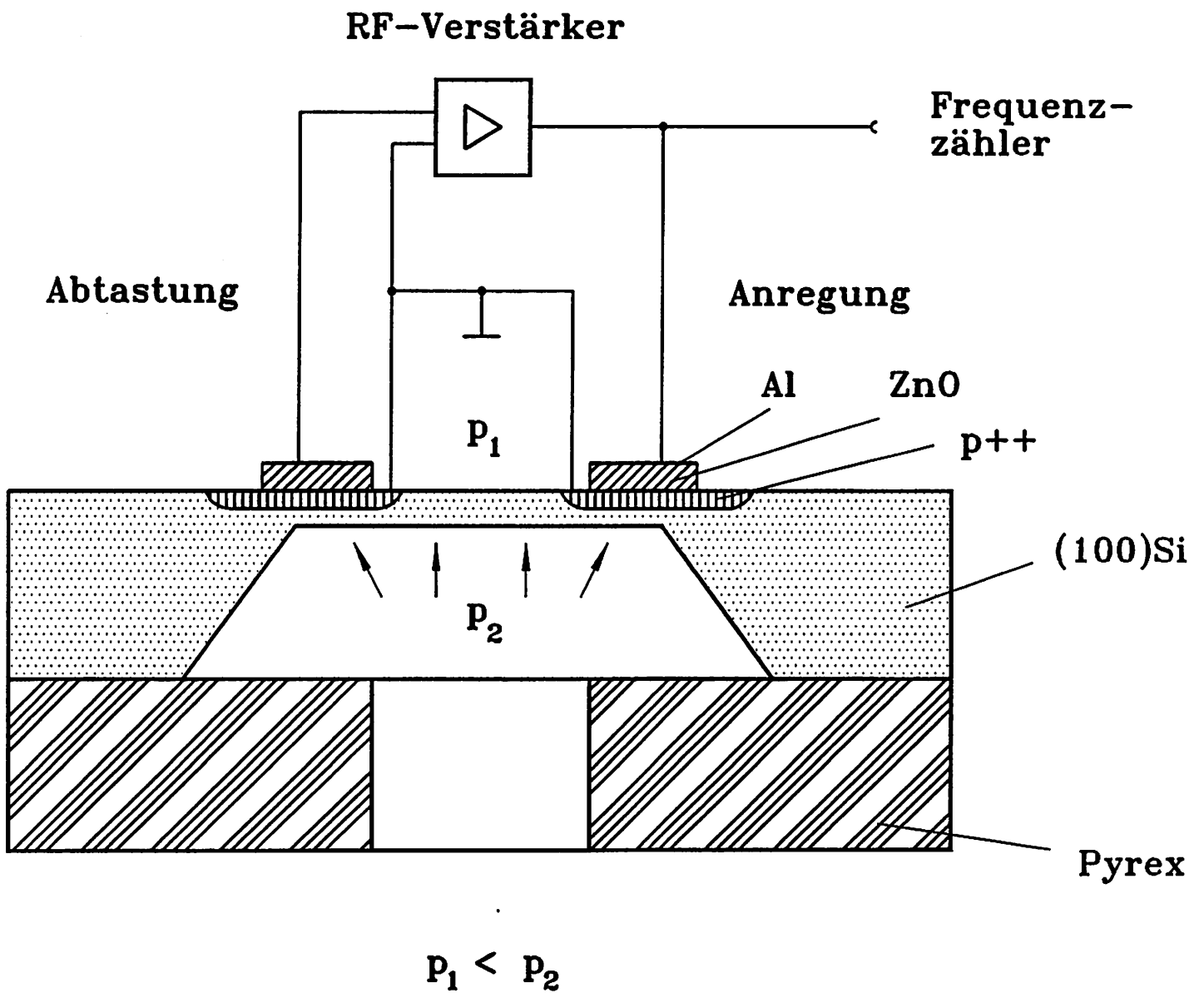


Resonanter Drucksensor



Tab.1: Materialeigenschaften mikromechanischer Werkstoffe

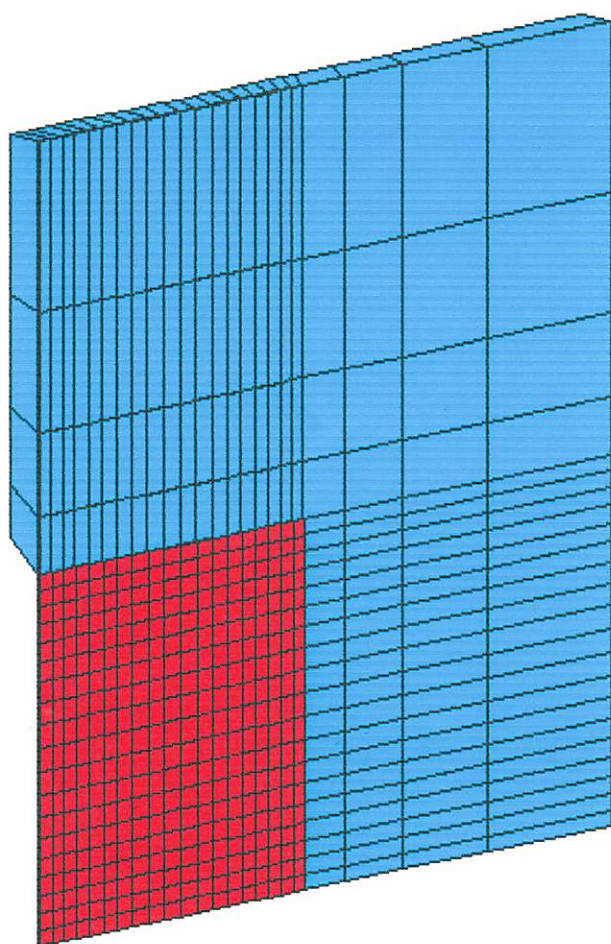
Bezugstemperatur: T = 300 K

	ρ [kg/m³]	S_{11}^E/S_{12}^E [10 ⁻¹² Pa ⁻¹]	ν	d_{31} [10 ⁻¹² C/N]	d_{33} [10 ⁻¹² C/N]	$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	α_{th} [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	λ [W/mK]	k_p^{mat}
Si	2329	7,68 -2,14	0,28	---	---	?	?	2,3 - 2,6	156	---
Quarz	2650	12,78 -1,81	0,14	$d_{11}=2,30$	$d_{14}=-0,67$	4,51	4,63	$7,48 \parallel z$ $13,7 \perp z$	12	(0,1)
AlN	3260	3,53 -1,01	0,29	-2,00	5,53	9,04	11,4	$4,15 \parallel z$ $5,27 \perp z$?	0,18
ZnO	5470	7,91 -3,30	0,42	-5,12	12,0	9,26	8,2	$2,92 \parallel z$ $4,75 \perp z$	54	0,40
PZT	7600	15,4 -5,70	0,37	-160	355	1600	1600	$\approx 7,0$	1,2	0,61

$$k_p^{mat} = \sqrt{\frac{2}{1-\nu}} \cdot k_{31} \approx 1,6 \dots 1,9 \cdot k_{31}$$

