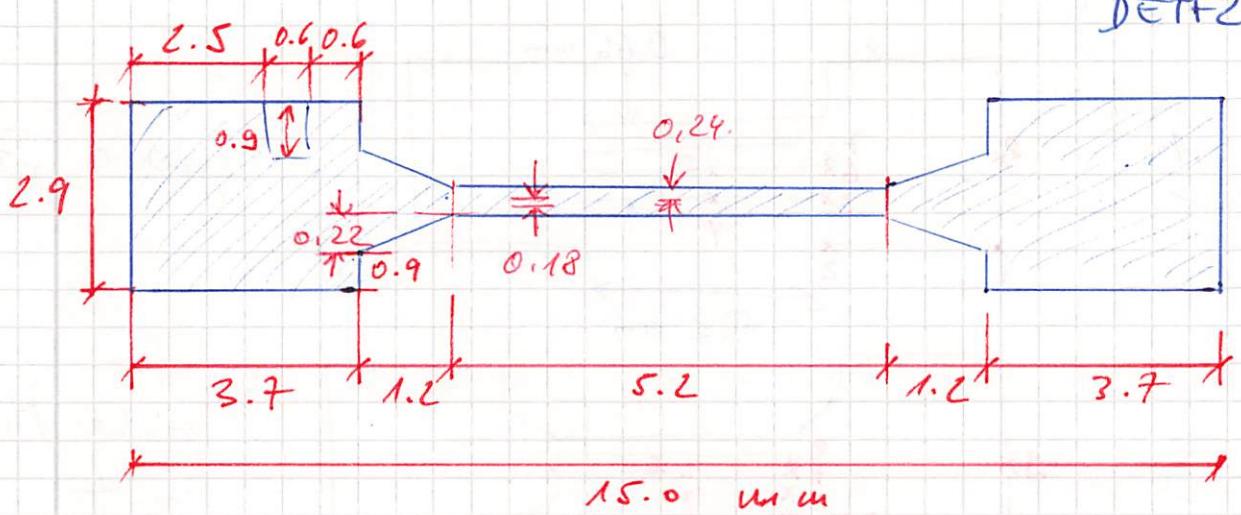


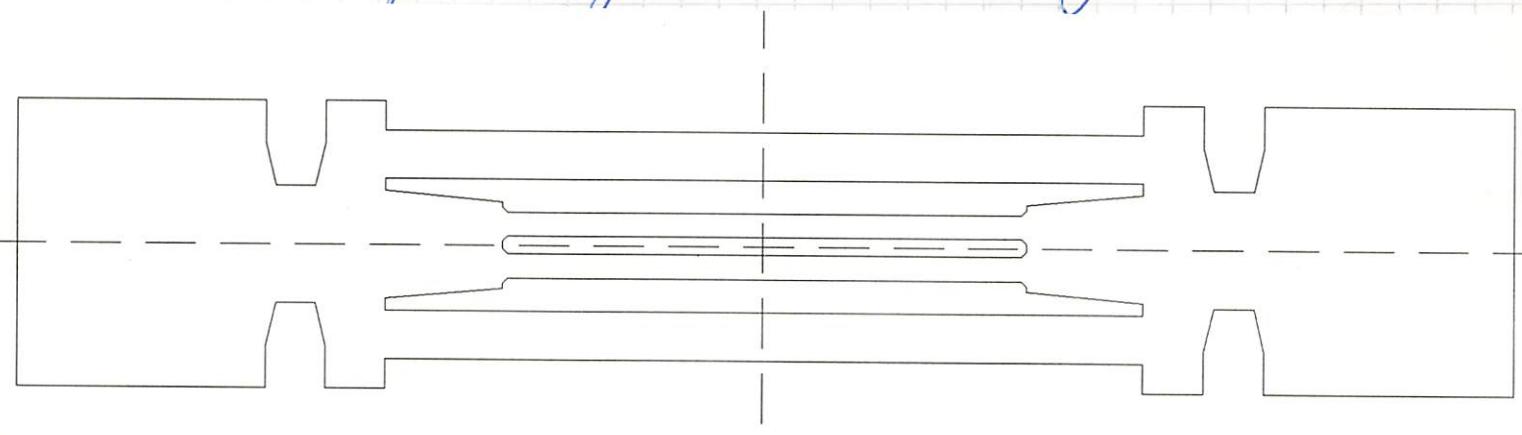
30.4.90

Ablmessungen ETA-funvor:



Maßstabsgerechte Zeichnung:

DETF4



M. Heilstege: 0.240 mm

Verstärkungsstege: 0.480 mm

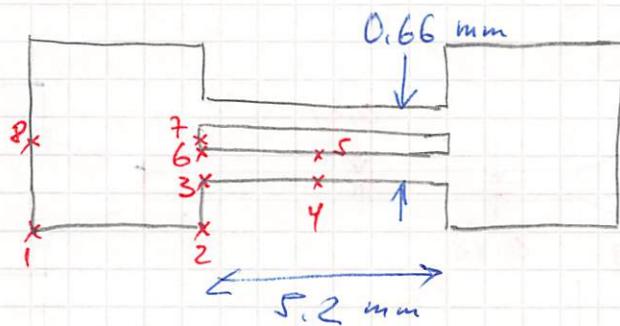
Abstandstege: 0.184 mm

Länge Stimmgabel: 5.26 mm

Sensordicke: 0.175 - 0.180 mm

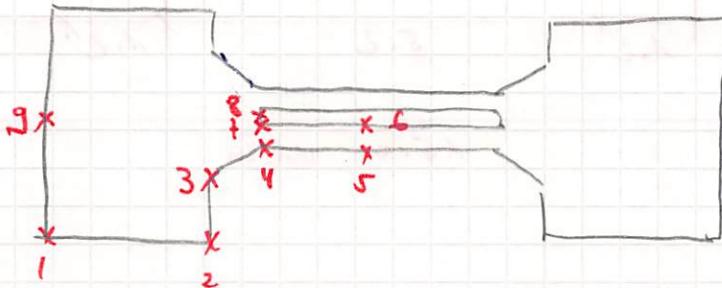
Quart - Struktur optimierung: (2 dim.)

1.



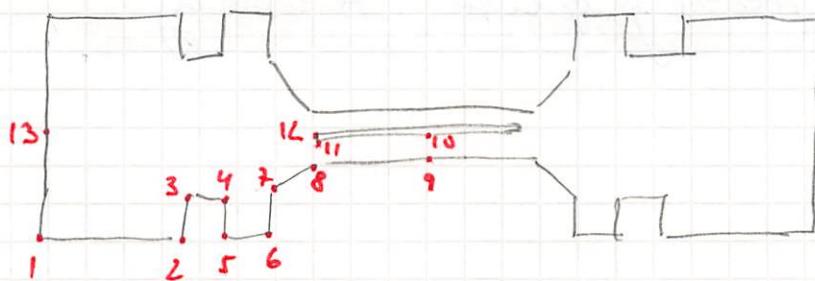
große Strukturen

2.



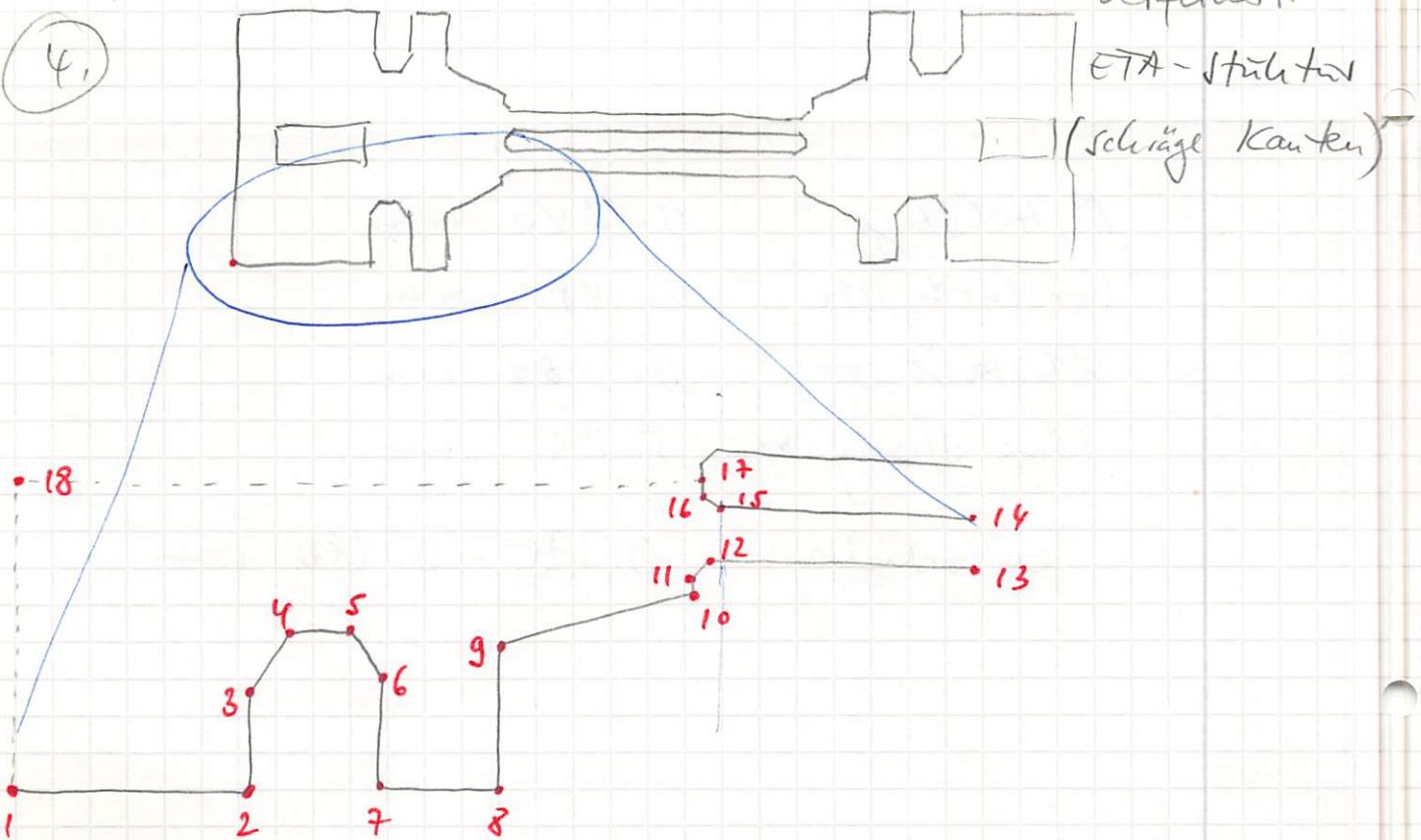
große Strukturen
mit
Verjüngung

3.



große
ETA-Strukturen

4.



