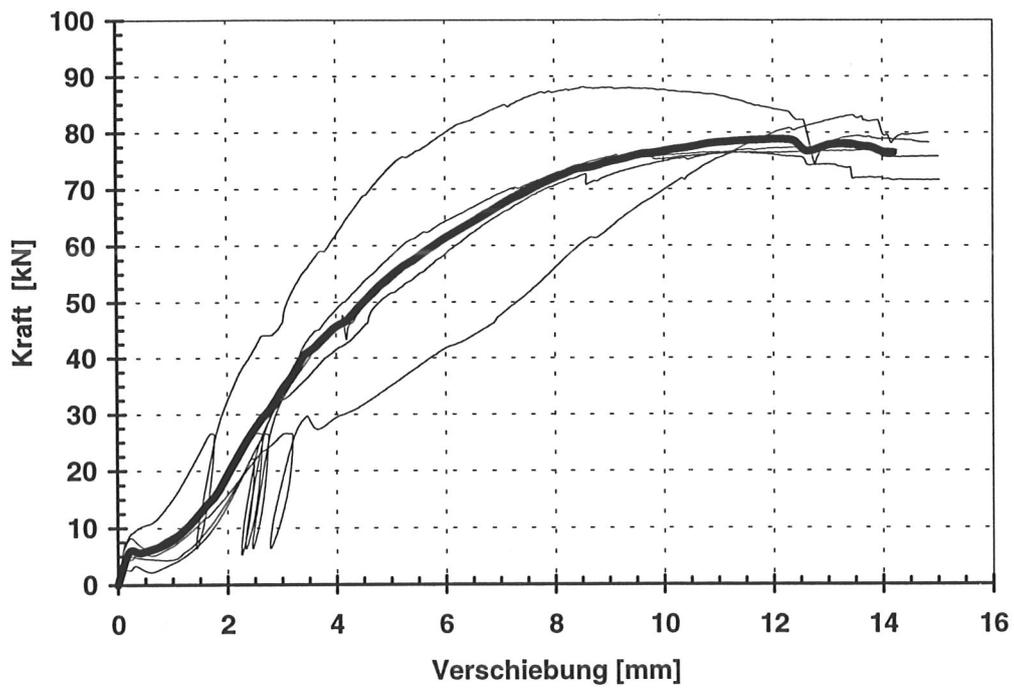


Bild A3-96 Last- Verschiebungskurven der A65M3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

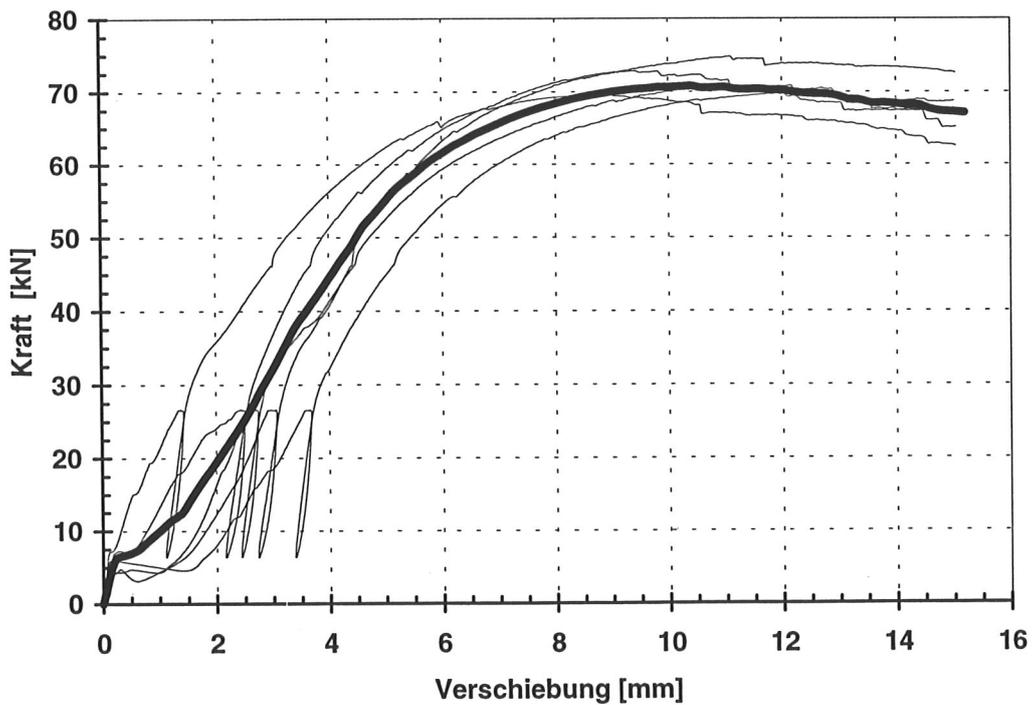


Bild A3-97 Last- Verschiebungskurven der A65M4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

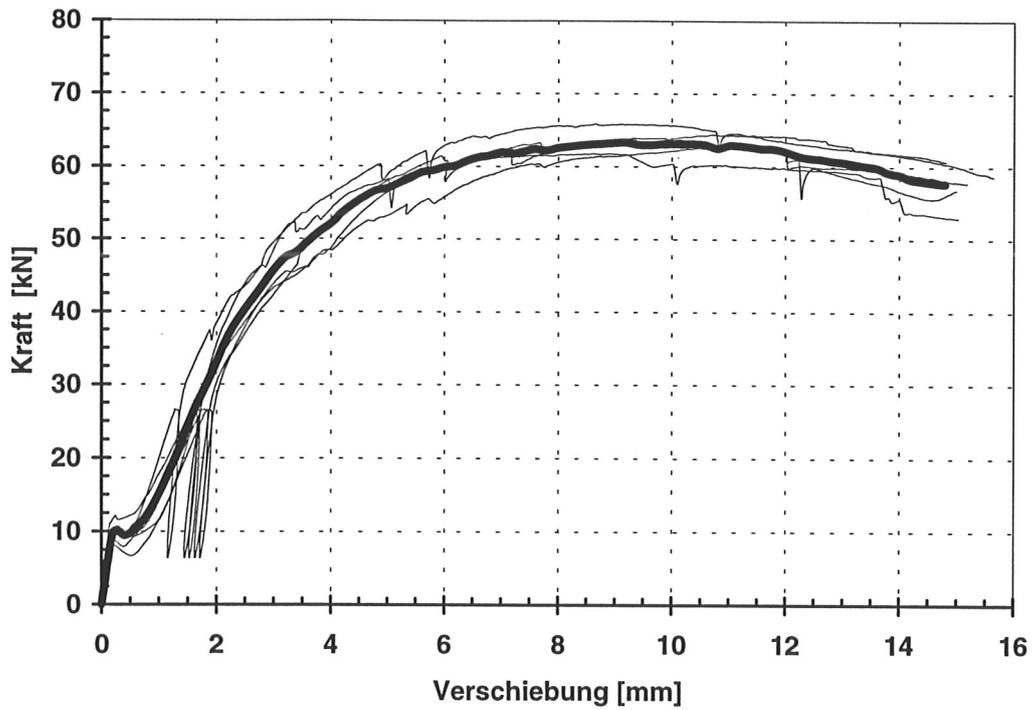


Bild A3-98 Last- Verschiebungskurven der A65M5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

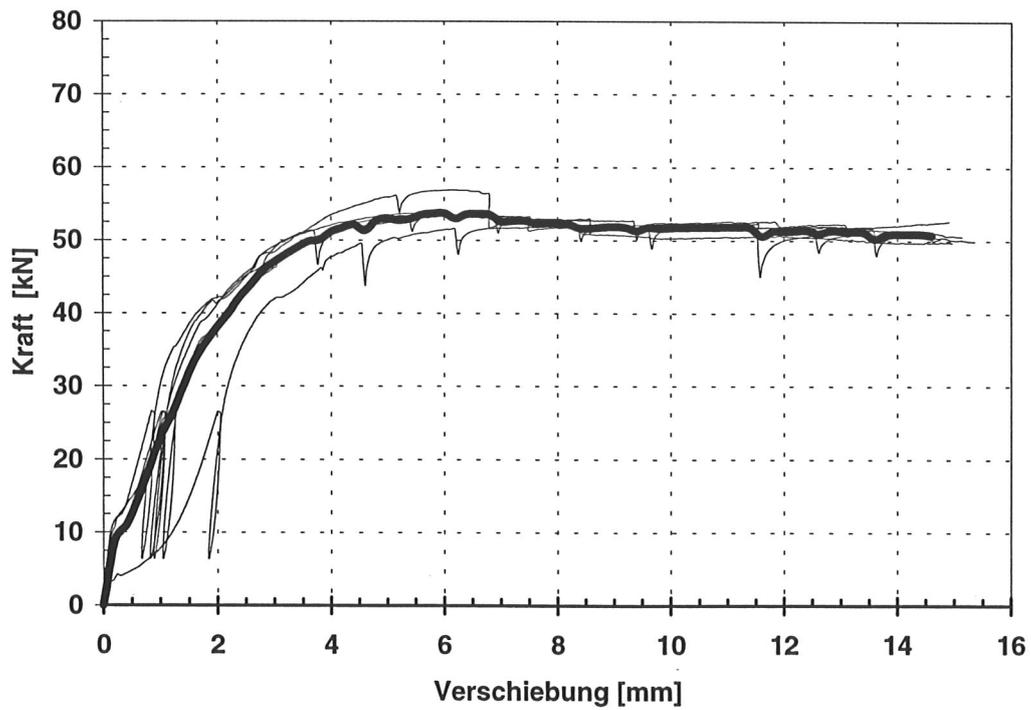


Bild A3-99 Last- Verschiebungskurven der A65M6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

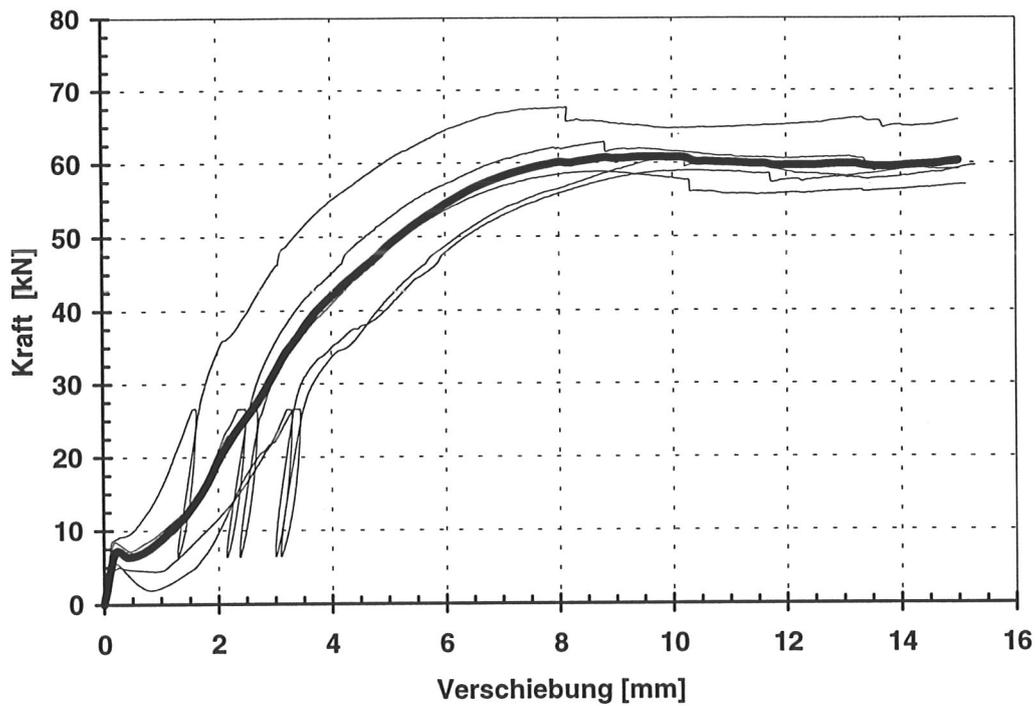


Bild A3-100 Last- Verschiebungskurven der A65M7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

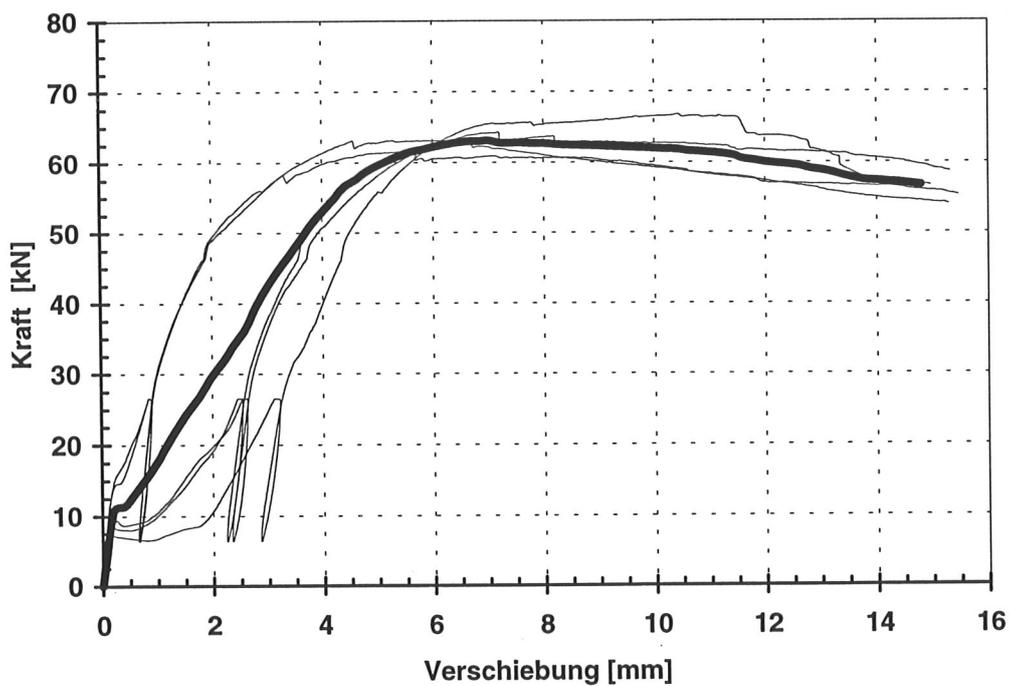


Bild A3-101 Last- Verschiebungskurven der A65M8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

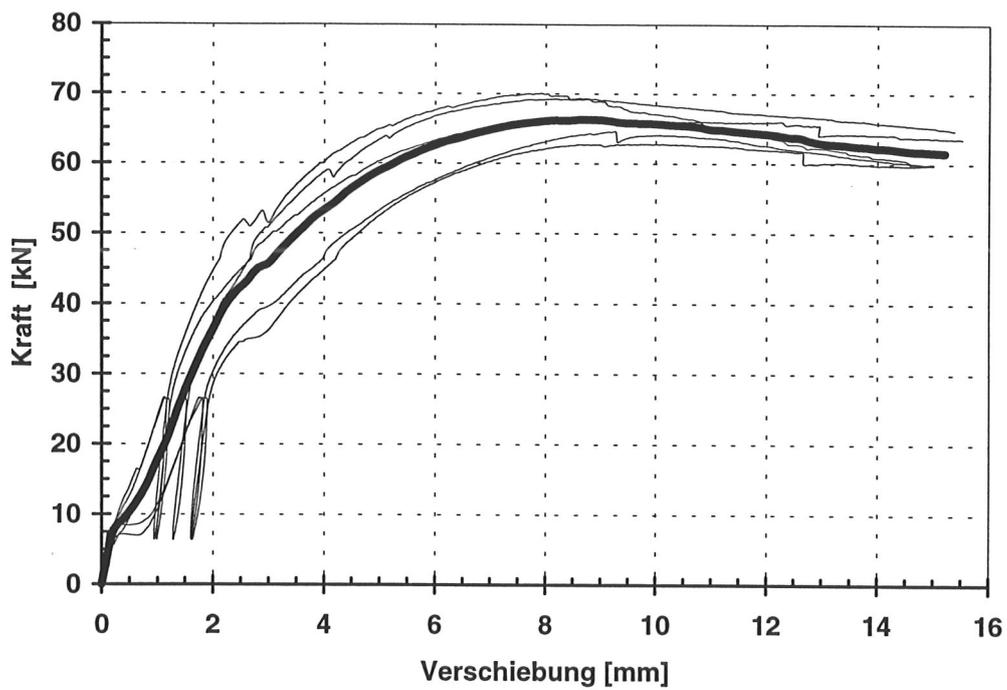


Bild A3-102 Last- Verschiebungskurven der A65M9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

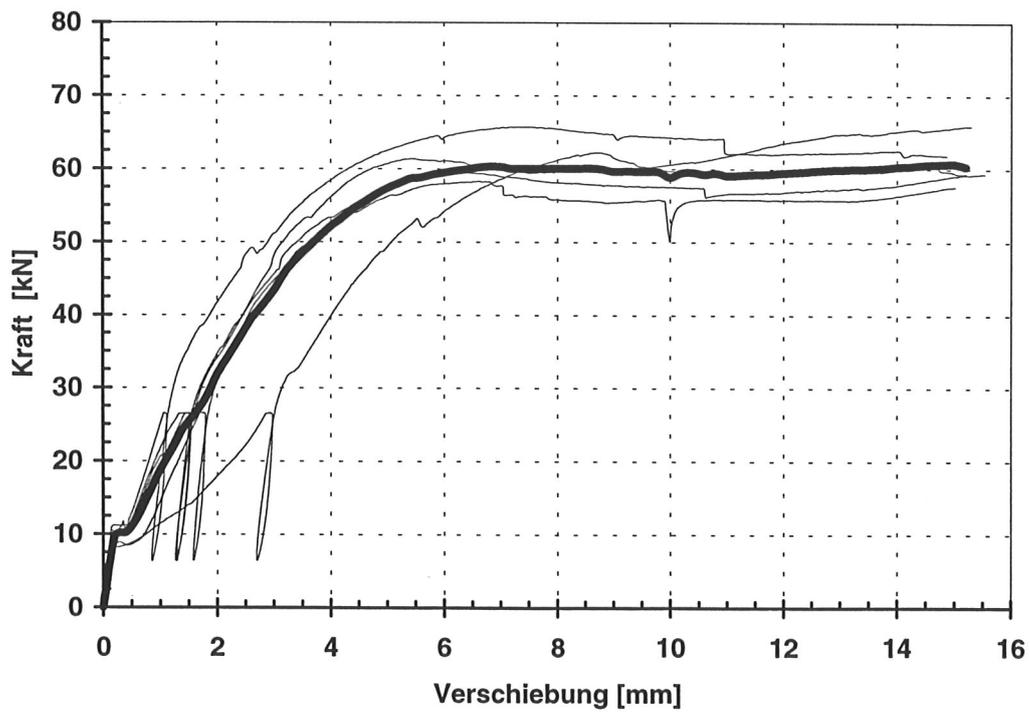


Bild A3-103 Last- Verschiebungskurven der A65M10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

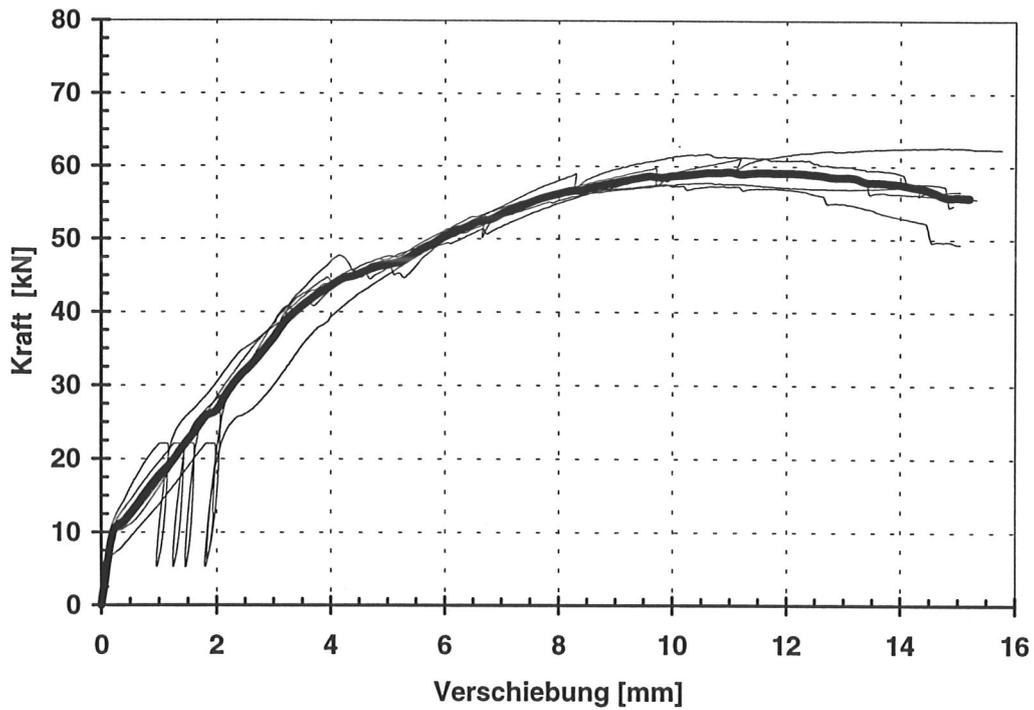


Bild A3-104 Last- Verschiebungskurven der A65M11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

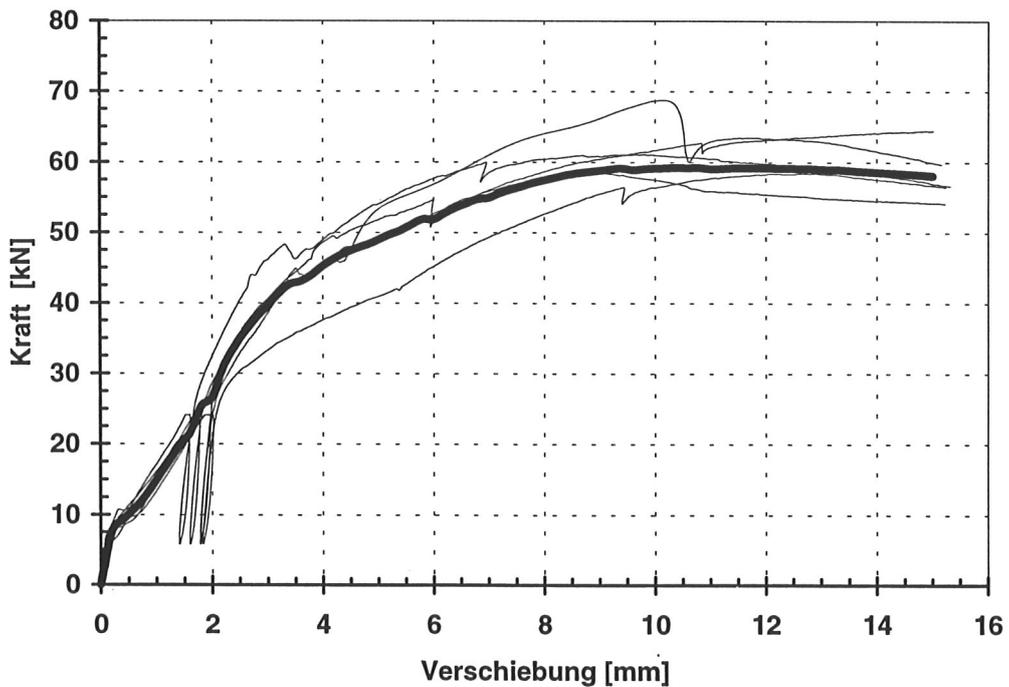


Bild A3-105 Last- Verschiebungskurven der A65M12- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

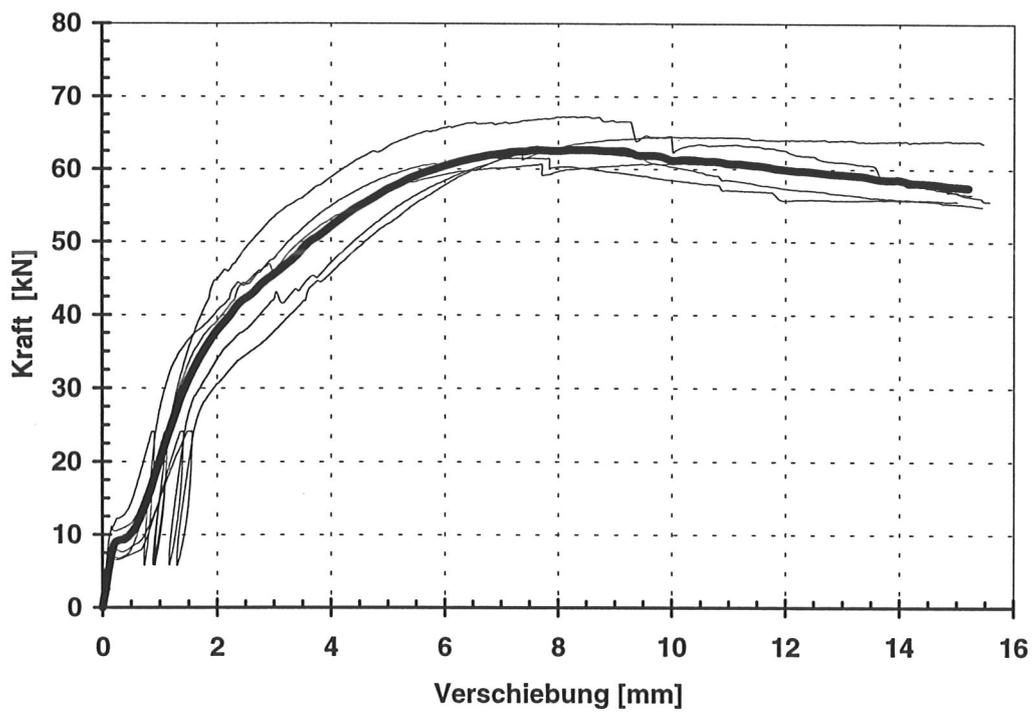


Bild A3-106 Last- Verschiebungskurven der A65M13- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

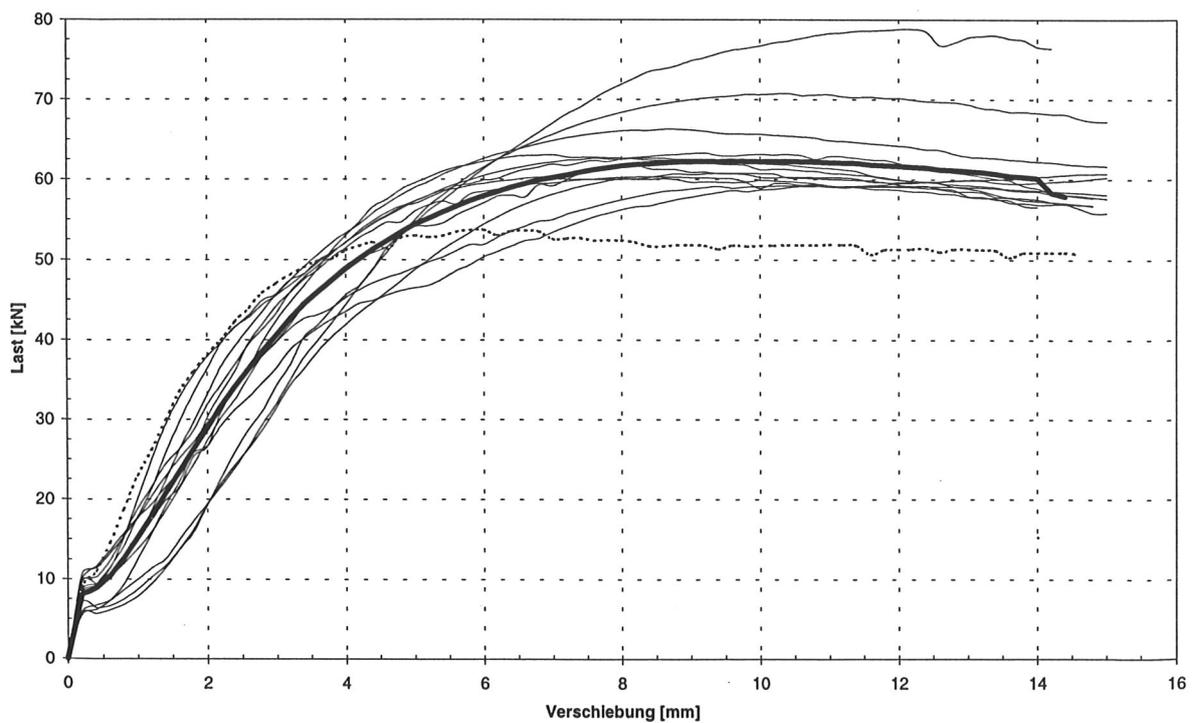


Bild A3-107 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der A65M- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-22 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe A65M

Dübeltyp A65M	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} v (0,8 zul F) [mm]	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	\bar{X} Schlupf [mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	63,3	1,4	1,7	11672	0,3	465
2	60,5	1,3	1,6	14388	0,3	450
3	80,4	2,0	2,2	12046	0,6	514
4	71,6	2,0	2,3	13075	0,7	446
5	63,7	1,2	1,4	13263	0,5	460
6 ⁵	54,0	0,9	1,1	20816	0,0	430
7	62,0	2,0	2,4	10924	0,7	438
8	63,9	1,5	1,8	14751	0,5	401
9	66,6	1,1	1,3	16185	0,2	404
10	62,3	1,1	1,5	14106	0,2	419
11	59,8	1,1	1,5	12706	0,0	350
12	62,3	1,3	1,6	11204	0,2	353
13	63,3	0,9	1,1	17008	0,3	406

Tabelle A3-23 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe A65M

Dübeltyp A65M	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]	Schlupf [mm]
Mittelwert	65,0 (64,1)	1,4 (1,4)	1,7 (1,6)	13444 (14011)	0,4 (0,3)
5%- Fraktile	57,7 (53,5)	0,7 (0,6)	0,8 (0,7)	8091 (8105)	0,0 (0,0)
Standard- abweichung	6,2 (6,7)	0,6 (0,6)	0,6 (0,6)	4146 (4535)	0,4 (0,4)

⁵ Die Serie A65M6 wurde aufgrund der Herstellungsungenauigkeiten bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-24 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe A65M

A65M	F_{max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	Schlupf	min ρ
F_{max}	1,0	-0,03 (-0,21)	0,27 (0,33)	0,23 (0,31)	0,17 (0,26)	0,63 (0,54)
k_s	-0,03 (-0,21)	1,0	-0,63 (0,66)	-0,67 (-0,70)	-0,33 (-0,40)	-0,16 (-0,09)
v (0,8zul.F)	0,27 (0,33)	-0,63 (0,66)	1,0	0,99 (0,99)	0,80 (0,80)	0,56 (0,51)
v (zul.F)	0,23 (0,31)	-0,67 (-0,70)	0,99 (0,99)	1,0	0,76 (0,77)	0,46 (0,41)
Schlupf	0,17 (0,26)	-0,33 (-0,40)	0,80 (0,80)	0,76 (0,77)	1,0	0,62 (0,56)
min ρ	0,63 (0,54)	-0,16 (-0,09)	0,56 (0,51)	0,46 (0,41)	0,62 (0,56)	1,0

