

Die Vakuumumgebung kann modernen Mess- und Fertigungsverfahren deutliche Vorteile verschaffen; für nahezu alle neuen Produkte, Herstellungsprozesse und Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Halbleiterfertigung, der pharmazeutischen Industrie und bei der Erkundung des Weltraums ist Vakuumtechnologie unerlässlich. Denn nur eine reine Umgebung, frei von Fremdpartikeln und mit kontrollierten Druckverhältnissen, stellt sicher, dass diese Produkte in der erforderlichen Qualität erzeugt werden können.

Alle diese Verfahren benötigen eine präzise Manipulation des Werkstücks oder Werkzeugs innerhalb der hochreinen Umgebung. Da Menschen als eine Hauptquelle von Kontamination gelten, gibt es darüber hinaus einen Trend zu vollautomatischen Prozessen. Schließlich werden die für hochgenaue Positioniervorgänge benötigten Antriebe zunehmend direkt in der Vakuumkammer untergebracht, statt die mechanischen Bewegungen mittels Drehdurchführungen von außen einzuleiten. Damit wächst der Bedarf an vakuumkompatiblen antriebstechnischen Komponenten. In vielen neuen Anwendungen sind die zu handhabenden Werkstücke oder Proben sehr klein, was wiederum den Einsatz von Miniaturantrieben sinnvoll macht. Die geringen Abmessungen von oft nur wenigen Millimetern sind eine zusätzliche Herausforderung bei der Realisierung von vakuumtauglichen Getrieben und Antrieben. Die Werkstoffe müssen chemisch resistent und leicht entgasbar sein sowie ein akzeptables Wärme-Dehnungsverhalten aufweisen. Ebenso müssen die Schmiermittel und die eingesetzte Verbindungstechnik die vakuumtechnischen Forderungen erfüllen.

Diese komplexen Forderungen sind ein wichtiger Grund dafür, dass vakuumtaugliche Getriebe und elektro-mechanische Antriebe bis vor kurzem mit sehr kleinen Abmessungen nicht verfügbar waren. Oft waren Maschinen- oder Gerätekonstrukteure gezwungen, auf unkonventionelle Antriebskonzepte wie Piezoantriebe auszuweichen, was jedoch oft mit Leistungseinbußen oder mangelnder Positioniergenauigkeit verbunden war.

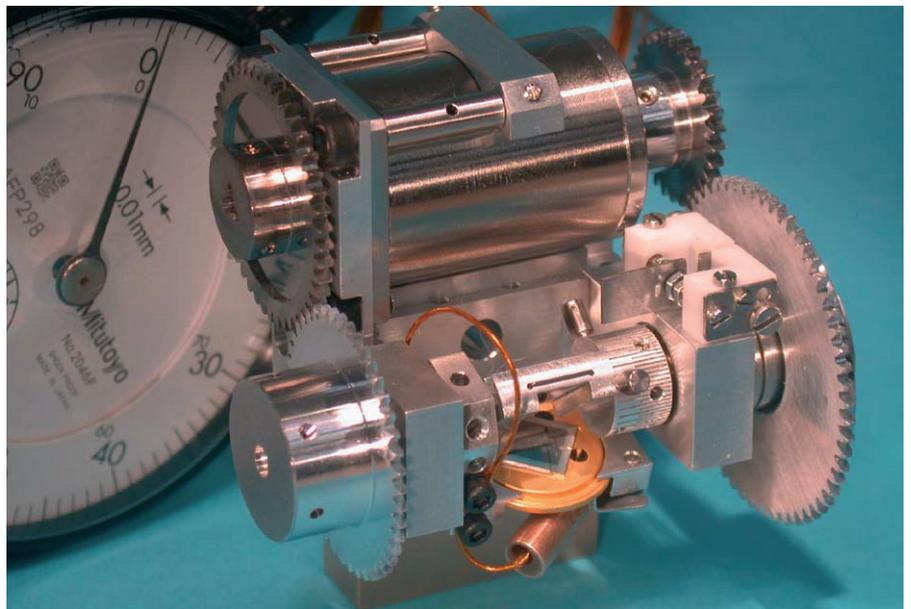
Vakuumtaugliche Mikroantriebe

Mikrogetriebe an sich sind keine besondere Neuheit. Mikro-Planetengetriebe oder kleine Stirnradgetriebe sind bereits

