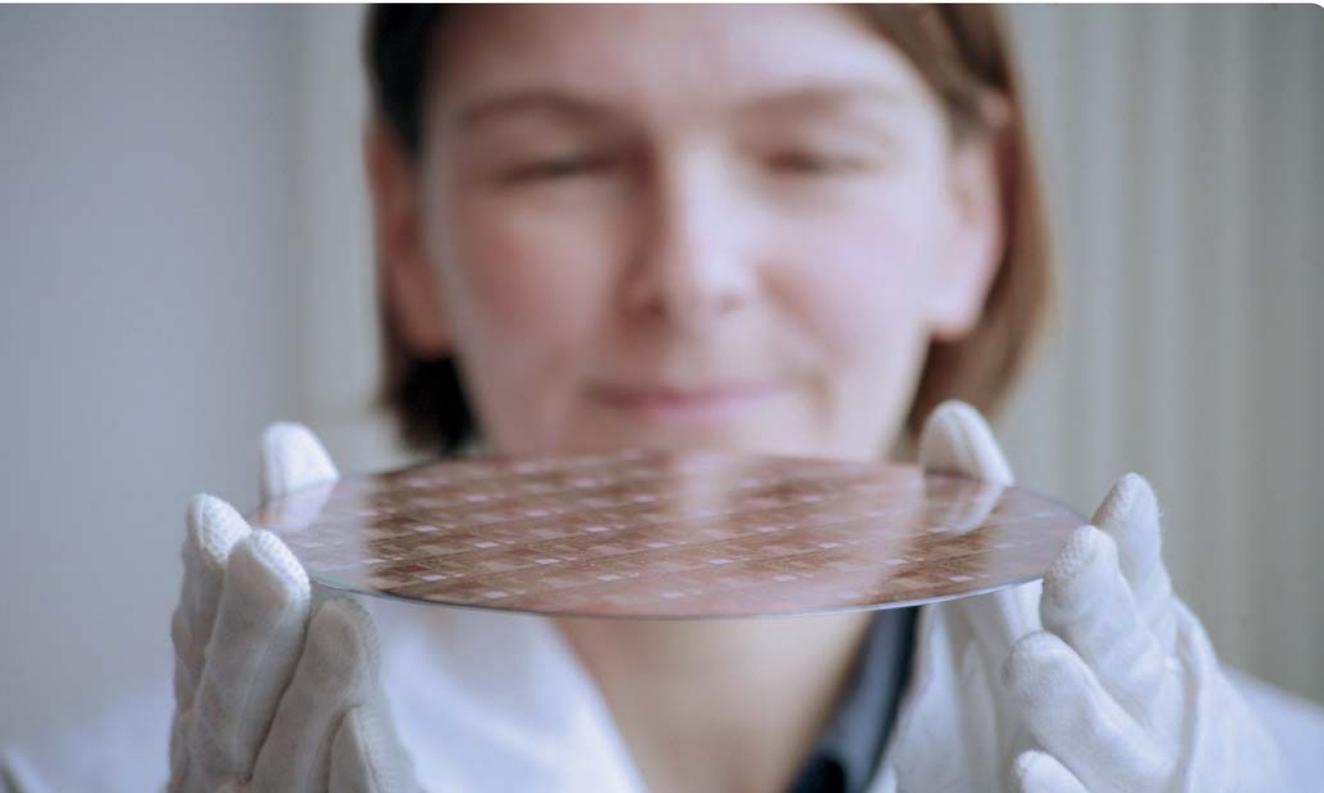


SMARTIEHS Sets New Standards for MEMS Tests on Wafer Level



Micro-(Opto-)Electro-Mechanical Systems (M(O)EMS) detect the fall of a laptop to park the read head of the hard disk in time, control inkjet printing heads or warn in car tyres in case of a sudden pressure drop. Therefore, M(O)EMS are a vital driving force of developing innovative products. With a size of only some millimeters, they unite sensors, actors and control electronics in a compact setup on one chip. All these elements are created directly on the wafer using procedures, some of which are established in the semiconductor process already and have been further developed for M(O)EMS production. Worldwide, about 6 billion M(O)EMS are produced per year. According to estimates of the market researcher Yole Développement, this number is going to double within 5 years. At the same time, the microsystems become more and more