$$k_{31}^2 = \frac{d_{31}^2}{S_{11}^E \cdot \epsilon_{33}^T}$$

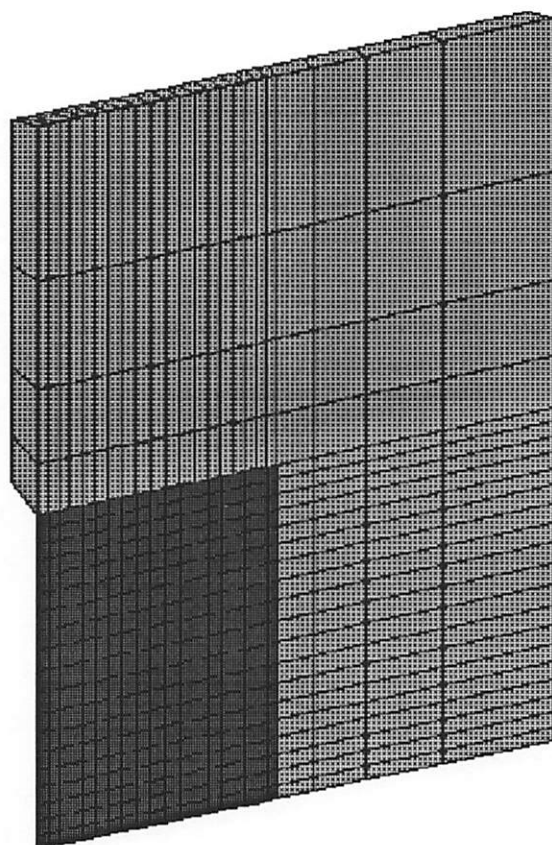
1



Bimorph-Membran mit Piezoschicht

ANSYS 4.4A1
SEP 29 1992
12:01:38
PLOT NO. 1
POST1 ELEMENTS
TYPE NUM

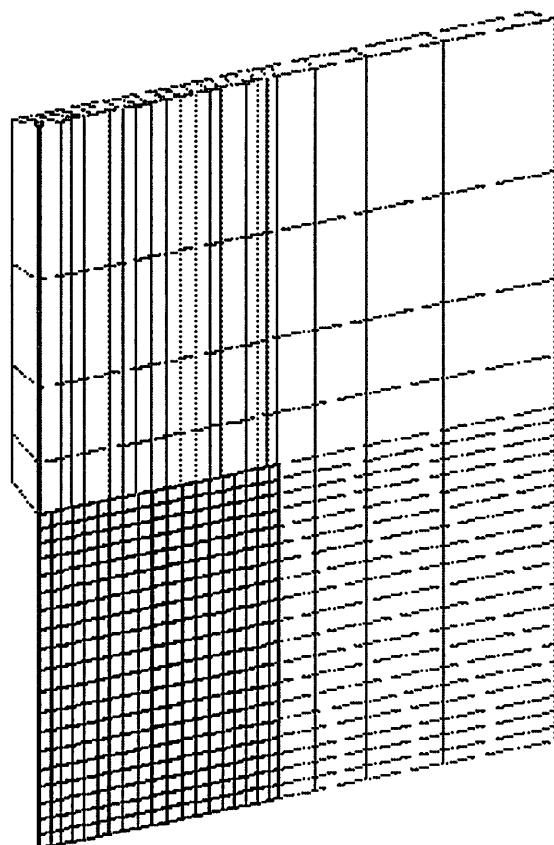
XU =-1
YU =0.3
ZU =1
DIST=0.006205
XF =0.004979
YF =0.004979
ZF =0.273E-03
FACE HIDDEN



Bimorph-Membran mit Piezoschicht

ANSYS 4.4A1
 SEP 29 1992
 12:01:38
 PLOT NO. 1
 POST1 ELEMENTS
 TYPE NUM

XU =-1
 YV =0.3
 ZU =1
 DIST=0.006206
 XF =0.004979
 YF =0.004979
 ZF =0.273E-03