Keypoints der versch. Strukturen:

No.	X-Koord	Y-Koord	
(1.)	STRUOP 1	(große Struktur)	
1	0	0	Alle Angaben in [mm]
2	3.7	0	
3	3.7	1.12	
4	6.3	1.12	
5	6.3	1.36	
6	3.7	1.36	
7	3.7	1.45	
8	0	1.45	

(2.)	STRUOP 2	(gr. str. mit Verjüngung)	
1	0	0	$L = 15$
2	3.7	0	
3	3.7	0.9	
4	4.9	1.12	
5	7.5	1.12	
6	7.5	1.36	
7	4.9	1.36	
8	4.9	1.45	
9	0	1.45	

(3)

STRUOP 3

(grado ETA - Jumlah)

No.	X-Coord	Y-Coord.	Bem.
1	0	0	
2	2.5	0	
3	2.5	0.85	
4	3.1	0.85	
5	3.1	0	
6	3.7	0	
7	3.7	0.9	
8	4.9	1.12	
9	7.5	1.42	
10	7.5	1.36	
11	4.9	1.36	
12	4.9	1.45	
13	0	1.45	

(4.) STRUOPY

(feine ETA-Spannung)
DETF2

No.	X-Koord	Y-Koord	
1	0	0	
2	2.5	0	
3	2.5	0.42	
4	2.6	0.85	
5	3.0	0.85	
6	3.1	0.42	
7	3.1	0	
8	3.7	0	
9	3.7	0.897	
10	4.87	1.002	
11	4.87	1.055	
12	4.923	1.108	
13	7.5	1.108	
14	7.5	1.347	} 0.239
15	4.923	1.347	
16	4.87	1.400	
17	4.87	1.437	Höhe =
18	0	1.437	2.874

DETF4 : ETA-Stimmungstabelle mit Verstärkungsstufen

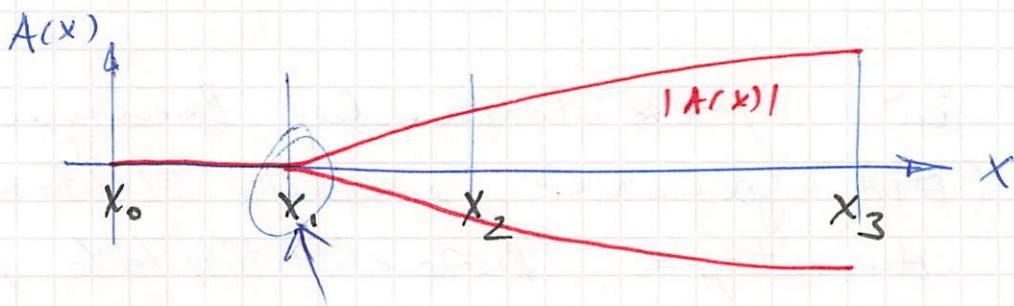
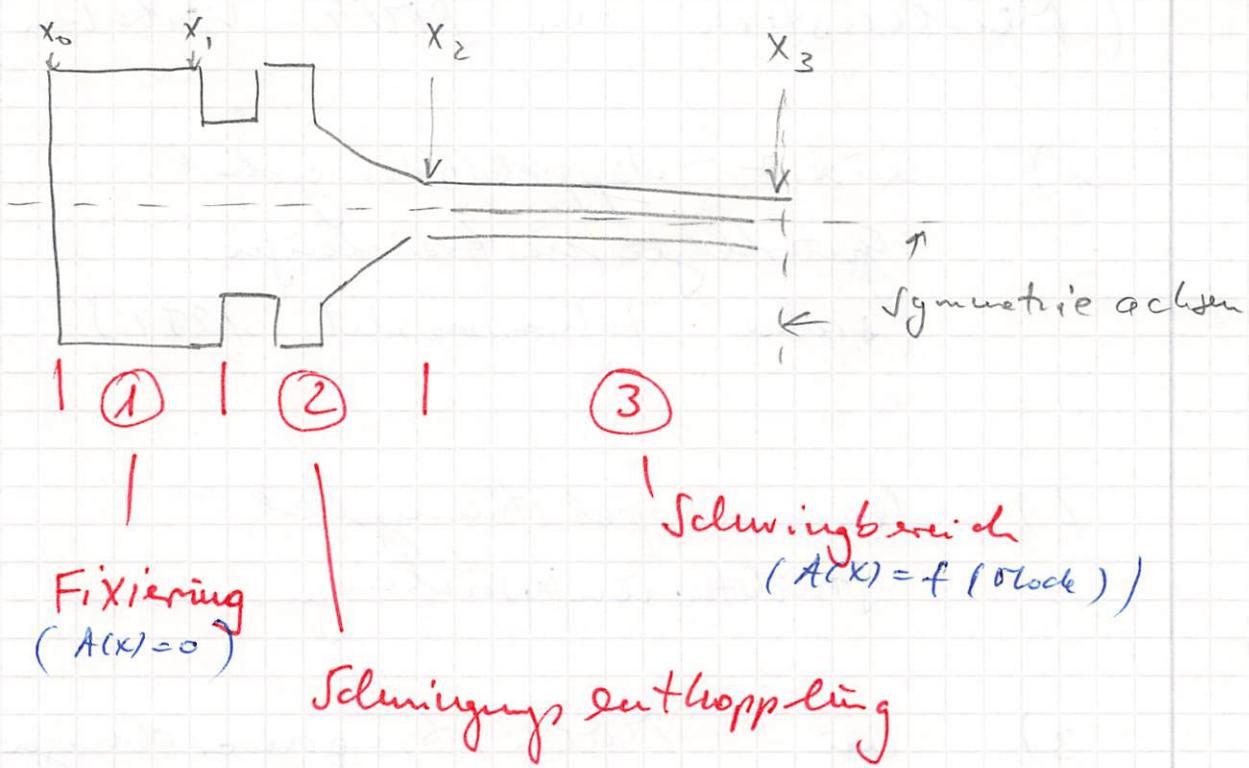
No.	X-Koord.	Y-Koord.	Bem.
1	0	0	
2	2.5	0	
3	2.5	0.42	
4	2.6	0.85	
5	3.0	0.85	
6	3.1	0.42	
7	3.1	0	
8	3.7	0	
9	3.7	0.295	
10	7.5	0.295	Verstärkungsstieg (0.480 mm)
11	7.5	0.775	
12	3.7	0.775	
13	3.7	0.897	
14	4.87	1.002	
15	4.87	1.055	
16	4.923	1.108	
17	7.5	1.108	
18	7.5	1.347	
19	4.923	1.347	
20	4.87	1.400	
21	4.87	1.437	
22	0	1.437	

FETI-Simulationen bis 4.7.90:
(Meilensteine im BMFT-Vorhaben)

- 1) Au^+ - Doppelschichtmodelle
Grundlagen untersuchen.
(siehe Fachbericht 1989)
- 2) Au^- - Doppelschichtmodelle
Strukturen untersuchen
- 3) Au^- - Multistromanordnungen
- 4) Au^- - piezo elektrische Berechnungen
(ETA-Geometrie, einfache Elektrode
anisotropie, Piezoelektrizität)

(vom 20.4.90)

Querant - Struktur untersuchen



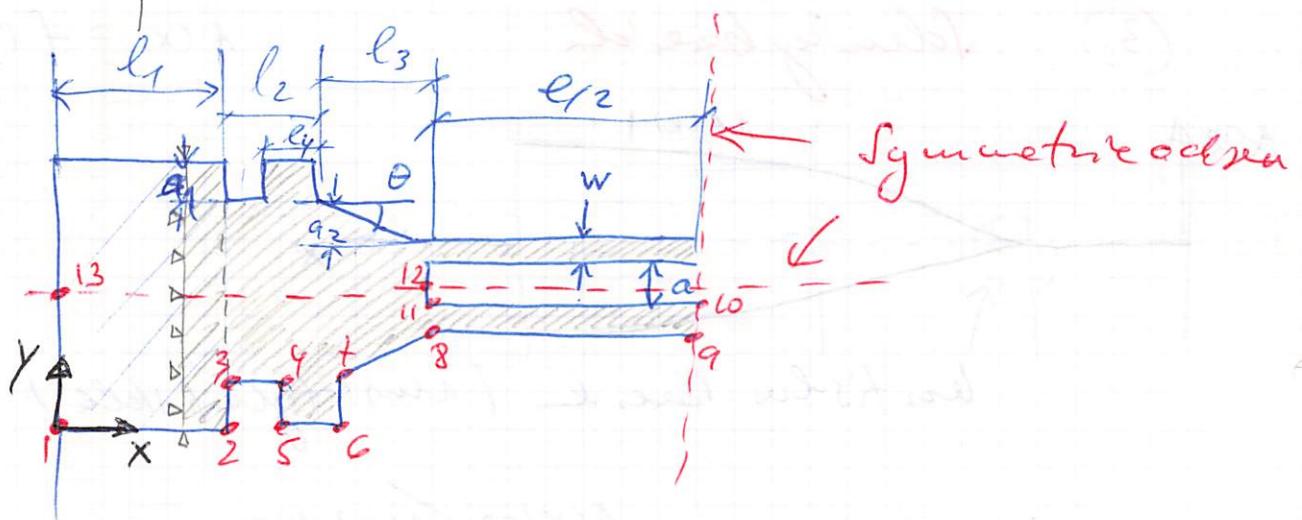
Kritischer Bereich
(Unstetigkeitsstelle)

$$\begin{array}{c|c} \xleftarrow{A(x)=0} & \xrightarrow{|A(x)| \neq 0} \end{array}$$

DET - Parameter:

ETA-Param. [mm]

- 0.125 t : Dicke (thickness)
- 0.240 w : Stegbreite (width)
- 5.2 l : Stahlriegel Länge
- 2.5 l_1 : Fixierungs Länge (Fixing length)
- 1.2/0.6 l_2/l_3 : Entfernung zwischen den Stegen
- 1.2 l_3 : Verjüngungsstiel Länge
- θ : Verjüngungswinkel ($\tan \theta = \frac{q_2}{l_3}$)
- 0.18 a : Steg Abstand
- 0.9/0.22 q_1, q_2 : Entfernung zwischen den Stegen



$$15.0 \quad l_g = (l_1 + l_2 + l_3 + e_{1/2}) \cdot 2 \quad ; \text{ Gesamtlänge}$$

$$2.9 \quad a_g = (q_1 + q_2 + w + q_{1/2}) \cdot 2 \quad ; \text{ Grasf. Breite}$$

Param. konstant lassen: $t = 0.125 \text{ mm}$

t, l_1, a .