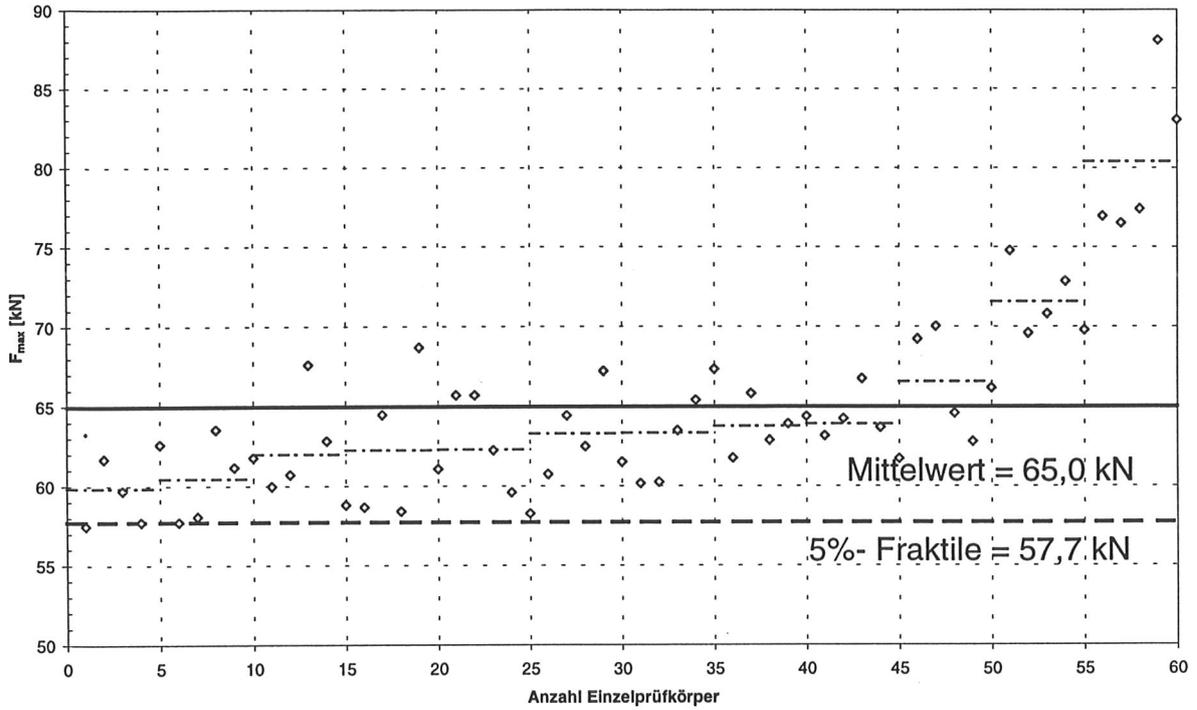


Bild A3-108 Mittelwert und 5%- Fraktile der A65M- Serie

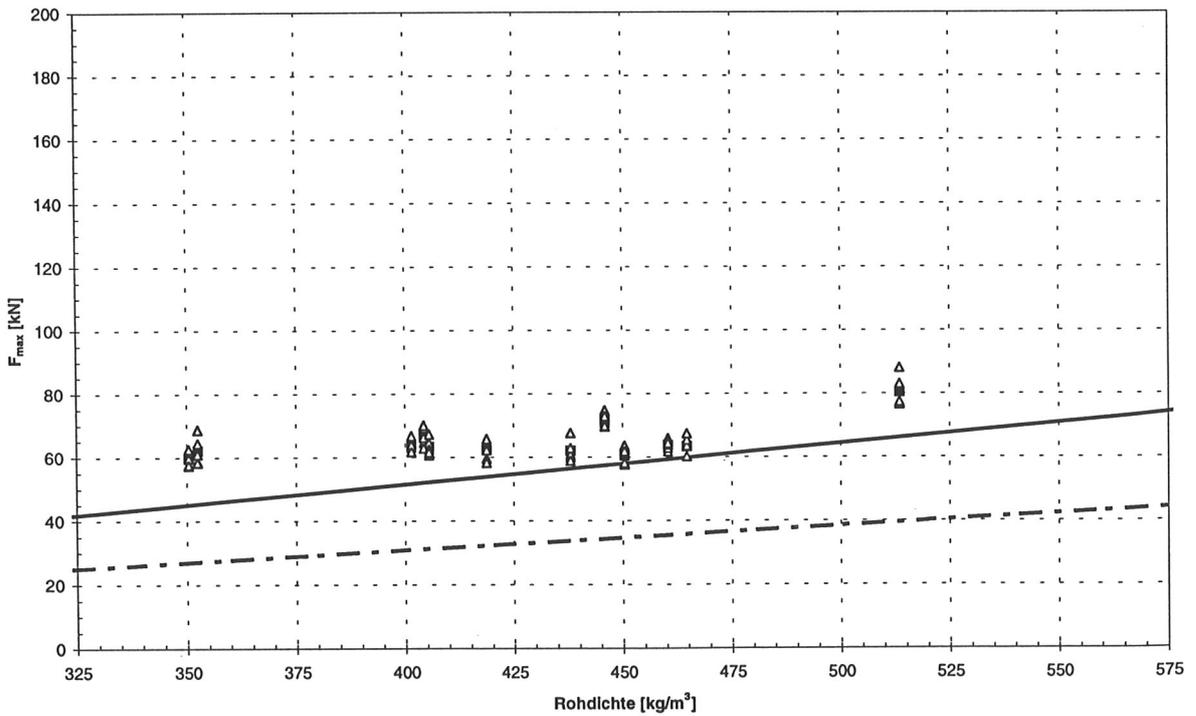


Bild A3-109 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A65M- Serie

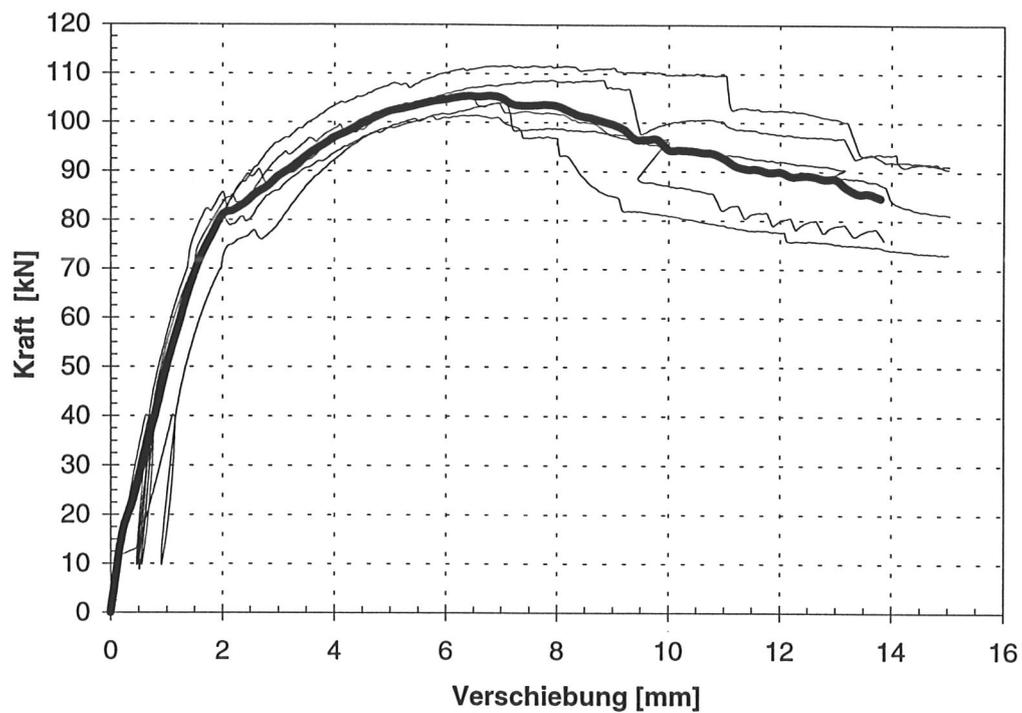


Bild A3-110 Last- Verschiebungskurven der A95M1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

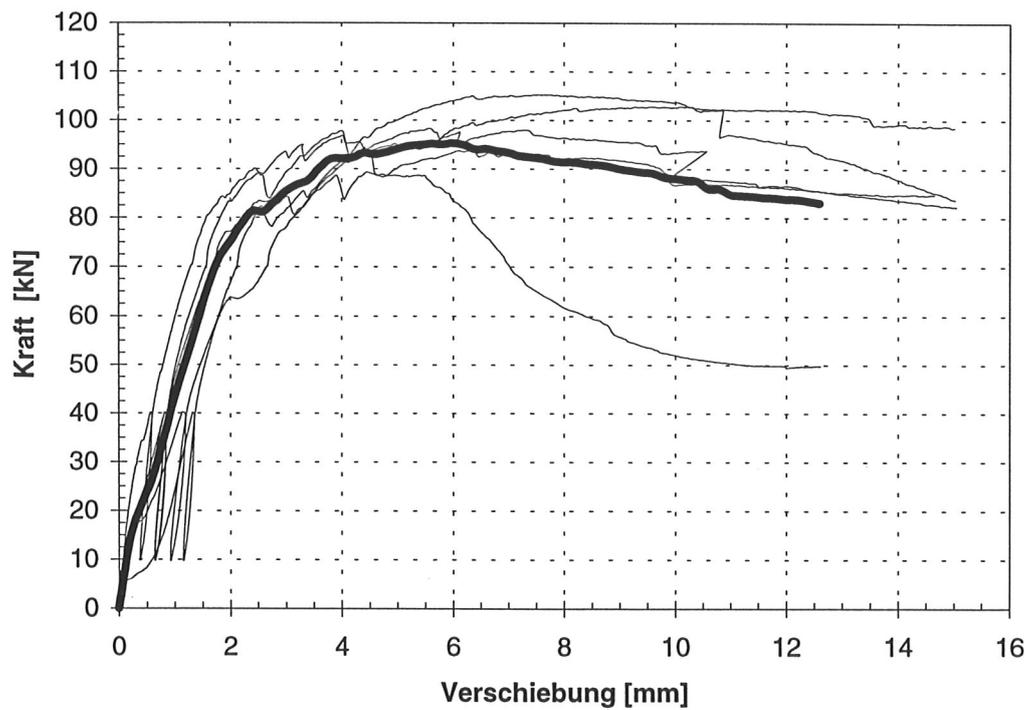


Bild A3-111 Last- Verschiebungskurven der A95M2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

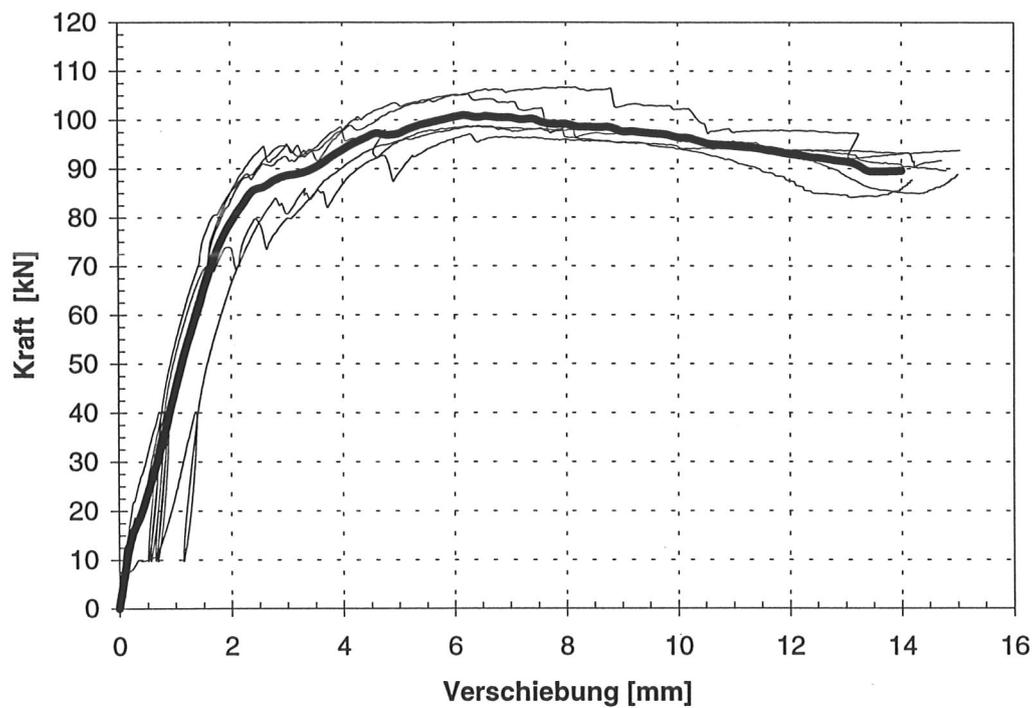


Bild A3-112 Last- Verschiebungskurven der A95M3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

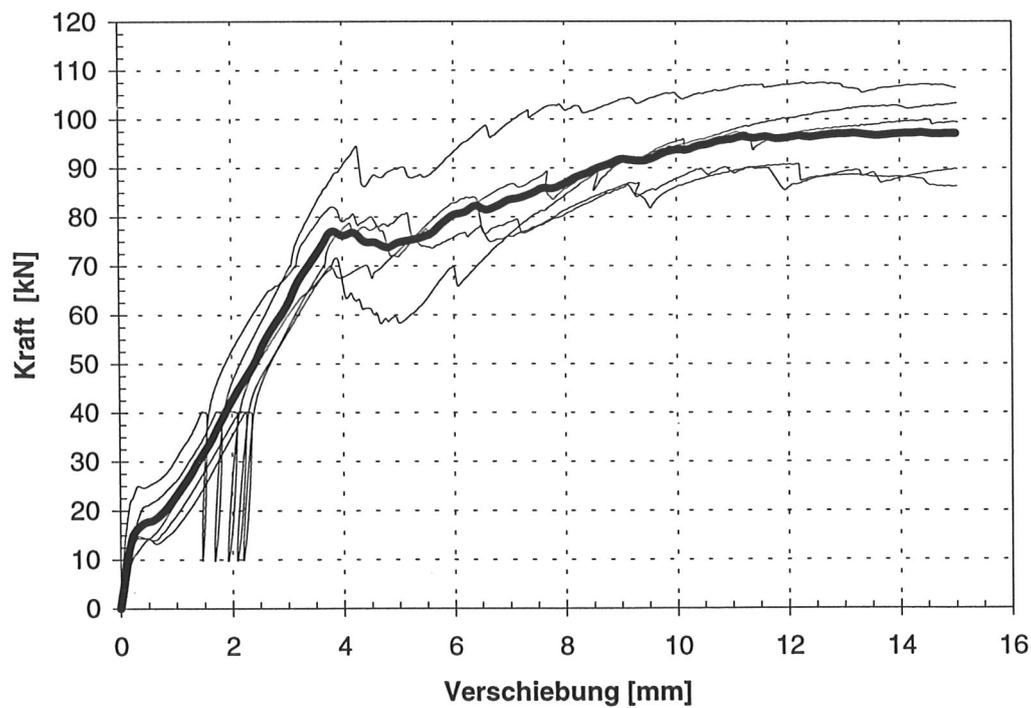


Bild A3-113 Last- Verschiebungskurven der A95M4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

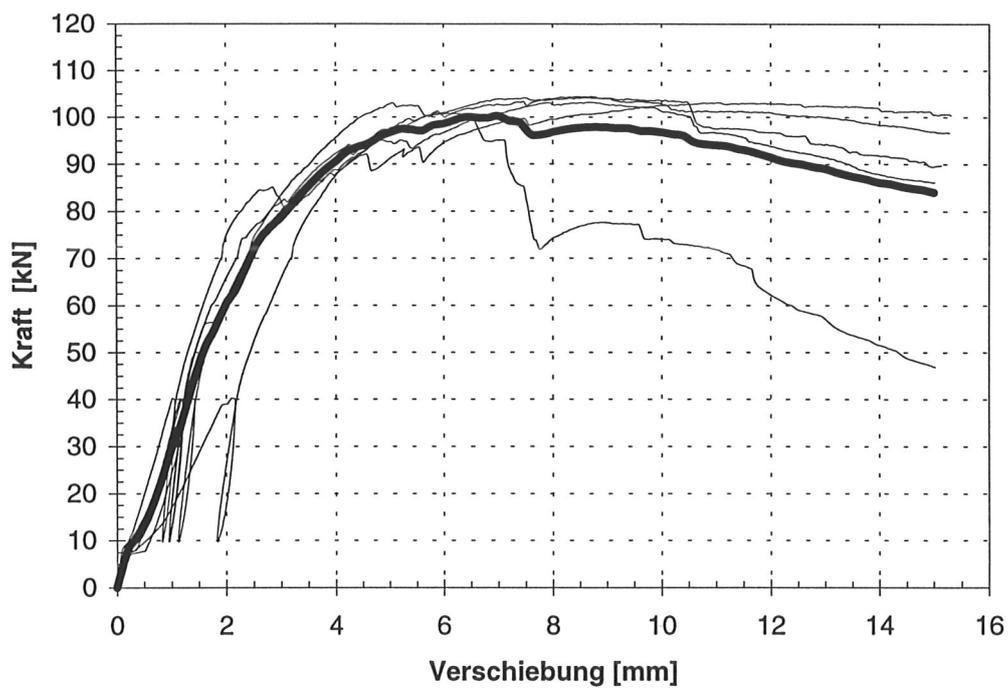


Bild A3-114 Last- Verschiebungskurven der A95M5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

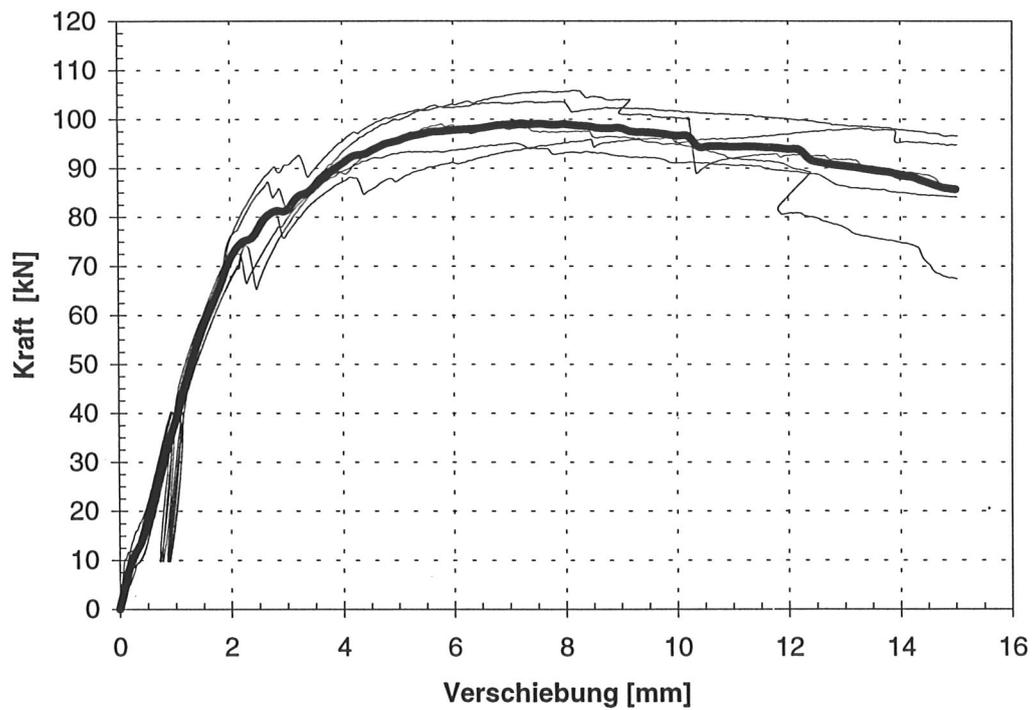


Bild A3-115 Last- Verschiebungskurven der A95M6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

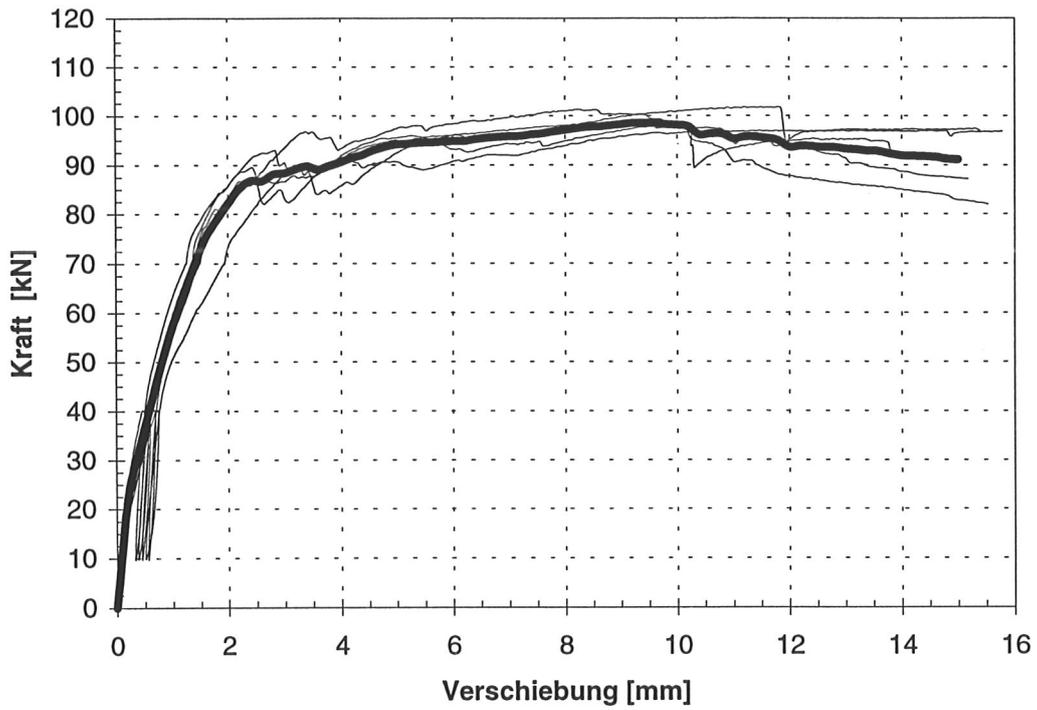


Bild A3-116 Last- Verschiebungskurven der A95M7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

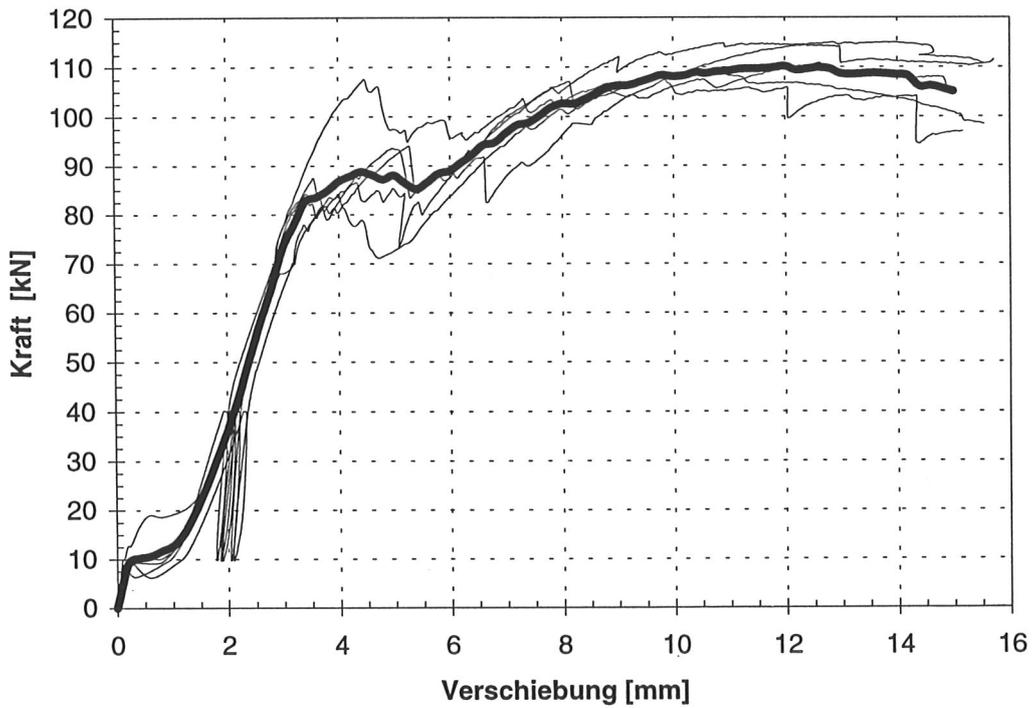


Bild A3-117 Last- Verschiebungskurven der A95M8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

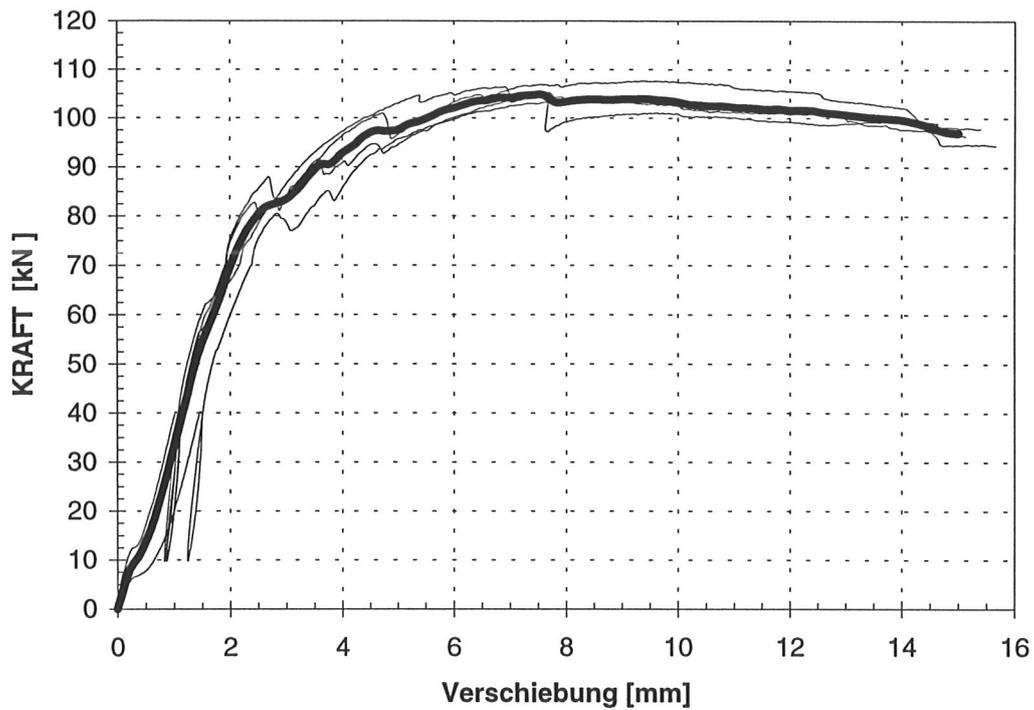


Bild A3-118 Last- Verschiebungskurven der A95M9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

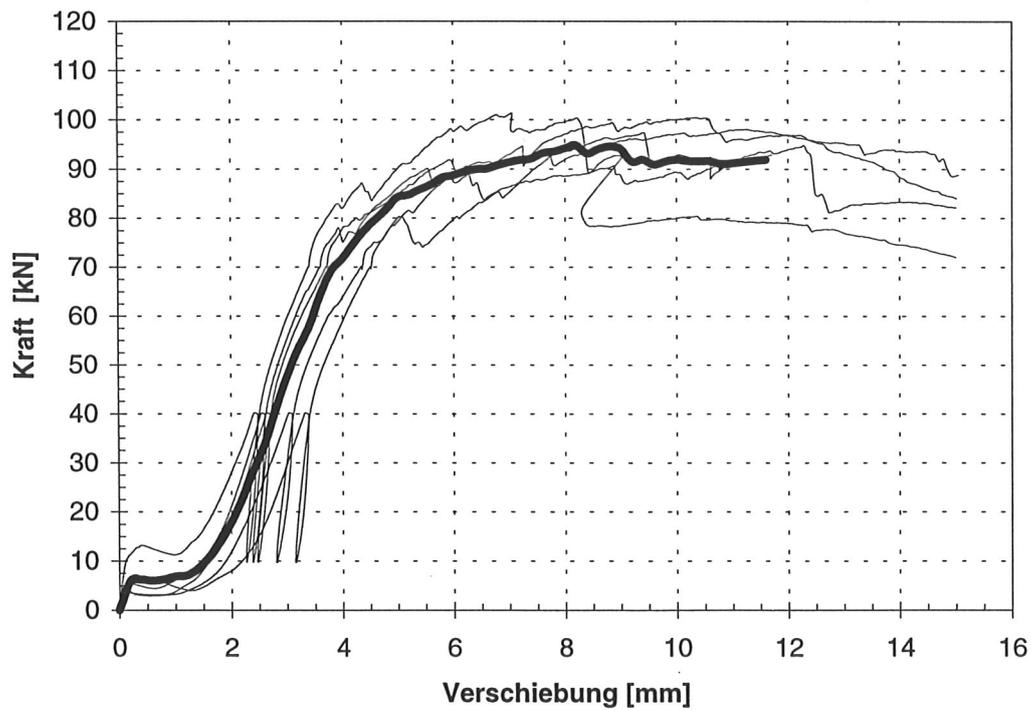


Bild A3-119 Last- Verschiebungskurven der A95M10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

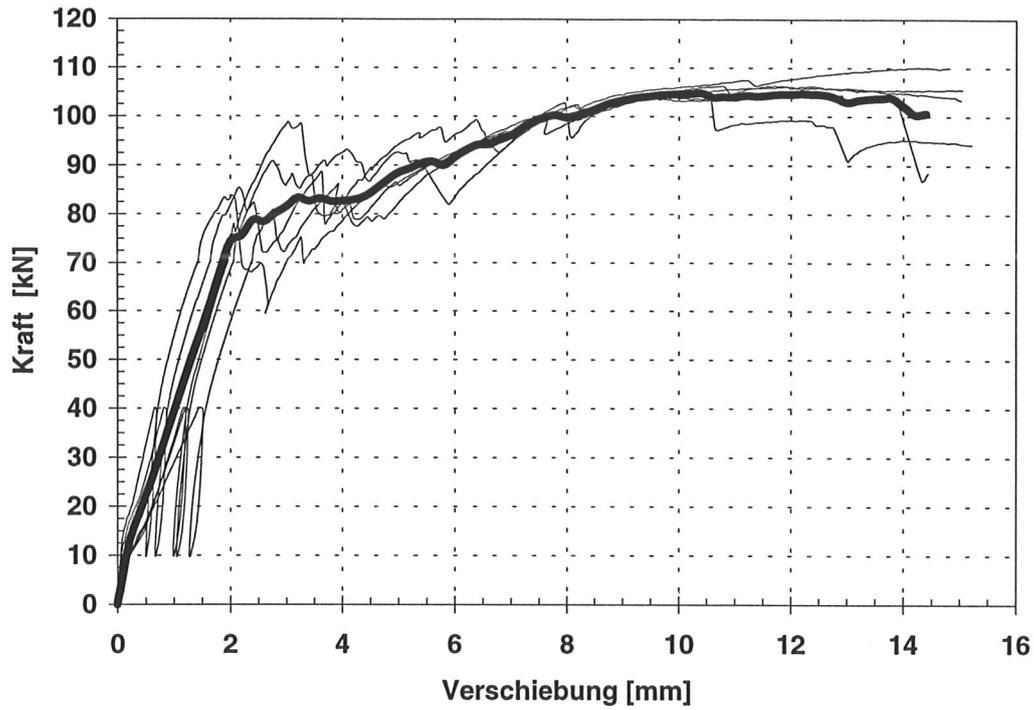


Bild A3-120 Last- Verschiebungskurven der A95M11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

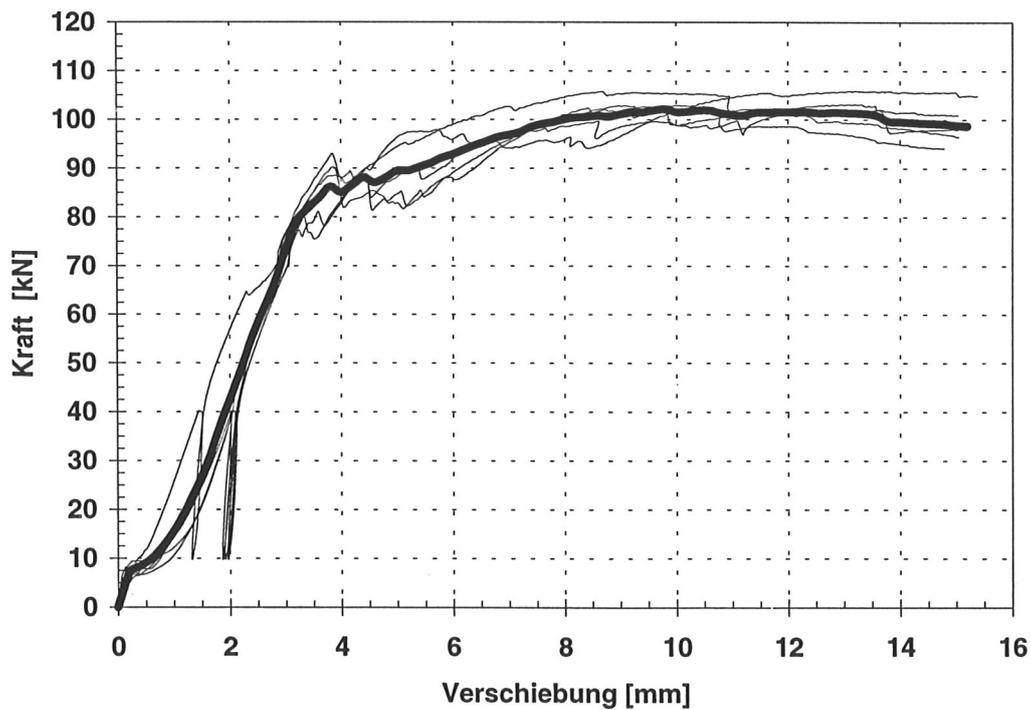


Bild A3-121 Last- Verschiebungskurven der A95M12- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

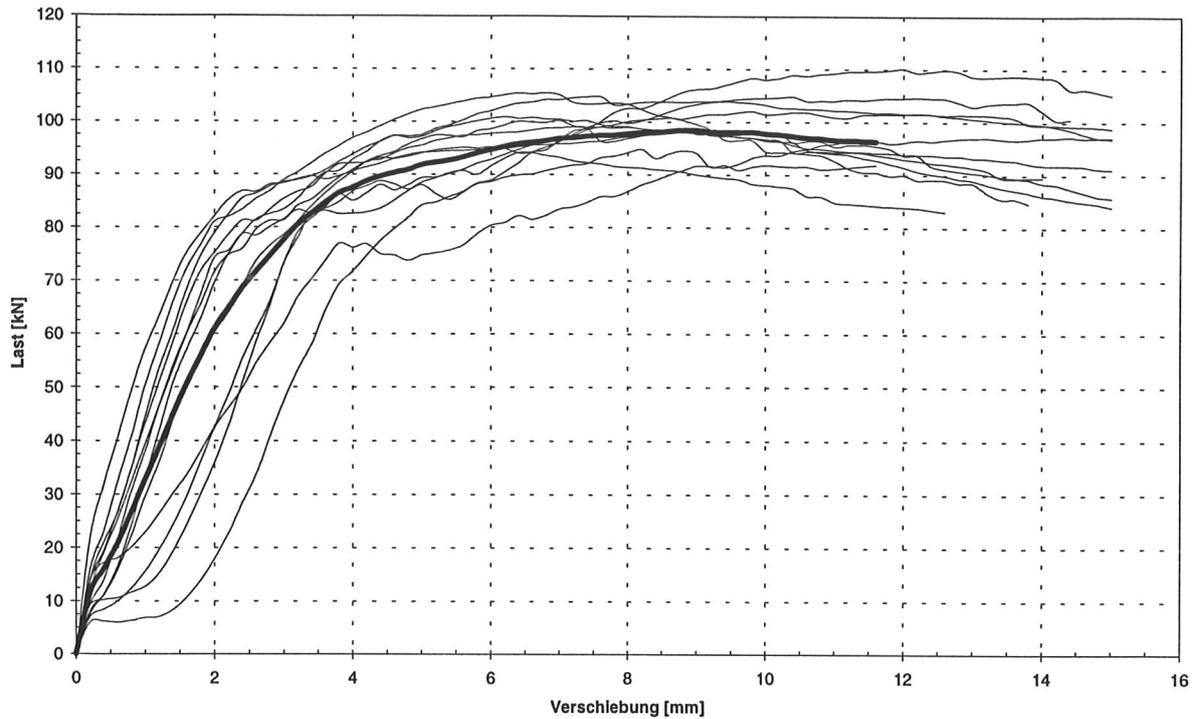


Bild A3-122 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der A95M- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-25 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe A95M

Dübeltyp A95M	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} v (0,8 zul F) [mm]	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	\bar{X} Schlupf [mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	106,2	0,5	0,6	46158	0,1	438
2	99,3	0,6	0,8	43392	0,0	385
3	101,3	0,6	0,8	42029	0,0	383
4	98,3	1,2	1,6	17174	0,2	422
5	103,6	1,0	1,2	33687	0,1	449
6	100,3	0,7	0,9	39537	0,2	411
7	99,3	0,3	0,5	57089	0,0	340
8	111,5	1,7	1,9	22584	0,6	449
9	104,7	0,9	1,0	39426	0,0	421
10	98,2	2,4	2,6	24675	0,9	402
11	106,2	0,7	0,9	35654	0,0	431
12	103,9	1,5	1,7	24710	0,3	368

