

ISBN 3-88314-297-2

Forschungsbericht 97

BUNDESANSTALT FÜR
MATERIALPRÜFUNG (BAM)
BERLIN

Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung

von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann
Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz

November 1983

61 Seiten, 114 Abbildungen, 4 Tabellen

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon 030/8104-1 Telex 183261 bamb d

Copyright © 1983 by Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1
Telefon 0471/46093-95

Zusammenfassung

Die gegenüberliegenden Bruchflächen rohrförmiger Proben von Schwingfestigkeitsuntersuchungen mit Wechselverformung in achsialer Richtung werden systematisch miteinander verglichen. Die Bereiche der Bruchwurzel mit dem Bruchbeginn und dem allmählichen Brechen des Materials, des beschleunigten Dauerbruches mit seinen Schwingstreifen bei schnellem Bruchfortschritt und des Restbruches während des letzten Schwingenspiels sind zu unterscheiden. Ausgewählt waren die thermoplastischen Kunststoffe Polyoximethylen und Polyamid. Es konnten typische Bruchflächen beschrieben und bisher geläufige Vorstellungen über das Bruchbild wechselbeanspruchter Kunststoffe korrigiert werden.

Abstract

The fracture surfaces in tubular specimens which were located opposite each other are compared systematically after fatigue tests involving cyclic extending-forging deformations. A difference must be made between the fatigue root with initial breaking and gradual breaking, forced fatigue fracture with salient striations in rapid crack propagation and final breakage during the last cycle. The thermoplastic materials, polyoximethylene and polyamide, were selected. Typical fracture surfaces became definable which enabled the correction of presently existing images in cyclic stressed plastics.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Begründung und Ziel	1
2. Schwingbeanspruchung und Ergebnisse	2
3. Bruchflächenauswahl	7
4. Typische Bruchflächen	10
4.1 Bruchflächen der unterschiedlichen Kunststoffe bei gleicher Beanspruchungsfrequenz f und ähnlich ertragener Schwingspielzahl N_B	13
4.2 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes POM-Copolymerisat bei unterschiedlicher Beanspruchungsfrequenz f , jedoch mit ähnlich ertragener Schwingspielzahl N_B	14
4.3 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes Polyamid 66 bei unterschiedlicher Beanspruchungsfrequenz f , jedoch ähnlich ertragener Schwingspielzahl N_B	15
4.4 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes POM-Copolymerisat bei unterschiedlich ertragener Schwingspielzahl N_B , jedoch gleicher Beanspruchungsfrequenz f	15
4.5 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes Polyamid 6 bei unterschiedlich ertragener Schwingspielzahl N_B , jedoch gleicher Beanspruchungsfrequenz f	16
4.6 Bruchflächen der Probekörper mit großem Durchmesser (POM-Copolymerisat, PA 6)	17
4.7 Bruchflächen glasfaserverstärkter Polyamide bei unterschiedlich ertragener Schwingspielzahl N_B , jedoch gleicher Beanspruchungsfrequenz f	18
5. Zusammenfassung der Ergebnisse	19
6. Literatur	23
7. Bruchoberflächen nach Schwingbeanspruchung	25

1. Begründung und Ziel

Oft verbleibt dem Materialprüfer nur die Bruchfläche eines Schadenteils, die Ursache dessen Versagens zu erklären. Ebenso ist die Bruchfläche auch das Beweisstück des Werkstoffkundlers für seine Vorstellungen zum Bruchverhalten der Werkstoffe. Schwingbeanspruchungen führen häufig zum Bruch technischer Konstruktionen und sind bei der Schadenanalyse zu berücksichtigen. Die Morphologie der Bruchfläche der verwendeten Werkstoffe ist dafür eine Voraussetzung.

Allgemein sind die typischen, makroskopischen Bruchbilder von Stahlbauteilen bekannt, aus denen die Art der Schwingbeanspruchung deutlich abgelesen werden kann. Diese Bruchbilder sind visuell zu erkennen und basieren auf der Eigenschaft metallischer Werkstoffe, eine relativ kleine Schwingriß-Ausbreitungsgeschwindigkeit aufzuweisen. Aber bereits seit der Untersuchung der Bruchflächengestalt mit Rasterelektronenmikroskopen, die wesentlich höhere Vergrößerungen mit ausreichender Schärfentiefe erlauben, wurden die Aussagen über Schwingstreifen bei metallischen Werkstoffen unsicherer (1). Typische, visuell sichtbare Schwingstreifen verschwinden gegenüber Bruchformen, die das Verhalten des Werkstoffs deutlicher beschreiben lassen (2).

Auch Kunststoffe werden mehr und mehr für technisch hochwertige Bauteile eingesetzt. Sie haben ausreichende Schwingfestigkeiten, ohne daß ihnen jedoch - wie bei einzelnen metallischen Werkstoffen - eine Dauerschwingfestigkeit zugeordnet werden kann. Wegen ihres relativ kleinen Elastizitätsmoduls und meist notwendiger Konstruktionssteife, ist der Anteil des Schwingungsbruches z.B. noch gering, doch bei mehrachsiger Beanspruchung, bei großen Verformungen, oder auch bei Versteifung durch Füllstoffe wie Glasfasern sind Schwingungsbrüche vorhanden. Die Eigenart der nicht metallisch reflektierenden Oberflächen der Kunststoffe erschweren die visuelle Untersuchung der Bruchflächen. Deshalb ist makroskopische Betrachtung oft irreführend, oder auch unmöglich. Eine nähere Untersuchung ist nur durch Auflagerung einer metallischen Dünnschicht (Gold, Aluminium), durch Bedampfen oder Besputtern möglich. Diese Dünnschicht ist bei der Untersuchung der Kunststoffoberfläche im Rasterelektronenmikros-

kop ebenso notwendig, um eine elektrisch leitende Oberfläche zu erhalten. Anderenfalls würde der auftreffende Elektronenstrahl die Probe aufladen und Bildstörungen wären die Folge. Zudem bietet die Metallbeschichtung infolge ihrer besseren Wärmeleitfähigkeit auch einen gewissen Schutz vor thermischer Zerstörung der Probe, wird doch beim Auftreffen der Elektronen Wärme freigesetzt.

Mit dem vermehrten Einsatz der technischen Kunststoffe Mitte der sechziger Jahre konnten gleichzeitig die ersten Rasterelektronenmikroskope (REM) für Oberflächenuntersuchungen eingesetzt werden. Deshalb wurden bereits frühzeitig wie für metallische Werkstoffe auch für Kunststoffe interessante Bruchflächenaufnahmen vorgelegt (3). Die Bedeutung des technischen Einsatzes von Kunststoffen wird durch Untersuchungen von Versicherungsgesellschaften unterstrichen (4).

Ziel dieser Arbeit ist ein Beitrag zur Morphologie der Kunststoffoberfläche nach andauernder Schwingbeanspruchung. Sie nutzt die Ergebnisse einer systematischen Schwingfestigkeitsuntersuchung, in der das Verhalten jeder Probe während der Beanspruchung festgehalten wurde und damit eine Zuordnung der makroskopisch meist spröde entstandenen Bruchfläche zur zeitlich gesamten Beanspruchung möglich ist. Abweichend zu bisherigen Veröffentlichungen wurde versucht, beide gegenüberliegende Bruchflächen aufzunehmen, um die Bruchform zu verdeutlichen. Die Aussage dieser Arbeit wird beschränkt durch die Untersuchung nur der für Schwingfestigkeitsuntersuchungen ohne Mittellast sehr geeigneten Hohlzylinderprobe bei vorgegebener Wechselverformung. Doch bereits hierfür waren für die Erfassung der ausgewählten, gegenüberliegenden Bruchflächen 1600 REM-Aufnahmen notwendig, von denen für typische Bereiche 145 Aufnahmen ausgewählt wurden.

2. Schwingbeanspruchung und Ergebnisse

Die am besonders gestalteten Bauteil wirkende Schwingbeanspruchung kann im Laboratoriumsversuch an einfachen Probekörpern in entsprechenden Prüfgeräten nachgeahmt werden. Abgesehen vom prismatischen Probenkörper der Scherversuche eignen sich für Schwingfestigkeitsuntersuchungen Probenkörper mit rechteckigem oder kreisförmigem Querschnitt (Bild 01).

Für ihren Vergleich ist bei viskoelastischen Kunststoffen mit ihrer Dämpfungseigenschaft das Oberflächenvolumenverhältnis maßgebend. Die verschiedenen Beanspruchungsarten führen zu unterschiedlichen Beanspruchungsverteilungen im Probekörper, die eine Auswahl einzelner Querschnittsformen der Probekörper notwendig macht (Bild 02).

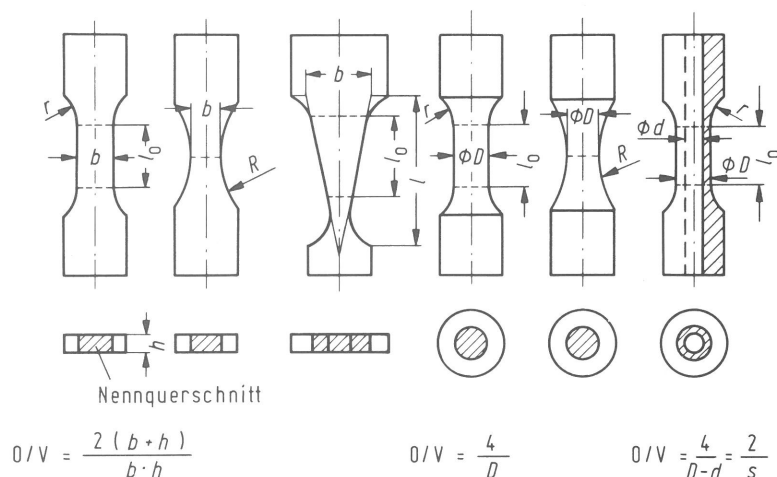


Bild 01 Probekörper für Schwingfestigkeitsuntersuchungen.

Spannung	Beanspruchungsart	Bereich gleicher Spannung	Bereich größter Spannung = Nennspannung	Querschnittsform des Probekörpers
Normal-Spannung	Zugdruck (axial)	Probenvolumen	Probenschnitt	beliebig
	Biegung ($M_b = \text{const.}$)	Parallelebene zur neutralen Ebene	Probenoberfläche parallel zur neutralen Ebene	Rechteck (Flachbiegung) Kreis (Umlaufbiegung)
	Biegung (M_b linear ansteigend)	Linie im Probenschnitt parallel zur neutralen Ebene	Probenoberfläche bei M_b max parallel zur neutralen Ebene	Rechteck (Flachbiegung) Kreis (Umlaufbiegung)
Schub-Spannung	Scherung	Probenvolumen	Probenfläche parallel zur Scherebene	Rechteck
	Verdrehung	Zylindermantel zur Verdrehachse	Probenoberfläche	Kreis

Bild 02 Beanspruchungsarten und notwendige Querschnittsform des Probekörpers.

Die Abmessungen der Hohlzylinderproben der hier genutzten Schwingfestigkeitsuntersuchungen sind Bild 03 zu entnehmen.

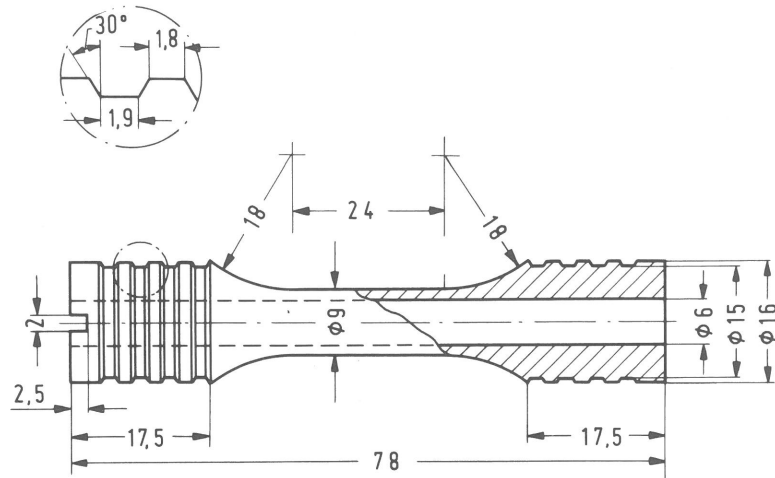


Bild 03 Hohlzylinderprobenkörper der Schwingfestigkeitsuntersuchungen.

Beansprucht wurden diese Proben in einer Prüfmaschine mit im Stillstand einstellbarer Wechselverformung über ein starres Doppelsexcentergetriebe (5). Wechselverformung und Reaktionskraft wurden elektrisch gemessen und zur Ermittlung des viskoelastischen Verhaltens der Kunststoffe verwendet. Die Mittellast wurde durch Verstellung der festen Probeneinspannung geregelt. Für diese Versuche war die Mittellast gleich Null, um Ergebnisse der reinen Wechselbeanspruchung zu erhalten, die eindeutiger sind als die häufiger durchgeführten Schwingfestigkeitsuntersuchungen mit überlagerter statischer Beanspruchung. Umgebungsbedingung der Untersuchungen war das Normalklima 23°C und 50 % rel. Luftfeuchte (5).

Untersucht wurden die thermoplastischen Kunststoffe

PA 6 (Ultramid KR 1313, BASF),

PA 6 25 % GF (Ultramid B3G5, BASF),

PA 12 (Vestamid CWH),

POM-Copolymerisat (Hostaform C2520, Hoechst).

PA 66 (Ultramid A 4, BASF)

Neben Verformung und Reaktionskraft wurde mit federnd aufgesetzten Thermoelementen die Probentemperatur ermittelt. Unter Annahme einer elliptischen Temperaturverteilung (6) zwischen den Einspannungen und der bekannten Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls des jeweiligen Kunststoffs war aus der geometrisch ermittelten Nenndehnung der mittlere, absolute Elastizitätsmodul des Probekörpers und die maximale Dehnung

berechnet. Die relative Dämpfung des Materials wurde aus der Dämpfungsschleife bestimmt, bezogen auf das umschließende Kraftverformungsrechteck.

Beispiele des unterschiedlichen Verhaltens der ausgewählten Kunststoffe während der andauernden Wechselbeanspruchung sind im Bild 04 dargestellt. Aufgetragen ist die prozentuale Veränderung des thermisch korrigierten E-Moduls E_t im Verhältnis zum E-Modul beim Anlauf des Versuchs E_s in Abhängigkeit vom Anteil der ertragenen Beanspruchungsspiele N/N_B . Grundsätzlich unterscheiden sich die Polyamide (PA 6) vom Polyoximethylen (POM CP).

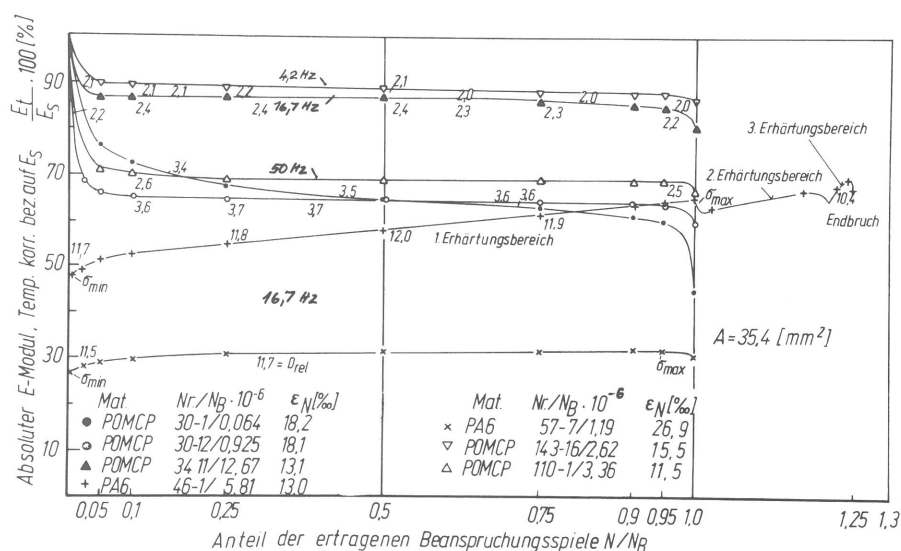


Bild 04 Beispiele für das elastische Verhalten schwingbeanspruchter thermoplastischer Kunststoffe (vorgegebene Wechselverformung).

Während die Polyoximethylenproben mit größeren ertragenen Beanspruchungsspielzahlen nach dem Anlaufvorgang praktisch gleichbleibend elastisch sind, werden Polyamidproben nach dem Anlaufvorgang bei gleichzeitiger Temperaturzunahme stetig härter. Diese typische Eigenschaft der Polyamide, die besonders beim PA 6 und PA 12 ausgeprägt ist und auf Wassereinwirkung zurückzuführen ist, wird ergänzt bei Proben mit höheren ertragenen Beanspruchungsspielzahlen durch plötzliche Einbrüche des elastischen Verhaltens. Diese Einbrüche weisen auf örtlich beschränktes, kurzzeitiges Versagen des Probekörpers (Gelenkbildung) mit anschließender weiterer Verhärtung. Es konnten bis zu 10 derartiger Vorgänge festge-

stellt werden. Die Verhärtung der Polyamidproben trat auch bei kleineren ertragenen Beanspruchungsspielzahlen auf, während hier die Polyoximethylenproben bei zunehmender Materialtemperatur eine gleichbleibende Abnahme der Elastizität zeigten. Der Bruchvorgang konnte bei allen Materialien durch deutliche Änderung des elastischen Verhaltens festgestellt werden. Im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen mit bis zu 75 % der Lebensdauer erkennbar vorhandenen Rissen (1) und entsprechender Abnahme der Probensteife ist bei den hier verwendeten Kunststoff-Probekörpern der unmittelbare Rißfortschritt auf unter 10^5 Beanspruchungsspiele, also kleiner als 5% der Lebensdauer, beschränkt. Teilweise konnte bei Polyoximethylen-Probekörpern mit größerem Durchmesser ein Katastrophenbruch ohne Änderung der Probensteife registriert werden (Tab. 2 Probe G4-5). Die Wöhlerdiagramme dieser Schwingfestigkeitsuntersuchungen zeigen auch für die ausgewählten thermoplastischen Kunststoffe deutliche Unterschiede. Während Polyamide durch ihre stärkere Erwärmung bei höheren Beanspruchungen relativ große Schwingspielzahlen ertragen, wobei jedoch glasfaserverstärkte Materialien ausgenommen sind (Bild 05), hat das Polyoximethylen-Copolymerisat einen deutlichen

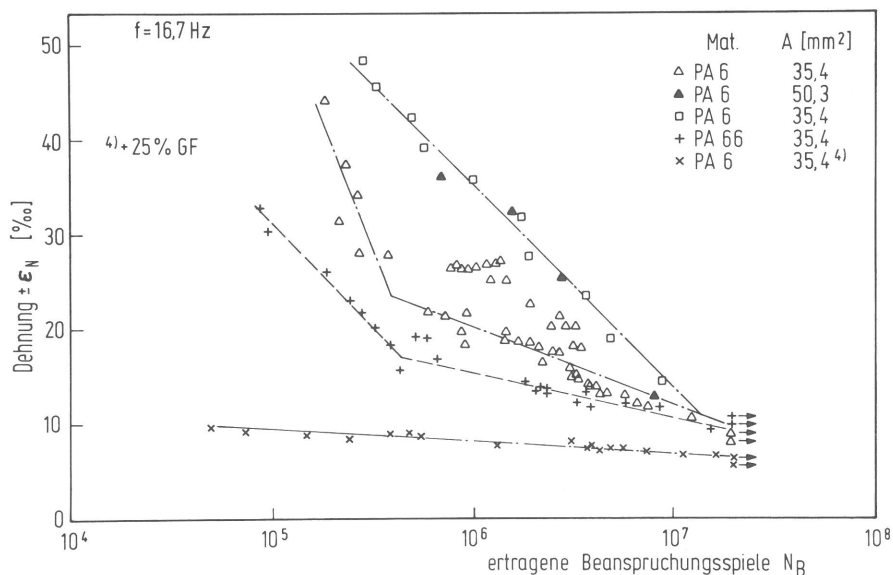


Bild 05 ϵ -N Wöhlerdiagramm für Polyamid für $f = \text{const.}$, $\sigma_m = 0$

Zerrüttungsbereich und frequenzabhängige Grenzdehnungen im Bereich des thermischen Bruches (Bild 06). Beide ϵ -N Wöhlerdiagramme schließen gleichzeitig die infolge Materialdämpfung unterschiedlichen Betriebstemperaturen der beanspruchten Proben mit ein.

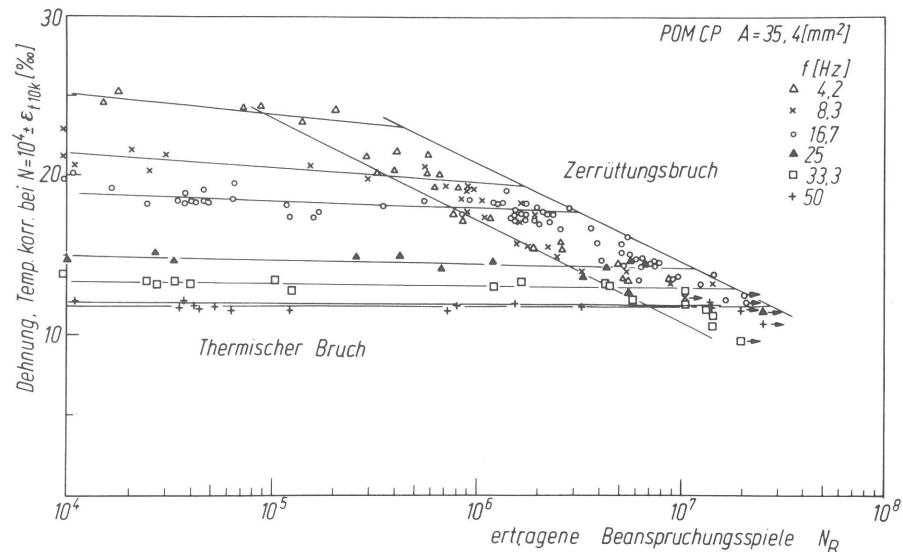


Bild 06 ϵ -N Wöhlerdiagramm für Polyoximethylen Copolymerisat für $f \neq \text{const.}$, $\sigma_m = 0$

3. Bruchflächenauswahl

Die während der Schwingfestigkeitsuntersuchungen anfallenden gebrochenen und über eine Grenzspielzahl durchgelaufenen Proben wurden sorgfältig im Normalklima 23-50-2 gelagert. Es war bei Probenbruch darauf geachtet, daß das Prüfgerät möglichst unmittelbar nach Unterschreiten einer Reaktionskraft der Probe abschaltete, um ein Zerstoren der Bruchfläche zu vermeiden. Aus diesen vorhandenen gebrochenen Proben, die jeweils zusammengesetzt die ursprüngliche Probenlänge haben, wurden die Bruchhälften nach ihrer ertragenen Beanspruchungsspielzahl ausgewählt, mit denen eine Aussage über die Bruchflächengestalt für

1. unterschiedliche Werkstoffe bei gleicher Beanspruchungsfrequenz,
2. unterschiedliche Beanspruchungsfrequenz bei Polyoximethylen Copolymerisat,
3. unterschiedliche Beanspruchungsfrequenz bei Polyamid 66,
4. verschieden ertragene Beanspruchungsspielzahlen bei Polyoximethylen Copolymerisat,
5. verschieden ertragene Beanspruchungsspielzahlen bei Polyamid 6

möglich ist. Aus den vielen zur Beurteilung der Bruchflächen notwendigen Aufnahmen wurden wiederum einzelne typische ausgewählt. Die untersuchten Proben mit ihren ertragenen Bean-

spruchungsspielzahlen und die ausgewählten Bildzahlen sind in Tabelle 1 eingetragen. Zur Kennzeichnung der ausgewählten Bruchflächenbilder ist die Beschreibung der jeweiligen Probenbeanspruchung und Probenreaktion notwendig. Neben der aus der Probengeometrie und der vorgegebenen Wechselverformung berechneten Nenndehnung ϵ_N , der Beanspruchungsfrequenz und der ertragenen Beanspruchungsspielzahl N_B interessieren die un-

Tabelle 1 . Untersuchte Proben (D/d = 9/6 mm) mit ihren ertragenen Schwingspielen N_B und Anzahl n der ausgewählten Bruchflächenbilder.

f Hz	Polyoximethylen- Copolymerisat			Polyamid PA 66			Polyamid PA 6			Polyamid PA 6 + 25 % GF			Polyamid PA 12		
	Prot.- Nr.	N_B :10 ⁶	n	Prot.- Nr.	N_B :10 ⁶	n	Prot.- Nr.	N_B :10 ⁶	n	Prot.- Nr.	N_B :10 ⁶	n	Prot.- Nr.	N_B :10 ⁶	n
4,2	141-6 143-16 147-8	1,20 2,62 5,25	6	149-1 155-1	4,17 8,90	9									
8,3	139-12 138-7 97 -12	0,01 1,64 8,84	6	150-3	2,03	10									
16,7	42 -8 30 -12 28 -12 27 -5 39 -9 41 -1 G4 -5	0,05 0,93 1,78 2,00 9,13 12,80 7,70	7 6 4 4 4 11 4*	151-4	1,26	4	93-11 93-1 92-12 92-1 G12-12	1,74 3,63 5,60 15,00 6,72	7 7 7 7 6*	113-1 113-8 115-6	3,66 5,71 16,00	9 11	179-2 176-2 176-11	4,00 6,52 8,44	8
25,0				152-12	1,84	4									
33,3				153-2	1,48	6									
50,0	109-14 110-1 109-8	0,05 3,36 14,30	6	156-6	1,39	2									
58,3				156-16 156-11	1,62 1,80	8									

* Zusätzlich je eine Seite einer Hohlzylinderprobe mit D/d = 17/15;20/22;30/32 in mm, ausgewählt ist die Probe mit D/d = 30/32 mm.

mittelbar vor dem Bruchbeginn gemessenen Reaktionsdaten der Probe. Der Bruchbeginn (VB = Vor Bruch) wurde aus den registrierten Werten der Reaktionskraft der jeweiligen Probe als Abweichung des vorangehenden Beharrungswertes festgestellt. ΔN_{VB} ist die Zahl der Schwingspiele bis zum Bruch der Probe. Reaktionsdaten sind

- die aus der Reaktionskraft und Querschnittfläche A berechnete Spannung σ_{VB} ,
- der damit und mit der - zu der gemessenen Probentemperatur - korrigierten Wechseldehnung berechnete Elastizitätsmodul E_{VB}
- die entsprechend der gemessenen größten Temperatur $t_{max VB}$ zu errechnenden Maximaldehnung im Bereich des Bruches ϵ_{max}

- und die ermittelte Dämpfung des Werkstoffes.

Diese kennzeichnenden Daten sind für Polyoximethylen Copolymerisat in Tabelle 2, für die Polyamide in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 2. Versuchswerte zur Kennzeichnung der untersuchten Bruchflächen (Polyoximethylen-Copolymerisat).

Material	Prot.-Nr.	Bildserien-Nr.	D	d	ϵ_N	f	N_B :10 ⁶	σ_{VB}	E_{VB}	ϵ_{max}	D_{VB}	t_{max}	ΔN_{VB}
			mm	mm	°/oo	Hz	-	N/mm ²	N/mm ²	°/oo	°/o	°C	-
POM-Copol.	147-8	15;16;17	9	6	13,5	4,2	5,25	30,4	2241	13,6	1,9	27,0	1100
"	97-12	18;19;20	9	6	13,4	8,3	8,84	31,4	2310	13,6	2,1	29,1	75 000
"	42-8	1; 2; 3	9	6	18,6	16,7	0,05	29,2	1499	23,8	3,4	59,0	30 000 *
"	30-12	7; 8; 9	9	6	18,1	16,7	0,93	29,3	1544	23,2	3,6	60,0	336 000 *
"	28-12	1 0;11	9	6	17,9	16,7	1,78	30,1	1615	20,2	3,3	49,2	72 000
"	39-9	12;13;14	9	6	13,5	16,7	9,13	28,2	2057	13,8	2,2	31,9	36 000
"	41-1	4; 5; 6	9	6	12,7	16,7	12,8	28,6	2236	12,9	2,2	29,5	36 000
"	109-8	21;22;23	9	6	11,8	50,0	14,3	22,9	1783	13,6	2,4	52,0	54 000
POM-Copol.	G4-5	60;61	32	30	10,6	16,7	7,7	22,1	2075	10,8	2,6	32,0	0

Bez.: D = Außendurchmesser
d = Innendurchmesser
 ϵ_N = vorgegebene Dehnung
f = Beanspruchungsfrequenz
 t_{max} = größte Temperatur der Probe, errechnet
 ΔN_{VB} = Anzahl der Schwingspiele während des Bruchvorgangs
* = Abweichung von der konstanten Steifigkeitsabnahme
* = siehe Bild 04

N_B = ertragene Beanspruchungsspielzahl bis zum Bruch
 σ_{VB} = Reaktionsspannung vor Bruchbeginn
 E_{VB} = Elastizitätsmodul vor Bruchbeginn, temperaturkorrigiert
 ϵ_{max} = größte Dehnung vor Bruchbeginn, temperaturkorrigiert
 D_{VB} = Materialdämpfung, bezogen auf das umschließende Kraft-Verformungsrechteck

Tabelle 3. Versuchswerte zur Kennzeichnung der untersuchten Bruchflächen (Polyamid).

Material	Prot.-Nr.	Bildserien-Nr.	D	d	ϵ_N	f	N_B :10 ⁶	σ_{VB}	E_{VB}	ϵ_{max}	D_{VB}	t_{max}	ΔN_{VB}
			mm	mm	°/oo	Hz	-	N/mm ²	N/mm ²	°/oo	°/o	°C	-
PA 66	149-1	24;25;26;27	9	6	13,5	4,2	4,17	22,7	1620	14,4	8,7	30,9	9 000
"	150-3	28;29;30;31	9	6	13,5	8,3	2,03	19,3	1270	15,6	9,2	40,9	45 000
"	151-4	32;33	9	6	13,7	16,7	1,26	15,9	1000	16,8	9,1	50,9	51 000
"	152-12	34;35	9	6	13,9	25,0	1,84	14,9	862	19,2	8,8	65,6	54 000
"	153-2	36;37;38	9	6	14,0	33,3	1,48	13,9	787	18,8	8,1	69,1	54 000
"	156-6	39	9	6	14,4	50,0	1,39	12,6	674	20,0	7,4	83,7	54 000
"	156-11	40;41;42;43	9	6	14,9	58,3	1,80	11,4	543	21,2	5,9	102,0	52 000
PA 6	93-11	44;45;46	9	6	31,9	16,7	1,74	12,1	297	45,5	10,7	102,0	39 000
"	92-1	47;48;49	9	6	14,4	16,7	15,0	12,0	719	18,6	14,0	53,0	75 000
"	G12-12	62;63;64	32	30	13,4	16,7	6,72	20,1	820	17,2	13,0	45,5	36 000
PA 6+25%GF	113-1	53;54;55;56	9	6	7,5	16,7	3,66	20,2	2400	9,3	7,8	40,5	33 000
"	115-6	50;51;52	9	6	6,9	16,7	16,0	24,3	3216	8,2	5,8	37,1	84 000
PA 12	176-11	57;58;59	9	6	12,8	16,7	8,44	15,1	1061	14,2	7,9	36,0	85 000

Bez.: D = Außendurchmesser
d = Innendurchmesser
 ϵ_N = vorgegebene Dehnung
f = Beanspruchungsfrequenz
 t_{max} = größte Temperatur der Probe, errechnet
 ΔN_{VB} = Anzahl der Schwingspiele während des Bruchvorgangs

N_B = ertragene Beanspruchungsspielzahl bis zum Bruch
 σ_{VB} = Reaktionsspannung vor Bruchbeginn
 E_{VB} = Elastizitätsmodul vor Bruchbeginn, temperaturkorrigiert
 ϵ_{max} = größte Dehnung vor Bruchbeginn, temperaturkorrigiert
 D_{VB} = Materialdämpfung, bezogen auf das umschließende Kraft-Verformungsrechteck

Die beiden Hälften der jeweiligen gebrochenen Probe wurden etwa 8 mm von der Bruchfläche entfernt senkrecht zur Probenanschließend auf Probenteller geklebt, die mittig auf einem vorstehenden Zylinder eine 12-Strich-Kerbung hatten. Diese probenlangen Zylinder mit kleinerem Außendurchmesser als der Probeninnendurchmesser wurden in das Bruchflächenende der Probe eingeführt und gestatteten eine Orientierung der Bruchfläche (Bild 24.1). Die auf den Probenteller geklebte Probe wurde besputtert. Mit der Gesamtaufnahme der beiden zugehörigen Bruchflächen war trotz der teilweise großen Höhenunterschiede auf den Bruchflächen eine Zuordnung der beiden Bruchflächen möglich. Beispiel Probe Prot.Nr. 151-4 Bild 07, 08.