$l = 5.15 \text{ mm}$
(siehe ETA)

Parametrisierte Keypoints: (DETF2)

No	X - koord	Y - Koordinate
1	0	0
2	ℓ_1	0
3	ℓ_4	a_1
4	$\ell_1 + \ell_2 - \ell_4$	a_1
5	$\ell_1 + \ell_2 - \ell_4$	0
6	$\ell_1 + \ell_2$	0
7	$\ell_1 + \ell_2$	a_1
8	$\ell_1 + \ell_2 + \ell_3$	$a_1 + a_2$
9	$\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_w/2$	$a_1 + a_2$
10	$\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_w/2$	$a_1 + a_2 + w$
11	$\ell_1 + \ell_2 + \ell_3$	$a_1 + a_2 + w$
12	$\ell_1 + \ell_2 + \ell_3$	$a_1 + a_2 + w + a/2$
13	0	$a_1 + a_2 + w + a/2$

Parameter - Variation:

w ($\rightarrow \ell_w, w/2$)

a_1 / ℓ_2

a/w

a_1 / a_2

ℓ_2 / ℓ_4

$a_1 + a_2 / a$

ℓ_2 / ℓ_3

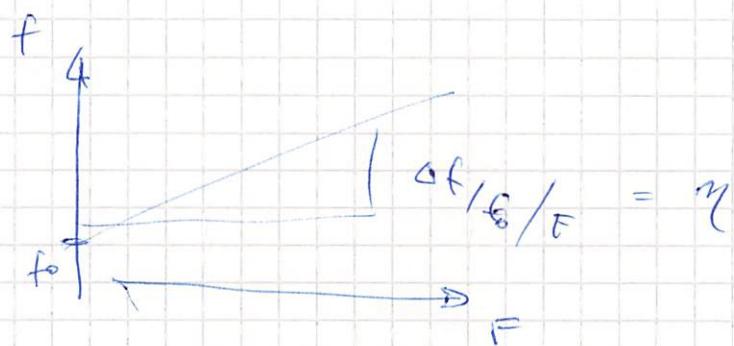
$(\ell_2 + \ell_3) / e$

a_2 / ℓ_3 ($\rightarrow \Theta$)

Berechnung von:

- Eigenfrequenzen (10 Stück)
- Eigenformen (ϕ_i)
- Kraft-Kennlinien $\eta(\phi_i)$
- Anordnungen (u_x, u_y)
- stat. Belastungen
 - stat. Belastungen (F_y, F_z)
 - Spanngürteln
 - Spannungsgradienten
- Temperaturabhängigkeit $f(T), \eta(T)$
- 3D-Modellierung a) mechanisch
 - b) temp
 - (c) elektrisch

↳ Piëzo.



2.5.90

Mögliche Anregungsmechanismen für resonante Feinstruktur:

- ① piezoelektrisch (Quarz, Si-ZnO)
- ② thermisch (Piezowiderstände, CWL-optisch)
- ③ kapazitiv (elektrisch)
- ④ akustisch (zum Anstreben d. Strukturen)
- ⑤ elektromagnetisch (— u —)

Hinzu erforderlich:

- Literatur recherchieren
- Klärung der Anregungsmechanismen
- Koordination mit Verbundpartnern

DETF:

Resonanzfrequenz

$$f_0 \approx k \frac{t^*}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

($k \approx 1.71$)
für ETA - Block:
gefüllt

Soll.

ETA - DETF2: (Quarz)

$$t = 0.125 \text{ (mm)} 0.18$$

: Dicke

$$l = 5.15 \text{ (mm)}$$

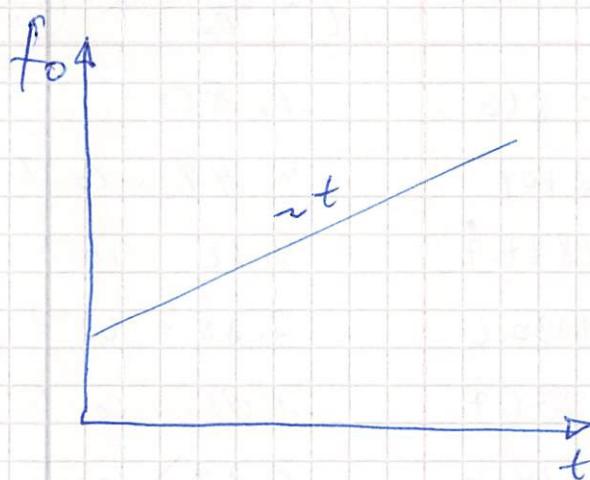
: Länge

$$E = 0.87 \cdot 10^5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]^{0.87 \cdot 10^5}$$

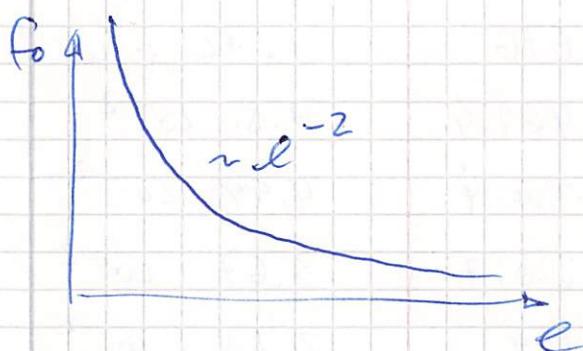
: E-Modul

$$\rho = 2.65 \cdot 10^{-9} \left[\frac{kg}{mm^3} \right]$$

: Dichte



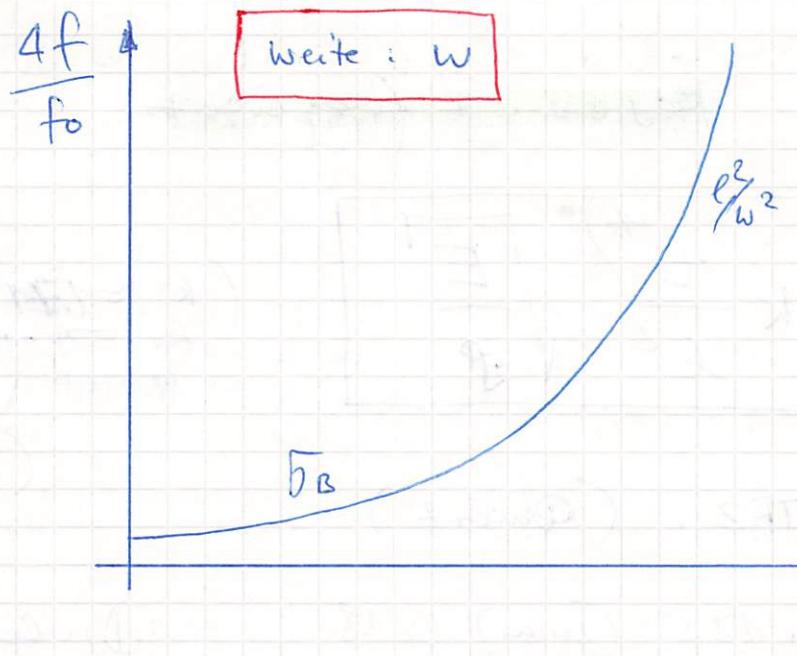
$$f_0 \approx 3.736 \cdot 10^5 \text{ } (t)$$



$$f_0 \approx 1.239 \cdot 10^6 \text{ } \left(\frac{1}{l^2} \right)$$

* Anmerkung:
(15.8.90)

Statt t muss in obige Gleichung
w eingesetzt werden, da Schwingung
in Balkenebene (Quarz) statt-
findet. $\Rightarrow (k \times 1.2)$



ETA: $l = 5.2 \text{ mm}$ $l/w = 21.6$

w [mm]	l/w	l^2/w^2	$\eta = \frac{\delta f}{f_0} = \bar{k} \left(\frac{l}{w}\right)^2 w/t$	
0.05	104	10.816	1.80	0.40
0.10	52	2704	$4.49 \cdot 10^{-1}$	0.80
0.12	43.3	1877.7	$3.12 \cdot 10^{-1}$	0.96
0.185	41.6	1730.6	$2.88 \cdot 10^{-1}$	1.0
0.15	34.6	1201.7	$1.99 \cdot 10^{-1}$	1.20
0.18	28.8	834.6	$1.39 \cdot 10^{-1}$	1.49
0.20	26	676	$1.12 \cdot 10^{-1}$	1.60
0.216	21.6	469.4	$7.8 \cdot 10^{-2}$	1.82
0.30	17.3	300.4	$4.99 \cdot 10^{-2}$	2.40
0.35	14.9	220.7	$3.67 \cdot 10^{-2}$	2.80
0.40	13	169	$2.81 \cdot 10^{-2}$	3.20
0.45	11.5	133.5	$2.22 \cdot 10^{-2}$	3.60
0.50	10.4	108.16	$1.80 \cdot 10^{-2}$	4.00

$$\bar{k} = 0.148 \cdot \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{wt} \simeq 0.148 \frac{60}{E} \stackrel{!}{=} 1.66 \cdot 10^{-4}$$

DETF:Kraft- und frequenzschwund

(aus rapport condensé, TSULABIA, Niedelstet)

$$\frac{\Delta f}{f_0} = 0.148 \left(\frac{l^2}{w^2} \right) \cdot \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{wt} \quad (\text{Zügg '85})$$

l: Stahlgabel Länge

w: Stahlgabel Breite

t: Stahlgabel dicke

E: Young'scher Modul

F: Kraft [N]

ETA:
5.15 mm

0.240 mm

0.125 mm

0.89. 10⁵ $\frac{N}{mm}$ ETA - Parameter (DETF2)

$$\frac{l}{w} = \frac{5.15 \text{ mm}}{0.240 \text{ mm}} = 21.46$$

$$\frac{\Delta f}{f_0} \Big|_{F=1N} = 2.552 \cdot 10^{-2} = 2.55 \% /N$$

Messungen zw. FEM - Werte:

[%/N]

• BITERBA: $\eta = 1.42$ • UNVERDROSS: $\eta = 1$ • TSULAB: $\eta = 1.37$ • FEM: $\eta = 1.78 - 1.80$

$$l = \varepsilon_{12}: \frac{\Delta f}{f_0} \Big|_{\sigma_0 = 100 \frac{N}{mm^2}} \approx 7.8 \%$$

Maximale Belastung bei ETA
für Bruchspannung σ_0

Dez. 89

Welche Daten sind über den ETA-festen Schalltr.

