

Zugfestigkeit von Bauteilen aus Brettschichtholz

5. Sachstandsbericht

T 2851/2

T 2851/2

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1999, ISBN 3-8167-5481-3

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

Zugfestigkeit von Bauteilen aus Brettschichtholz

– kurzer 5. Sachstandsbericht zum Februar 1998 –

1. Umfang des ForschungsvorhabensE - 93 / 11

1.1 Literaturstudium, 1.2 Aufbereitung des "Karlsruher Rechenmodells", 1.3 Voruntersuchungen zur Dimensionierung der Prüfkörper bzw. -vorrichtungen, 1.4 Beschaffung des Untersuchungsmaterials, 1.5 Herstellung der Versuchskörper, 1.6 Durchführung von Simulationsrechnungen, 1.7 Durchführung der Zugversuche, 1.8 Auswertung, 1.9 Vergleichende Wertung und Bemessungsvorschläge, 1.10 Abschlußbericht.

2. **Zeitraumen** Bewilligung: 22.07.1993 Ende: geplant 31.07.1995
(verlängert \geq 1997)

3. Stand der Bearbeitung

Dem Beschluß der letzten Arbeitsgruppensitzung folgend wurden 20 Versuchs-Prüfkörper (Teilmenge 2) mit jeweils gleichen Querschnitts-Abmessungen ($B / H \approx 320 / 120$ mm) und gleichem Querschnitts-Aufbau (Lamellenanzahl / Orientierung: 10 / hochkant) sowie gleichen Prüflängen (5070 mm) nach Anweisungen bzw. Überwachung durch den Forschungspartner UNI-Karlsruhe hergestellt und bis Okt./ Nov. 97 an das MPA der TU München geliefert.

Zuvor waren (am 12.08.96) der UNI-Karlsruhe Ergebnisse (in Kurzform) aus 10 "Vor"versuchen (Teilmenge 1) übergeben worden, welche insbesondere für das "Karlsruher Rechenmodell" zunächst von Bedeutung waren (u.a. auch im 4. Sachstandsbericht enthalten).

Am 17.12.97 wurden nunmehr auch die Versuche zur Teilmenge 2 abgeschlossen. Erste Ergebnisse (Bruchlasten, Last/Dehnung-Werte, Materialkenngrößen) sind am 15.01.98 an die UNI-Karlsruhe weitergegeben worden.

Im Zuge der Ausarbeitung dieses 5. Sachstandsberichtes sind nachfolgend (in zusammenfassender Form: Teilmenge 1 und 2 umfassend), neben Ergänzungen zur Prüf- und Meßvorrichtung, insbesondere bisher noch nicht mitgeteilte Einzelheiten zur Versuchsdurchführung, zum Last-Verformungs-Verhalten sowie zum Bruchgeschehen beschrieben bzw. dargestellt.

4 Beschreibung der experimentellen Untersuchung

Das Materialprüfungsamt der TU München (MPA) hatte planungsgemäß den Auftrag übernommen, die Versuche zur Ermittlung des Last-Verformungs-Verhaltens von BS-Holzbauteilen (in dem hier vorgesehenen Abmessungsbereich $B / H \approx 400/100 \dots 200/200$ mm²) durchzuführen. Die erforderliche Prüf- und Meßvorrichtung wurde am Fachgebiet Holzbau der TU München in enger Zusammenarbeit mit dem MPA entwickelt und im MPA hergestellt (Eigenbau). Die Durchführung der Versuche (Versuchsleitung: Dipl.-Ing. W. Kelletshofer, MPA) wurde wissenschaftlich betreut über das Fachgebiet Holzbau (Projektleitung: Dr.-Ing. R. Spengler).

Es waren zunächst 10 Vorversuche durchgeführt worden, die hinsichtlich Abmessung (Querschnitt, Länge) sowie Prüfanordnung (Lamellen hoch- oder flachkant) unterschiedlich gestaltet waren, um eventuelle Auswirkungen dieser Einflußparameter in Erfahrung zu bringen. Darüber hinaus sollten diese Vorversuche auch dazu dienen, die Tauglichkeit der Prüfvorrichtung für die relativ hohen Bruchlasten zu testen. Die Ergebnisse der Festigkeitsprüfungen waren plausibel, die Prüfvorrichtung konnte im Ganzen als sehr gut geeignet eingestuft werden. Insofern waren auch keine Bedenken in der seinerzeitigen Arbeitsgruppe, diese Vorversuche als Hauptversuche zu werten.

Aufgrund dieser Wertung haben es alle Beteiligten für vertretbar gehalten, die Anzahl der bislang geplanten Hauptversuche zu reduzieren, sodaß letztlich nur noch **20** baugleiche Prüfkörper (jedoch unterschiedlicher BS-Holzklassen BS 16, BS 18 sowie Materialstreungen bei den Lamellen) für die abschließenden Festigkeitsprüfungen vorgesehen werden konnten.

Die BS-Holzbauteile beider Teilmengen waren jeweils nach Vorgaben durch die UNI-Karlsruhe aus zuvor gezielt entnommenen Brettlamellen aufgebaut worden. Die Entnahme der Lamellen war vom Forschungspartner UNI Karlsruhe durchgeführt worden, der auch die entsprechend gemessenen Materialkenngrößen zur Verfügung hat. Das im Zuge der Festigkeitsprüfungen am MPA bzw. im Rahmen der Auswertung am Fachgebiet Holzbau gewonnene Datenmaterial zum Tragverhalten wurde jeweils an die UNI-Karlsruhe weitergegeben, wo es insbesondere dazu dienen soll, die dort durchgeführten Berechnungen auf der Basis des "Karlsruher Rechenmodells" zu überprüfen.

4.1 Prüf- und Meßvorrichtung

In den bisherigen Sachstandsberichten wurde die Prüf- und Meßvorrichtung hinsichtlich ihrer wesentlichen Teile dargestellt und erläutert (Einspannbacken für $40 \times 80 \text{ cm}^2$, Klemmkrafteinleitung für 1000 kN, Zugkraftübertragung für maximal 2000 kN, Meßgestänge für maximal 200 cm Meßbasis). Insbesondere die Bilder 1 mit 4 (in der Anlage zum 3. Sachstandsbericht) sowie die in Anlage 3 (Blatt 1, 3, 6 und 11) des 4. Sachstandsberichtes zusammengestellten Bilder vermitteln das Prinzip der Wirkungsweise der Zugprüfvorrichtung (ergänzende Bilder s. Anlage 01, Blatt 05 und 06 in diesem Bericht).

Die Genauigkeit der Krafteinleitung war $\approx \pm 20 \text{ kN}$ (im relevanten Lastbereich), die Messung der Längenänderungen war durchschnittlich mit einem Fehler von etwa $\pm 0,005 \text{ mm}$ behaftet.

Zur Messung der Holzfeuchte wurde ein handelsübliches Gerät zur elektrischen Widerstandsmessung verwendet, mit einer Genauigkeit von $\approx \pm 1\%$. Das PK-Gewicht wurde auf $\approx \pm 1 \text{ kg}$ genau ermittelt (bei durchschnittlich $\approx 130 \text{ kg}$ Gesamtgewicht), die Abmessungen mit einer Genauigkeit Länge / Breite / Dicke von $\approx \pm 10 / \pm 1 / \pm 1 \text{ mm}$.

Im Zuge der Festigkeitsprüfung war die Abfragerate pro Meßwertgeber etwa **eine** Sekunde. Wegen dem jeweils hohen Risiko der Geberbeschädigung beim Bruch, wurden diese auf einem "ungefährlichen" Niveau von durchschnittlich 10% der zu erwartenden Bruchlast abgenommen. Von da an bis zum Bruch wurde jeweils nur noch die Relativ-Verschiebung der Einspannbacken gemessen.

4.2 Versuchsdurchführung

4.2.1 Vorversuche (Teilmenge 1)

Die Versuchsdurchführungen der Teilmenge 1 **unterscheiden sich** im Wesentlichen dadurch, daß sowohl die Querschnitte (ca. 18/18, 18/21, 9/36 und 8/40 cm) als auch die Prüflängen (350 und 500 cm) variiert werden mußten. Darüber hinaus waren einige Prüfkörper an den Enden gegenüber der PK-Mitte breiter (gestaffelt) ausgebildet, u.a. zur Optimierung der Krafteinleitung.

4.2.2 Hauptversuche (Teilmenge 2)

Die Versuchsdurchführungen der Teilmenge 2 umfassen Versuche mit nur **einer Querschnittsform** (ca. 12/32 cm), nur **einer Prüflänge** (ca. 500 cm), jedoch **unterschiedlichen** Festigkeitsklassen (...BS16 ...BS18). Sämtliche Prüfkörper hatten über die **ganze Länge die gleiche** Querschnittsform.

Sowohl die Vorversuche als auch die Hauptversuche wurden nach jeweils ähnlichem Belastungsschema durchgeführt (in Anlehnung an EN 26 891, siehe Anlage 01, Blatt 04) und zwar:

- (1) Erstbelastung in Stufen $/F_a$ (Warten 30s), $\backslash F_b$ (Warten 30s), $/F_c$ (Warten 30s), .. F_b , .. F_a , ..0, mit F_c ...ca. $\leq 30\%$ der erwarteten Bruchlast (ca. \leq zul. Zugbelastung).

- (2) Nach Überprüfung der Ergebnisse aus (1) wurde unmittelbar anschließend die eigentliche Festigkeitsprüfung gestartet in Stufen $/F_d$ (Warten 30s), $\backslash F_e$ (Warten 30s), $/F_1$ (Warten 30s), $\backslash F_e$ (Warten ca. 120s bis zum Abnehmen der Meßwertgeber) mit $F_1 \dots ca. \leq 75\%$ der erwarteten Bruchlast.

Das (Zug) Kraft-Verformungs-Verhalten dieses Belastungsabschnittes ist für jeden Prüfkörper in Anlage 02 dargestellt. Die jeweils aufgebrachte Zugkraft ist als **max F1** bzw. **max Zugspannung-1** eingetragen.

- (3) Abschließend wurde vom Niveau F_e aus (ca. 10% der erwarteten Bruchlast) die Zugkraft kontinuierlich (weggesteuert) bis zur Bruchlast F_2 aufgebracht.

Auf die Darstellung des zugehörigen Kraft-Verformungs-Verlaufes wurde verzichtet, da in diesem Belastungsabschnitt die Messung der Längenänderungen nur entlang einer Prüfkörperseite (unsymmetrisch) angeordnet und lediglich die Relativverschiebung der Einspannbacken (nur ca. $\pm 5\%$ genau) gemessen worden war.

In den Diagrammen der Anlage 02 sind jedoch die in diesem Belastungsabschnitt jeweils erreichten Bruchlasten als **max F2** bzw. **max Zugspannung-2** eingetragen.

Die gesamte Versuchsdauer von (1) bis (3) betrug durchschnittlich etwa 20 Minuten. Jeder Prüfkörper versagte mit einem mehr oder weniger lauten "knisternd-berstend-krachenden" Knall.

4.3 Bruchgeschehen

4.3.1 Bruchursachen

Im Allgemeinen können bei Zugbeanspruchung schon kleine Störungen im "harmonischen" Wuchs der BS-Holz-Lamellen bzw. im BS-Holz-Aufbau bruchauslösend sein. Bei den hier durchgeführten Versuchen war aber erst ab einer gewissen Größenordnung der Störung eine tendenzielle Zuordnung wie folgt möglich:

	(11: sichtbare kleinere Störung ...	:99) allein bruchauslösend
vorher	(12: sichtbare größere Störung ...	war später :91) u.a. auch bruchauslösend
	(21: unentdeckte kleinere Störung ...	:09) nicht auslösend-gebrochen
	(22: unentdeckte größere Störung ...	:01) nicht auslösend-intakt
	(31: nicht erkennbare kleinere Störung ...	:00) am Bruch unbeteiligt
	(32: nicht erkennbare größere Störung ...	

Zur Beschreibung der Bruchursachen wurde das hinsichtlich des : **Störungstyps** : ergänzte Schema verwendet, wie z.B.:

(21: **4231** :91) für ... unentdeckte kleinere Störung(en), die aber offensichtlich allein bruchauslösend gewesen war(en).

Hierbei stehen die **Zahlen** 1 für Ast und 9 für eine Astansammlung
 1, 2, 3, 4 ...6 ...9 2 für Faserabweichungen
 3 für sonstige Holz-Qualitäts-Mängel
 4 für Keilzinkung 6 für **mehrere** Keilzinkungen.

Die Reihenfolge der Zahlen beschreibt die **geschätzte** Rangfolge des Störungseinflusses auf das Bruchgeschehen. Die Bruchursachen sind in Anlage 01 dieses Berichtes, Blatt 02 zusammengestellt. Zur Ergänzung dienen die fotografischen Abbildungen in Anlage 3 des 4. Sachstandsberichtes sowie in Anlage 03 dieses Berichtes.

4.3.2 Bruchtypisierung

Je nach geometrischer Verteilung der Störungen im Prüfkörper und abhängig von der Lage der bruchauslösenden Störung(en), können sehr unterschiedliche Bruchbilder (Gesamtheit der Rissverläufe) entstehen. Zur vergleichenden Auswertung wurde nachfolgendes Schema verwendet:

K oder 1	... für kurzer Bruchbereich ...	$\leq 2 \times H$... (H ... Prüfkörperhöhe)
N oder 3	... für normale Bruchausbreitung	$> 2 \dots < 4 \times H$	
L oder 5	... für langer Bruchbereich	$\geq 4 \times H$	
W oder 1	... für wenige Längsrißebenen ...	≤ 2	
N oder 3	... für normale Längsrißausbildung	$> 2 \dots < 4$	
V oder 5	... für viele Längsrißebenen	≥ 4	

Somit beschreibt z.B. die Angabe **LN oder 53** einen Bruchtyp mit **langem** Bruchbereich bei **normaler** Längsrißausbildung. In Anlage **01**, Blatt **03** sind die Bruchtypisierungen zusammengestellt. Auch hier können die fotografischen Abbildungen in Anlage **3** bzw. Anlage **03** zur Ergänzung herangezogen werden.

4.4 Versuchsergebnisse

4.4.1 Vorversuche (Teilmenge 1)

Hierzu wurden im 4. Sachstandsbericht schon die wesentlichen Ergebnisse mitgeteilt (siehe dort die Anlagen **1**, **2** und **3**). Im Einzelnen sind dort Angaben bzw. Abbildungen enthalten zu...

- ...Rohdichte, ...ZugEmoduln, ...Bruchspannungen, ...Bruchdehnungen (Anlage **1**)
- ...Zugkraft - Verformungs - Verhalten (**Diagramme** pro Prüfkörper, Anlage **2**)
- ...Meßvorrichtung, ...Bruchverhalten (**Fotos** pro Prüfkörper, Anlage **3**).

Als primär bedeutsames Ergebnis sollen hier die erreichten Bruchspannungen hervorgehoben werden (Kleinstwert $17,3 \text{ N/mm}^2$, Mittelwert $29,2 \text{ N/mm}^2$, Größtwert $40,1 \text{ N/mm}^2$). Hinsichtlich der Extremwerte kann (mit einem gewissen Vorbehalt wegen der relativ kleinen und uneinheitlichen Serie) festgestellt werden, daß bei höherer PK-Rohdichte in der Tendenz höhere Bruchspannungen erreicht wurden.

4.4.2 Hauptversuche (Teilmenge 2)

Hierzu wurden dem Forschungspartner UNI-Karlsruhe vorab schon Ergebnisse mitgeteilt (vgl. hierzu Anlage **01**, Blatt **01** dieses Berichtes), die folgende Kenngrößen betreffen:

- ...Rohdichte, ...ZugEmoduln, ...Bruchspannungen, ...Bruchdehnungen.

Weitere Informationen werden in diesem Bericht zum Trag- und Verformungsverhalten in Anlage **02**, zum Bruchgeschehen in Anlage **03** sowie zur Verteilung der Kenngrößen Bruchspannung, Rohdichte und ZugEmodul in Anlage **04** gegeben.

Als primär bedeutsames Ergebnis können auch hier zunächst die erreichten Bruchspannungen dienen (Kleinstwert $19,2 \text{ N/mm}^2$, Mittelwert $29,1 \text{ N/mm}^2$, Größtwert $39,1 \text{ N/mm}^2$). Hinsichtlich der Extremwerte gibt es auch bei der Teilmenge 2 die Tendenz, daß bei höherer PK-Rohdichte höhere Bruchspannungen erreicht wurden.

4.4.3 Zusammenfassende Beurteilung

Da sowohl die Prüfkörper innerhalb jeder Teilmenge als auch die Teilmengen selbst hinsichtlich einiger Merkmale nicht ohne weiteres vergleichbar sind, erscheint eine gruppierte Betrachtung geboten. Hierzu wurde folgende Gruppierung als sachdienlich erachtet:

- Querschnittsform (B / H) und Orientierung (hoch- oder flachkant) der Lamellen
- Prüfkörper **ohne** oder **mit** Kopfaufweitung (Kaw)
- Prüflänge (PrL \approx 350 bzw. \approx 500 cm)
- Rohdichte (Roh: ...<400 / ...<425 / ...<450 / ...<475 / ...<500 / ...<525 kg/m³)
- ZugEmodul (ZEm: ...<10000 / ...<13000 / ...<16000 / ...<19000 N/mm²).

Diese Einteilung führt zu folgenden PK-Gruppen: (Holzfeuchte 12±1% bezogen auf sämtliche PK)				Bruchspannung N / mm ²		
				vvvvvvvv		
• G1: N= 2	B/H \approx 1,0	f-kant mit Kaw, PrL \approx 350	Roh \approx 432	ZEm \approx 11172	23,8	
• G2: N= 2	1,2	h-kant mit Kaw, 350	420 / 472	13840 / 18478	25,3	
• G3: N= 4	4,0 / 5,0	h-kant mit / ohne Kaw, 350	455 / 504	13111 / 16346		
	i.M.: 4,5	350	477	14264	31,7	
• G4: N=14	2,6	h-kant ohne Kaw	500	464	12437	26,5
• G5: N=2	5,0	h-kant ohne Kaw	500	469	14592	33,8
• G6: N=6:	2,6	h-kant ohne Kaw	500	489	14537	35,3
• G1 ...umfaßt die PK-Nr.:		min: 04 und 03 :max				
• G2		min: 01 und 02 :max				
• G3		min: 05, 06, 08 und 07 :max				
• G4		min: 116, 117, 120, 113, 112, 115, 111, 119, 118, 114, 105, 107, 101 und 108 :max				
• G5		min: 10 und 09 :max				
• G6 (> BS 16 ... \leq BS 18)		min: 102, 106, 109, 103, 110, 104 :max				

Die Holzqualität der Prüfkörper kann (mit Ausnahme der Gruppe G6) etwa der Güte > BS 11 bis \leq BS 16 zugeordnet werden bzw. resultiert aus der Qualität der zugehörigen Lamellen S10 bis \leq S13. Die Prüfkörper der Gruppe G6 waren hinsichtlich der Lamellenqualität durchschnittlich der Güte BS 18 entsprechend, abgesehen von der Anordnung der Keilzinkenstöße. Diese waren teilweise extrem wenig versetzt (in einzelnen Fällen bei unmittelbar benachbarte Lamellen < 15 cm!).

Durch die nicht immer hinreichende PK-Anzahl pro Gruppe (\geq 2 ... \leq 14) lassen sich anhand der vorstehenden Zusammenstellung nur bedingt folgende Tendenzen ableiten:

- (1) bei höherer (mittlerer PK-)Rohdichte wurden höhere Bruchspannungen erreicht
- (2) a das durchschnittliche Bruchspannungsniveau der quadratischeren Querschnitte war vergleichsweise niedriger, jedoch ...
- (2) b ... könnte hierbei auch die Kopfaufweitung (durch gestaffelt angeleimte Lamellen) eine ungünstige Auswirkung (Spannungsspitzen an den Lamellenstufen) gehabt haben
- (3) durchschnittlich ist der ZugEmodul höher bei höherer Rohdichte
- (4) mit den hier untersuchten BS 18 - PK wurden i.M. etwa 15 % höhere Bruchlasten erreicht, gegenüber sonst ähnlichen (vergleichbaren) BS 16 - Prüfkörpern (G3, G4 und G5).

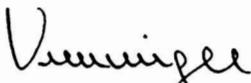
Inwieweit bei BS 18 -Zugbauteilen mit günstigerer Versetzung der Keilzinkenstöße noch höhere Bruchlasten erreicht werden können, muß zunächst offen bleiben. Die in der Praxis unvermeidlichen Keilzinkenstöße sollten bei unmittelbar benachbarten Lamellen jedoch stets mit ≥ 30 cm versetzt angeordnet werden, da in allen hier untersuchten Fällen die Keilzinkenstöße das Bruchverhalten beeinflussen bzw. überwiegend bruchauslösend waren.

Insgesamt kann das Kraft-Verformungs-Verhalten bis in den Bereich von ≥ 80 % der erreichbaren Bruchlast als annähernd linear in Rechnung gestellt werden.

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte (neben den eigentlichen Festigkeitprüfungen an insgesamt 30 BS-Holz-Zugprüfkörpern 18×18 bis 40×8 cm², Längen ≈ 500 und ≈ 700 cm) realisiert bzw. gezeigt werden, daß die Einleitung vergleichsweise sehr großer Zugkräfte (hier bis zu ≈ 1500 kN) allein über Reibung, bei gleichzeitig einwirkendem (konstanten) Querdruck von $\approx 3,0$ N/mm² im Verankerungsbereich (40×80 cm²), hinreichend sicher möglich ist. Verstärkungen oder spezielle Ausformungen am Holz im Verankerungsbereich sind bzw. waren hierbei nicht erforderlich.

München, im Februar 1998

• Fachgebiet Holzbau



UNIV. -PROF. DR.-ING. H. KREUZINGER

• Projektleitung



DR.-ING. R. SPENGLER
TEL.: 089 / 2892 - 2098

Forschungsvorhaben E - 93 / 11

Zugfestigkeit von Bauteilen aus Brettschichtholz

– kurzer 5. Sachstandsbericht Februar 1998 –

Anlage 01

Blatt 01 (Stand: 14.01.98)

Kenngrößen pro BSH-Prüfkörper
Versuchsergebnisse zur Teilmenge 1 = 20 Prüfkörper

Blatt 02 und Blatt 03 ... sind noch in Bearbeitung

Blatt 04 (Stand: 26.02.98)

... Belastungsschema

Blatt 05 (Stand: 26.02.98)

... ergänzende Bilder zur Prüfvorrichtung

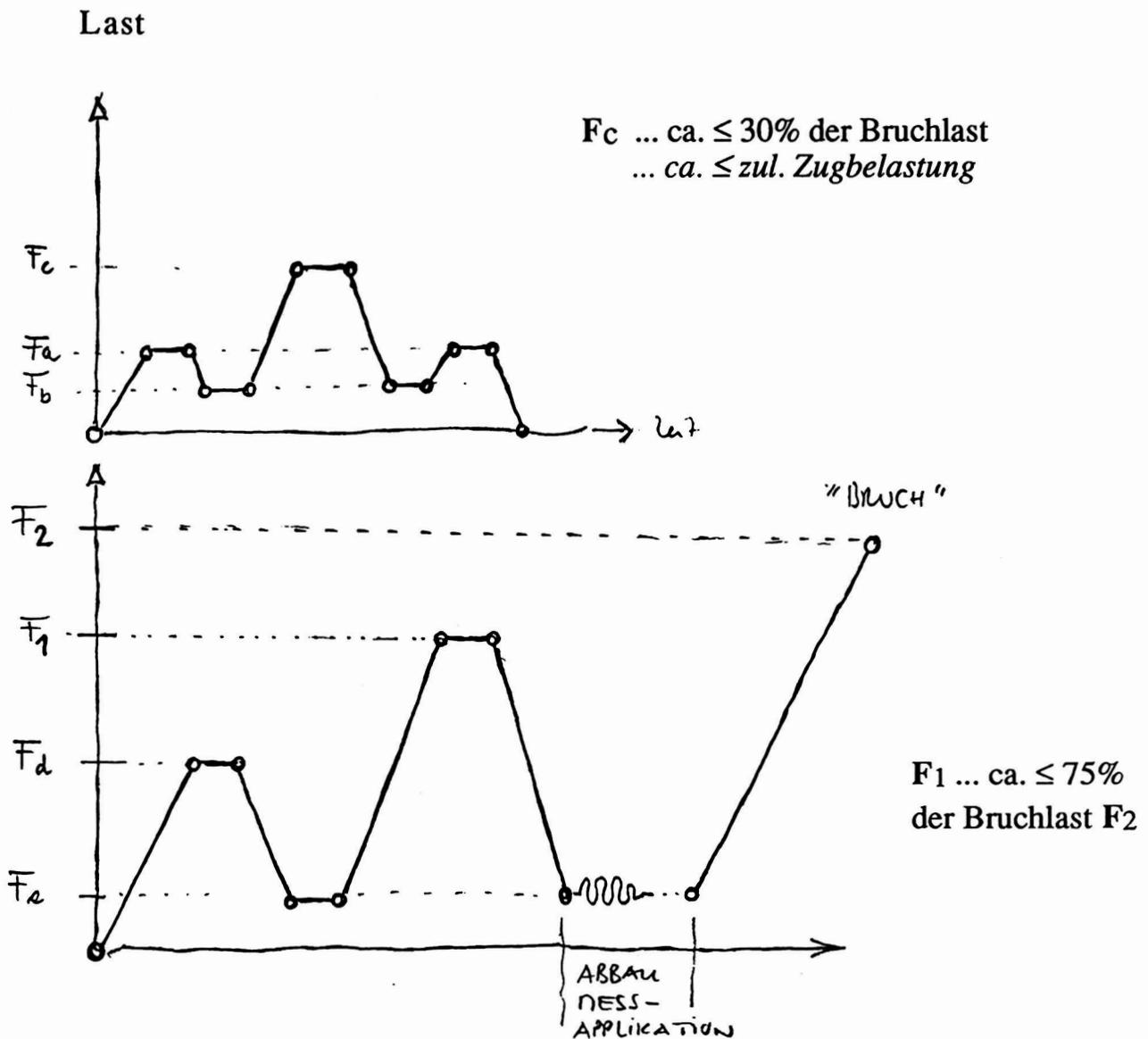
Blatt 06 (Stand: 26.02.98)

... ergänzende Bilder zur Meßvorrichtung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN INSTITUT FÜR TRAGWERKSBAU FACHGEBIET HOLZBAU															
Forschungsvorhaben E - 93 / 11		"Zugfestigkeit von Bauteilen aus Brettschichtholz"										Ergebnisse zu den Versuchen "2. Teilmenge - 20 Prüfkörper"		14.01.98	
B S H - Z U G F E S T I G K E I T (Materialkenngrößen, Versuchsergebnisse und Teilauswertung)															
Prüf- körper	Rohdichte (kg/m ³)	Breite (±1mm)	Höhe (±1mm)	Fläche (±1,3% mm ²)	Last bei (kN)	Spannung (N/mm ²)	zug. ΔL (mm)	zug. Sek. E. mod. (N/mm ²)	Dehnung (0,00)	Bruch bel. (kN)	Bruch bel. (N/mm ²)	zug. ΔL (mm)	zug. Sek. E. mod. (N/mm ²)	Dehnung (0,00)	Rohdichte / Bruchspannung
Lamellen:	01	483	120	37800	959	25,4	3,61	14056	1,81	1229	32,5	14,36	11463	2,88	14,9
	03	483	120	38400	959	25,0	3,44	14520	1,72	1280	33,3	21,25	7942	4,26	14,5
hochkant:	02	483	120	38400	959	25,0	3,76	13284	1,88	1354	35,3	15,93	11222	3,19	13,7
	10	492	119	37485	959	25,6	3,60	14213	1,80	1466	39,1	19,27	10290	3,85	12,6
	09	490	120	37320	958	25,7	3,42	15012	1,71	1117	29,9	11,27	13465	2,25	16,4
Meßlänge:	07	475	120	37320	956	25,6	3,74	13699	1,87	1257	33,7	12,64	13510	2,53	14,1
	08	473	120	37440	959	25,6	3,76	13625	1,88	1209	32,3	13,36	12254	2,67	14,6
Prüflänge:	05	490	120	37800	957	25,3	3,72	13612	1,86	1280	33,3	16,06	10523	3,21	14,7
	06	498	120	38400	958	24,9	3,22	15496	1,61	1293	33,7	13,75	12416	2,75	14,8
	04	505	120	38400	959	25,0	3,12	16009	1,56	1403	36,5	14,78	12533	2,96	13,8
	20	450	120	38400	749	19,5	3,62	10776	1,81	974	25,4	13,39	9604	2,68	17,7
	11	445	120	38400	638	16,6	2,96	11226	1,48	923	24,0	4,38	10976	2,19	18,5
	12	439	121	38962	919	23,6	4,44	10625	2,22	919	23,6	4,44	10625	2,22	18,6
	13	451	121	38841	819	21,1	3,65	11554	1,83	1149	29,6	15,10	9933	3,02	15,2
	14	445	120	38520	819	21,3	3,37	12618	1,69	946	24,6	9,94	12526	1,99	18,1
	15	464	120	38400	499	13,0	2,11	12317	1,06	739	19,2	3,21	11991	1,61	24,1
	16	474	120	38400	499	13,0	2,13	12202	1,07	780	20,3	3,39	11984	1,70	23,3
	19	459	120	38520	748	19,4	3,26	11913	1,63	1124	29,2	12,54	11798	2,51	15,7
	17	469	121	38841	748	19,3	3,07	12546	1,54	1041	26,8	13,20	10294	2,64	17,5
	18	462	121	38841	748	19,3	3,20	12036	1,60	802	20,6	9,93	10564	1,98	22,4
	MAX	505	121	38962		25,7	4,44	16009	2,22		39,1		13510	4,26	24,1
	Ø	472	120	38245		22,0	3,36	13067	1,68		29,1	12,11	11296	2,65	16,8
	MIN	439	119	37320		13,0	2,11	10625	1,06		19,2		7942	1,61	12,6
* Prüfkörper-Nr.:	102	hat nach 1. Bruch (bei Wiederbelastung mit Restquerschnitt ≈250/120 mm) eine rechnerische 2. Bruchspannung von 44,8 N/mm ² erreicht ! ... (hier nicht gewertet)													
Bis auf die gekennzeichneten Ausnahmen sind die ΔL-Werte auf die Meßlänge 2000 mm bezogen															
Diese Verformungswerte sind auf die Prüflänge 5070 mm bezogen															