Figure 1: On 8 inch wafers, an average of 10,000 structures is placed. It is the goal of the SMARTIEHS project to test these structures faster. Source: IMMS

complex, as well as their reliability requirements. To succeed in competition, this means that the production costs have to be reduced continuously.

The MEMS production requires a number of tests securing quality and performance parameters. In general, M(O)EMS elements are being tested at the earliest stage in the production process. This way, in case of a defect element, the following steps like separation, contacting and housing can be omitted. The trend towards larger wafer diameters and smaller elements leads to a higher number of units that have to be tested per wafer. In addition, the

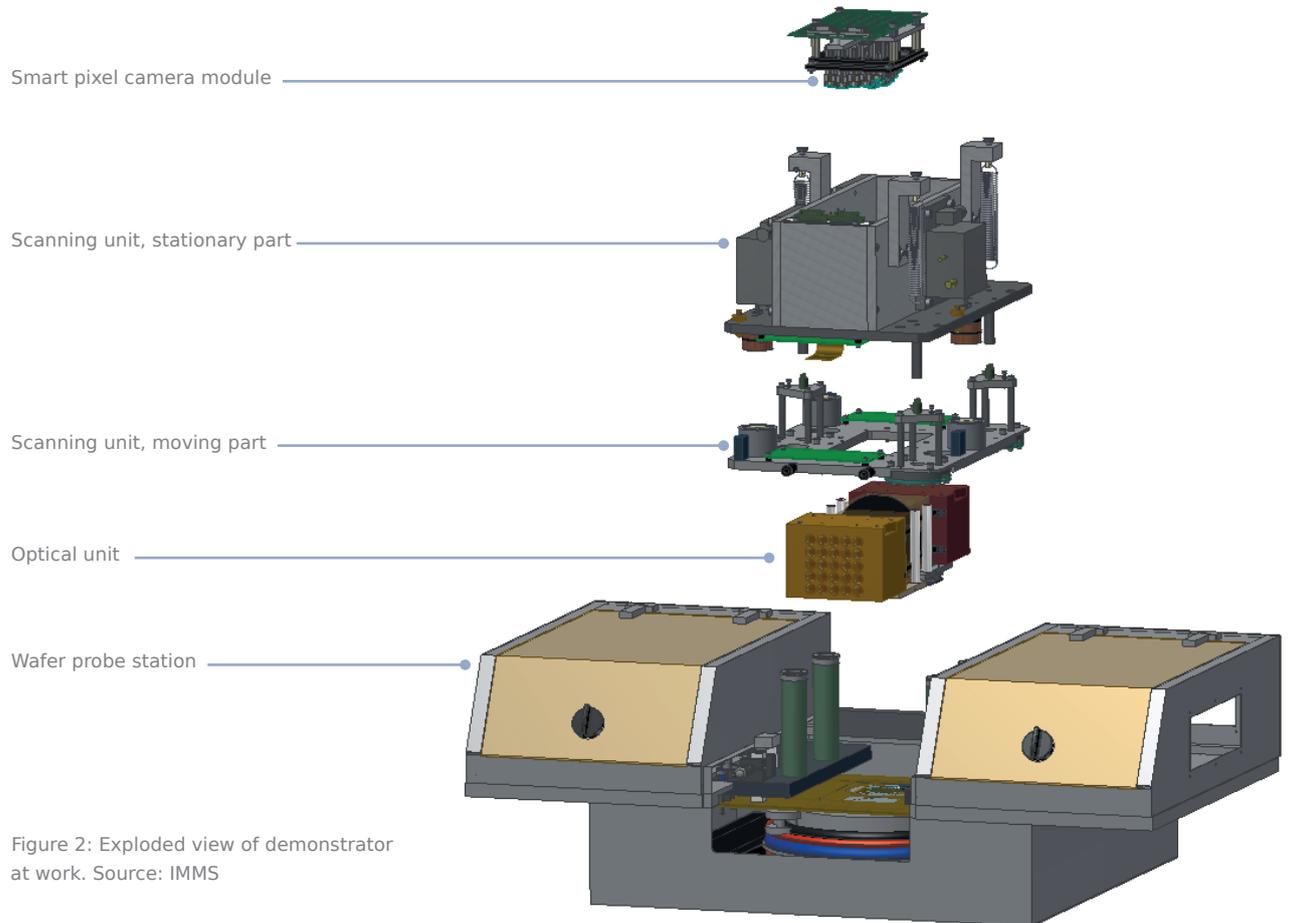


Figure 2: Exploded view of demonstrator at work. Source: IMMS

rising quality requirements demand a 100% test of all elements. All these requirements cannot be efficiently met with the currently applied test methods, since by now, single elements are measured sequentially. This is very time and cost intensive. Therefore, the test methodology has to be improved significantly.

With this motivation, the SMARTIEHS project was established, funded by the European Union (SMART InspEction system for High Speed and multifunctional testing of MEMS and MOEMS, code FP7-ICT2007-2, project ID 223935). After three years, it was successfully finished in October 2011 and united research groups from 6 European countries. IMMS was leading the implementation of the whole inspection system. The project resulted in a scalable, parallel measurement system able to test 25 M(O)EMS structures on a wafer at the same time in the first run. An extension to up to 100 test units is possible. This is realized by microoptically processed interferometer matrices. These consist of two different groups of miniature interferometers

aligned in a 5x5 matrix. Dynamic parameters like modal frequencies and mode forms are measured with a laser interferometer (LI) in Twyman-Green Configuration. A low coherence interferometer (LCI) in Mirau configuration measures topography and distortion. Smart pixel cameras, developed especially for this purpose, also aligned in a 5x5 matrix, allow the efficient processing of all these signals on pixel level already. From such measuring values and from simulation data, MEMS parameters like material stress, are identified non-destructively in an indirect procedure.