Quellen:

[1] : eigene Messungen der Geometrie im PFMU, durch Werner Hartig
(→ Entfernung eigener Marken mit AutoCAD)

[2] : Messung der Resonanzfrequenz f_r
Bei Fz. BitterBA mit Kraftanzeige über Hebelzähler

[3] : MC-Datenblatt, ETA / Grenzen

[4] : Rapport condense', (ETA) - ASUCA B S.A.

[5] : UNVERDROSS - große technische Repro-protokoll (Statistik); Resonanzfrequenzen

[6] : Siche AutoCAD - Dateien u. ähnliche

[2] : Messungen - BitterBA: (22.4.-89)

- $f_0 \approx 47.025 \text{ kHz}$
- Vorspannung ca. 12 g
 $\rightarrow f_0' = 46.8379 \text{ kHz}$
- $\eta = 1.42\% / N$

(3) MC - Quartz force transducer (DETF):

DETF 2 - Geometrie

- Frequenz. Range (typ) : 30 - 100 kHz
- Force sensitivity : $10^{-100} / N$
- Dynamic range : $50^{\circ}/100$
- resolution : $10^{-9} - 10^{-5}$
- resonance freq: $f_0 \approx 47 \text{ kHz}$

(5) UNVERROSS-Technik, §130 Standard

$$\bar{f}_{res} = 46,7862 \text{ kHz}$$

$$\begin{cases} f_{min} = 46.647 \text{ kHz} \\ f_{max} = 46.9025 \text{ kHz} \end{cases}$$

- Luftdruck: 1 atm $\approx 760 \text{ Torr}$

(4) ASULAB S.A., Neuchâtel / CH (1984)

$$f_0 \approx 46.9 \text{ kHz}$$

$$4f = 815 \text{ Hz} \quad (\text{Sei } 5N)$$

$$\eta = 0.35 \% / N \quad (\text{DETF8})$$

Messung:

$$f_0 = 48,385 \text{ kHz}$$

$$4f = 665 \text{ Hz} \quad (\text{Sei } 1 \text{ kg}) = 9.81 \text{ N}$$

$$\eta = 1.4 \% / N$$

$$F = 0 - 10 \text{ N}$$

- Auflösung: 1000 Punkte
- Linearität: 0, 1% / FS

Zings (1985): DETF9

- $\eta = 4,2 \%_0 / N \quad (3,5 \%_0)$
- Repetitionsgenauigkeit: 0,6 %
- Linearität: 0,1% $(0 \leq F \leq 5N)$
- $\ell(w) = 25$
- $\sigma_B \approx 10^8 N/m^2 = 100 N/mm^2$
(Bruchspannung für Quarz)

$$\left(\begin{array}{l} \rho = 2650 \text{ kg/m}^3 \\ E = 8,67 \cdot 10^{10} N/m^2 \end{array} \right)$$
- Schlechtempfindlichkeit: ca. 20000 g
 $(4T = 100 - 300 \mu\text{sec})$

ETA

DETF2

DETF4

Bemerkung

Frequenzbereich

30 - 100 kHz

ditto

 η $\approx 8 \text{--} 10 \text{ } \mu\text{N}$

1 - 4 % / N

1 - 4 % / N

Hersteller

gemessen

+ FETI-Rechn.

 F_{max}/G_B

6 N

18 N

Dynamik
Weite

50 %

?

Anfangs

 $10^{-4} \text{ -- } 10^{-5}$

ditto

F

0 - 5 N

0 - 10 N

abhängig von
Konstruktion

fres

47 - 49 kHz

ditto

2. Rode

Kraft-
intensität

1 : 51.067

(ditto)

Hebelleiter
(Fe, BITERBA)

Cr-An

200 / 2000 Å

ditto

Stegbreite
W

0,240 mm

0,240 / 0,480 mm

mit Verz.

Dicke

0,125 mm

ditto

w/t

1,92

1,92 / 3,84

l/w

21,46

ditto

l

5,15 mm

5,15 mm

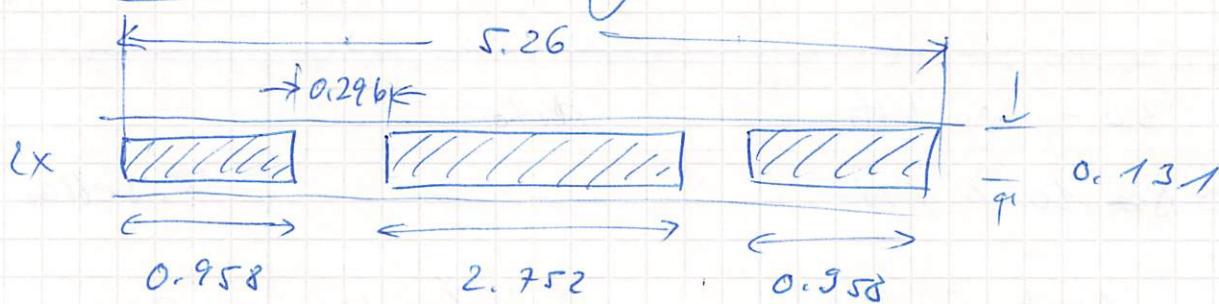
Flugabsturzlage

Quarz-
SchnittZ-Schnitt
5° verdreht

ditto

höchste
Atraten

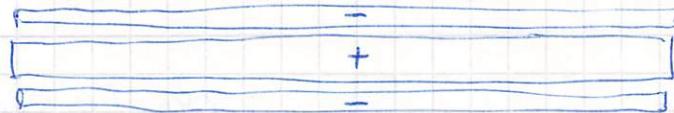
Goldkontakteing: [mm]



Gesamtfläche

$$\begin{aligned}
 A &= (0.958 \times 0.131) \times 2 + (2.752 \cdot 0.958) \\
 &= 0.250996 + 0.360512 \\
 &= 0.611508 \text{ [mm}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

neu! 2 : Aodesante = 1,223 mm²

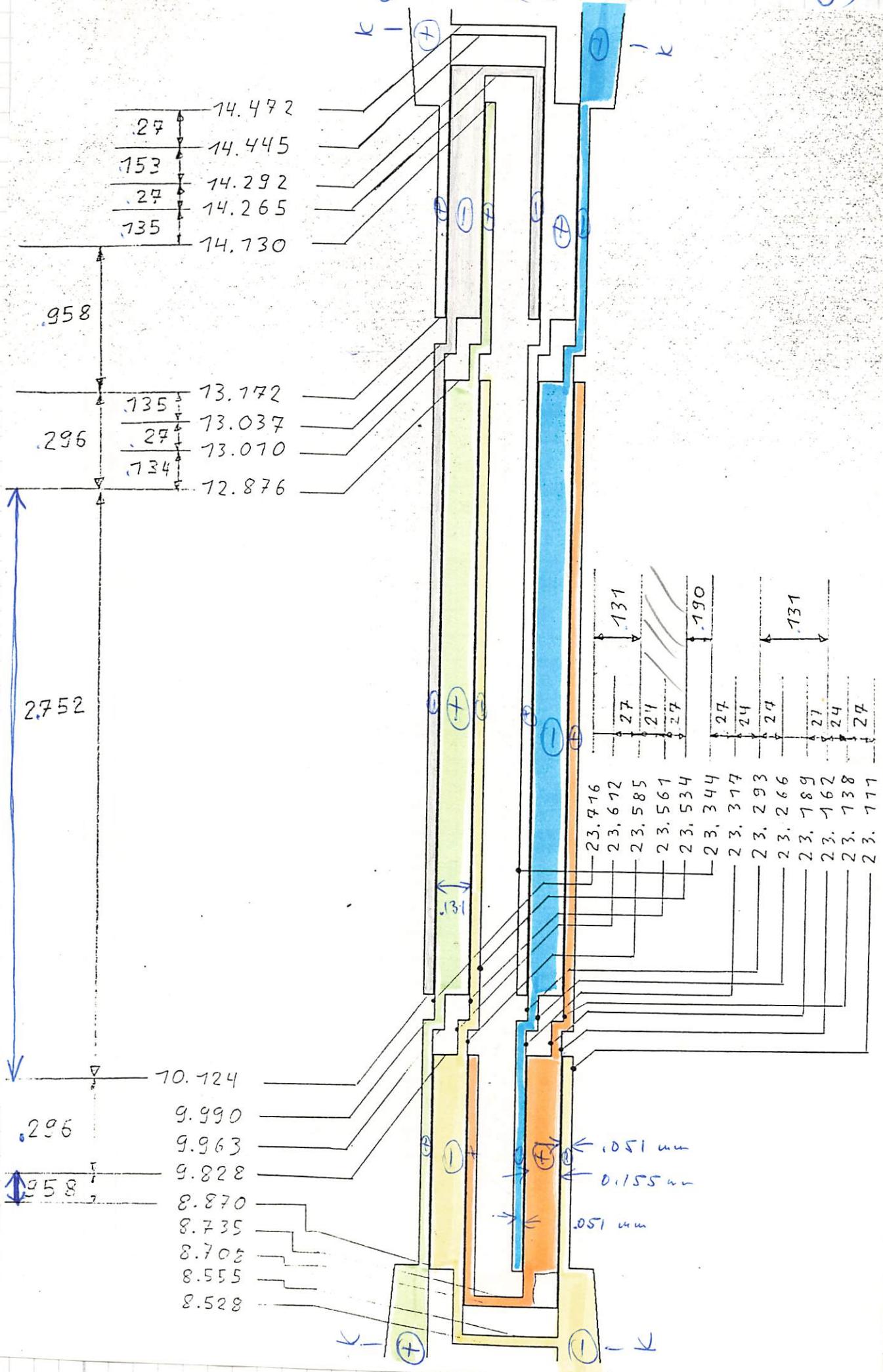


Verhältnisse:

long: $0.296 : 0.958 : 2.752$
 1 : 3,2 : 9,3

transv: $0.027 : 0.131$
 1 : 4,85

Gold Kontaktlösung: (gemessen W. Hartig)



