

Von der Aufbau- und Verbindungstechnik zum Mikrosystem

T. Blank, H. Gemmeke, IPE

Einleitung

Mikrosysteme bestehen im Allgemeinen aus mikromechanischen, mikrooptischen oder mikrochemischen Komponenten und einer Ansteuer- und Auswerteelektronik. Die Steuer- und Regelelektronik ist zusammen mit der Mikrokomponente zumeist Bestandteil eines größeren Systems (eines Fahrzeugs beispielsweise) und wird als eingebettetes System (Embedded System) bezeichnet. Eingebettete Systeme beinhalten zumeist programmierbare elektronische Bausteine, welche einerseits Mikro-Sensoren auslesen, deren Informationen bewerten und andererseits auch Mikro-Aktoren ansteuern, siehe Abb. 1.

Die Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) spielt für Mikrosysteme eine signifikante Rolle. Dabei sind zwei Bereiche der AVT zu unterscheiden: Zum einen sind Technologien zum Aufbau des Mikrosystems (Sensor, Aktor) selbst zu entwickeln, zum anderen müssen neuartige Verfahren erarbeitet werden, um das Mikrosystem zu häusen. Die Vielfalt der Arten von Mikrosystemen erfordert oft einen hybriden Aufbau (Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe), der sehr kostenintensiv und aufwendig ist. Die Gehäusetechnologien, die für das Packaging von Siliziumchips entwickelt wurden, sind nur bedingt tauglich, um Mikrosysteme zu verpacken. Besonders effizient bezüglich Ökonomie, Funktion und weiterer

Miniaturisierung werden diese Mikrosysteme, wenn Aufbau- und Verbindungstechnik und Funktion eine Synergie eingehen. Wir werden im Folgenden einige Beispiele kennen lernen, an denen das sehr gut demonstriert wird.

Bedeutung der Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme am Beispiel eines Mikro-vibrationsschalters

Ein im Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE) entwickelter Mikro-vibrationsschalter, der zur automatischen Ein- bzw. Abschaltung von Fahrradrücklichtern dient, soll einige Aspekte der Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme

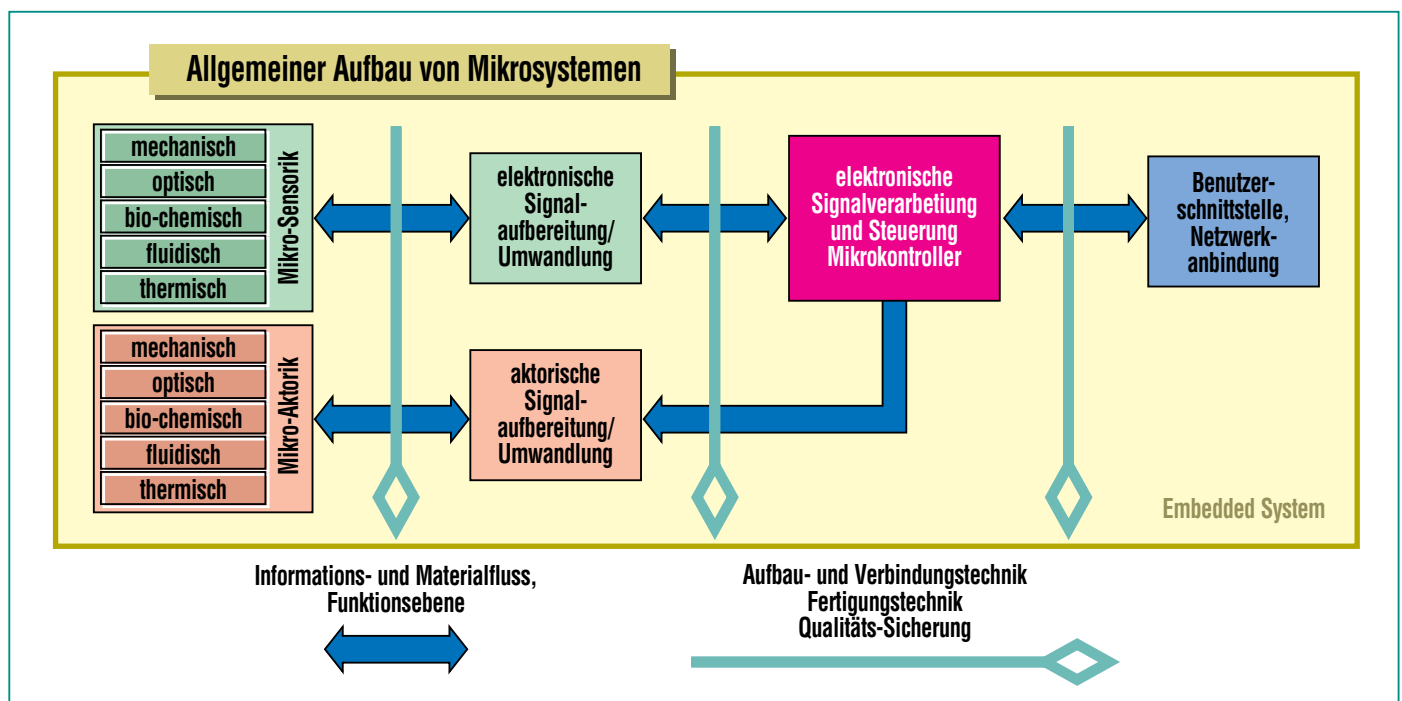


Abb. 1: Genereller Aufbau von Mikrosystemen – der horizontale Zweig bestimmt die Funktion (Mikrosensortyp, Art der elektronischen Auswertung und Steuerung). Der vertikale Zweig bestimmt, in welcher Art die einzelnen Funktionsbausteine fertigungstechnisch miteinander verbunden (Kleben, Drahtbonden, Löten, Schrauben, optische Ankopplung) und welche Techniken zum Schutz der z.T. sehr empfindlichen Systeme verwendet werden (Häusen, „Packaging“).

beleuchten. Hintergrund der Entwicklung von Mikrovibrationsschaltern für Fahrradrückleuchten (Abb. 2) war die Anfrage eines Kleinunternehmers, der nach einer preiswerten Alternative für Quecksilberschalter suchte. Die Quecksilberschalter geben Schaltimpulse ab, solange das



Abb. 2: vollautomatisches Fahrradrücklicht mit FZK-Mikrovibrationsschalter.

Fahrrad bewegt wird. Kommt das Fahrrad zum Stillstand, bleiben die Impulse aus, und nach einer kurzen zeitlichen Verzögerung von ca. einer Minute wird das Rücklicht durch eine Elektronik ausgeschaltet. Der Kostendruck durch Billiganbieter aus Fernost, aber auch eine EU-Richtlinie, nach der Quecksilber in elektronischen Systemen ab dem Jahr 2007 nicht mehr verwendet werden darf, veranlasste das Unternehmen, eine spezielle Auswerteschaltung in ein ASIC (Chip) zu integrieren und den vom FZK entwickelten Vibrationsschalter in Rücklichter einzubauen.

Die Funktion des Mikro-Vibrationsschalters besteht wie bei dem Quecksilberschalter in der Detektion von Bewegungen. Der Schalter ist durch die nachgeschaltete Elektronik in der Lage, eine Leuchtdiode ein- oder auszuschalten. Die Funktion von Bewegungsschaltern beruht auf einer beweglichen Quecksilberper-

le oder Kugel, die zwei feststehende, normalerweise elektrisch isolierte Elektroden, leitfähig miteinander verbindet, siehe Abb. 3.

Der im Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik entwickelte Schalter benutzt eine Mikrokugel, die in einer Leiterplatte vollständig eingekapselt ist und bei Bewegung zwei Elektroden leitfähig miteinander verbindet.

