

Flexible Zahnräder: Flexspline und Planetenrad (Bild: Bessy, Berlin)

ROLF SLATTER

Neue Positionieranwendungen in der Optik, Medizintechnik, Mikrorobotik und Halbleiterfertigung benötigen Antriebssysteme und Getriebe mit extrem geringen Abmessungen, hoher Positioniergenauigkeit und präzisiertem Steuerungsverhalten. Mikrogetriebe ermöglichen den Einsatz von Mikromotoren, die mit Drehzahlen bis zu $100\,000\text{ min}^{-1}$ und bei Abtriebsdrehmomenten von einigen μNm [1] arbeiten. Existierende Mikrogetriebe arbeiten meist nach dem Planetenprinzip. Planetengetriebe benötigen mehrere Stufen und damit eine große Anzahl an Einzelbauteilen. Der größte Nachteil ist ihr Spiel von mehreren Grad, das die Positioniergenauigkeit erheblich einschränkt.

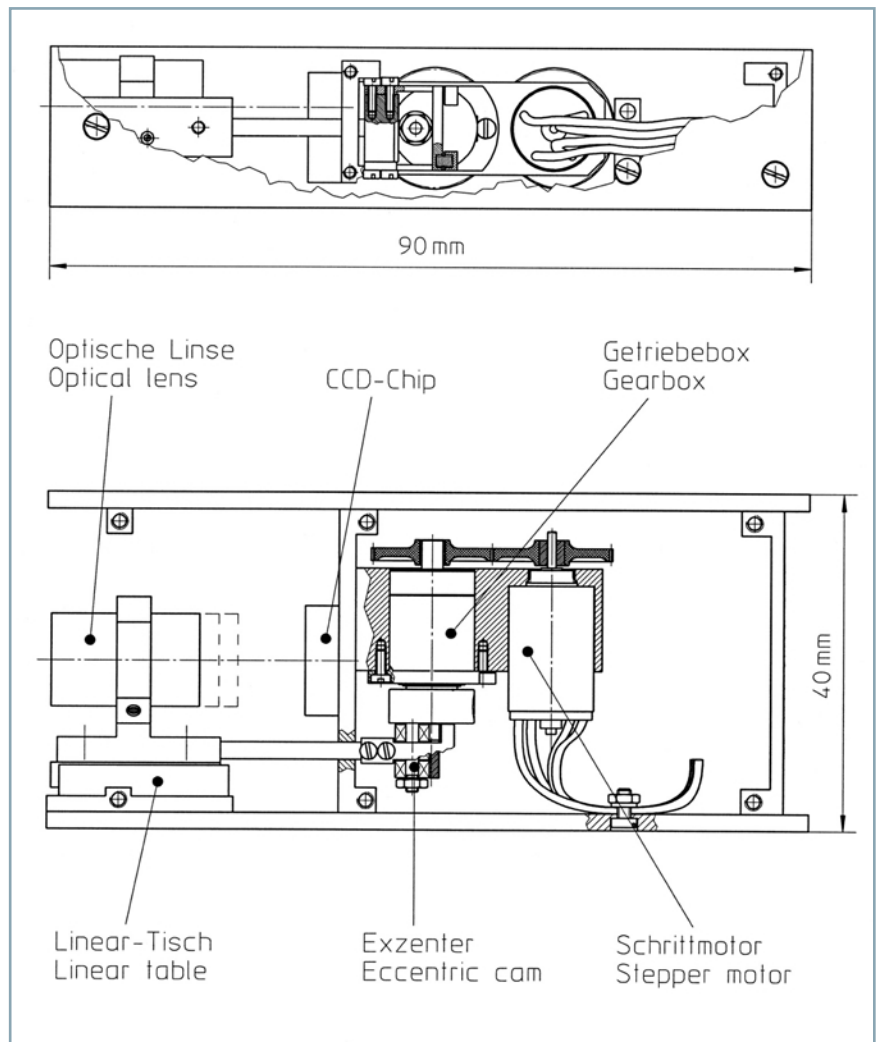
Mikrogetriebe, die auf dem Funktionsprinzip eines »Harmonic Drive« beruhen [2], sind präziser, kleiner, einfacher und zuverlässiger als andere existierende Lösungen. Die wichtigsten Eigenschaften sind:

- n Spielfreiheit bei miniaturisierter Baugröße,
- n exzellente Wiederholgenauigkeit,
- n hohe Drehmomentkapazität,
- n nur sechs Komponenten und dadurch eine hohe Zuverlässigkeit,
- n hoher Wirkungsgrad,
- n extrem flaches Design,
- n geringes Eigengewicht,

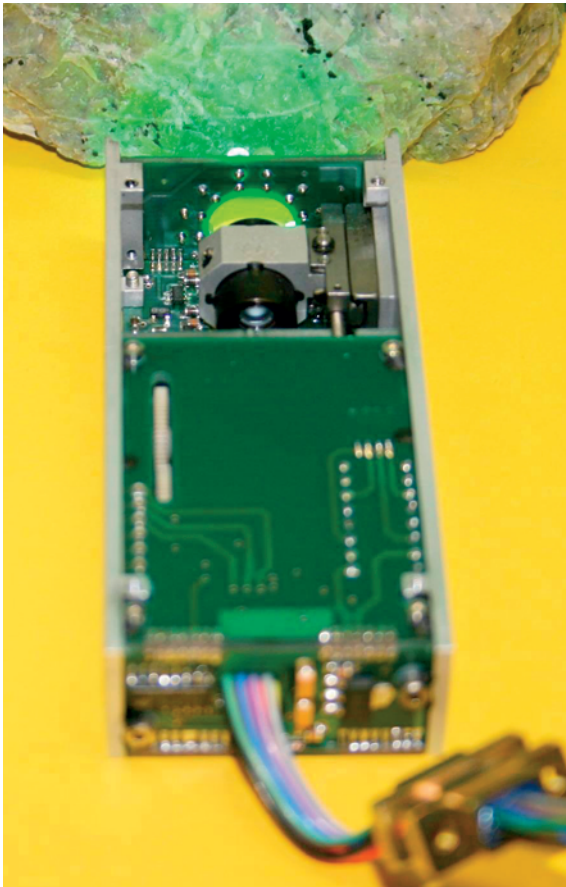
Mars Attack

PRÄZISIONSANTRIEB BEWEGT DIE KAMERA AN EINEM PLANETENROVER

Das »Micro Harmonic Drive« ist ein spielfreies, hoch-untersetzendes Getriebe für die präzise Positionierung. Vor drei Jahren entwickelt, hat es nun den Sprung aus dem Labor in industrielle Anwendungen geschafft – in optische und medizinische Geräte, Maschinen der Halbleiterfertigung und Mikroroboter. Jetzt bewegt es auch eine Weltraumkamera.



1 Fokussiermechanismus zum Bewegen des Objektivs einer Weltraumkamera (Bild: Harmonic Drive)



2 Die Fokussierbaugruppe erlaubt verschiedene Beleuchtungsfarben (Bild: DLR Institut für Planetenforschung, Berlin)

- n geringes Massenträgheitsmoment,
- n kompakte Außenabmessungen,
- n hohe Übersetzungsverhältnisse in nur einer Stufe, die besonders für die hochdrehenden Mikromotoren benötigt werden.

Mikroantriebe in der Weltraumanwendung

Das »Micro Harmonic Drive« wurde für präzise Positionieranwendungen beim Ausrichten von Linsen und Spiegeln in der Optik sowie für Applikationen in der Medizintechnik, Mikrorobotik, Lasertechnik, Biotechnologie, in Messmaschinen, in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Halbleiterfertigung entwickelt. Die terrestrischen Erfahrungen mit Anwendungen im Vakuum waren der Ausgangspunkt für den Einsatz im Weltraum. Die Miniaturabmessungen, das niedrige Gewicht und die hervorragende Positioniergenauigkeit sind dabei wichtige Voraussetzungen.