Tabelle A3-26 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe A95M

Dübeltyp A95M	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]	Schlupf [mm]
Mittelwert	102,7 (102,7)	1,0 (1,0)	1,2 (1,2)	35509 (35509)	0,2 (0,2)
5%- Fraktile	93,8 (93,8)	0,3 (0,3)	0,4 (0,4)	14858 (14858)	0,0 (0,0)
Standard- abweichung	5,2 (5,2)	0,6 (0,6)	0,7 (0,7)	12834 (12834)	0,3 (0,3)

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-27 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe A95M

A95M	F_{\max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	Schlupf	min ρ
F_{\max}	1,0	-0,09 (-0,09)	0,03 (0,03)	0,01 (0,01)	-0,01 (-0,01)	0,57 (0,57)
k_s	-0,09 (-0,09)	1,0	-0,74 (-0,74)	-0,78 (-0,78)	-0,51 (-0,51)	-0,42 (-0,42)
v (0,8zul.F)	0,03 (0,03)	-0,74 (-0,74)	1,0	1,00 (1,00)	0,88 (0,88)	0,20 (0,20)
v (zul.F)	0,01 (0,01)	-0,78 (-0,78)	1,00 (1,00)	1,0	0,87 (0,87)	0,21 (0,21)
Schlupf	-0,01 (-0,01)	-0,51 (-0,51)	0,88 (0,88)	0,87 (0,87)	1,0	0,18 (0,18)
min ρ	0,57 (0,57)	-0,42 (-0,42)	0,20 (0,20)	0,21 (0,21)	0,18 (0,18)	1,0

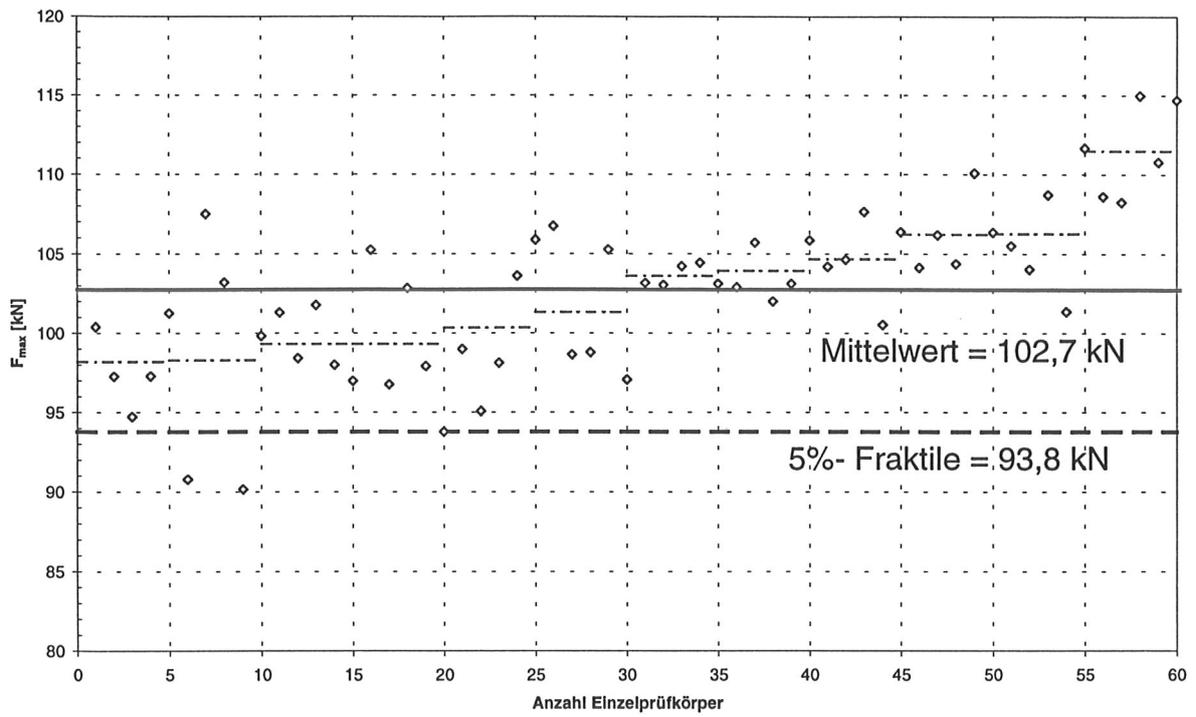


Bild A3-123 Mittelwert und 5%- Fraktile der A95M- Serie

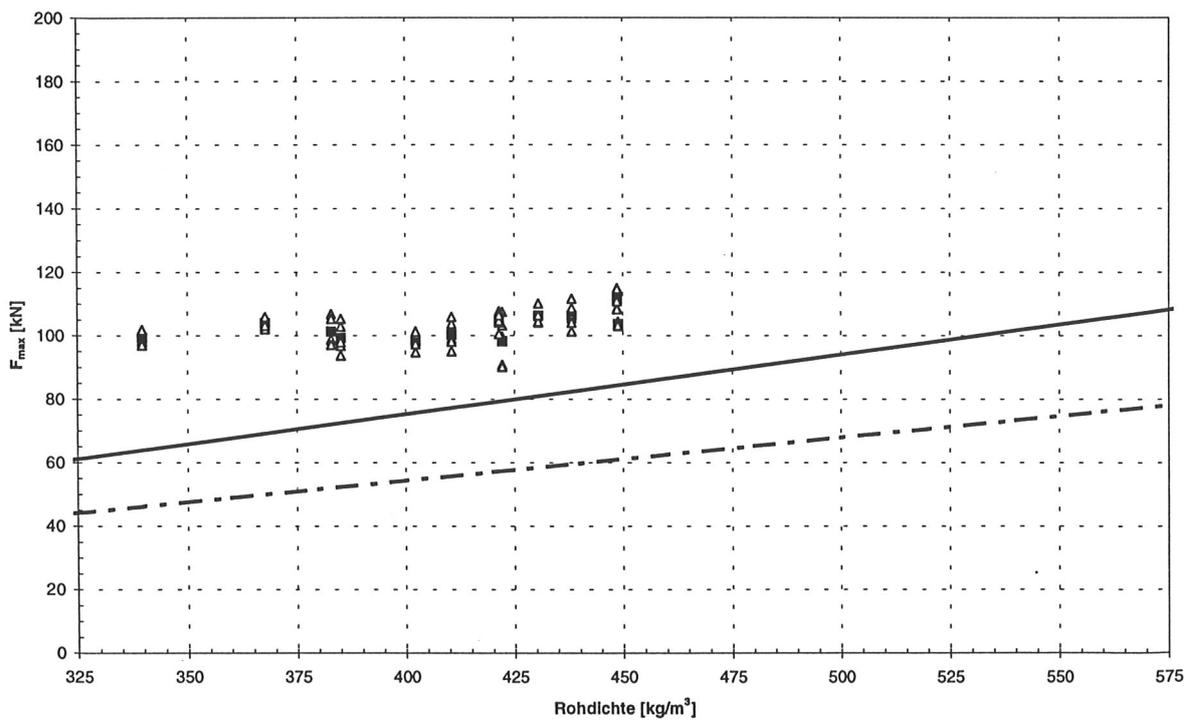


Bild A3-124 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A95M- Serie

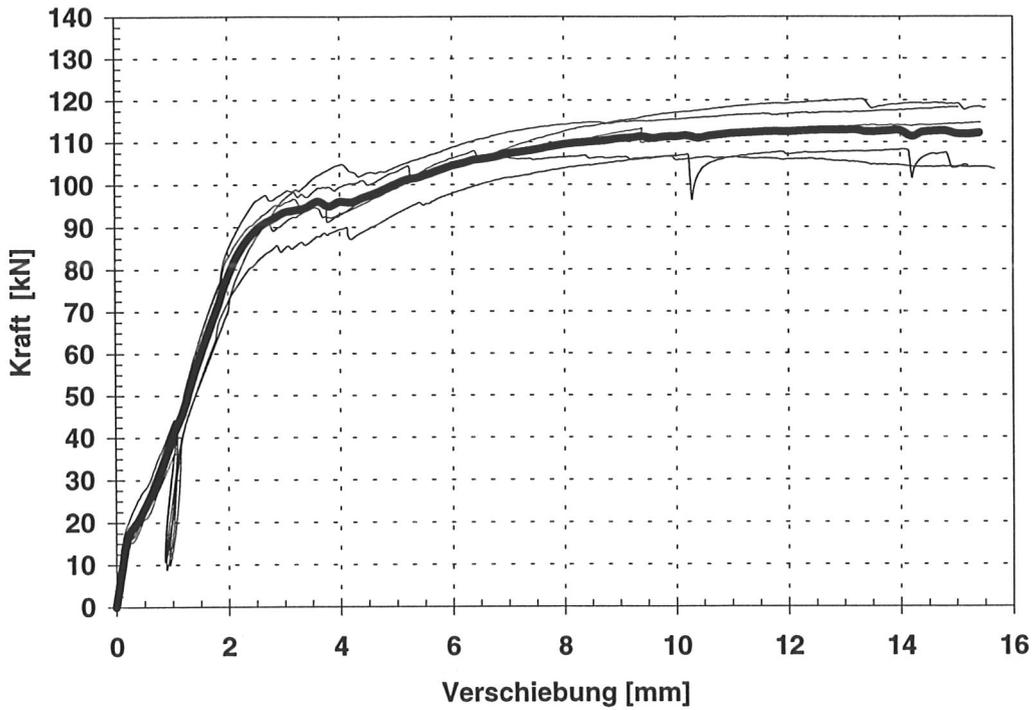


Bild A3-125 Last- Verschiebungskurven der A95N1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

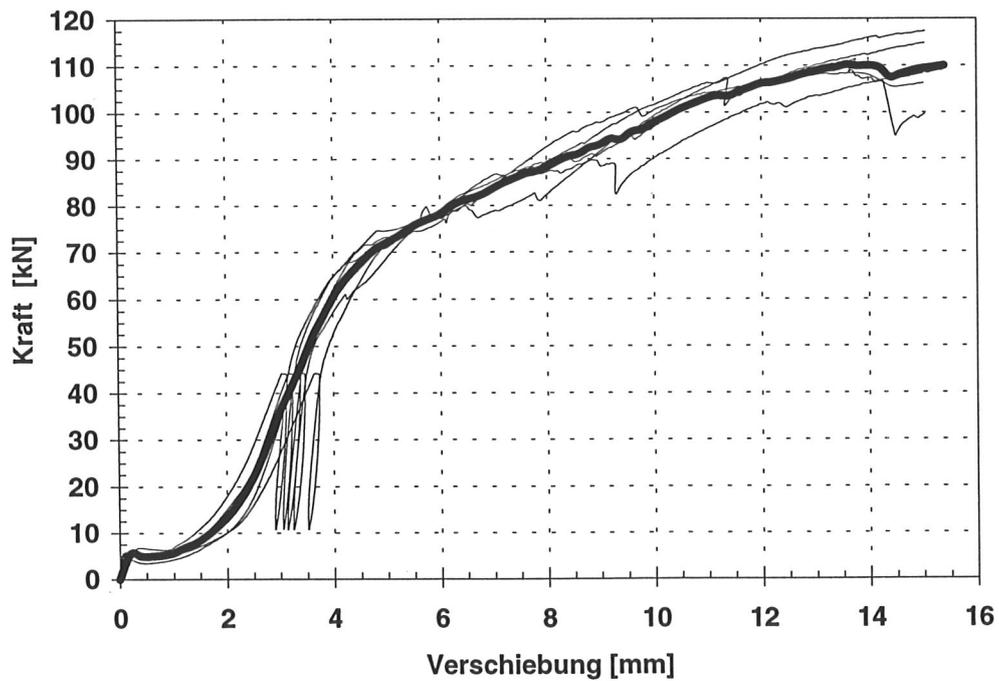


Bild A3-126 Last- Verschiebungskurven der A95N2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

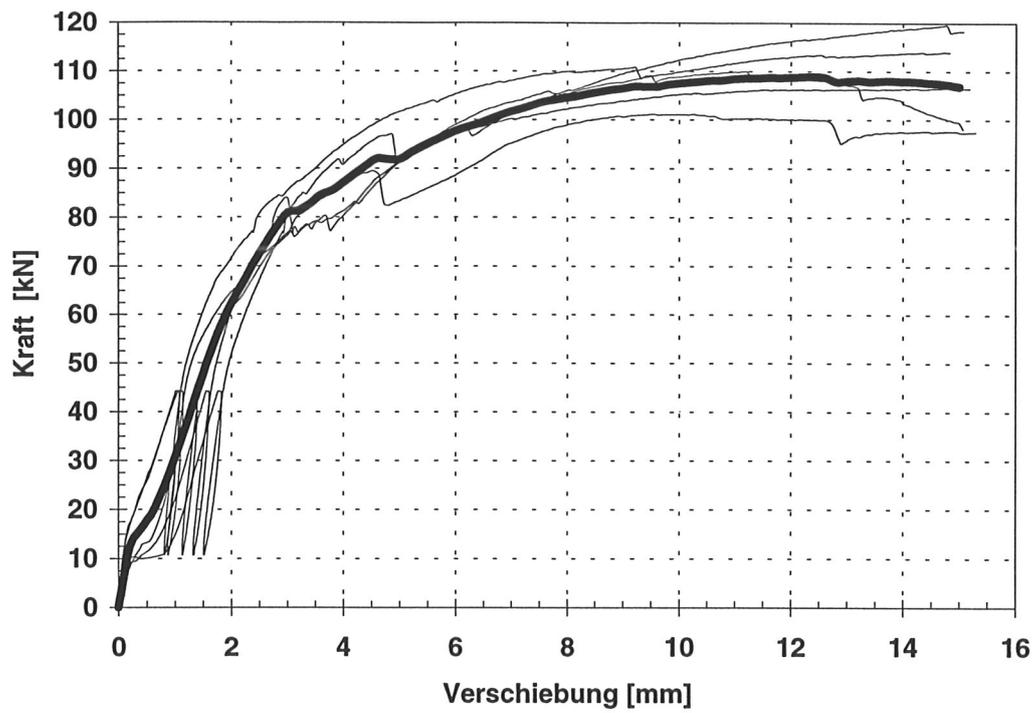


Bild A3-127 Last- Verschiebungskurven der A95N3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

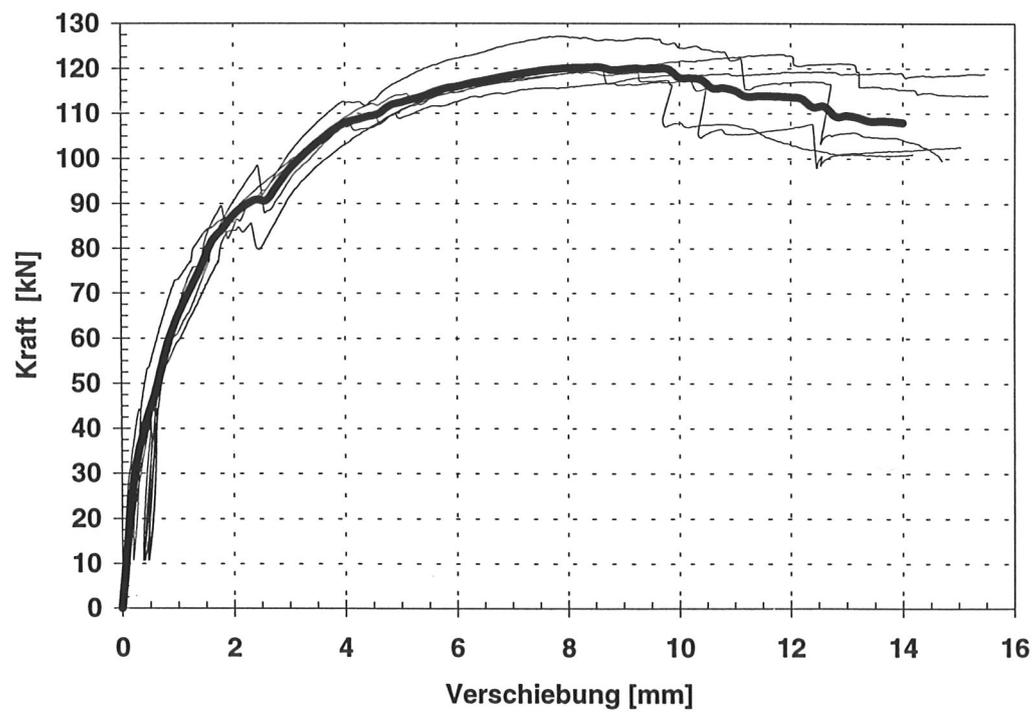


Bild A3-128 Last- Verschiebungskurven der A95N4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

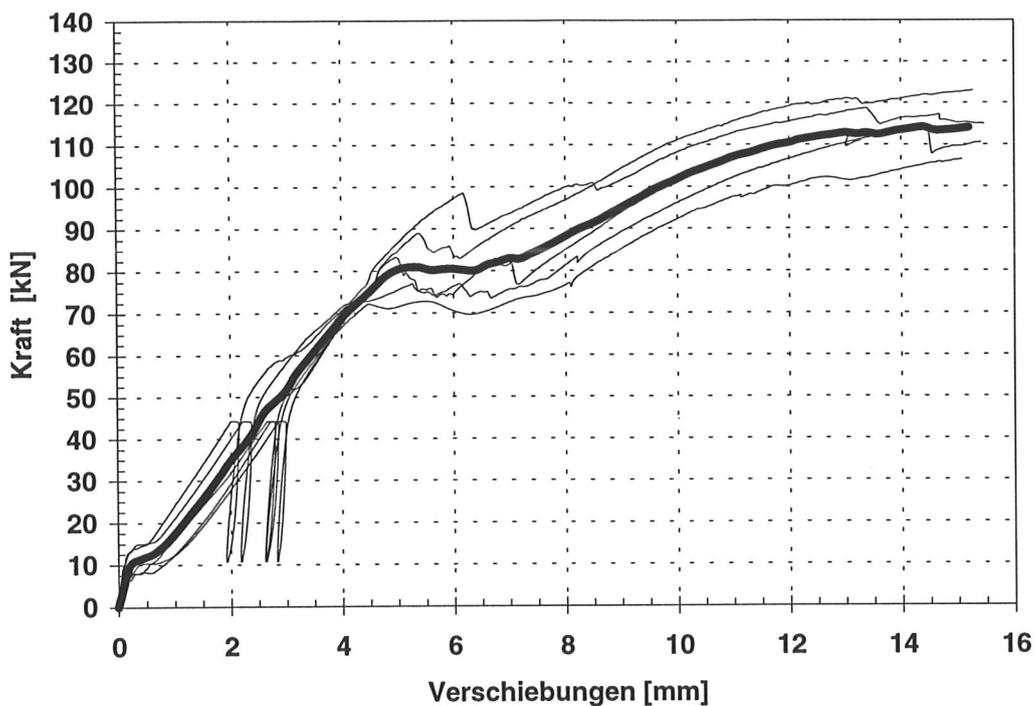


Bild A3-129 Last- Verschiebungskurven der A95N5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

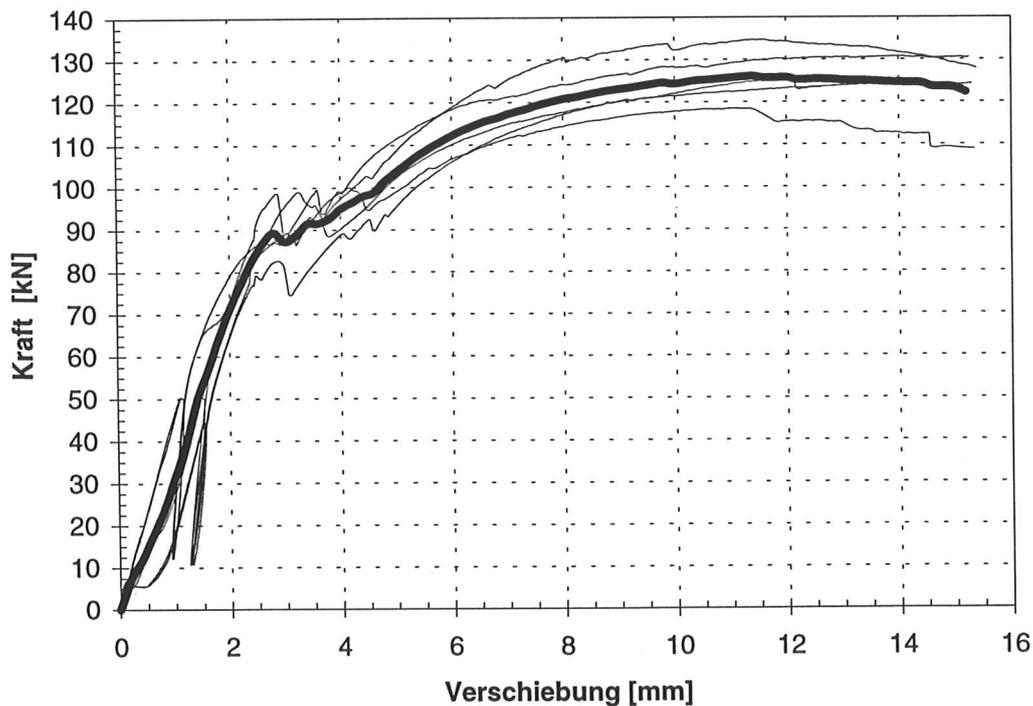


Bild A3-130 Last- Verschiebungskurven der A95N6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

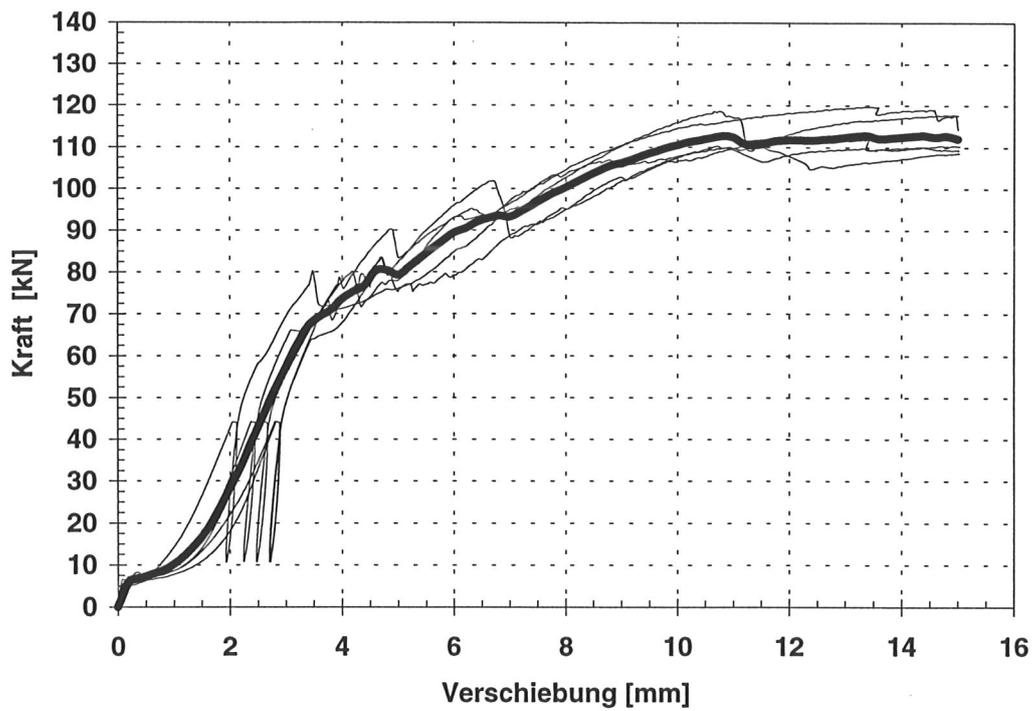


Bild A3-131 Last- Verschiebungskurven der A95N7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

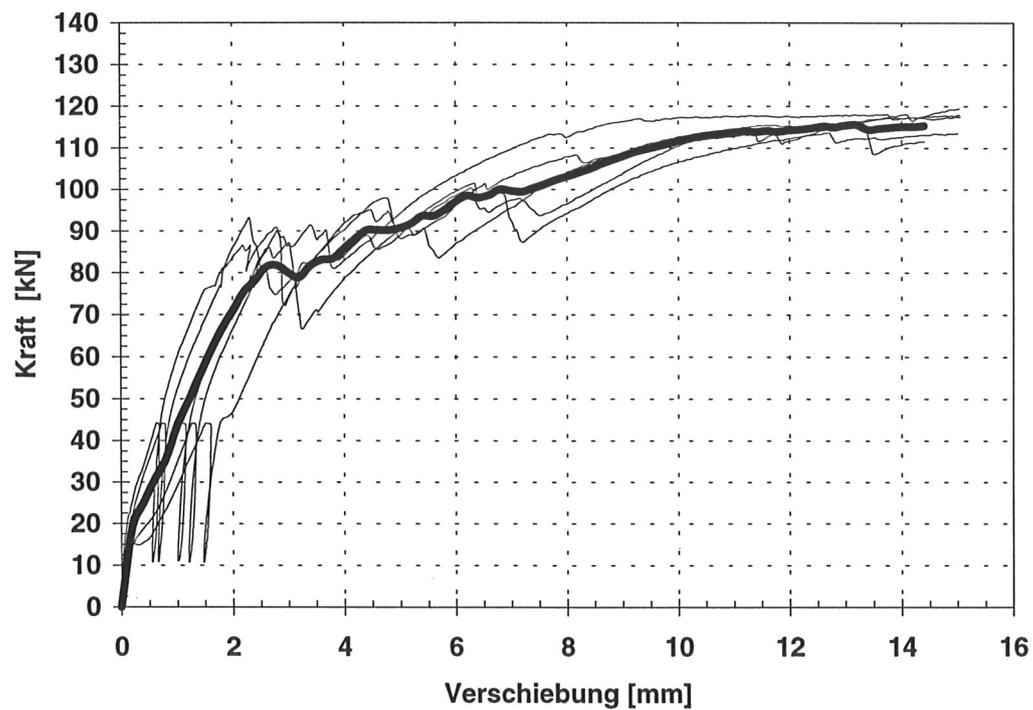


Bild A3-132 Last- Verschiebungskurven der A95N8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

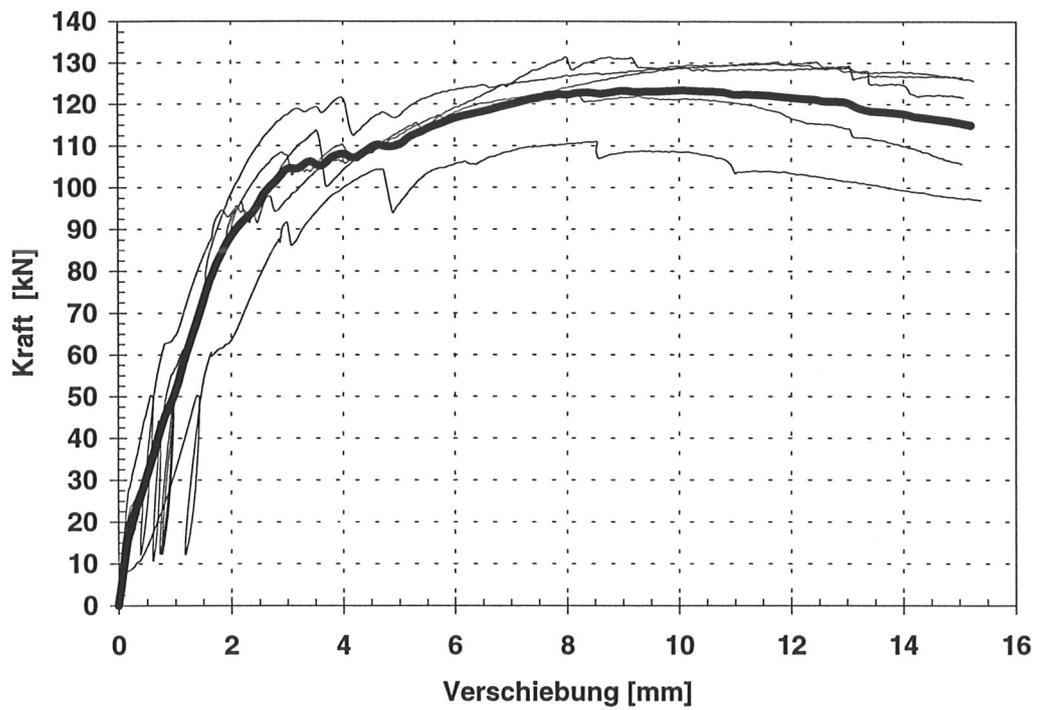


Bild A3-133 Last- Verschiebungskurven der A95N9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

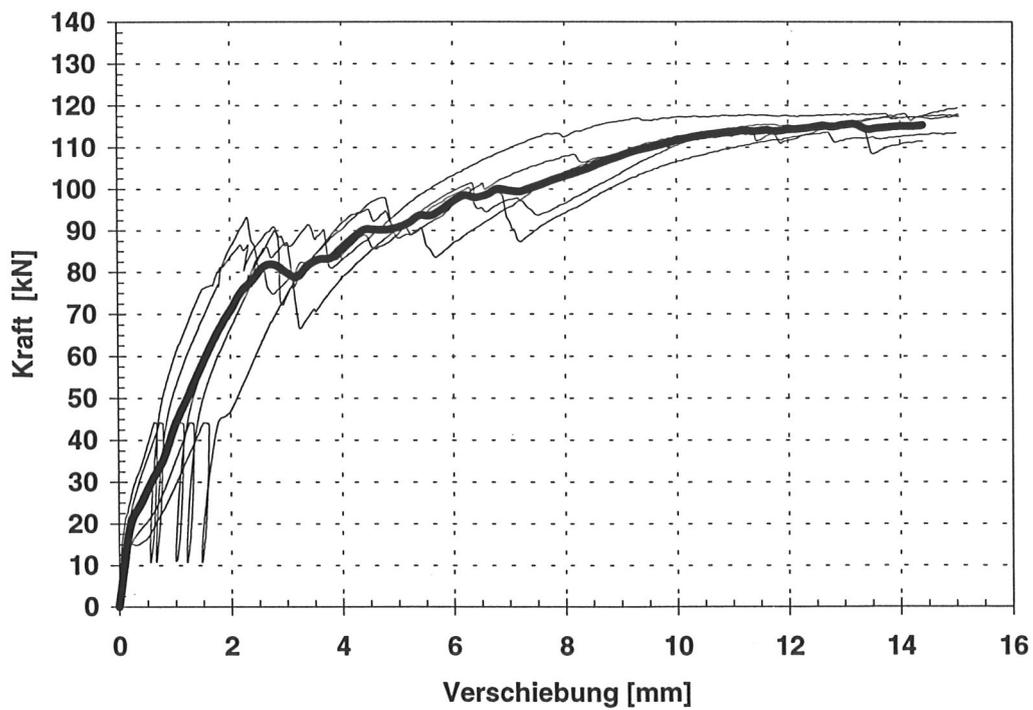


Bild A3-134 Last- Verschiebungskurven der A95N10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

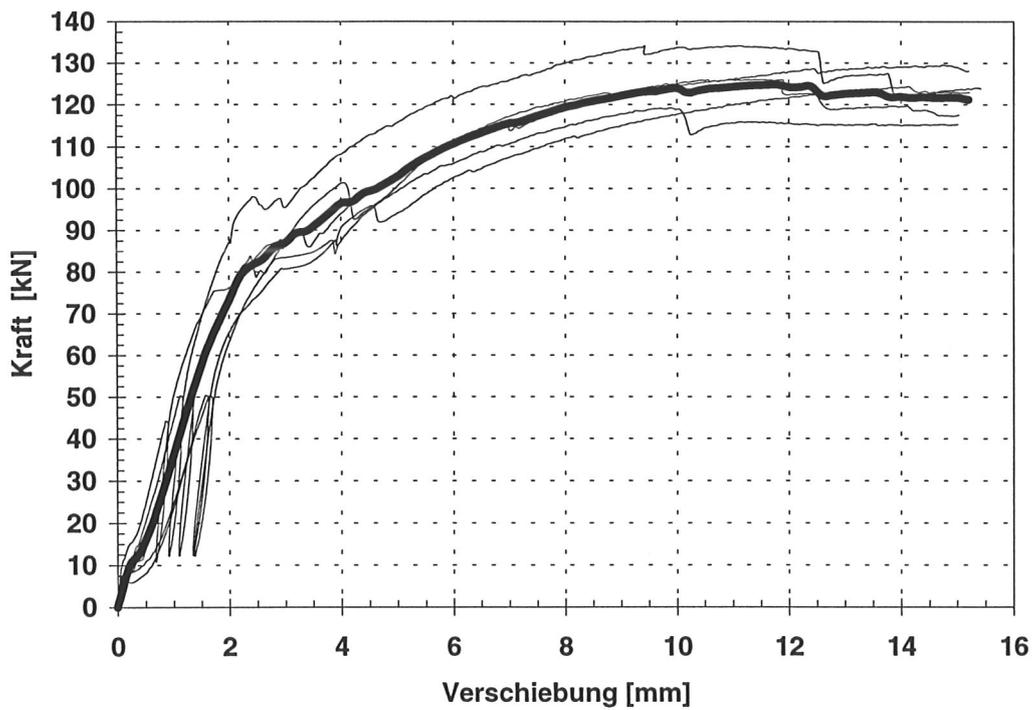


Bild A3-135 Last- Verschiebungskurven der A95N11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

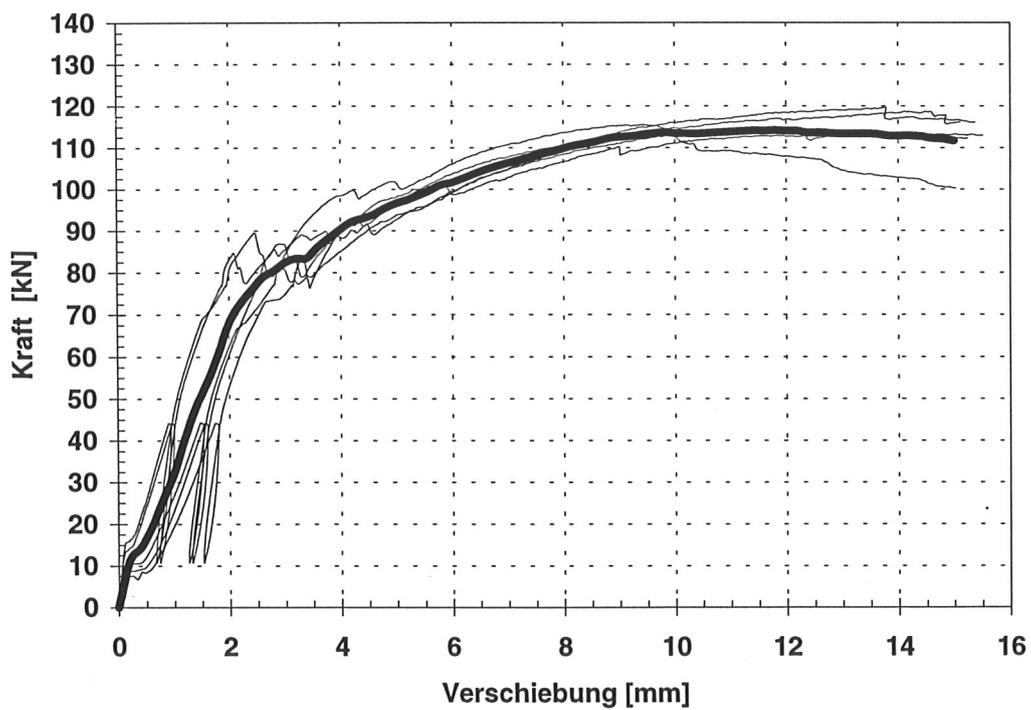


Bild A3-136 Last- Verschiebungskurven der A95N12- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