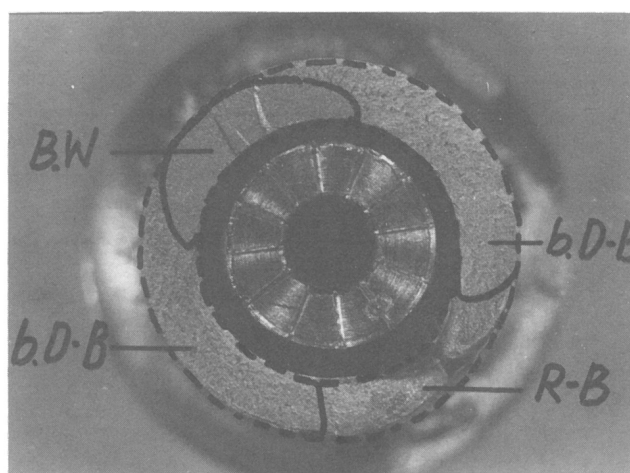
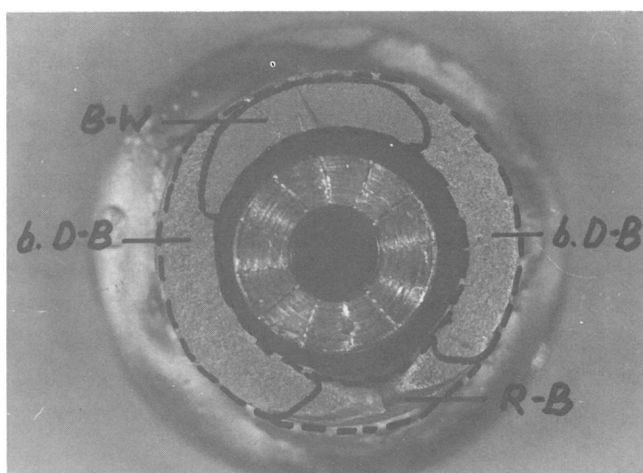


Bild 07 Gesamtaufnahme Probe 151-4, oberes Bruchende.

Bild 08 Gesamtaufnahme Probe 151-4, unteres Bruchende.

B-W	Bruchwurzel
b.D-B	beschleunigter Dauerbruch
R-B	Restbruch

4. Typische Bruchflächen

Der für ausreichende Wärmeabführung gewählte Hohlzylinderprobenkörper hat den Vorteil, daß im allgemeinen die Bruchfläche des zügigen Restbruchs am Ende der Schwingbeanspruchung dem Bruchanfang auf dem kreisringförmigen Querschnitt diametral gegenüberliegt. Damit ist eine Zuordnung der typischen Bruchflächen möglich (Bild 07 oder 08). Nur bei inhomogenem Probenmaterial und mit im Verhältnis zur Wandstärke großem Durchmesser können mehrere Bruchanfänge in der gleichen Bruchebene zu einer Unsymmetrie der Bruchflächenausbildung führen. Der Restbruch ist in der Regel deutlich zu lokalisieren. Die übrigen Brucharten können bei duktilen Materialien auf der

direkt aufgenommenen Übersichtsaufnahme ($V = 8:1$), sonst aber nur bei höheren Vergrößerungen und ausreichender Schärfentiefe erkannt werden. Diese Untersuchungen haben frühere Beschreibungen der Bruchflächen des bei Schwingbeanspruchung versagenden Bauteils bestätigt (3) und stimmen auch mit anderen Veröffentlichungen überein (1, 4).

Der Bruch beginnt in einer Bruchwurzel, in deren Bereich die Schädigung des Materials vom Bruchanfang allmählich radial in das Material hineinwächst. Die Bruchwurzel ist ein schwingungsinduzierter Kriechbruch, der durch langsame Verbindung der im Material vorhandenen submikroskopischen Hohlräume über senkrecht zur Beanspruchungsrichtung entstehende Kleinstrisse entsteht (7). Eine Materialtrennung findet dabei zunächst nicht statt, sondern eher eine physikalische Materialumwandlung (Crazing). Das Aufreißen der Bruchwurzel wird durch Versteifung des Probekörpers im axial zur Probenachse unmittelbar benachbarten Bereich der Bruchwurzel hervorgerufen. Weil der Probekörper insgesamt wegen seiner starren Einspannung unnachgiebig ist, steigt damit die Normalspannung in diesem Bereich des Probenquerschnitts an. Der Querschnittanteil der Bruchwurzel beträgt im Durchschnitt 10 bis 20 %. Ist eine Probe im Bereich der Bruchwurzel getrennt, wird die gemessene Reaktionskraft der wechselverformten Probe entsprechend kleiner sein. Die mitgeschriebenen Kraftmeßdaten zeigten keinen Sprung bei Einleitung des Bruchvorgangs. Es ist also anzunehmen, daß die Aufreißgeschwindigkeit verhältnismäßig gering ist und in der Größenordnung des anschließenden Bruchfortschritts liegt.

Während die Bruchwurzel den allgemeinen Bruchentstehungsvorstellungen insgesamt nicht zuzuordnen ist, zeigt der beschleunigte Dauerbruch, in den die Bruchwurzel übergeht, mit seinen deutlichen Schwingstreifen eher eine Übereinstimmung mit den Hypothesen von Forsyth/Ryder und Laird/Smith (1). Diese Schwingstreifen sind quer zum Reißfortschritt liegende teilweise gespaltene Furchen, die bei duktilen Materialien feine in Bruchrichtung verlaufende Markierungen aufweisen. Die Furchen der Schwingstreifen sind etwa 5 bis 10 μm breit, während feine Markierungen einen Abstand von 1 bis 2 μm haben. Die Anzahl der Schwingstreifen stimmt in der Größenordnung mit der Zahl der Schwingspiele bis zum Bruch überein (Tabelle 2, 3) (1, 4, 8); sie entstehen in den letzten Minuten

der hier verformungsgesteuerten Dauerschwingbeanspruchung. Feine Markierungen sind eventuell hochfrequente Überlagerungen (9) oder Faltungen des überdehnten Werkstoffs (3). Die eher spröden Werkstoffen zuzuordnenden Spalten sind bei allen untersuchten thermoplastischen Kunststoffen vorhanden und verweisen auf behinderte Querkontraktion. Sie sind ausgeprägter an Bruchflächen, die zur Spannungsrichtung aufsteigen. Die Gestalt der Bruchfläche des beschleunigten Dauerbruchs wird durch die Temperatur im Bereich der Reißspitze und die entsprechende Änderung des Elastizitätsmoduls während der Wechselverformungsbeanspruchung beeinflusst. Damit kann die Schwingstreifenbreite größer und die Spaltung insbesondere im Endbereich des beschleunigten Dauerbruchs deutlicher werden. Die typische Bruchfläche des beschleunigten Dauerbruchs kann sich jedoch nur so ausbilden, wenn die Beanspruchung des Materials durch Spannungserhöhung nicht wesentlich vergrößert wird.

Beim Übergang zum zügigen Restbruch, der hier je nach Abschaltung des Prüfgerätes durch den Zuganteil der konstanten Wechselverformung oder bei unvollständigem Reißen durch zügiges Verfahren der Probeneinspannungen hervorgerufen wird, wird bei duktilen Werkstoffen das Material aus der Bruchflächengestalt des beschleunigten Dauerbruchs herausgezogen. Die Bruchfläche des Restbruchs hat die typischen Formen des duktilen Materials (Beachem) wie auch kantige Bruchformen des spröden Bruches. Es können beide Bereiche nebeneinander in der Restbruchfläche ausgebildet sein.

Tabelle 4. Bruchformen und Bildserien der Aufnahmestellen

Material	Bruchwurzel	beschl.D-Bruch	Restbruch
POM-Copol.	1;4;7;10;12; 15;16;18;21; 60	5;8;9;11;13; 16;19;20;22	2;3;6;11;13; 14;17;20;22; 23;61
PA 66	24;28;29;32; 34;35;36;39; 40;41	25;26;27;29; 30;31;33;35; 36;37;39;41; 42;43	26;27;33;38; 42;43
PA 6	44;47; 62	45;48;62;63	46;49;64
PA 6+25%GF	50;53	51;54	51;52;55;56
PA 12	57	58	59

Diese drei typischen Bruchflächen wurden bei der Untersuchung der Probenbruchflächen nach der Übersichtsaufnahme an einzelnen, im REM erkennbar ausgeprägten Stellen aufgenommen. Zur besseren Orientierung wurde eine Stelle mit den Vergrößerungen 50/200/1000 : 1 in Bildern festgehalten, die zusammen mit den gleichen Vergrößerungen der entsprechenden Stelle der dazugehörigen Gegenfläche die Bildserie der Probenbruchfläche bilden. Die in den Tabellen 2 und 3 angegebenen Bildserien sind in Tabelle 4 nach Bruchform und Material geordnet.

4.1 Bruchflächen der unterschiedlichen Kunststoffe bei gleicher Beanspruchungsfrequenz f und ähnlich ertragener Schwingzahl N_B .

(POM-Copol., PA 6, PA 6 + 25% GF, PA 12)

Bruchwurzel (4, 47, 50, 57)

Mit einer Ausnahme ist bei allen Kunststoffen die Bruchfläche flach fladig, mit relativ zur Bruchebene verlaufenden weiteren Bruchebenen. Die Kanten sind abgerundet. Abweichend hiervon ist das Bruchbild des glasfaserverstärkten PA 6 mit einer sehr stark strukturierten Oberfläche und seinen den Bruch behindernden Glasfasern. In kleinen Bereichen sind wie bei den nicht verstärkten Materialien ähnliche Bruchformen vorhanden, die jedoch rasch in spröde-brüchig erscheinende Zonen übergehen.

Beschleunigter Dauerbruch (5; 48; 51; 58)

Schwingstreifen markieren sich bei allen Kunststoffen durch die parallel laufenden und in Spalten übergehende Furchen. Während sie bei POM-Copolymerisat relativ flach erscheinen, sind die der Polyamide zwischen den Spalten konvex mit parallel laufenden Furchen oder Faltungen ausgebildet. Quer zum Bruchfortschritt sind bambusähnliche Einschnürungen oder Verdickungen (Knoten) erkennbar. Die sehr unübersichtliche Bruchfläche des mit Glasfasern verstärkten Polyamids zeigt an mehreren Stellen Schwingstreifen, durch die im Vergleich zum unverstärkten Polyamid nur kleine, durch Glasfasern eingegrenzte Bereiche geprägt sind.

Restbruch (6; 46; 49; 51, 52; 59)

Der spröde, kantig-stufige Bruch des POM-Copolymerisats mit nur vereinzelt duktilen Fäden ist teilweise mit sprödebrüchigen Bereichen bei Polyamiden zu vergleichen. Doch sind hier insbesondere bei PA 12 deutlich thermisch beeinflusste Fließbrüche mit ausgeprägten Materialzipfeln zu finden, die durch Reißen von Hohlraumwänden entstehen. Herausgezogenes Material zeigt deutlich Längs- und Quermarkierungen, die auf Schrumpffaltungen nach großer Überdehnung zurückzuführen sind. Auch die wellige Übergangszone des PA 6 zwischen beschleunigtem Dauerbruch und Restbruch ist von Kleinstzipfeln übersät. Im glasfaserverstärkten Polyamid ist die duktile Bruchform leicht zu erkennen.

- 4.2 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes POM-Copolymerisat bei unterschiedlicher Beanspruchungsfrequenz f , jedoch mit ähnlich ertragener Schwingspielzahl N_B

Bruchwurzel (15, 16, 18, 12, 21)

Die unebenen Bruchflächen zeigen keine duktilen Bruchformen, einlaufende Bruchebenen haben verrundete Kanten. Es ist kein differenzierbarer Unterschied in Abhängigkeit von der Beanspruchungsfrequenz erkennbar. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

Beschleunigter Dauerbruch (16, 19, 20, 13, 22)

Bei 4,2 Hz sind keine Schwingstreifen entsprechend einer kleinen Restspielzahl ΔN_{VB} vorhanden, jedoch bei 8,2 Hz wie bis 50 Hz, die bei höheren Beanspruchungsfrequenzen kleinere Abstände haben. Die Schwingstreifen unterscheiden sich nicht deutlich. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

Restbruch (17, 20, 13, 14, 22, 23)

Nach dem beschleunigten Dauerbruch ist oberhalb 8,3 Hz die Restbruchfläche ein spröder Bruch, kantig mit sphärolytischer Struktur und duktilem Grenzbereich. Ein deutlicher Unterschied in Abhängigkeit von der Beanspruchungsfrequenz ist nicht festzustellen. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

4.3 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes Polyamid 66 bei unterschiedlicher Beanspruchungsfrequenz f , jedoch ähnlich ertragener Schwingspielzahl N_B .

Bruchwurzel (24, 28, 29, 32, 34, 35, 36, 39, 40, 41)

Die duktile, lappig verrundete Oberfläche der Bruchfläche ist für alle Beanspruchungsfrequenzen sehr ähnlich, wenn von der verschiedenen Lage innerhalb der Bruchwurzel abgesehen wird. Während im Bereich des Bruchanfangs feine, noppenartige Strukturierungen zu erkennen sind, gehen diese im Übergang zum beschleunigten Dauerbruch zu parallel verlaufenden feinen Faltungen über. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

Beschleunigter Dauerbruch (25, 26, 27; 29, 30, 31, 33; 35; 36, 37; 39; 41, 42, 43)

Ausgeprägte Schwingstreifen verlaufen quer zum Bruchfortschritt mit dicht aufeinanderfolgenden Furchen, die teilweise zu Spalten aufgerissen sind. Am Ende dieses Bruchbereiches sind diese Spalten durch das Verziehen des Materials zum duktilen Restbruchbereich aufgeweitet. Steigt die Bruchfläche in Richtung zur Normalspannung an, spalten viele dicht hintereinanderliegende Furchen deutlich auf. Die Schwingstreifen sind mit Fortschritt des beschleunigten Dauerbruchs stärker ausgeprägt. Sie überlaufen Fehlstellen im Material ohne Veränderungen. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

Restbruch (26, 27; 33, 38; 42, 43)

Spröder, kantiger verformungsarmer Bruch, der bei höherer Frequenz spaltbruchartig, bei kleinerer Frequenz wurzelartig ist. Der Übergang vom beschleunigten Dauerbruch zum Restbruch ist duktil, strähnig mit U-Muster der aufgerissenen Hohlräume, oder zipfelig. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

4.4 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes POM-Copolymerisat bei unterschiedlich ertragener Schwingspielzahl N_B , jedoch gleicher Beanspruchungsfrequenz f

Bruchwurzel (1; 7; 10; 12; 4)

Die spröde, sehr strukturierte Bruchfläche mit stark verformten Kanten geht über in lappige, relativ flache, abgerundete Bruchflächen. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich. (Risse in 1.3, 4.2 können auch auf thermische Beanspruchungen im REM zurückgeführt werden.)

Beschleunigter Dauerbruch (5; 8; 9; 11; 13)

Gleiche Schwingstreifen mit deutlich tiefen Spalten, die vor dem Restbruch breiter werden. Abgesehen von Bruchsträhnen sind keine deutlichen Quermarkierungen und keine Schwingstreifen bei $N_B = 0,05 \cdot 10^6$ vorhanden. Durch starke Erwärmung und langsamen Bruchfortschritt kann der beschleunigte Dauerbruch mit langen Spalten deutlicher ausgeprägt sein. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

Restbruch (2; 3; 5; 6; 9; 11; 13; 14;)

Der thermisch verformte, fladige, relativ ebene Bruch mit anschließenden zipfeligen Bruchlippen geht bei kleinen ertragenen Beanspruchungsspielen über in den brüchigen, spröden Bruch mit teilweise sphärolytischer Struktur, bei dem einzelne Fäden in Spalten auf kleine duktile Materialbrücken hinweisen. (Risse in 2.1 können Materialrisse infolge hoher thermischer Beanspruchung im REM sein.) Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

- 4.5 Bruchflächen des thermoplastischen Kunststoffes Polyamid 6 bei unterschiedlich ertragener Schwingspielzahl N_B , jedoch gleicher Beanspruchungsfrequenz f

Bruchwurzel (44; 47)

Die fladige, glatte Oberfläche hat abgerundete Kanten an auslaufenden, teils parallelen Bruchebenen. Bei kleinerer ertragener Schwingspielzahl sind vereinzelt duktile Materialfädenreste, bei größerer ertragener Schwingspielzahl ist noppenartige Rauigkeit festzustellen. Gegenüberliegende Bruchflächen sind ähnlich.

Beschleunigter Dauerbruch (45; 48)

Konvex gewölbte Schwingstreifen mit parallel überlagerten feineren Furchen sind deutlich erkennbar. Während bei kleinerer ertragener Schwingzahl und Materialtemperatur von 102°C die Schwingstreifen flacher sind, haben sie bei höherer ertragener Schwingzahl Materialtemperatur von 53°C bambusstabartige Verdickungen, die teilweise über mehrere Schwingstreifen hinweglaufen. Die gegenüberliegenden Bruchflächen sind ähnlich.

Restbruch (46; 49)

Die Bruchfläche ist bei kleinerer ertragener Schwingzahl auffallend duktil mit zipfelartigen Schmelzresten und einer Vielzahl zusätzlicher, paralleler Bruchebenen. Bei hoher ertragener Schwingzahl wird der Restbruch strähnend zipfelig nach vorangehender welliger Oberfläche, ähnlich den Schwingstreifen des beschleunigten Dauerbruchs. Die wellige Oberfläche wurde bei anderen Materialien nicht gefunden und weist auf einen schnellen Bruchfortschritt ohne Hohlraumverbindung hin. Die Bruchgegenflächen sind ähnlich.

4.6 Bruchflächen der Probekörper mit großem Durchmesser. (POM-Copolymerisat, PA6)

POM-Copolymerisat.

Bruchwurzel (60; 12)

Die Bruchfläche der Großprobe ist stärker strukturiert mit ausgeprägten Bruchkanten zu tiefen Hohlräumen hin. Die Bruchfläche der Normalprobe ist fladig und lappig mit scharfen Bruchkanten.

Beschleunigter Dauerbruch (-; 13)

Im Gegensatz zur Normalprobe (Bild 03) mit deutlichen konvexen Schwingstreifen sind bei der Großprobe keine Schwingstreifen zu finden. Hier wurde auch keine allmähliche Reaktionskraftabnahme, sondern ein Katastrophenbruch registriert.

Restbruch (61; 13, 14)

Während bei der Normalprobe an der aufgenommenen Bruchstelle eher ein spröder Spaltbruch erkennbar ist, ist der Bruch der

Großprobe stärker strukturiert, teilweise lappig, was auf höhere Temperaturen und auf ungerichteten Bruchfortschritt hinweist.

PA6

Bruchwurzel (62; 47)

Die Großprobe hat eine ähnlich geformte Bruchfläche wie die Normalprobe und entsprechend einer hier nicht beigefügten Vergleichsprobe (Prob.Nr. 92-12): flache Lappen mit gerundeten, teilweise aufgerissenen Kanten.

Beschleunigter Dauerbruch (62, 63; 48)

Die Bruchfläche zeigt bei beiden Probekörpern ausgeprägte Schwingstreifen mit tiefen Spalten und gleichen feinen parallelen Furchen, sowie bambusartige Knoten.

Restbruch (64; 49)

Bei Bruchfortschritt in Richtung des begrenzenden Außenrandes der Probe hat die Bruchfläche ähnliche Faltungen beim Übergang vom beschleunigten Dauerbruch zum Restbruch und bei der Großprobe mit ausgeprägten Drehriefen eine Vielzahl paralleler Bruchebenen auf der Innenwandung. Der endgültige Restbruch hat eine thermisch verformte Oberfläche.

- 4.7 Bruchflächen glasfaserverstärkter Polyamide bei unterschiedlich ertragener Schwingspielzahl N_B , jedoch gleicher Beanspruchungsfrequenz f

Bruchwurzel (50; 53)

Die spröden Bruchstücke der Bruchfläche zeigen teilweise freigelegte, mehrfach gebrochene Glasfasern, teilweise duktile, stufige Formen. Die gegenüberliegenden Flächen unterscheiden sich nicht.

Beschleunigter Dauerbruch (51; 54)

Eine Schwingstreifenbildung insbesondere an zur Normalspannungsrichtung aufsteigenden Bruchflächen ist deutlich ausgeprägt. Die

teilweise lappenartigen Streifenbereiche zeigen jedoch nicht die bambusartigen Schwingstreifen des unverstärkten Materials. Die Glasfasern sind gelockert, herausgezogen und haben wenig Harz an der Oberfläche. Die Flächen beider Proben sind ähnlich, ebenso ist die Bruchform der gegenüberliegenden Flächen vergleichbar.

Restbruch (51, 52; 55, 56)

Beide Proben haben ausgeprägt thermisch verzogene Bruchzipfel, zeigen jedoch in einzelnen Bereichen spröde Bruchformen. Die Glasfasern sind allseits gelockert und teilweise herausgezogen. Die Bruchflächen der Proben und der gegenüberliegenden Flächen sind ähnlich.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Der Versuch, typische Bruchformen zu beschreiben, wird immer mit der Schwierigkeit belastet sein, daß der mikroskopisch begrenzte Bruchvorgang mit makroskopisch verständlichen Vorstellungen in Einklang gebracht werden soll. Bereits makroskopisch unmittelbar benachbarte Zonen können durch materialbedingte Inhomogenitäten oder durch Änderung der Bruchfortschrittsrichtung bzw. durch andere Betrachtungsrichtungen mit dem REM völlig unterschiedliche Formen aufweisen. Auch eine vollständige Erfassung der Bruchfläche während einer allmählichen Verschiebung im REM auf dem Leuchtschirm ist infolge des begrenzten menschlichen Erinnerungsvermögens nicht möglich. Es konnte nur mit einer systematischen Auswahl der vorher auf der Übersichtsaufnahme festgelegten Bereiche die Reduzierung erreicht werden, mit der trotzdem eine Aussage typischer Flächenabbildungen möglich wurde. Auch die Wahl der hier wiedergegebenen Aufnahmen führte wieder zu einer Beschränkung, weil noch geeignetere Bilder, wie z.B. orientierende Zwischenvergrößerungen für einzelne Aussagen nicht mehr zugefügt werden konnten. Die oben versuchte Beschreibung der Bruchflächen basiert deshalb nicht nur auf den hier vorgestellten Bruchbildern, sondern auf allen 1600 Aufnahmen der in Tabelle 1 angegebenen untersuchten Proben und einer Vielzahl zusätzlicher Aufnahmen, die im Rahmen anderer Untersuchungen angefertigt wurden.

Vortäuschungen von Rissen, Rastlinien oder besonderen Erhebungen sind bei Aufnahmen im REM möglich, konnten aber im allgemeinen vermieden bzw. bei der Auswertung der Aufnahmen berücksichtigt werden. Interessant sind aber Risse, die durch thermische Überbelastung der besputterten Bruchfläche während der Aufnahme auftraten. Sie verliefen oft materialgerecht in Faltungen und Versetzungen. Sie könnten deshalb auch auf sich durch Verformung abbauende innere Spannungen unterhalb der Bruchoberfläche zurückgeführt werden.

Die gefundenen Bruchformen sind im allgemeinen dem duktilen oder dem spröden Bruchereignis zugeordnet. Hierbei wird der Betrachter selbstverständlich von seinen Vorstellungen zu der ausgewählten Vergrößerung geleitet. Ob aber eine verformungsfreie oder eine mit plastischen Verformungen einhergehende Reißbildung bei wesentlich höheren Vergrößerungen andere, klarere Abbildungen ergeben hätte, war nicht zu klären, weil die thermische Belastung der Oberfläche der höheren Vergrößerungen zu Fehlansagen geführt hätte. Zur Schadensbeurteilung sind die gewählten Vergrößerungen gerade noch zulässig. Dementsprechend ist auch die "oberflächliche" Bruchbeschreibung angemessen, ohne daß damit eine Bruchfortschrittstheorie abgeleitet werden kann.

Die vorgestellten Bruchbilder konnten zu ähnlichen Bruchformen zusammengefaßt werden. Die spröden Brüche ergeben Formationen, die die Vorstellung einer negativen und positiven Bruchfläche zulassen. Doch die konvexen Formen der Bruchwurzel und des beschleunigten Dauerbruchs, bei denen die Temperatur des beanspruchten Materials ein örtliches Fließen nicht vorstellen läßt, sind kein Abdruck, sondern durch plastische Zug-, Druck- und Scherungsverformung beim Reißdurchlauf entstehende Formen, die ähnlich sind und deren gegenüberliegenden Flächen nicht oder nur teilweise zur Deckung gebracht werden können. Hier sind die einzelnen Bruchentstehungshypothesen ansetzbar (1). Es darf hierbei nicht übersehen werden, daß beim Schwingungsbruch im Bereich der Bruchwurzel und des beschleunigten Dauerbruchs bereits getrennte Bruchflächen gegeneinander gedrückt werden. Dadurch können Formen entstehen, die von der ursprünglichen Ausbildung abweichen. Die Bilder des Restbruchs sind dagegen ursprünglich, weil bei Probenbruch das Prüfgerät sofort über eine magnetisch bestätigte Bremse zum Stillstand gebracht wurde.

Bruchanfänge sind immer im Zentrum der im allgemeinen strähnig gerichteten Bruchwurzel zu finden. Bei den Normalproben begann der Bruch fast immer auf dem Innenrand der Probe (z.B. Bild 4; 24), erklärlich durch die kürzere Faser der Innenbohrung. Dagegen waren auf den Großproben Bruchanfänge mehr auf dem Außenrand. Hier könnte eine Beulungsanlage zu einer Zugschwellbeanspruchung der Außenfaser der Probe führen, was gleichzeitig das Vorhandensein eines mehrachsigen Spannungszustandes erklären würde. In die gleiche Richtung verweist der spröde Katastrophenbruch der POM-Copolymerisat-Großproben. Bruchanfänge sind jedoch auch Einschlüsse oder Fehlstellen (z.B. Bild 15, 18) im Material oder Beschädigungen (z.B. Bild 28, 31).

Maßgebend für den Schwingungsbruch ist die Fläche der Bruchwurzel. Aus den registrierten Werten der Reaktionskraftamplitude mit ihrem allmählichen Übergang vom Dauerzustand zum Bruchereignis ist ein langsames Aufreißen der während der Schwingbeanspruchung geschädigten örtlichen Materialbereiche der Bruchwurzel zu vermuten.

Die Bruchformen selbst ließen auch einen schnellen Trennvorgang zu, der jedoch nur mit einer Abstützung des Bruchbereichs durch die umgebenden Materialzonen des Probekörpers möglich wäre.

Die weiteren Bruchflächen des beschleunigten Dauerbruchs und des Restbruchs sind von untergeordneter Bedeutung und eher nur Weiterreißbeschreibungen des bereits versagten Bauteiles. Sie sind hinreichender Beweis des Schwingungsbruches, aber nicht ein notwendiger Bereich der Schwingungsbruchfläche. Im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen bricht das Kunststoffbauteil schnell, wobei Änderungen am beanspruchten Material visuell bis kurz vor dem sich ereignenden Bruch nicht festgestellt werden können. Versuchsergebnisse der Umlaufbiegebeanspruchung bestätigen dieses Verhalten. Bruchflächen der plötzlich brechenden Umlaufbiege-Probekörper weisen keine Schwingstreifen des beschleunigten Dauerbruchs, sondern nur die vorgestellten Formen der Bruchwurzel und des Restbruchs auf.

Dieses Ergebnis der Untersuchung wird in anderen Veröffentlichungen ebenfalls angedeutet (1). Es wird auf fehlende Schwingstreifen bei vereinzelt Schwingbrüchen hingewiesen, ohne daß eine Erklärung möglich ist. Die oben vorgestellte Zuordnung der Bruchfläche zum Verhalten der schwingend beanspruchten Probe ermöglicht deshalb

eine bessere Bewertung von Schwingungsbruchflächen und erleichtert
- eingeschränkt für den Fall des wechselverformten Kunststoffes -
die Beurteilung von Schadensfällen.

Die langwierigen Arbeiten am Rasterelektronenmikroskop waren nur
durch die einsatzbereite Mitarbeit von Frau Deana Markowski,
geb. Core mit unermüdlicher Unterstützung durch Frau Birgid Strauß,
geb. Dunger möglich. Ebenso ist die exakte Anfertigung der für
die Vorarbeiten wie für diesen Bericht notwendigen Vergrößerungen
durch Herrn Rudolf Müller dankbar zu erwähnen.

Die Untersuchung wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft
(DFG), Bonn-Bad Godesberg, im Rahmen der Forschungsvorhaben
Fu 93/3 und 93/5 finanziell gefördert.

Literatur

1. Jacoby, G.
Application of microfractography to the study of crack propagation under fatigue stresses.
Agard Report 541 1966
2. Engele, L., H. Klingele
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Metallschäden.
Gerling Institut für Schadenforschung und Schadenverhütung GmbH, Köln 1974.
3. Fuhrmann, G.
Bruchflächen von thermoplastischen Kunststoffproben nach Wechseldehnungsbeanspruchung.
Beitr. elektronenmikrosk. Direktabb. Oberfl. 3 (1970)
4. Engele, L., H. Klingele, G. Ehrenstein, H. Schaper
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Kunststoffschäden.
Gerling Institut für Schadenforschung und Schadenverhütung GmbH
Carl Hanser Verlag 1978
5. Fuhrmann, G.
Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung.
BAM-Berichte Nr. 31 1975
6. Meinköhn, D.
A Response Function Characterization of the Thermal Steady State of Plastic Samples in Dynamic Testing.
Appl. Phys. 17, 372-384 (1978)
7. Rosen, B.
J. Polymer Sci. 47, 19 (1960)

8. Johnson, F.A., J.C. Radon

Surface markings in the plane strain fractures of polycarbonate.

Materialprüfung 15 (1973) No. 12 S. 397/402

9. Moslè , H.-G., H.F. Schmidt

Rasterelektronenmikroskopische Bruchbilder an Polystyrolteilen.

