

**Das Projekt MEMS2015 hat sich auf die Fahnen geschrieben, eine neuartige, universelle Entwurfsmethodik für mikro-elektromechanische Systeme zu realisieren. Damit sollen die Lücken zwischen Mechanik- und Elektronikentwurf, der Baustein-Fertigung sowie ihrer anschließenden Integration in Produkte geschlossen werden – und das Marktpotenzial von MEMS um bis zu 50 % anwachsen.**

Mikro-elektromechanische Systeme (kurz: MEMS) sind winzige Bauelemente aus der Elektronik-Industrie, die Bewegungen im Raum, Druck, Temperatur, Licht oder chemische Konzentrationen erfassen und elektronisch verarbeiten können. Sie bestehen aus Sensor- und/oder Aktor-Elementen sowie einer mikroelektronischen Schaltung. Durch ihre geringe Baugröße und niedrigen Kosten ermöglichen MEMS schon heute den Aufbau großer intelligenter Netzwerke, zum Beispiel zur Unfallvermeidung durch eine verbesserte Erdbebenwarnung durch Überwachung seismischer Aktivität oder durch Beobachtung kritischer Materialeigenschaften in Brücken.

Aber: Ein grundlegendes Problem für den Entwurf von MEMS ist, dass ihre mikromechanischen und elektronischen Bestandteile zwar aus ähnlichen Materialien bestehen, aber in unterschiedlicher Weise gefertigt werden. Dadurch existieren unabhängige und nicht zueinander passende Vorgehensweisen beim Entwurf – was dazu führt, dass das Potenzial der Technologie nicht voll ausgeschöpft werden kann.

An dieser Stelle setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt „Schaltplan-basierter Entwurf von MEMS für Anwendungen in Optik und Robotik“ – kurz MEMS2015 – an: Es soll die Entwicklungsmethode von MEMS so verbessern, dass die Systeme häufiger, kostengünstiger und in größerer Vielfalt als heute einzusetzen sind.

1. Das Projekt MEMS2015
2. Das durchgängige Entwurfssystem
3. MEMS2015 - Die Projekt-Beteiligten
4. Das edacentrum

*Fortsetzung des Artikels von Teil 1.*

Das durchgängige Entwurfssystem

Neben der Bereitstellung von Prozessen und Prozessdaten für MEMS wollen die Projektpartner vor allem Entwurfsabläufe für mikroelektronische Schaltungen und mikromechanische Strukturen zu einem durchgängigen Entwurfssystem zusammenführen. Dies ermöglicht die Modellierung des gesamten MEMS, was bei der Entwicklung des Endprodukts hilfreich ist. Durch die Verschmelzung beider Entwurfsabläufe in einer Art Baukastensystem wollen die MEMS2015-Forscher die Kluft zwischen Mechanik- und Elektronikentwurf, ihrer Fertigung sowie der anschließenden Zusammenführung der Bausteine als Produkt schließen. Letztlich soll dadurch die Entwicklung von MEMS im gleichen Maße beherrschbar werden wie dies bei einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (Application Specific Integrated Circuit, ASIC) Stand der Technik ist.

Bei integrierten Schaltungen (ICs) ist Status quo, dass der Entwurf von elektrischen Schaltungen und deren Herstellung getrennt behandelt werden kann. Das heißt, eine Firma übernimmt die Herstellung (Foundry) und eine andere den Schaltungsentwurf. Möglich wird dies durch Datenbanken und Software-Pakete, die herstellende Unternehmen zusammen mit Anbietern von Entwurfssoftware zur Verfügung stellen. Letztlich hat sich die Aufteilung in Entwicklung und Herstellung bei ICs etabliert, da die Herstellung komplexe und teure Fabriken erfordert, die sich nur durch viele Aufträge refinanzieren können.