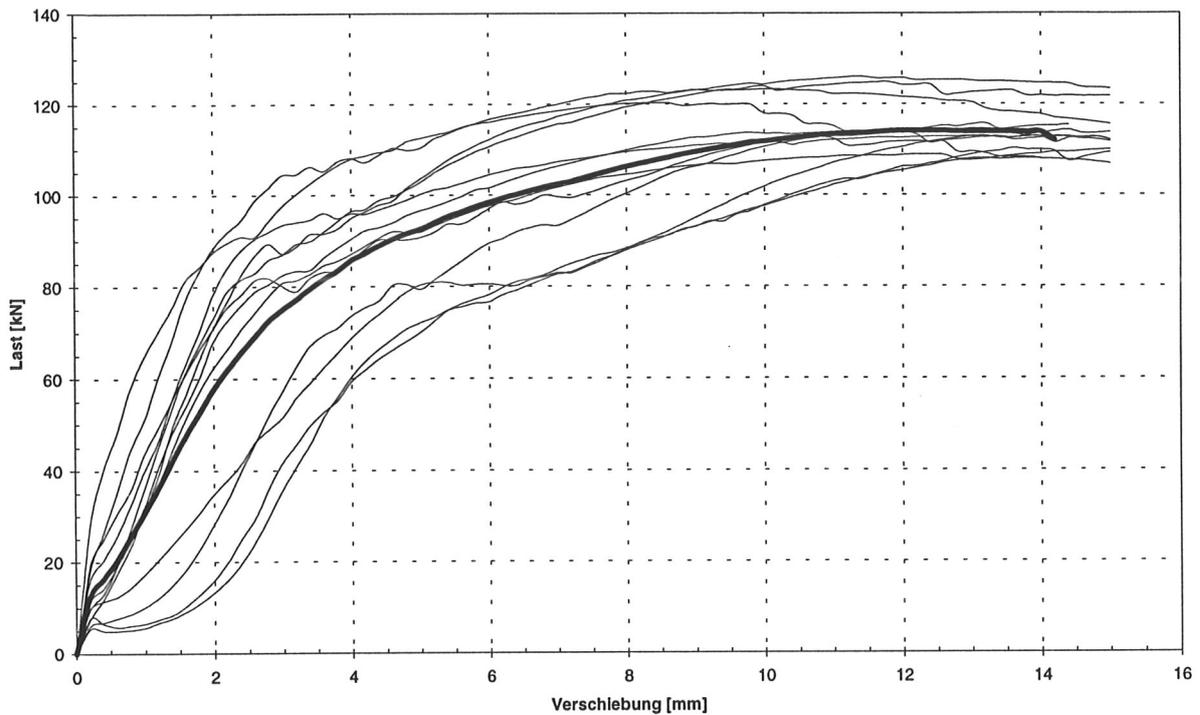


Bild A3-137 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der A95N- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-28 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe A95N

Dübeltyp A95N	\bar{X} F_{max} [kN]	\bar{X} v (0,8 zul F) [mm]	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	\bar{X} Schlupf [mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	113,6	0,7	0,9	32010	0,1	437
2	112,0	2,7	3,0	23079	0,9	393
3	110,4	0,9	1,1	33556	0,1	415
4	121,4	0,2	0,3	78271	0,0	412
5	115,2	1,6	2,0	16861	0,4	416
6	126,8	0,9	1,1	43673	0,1	504
7	114,1	2,0	2,2	24871	0,4	409
8	116,9	0,6	0,8	37384	0,0	523
9	124,7	0,5	0,6	52131	0,0	471
10	110,5	2,5	2,8	23623	1,4	419
11	126,7	0,8	1,0	43079	0,1	439
12	116,4	0,9	1,1	34828	0,1	403

Tabelle A3-29 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe A95N

Dübeltyp A95N	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]	Schlupf [mm]
Mittelwert	117,4 (117,4)	1,2 (1,2)	1,4 (1,4)	36947 (36947)	0,3 (0,3)
5%- Fraktile	106,4 (106,4)	0,2 (0,2)	0,3 (0,3)	16571 (16571)	0,0 (0,0)
Standard- abweichung	7,7 (7,7)	0,8 (0,8)	0,9 (0,9)	17955 (17955)	0,4 (0,4)

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-30 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe A95N

A95N	F_{\max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	Schlupf	min ρ
F_{\max}	1,0	0,43 (0,43)	-0,44 (-0,44)	-0,46 (-0,46)	-0,42 (-0,42)	0,52 (0,52)
k_s	0,43 (0,43)	1,0	-0,67 (-0,67)	-0,69 (-0,69)	-0,46 (-0,46)	0,23 (0,23)
v (0,8zul.F)	-0,44 (-0,44)	-0,67 (-0,67)	1,0	1,00 (1,00)	0,86 (0,86)	-0,48 (-0,48)
v (zul.F)	-0,46 (-0,46)	-0,69 (-0,69)	1,00 (1,00)	1,0	0,86 (0,86)	-0,48 (-0,48)
Schlupf	-0,42 (-0,42)	-0,46 (-0,46)	0,86 (0,86)	0,86 (0,86)	1,0	-0,38 (-0,38)
min ρ	0,52 (0,52)	0,23 (0,23)	-0,48 (-0,48)	-0,48 (-0,48)	-0,38 (-0,38)	1,0

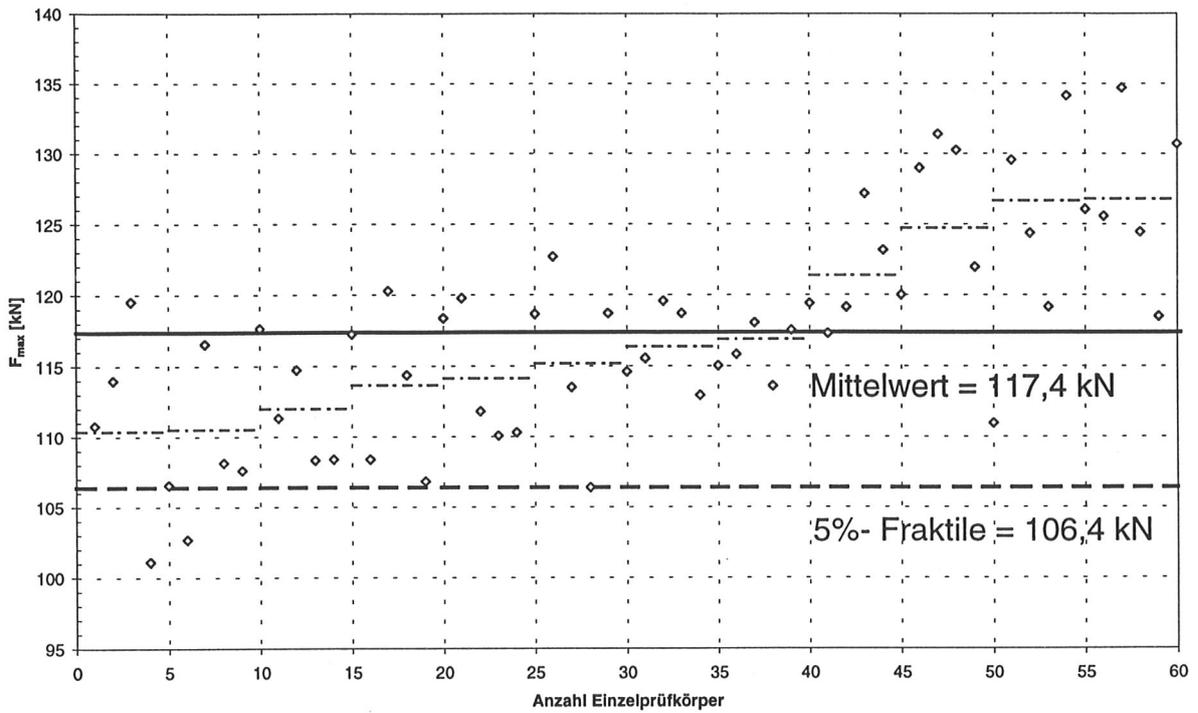


Bild A3-138 Mittelwert und 5%- Fraktile der A95N- Serie

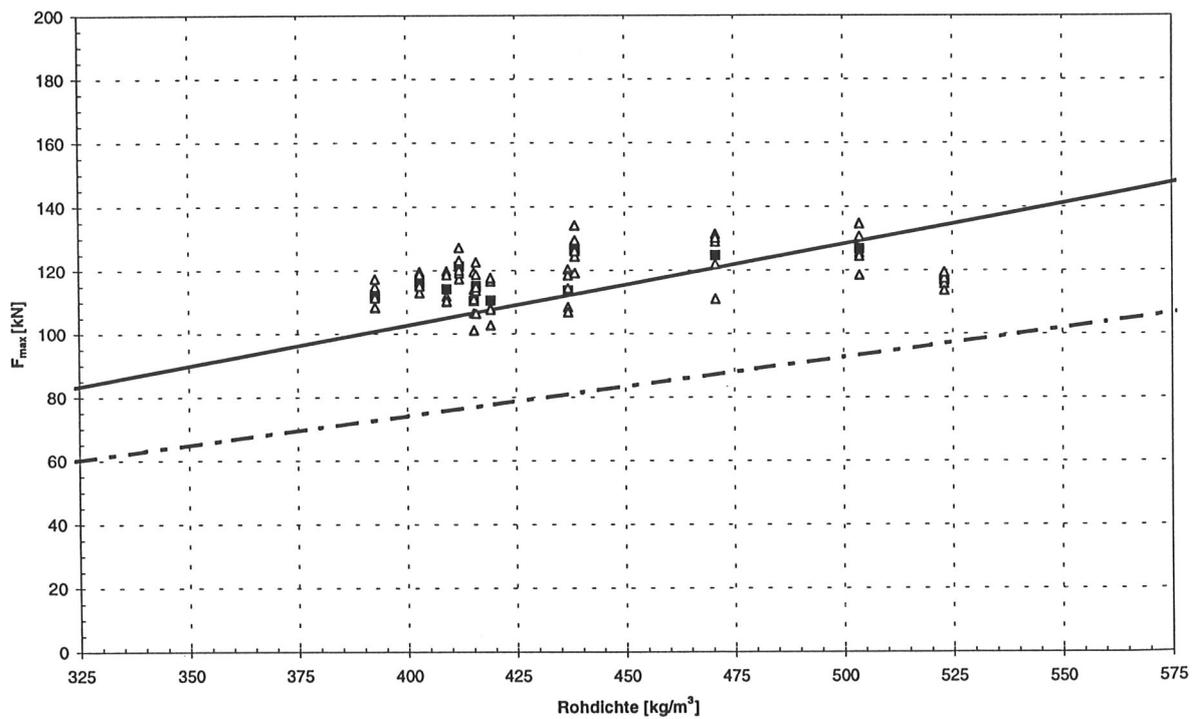


Bild A3-139 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A95N- Serie

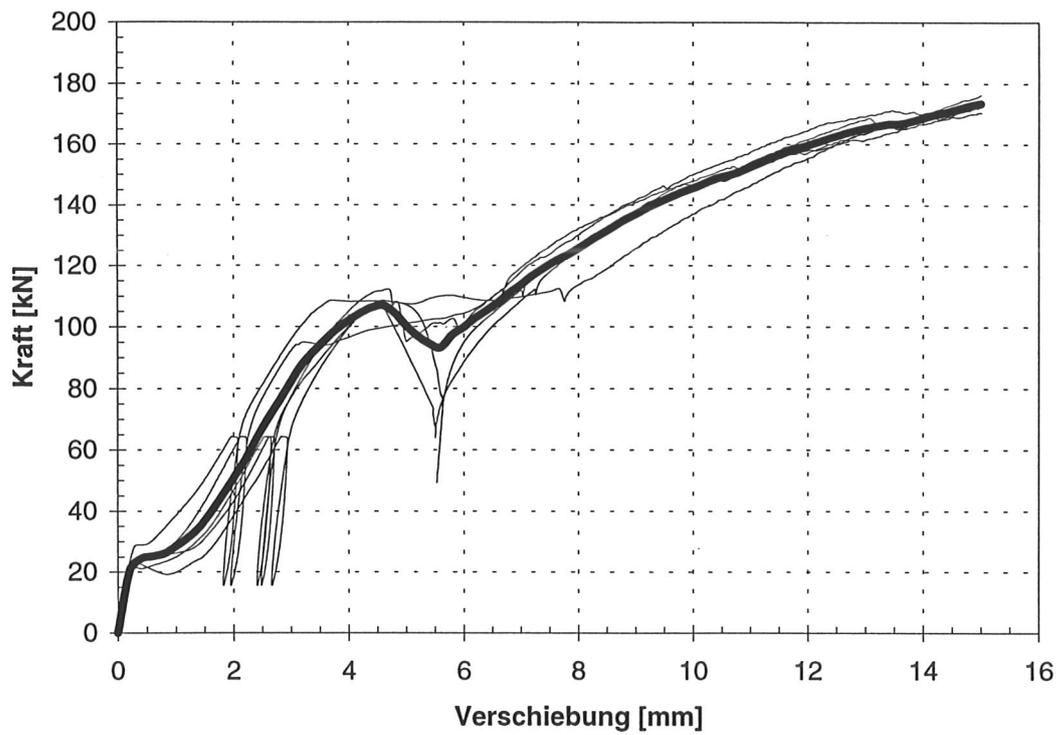


Bild A3-140 Last- Verschiebungskurven der A128N1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

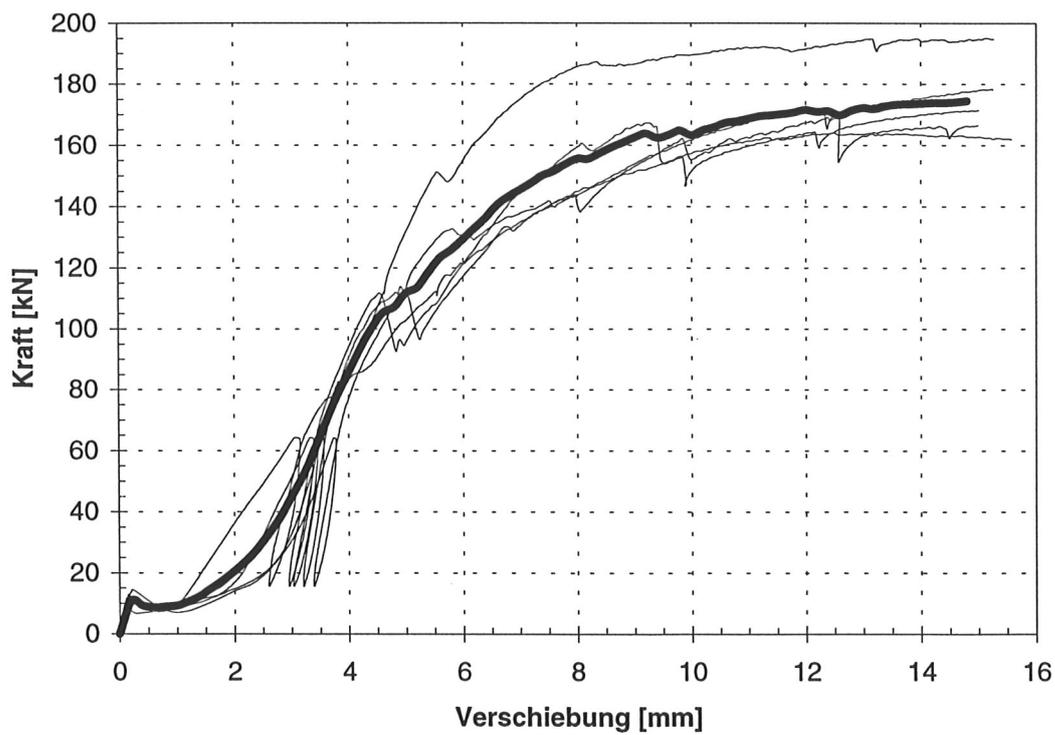


Bild A3-141 Last- Verschiebungskurven der A128N2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

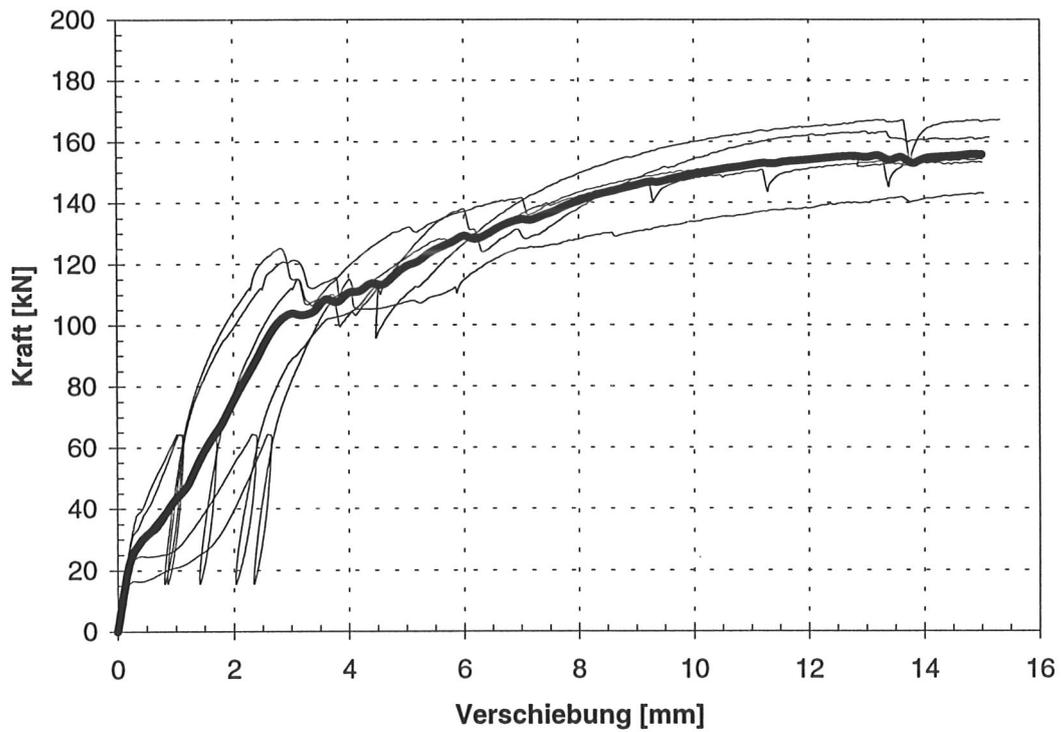


Bild A3-142 Last- Verschiebungskurven der A128N3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

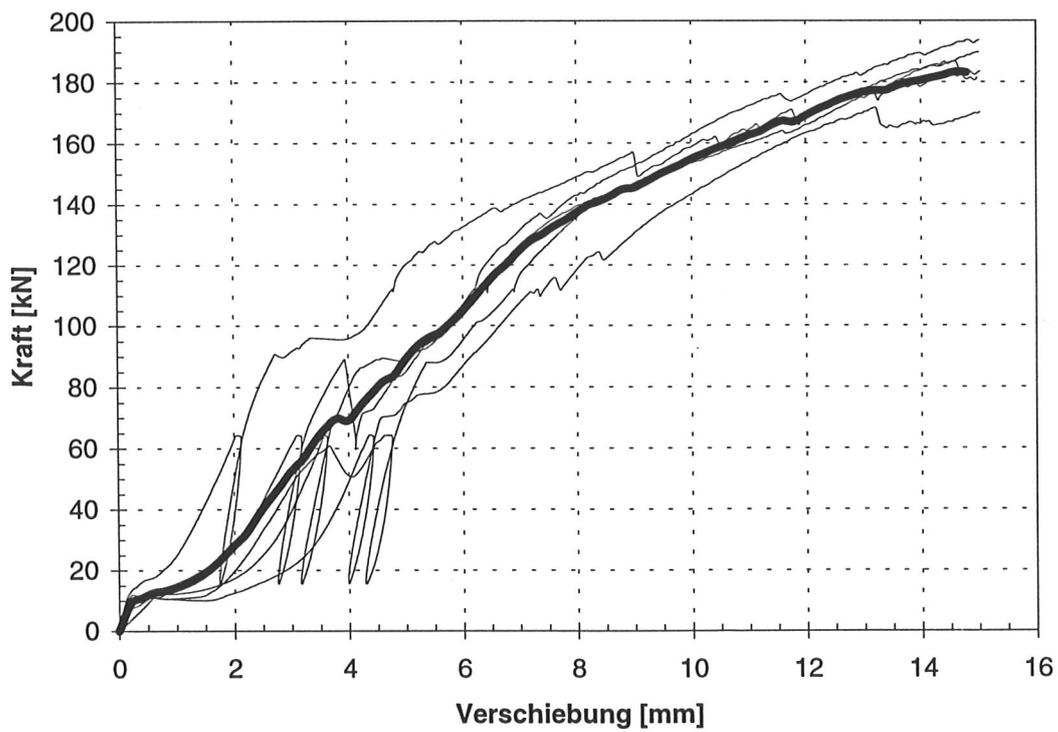


Bild A3-143 Last- Verschiebungskurven der A128N4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

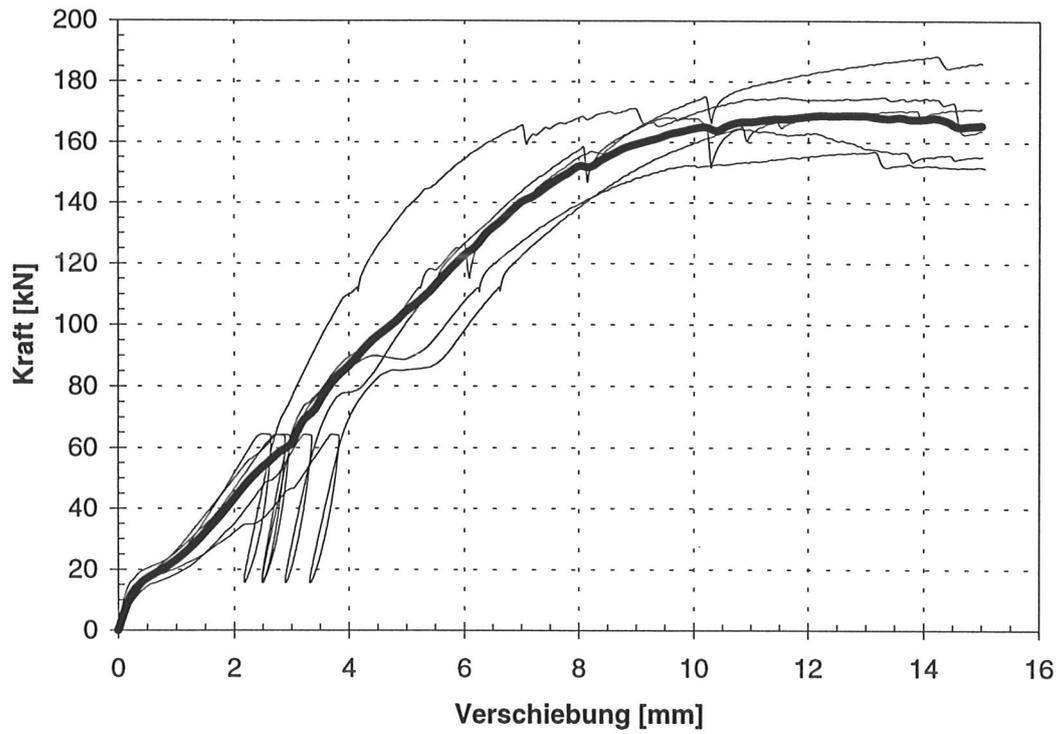


Bild A3-144 Last- Verschiebungskurven der A128N5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

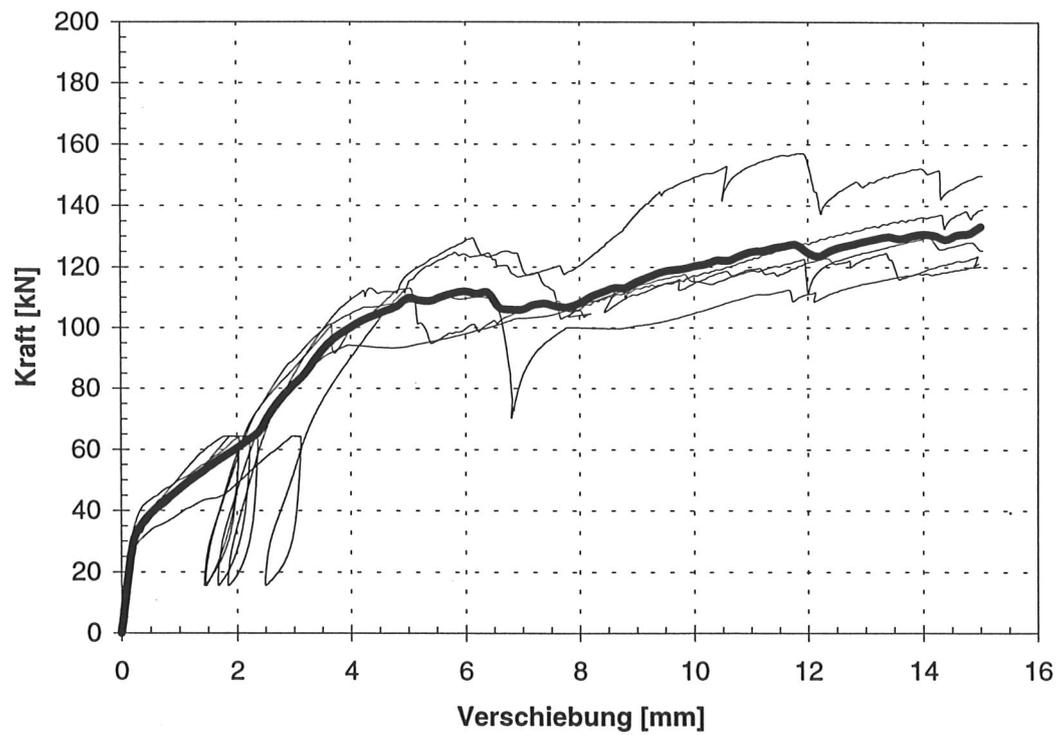


Bild A3-145 Last- Verschiebungskurven der A128N6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

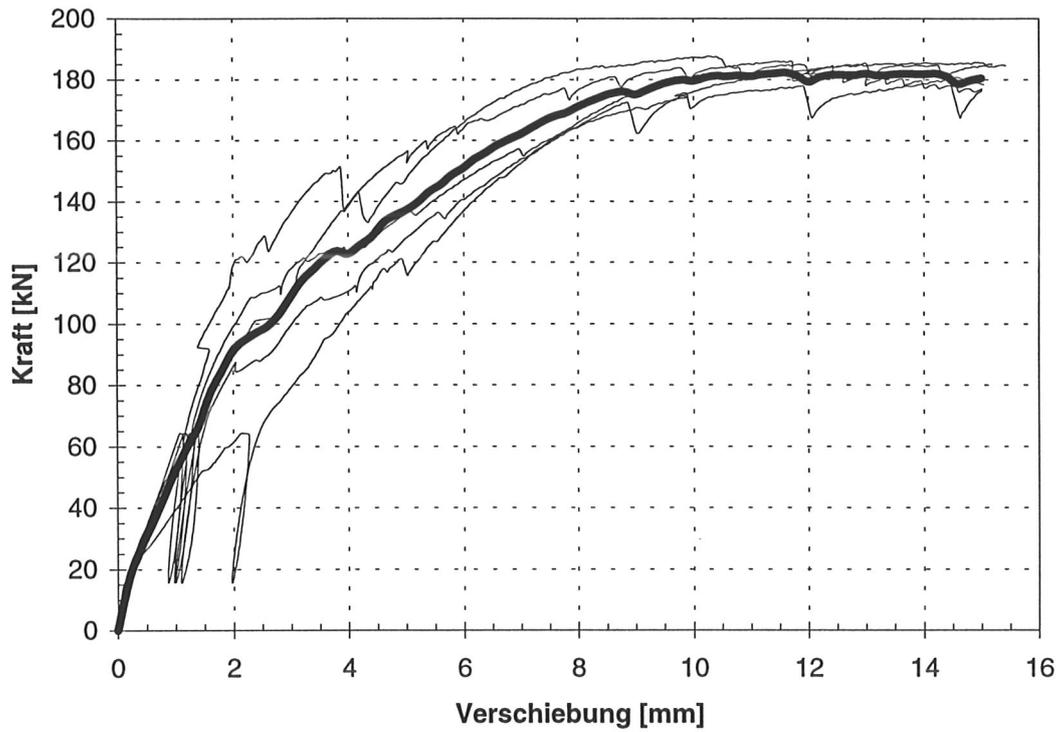


Bild A3-146 Last- Verschiebungskurven der A128N7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

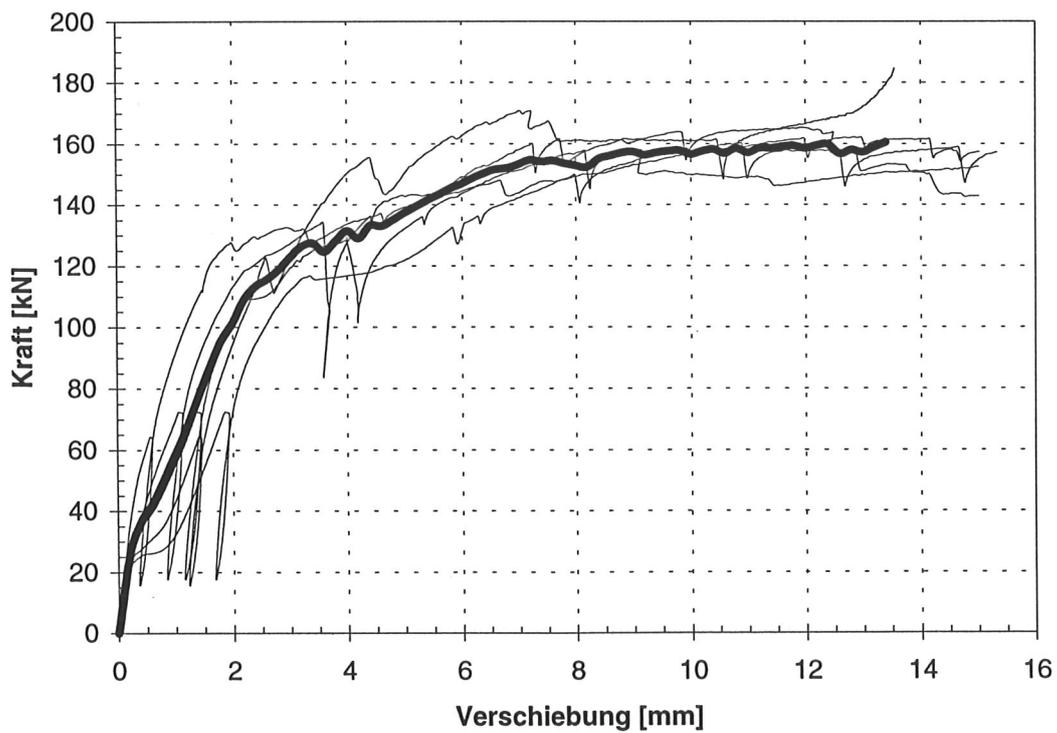


Bild A3-147 Last- Verschiebungskurven der A128N8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

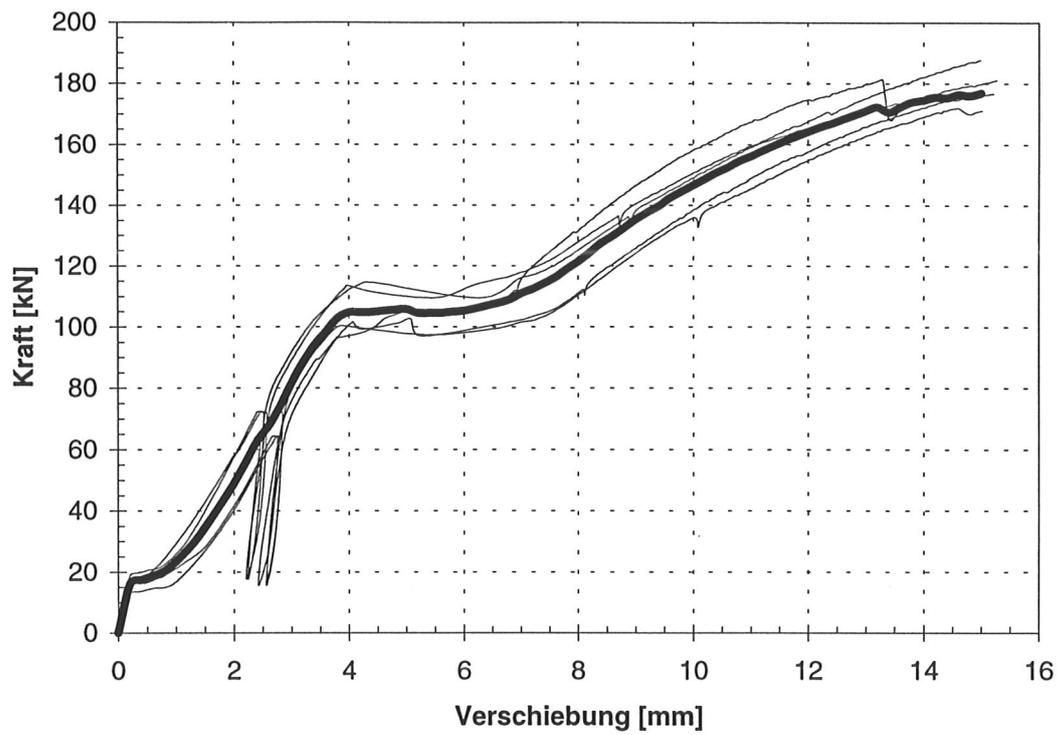


Bild A3-148 Last- Verschiebungskurven der A128N9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

