



Präzision

Precision



Konstruktionshandbuch
Designer's Handbook



Harmonic
Drive AG

Konstruktionshandbuch

Designer's Handbook

Herausgeber:

Publisher: Harmonic Drive AG

Inhalt

Inhalt

Anwendungsbeispiele

Das Unternehmen

Die Bauteile/Das Funktionsprinzip

Die Vorteile

Terminologie

An- und Abtriebsanordnungen

Konstruktionshinweise

Industrieroboter

6-Achsen-Roboter: Primärachsen	18
SCARA Roboter: Primärachsen	20
Portalroboter: Handachsen	22
6-Achsen-Roboter: Schulterachse	24
6-Achsen-Roboter: Handachse	26
SCARA Roboter: Knickarmachse	28

Werkzeugmaschinen

Portal-Fräsmaschine: Fräskopf	30
Bearbeitungszentrum: NC-Rundtisch	32
Portal-Fräsmaschine: Werkstück-Lade-Roboter	34
Portal-Fräsmaschine: Werkzeugwechsler	36
Sonder-Fräsmaschine: Werkzeugrevolver	38
Portal-Fräsmaschine: Fräskopf	40
Portal-Fräsmaschine:	
Mechanisch verspannter Fräskopf	42
Portal-Fräsmaschine:	
Elektrisch verspannter Fräskopf	44
5-Achs-Bearbeitungszentrum:	
A- und B-Achsenantrieb	46
Werkzeugschleifmaschine: Indextisch	48
Bearbeitungszentrum: Werkzeugkettenmagazin	50
Bearbeitungszentrum: Palettenwechsler	52
Mehrspindel-Drehautomat: Linearantrieb	54
für Werkzeugverschleißkompensation	
Bearbeitungszentrum: NC Dreh-Verschiebetisch	56
Wasserstrahlschneidmaschine:	
Schnelle Linearachsen	58

Druckmaschinen

Falzapparat:	
„Back-to-back“ Differentialantrieb	60
Falzapparat: Schaufelradantrieb	62
Falzapparat: Linearantrieb für	
Zugwalzenverstellung	64
Flexo-Druckmaschine: Registerantrieb	66

2	Druckmaschinen	
4	Wertpapierdruckmaschine: Phasenverstellung	68
6	Verstellung mit Kraftregelung	
8	für Farbauftragswalze	70

10		
12	Halbleiterfertigung	
14	Kristallziehanlage: Schleich-Eilgang-Antrieb	72
16	Beschichtungsmaschine: Drehtisch-Antrieb	74
	Wafer-Handling-Roboter: Primärachsen	76
	Wafer-Handling-Roboter: Primärachsen	78

Holzbearbeitungsmaschinen

Bearbeitungszentrum: 2-Achs-Fräskopf	80
Bearbeitungszentrum: Sägeaggregat	82
Bearbeitungszentrum: C-Achse für	
Hochleistungs-Fräskopf	84
Bearbeitungszentrum: Tellermagazin	86

Mess- und Prüfmaschinen

Zweistufiger Sonder-Drehantrieb	88
Optische Messmaschine: Indextisch	90
Universal-Prüfmaschine: Torsionsachse	92

Papiermaschinen

Streicheinheit: Linearantrieb	94
Stoffauflauf: Ventilantrieb	96

Medizintechnik

Röntgenanlage: C-Bogenantrieb	98
Stereotaktischer Manipulator: Drehachse	100

Luft- und Raumfahrt

Satellit: Paddle-Antrieb	102
Flugsimulator: Antrieb	104
Militärflugzeug: Getriebebox	106
Passagierflugzeug: Getriebebox	108

Sonderanwendungen

Webmaschinen: Warenabzug	112
Kamerakopf: Dreh-/Schwenkachsen	114
Optisches Mikroskop: Fokussierantrieb	116
Blisterriegelautomat: Folientransport	118

Mikrotechnik

Die-Bonding Maschine	120
Smart-Label: Bestückungsmaschine	122
Mikroroboter	124
Weltraumtaugliche Kamera	126



Contents

Contents

Application Examples

The Company

The Components/Principle of Operation

The Advantages

Terminology

Driving Arrangements

Design Guidelines

Industrial Robots

6-Axis Robot: Primary Axes

SCARA Robot: Primary Axes

Gantry Robot: Hand Axes

6-Axis Robot: Shoulder Axis

6-Axis Robot: Hand Axes

SCARA Robot: Elbow Axis

Machine Tools

Machine Tools: Gantry milling machine

Machining Centre: NC Rotary Table

Machining Centre: Workpiece Loading Robot

Gantry Milling Machine: Tool Changer

Special-purpose Milling Machine: Tool Revolver

Gantry Milling Machine: Milling Head

Gantry Milling Machine

Mechanically pre-loaded Milling Head

Gantry Milling Machine

Electrically pre-loaded Milling Head

5-Axis Machining Centre

A- and B-Axis Drive

Tool Grinding Machine: Indexing Axis

Machining Centre: Chain-type Tool Magazine

Machining Centre: Pallet Changer

Multi-spindle Lathe: Linear Actuator

for Tool Wear Compensation

Machining Centre: NC Rotary Indexing Table

Water-jet Cutting Machine:

Fast Linear Axes

Printing Machines

Folder:

„Back-to-back“ Differential Drive

Folder: Collator Drive

Folder:

Linear Actuator for Drive Roll Adjustment

Flexo-Printing Machine: Registering Drive

Printing Machines

Bank Note Printing Machine: Phase Control Drive

Inking Cylinder Adjustment with Force Feedback

2 Semiconductor Manufacturing Equipment

4 Crystal Pulling Machine

6 Two-speed Range Actuator

8 Coating Machine: Rotary Table Drive

10 Wafer-handling Robot: Primary axes

12 Wafer-loading Robot: Primary axes

14 Woodworking Machines

16 Machining Centre: Two-Axis Milling Head

Machining Centre: Sawing Attachment

Machining Centre:

18 C-axis for heavy Duty Milling Head

20 Machining Centre: Disc-type Tool Magazine

24 Measuring and Testing Machines

26 Special Double Reduction Stage Actuator

28 Optical Measuring Machine: Indexing Table

Universal Testing Machine: Torsion Axis

Paper Machines

Coating Unit: Linear Actuator

Headbox: Valve Actuator

Medical Equipment

X-Ray Machine: C-Beam Drive

Stereotactic Manipulator: Rotary Axis

Aerospace

Satellite: Paddle Drive

Flight Simulator: Actuator

Military Aircraft: Gearbox

Passenger Aircraft: Gearbox

Special Applications

Weaving Machine: Fabric Take-Up Drive

Camera Head: Pan and Tilt Axes

Optical Microscope: Focusing Drive

Blister Packaging Machine: Foil Transport Drive

Microtechnology

Die Bonding Machine

Smart Label Assembly Machine

Micro-robot

Space-qualified Camera



Anwendungsbeispiele für Präzisionsgetriebe

In manchen Anwendungen sind besonders kompakte Lösungen gefragt, in anderen spielt das Gewicht eine wichtige Rolle und in der nächsten werden Präzision, Dynamik oder hohe Untersetzungen gefordert. Wenn es um die richtige Antriebstechnik geht, werden Konstrukteure immer wieder vor neue Anforderungen gestellt. Seit mehr als 35 Jahren werden Harmonic Drive Getriebe und –antriebe in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen eingesetzt. Daher verfügen wir über ein fundiertes Anwendungs-Know-how und einen breiten Erfahrungsschatz bei der Getriebeauslegung – beides geben wir gerne an unsere Kunden weiter.