 FACE HIDDEN



Binorph-Membran mit Piezoschicht

ANSYS 4.4A1
SEP 29 1992
12:03:02
PLOT NO. 6
POST1 ELEMENTS
TYPE NUM

XU = -1
YU = 0.3
ZU = 1
DIST = 0.006205
XF = 0.004979
YF = 0.004979
ZF = 0.273E-03
PRECISE HIDDEN

Tab. 2: Parametereinflüsse beim Membran-Modell

Variation: Elementvernetzung, Anzahl der dynamischen Hauptfreiheitsgrade (MDOF)

FE-Modell: Plattenmodell mit unendlich steifer Einspannung,

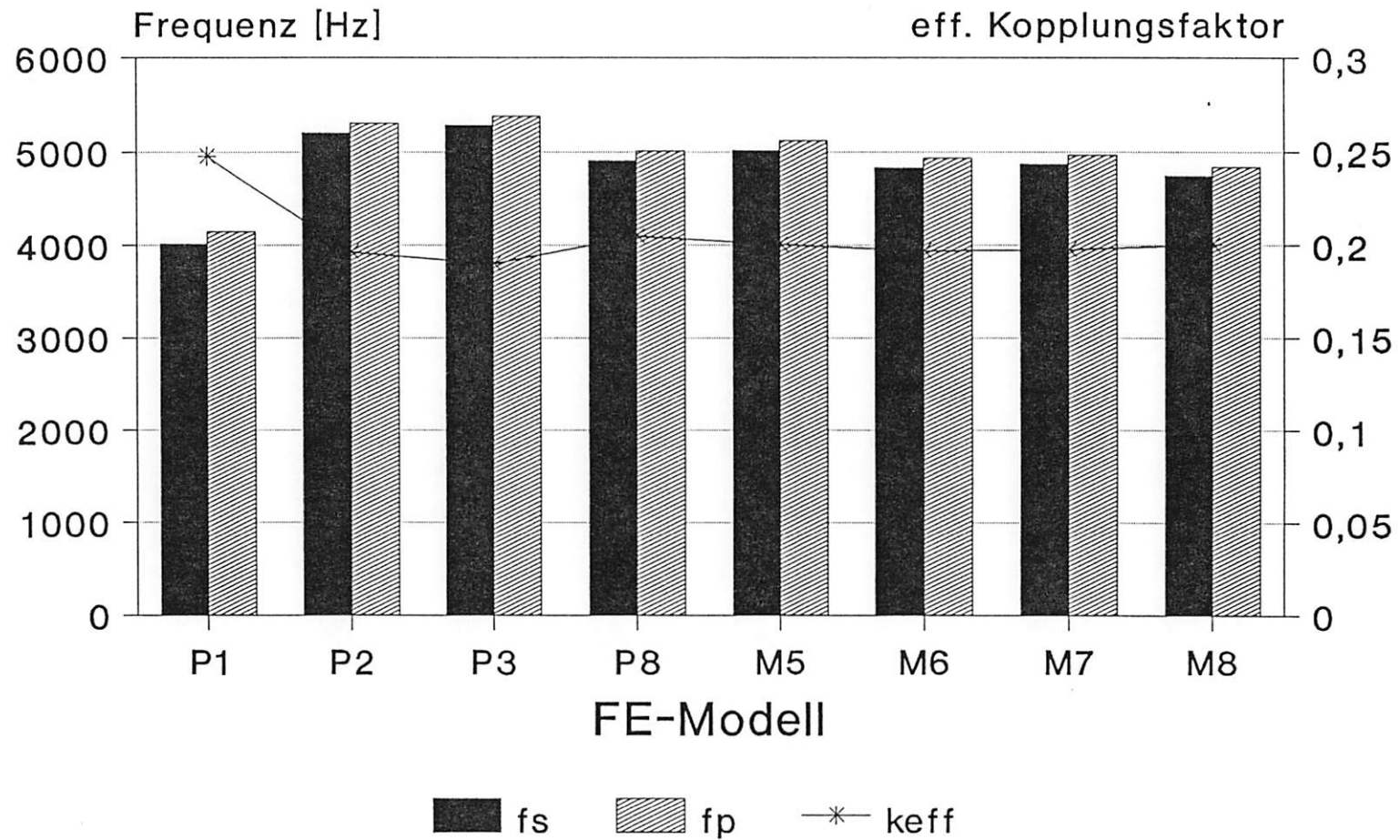
3D-Membran mit (111)-Einspannung, Viertelmodell, variable Elementunterteilung