Kunststoffe 66 (1976) 2 S. 87/90

Bruchoberflächen nach Schwingbeanspruchung

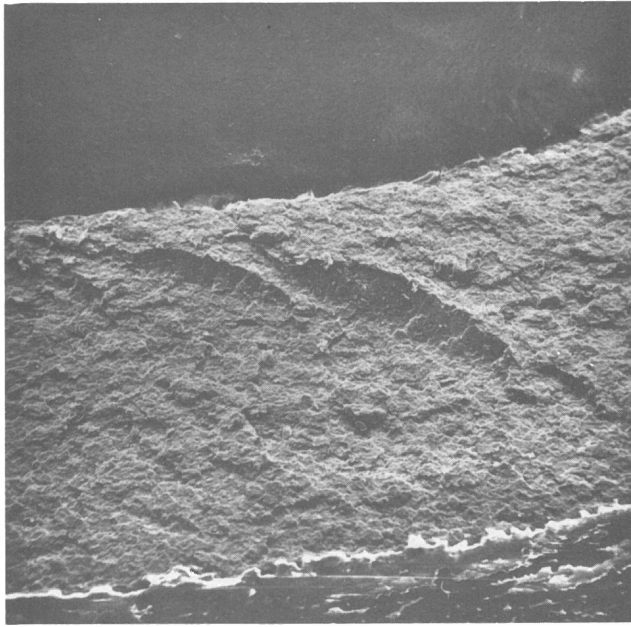


Bild : 1.1
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,05 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 50:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.:1.2 Ausschn.:1.3

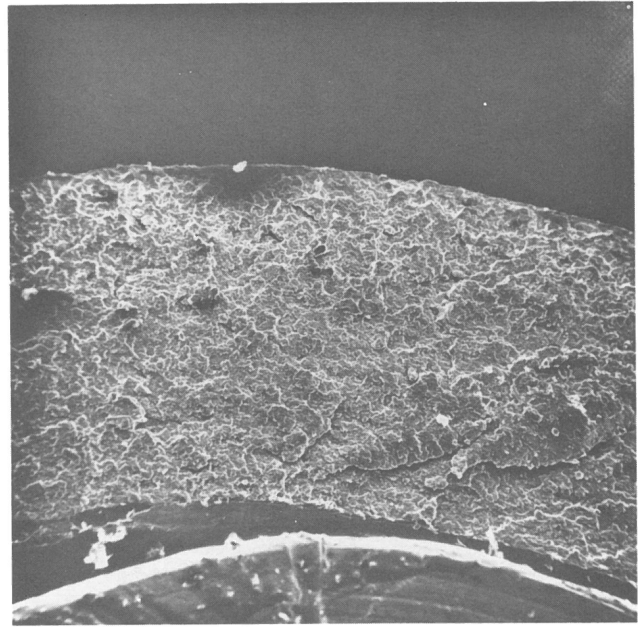


Bild :1.2
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,05 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 50:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.:1.4

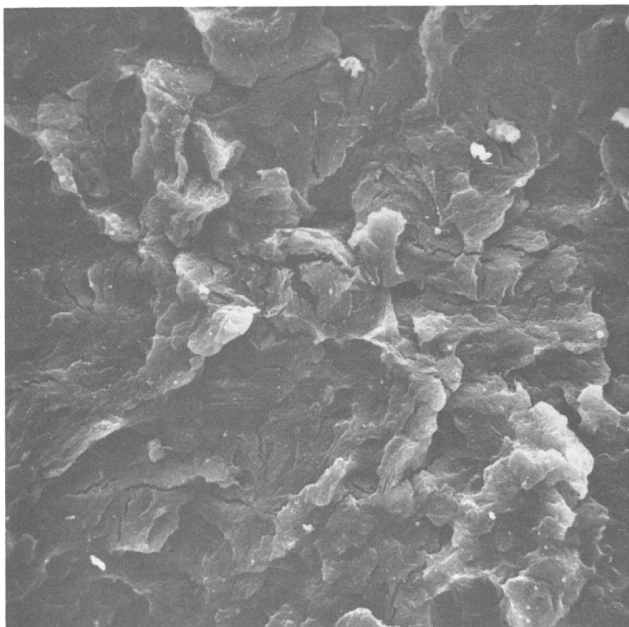


Bild : 1.3
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,05 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung:

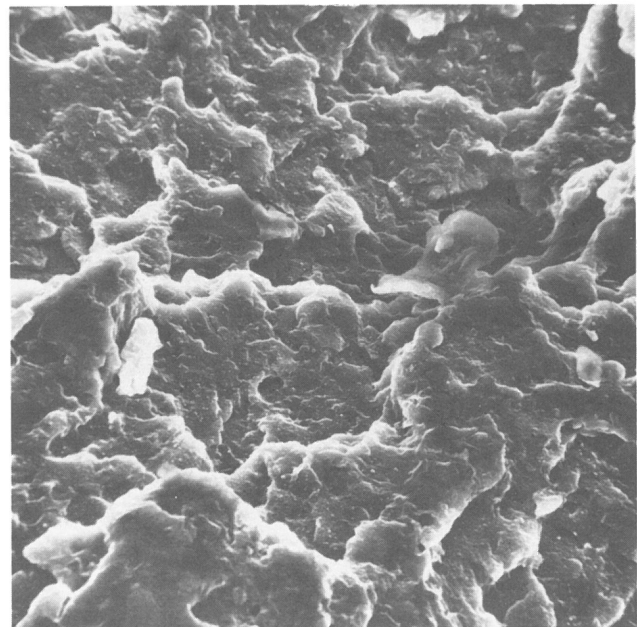


Bild : 1.4
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,05 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung:

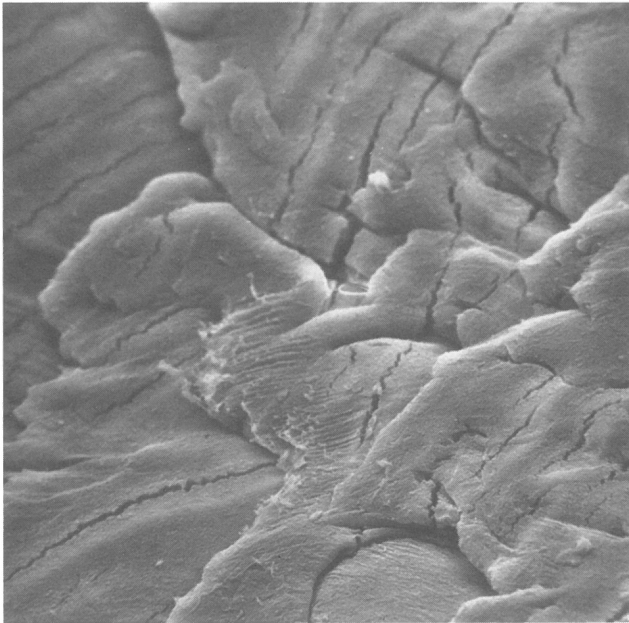


Bild : 2.1 Prot.Nr.: 42-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12119
 $N_B = 0,05 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 23,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1499 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 30\ 000$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl.: 2.2

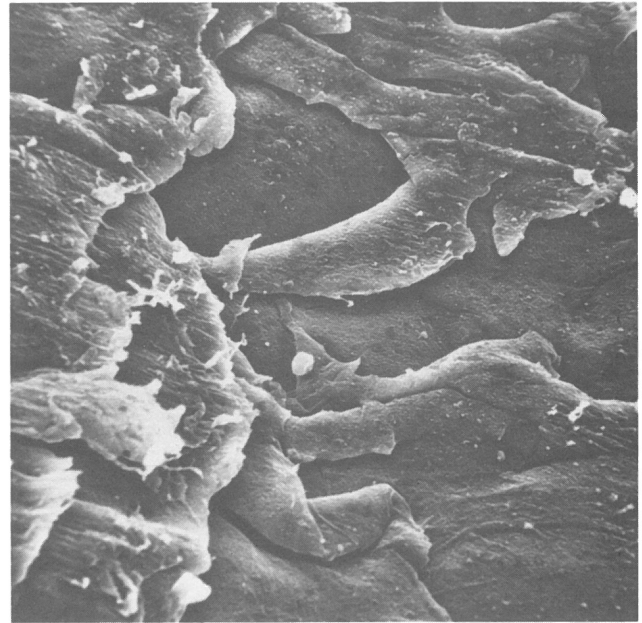


Bild : 2.2 Prot.Nr.: 42-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12555
 $N_B = 0,05 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 23,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1499 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 30\ 000$
Restbruch
 Bemerkung:

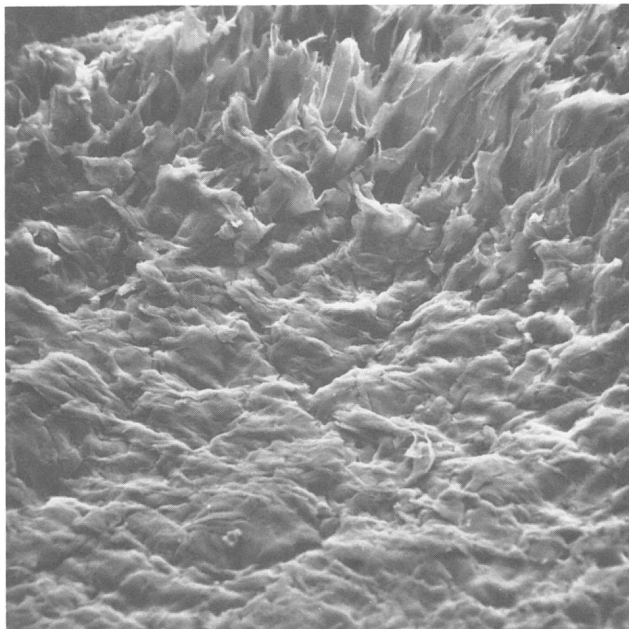


Bild : 3.1 Prot.Nr.: 42-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12121
 $N_B = 0,05 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 23,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1499 \text{ N/mm}^2$
 $V = 200 : 1$ $\Delta N_{VB} = 30\ 000$
 Restbruch
 Bemerkung: Bruchebenenwechsel

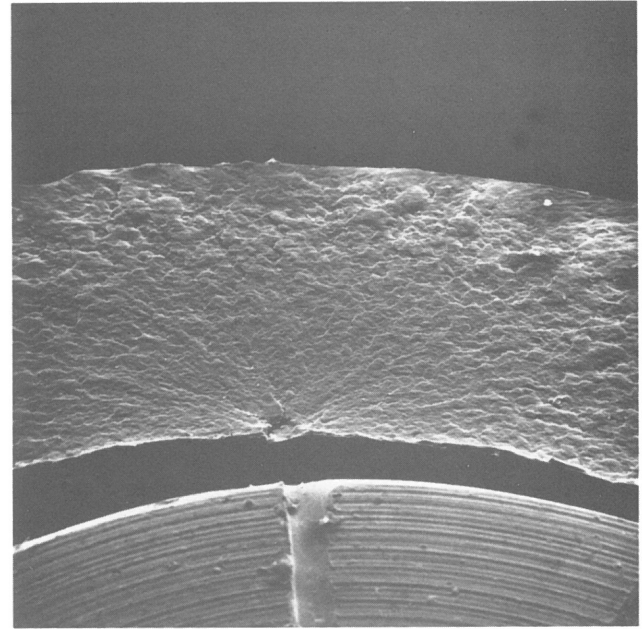


Bild : 4.1 Prot.Nr.: 41-1
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12084
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 12,9 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2236 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36\ 000$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.: 4.3 und 4.4

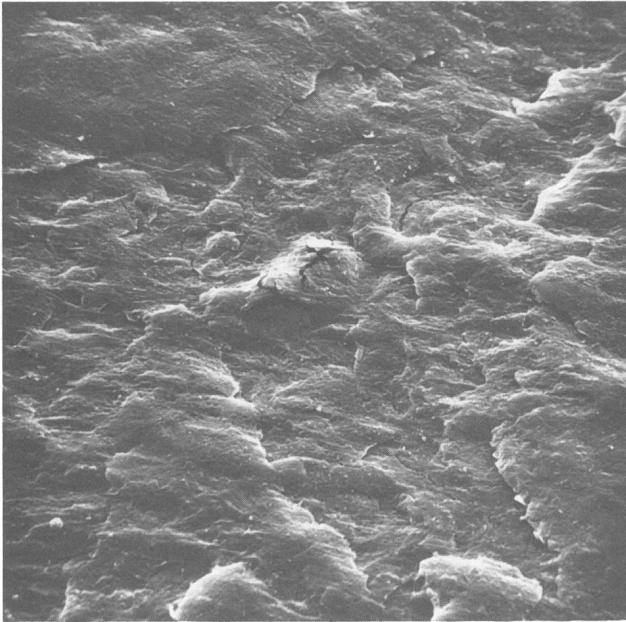


Bild : 4.2 Prot.Nr.: 41-1
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12006
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 12,9 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2236 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.: 4.3

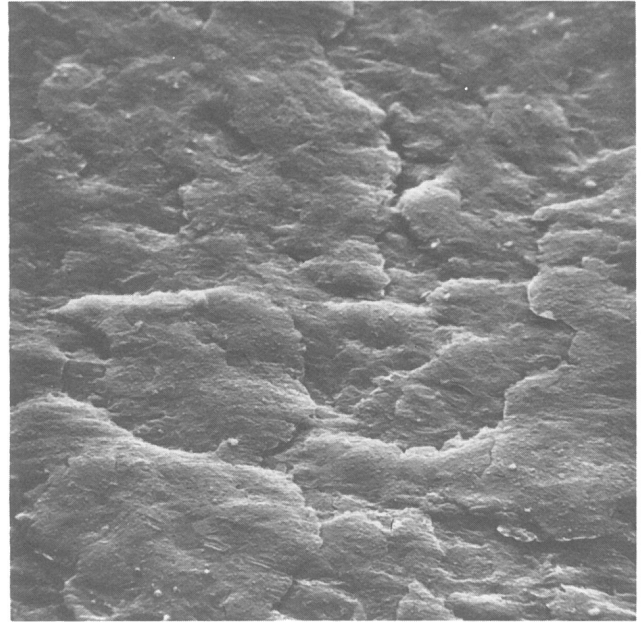


Bild : 4.3 Prot.Nr.: 41-1
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12086
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 12,9 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2236 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel
 Bemerkung: benachb.Fl.: 4.4

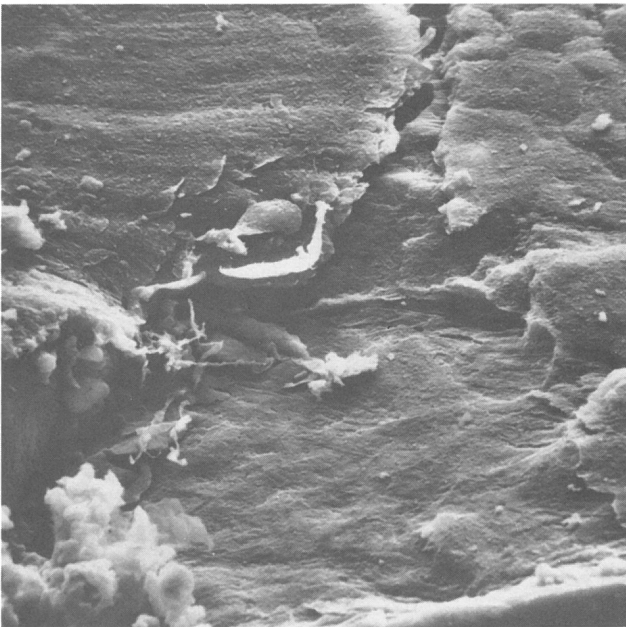


Bild : 4.4 Prot.Nr.: 41-1
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12088
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 12,9 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2236 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Bruchbeginn

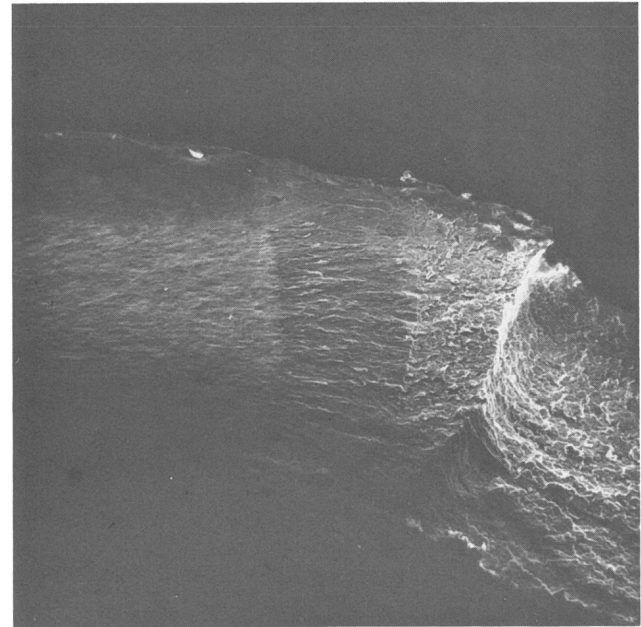


Bild : 5.1 Prot.Nr.: 41-1
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 11996
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 12,9 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2236 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.: 5.2; 5.4

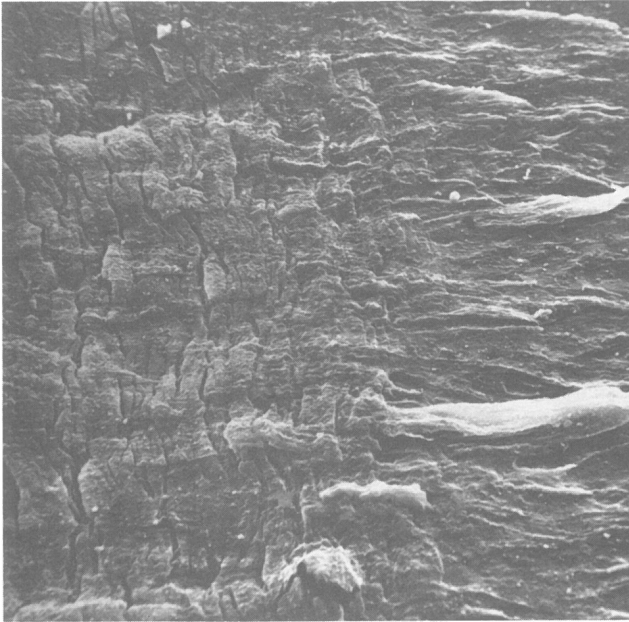


Bild : 5.2
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000 : 1$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfl.:5.3; benachb.Fl.:5.4

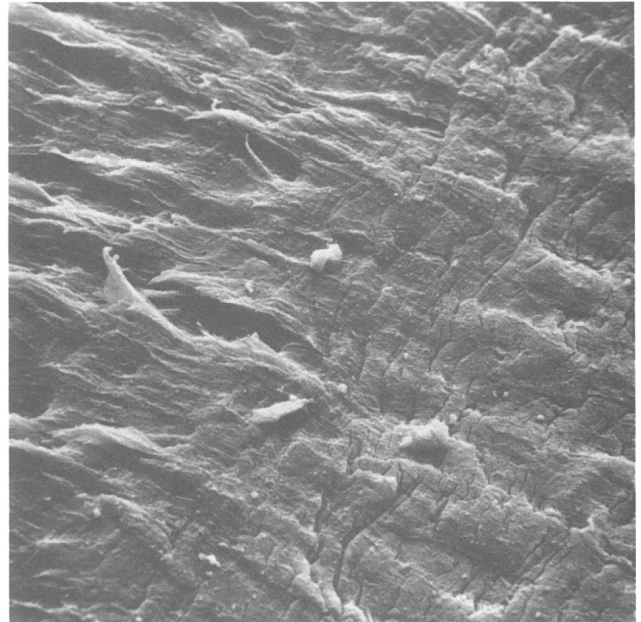


Bild : 5.3
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000 : 1$
 beschl.D-Bruch

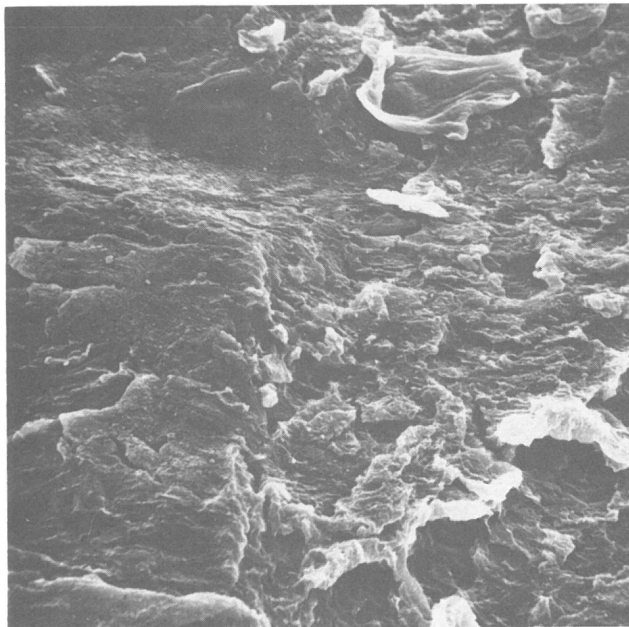


Bild : 5.4
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000 : 1$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl.:5.5

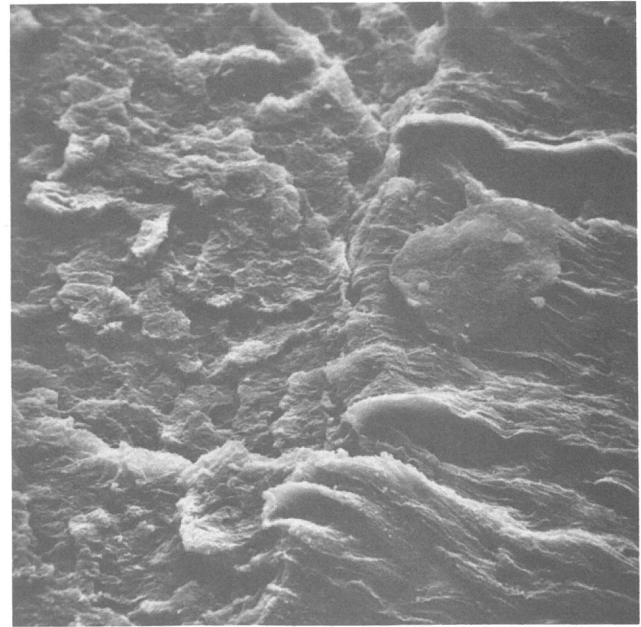


Bild : 5.5
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000 : 1$
 Restbruch

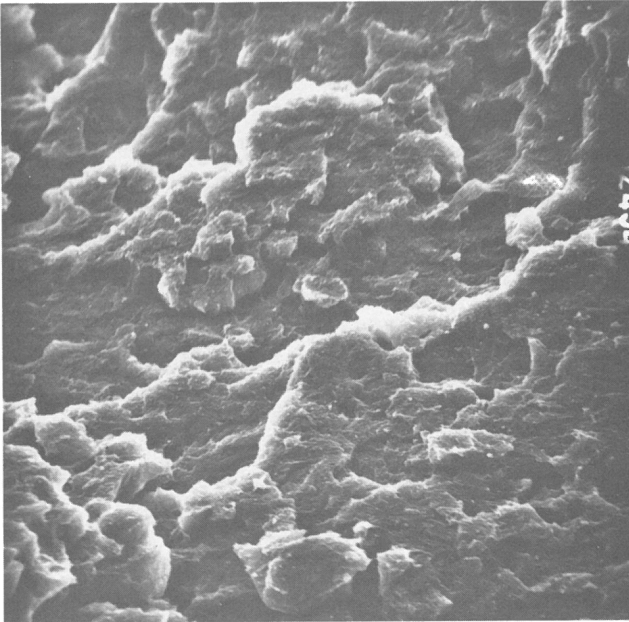


Bild : 6.1 Prot.Nr.: 41-1
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12494
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 12,9 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2236 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl.: 6.2; siehe 5.4

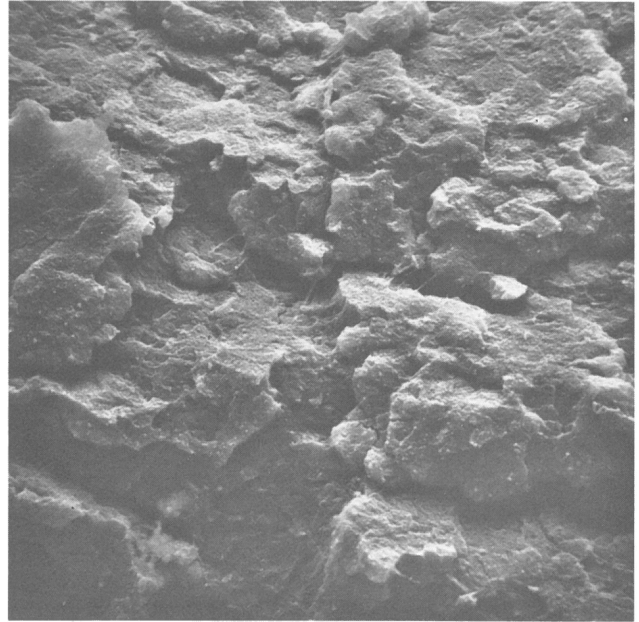


Bild : 6.2 Prot.Nr.: 41-1
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12101
 $N_B = 12,8 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 12,9 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2236 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: siehe 5.5

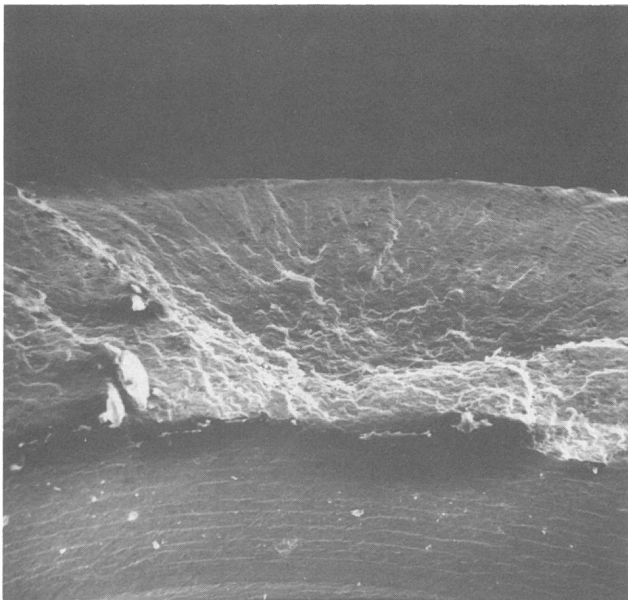


Bild : 7.1 Prot.Nr.: 30-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 16387
 $N_B = 0,93 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 23,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1544 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50 : 1$ $\Delta N_{VB} = 336 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.: 7.2

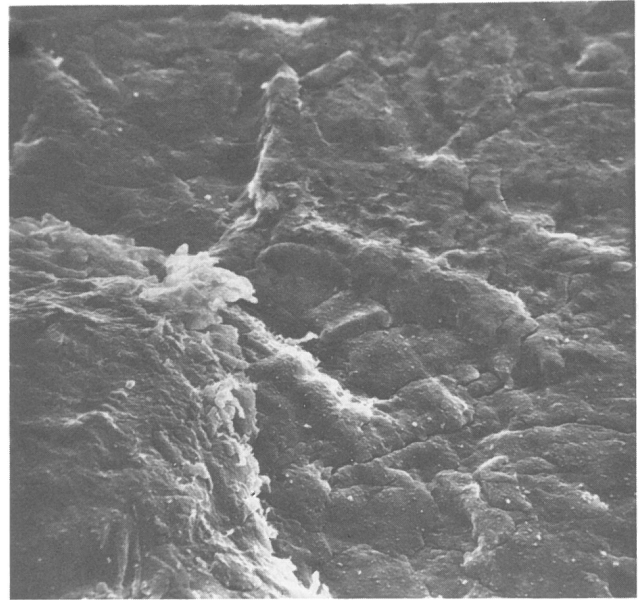


Bild : 7.2 Prot.Nr.: 30-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 16383
 $N_B = 0,93 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 23,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1544 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 336 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel

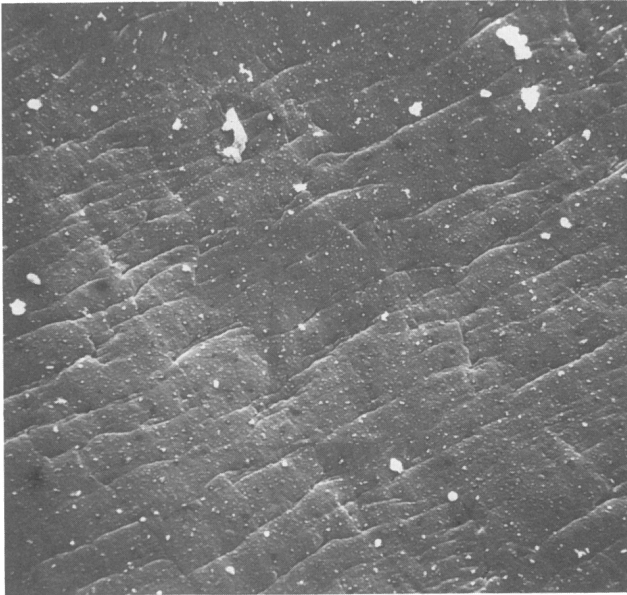


Bild : 8.1
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,93 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000 : 1$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfl.: 8.2

Prot.Nr.: 30-12
 Aufnahme-Nr.: 16305
 $\epsilon_{\max} = 23,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1544 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VR} = 336 \text{ 000}$

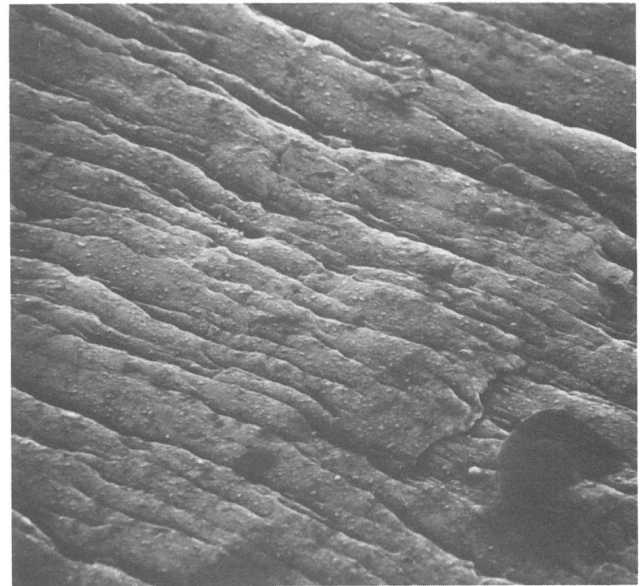


Bild : 8.2
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,93 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000 : 1$
 beschl.D-Bruch

Prot.Nr.: 30-12
 Aufnahme-Nr.: 16388
 $\epsilon_{\max} = 23,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1544 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VR} = 336 \text{ 000}$

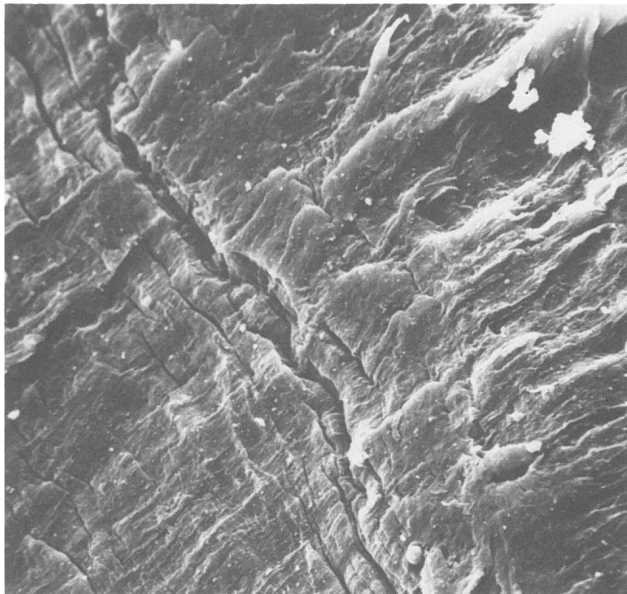


Bild : 9.1
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,93 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000 : 1$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl.: 9.2

Prot.Nr.: 30-12
 Aufnahme-Nr.: 16283
 $\epsilon_{\max} = 23,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1544 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VR} = 336 \text{ 000}$

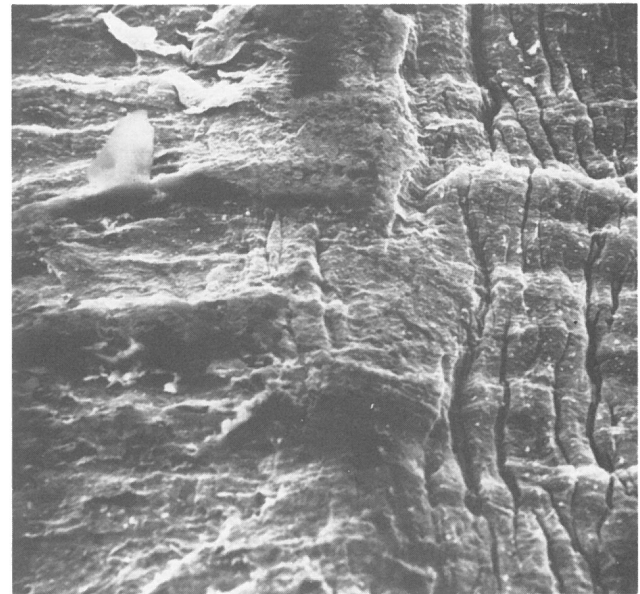


Bild : 9.2
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 0,93 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000 : 1$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: Bruchebene schraubenförmig ansteigend

Prot.Nr.: 30-12
 Aufnahme-Nr.: 16374
 $\epsilon_{\max} = 23,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1544 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VR} = 336 \text{ 000}$

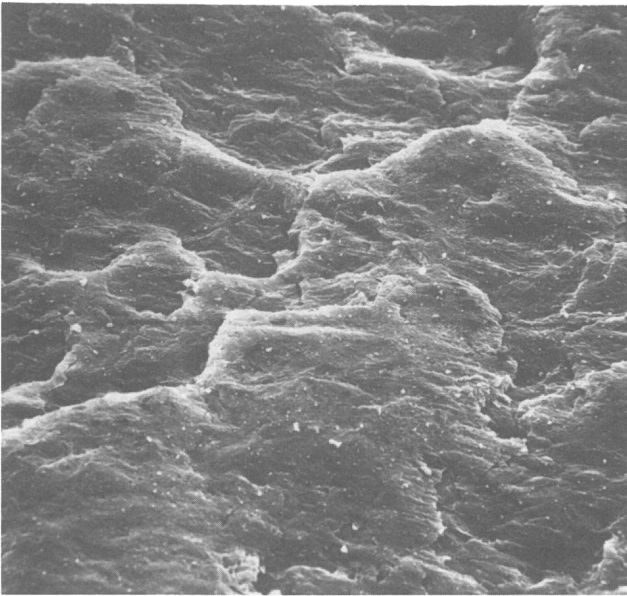


Bild : 12.1 Prot.Nr.: 39-9
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 16530
 $N_B = 9,13 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2057 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36\ 000$

D-Bruchwurzel

Bemerkung: Gegenfläche mit gleicher Form

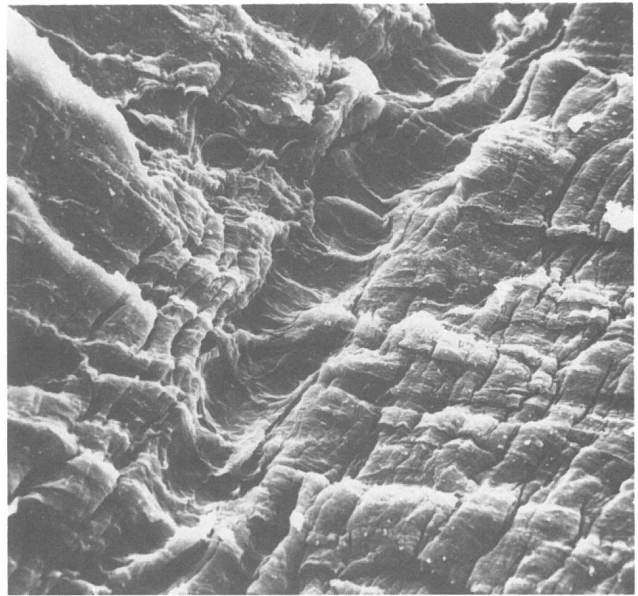


Bild : 13.1 Prot.Nr.: 39-9
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 16544
 $N_B = 9,13 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2057 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36\ 000$

beschl.D-Bruch/Restbruch

Bemerkung: Gegenfläche mit gleicher Form

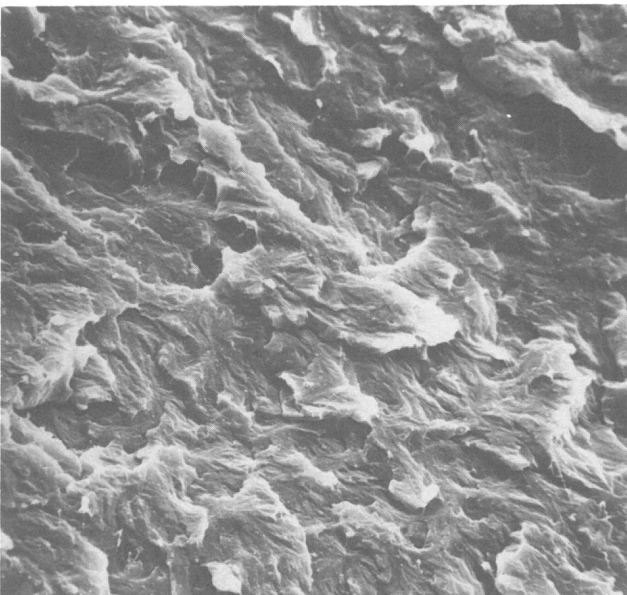


Bild : 14.1 Prot.Nr.: 39-9
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 16403
 $N_B = 9,13 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2057 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36\ 000$