17.1.90

Vergleich d. Kreftampsf. η :

① Zings: $\eta = \frac{2.2 \text{ kHz}}{46.75 \text{ kHz}} /_{10N} = 4.7 \% / N$

(DETF4, 3.5 - 4.2 % / N im Text)

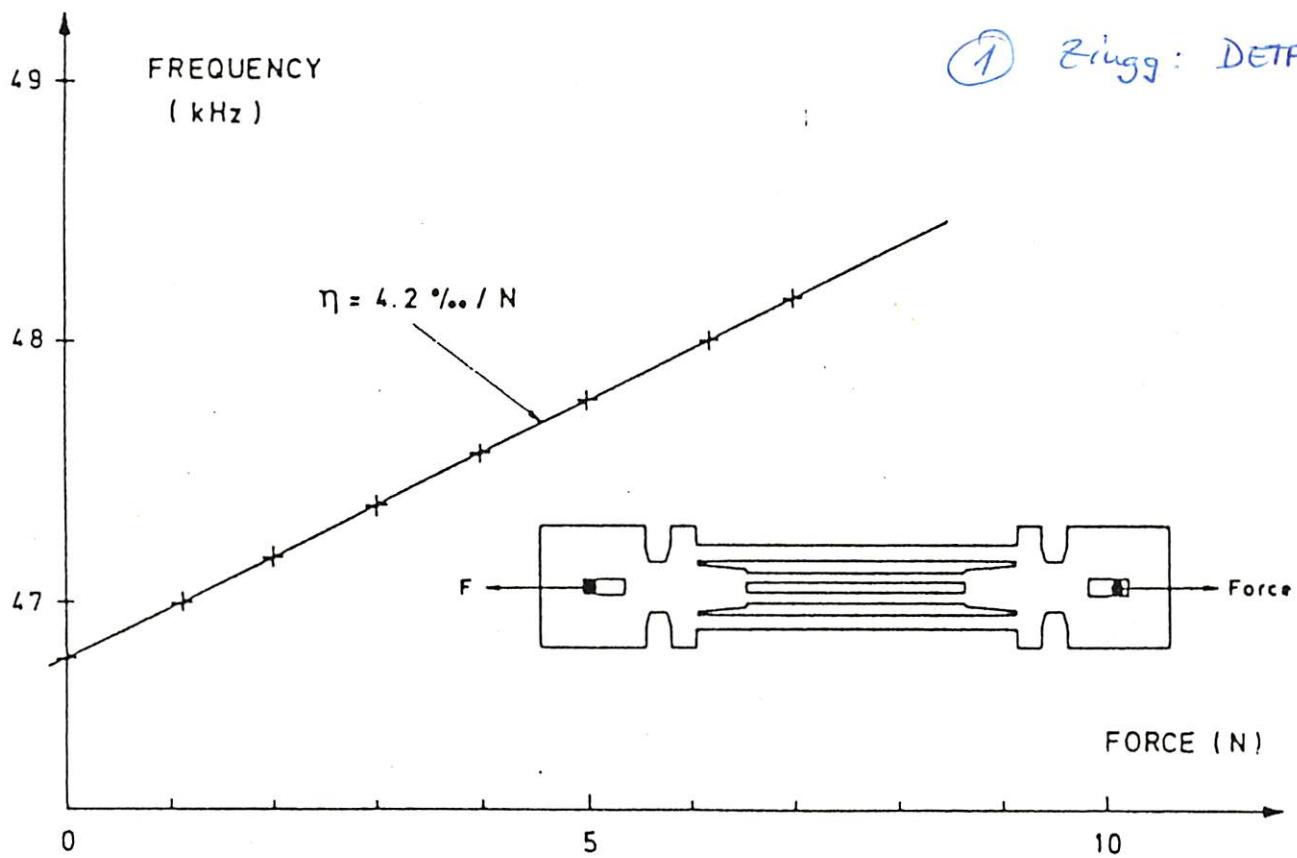
② Bitterba: $\eta = \frac{3.24 \text{ kHz}}{47 \text{ kHz}} /_{5N} = 1.37 \% / N$

③ NC-Datenblatt: $\eta = \frac{2.2 \text{ kHz}}{47 \text{ kHz}} /_{5N} \approx 9.36 \% / N$

④ AZULAB: $\eta = \frac{665 \text{ Hz}}{48385 \text{ Hz}} /_{10N} = 1.37 \% / N$

(rapport corbeau', 24.6.86 JRL vol 12. no. 84)

Angesehen ②, ③ und ④ für DETF2.

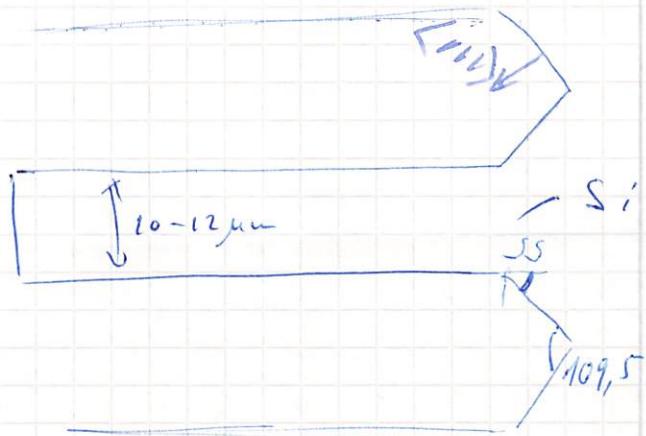
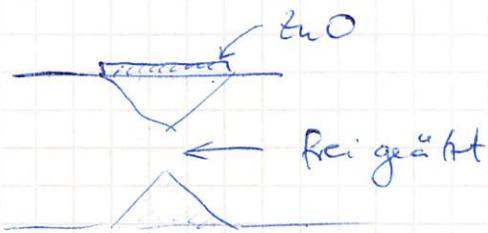
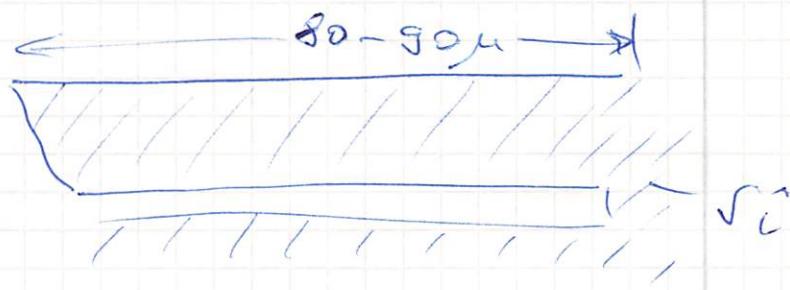
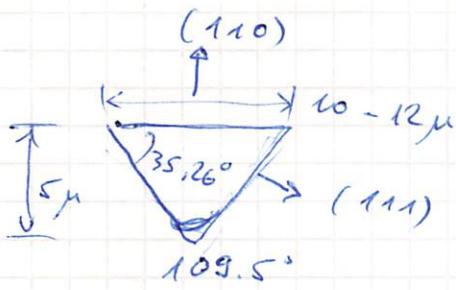


Verhalten einer Quarz-Doppelstimmgabel als Funktion der angelegten axialen Kraft.

3. 5. 90

Silizium - Frage:

Hergestellt von Dr. Alavi und Axel Schle,
mit Nd:YAG - Beschuss \rightarrow Amorphisierung von Si und anschließender
anisotroper Anneal (Standard KOT):

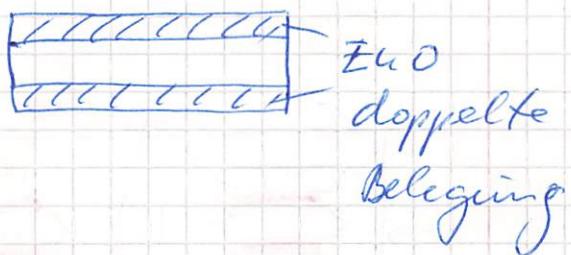
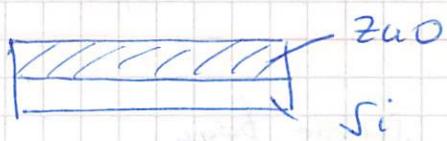


FEM:

- Einfluss d. Querschnittsfläche ∇ oder \square
- Bereich d. EF und Eigenmoden
- Kristall als Längenzug
- Schwingung amplitüden
- Wie groß ist Fmax bis Bruch reicht?
- Modusselection durch Strukt. optimierung
- Maßgrößen einerleitung: ρ , F , etc.?

