

*7. Zwischenbericht
zum
BMFT-Verbundprojekt
"Einsatz der Mikromechanik zur Herstellung
frequenzanaloger Sensoren"*

Förderkennzeichen 13 AS 0115

Berichtszeitraum: 1.7. bis 31.12.1992

*MotoMeter GmbH
Daimlerstraße 6
7250 Leonberg*

*Projektleiter: Dr. S. Dagenbach
Bearbeiter: W. Hartig*

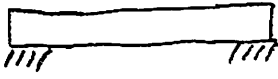
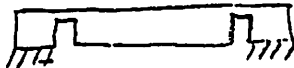
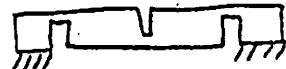
MotoMeter wird den Einsatz mikromechanischer Resonatoren in Form schwingungsfähiger Membranen zur Druckmessung untersuchen.

Planung: 1988	Realisierung: 1989-1992
	FEM Berechnungen zur Auslegung von druckempfindlichen Quarzmembranen
	Mikromechan. Strukturierung von Quarz im HSG-Labor
FEM Berechnungen zur Elektrodenformbestimmung	Grundlagenuntersuchungen zur Schwingungsanregung von piezoelektrischem Quarz
Strukturierung der Elektroden mittels Laser	Zeichnung ist direkte Vorlage für Lasersteuerung
Kontaktierung und mechan. Einbindung der Sensorelemente in das Gehäuse.	"Sandwich" Aufbau aus der LCD Technik
	Schwingungsanregeelektronik
Intelligente Auswerteelektronik	

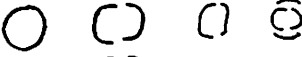


1. Vorgaben

- Quarz
- 125µm - 200µm Elektrodenabstand
- "kleiner" Membrandurchmesser
- Membranstrukturierung durch naßchemisches Ätzen
- Empfindlichkeits-Vergleich mit
 - * ETA Zugsensor: $f=48 \text{ kHz}$; $\Delta f=1200 \text{ Hz} - 1500 \text{ Hz}$ (5-8 N)
 - * ETA Drucksensor: $f=28 \text{ kHz}$; $\Delta f=100 \text{ Hz}$ (3 bar)

2. Gesucht: Membranform (im Querschnitt) mit guter Resonanzfrequenzänderung bei Druckbelastung

Form	Werkstoff	Dicke in µm	Durchmesser in µm	Grundfreq. in kHz	Frequenzänderung in Hz
	SI	25	9600	5	+ 9000
	Quarz	125	9600	16	+ 1500 bzw. + 1800
	Quarz	125	6000	38	+ 700
	Quarz	125	4200	53	± 3300
	Quarz	125	4200		

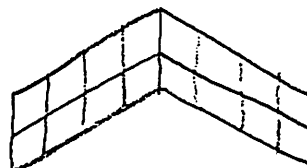
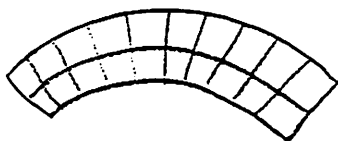
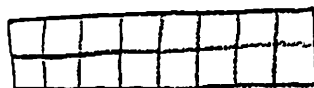
3. Festlegen der Ringform

- Stromzuführung 
- Rückseitengraben 
- Optimierung der geometrischen Maße wie
 - * Grabenbreite
 - * Grabendurchmesser 

* Welcher Mode (Schwingungsform) ist druckabhängig?



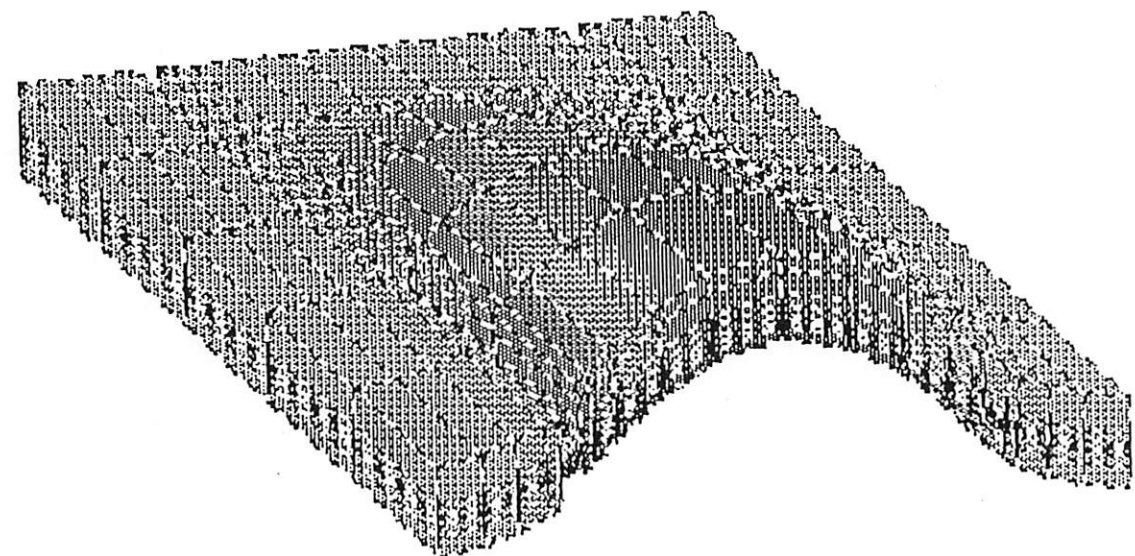
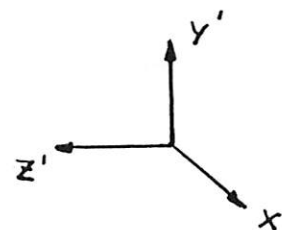
* Welche Teilbereiche müssen dazu gedehnt, gestaucht, verschoben werden ?



* Welche Kombination aus bestimmtem Quarzschnitt und bestimmter Elektrodenanordnung erzwingt diese Teilbereichsdeformationen?

- > Gesamtkonzept
- Membranform
 - Quarzschnitt
 - Elektrodenform

1

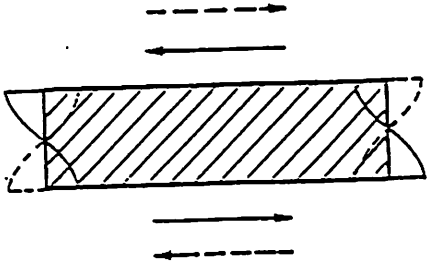
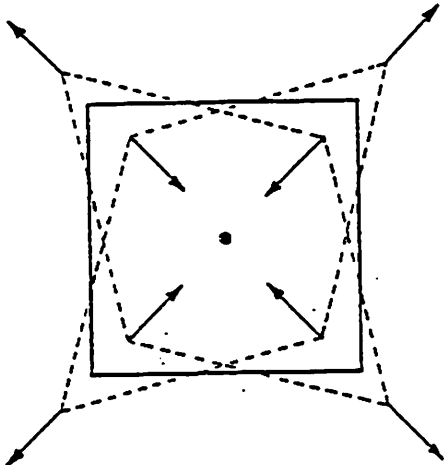
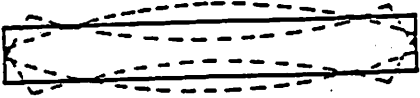
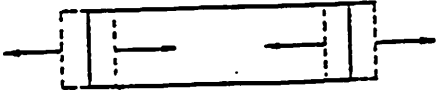


ANSYS 4.4
 FEB 22 1991
 13:53:38
 PLOT NO. 1
 POST1 STRESS
 STEP=1
 ITER=1
 FREQ=89039
 UY
 D GLOBAL
 DMX =32.03
 SMX =32.03

XU =1
 YU =0.1
 ZU =0.3
 DIST=2529
 XF =3000
 YF =62.5
 ZF =1500
 YRTO=3
 PRECISE HIDDEN
 0
 3.559
 10.677
 17.795
 24.912
 32.03

j37c: PY=4 bar; SS=24; Sd=15; YMit=50.5; Mdof je 126 in UY+UZ

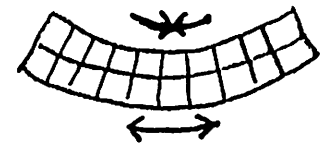
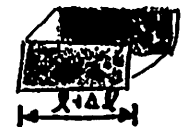
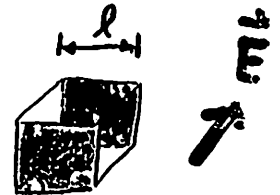
Eigenschaften und Bezeichnungen verschiedener Quarzschnitte

Schnitt	Bezeichnung	Schwingungsform	Frequenzbereich
AT	(YXI)-35°	Dickenscherschwungung 	0,5 - 100 MHz
CT	(YXI)-38°	Flächenscherschwungung 	300 - 1000 kHz
X-5°	(XYt)-5°	Biegeschwungung 	10 - 100 kHz
GT	(YXlt)-51°/-45°	Längs-Dehnungs-Schwungung 	100 - 550 kHz

aus S. Büttgenbach, Mikromechanik

Schwingungsanregung in Quarz

- **Auswahl des Quarzschnittes**
(X-, Z-, AT-Schnitt; Themp.; Ätzrate; Anregung; ...)
- **Strukturierung des Quarzblanks**
(Platte; Balken; Scheibe; Geätzt; Gebohrt; Gesägt; ...)
- **Elektrodenanordnung** (senkrecht oder parallel zur Ebene)
 - ↓ (bewirkt durch Piezoeffekt)
 - Lokale Deformation** (z.B. je angeregtem Würfelstück)
 - +
 - Summe der anderen Deformationen**
(mit Berücksichtigung ihrer Position ergibt die)
- **Sensorverformung**
(entsprechend der Eigenresonanzform)
(Biegung; Drehung; Dehnung; Scheerung...)