"Ist noch in Bearbeitung"

"Ist noch in Bearbeitung"

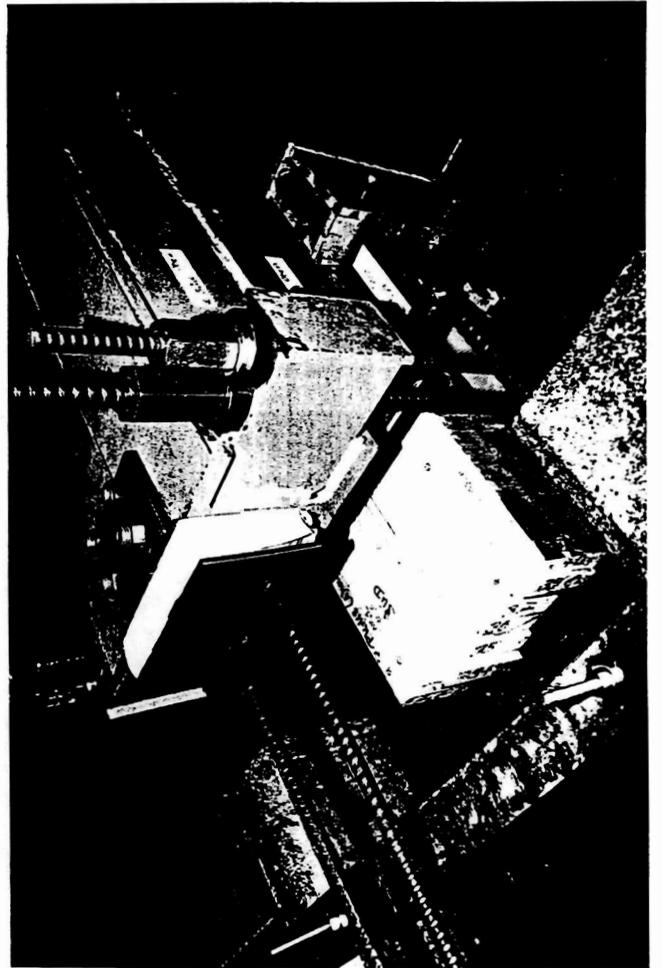
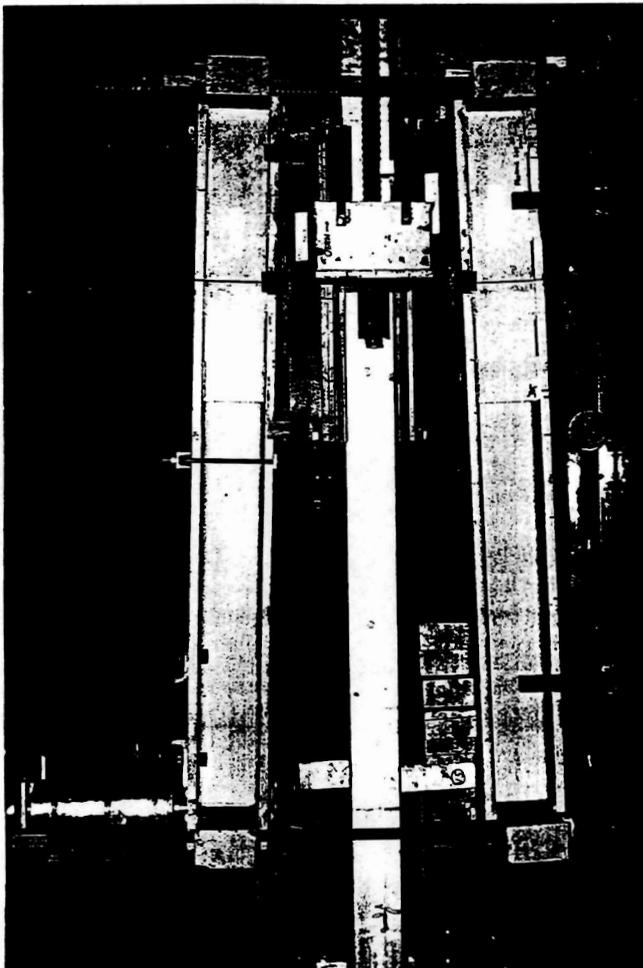
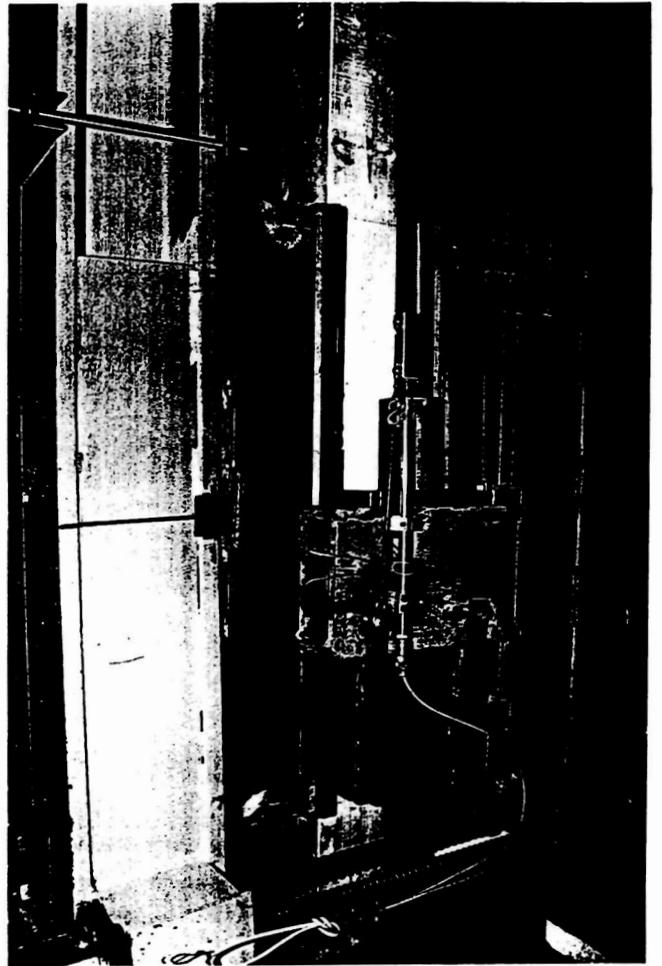


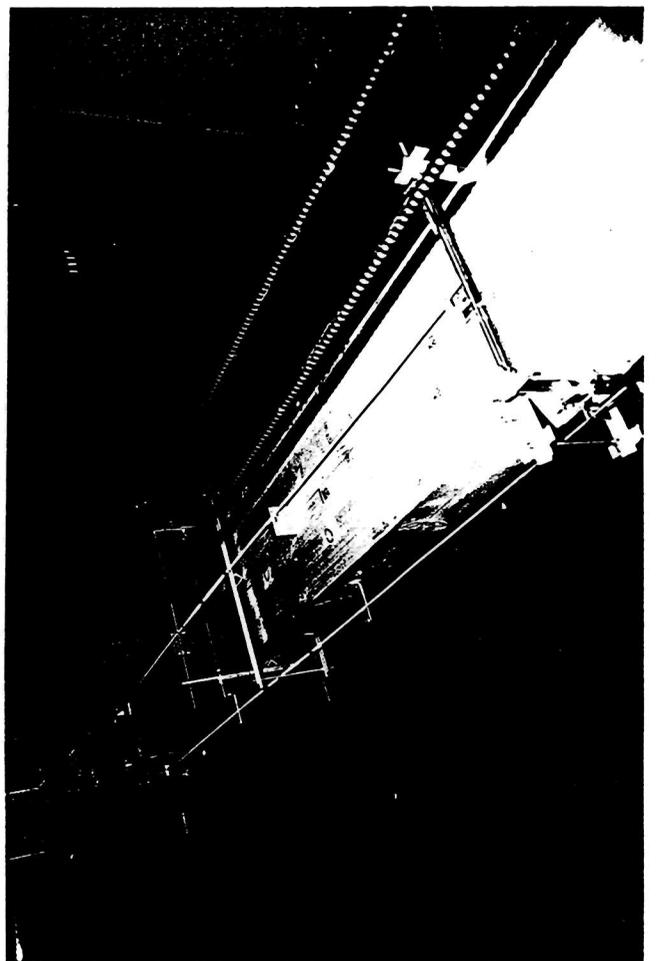
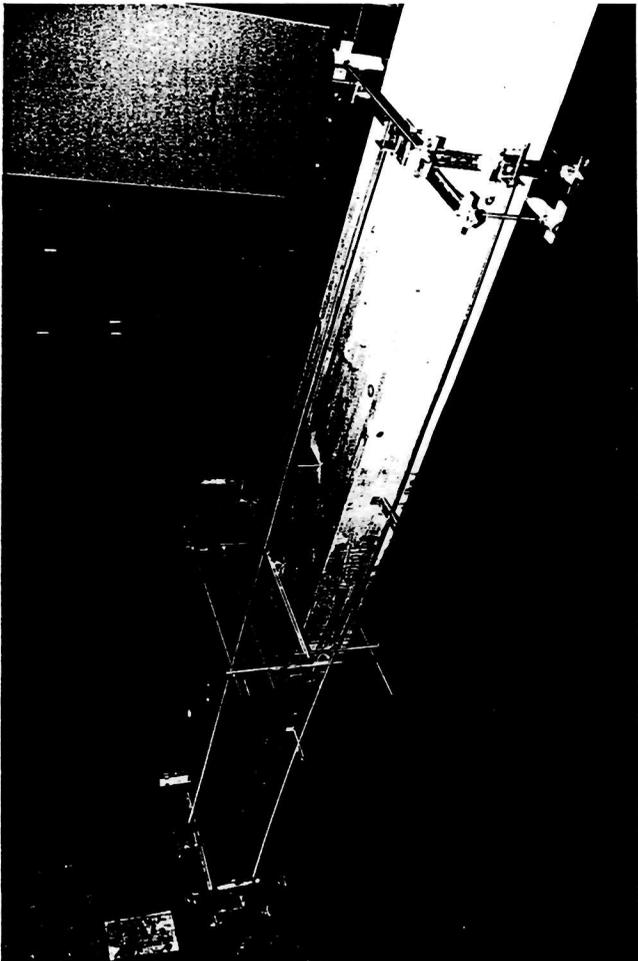
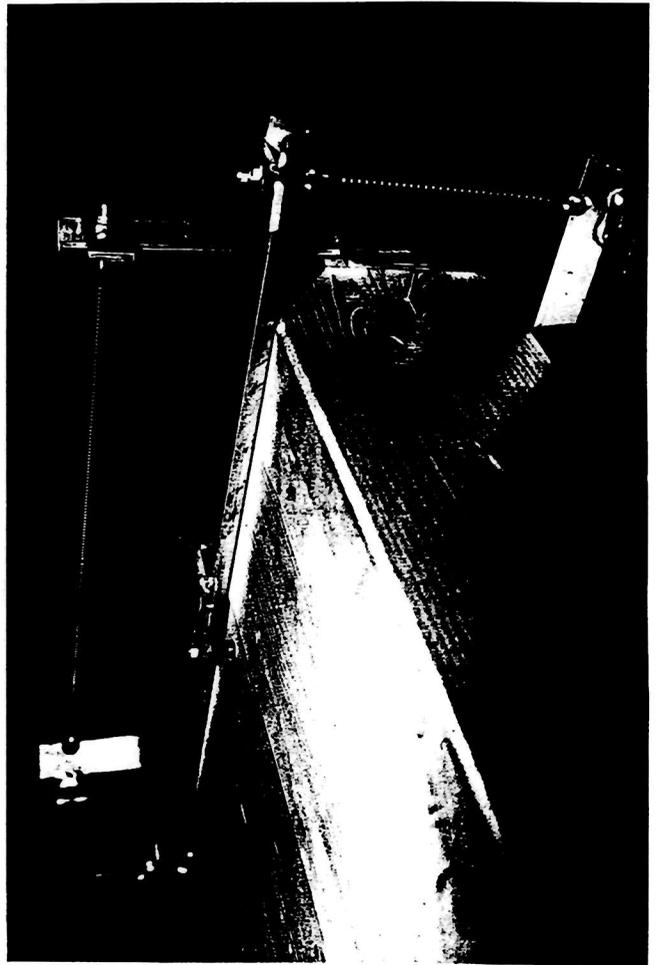
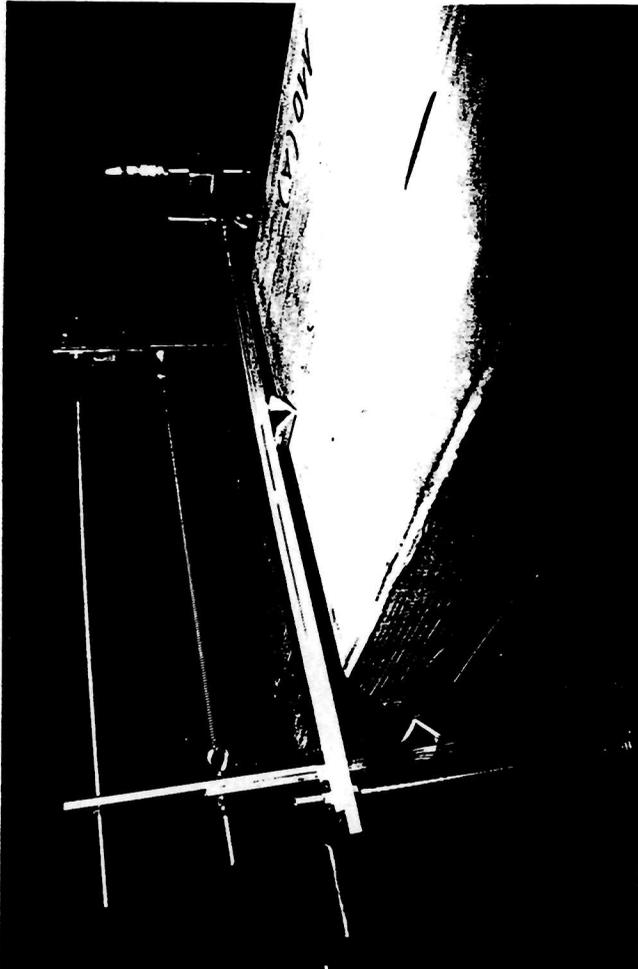
Belastungsschema (Prinzip)

oben: Erstbelastung (kraftgesteuert)

unten: Zweit- mit Bruchbelastung

(F_e bis "Bruch" ...weggesteuert)





Anlage 02

Blatt 01 mit Blatt 05

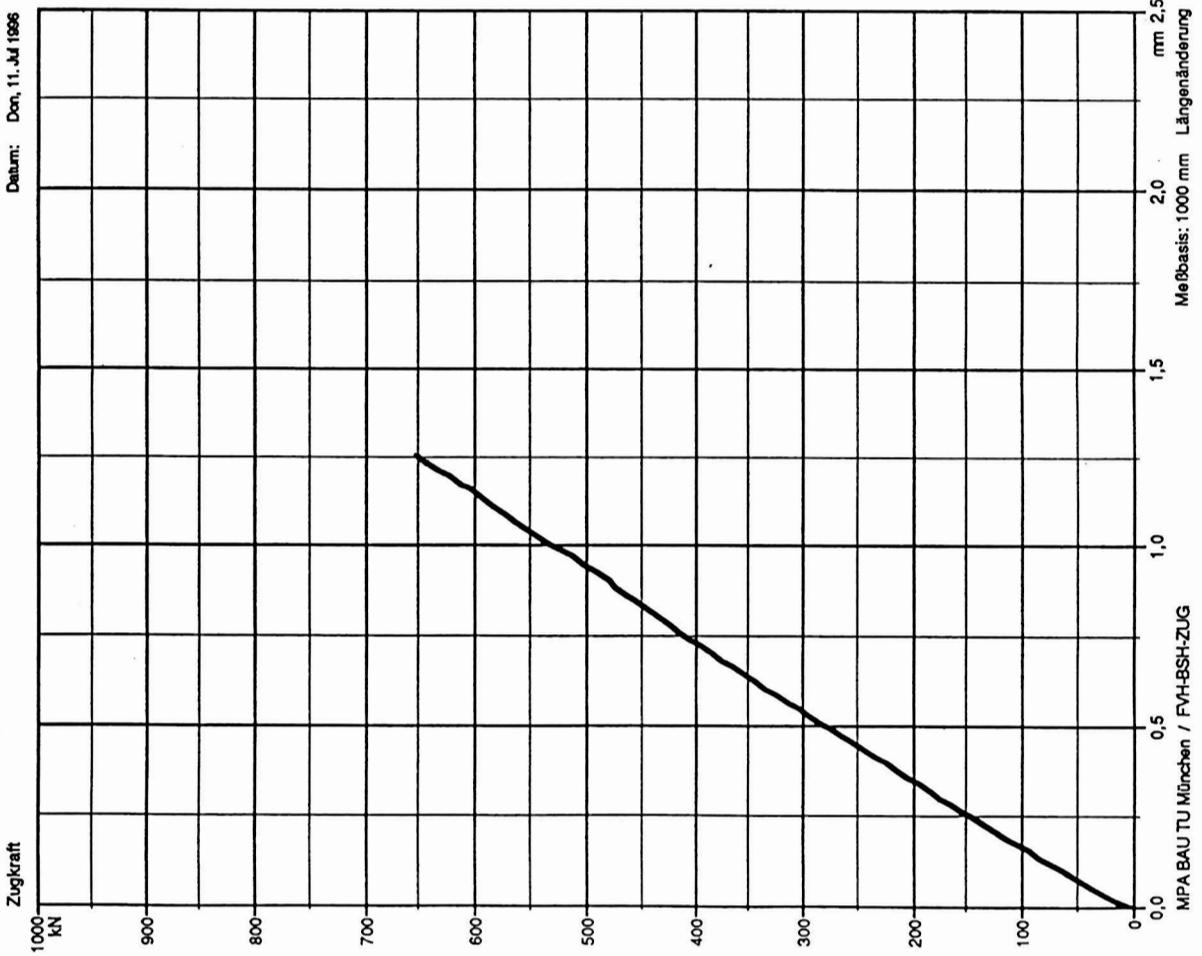
Kraft-Verformungs-Diagramme
... zur Teilmenge 1 = 10 Prüfkörper

Blatt 06 mit Blatt 15

Kraft-Verformungs-Diagramme
... zur Teilmenge 2 = 20 Prüfkörper

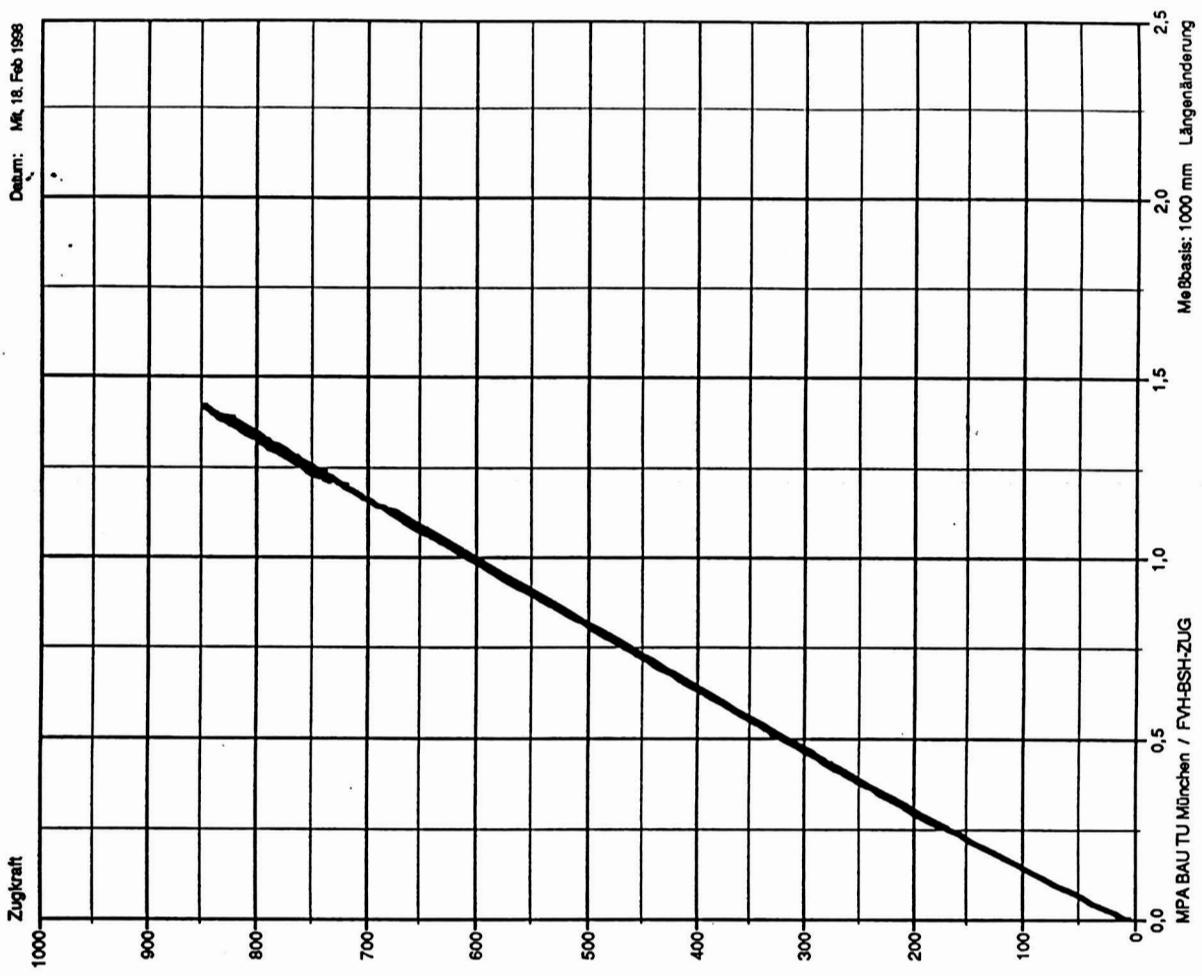
PK 1 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 654,7 kN max. Zugspannung-2 = 17,3 N/mm²
max F1 = 654,7 kN max. Zugspannung-1 = 17,3 N/mm²



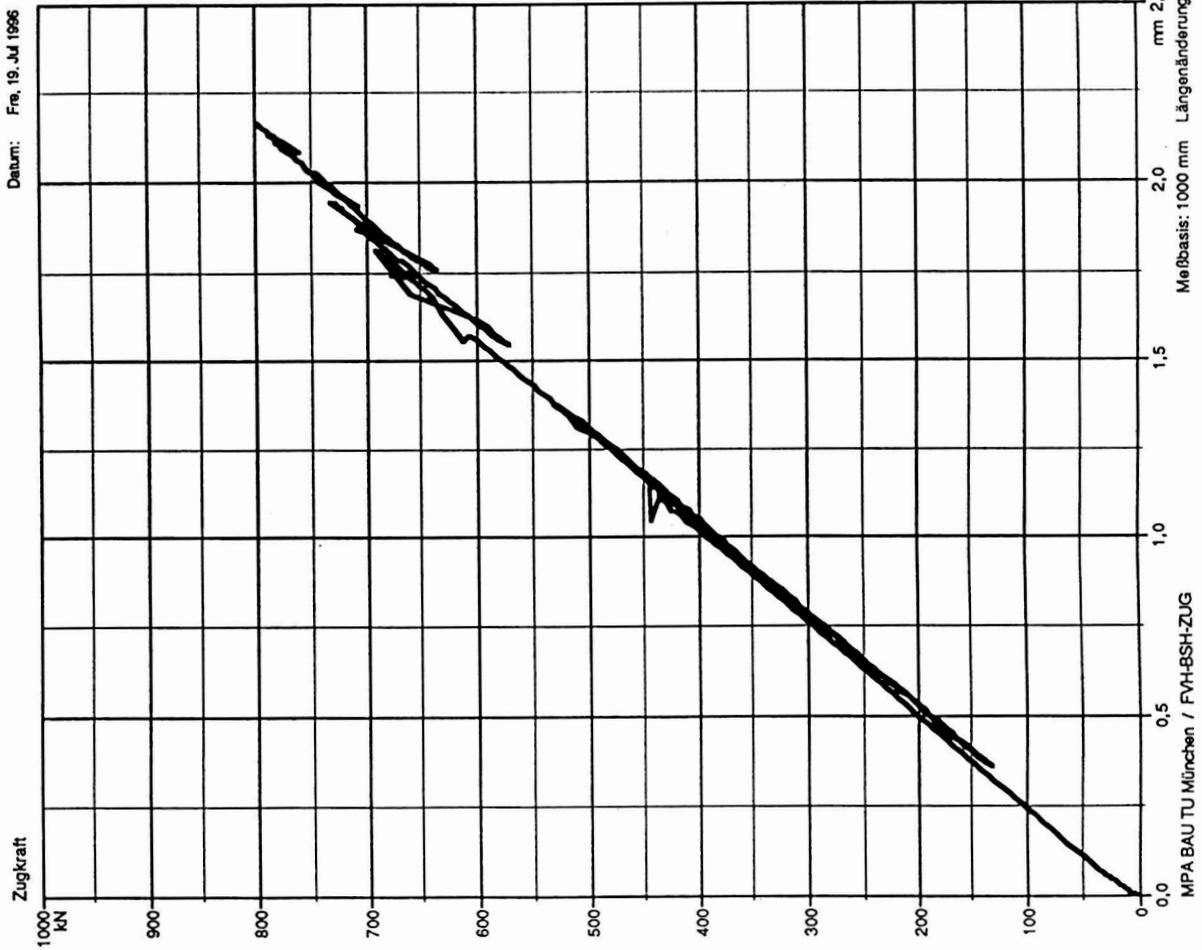
PK 2 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1258,8 kN max. Zugspannung-2 = 33,2 N/mm²
max F1 = 849,5 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²



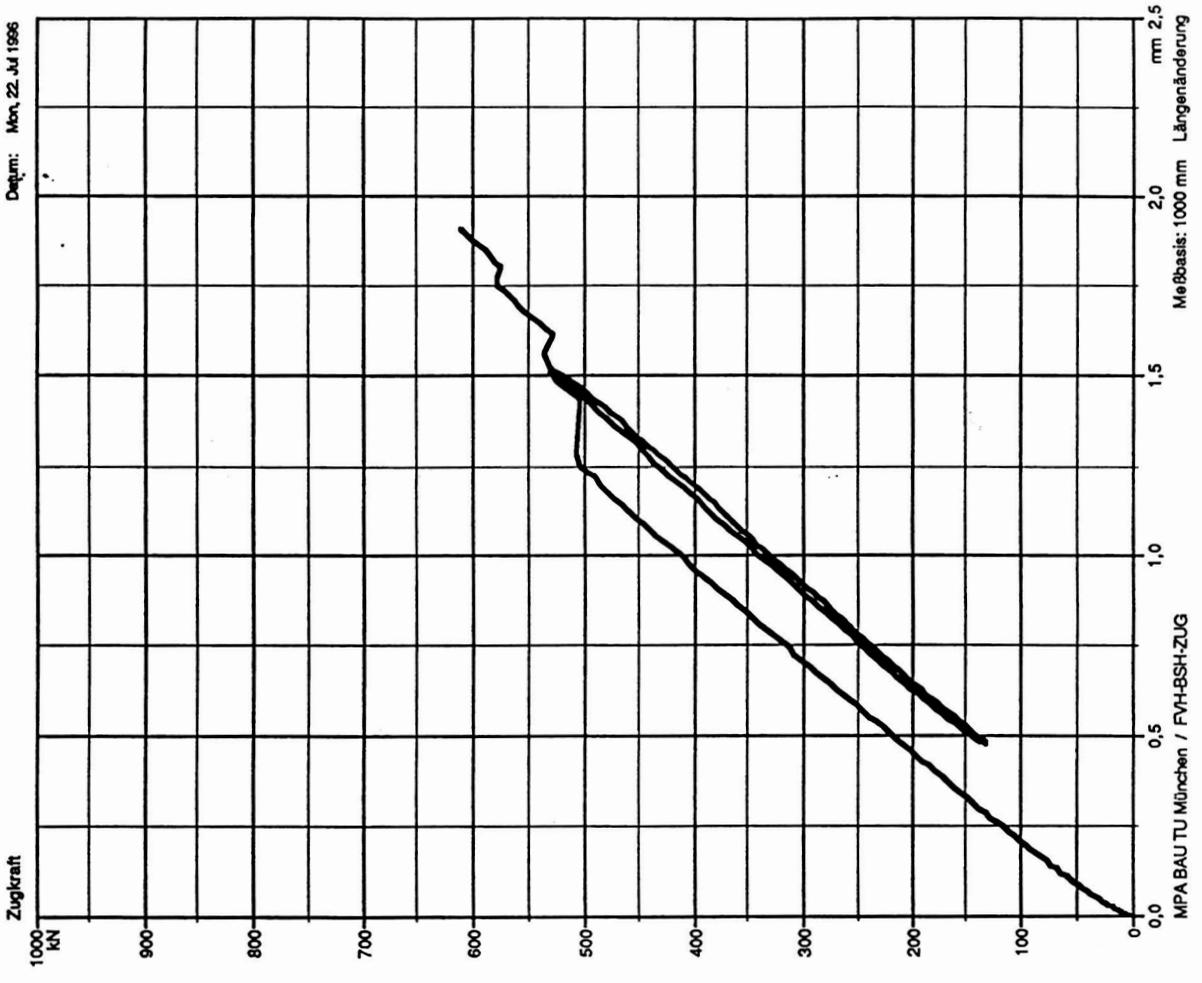
PK 3 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 877,0 kN max. Zugspannung-2 = 28,0 N/mm²
max F1 = 799,3 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²