Mikropositionierung im Vakuum

Rolf Slatter, Limburg an der Lahn

Der Betrieb unter Vakuumbedingungen ist ein spezielles Problem der Antriebstechnik: Werkstoffe, Schmierstoffe und die Energieübertragung müssen eigens auf diesen Anwendungsbereich abgestimmt werden. Das Beispiel eines Mikrogetriebes, das am Berliner Forschungsinstitut Bessy ein Polarimeter antreibt, verdeutlicht diese Anforderungen.



Das Mikro-Polarimeter des Berliner Forschungsinstituts Bessy arbeitet mit zwei Getriebeboxen

seit einiger Zeit erhältlich. Bisherige Lösungen haben jedoch gewisse Nachteile, weshalb sie in Positionierachsen von Maschinen und Geräten nicht zur Anwendung kommen: Entweder sind diese Getriebe spielbehaftet, oder die zulässige Belastung fällt extrem niedrig aus. Gefordert sind daher Mikrogetriebe, die nicht nur klein sind, sondern zudem eine hohe Wiederholgenauigkeit, Spielfreiheit, eine hohe Übersetzung (ins Langsame) und wenige Bauteile aufweisen. Diese Forderung gab Anstoß für die Entwicklung des »Micro-Harmonic-Drive«-Getriebes. Dieses wurde

von der Firma Micromotion in Mainz in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM) entwickelt.

Das Funktionsprinzip ähnelt dem des konventionellen Harmonic-Drive-Getriebes, jedoch mit dem Unterschied, dass der Wave-Generator als Planetengetriebe ausgeführt wird. Das ermöglicht hohe Übersetzungen ins Langsame. Dies ist erforderlich, da die Mikromotoren mit sehr hoher Drehzahl laufen – 50 000 min⁻¹ sind keine Seltenheit. Des Weiteren sind die Planetenräder elastisch verformbar, was Spielfreiheit in der Planetenstufe zur Folge hat.

Der Micro-Harmonic-Drive-Getriebeinbausatz hat einen Außendurchmesser von 8 mm bei 1 mm axialer Länge. Er bietet Übersetzungsverhältnisse von 160 : 1 bis 1000 : 1.

Der Hersteller Micromotion bietet verschiedene Getriebebauformen und Abtriebslager an, um die leichte Integration in verschiedene Anwendungen zu ermöglichen. Mikro-Getriebeboxen der MHD-Baureihe (Bild 1) sind verfügbar in zwei Baugrößen, entweder mit gelagerter Antriebswelle oder für den direkten Anbau an allen gängigen Mikromotoren wie zum Beispiel von Arsape, Escap, Faulhaber, Maxon, Mymotors oder RMB.

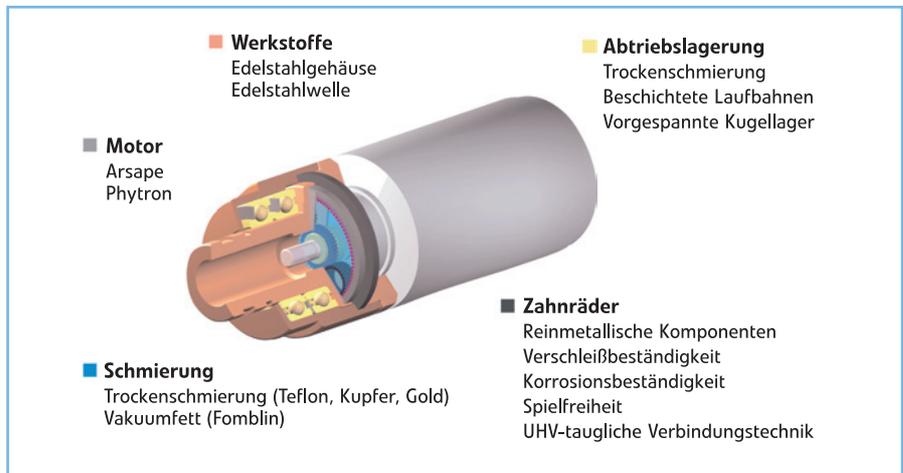


Bild 1. Mikroantriebe für den Vakuumbetrieb erfordern spezielle Konstruktionsmaßnahmen

