

# Präzise Miniatur-Servoantriebe erobern die Mikrowelt

**042** Ellen Slatter,  
Harmonic Drive AG, Limburg

In vielen Bereichen des täglichen Lebens zeichnet sich bereits seit Jahren ein Trend zur Miniaturisierung ab. Machte sich die Technik eines Satellitennavigationsempfängers früher noch in einem ganzen 19-Zoll-Einschub breit, beansprucht sie heute gerade noch das Format eines Schokoladenriegels. Und während Handys noch vor wenigen Jahren Größe und Gewicht stattlicher Briketts hatten, stoßen die neuesten Modelle mit ihren zierlichen Tasten an die Grenzen der menschlichen Anatomie.

Mikrosysteme begegnen uns heute täglich – nur ist man sich dessen häufig gar nicht bewusst, da die verwendeten Systeme meist nicht zu sehen sind. Beispiele sind der Airbag-Sensor im Auto oder der Druckkopf im Tintenstrahldrucker. Und so ist die Mikrotechnik längst aus ihrem Nischendasein herausgetreten. Sie entwickelt sich zum prägenden Element einer neuen Industriegeneration. Firmen, die mechanische und elektrische Maschinenbauteile in Miniatur-Format herstellen, haben exzellente Aussichten.

## 1 Anforderungen an Mikrosysteme

Bei Anwendungen in der Mikrorobotik, der Halbleiterfertigung, der Feinmechanik, in medizinischen Geräten oder in der Photonik, die nach Antrieben und Getrieben in kleinstmöglichem Format verlangen, genügt es nicht, diese einfach nur zu verkleinern, denn dabei bleiben oft Kraft und Präzision auf der Strecke. So spektakulär Mikromechanik auf Silizium-Basis auch optisch ist, so wenig eignet sie sich zur ausreichenden und präzisen Kraftübertragung und Integration in herkömmliche mechanische Systeme. Gerade Mikroantriebssysteme sollen nicht nur Bewegung erzeugen, diese Systeme sollen vielmehr zum hochpräzisen Ausrichten oder Justieren kleinster Bauteile wie Linsen, Spiegel, Greifer usw. geeignet sein. Die wesentlichen Anforderungen an Mikroantriebssysteme in diesen innovativen Anwendungen sind daher neben der miniaturisierten Baugröße und dem geringen Eigengewicht vor allem wiederholbare, präzise und spielfreie Bewegungsabläufe.

## 2 Vorteile bei der Dynamik

Neben Bauraum-optimierten Außenabmessungen bieten Mikroantriebssysteme den Vorteil einer geringen Masse. Die kleine Massenträgheit der bewegten Komponenten verleiht ihnen eine hohe Dynamik bei geringem Energieverbrauch und niedriger Antriebsleistung. So ermöglicht das geringe Eigengewicht der Mikroantriebe oft erst die Entwicklung innovativer Applikationen in hochdynamischen Systemen.

## 3 Anwendungen

Es gibt viele mögliche Anwendungsgebiete für Mikroantriebssysteme. Die ersten Serienanwendungen liegen in den Bereichen Photo-