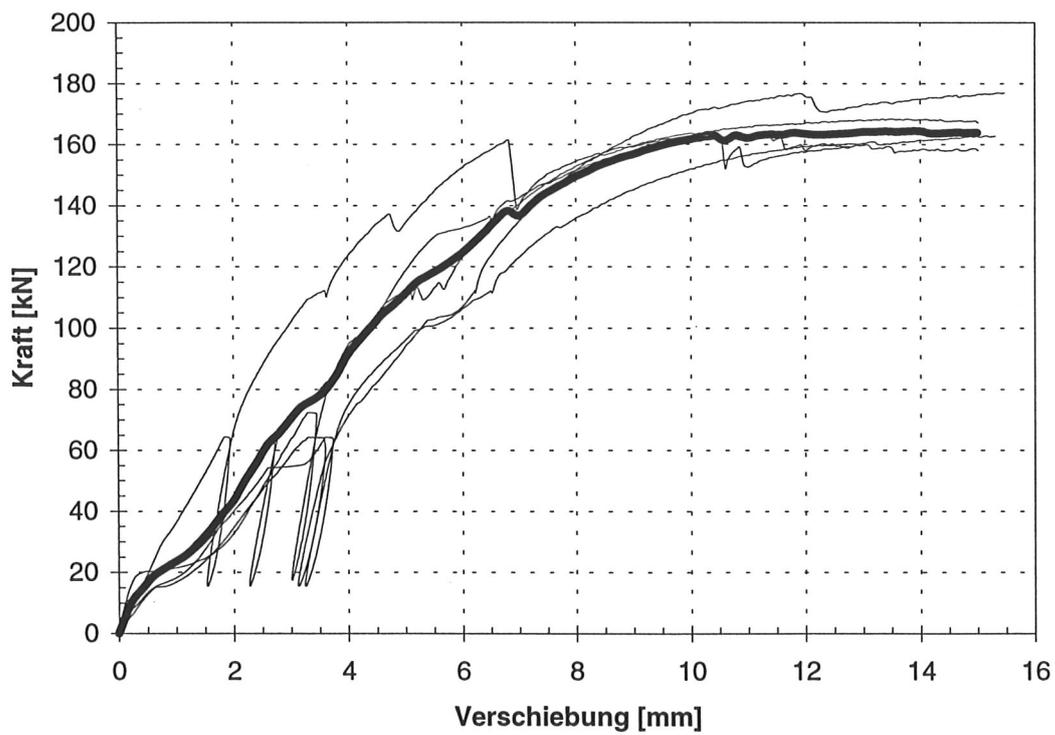


Bild A3-149 Last- Verschiebungskurven der A128N10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

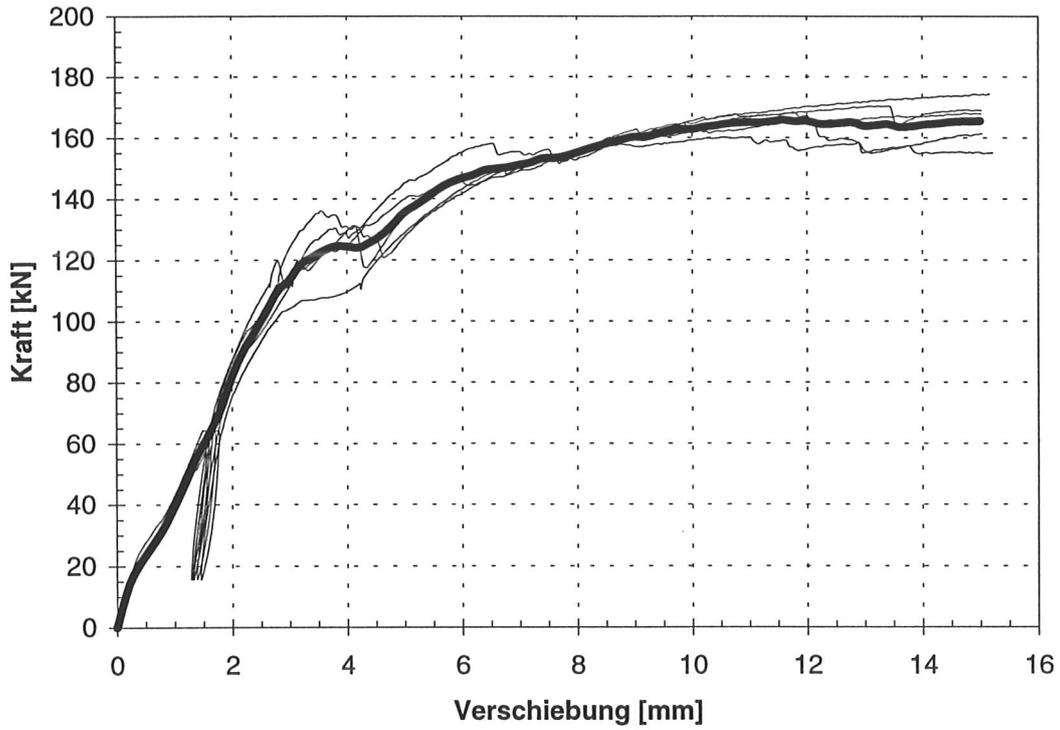


Bild A3-150 Last- Verschiebungskurven der A128N11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

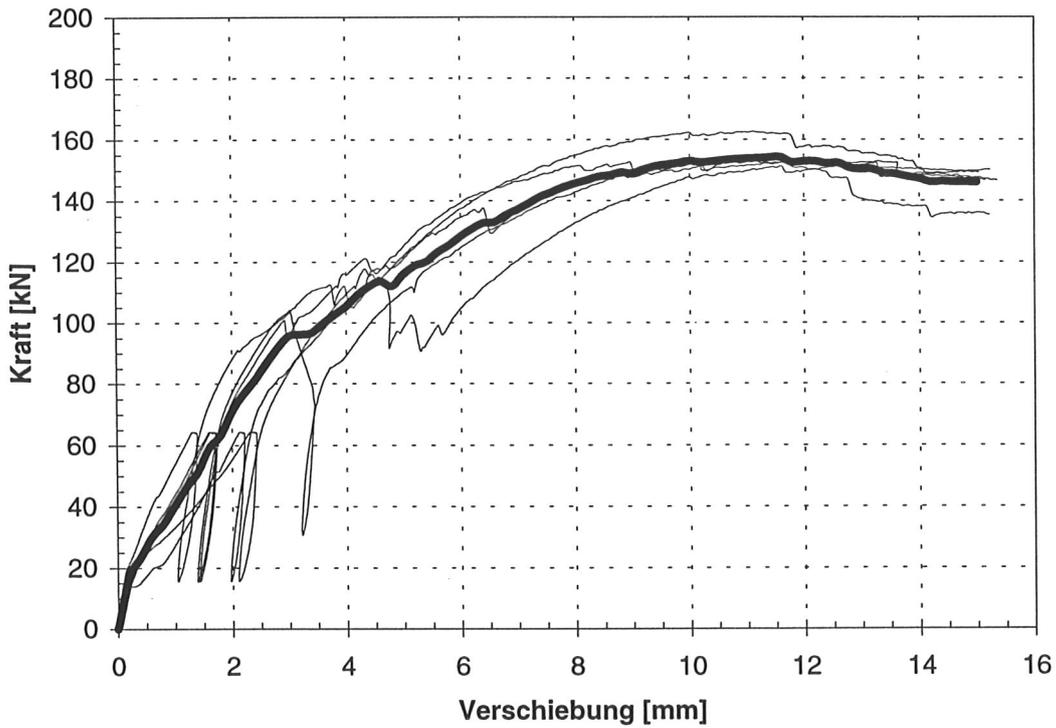


Bild A3-151 Last- Verschiebungskurven der A128N12- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

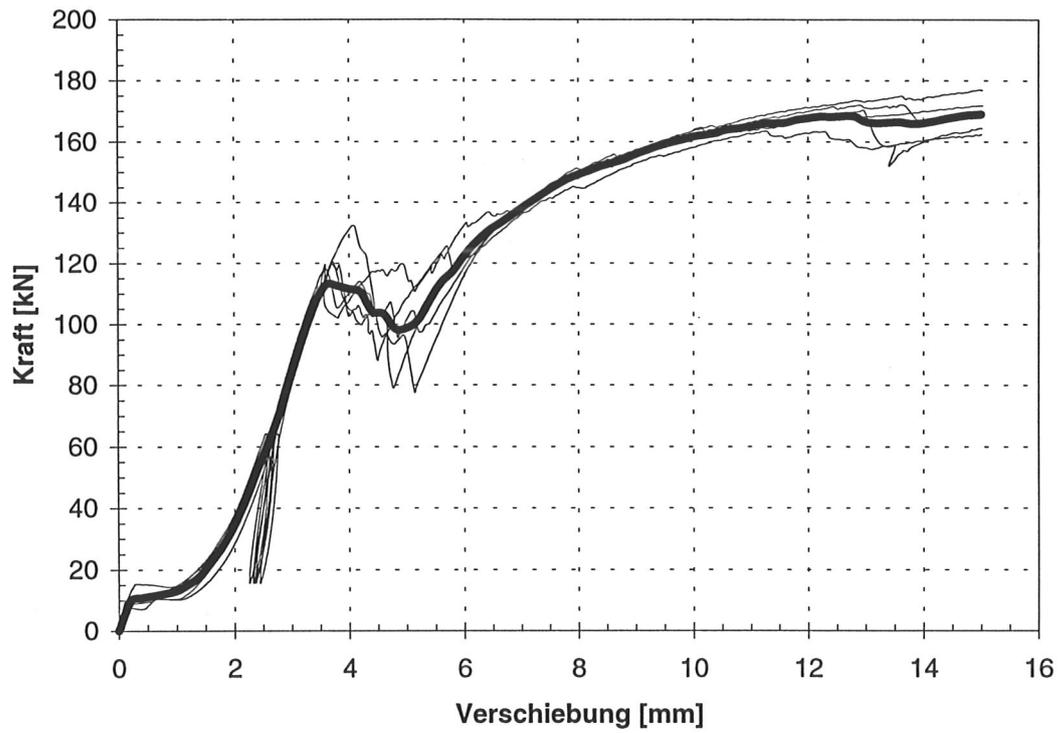


Bild A3-152 Last- Verschiebungskurven der A128N13- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

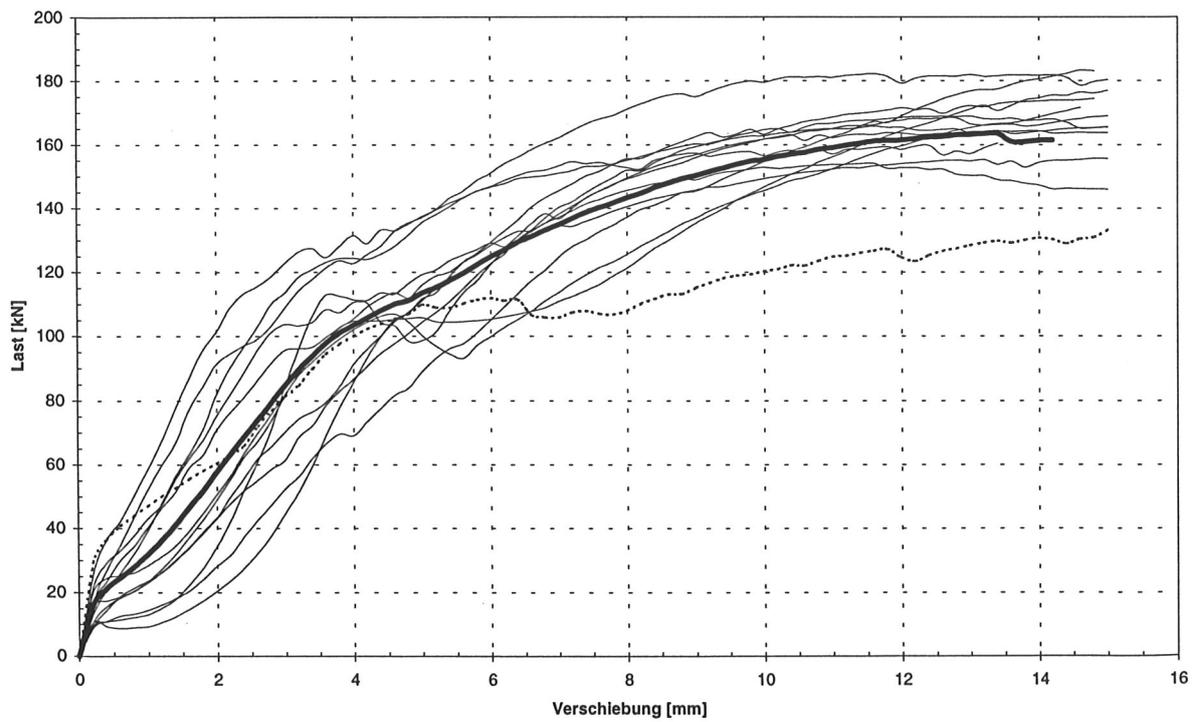


Bild A3-153 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der A128N- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-31 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe A128N

Dübeltyp A128N	\bar{x} F_{\max} [kN]	\bar{x} v (0,8 zul F) [mm]	\bar{x} v (zul F) [mm]	\bar{x} k_s [N/mm]	\bar{x} Schlupf [mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	173,3	1,8	2,2	21612	0,4	445
2	176,1	3,0	3,2	32050	1,5	410
3	156,5	1,2	1,5	35742	0,2	377
4	185,0	2,8	3,1	25507	0,8	456
5	172,5	2,2	2,6	19881	0,0	415
6 ⁶	133,6	1,0	1,7	23876	0,0	416
7	184,3	0,9	1,2	42847	0,0	497
8	166,0	0,8	1,0	54489	0,1	429
9	179,4	1,9	2,2	24353	0,4	503
10	166,7	2,1	2,6	22450	0,3	446
11	168,2	1,1	1,4	36905	0,0	425
12	155,0	1,2	1,5	32107	0,1	415
13	170,9	2,3	2,5	35839	0,8	423

Tabelle A3-32 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe A128N

Dübeltyp A128N	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]	Schlupf [mm]
Mittelwert	171,2 (168,3)	1,8 (1,7)	2,1 (2,1)	31982 (31358)	0,4 (0,3)
5%- Fraktile	153,2 (131,9)	0,5 (0,6)	0,8 (0,8)	17173 (16812)	0,0 (0,0)
Standard- abweichung	11,4 (15,4)	0,8 (0,8)	0,8 (0,8)	13573 (13263)	0,5 (0,5)

⁶ Sie Serie A128N6 wurde aufgrund der Herstellungsungenauigkeiten bei der Auswertung nicht berücksichtigt

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-33 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe A128N

A128N	F_{max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	Schlupf	min ρ
F_{max}	1,0 (-0,02)	-0,15 1,0	0,26 (0,38)	0,25 (0,29)	0,12 (0,21)	0,73 (0,60)
k_s	-0,15 (-0,02)	1,0	-0,58 (-0,51)	-0,65 (-0,62)	-0,19 (-0,15)	-0,10 (-0,06)
v (0,8zul.F)	0,26 (0,38)	-0,58 (-0,51)	1,0	0,99 (0,98)	0,76 (0,76)	-0,04 (0,02)
v (zul.F)	0,25 (0,29)	-0,65 (-0,62)	0,99 (0,98)	1,0	0,70 (0,70)	-0,02 (0,01)
Schlupf	0,12 (0,21)	-0,19 (-0,15)	0,76 (0,76)	0,70 (0,70)	1,0	-0,09 (-0,05)
min ρ	0,73 (0,60)	-0,10 (-0,06)	-0,04 (0,02)	-0,02 (0,01)	-0,09 (-0,05)	1,0

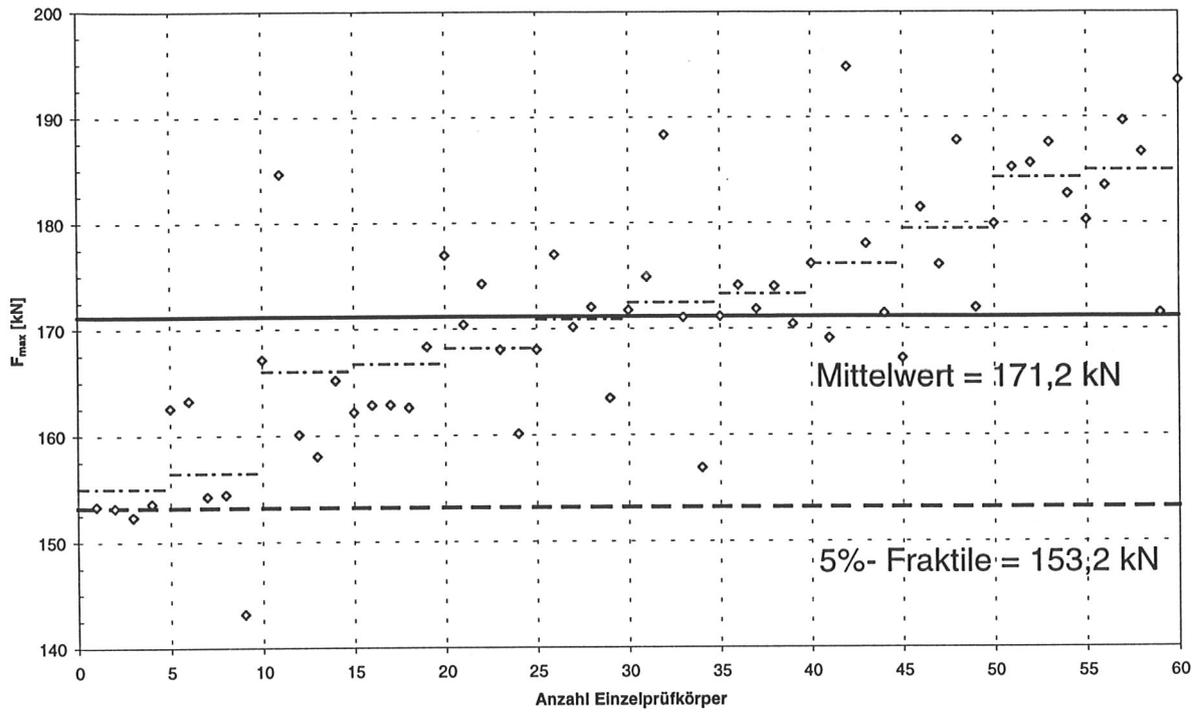


Bild A3-154 Mittelwert und 5%- Fraktile der A128N- Serie

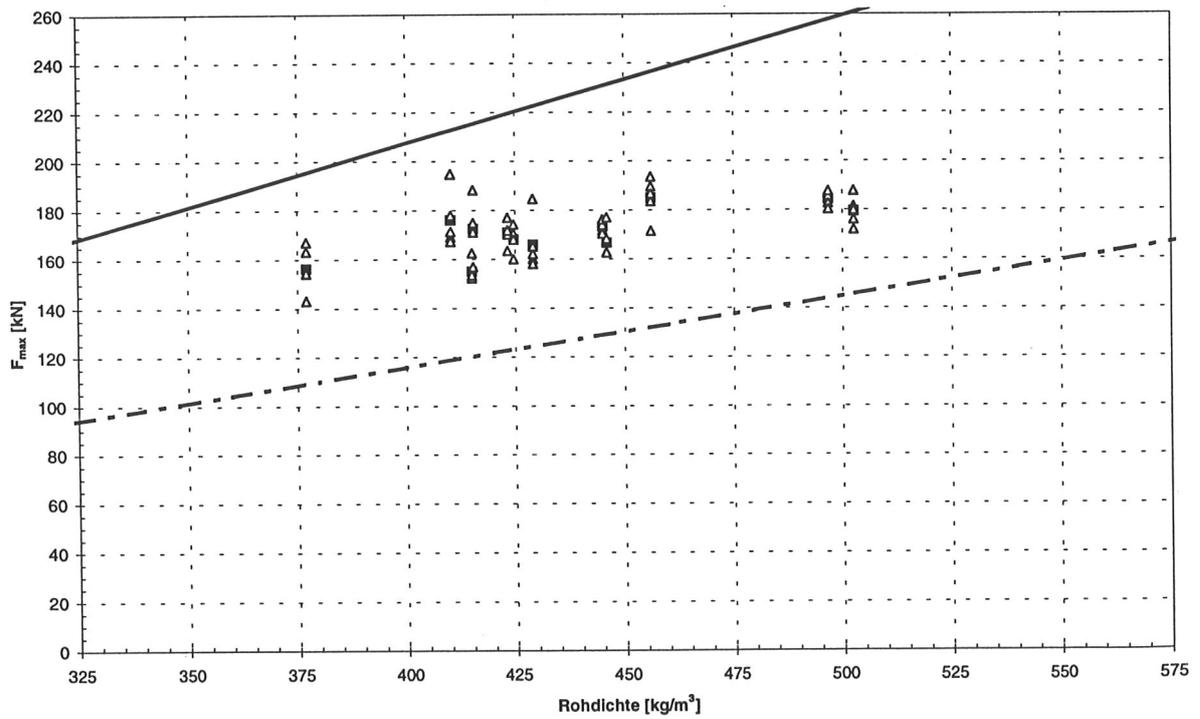


Bild A3-155 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A128N- Serie

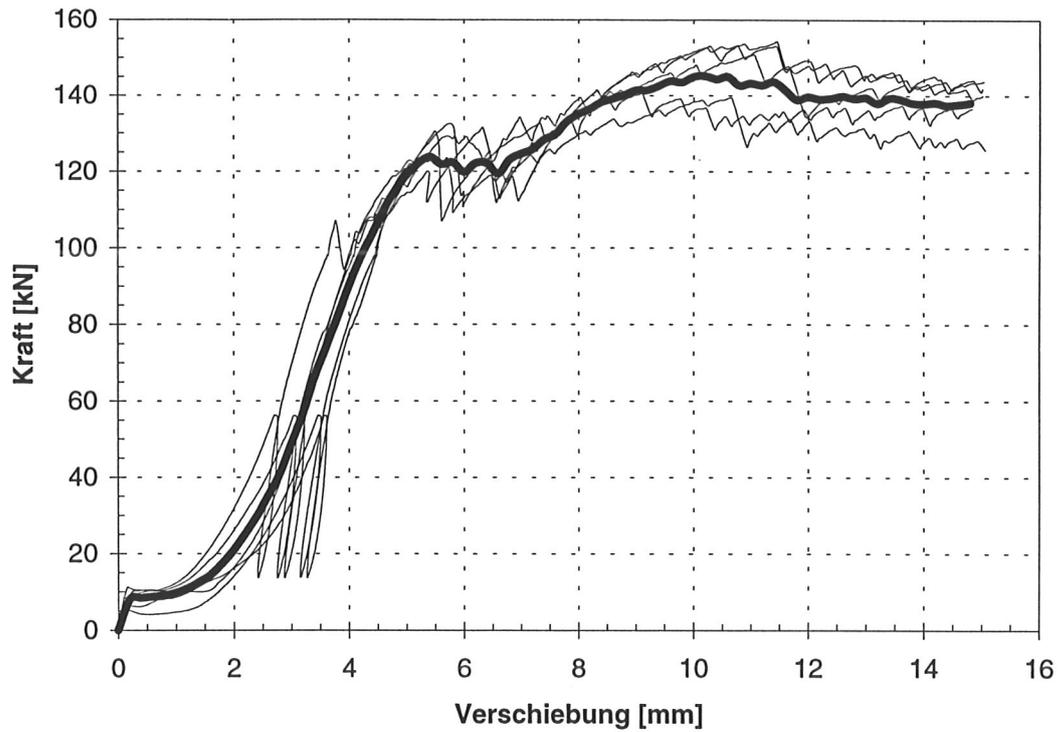


Bild A3-156 Last- Verschiebungskurven der A128M1- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

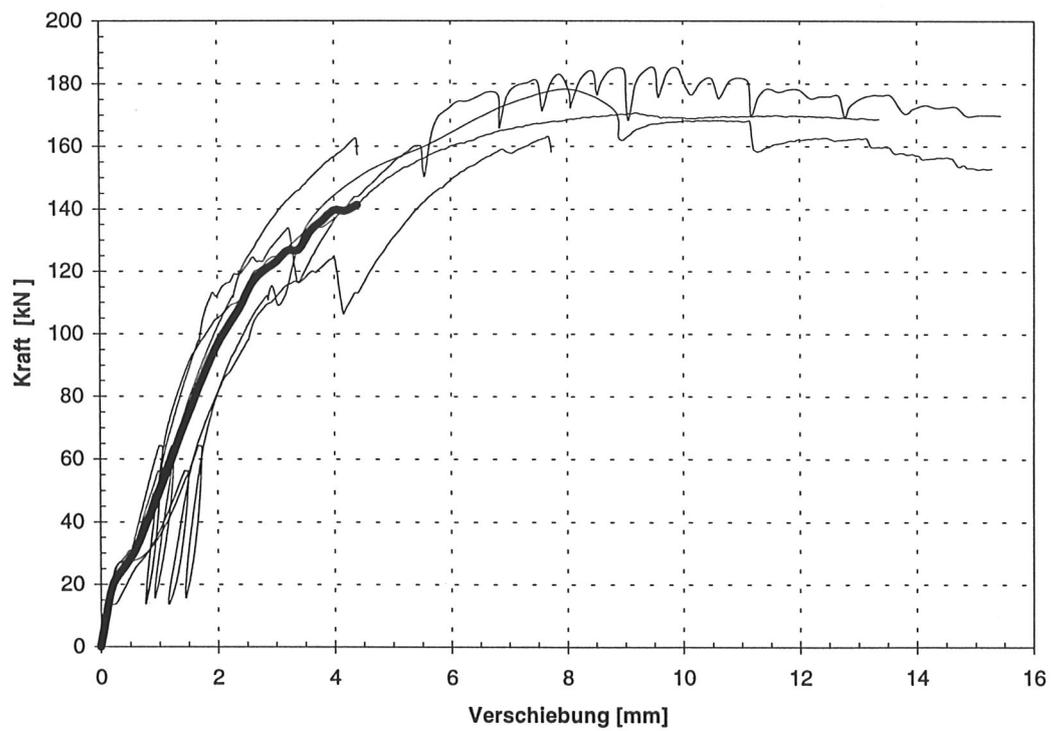


Bild A3-157 Last- Verschiebungskurven der A128M2- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

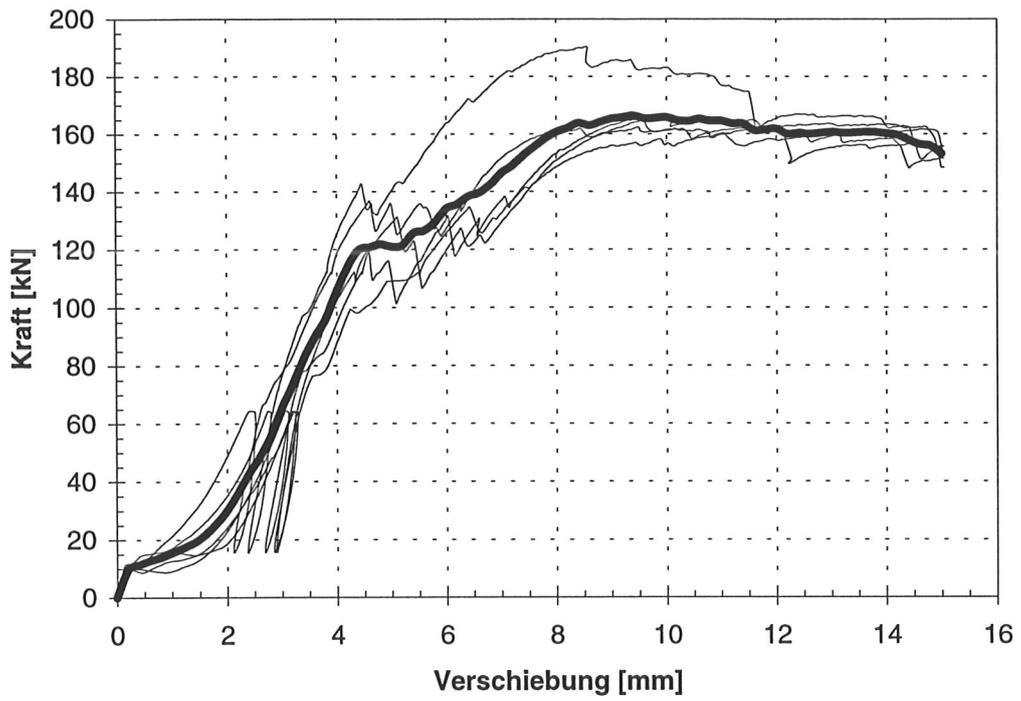


Bild A3-158 Last- Verschiebungskurven der A128M3- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

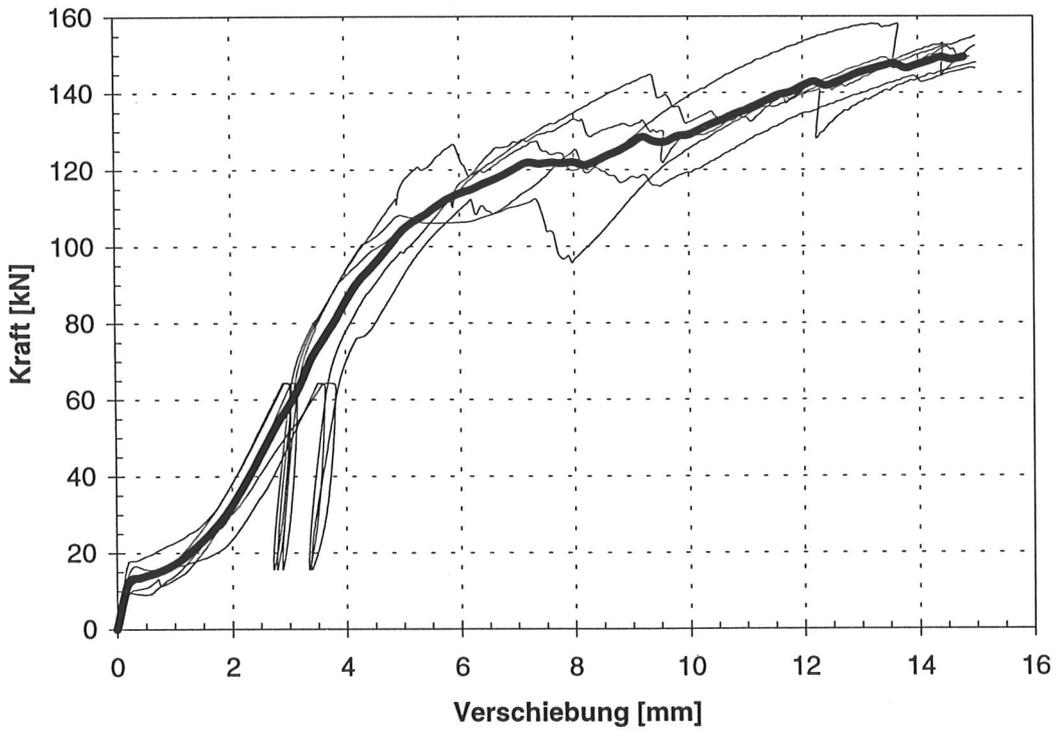


Bild A3-159 Last- Verschiebungskurven der A128M4- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

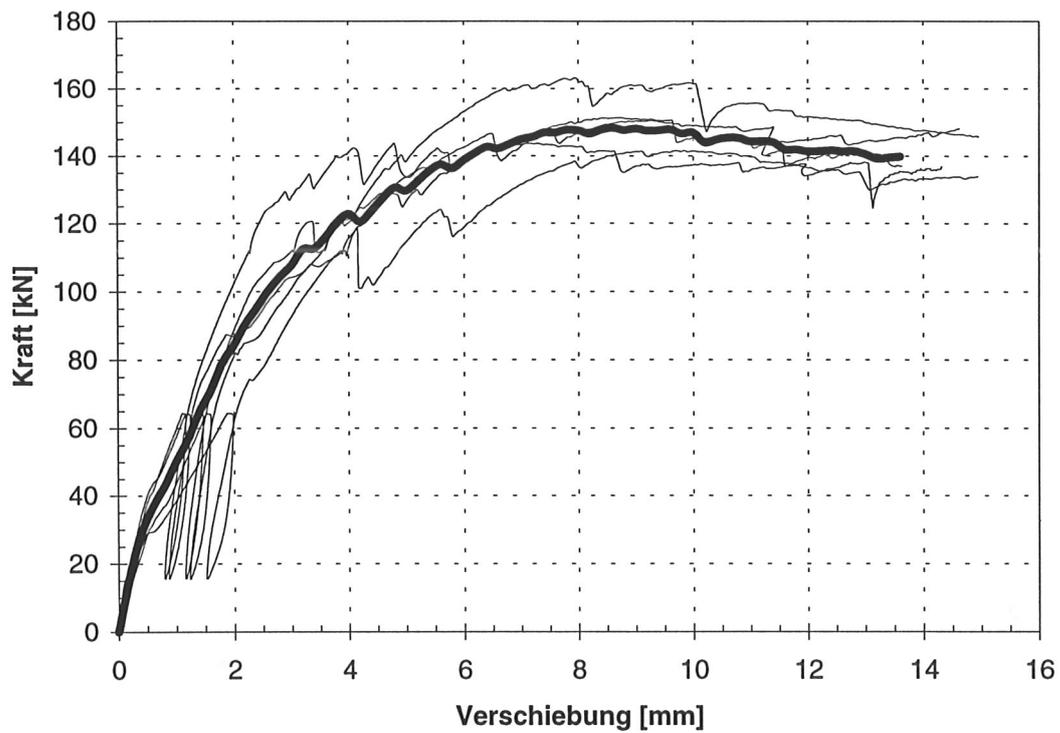


Bild A3-160 Last- Verschiebungskurven der A128M5- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