Diese Druckschrift enthält Konstruktionsbeispiele für verschiedene Maschinen aus den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen. Alle haben eines gemeinsam: Präzisionsgetriebe. Deshalb stehen auch die antriebstechnischen Fragen – wie z. B. der geeignete Getriebetyp, konstruktive Besonderheiten, Lagerung und Schmierung – im Mittelpunkt der Beschreibungen.

Mit den hier zusammengefassten Anwendungsbeispielen wollen wir sowohl Konstrukteuren als auch Studierenden unsere Erfahrungen beim Einsatz von Harmonic Drive Getrieben übertragen und Anregungen für die Lösung von Antriebsaufgaben vermitteln.

Alle ausgewählten Konstruktionsbeispiele haben sich in der Praxis bewährt. Wir danken an dieser Stelle den Firmen, die durch Überlassung ihrer Unterlagen die Herausgabe des Harmonic Drive Konstruktionshandbuches ermöglichen.

Für die Lösung Ihres speziellen Antriebsproblems stehen Ihnen unsere Ingenieure mit ihrer langjährigen Erfahrung zur eingehenden technischen Beratung und Ausarbeitung von Antriebskonzepten gerne zur Verfügung.

Application Examples

Some applications necessitate especially compact solutions, for others low gear weight is most important and the next application requires high dynamics or high reduction ratios from the gear. To choose the right drive technology still is a real challenge for designers. Since more than 35 years Harmonic Drive gears and actuators have been used for a wide range of diverse applications. That is why we can rely on a comprehensive application know-how and many years of experience in the dimensioning of gears and actuators – we want to share both with our customers.

This booklet contains application examples of different machine types for a wide range of applications. All of them have one thing in common: precision gears. Therefore, the accompanying description of each example concentrates on details such as the suitable gearing type, special design details, bearing arrangements and lubrication.

With the application examples shown in this booklet we wish to share our experience in the solution of motion control problems with Harmonic Drive gears. As such, this document should assist design engineers and student engineers alike.

All application examples gathered in this booklet are proven designs in the field. At this point we would like to thank the companies which released their material to enable us to publish the Harmonic Drive Designer's Handbook.

Harmonic Drive engineers are always at your disposal to discuss the solution to your motion control problems and to provide detailed technical advice and recommendations for your specific application.



Das Unternehmen

Im Jahr 1970 wurde in Langen bei Frankfurt/Main die Harmonic Drive System GmbH gegründet. Die Expansion des Unternehmens führte 1988 zur Verlegung des Firmensitzes nach Limburg/Lahn. Umfangreiche Investitionen in Gebäude, modernste CNC-Maschinen folgten. Die Produktion kundenspezifischer Antriebssysteme begann.

1998 wurden weitere erhebliche Investitionen für den Ausbau der Getriebefertigung vorgenommen.

Im Jahr 2000 wurde aus der Harmonic Drive Antriebstechnik GmbH die Harmonic Drive AG.

Das einzigartige Funktionsprinzip der Harmonic Drive Getriebe eröffnet uns insbesondere aufgrund unserer langjährigen Erfahrung umfangreiche Anwendungsmöglichkeiten in den verschiedensten Bereichen der Technik. In unseren Getrieben und Antrieben steckt die Erfahrung, die wir bei der Fertigung und dem Einsatz von Millionen von Präzisionsgetrieben im Laufe von mehr als 35 Jahren gewonnen haben. Heute bieten wir ein breit gefächertes Angebot hochwertiger Produkte:

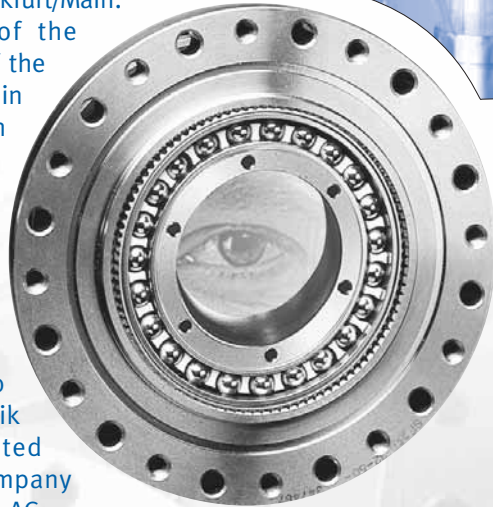
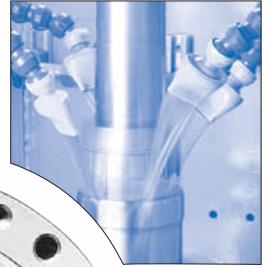
Getriebeeinbausätze, Units, Getriebeboxen, Planetengetriebe, Servoantriebe und Sonderantriebe nach Kundenspezifikation.





The Company

Harmonic Drive System GmbH was established in 1970 in Langen, near to Frankfurt/Main. The continuous expansion of the company led to the transfer of the head-quarters to Limburg/Lahn in 1988. Major investments in facilities, modern CNC machine tools and personnel followed. The development and production of customized drive solutions began. In 1998 further significant investments provided the basis for the production of gear components. In 2000 Harmonic Drive Antriebstechnik GmbH changed from a limited company to a joint-stock company under the name Harmonic Drive AG.



The unique Harmonic Drive operating principle continues to open up new applications in all areas of modern mechanical engineering. Our current product range reflects the application and production experience of more than 35 years with millions of precision gears in the field.

Today, Harmonic Drive offers a complete range of products for demanding applications:

Component Sets, Units, Gearboxes, Planetary Gears, Servo Actuators, Customer-specific Solutions.

Die Bauteile

Circular Spline

Ein zylindrischer Ring mit Innenverzahnung
A solid steel ring with internal teeth

Flexspline

Eine zylindrische, verformbare Stahlbüchse
mit Außenverzahnung
A flexible cylinder with external teeth and
a flanged mounting ring

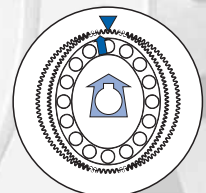
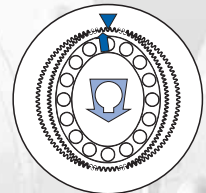
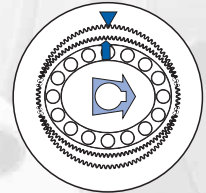
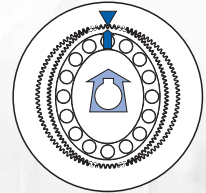
Das Funktionsprinzip

Der elliptische Wave Generator als angetriebenes Teil verformt über das Kugellager den Flexspline, der sich in den gegenüberliegenden Bereichen der großen Ellipsenachse mit dem innenverzahnten, fixierten Circular Spline im Eingriff befindet.