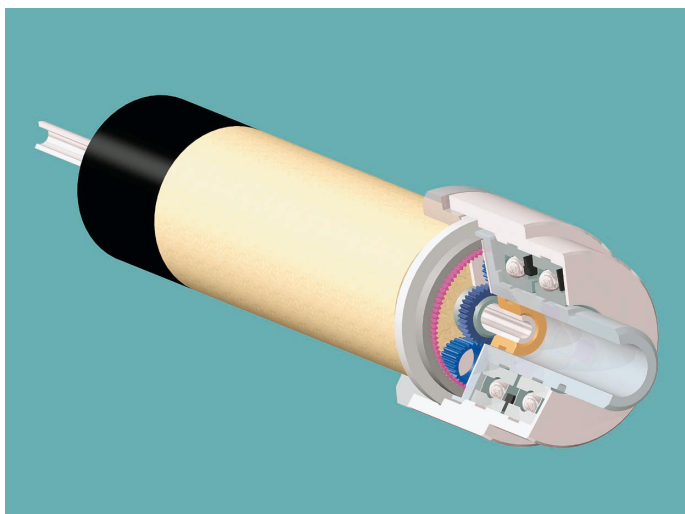


**Bild 1:** Der hier im Größenvergleich mit einer Biene gezeigte Getriebeeinbausetz Micro Harmonic Drive bietet ein Drehmoment von 30 mNm bei einem Außendurchmesser von nur 8 mm und einer axialen Länge von 1 mm.

nik und Halbleiterfertigung. Im erstgenannten Bereich, z. B. in hochwertigen optischen Schaltern, müssen Fasern oder Spiegel hochdynamisch und hochgenau positioniert werden. Hierfür ist beispielsweise das in **Bild 1** gezeigte Getriebe ideal geeignet. Eine weitere optische Anwendung besteht im Verstellen von Linsen in Mikroskopen. Die kompakten Abmessungen von Mikroantrieben erlauben, dass jede Linse einzeln angetrieben werden kann. Bei früheren Lösungen mussten die Linsen oft mechanisch gekoppelt werden.

Im Bereich der Halbleiterfertigung wäre vor allem die Fertigung und Montage moderner elektronischer Systeme zu nennen. Die Komponenten elektronischer Endgeräte sind manchmal kaum noch mit dem bloßen Auge zu erkennen, müssen aber geprüft werden, in das Montagewerkzeug gelangen und dann exakt montiert werden. Die dafür verwendeten Maschinen, mit denen man in der Industrie solche Arbeiten verrichtet, stammen oft jedoch noch aus einer Zeit, als Leiterplatten DIN-A4-Format hatten und ein Chip die Größe einer Streichholzschachtel aufwies. Neuere Maschinengenerationen sind auf die kleineren Bauelemente abgestimmt und dadurch selber auch kleiner. Um die elektronischen Bauteile zu handhaben, werden hier hochgenaue und miniaturisierte Antriebe benötigt.

Einen weiteren Einsatzbereich bietet die Medizintechnik. Auch hier bestehen Forderungen nach Mikroantrieben. Anwendungen sind hier beispielsweise die Bewegung von Endoskop-Kameras oder die Positionierung von mikrochirurgischen Instrumenten mittels Mikrotriebemotor.

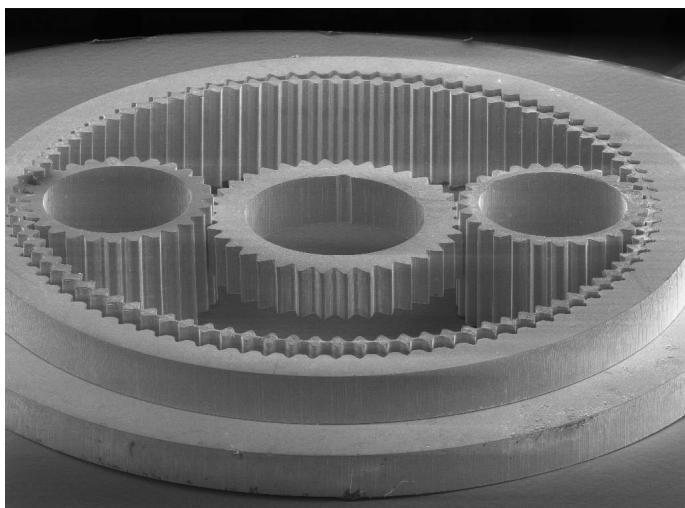


**Bild 2:** Micro-Getriebebox mit Hohlwelle, axiale Länge ohne Motor 12,3 mm, Außendurchmesser 8 mm, Gesamtlänge 31,3 mm mit Motor Maxon EC 6 (einschließlich magnetischem 100-Schritt-Encoder)

Zudem zeichnet sich in der Kommunikationstechnik ein breites Anwendungsspektrum für Mikroantriebssysteme ab. Satelliten haben derzeit noch die Größe eines Kleinwagens, sollen zukünftig jedoch nur noch so groß wie ein Fußball sein. Bauraumoptimierte und zuverlässige Mikroantriebssysteme übernehmen hier z.B. die Aufgabe, die Antennen für die Datenübertragung hochgenau auszurichten.

