

Weiterentwicklung eines Präzisionsgetriebes für die Robotik

Teil III: Leichtbaugetriebe und Hohlwellen-Servoantriebe

ROLF SLATTER

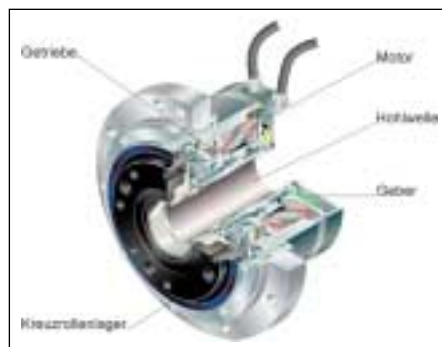
In Teil I dieses dreiteiligen Beitrags wurden im Januarheft zunächst die Funktionsweise und Vorteile des Harmonic-Drive-Getriebes im Überblick dargestellt. Teil II im Juniheft präsentierte besondere Merkmale des Getriebes in Bezug auf eine erhöhte Drehmomentkapazität sowie eine Erweiterung des Übersetzungsbereichs. In Teil III werden nun Neuentwicklungen im Bereich Leichtbaugetriebe, verkürzte Bauformen sowie hochintegrierte Hohlwellen-Servoantriebe (Bild 1) detailliert vorgestellt.

Einleitung

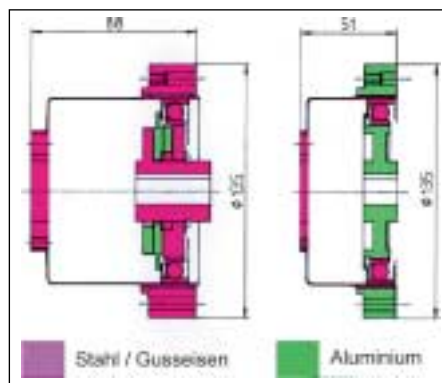
Kleiner, schneller, leichter – dies sind drei wesentliche Trends, die die gegenwärtige Entwicklung von Robotern charakterisieren. Auf den letzten Messen ist die Entwicklung einer neuen Generation von Industrierobotern im Kleintraglastbereich (das heißt unter 5 kg) von vielen führenden Herstellern präsentiert worden. Neue Anwendungen, z. B. im Bereich Laserschweißen, führen zu filigraneren, dynamischeren Robotern mit einer höheren Bahngenauigkeit. Dabei werden besonders im Bereich von Servicerobotern bewegliche Geräte oder sogar tragbare Roboter entwickelt. Alle drei Entwicklungstrends stellen neue Anforderungen an die Hersteller von Präzisionsgetrieben, die in den einzelnen Bewegungsachsen eingesetzt werden. Immer wichtiger wird eine extrem hohe Leistungsdichte, das heißt mehr Drehmoment pro Kilogramm Getriebegewicht, ohne andere wichtige Eigenschaften wie Spielfreiheit oder hohe Drehmomentkapazität zu vernachlässigen.

Das Unternehmen Harmonic Drive hat diese Trends mit der Entwicklung von Leichtbaugetrieben sowie hochintegrierten Servoantrieben schon frühzeitig erkannt und unterstützt. Die neuesten Entwicklungen in diesen Bereichen werden im Folgenden beschrieben.

Dr.-Ing. Rolf Slatter ist als Leiter Marketing & Vertrieb bei der Harmonic Drive AG in 65555 Limburg tätig



1: Aufbau eines Hohlwellen-Servoantriebs des Typs FHA-C



2: Vergleich zwischen einem Standard- (links) und einem Leichtbau-Getriebeeinbausetz

Leichtbaugetriebe

Bei neuen Roboterstrukturen, wie z. B. Parallelrobotern, werden sehr kompakte und leichte Getriebe für Dreh- und Schwenkachsen benötigt, um eine hohe Maschinendynamik zu erhalten. Dies trifft auch bei vielen Servicerobotern zu, wo der Roboter über eine Mehrzahl von Achsen verfügt, um komplexe Handhabungsaufgaben durch-