Durch die in MEMS2015 entwickelten Methoden soll dies auch für MEMS Realität werden, um die Möglichkeiten einer breiten MEMS-Anwendung zu erweitern und das Marktpotenzial um bis zu 50 % zu steigern. Auch kleine und mittelgroße Unternehmen sollen künftig dank der neuen Methoden MEMS entwerfen und im Auftrag fertigen lassen können – um sie dadurch häufiger und in größerer Vielfalt als heute in ihre Produkte integrieren zu können. Im Umfeld der Optik, Robotik und Industrieautomatisierung kann so die Basis für MEMS-Innovationen gelegt werden, und darüber hinaus entstehen konkurrenzfähige, qualifizierte Arbeitsplätze in Forschung, Entwicklung, Fertigung und Logistik.

Im Einzelnen streben die Projektpartner folgende Ziele an:

- **ASIC-kompatible MEMS-Modellierung:** Die Prozesse zur Herstellung der Mikromechanik und diejenigen zur Herstellung der Elektronik unterscheiden sich gravierend, so dass sich inkompatible Entwurfsverfahren mit unterschiedlichen Ansätzen zur Simulation und Modellierung etabliert haben. Im Projekt sollen physikalisch basierte, parametrierbare Sensormodelle zur gemeinsamen Simulation von Mechanik und Elektronik entwickelt werden. Ohne genaue Modellparameter ist ein Modell für die Anwendung nahezu wertlos, eine ungenaue Kenntnis wichtiger Materialparameter stellt ein großes Problem dar. Aus diesem Grund werden in MEMS2015 Teststrukturen für die Bestimmung dieser Parameter entwickelt. Ziel ist, den Fehler für bestimmte Parameter um eine Größenordnung zu reduzieren. Die Projektpartner erwarten, dass sich die MEMS-Designzeit durch die Wiederverwendung der parametrierbaren Modelle um 30 % reduziert.



© Robert Bosch

*Blick in eine ABS/ESP-Steuergeräte-Einheit, wie sie bei Automobilherstellern verbaut wird*



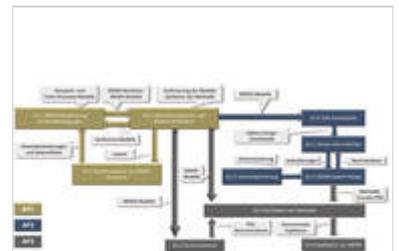
© edacentrum

*Modellbasierter hierarchischer MEMS-ASIC-Systementwurf mit integrierter Verifikation. Im Projekt sollen physikalisch basierte, parametrierbare Sensormodelle zur gemeinsamen Simulation von Mechanik und*