Piezoel. Schwing.anreg. in MM Drucksensor ($E \cdot d = \epsilon = \Delta l/l$)

$$\begin{bmatrix} E_x & E_y & E_z \end{bmatrix} \text{ El.Feldstärke in } 10^4 \text{ V/m} = 1\text{V}/100\mu\text{m}$$

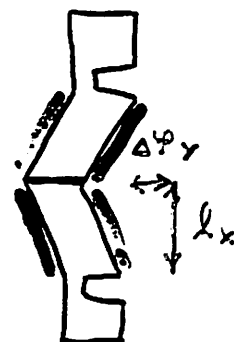
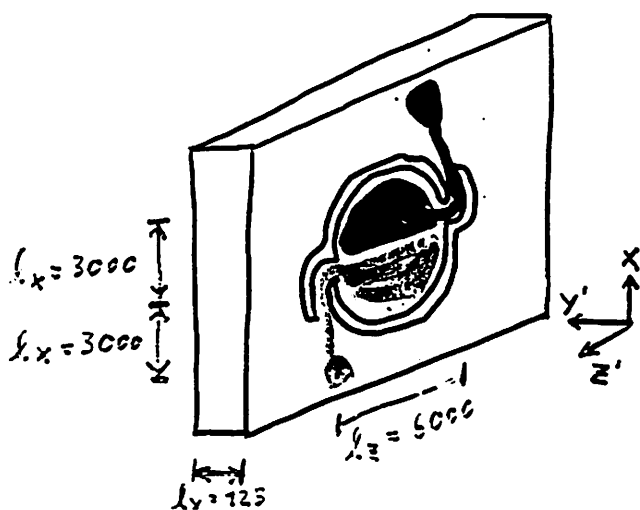
*

$$\begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 2,3 & & \\ \dots & & \\ -d_{11} & 0 & 0 \\ -2,3 & & \\ \dots & & \\ 0 & 0 & 0 \\ \dots & & \\ d_{14} & 0 & 0 \\ 0,67 & & \\ \dots & & \\ 0 & -d_{14} & 0 \\ & -0,67 & \\ \dots & & \\ 0 & -2d_{11} & 0 \\ & -4,6 & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \dots \\ \epsilon_{yy} \\ \dots \\ \epsilon_{zz} \\ \dots \\ \gamma_{yz} \\ \dots \\ \gamma_{xz} \\ -0,67 \\ \dots \\ \gamma_{xy} \\ -4,6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta l_x}{l_x} \\ \dots \\ \frac{\Delta l_y}{l_y} \\ \dots \\ \frac{\Delta l_z}{l_z} \\ \dots \\ \frac{\Delta \varphi_y}{l_z} = \frac{\Delta \varphi_z}{l_y} \\ \dots \\ \frac{\Delta \varphi_x}{l_z} = \frac{402 \cdot 10^{-7}}{6000} = \frac{\Delta \varphi_z}{l_x} = \frac{201 \cdot 10^{-7}}{3000} \\ \dots \\ \frac{\Delta \varphi_x}{l_y} = \frac{52 \cdot 10^{-7}}{125} = \frac{\Delta \varphi_y}{l_x} = \frac{1260 \cdot 10^{-7}}{3000} \end{bmatrix}$$

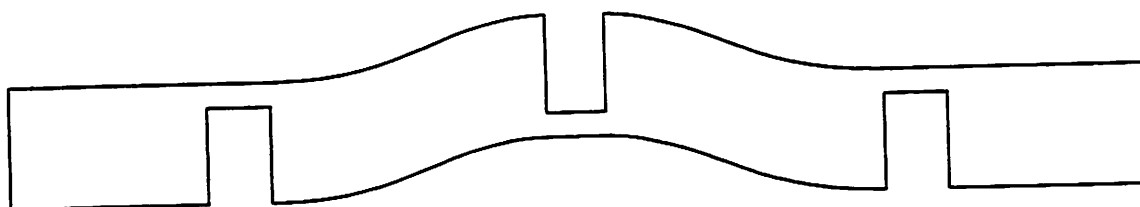
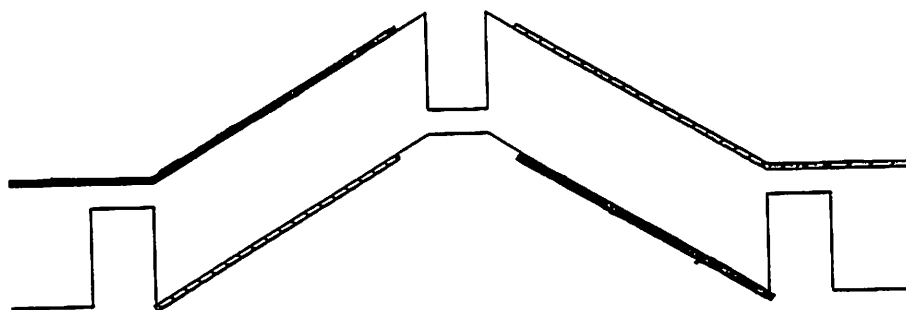
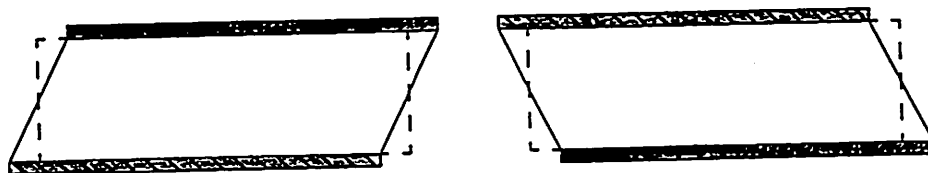
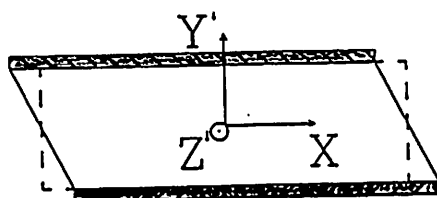
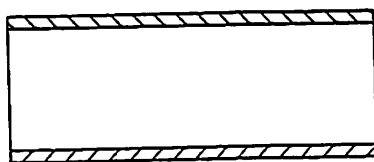
piezoel. Koef. in
in 10^{-12} m/V

Deformation
in 10^{-8}

Längenänderung/Gesamtlänge
in $\mu\text{m}/\mu\text{m}$

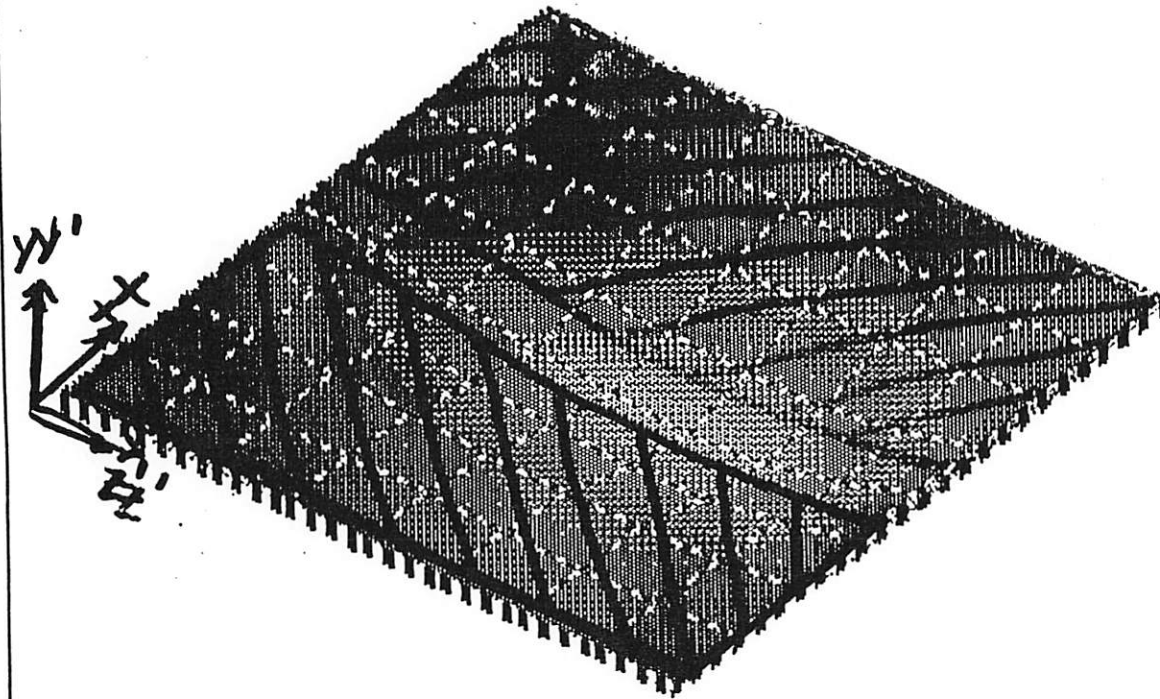


Biegeschwingungsanregung im Quarz (AT-Schnitt)



1

Elektroden erzeugen ein Feld in Y'-
Richtung



ANSYS 4.4
NOV 7 1991
08:55:07
PLOT NO. 3
POST1 STRESS
STEP=1
ITER=1

UY = Auslenkung in Richtung der
Platten normaler

CSYS=11
DMX = 0.294E-08
SMN = -0.293E-08
SMX = 0.135E-09
DSYS=11

Biegegrundmo

XU = -10
YU = 10
ZU = 8
DIST = 0.004638
XF = 0.003
YF = 0.625E-04
ZF = 0.003

PRECISE HIDDEN

-0.293E-08 = 2,93 nm bei 10V
-0.259E-08
-0.191E-08
-0.123E-08
-0.547E-09
0.135E-09

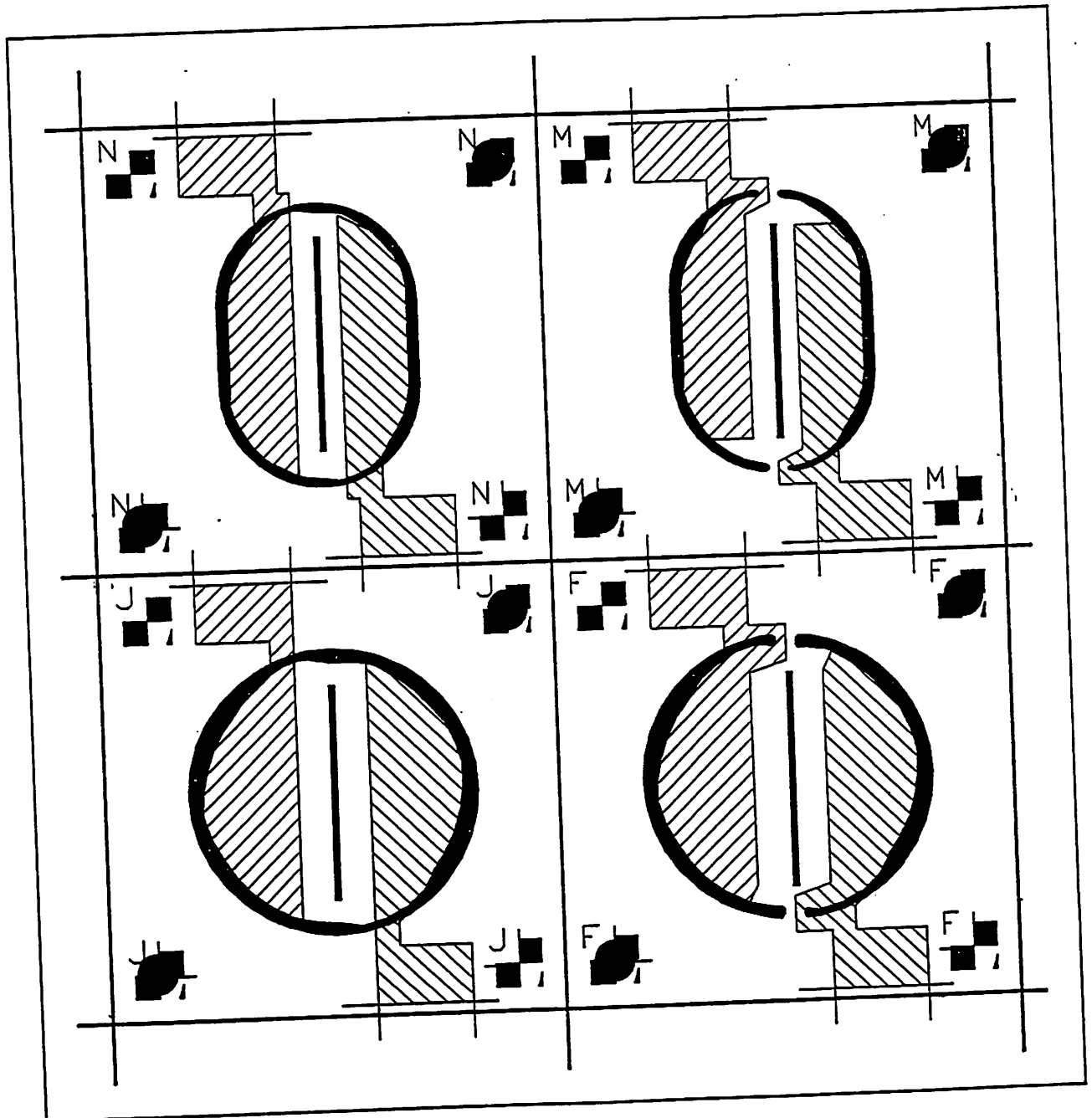
k10: AT-Schnitt; 4 Schicht-Platte in X-Richt. oben allseit.fest

