

## Modellierung von Strömungssensoren:

Besprechung mit Herrn Dr. Götz, Fa. Bosch, Gerlingen, Abt. ZWP (10.03.93):

Dr. Götz hat mit FIDAP Strömungssimulationen und mit PERMAS Strukturberechnungen an einem Luftmengenmesser durchgeführt (interne Bosch-Entwicklung). Der Aufbau besteht aus freigeätzten Si-Membranen (Abm. ca. 10 mm) mit eindiffundierten Heizelementen (Widerstände). Die Rechnungen haben gezeigt, daß eine merkliche Sensorempfindlichkeit, d.h. ins Fluid ausgekoppelte Wärmemenge, nur erreicht wird, falls die Heizleistung entsprechend groß und die Strukturen sehr dünn sind (Dicke: 0.5 - 2  $\mu\text{m}$ ). Als Materialien wurden Si, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> untersucht, wobei Nitrid am besten geeignet ist.

FEM-Modellierungstips für FIDAP (resonanter Strömungssensor):

- laminare Berechnungen für  $Re < 1000$ , Festlegung von  $Re$  durch kleinste Strukturabmessungen (Chipabmessung, die das Fluid sieht (Chipdicke), Strömungsröhrendurchmesser)
- Vernachlässigung der Temperaturabhängigkeit der Dichte des Fluids
- bei kleinen Geschwindigkeiten ist das Temperaturfeld stationär, es treten keine 3D-Effekte auf (2D-Modellierung), keine Turbulenzen
- k/e-Turbulenzmodell ist für  $Re > 10^4$  gut geeignet
- Vorlaufstrecke  $\gg$  Sensorlänge, -breite
- Turbulenzberechnungen sind sehr aufwendig und zeitintensiv
- theoretischer Aspekt: bei genügend feiner Vernetzung kann jedes Problem laminar berechnet werden, auch Turbulenzeffekte
- Rechenaufwand laminar: Freiheitsgrade  $VX, VY, T, (p) = 3$  DOFs (Zeit:  $t$ )
- Rechenaufwand turbulent: Freiheitsgrade  $VX, VY, T, k, e = 5$  DOFs  $\Rightarrow T_{ges} = 4 \cdot 5 \cdot t$
- FIDAP: besitzt ein analytisches Wandmodell, bei dem die Strömung besser beschrieben wird, als der Wärmefluß
- Strömungssensor: Wärmeaustausch über Luft (mind 10 %) und Festkörper (Leitung)
- Materialkenndaten (Wärmeübergangszahlen): VDI-Wärmeatlas  
(Wärmeübergang: Si-Membran  $\leftrightarrow$  Luft = 300 W/m<sup>2</sup>K bei  $v = 10$  m/s)
- Optimierung des Strömungssensors:
  - a.) Wärmequelle sollte in Sensormitte liegen (kaum Wärmleitung über Si-Bulkbereich)

b.) möglichst dünner Balken, sodaß Wärmeabgabe an das Fluid maximiert wird

- Beurteilung der FE-Netzqualität: die Temperatur- und Druckgradienten des Fluids sollten senkrecht zur Struktur möglichst linear verlaufen, d.h. das Netz muß am Fluid-Struktur Übergangsbereich möglichst fein sein