Restbruch

Bemerkung: Gegenfl.: 14.2

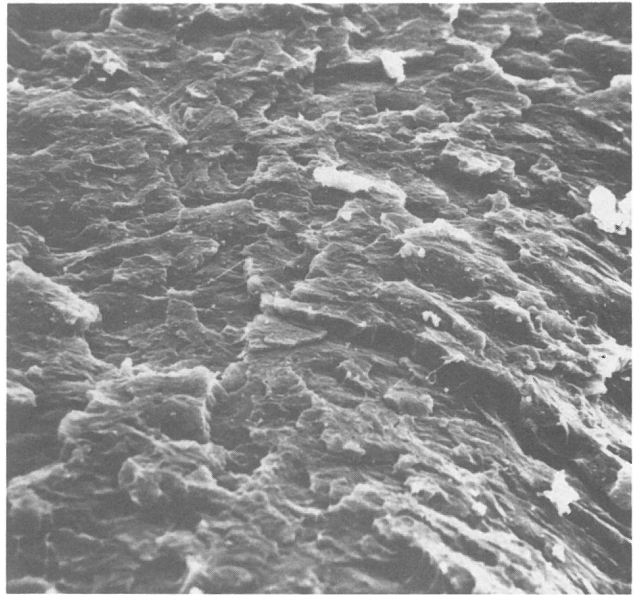


Bild : 14.2 Prot.Nr.: 39-9
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 16536
 $N_B = 9,13 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2057 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 36\ 000$

Restbruch

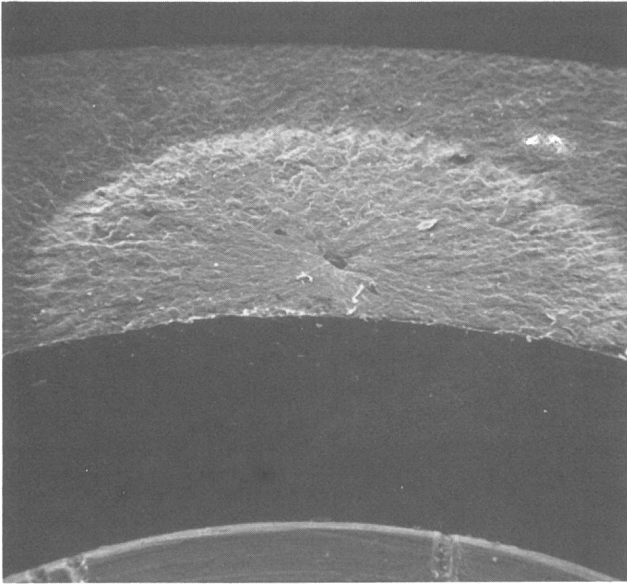


Bild : 15.1
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 5,25 \cdot 10^6$
 $f = 4,2$ Hz
 $V = 50:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.:15.2

Prot.Nr.: 147-8
 Aufnahme-Nr.: 15911
 $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 2241 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 1100$

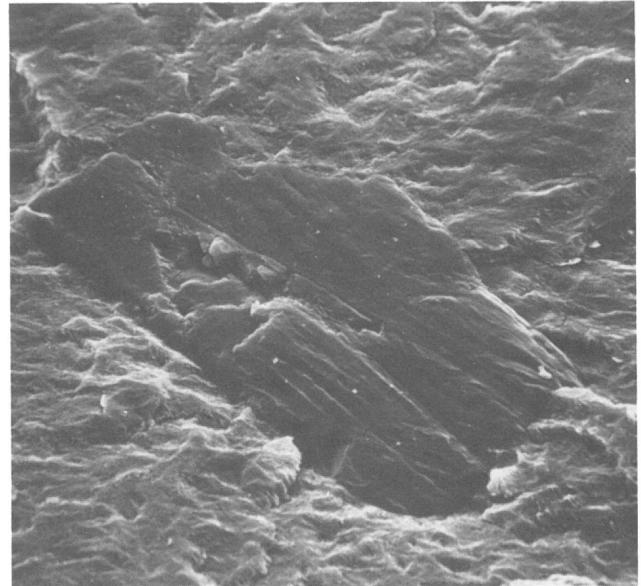


Bild : 15.2
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 5,25 \cdot 10^6$
 $f = 4,2$ Hz
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.:15.3; Bruchanfang am Einschluß

Prot.Nr.: 147-8
 Aufnahme-Nr.: 15909
 $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 2241 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 1100$

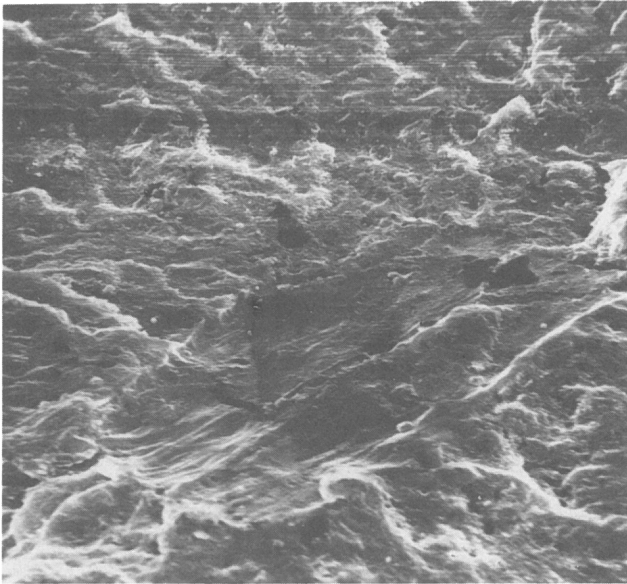


Bild : 15.3
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 5,25 \cdot 10^6$
 $f = 4,2$ Hz
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Eindruck des Einschlusses

Prot.Nr.: 147-8
 Aufnahme-Nr.: 16106
 $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 2241 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 1100$

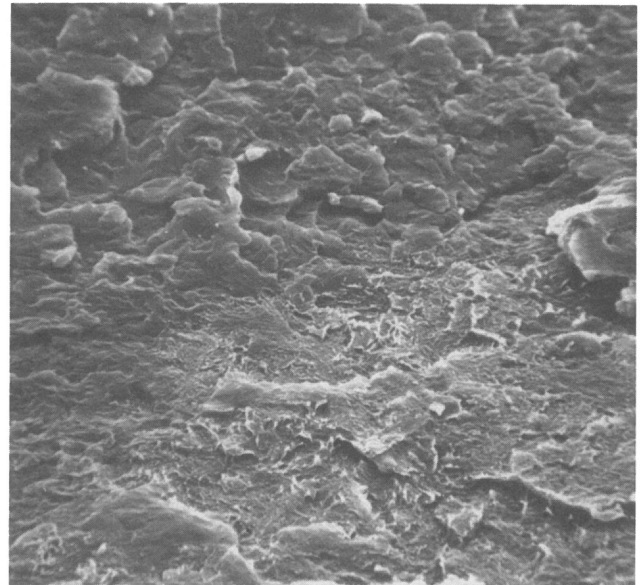


Bild : 16.1
 Material: POM-Copol.
 $N_B = 5,25 \cdot 10^6$
 $f = 4,2$ Hz
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
 Bemerkung: benachb.Fl.:15.2

Prot.Nr.: 147-8
 Aufnahme-Nr.: 15916
 $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 2241 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 1100$

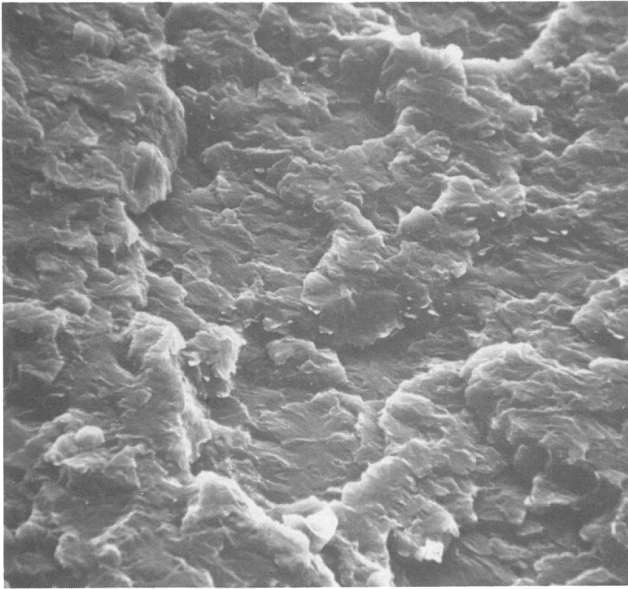


Bild : 17.1 Prot.Nr.: 147-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15922
 $N_B = 5,25 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2241 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 1 \text{ 100}$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl.: 17.2

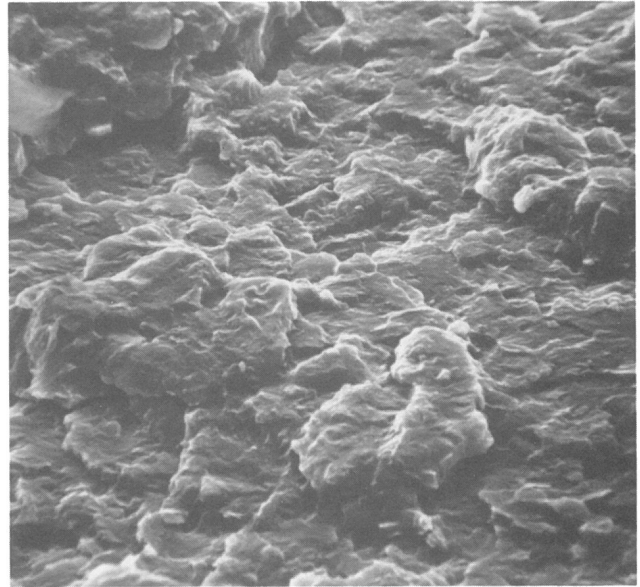


Bild : 17.2 Prot.Nr.: 147-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15925
 $N_B = 5,25 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2241 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 1 \text{ 100}$
 Restbruch

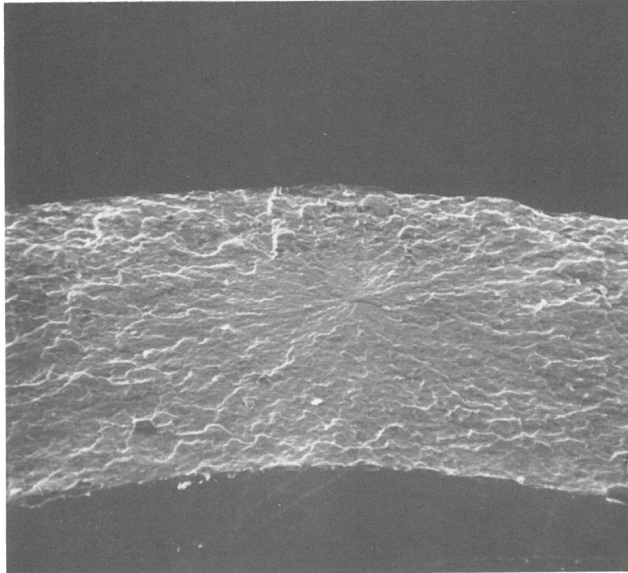


Bild : 18.1 Prot.Nr.: 97-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15105
 $N_B = 8,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2310 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50 : 1$ $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.: 18.2; Bruchanfang in Wandmitte

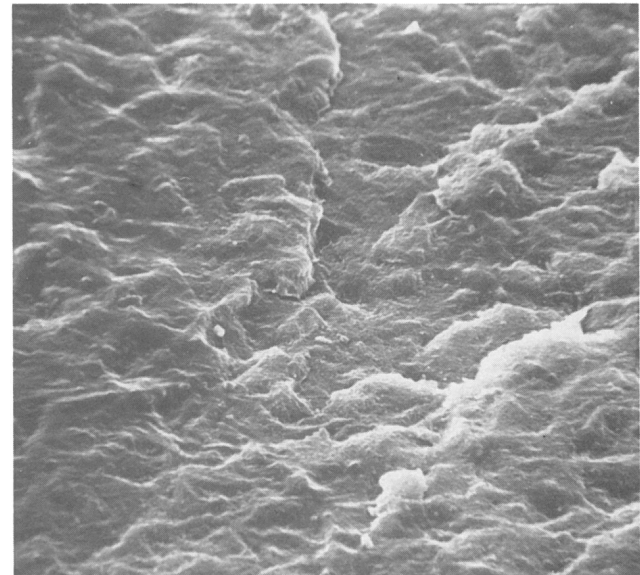


Bild : 18.2 Prot.Nr.: 97-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15103
 $N_B = 8,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2310 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: dicht am Bruchanfang

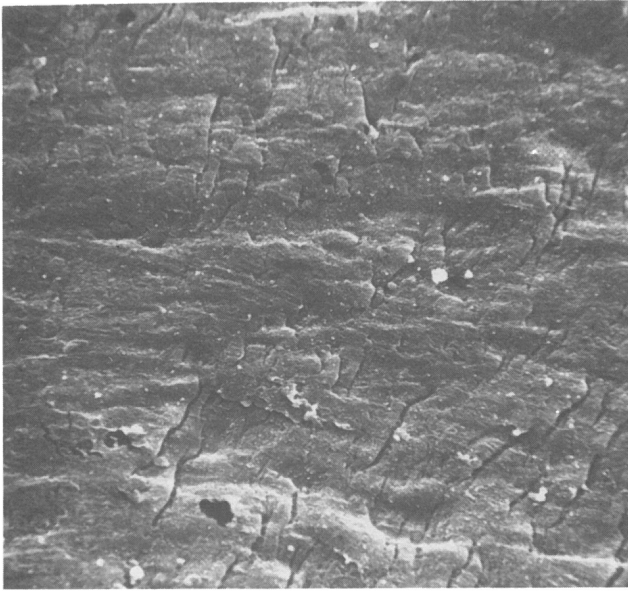


Bild : 19.1 Prot.Nr.: 97-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15379
 $N_B = 8,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2310 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfläche hat identisches Aussehen

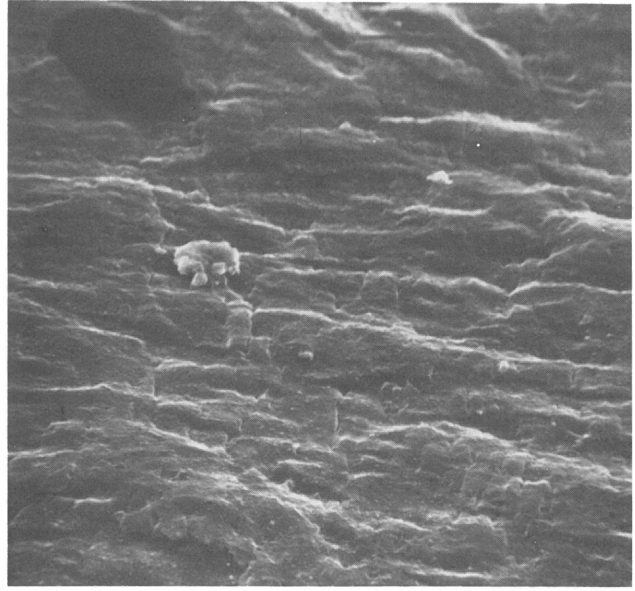


Bild : 19.2 Prot.Nr.: 97-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15356
 $N_B = 8,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2310 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Zu 19.1 auf der anderen Seite der Bruchwurzel

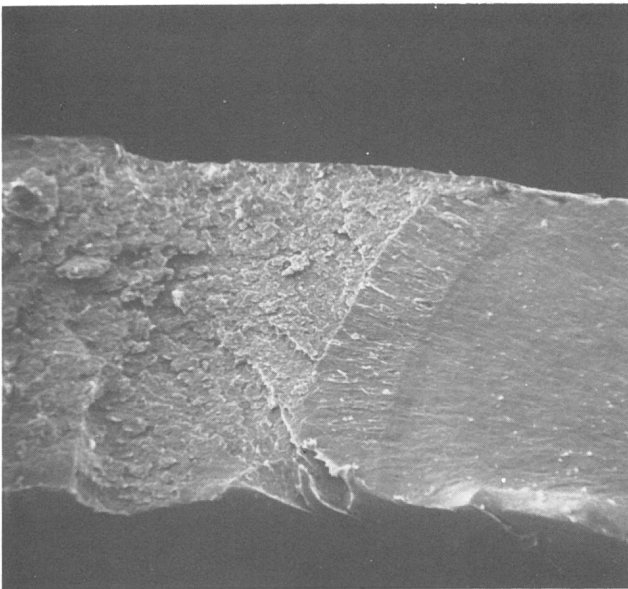


Bild : 20.1 Prot.Nr.: 97-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15102
 $N_B = 8,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2310 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50 : 1$ $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.: 20.2

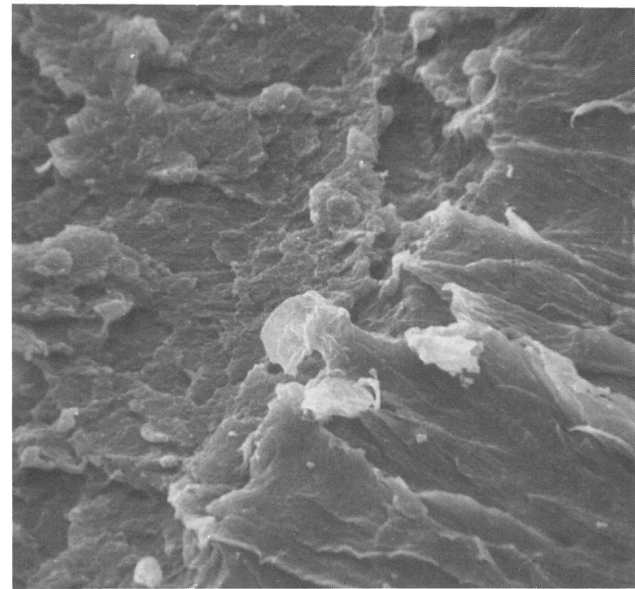


Bild : 20.2 Prot.Nr.: 97-12
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15100
 $N_B = 8,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2310 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl.mit gleicher Form

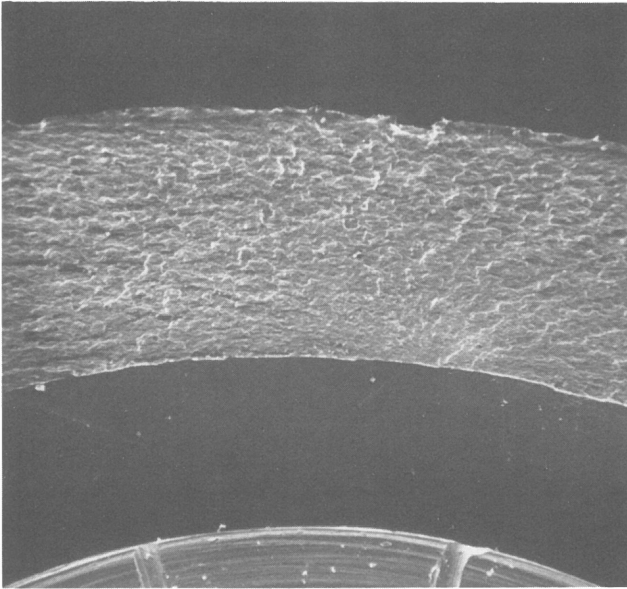


Bild : 21.1 Prot.Nr.: 109-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15208
 $N_B = 14,3 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1783 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.: 21.2; Bruchanfang am Rand

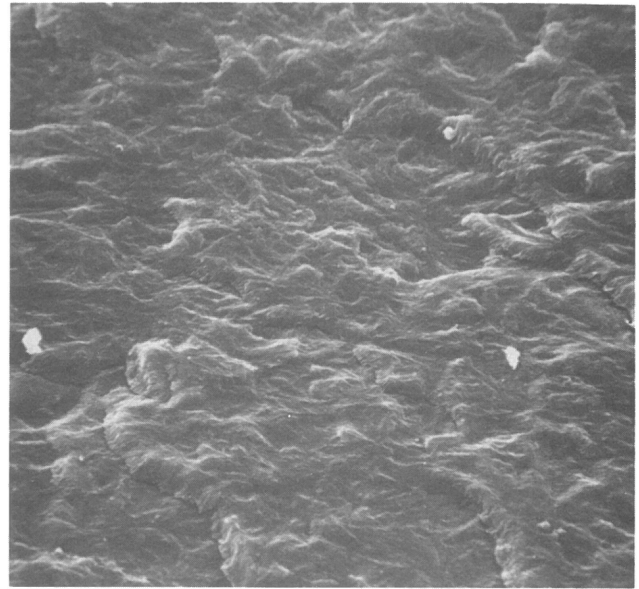


Bild : 21.2 Prot.Nr.: 109-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15206
 $N_B = 14,3 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1783 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl. mit gleicher Form

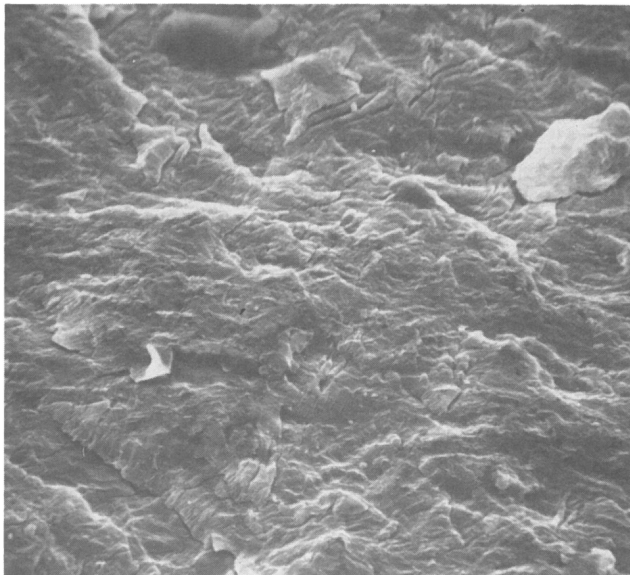


Bild : 22.1 Prot.Nr.: 109-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15203
 $N_B = 14,3 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1783 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfl. versetzt: 22.2

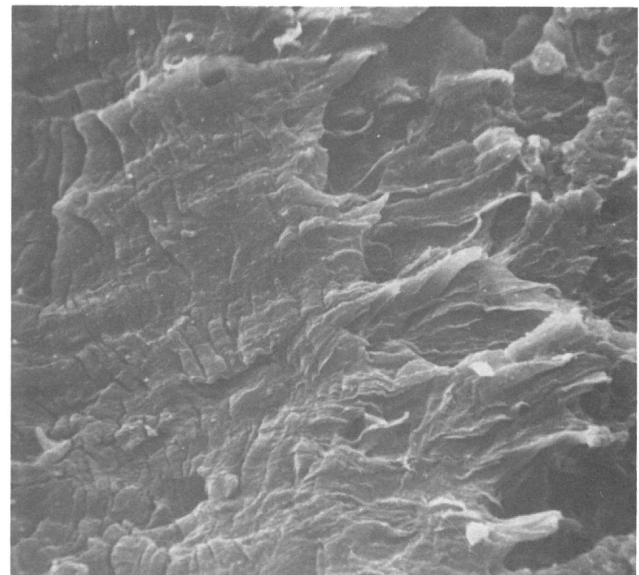


Bild : 22.2 Prot.Nr.: 109-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15337
 $N_B = 14,3 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1783 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: an anderer Stelle wie 22.1, jedoch auf der gleichen Bruchfläche

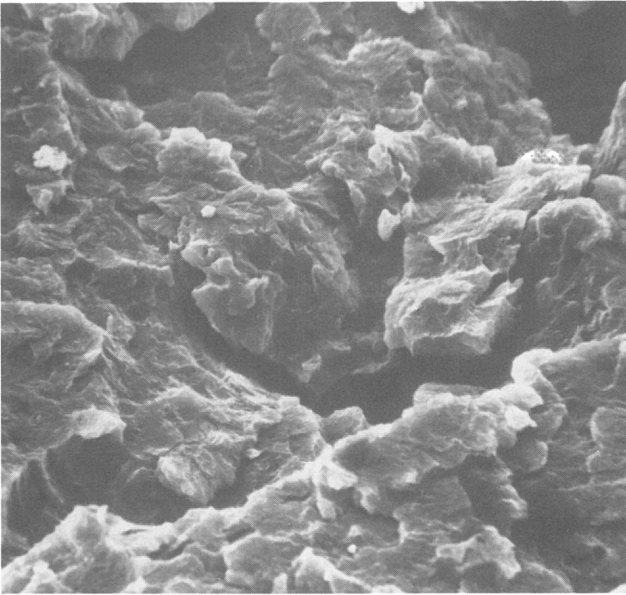


Bild : 23.1 Prot.Nr.: 109-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15215
 $N_B = 14,3 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1783 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VR} = 54 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl. versetzt: 23.2

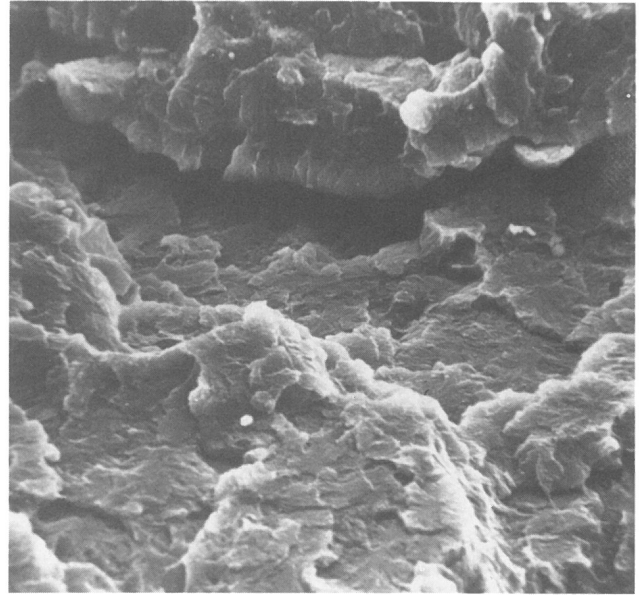


Bild : 23.2 Prot.Nr.: 109-8
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 15350
 $N_B = 14,3 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 13,6 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1783 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 Restbruch

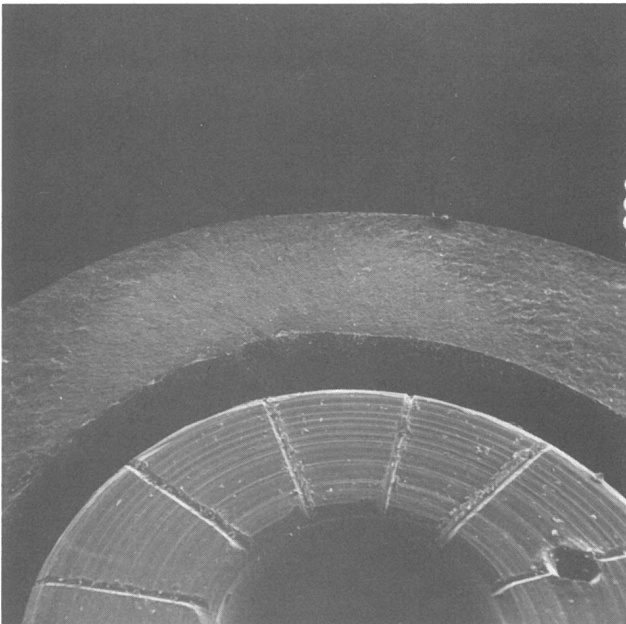


Bild : 24.1 Prot.Nr.: 149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 13534
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 20:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Übersichtsaufn. im REM

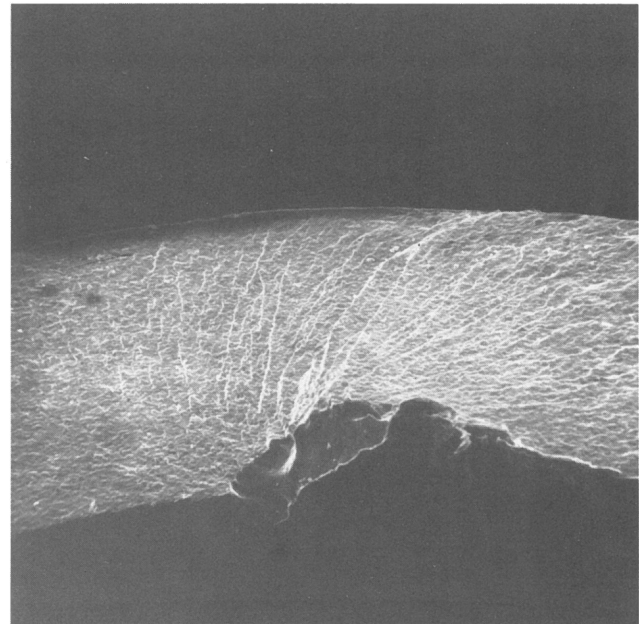


Bild : 24.2 Prot.Nr.: 149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 12528
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.: 24.4

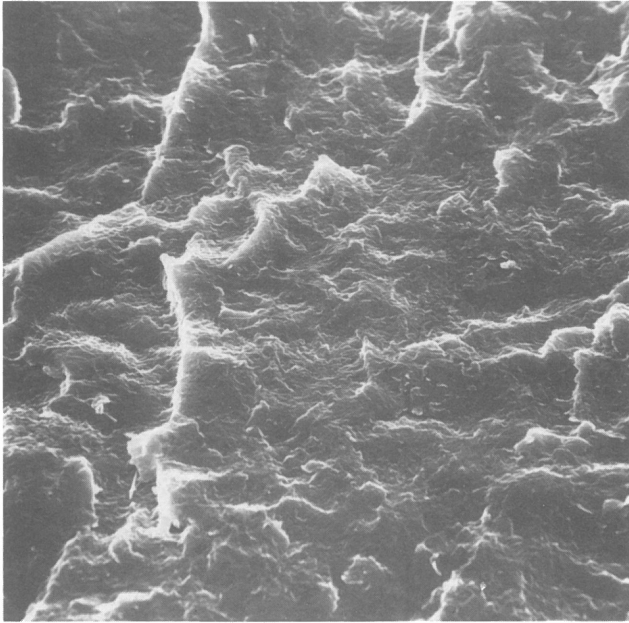


Bild : 24.3 Prot.Nr.:149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 12507
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.:24.4;etwas näher zum Rand

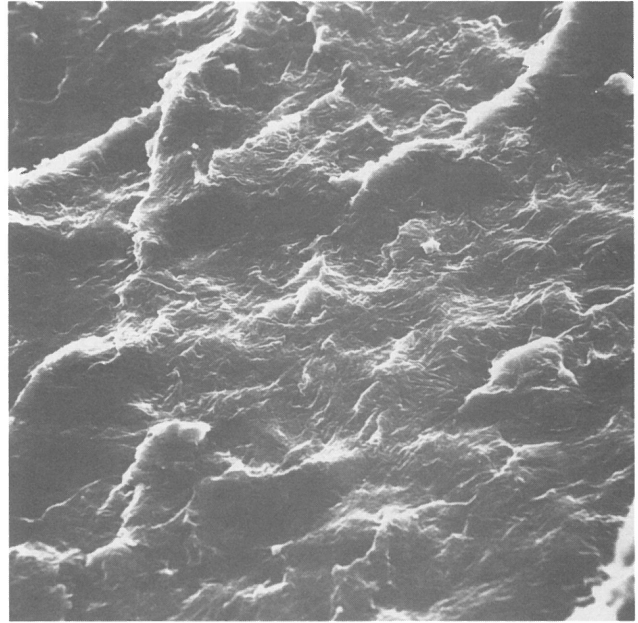


Bild : 24.4 Prot.Nr.:149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.:12531
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel

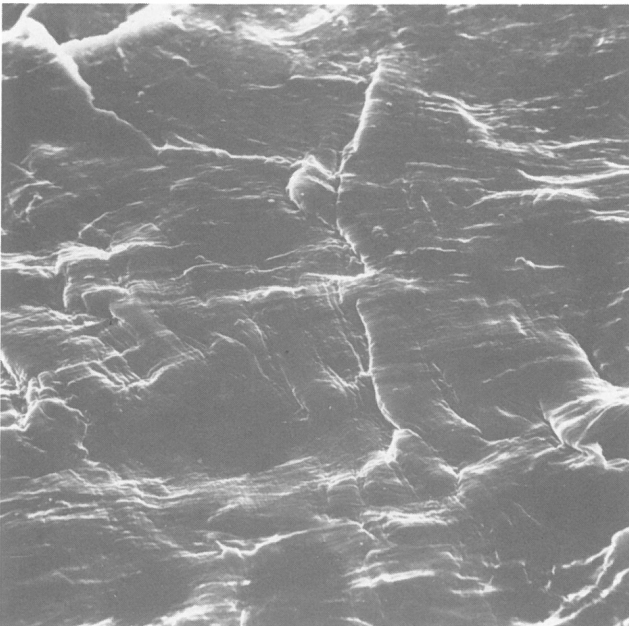


Bild : 25.1 Prot.Nr.:149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.:12515
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Ausschn.:25.2