MOTOMETER

Bosch Telecom

Quarz-Membran-
Formen

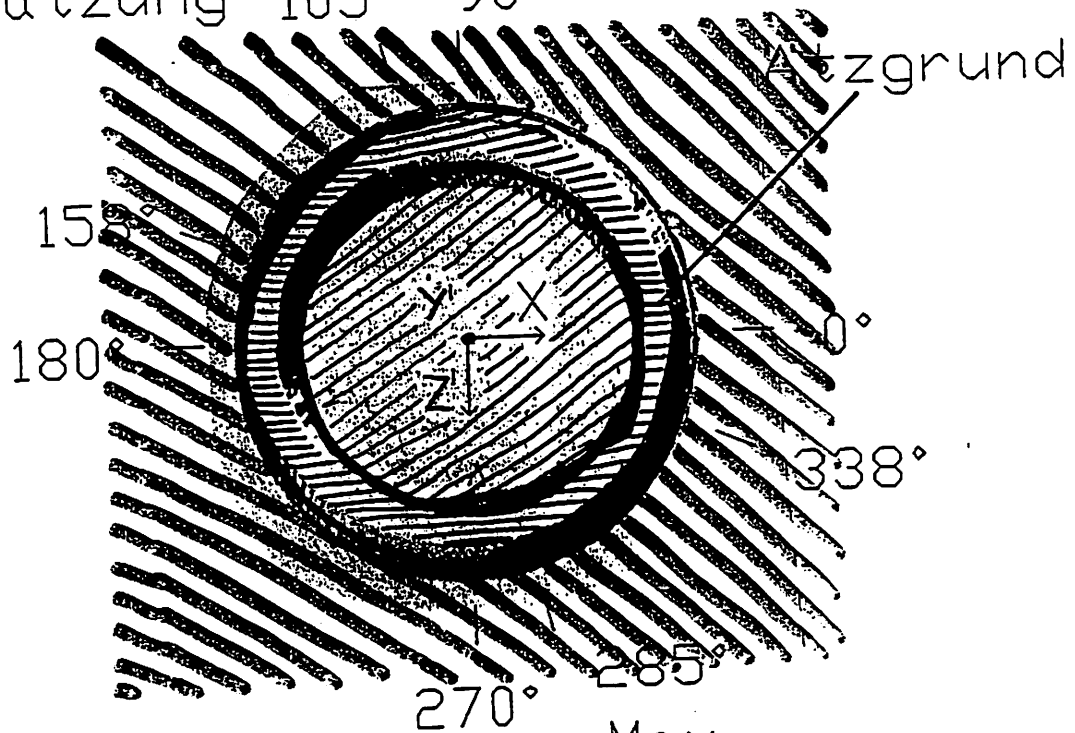
TEM 3
W. Hartig



Kreisring Teststruktur

Max. konkave

Unterätzung 105° 90°



Max.
konvexe
Unter-
ätzung

Kreisringbreite: 200 μm

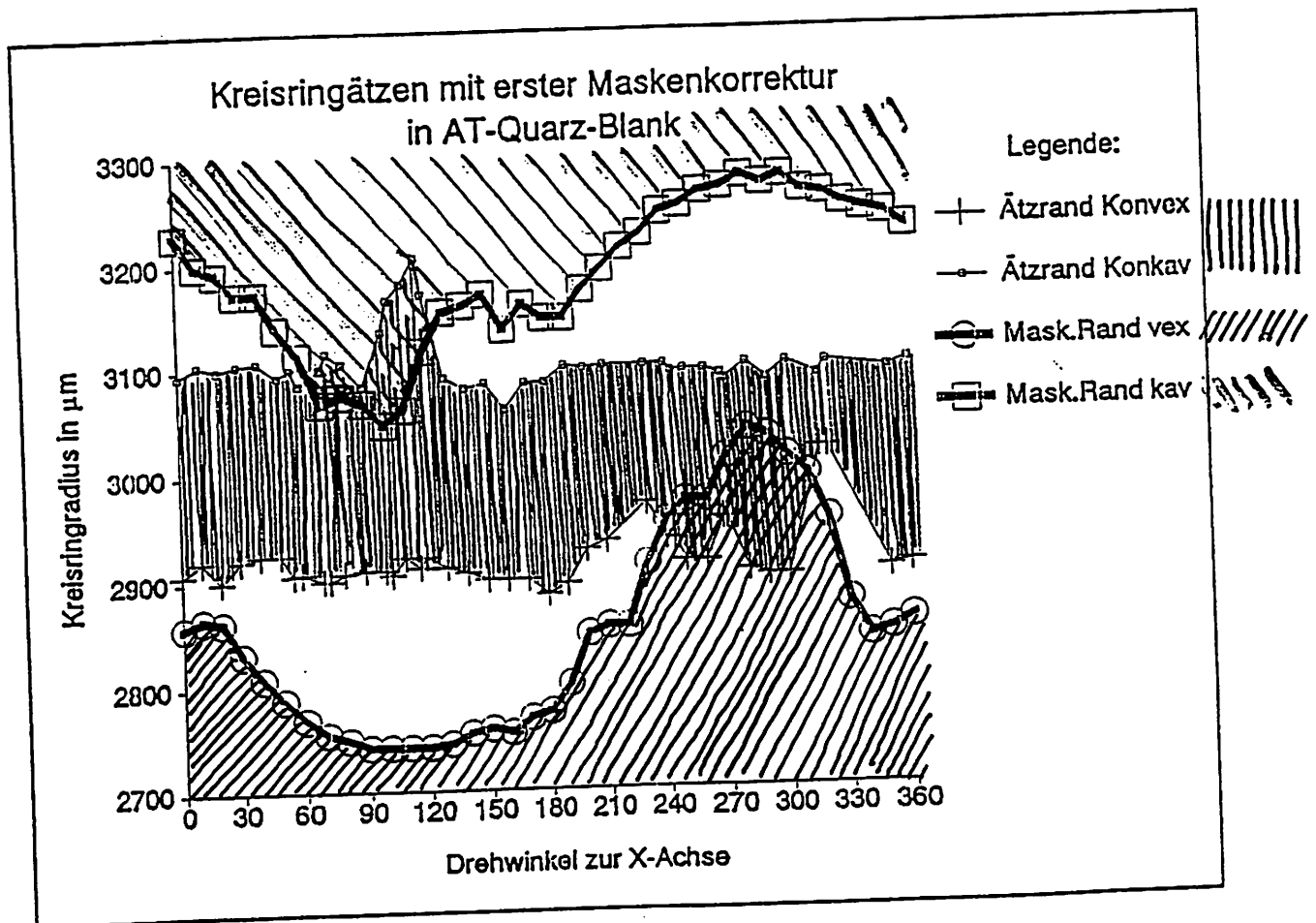
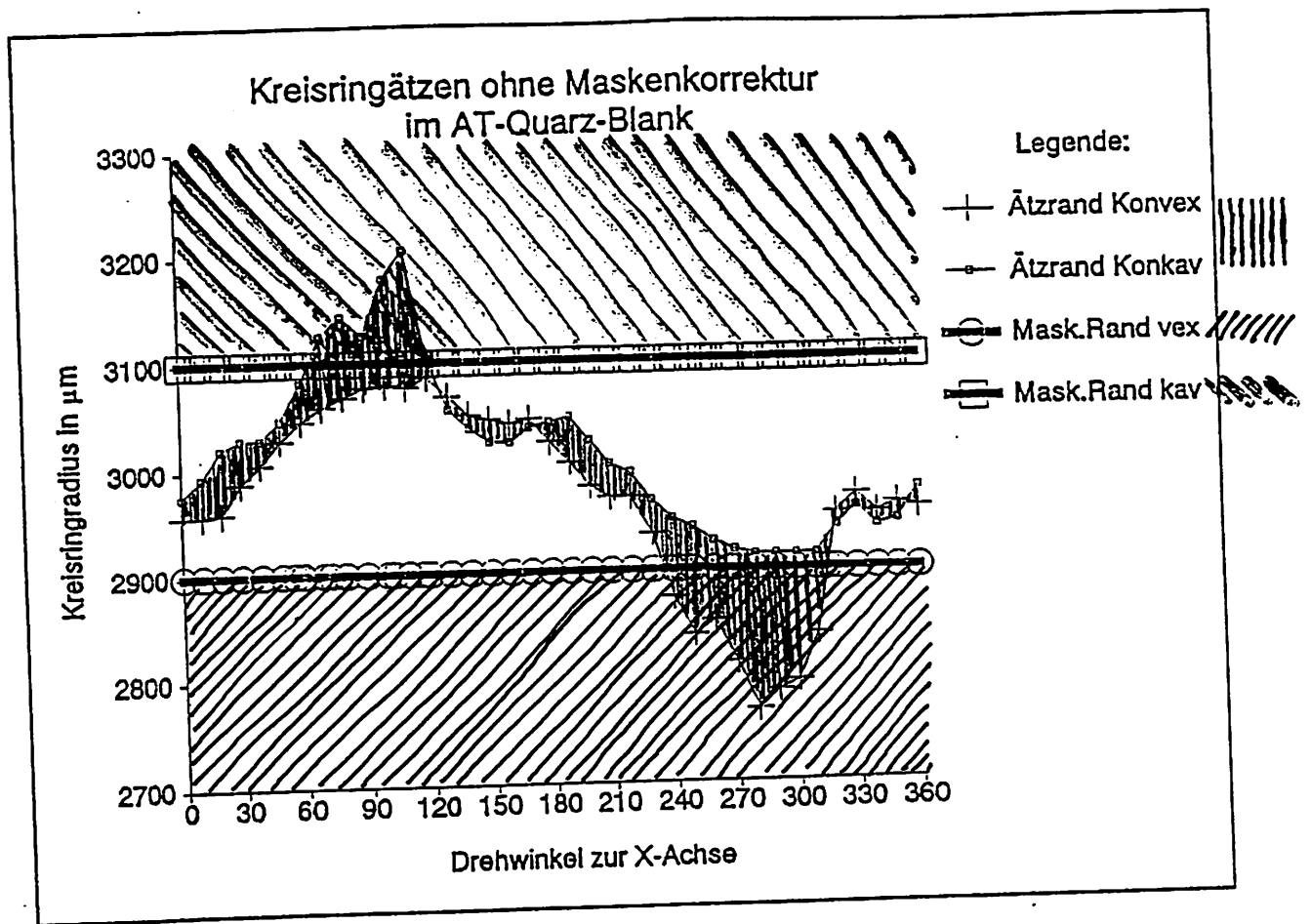
AT-Quarzschnitt