Technische Vorteile des Mikrogetriebes

Das Micro-Harmonic-Drive bietet dem Anwender eine Reihe von Vorteilen:

- **Spielfreiheit bei miniaturisierter Baugröße:** Die Harmonic-Drive-Getriebestufe ist prinzipbedingt spielfrei, und die elastisch verformbaren Planetenräder gleichen das Spiel in der Planetenstufe aus.
- **Exzellente Wiederholgenauigkeit für präzise Positionierung:** Die Spielfreiheit des Micro-Harmonic-Drive-Getriebes ermöglicht Wiederholgenauigkeiten von wenigen Winkelsekunden und damit Positioniervorgänge im Sub-Mikrometer-Bereich.
- **Hohe Dynamik für dynamische Indexieranwendungen:** Die hohe Drehmomentkapazität sowie das niedrige Massenträgheitsmoment sorgen für extrem hohe Beschleunigungen von bis zu 550 000 rad/s². Dies entspricht einer Beschleunigung des Motors von 0 auf 100 000 min⁻¹ in 25 ms. Dies wiederum ermöglicht extrem schnelle Schwenkbewegungen, zum Beispiel 180° in weniger als 80 ms.
- **Sehr lange Lebensdauer:** Die neuen Mikro-Getriebeboxen weisen eine Lebensdauer von 2500 Stunden bei Nennbelastung, also Nennmoment und Nennzahl, auf. In der praktischen Anwendung bedeutet dies, dass mehrere Millionen Zyklen gefahren werden können, und in den meisten Anwendungen erreicht die Lebensdauer des Getriebes zumindest die der Maschine. Damit sind die Lifecycle Costs deutlich niedriger als bei vermeintlich billigeren Lösungen.
- **Sehr hohe Zuverlässigkeit:** Das MHD-Getriebe weist eine deutlich längere MTBF (Mean Time Between Failure) auf als andere Mikrogetriebe. Dies ist hauptsächlich begründet in der deutlich geringeren Anzahl von Bauteilen als bei bisherigen Getrieben. Zum Beispiel hat ein typisches Planetengetriebe mit der Übersetzung 1000 : 1 25 Zahnräder, das vergleichbare Micro-Harmonic-Drive-Getriebe nur sechs.
- **Hoher Wirkungsgrad, um Leistungsverluste zu minimieren:** Das Micro-Harmonic-Drive weist einen Wirkungsgrad von bis zu 82 Prozent bei Nennbelastung auf. Dies ist deutlich höher als bei bisherigen Getrieben. Die Ursache liegt in der geringen Anzahl der Zahneingriffstellen. Ein Planetengetriebe mit der Übersetzung 1000 : 1 hat 30 Zahneingriffstellen, das vergleichbare Micro-Harmonic-Drive nur acht.
- **Extrem flache Bauweise ermöglicht kompakte Getriebeabmessungen:** Die Baulänge der Micro-Harmonic-Drive-Getriebebox ist unabhängig von der Getriebeübersetzung und generell um mehr als die Hälfte kürzer als bei bisherigen Lösungen.