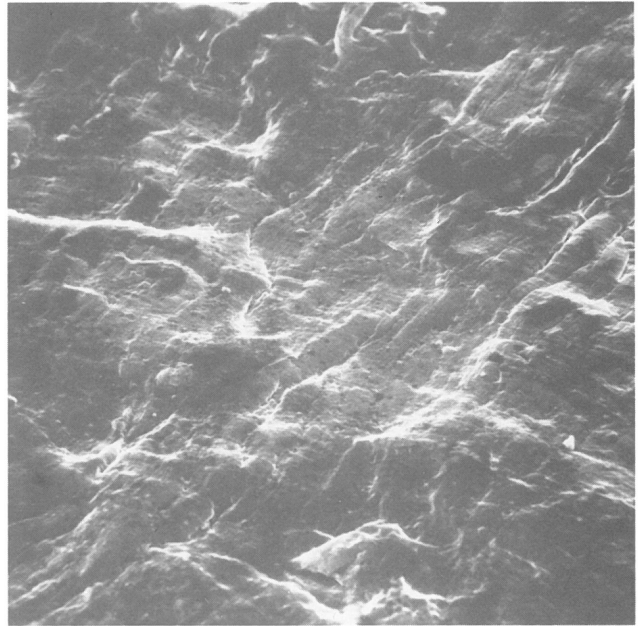


Bild : 25.2 Prot.Nr.:149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.:12538
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch

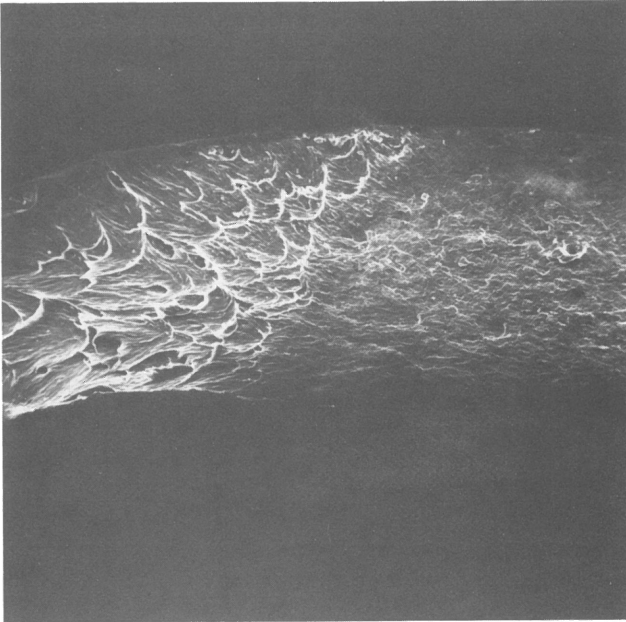


Bild : 26.1 Prot.Nr.: 149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 12496
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.: 26.2

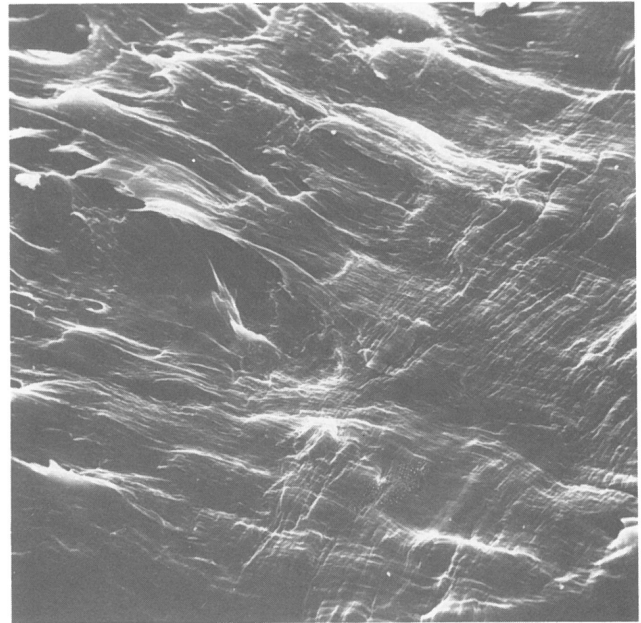


Bild : 26.2 Prot.Nr.: 149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 12498
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl. mit gleicher Form

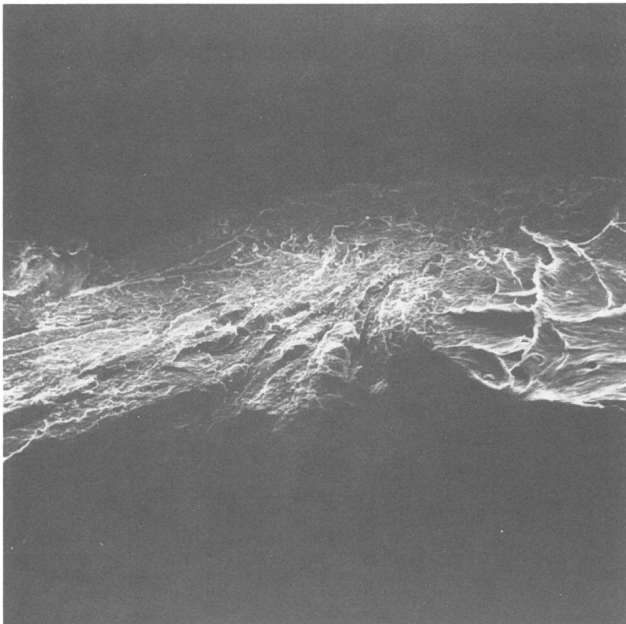


Bild : 27.1 Prot.Nr.: 149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 12519
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.: 27.2

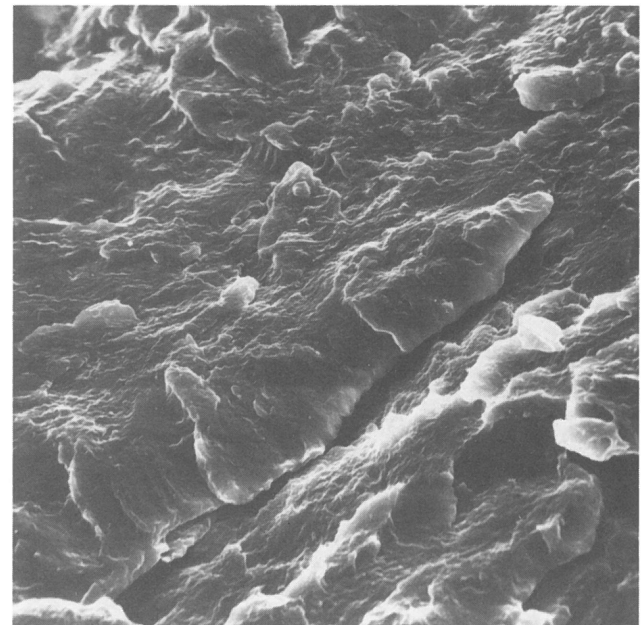


Bild : 27.2 Prot.Nr.: 149-1
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 12521
 $N_B = 4,17 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 14,4 \text{ ‰}$
 $f = 4,2 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1620 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 9 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl. mit gleicher Form

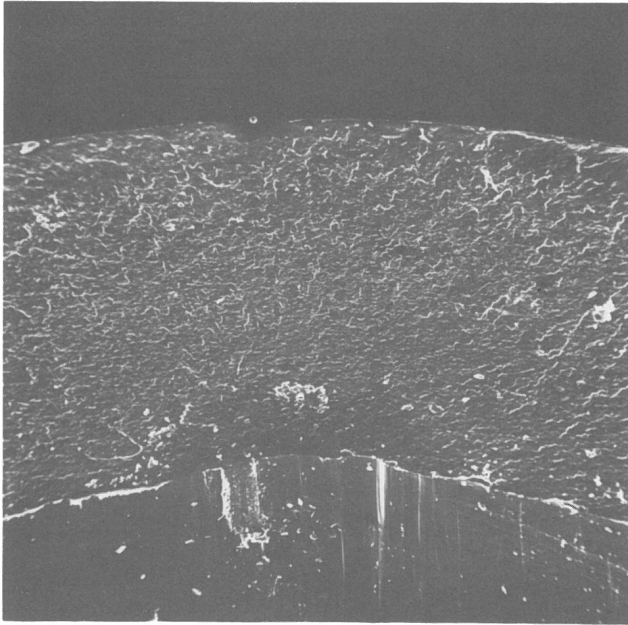


Bild : 28.1 **Prot.Nr.: 150-3**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 13882**
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel
Bemerkung: Ausschn.:28.3, neben dem Bruch-
anfang in der Wand

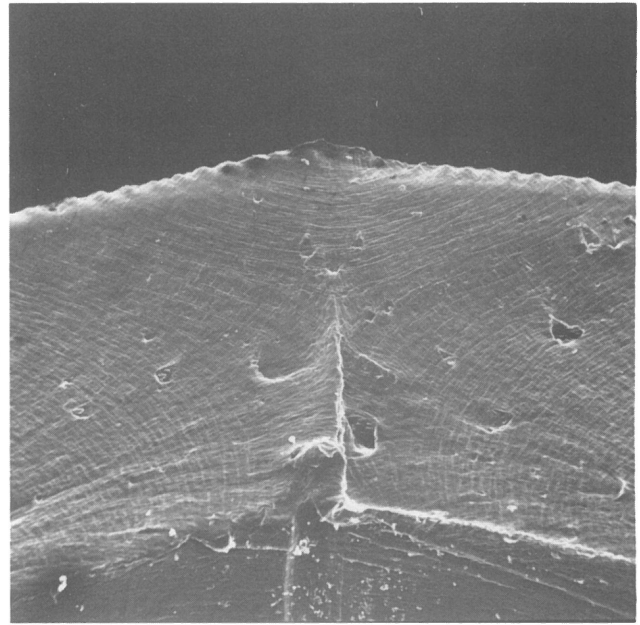


Bild : 31.1 **Prot.Nr.: 150-3**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 13861**
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
beschl.D-Bruch
Bemerkung:Ausschn.:31.3, außerhalb der Trenn-
lippe zum Außenrand;kein Restbruch

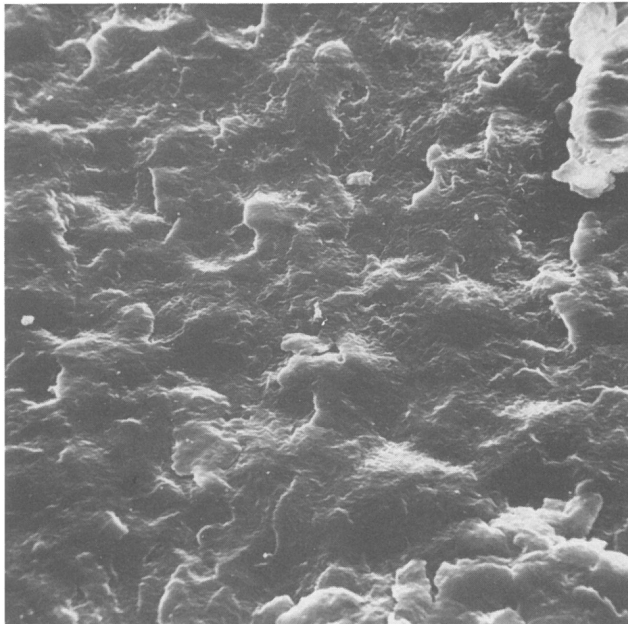


Bild :28.2 **Prot.Nr.: 150-3**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 13914**
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel
Bemerkung: Gegenfl.:28.3

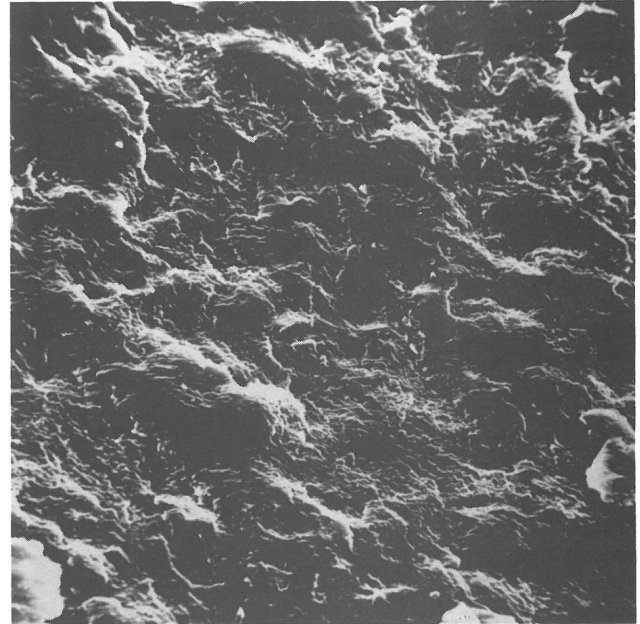


Bild :28.3 **Prot.Nr.:150-3**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 13884**
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel

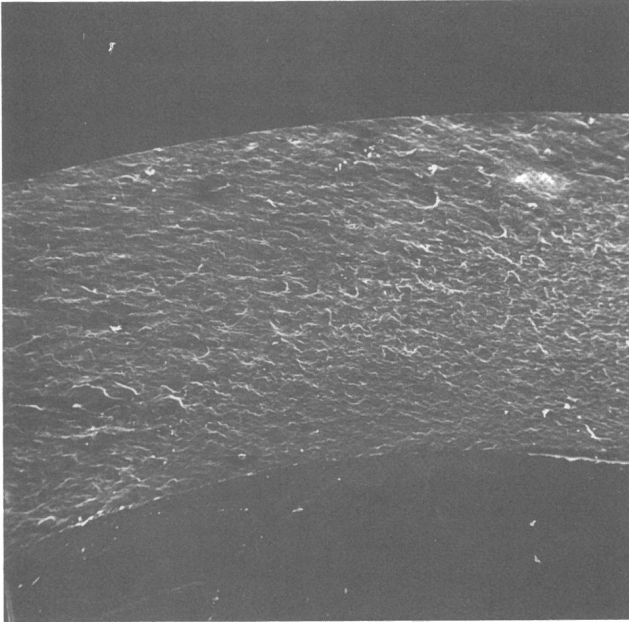


Bild :29.1 Prot.Nr.: 150-3
Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 13872
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
Bemerkung: Ausschn.:29.2

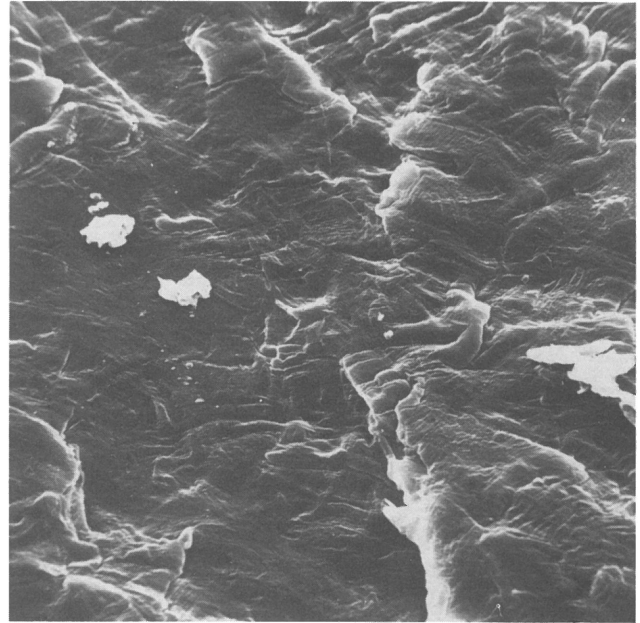


Bild : 29.2 Prot.Nr.:150-3
Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 13870
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
Bemerkung: Gegenfl. mit gleicher Form

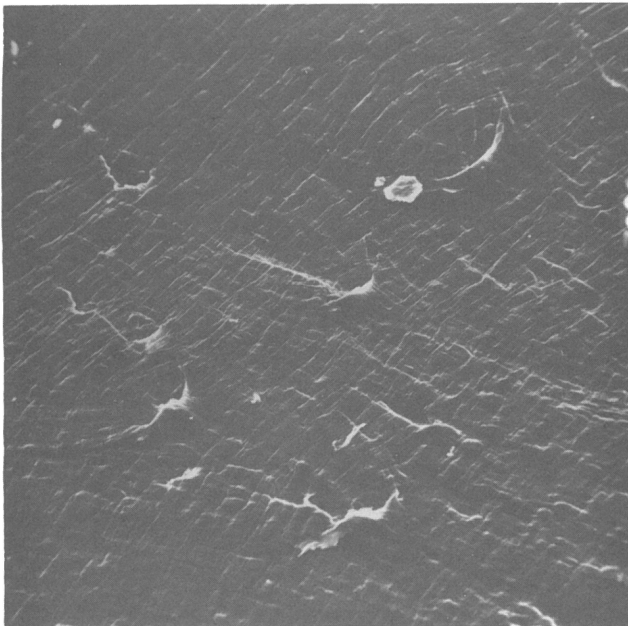


Bild : 30.1 Prot.Nr.: 150-3
Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 13892
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 200:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch
Bemerkung: Gegenfl.: 30.2

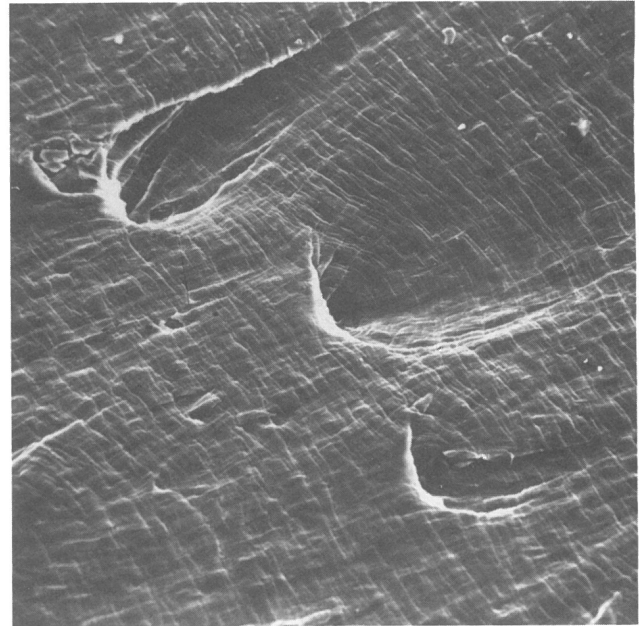


Bild : 30.2 Prot.Nr.: 150-3
Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 13859
 $N_B = 2,03 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 15,6 \text{ ‰}$
 $f = 8,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1270 \text{ N/mm}^2$
 $V = 200:1$ $\Delta N_{VB} = 45 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch

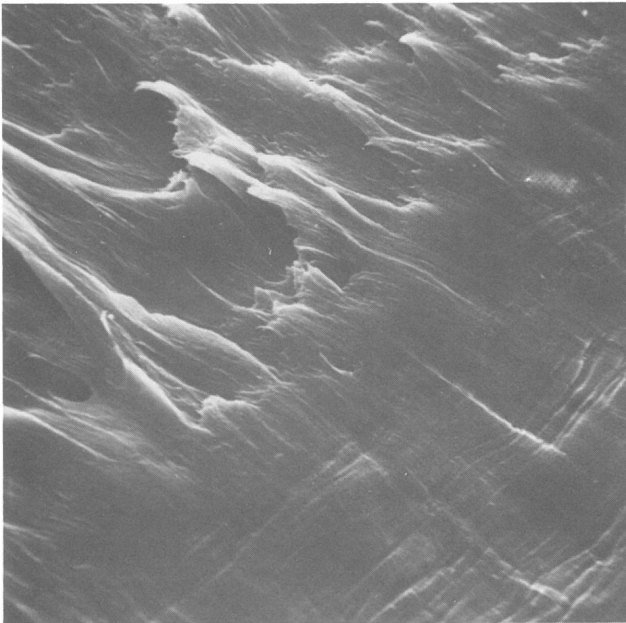


Bild : 33.1 Prot.Nr.: 151-4
Material: PA 66 Aufnahme-Nr.:14818
 $N_B = 1,26 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 16,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1000 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 51000$
 beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung:Gegenfl.:33.2

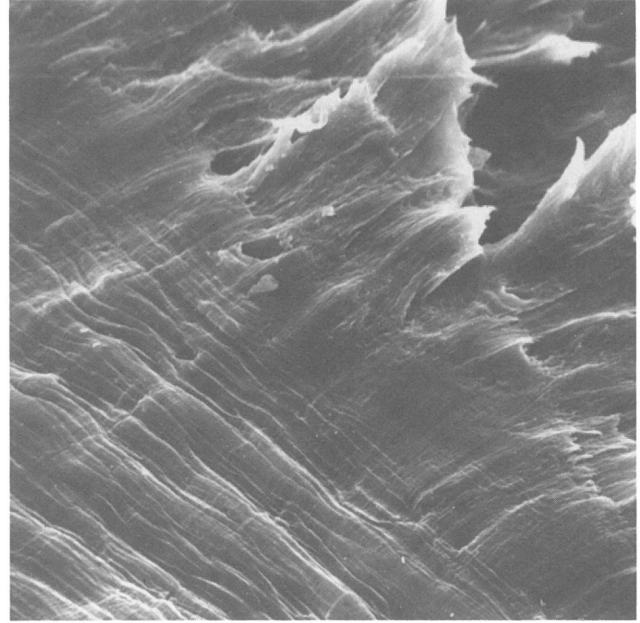


Bild : 33.2 Prot.Nr.: 151-4
Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 14891
 $N_B = 1,26 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 16,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 1000 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 51 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch/Restbruch

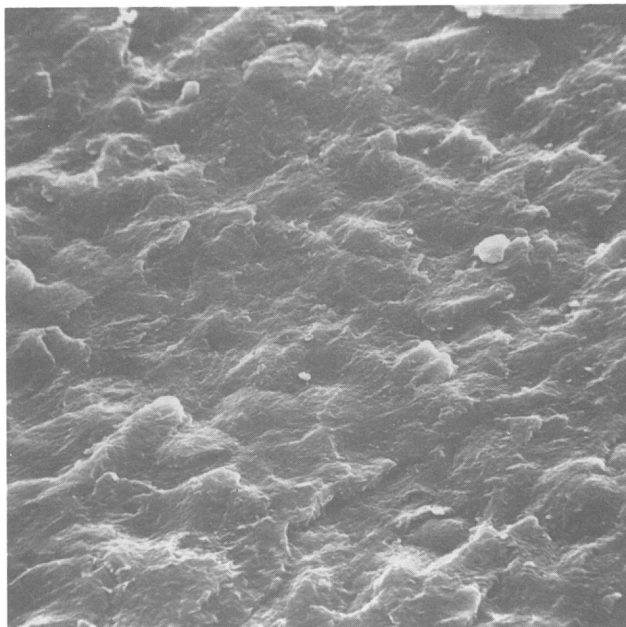


Bild : 34.1 Prot.Nr.: 152-12
Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 14327
 $N_B = 1,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 19,2 \text{ ‰}$
 $f = 25 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 862 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung:Gegenfl.:34.2,Mitte der Bruchw.

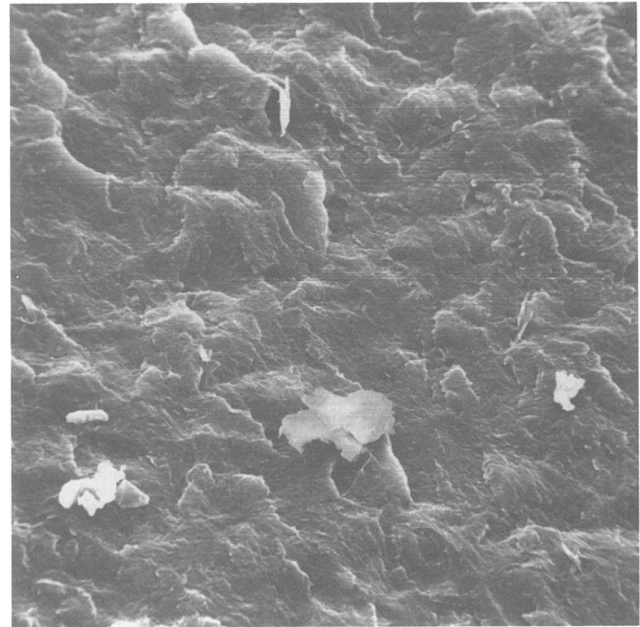


Bild : 34.2 Prot.Nr.:152-12
Material: PA66 Aufnahme-Nr.:14354
 $N_B = 1,84 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 19,2 \text{ ‰}$
 $f = 25 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 862 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel

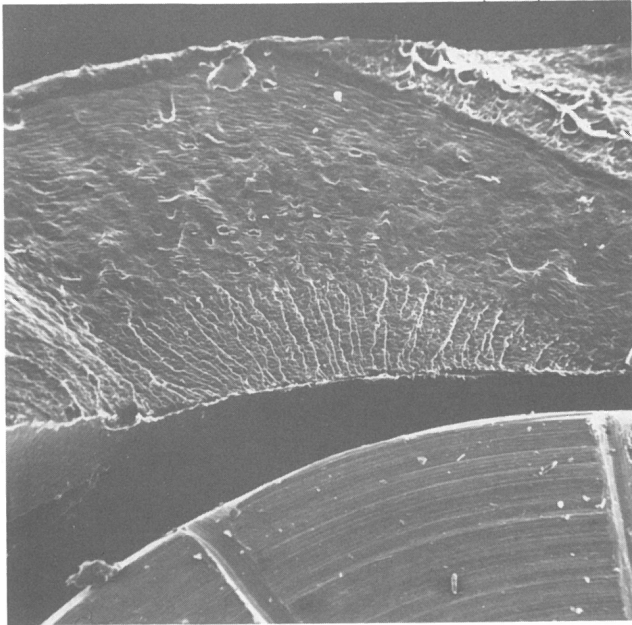


Bild : 35.1
 Material: PA 66
 $N_B = 1,84 \cdot 10^6$
 $f = 25$ Hz
 $V = 50:1$

Prot.Nr.: 152-12
 Aufnahme-Nr.: 14344
 $\epsilon_{max} = 19,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 862 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$

D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Ausschn.:35.2, zusätzliche 2.Bruchw.
 mit b.D-Bruch und R-Bruch

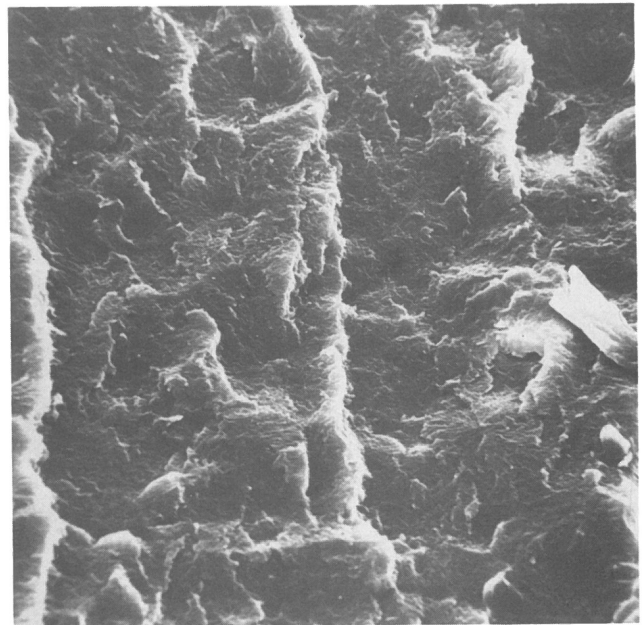


Bild : 35.2
 Material: PA 66
 $N_B = 1,84 \cdot 10^6$
 $f = 25$ Hz
 $V = 1000:1$

Prot.Nr.: 152-12
 Aufnahme-Nr.: 14342
 $\epsilon_{max} = 19,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 862 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$

D-Bruchwurzel
 Bemerkung: vor Bruchw.-Rand

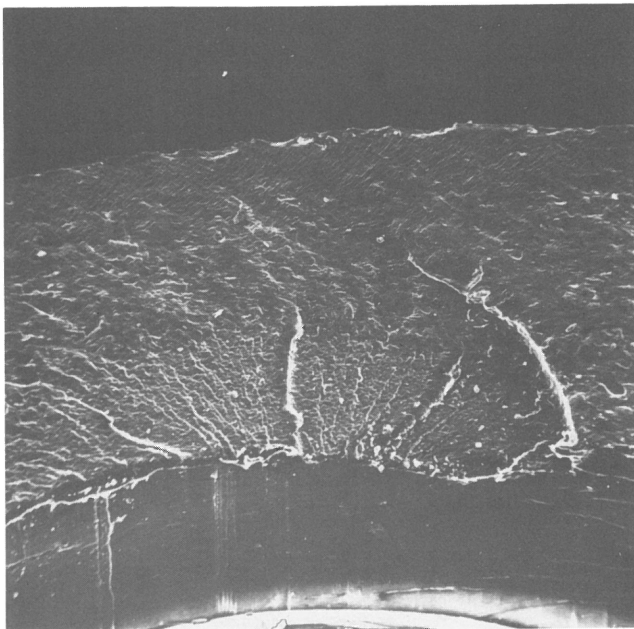


Bild : 36.1
 Material: PA 66
 $N_B = 1,48 \cdot 10^6$
 $f = 33,3$ Hz
 $V = 50:1$

Prot.Nr.:153-2
 Aufnahme-Nr.: 13929
 $\epsilon_{max} = 18,8 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 787 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$

D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Ausschn.:36.2

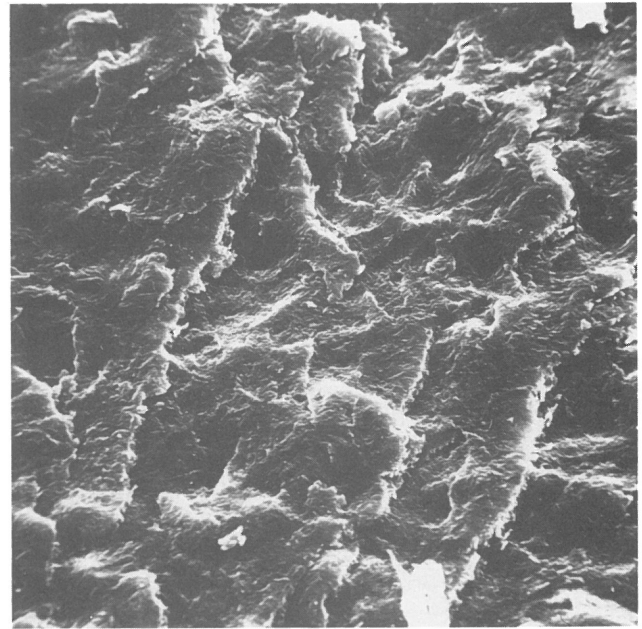


Bild :36.2
 Material: PA 66
 $N_B = 1,48 \cdot 10^6$
 $f = 33,3$ Hz
 $V = 1000:1$

Prot.Nr.: 153-2
 Aufnahme-Nr.:13927
 $\epsilon_{max} = 18,8 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 787 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$

D-Bruchwurzel
 Bemerkung: vor Bruchw.-Rand, Gegenfl. mit
 gleicher Form

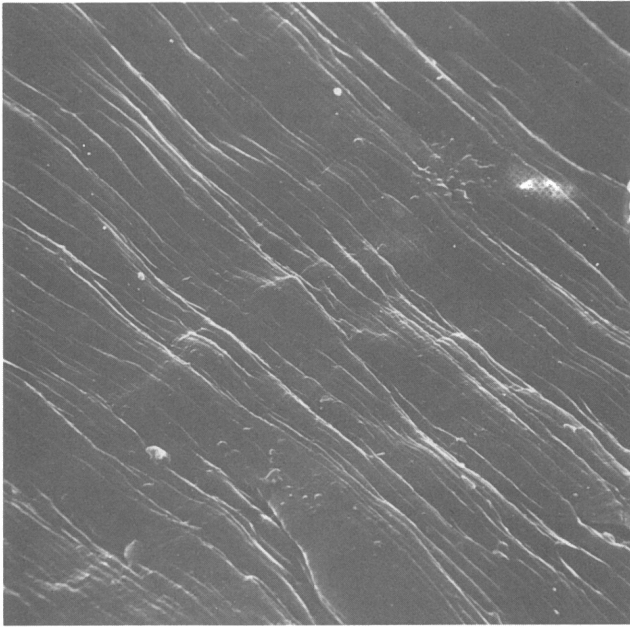


Bild : 37.1 Prot.Nr.: 153-2
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 13978
 $N_B = 1,48 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 18,8 \text{ ‰}$
 $f = 33,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 787 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfl.:37.2, benachb. dem Außenrand