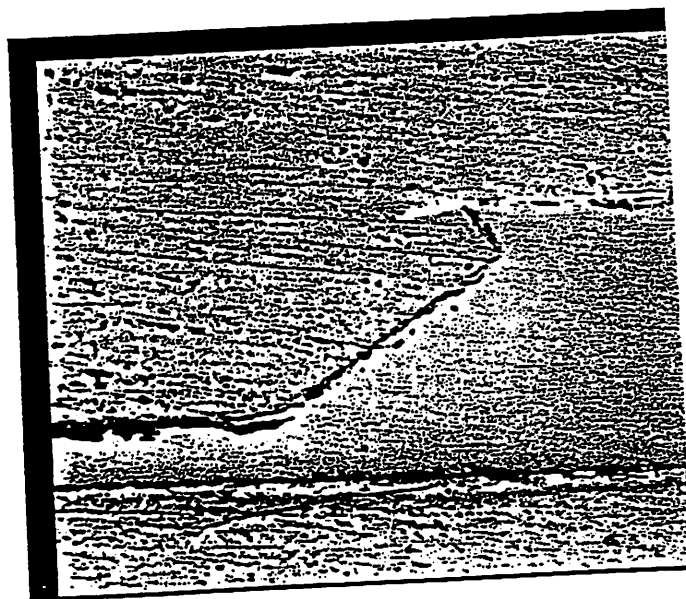
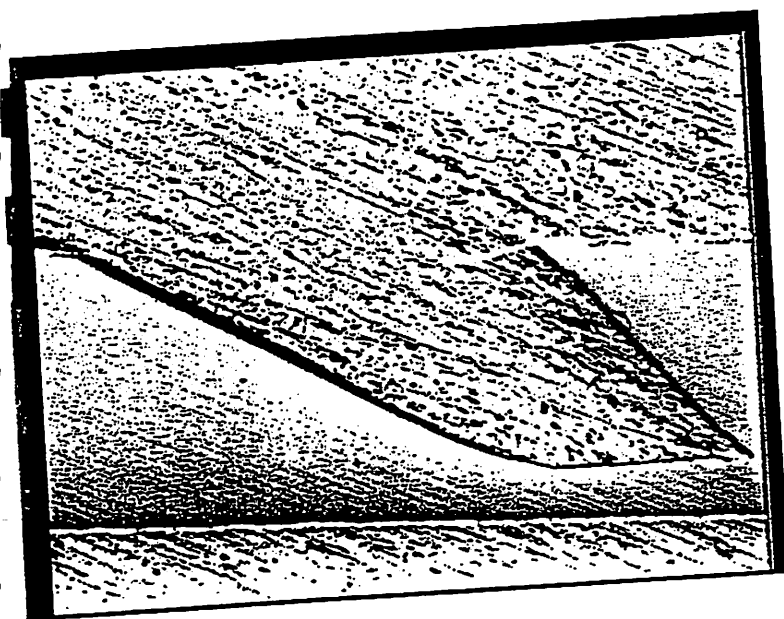
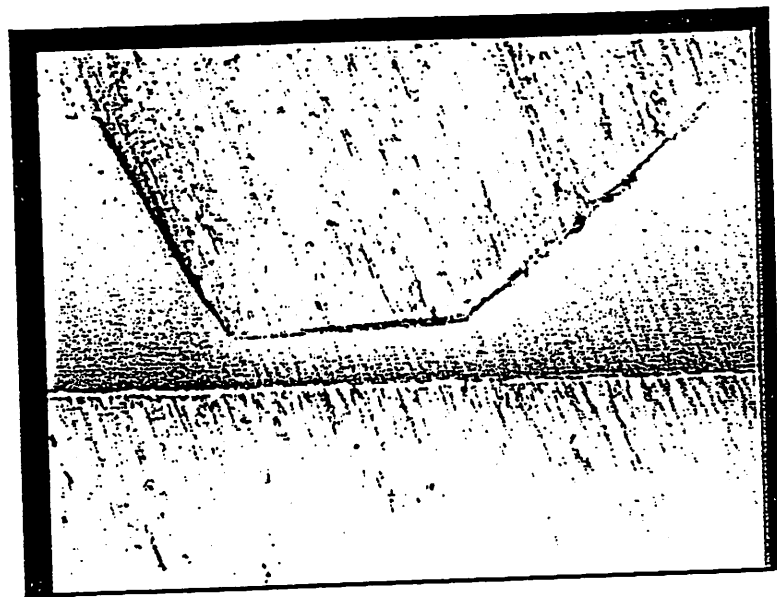
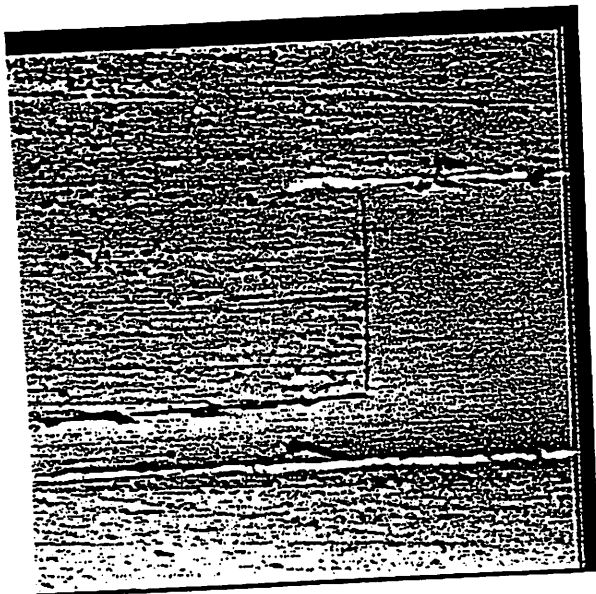
Ätzlösung: 48%HF:40%NH₄F (3:2)

Ätztemperatur: 80°

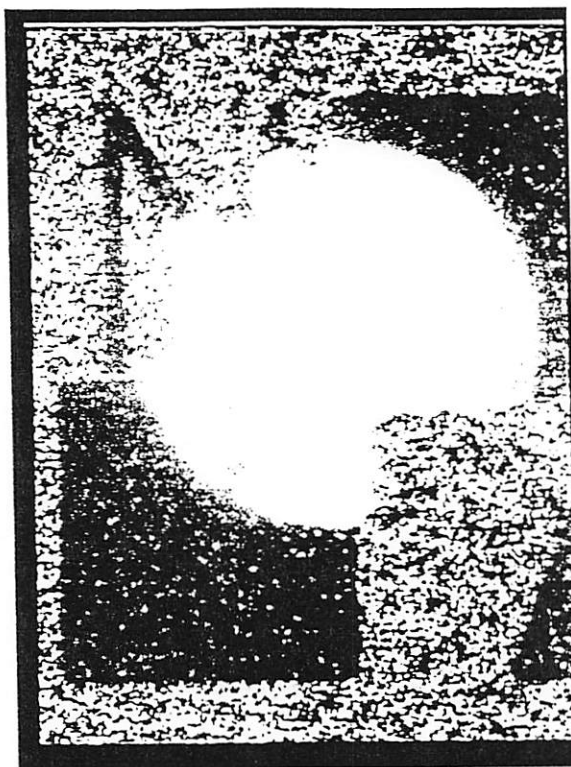
Ätzzeit: 79 min

Äztiefe: 95 μm

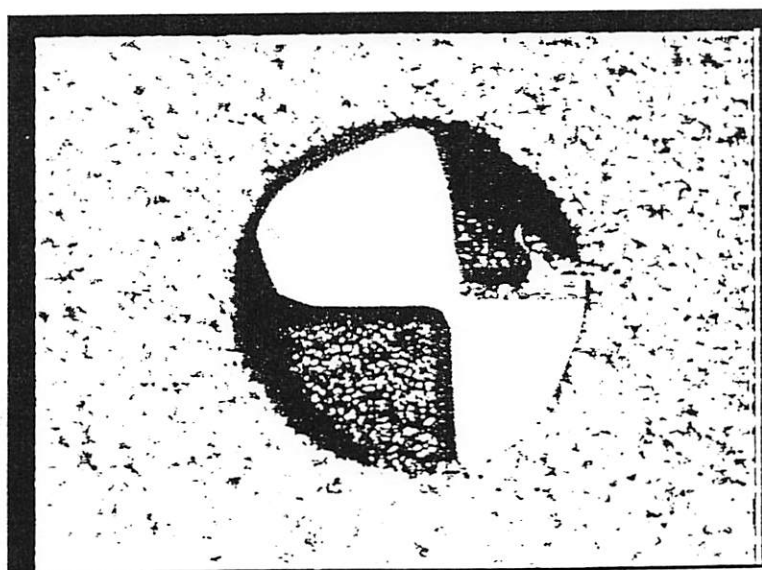




[Abb. 11]



[Abb. 8]



[Abb. 9]