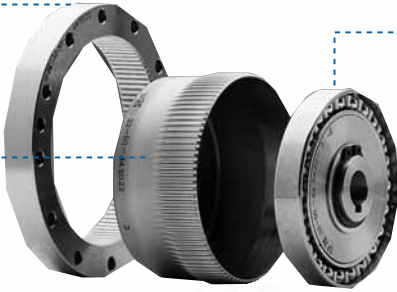
Mit Drehen des Wave Generators verlagert sich die große Ellipsenachse und damit der Zahneingriffsbereich.

Da der Flexspline zwei Zähne weniger als der Circular Spline besitzt, vollzieht sich nach einer halben Umdrehung des Wave Generators eine Relativbewegung zwischen Flexspline und Circular Spline um einen Zahn und nach einer ganzen Umdrehung um zwei Zähne.

Bei fixiertem Circular Spline dreht sich der Flexspline als Abtriebsselement entgegengesetzt zum Antrieb.



The Components



Wave Generator

Eine elliptische Stahlscheibe mit zentrischer Nabe und aufgezogenem, elliptisch verformbarem Spezialkugellager

The Wave Generator is a thin raced ball bearing fitted onto an elliptical plug serving as a high efficiency torque converter

Principle of Operation

The Flexspline is slightly smaller in diameter than the Circular Spline resulting in it having two fewer teeth on its outer circumference. It is held in an elliptical shape by the Wave Generator and its teeth engage with the teeth of the Circular Spline across the major axis of the ellipse.

As soon as the Wave Generator starts to rotate clockwise, the zone of tooth engagement travels with the major elliptical axis.

When the Wave Generator has turned through 180 degrees clockwise the Flexspline has regressed by one tooth relative to the Circular Spline.

Each turn of the Wave Generator moves the Flexspline two teeth anti-clockwise relative to the Circular Spline.

Die Vorteile

The Advantages

Da die Kraftübertragung über einen großen Zahneingriffsbereich erfolgt, verfügen Harmonic Drive Getriebe über eine sehr **hohe Drehmomentkapazität**.

Since power is transmitted through multiple tooth engagement, Harmonic Drive gearing offers **high output torque capacity**.

Harmonic Drive Getriebe sind **spielfrei**.
Harmonic Drive gears are **backlash-free**.

Mit nur drei Bauteilen werden **hohe einstufige Untersetzungen** von 50:1 bis 320:1 erreicht.

With only three elements **high single-stage reduction ratios** ranging from 50:1 to 320:1 can be achieved.

Harmonic Drive Getriebe bieten die Möglichkeit einer **zentralen Hohlwelle** zur Durchführung von Kabeln, Wellen, Laserstrahlen usw.

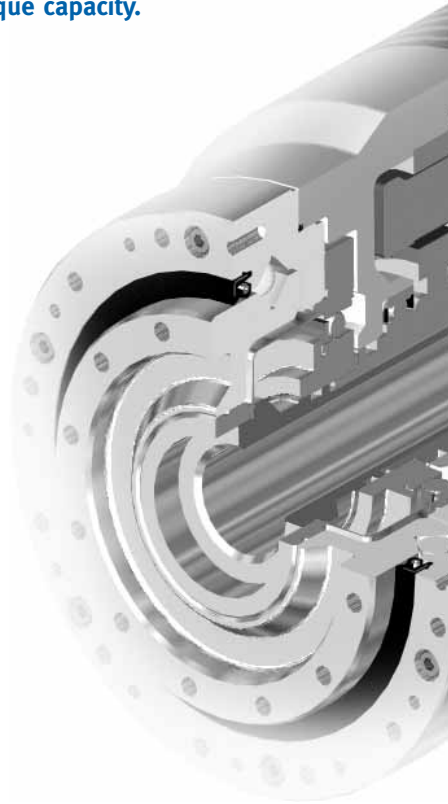
Harmonic Drive gears provide the option of a **central hollow shaft** which can be used to pass cables, shafts or even laser beams through the centre of the gear.

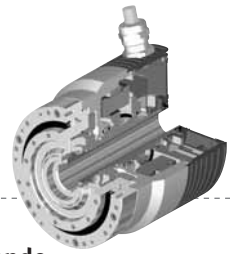
Bei Nennbetriebsbedingungen werden **hohe Wirkungsgrade** bis zu 85 % erreicht.

High efficiencies of up to 85 % can be obtained.

Der Zahneingriff in Harmonic Drive Getrieben beschränkt sich hauptsächlich auf eine rein radiale Bewegung. Auch bei großen Eingangsdrehzahlen ist die Gleitgeschwindigkeit sehr gering. Daher ergibt sich **minimaler Verschleiß** und **lange Lebensdauer**.

In Harmonic Drive gearing the teeth come in contact with an almost pure radial motion, and have essentially zero sliding velocity, even at high input speeds. This results in **minimal wear** and **long operating life**.





Harmonic Drive Getriebe besitzen eine **hervorragende Positioniergenauigkeit** von weniger als einer Winkelminute und eine **Wiederholgenauigkeit** von nur wenigen Winkelsekunden.

Harmonic Drive gears are available with an **excellent positioning accuracy** of better than one minute of arc and a **repeatability** within a few seconds of arc.

Harmonic Drive Getriebe sind **nicht selbst-hemmend**; sie können sowohl im Untersetzungs- als auch im Übersetzungsbetrieb eingesetzt werden.

Harmonic Drive units are **reversible** and can be used for speed reduction as well as for speed increase.

Harmonic Drive Getriebe weisen über den gesamten Drehmomentbereich eine **hohe Torsionssteifigkeit** mit nahezu linearer Hysterese auf.

Harmonic Drive gears exhibit very **high torsional stiffness** over the whole torque range, as well as almost linear hysteresis behaviour.