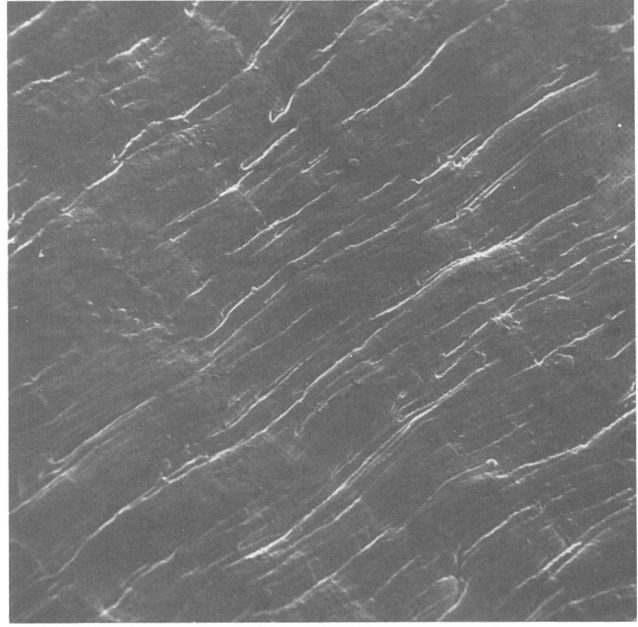


Bild : 37.2 Prot.Nr.: 153-2
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 14001
 $N_B = 1,48 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 18,8 \text{ ‰}$
 $f = 33,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 787 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch

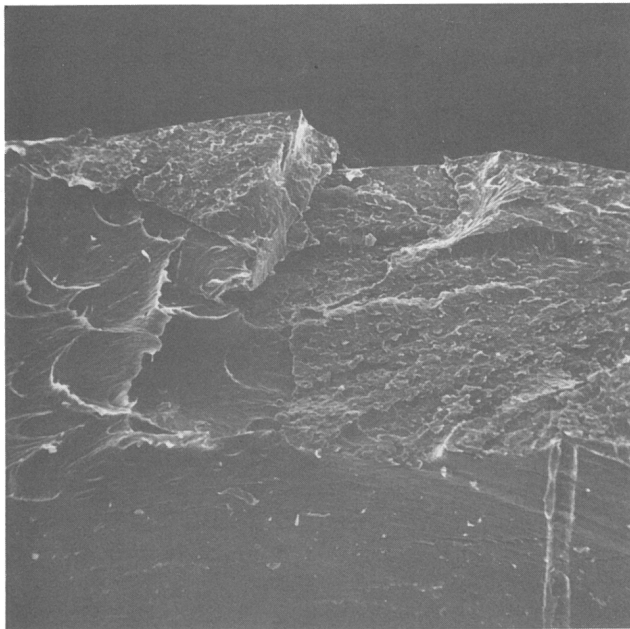


Bild : 38.1 Prot.Nr.: 153-2
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 13998
 $N_B = 1,48 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 18,8 \text{ ‰}$
 $f = 33,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 787 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.:38.2

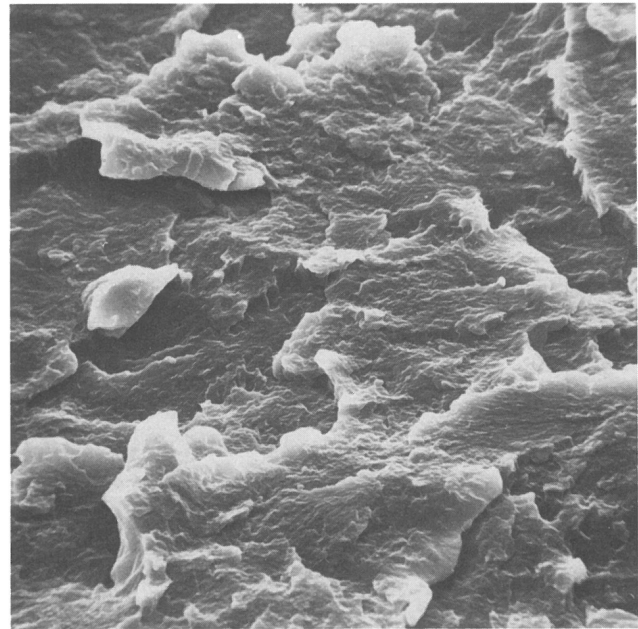


Bild :38.2 Prot.Nr.:153-2
 Material: PA66 Aufnahme-Nr.: 13996
 $N_B = 1,48 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 18,8 \text{ ‰}$
 $f = 33,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 787 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 Restbruch

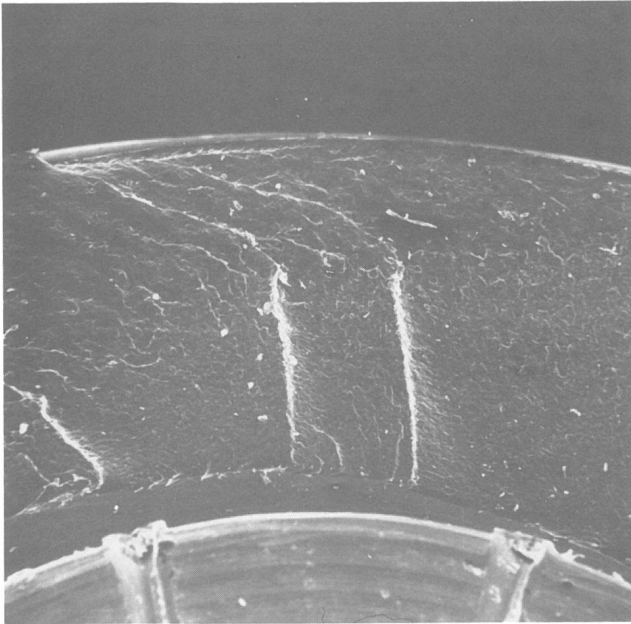


Bild : 39.1 Prot.Nr.: 156-6
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 14914
 $N_B = 1,39 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 20,0 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 674 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
 Bemerkung:Ausschn.:39,2,am Ende zwischen
 beiden Bruchlippen

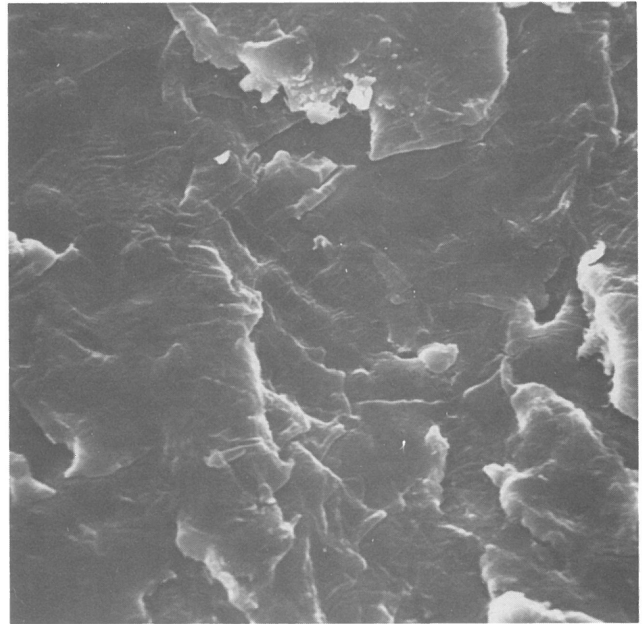


Bild : 39.2 Prot.Nr.: 156-6
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 14912
 $N_B = 1,39 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 20,0 \text{ ‰}$
 $f = 50 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 674 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 54 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch

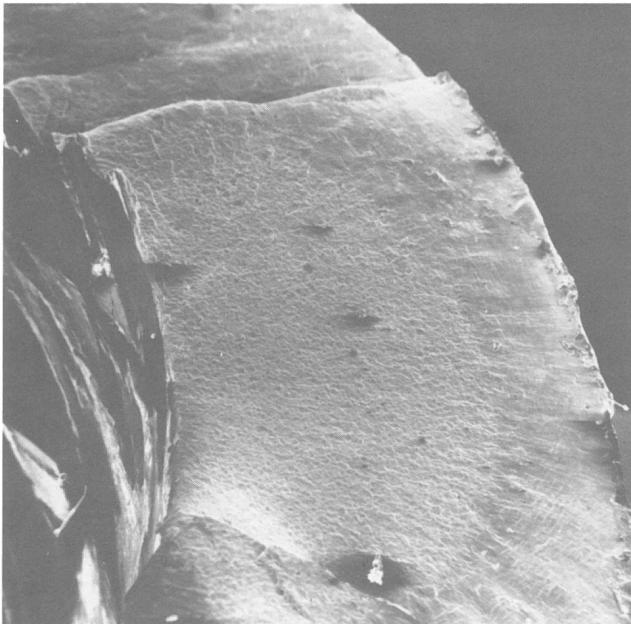


Bild : 40.1 Prot.Nr.: 156-11
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 11398
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung:Bruchanfang Ausschn.:40.3
 Ausschn.:41.1,Bruchw.-Rand Mitte links

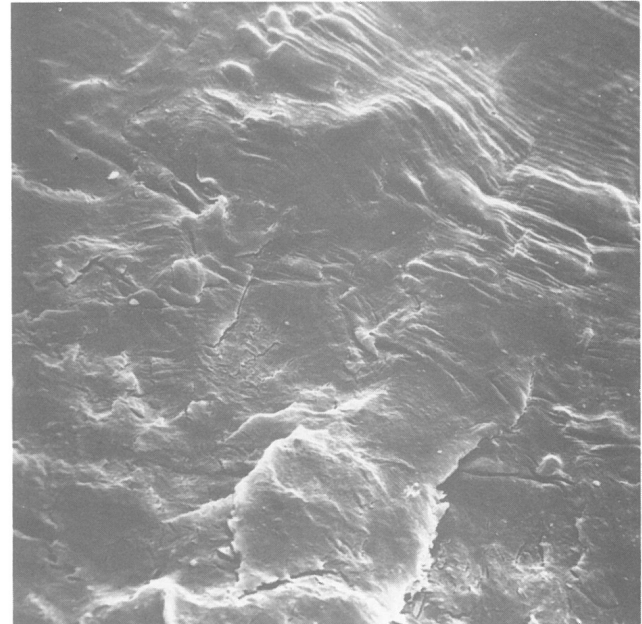


Bild : 41.1 Prot.Nr.: 156-11
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.: 11406
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
 Bemerkung:Gegenfl. mit gleicher Form

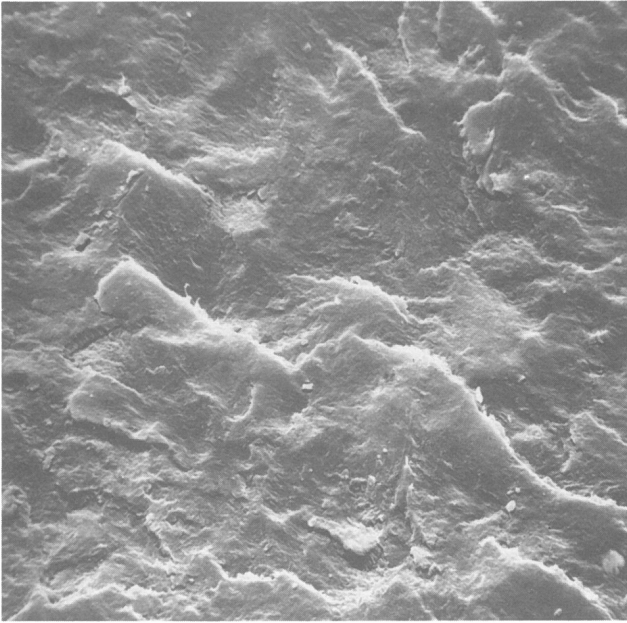


Bild : 40.2 **Prot.Nr.: 156-11**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 11284**
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel
Bemerkung: Gegenfl.:40.3

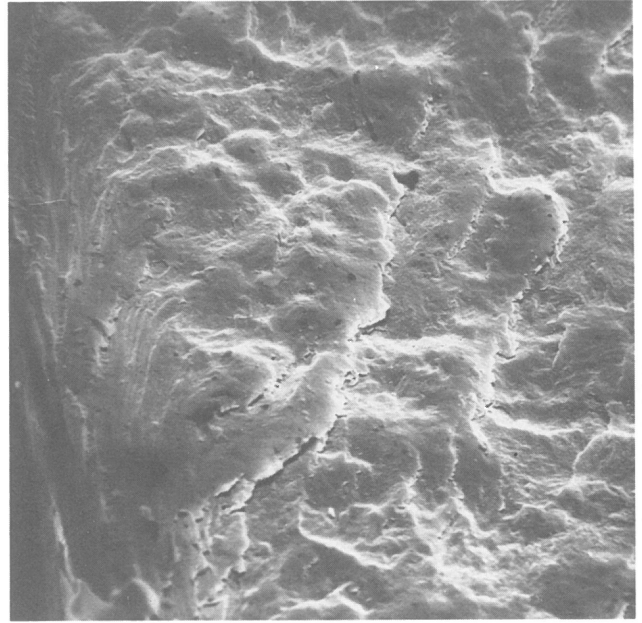


Bild : 40.3 **Prot.Nr.: 156-11**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 11400**
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel

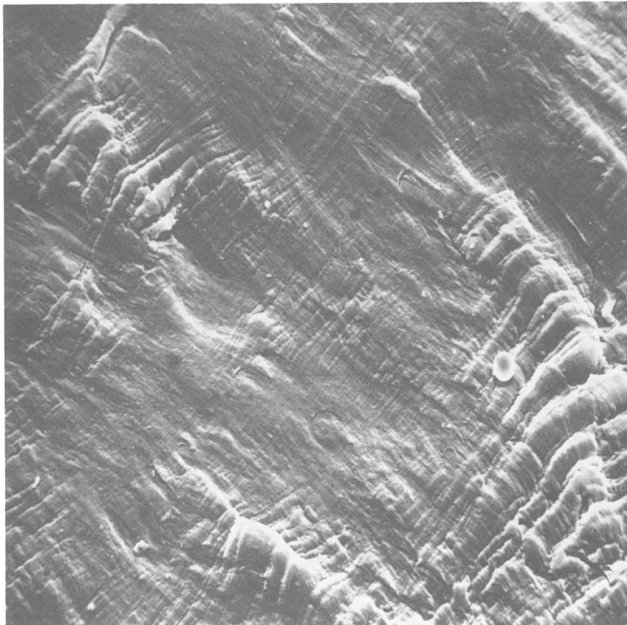


Bild : 42.1 **Prot.Nr.: 156-11**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 11311**
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
beschl.D-Bruch
Bemerkung: benachb. Gegenfl.:42.2

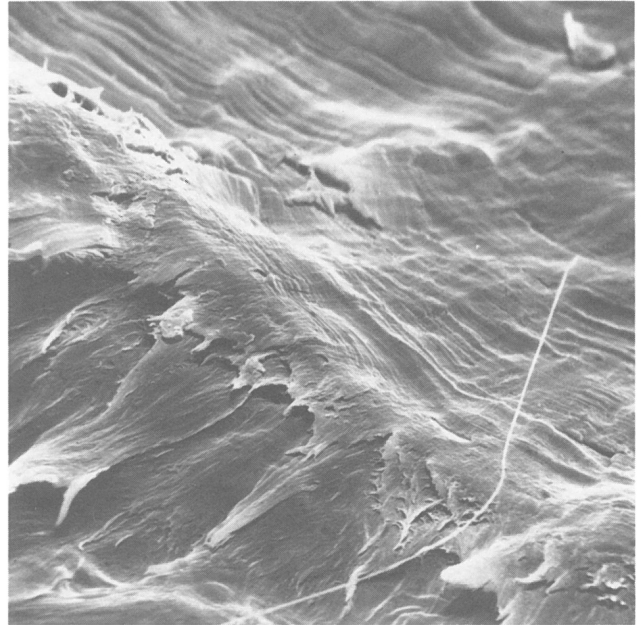


Bild : 42.2 **Prot.Nr.: 156-11**
Material: PA 66 **Aufnahme-Nr.: 11420**
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
beschl.D-Bruch/Restbruch
Bemerkung: Übergang zum U-förm.Lippen-R-Bruch

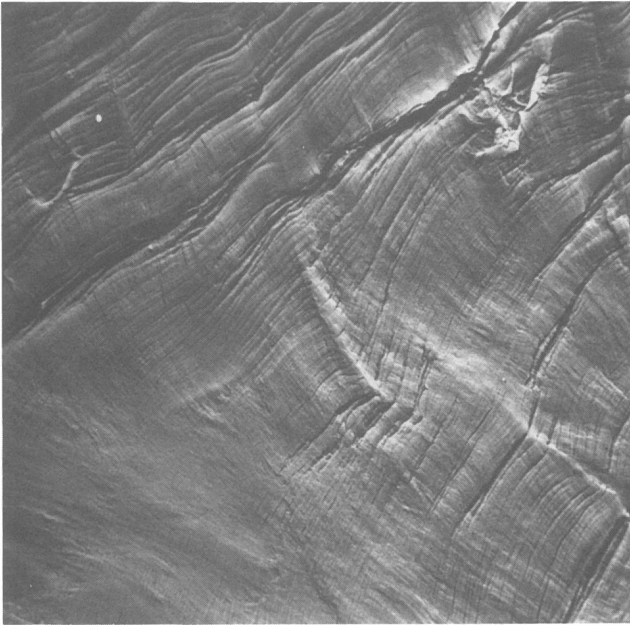


Bild :43.1 Prot.Nr.: 156-11
 Material: PA 66 Aufnahme-Nr.:11297
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Bruchfl.ansteigend parallel zur Normalspannung

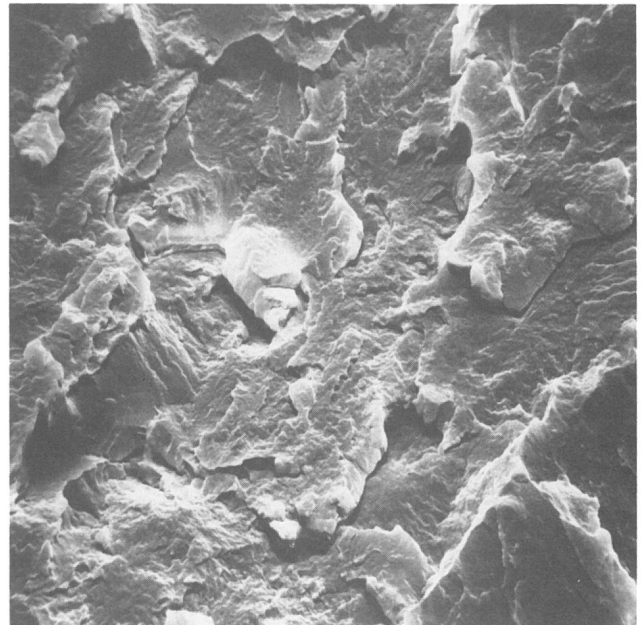


Bild : 43.2 Prot.Nr.:156-11
 Material: PA66 Aufnahme-Nr.:11325
 $N_B = 1,80 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 21,2 \text{ ‰}$
 $f = 58,3 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 543 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 52 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung:R-Bruch stark zerklüftet,Fl.wie 43.1 ansteigend

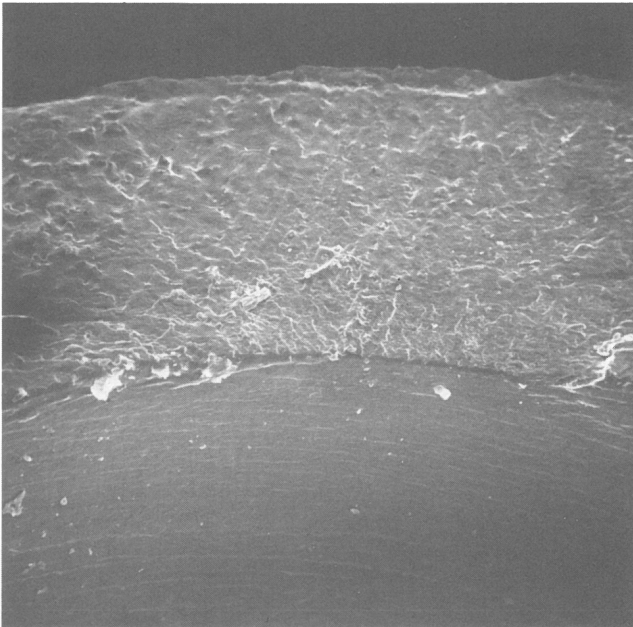


Bild : 44.1 Prot.Nr.: 93-11
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 12372
 $N_B = 1,74 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 45,5 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 297 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 39 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.:44.2,dicht benachb. zum Bruchanfang

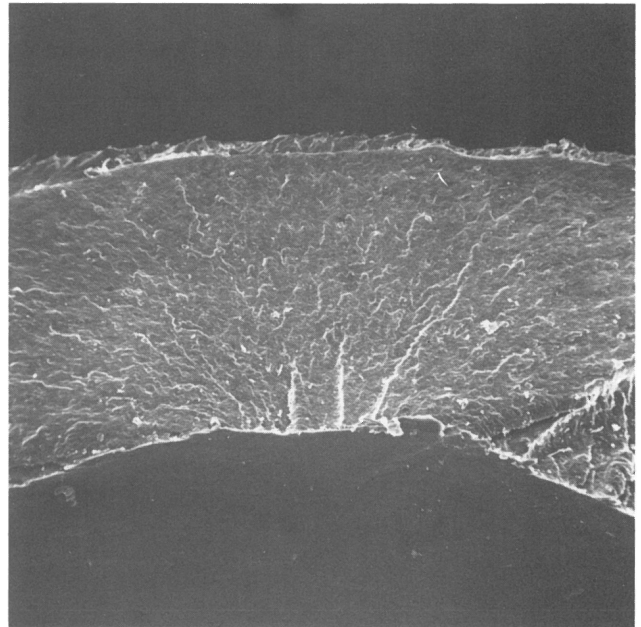


Bild : 47.1 Prot.Nr.: 92-1
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 14179
 $N_B = 15,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 18,6 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 719 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung:Ausschn.:47.3,Mitte der Wand

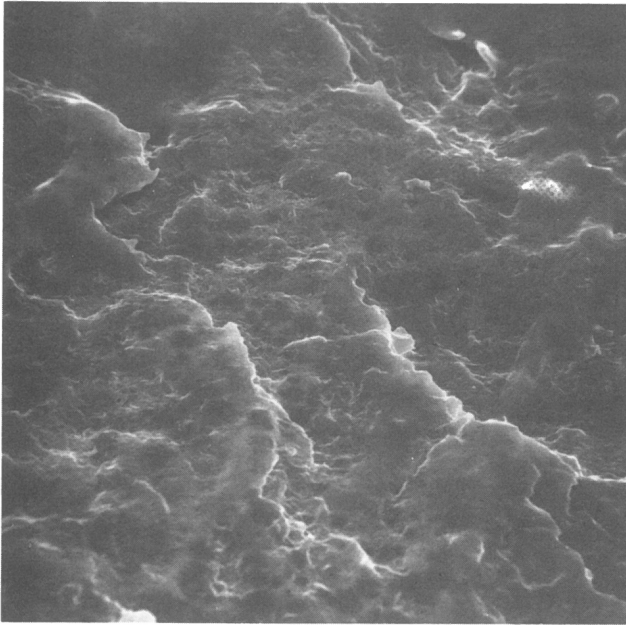


Bild : 44.2 Prot.Nr.: 93-11
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 12374
 $N_B = 1,74 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 45,5 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 297 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 39\ 000$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.:44.3

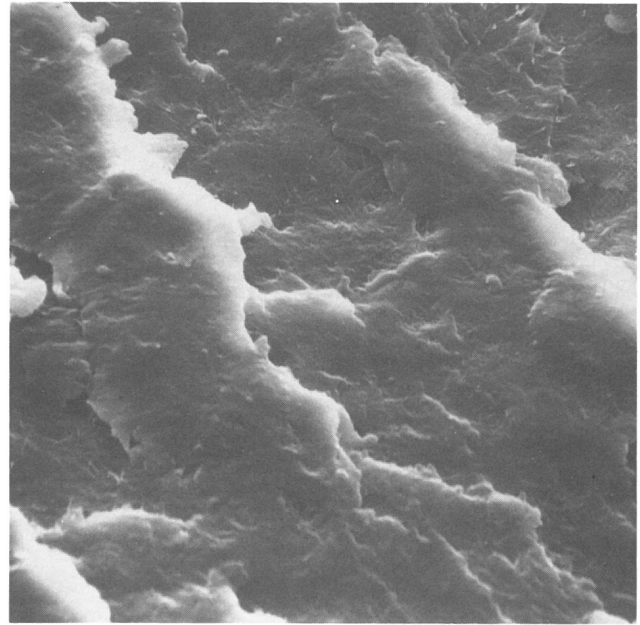


Bild : 44.3 Prot.Nr.: 93-11
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 12404
 $N_B = 1,74 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 45,5 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 297 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 39\ 000$
 D-Bruchwurzel

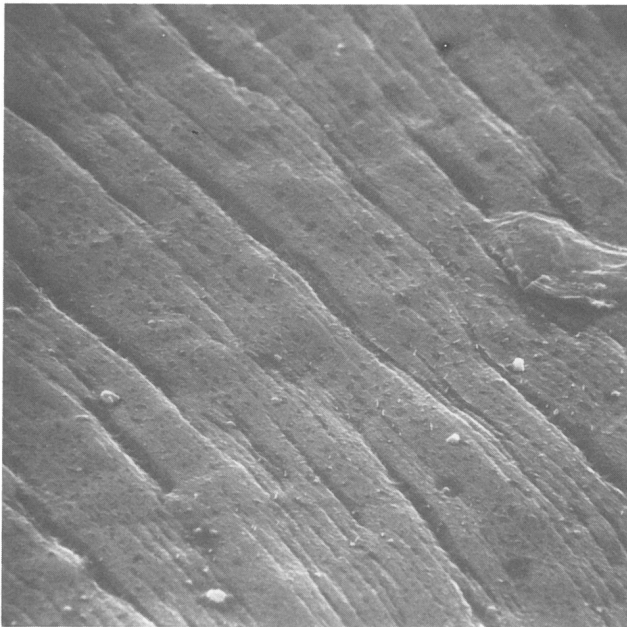


Bild : 45.1 Prot.Nr.: 93-11
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 12392
 $N_B = 1,74 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 45,5 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 297 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 39\ 000$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung:Gegenfl.:45.2

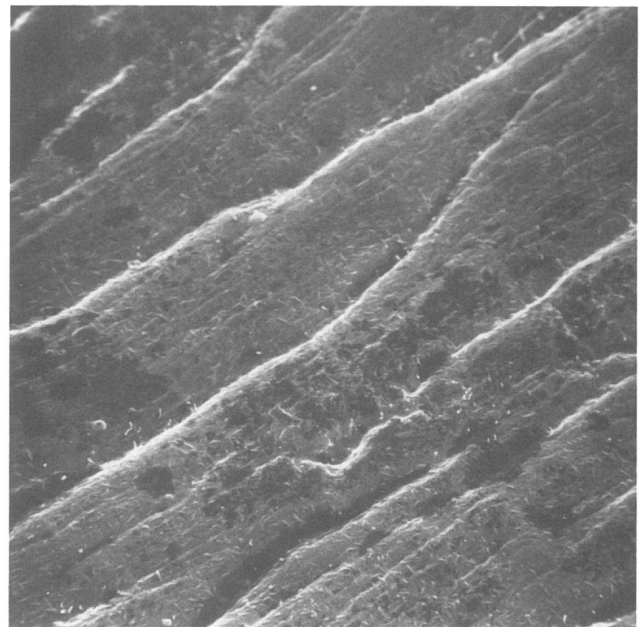


Bild : 45.2 Prot.Nr.:93-11
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 12413
 $N_B = 1,74 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 45,5 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 297 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 39\ 000$
 beschl.D-Bruch

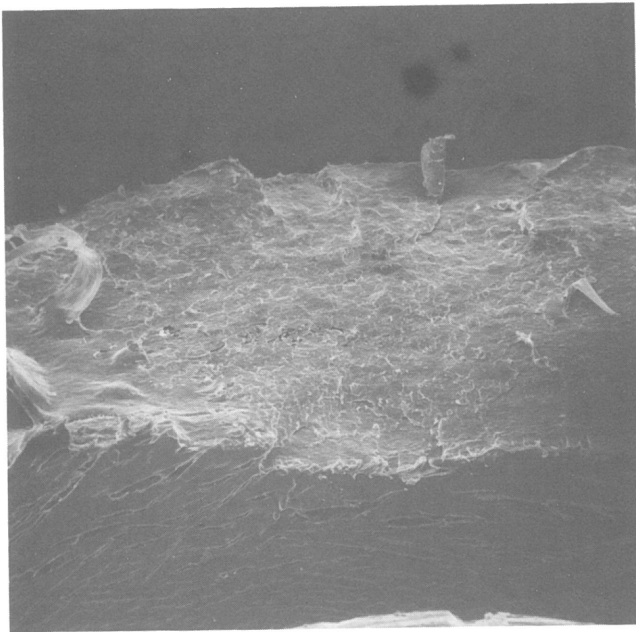


Bild : 46.1

Material: PA 6

$$N_B = 1,74 \cdot 10^6$$

$$f = 16,7 \text{ Hz}$$

$$V = 50:1$$

Restbruch

Prot.Nr.: 93-11

Aufnahme-Nr.: 12393

$$\epsilon_{\max} = 45,5 \text{ ‰}$$

$$E_{VB} = 297 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta N_{VB} = 39 \text{ 000}$$

Bemerkung: Auschn.: 46.2, wie beim b.D-Bruch
Parallelbruchrisse auf der Innenwand

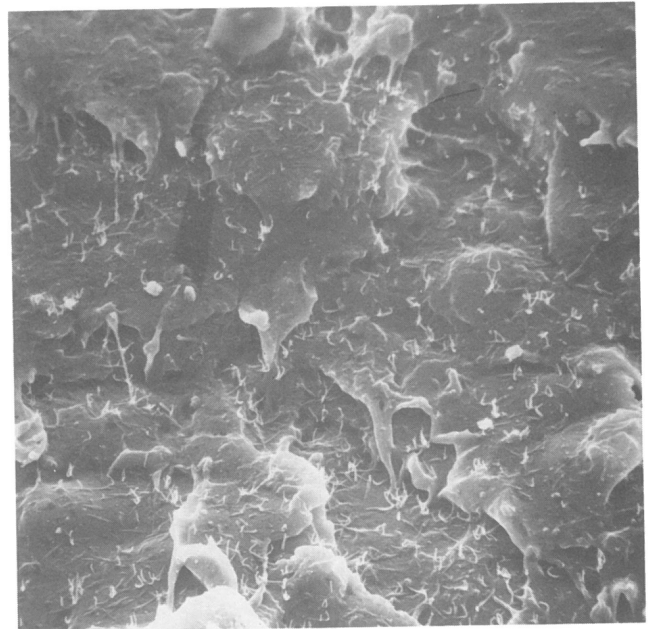


Bild : 46.2

Material: PA6

$$N_B = 1,74 \cdot 10^6$$

$$f = 16,7 \text{ Hz}$$

$$V = 1000:1$$

Restbruch

Prot.Nr.: 93-11

Aufnahme-Nr.: 12395

$$\epsilon_{\max} = 45,5 \text{ ‰}$$

$$E_{VB} = 297 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta N_{VB} = 39 \text{ 000}$$

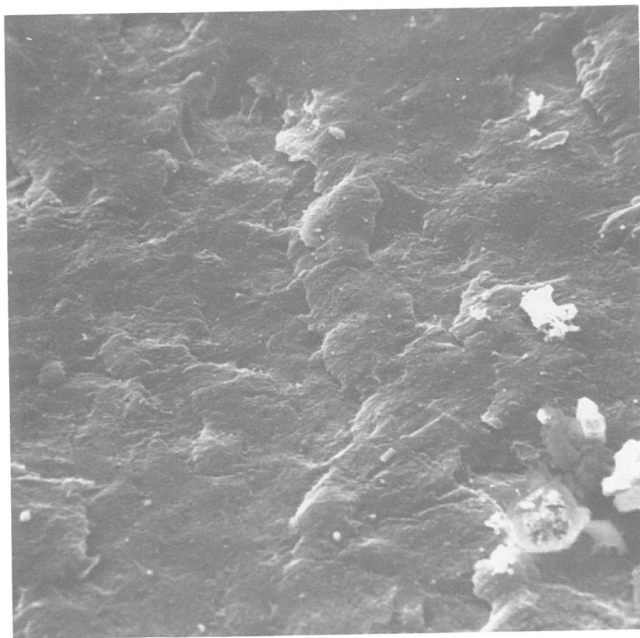


Bild : 47.2

Material: PA 6

$$N_B = 15,0 \cdot 10^6$$

$$f = 16,7 \text{ Hz}$$

$$V = 1000:1$$

D-Bruchwurzel

Bemerkung: Gegenfl.: 47.3

Prot.Nr.: 92-1

Aufnahme-Nr.: 14244

$$\epsilon_{\max} = 18,6 \text{ ‰}$$

$$E_{VB} = 719 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$$

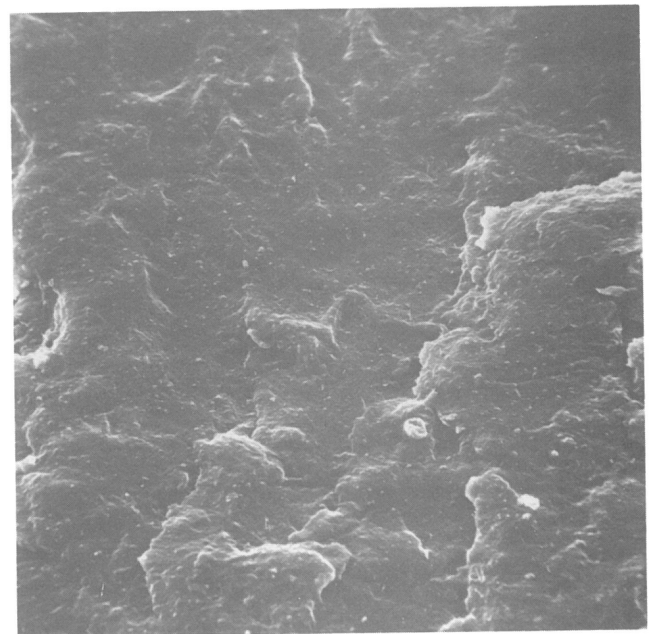


Bild : 47.3

Material: PA6

$$N_B = 15,0 \cdot 10^6$$

$$f = 16,7 \text{ Hz}$$

$$V = 1000:1$$

D-Bruchwurzel

Prot.Nr.: 92-1

Aufnahme-Nr.: 14177

$$\epsilon_{\max} = 18,6 \text{ ‰}$$

$$E_{VB} = 719 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$$

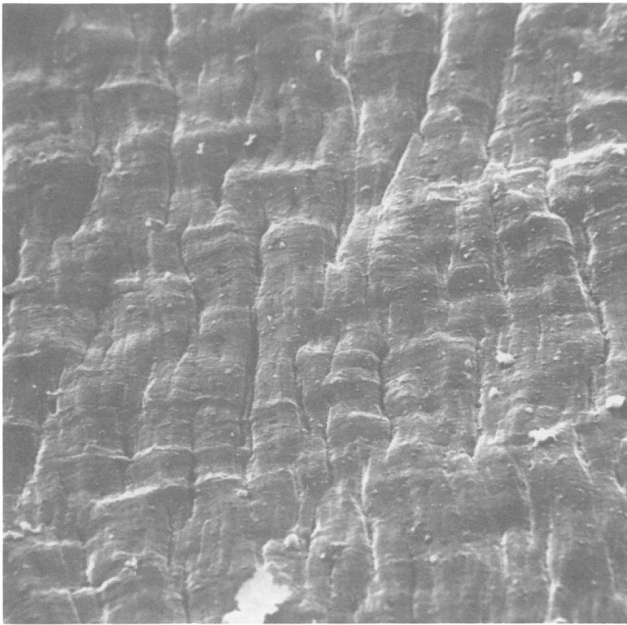


Bild : 48.1
 Material: PA 6
 $N_B = 15,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfl.:48.2