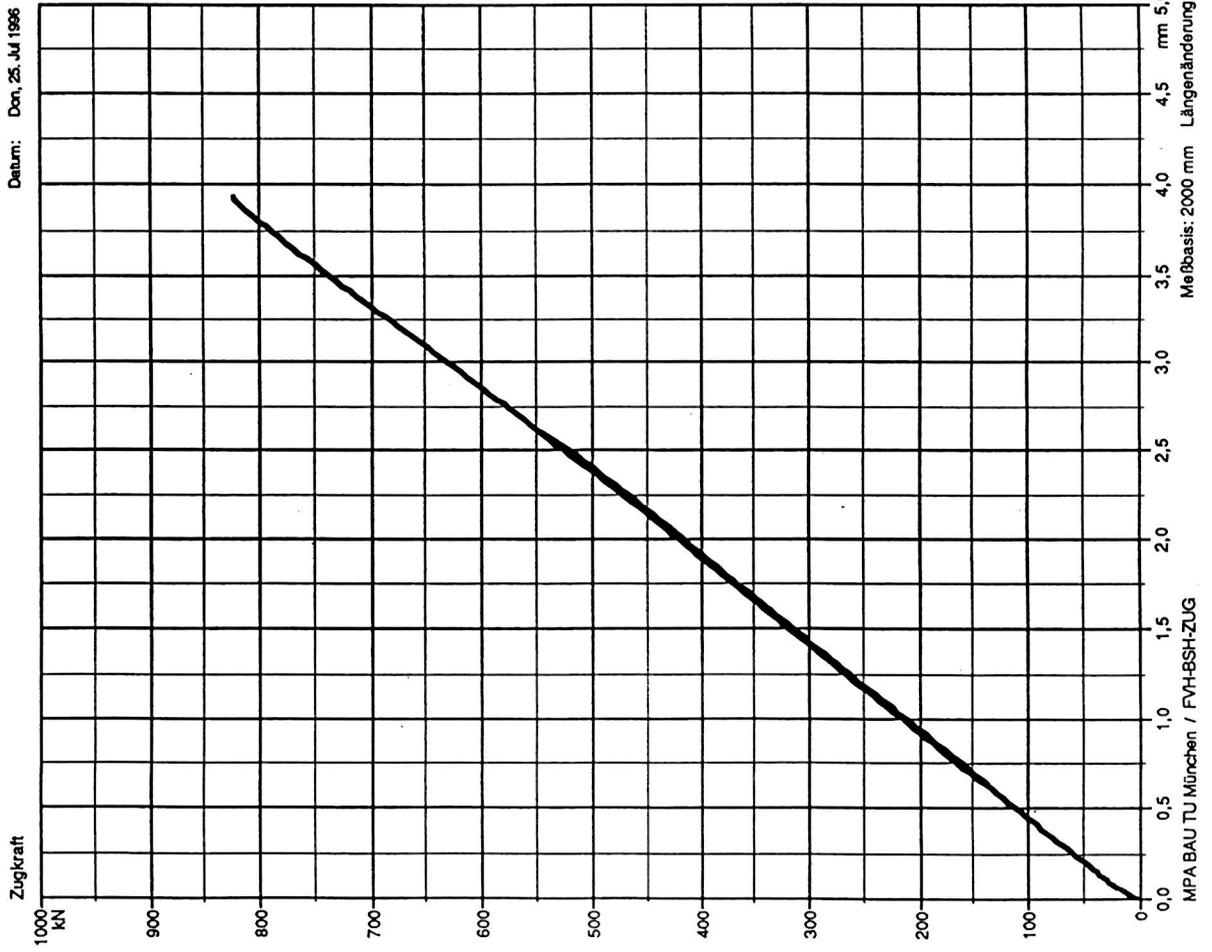
PK 4 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 611,8 kN max. Zugspannung-2 = 19,5 N/mm²
max F1 = 611,8 kN max. Zugspannung-1 = 19,5 N/mm²



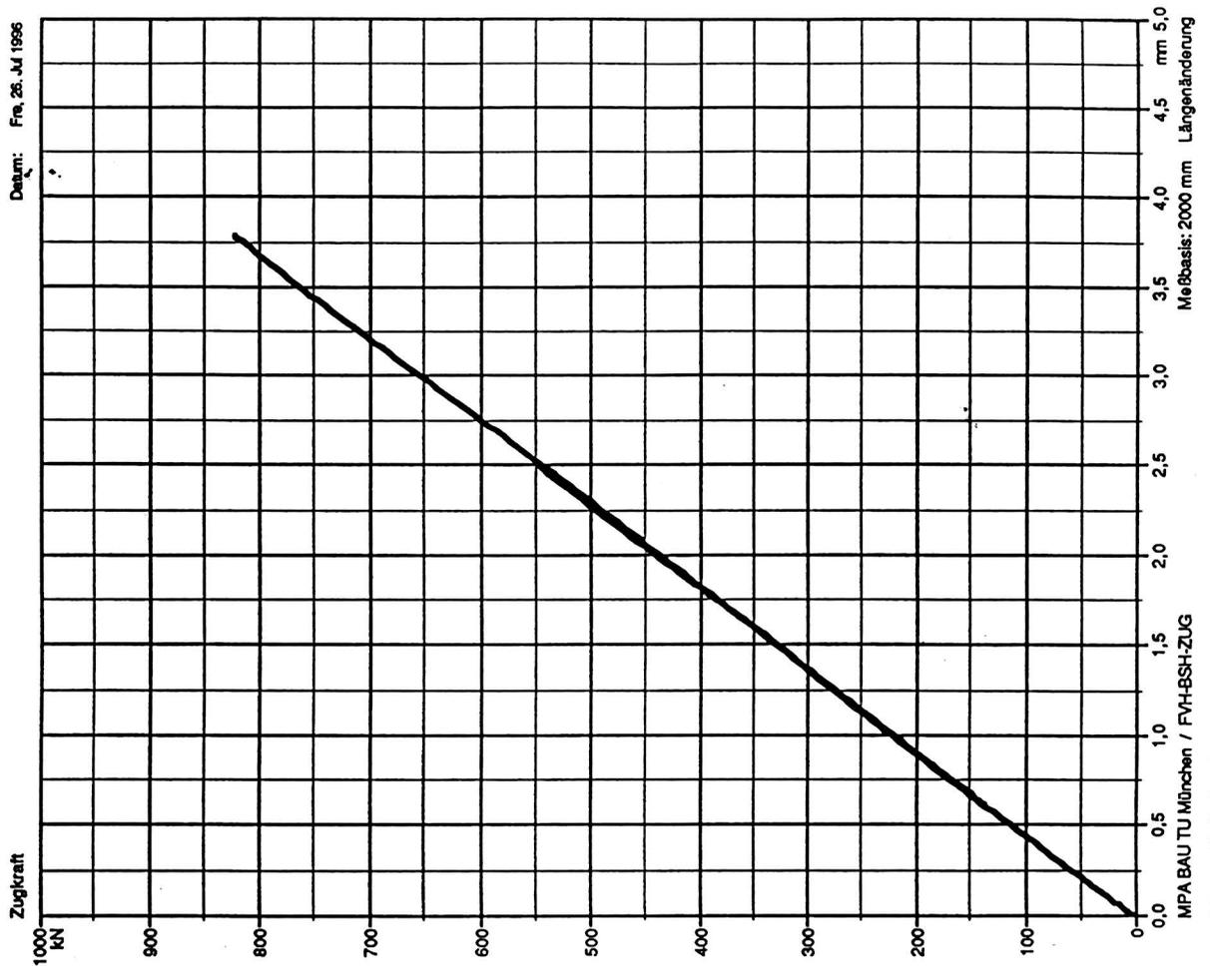
PK 5 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 885,3 kN max. Zugspannung-2 = 27,3 N/mm²
max F1 = 825,2 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²



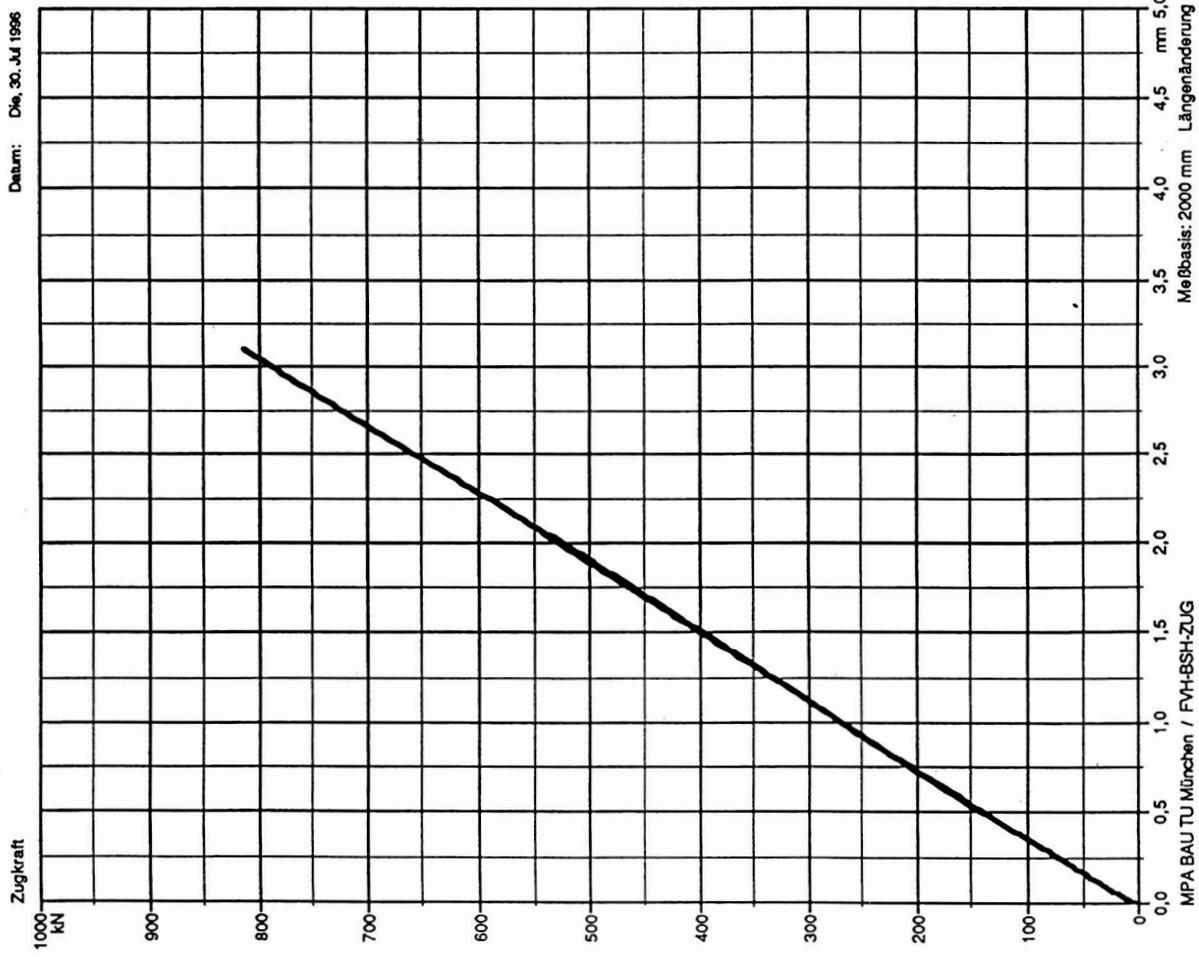
PK 6 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 910,1 kN max. Zugspannung-2 = 28,1 N/mm²
max F1 = 825,0 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²



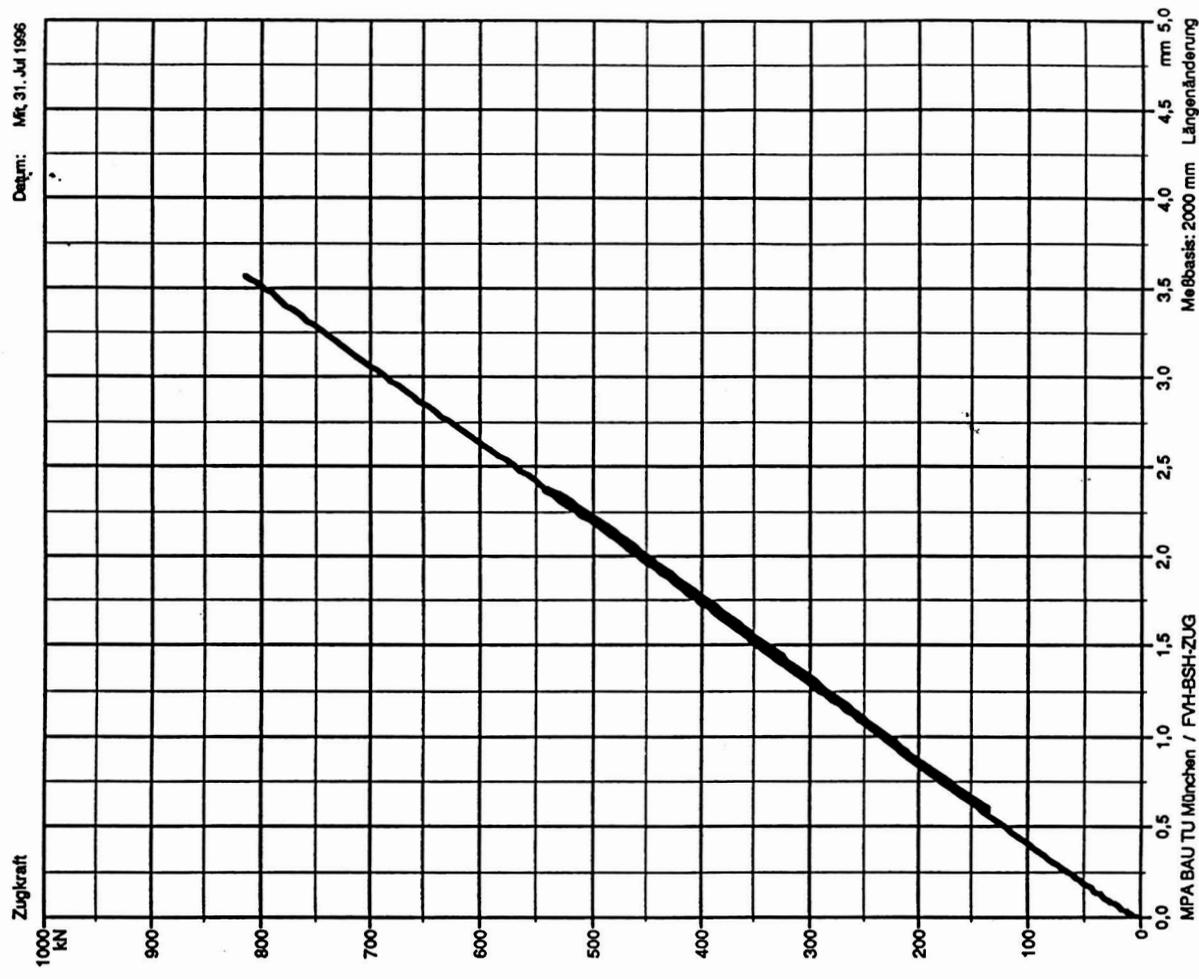
PK 7 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.283,1 kN max. Zugspannung-2 = 40,1 N/mm²
max F1 = 815,5 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²



PK 8 Kraft-Verformungs-Verhalten

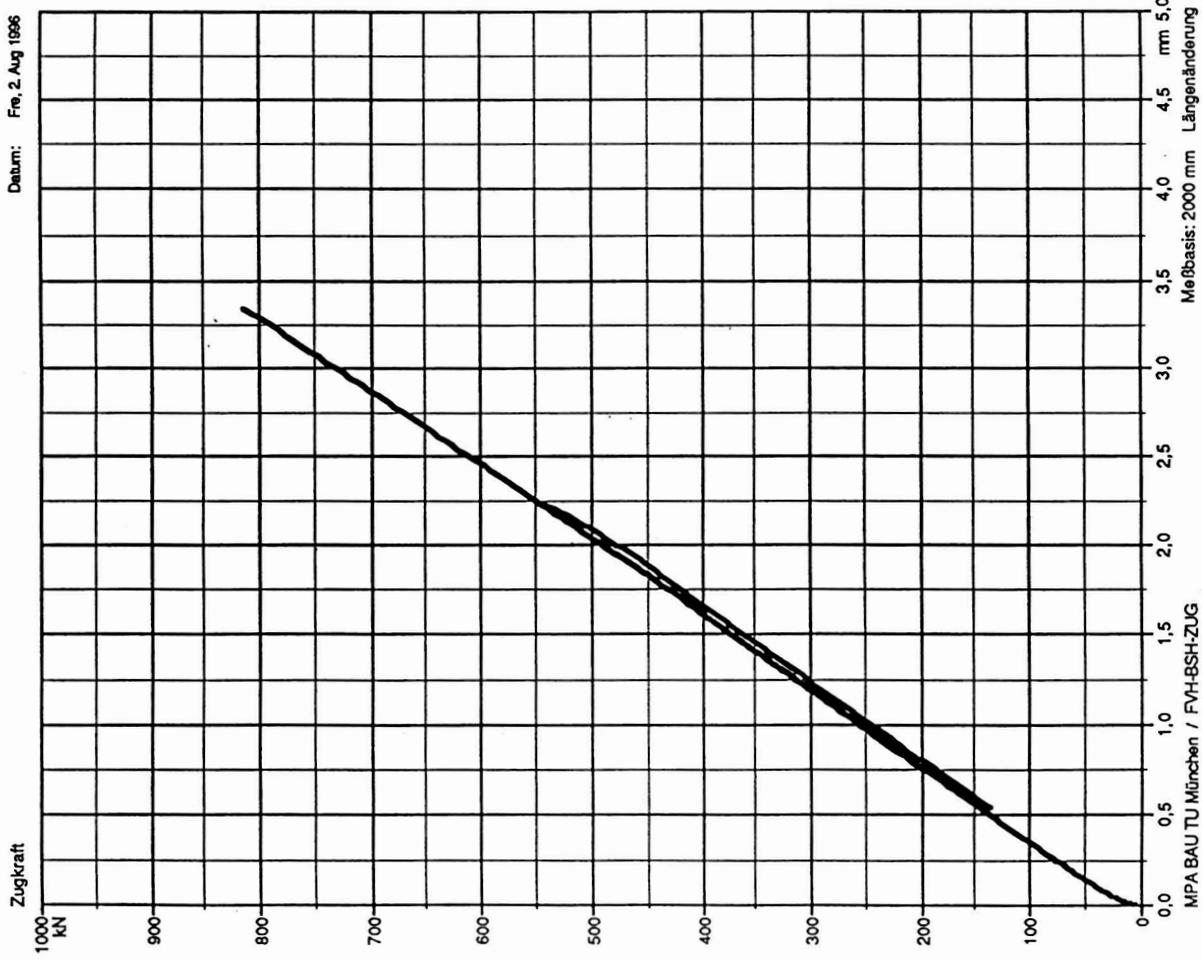
max F2 = 996,8 kN max. Zugspannung-2 = 31,3 N/mm²
max F1 = 815,5 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²



PK 9 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.193,6 kN max. Zugspannung-2 = 37,3 N/mm²
max F1 = 815,0 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²

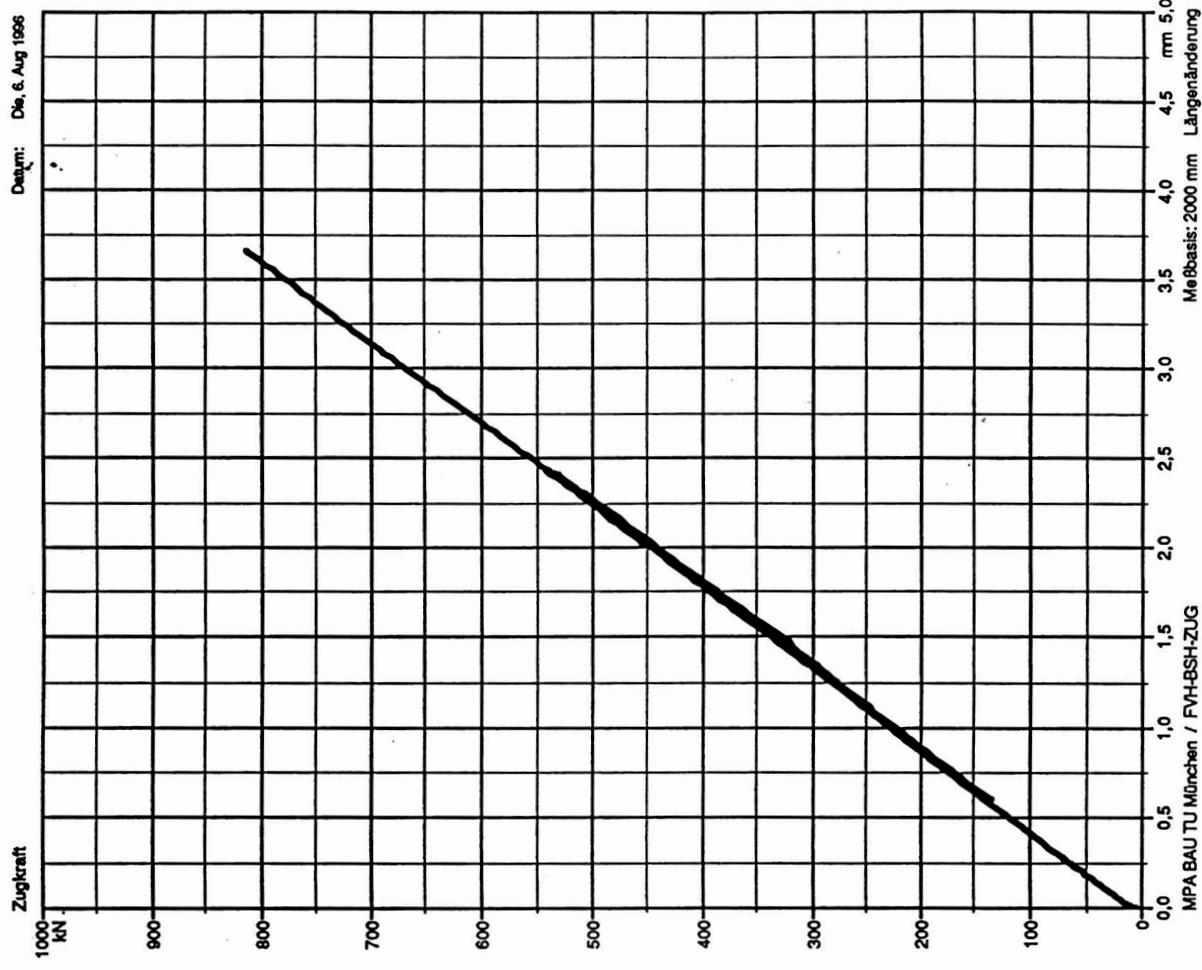
Datum: Fre, 2. Aug 1996



PK 10 Kraft-Verformungs-Verhalten

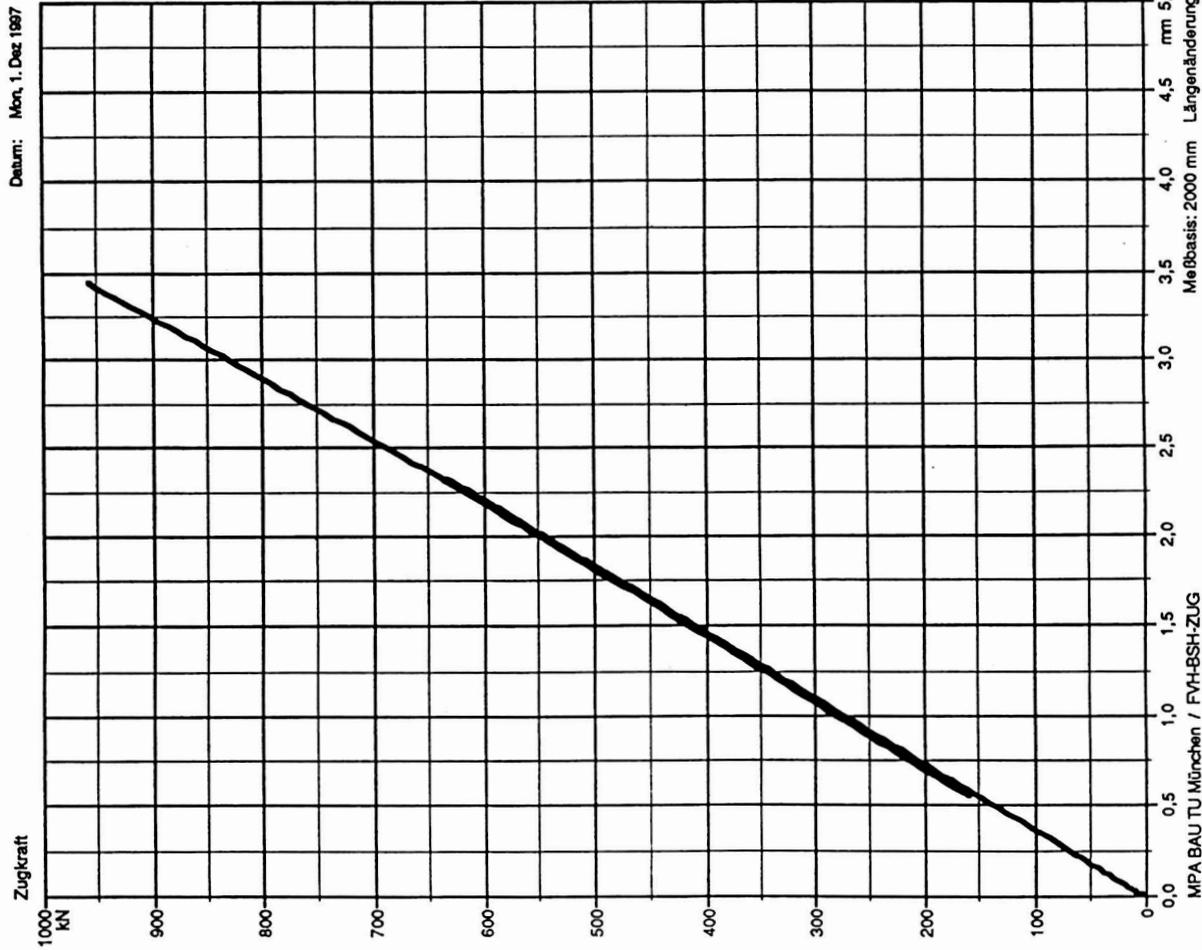
max F2 = 969,6 kN max. Zugspannung-2 = 30,3 N/mm²
max F1 = 815,0 kN max. Zugspannung-1 = 25,5 N/mm²

Datum: Die, 6. Aug 1996



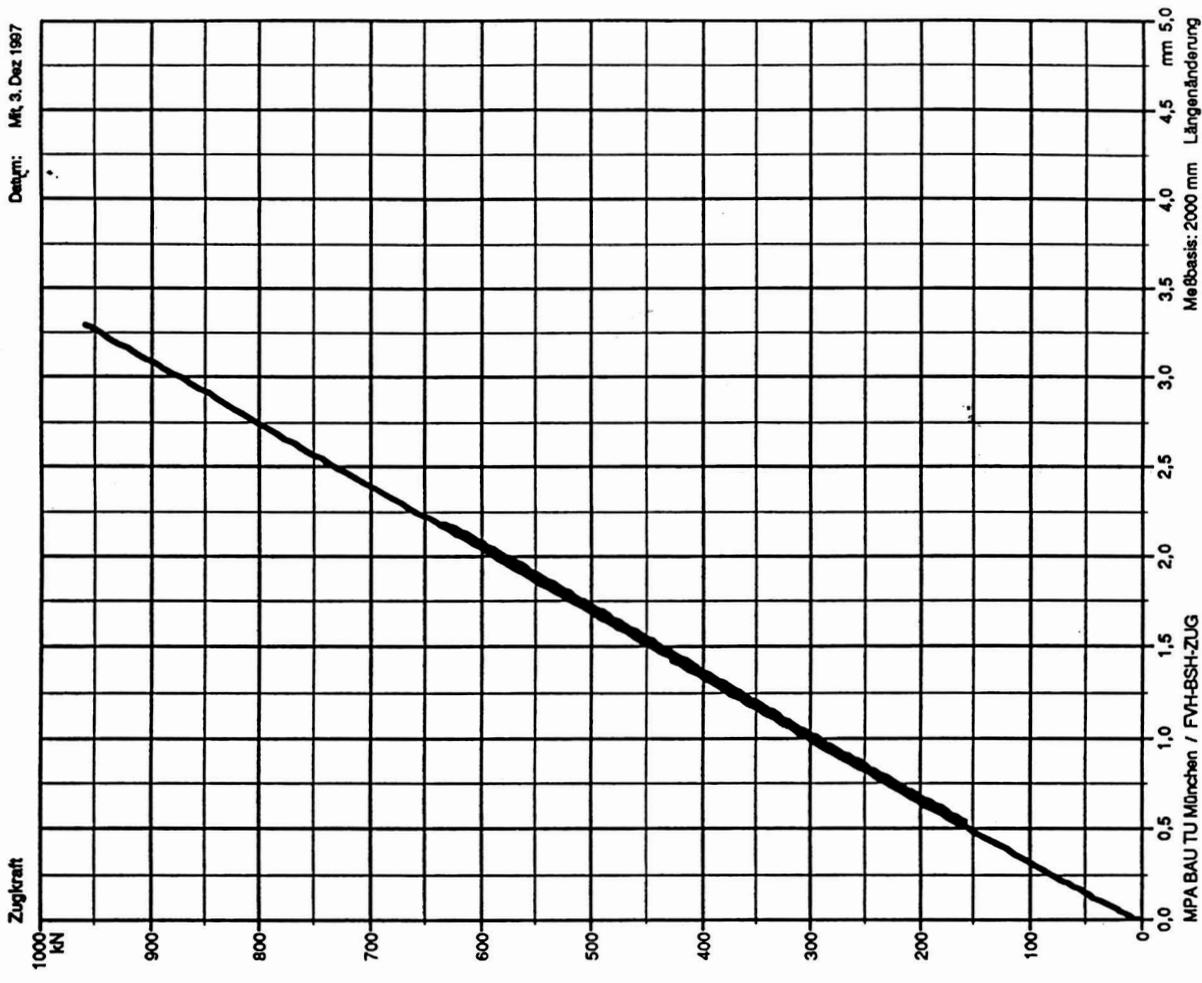
PK 101 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.232,7 kN max. Zugspannung-2 = 32,5 N/mm²
max F1 = 959,0 kN max. Zugspannung-1 = 25,4 N/mm²