Produktprogramm Product Range

Einbausätze
Component Sets

Units
Units

Getriebeboxen
Gearboxes

Harmonic Planetengetriebe
Harmonic Planetary Gears

Servoantriebe und Servoregler
Servo Actuators and Controllers

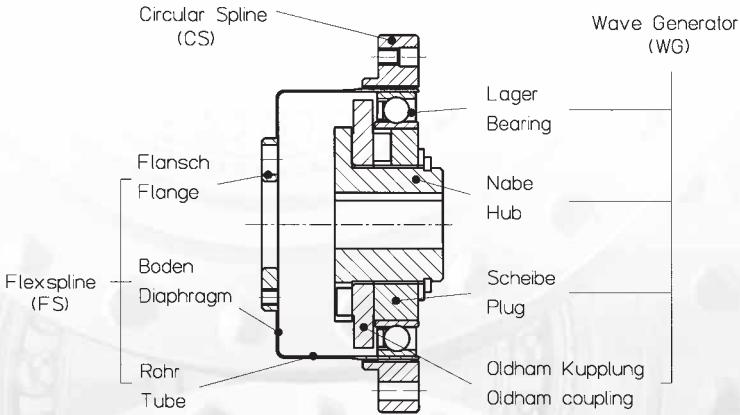
Mikrogetriebe
Micro Gears

Sonderantriebe
Special Actuators



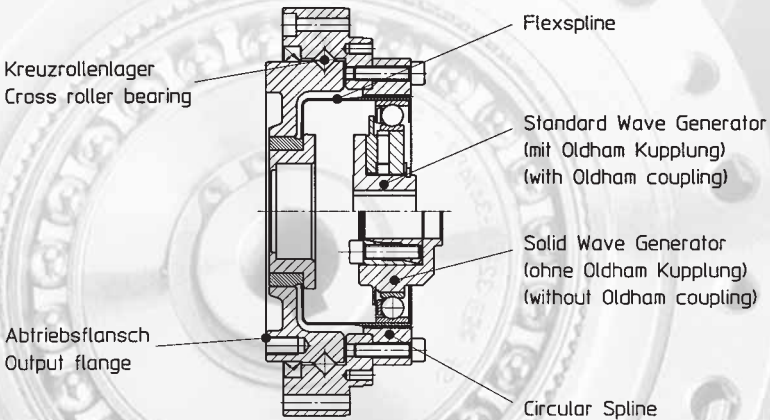
HFUC Einbausatz

HFUC Component Set



CPU Unit für Motoranbau

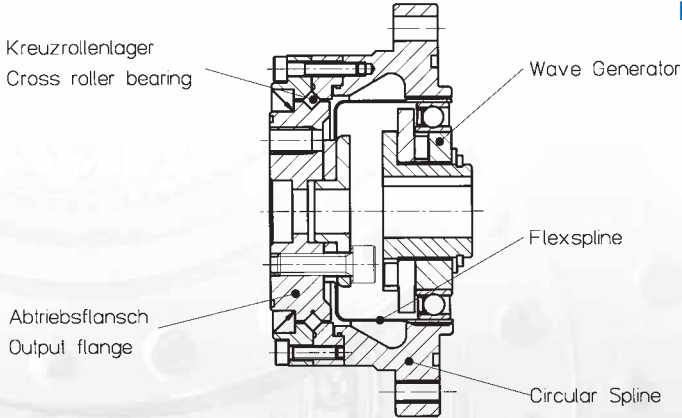
CPU Unit for direct motor assembly





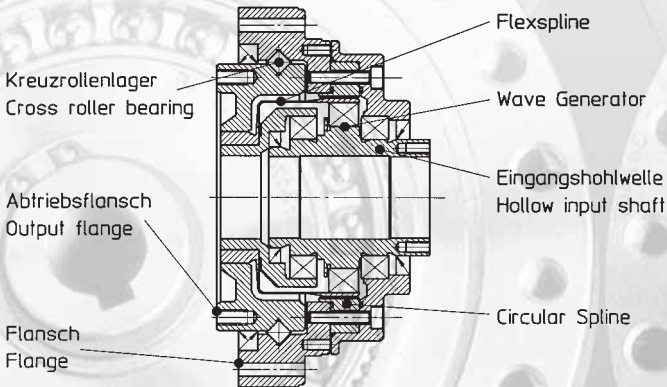
HFUC Unit

HFUC Unit



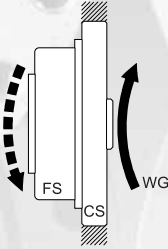
CPU Hohlwellenunit

CPU Hollow-shaft Unit



An- und Abtriebsanordnungen

1.)



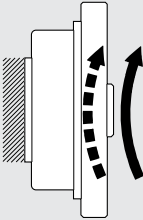
Untersetzungsgetriebe / Reduction Gearing
 CS Fixiert / Fixed
 WG Antrieb / Input
 FS Abtrieb / Output

$$\text{Untersetzung} = - \frac{i}{1}$$

$$\text{Ratio} = - \frac{R}{1}$$

An- und Abtrieb drehen entgegengesetzt.
 Input and output rotate in opposite directions.

2.)



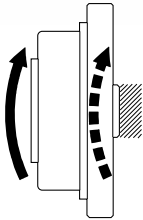
Untersetzungsgetriebe / Reduction Gearing
 FS Fixiert / Fixed
 WG Antrieb / Input
 CS Abtrieb / Output

$$\text{Untersetzung} = \frac{i+1}{1}$$

$$\text{Ratio} = \frac{R+1}{1}$$

An- und Abtrieb drehen gleichsinnig.
 Input and output rotate in the same direction.

3.)



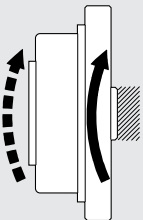
Untersetzungsgetriebe / Reduction Gearing
 WG Fixiert / Fixed
 FS Antrieb / Input
 CS Abtrieb / Output

$$\text{Untersetzung} = \frac{i+1}{i}$$

$$\text{Ratio} = \frac{R+1}{R}$$

An- und Abtrieb drehen gleichsinnig.
 Input and output rotate in the same direction.

4.)



Übersetzungsgetriebe / Speed Increaser Gearing
 WG Fixiert / Fixed
 CS Antrieb / Input
 FS Abtrieb / Output

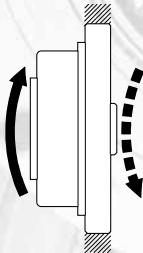
$$\text{Untersetzung} = \frac{i}{i+1}$$

$$\text{Ratio} = \frac{R}{R+1}$$

An- und Abtrieb drehen gleichsinnig.
 Input and output rotate in the same direction.

Driving Arrangements

5.)



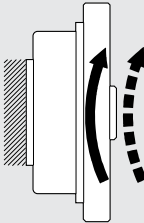
Übersetzungsgetriebe / Speed Inverter Gearing
 CS Fixiert / Fixed
 FS Antrieb / Input
 WG Abtrieb / Output

$$\text{Untersetzung} = - \frac{1}{i}$$

$$\text{Ratio} = - \frac{1}{R}$$

An- und Abtrieb drehen entgegengesetzt.
 Input and output rotate in opposite directions.

6.)



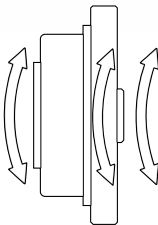
Übersetzungsgetriebe / Speed Inverter Gearing
 FS Fixiert / Fixed
 CS Antrieb / Input
 WG Abtrieb / Output

$$\text{Untersetzung} = \frac{1}{i+1}$$

$$\text{Ratio} = \frac{1}{R+1}$$

An- und Abtrieb drehen gleichsinnig.
 Input and output rotate in the same direction.

7.)



Differentialgetriebe / Differential Gearing
 WG Regelantrieb / Control Input
 CS Hauptantrieb / Main Drive Input
 FS Hauptabtrieb / Main Drive Output

Zahlreiche Differentialfunktionen können durch Kombination der Drehzahl und Drehrichtung der drei Bauteile erreicht werden.

Numerous differential functions can be obtained by combinations of the speed and rotational direction of the three basic elements.