5x
HT8

BRS-B

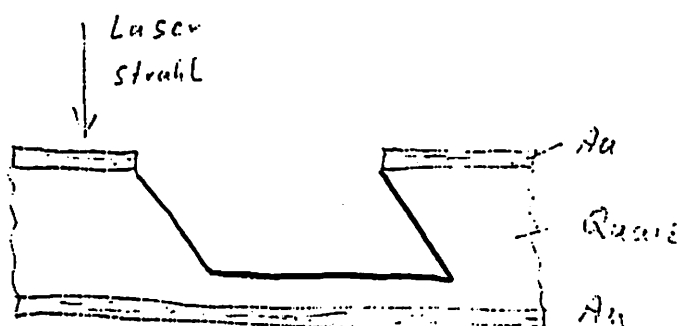


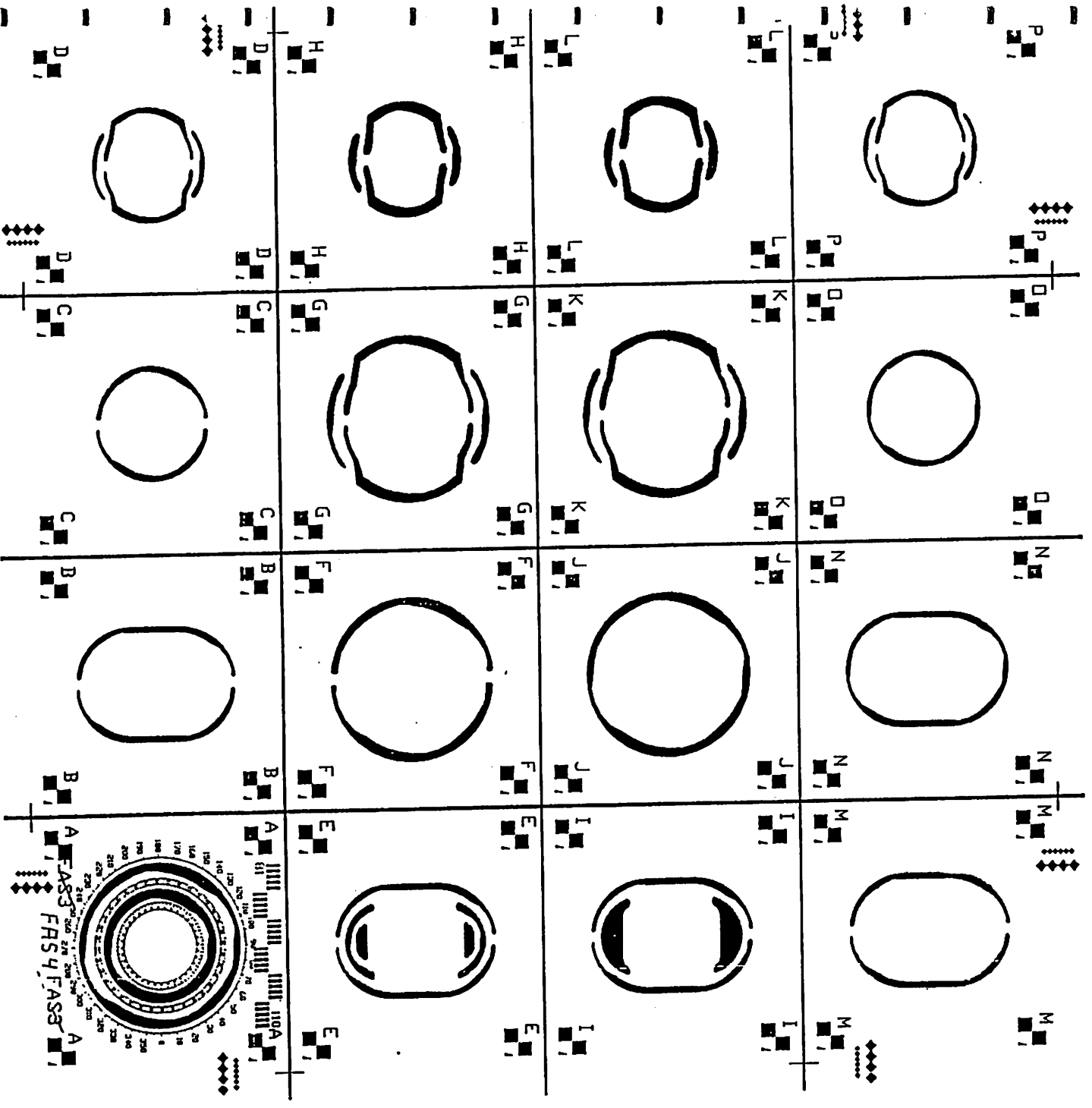
82 mm \pm 710 μ m
1 mm \pm

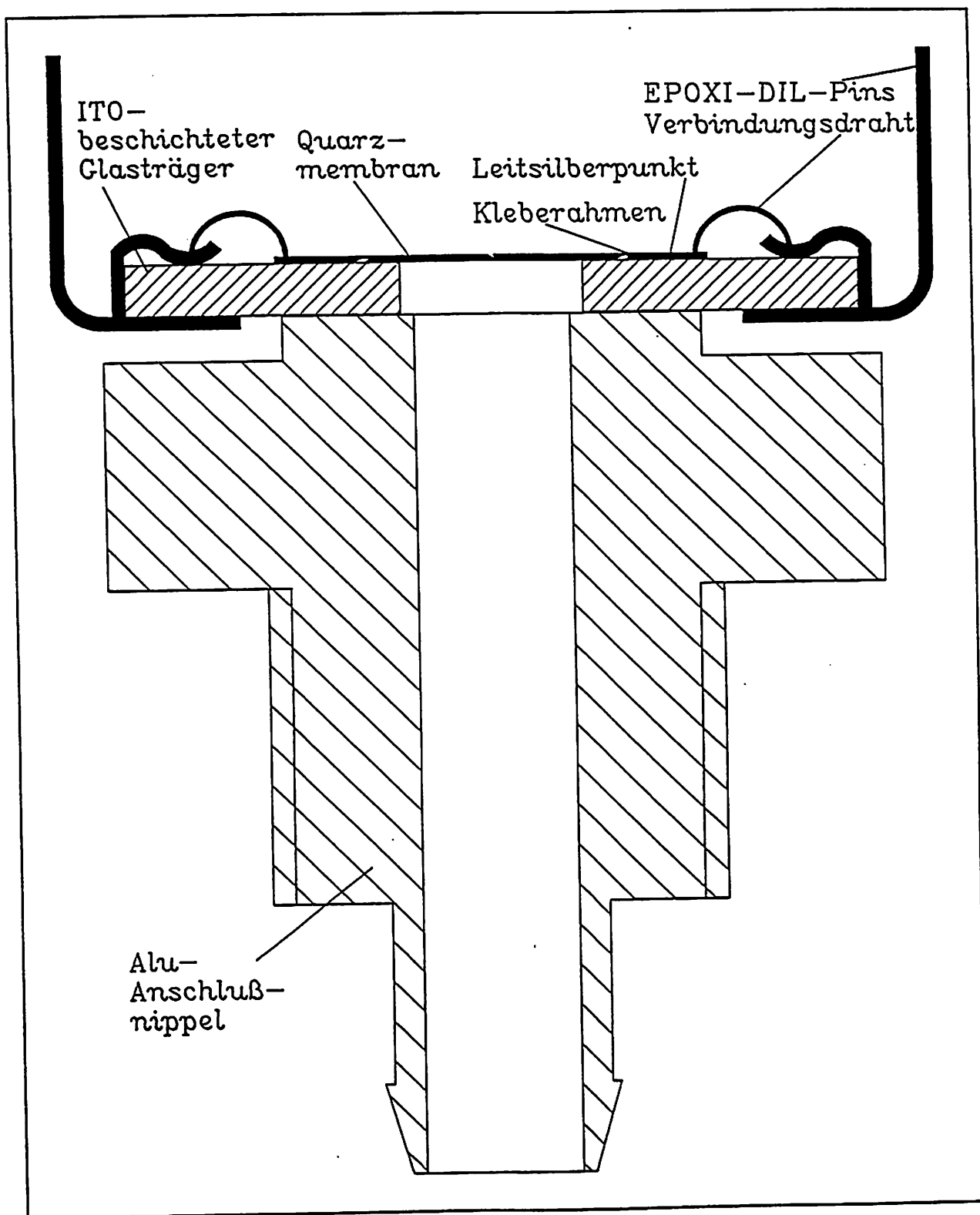


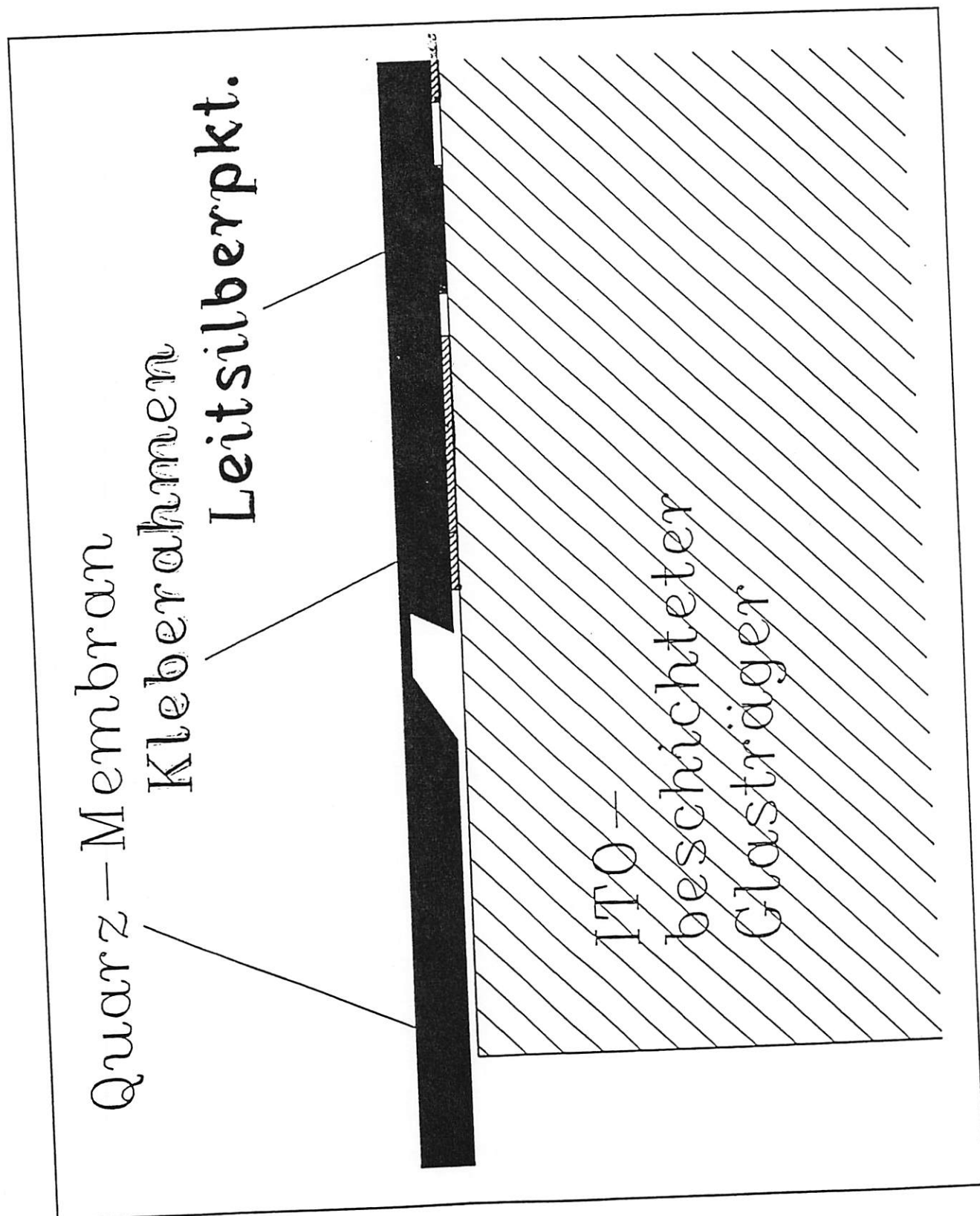
20x
HT8

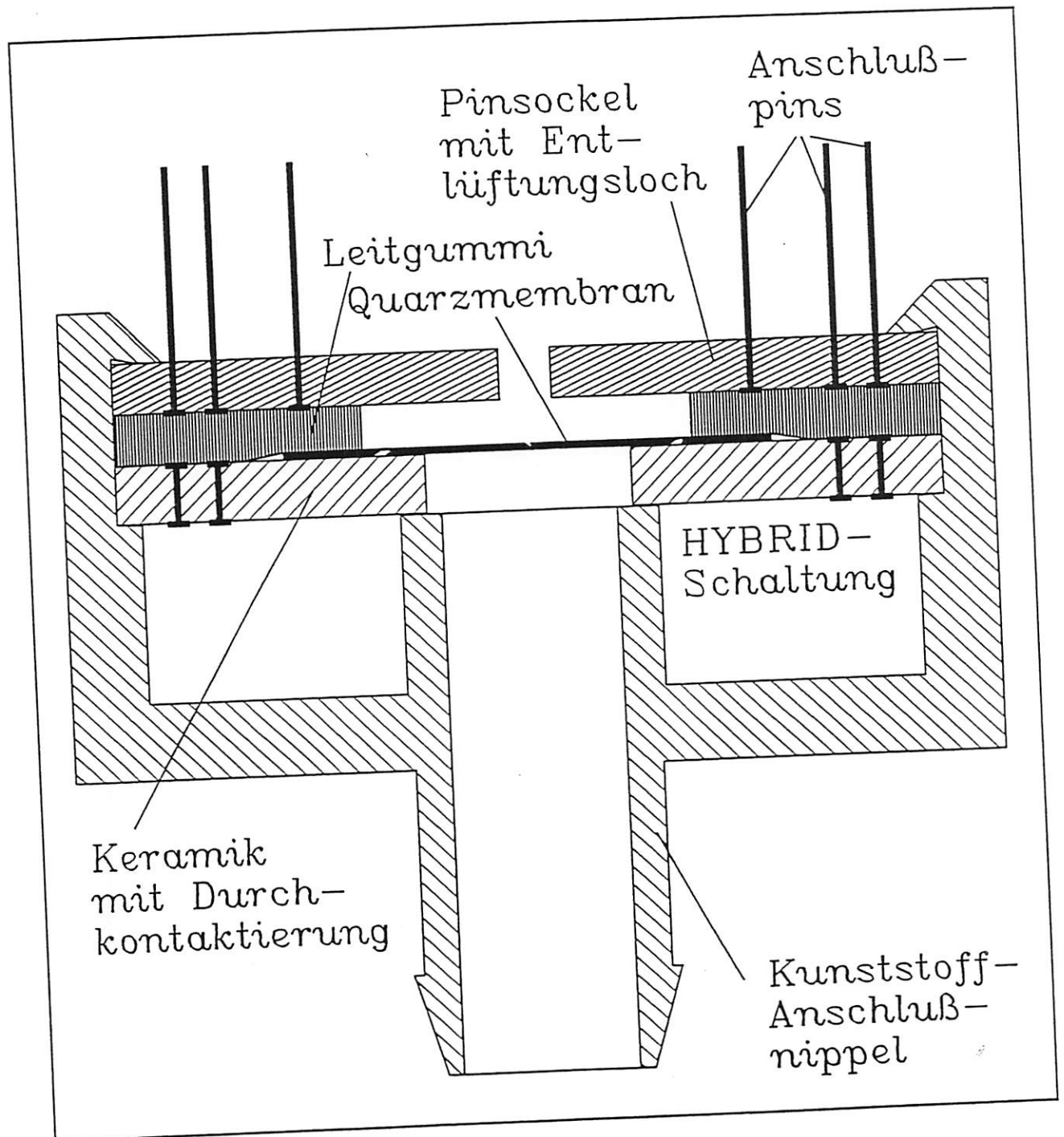