Si/ZnO-Bimorphmembran: Abm.: $9,2 \times 9,2 \text{ mm}^2$, $t_{\text{Si}} = t_{\text{ZnO}} = 20 \text{ }\mu\text{m}$

f_s : Serienresonanzfrequenz, f_p : Parallelresonanzfrequenz, k_{eff} : effektiver Kopplungsfaktor (Grundswingungsmode)

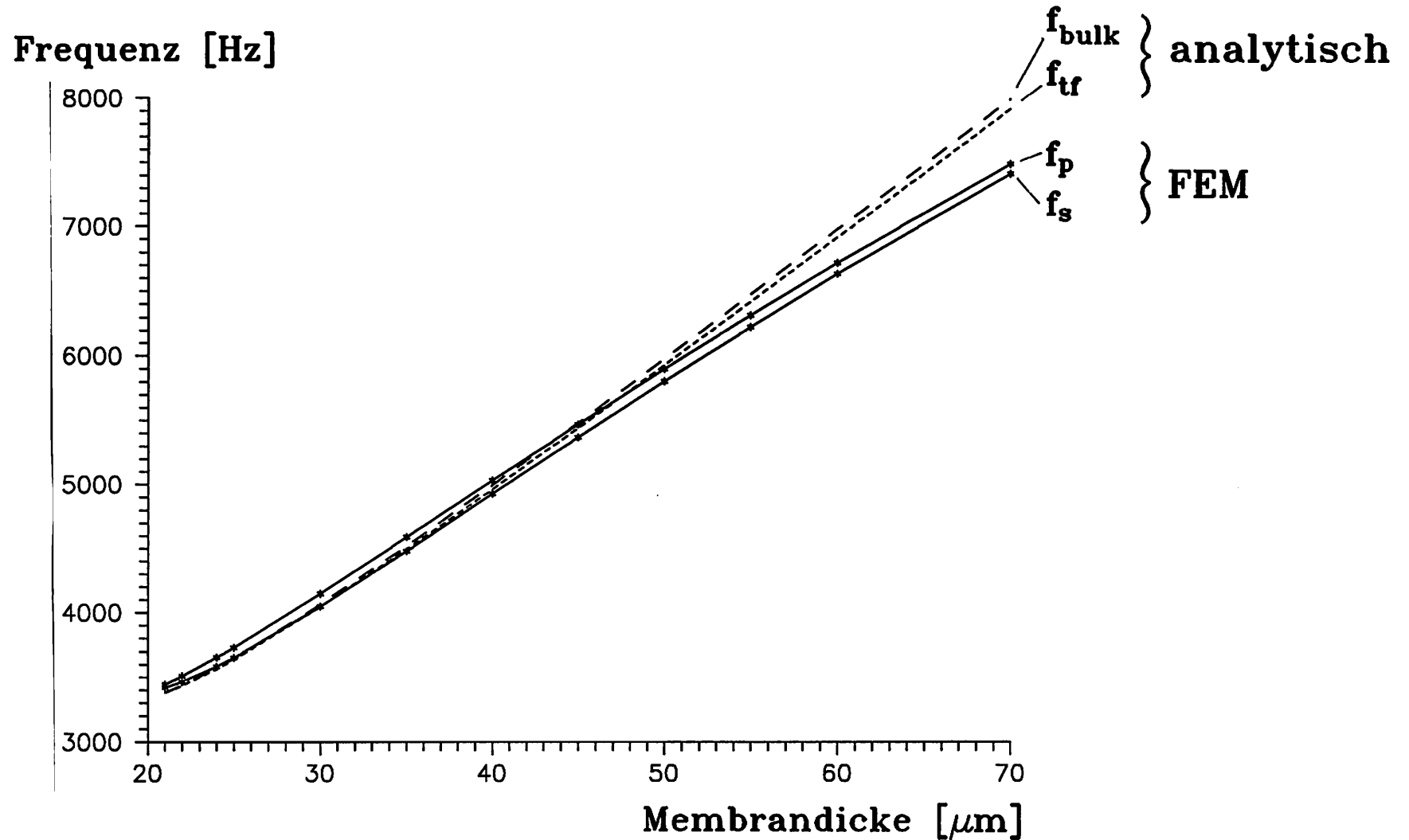
FEM-Modell:	Elemente / Knoten	MDOFs	Seiten- teilung	Aspekt- verhält.	f_s [kHz]	f_p [kHz]	k_{eff}	Bemerkungen:
Nr. P1	200/363	300	10	23	4,016	4,143	0,2476	nur <u>untere</u> Knoten- lage eingespannt
Nr. P2	200/363	300	10	23	5,196	5,298	0,1962	Si-Membran ganz eingespannt
Nr. P3	200/363	300	10	23	5,281	5,378	0,1899	Si-Membran <u>und</u> ZnO eingespannt
Nr. P8	3200/5043	300	40	ca. 6	4,907	5,012	0,2047	Si: eingespannt ZnO-Schicht frei
Nr. M5	450/795	100	13	ca. 18	5,015	5,117	0,2005	Sockel <u>und</u> Seiten- teile fixiert
Nr. M6	450/795	100	13	ca. 18	4,836	4,931	0,1970	<u>nur</u> Sockel fixiert Breite: 1 mm
Nr. M7	578/999	100	13	ca. 18	4,871	4,967	0,1974	<u>nur</u> Sockel fixiert Breite: 5 mm
Nr. M8	1058/1767	300	19	ca. 12	4,745	4,842	0,2004	- " -