Ein typisches Beispiel ist die Verwendung des Micro Harmonic Drive in einer elektromechanischen Baugruppe zum Fokussieren eines Kameraobjektivs, das vom

Institut für Planetenforschung, Berlin, unter der Leitung von Professor Dr. Spohn entwickelt wurde. Dieses Institut gehört zum Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

Die Kamera ist für den Einsatz in einem Rover-Fahrzeug auf anderen Planeten, etwa Mars oder Merkur, vorgesehen. Mit der Fokussierbaugruppe, die komplett von Micromotion konstruiert und gefertigt wurde, kann die Kamera für die visuelle Ansteuerung des Fahrzeugs zu bestimmten Objekten auf der Planetenoberfläche benutzt werden. Dort sollen mikroskopische Untersuchungen von Gesteinsproben vorgenommen werden, von denen man sich Erkenntnisse über die Zusammensetzung und Geologie der Oberfläche von Planeten und der Bestandteile der Atmosphäre erhofft. Bei Raumfahrtprojekten ist es

fast selbstverständlich, dass die Baugruppe extrem klein und leicht sein muss, aber in dieser Anwendung gibt es eine Reihe von weiteren Anforderungen: einen extrem niedrigen Einsatztemperaturbereich (bis $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$), einen sehr niedrigen Umgebungsdruck (bis 10^{-9} bar), eine hohe Schüttelbelastung während des Flugs sowie eine hohe Strahlungsbelastung.

Wie in **Bild 1** zu sehen ist, bewegt der Fokussiermechanismus ein Objektiv über einen Hub von $\pm 2,25$ mm vor einem CCD-Kamera-Chip. Das Objektiv ist an einem Schlitten befestigt, und dieser wird mit einem exzentrischen Mechanismus, der sich am Abtrieb der Micro-Harmonic-Drive-Getriebebox befindet, in axialer Richtung bewegt. Der Schrittmotor verschiebt das Objektiv, und es sollen meh-

rere Aufnahmen mit unterschiedlichen Brennweiten gemacht werden. Der Abstand zum Objekt soll 25 mm betragen, und das »Field of View« ist dann zirka 16 mm im Durchmesser. Unterschiedliche Beleuchtungsfarben (**Bild 2**) können eingeschaltet werden (Rot, Blau, Grün und Infrarot), und anschließend kann ein Farbbild generiert werden. Diese Lösung benötigt keine Endschalter, da, falls der Motor zu weit drehen sollte, der Exzentermechanismus das Objektiv wieder zurück in die Richtung führt, aus der es kam. Die Lösung ist erheblich leichter und kompakter als die Vorgängerversion. Eine Prototypbaugruppe ist schon in terrestrischen Tests erfolgreich untersucht worden, und eine Raumfahrt-qualifizierte Ausführung wird bis Ende 2005 erprobt. Weitere Infos: www.dlr.de n

Fazit: Mikrotechnik fit fürs All

Das Micro Harmonic Drive ist Bestandteil einer elektromechanischen Baugruppe zum Fokussieren eines Kameraobjektivs für den Weltraumeinsatz. Die Kamera soll auf einem Rover die Oberfläche fremder Planeten wie Mars oder Merkur erkunden. Voraussetzungen für diese Anwendung sind neben Miniaturisierung und Präzision auch Kälte- und Vakuumbeständigkeit sowie die Robustheit des Antriebs.

AUTOR

Dr. ROLF SLATTER ist Geschäftsführer bei Micromotion in Mainz.

LITERATUR

- 1 C. Thürigen, W. Ehrfeld, B. Hagemann, H. Lehr, F. Michel: »Development, fabrication and testing of a multi-stage micro gear system«; Proc. of Tribology issues and opportunities in MEMS, Columbus (OH), November 1997, Kluwer Academic Publishers, 1998, S. 397-402
- 2 R. Slatter: »Weiterentwicklung eines Präzisionsgetriebes für die Robotik«; Antriebstechnik, 2000
- 3 W. Ehrfeld, H. Lehr: »Deep X-ray Lithography for the Production of three-dimensional Microstructures from Metals«; Polymers and Ceramics, Radiat. Phys. and Chemistry 45 (1995) 3, S. 349-365
- 4 S. Abel: »Charakterisierung von Materialien zur Fertigung elektromagnetischer Mikroaktoren in LIGA Technik«; Diss. Universität Kaiserslautern, 1996
- 5 R. Slatter, R. Degen: »Micro actuators for precise positioning applications in vacuum«; Proc. of Actuator 2004, Bremen 2004