Bei der Entwicklung standen bereits in der ersten Projektphase fertigungstechnische Belange im Mittelpunkt der Arbeiten und beeinflussten das spätere Layout maßgeblich. Darüber hinaus waren die kommerziellen Vorgaben des Auftraggebers unbedingt einzuhalten. Der Schalter, siehe Abb. 4, sollte auf industrieüblichen Bestückungsautomaten verarbeitbar sowie wesentlich preisgünstiger als der Quecksilberschalter sein.

Der technische Aufbau des Sensors wurde zunächst mit kerami-

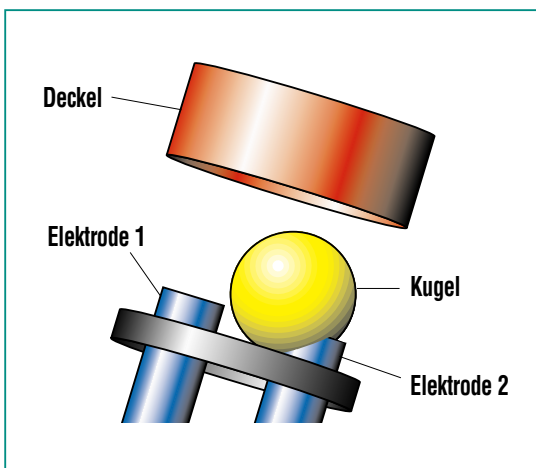


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau von Bewegungsschaltern. Wenn die Kugel beide Elektroden berührt, ist der Übergang von der Elektrode 1 zur Elektrode 2 niederohmig, elektrischer Strom kann fließen.

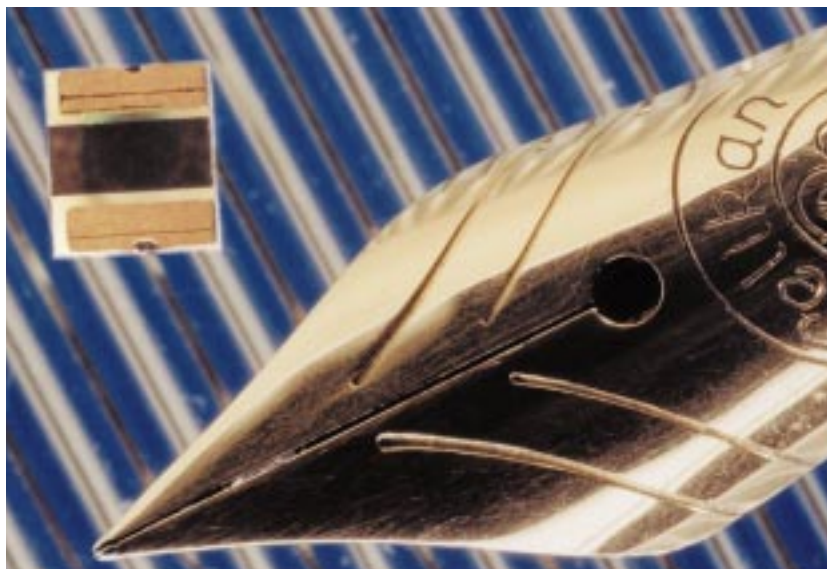


Abb. 4: FZK-Schalter neben einer Füllfederhalterspitze. Die Schaltfunktion wird hier durch eine Metallkugel realisiert.

schen und metallischen, strukturierten Platten als Träger für den Kugelschalter evaluiert. Aus ökonomischen Gründen wählte man zur Produktion glasfaserverstärktes Epoxydharz mit Kupferbahnen (Leiterplatten der elektronischen Schaltungstechnik) aus. Die Verwendung derartiger Werkstoffe erleichterte die Verlagerung eines Teils der Fertigung vom Forschungszentrum zu einem Dienstleister der Leiterplattenbranche. Die anfänglichen Schwierigkeiten mit der Fertigung der Schaltergruppen mit den strengen Anforderungen an Oberflächenreinheit, Dichte der Einkapselung und Sauberkeit der Klebung konnten mit Hilfe eines engagierten Leiterplattenherstellers in Norddeutschland und der im FIF [1] organisierten Institute im FZK gelöst werden. Die Schalter werden gegenwärtig industriell im Leiterplattenverbund von 1000 Schaltern gefertigt und im FZK/IPE auf einem eigens für diesen Zweck entwickelten Test-

platz gleichzeitig getestet und qualifiziert, siehe Abb. 5. Auf dem Testplatz wird das Schaltverhalten der bewegten Mikroschalter gemessen und auf einem Rechner abgespeichert.

