

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT  
FÜR FEINGERÄTE-, MIKRO- UND UHRENTCHNIK E.V.  
STUTT GART**

FemCon international G.m.b.H.

Bomhardstraße 5 a

z.Hd. Herrn Wieloch

8022 Grünwald/München

D 7730 VS-Villingen  
Warenburgstr. 31  
Telefon 07721 - 21000  
Telefax 07721 - 24908

**FEM-Beispielrechnung**

7.11.89

Sehr geehrter Herr Wieloch,

bezugnehmend auf Ihr Angebot, eine FEM-Beispielrechnung für uns in Ihrem Hause durchzuführen, schicke ich Ihnen anbei wie vereinbart die hierzu notwendigen Unterlagen zu.

Es handelt sich hierbei um die Modalanalyse eines resonanten Kraftsensors (Doppelstimmgabel) und der Berechnung der Kraftkennlinie. Da es sich hierbei um einen noch in der Entwicklung befindlichen Prototyp handelt, bitte ich Sie die Angaben vertraulich zu behandeln.

Für Rückfragen stehe ich Ihnen jederzeit unter der Telefonnummer 07721 - 21008 zur Verfügung.

Auf eine zukünftig gute Zusammenarbeit verbleibe ich

mit freundlichen Grüßen

*Th. Fabula*

Dipl.-Phys. Thomas Fabula

Anlage

## ANSYS FEM-Beispielrechnung:

### 1.) Modalanalyse:

Bei dieser Rechnung sollen die ersten acht (8) Eigenfrequenzen eines resonanten Kraftsensors (Quarz-Doppelstimmgabel) und die zugehörigen Schwingungsformen bestimmt werden.

Als Ergebnis sollen die verschiedenen Eigenformen (Auslenkungen) dargestellt (Bildschirm-Hardcopy) und die Eigenfrequenzen ermittelt werden. Anhand des optimalen Schwingungsmodus sollen die weiteren Untersuchungen (Kraftbeaufschlagung) unter Punkt 2. erfolgen. Der optimale Schwingungsmodus entspricht dem Fall, indem die beiden inneren, schmalen Stege (eigentliche Stimmgabel) gegeneinander schwingen und die äußeren, breiteren Stabilisierungsstege minimale Auslenkung besitzen.

#### a.) Materialdaten:

Titel:	Doppelstimmgabel (DETF)
Material:	Quarz (SiO <sub>2</sub> )
E-Modul:	$8.67 \cdot 10^{10} \text{ [N/m}^2 \text{]}$
Dichte:	$2.6487 \text{ [g/cm}^3 \text{]}$
Poissonzahl:	0.122894

#### b.) Geometrie:

Die Gesamtstruktur der Doppelstimmgabel ist in der beigelegten Zeichnung zu erkennen. Die Dicke der Struktur beträgt 0.125 mm. Die geometrisch genauen Abmessungen sind in folgender Tabelle zusammengefaßt, wobei durch die zweifache Symmetrie die Struktur mit 19 Knoten erfaßt werden kann (siehe Skizze im Anhang). Alle Maße sind in [mm]:

Knoten Nr.	x-Koord	y-Koord			
1	0.0	0.0			
2	2.5	0.0			
3	2.5	0.42			
4	2.6	0.85			
5	3.0	0.85			
6	3.1	0.42			
7	3.1	0.0			
8	3.7	0.0			
9	3.7	0.295			
10	7.5	0.295	DET F4		
11	7.5	0.775			
12	3.7	0.775			
13	3.7	0.897			
14	4.9	1.108			
15	7.5	1.108			
16	7.5	1.347			
17	4.9	1.347			
18	4.9	1.439			
23 19	0.0	1.439			

Kn.	x	y
19	1.914	1.439
20	1.914	1.205
21	0.9	1.205
22	0.9	1.439

**c.) Annahmen:**

Zur Vereinfachung sollen bei der Berechnung folgende Annahmen getroffen werden:

- unbelasteter Sensor (Zugkraft = 0)
- Isotroper Elastizitätsmodul
- freie, ungedämpfte Schwingungen
- Schwingungen werden nur in der Struktur-Ebene (x-y-Ebene) zugelassen
- Randbedingungen idealisiert: die Endflächen der Struktur sind fest mit der Kraftübertragungsmechanik verklebt (siehe Skizze)

#### **d.) Modellaufbereitung:**

- Hardcopy der vernetzten Struktur im PREP7
- Elementauswahl: z.B. STIF42 (2-D isoparametric solid)
- max. mittlere Seitenlänge der Elemente: 0.1 mm (mit evtl. Netzverfeinerung in den kritischen Bereichen)

#### **e.) Ergebnisse:**

Von Interesse sind folgende Berechnungsergebnisse:

- Eigenfrequenzen (8 Stück)
- Ausdruck der versch. Schwingungsmoden (Hardcopy)
- Anzahl der Knoten und Elemente
- effektive Wavefront
- Ausdruck der PREP7-Eingabedaten
- Ausdruck der berechneten Ergebnisse

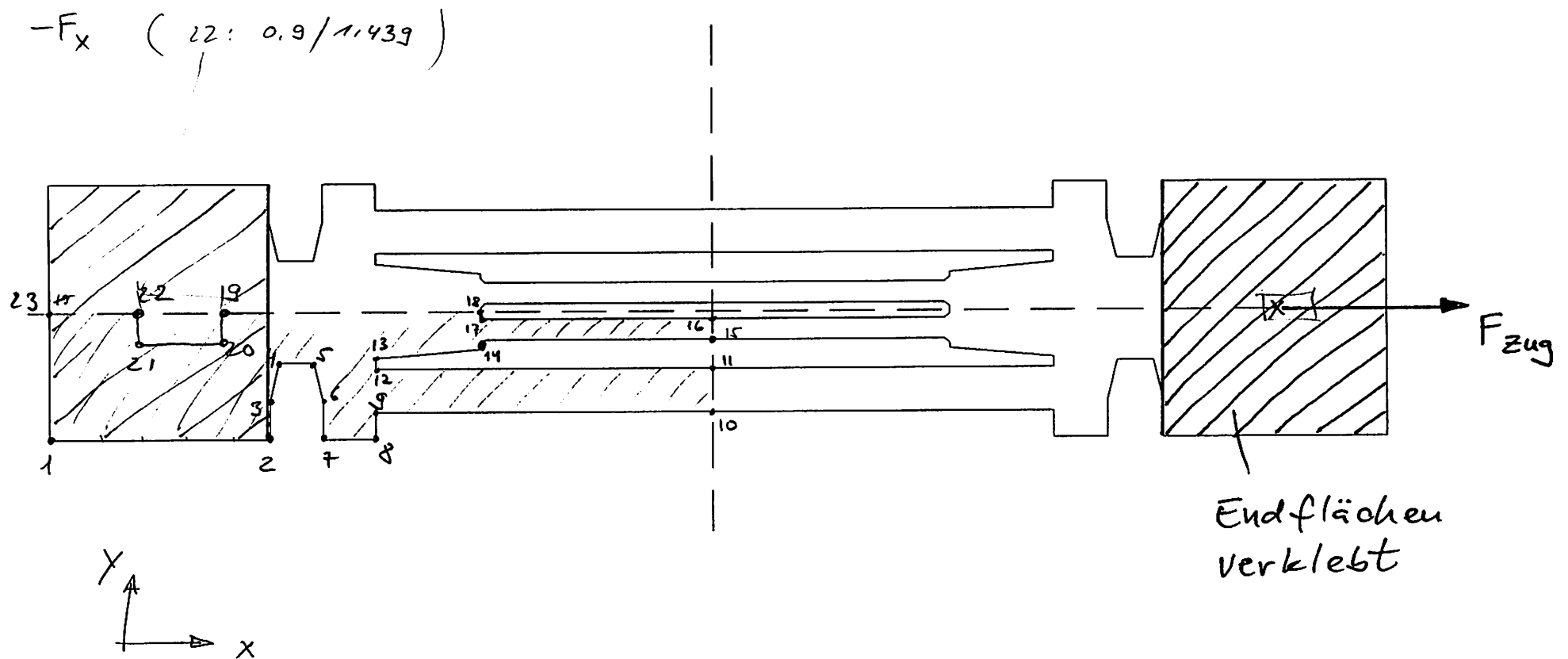
#### **2.) Kennlinienberechnung:**

Bei dieser Rechnung soll der Kraftsensor im optimalen Schwingungsmoden (siehe oben, Teil 1.) betrieben werden und die Eigenfrequenzänderung in Abhängigkeit einer Zugkraft-beaufschlagung in x-Richtung untersucht werden (siehe Skizze). Die Zugkraft  $F(\text{zug})$  greift zentral in der Mitte der rechten Befestigungsfläche an.

#### **Ergebnis:**

- Als Ergebnis sollen die Eigenfrequenzen (kHz) in Abhängigkeit der beaufschlagten Kraft (Newton), für fünf Lastschritte (1, 2, 3, 4 und 5 N) errechnet werden.
- Für die Belastung von 1 und 5 N sollen farbige Knotenspannungsplots (SX, SY, SIGE) und die Spannungen entlang der beiden Befestigungen (PLPA) angefertigt werden.
- effektive Wavefront
- Ausdruck der PREP7-Eingabedaten
- Ausdruck der berechneten Ergebnisse

# Double Ended Tuning Fork (DETF)



)

)