KONTAKT

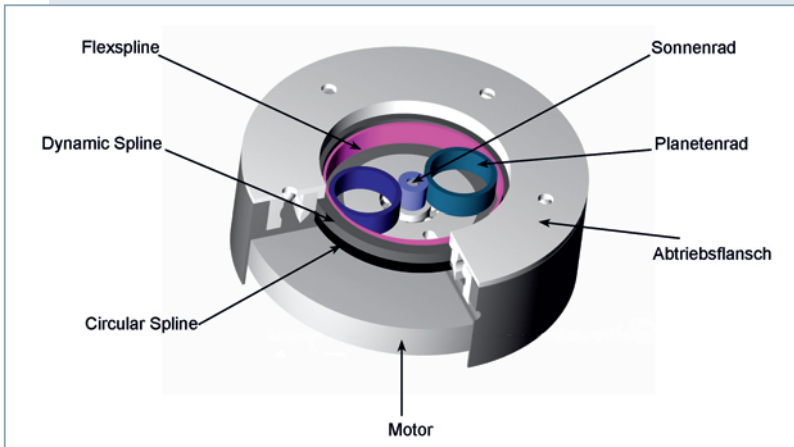
Micromotion GmbH,
55124 Mainz-Gonsenheim,
Tel. 0 61 31 /6 69 27 -0,
Fax 0 61 31 /6 69 27 -20,
www.micromotion-gmbh.de

INFO

Das Funktionsprinzip des Micro Harmonic Drive

Die Basiselemente des Micro Harmonic Drive (Bild 3) sind der »Wave Generator« (zwei Planetenräder und ein Sonnenrad) und die drei Zahnräder »Flexspline«, »Circular Spline« und »Dynamic Spline«. Der Wave Generator verformt den elastischen Flexspline elliptisch über die Hauptachse. So haben die Zähne der Außenverzahnung des Flexspline gleichzeitig Zahneingriff mit den beiden Hohlrädern – Circular Spline und Dynamic Spline – in zwei sich gegenüber liegenden Bereichen der großen elliptischen Achse. An der kleinen Achse des deformierten Flexspline existiert kein Zahneingriff zwischen dem Flexspline und den Hohlrädern (Bild 4).

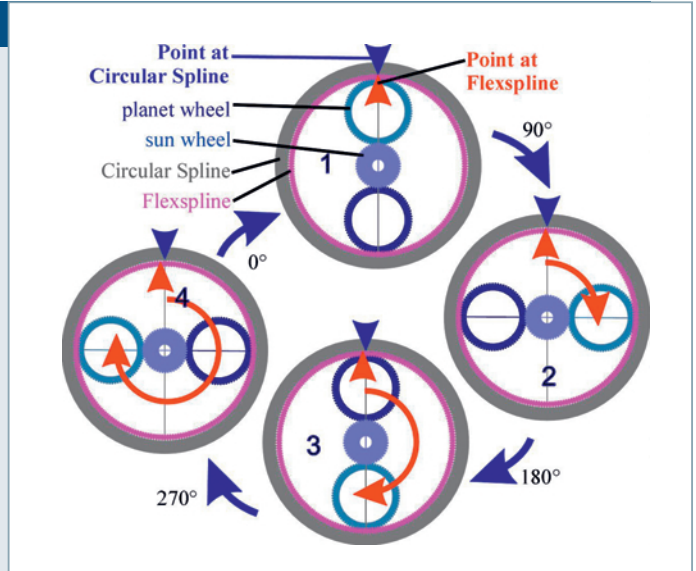
Wenn das Sonnenrad des Wave Generators gedreht wird, wandern die Zahneingriffsbereiche des Flexspline mit der Winkelstellung der Planetenräder des Wave Generators. Die kleine Zahnzahldifferenz zwischen Flexspline und Circular Spline (der letztere besitzt zwei Zähne mehr) resultiert in einer Relativbewegung zwischen diesen Zahnrädern. Nach einer kompletten Umdrehung der Planetenräder des Wave Generators bewegt sich der Flexspline relativ zum Circular Spline um einen Winkel, der zwei Zähnen entspricht. Der Dynamic Spline wird bei der verwendeten Flachbau-