- **Extraktion parasitärer Größen:** Sensoren enthalten nicht nur die gewünschten dominierenden Strukturen, sondern konstruktionsbedingt auch immer unerwünschte parasitäre Elemente, die zum Teil erheblichen Einfluss auf die Funktion nehmen können. In MEMS2015 sollen neue Extraktionsverfahren entstehen, um den Extraktionsfehler für diese parasitären Elemente auf etwa 20 % zu reduzieren.
- **Entwicklung von MEMS-Verifikationstools:** Für Sensoren existiert bisher kein LVS (Layout versus Schematic Check), weil sich LVS auf einen netzlistenbasierten Entwurf gründet. Da MEMS2015 auf diesen netzlistenbasierten Entwurf baut, sollen komplett neue Tools entstehen, die Sensornetzlisten mit einem mikromechanischen Layout vergleichen.
- **Beseitigung des Tool-Gaps:** Bisher kommen beim Sensor- und ASIC-Design verschiedene Tools mit inkompatiblen Datenformaten zum Einsatz. Die Zusammenführung des Mechanik-Designs mit dem Elektronik-Design erfordert eine aufwendige und fehleranfällige Modellübertragung in die jeweils andere Designwelt. Eine entsprechende Schnittstellenkonzeption soll diese Trennung beseitigen. Ziel ist die Halbierung der Zahl der Redesigns sowie die Reduktion der Entwurfszeit um etwa 30 %.
- **Definition der Schnittstelle zwischen Entwurf und Fertigung:** Eine genaue Kenntnis der Halbleiterprozesse des Herstellers ist bereits beim MEMS-Design erforderlich. Durch die Entwicklung von MEMS-Process-Design-Kits (MEMS-PDKs) soll das Herstellerwissen gekapselt werden, so dass der Konstrukteur auf einer hohen Abstraktionsebene mit Elementen arbeiten kann, die das herstellende Unternehmen (Foundry) im PDK bereitstellt. Kundenanfragen lassen bereits heute erwarten, dass eine neuartige MEMS-Design-Methodik eine MEMS-Umsatzsteigerung von mindestens 30 % bewirkt.
- **Verifikation der Design-Methodik am Demonstrator:** Die im Projekt zu entwickelnden Methoden müssen ihre Praxistauglichkeit an Prototypen unter Beweis stellen. Die in MEMS2015 zu schaffende Methodik wird zum Beispiel für die Entwicklung von Sensoren zur Messung von Kräften im Nano-Newton-Bereich als Voraussetzung für intelligente hochsensitive Roboter bei der Firma Tetra eingesetzt. Mittelfristig sollen mit der MEMS2015-Methodik auch neue Sensorsysteme wie etwa Energie-autarke Sensoren für die Robotik entstehen.

Zum Erreichen der gesteckten Ziele ist das Projekt MEMS2015 in drei thematisch miteinander verzahnte Arbeitspakete aufgeteilt:

**Im Arbeitspaket 1** geht es um die MEMS-Modellierung. Hier werden bewährte Modellierungsverfahren aus der Welt des Chip-Entwurfs in die Mikromechanik übertragen und durch Modifikation oder Erweiterungen an deren spezielle Bedürfnisse angepasst. Dies soll eine gemeinsame Simulation von Mechanik und Auswerteschaltung ermöglichen. Die besondere Herausforderung besteht darin, dass im Gegensatz zum IC-Entwurf nicht nur rein elektrische, sondern elektromechanische Systeme zu simulieren sind. Zusätzlich erschwerend wirken sich die in der Mikromechanik zu berücksichtigenden, hochgradigen Verkopplungen der Elemente sowie die stark beanspruchungsabhängigen elektrischen Eigenschaften aus. Durch die über elektrische Ersatzschaltbilder realisierbare Modellierung sollen alle relevanten physikalischen Effekte der Mikromechanik innerhalb einer Gesamtsystem-Simulation ausreichend genau abbildbar werden. Gleichzeitig soll die Berücksichtigung aller unerwünschten parasitären Effekte der Einzelsysteme bereits in der Entwurfsphase berücksichtigt werden können. Darüber hinaus wird der Übergang von der simulierten mikromechanischen Struktur in die Herstellung abgesichert.



© edacentrum

*Im AP1 entsteht eine vereinheitlichte MEMS-Design-Basis in Form einer Bibliothek. Die zusammengestellten Bibliotheksmodule werden in AP2 für eine durchgängige Beschreibung von Mikromechanik-Daten an der ASIC-Schnittstelle und in AP3 für die Entwicklung von Demonstratoren eingesetzt.*

Um Systemdesign und Methodik geht es im **Arbeitspaket 2**. Hier wird ein durchgängiger Entwurf vollständiger MEMS-Systeme bestehend aus Mikromechanik und -elektronik realisiert, indem die Designmethodik für integrierte Schaltungen auf den Mikromechanik-Entwurf übertragen wird. Die im Arbeitspaket 1 entwickelten detaillierten Mikromechanik-Modelle werden in zwei Schritten in den neuen Design-Flow eingebunden: Zunächst werden die Modelle vereinfacht und parametrisiert, bevor sie zur performanten Simulation in die Entwurfsumgebung eingebunden werden. Dies erfolgt zu einem Teil mit kommerziellen Lösungen wie zum Beispiel denen der Firma Coventor und zum anderen Teil mit proprietären „Inhouse-Lösungen“.