BRS-B





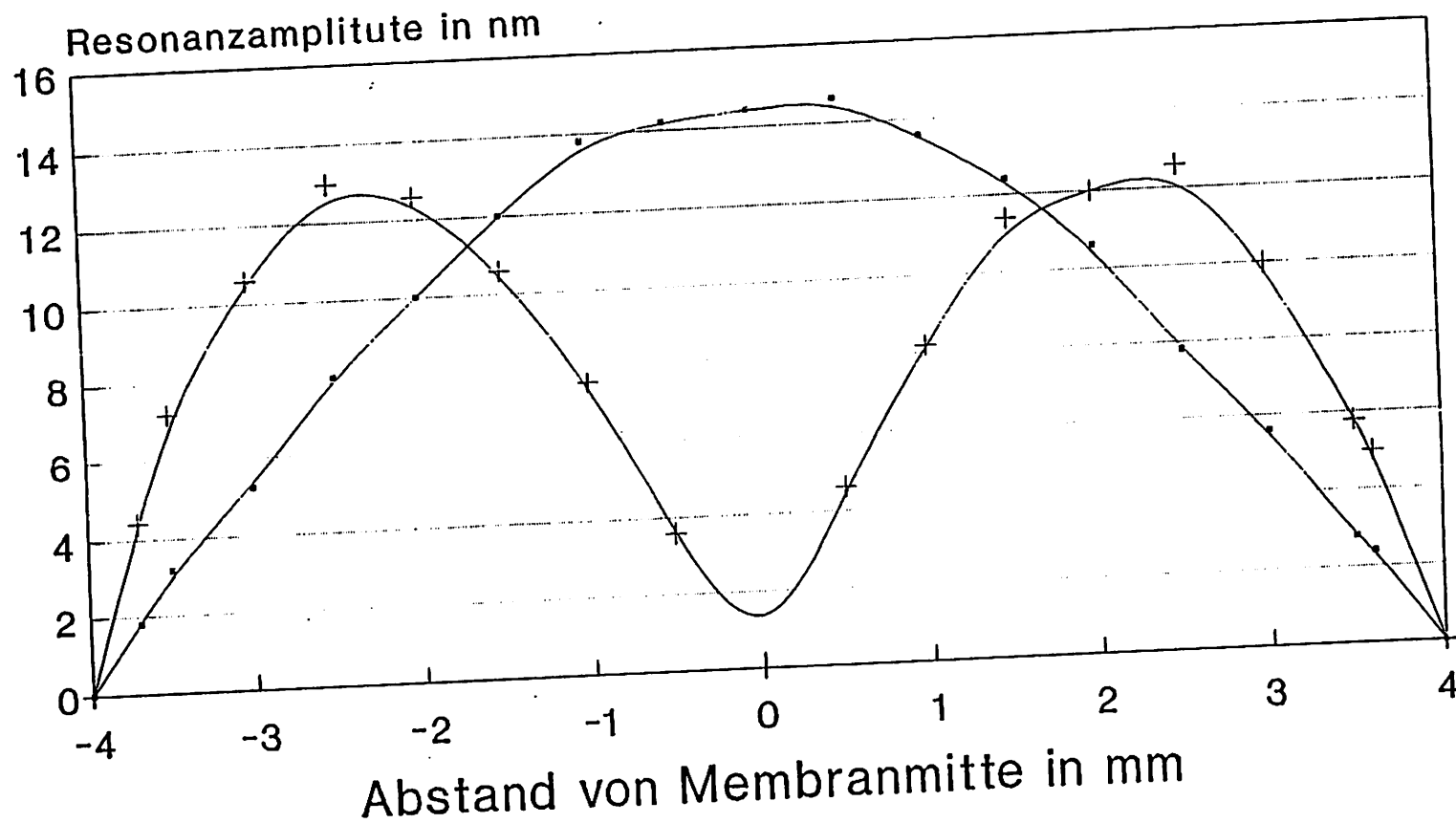
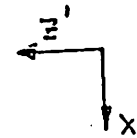




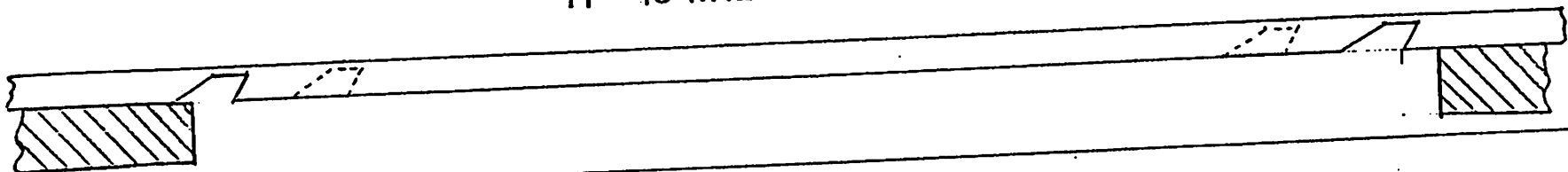


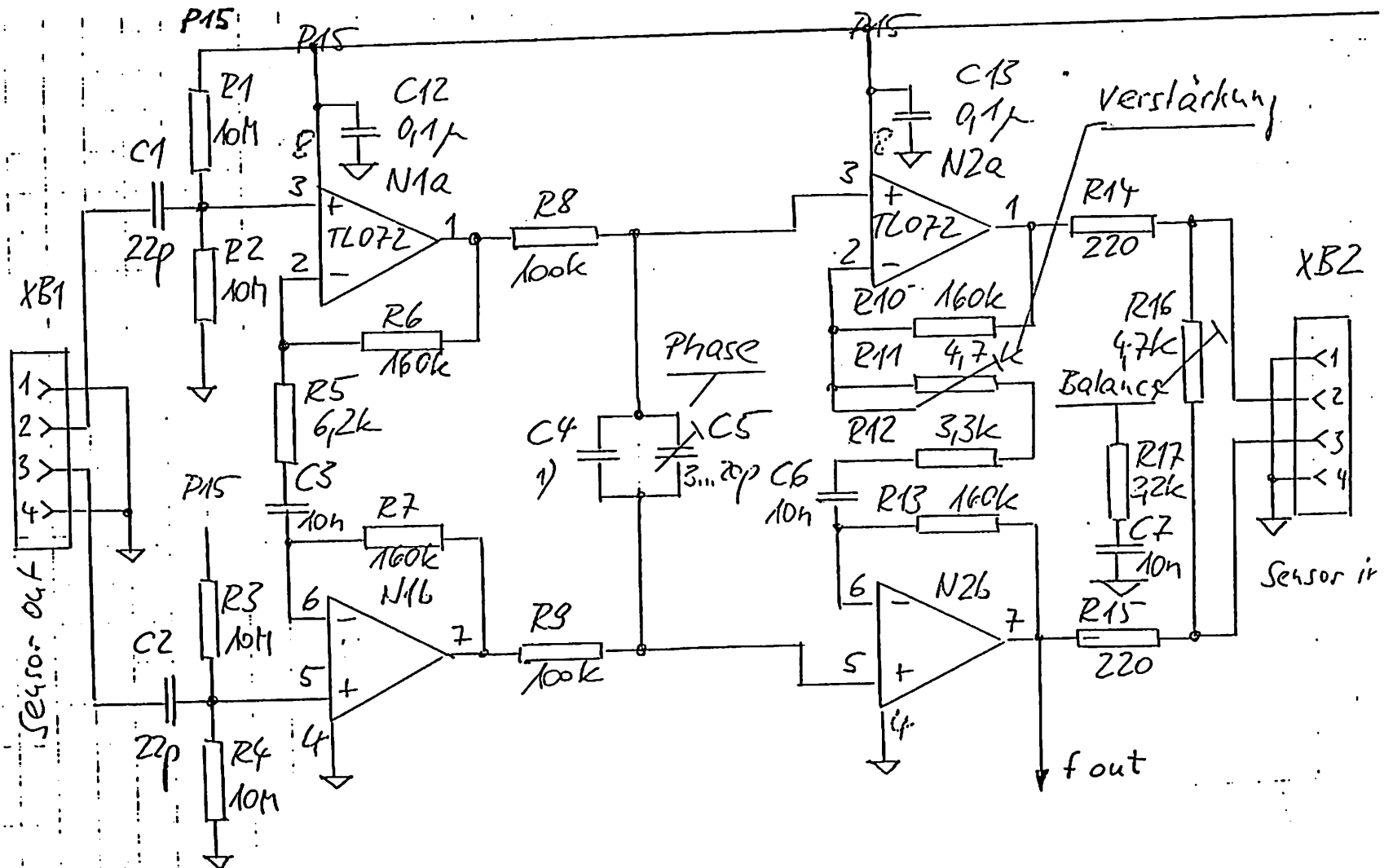
Amplitutenprofil

Entlang der Lasertrennlinie (Z-Richtung)