3 Die Bauteile des Mikrogetriebes (Bild: Harmonic Drive)

weise dieses Getriebetyps als Abtriebsselement verwendet und besitzt dieselbe Zahnzahl und damit auch Drehzahl und Drehrichtung wie der Flexspline. Der Einsatz der Planetenvorstufe als Wave Generator ermöglicht es, die Gesamtübersetzung dieses Mikrogetriebes in einem großen Bereich zu variieren. Für diese Getriebebaugröße können Übersetzungsverhältnisse von 160 : 1 bis 1000 : 1 in einer einzigen Stufe realisiert werden.

Mikrotechnische Fertigung. Die einzelnen Zahnräder des Mikrogetriebes werden mittels Direkt-LIG (eines vom LIGA-Prozess abgewandelten Fertigungsverfahren) hergestellt: Die Zahnräder werden in einer verlorenen Form aus einem speziellen, sehr dicken Foto-Resist galvanotechnisch erzeugt. Sie bestehen aus einer Nickel-Eisen-Legierung. Wegen der hohen Zugfestigkeit von 1800 N/mm², des niedrigen Elastizitätsmoduls von 165 000 N/mm² und seiner guten Dauerschwingfestigkeitseigenschaften [4] be-



4 Das Funktionsprinzip des Mikrogetriebes (Bild: Harmonic Drive)

sitzt diese galvanisch abgeschiedene Legierung die notwendigen Eigenschaften für eine einwandfreie Funktion der flexibel arbeitenden Zahnräder. Die Nickel-Eisen-Legierung ist sehr korrosionsbeständig. So kann das Mikrogetriebe auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen arbeiten. Der Einsatz in Ultra-Hoch-Vakuum (bis 10⁻¹² bar) ist bereits erfolgreich realisiert worden [5]; zudem können die Zahnräder auch für medizinische Anwendungen sterilisiert werden.

Flexible Zahnräder. Der Flexspline der mikrotechnischen Variante (Titelbild, Seite 42) benötigt im Gegensatz zu konventionellen Harmonic-Drive-Getrieben zusätzlich zu seiner äußerst geringen Ringdicke eine Außen- und Innenverzahnung, da als Wave Generator eine Planetengetriebevorstufe dient. Für einen störungsfreien Betrieb muss der Flexspline ein gleichförmiges Verformungsverhalten aufweisen. Diese Eigenschaft wird erzielt, indem dieselbe Zahnzahl für die Außen- und Innenverzahnung verwendet wird.

Die Herstellung der doppelten Verzahnung und der geringen Ringdicke, die wegen der Deflektion des Flexspline für eine geringe Biegespannung notwendig ist, wird durch das Direkt-LIG-Verfahren möglich. Diese Technik erzeugt eine Ringdicke im Zahnfuß von nur 26 µm bei einer Zahnbreite von 1000 µm.

Weitere Komponenten, die wesentlich zum spielfreien und präzisen Betriebsverhalten des Mikrogetriebes beitragen, sind die flexiblen Planetenräder des Wave Generators. Das Planetenrad ist als dünner Ring konstruiert, der bei genug Flexibilität zur Kompensierung von Fehlern eine hohe Steifigkeit bereitstellt. Durch die Planetenräder wird der Flexspline gleichzeitig in Zahneingriff mit dem Circular Spline und dem Dynamic Spline gepresst. So kann der Federweg Fehler in den Zahneingriffsbereichen kompensieren.

Als Ergebnis werden die Außen- und die Innenverzahnung mit der Vorder- und der Rückseite der kämmenden Zahnräder in Kontakt gebracht. Die durch die federnden Planetenräder in diesem Getriebesystem erzeugte Vorspannung bildet die Grundlage für sein spielfreies Übertragungsverhalten und die hohe Positioniergenauigkeit des Micro Harmonic Drive.