

## **Mikrosystemtechnik: Die Welt der kleinsten Bauelemente**

**Dr.-Ing. Ingrid Czemper**

### **Einleitung**

Die konsequente Weiterentwicklung der Feinwerktechnik zu immer kleineren Bauelementen mit Hilfe des dazu notwendigen neuen mikromechanischen Fertigungsverfahrens (Rapid Product Development) und der Fertigungsinformatik hat zur Entstehung eines innovativen Wissensgebietes geführt, für das sich die Bezeichnung Mikrosystemtechnik eingebürgert hat.

Was ist unter einem Mikrosystem zu verstehen? Der Definition nach ist ein Mikrosystem ein „intelligentes“ miniaturisiertes System, in dem elektrische, elektromagnetische, mechanische, optische, chemische und biologische sowie andere Funktionselemente so miteinander kombiniert sind, das in der Lage ist, Wahrnehmungs-, Verarbeitungs- und Antriebsfunktionen auszuführen. Werden also Sensoren, Signalverarbeitung und Aktuatoren in miniaturisierter Bauform so zu einem System verknüpft, dass sie „empfinden“, „entscheiden“ und „reagieren“ können, dann spricht man von einem Mikrosystem. Entscheidend dabei ist, dass die genannten Funktionen eigenständig erfolgen.

In einem Mikrosystem übernehmen die Sensoren die Rolle der menschlichen Sinnesorgane, die Signalverarbeitung ist äquivalent dem menschlichen Gehirn und die Aktuatoren fungieren wie die Gliedmaßen.

Bekannte Beispiele für Mikrosysteme sind die Airbagauslöser im Automobil und Herzschrittmacher in der Medizintechnik.

Dem in Deutschland üblichen Begriff des Mikrosystems entspricht international das microelectro-mechanical system (MEMS). Ein MEMS ist ein integriertes System mit elektrischen und mechanischen Komponenten, welches durch Fertigungsverfahren der Mikroelektronik hergestellt wird.

Die Größe eines Mikrosystems, das sensorische, datenverarbeitende und aktorische Funktionen in sich vereint, liegt im Bereich von Millimetern ( $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ ) und Mikrometern ( $1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ).

Durch die Zusammenführung der Begriffe Systemtechnik und Mikrotechnik entstand Ende der achtziger Jahre unter Federführung des VDI/VDE Technologiezentrums die Bezeichnung Mikrosystemtechnik in Deutschland. Sie etablierte sich rasch und wurde zu einem der am schnellsten wachsenden Teilgebiete der Technik.

Als modernes Ingenieurfachgebiet ist die Mikrosystemtechnik aus der Feinwerktechnik und Mikroelektronik hervorgegangen. In diesem innovativen Technikfeld (englisch: microsystem engineering) vereinigen sich heute die Feinmechanik, Elektrotechnik, Optik, Informatik, Werkstofftechnik und Mikrotechnik. Unter Anwendung bestimmter Systemtechniken verknüpft die Mikrosystemtechnik die einzelnen Mikrotechniken zu funktionalen Einheiten, die Signale aus der realen Umwelt aufnehmen, verarbeiten und Handlungen auslösen bzw. eigenständig durchführen. Sie bildet somit eine Brücke zwischen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik und erfordert deshalb vom Ingenieur ein hohes Maß an Spezialwissen und die Bereitschaft zum

interdisziplinären Teamwork. Sie gehört zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts.

Nichtsdestotrotz hat sich bis heute keine einheitliche Definition für dieses innovative Wissensgebiet herausgebildet. Die folgenden Definitionen sollen daher Einblick in die Inhalte der Mikrosystemtechnik bieten und ihre Ausprägungen in Wissenschaft und Praxis reflektieren.

Der Fachausschuss Mikrosystemtechnik der VDE/VDI-Gesellschaft definierte die Mikrosystemtechnik 1991 so:

»Mikrosystemtechnik ist der Überbegriff für die gemeinsame Verwendung verschiedener, mindestens zweier Basistechnologien. Unter diesen Basistechnologien haben die folgenden drei - Mikroelektronik, Mikromechanik und Mikrooptik - einen hohen Reifegrad erreicht, der zu ihrer häufigen Anwendung in Mikrosystemen führt.«

U. Mescheder [5] zerlegt die Mikrosystemtechnik in ihre Bestandteile (Mikro, System und Technik) und leitet daraus seine Definition her, die wie folgt lautet:

»Die Mikrosystemtechnik beschäftigt sich mit Objekten, die in mindestens einer Dimension Abmessungen im Mikrometerbereich aufweisen und aus vernetzten Komponenten bestehen, die im System mehr zu leisten vermögen als die Summe der Einzelkomponenten.«

Nach U. Mescheder grenzt sich die Mikrosystemtechnik gegenüber der Mikroelektronik dadurch ab, dass sie über Sensoren auch nichtelektrische Signale aufnimmt und über Aktuatoren elektrische Signale in nichtelektrische Größen umwandelt.

Will man Mikrosystemtechnik betreiben, so muss man Werkstoffe, Verfahren und Werkzeuge auf intelligente Weise miteinander verknüpfen; und dies ist ein komplexes und interdisziplinäres Unternehmen.

Komplex bedeutet hier, dass Mikrosystem-Entwickler in der Lage sein müssen, sich auf den Pfaden der Elektrotechnik, Optik, Mechanik und Konstruktion sicher bewegen zu können. Nur so können Erkenntnisse der Physik, Chemie, Biochemie, Robotik oder Softwareentwicklung die Fachleute in die Lage versetzen, die gewünschten mikrotechnischen Problemlösungen relativ schnell zu finden.

Interdisziplinär bedeutet hier, dass Mikrosystem-Entwickler in Netzwerken arbeiten müssen. Denn selten verfügen die kleinen oder mittleren Unternehmen über alle notwendigen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Ausrüstungen, um mikrotechnische Projekte allein zu bearbeiten.

Viele Anwendungen in der Mikrorobotik, Halbleiterfertigung und Feinmechanik sowie in den medizinischen Geräten verlangen nach Mikroantrieben, d. h. Antrieben im kleinstmöglichen Format. Vielfach genügt es jedoch nicht, die Antriebe einfach zu verkleinern, denn dies würde zwangsläufig zu einem Verlust an Kraft und Präzision führen. Mikroantriebe müssen zudem auch zum präzisen Ausrichten oder Justieren kleinster Bauteile, wie Linsen, Spiegel oder Greifer, in der Lage sein. Die wesentlichen Anforderungen an die Mikroantriebssysteme in diesen innovativen Anwendungen lassen sich daher wie folgt zusammenfassen:

- Miniaturisierte Baugröße
- Geringes Eigengewicht
- Spielfreie Bewegungsabläufe
- Präzise Bewegungsübertragung
- Hohe Wiederholungsgenauigkeit und Zuverlässigkeit

Die niedrige Massenträgheit der bewegten Komponenten verleiht den Mikroantrieben hohe Dynamik, und das geringe Eigengewicht der Mikroantriebe ermöglicht die Entwicklung von innovativen Applikationen in hochdynamischen Systemen [6]. Abb. 1 zeigt das raster-elektronenmikroskopische Bild des weltweit kleinsten spielfreien Getriebes, genannt Micro Harmonic Drive<sup>1</sup>.

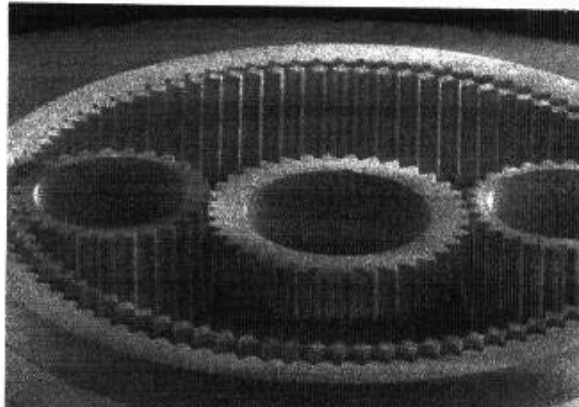


Abb. 1: REM-Aufnahme des kleinsten spielfreien Getriebes der Welt, Micro Harmonic Drive [6]

Die Abmessungen dieses Miniatur-Getriebeeinbausatzes sind bestechend: Der Außendurchmesser beträgt 8 mm, die axiale Länge liegt bei 1 mm. Er bietet Untersetzungsverhältnisse von 160:1 bis 1000:1.

Um die Einbindung dieses Getriebes in eine Maschine oder ein anderes Produkt zu vereinfachen, ist das Micro Harmonic Drive als Getriebebox

<sup>1</sup> Hersteller: Harmonic Drive AG, Limburg an der Lahn

verfügbar. Vor kurzem konnte der Hersteller eine noch kleinere Getriebevariante mit einem um 25% reduzierten Außendurchmesser und einem erweiterten Untersetzungsverhältnis realisieren. Dieser neue Antrieb verfügt über eine zentrale Hohlwelle und ist im weltkleinsten Positionierantrieb integriert.

### Anwendungsgebiete

Kennzeichnend für die Erzeugnisse aus der Mikrosystemtechnik ist, dass sie sehr kleine Abmessungen (im mm-Bereich oder noch darunter im µm- bzw. Submikrometer-Bereich) haben. Sie werden in großen Stückzahlen hergestellt und mit höchster Präzision gefertigt. Die Produkte bestehen aus einer Vielzahl von mechanischen, optischen und elektrischen Komponenten. Die Vielfalt der Bauteile bedingt eine Vielfalt von Werkstoffen. Dabei geht die Verwendung von Stahl zugunsten von Leichtmetallen, Kunststoffen und Silizium zurück.

Wie folgende Beispiele zeigen, reichen die Anwendungsgebiete der Mikrosystemtechnik von einfachen Geräten bis zu hochkomplexen Systemen.

- Geräte der Datentechnik

Computer, Festplatten, Monitore, Displays, Scanner, CD-ROM-Laufwerke, Tastatur, Maus, Trackball, Joystick, Tinten- und Laserdrucker, Kopiergeräte

- Geräte der Fertigungstechnik

Roboter, Montagesysteme, Werkzeugmaschinen, Bestückautomaten, CD- und DVD-Fertigungsanlagen, Anlagen für die mikro- und feinwerktechnische Fertigung

- Geräte der Optik  
Mikroskope, Teleskope, Video- und Fotokameras, Projektoren, Laserkreisel, Lichtwellenleitersysteme
- Geräte der Messtechnik  
Sensoren für Temperatur, Druck, Beschleunigung und Kraft, Messinstrumente, Systeme zur Messwertverarbeitung  
Geräte der Regelungs- und Steuerungstechnik:  
Regler und elektrische Antriebe, Servo-Antriebe, Schrittmotoren, Maschinensteuerungen, Automatisierungssysteme
- Geräte der Medizintechnik  
Computer- und Kernspintomographen, Dentaltechnik, minimal-invasive Chirurgie, endoskopische Systeme, Ultraschallgeräte, Herzschrittmacher
- Geräte der Nachrichtentechnik:  
Telefone, Handys, Chipkartenleser, Telefaxgeräte, Anrufbeantworter, Funkgeräte
- Geräte der Unterhaltungselektronik  
Kassettengeräte, CD-Player und -Recorder, Videorecorder, Camcorder, Fernsehgeräte, DAT- und Mini-Disk-Player
- Geräte der Luft- und Raumfahrttechnik  
Kreiselsysteme, Navigationssysteme, Flugschreiber, Drallräder zur Satellitenstabilisierung, Displays
- Geräte der Kraftfahrzeug- und Verkehrstechnik  
Anti-Blockier-Systeme (ABS), Antriebs-Schlupf-Regelsysteme (ASR), Fahr-Dynamik-Regelung (FDR), Tempomat, Motormanagement-Systeme, Cockpit-Instrumentierung, Navigationssysteme, Global-Positioning-Systeme (GPS), Verkehrsleitsysteme

- Geräte zur Zeitmesstechnik  
Analog- und Digitaluhren, Stoppuhren, Funkuhren, umweltfreundliche Solaruhren, Lichtschranken
- Geräte des Haushalts  
Staubsauger, Küchenmaschinen, Schneidemaschinen, Klimageräte, Mikrowellengeräte, Beleuchtungssysteme
- Geräte des Heimwerks  
Bohrmaschinen, Fräs- und Schleifmaschinen, Winkelschleifer, Elektrosägen

#### **Ausblick**

Bereits heute ist der tägliche Umgang mit mikrosystemtechnischen Produkten so selbstverständlich, dass man ihn bewusst gar nicht mehr wahrnimmt.

Mit Mikrosystemen werden immer neuere Funktionen realisiert. Sie erschließen Möglichkeiten für die Verbesserung von bestehenden Produkten und die Entwicklung von neuen Erzeugnissen in unterschiedlichsten Anwendungsfeldern. Mikrosysteme haben erhebliche Marktpotenziale; als Teil von Makrosystemen (z. B. dem Automobil) leisten sie schon heute einen entscheidenden Beitrag zu deren Wettbewerbsfähigkeit.

Da die technische Entwicklung immer mehr auf Miniaturisierung von Elementen und Integration von mechanischen, optischen und elektronischen Komponenten gerichtet ist, wird man der Mikrosystemtechnik in Zukunft eine noch herausragendere Bedeutung beimessen. Es werden sich immer weitere Anwendungsmöglichkeiten der

Mikrosystemtechnik in der Kommunikation-, Medizin- und Umwelttechnik, im Maschinen-, Automobil- und Anlagenbau, in der Haushalts- und Lebensmittelindustrie und in der Pharmakologie herausstellen.

**Literatur**

- [1] Menz, W.:  
„Mikrosystemtechnik für Ingenieure“  
Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 1997
- [2] Tschulena, G.:  
„Mikrosystemtechnik – Grundlagen-Praxis-Trends“  
Hütig Verlag, Heidelberg, 1999
- [3] Völklein F. :  
„Einführung in die Mikrosystemtechnik-Grundlagen und Praxisbeispiele“  
Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 2000
- [4] Brück, R.:  
„Angewandte Mikrotechnik-LIGA – Laser- und Feinwerktechnik“  
Carl Hanser Verlag, München, 2001
- [5] Mescheder, U:  
„Mikrosystemtechnik – Konzepte und Anwendungen“  
Teubner Verlag, Stuttgart, 2000
- [6] Slatter, R.:  
„Mikrogetriebe in der Halbleiterfertigung“  
F&M, Jahrgang 111 (2003) 5, S. 13-16