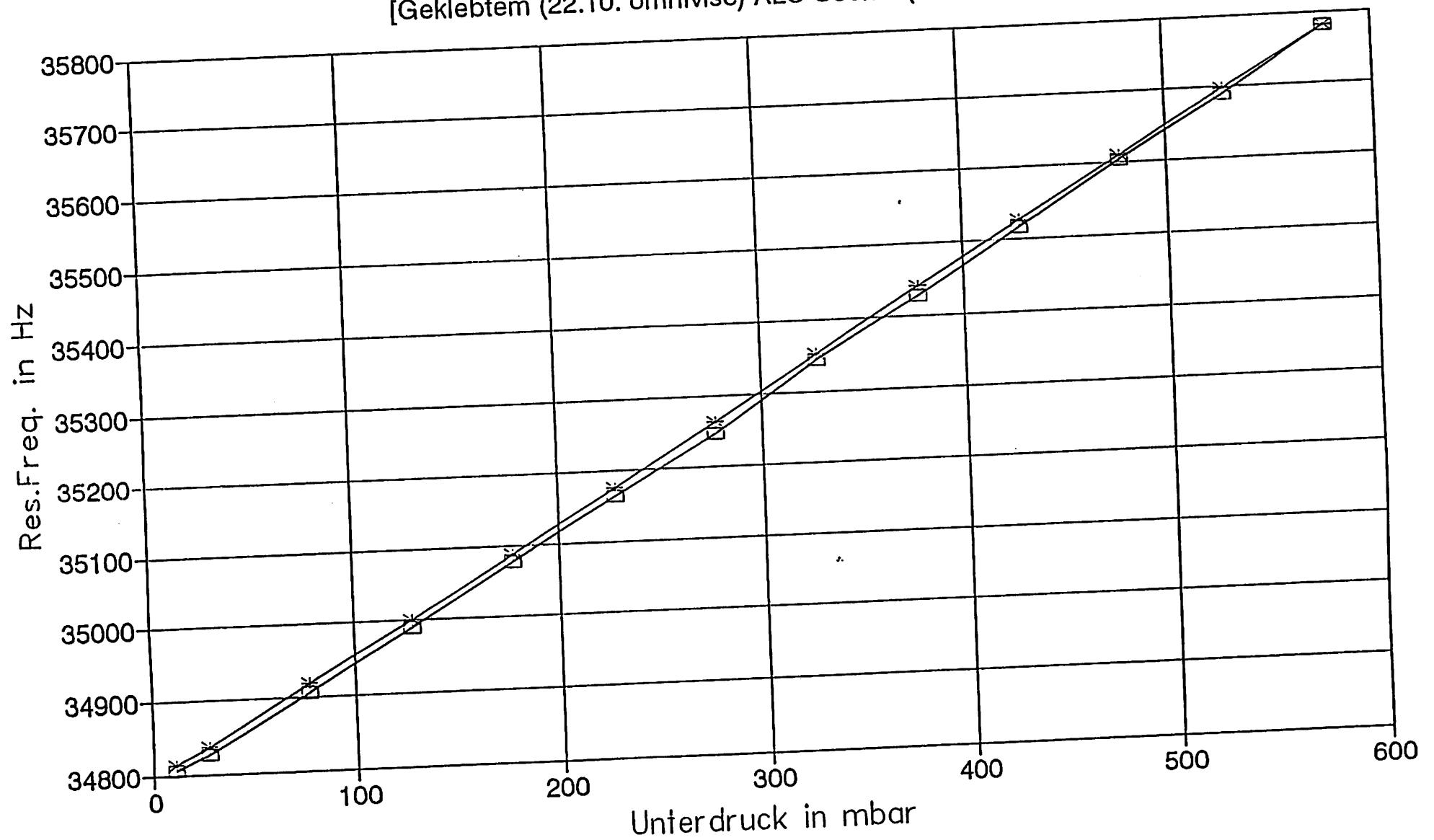


—•— f1 = 15 kHz —+— f2 = 30 kHz



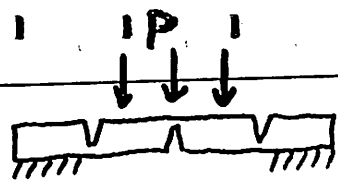


Druck/Frequenz Kennlinie ATP3M; ITO-Glas
[Geklebt (22.10. omnivisc) ALU-Sockel (26.10.92)]

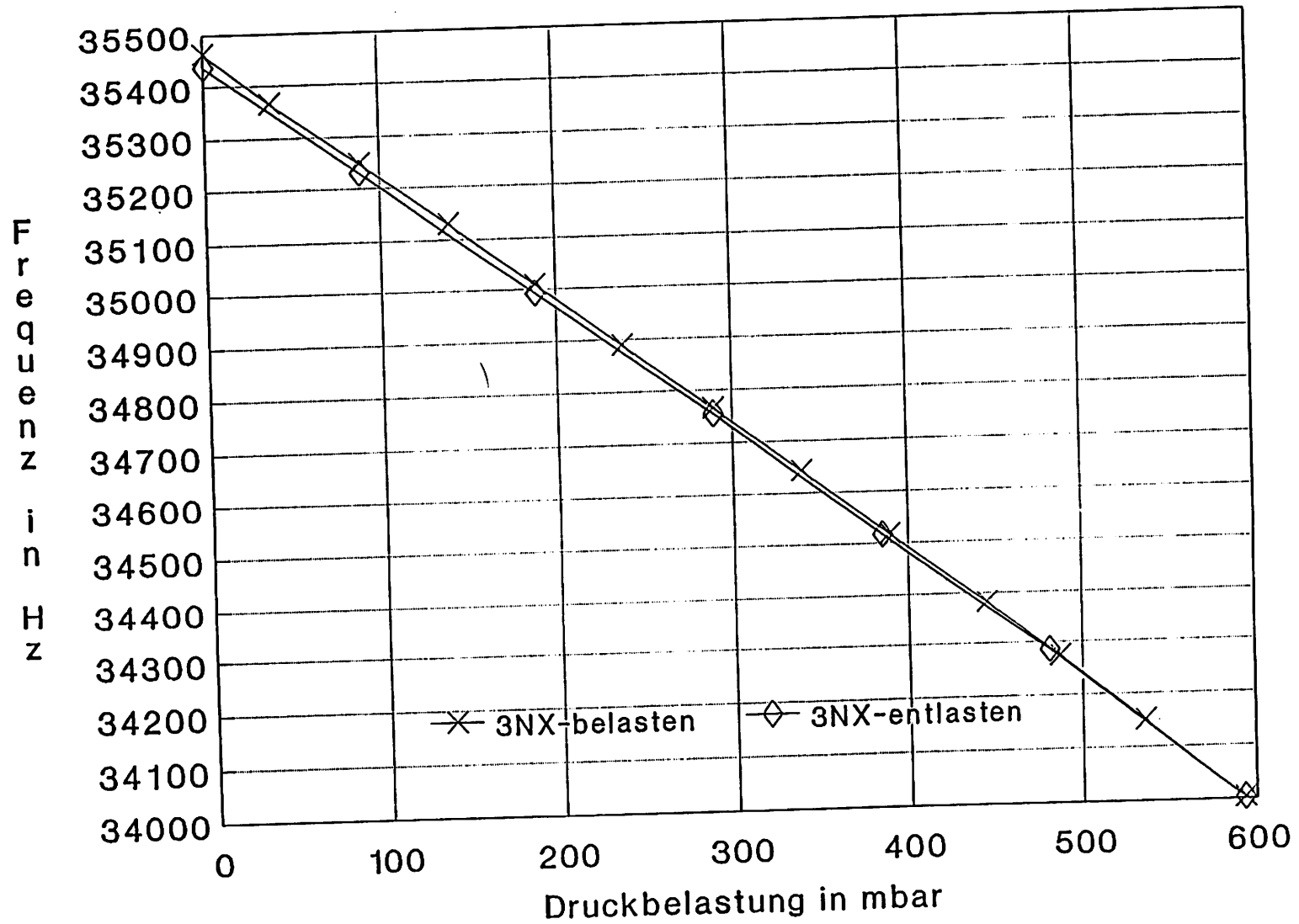


—□— zueh. Belast. —*— abneh. Belast.

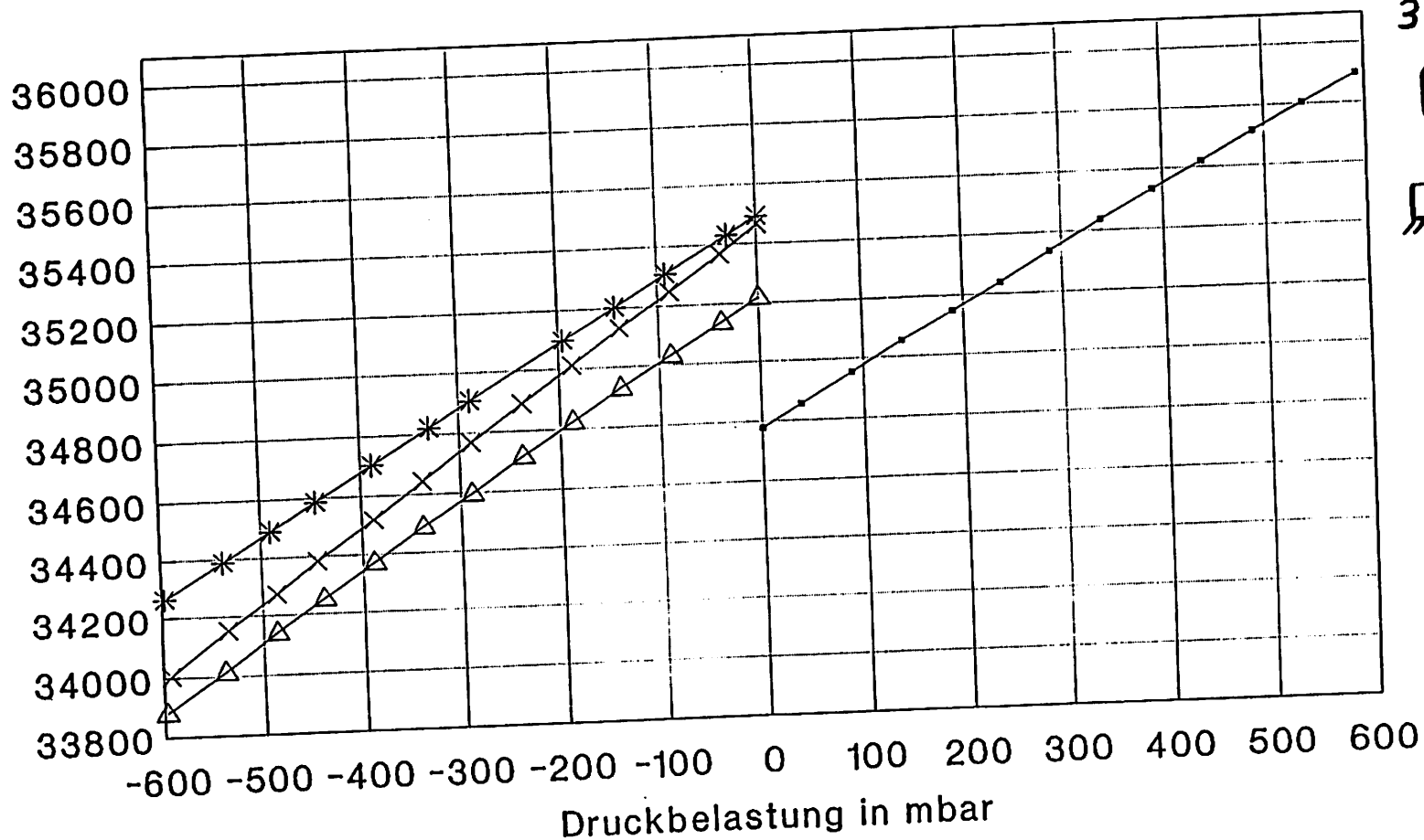
0



3NX-Resonanzfrequenz = f (Unterdruck)