	Baugröße Übersetzung	MHD 8		MHD 10		
		160:1	500:1	160:1	500:1	1000:1
Spitzendrehmoment	[mNm]	6	16	10	26	40
Nennmoment	[mNm]	3	8	5	13	20
Verlustdrehmoment	[µNm]	30	35	50	45	40
Wiederholgenauigkeit	[arcsec]	±10	±10	±10	±10	±10
Außendurchmesser	[mm]	8	8	10	10	10

Tabelle 1. Die technischen Daten der Mikrogetriebe im Überblick

- **Geringes Eigengewicht für Anwendungen in tragbaren oder bewegten Strukturen:** Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, wiegen die Getriebeboxen nur wenige Gramm. In der praktischen Anwendung bedeutet dies geringe bewegte Massen, was wiederum zu höherer thermischer Stabilität und reduzierter Erwärmung der Maschine führt. Weiterhin ermöglicht dies höhere Beschleunigungen oder kleinere Vorschubantriebe.
- **Höhere Übersetzungen ins Langsame für die verlustarme Drehmomentvergrößerung von Mikromotoren:** Die hohen Übersetzungen reduzieren das motorbezogene Massenträgheitsmoment sehr stark. Die Folge ist, dass der Motor fast keine Lastträgheit merkt. In Kombination mit dem geringen Eigenträgheitsmoment des Getriebes führt dies dazu, dass die Motorregelung über einen großen Bereich quasi unabhängig von der Lastträgheit ausgelegt werden kann.
- **Stabile, führungsgenaue Abtriebslagerung:** Die hohe zulässige Belastung der Abtriebslagerung (vorgespannte Kugellager in 0-Anordnung) bedeutet, dass in den meisten Anwendungen keine zusätzliche Stützlagerung notwendig ist. Weiterhin ermöglicht die extrem hohe Führungsgenauigkeit (5 µm Rundlauf und Planlauf) die direkte Montage von Anschlussteilen, zum Beispiel Spiegel an der Abtriebswelle.
- **Eignung für extreme Umgebungsbedingungen:** Hochwertige Werkstoffe sorgen für eine sehr hohe Korrosionsbeständigkeit. Die Micro-Harmonic-Drive-Getriebebox ist sterilisierbar und bei Temperaturen zwischen - 20 und + 150 °C einsetzbar. Darüber hinaus ist der Betrieb im Vakuum bis 10⁻¹² bar schon praktisch erprobt wor-

den. Fett-, Öl- oder Trockenschmierung ist je nach Anwendungsfall möglich.

Zahnräder im Mikroformat sind mit spanenden Bearbeitungsverfahren nicht herstellbar. Konventionelle Verfahren zur Fertigung von Zahnrädern eignen sich in Abhängigkeit von der Zahngeometrie nur bis zu einem minimalen Modul von 60 bis 100 mm. Allerdings erfordert die Herstellbarkeit mit konventionellen Methoden hier Kompromisse hinsichtlich der optimalen Verzahnungsgeometrie. Zur Fertigung der Zahnräder des Micro-Harmonic-Drive-Getriebes hat sich das so genannte LIGA-Verfahren (Lithografie + Galvanoformung + Abformung) bewährt. Diese Technologien stammen aus der Halbleiterfertigung und basieren auf lithografischen Prozessen, das heißt, die lateralen Strukturen befinden sich als Absorberschicht auf einer Maske und werden über Schattenprojektion hochpräzise in einen Fotoresist übertragen.

Um die hohen Untersetzungen und gleichzeitig die geringen Abmessungen realisieren zu können, wird für die Zähne ein Modul von 34 µm verwendet, weniger als die Hälfte der Breite eines menschlichen Haares. Alle Zahnräder des Micro-Harmonic-Drive bestehen aus einer Nickel-Eisen-Legierung. Auf Grund ihrer hohen Streckgrenze von 1500 N/mm², des niedrigen Elastizitätsmoduls von 165 000 N/mm² und ihrer Dauerfestigkeit bietet diese Legierung exzellente Materialeigenschaften für hoch beanspruchte Mikroahnräder.