Untersetzung i = Ratio R =

$$\frac{\text{Antriebsdrehzahl} / \text{Input Speed}}{\text{Abtriebsdrehzahl} / \text{Output Speed}}$$

Konstruktionshinweise

Die Anordnung der drei Bauteile des Harmonic Drive Getriebes bezüglich Planlauf und Konzentrität haben einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit und die Lebensdauer. Eine falsche Ausrichtung kann sich nachteilig auf die Zuverlässigkeit auswirken. Das Einhalten der empfohlenen Montagetoleranzen ist daher besonders wichtig, um die Vorteile der Harmonic Drive Getriebe voll auszunutzen. Besondere Aufmerksamkeit sollte auf folgende Punkte gelegt werden:

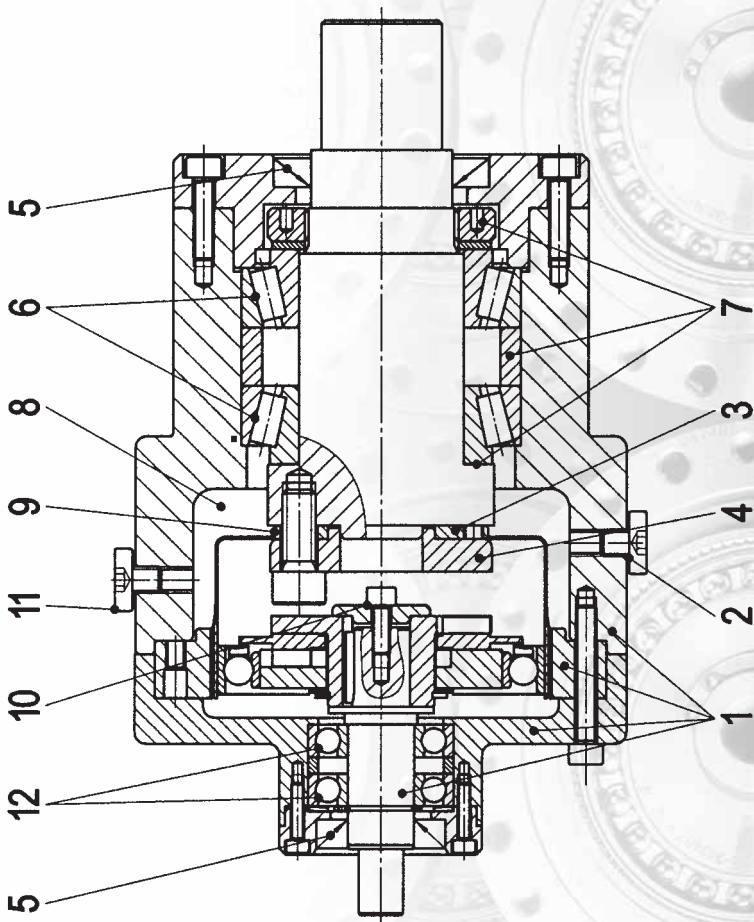
1. Antriebswelle, Circular Spline und Gehäuse müssen konzentrisch angeordnet sein.
2. Ölablass
3. Die Flexspline-Flanschbohrung muss in Bezug auf den Circular Spline konzentrisch sein.
4. Der Klemmring mit Kantenabrundung erhöht das übertragbare Drehmoment und vermeidet Beschädigungen des Flexspline-Bodens.
5. Radialwellendichtung für Ölschmierung
6. Spielfrei vorgespannte Lagerung der Abtriebswelle
7. Axialfixierung des Flexspline
8. Entlüftungsventil (bei Bedarf)
9. Flexspline und Circular Spline müssen parallel und plan zur Abtriebswelle angeordnet sein.
10. Axialfixierung des Wave Generators
11. Öleinlass (ermöglicht auch Montageüberprüfung)
12. Doppellagerung der Antriebswelle

Design Guidelines

The relative perpendicularity and concentricity of the three basic Harmonic Drive elements have an important influence on accuracy and service life. Misalignments may adversely affect performance and reliability. Compliance with recommended assembly tolerances is essential in order for the advantages of Harmonic Drive gearing to be fully exploited.

Careful attention should thus be paid to the following points:

1. Input Shaft, Circular Spline and housing must be concentric.
2. The oil drain also enables assembly check.
3. The Flexspline pilot diameter must be concentric to the Circular Spline.
4. A clamping ring with corner radius increases torque transmission capacity and prevents damage to the Flexspline diaphragm.
5. A radial shaft seal for oil lubrication
6. Pre-loaded and backlash-free double bearing support for output shaft
7. Fixed axial location of the Flexspline
8. Air vent depending on the application
9. Flexspline and Circular Spline must be located in parallel and perpendicular to the output shaft
10. Axial location of Wave Generator
11. Oil input (also enables assembly check)
12. Double bearing support for input shaft



Industrieroboter

Industrial Robots

6-Achsen-Roboter Primärachsen

6-Axis Robot Primary Axes

■ Integriertes Abtriebslager

■ Integrated output bearing

Der Bereich Industrieroboter stellt weiterhin eines der zentralen Anwendungsgebiete für Harmonic Drive Getriebe dar.

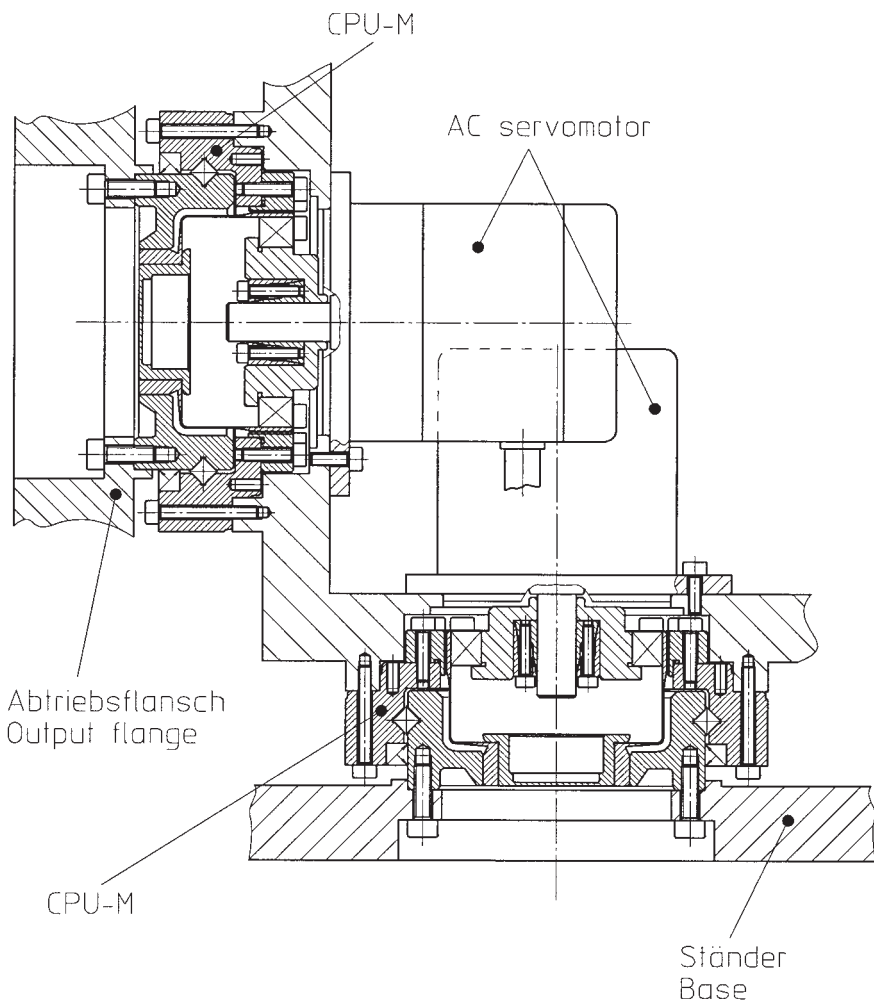
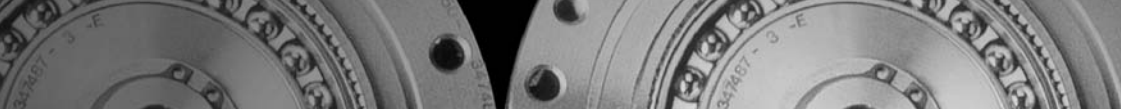
Im gezeigten Anwendungsbeispiel sind die Grund- und Schulterachse eines 6-achsigen Roboters für Montage und Schweißarbeiten mit Harmonic Drive Getrieben bestückt.