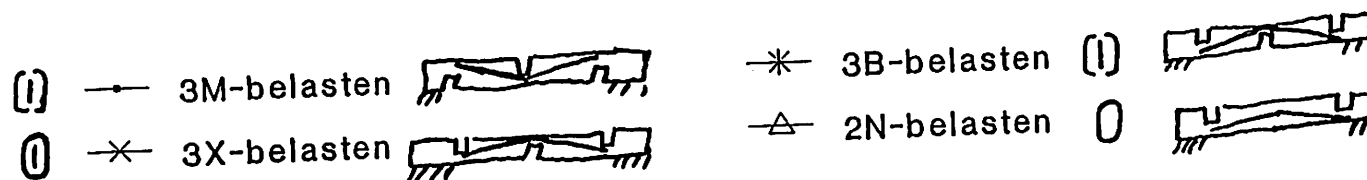
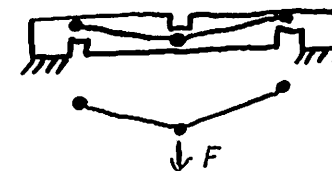


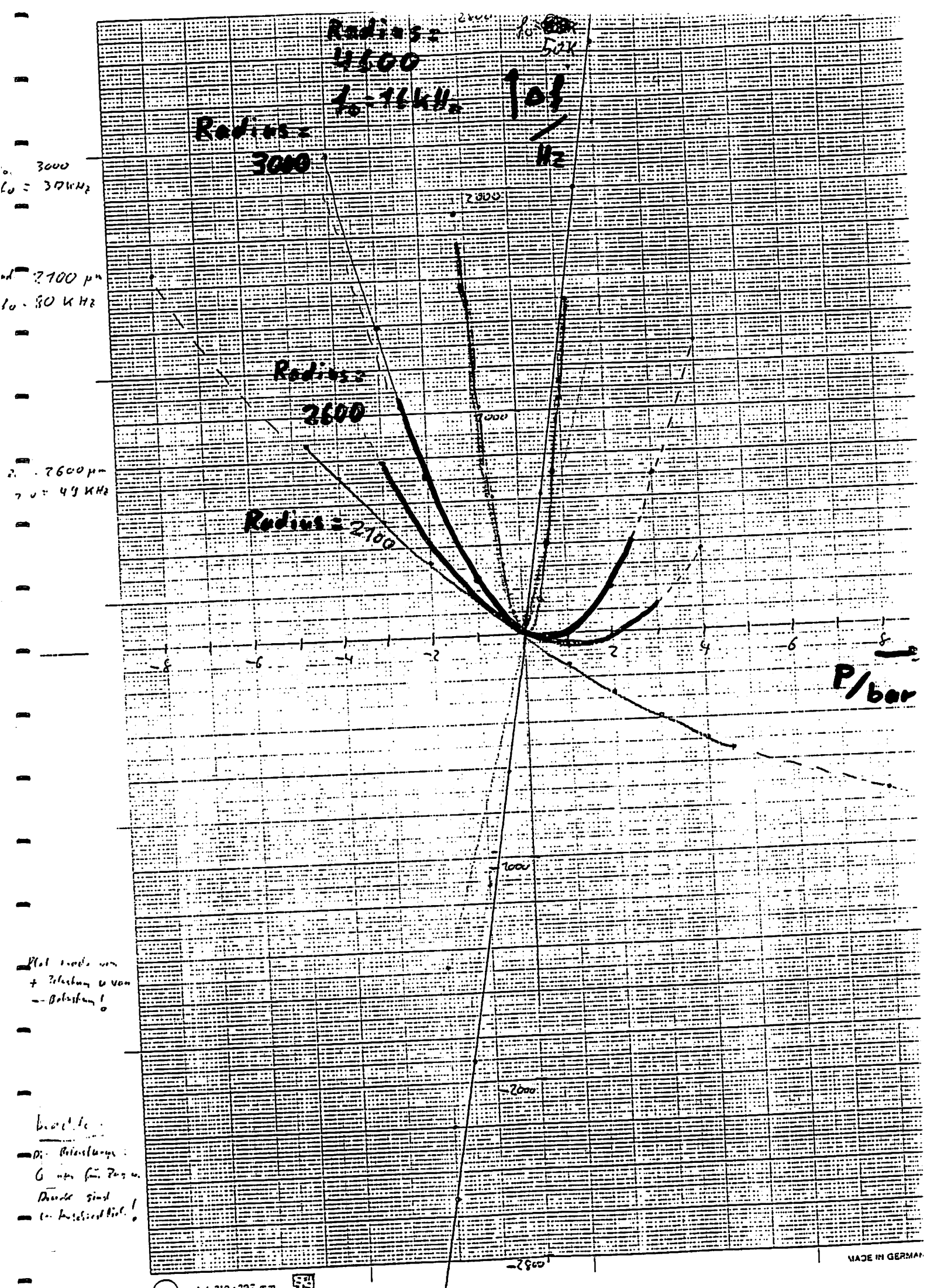
Resonanzfrequenz = f (Unterdruck)



3M

(1)





$d = 3000$
 $f_0 = 30 \text{ kHz}$

$d = 2100 \mu\text{m}$
 $f_0 = 80 \text{ kHz}$

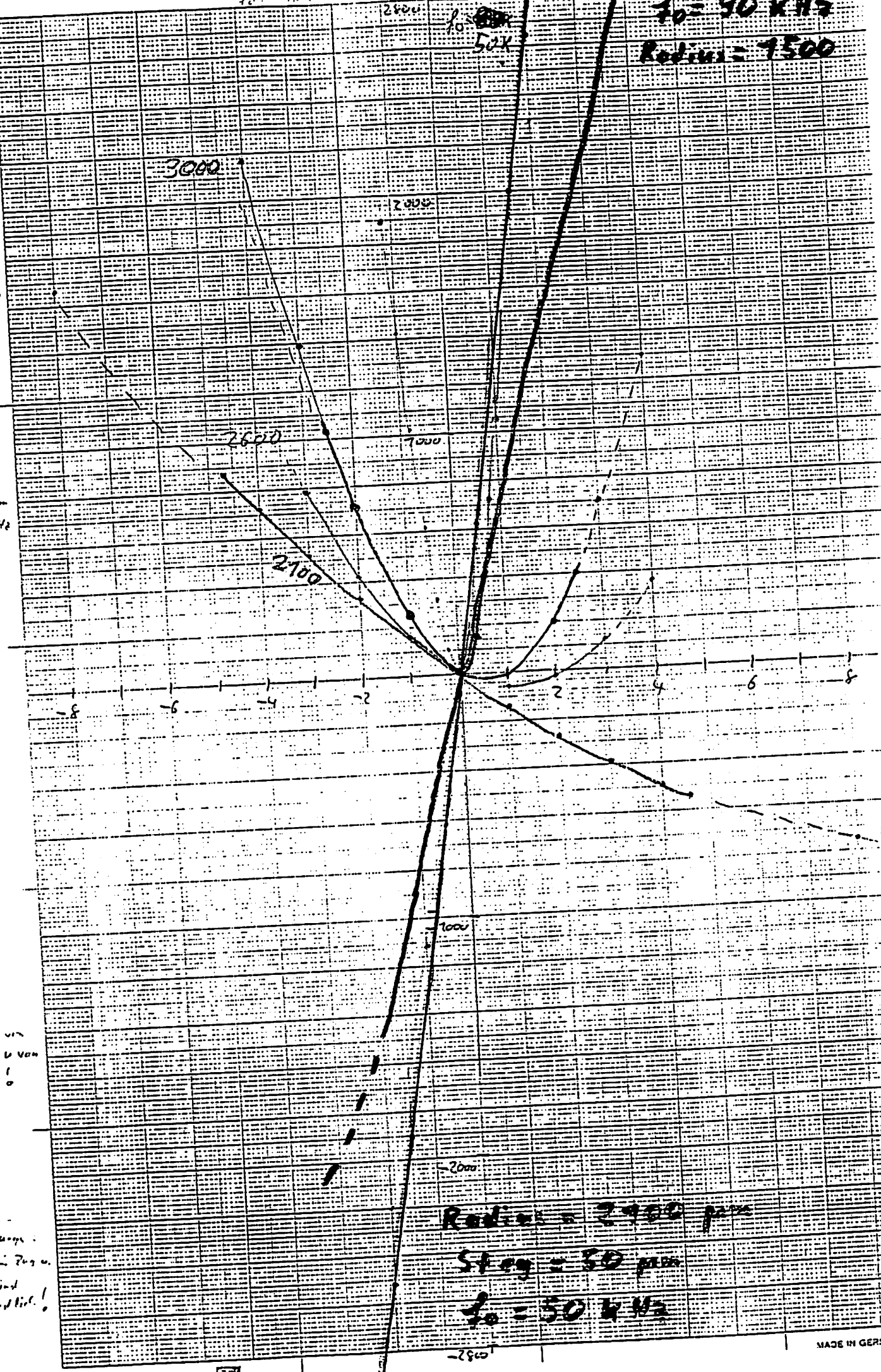
$d = 2600 \mu\text{m}$
 $f_0 = 49 \text{ kHz}$

• Punkte von
 • Belastung u von
 • Belastung f

beachte
 die Belastungen
 können für Zug u.
 Druck sind
 u. Ausdehnung!

$f_0 = 30 \text{ kHz}$
 $\text{Radius} = 1500$

$f_0 = 80$
 50%


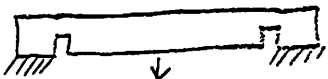


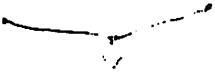

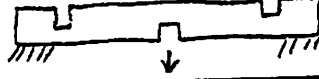

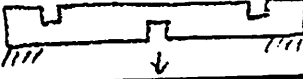

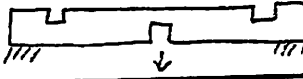

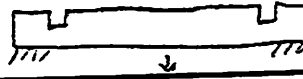


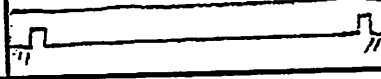


$\text{Radius} = 2400 \mu\text{m}$

$\text{Steg} = 30 \mu\text{m}$

$f_0 = 50 \text{ kHz}$

Langlochform (4/6mm); 34,8-36,3kHz Grundfrequenz

Name	Form	Aufbau	Δf bei 600mbar in Hz
1M			+ 750
3M			+ 1100
			
3B			- 1200
3N			- 1300
3NX			- 1460
2N			- 800
			
1F			+ 850 ($f_0 = 25,8 \text{ kHz}$)

MOTOMETER Bosch Telecom	Ergebnis-Bewertung und Ausblick	TEM 3 W. Hartig
-----------------------------------	------------------------------------	--------------------

- * 16 er Nutzen -> 20er (24) Nutzen
- * Langloch: 4/6 mm -> 3/5 mm
- * Empfindlichkeit: 1500 Hz/600mbar
- * Nenndruckbereich ändern durch Variation von
 - Ätztiefe
 - Quarzdicke
 - (Membrandurchmesser)
- * Einfache Herstellung, da kein zusätzlicher Prozessschritt zum Aufbringen einer schwingungsanregenden Schicht nötig ist
- * Ätzverhalten von AT-Quarz ist nun bekannt
- * Aufbau- und Verbindungstechnik
 - Überdruckaufbau für höhere Drücke
 - Grundträger aus Keramik mit Hybridschaltung
 - Leitgummi
- * Elektrische Schaltung
 - geringere Versorgungsspannung
 - Verkleinerung durch Hybrid-Aufbau
- * sonstige Maßnahmen
 - Temperaturgang
 - Intelligente Auswertung
- * Preisliche Einordnung:

MOTOMETER

Bosch Telecom

**Preisliche Einordnung
Frequenzanaloger Quarzdrucksensor**

TEK-FAS
11.12.92