Tab. 3: FE-Modelleinfluß (Modalanalyse)



Resonanzfrequenz in Abhängigkeit der Membrandicke







Vergleich: analytische Rechnung \longleftrightarrow FEM



Tab. 4: Resonanzfrequenzen-Vergleich: Analytische Rechnung \Leftrightarrow FEM \Leftrightarrow Messung

Resonanzfrequenzvielfaches c_i : $f_i = c_i \cdot f_0$

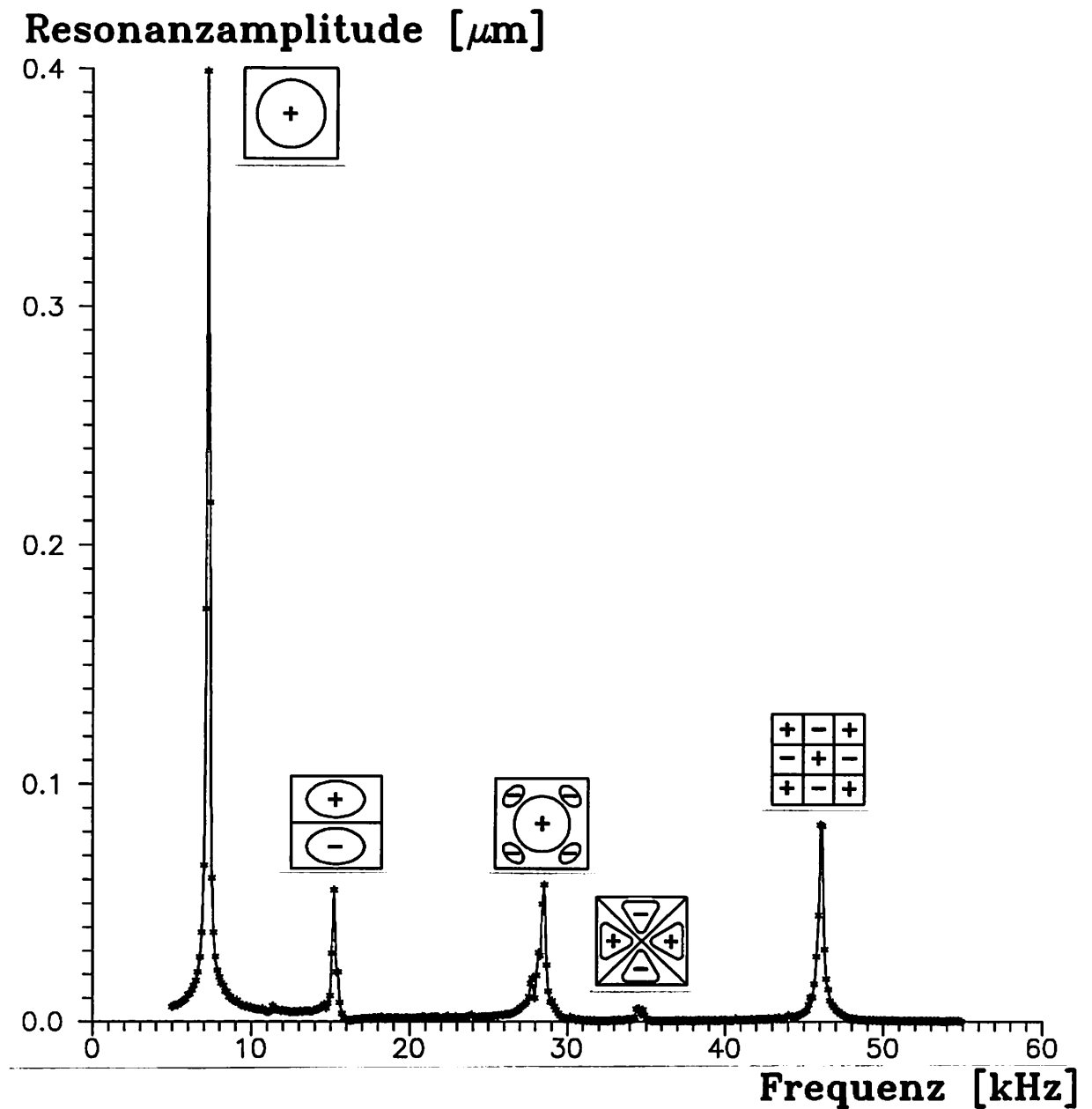
- analytisch: ideal homogene, quadratische Silizium-Platte (steife Einspannung)
- FE-Modelle: Si-Membran, Abm.: $9,2 \times 9,2 \text{ mm}^2$, $t_{\text{Si}} = 100 \text{ } \mu\text{m}$
- Messungen: Si/ZnO-Bimorphmembran, Abm.: $9,2 \times 9,2 \text{ mm}^2$, $t_{\text{Si}} = 50 \text{ } \mu\text{m}$, $t_{\text{ZnO}} = 15 \text{ } \mu\text{m}$
(k_{eff} : effektiver elektromechanischer Kopplungsfaktor)