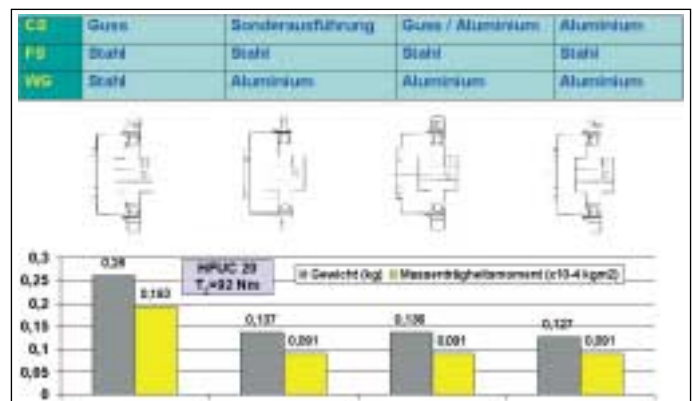
führen zu können. Beweglichkeit ist ein weiteres Hauptmerkmal vieler Serviceroboter. Entweder sind die Roboter auf mobilen Plattformen aufgebaut oder sie sind tragbar. Der gemeinsame Nenner sind Getriebe und Antriebe mit einer besonders hohen Leistungsdichte. Aufgrund der geringen Anzahl von Bauteilen sowie der kompakten Bauform sind die Harmonic-Drive-Getriebe für diese Art von Anwendung prädestiniert.

Dies wurde von den Konstrukteuren von Servicerobotern früh erkannt, und dieses Getriebe ist an vielen „Meilensteinen“ in der Entwicklung von Servicerobotern beteiligt, wie z. B.:

- dem stereotaktischen Manipulator von Carl Zeiss für die Unterstützung der Gehirnchirurgie,
- dem Operationsroboter „Minerva“ von der EPFL in der Schweiz oder
- den „Humanoid-Robotern“ P2 und P3 von Honda Engineering in Japan mit über 40 Bewegungssachsen,

Jetzt wurden neue Getriebe entwickelt, mit denen eine noch höhere Leistungsdichte realisiert wird. Hier gibt es drei mögliche Ansätze:

1. Modifikation der einzelnen Getriebebauteile, um die Einbindung in den Roboterarm zu vereinfachen und damit Gewicht zu minimieren.
2. Integration von Planetengetriebe- oder Stirnradvorstufen in das Harmonic-Drive-Getriebe, um eine sehr hohe Getriebeuntersetzung in kleinstmöglichem Bauraum zu realisieren. Hohe Übersetzungen erlauben die Benutzung von sehr kleinen, schnell drehenden Motoren, um eine hohe Leistungsdichte des gesamten Achsantriebs zu erreichen.
3. Die Anwendung von neuen Werkstoffen für die einzelnen Getriebebauteile, um das Eigengewicht des Getriebes zu minimieren.



Von diesen drei Ansätzen bietet der letztere die größten Möglichkeiten, das Getriebegewicht zu minimieren.

Bild 2 zeigt die neueste Ausführung, bei der Circular Spline und Wave-Generator-Scheibe aus Aluminium gefertigt werden. Bisher wurden diese Bauteile aus Guss-eisen bzw. aus Stahl hergestellt. **Bild 3** vergleicht vier unterschiedliche Getriebeausführungen und zeigt, dass der Einsatz von Aluminium zu einer Gewichtsreduktion sowie zu einer Verringerung des antriebsseitigen Massenträgheitsmoment von jeweils zirka 50 % gegenüber der Standardausführung führen kann. Diese Fortschritte können mehrere Vorteile bewirken:

- Die Traglast von Robotern kann gesteigert werden, da das bewegte Eigengewicht des Roboterarms stark verringert werden kann.
- Aus dem gleichen Grund kann die Dynamik des Roboters gesteigert werden.
- Die Dynamik der einzelnen Bewegungsachsen kann gesteigert werden oder die