On the one hand, IMMS was responsible for test procedures, on the other hand for the implementation of the whole inspection system. The institute developed hardware and software components to process the data of the smart pixel cameras with 3 giga bits per second. The inspection system platform constructed at IMMS united all developed mechanical and optical assemblies of all project



Figure 3: The vertical motion of the smart pixel camera is stabilised by three membrane springs. Source: IMMS

partners in a full working demonstrator. The justification of the different optical and mechanical components towards each others within micrometers was especially challenging. For example, 25 electrodes of the electrostatic actor unit in form of a wafer had to be positioned within a distance of only a few micrometers parallel to the wafer to be tested. The demonstrator was based on a wafer prober PA200, with which the inspection system can test a complete wafer with all elements automatically. IMMS developed a software program that controls and synchronizes the system components and coordinates the data stream between them. Topography measurements are carried out to test the sensor quality. This requires scan movements of the measuring head. For this, IMMS developed a high-precision drive with a precision of 10 nm and better, with a homogeneous movement with less than 1 % offset at a speed of 0.1 to 1 mm/sec.

During the remaining 9 project months in 2011, the institute carried out an intensive function and application test on the SMARTIEHS system. To meet all the parameters required by the industry, first, IMMS optimized the hardware and software of the test setup using a special testwafer solely developed for the project. In the application tests, the institute then carried out measurements at an industrially produced MEMS wafer and compared the results with the ones of commercial test hardware. A good compliance could be reached and finally validated by an industrial partner. The results acknowledge the system's absolute singularity due to the parallel concepts, as well as potential for a number of further industrial applications.