Schwingungs- mode		analytisch		FEM		opt. Messung		elektr. Messung	
		isotrop [Pon91]	aniso. [Pon91]	2D isotrop	3D an- isotrop	c_i	f_i [kHz]	c_i	k_{eff}
	M_{11}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,24	1,00	0,10
	M_{12}	2,04	2,00	2,04	2,11	2,10	15,22	---	---
	M_{22}	3,01	2,90	3,00	3,03	2,86	20,71	---	---
	M_{31}	3,66	3,62	3,65	3,75	---	---	---	---
	M_{13}	3,68	3,63	3,67	3,77	3,94	28,57	3,92	0,08
	M_{33}	6,12	5,87	6,11	6,02	6,35	46,0	6,34	0,07

Laservibrometer-Messung

Amplitudenspektrum einer Si-Membran:
(1.5mm vom Membranrand)

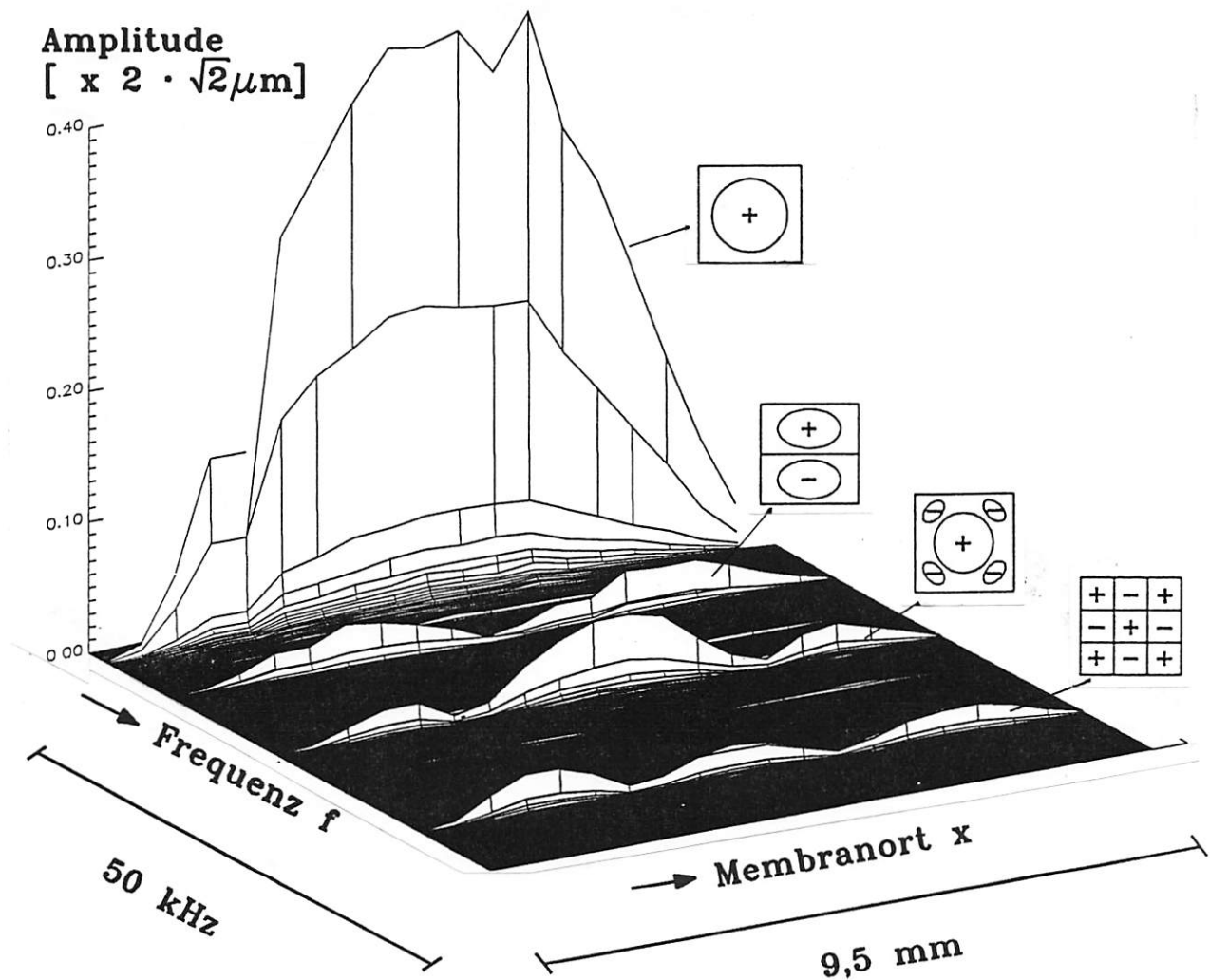
Membran: M7-2/3
9.2 x 9.2 mm²
 $t_{\text{Si}} = 50\mu\text{m}$
 $t_{\text{ZnO}} = 15\mu\text{m}$