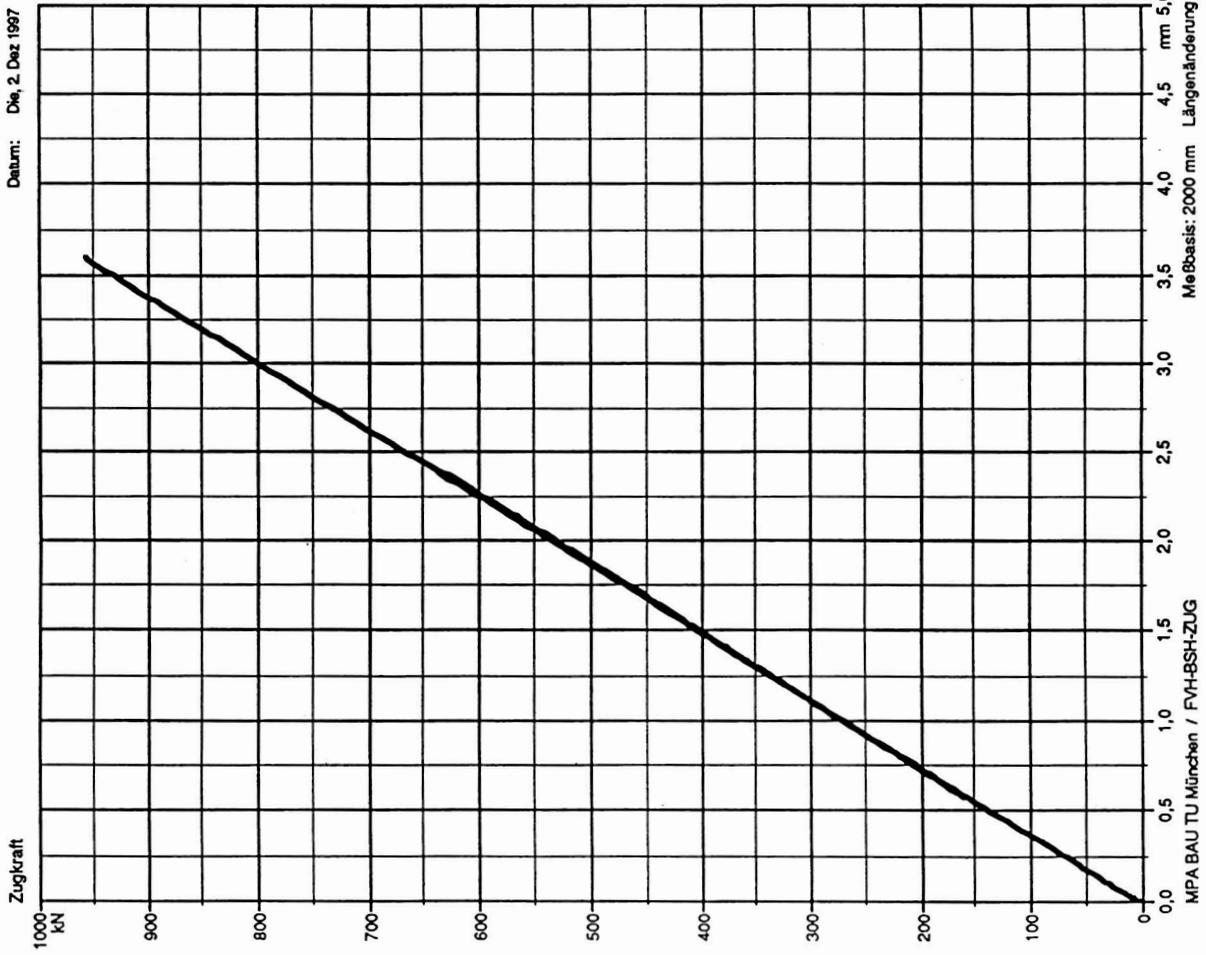
PK 102 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.280,3 kN max. Zugspannung-2 = 33,3 N/mm²
max F1 = 959,3 kN max. Zugspannung-1 = 25,0 N/mm²



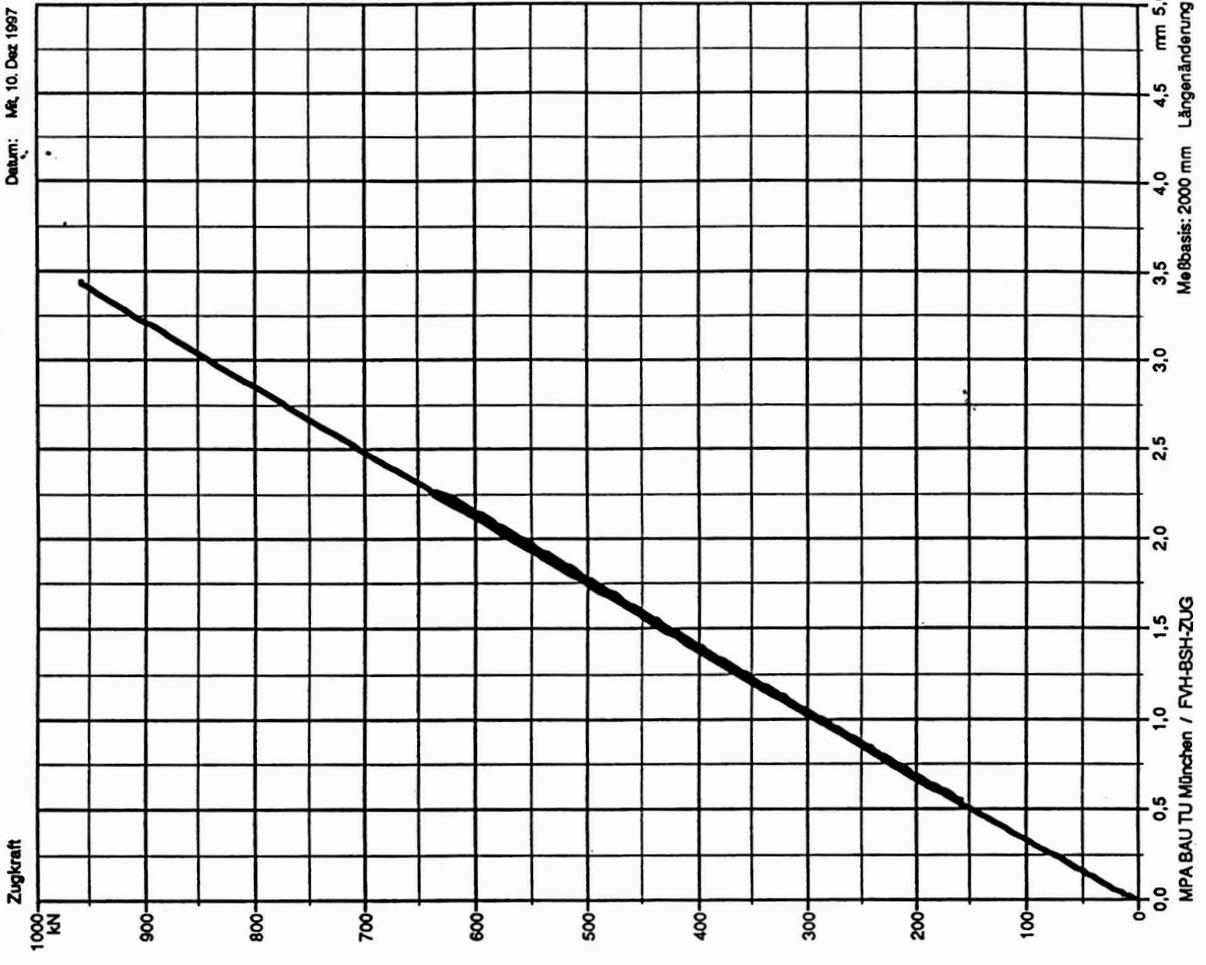
PK 103 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.353,5 kN max. Zugspannung-2 = 35,2 N/mm²
max F1 = 958,5 kN max. Zugspannung-1 = 25,0 N/mm²



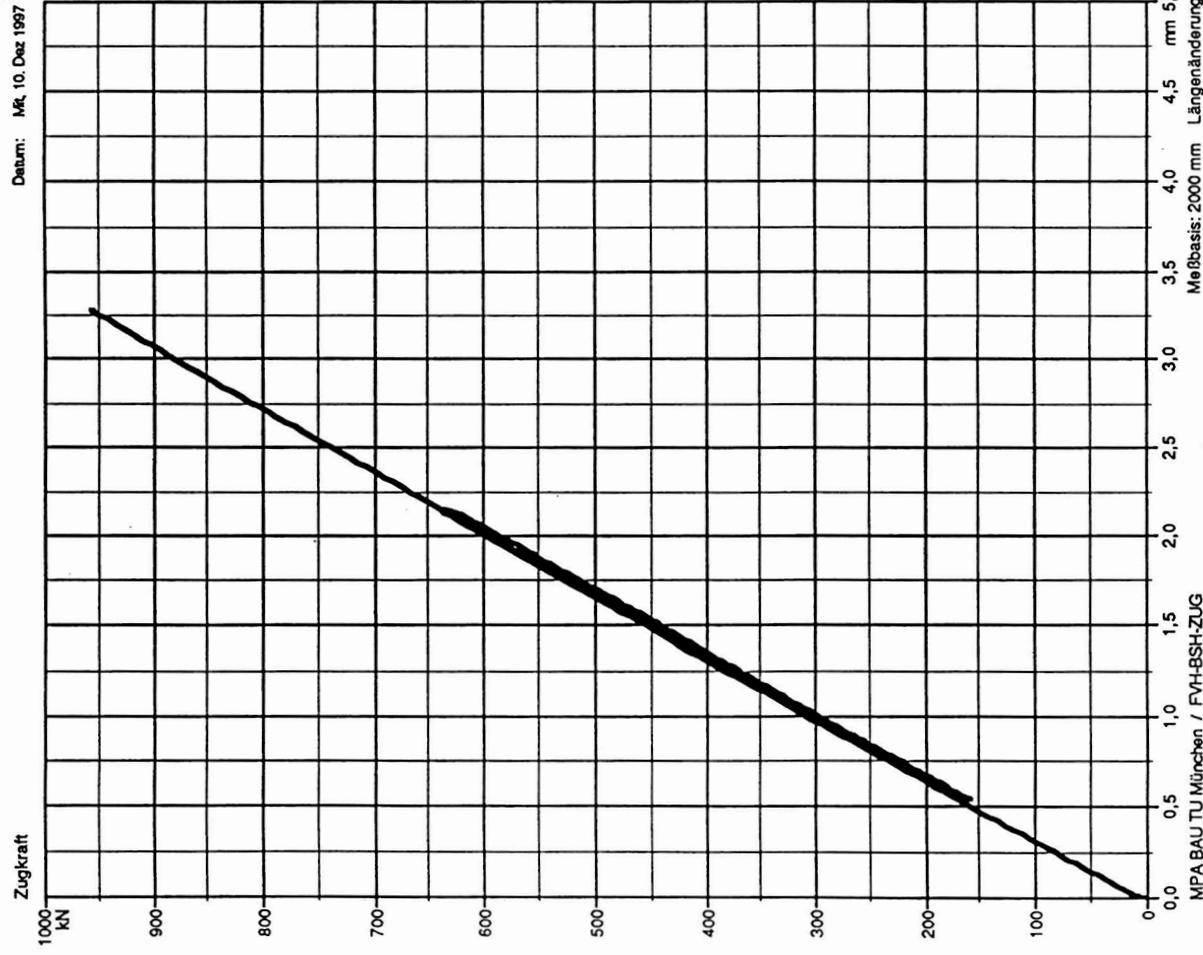
PK 104 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.466,1 kN max. Zugspannung-2 = 39,1 N/mm²
max F1 = 959,1 kN max. Zugspannung-1 = 25,6 N/mm²



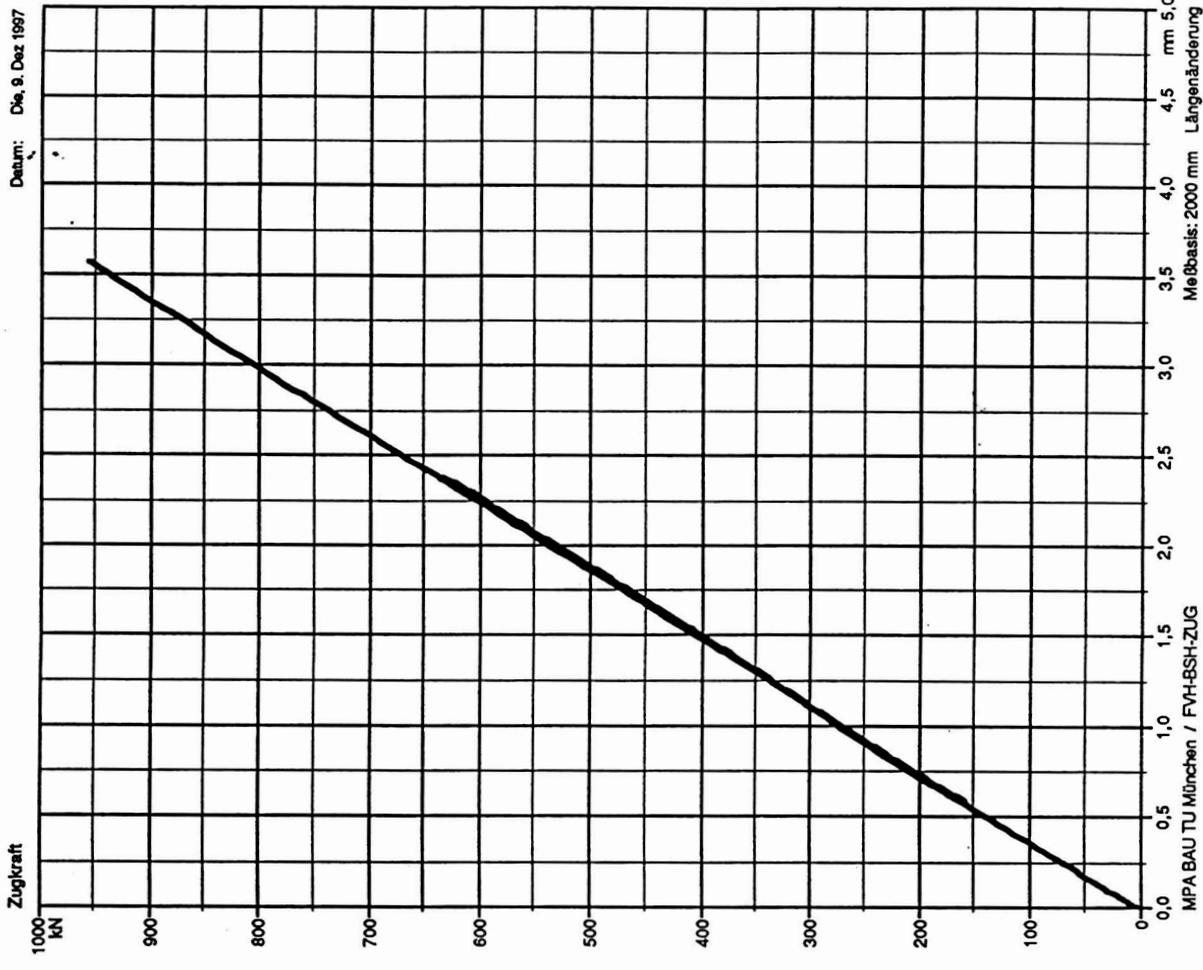
PK 105 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.117,3 kN max. Zugspannung-2 = 29,9 N/mm²
max F1 = 958,1 kN max. Zugspannung-1 = 25,7 N/mm²



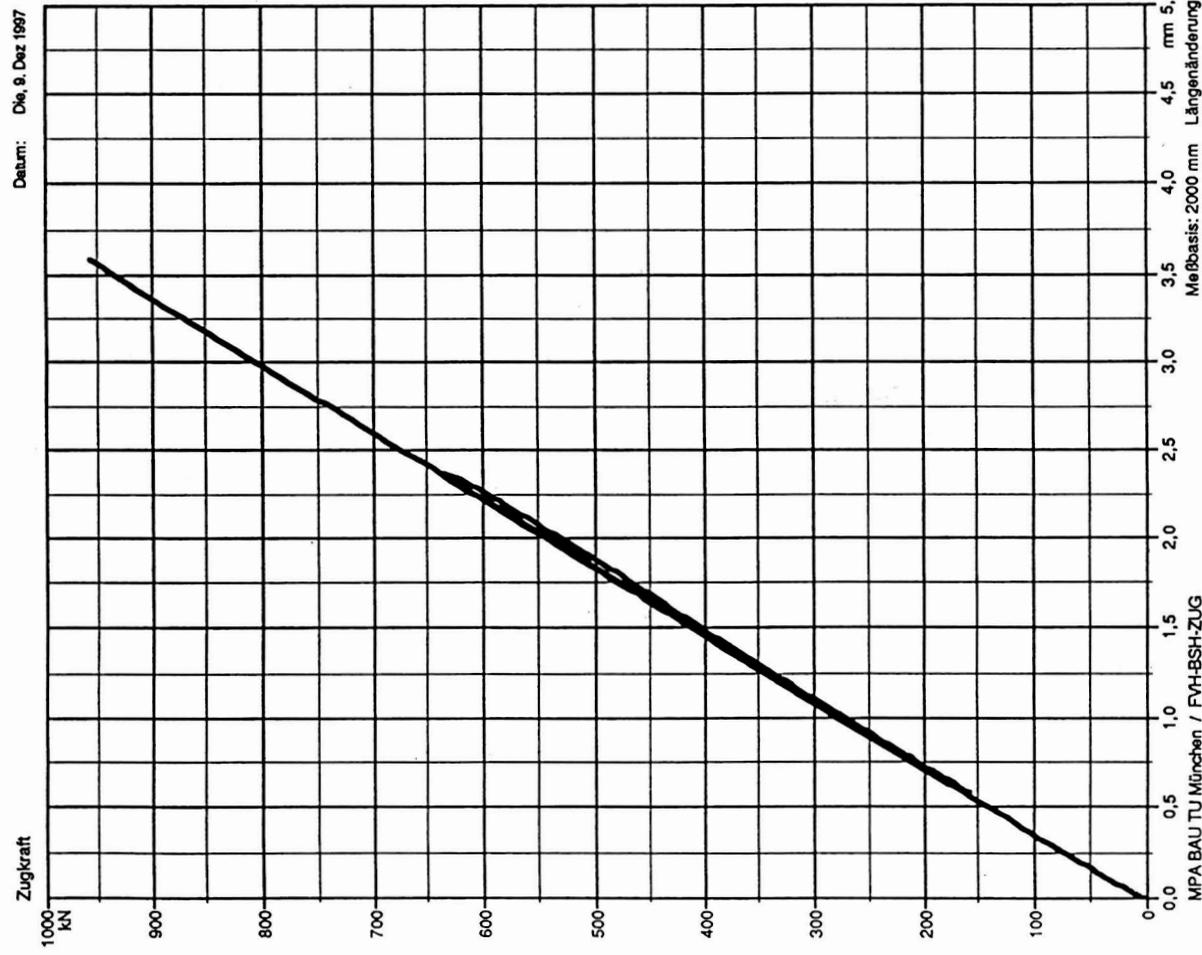
PK 106 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.257,4 kN max. Zugspannung-2 = 33,7 N/mm²
max F1 = 956,7 kN max. Zugspannung-1 = 25,6 N/mm²



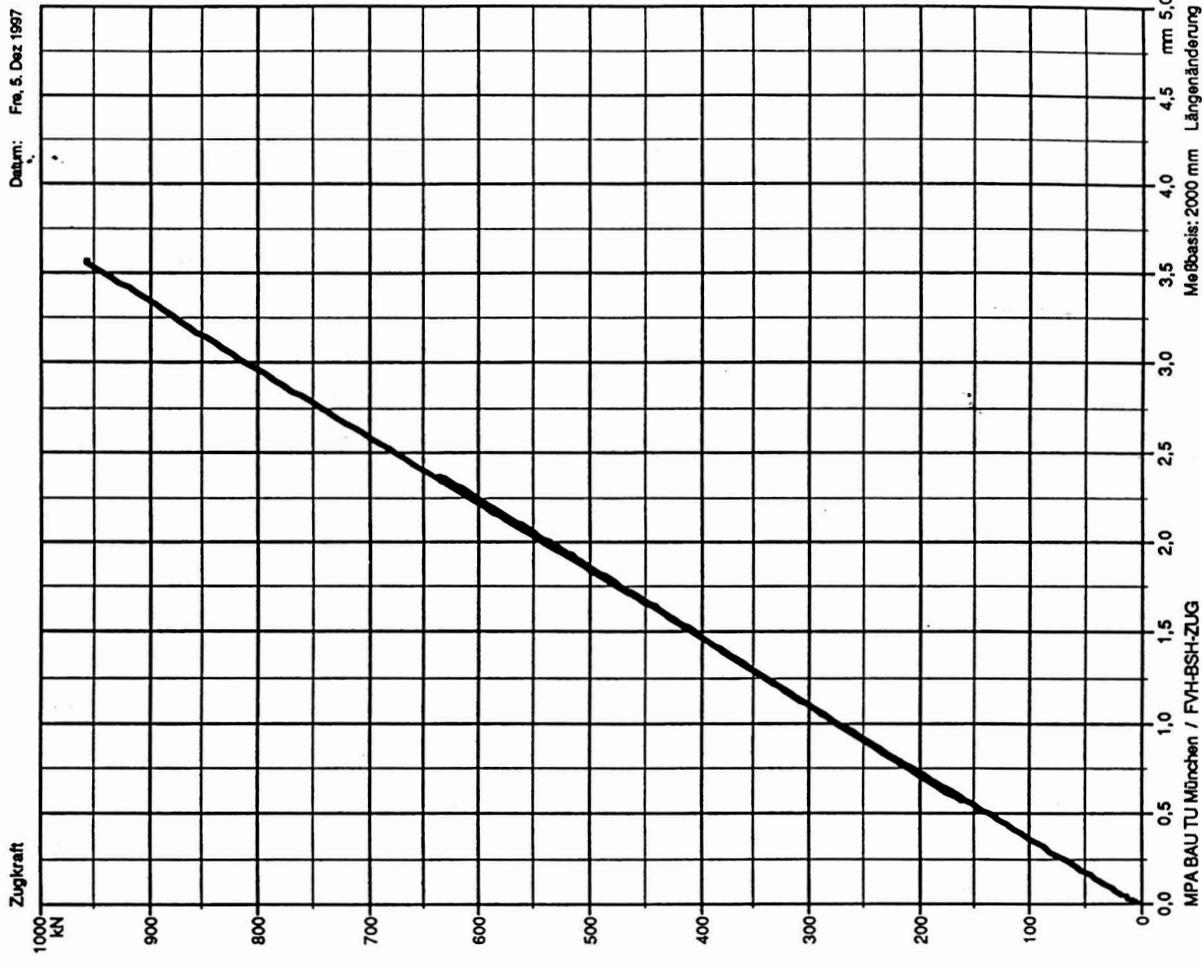
PK 107 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.209,1 kN max. Zugspannung-2 = 32,3 N/mm2
max F1 = 958,8 kN max. Zugspannung-1 = 25,6 N/mm2



PK 108 Kraft-Verformungs-Verhalten

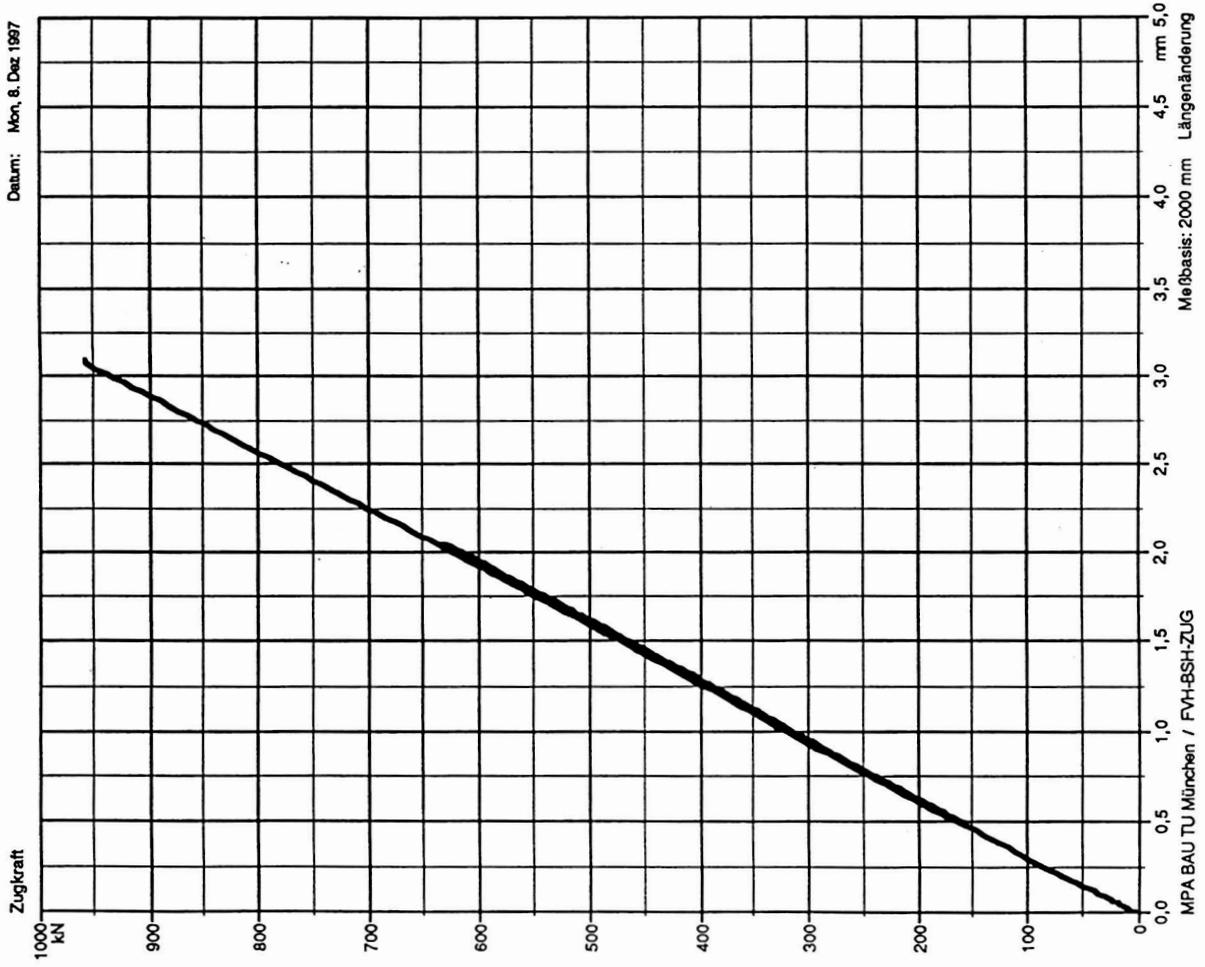
max F2 = 1.260,3 kN max. Zugspannung-2 = 33,3 N/mm2
max F1 = 957,9 kN max. Zugspannung-1 = 25,3 N/mm2



PK 109 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.293,3 kN max. Zugspannung-2 = 33,7 N/mm2
max F1 = 958,6 kN max. Zugspannung-1 = 25,0 N/mm2