Si-ZnO - Strukturen:

Aufgaben vom
20. 1. So

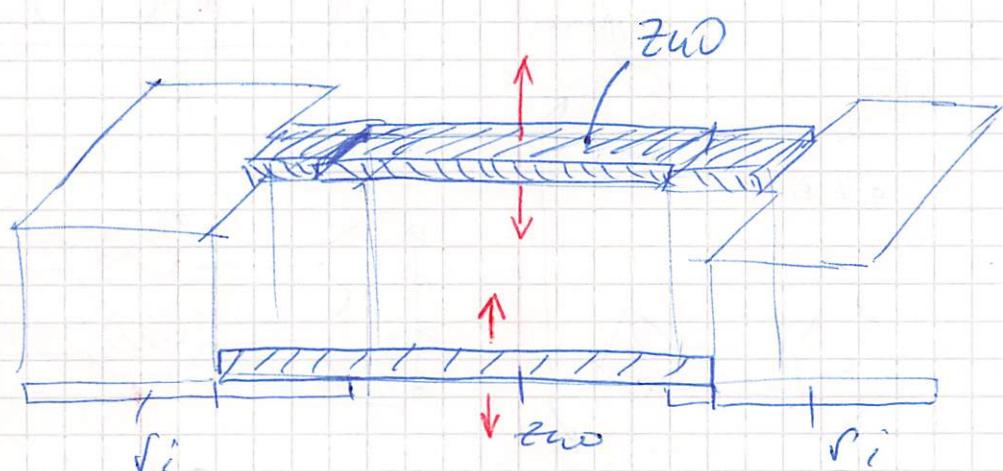
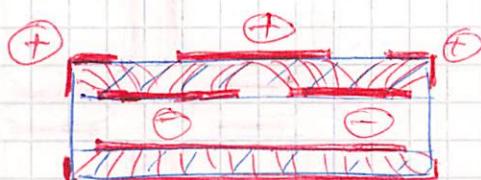
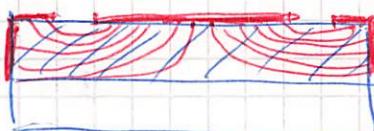
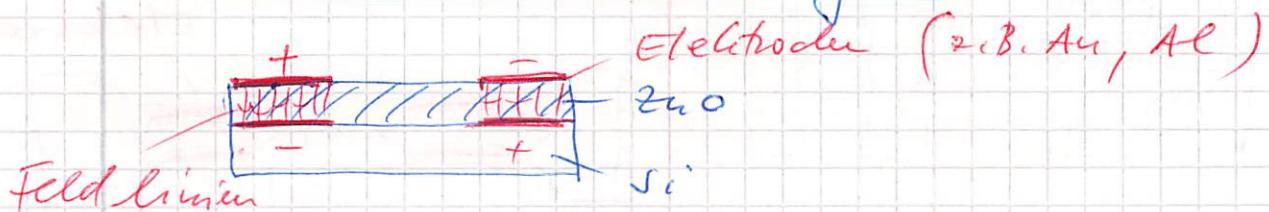


Frage:

Verhältnis der
Schichtdicken

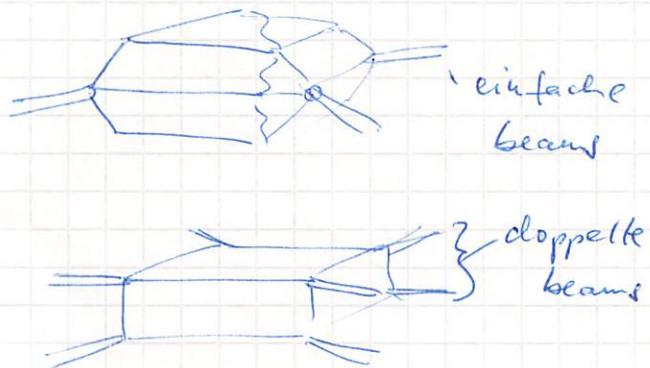
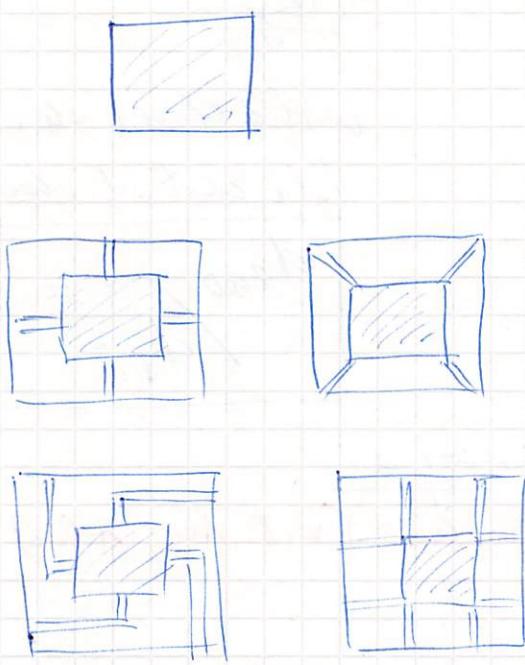
$$\frac{d_{\text{ZnO}}}{d_{\text{Si}}} = K$$

Elektrodenkontaktierung:

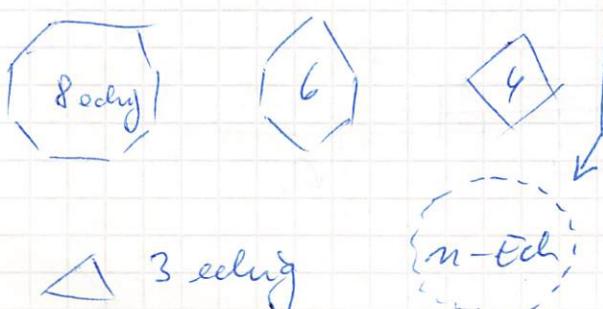
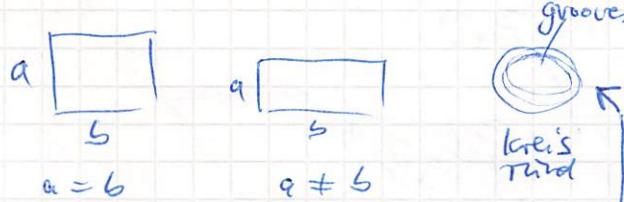


grund legende verarbeitete Strukturen:

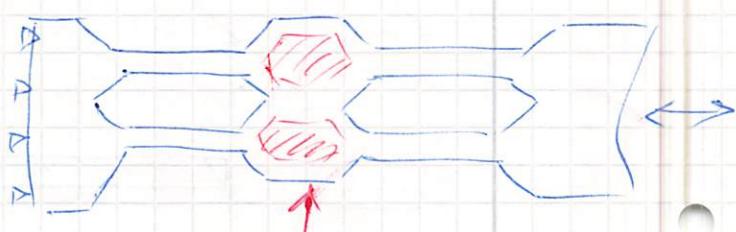
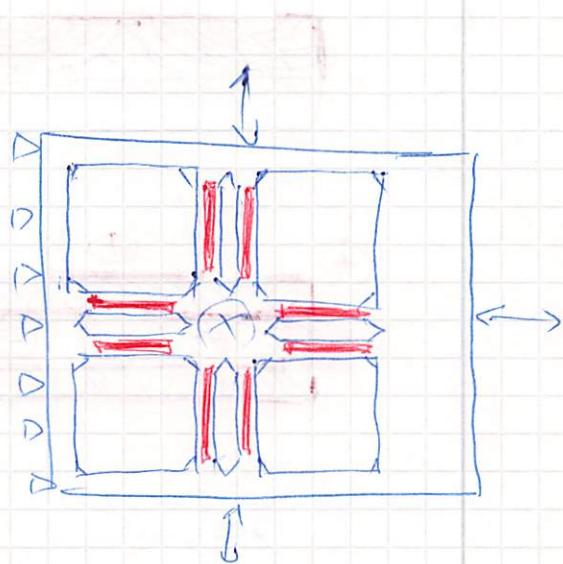
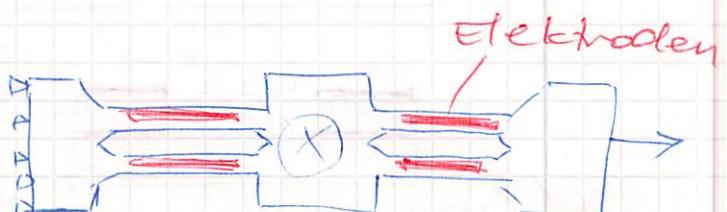
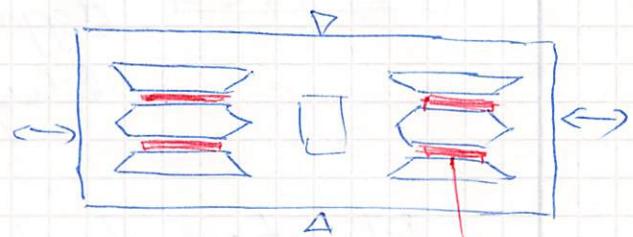
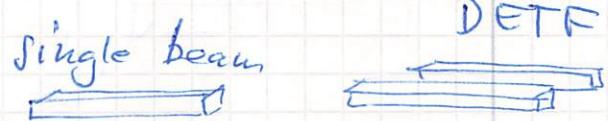
Membranartig



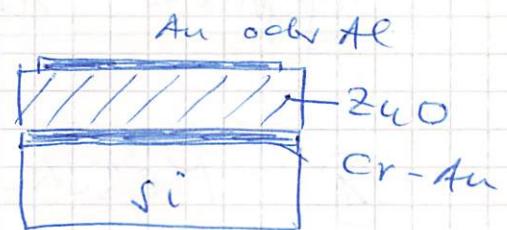
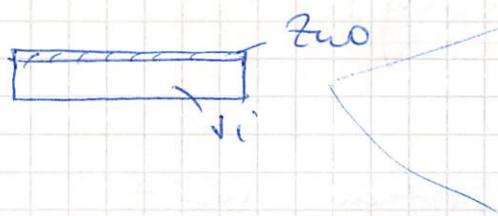
asymmetrische Membrane;