## 4 Das Micro Harmonic Drive

Ein Beispiel für ein hochpräzises Mikroantriebssystem ist das kleinste spielfreie Getriebe der Welt, das Micro Harmonic Drive. Der in Bild 1 gezeigte Getriebeeinbausatz bietet Untersetzungsverhältnisse von 160:1 bis 1000:1 in verschiedenen Bauformen, Baugrößen und Abtriebslagerkonzepten, entweder mit gelagerter Antriebswelle oder für den direkten Anbau an alle gängigen Mikromotoren, z.B. von Arsape, Escap, Faulhaber, Maxon, Mymotors, RMB usw. Auf der Hannover Messe im April 2002 wurde eine noch kleinere Variante mit einem um 25 % reduzierten Außendurchmesser und einem erweiterten Untersetzungsverhältnis vorgestellt. Besonderes



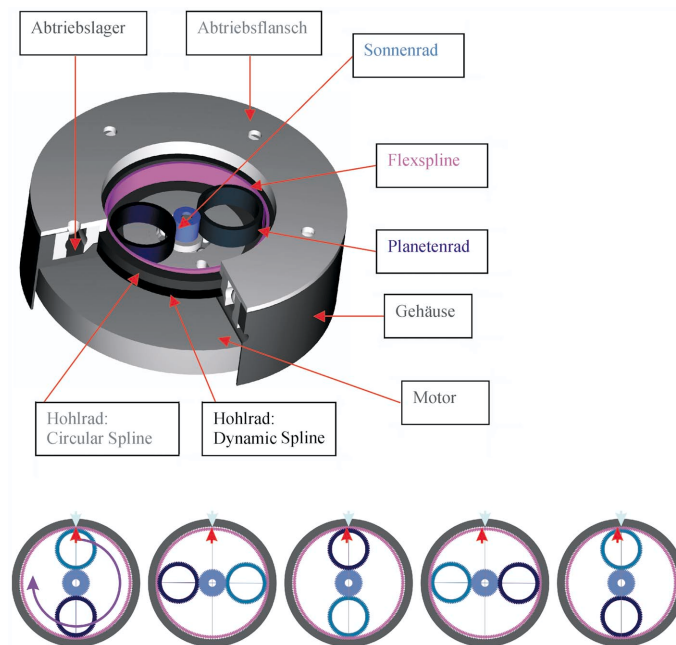
**Bild 3:** REM-Bild der Verzahnung

Merkmal des neuen Antriebes ist die zentrale Hohlwelle (**Bild 2**). Dieses Mikrohohlwellengetriebe ist die Basis für eine weitere Weltneuheit: den weltkleinsten Positionierantrieb, der u. a. in Zusammenarbeit mit einem führenden Motorhersteller entwickelt wurde, der Maxon Motor AG. Der Bohrungsdurchmesser beträgt 0,65 mm und bietet damit Platz genug für die Durchführung von Laserstrahlen oder optischen Fasern. Die Verzahnung der Zahnräder ist nur noch unter dem Mikroskop zu erkennen (**Bild 3**).

Miniaturge triebe mit Abmessungen unter 10 mm gab es bereits, allerdings war die Genauigkeit in der Bewegungsübertragung weit geringer. Anhand des folgenden Vergleichs lässt sich dies verdeutlichen: Konnte ein bisher verfügbares Getriebe dieser Baugröße bei der Ablenkung eines Laserstrahls auf einer Fußballfeldlänge das Tor treffen, so trifft ein Mikrogetriebe wie das Micro Harmonic Drive auf diese Entfernung ein hochkant stehendes 1 Cent Stück. Die Präzision liegt um den Faktor 1000 höher.