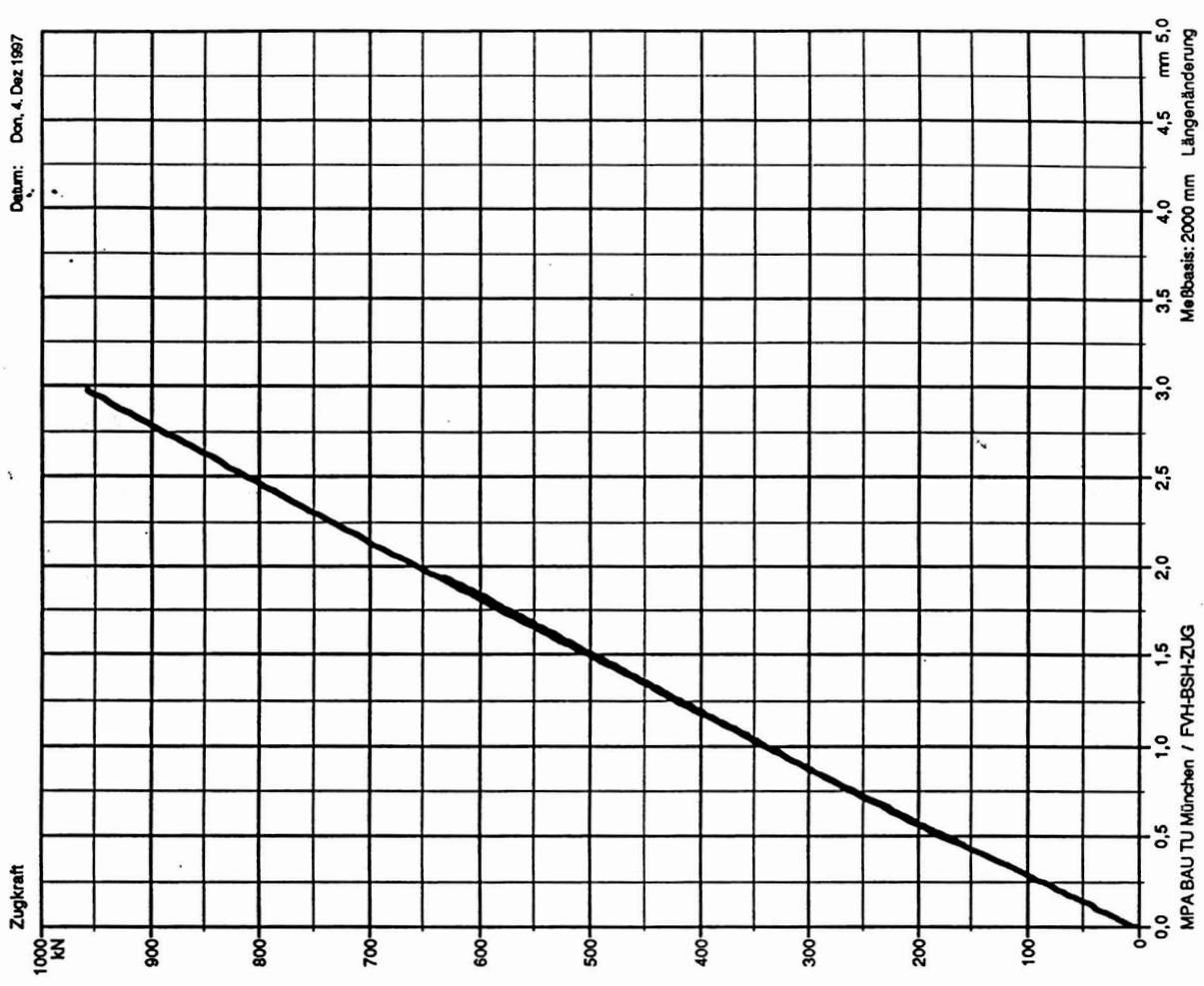
Datum: Mon, 8. Dez 1997



PK 110 Kraft-Verformungs-Verhalten

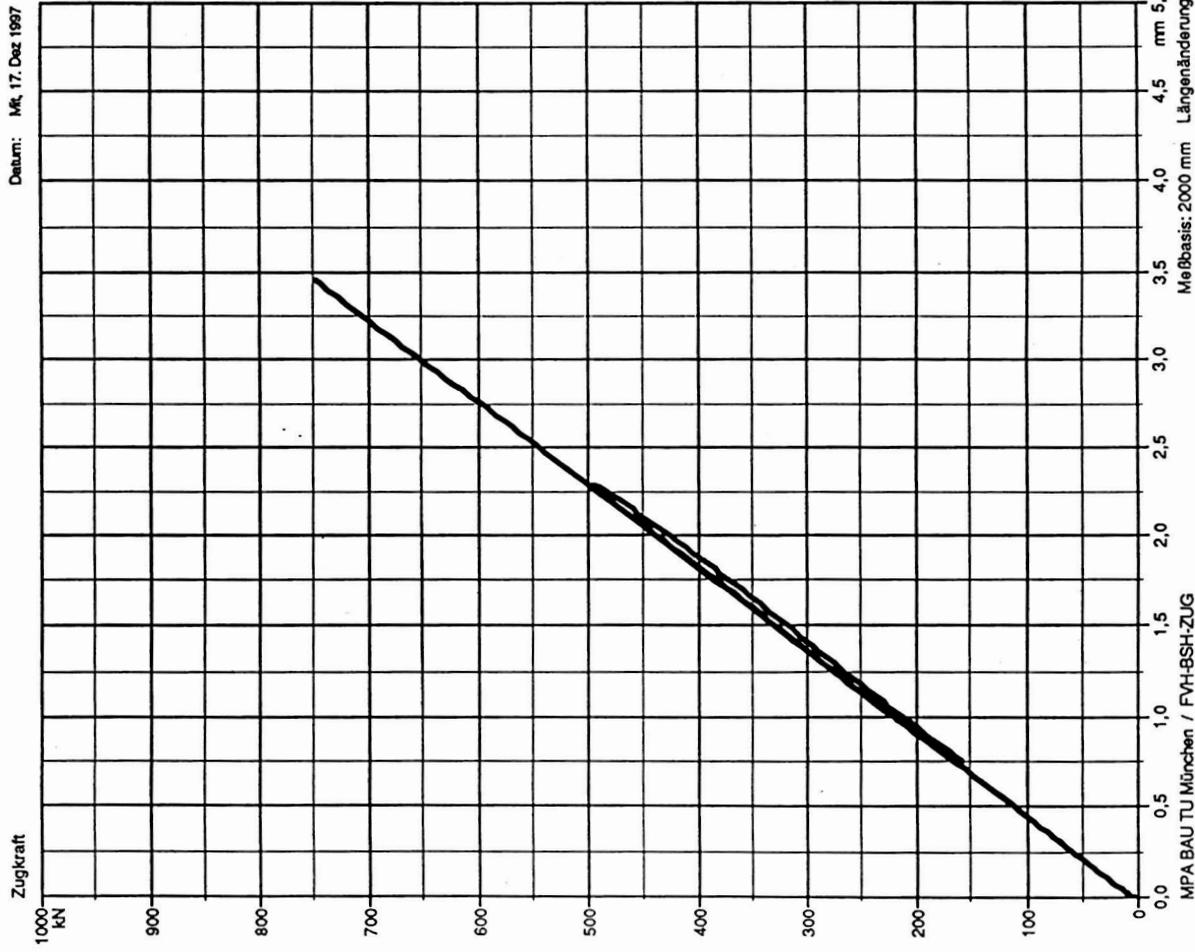
max F2 = 1.402,6 kN max. Zugspannung-2 = 36,5 N/mm2
max F1 = 958,7 kN max. Zugspannung-1 = 25,0 N/mm2

Datum: Don, 4. Dez 1997



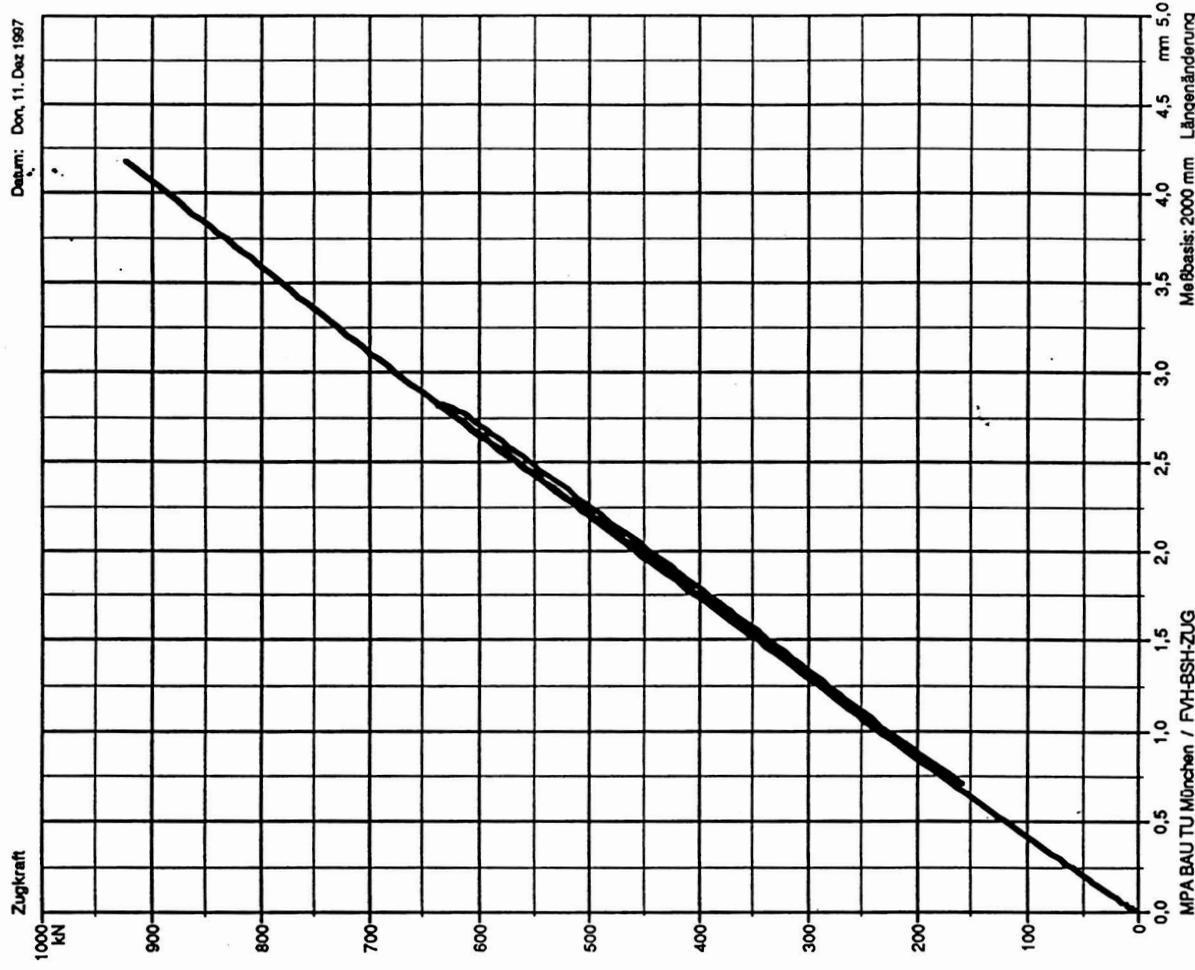
PK 111 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 974,3 kN max. Zugspannung-2 = 25,4 N/mm²
max F1 = 749,1 kN max. Zugspannung-1 = 19,5 N/mm²



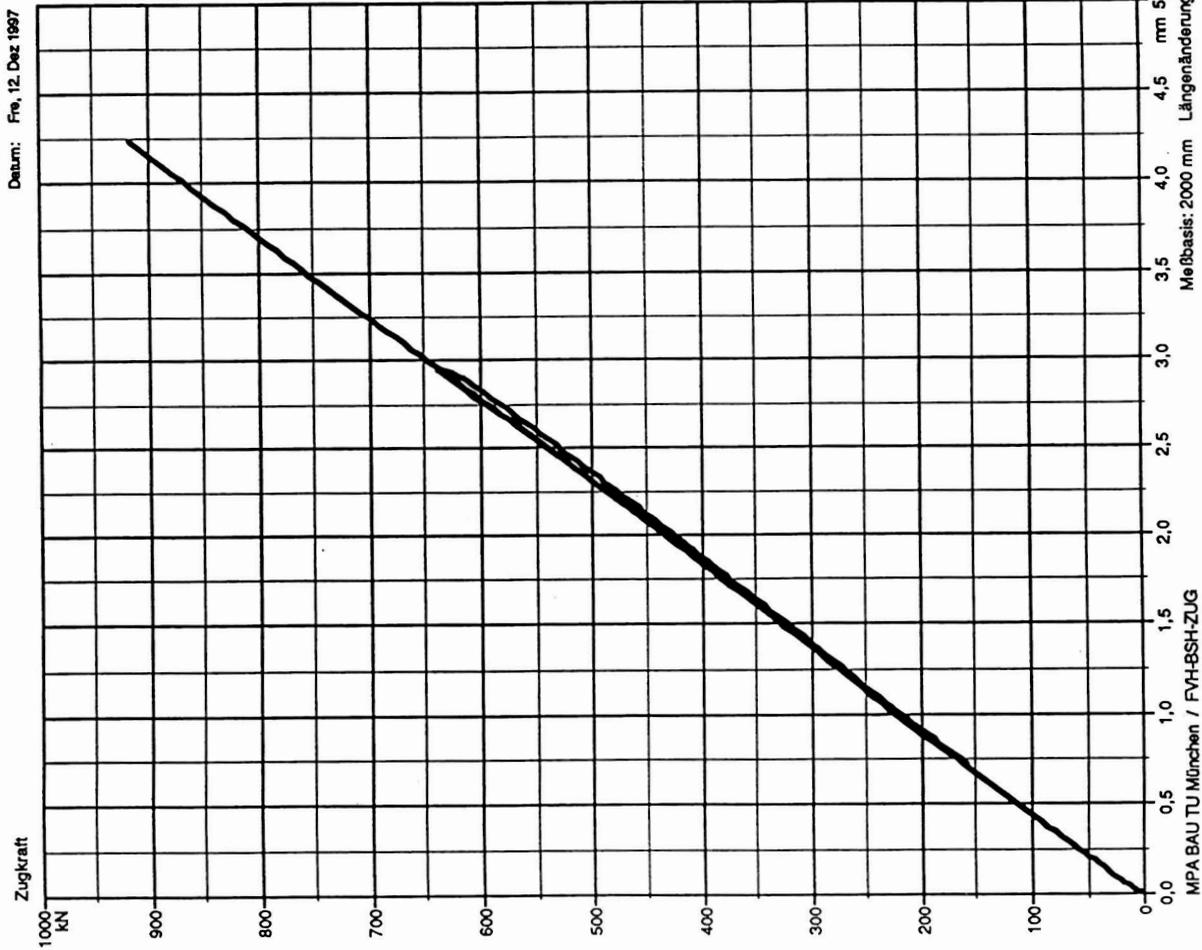
PK 112 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 923,2 kN max. Zugspannung-2 = 24,0 N/mm²
max F1 = 923,2 kN max. Zugspannung-1 = 24,0 N/mm²



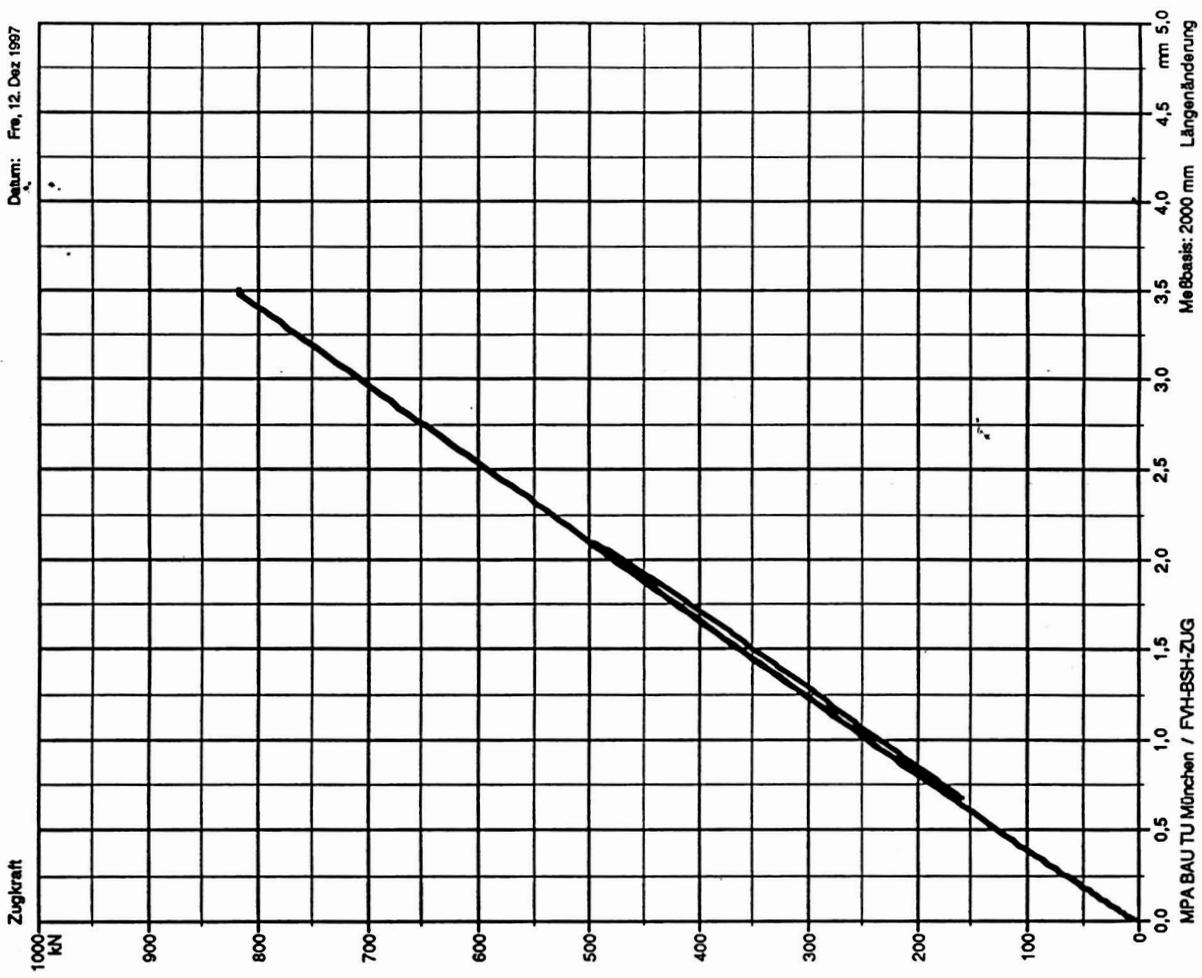
PK 113 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 919,1 kN max. Zugspannung-2 = 23,6 N/mm²
max F1 = 919,1 kN max. Zugspannung-1 = 23,6 N/mm²



PK 114 Kraft-Verformungs-Verhalten

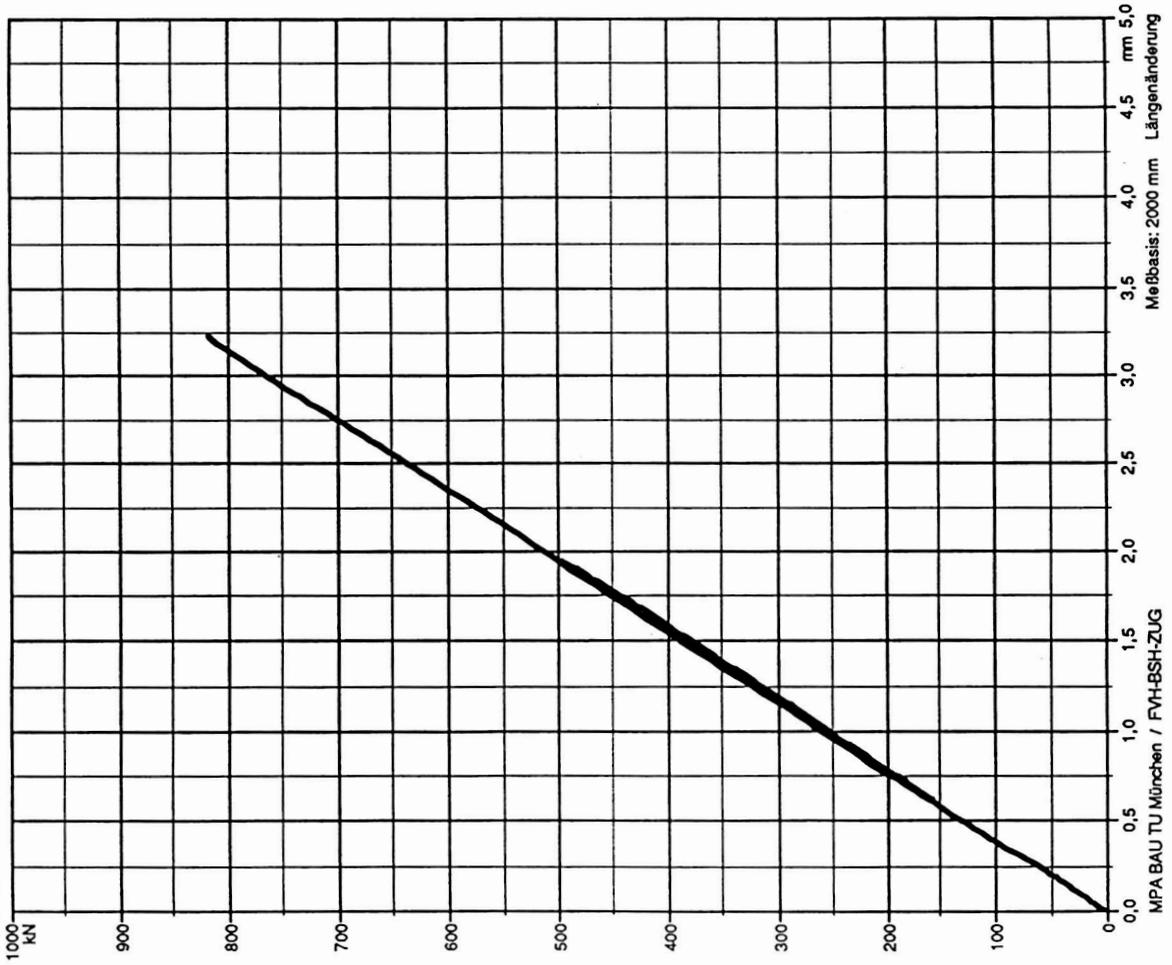
max F2 = 1.148,7 kN max. Zugspannung-2 = 29,6 N/mm²
max F1 = 819,4 kN max. Zugspannung-1 = 21,1 N/mm²



PK 115 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 946,4 kN max. Zugspannung-2 = 24,6 N/mm²
max F1 = 818,7 kN max. Zugspannung-1 = 21,3 N/mm²

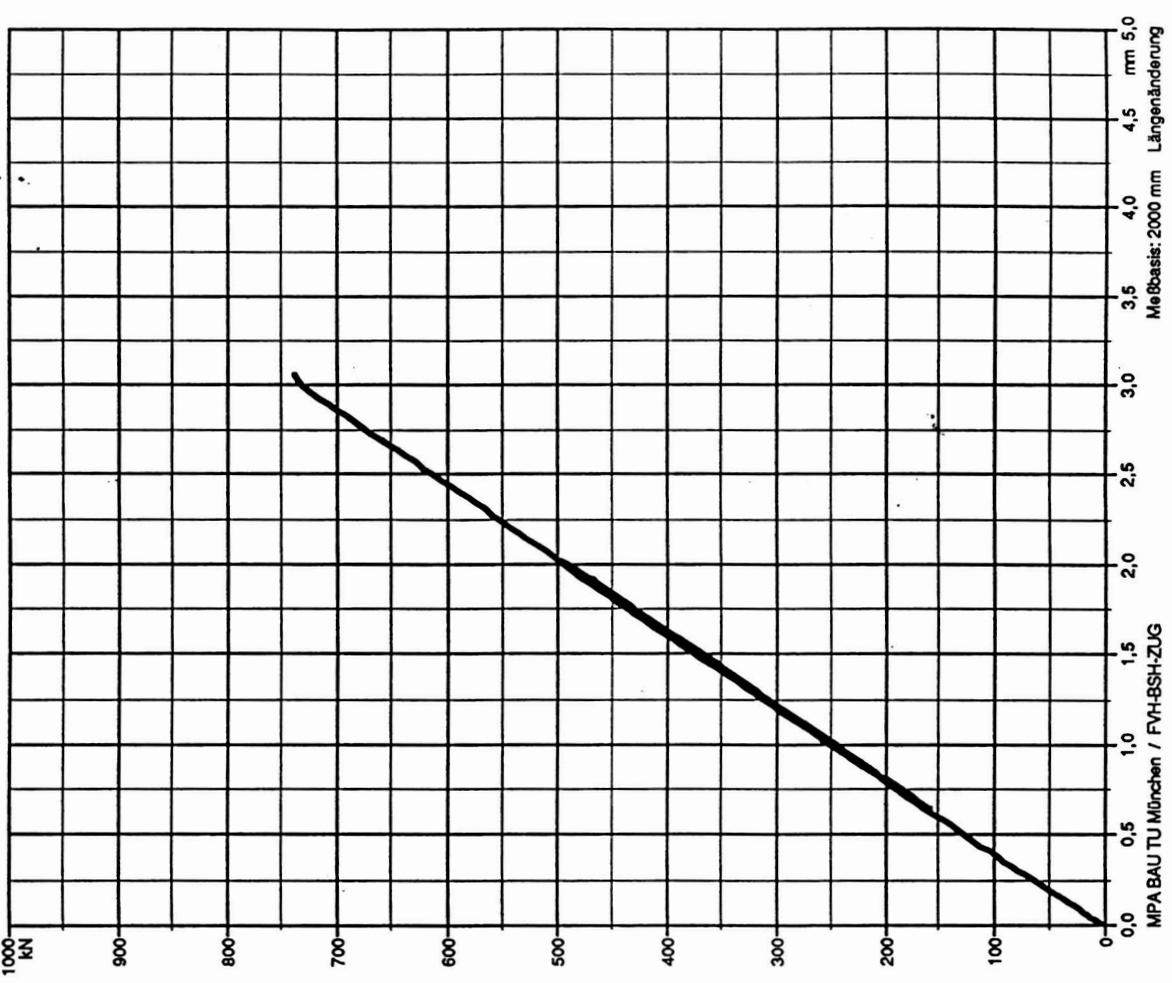
Datum: Mon, 15. Dez 1997



PK 116 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 739,4 kN max. Zugspannung-2 = 19,3 N/mm²
max F1 = 739,4 kN max. Zugspannung-1 = 19,3 N/mm²

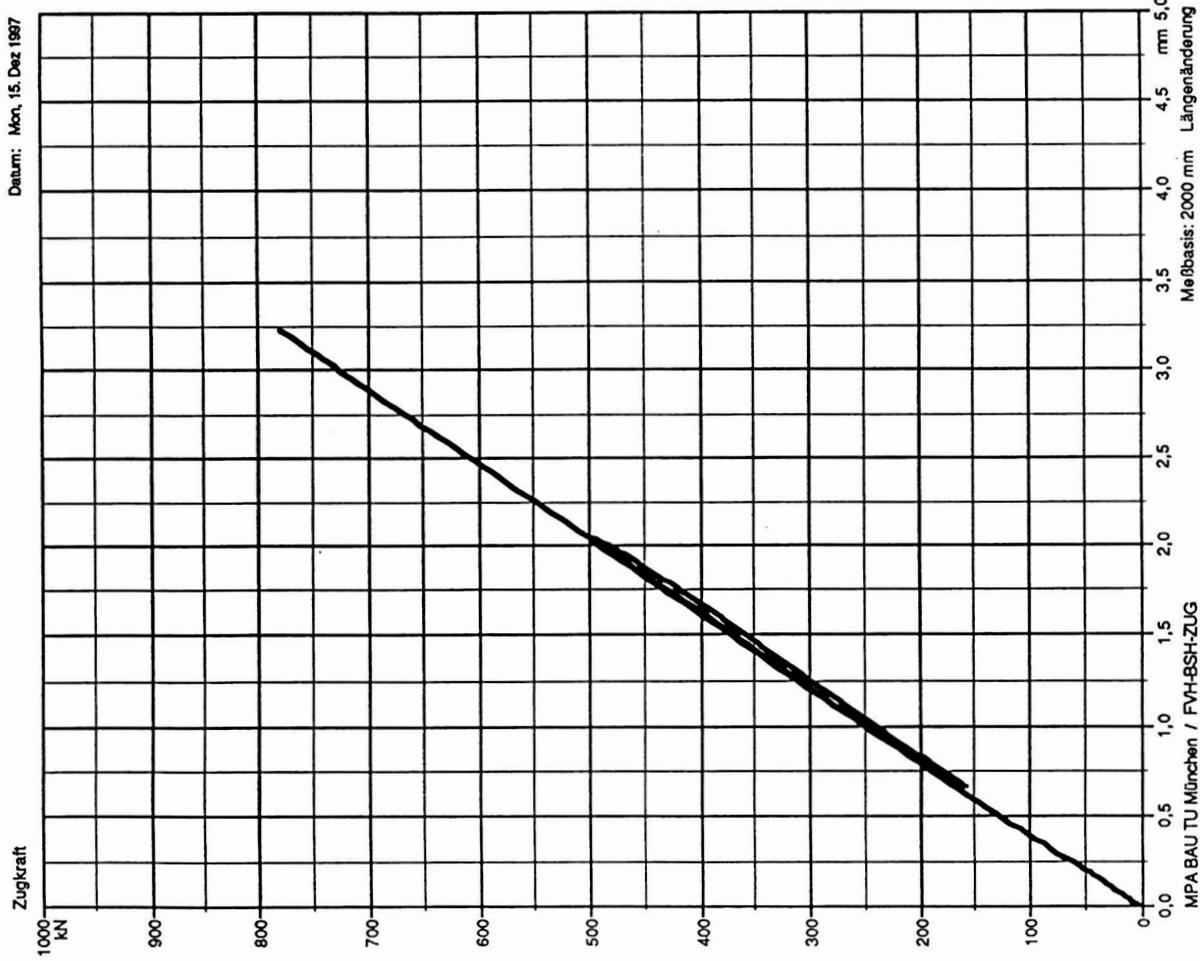
Datum: Mon, 15. Dez 1997



PK 117 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 780,4 kN max. Zugspannung-2 = 20,3 N/mm²
max F1 = 780,4 kN max. Zugspannung-1 = 20,3 N/mm²

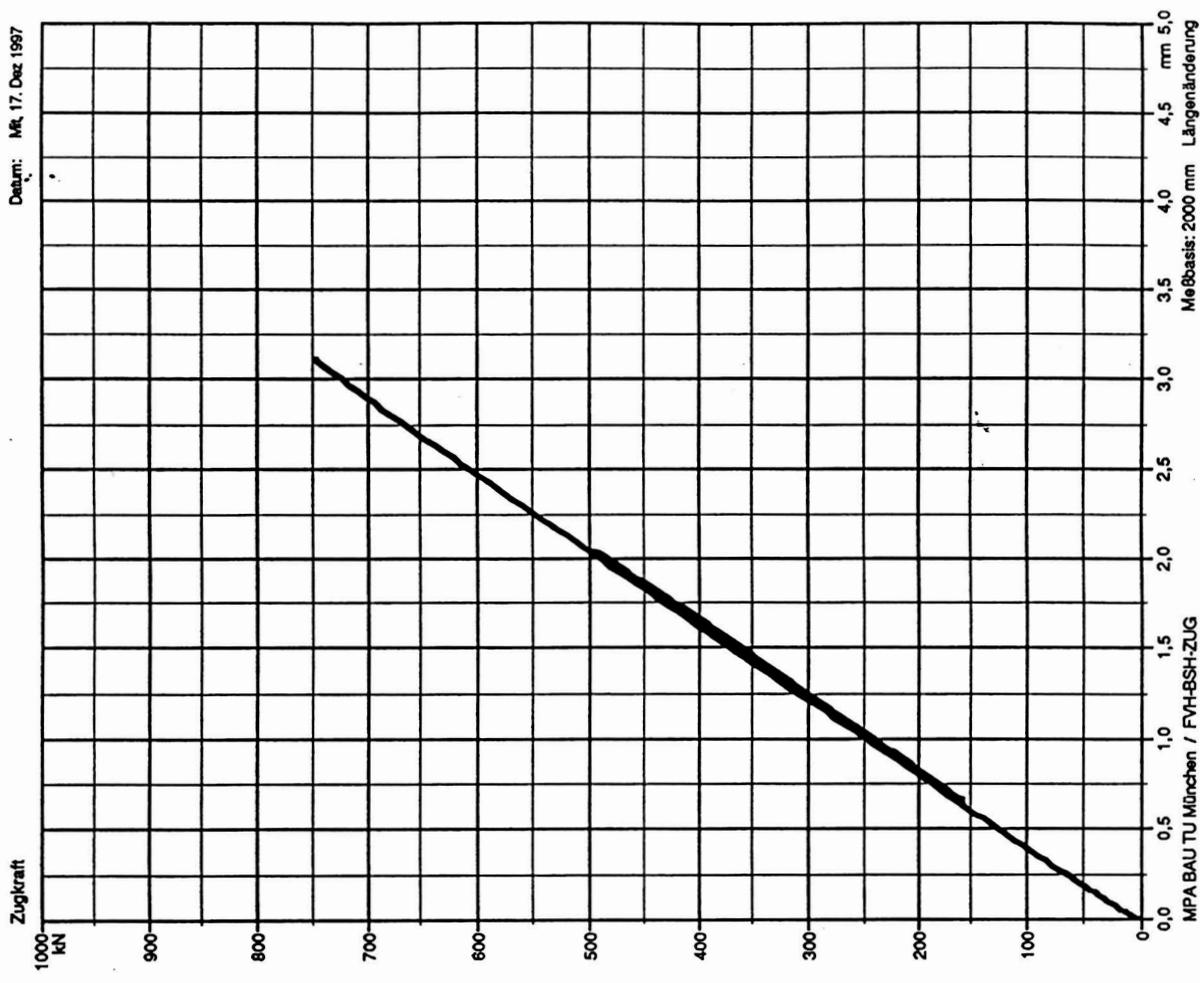
Datum: Mo, 15. Dez 1997



PK 118 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.123,6 kN max. Zugspannung-2 = 29,2 N/mm²
max F1 = 748,6 kN max. Zugspannung-1 = 19,4 N/mm²