Die in Arbeitspaket 1 entwickelten elektrischen Ersatzmodelle beziehungsweise Ersatzschaltbilder enthalten auch geometrische Parameter der Mikromechanik, die sich genauso dimensionieren lassen wie die elektronischen Parameter. Dadurch sind erprobte IC-Design-Methoden wie die parametrische Simulation, Optimierung, symbolische Analyse und Modellvereinfachung auf das MEMS-System-Design übertragbar. Basierend auf dieser Möglichkeit sollen neue Tools entwickelt oder bestehende erweitert werden, damit zum Projekt-Ende eine durchgängige Kette von Tools vorliegt, um den MEMS-Entwurf in den bestehenden Design-Flow des Elektronik-Entwurfs zu übertragen. Damit wird es möglich sein, vollständige MEMS-Systeme zu simulieren und zu optimieren.

Im Rahmen von **Arbeitspaket 3**, dessen Aufgabe der Demonstrator und die Applikation von MEMS ist, werden Entwürfe verifiziert und Sensoren gefertigt, die zur Kalibrierung der im ersten Arbeitspaket erstellten Modelle und zur Verifikation der im zweiten Arbeitspaket entwickelten Methodik nötig sind. Die in den ersten beiden Arbeitspaketen entstandenen Methoden werden dabei beispielhaft für den Entwurfszyklus von Inertial-, Druck- und Kraftsensoren sowie Mikrospiegel eingesetzt und ihre Anwendbarkeit evaluiert. Dies geschieht beispielsweise durch den Vergleich von Simulationsergebnissen und Messungen.

Neben Silizium-Demonstratoren, die unter Anwendung des neuen Design-Flow entworfen und gefertigt werden, erfolgt die prototypische Implementierung verschiedener Software-Demonstratoren. Darüber hinaus wird die Methodik zur Überbrückung der Schnittstelle Foundry-MEMS/Entwickler-Systemintegrator für MEMS-Technologien am Beispiel eines Foundry-PDK für eine MEMS-Technologie prototypisch realisiert, um ein von allen Foundry-Kunden nutzbares PDK zu erhalten, das vor allem KMUs die Verwendung von MEMS erleichtert. Schließlich erfolgt im Rahmen dieses Arbeitspaketes die Definition von Anforderungen an Modell-Tests bezüglich technischer und wissenschaftlicher Performance sowie die Bewertung der Testergebnisse aus Sicht eines MEMS-Anwenders.

**Autor:** Ralf Popp ist zuständig für Öffentlichkeitsarbeit & Marketing beim edacentrum in Hannover.

1. Das Projekt MEMS2015
2. Das durchgängige Entwurfssystem
3. MEMS2015 - Die Projekt-Beteiligten
4. Das edacentrum

# Das Projekt MEMS2015

---

15.10.2013

Ralf Popp

---

*Fortsetzung des Artikels von Teil 2.*

## MEMS2015 - Die Projekt-Beteiligten

Das auf drei Jahre angelegte Forschungsprojekt MEMS2015 bündelt die Potenziale von acht Partnern aus Forschung und Industrie:

- Cadence Design Systems
- Carl Zeiss SMT
- Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme
- Robert Bosch
- Technische Universität München
- Tetra Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation
- Universität Bremen
- X-FAB Semiconductor Foundries.

Der Software-Anbieter Coventor unterstützt als assoziierter Partner. Das Projektmanagement von MEMS2015 übernimmt das edacentrum in Hannover.

---

Teil 3 von 4

---

1. Das Projekt MEMS2015
2. Das durchgängige Entwurfssystem
3. MEMS2015 - Die Projekt-Beteiligten
4. Das edacentrum