Nach dem Test wird die Leiterplatte durch Sägen mit einer Präzisionssäge in die Mikro-Vibrationschalter vereinzelt. Dieser Fertigungsschritt zog erhebliche Entwicklungsarbeiten nach sich. Die Säge und die Klebefolie, welche die Leiterplatte und die bereits vereinzelt Sensoren während des Sägens fixiert, sind für das Sägen von Siliziumwafern optimiert. Für das hier gewählte Leiterplattenmaterial musste eine geeignete Sägeblatt-Folien-Kombination für eine hinreichend große Standzeit der Sägeblätter gefunden werden.

Das Datenfile des automatischen Tests dient nach der Vereinzelung der Leiterplatte zur Steuerung des Roboters, der die einzelnen Schalter von der Leiter-



Abb. 5: Schematischer Aufbau des Testplatzes.

platte in die eigens für die Vibrationschalter entwickelten Bauteilträger umfüllt, falls sie einer bestimmten Güteklasse entsprechen, siehe Abb. 6.

Inzwischen sind schon mehr als 100000 Sensoren erfolgreich gefertigt worden. Der Schalter befindet sich in der Qualifizierung und der Vermessung der Langzeit-Sensitivität. Hierfür wird das im Rahmen des BMBF-Verbundprojekt KOMET im IPE entwickelte Inertialsensorsystem als Referenz zur Erfassung dreidimensionaler Beschleunigungs- und Drehwerte eingesetzt [2].

Der Erfolg des Vibrationssensors beruht auf fünf wichtigen Grundlagen: 1. der Weiterentwicklung einer gut bekannten Standardtechnik für Leiterplatten hin zu höherer Präzision, 2. der hinreichenden Erfahrung mit Klebetechniken aus der Mikrosystemtechnik, 3. des guten „Know-how“



Abb. 6: Umsortieren der vereinzelt Schalter von der Leiterplatte in den Transportbehälter.

in Oberflächentechnologien in der Materialforschung im FZK, 4. der Synthese von funktionellen und elektrischen Verbindungstechniken und 5. der frühzeitigen Qualitätskontrolle – schon in der Entwicklungsphase – mit einem vollautomatischen Testmessplatz.

Der Erfolg des automatischen Rücklichts als Ganzes beruht neben der Verwendung des Mikro-Vibrationsschalters auf der Entwicklung eines ASICs (Application Specific Integrated Circuit). In dem ASIC werden viele diskrete elektronische Komponenten auf einer deutlich reduzierten Fläche in einem Chip zusammengeführt. Dadurch konnten die Energieaufnahme, die Kosten und die Systemgröße deutlich reduziert werden. Die Verwendung von ASICs ist ein Weg, elektronische Systeme zu verkleinern. Eine andere Möglichkeit zur Reduzierung der Systemgröße besteht in der Integration ungehäuster Chips direkt auf der Leiterplatte (Chip On Board – COB).

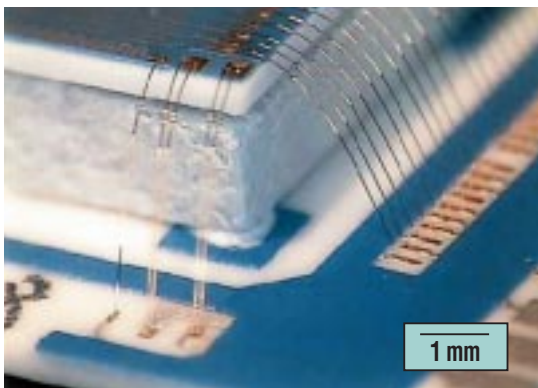


Abb. 7: Prototyp eines mit Golddraht gebondeten keramischen Metalloxid-Gas-Sensor-Chips für die Karlsruher Mikro Nase (KAMINA).

Weitere Miniaturisierung der AVT durch Chip On Board (COB)

Viele Forschungsvorhaben in der Mikrosystemtechnik lassen sich nur dann realisieren, wenn das Gesamtsystem äußerst klein ist. Ein Beispiel dafür ist die Durchführung gassensorischer Messungen mit der KAMINA (Karlsruher Mikro Nase) beim Bohren von Löchern in kontaminierten Böden, wofür die Größe des Gesamtsystems um ca. 75% reduziert werden muss. Dazu werden im IPE Gehäuse für Chips entwickelt, die den besonderen Anforderungen der Kleinserie und der Wartungsfreundlichkeit entgegenkommen. Selbst spezielle, extrem kleine Gehäusevarianten für den Gas-Sensor-Chip (siehe Abb. 7) sowie der Einsatz modernster elektronischer Bausteine, deren Gehäuseabmessungen unwesentlich größer als der Chip sind, sind nicht ausreichend, um die geforderten Größenvorgaben einhalten zu können. In die Auswerteelektronik müssen ungehäuste Chips direkt auf das Board (Chip on Board) integriert werden. Im IPE stehen zur Herstellung derartiger Systeme alle technische Fertigungs- und Prüfsysteme zur Verfügung.

Das Know-How in der Verarbeitung ungehäuster Chips, in der Miniaturisierung elektronischer Systeme und der Entwicklung neuartiger Gehäusevarianten für Mikrosysteme eröffnet überaus positive Perspektiven für deren Weiterentwicklung. Ein Beispiel hierfür ist das SAW-(Surface Acoustic Wave) basierte Gasanalyse-System (SAGAS), das aus

der Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Instrumentelle Analytik (IFIA) und dem IPE entstanden ist.

Neue Perspektiven durch die AVT für das Gasanalyzesystem SAGAS

Das SAGAS-System ist ein exemplarischer Vertreter eines komplexen Mikrosystems mit Mikro-Sensorik und -Aktorik, unterschiedlichen fluidischen und thermischen Komponenten, intelligenter Steuer- und Regelelektronik sowie einer Bedienerschnittstelle. Das Gasanalyzesystem SAGAS besteht aus einem Feld von 8 Sensoren und kann die unterschiedlichsten Gerüche unterscheiden, siehe Ergebnisse in [3].

Die Aufgaben der Elektronik bestehen in der Steuerung und Regelung der sensorischen und aktorischen Komponenten, der Datenerfassung, der Datenauswertung sowie in der Auswertung der Bediener-Informationen, siehe Abb. 8. Die Schnittstelle zum Benutzer wird mittels einer Tastatur und einem LCD-Display hergestellt. Das SAGAS System stellt somit eine intelligente Einheit dar, die vollständig autark arbeiten kann. Neben dem Betrieb als einzelne Messstation kann das Gas-Sensorsystem auch in einem Netzwerk mit anderen SAGAS-Einheiten zusammen betrieben werden, so dass eine flächige Überwachung von Produktionsstätten oder Räumen in einfacher Weise durchgeführt werden kann. Die ganze SAGAS-Elektronik ist damit ein typisches eingebettetes System.

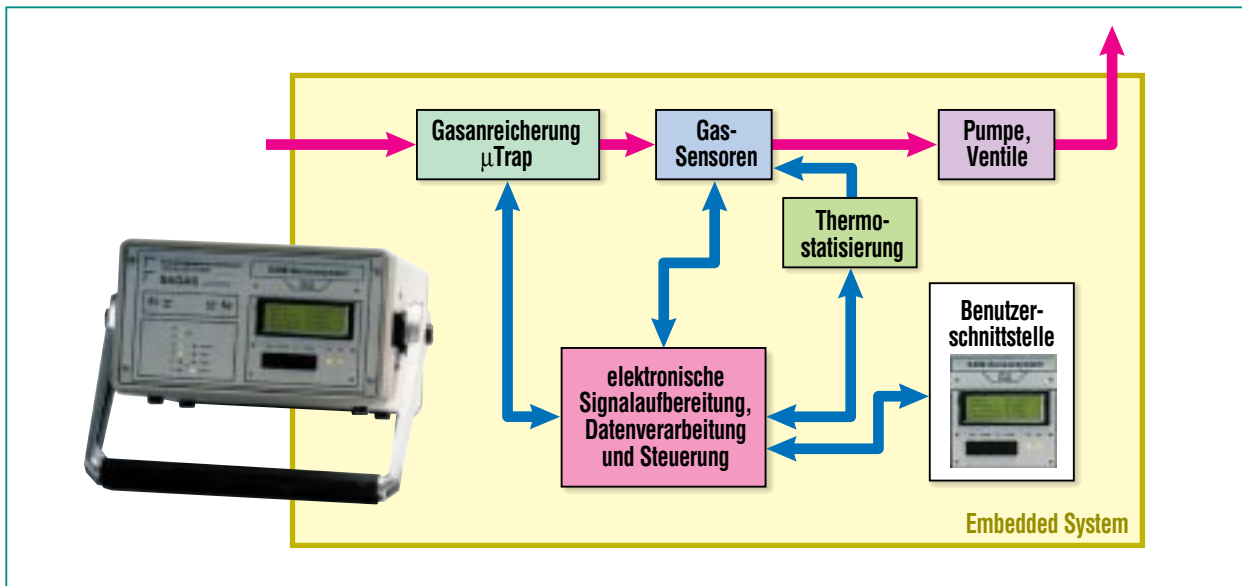


Abb. 8: Mikrokontrollergesteuertes SAGAS-System mit Fluidik, Sensorkopf, Thermostatisierung, Bedienerchnittstelle und Steuer- und Regelelektronik.

Die gewachsene Komplexität eingebetteter Systeme erfordert nicht nur Arbeiten auf dem Gebiet der Aufbau- und Verbindungstechnik, in besonderem Maße müssen auch die Techniken zur Entwicklung des Gesamtsystems vorangetrieben werden. Zur Unterstützung der Systementwicklung wird im IPE eine spezielle Komponentensoftware unter JAVA entworfen. Einzelne Komponenten ergänzen eine universelle Softwareplattform, die Grundfunktionen wie Datenvisualisierung, Datenarchivierung, Benutzerschnittstelle und Netzanbindung zur Verfügung stellt. Die Komponenten bestehen vornehmlich aus Steuer- und Auswertemodule, die für unterschiedliche Anwendungen verwendet werden können. Bisher wurden Komponenten für die Bildverarbeitung, die Datenauswertung mit neuronalen Netzen sowie zur Signalkonditionierung und Merkmalsextraktion entwickelt.

Parallel mit der Erweiterung des eingebetteten Systems hin zu komplexen Anwendungen und Internetanbindung wurden die sensorischen Eigenschaften mit Hilfe der Aufbau- und Verbindungstechnik verbessert. Wichtigste Ziele bei der Weiterentwicklung des Sensorkopfes waren die Verkleinerung des Probevolumens, die Vermeidung von gasabsorbierenden Substanzen im Probevo-

lumen sowie die Vereinfachung der Fertigungstechnik. Damit konnten sowohl wirtschaftliche als auch funktionale Aspekte verbessert werden. Gelöst wurden alle diese Aufgaben durch eine speziell entwickelte keramische und inzwischen Epoxydharz-Leiterplatte (Abb. 9), die sowohl Träger für die elektrischen Signale ist als auch chemisch inert das Gas zu den Sensoren führt.

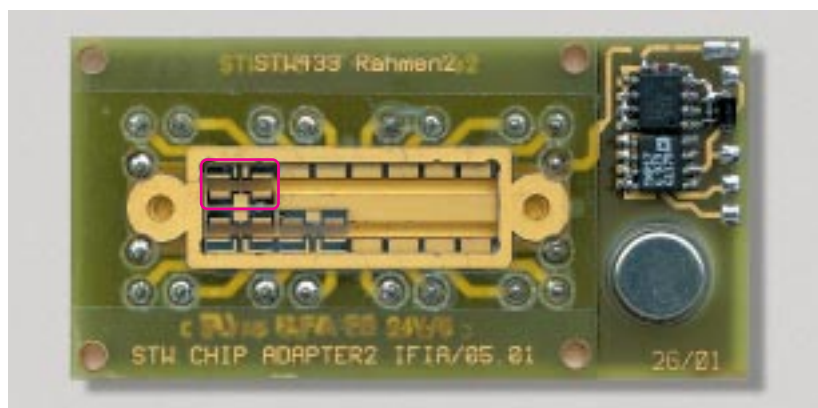


Abb. 9: 3 Einzelresonatoren sind als Flip Chip in die Leiterplatte integriert. Die Leiterplatte übernimmt sowohl den Gastransport als auch die Verteilung elektrischer Signale.

Während in konventionellen elektronischen Systemen die Aufbau- und Verbindungstechnik bzw. die Fertigungstechnik lediglich die Aufgabe hatte, elektrische Signale von einer Stelle zur nächsten zu leiten, übernehmen in modernen Systemen die klassischen mechanischen Komponenten immer stärker funktionale Aufgaben, wie am Beispiel des SA-GAS-Sensorkopfes deutlich zu erkennen ist. Den letzten Stand der Entwicklung stellen dreidimensionale spritzgegossene Schaltungsträger (Moulded Interconnected Devices) dar, bei denen die Kunststoffgehäuse elektronischer Systeme Leiterplattenfunktionalität übernehmen.

Zusammenfassung

Schon ganz am Anfang der Entwicklung von Mikrosystemen spielt die Aufbau- und Verbindungstechnik eine entscheidende Rolle. Welche Baugröße darf das Gesamtsystem haben, welchen Umweltbedingungen wird das System ausgesetzt, wie hoch ist die maximale Leistungsaufnahme –

dies sind einige Fragen, welche die AVT beantworten muss. Die Ziele der hier geschilderten AVT im IPE sind eine Symbiose von elektrischer und stofflicher, bzw. funktioneller Verbindungstechnik. Darüber hinaus ergeben sich neue sehr kompakte und effiziente Sensorlösungen, die einerseits ökonomisch interessant sind und zum anderen auch die technischen Grenzen derartiger Sensoren erheblich verbessern, wie die Beispiele Vibrationssensor und elektronische Nase zeigen.

Die Systemtechnik, d.h. die Signalverarbeitung, Steuerung und das graphische und elektrische User-Interface ist das komplexeste, kostenträchtigste und voluminöseste am Mikrosystem. Die Begrenzung liegt hier in den Hard- und Software-Werkzeugen und der damit verbundenen mangelnden Wiederverwendbarkeit von verschiedenen Soft- und Hardware-Lösungen. Aber auch hieran wird im IPE, wie am Beispiel der elektronischen Nasen, intensiv mit der sog. Komponenten-Software gearbeitet.

Die Entwicklung standardisierter Materialien und Verarbeitungstechniken für den Aufbau von Mikrosensoren sowie der Einsatz wiederverwendbarer Werkzeuge zur Systementwicklung werden auch in den nächsten Jahren die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik prägen.

Literatur

- [1] Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Industrieforum Mikrofertigungstechnik
für Fragen der Fertigung von
Mikrosystemen
<http://fifserver.iaj.fzk.de/fif/>
- [2] Beschreibung von KOMET:
http://www.hpe.fzk.de/projekt/mikro/komet/d_index.html
- [3] M. Rapp, A. Voigt,
V. Hartmann,
in diesem Heft