Diese Anwendung erfordert spielfreie Getriebe mit hoher Drehmomentkapazität, hoher Torsionssteifigkeit und hervorragender Wiederholgenauigkeit. Bei der gezeigten Konstruktion kommt eine spezielle Variante unserer **CPU-M** Units für direkten Motoranbau zum Einsatz. Beide Achsen werden von dem kippsteifen, abtriebsseitigen Lager der Unit abgestützt. Die Getriebe der Baureihe **CPU** zeichnen sich durch ein hoch belastbares Kreuzrollen-Abtriebslager aus, weshalb sie ideal für die Anwendung in Roboter-Primärachsen geeignet sind, wo Kippmomente am abtriebsseitigen Lager des Getriebes in jeder Drehachse auftreten. In diesem Beispiel können Motor und Wave Generator mühelos auseinander genommen werden, ohne dass eine komplette Demontage des Roboterarms erfolgen muss. Dies ist möglich, wenn der Zentrierdurchmesser des Motorflansches größer ist, als die große Ellipsenachse des Wave Generators.

Industrial robotics continues to be one of the major application areas for Harmonic Drive gears.

This application example shows the base and shoulder axes of a 6-axis robot for assembly and arc welding applications. This application requires backlash-free gears with high torque capacity, high torsional stiffness and excellent repeatability. This design uses a special variant of our **CPU-M** units for direct motor assembly. Both axes are supported only by the stiff output-side bearing of the unit. The **CPU** product range features a particularly strong cross-roller bearing, and is therefore ideally suited to applications in the primary axes of robots, where there are significant tilting moments on the output-side bearing of the gears in each joint.

In this design example the motor and Wave Generator can be easily disassembled without needing to completely disassemble the robot arm. This is possible when the centering diameter of the motor flange is larger than the major elliptical axis of the Wave Generator.



SCARA Roboter Primärachsen

SCARA Robot Primary Axes

■ Integriertes Abtriebslager

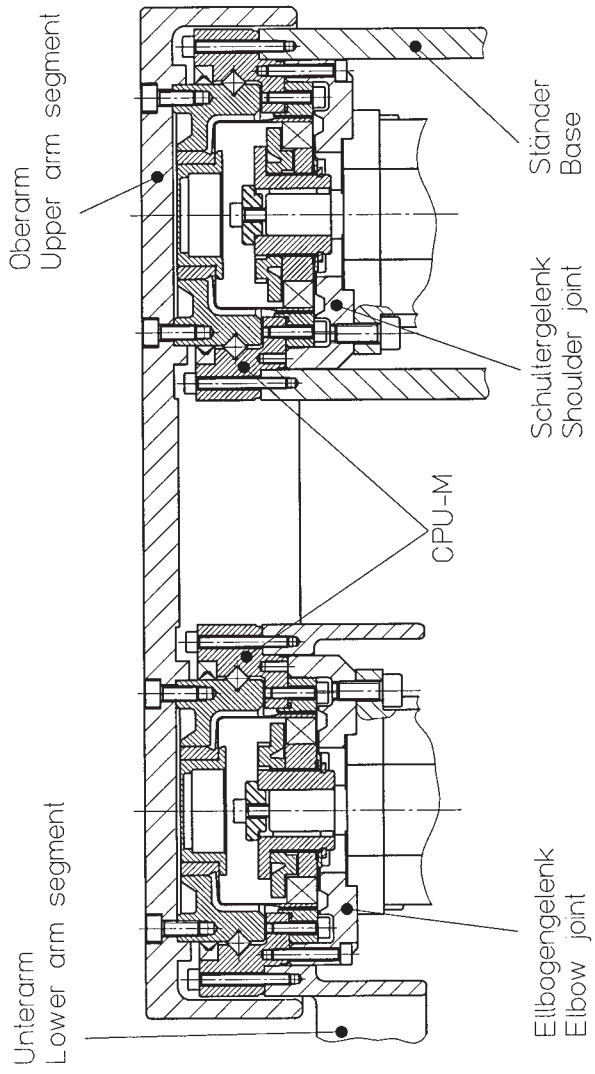
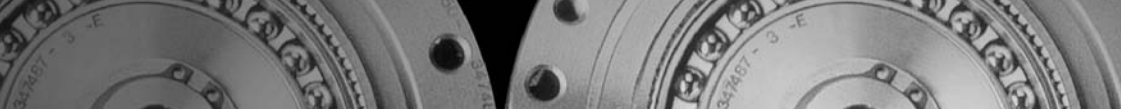
SCARA-Roboter für schnelle Montagetätigkeiten sind ein ideales Anwendungsgebiet für Harmonic Drive Getriebe. Aufgrund der hohen Dynamik der Roboter ist die Verwendung von kompakten, leichtgewichtigen Getrieben unverzichtbar, und die hohe Genauigkeit, die für die präzise Montage erforderlich ist, macht Getriebe mit hervorragender Wiederholgenauigkeit notwendig. Aufgrund dieser Auswahlkriterien entscheiden sich nahezu alle führenden Hersteller von SCARA-Robotern für Harmonic Drive Getriebe.

Das hier dargestellte Anwendungsbeispiel zeigt eine äußerst kompakte und elegante konstruktive Lösung mit einer integrierten **CPU-M** Units. Im Schultergelenk ist der Abtriebsflansch der Unit mit dem Oberarm und der äußere Ring des Abtriebslagers mit dem Ständer verbunden. Im Ellenbogengelenk ist der Abtriebsflansch der Unit ebenfalls mit dem Oberarm und der äußere Ring des Abtriebslagers mit dem Unterarm verbunden. In diesem Fall ist der Flexspline (Abtriebsflansch) der im Ellenbogengelenk eingesetzten Unit relativ zum Oberarm fixiert, und der Circular Spline (äußerer Ring des Abtriebslagers) dient als Abtriebsselement.

■ Integrated output bearing

SCARA robots for fast assembly tasks are an ideal application area for Harmonic Drive gears. High dynamic performance dictates the use of compact, lightweight gears and the high accuracy required for accurate assembly necessitates gears with excellent repeatability. These selection criteria lead almost all of the world's leading SCARA robot manufacturers to use Harmonic Drive gears in their designs.

This design example shows a very compact and elegant design incorporating **CPU-M** units. In the shoulder joint the output flange of the unit is connected to the upper arm segment, while the outer ring of the output bearing is connected to the base. In the elbow joint the output flange of the unit is also connected to the upper arm segment and the outer ring of the input bearing is connected to the lower arm segment. In this case the Flexspline (output flange) of the elbow joint unit is fixed, relative to the upper arm, and the Circular Spline (outer ring of output bearing) acts as output element.