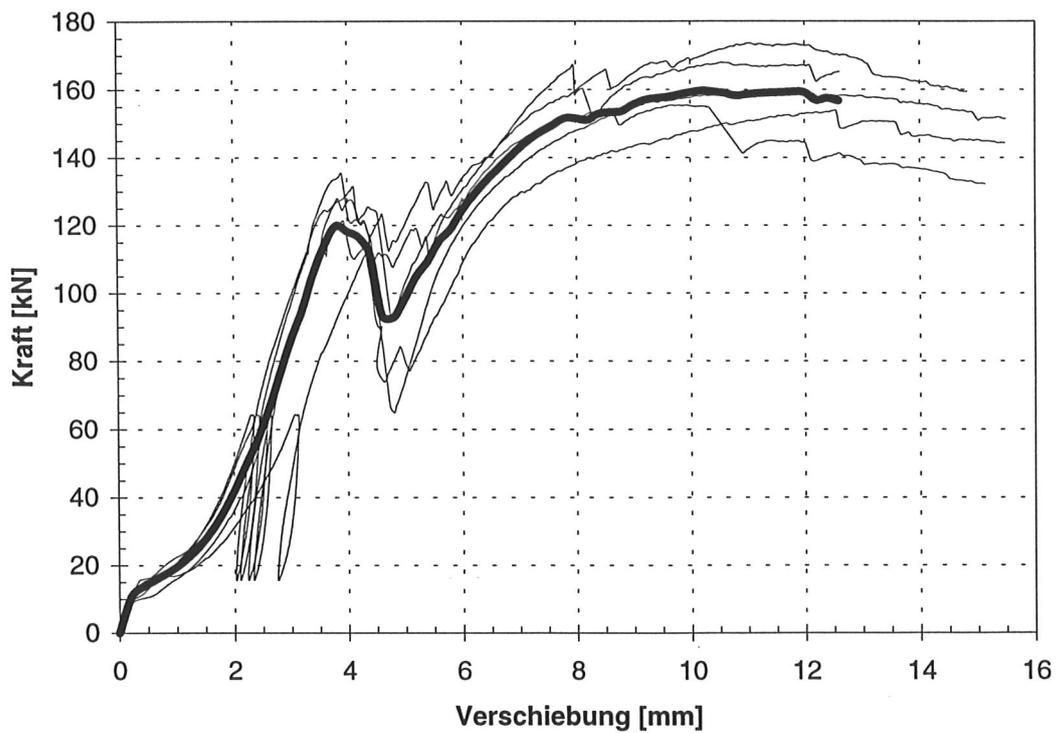


Bild A3-161 Last- Verschiebungskurven der A128M6- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

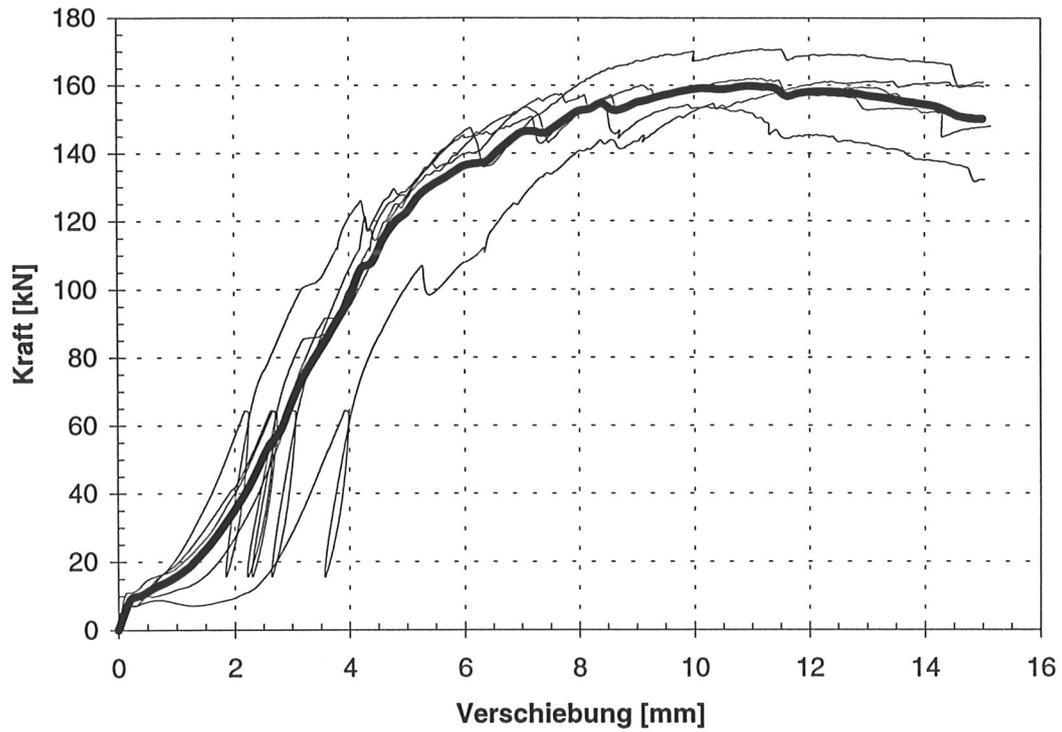


Bild A3-162 Last- Verschiebungskurven der A128M7- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

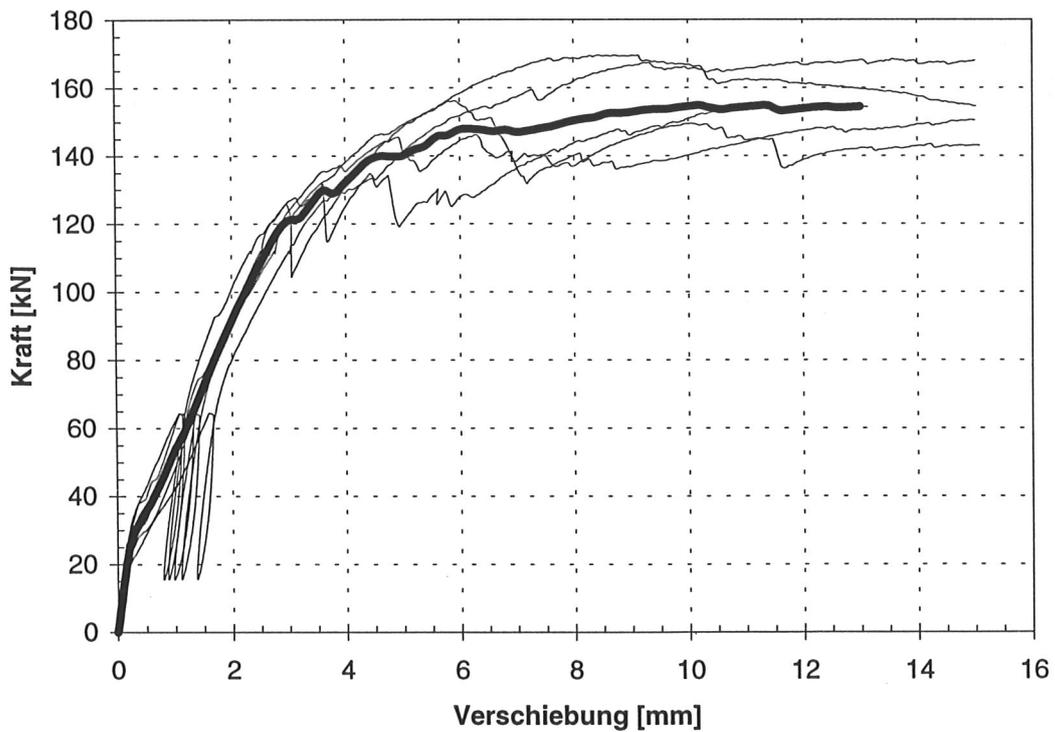


Bild A3-163 Last- Verschiebungskurven der A128M8- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

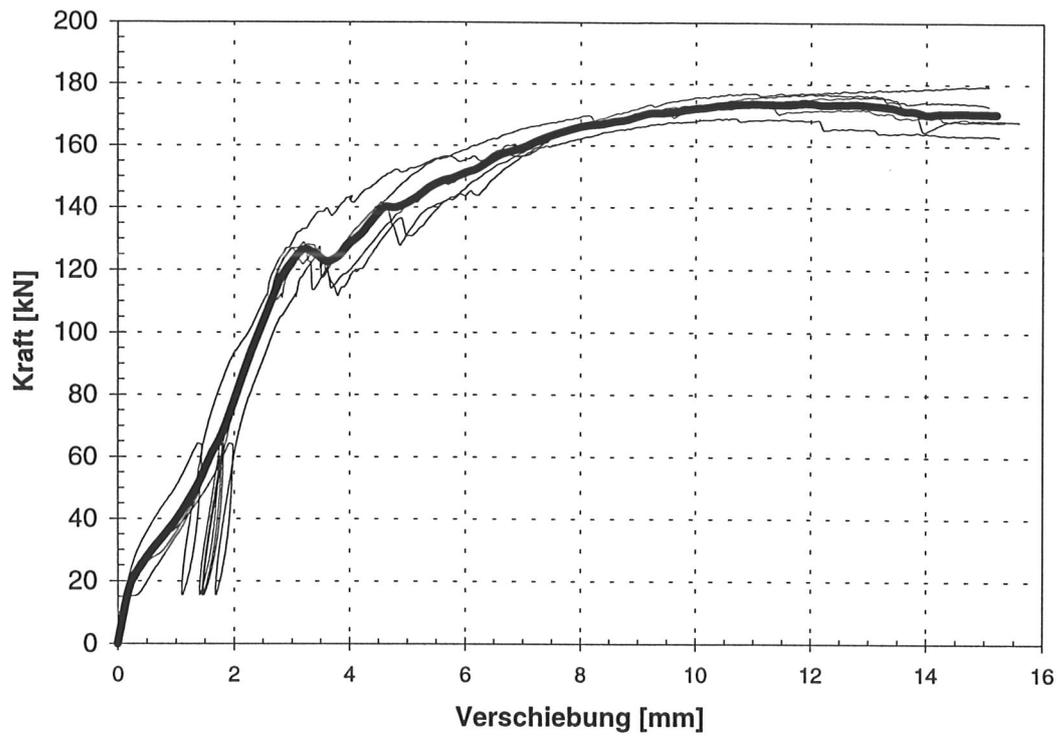


Bild A3-164 Last- Verschiebungskurven der A128M9- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

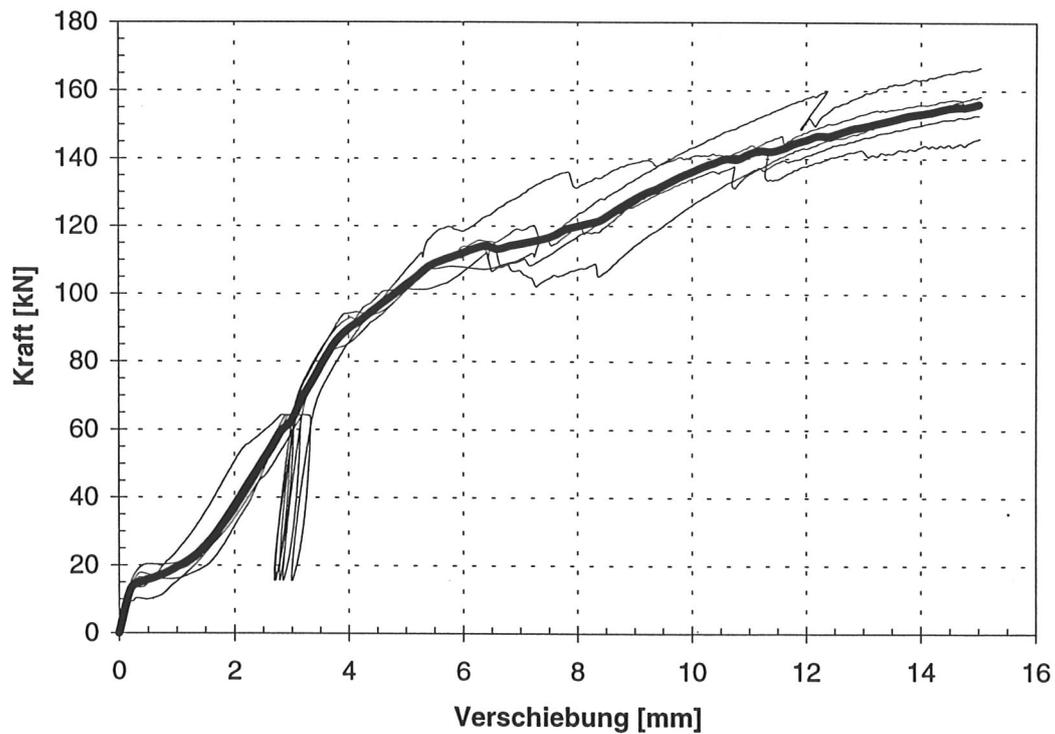


Bild A3-165 Last- Verschiebungskurven der A128M10- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

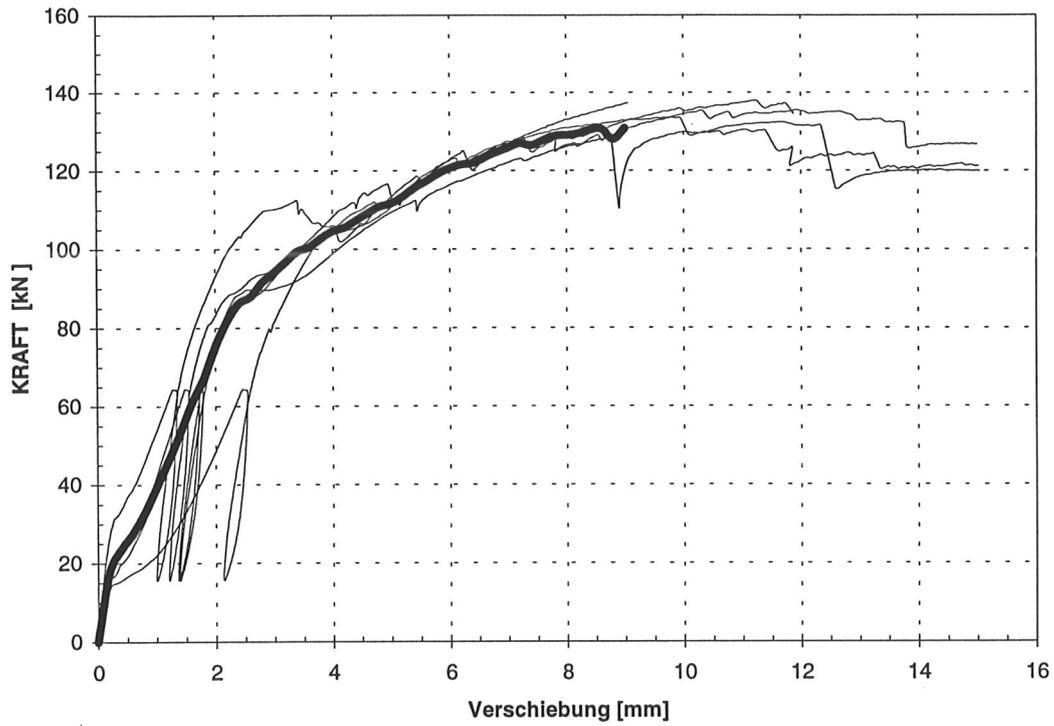


Bild A3-166 Last- Verschiebungskurven der A128M11- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

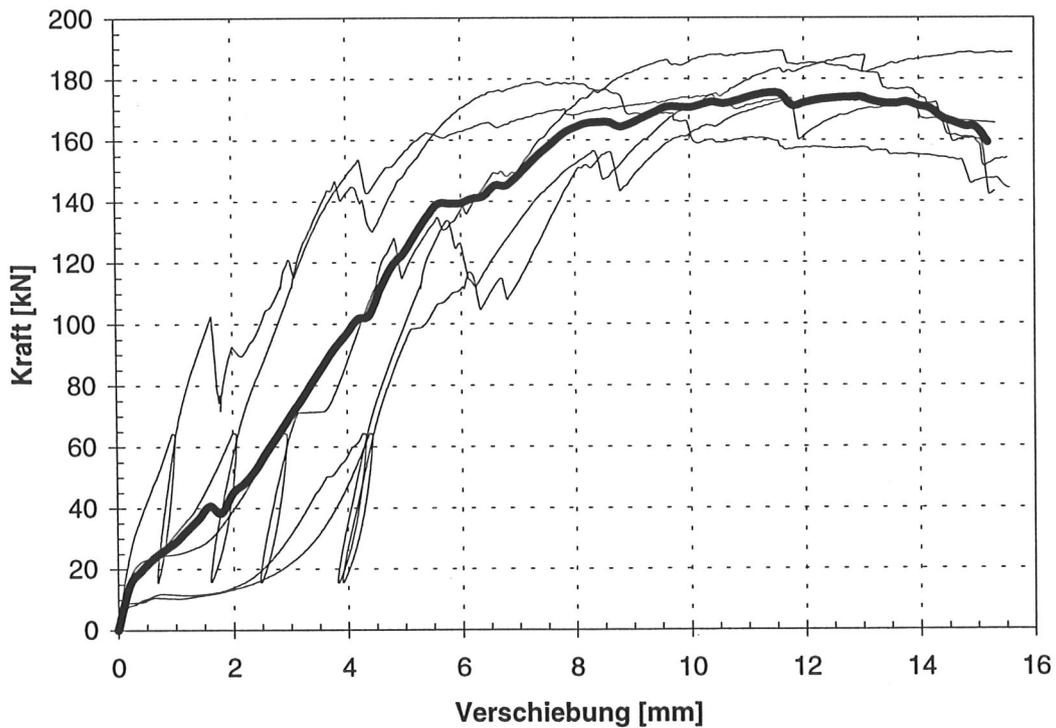


Bild A3-167 Last- Verschiebungskurven der A128M12- Serie eines Herstellers mit gemittelter Kurve

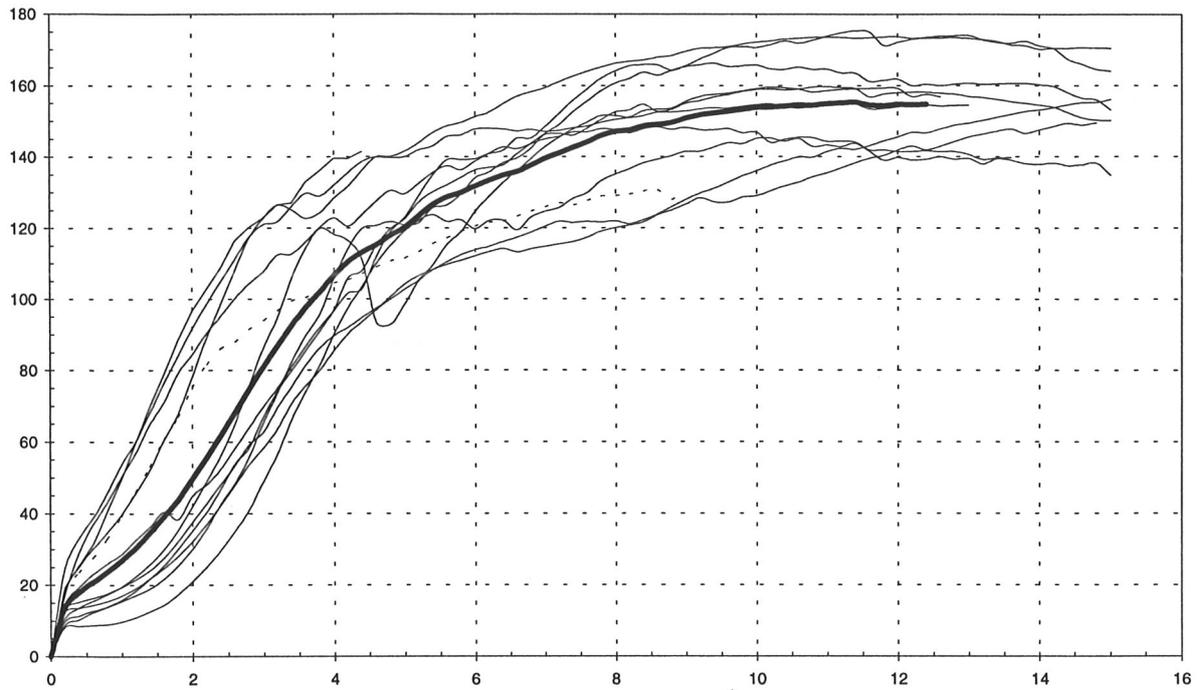


Bild A3-168 Gemittelte Last- Verschiebungskurven der A128M- Serie mit gemittelter Kurve aller Versuche

Tabelle A3-34 Mittelwerte aus 5 Einzelversuchen der Auswertungsparameter der Reihe A128M

Dübeltyp A128M	\bar{x} F_{\max} [kN]	\bar{x} v (0,8 zul F) [mm]	\bar{x} v (zul F) [mm]	\bar{x} k_s [N/mm]	\bar{x} Schlupf [mm]	Min ρ [kg/m ³]
1	147,6	2,9	3,2	27060	1,0	444
2	173,0	0,9	1,2	43040	0,0	482
3	169,4	2,5	2,7	30022	1,0	485
4	152,1	2,5	2,9	20503	0,6	404
5	150,0	0,9	1,2	41351	0,0	445
6	161,9	2,1	2,4	25444	0,3	424
7	161,8	2,4	2,7	30181	0,6	386
8	159,8	0,8	1,1	41994	0,0	446
9	174,8	1,2	1,5	32852	0,0	444
10	156,1	2,3	2,7	19964	0,6	436
11 ⁷	134,9	1,2	1,5	33621	0,0	394
12	181,0	2,3	2,7	30481	0,7	456

⁷ Die Serie A128M11 wurde aufgrund der Herstellungsungenauigkeiten bei der Auswertung nicht berücksichtigt

Tabelle A3-35 Statistische Werte aller Einzelversuche der Auswertungsparameter der Reihe A128M

Dübeltyp A128M	F_{\max} [kN]	v (0,8 zul F) [mm]	v (zul F) [mm]	k_s [N/mm]	Schlupf [mm]
Mittelwert	162,5 (160,2)	1,9 (1,8)	2,2 (2,1)	31172 (31376)	0,4 (0,4)
5%- Fraktile	141,3 (135,5)	0,6 (0,7)	0,9 (0,9)	17105 (17385)	0,0 (0,0)
Standardabweichung	12,6 (14,3)	0,9 (0,9)	0,9 (0,9)	10244 (9975)	0,5 (0,5)

Bei der Auswertung der Versuche wurden die Prüfkörper, die infolge der Paßungengenauigkeiten nicht nach DIN 1052 hergestellt waren, nicht berücksichtigt. Zum Vergleich sind jedoch auch die Tragfähigkeiten aller Versuche angegeben (Klammerwerte).

Tabelle A3-36 Korrelationen der Auswertungsparameter der Reihe A128M

A128M	F_{\max}	k_s	v (0,8zul.F)	v (zul.F)	Schlupf	min ρ
F_{\max}	1,0	0,15 (0,09)	-0,12 (0,02)	-0,11 (0,03)	-0,01 (0,12)	0,44 (0,58)
k_s	0,15 (0,09)	1,0	-0,71 (-0,71)	-0,73 (-0,73)	-0,40 (-0,40)	0,47 (0,38)
v (0,8zul.F)	-0,12 (0,02)	-0,71 (-0,71)	1,0	0,99 (1,00)	0,84 (0,84)	-0,33 (-0,18)
v (zul.F)	-0,11 (0,03)	-0,73 (-0,73)	0,99 (1,00)	1,0	0,83 (0,83)	-0,33 (-0,17)
Schlupf	-0,01 (0,12)	-0,40 (-0,40)	0,84 (0,84)	0,83 (0,83)	1,0	-0,05 (0,10)
min ρ	0,44 (0,58)	0,47 (0,38)	-0,33 (-0,18)	-0,33 (-0,17)	-0,05 (0,10)	1,0