Einfacher Einbau als Getriebebox

In der Ausführung als Getriebebox lässt sich das Aggregat besonders einfach in Maschinen- und Produktumgebungen ver-

wenden. Verschiedene Varianten ermöglichen es dem Anwender, die Getriebebox entweder direkt mit gängigen Mikromotoren zu kombinieren oder – wenn es sich um die Variante mit Antriebswelle handelt – den Motor seitlich anzubauen. Die optional

KONTAKT

Harmonic Drive AG,
65555 Limburg a.d. Lahn,
Tel. 0 64 31 /50 08 -21,
Fax 0 64 31 /50 08 -18,
www.harmonicdrive.de

Micromotion GmbH,
55124 Mainz,
Tel. 0 61 31 /6 69 27 -11,
Fax 0 61 31 /6 69 27 -20,
www.mikrogetriebe.de

erhältliche Hohlwelle ist für die Durchführung von Laserstrahlen, optischen Fasern oder die Luftversorgung durch die zentrale Achse der Getriebebox nutzbar.

Um die Getriebebox jedoch im Hoch- oder Ultrahochvakuum einzusetzen, ist eine Vielzahl von konstruktiven Maßnahmen erforderlich. Auch wenn die Standard-Getriebebox schon hochwertige, korrosionsbeständige Werkstoffe aufweist, müssen einige Bauteile angepasst oder ausgetauscht werden. So werden bei der Abtriebslagerung spezielle trocken geschmierte Kugellager mit beschichteten Laufbahnen verwendet. In Abhängigkeit von den konkreten Umgebungsbedingungen wird das Getriebe selbst entweder trocken geschmiert oder mit einem speziellen Vakuumfett versehen. Eine weitere

Detailanpassung betrifft die Verbindungstechnik, wo ein spezieller UHV-tauglicher Klebstoff zur Anwendung kommt. Alle diese Anpassungen wurden im Vakuumbetrieb bis zu einem Druck von 10⁻¹² bar erfolgreich getestet.

Anwendungsbeispiel Mikro-Polarimeter

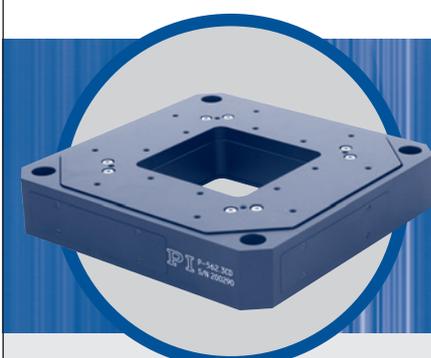
Das Micro-Harmonic-Drive hat sich schon in der Praxis bewährt. Ein Anwendungsbeispiel ist ein neues Mikro-Polarimeter, welches am Forschungsinstitut Bessy (Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft) entwickelt wurde. Dieses Gerät dient der elementspezifischen Charakterisierung dünner magnetischer Schichten, unter anderem mit Hilfe des magneto-optischen Kerr-Effekts im weichen Röntgenbereich. Das Titelbild zeigt die komplette Baugruppe, in der zwei vakuumtaugliche Getriebeboxen untergebracht sind und die präzise Positionierung von Umlenkspiegel und Detektor zueinander ermöglichen. Ein einziger vakuumtauglicher Schrittmotor treibt die beiden Getriebeboxen an. Da Umlenkspiegel und Detektor mit unterschiedlichen Drehzahlen, die jedoch in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen, gedreht werden müssen, gibt es für beide Mikrogetriebeboxen eine Stirnradvorstufe mit unterschiedlicher Untersetzung. Für Umlenkspiegel- und Detektorachse wird eine Wiederholgenauigkeit von ± 20 Winkelsekunden gefordert, was auch im offenen Regelkreis problemlos erreicht wurde.

Autor

Dr. Rolf Slatter ist Vorstand für Marketing und Vertrieb bei Harmonic Drive in Limburg an der Lahn.



Piezo · Nano · Positioning



Multiachsen Piezo-Nanopositionier-Tisch! PIMars

Riesenhub und viele Achsen

■ nm Auflösung ■ bis 6 DoF ■ Ultra schnell ■ bis 300 µm

www.pi.ws/marfm

Wir öffnen Nanowelten | www.pi.ws

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG · Tel. 0721 4846-0