Industrieroboter

Industrial Robots

Portalroboter Handachsen

Gantry Robot Hand Axes

- Hohlwelle
- Eingangswelle
- Integriertes Abtriebslager

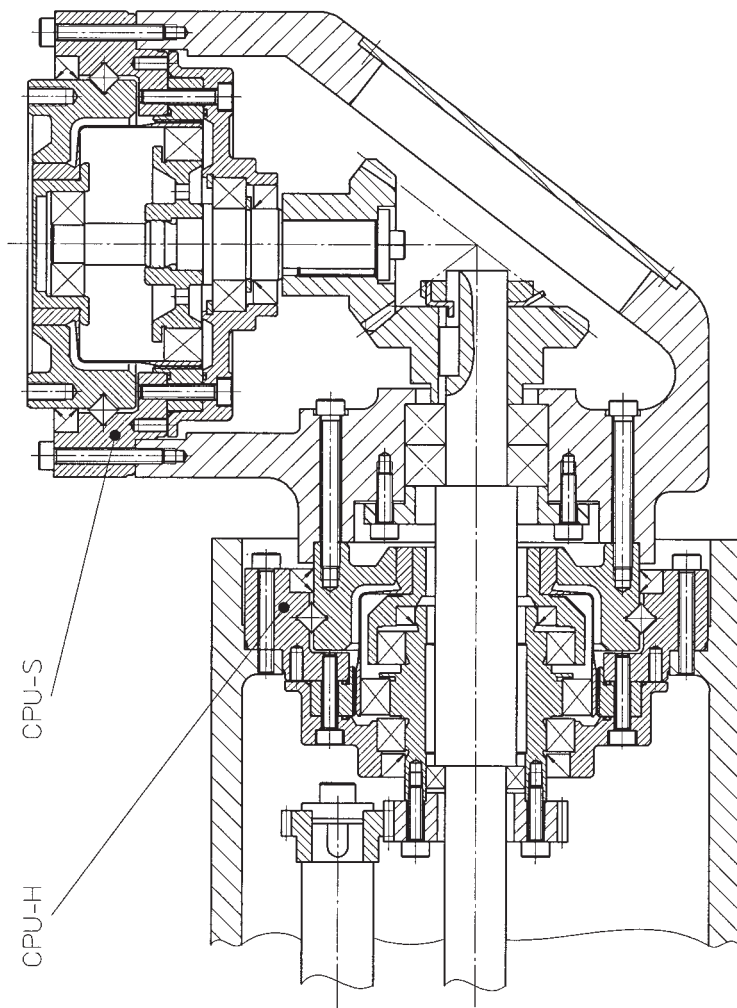
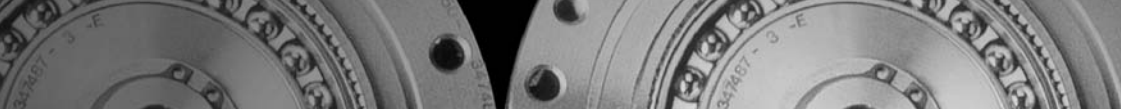
- Hollow shaft
- Input shaft
- Integrated output bearing

Die Handachsen von Portalrobotern müssen kompakt und leicht sein, um die Last auf der Linearachse zu verringern und die Dynamik des Roboters zu optimieren. Als gewichtsreduzierende Maßnahme werden die Motoren üblicherweise außerhalb der Handachsen-Baugruppe angebracht. Das Motordrehmoment wird auf die Hand über Parallelwellen innerhalb der Vertikal-Achsenbaugruppe des Roboters übertragen.

In diesem Anwendungsbeispiel werden eine **CPU-H** Unit, die mit einer eingangsseitigen Hohlwelle versehen ist und eine **CPU-S** Unit, die über eine Vollwelle angetrieben wird, eingesetzt. Die erste Handachse wird über ein Stirnradgetriebe, die zweite Handachse über ein Kegelradgetriebe angetrieben. Die Antriebswelle für diese Achse wird durch die Hohlwelle der **CPU-H** Unit geführt.

The hand axes of gantry robots must be compact and light to reduce the load on the linear axes and so optimise the dynamic performance of the robot. In order to reduce the weight of the hand axes the motors are usually located outside the hand assembly. The motor torque is transmitted to the hand via parallel shafts inside the vertical axis assembly of the robot.

This design example incorporates both **CPU-H** (hollow input-shaft) and **CPU-S** (solid input-shaft) units. The first hand axis is driven via a spur gear arrangement. The second hand axis is driven via a bevel gear arrangement. The drive shaft for this axis passes through the hollow shaft of the **CPU-H** unit.



6-Achsen-Roboter Schulterachse

6-Axis Robot Shoulder Axis

- Wave Generator mit geringem Massenträgheitsmoment
- Circular Spline Sonderausführung

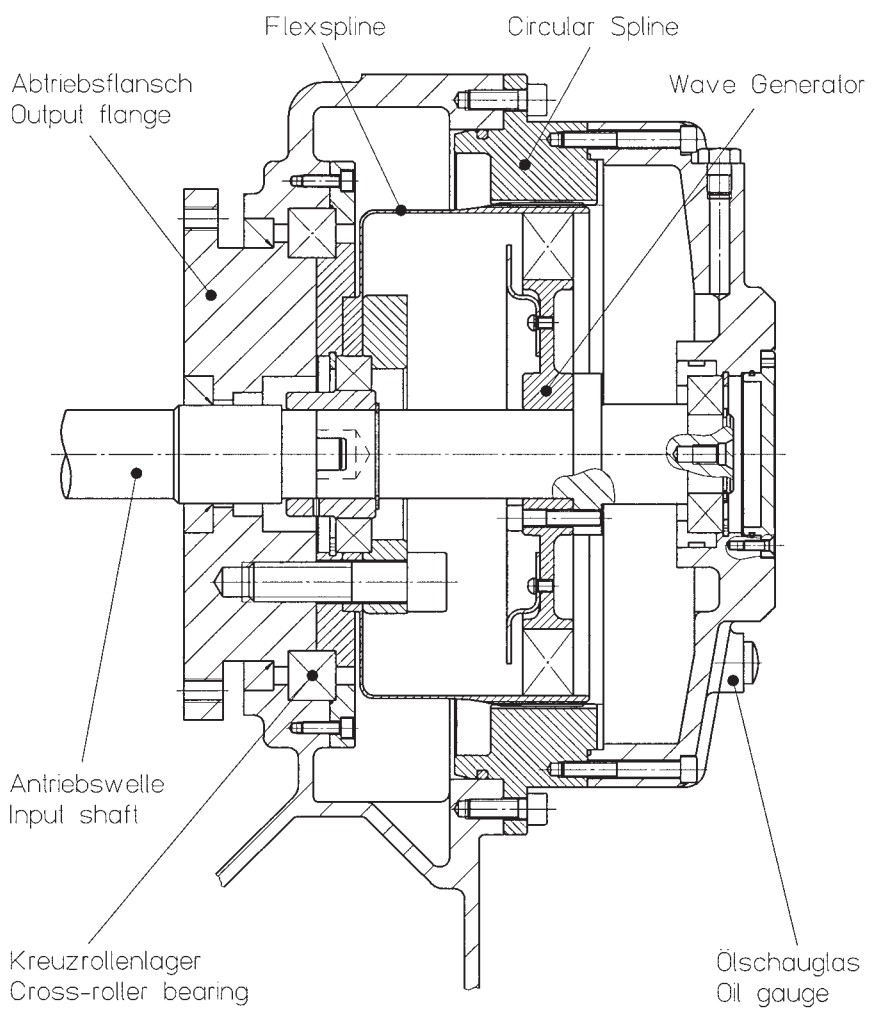
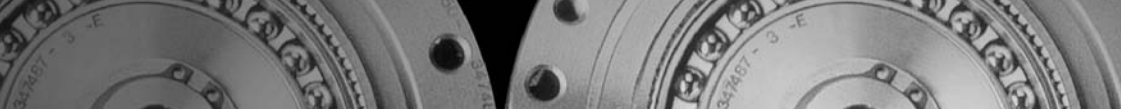
- Low inertia Wave Generator
- Special Circular Spline