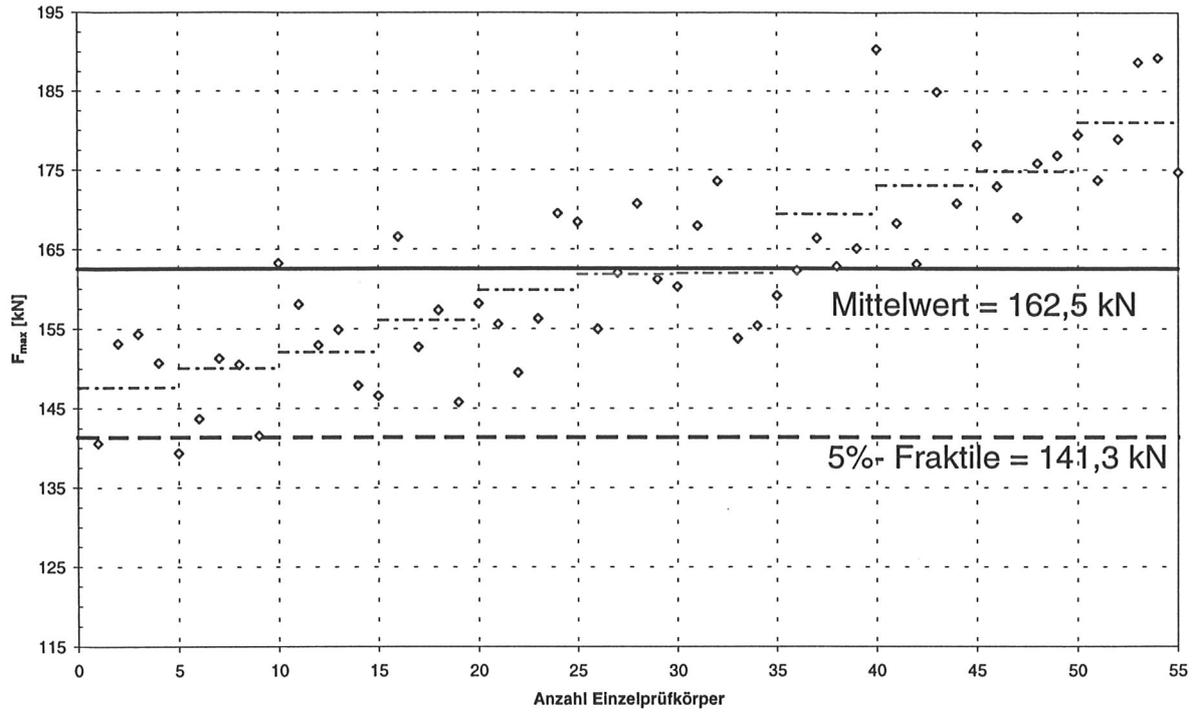


Bild A3-169 Mittelwert und 5%- Fraktile der A128M- Serie

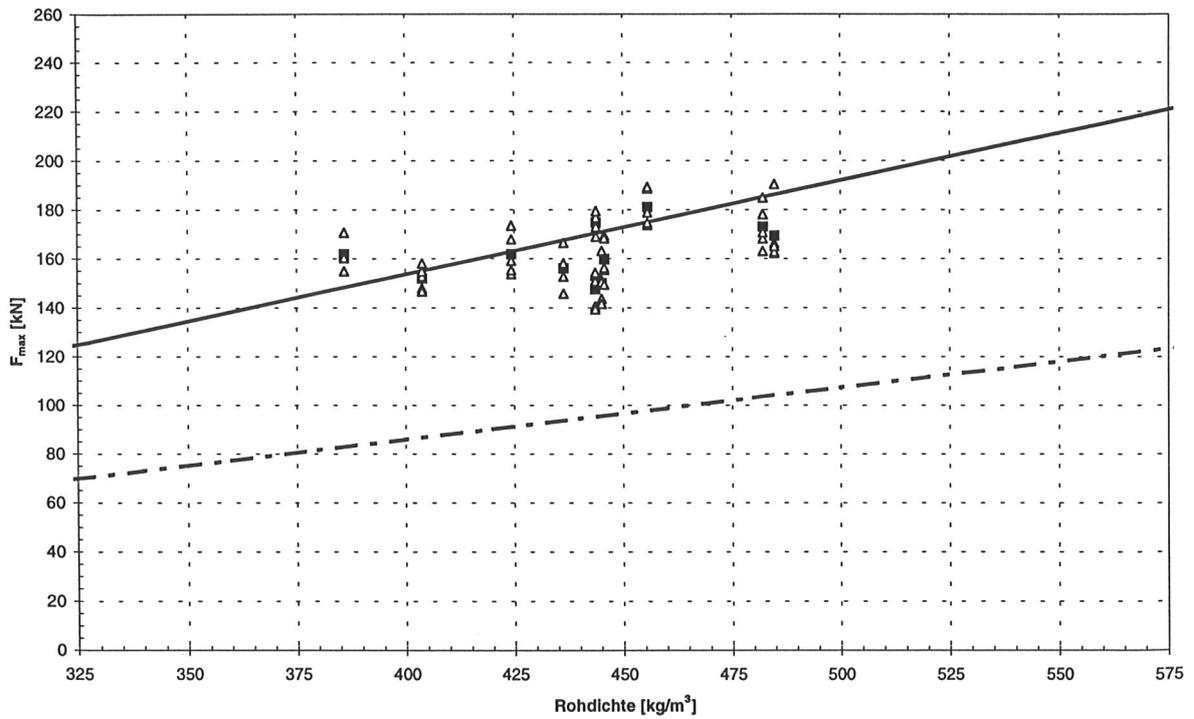


Bild A3-170 Versuchsergebnisse und Rechenmodell der A128M- Serie

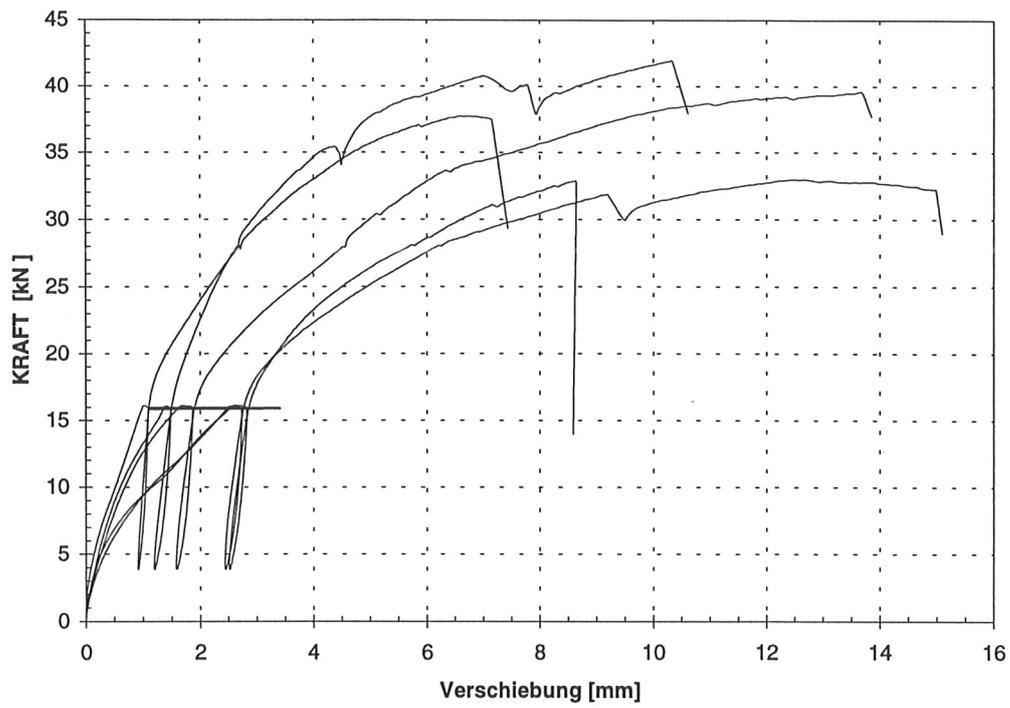


Bild A4-1 Last- Verschiebungskurven der D50Z1A- Serie

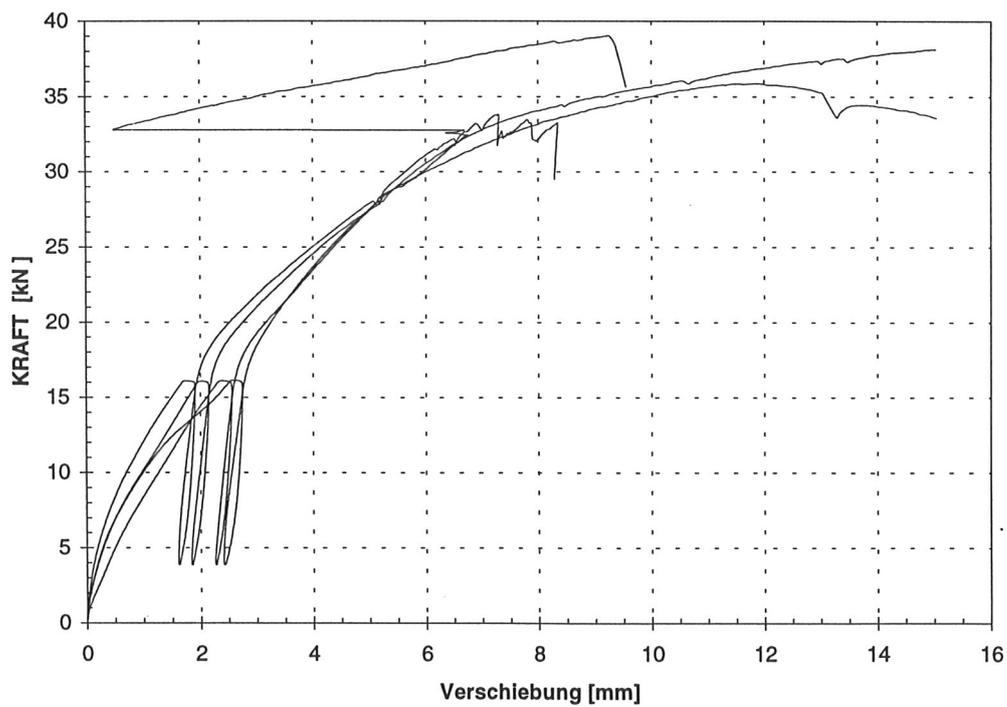


Bild A4-2 Last- Verschiebungskurven der D50Z1B- Serie

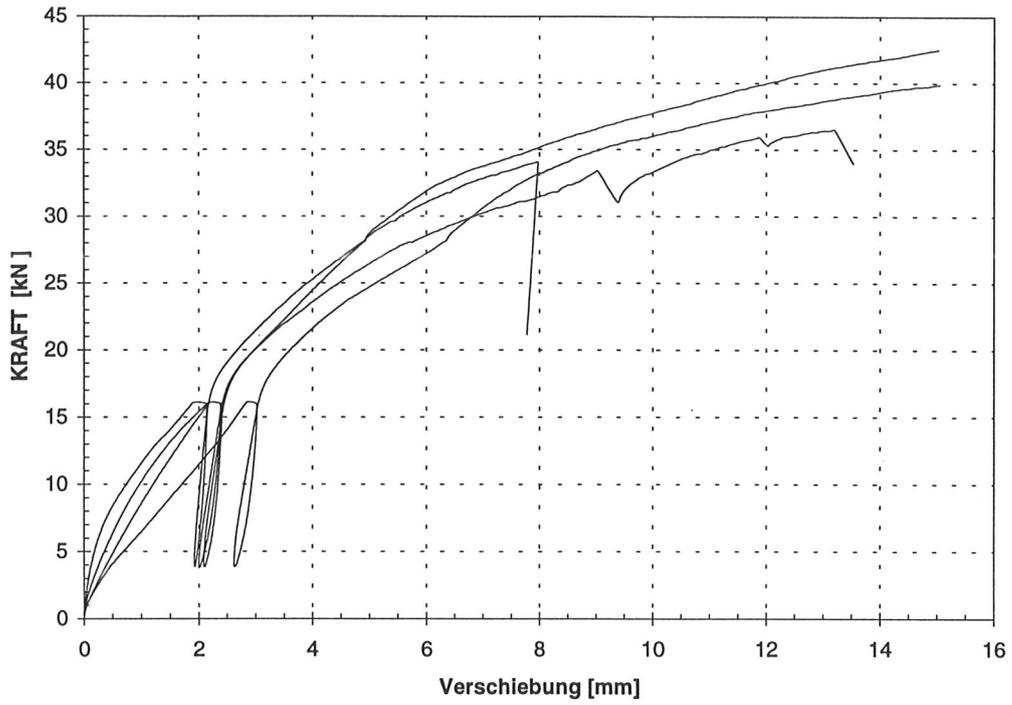


Bild A4-3 Last- Verschiebungskurven der D50Z1C- Serie

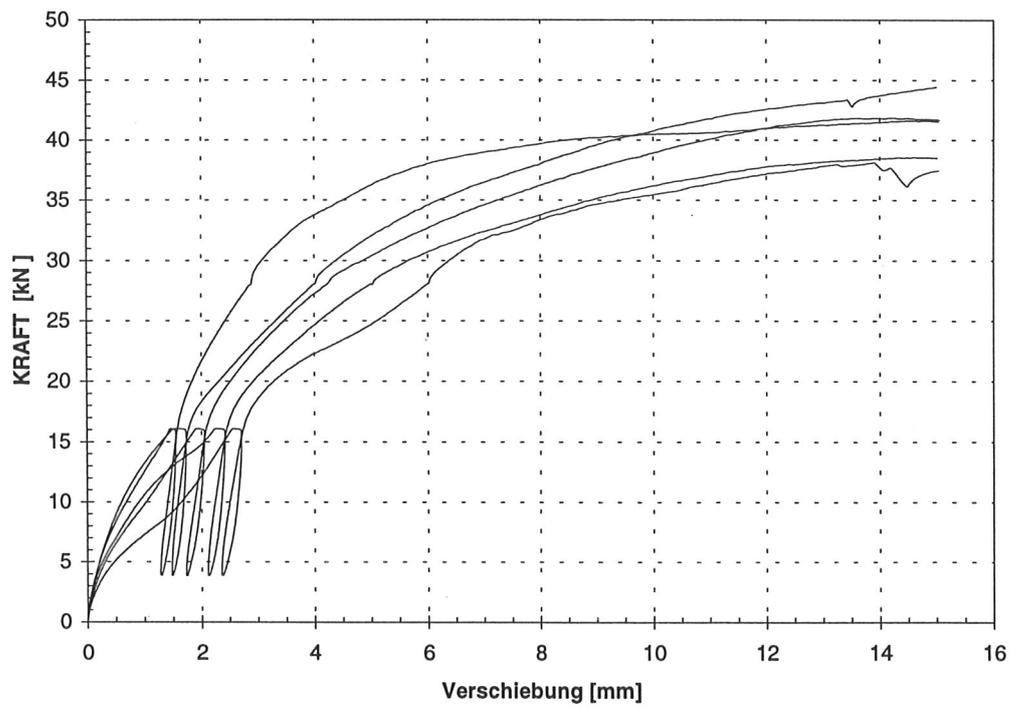


Bild A4-4 Last- Verschiebungskurven der D50Z1D- Serie

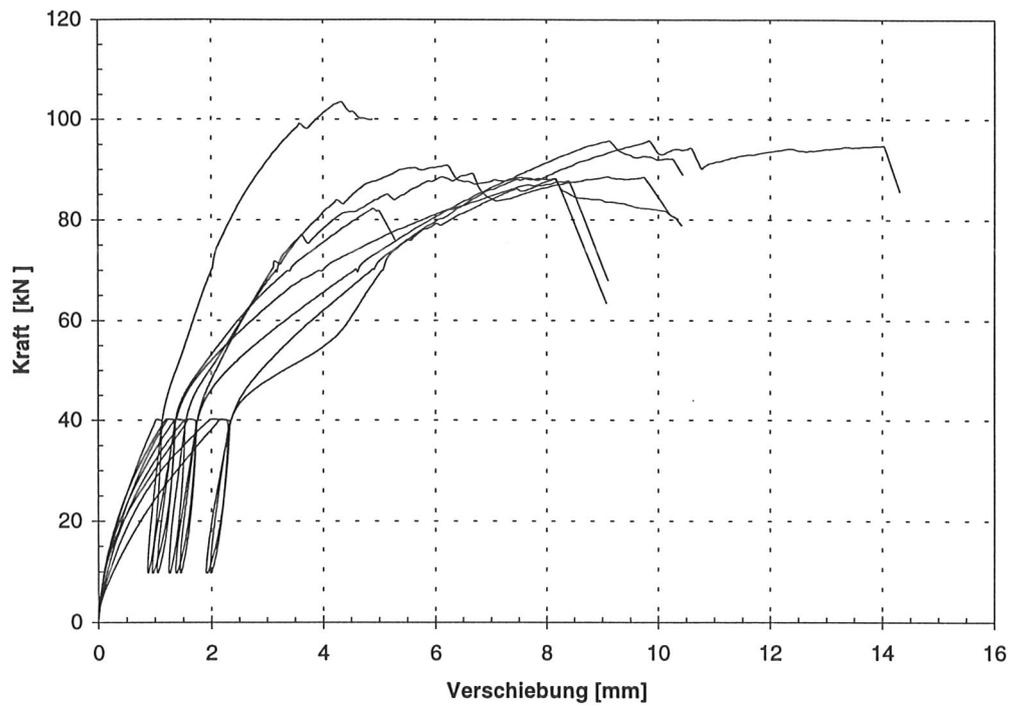


Bild A4-5 Last- Verschiebungskurven der D50Z3A- Serie

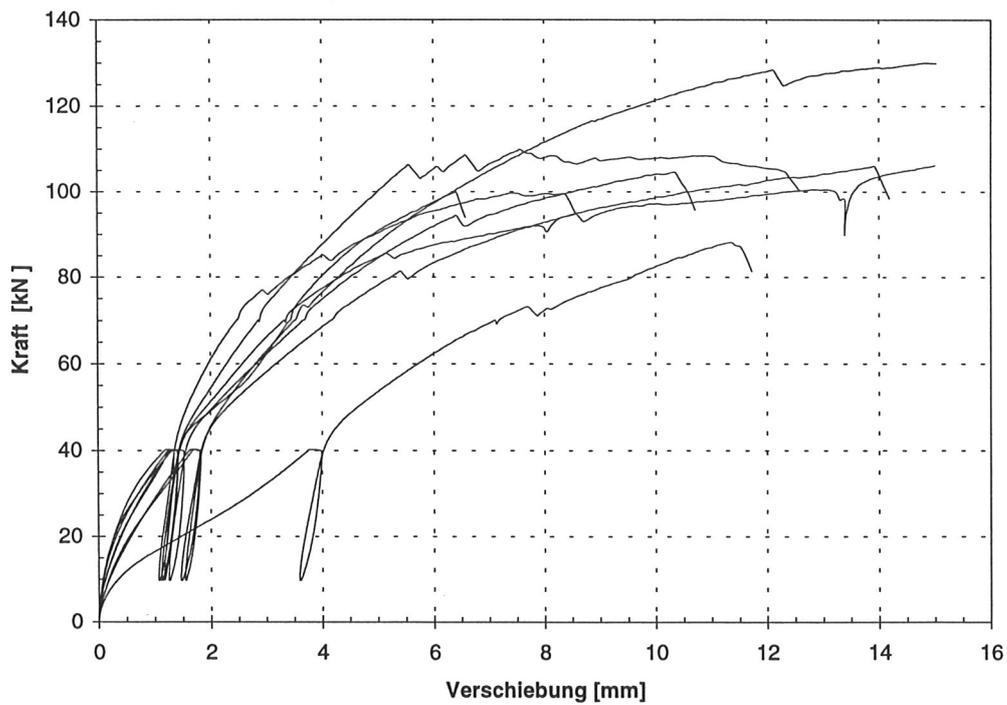


Bild A4-6 Last- Verschiebungskurven der D50Z3B- Serie

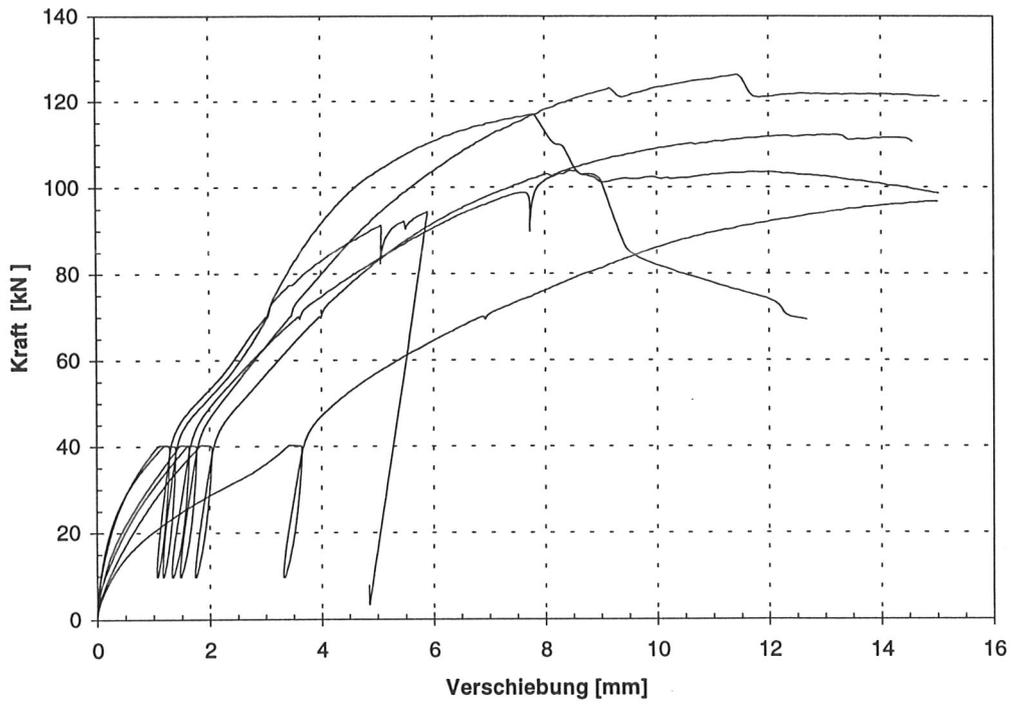


Bild A4-7 Last- Verschiebungskurven der D50Z3C- Serie

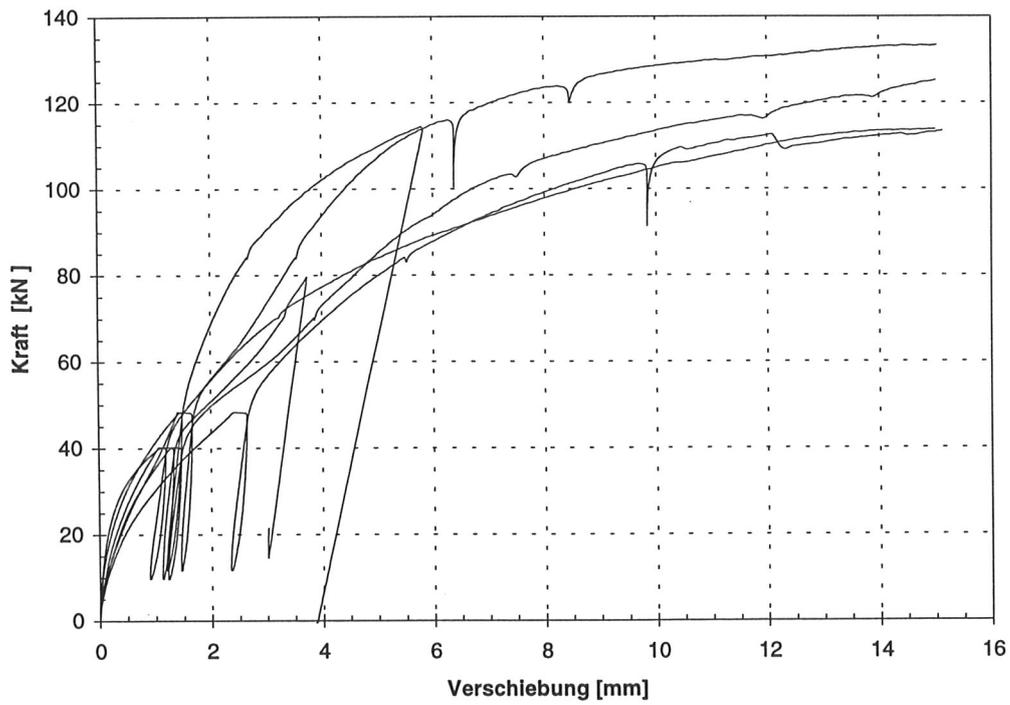


Bild A4-8 Last- Verschiebungskurven der D50Z3D- Serie

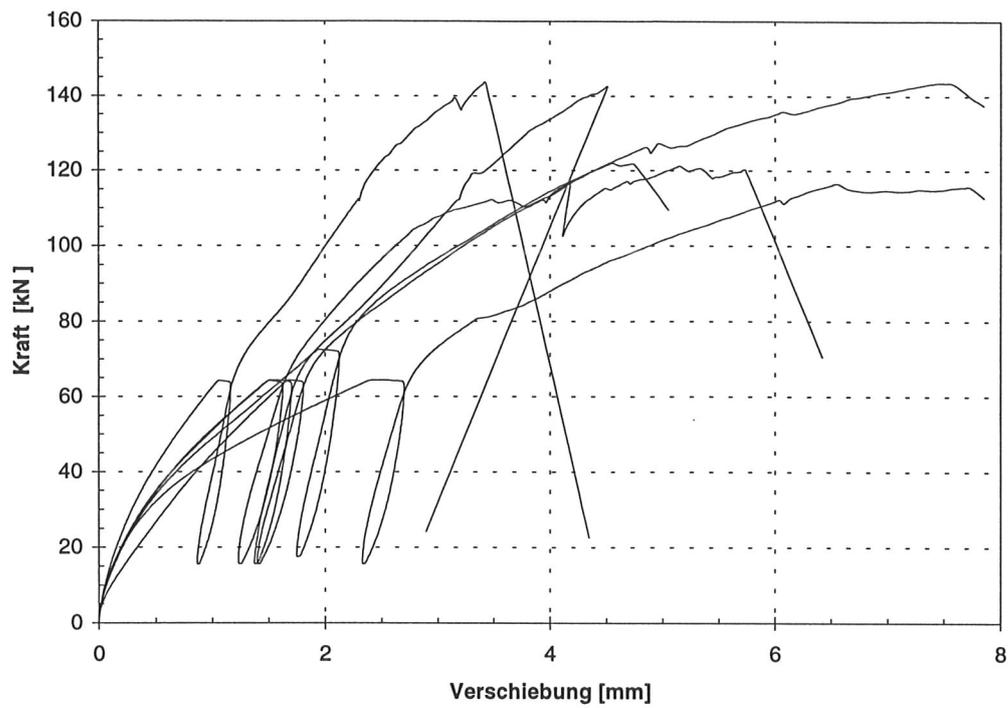


Bild A4-9 Last- Verschiebungskurven der D50Z5A- Serie

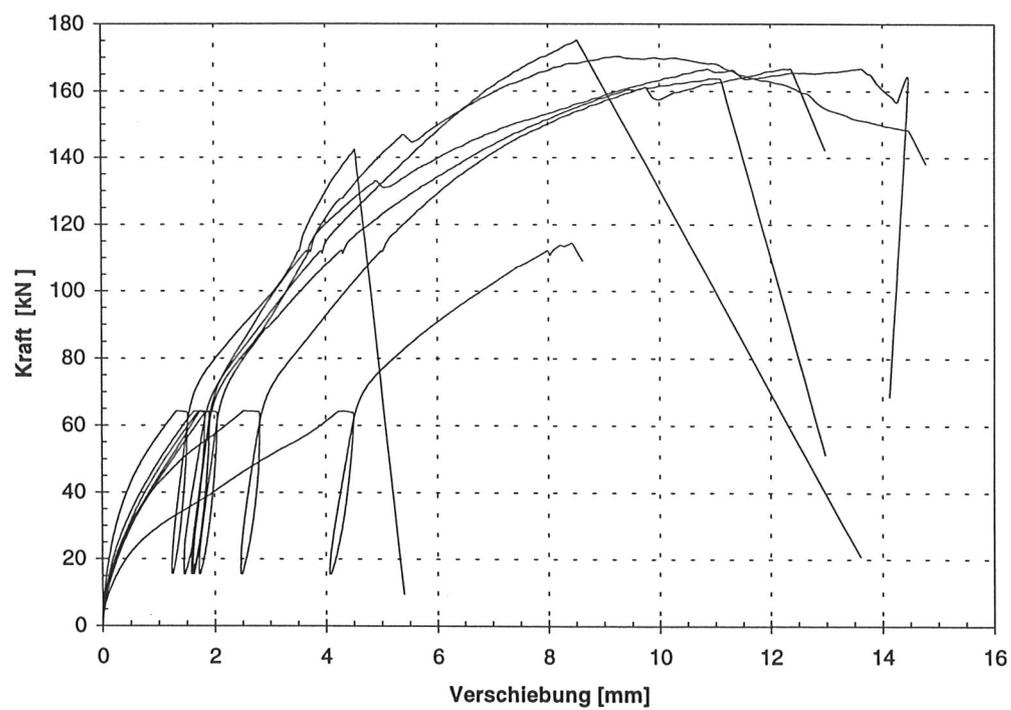


Bild A4-10 Last- Verschiebungskurven der D50Z5B- Serie

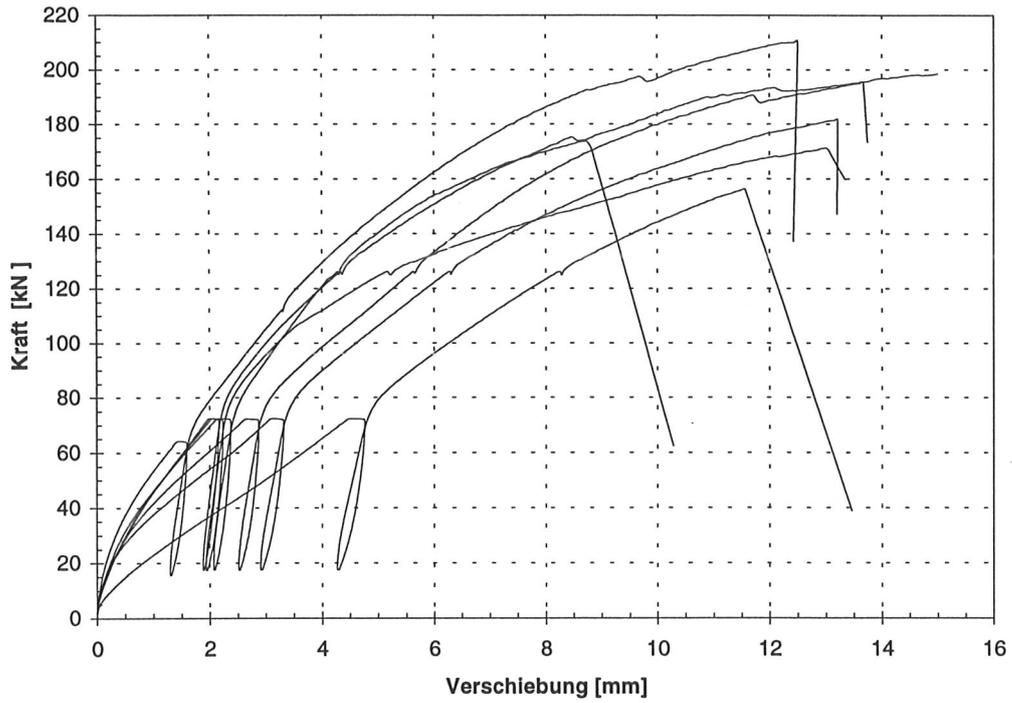


Bild A4-11 Last- Verschiebungskurven der D50Z5C- Serie

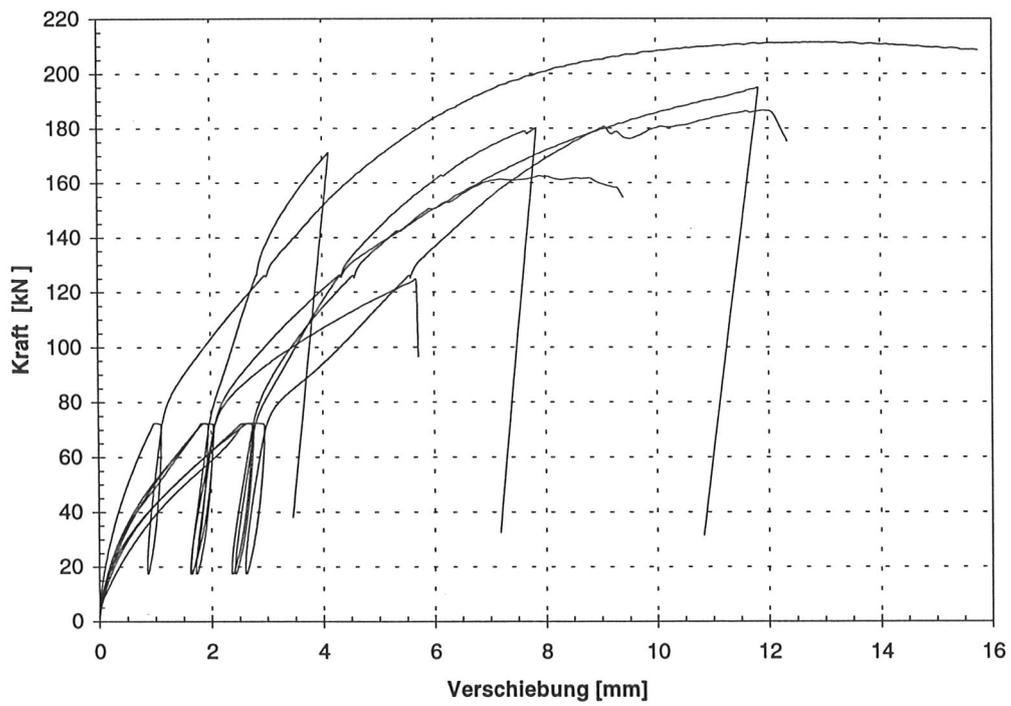


Bild A4-12 Last- Verschiebungskurven der D50Z5D- Serie

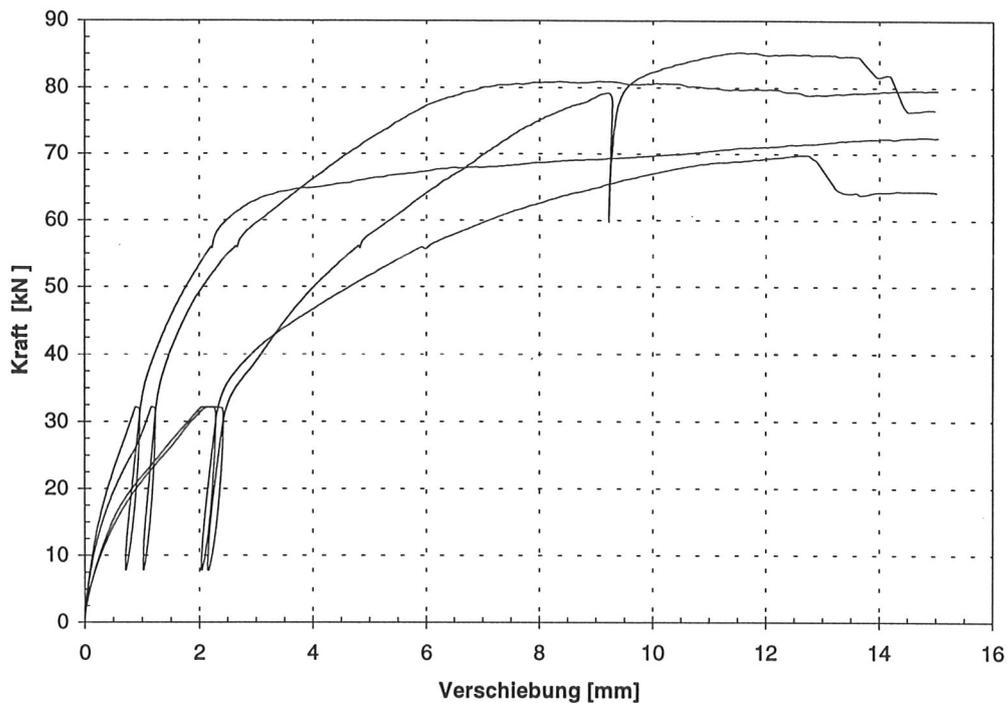


Bild A4-13 Last- Verschiebungskurven der D80Z1B- Serie

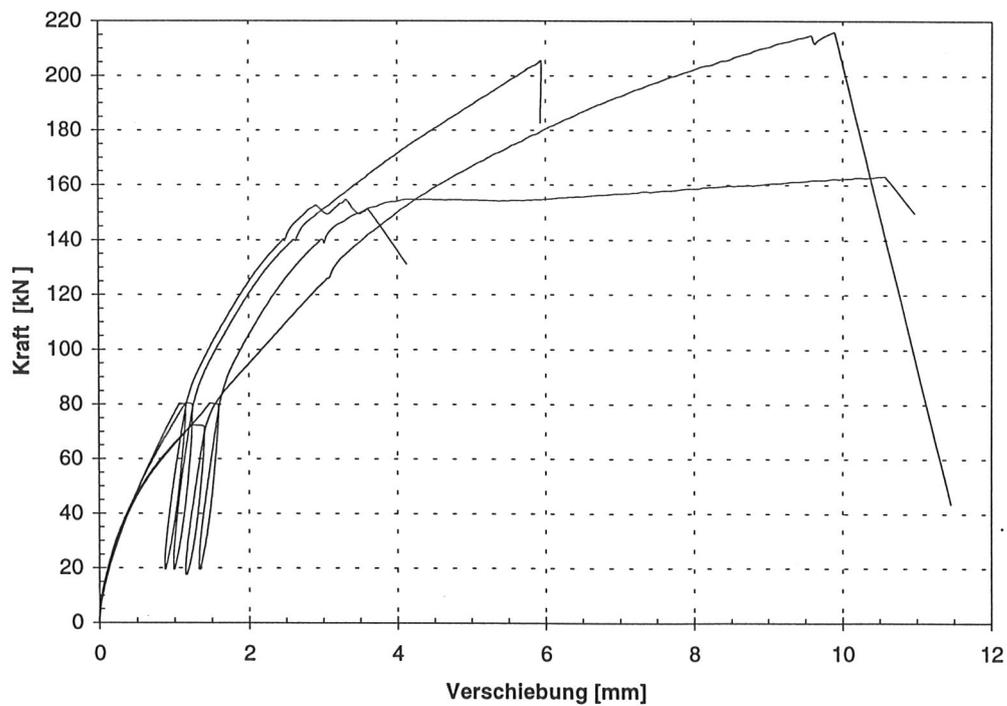


Bild A4-14 Last- Verschiebungskurven der D80Z3B- Serie

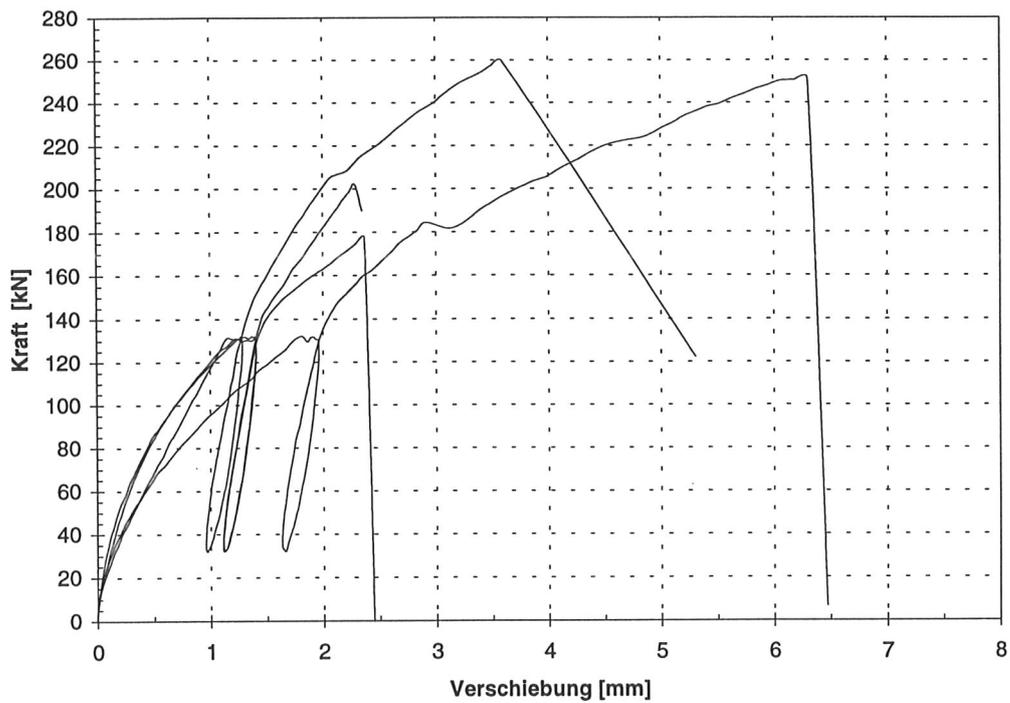


Bild A4-15 Last- Verschiebungskurven der D80Z5B- Serie

Tabelle A4-1 Mittelwerte der Auswertungsparameter der D50Z1- Serie

Dübeltyp D50Z1	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
A	37,0	2,31	1,8	7978	392
B	36,7	2,29	2,1	6492	371
C	38,2	2,39	2,3	6266	365
D	40,9	2,56	1,9	7331	392

Tabelle A4-2 Mittelwerte der Auswertungsparameter der D50Z3- Serie

Dübeltyp D50Z3	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
A	91,6	2,01	1,9	23660	377
B	105,6	2,32	2,1	22483	405
C	108,4	2,38	2,2	21468	396
D	113,2	2,48	1,6	26617	391

Tabelle A4-3 Mittelwerte der Auswertungsparameter der D50Z5- Serie

Dübeltyp D50Z5	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
A	132,4	1,95	1,9	34836	372
B	157,0	2,31	2,5	27821	337
C	183,9	2,70	2,4	26057	406
D	175,9	2,59	1,9	32516	359

Tabelle A4-4 Mittelwerte der Auswertungsparameter der D80Z1B- Serie

Dübeltyp	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	Min
D80Z1	F_{\max}	$F_{\max} / \text{zul } F$	$v (\text{zul } F)$	k_s	ρ
	[kN]	[]	[mm]	[N/mm]	[kg/m ³]
B	77,1	2,27	1,8	19799	398

Tabelle A4-5 Mittelwerte der Auswertungsparameter der D80Z3B- Serie

Dübeltyp	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	Min
D80Z3	F_{\max}	$F_{\max} / \text{zul } F$	$v (\text{zul } F)$	k_s	ρ
	[kN]	[]	[mm]	[N/mm]	[kg/m ³]
B	184,7	1,91	1,7	54863	376

Tabelle A4-6 Mittelwerte der Auswertungsparameter der D80Z5B- Serie

Dübeltyp	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	Min
D80Z5	F_{\max}	$F_{\max} / \text{zul } F$	$v (\text{zul } F)$	k_s	ρ
	[kN]	[]	[mm]	[N/mm]	[kg/m ³]
B	222,8	1,54	1,6	79002	381