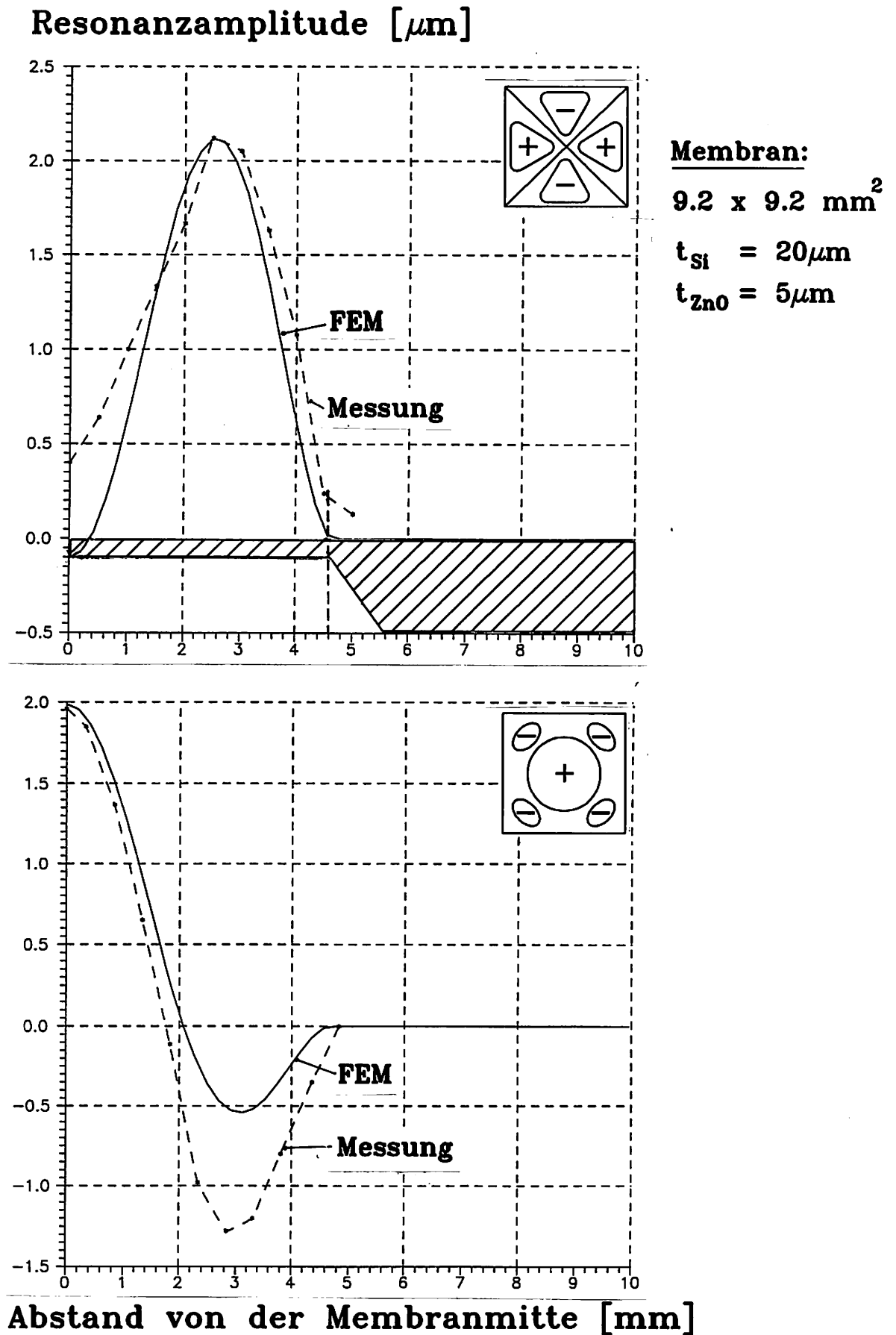
Modalanalyse einer Siliziummembran

Amplitudenspektrum $A(f,x)$

Membran: M7-2/3
9.2 x 9.2 mm²
 $t_{\text{Si}} = 50\mu\text{m}$
 $t_{\text{ZnO}} = 15\mu\text{m}$