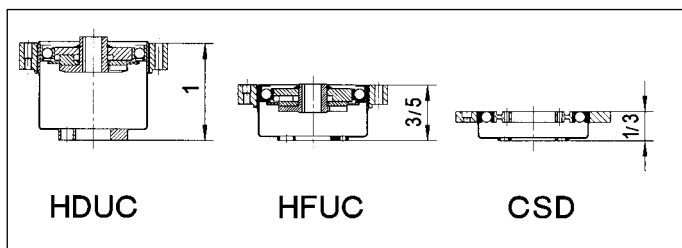
4: Leichtbauroboter des Typs DLR

Motoren können mit einer höheren Einschaltdauer betrieben werden, da die Beschleunigungsdrehmomente verringert werden können

Ein Beweis für die neuen Möglichkeiten, die mit den neuen Leichtbaugetrieben verbunden sind, ist der in **Bild 4** dargestellte

Leichtbaumanipulator, der am Institut für Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen unter der Leitung von Professor Hirzinger entwickelt wurde. Dieses Institut hat einen weltweiten Ruf im Bereich der Entwicklung von Robotern für Raumfahrt und Terrestrik. Es hat wesentliche Anstöße zur Entwicklung der neuen Leichtbaugetriebeausführung gegeben.

Der Leichtbaumanipulator, der der Öffentlichkeit erstmals auf der Hannover Messe 2000 vorgestellt wurde, besitzt in Analogie zum menschlichen Arm eine Kinematik mit sieben Freiheitsgraden. Die redundante Achse ermöglicht den Einsatz des Manipulators im nicht-industriellen Bereich zur Ausführung von Hol- und Bringdiensten. Wichtiges Merkmal des neuen Roboters ist das Verhältnis von Eigengewicht zur Traglast. Das Eigengewicht des Roboters, inklusive Regler und Leistungselektronik, die innerhalb des Roboterarms untergebracht



5: Verkürzung des Flexsplines im Lauf der Zeit

werden, beträgt lediglich 18 kg, obwohl die Traglast bei 7 kg liegt!

Einbausätze mit weiter verkürztem Flexspline

Wie in Teil I schon beschrieben, ist die Verkürzung der axialen Baulänge des Flexspline-Topfes ein weiterer wichtiger Entwicklungsansatz. Schon vor zirka zehn Jahren gelang es, durch die Einführung der Einbausatzbaureihe HFUC eine Verkürzung des Flexsplines von zirka 40% zu erreichen.

Dabei wurde zudem eine Gewichtsersparnis von zirka 20% gegenüber der vorherigen HDUC-Baureihe möglich. Trotz der verstärkten konischen Ausweitung des Topfes, was zu höheren Spannungen im Flexspline-Topf führt, war es möglich, verbesserte Leistungseigenschaften gegenüber dem herkömmlichen Getriebe mit langem Flexspline-Topf zu verwirklichen.

In vielen neuen Anwendungen sind eine hohe Verdrehsteifigkeit, eine kurze axiale Baulänge und ein großer Innendurchmesser der zentralen Hohlwelle die wichtigsten

Auswahlkriterien für das Getriebe. Speziell für diese Anwendungen wurde die neue „Super-Flach“-Getriebebaureihe CSD entwickelt. Die axiale Baulänge der neuen Baureihe wurde weiter reduziert und beträgt nur noch ein Drittel der Länge des HDUC-Einbausatzes. Aufgrund der verstärkten konischen Ausweitung des verkürzten Flexsplines ist die Drehmomentkapazität gleich der des HFUC-Einbausatzes der nächstkleineren Baugröße (**Bild 5**).

Hochintegrierte Servoantriebe

Kürzere Produktlebenszyklen und Vermarktungszeiten in allen Bereichen des modernen Maschinenbaus zwingen zu einer Reduzierung der Entwicklungszeiten und -aufwendungen. Diese Tendenz hat in den letzten Jahren zu einer gesteigerten Nachfrage nach möglichst kompletten Antriebslösungen geführt, in denen Getriebe mit AC-Servomotoren und Gebersystemen