Bakterienförmig



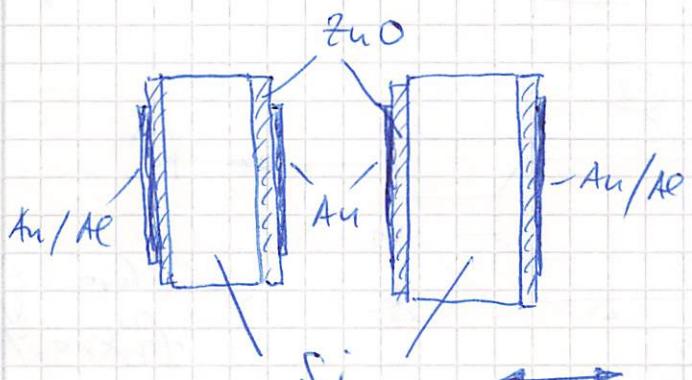
*Schwingende
"Membran"*



- a) einseitige ZnO - Schicht }
- b) beidseitige - - - - - }

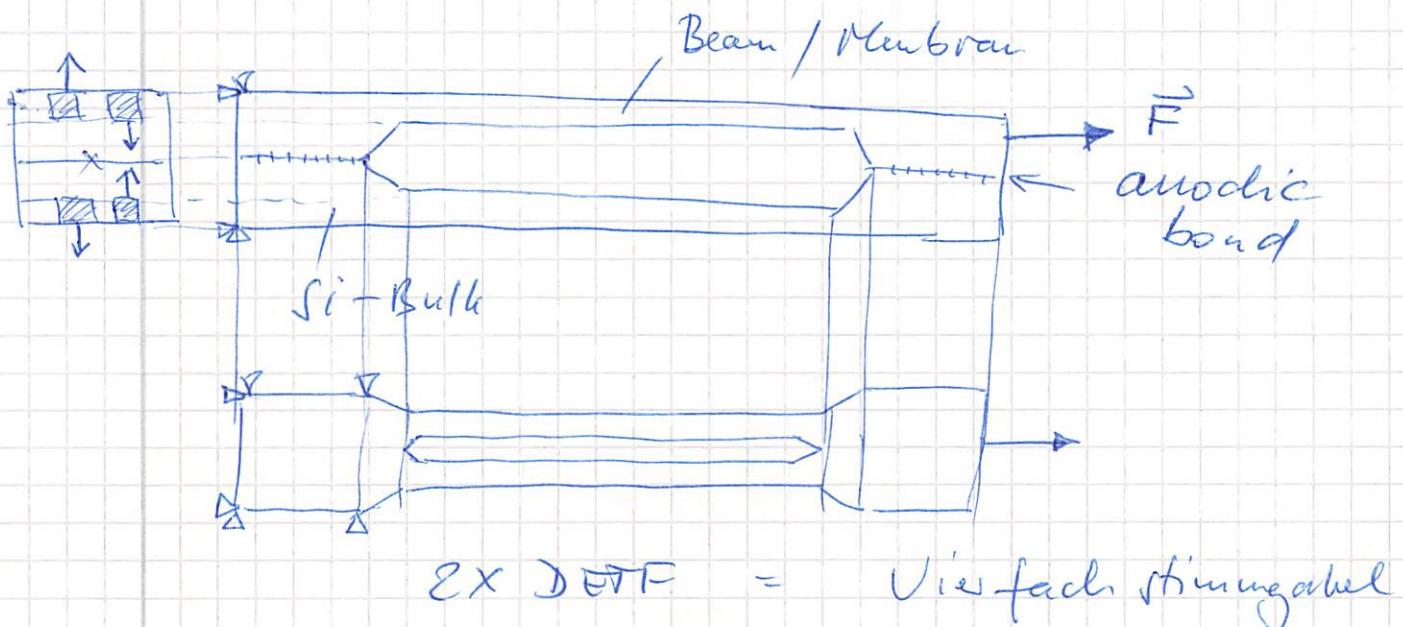
Effizienz
oder Ausgang

Seitliche Berührbelastung (?)



(seitliche
Elektroden kon -
taktierung
bei Quarz - DETF.)

schwingsungsrichtung



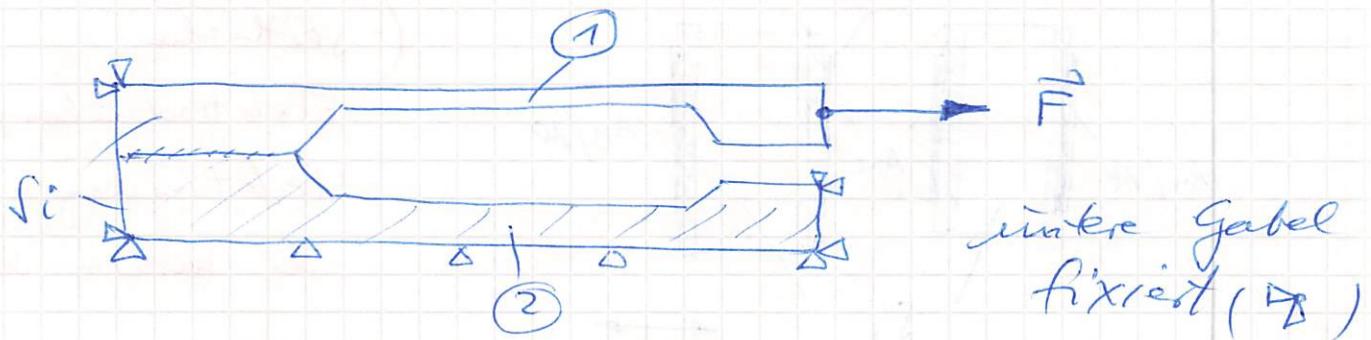
Doppelte Anordnung:

①

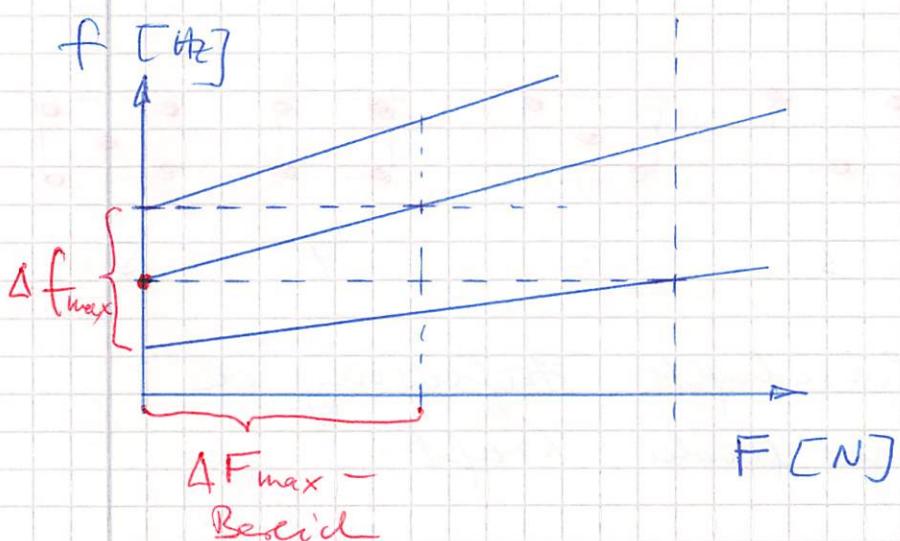
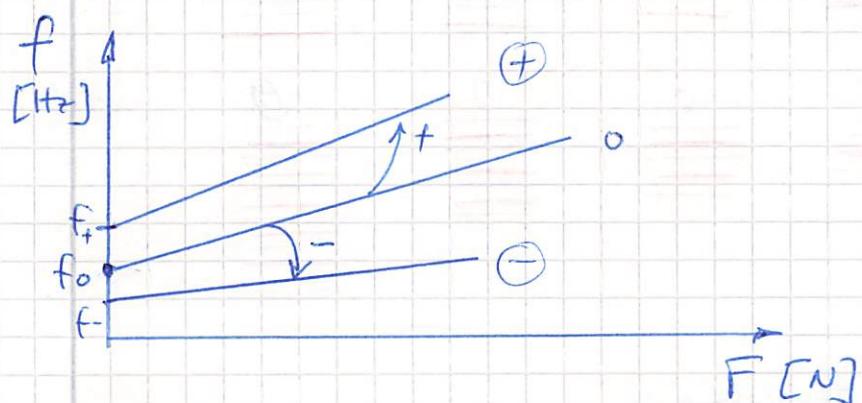
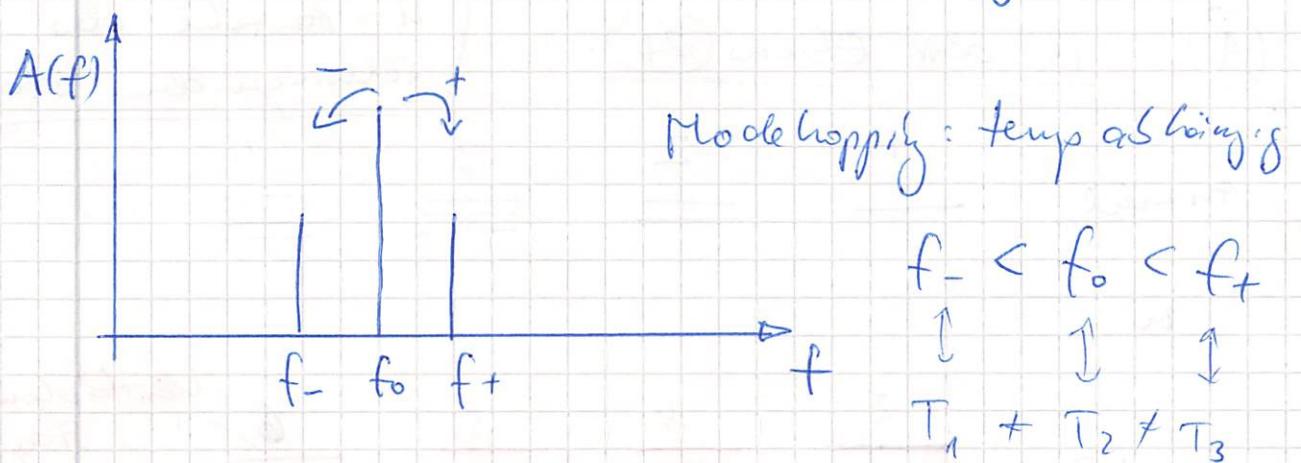
Messturmagesystem mit
Kraftbeanspruchung \vec{F}

②

Referenzsturmagesystem zur
Temps. Kompensation
(fixiert: keine Kraft einflüsse)



Ausnutzen des Modehopping's:



Damit keine gleichen Frequenzenrete f_i bei versch. Röden auftreten können, ist der max. Kraftbereich ΔF_{\max} beschränkt:

- Ablauf:
- extrem flache Kurvenlinie für alle 3 Röden (f_-, f_0, f_+)
 - genug große Frequenzabstände: $f_- \ll f_0 \ll f_+$

Multistring-Anordnungen:

A) in der Ebene (2D):

$n = \text{Anzahl der schwingenden Stege}$

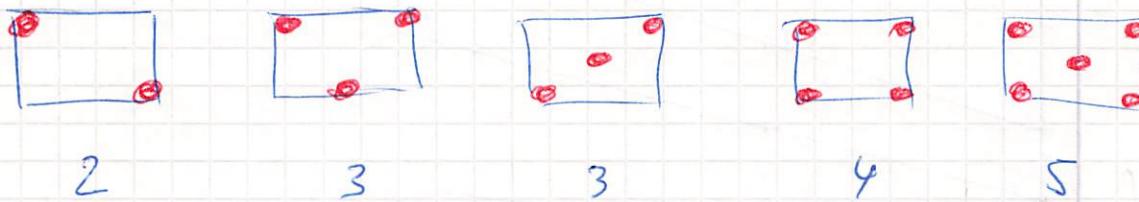
Anzahl 1 2 3 4 ...

n

	3	4	5	6	Verstärkungs- steg
$n+2$...
$2n-1$					11

B)

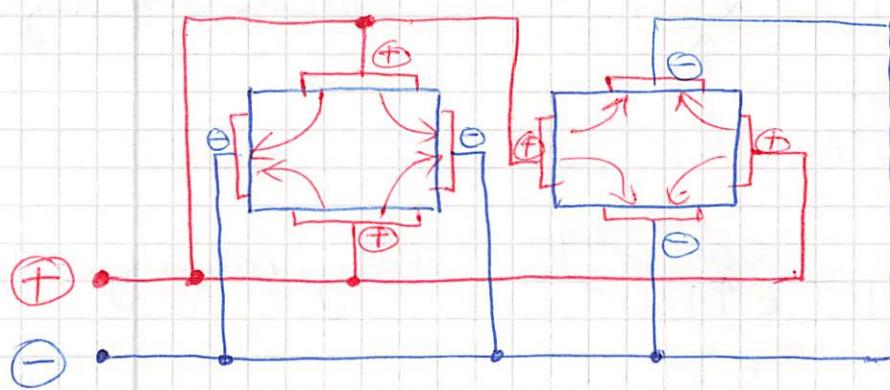
3dim Anordnung:



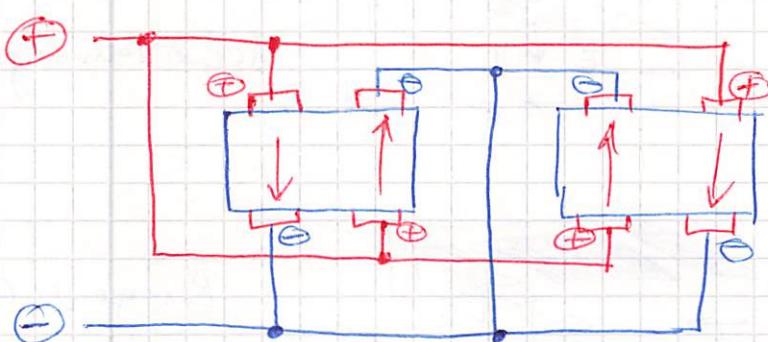
→ flächenlaste Auflösung der angreifenden Kraft.

26.12.87

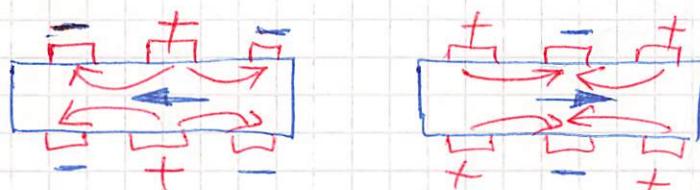
Quarz - Elektrodenanordnungen



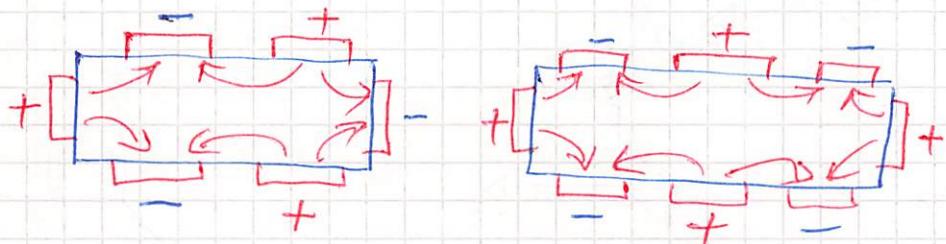
$Z + Z^\circ X$ Quarz
(Tomikawa, 1978)



$Z + 40^\circ X$
 LiTaO_3

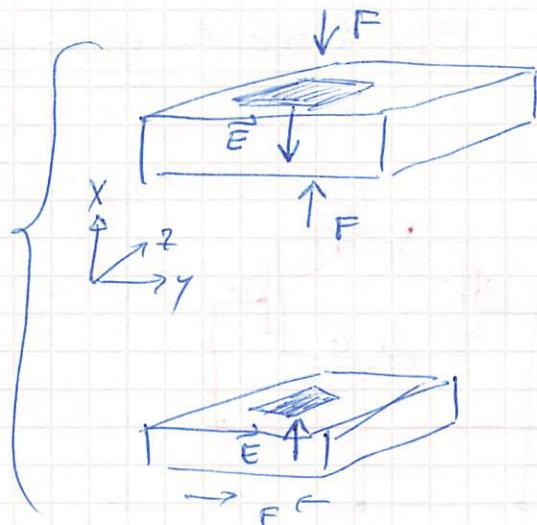


$Z + 2^\circ X$
Quarz
(Tomikawa, 1980)

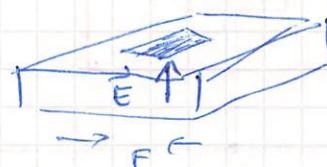


9.5.90

X - Schnitt

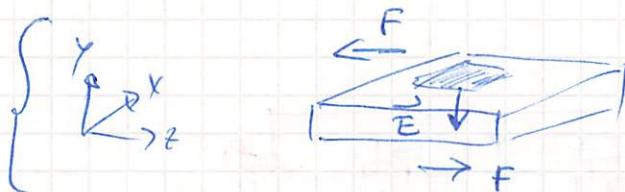


Dicken schwinger



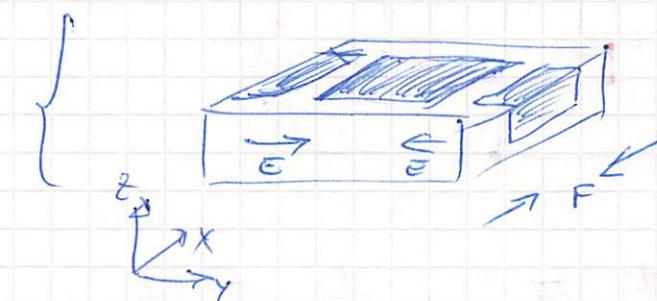
Längsschwinger

y - Schnitt



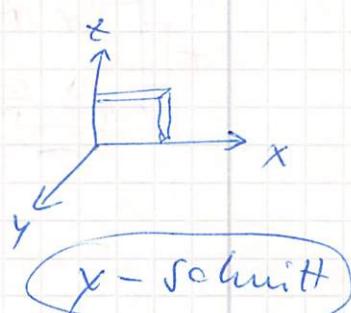
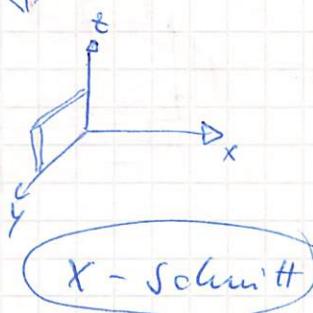
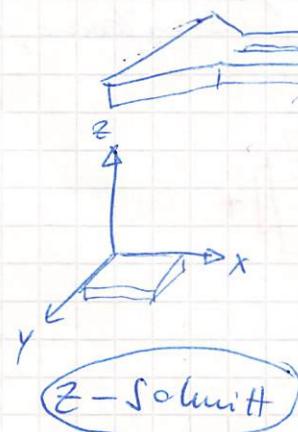
Scherschwinger

z - Schnitt



Biegeschwinger
(Torsion)

3D - Modellierung:



Maximale Flächenkraft bei Sensorsensoren

$$\frac{f_f}{f_0} = 0.148 \left(\frac{l}{w}\right)^2 \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{F}{wt}$$

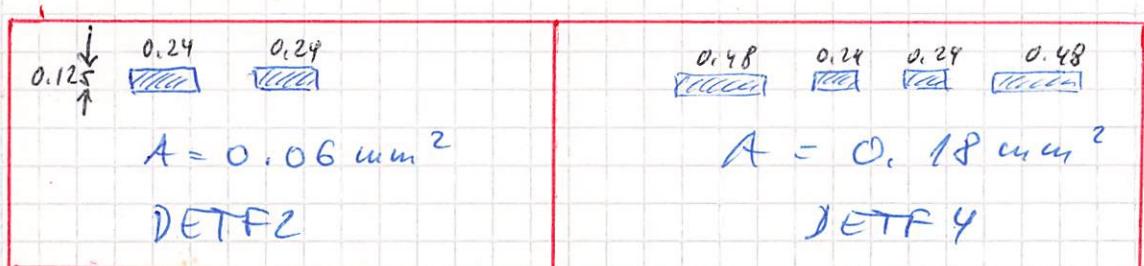
$$\frac{F}{wt} = \frac{F}{A} = \sigma \leq \sigma_B : \text{Bruchspannung}$$

$$F_B \leq \sigma_B \cdot A$$

DETF2: $F_B \leq 100 \frac{N}{mm^2} \cdot 0.125 \cdot 0.480 mm^2 \leq 6 N$

DETF4: $F_B \leq 100 \frac{N}{mm^2} \cdot (0.125 \cdot 0.48 \cdot 3) mm^2 \leq 18 N$

Ableitbereiche: 0 - 5 N bzw. 0 - 15 N



Max. Kraft an Multispring Sensor:

n	A [mm ²]	F = σ _B · A [N]
1	0.03	3
2	0.06	6
3	0.09	9
4	0.12	12
5	0.15	15
6	0.18	18
7	0.21	21
8	0.24	24