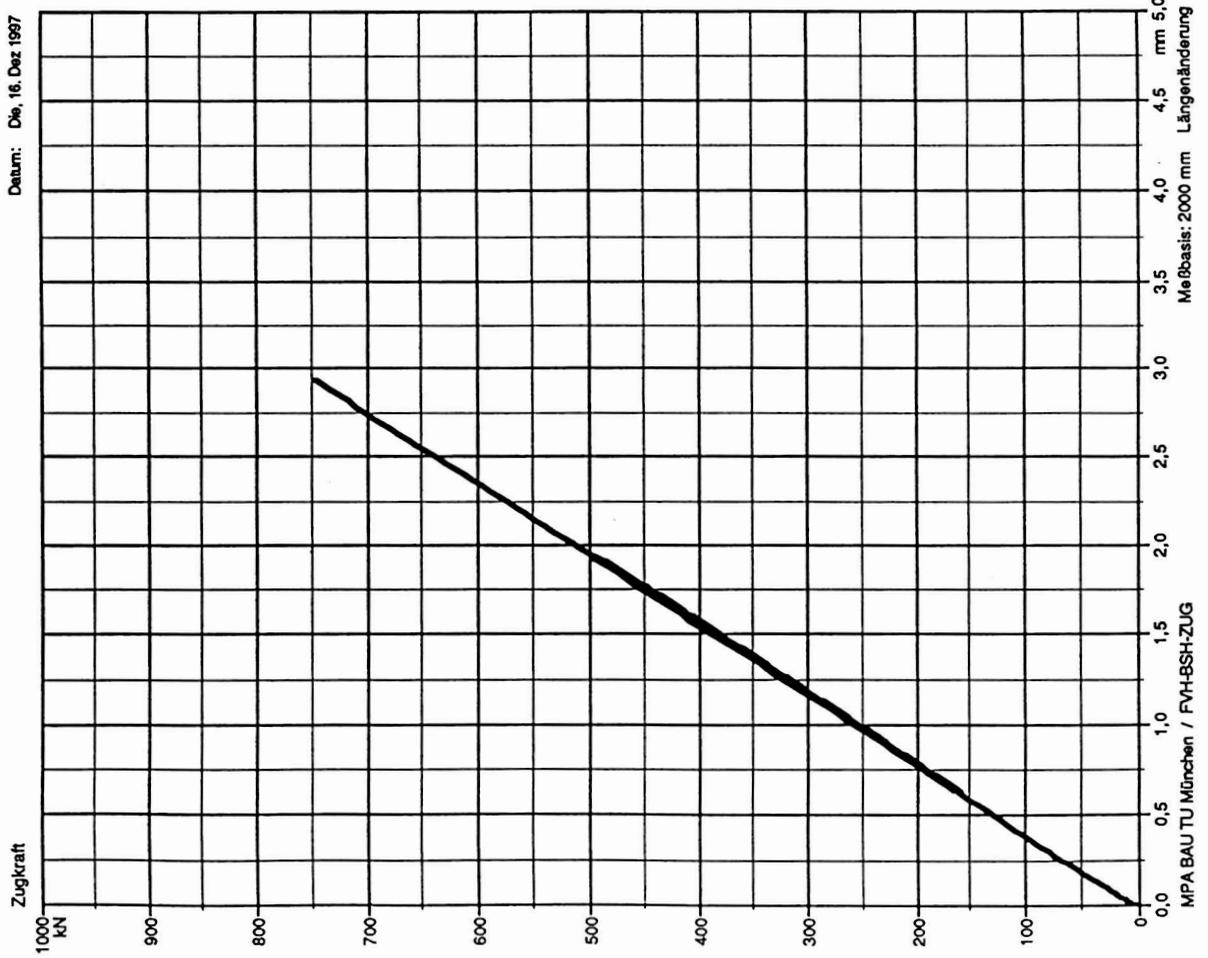
Datum: Mi, 17. Dez 1997



PK 119 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 1.040,7 kN max. Zugspannung-2 = 26,8 N/mm²
max F1 = 749,2 kN max. Zugspannung-1 = 19,3 N/mm²

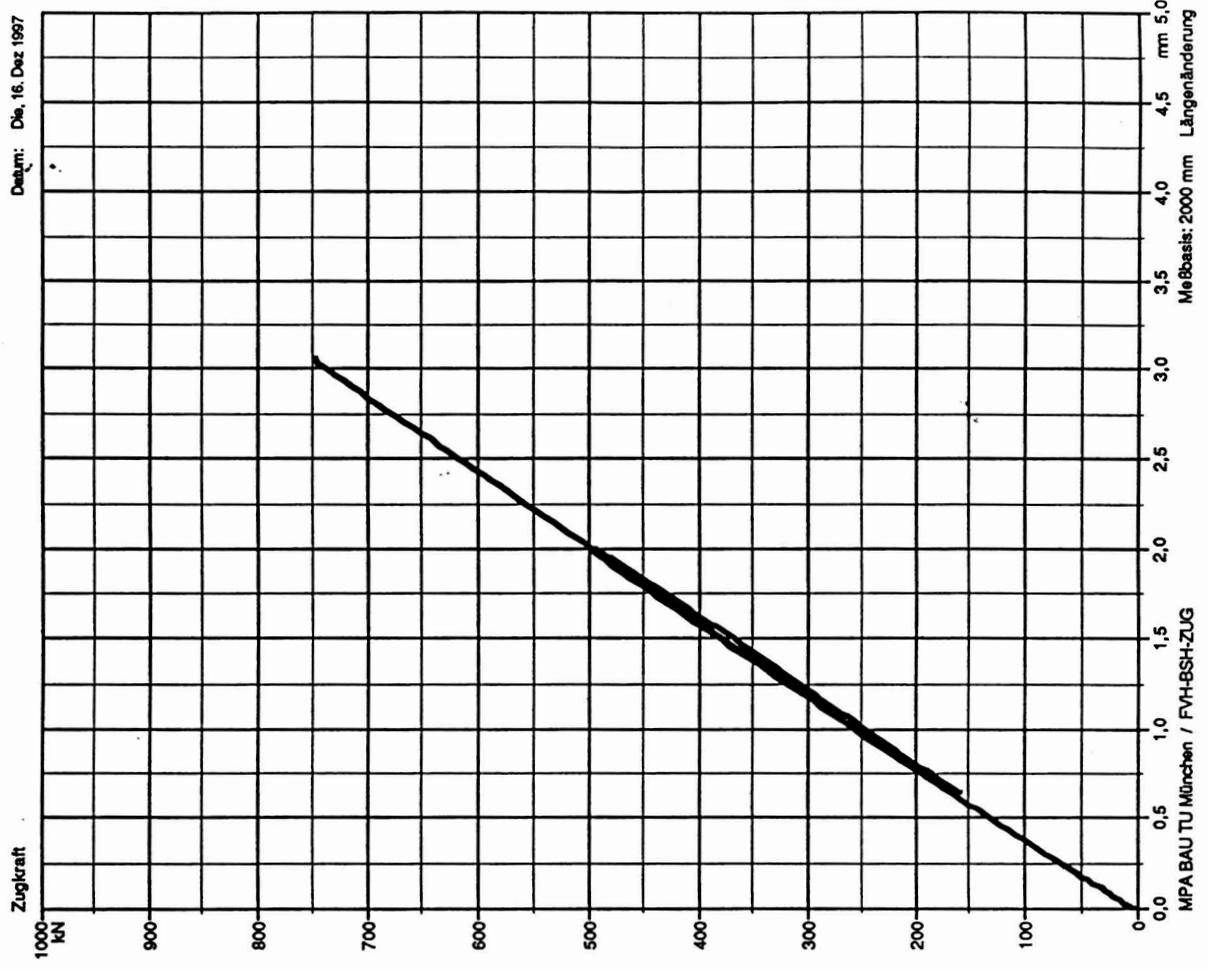
Datum: Do, 16. Dez 1997



PK 120 Kraft-Verformungs-Verhalten

max F2 = 801,6 kN max. Zugspannung-2 = 20,6 N/mm²
max F1 = 749,1 kN max. Zugspannung-1 = 19,3 N/mm²

Datum: Do, 16. Dez 1997

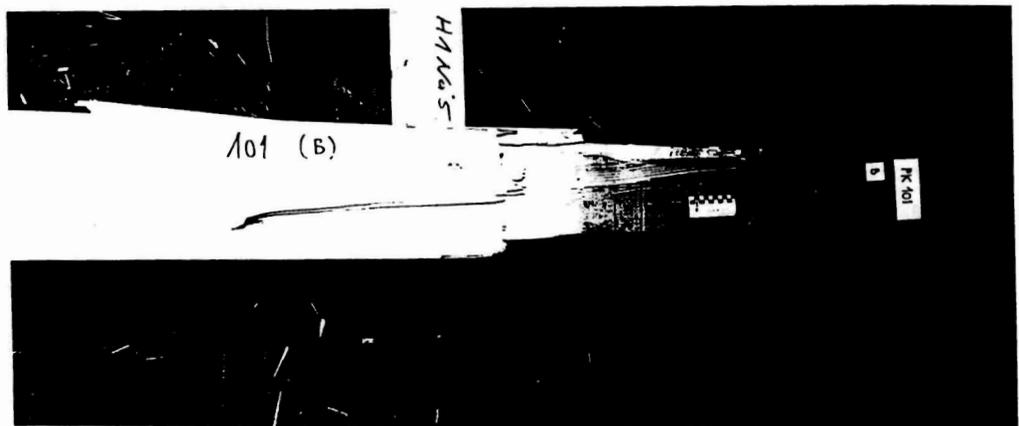
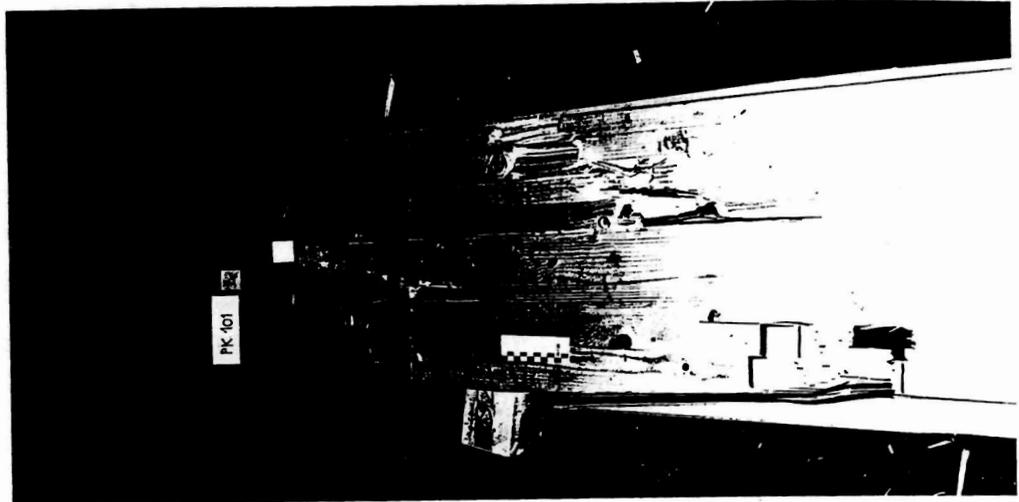


Anlage 03

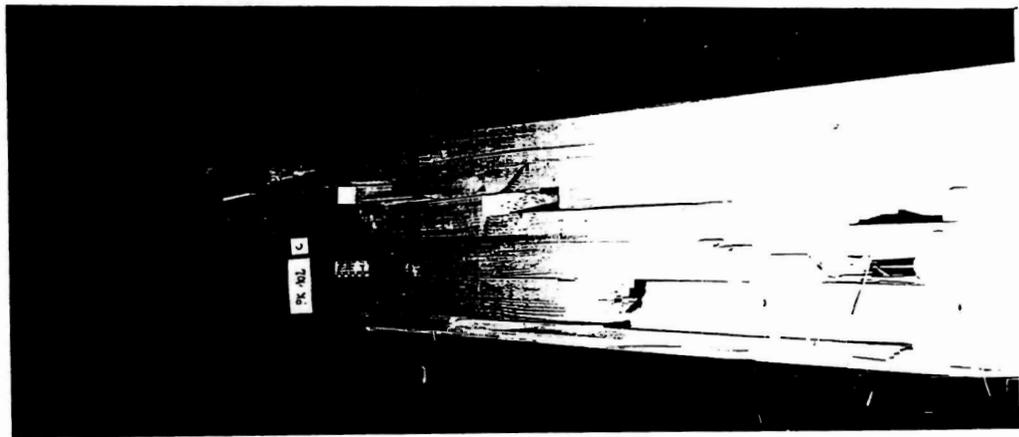
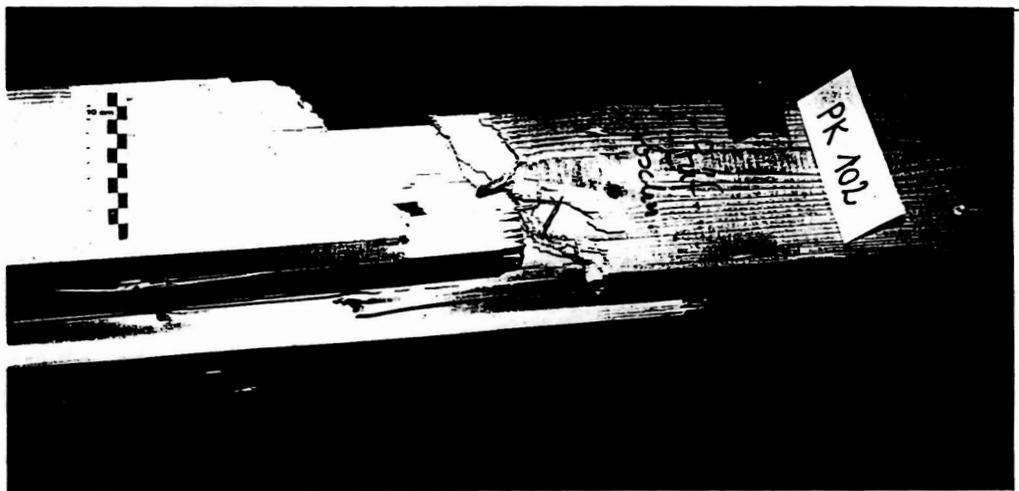
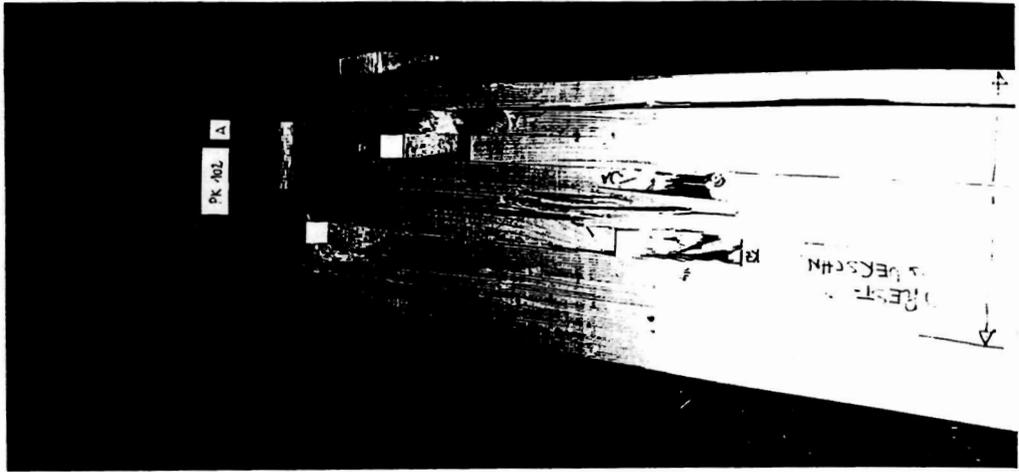
Blatt 01 mit Blatt 20

Bruchbilder
pro BSH-Prüfkörper
... zur Teilmenge 2 = 20 Prüfkörper

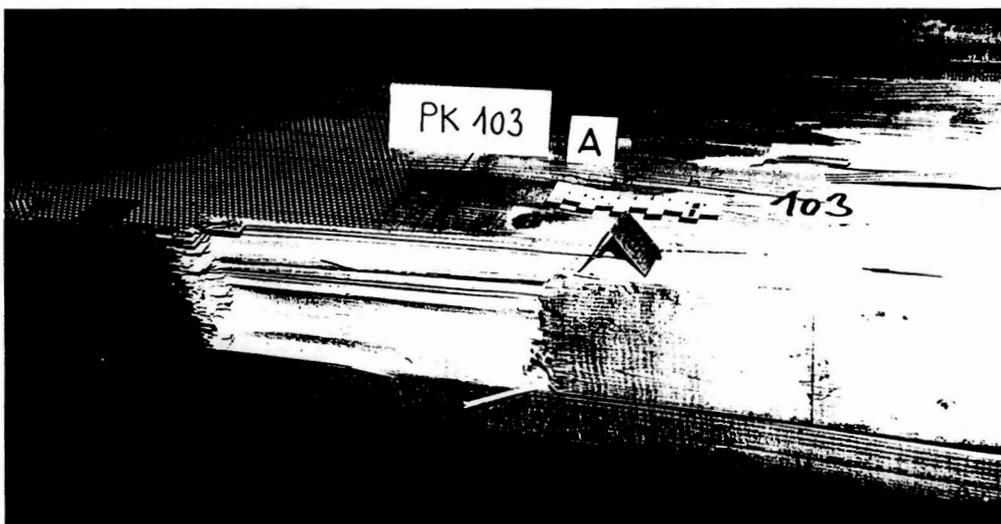
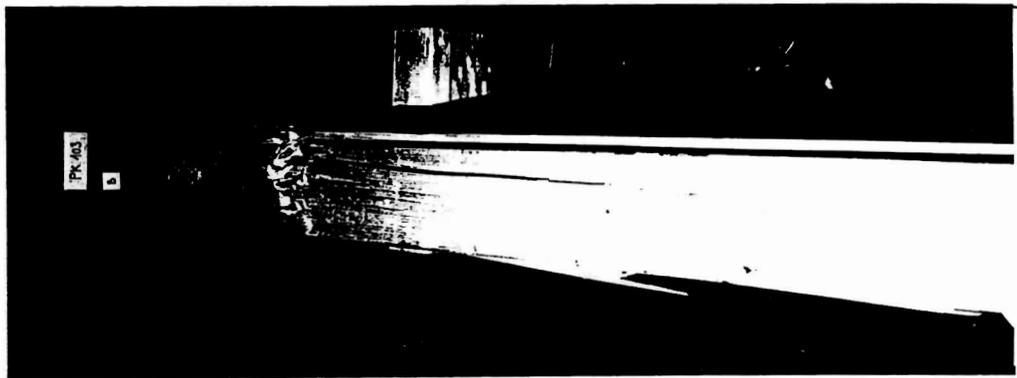
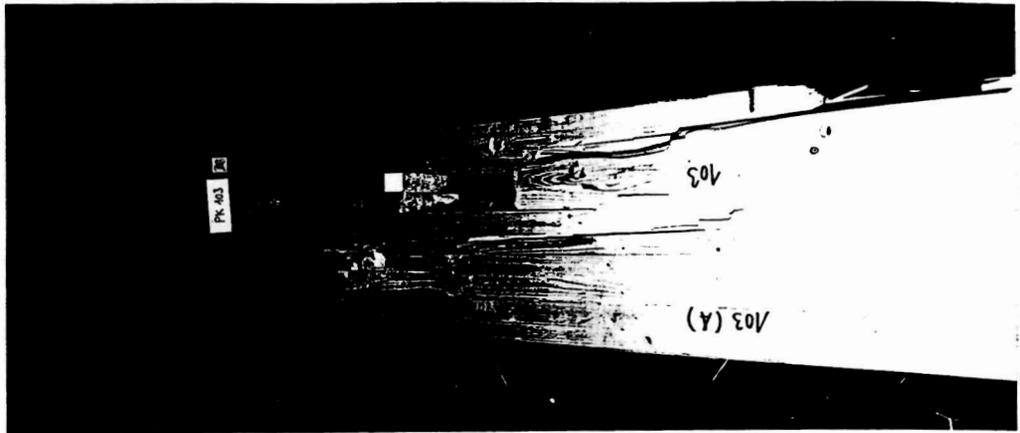
*Es sind jeweils die 4 Prüfkörperseiten
abgebildet (Ansicht A, B, C und D)
in abwickelnder Reihenfolge*



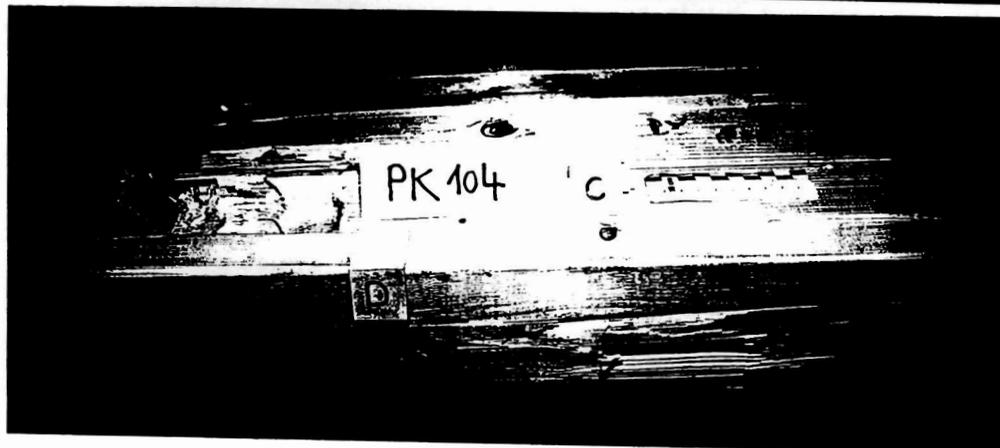
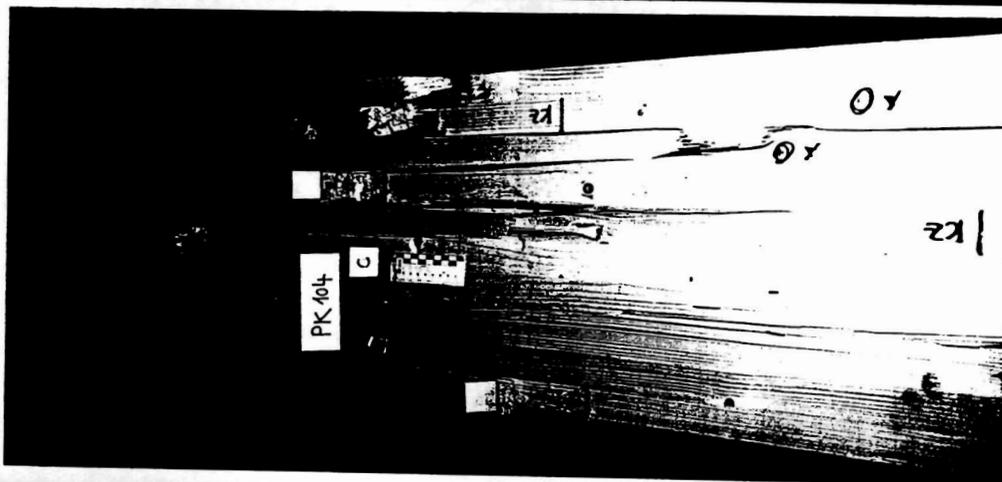
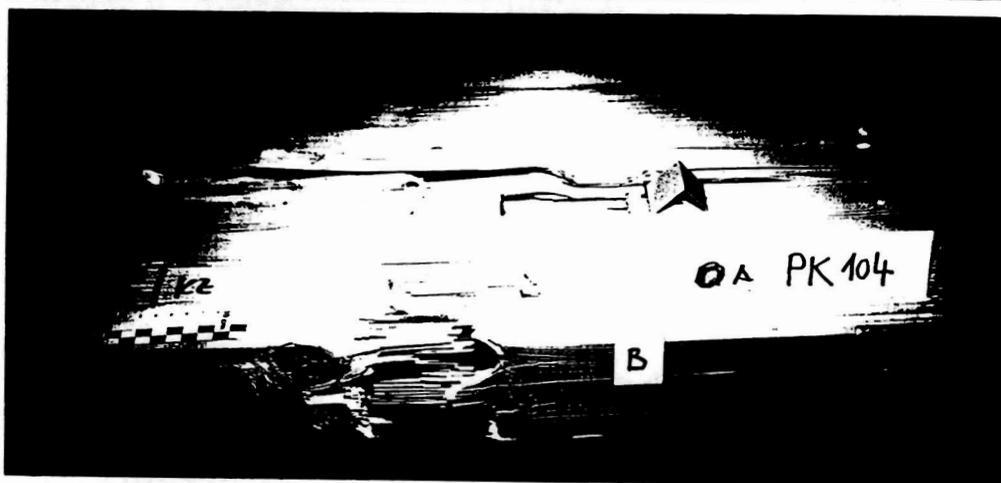
PK 101



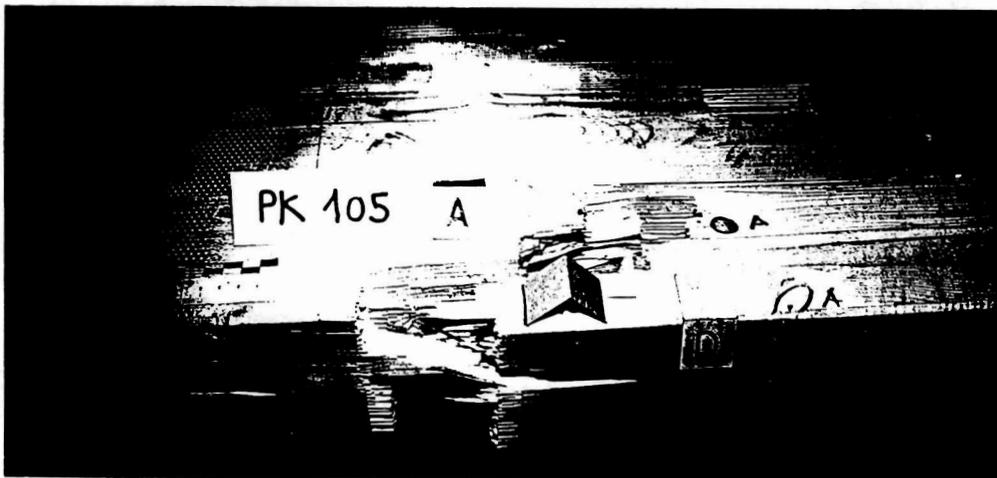
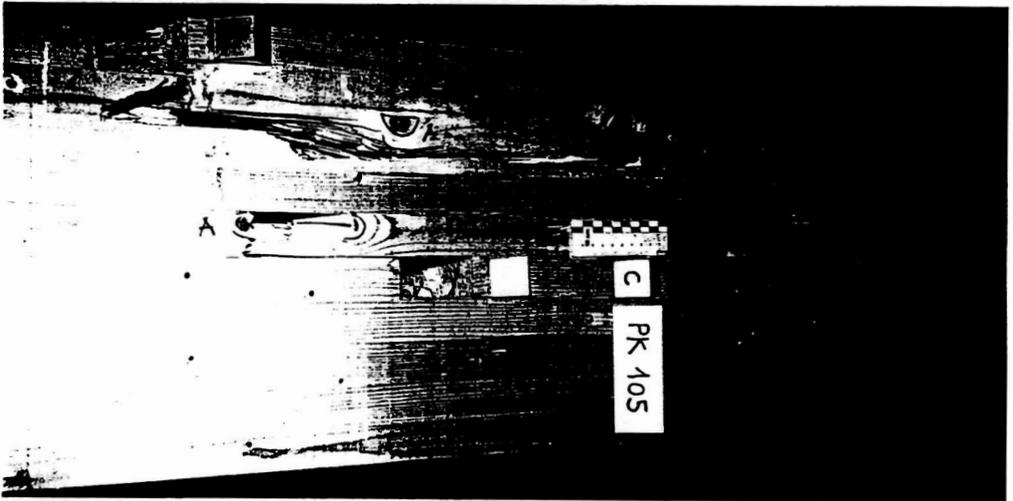
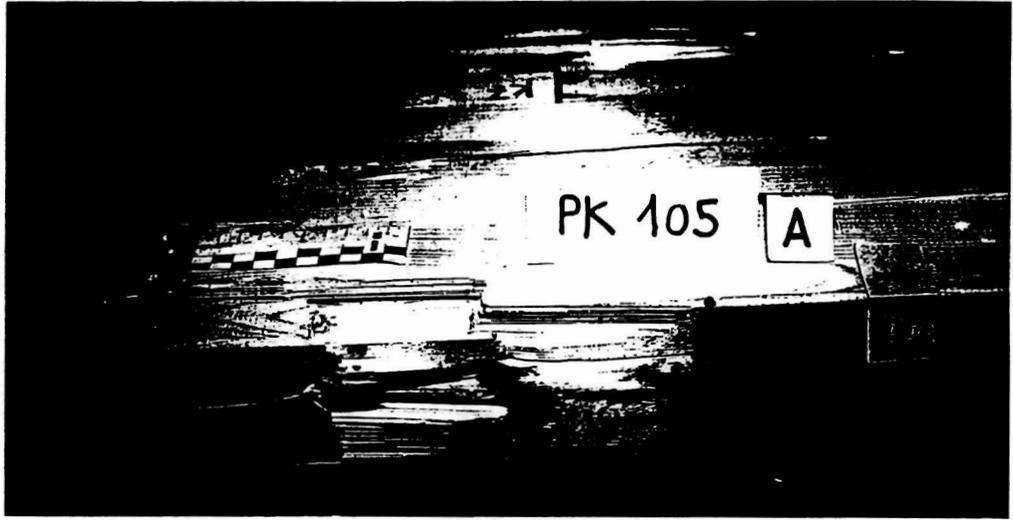
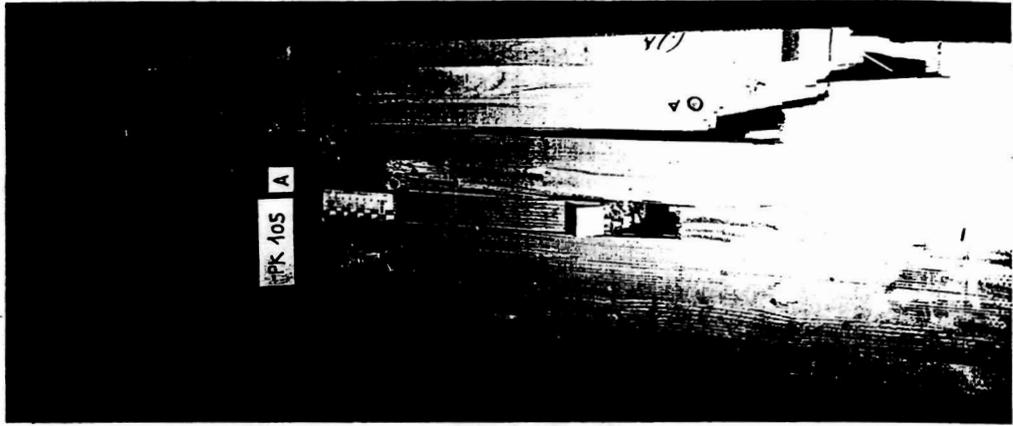
PK 102