Prot.Nr.: 92-1
 Aufnahme-Nr.: 14251
 $\epsilon_{\max} = 18,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 719 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$

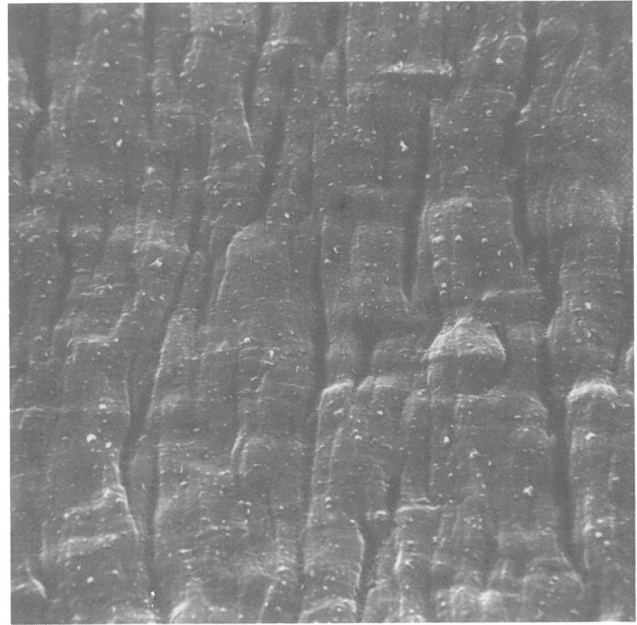


Bild : 48.2
 Material: PA 6
 $N_B = 15,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 beschl.D-Bruch

Prot.Nr.: 92-1
 Aufnahme-Nr.: 14183
 $\epsilon_{\max} = 18,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 719 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$

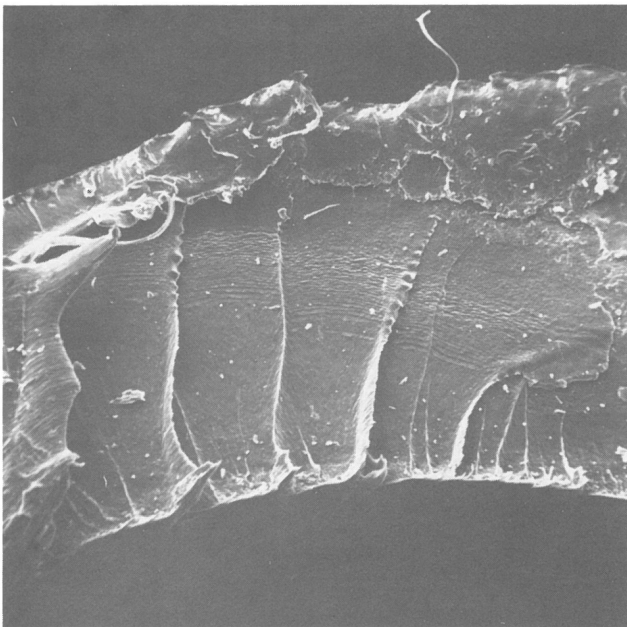


Bild : 49.1
 Material: PA 6
 $N_B = 15,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 50:1$

Prot.Nr.: 92-1
 Aufnahme-Nr.: 14236
 $\epsilon_{\max} = 18,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 719 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$

beschl.D-Bruch/Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.:49.2, Schwingstreifen dicht neben gedehnten R-Bruchlappen

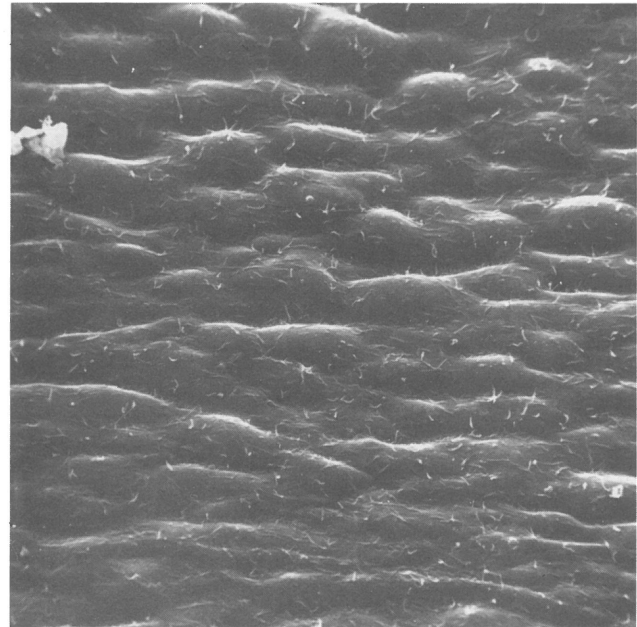


Bild : 49.2
 Material: PA 6
 $N_B = 15,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$

Prot.Nr.: 92-1
 Aufnahme-Nr.: 14234
 $\epsilon_{\max} = 18,6 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 719 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 75 \text{ 000}$

beschl.D-Bruch/Restbruch



Bild : 50.1 Prot.Nr.: 115-6
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14629
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.:50.3 und 50.5

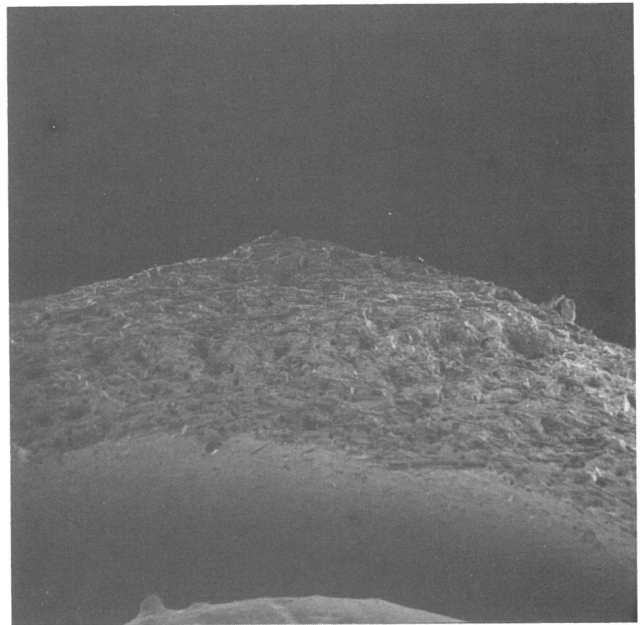


Bild : 53.1 Prot.Nr.:113-1
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14394
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 9,3 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2400 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 33 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.:53.3

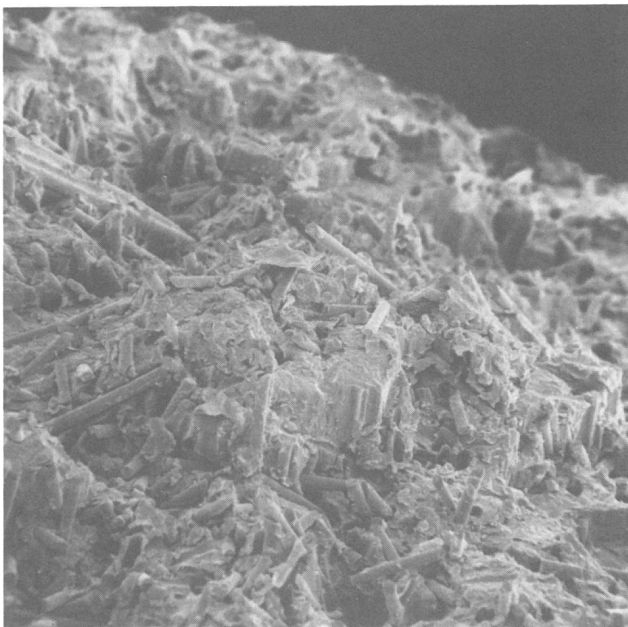


Bild : 50.2 Prot.Nr.: 115-6
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14458
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $V = 200:1$ $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.:50.3, Ausschn.:50.4

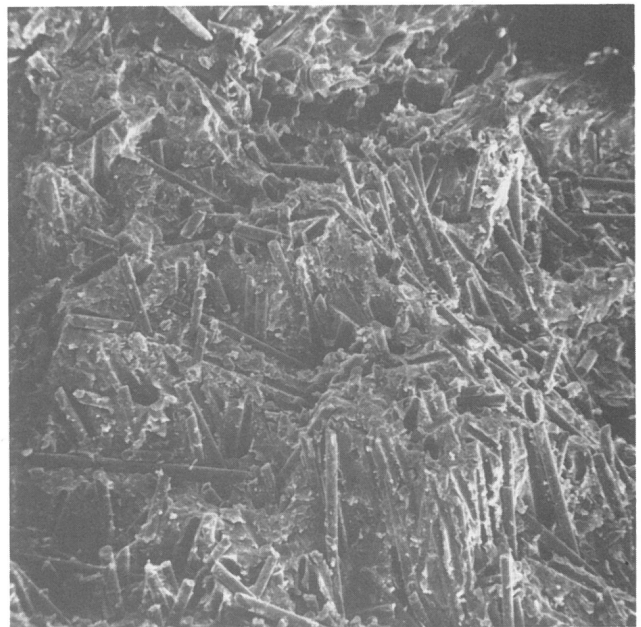


Bild : 50.3 Prot.Nr.: 115-6
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14628
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $V = 200:1$ $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.:50.5

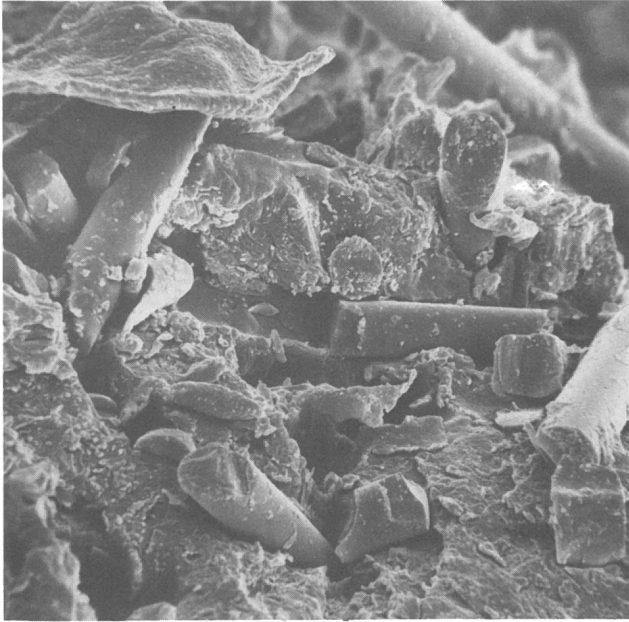


Bild : 50.4 Prot.Nr.: 115-6
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14457
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel
Bemerkung: Gegenfl.:50.5

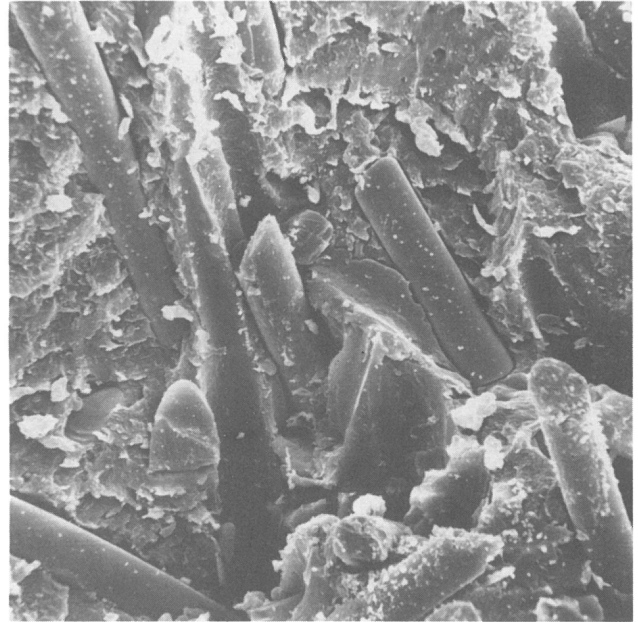


Bild : 50.5 Prot.Nr.: 115-6
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14627
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
D-Bruchwurzel

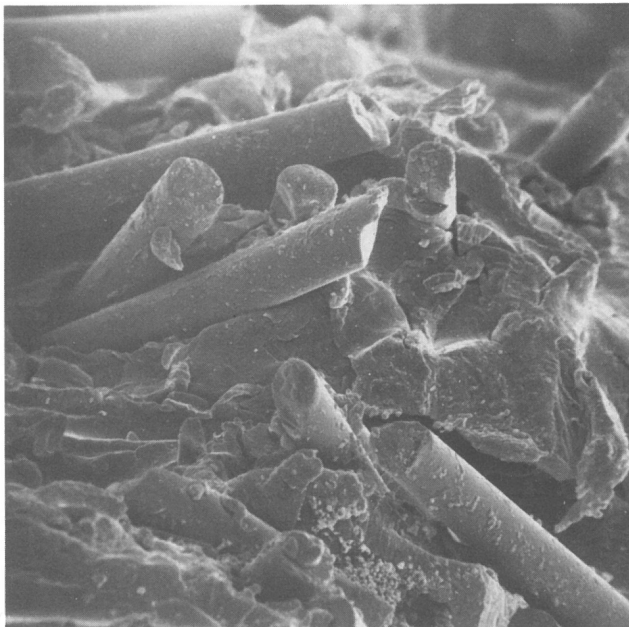


Bild : 51.1 Prot.Nr.: 115-6
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14454
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
beschl.D-Bruch/Restbruch
Bemerkung: Gegenfl.:51.2

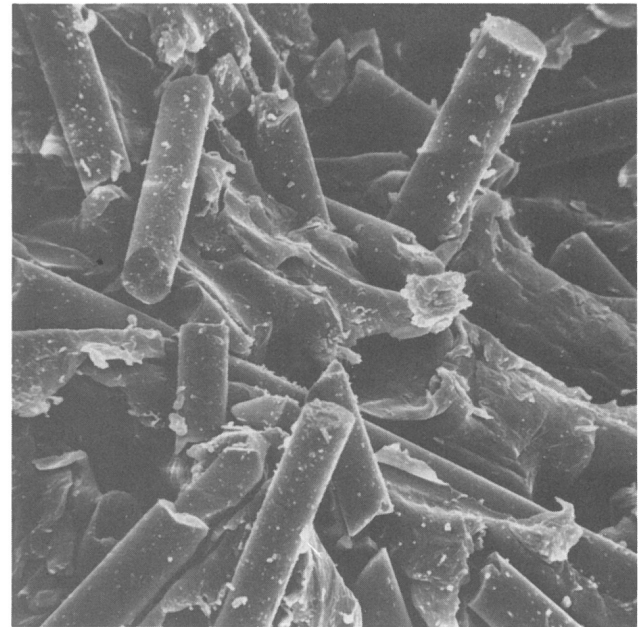


Bild : 51.2 Prot.Nr.: 115-6
Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14630
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
beschl.D-Bruch/Restbruch

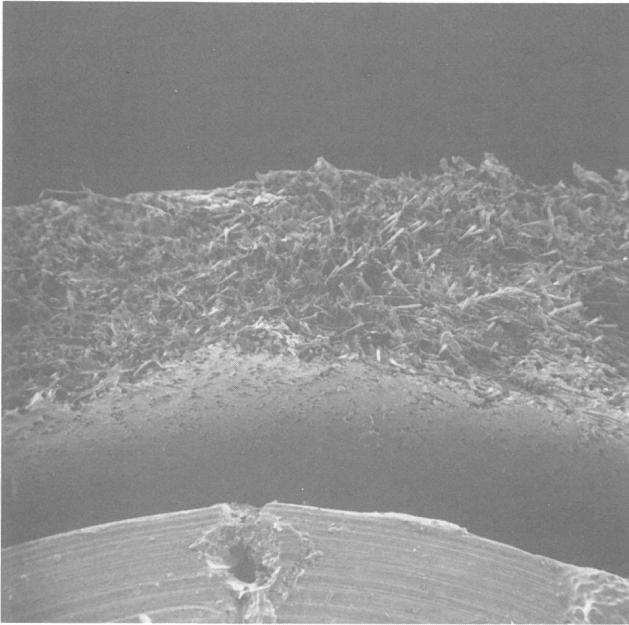


Bild : 52.1
 Material: PA6+25%GF
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 50:1$
 Restbruch
 Prot.Nr.:115-6
 Aufnahme-Nr.:14047
 $\epsilon_{\max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
 Bemerkung: Ausschn.:52.2 und 52.3

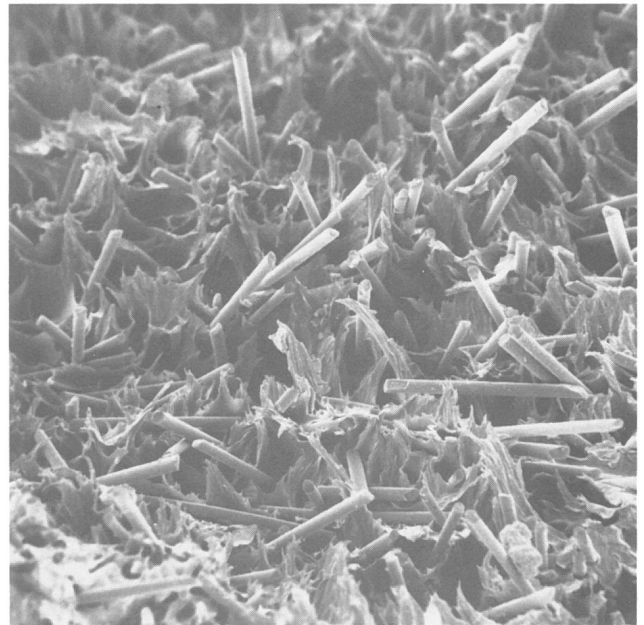


Bild : 52.2
 Material: PA6+25%GF
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 200:1$
 Restbruch
 Prot.Nr.:115-6
 Aufnahme-Nr.:14046
 $\epsilon_{\max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
 Bemerkung: Ausschn.: 52.3

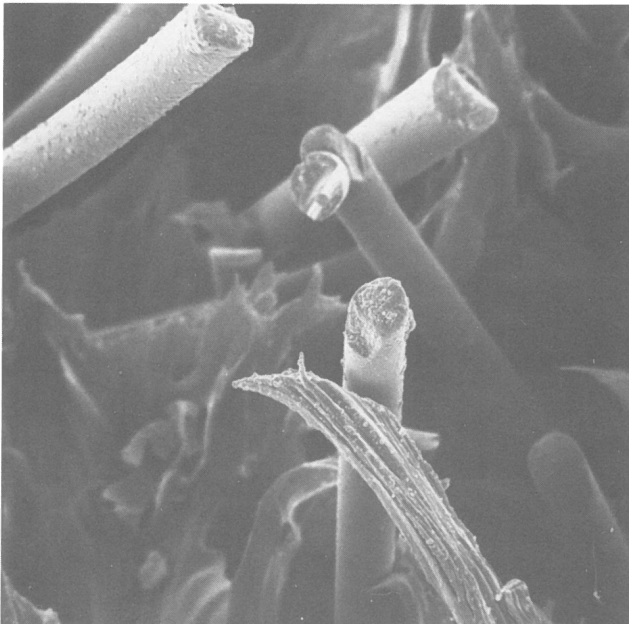


Bild : 52.3
 Material: PA 6+25%GF
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 Restbruch
 Prot.Nr.: 115-6
 Aufnahme-Nr.: 14045
 $\epsilon_{\max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$
 Bemerkung: Gegenfl.:52.4

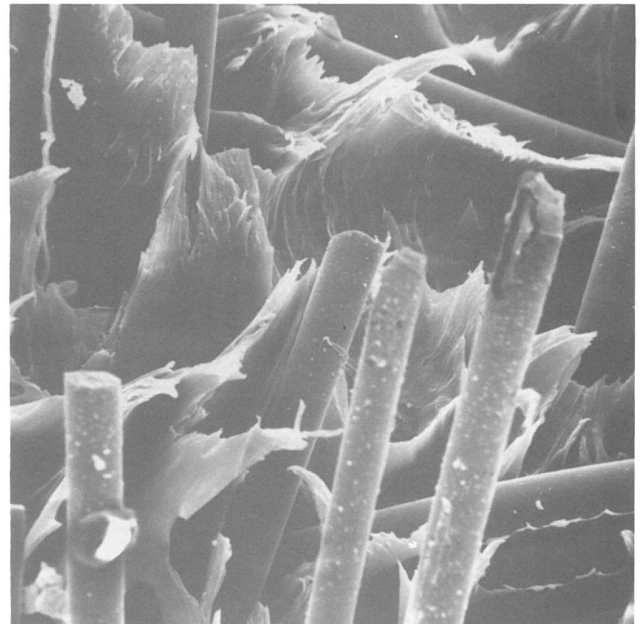


Bild : 52.4
 Material: PA 6+25%GF
 $N_B = 16,0 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 Restbruch
 Prot.Nr.:115-6
 Aufnahme-Nr.: 14635
 $\epsilon_{\max} = 8,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 3216 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 84 \text{ 000}$

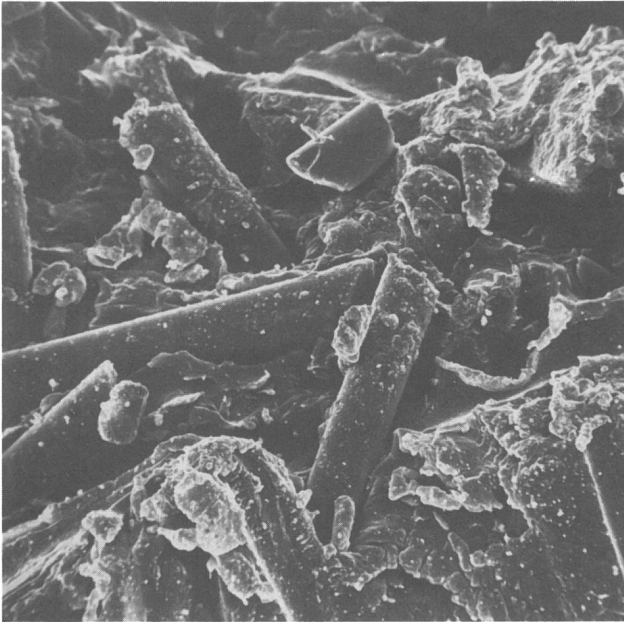


Bild : 53.2 Prot.Nr.: 113-1
 Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14444
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 9,3 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2400 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 33 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.:53.3

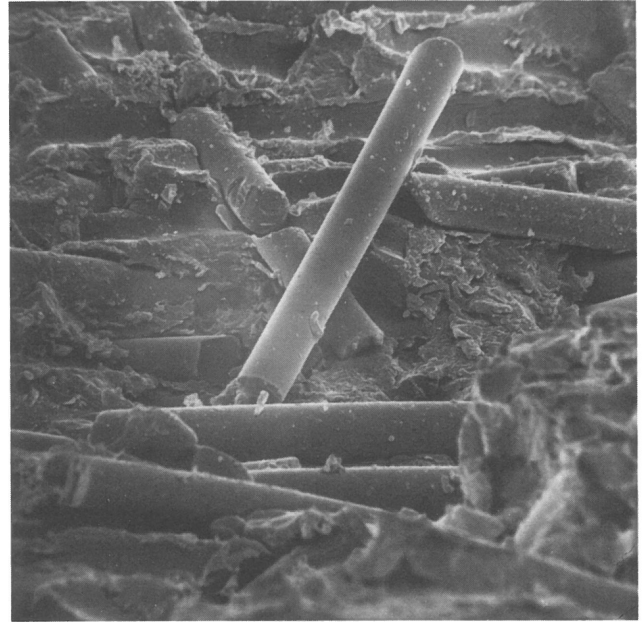


Bild : 53.3 Prot.Nr.: 113-1
 Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14392
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 9,3 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2400 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 33 \text{ 000}$
 D-Bruchwurzel

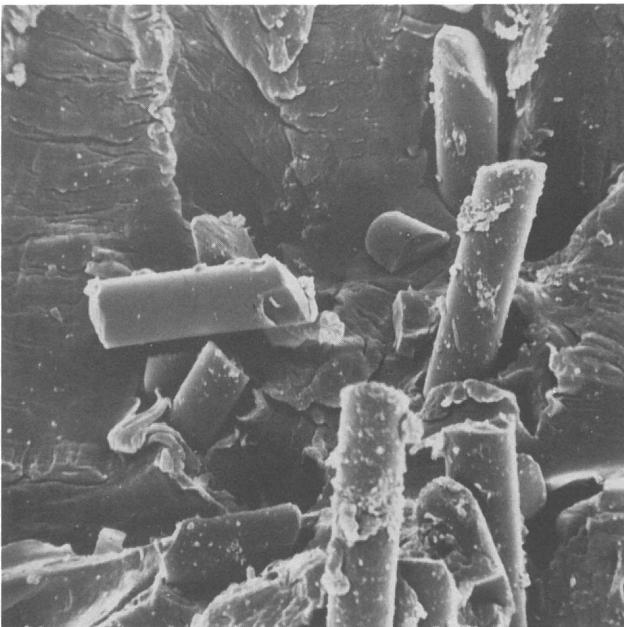


Bild : 54.1 Prot.Nr.: 113-1
 Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14422
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 9,3 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2400 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 33 \text{ 000}$
 beschl. D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfl.:54.2

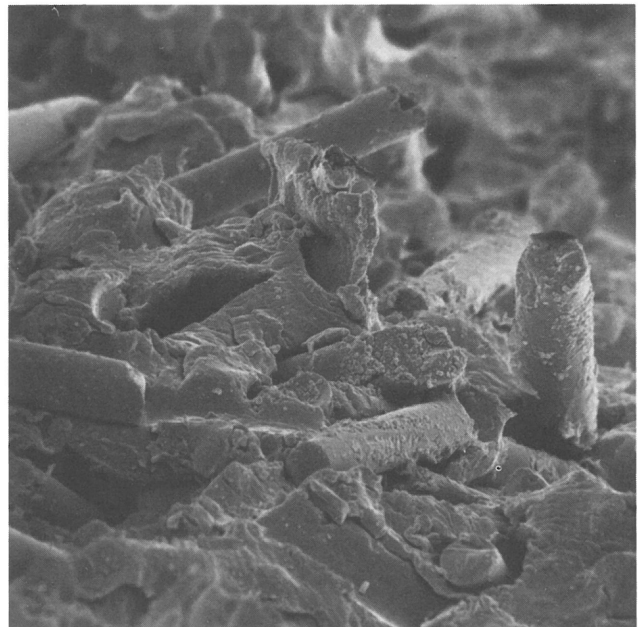


Bild : 54.2 Prot.Nr.: 113-1
 Material: PA 6+25%GF Aufnahme-Nr.: 14400
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 9,3 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2400 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000:1$ $\Delta N_{VB} = 33 \text{ 000}$
 beschl. D-Bruch

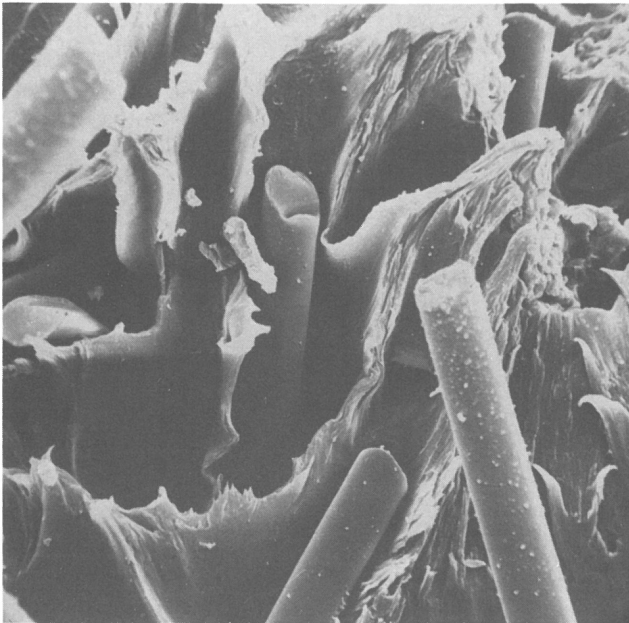


Bild : 55.1
 Material: PA 6+25%GF
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000:1$
 Restbruch
 Bemerkung: Gegenfl.:55.2

Prot.Nr.: 113-1
 Aufnahme-Nr.: 14430
 $\epsilon_{max} = 9,3$ ‰
 $E_{VB} = 2400$ N/mm²
 $\Delta N_{VB} = 33$ 000

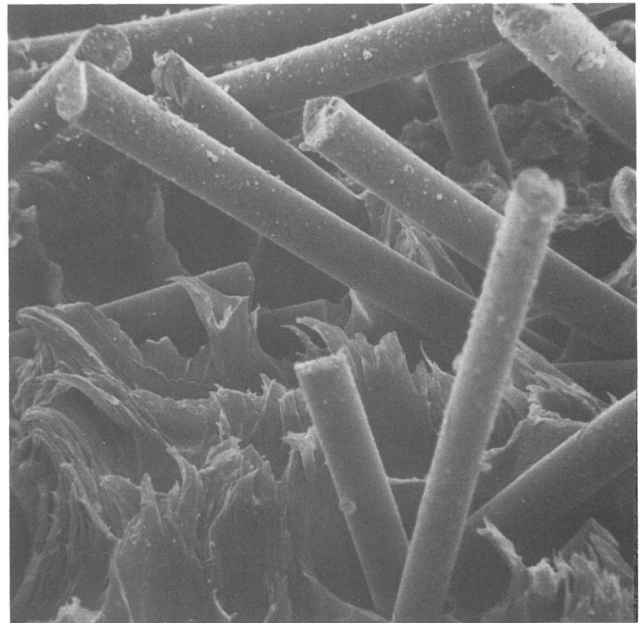


Bild : 55.2
 Material: PA 6+25%GF
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000:1$
 Restbruch

Prot.Nr.: 113-1
 Aufnahme-Nr.: 14407
 $\epsilon_{max} = 9,3$ ‰
 $E_{VB} = 2400$ N/mm²
 $\Delta N_{VB} = 33$ 000

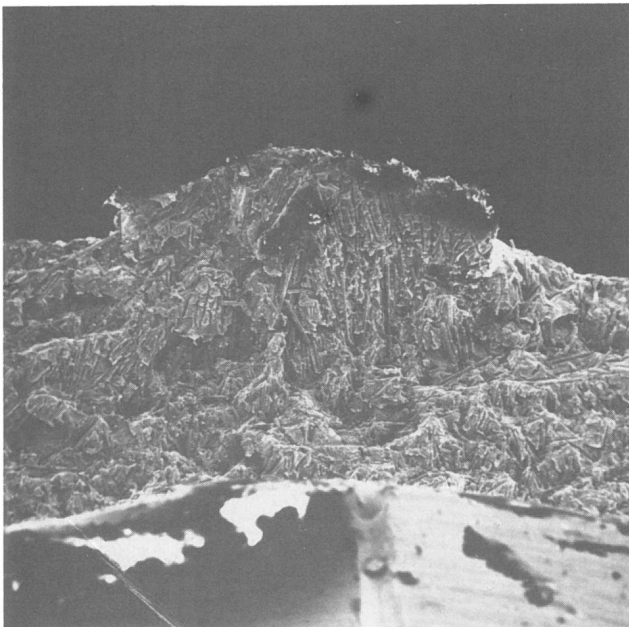


Bild : 56.1
 Material: PA 6+25%GF
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 50:1$
 Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.:56.2, Bruchebene in Richtung der Normalspannung