Radiale Modenverläufe einer Si-Membran

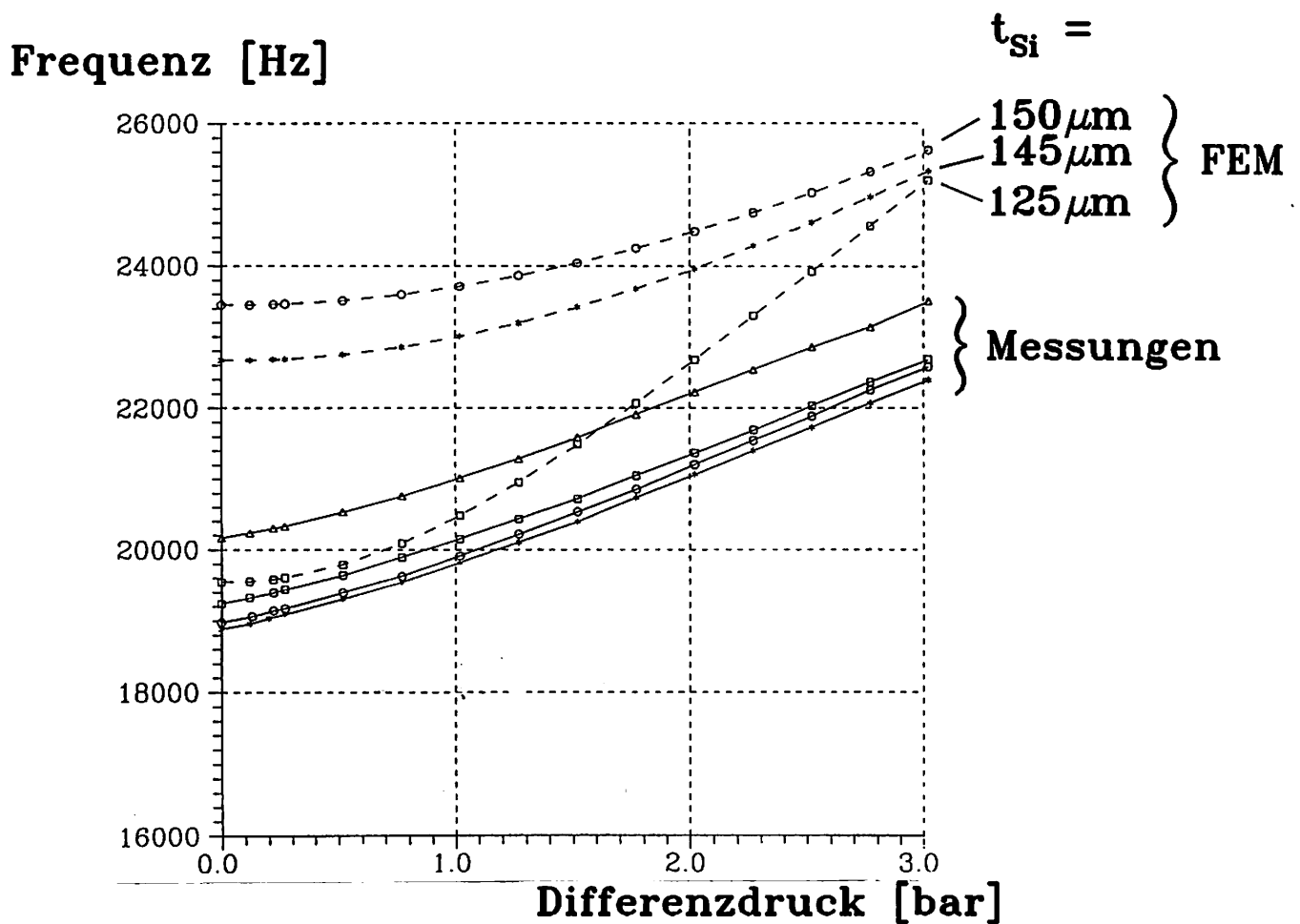


Frequenzverschiebung bei Druckbeaufschlagung

Membran: $9.5 \times 9.5 \text{ mm}^2$

$t_{\text{Si}} = 148 \mu\text{m}$

$t_{\text{ZnO}} = 15 \mu\text{m}$



Kopplungsfaktor in Abhängigkeit des Schichtdickenverhältnisses

Membran: $9.2 \times 9.2 \text{ mm}^2$
 $t_{\text{Si}} = 20 \mu\text{m}$