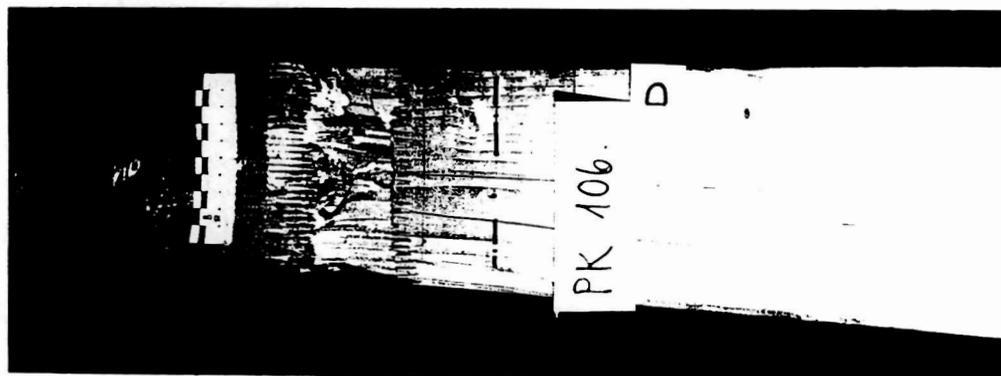
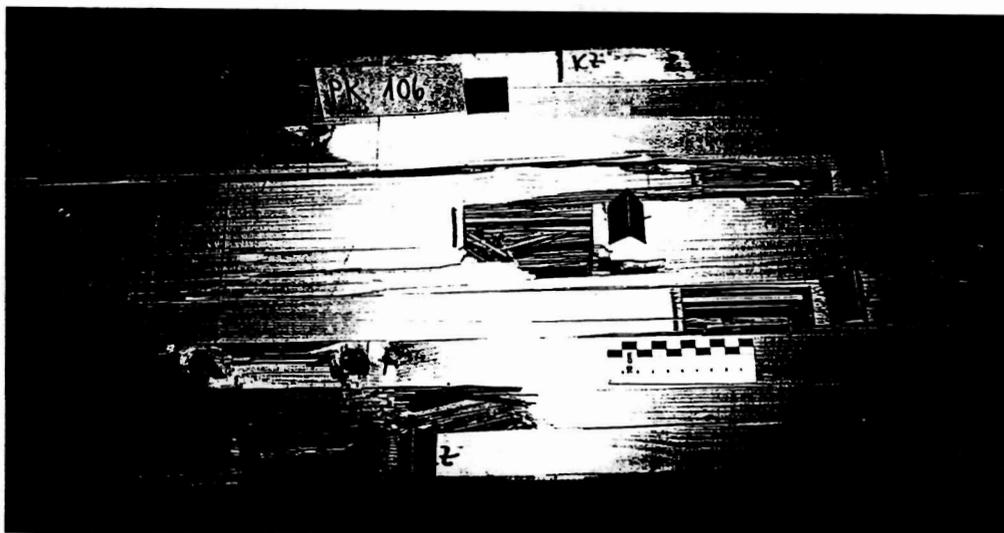
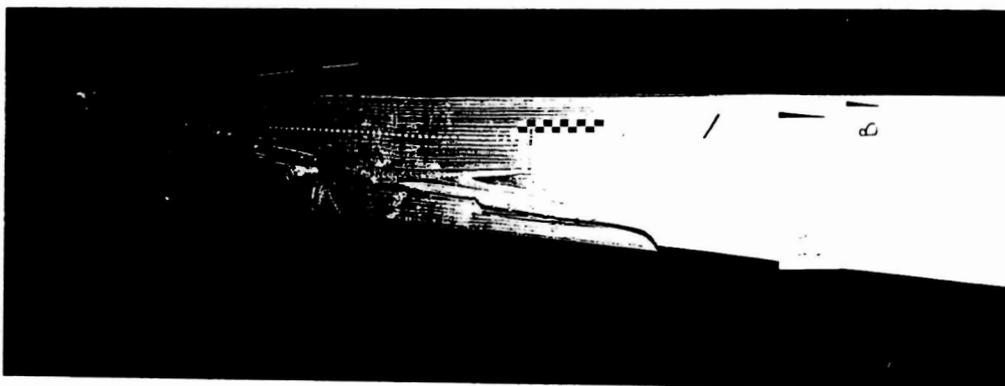
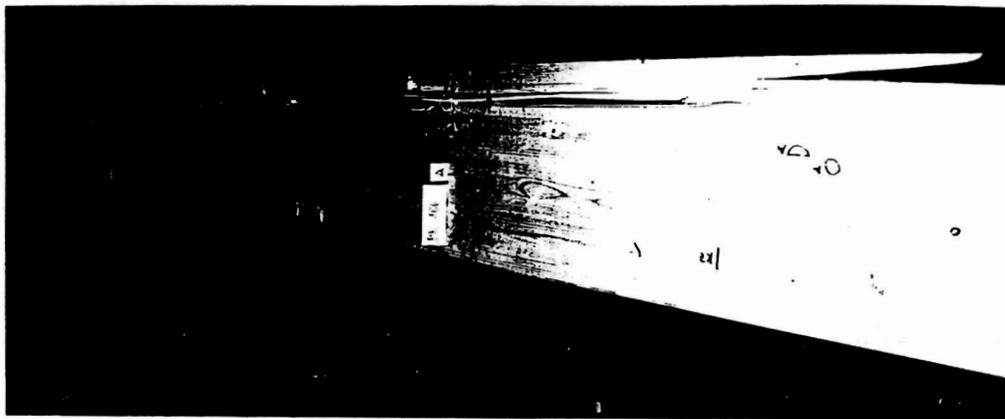
PK 103



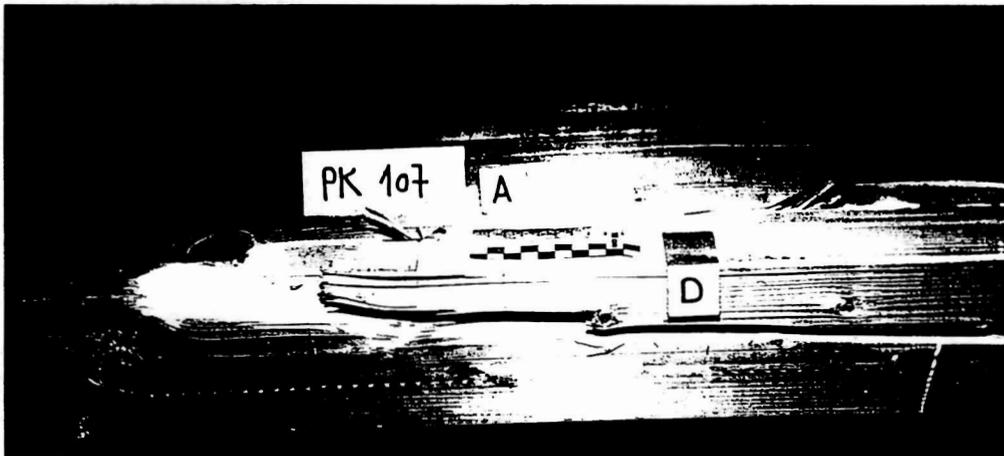
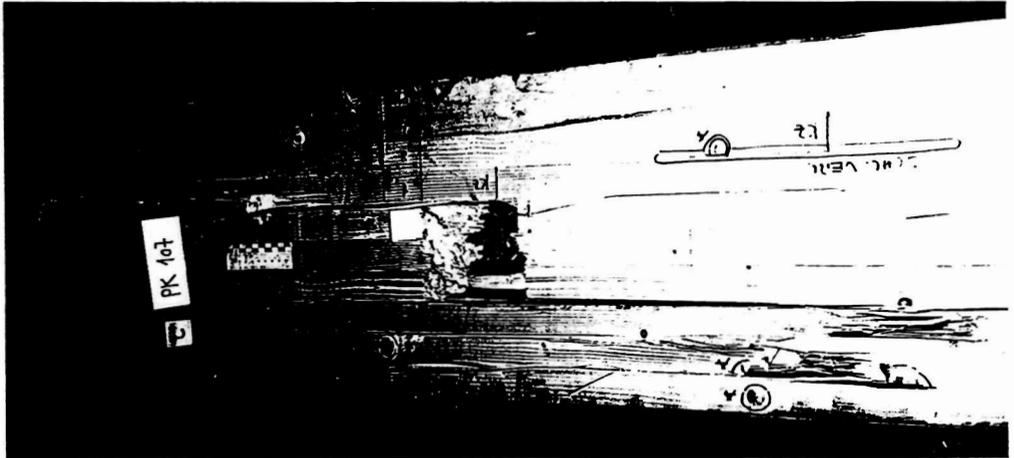
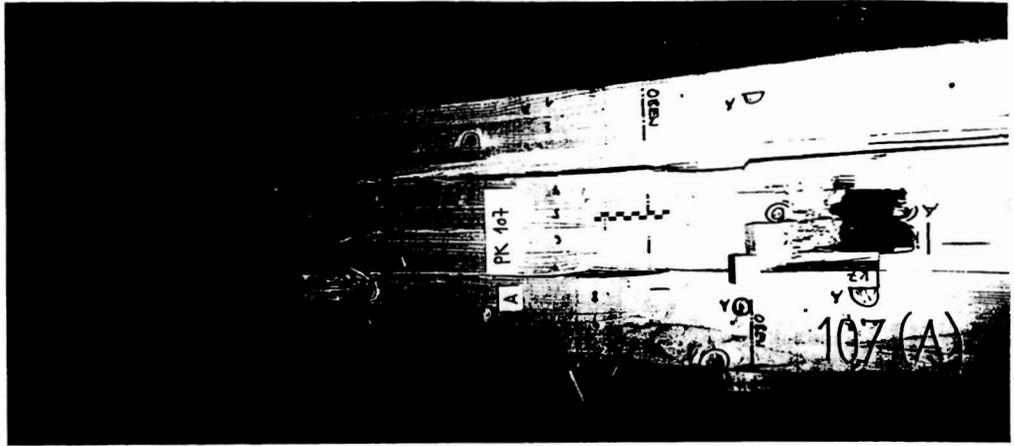
PK 104



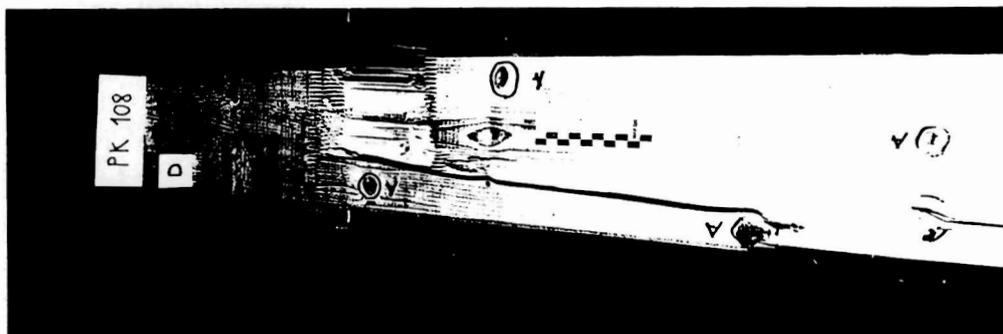
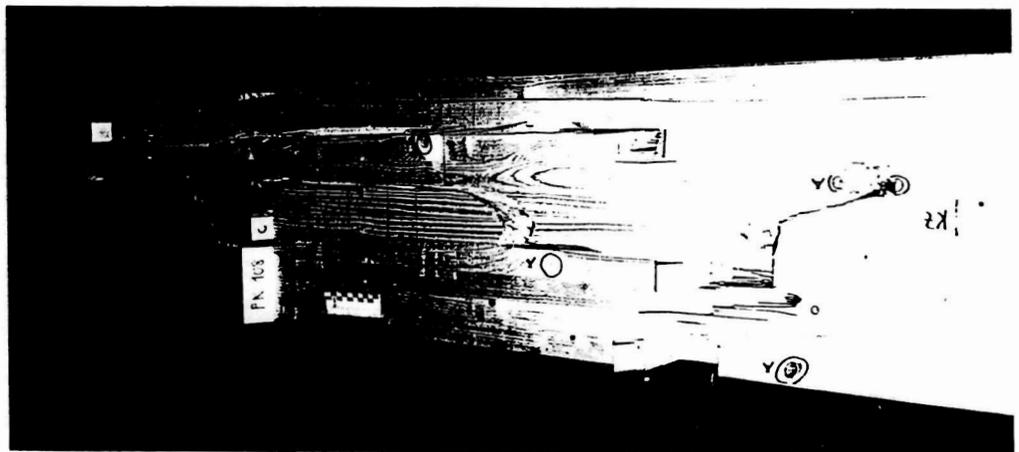
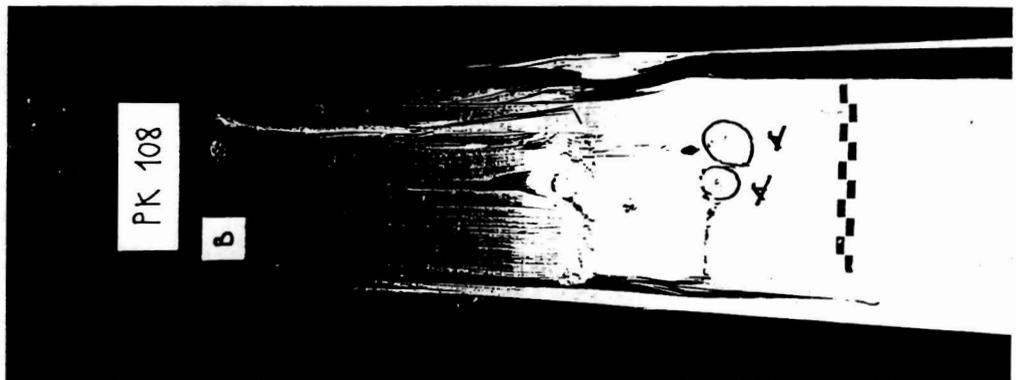
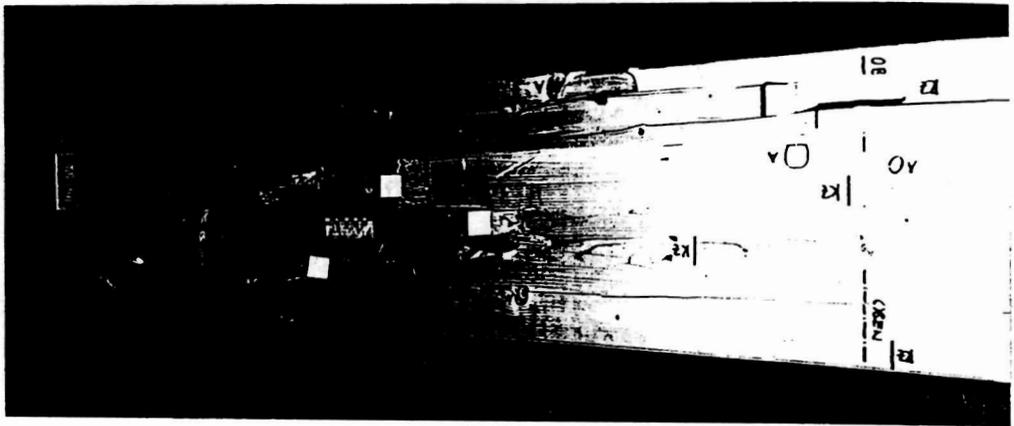
PK 105



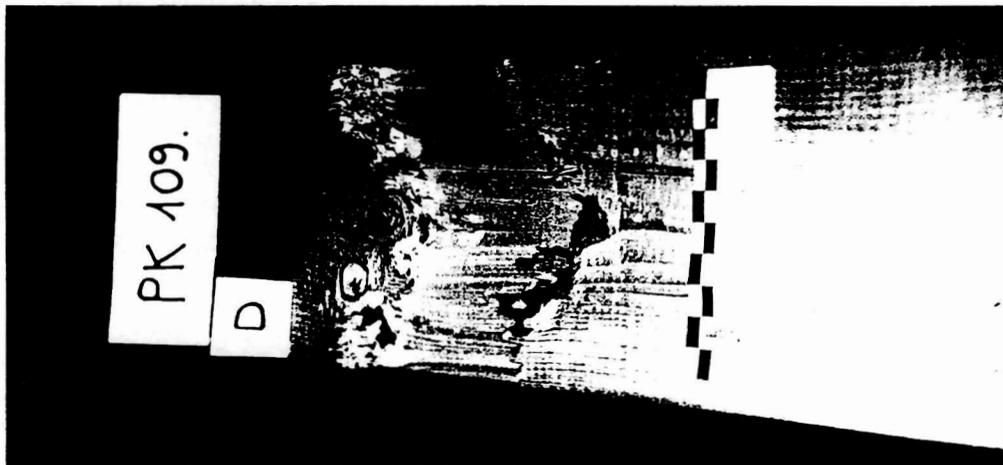
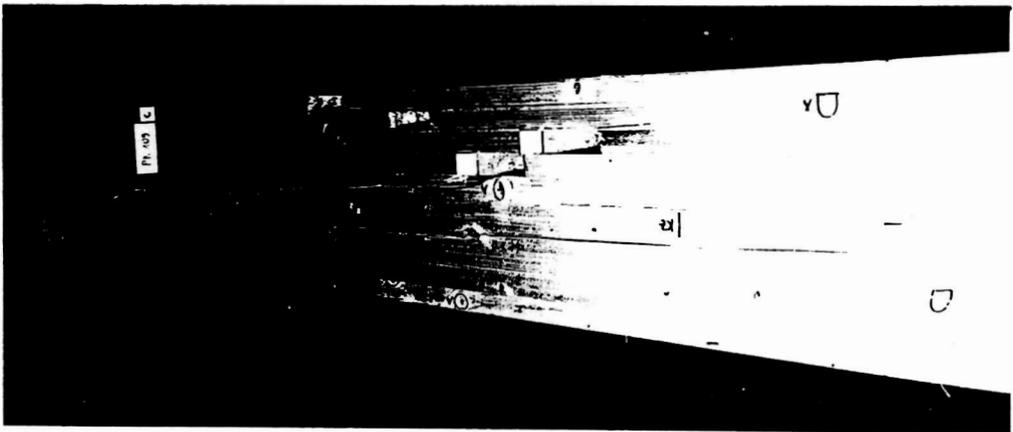
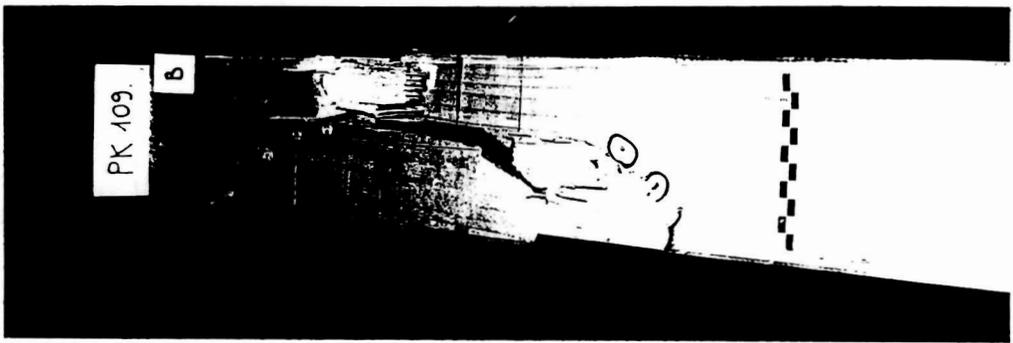
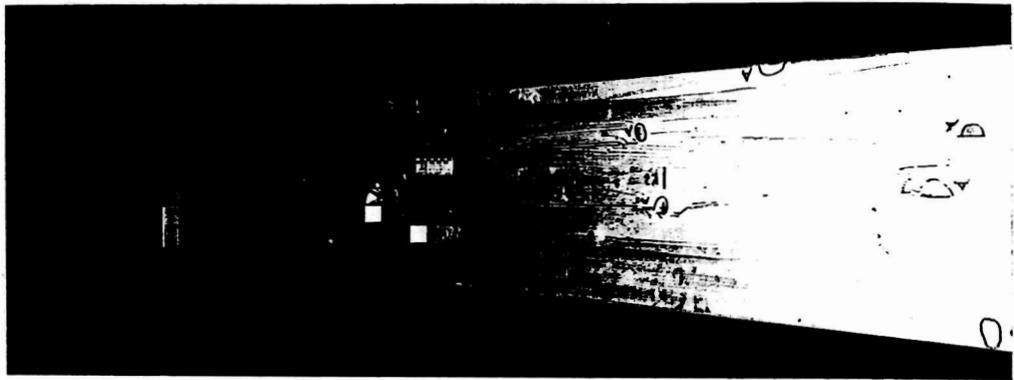
PK 106



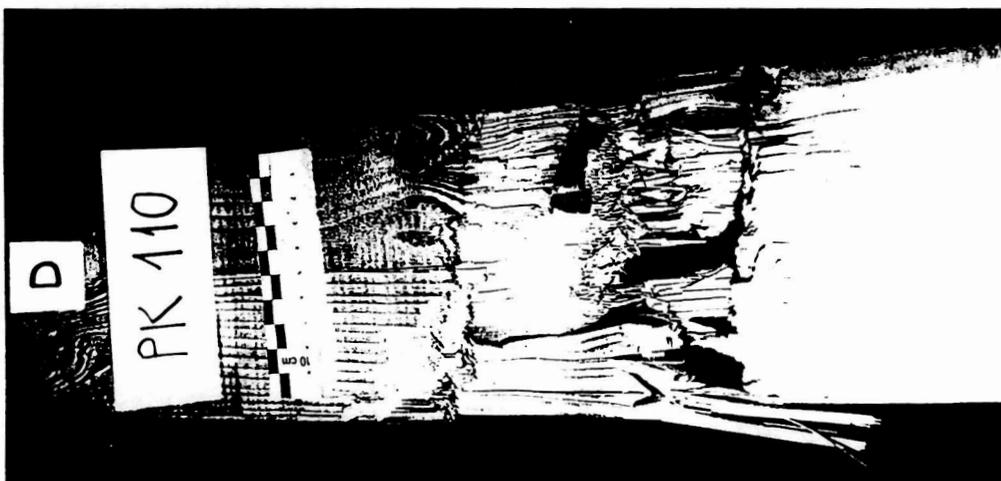
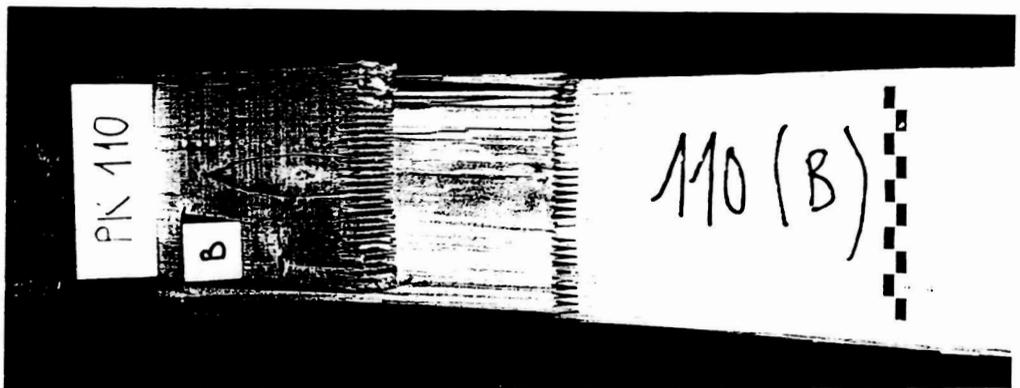
PK 107



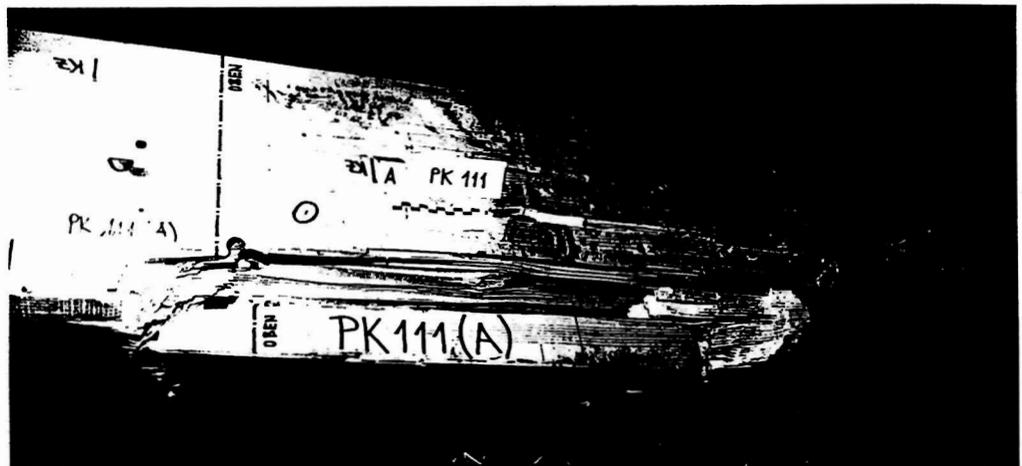
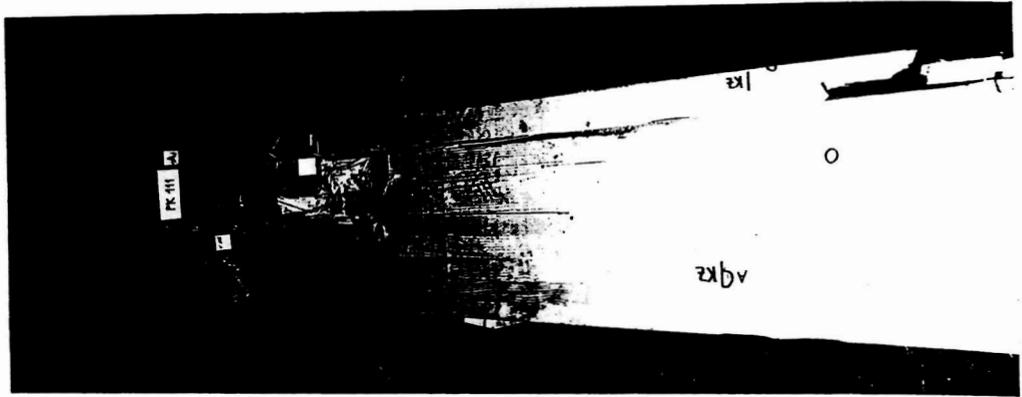
PK 108



PK 109



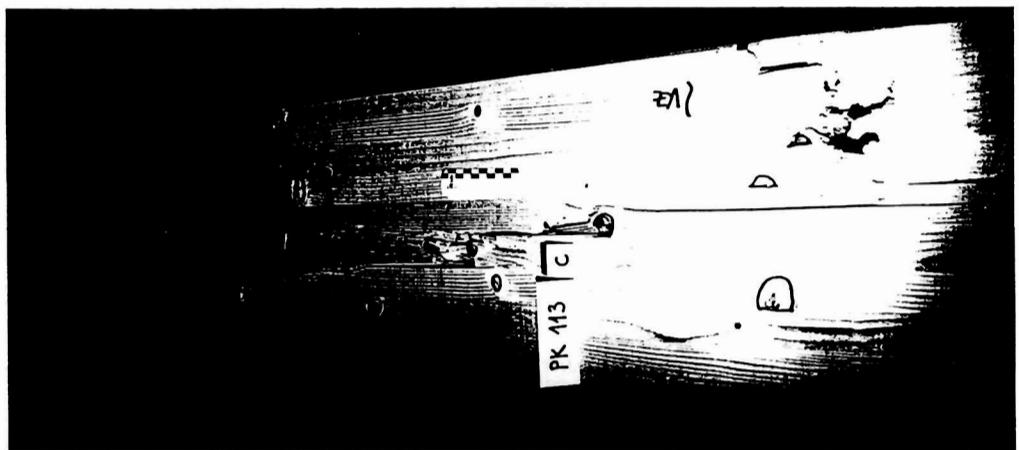
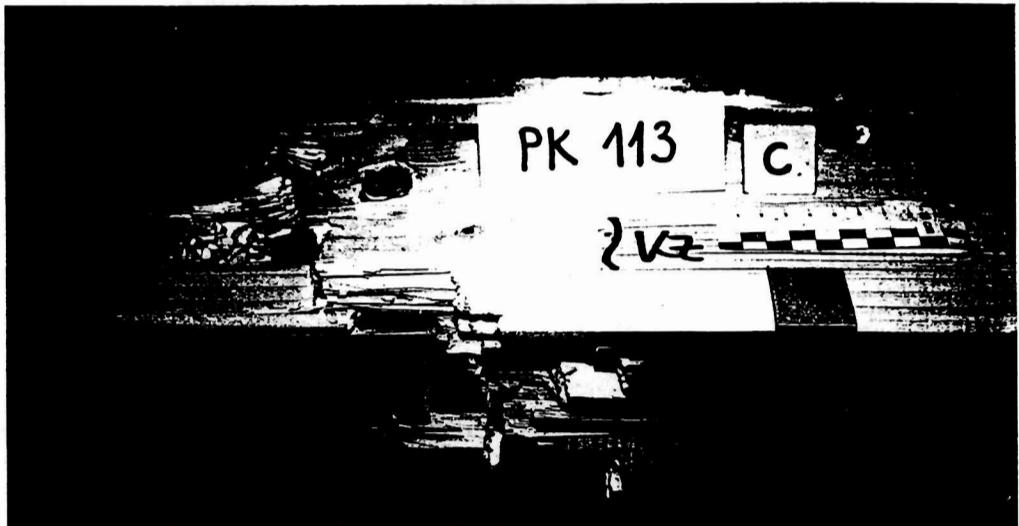
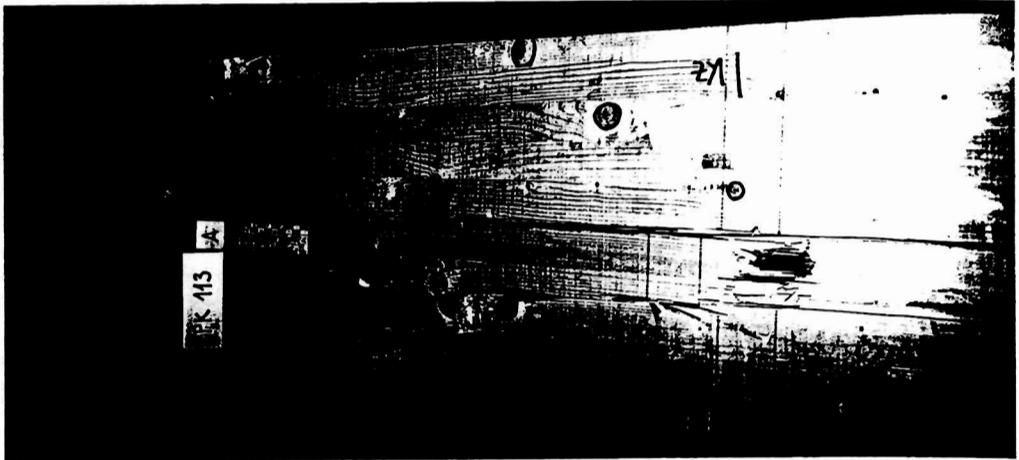
PK 110