## 5 Funktionsprinzip des Servoantriebes

Die Grundelemente des Micro Harmonic Drive sind der Wave Generator und drei weitere Zahnräder: Flexspline, Circular Spline und Dynamic Spline (**Bild 4**). Im Untersetzungsbetrieb, d. h. bei Drehzahlreduzierung, wird der Wave Generator als Antriebsselement eingesetzt. Über die Planetenräder verformt der Wave Generator den Flexspline, der sich in den innenverzahnten Hohlrädern, dem Circular Spline und dem Dynamic Spline im Eingriff befindet. Mit Drehen der Planetenräder des Wave Generators verlagert sich die große Ellipsenachse und damit der Zahneingriffsbereich. Da der Flexspline zwei Zähne weniger als der Circular Spline besitzt, aber gleich viele wie der Dynamic Spline, vollzieht sich nach einer halben Umdrehung des Wave Generators eine Relativbewegung zwischen Flexspline und Circular Spline um den Abstand eines Zahnes und nach einer ganzen Umdrehung um den Abstand zweier Zähne. Der Dynamic Spline besitzt die selbe Zähnezahl wie der Flexspline und rotiert in gleicher Drehrichtung und mit gleicher Drehzahl, so dass es



**Bild 4:** Funktionsprinzip des Getriebeeinbausatzes Micro Harmonic Drive, mit Wave Generator (hellblaues „Sonnenrad“ und mittel- bzw. dunkelblaue Planetenräder), Flexspline (pink), Circular Spline und Dynamic Spline (grau, übereinander liegende Hohlräder)

letztlich zu einer Relativbewegung zwischen Dynamic Spline und Circular Spline kommt, die genutzt wird. Der Dynamic Spline dient im Untersatzbetrieb als uAbtriebsselement.

## 6 Mikrotechnische Fertigung

Konventionelle Verfahren zur Herstellung von Zahnrädern können in Abhängigkeit von der Zahngeometrie bis zu minimalen Strukturgrößen von 60 bis 100 µm angewandt werden. Allerdings müssen dabei Restriktionen hinsichtlich der optimalen Verzahnungsgeometrie in Kauf genommen werden, um die Herstellbarkeit mit konventionellen Methoden zu ermöglichen. Zur Herstellung von Zahnrädern für Mikrogetriebe bewähren sich dagegen mikrotechnische Verfahren, wie z.B. das in **Bild 5** dargestellte LIGA-Verfahren (Lithographie + Galvanoformung + Abformung). Diese Technologien stammen aus der Halbleiterfertigung und basieren auf lithografischen Prozessen, d. h. die lateralen Strukturen befinden sich als Absorberschicht auf einer Maske und werden über Schattenprojektion hochpräzise in einen Fotoresist übertragen. Um Strukturen von bis zu mehreren Millimeter Höhe und gleichzeitig Abweichungen geringer 1 µm zu erzeugen, muss aufgrund des hierfür verwendeten Materials hochenergetische, kurzweilige und hochparallele Synchrotron-Strahlung verwendet werden. Da diese primär erzeugten 3D-Strukturen in ihrer Herstellung sehr kostenintensiv sind, ist es das Ziel, durch einen anschließenden Abformprozess diese hochpräzise Strukturen vielfach zu replizieren.

Für die Herstellung des Micro Harmonic Drive wird ein Fertigungsverfahren eingesetzt, das eine kostengünstige Serienproduktion von metallischen Mikrozahnrädern gestattet. Der Produktionsprozess basiert auf dem LIGA-Verfahren, ergänzt um den extra für dieses Getriebe entwickelten Abformungsschritt der „zweiten“ Galvanik.