Prot.Nr.: 113-1
 Aufnahme-Nr.: 14434
 $\epsilon_{max} = 9,3$ ‰
 $E_{VB} = 2400$ N/mm²
 $\Delta N_{VB} = 33$ 000

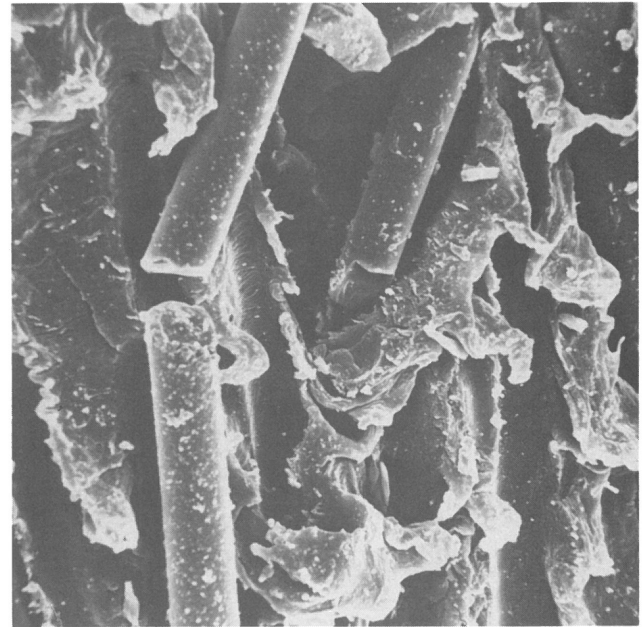


Bild : 56.2
 Material: PA 6+25%GF
 $N_B = 3,66 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000:1$
 Restbruch

Prot.Nr.: 113-1
 Aufnahme-Nr.: 14432
 $\epsilon_{max} = 9,3$ ‰
 $E_{VB} = 2400$ N/mm²
 $\Delta N_{VB} = 33$ 000

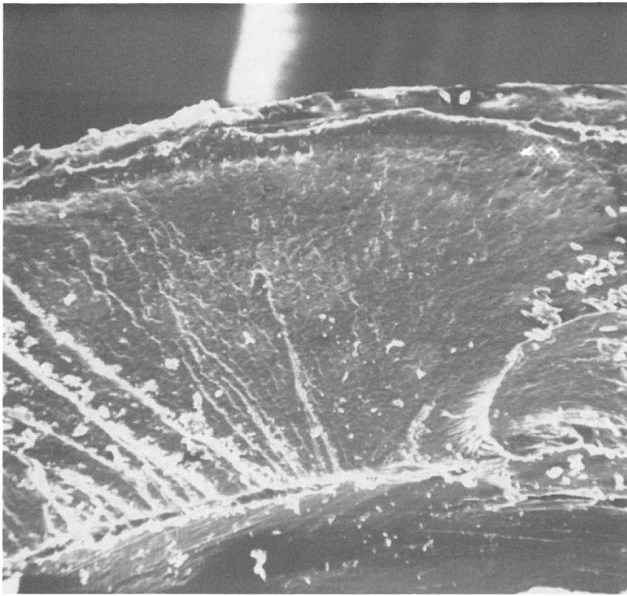


Bild : 57.1
 Material: PA12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 50:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Gegenfl.:57.2
 Ausschn.:57.3

Prot.Nr.:176-11
 Aufnahme-Nr.: 15665
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

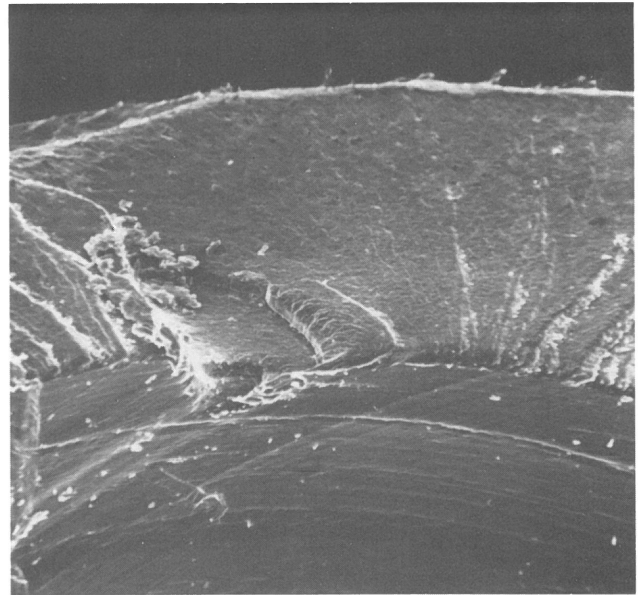


Bild : 57.2
 Material: PA 12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 50:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: Ausschn.:57.4

Prot.Nr.: 176-11
 Aufnahme-Nr.: 15581
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

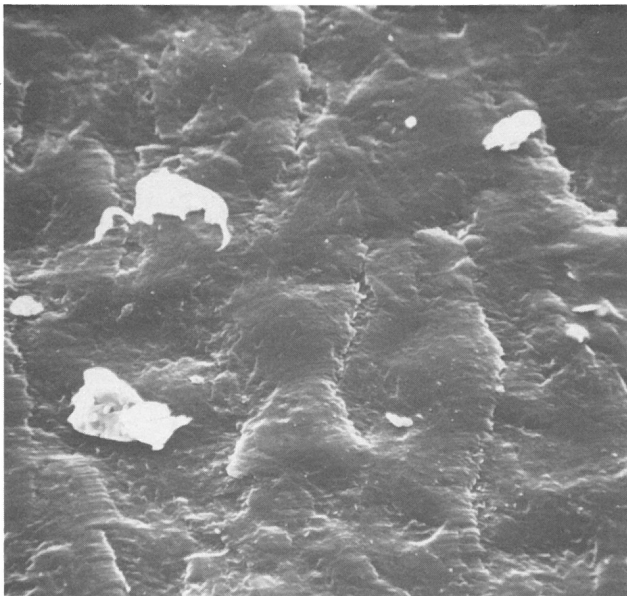


Bild : 57.3
 Material: PA 12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung:Gegenfl.:57.4

Prot.Nr.:176-11
 Aufnahme-Nr.: 15666
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

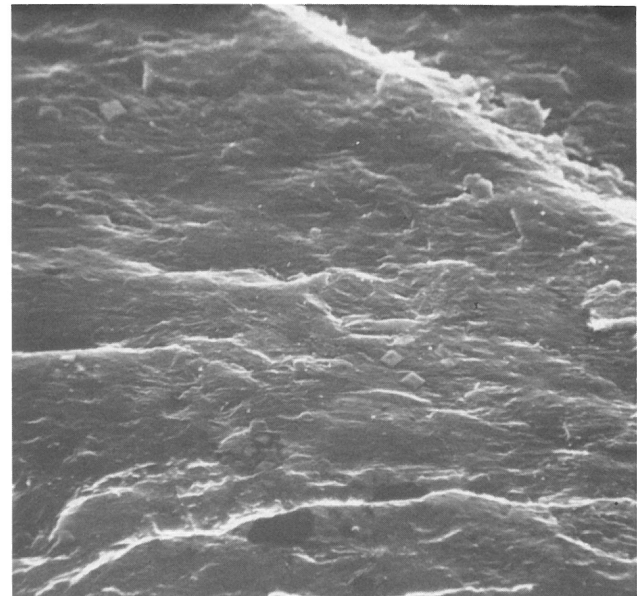


Bild : 57.4
 Material: PA 12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel

Prot.Nr.: 176-11
 Aufnahme-Nr.: 15579
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

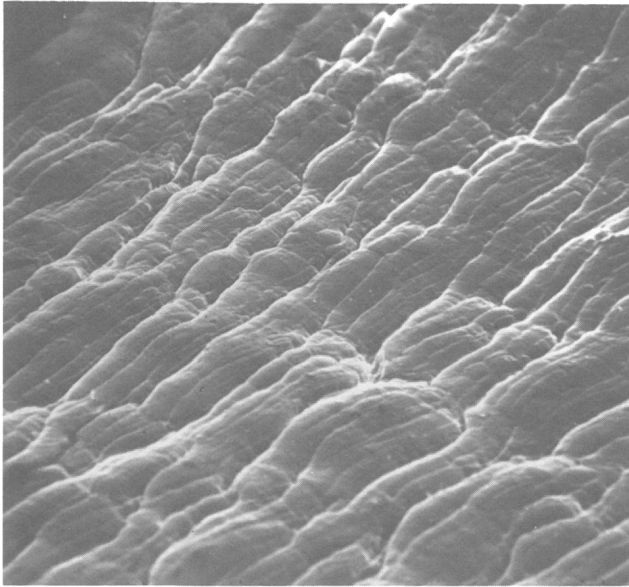


Bild : 58.1
 Material: PA 12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Gegenfl.:58.2, benachbart

Prot.Nr.: 176-11
 Aufnahme-Nr.: 15671
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

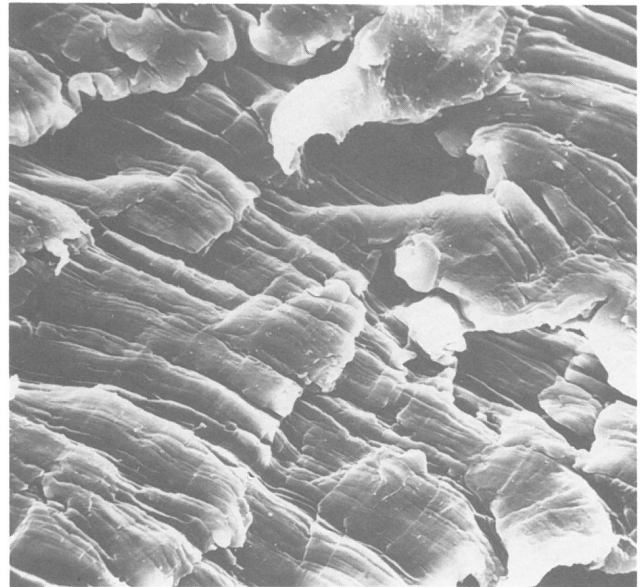


Bild : 58.2
 Material: PA 12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Bruchebenenstufen

Prot.Nr.:176-11
 Aufnahme-Nr.:16357
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

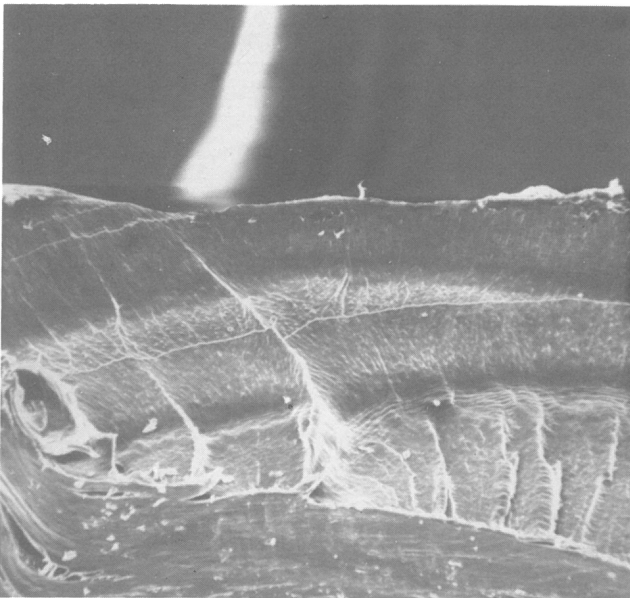


Bild : 59.1
 Material: PA 12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 50:1$
 Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.:59.2, Scherlippe mit Noppen ähnlich d.Schwingstreifen

Prot.Nr.: 176-11
 Aufnahme-Nr.: 15676
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

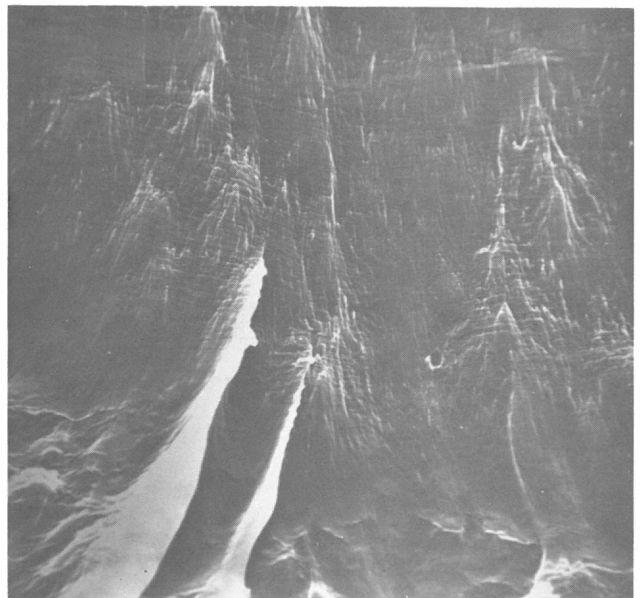


Bild : 59.2
 Material: PA 12
 $N_B = 8,44 \cdot 10^6$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$
 $V = 1000:1$
 Restbruch

Prot.Nr.: 176-11
 Aufnahme-Nr.: 15674
 $\epsilon_{\max} = 14,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 1061 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 85 \text{ 000}$

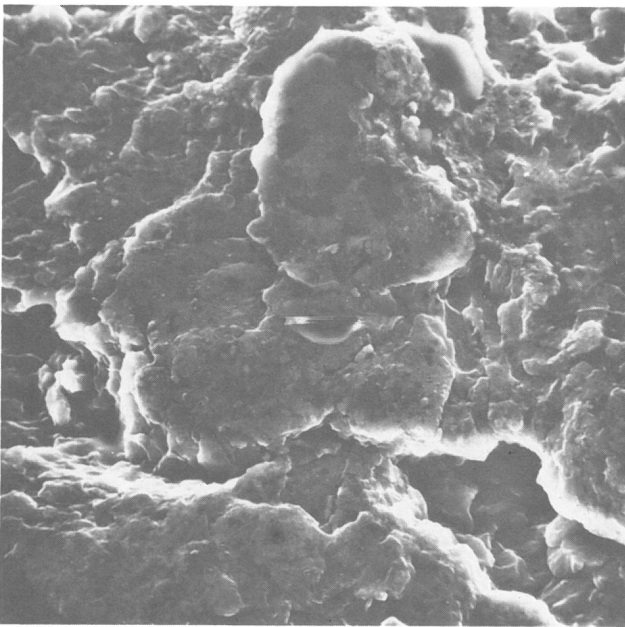


Bild : 60.1 Prot.Nr.: G4-5
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 11853
 $N_B = 7,7 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 10,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2075 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 0$
 D-Bruchwurze
 Bemerkung: am Außenrand benachb.:60.2

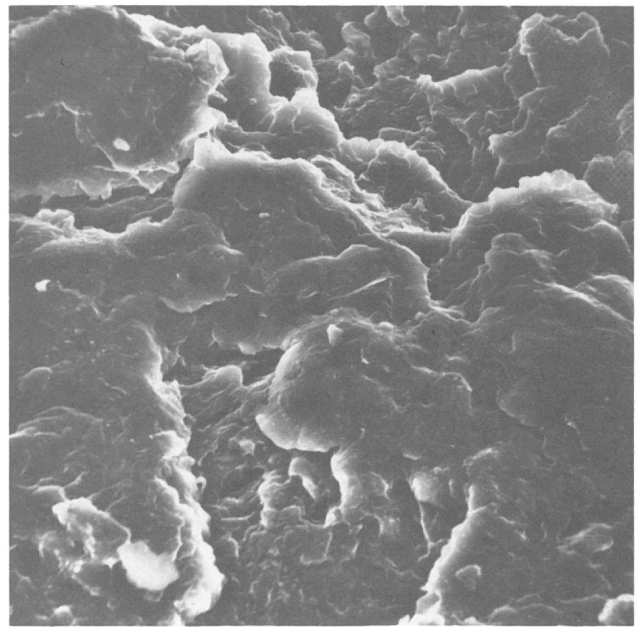


Bild : 60.2 Prot.Nr.: G4-5
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 11851
 $N_B = 7,7 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 10,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2075 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 0$
 D-Bruchwurzel
 Bemerkung: am Innenrand

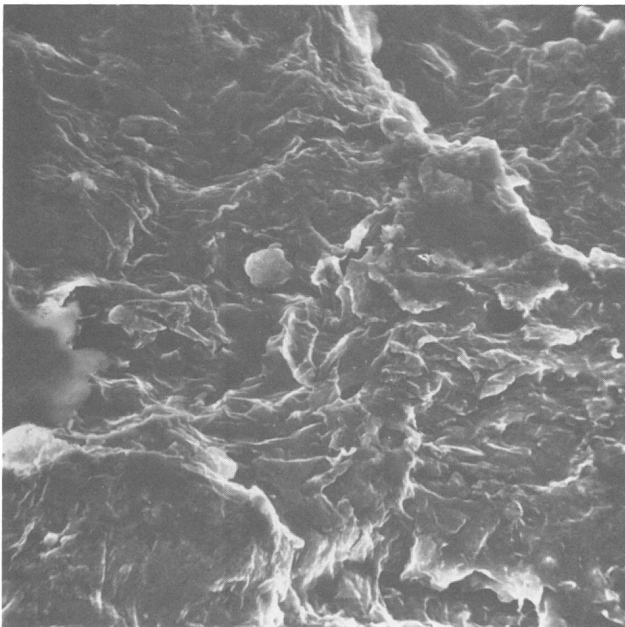


Bild : 61.1 Prot.Nr.: G4-5
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12262
 $N_B = 7,7 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 10,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2075 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 0$
 Restbruch
 Bemerkung: am Außenrand, benachb.:61.2

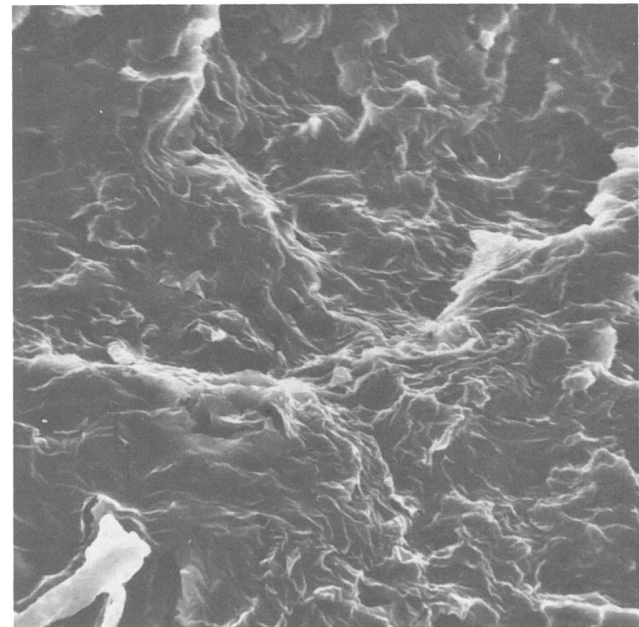


Bild : 61.2 Prot.Nr.: G4-5
 Material: POM-Copol. Aufnahme-Nr.: 12260
 $N_B = 7,7 \cdot 10^6$ $\epsilon_{\max} = 10,8 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 2075 \text{ N/mm}^2$
 $V = 1000 : 1$ $\Delta N_{VB} = 0$
 Restbruch
 Bemerkung: am Innenrand

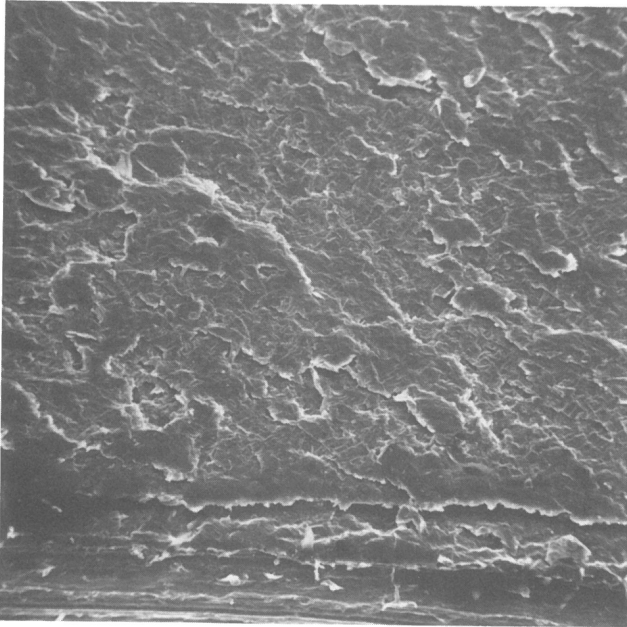


Bild : 62.1
 Material: PA 6
 $N_B = 6,72 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 200:1$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Ausschn.: 62.2, Bruchanfang am Außenrand

Prot.Nr.: G12-12
 Aufnahme-Nr.: 12990
 $\epsilon_{max} = 17,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 820 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$

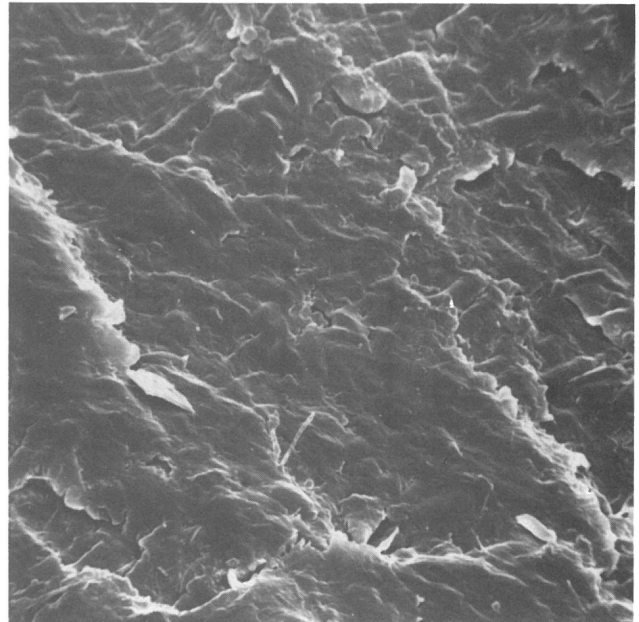


Bild : 62.2
 Material: PA 6
 $N_B = 6,72 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000:1$
 D-Bruchwurzel/beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Bruchrichtung v.oben n.unten

Prot.Nr.: G12-12
 Aufnahme-Nr.: 12989
 $\epsilon_{max} = 17,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 820 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$

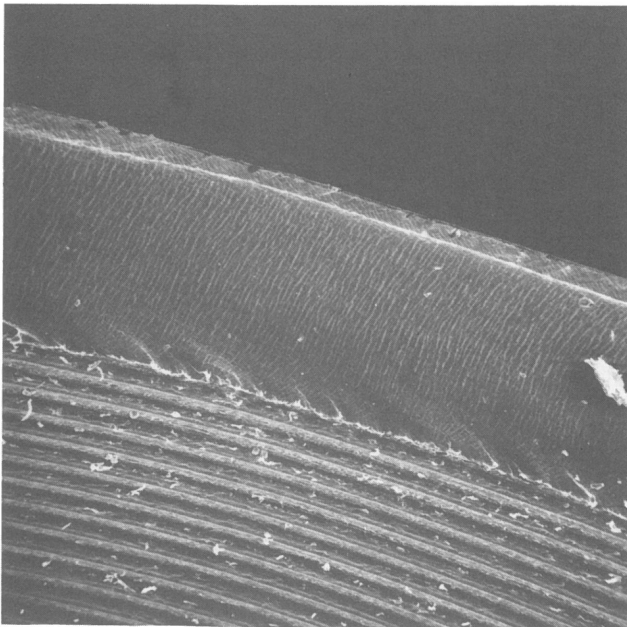


Bild : 63.1
 Material: PA 6
 $N_B = 6,72 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 50:1$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Ausschn.: 63.2, zwei verschiedene Bruchfortschritte in einer Fläche

Prot.Nr.: G12-12
 Aufnahme-Nr.: 12617
 $\epsilon_{max} = 17,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 820 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$

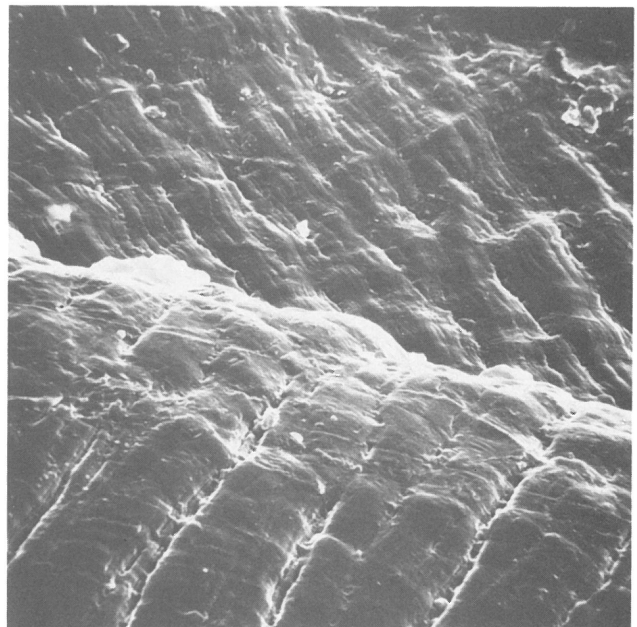


Bild : 63.2
 Material: PA 6
 $N_B = 6,72 \cdot 10^6$
 $f = 16,7$ Hz
 $V = 1000:1$
 beschl.D-Bruch
 Bemerkung: Bruch vom Außenrand ;oben
 Bruch in Umfangsrichtg:unten

Prot.Nr.: G12-12
 Aufnahme-Nr.: 12621
 $\epsilon_{max} = 17,2 \text{ ‰}$
 $E_{VB} = 820 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$

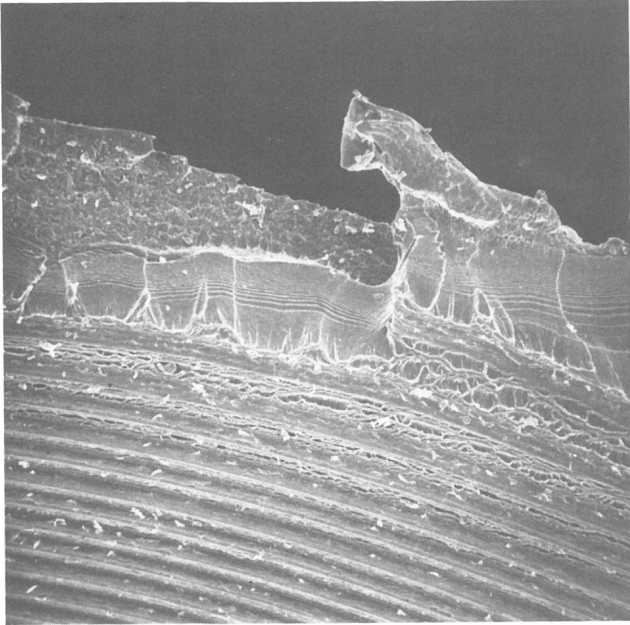


Bild : 64.1 Prot.Nr.:G12-12
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 12586
 $N_B = 6,72 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 17,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 820 \text{ N/mm}^2$
 $V = 50:1$ $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
 Restbruch
 Bemerkung: Ausschn.:64.2
 Parallelrisse in Drehriefen

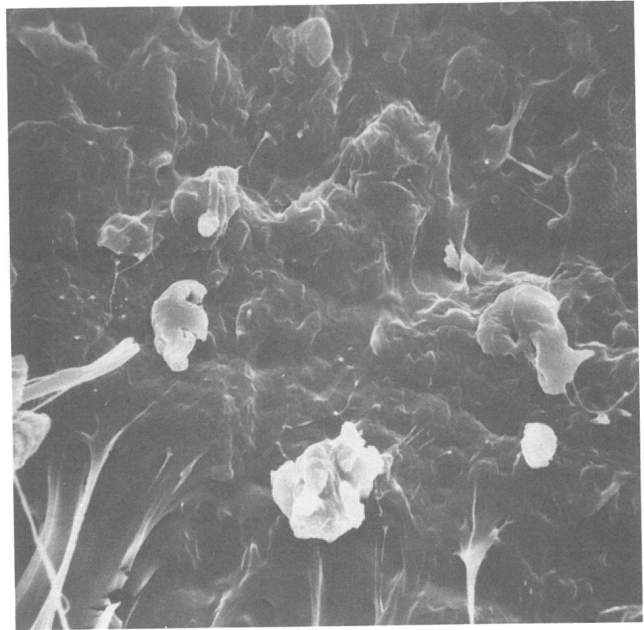


Bild : 64.2 Prot.Nr.: G12-12
 Material: PA 6 Aufnahme-Nr.: 12590
 $N_B = 6,72 \cdot 10^6$ $\epsilon_{max} = 17,2 \text{ ‰}$
 $f = 16,7 \text{ Hz}$ $E_{VB} = 820 \text{ N/mm}^2$
 1000:1 $\Delta N_{VB} = 36 \text{ 000}$
 Restbruch

Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

- Nr. 1/September 1968
Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft
- Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen):
Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern
von Dr.-Ing. Götz Andreae
- Nr. 3/September 1970 (vergriffen)
Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungssellen als Beispiel für Verbundbauteile
von Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)
Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren
von Dr. rer. nat. Arno Burmester
- Nr. 5/März 1971
Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken
von Dr. rer. nat. Norbert Steiner
- Nr. 6/April 1971
Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen
von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider
- Nr. 7/Juli 1971
Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz
- Nr. 8/November 1971
Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Helmut Veith
- Nr. 9/November 1971
Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller
- Nr. 10/Januar 1972
Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode
von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin
- Nr. 11/Februar 1972
Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause
- Nr. 12/Mai 1972
Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren
von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg
- Nr. 13/Juni 1972
Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer
- Nr. 14/Juli 1972
Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz
von Eberhard Fischer
- Nr. 15/August 1972
Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl
- Nr. 16/August 1972
Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer
von Dr.-Ing. Erwin Knublauch
- Nr. 17/August 1972
Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen
von Dr.-Ing. Peter Reimers
- Nr. 18/Januar 1973
Das Sprödbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 19/Januar 1973
Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos
- Nr. 20/April 1973
Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi
- Nr. 21/Juli 1973
Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig
- Nr. 22/Juli 1973
Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch
- Nr. 23/November 1973
Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen
von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske
- Nr. 24/November 1973
Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung
von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi
- Nr. 25/Dezember 1973
Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen
von Dr.-Ing. E. Knublauch
- Nr. 26/August 1974
Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —
von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise
- Nr. 27/August 1974
Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg
- Nr. 28/August 1974
Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern
von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 29/August 1974
Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall
von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider
- Nr. 30/September 1974 (vergriffen)
The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology
von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon
- Nr. 31/August 1975
Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung
von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann
- Nr. 32/September 1975
Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen
von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher
- Nr. 33/November 1975
Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens
von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)
Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen
von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe
- Nr. 35/Januar 1976
Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

- Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)
Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles
von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt
- Nr. 37/Februar 1976
Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 38/Juni 1976
Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 39/Juni 1976
Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newton'schem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung
von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf
- Nr. 40/Juni 1976
Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren
von Dr. rer. nat. H. Hantsche
- Nr. 41/Okttober 1976
Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher
- Nr. 42/Okttober 1976
Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft
von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 43/Okttober 1976
Das Sprödbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 44/November 1976
Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“
von Dipl.-Ing. W. Matthees
- Nr. 45/Dezember 1976
Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
von Dr.-Ing. W. Paatsch
- Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)
Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung
Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler
- Nr. 47/Juni 1977
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
von Dr.-Ing. Arno Plank
- Nr. 48/Okttober 1977
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner
- Nr. 49/Dezember 1977
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
von Dr.-Ing. Günther Wittig
- Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andreae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski
- Nr. 51/Juni 1978
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld
- Nr. 52/August 1978
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov
- Nr. 53/Okttober 1978
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi
- Nr. 54/Okttober 1978
Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979
Stabilität von Sandwichbauteilen
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie
- Nr. 57/März 1979
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmeterik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980
Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 65/Februar 1980
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik.
Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980
Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitschillen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera

- Nr. 72/September 1980
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 73/November 1980
Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
von Dipl.-Ing. Peter Wegener
- Nr. 74/November 1980
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller
- Nr. 75/November 1980
Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 76/November 1980
Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 77/April 1981
Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 78/September 1981
Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 79/Dezember 1981
Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kaltrißeigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
von Dr.-Ing. Volker Neumann
- Nr. 80/Dezember 1981
Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch
- Nr. 81/Dezember 1981
Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt
- Nr. 82/April 1982
Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches
Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworuski
- Nr. 83/Juli 1982
Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen — Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle
- Nr. 84/Juli 1982
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Oktober 1982
Technische Materialforschung und -prüfung — Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ — Materials Research and Testing — Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme „Basic Technological Research“ —
von Prof. Dr. Horst Czichos
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982
Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982
Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983
Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Anton Erhard
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983
Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983
Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983
Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983
Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen
von Dr. rer. nat. Peter Studt
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983
Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983
Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
von Dr.-Ing. Manfred Römer
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Oktober 1983
Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Heinz Eiffler
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983
Typische Bruchflächenbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983
Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren — Stretch- und Erholungsvermögen —
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel