

## ModSimMEMS

Modellierung und numerische Simulation von akustischen MEMS im Frequenzbereich

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Bridge, Bridge_NATS, Bridge_NATS 2017	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.10.2018	<b>Projektende</b>	30.09.2022
<b>Zeitraum</b>	2018 - 2022	<b>Projektlaufzeit</b>	48 Monate
<b>Keywords</b>	MEMS, Piezoelektrischer Wandler, Ultraschall, FE Modellierung, multiharmonischer Ansatz		

### Projektbeschreibung

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) auf Basis des piezoelektrischen Effekts finden vielfältige Anwendungen in Sensorik und Aktorik, beispielsweise als Mikrofone oder Lautsprecher in Tablets oder Smartphones. Die Entwicklung solcher komplexen Systeme erfordert jedoch ein genaues Verständnis der zugrunde liegenden physikalischen Effekte. Daher stellt die Modellierung und numerische Simulation auf Basis der Finiten Elemente Methode ein wichtiges Werkzeug im Entwicklungsprozess dar. Sie erlaubt beispielsweise die Vorausberechnung des von verschiedenen Aktuatordesigns generierten Schallfeldes.

Durch die geringen Abmessungen der MEMS Strukturen hat die umgebende Luft erheblichen Einfluss auf deren Schwingungsverhalten. Durch die Modellierung des Fluids mit einer linearisierten Version der Navier- Stokes Gleichungen wird eine präzise Beschreibung der durch viskose und thermische Effekte bedingten Verluste möglich. Die Fluid-Struktur Interaktion wird in Form einer direkten Kopplung berücksichtigt. Diese wird über nicht-konforme Gitter verwirklicht, wodurch eine unabhängige Vernetzung von Struktur- und Fluidgebiet ermöglicht wird. Piezoelektrische Materialien zeigen ein ausgeprägt nicht-lineares hysteresisches Verhalten. Speziell wenn das Potential des piezoelektrischen Materials voll ausgenutzt werden soll, also beim Betrieb mit hohen Anregungen, ist das nicht-lineare Verhalten relevant. Die derzeit in der industriellen Praxis ausschließlich eingesetzten linearen piezoelektrischen Materialmodelle (Voigt'sche linearisierte piezoelektrische Theorie) können diese nicht abbilden. Daher soll ein makroskopisches, nicht-lineares Hysteresemodell für piezoelektrische Materialien entwickelt werden. Das nichtlineare Problem soll mittels eines multiharmonischen Ansatzes im Frequenzbereich (Harmonic Balance Method) gelöst werden. Dabei wird die erwartete periodische Lösung als Überlagerung mehrerer Harmonischer angesetzt, und die nichtlineare Kopplung zwischen ihnen berücksichtigt. Dies stellt eine Erweiterung der linearen Frequenzbereichsanalyse dar, welche in der Elektromagnetik und Fluidmechanik erfolgreich angewandt wird. Im Bereich der Piezoelektrik und der gekoppelten Probleme wurde dieser Ansatz jedoch noch nie verfolgt.

Initiator des Projekts ist die Forschungsgruppe „Messtechnik und Aktorik“ unter der Leitung von Prof. Manfred Kaltenbacher am Institut für Mechanik und Mechatronik an der TU Wien. Die Forschungsgruppe beschäftigt sich intensiv mit der Modellierung und Simulation von MEMS Systemen. Die Firma USound mit ihrer hervorragenden Expertise im Piezo MEMS

Bereich bei Lautsprechern und einem ausgezeichneten besetzten Entwicklungsteam stellt einen idealen Projektpartner da. Das Unternehmen beschäftigt sich mit der Entwicklung von innovativen, hochwertigen, MEMS basierten, piezoelektrischen Audiokomponenten, im Speziellen mit miniaturisierten Lautsprechern für mobile elektronische Geräte wie Tablets, Smartphones oder Audio Ohr- Stöpsel (engl. ear plugs). Hier finden die im Bereich der Grundlagenforschung entwickelten Modellierungs- und Simulationsmethoden, welche im Rahmen des Projekts auch experimentell validiert werden, vielfältige Anwendungen.

## **Abstract**

Micro electro mechanical systems (MEMS) based on piezoelectric effects are used for diverse applications in sensor and actuator technology, e.g. for microphones or loudspeakers in tablets or smartphones. The development of such systems requires detailed knowledge of the underlying physical effects. Therefore, modelling and numerical simulation based on the finite element method is an important tool in the development process. It allows, e.g. to predict the sound field generated by different actuator designs.

Due to the small dimensions of MEMS structures, the ambient air has considerable impact on their vibration behaviour. Modelling the fluid with a linearized version of the Navier-Stokes equations will allow for precisely describing losses arising from viscous and thermal effects. The fluid-structure interaction will be considered via direct coupling, realized through non-conforming grids, which enables an independent meshing of structure and fluid domains. Piezoelectric materials show distinct non-linear hysteresis behaviour. Especially when the full potential of piezo-electric materials should be exploited, i.e. in operation at high excitation levels, their non-linear behaviour must be considered, which is impossible the approach currently used in industrial practice (Voigt's linear theory of piezoelectricity). Therefore, this project aims to develop a macroscopic, non-linear hysteresis model for piezo-electric materials. The non-linear problem will be solved in the frequency domain by a multi-harmonic approach (harmonic balance method). Thereby, the expected periodic solution is composed as a superposition of several harmonics, and the non-linear coupling between them will be considered. This approach represents an extension of the linear frequency domain analysis, and is already successfully applied in the fields of electromagnetics and fluid mechanics. In the fields of piezo electrics and coupled problems this approach has not been pursued yet.

Initiator of this project is the research group "Measurement and Actuator Technology" under the leadership of Prof. Manfred Kaltenbacher, at the Institute of Mechanics and Mechatronics at the TU Wien, Vienna, Austria. The research group is active in modelling and simulation of MEMS systems. The company USound, with its excellent expertise in the field of piezoelectric MEMS for loudspeakers, and its excellently staffed development team represents the ideal project partner. USound concentrates on the development of innovative, high-quality MEMS-based, piezoelectric audio components, specifically on miniaturised loudspeakers for mobile devices such as tablets, smartphones or audio ear plugs. The modelling and simulation techniques, which will be developed and experimentally validated in the framework of this basic research project, will, thus, find numerous applications in the industry.

## **Projektkoordinator**

- Technische Universität Wien

## **Projektpartner**

- USound GmbH