Bei dieser Verfahrensweise werden durch Röntgen-Tiefenlithographie hochpräzise Master-Formeinsätze erzeugt. In einem anschließenden Abformungsschritt wird ein kostengünstiges Serienfertigerungsverfahren angewandt, um z. B. im Spritzguss Kunststoffstrukturen zu erzeugen. Diese Strukturen dienen als verlorene Formeinsätze für den Prozess-Schritt der „zweiten“ Galvanik. Dabei wird in den Formeinsätzen eine Eisen-Nickel-Legierung galvanisch abgeschieden und so die kostengünstige Massenfertigung von Metallzahnrädern ermöglicht.

### Zusammenfassung

Mit einem innovativen mikrotechnischen Antriebskonzept konnten kleinste Bauform und zugleich höchste Präzision miteinander verbunden werden. Die Optischen Technologien kommen dabei sowohl bei der Fertigung der Getriebekomponenten ins Spiel, als auch bei einem weiten Spektrum von Anwendungen. Der vorliegende Beitrag zeigte auf, dass es sich lohnt, auch den kleinsten Dingen aufmerksam zu begegnen.

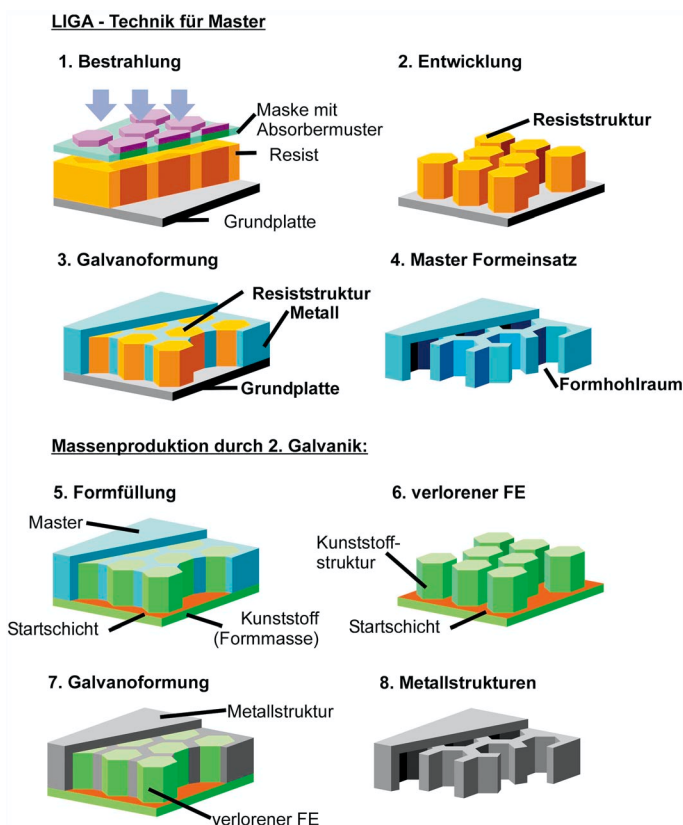
### Ansprechpartner:

Ellen Slatter  
 Marketing-Abteilung  
 Harmonic Drive AG  
 Hoenbergstraße 14  
 D-65555 Limburg  
 Tel. 06431/5008-680  
 Fax 06431/5008-18  
 eMail: info@harmonicdrive.de  
 Internet: www.harmonicdrive.de



### Kurzportrait

Ellen Slatter, Jahrgang 1965, hat in Germersheim am Fachbereich für Angewandte Sprachwissenschaft der Universität Mainz englisch und französisch mit Fachrichtung Technik studiert und 1990 als Dipl.-Übersetzerin (Univ.) abgeschlossen. Seit 1995 ist sie bei der Harmonic Drive AG im Bereich Marketing tätig und dort für Öffentlichkeitsarbeit, Werbung und Verkaufsförderung zuständig. Sie ist verheiratet und hat ein Kind.



**Bild 5:** Das LIGA-Verfahren in seinen einzelnen Arbeitsschritten: Lithographie, Galvanoformung und Abformung