

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 1

Konstruktionstechnik/
Maschinenelemente

Jörg Ulrich, Estella (Navarra)

Nr. 317

**Ein Modell zur Simulation
von Mikropumpen
auf Basis der Finite-
Elemente-Methode**

HLuHB Darmstadt



14648232

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Mikrofluidsysteme - Produkte für die Zukunft?	1
1.2	Fertigungstechnologie von Mikropumpen	3
1.3	Simulation - Reduktion des Entwicklungsaufwandes	4
2.	Aufbau und Funktion von Mikropumpen	6
2.1	Grundprinzip von Mikropumpen	6
2.2	Antriebstypen für Mikromembranpumpen	7
	2.2.1 Piezoelektrischer Antrieb	8
	2.2.2 Thermopneumatischer Antrieb.	9
	2.2.3 Thermopneumatischer Antrieb mit Phasenwandlung.	9
	2.2.4 Elektrostatistischer Antrieb	10
2.3	Ventile und Strömungsregulierer	11
	2.3.1 Passive Rückschlagventile	11
	2.3.2 Aktive Mikroventile	12
	2.3.3 Strömungsregulierer ohne bewegliche Komponenten	13
2.4	Grundlage der Simulation von Mikropumpen	14
	2.4.1 Stand der Technik	14
	2.4.2 Ein Prinzip für ein vollständiges Simulationsmodell	16
	2.4.3 Auswahl der Simulationswerkzeuge	18
3.	Theoretische Grundlagen	20
3.1	Grundlagen der Strömungsmechanik	20
	3.1.1 Allgemeine Strömungsbeschreibung	20
	3.1.2 Durchströmung von Leitungen - Die Bernoulli-Gleichung	22
	3.1.3 Gültigkeitsbereich der makroskopischen Strömungstheorie	23
3.2	Grundlagen der Elastomechanik	25
	3.2.1 Membrantheorie	25

3.2.2	Balkentheorie	26
3.3	Grundlagen der Finite-Elemente-Methode	27
3.3.1	Grundprinzip der Finite-Elemente-Methode	28
3.3.2	FEM in der Strukturmechanik und Strömungsmechanik	29
4.	Simulation einer Fluid-Struktur-Kopplung	31
4.1	Einordnung gekoppelter physikalischer Probleme	31
4.2	Fluid-Struktur-Kopplung - Stand der Technik	33
4.3	Implementierung einer Fluid-Struktur-Kopplung in das FEM-Programm ANSYS	34
4.3.1	Simulationsprinzip einer Fluid-Struktur-Kopplung	34
4.3.2	Die Netzgenerierung	37
4.3.3	Das Iterationsverfahren	39
4.4	Simulation einer Balkenschwingung im Fluid	40
4.5	Verifizierung des Simulationsmodells	43
4.5.1	Simulation eines Einmassenschwingers im Fluid	43
4.5.2	Simulation eines Makromodells einer Ventilklappe	46
4.5.3	Simulation einer Mikroklappe	47
5.	Simulation von Mikroventilen	50
5.1	Aufbau von Klappenventilen	50
5.2	Statisches Ventilverhalten	52
5.2.1	Simulation eines 2D-Ventils	52
5.2.2	Simulation eines 3D-Ventils	55
5.2.3	Analytische Beschreibung des statischen Ventilverhaltens	55
5.3	Dynamisches Ventilverhalten	61
5.3.1	Simulation des dynamischen Ventilverhaltens	61
5.3.2	Analytisches Modell für das dynamische Ventilverhalten	66
6.	Simulation einer elektrostatischen Mikropumpe	70
6.1	Aufbau und Funktionsprinzip der elektrostatischen Mikropumpe	70
6.2	Der elektrostatische Antrieb	72
6.2.1	Analytischer Lösungsansatz für den elektrostatischen Antrieb	72
6.2.2	FEM-Simulation des Antriebs	74
6.2.3	Statische Antriebskennlinien	79
6.3	FEM-Simulation eines 2D-Modells der kompletten Mikropumpe	81
6.4	Analytische Simulation einer elektrostatischen Mikropumpe	83

6.4.1	Das analytische Simulationsmodell	83
6.4.2	Simulation des frequenzabhängigen Verhaltens der Pumpe	85
7.	Simulation einer ventillosen Mikropumpe	87
7.1	Aufbau und Funktionsweise	87
7.1.1	Aufbau der ventillosen Mikropumpe	88
7.1.2	Funktionsprinzip	89
7.2	FEM-Simulation	90
7.2.1	FEM-Modell der ventillosen Mikropumpe	91
7.2.2	Simulation des dynamischen Pumpenverhaltens	93
7.2.3	Simulation der Antriebskennlinien	95
7.2.4	Simulation der Ventilkennlinien	97
7.3	Analytische Simulation einer ventillosen Mikropumpe	98
7.3.1	Das analytische Simulationsmodell	99
7.3.2	Simulation des frequenzabhängigen Verhaltens der Pumpe	101
Anhang A:	Analytische Beschreibung der Druckverteilung im Klappenventil	103
Anhang B:	Analytische Lösungsansätze für die elektrostatische Membranauslenkung	106
Anhang C:	Analytisches Gesamtmodell der elektrostatischen Mikropumpe	108
Anhang D:	Numerische Lösung linearer Differentialgleichungssysteme	112
	Literaturverzeichnis	114