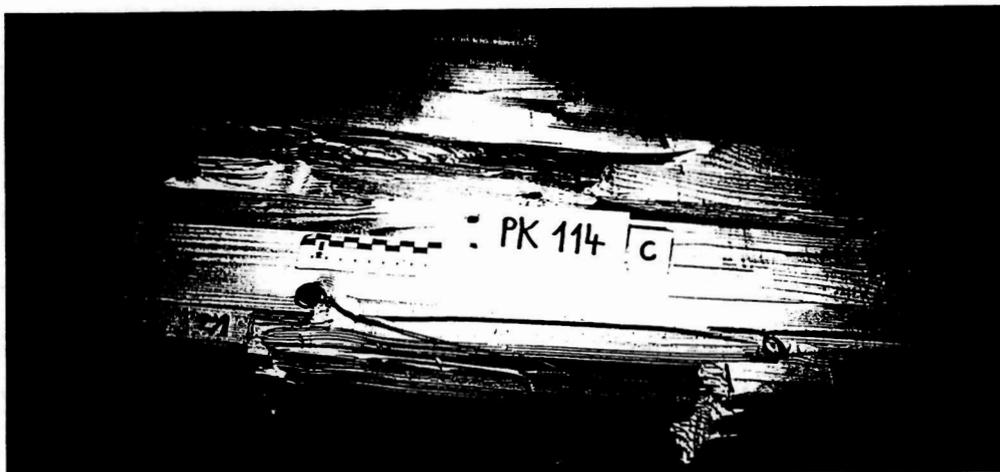
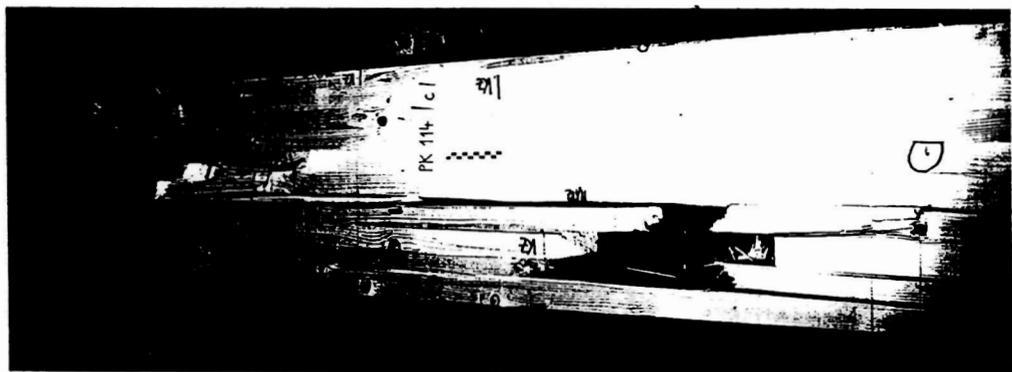
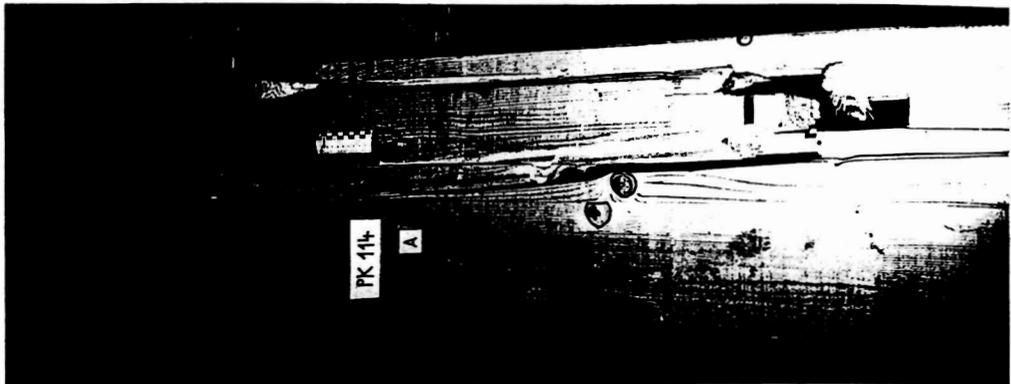
PK 111



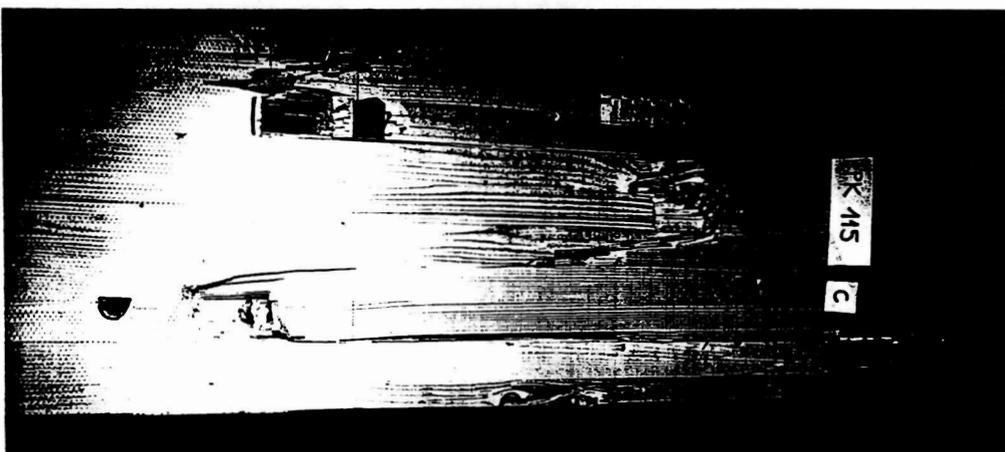
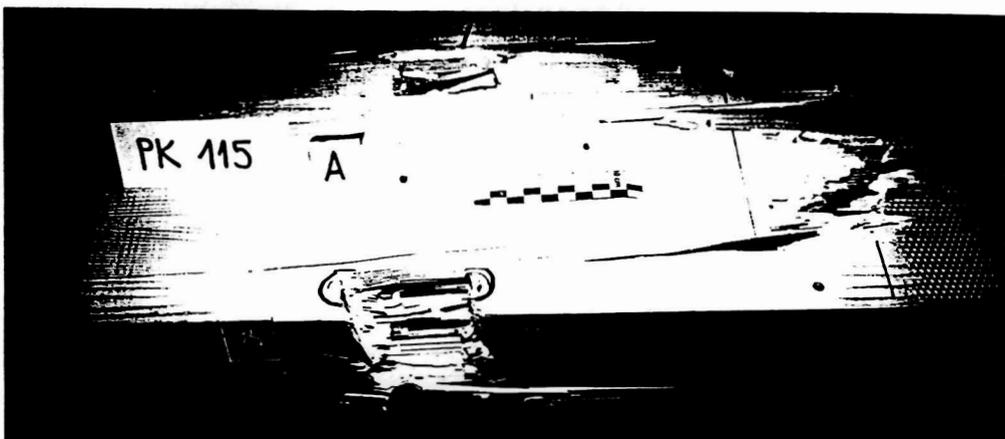
PK 112



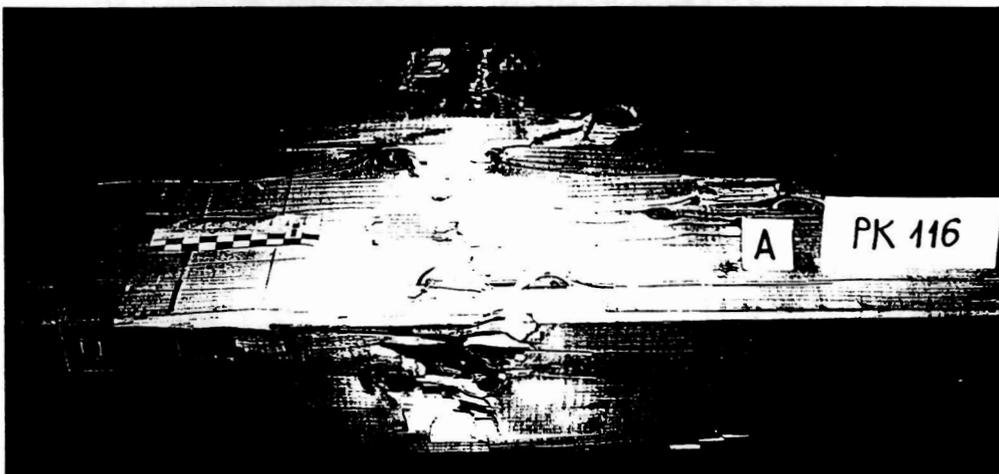
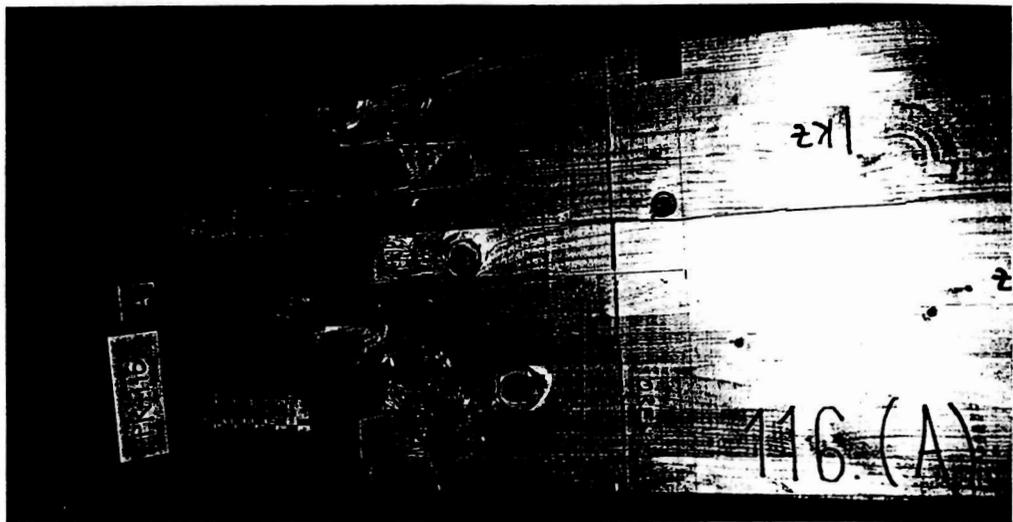
PK 113



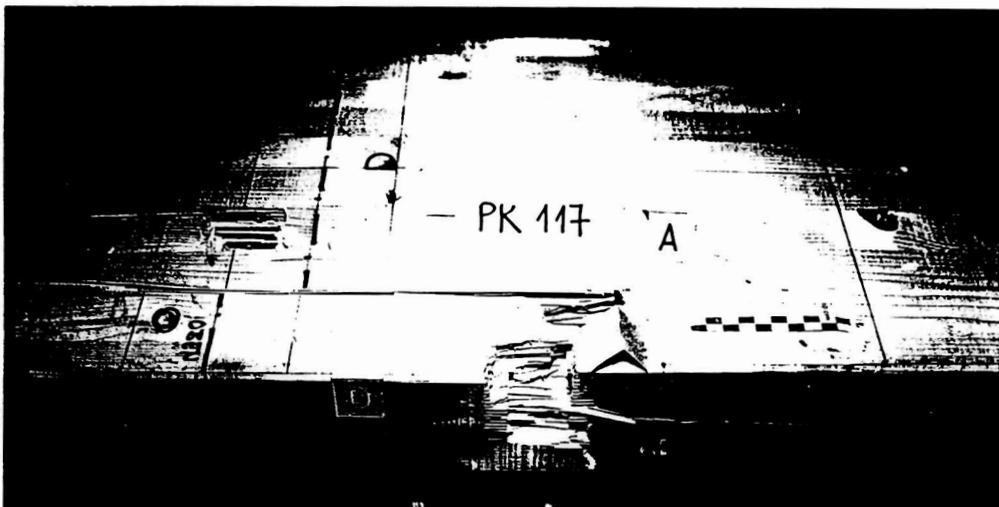
PK 114



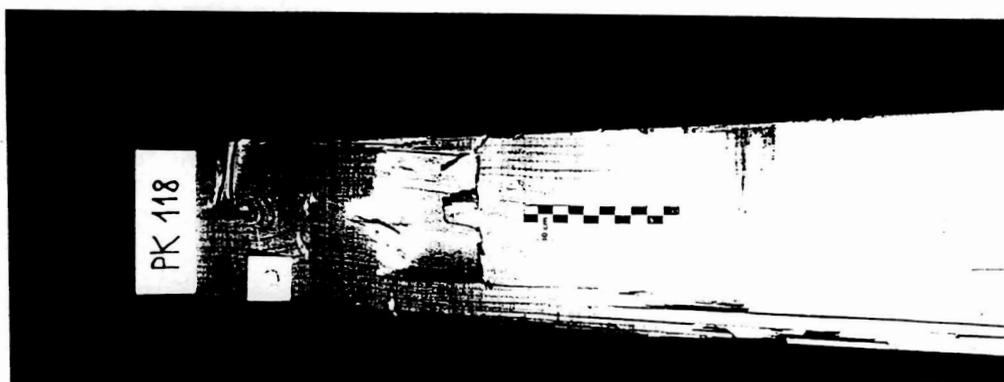
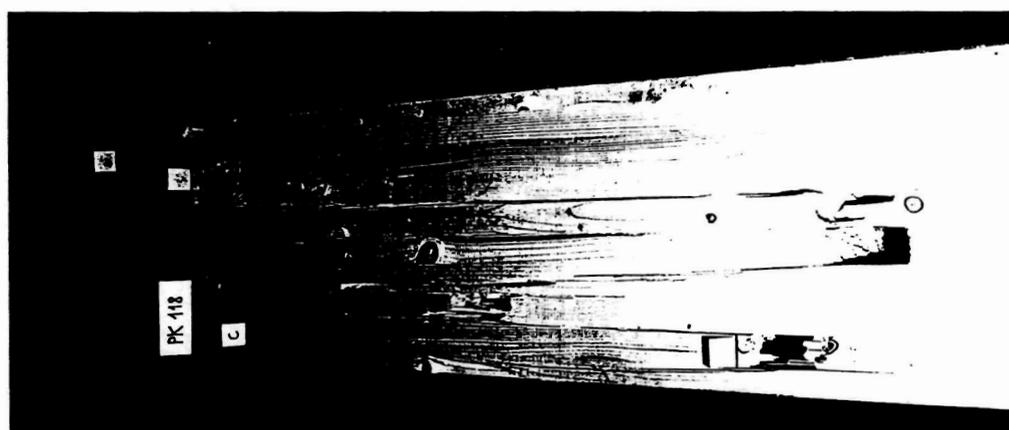
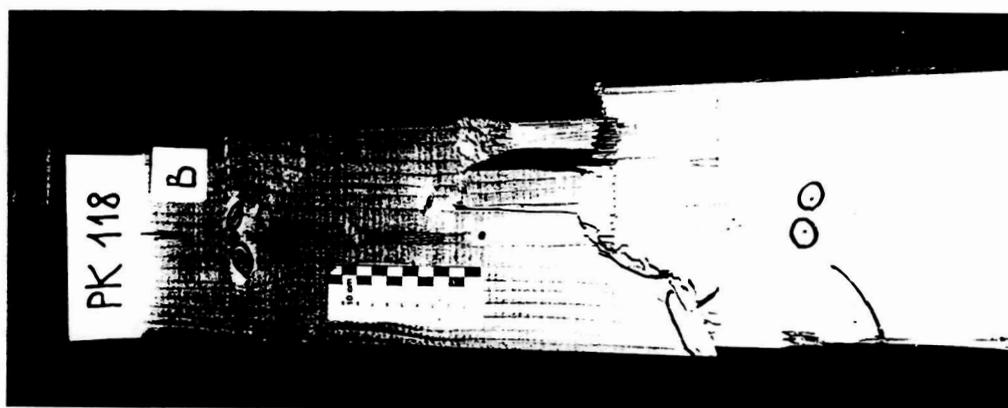
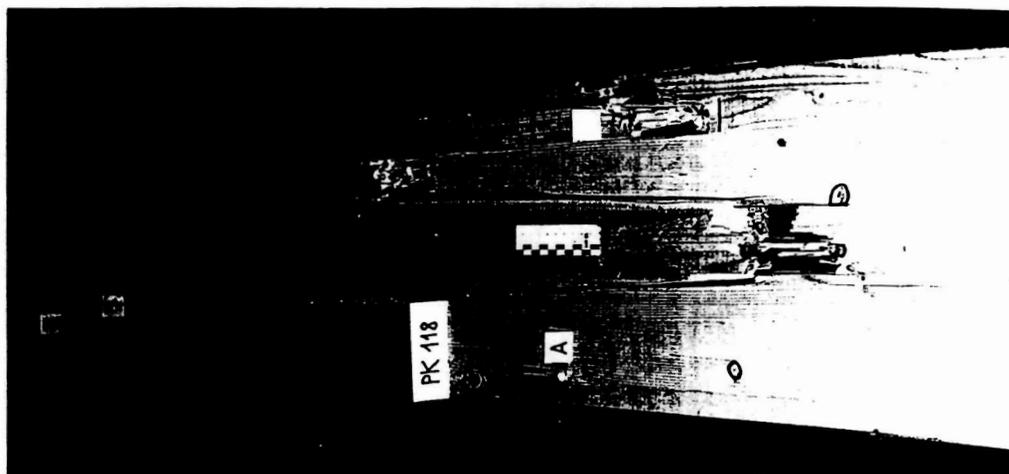
PK 115



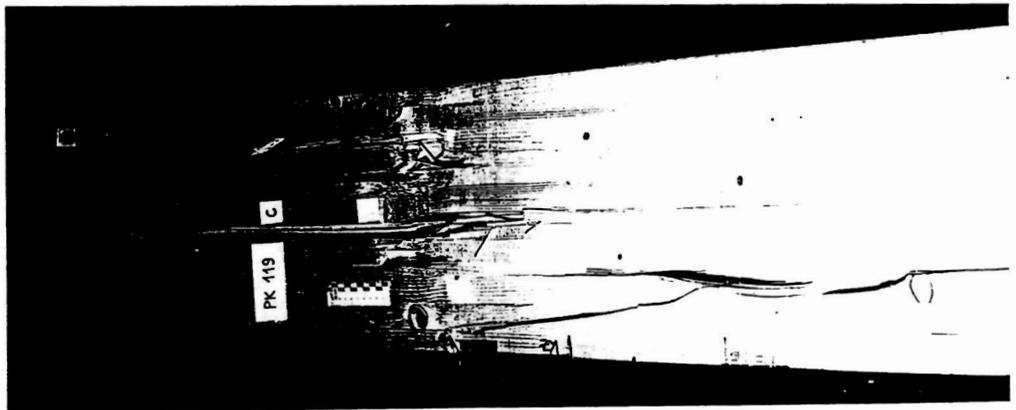
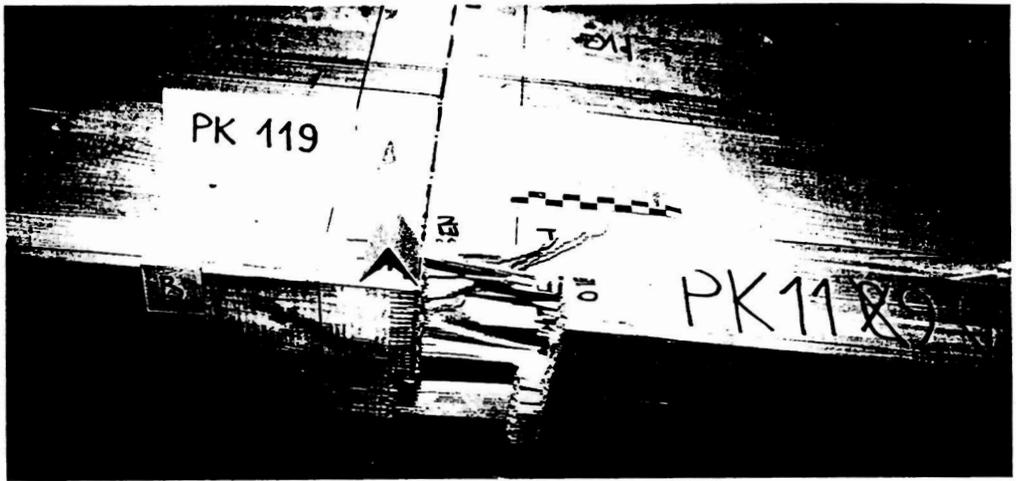
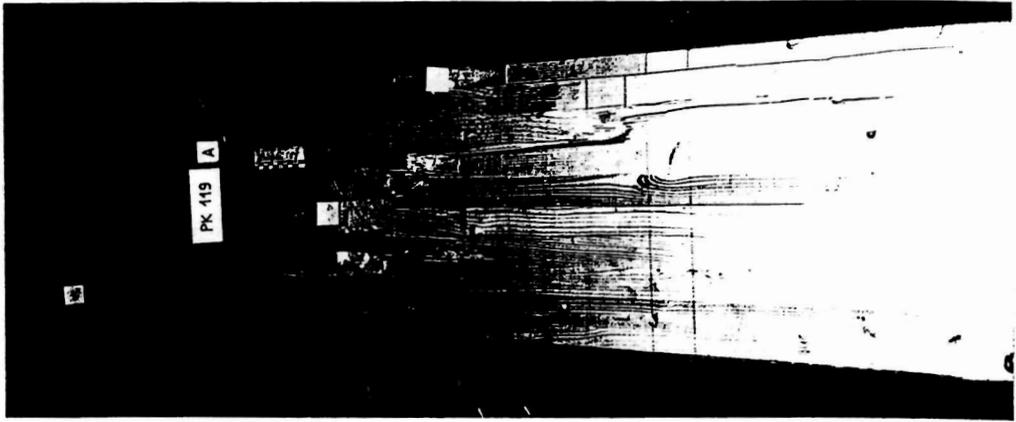
PK 116



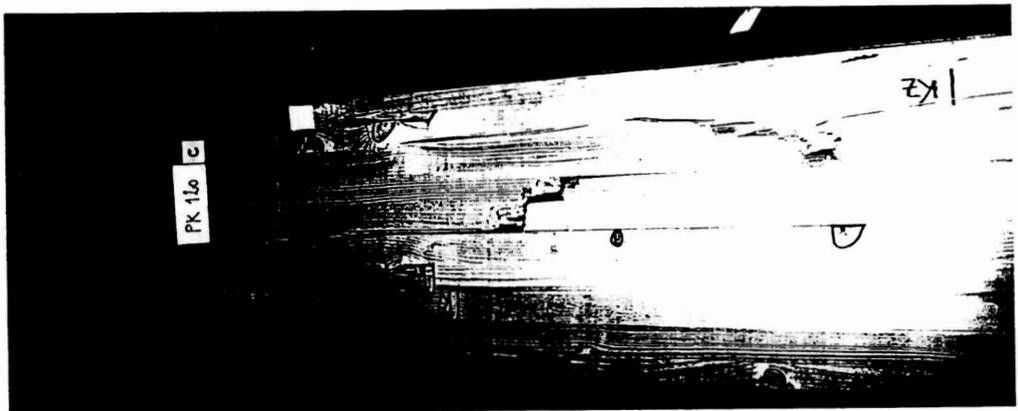
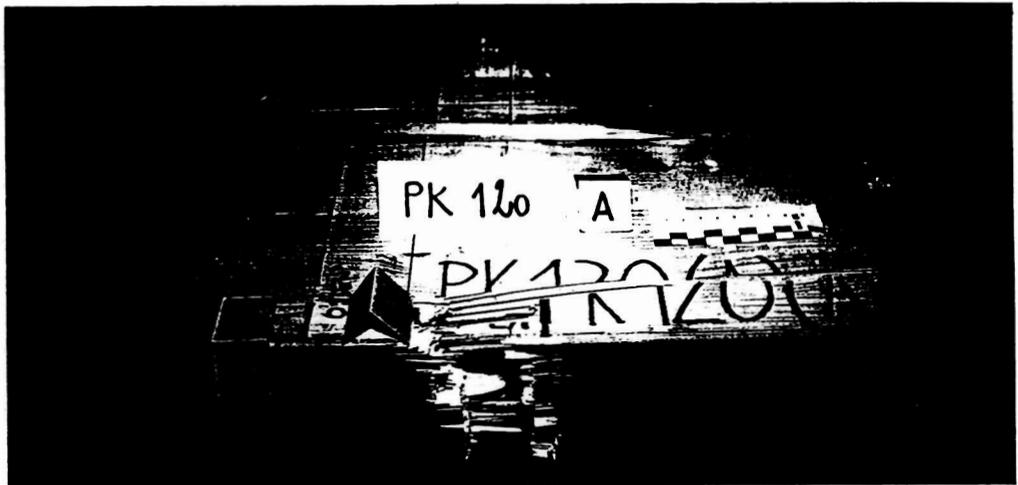
PK 117



PK 118



PK 119



PK 120

Anlage 04

Blatt 01 mit Blatt 03

Häufigkeitsdiagramme

- Blatt 01:* über sämtliche 30 Prüfkörper
- Blatt 02:* über die 24 Prüfkörper " \geq BS 11 ... \leq BS 16"
- Blatt 03:* über die 6 Prüfkörper "BS 18"

Zugfestigkeit von Bauteilen aus Brettschichtholz

MAX	40,1	max SIGz	505	max ROH	18478	max ZEmod
Ø	29,2	Ø SIGz (N/mm ²)	468	Ø ROH (kg/m ³)	13408	Ø ZEmod (N/mm ²)
MIN	17,3	min SIGz	420	min ROH	10372	min ZEmod
	17,0	0	410	0	10000	0
	20,0	3	420	1	11000	3
	23,0	2	430	1	12000	4
	26,0	4	440	1	13000	5
	29,0	4	450	4	14000	7
	32,0	5	460	3	15000	5
	35,0	7	470	5	16000	3
	38,0	3	480	5	17000	2
	41,0	2	490	6	18000	0
	44,0	0	500	2	19000	1
			510	2	20000	0
			520	0		

30 Prüfkörper

Verteilung: Bruchspannung Verteilung: Rohdichte Verteilung: ZugEmodul

Prüfquerschnitte: ≈ 8 / 40 . . . ≈ 18 / 21 cm

Forschungsvorhaben E - 93 / 11

Zugfestigkeit von Bauteilen aus Brettschichtholz

MAX	40,1	max SIGz	504	max ROH	18478	max ZEmod
Ø	27,6	Ø SIGz (N/mm ²)	462	Ø ROH (kg/m ³)	13126	Ø ZEmod (N/mm ²)
MIN	17,3	min SIGz	420	min ROH	10372	min ZEmod
	17,0	0	410	0	10000	0
	20,0	3	420	1	11000	3
	23,0	2	430	1	12000	4
	26,0	4	440	1	13000	5
	29,0	4	450	4	14000	5
	32,0	5	460	3	15000	3
	35,0	4	470	5	16000	2
	38,0	1	480	4	17000	1
	41,0	1	490	4	18000	0
	44,0	0	500	0	19000	1
			510	1	20000	0
			520	0		

24 Prüfkörper "≥ BS 11 ... ≤ BS 16"

Verteilung: Bruchspannung Verteilung: Rohdichte Verteilung: ZugEmodul

Forschungsvorhaben E - 93 / 11 Prüfqerschnitte: ≈ 8 / 40 ... ≈ 18 / 21 cm

Zugfestigkeit von Bauteilen aus Brettschichtholz

MAX	39,1	max SIGz	505	max ROH	16009	max ZEmod
Ø	35,3	Ø SIGz (N/mm ²)	489	Ø ROH (kg/m ³)	14537	Ø ZEmod (N/mm ²)
MIN	33,3	min SIGz	475	min ROH	13284	min ZEmod
	17,0	0	410	0	10000	0
	20,0	0	420	0	11000	0
	23,0	0	430	0	12000	0
	26,0	0	440	0	13000	0
	29,0	0	450	0	14000	2
	32,0	0	460	0	15000	2
	35,0	3	470	0	16000	1
	38,0	2	480	1	17000	1
	41,0	1	490	2	18000	0
	44,0	0	500	2	19000	0
			510	1	20000	0
			520	0		

6 Prüfkörper "BS 18"

Verteilung: Bruchspannung Verteilung: Rohdichte Verteilung: ZugEmodul

Prüfquerschnitte: ≈ 12 / 32 cm

Forschungsvorhaben E - 93 / 11