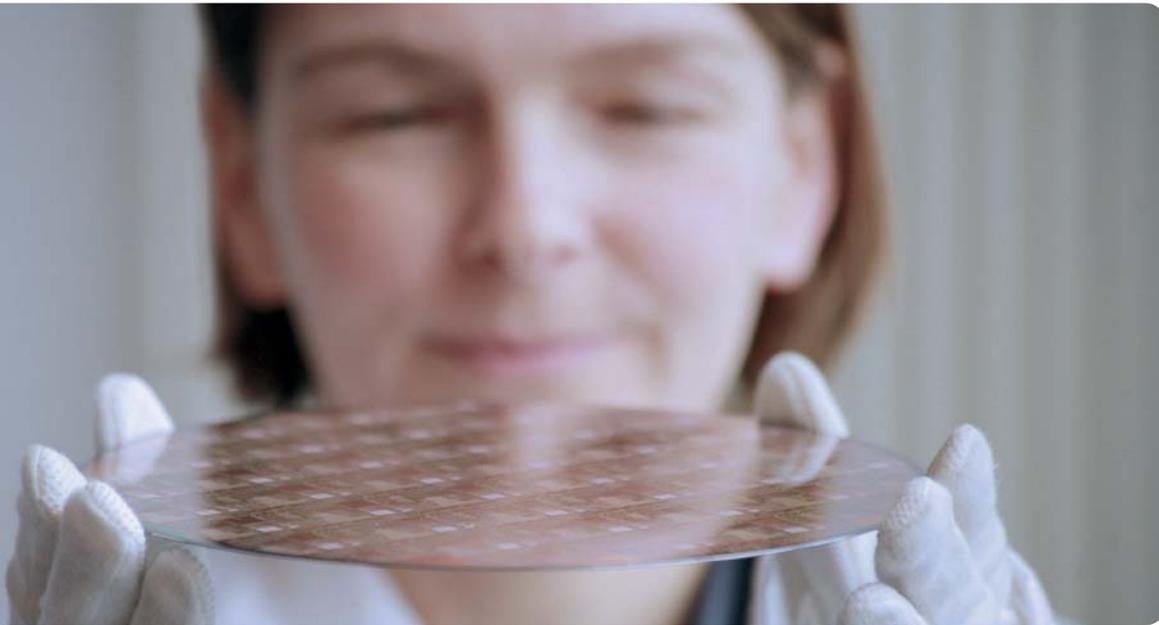
After finishing the SMARTIEHS project, IMMS hosted a Final Review Meeting in mid-October to present the project results to all project partners and experts of the European Union. At the same time, the institute organized the 11th Memunity Workshop, at which the SMARTIEHS system was introduced to a specialist audience in a lecture and a presentation of the demonstrator.

In the project, IMMS has successfully applied and extended its know-how in design and optimization of complex systems. In addition, the institute gathered experiences in controlling precision drives and modelling and has applied parameter extraction of MEMS elements on new sensor systems. The research on non-destructive indirect parameter extraction of MEMS by measuring their modal frequencies is currently continued at IMMS in the UseNEMS project. In cooperation with our industry partners we want to apply this procedure in quality assurance in the future.

Contact:

Dipl.-Ing. Roman Paris
roman.paris@imms.de

SMARTIEHS setzt neue Maßstäbe für MEMS-Tests auf Wafer-Ebene



Mikro-(Opto-)Elektro-Mechanische Systeme (M(O)EMS) signalisieren den Fall eines Laptops, um den Lesekopf der Festplatte rechtzeitig in Parkposition zu fahren, steuern Inkjet-Druckköpfe oder warnen in Autoreifen vor einem plötzlichen Druckabfall. M(O)EMS stellen damit eine entscheidende Triebkraft der Entwicklung innovativer Produkte dar. Sie sind nur wenige Mikrometer groß und vereinen in kompakter Bauweise Sensoren, Aktoren und Steuerungselektronik auf einem Chip. All diese Bauelemente werden direkt auf dem Wafer auf Basis von Verfahren hergestellt, die teilweise in der Halbleiterfertigung bereits etabliert sind und für die M(O)EMS-Produktion weiterentwickelt wurden. Weltweit werden pro Jahr sechs Milliarden MEMS hergestellt. Schätzungen des Marktforschers Yole Développement zufolge wird sich diese Menge innerhalb von fünf Jahren verdoppeln. Gleichzeitig steigen die Komplexität der Mikrosysteme und die Anforderungen an deren Zuverlässigkeit. Um im Wettbewerb zu bestehen, müssen folglich die Herstellungskosten kontinuierlich gesenkt werden.

Bild 1: Auf Acht-Zoll-Wafern wie diesem befinden sich durchschnittlich 10.000 Strukturen. Diese schneller prüfen zu können, ist das Ziel des SMARTIEHS-Projekts. Quelle: IMMS

Die MEMS-Fertigung erfordert eine Reihe von Tests, in denen Qualität und Leistungsparameter sichergestellt werden. Generell werden die M(O)EMS-Bauelemente in einer möglichst frühen Stufe des Produktionsprozesses untersucht. So können nachfolgende Fertigungsschritte, wie Vereinzelung, Kontaktierung und Einhausung entfallen, sobald ein Element defekt ist. Der Trend zu immer größeren Wafer-Durchmessern und immer kleineren Bauelementen führt zu immer mehr Einheiten, die pro Wafer untersucht werden müssen. Zudem werden durch steigende Qualitätsanforderungen zunehmend 100%ige Überprüfungen aller Bauelemente gefordert. All diese Anforderungen lassen sich mit den derzeit angewandten Testmethoden nicht effizient erfüllen. Denn bislang werden einzelne Bauelemente sequentiell gemessen. Das ist sehr zeit- und kostenaufwändig. Die Testmethodik muss infolgedessen deutlich verbessert werden.

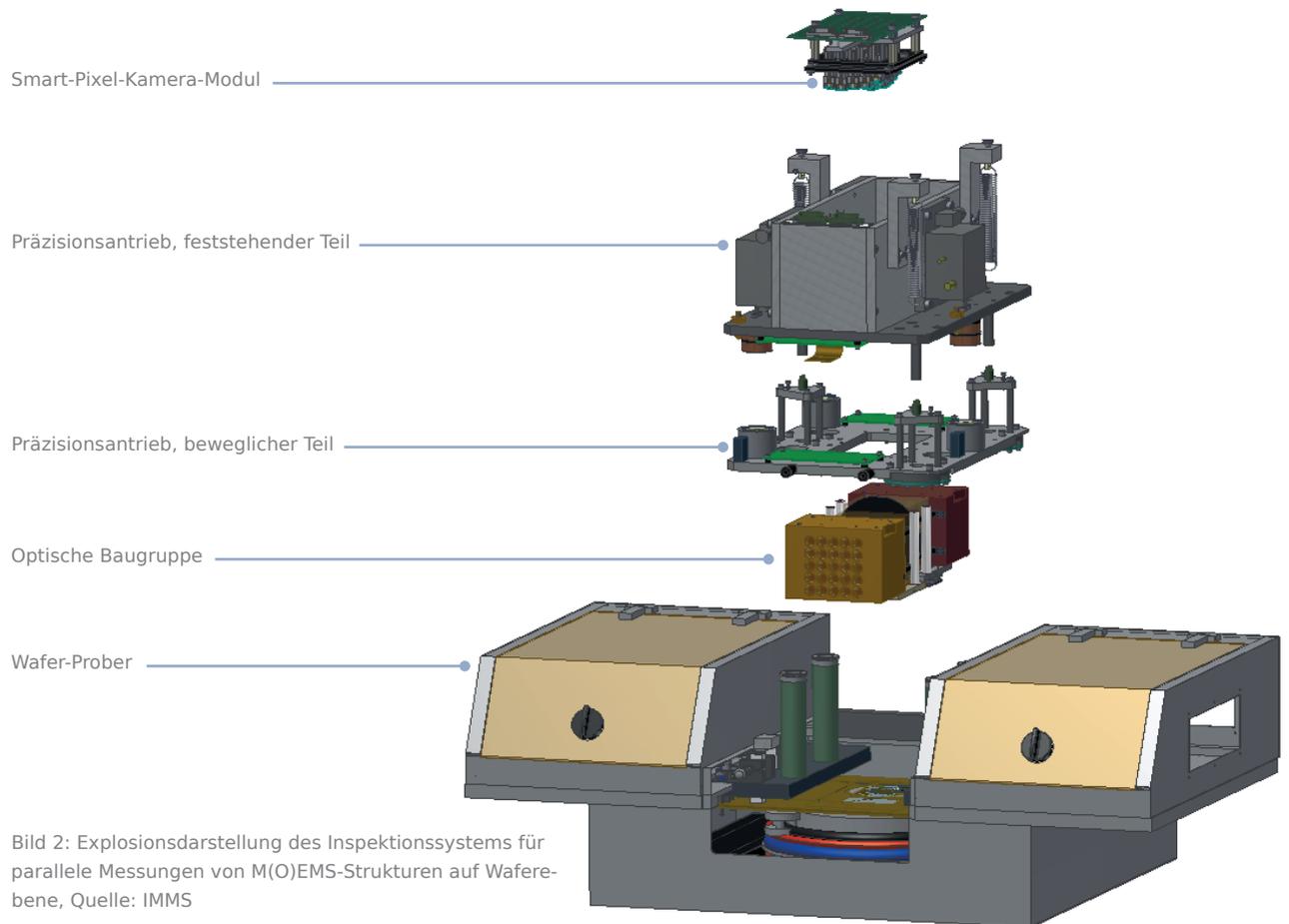


Bild 2: Explosionsdarstellung des Inspektionssystems für parallele Messungen von M(O)EMS-Strukturen auf Waferebene, Quelle: IMMS

Aus dieser Motivation heraus wurde das von der Europäischen Union geförderte Projekt SMARTIEHS ins Leben gerufen (SMART InspEction system for High Speed and multifunctional testing of MEMS and MOEMS, Förderkennzeichen FP7-ICT2007-2, Projekt ID 223935). Es wurde nach drei Jahren im Oktober 2011 erfolgreich abgeschlossen und vereinte Forschergruppen aus sechs europäischen Ländern. Federführend bei der Realisierung des gesamten Inspektionssystems war das IMMS. Ergebnis des Projekts ist ein skalierbares, paralleles Messsystem, mit dem zunächst 25 M(O)EMS-Strukturen im Waferverbund gleichzeitig geprüft werden können. Eine Erweiterung auf bis zu 100 Prüfeinheiten ist denkbar. Möglich wird dies durch mikrooptisch prozessierte Interferometer-Matrizen. Diese bestehen aus zwei verschiedenen Gruppen von Miniaturinterferometern, die jeweils in einer 5x5-Matrix angeordnet sind. Dynamische Parameter, wie Eigenfrequenzen und Eigenformen, werden mittels Laser-Interferometer (LI) in Twyman-Green-Konfiguration gemessen. Ein Low-Coherence-Interferometer (LCI) in Mirau-Konfiguration erfasst Topogra-

phie und Verformungen. Speziell für diesen Zweck entwickelten Smart-Pixel-Kameras, die ebenfalls in einer 5x5-Matrix angeordnet sind, erlauben die effektive Verarbeitung all dieser Signale bereits auf Pixelebene. Aus solchen Messwerten und aus Simulationsdaten werden zerstörungsfrei in einem indirekten Verfahren MEMS-Parameter identifiziert, wie z.B. die Materialspannung.

Das IMMS war zum einen für Testverfahren und zum anderen für die Realisierung des gesamten Inspektionssystems verantwortlich. Das Institut hat Hard- und Softwarekomponenten entwickelt, um die Daten der Smart-Pixel-Kameras mit bis zu drei Gigabit pro Sekunde zu verarbeiten. Das am IMMS konstruierte Chassis vereinte alle entwickelten mechanischen und optischen Baugruppen aller Projektpartner zu einem voll funktionstüchtigen Demonstrator.

Besonders herausfordernd hierbei war die Justierung der verschiedensten optischen und mechanischen Komponenten zueinander im Mikrometer-



Bild 3: Die vertikale Präzisionsbewegung der SMART-Pixel-Kamera wird durch drei am Rand eingespannte Membranfedern stabilisiert. Quelle: IMMS

bereich. Zum Beispiel mussten 25 Elektroden der elektrostatischen Anregungseinheit in Form eines Wafers mit einem Abstand von wenigen Mikrometern parallel zum zu prüfenden Wafer positioniert werden. Als Basis des Demonstrators diente ein Waferprober PA200, mit dessen Hilfe das Inspektionssystem automatisch einen kompletten Wafer mit allen Elementen prüfen kann. Das IMMS hat ein Programm entwickelt, das die Einzelkomponenten des Systems steuert, synchronisiert und den Datenfluss zwischen ihnen koordiniert. Um die Qualität eines Sensors zu prüfen, werden Topografiemessungen vorgenommen. Dazu sind Scan-Bewegungen des Messkopfes notwendig. Hierfür hat das IMMS einen Hochpräzisionsantrieb entwickelt, der eine Positioniergenauigkeit von besser als 10 nm sicherstellt und eine gleichförmige Bewegung mit einer Abweichung von weniger als 1% bei einer Geschwindigkeit von 0,1 bis 1 mm/s erreicht.

In den verbleibenden neun Projektmonaten im Jahr 2011 hat das Institut das SMARTIEHS-System einem ausgiebigen Funktions- und Anwendungstest unterzogen. Um alle von der Industrie geforderten Parameter zu erreichen, hat das IMMS zuerst mit Hilfe eines eigens für das Projekt entwickelten Testwafers die Hard- und Software des Messaufbaus optimiert. Im Applikationstest hat das Institut dann an einem industriell gefertigten MEMS-Wafer Messungen durchgeführt und deren Ergebnisse mit denen kommerzieller Testhardware verglichen. Es konnte eine gute Übereinstimmung erreicht und abschließend von einem Industriepartner validiert werden. Die Ergebnisse bescheinigen dem System absolute Einzigartigkeit aufgrund des parallelen Konzepts und zudem Potential für zahlreiche industrielle Applikationen.

Nach Abschluss des SMARTIEHS-Projektes hat das IMMS Mitte Oktober ein Final Review Meeting veranstaltet, um Vertretern aller Projektpartner und Gutachtern der Europäischen Union die Projektergebnisse zu präsentieren. Zeitgleich richtete das Institut den 11. Memunity Workshop aus, bei dem das SMARTIEHS-System in einen Vortrag und mit einer Vorführung des Demonstrators dem Fachpublikum vorgestellt wurde.

Im Projekt hat das IMMS das Know-how im Design und der Optimierung komplexer Systeme erfolgreich zur Anwendung gebracht und ausgebaut. Zudem hat das Institut Erfahrungen auf den Gebieten der Steuerung von Präzisionsantrieben und der Modellierung und Parameterextraktion von MEMS-Bauelementen auf neue Sensorsysteme angewandt. Die Forschung zur zerstörungsfreien indirekten Bestimmung von Bauelementeparametern von MEMS durch die Messung ihrer Eigenfrequenzen wird gegenwärtig am IMMS im Projekt Use-NEMS fortgeführt. Gemeinsam mit Industriepartnern möchten wir dieses Verfahren künftig in der Qualitätssicherung zur Anwendung bringen.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Roman Paris
roman.paris@imms.de