

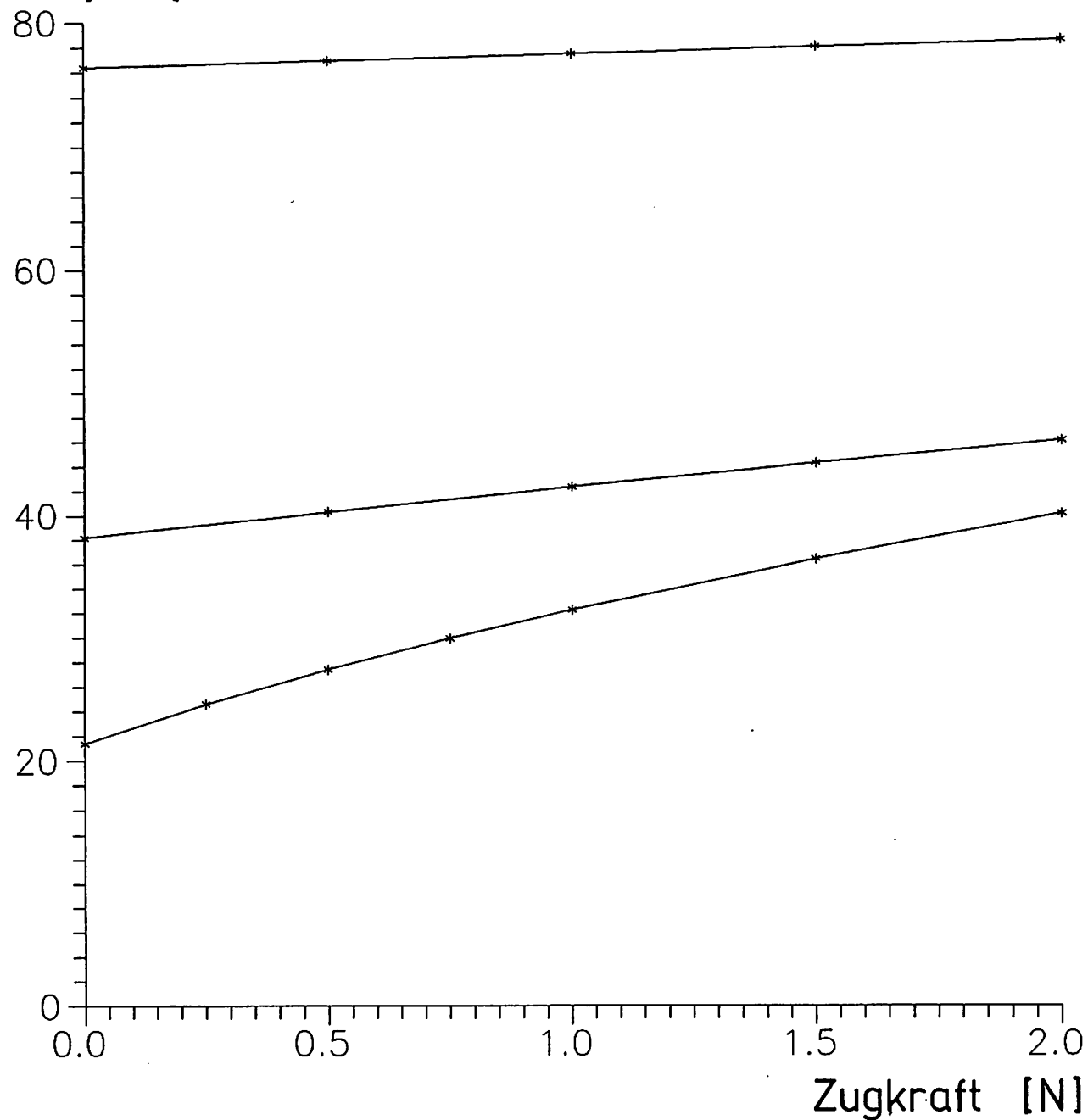
Frequenz [kHz]

Resonatordicke:

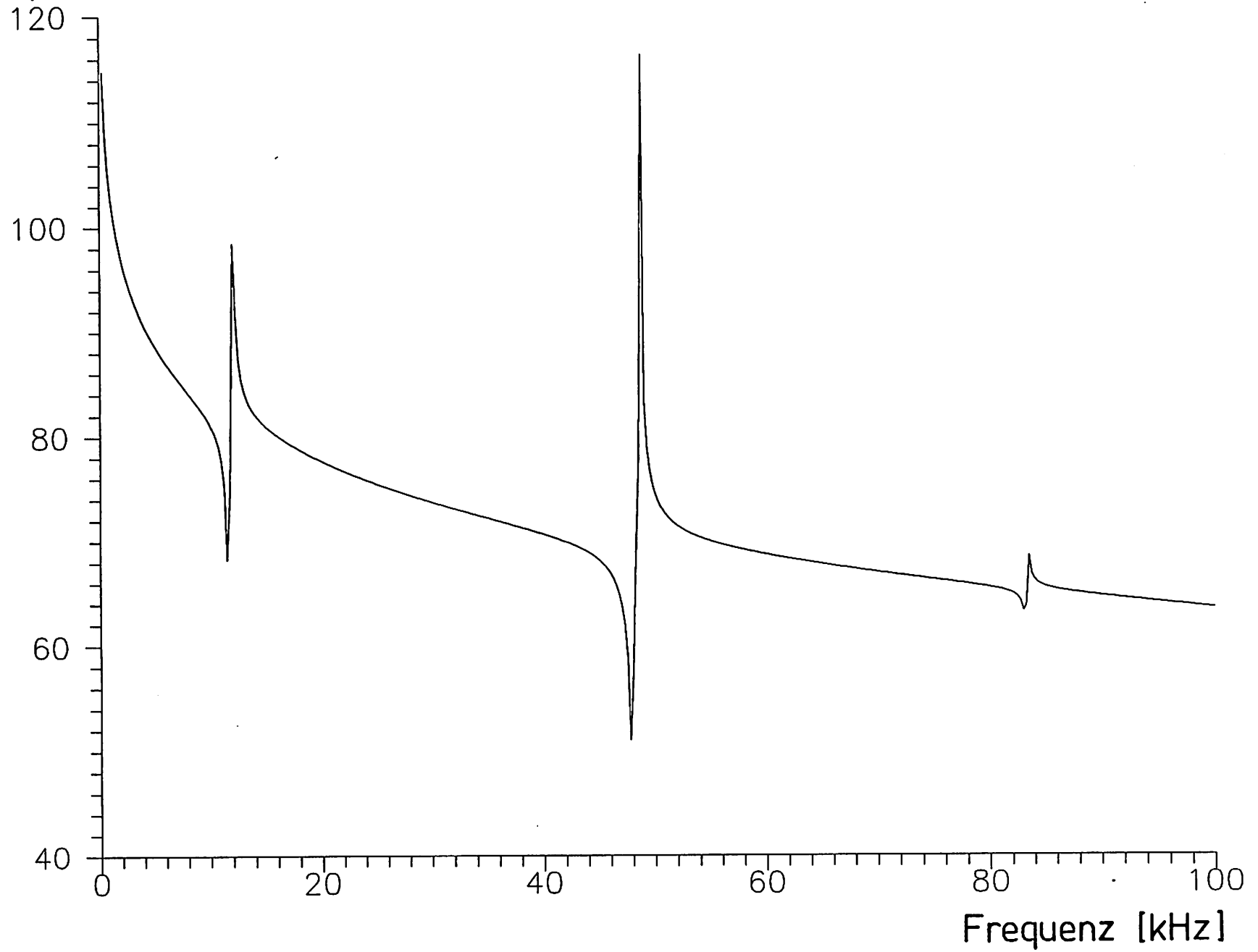
100  $\mu\text{m}$

50  $\mu\text{m}$

30  $\mu\text{m}$



Impedanz [dB]



**Tabelle 1:      Matrixgleichungen der FE-Modellierung**

(1) lineare Statik:

$$[K] \cdot \{u\} = \{F\}$$

(2) nichtlineare Statik:

$$[K(u, T, \dots)] \cdot \{u\} = \{F\}$$

(3) lineare Modalanalyse:

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = 0$$

(4) Modalanalyse mit Vorspannung:

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [K + S] \cdot \{u\} = 0$$

(5) Frequenzganganalyse:

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [C] \cdot \{\dot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = \{F(t)\}$$

(6) Gekoppelte piezoelektrische Feldgleichung:

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{\Phi} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & C_{\Phi} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{\Phi} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{uu} & K_{u\Phi} \\ K_{u\Phi}^t & K_{\Phi\Phi} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ \Phi \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ Q \end{Bmatrix}$$

---

M, C, K : Massen-, Dämpfungs-, Steifigkeitsmatrix

$\ddot{u}$ ,  $\dot{u}$ , u : Beschleunigungs-, Geschwindigkeits-, Verschiebungsvektor

F(t), S : zeitabhängige Anregungskraft, Spannungsversteifungsmatrix

$\Phi$ , Q : elektrisches Potential, elektrische Ladung an den Knoten

$C_{\Phi}$  : dielektrische Dämpfungsmatrix

$K_{uu}$  : elastische Steifigkeitsmatrix (= K)

$K_{u\Phi}$  : piezoelektrische Kopplungsmatrix

$K_{\Phi\Phi}$  : dielektrische Steifigkeitsmatrix

T : Temperatur