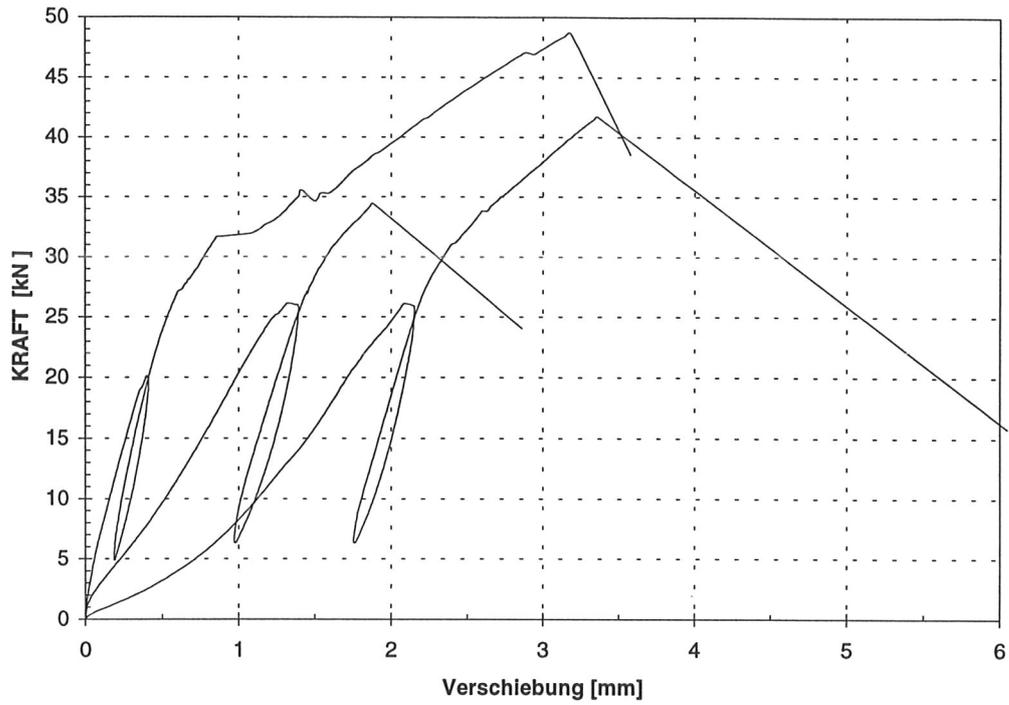


Bild A4-16 Last- Verschiebungskurven der A65Z1A- Serie

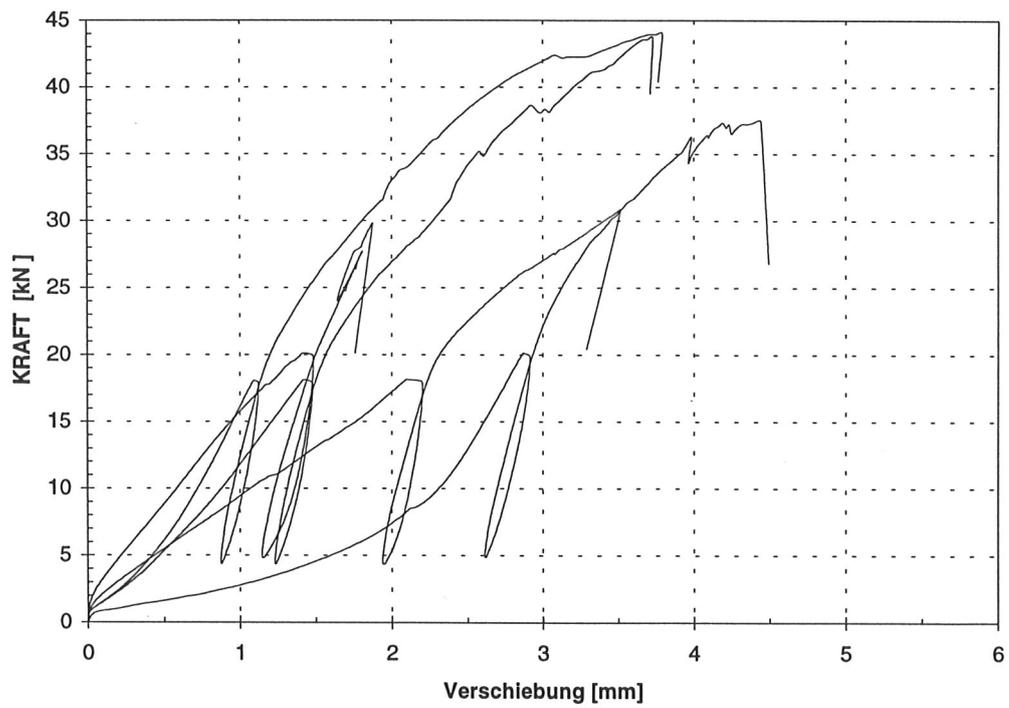


Bild A4-17 Last- Verschiebungskurven der A65Z1B- Serie

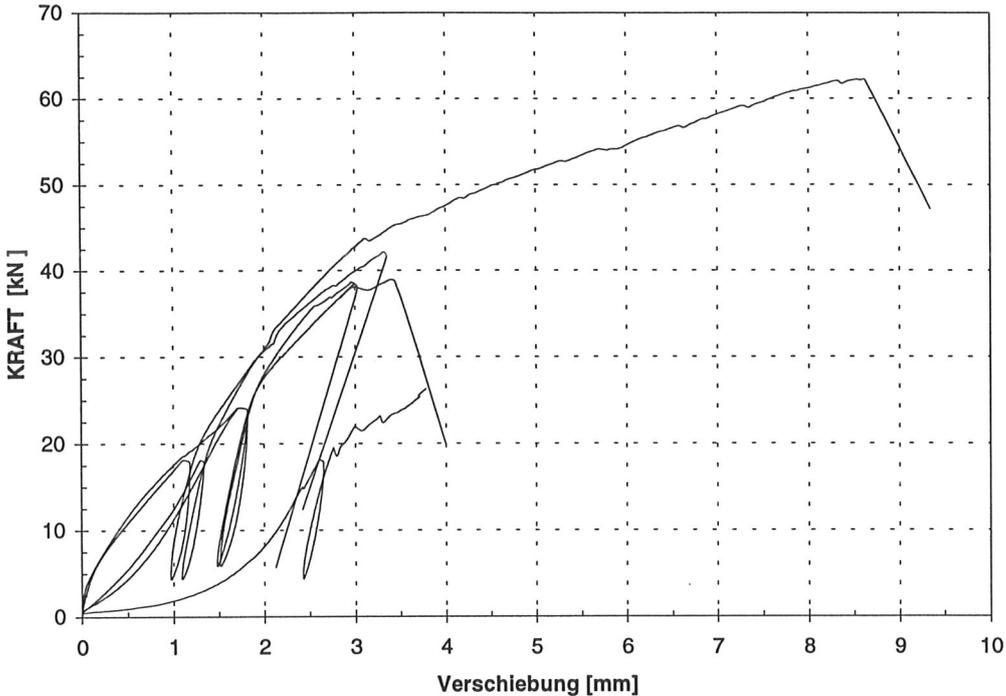


Bild A4-18 Last- Verschiebungskurven der A65Z1C- Serie

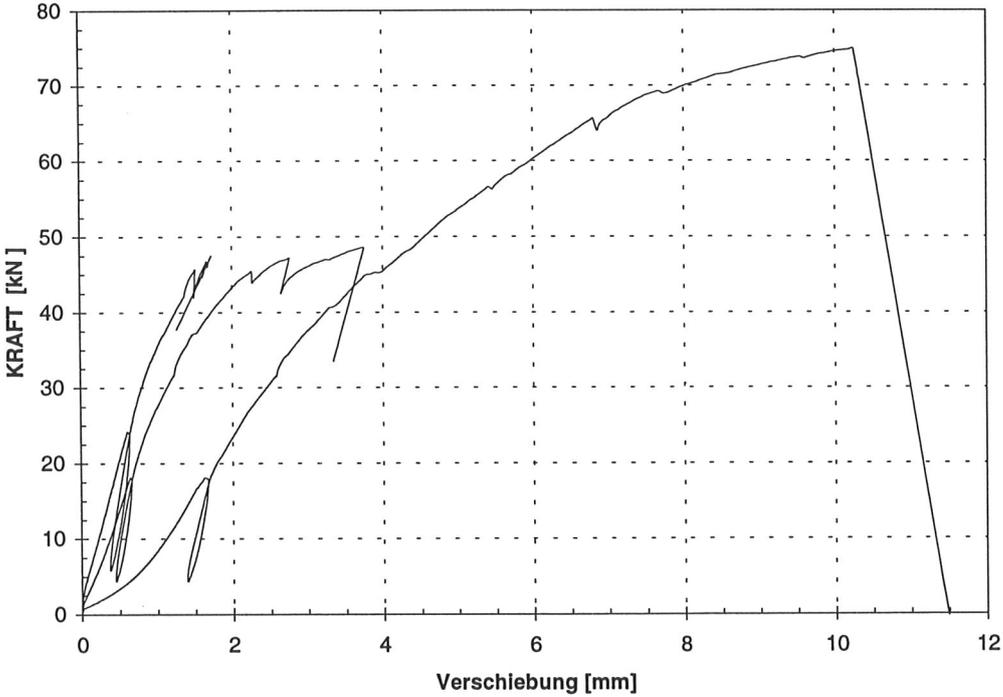


Bild A4-19 Last- Verschiebungskurven der A65Z1D- Serie

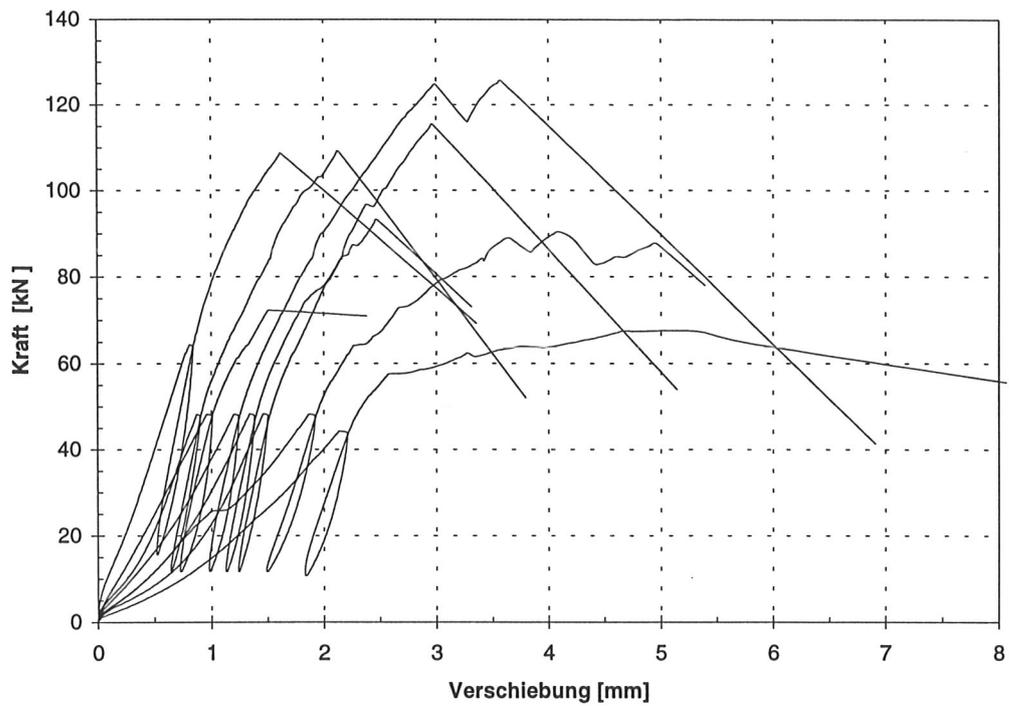


Bild A4-20 Last- Verschiebungskurven der A65Z3A- Serie

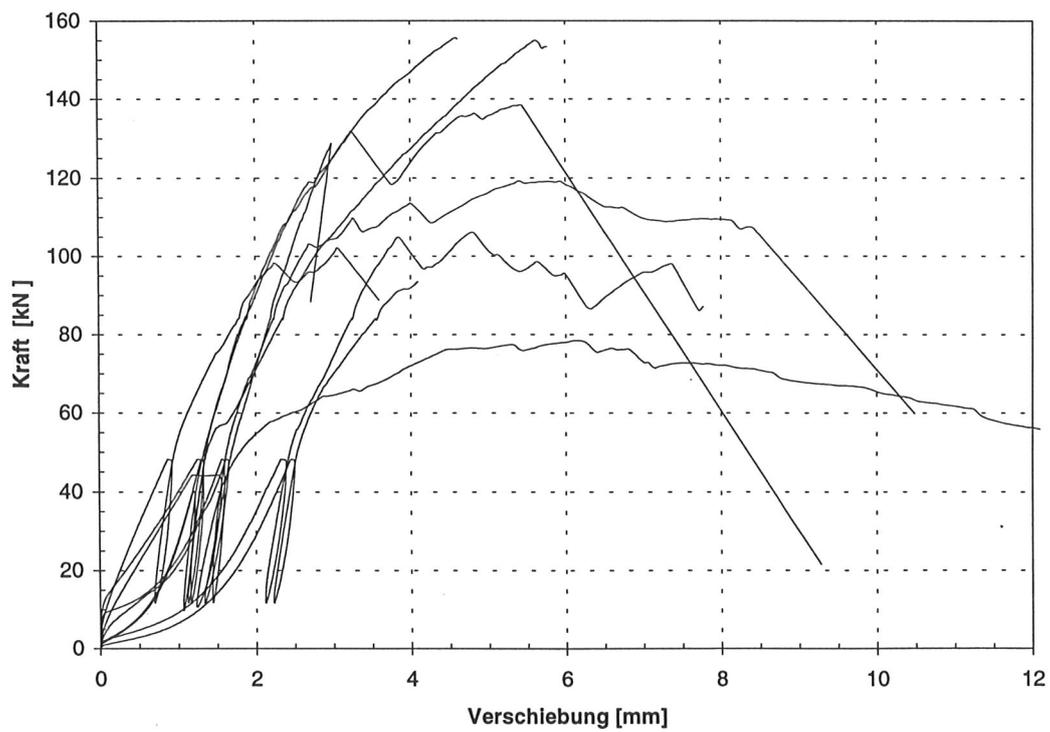


Bild A4-21 Last- Verschiebungskurven der A65Z3B- Serie

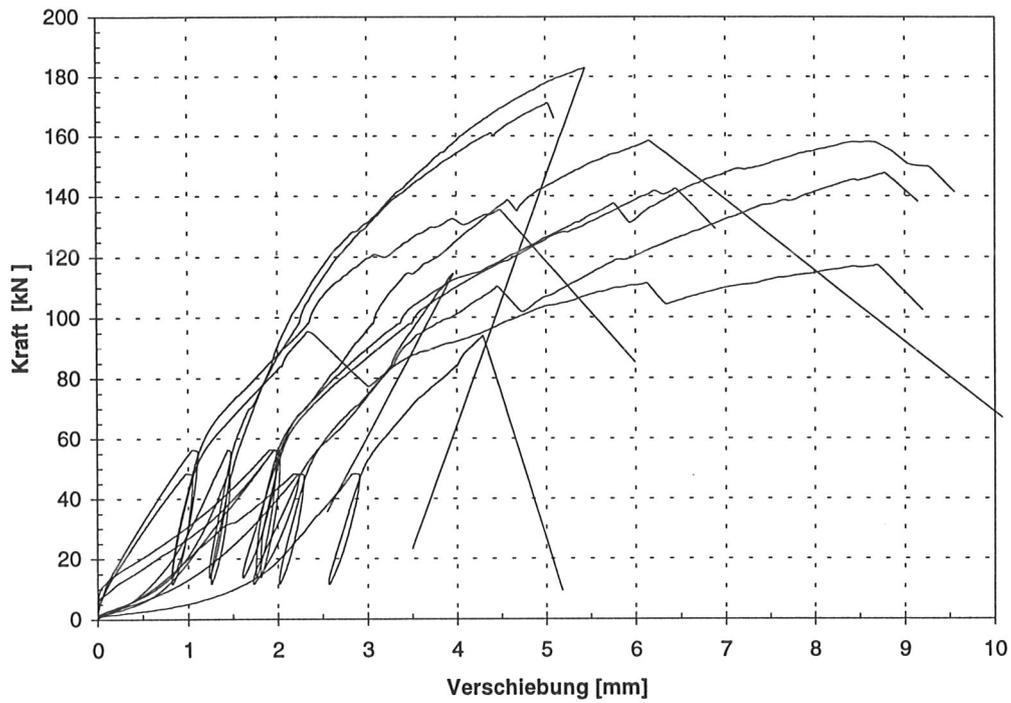


Bild A4-22 Last- Verschiebungskurven der A65Z3C- Serie

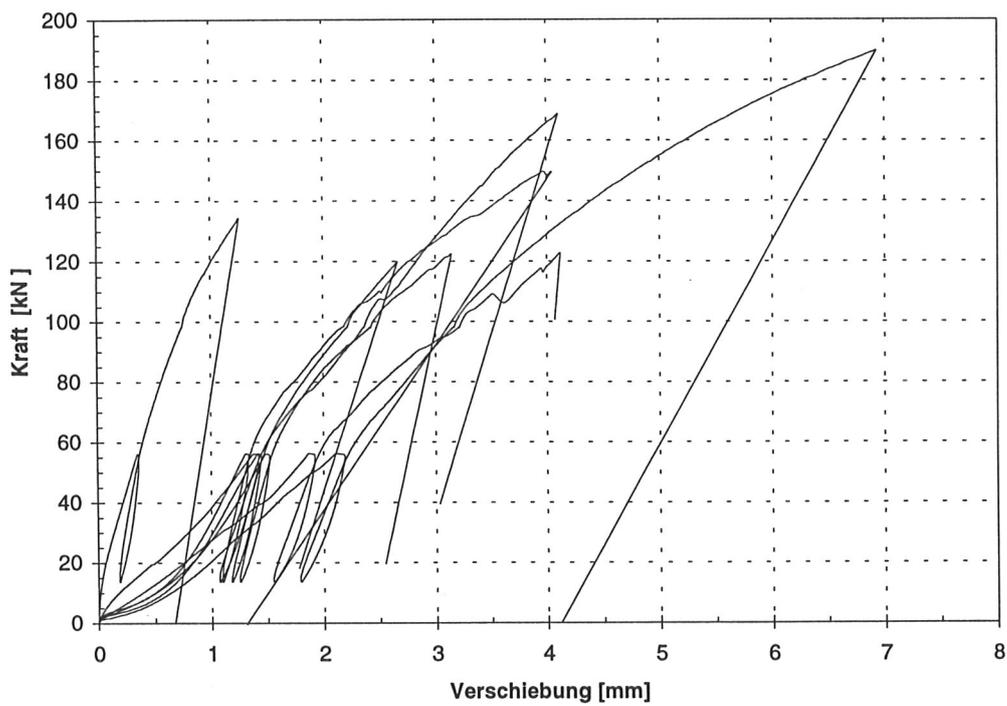


Bild A4-23 Last- Verschiebungskurven der A65Z3D- Serie

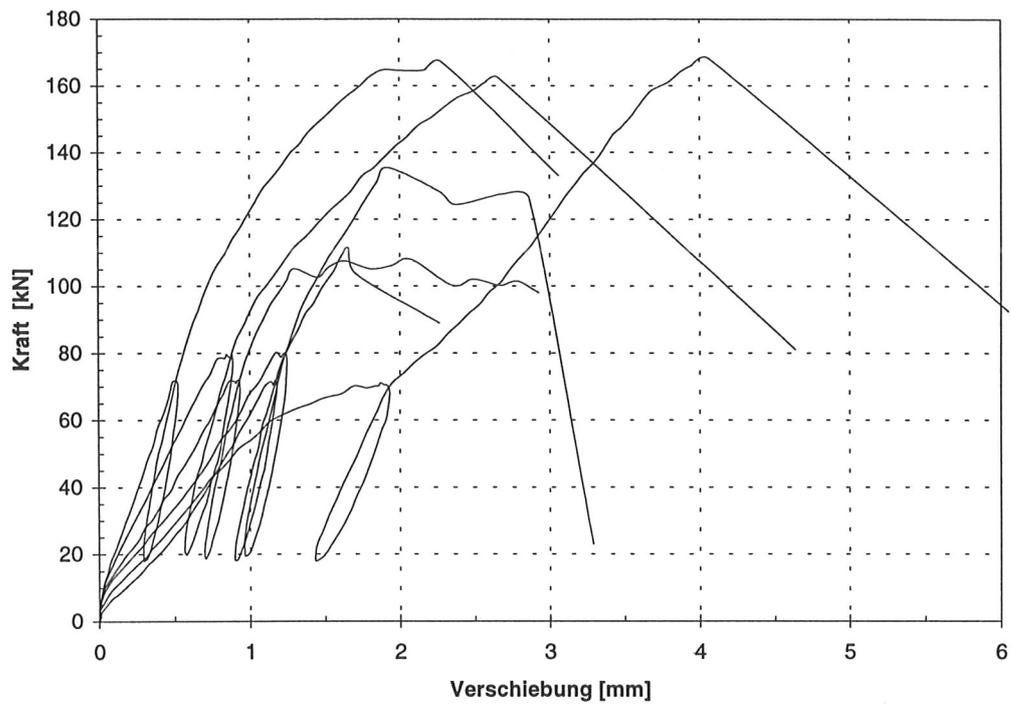


Bild A4-24 Last- Verschiebungskurven der A65Z5A- Serie

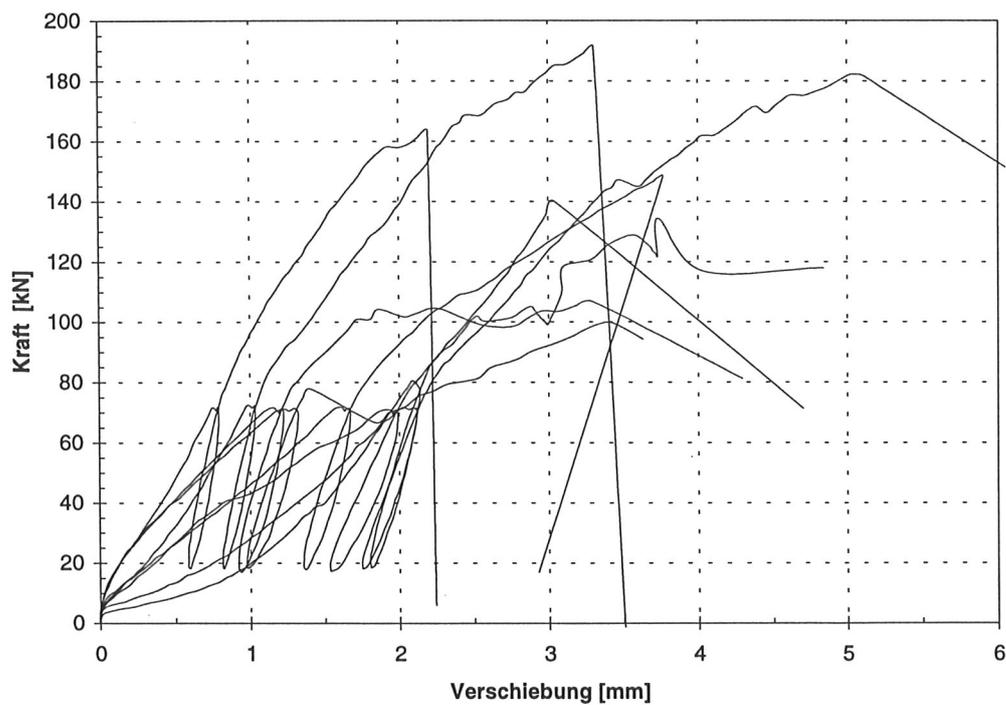


Bild A4-25 Last- Verschiebungskurven der A65Z5B- Serie

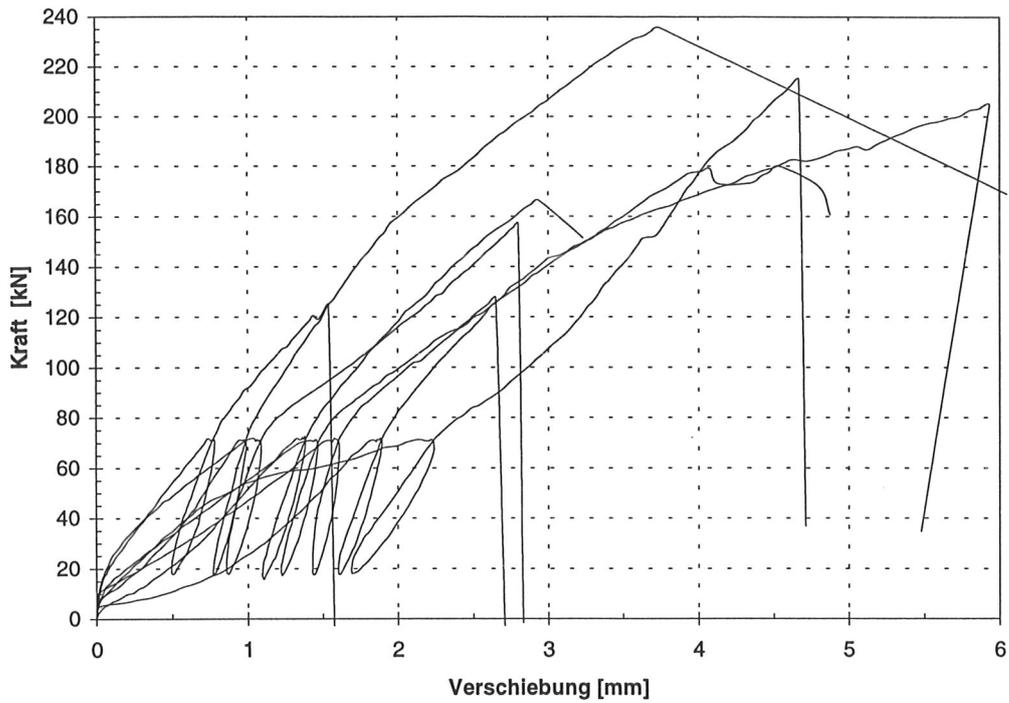


Bild A4-26 Last- Verschiebungskurven der A65Z5C- Serie

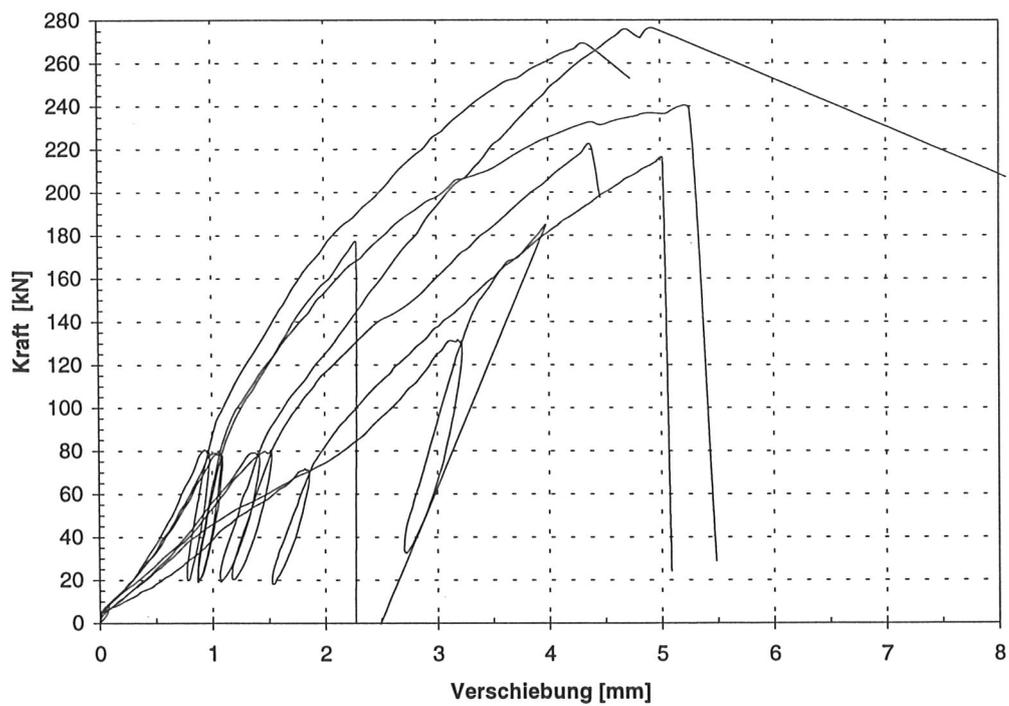
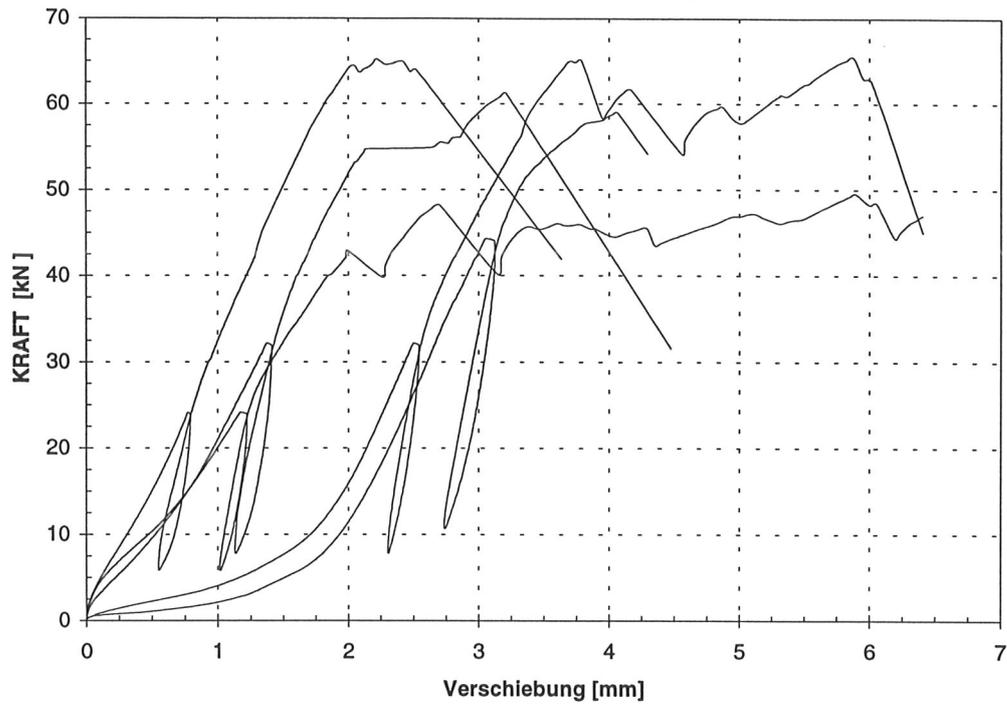
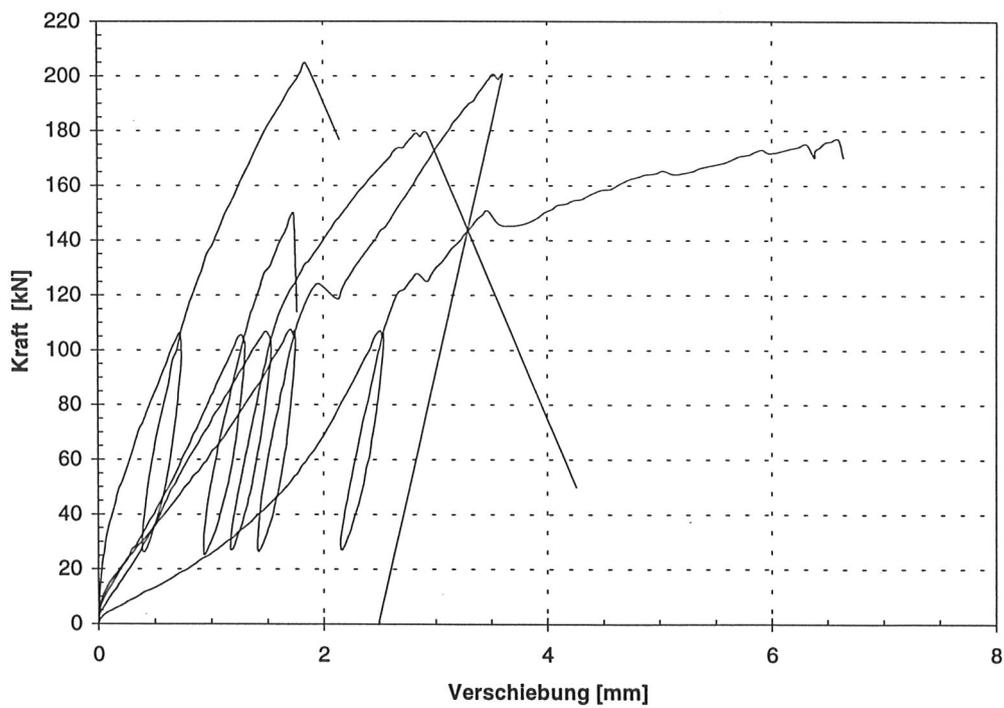


Bild A4-27 Last- Verschiebungskurven der A65Z5D- Serie

**Bild A4-28 Last- Verschiebungskurven der A95Z1B- Serie****Bild A4-29 Last- Verschiebungskurven der A95Z3B- Serie**

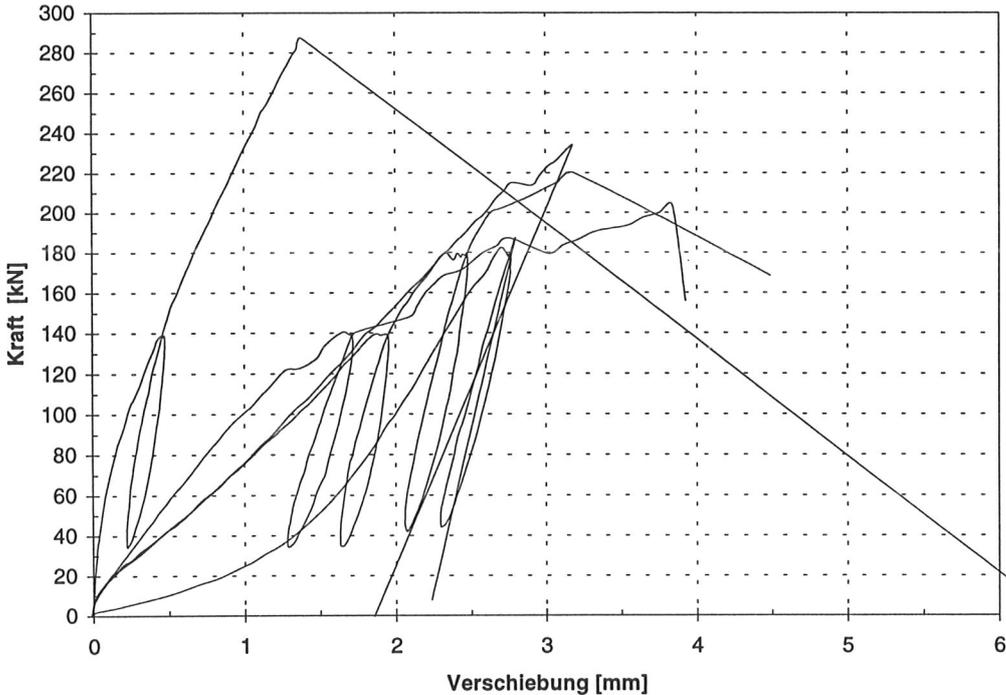


Bild A4-30 Last- Verschiebungskurven der A95Z5B- Serie

Tabelle A4-7 Mittelwerte der Auswertungsparameter der A65Z1- Serie

Dübeltyp A65Z1	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
A	41,6	1,81	1,2	26882	436
B	37,2	1,62	2,1	13099	381
C	41,6	1,81	1,9	14252	381
D	57,0	2,48	1,1	26183	409

Tabelle A4-8 Mittelwerte der Auswertungsparameter der A65Z3- Serie

Dübeltyp A65Z3	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
A	97,8	1,49	1,9	45846	369
B	119,7	1,83	2,1	38257	319
C	142,1	2,17	2,1	36930	381
D	143,8	2,19	1,6	58014	397

Tabelle A4-9 Mittelwerte der Auswertungsparameter der A65Z5- Serie

Dübeltyp A65Z5	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} v (zul F) [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
A	142,1	1,45	1,4	74657	395
B	145,8	1,49	2,1	53575	336
C	176,4	1,80	1,8	54549	328
D	226,1	2,31	1,7	64790	403

Tabelle A4-10 Mittelwerte der Auswertungsparameter der A95Z1B- Serie

Dübeltyp A95Z1	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} $v (\text{zul } F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
B	61,4	1,81	1,9	25763	388

Tabelle A4-11 Mittelwerte der Auswertungsparameter der A95Z3B- Serie

Dübeltyp A95Z3	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} $v (\text{zul } F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
B	182,2	1,88	1,40	78085	379

Tabelle A4-12 Mittelwerte der Auswertungsparameter der A95Z5B- Serie

Dübeltyp A95Z5	\bar{X} F_{\max} [kN]	\bar{X} $F_{\max} / \text{zul } F$ []	\bar{X} $v (\text{zul } F)$ [mm]	\bar{X} k_s [N/mm]	Min ρ [kg/m ³]
B	226,2	1,57	1,7	114207	389