Während der Beschleunigungs- und Bremsphase eines Bewegungszyklus müssen die Primärachsen in 6-Achsen-Robotern hohe Spitzendrehmomente aufbringen. Von den in den Primärachsen integrierten Getrieben werden hohe Wiederhol- und Positioniergenauigkeit gefordert, damit der Roboter präzise Montageaufgaben bzw. Bahnanwendungen wie z. B. beim Lichtbögen-schweißen oder Kleben durchführen kann. Harmonic Drive Getriebe erfüllen alle genannten Anforderungen und eignen sich damit hervorragend für dieses Einsatzgebiet.

In den in der Zeichnung dargestellten **HFUC** Einbausatz wurde eine Sonderbauform des Wave Generators integriert, die ein geringeres Massenträgheitsmoment aufweist. Dadurch wird das vom Motor benötigte Beschleunigungsmoment verringert. Eine weitere Besonderheit dieser konstruktiven Lösung ist die Anordnung der Eingangswelle und des Abtriebsflansches, die sich beide auf der gleichen Seite des Getriebes befinden. Die Eingangswelle wird durch den Abtriebsflansch hindurch geführt, der durch ein Kreuzrollen-Abtriebslager gestützt wird. Das besondere Design des Circular Splines vereinfacht die Integration des Getriebes in das Gehäuse der Drehachse.

The primary axes of 6-axis robots must be capable of providing high peak torques during the acceleration and braking phases of a movement cycle. The primary axis gears must also exhibit high repeatability and high positioning accuracy to enable the robot to execute precise assembly tasks or accurate path following applications, such as arc welding or application of adhesive. These requirements are fulfilled completely by Harmonic Drive gears.

In this design example the **HFUC** component set features a special low inertia Wave Generator design. This design reduces the acceleration torque required from the motor. Another interesting feature of this design is the arrangement of the input shaft and output flange, which are both on the same side of the gear. The input shaft passes through the output flange, which is supported by a cross-roller bearing. The special Circular Spline design simplifies the integration of the gear into the housing of the joint.



Industrieroboter

Industrial Robots

6-Achsen-Roboter Handachsen

6-Axis Robot Hand Axes

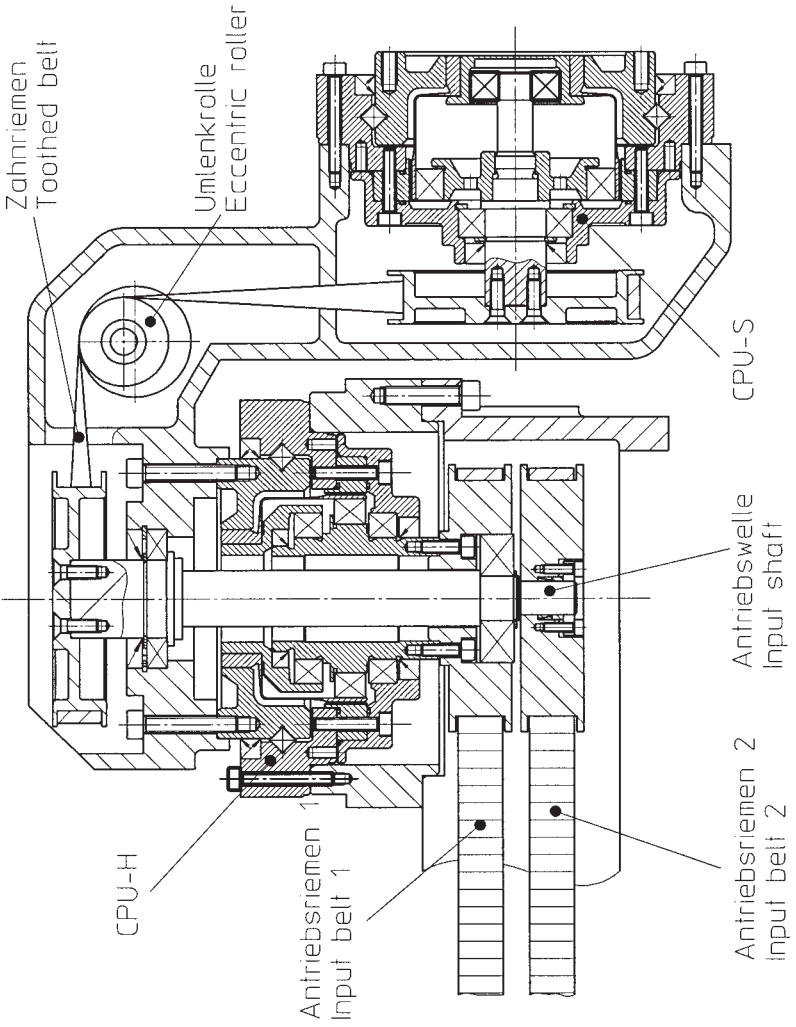
- Hohlwelle
- Integriertes Abtriebslager

- Hollow shaft
- Integrated output bearing

Lichtbogenschweißen, Laserschneiden und Maschinenbestückung sind typische Aufgaben für 6-achsige Roboter. In dieser Konfiguration verfügen die Roboter über Handachsen mit zwei oder drei Drehachsen zur Handhabung von Greifern oder Werkzeugen. Dieses Anwendungsbeispiel zeigt die fünfte und sechste Achse eines 6-achsigen Roboters, bei dem Harmonic Drive Units in beiden Achsen eingesetzt werden. In der fünften Achse, der Schwenkachse, ist eine **CPU-H** Unit mit einer speziellen Hohlwelle integriert. Die **CPU-S** Unit in der sechsten Achse, der „Rollachse“, ist mit einer Eingangswelle ausgestattet. Der Antrieb beider Getriebe erfolgt über eine Riemenstufe mit Motoren, die sich im vorhergehenden Armsegment des Roboters befinden. Die Antriebswelle für die sechste Achse wird durch die Hohlwelle des Getriebes der fünften Achse hindurch geführt. Die Abstützung des Wave Generators erfolgt zum einen über ein Lager, das in einem modifizierten Klemmring sitzt, und zum anderen durch ein Lager im eingangsseitigen Flansch. Die Welle, die durch die Unit geführt ist, wird von Lagern in der eingangsseitigen Riemenscheibe bzw. im abtriebsseitigen Flansch abgestützt.

6-axis robots are typically used for tasks such as arc welding, laser cutting or machine loading. Robots with this configuration feature 2- or 3-axis hand assemblies that manipulate the gripper or tool.

This design example shows the 5th and 6th axes of a six-axis robot, where Harmonic Drive units are used to drive both axes. The 5th „pitch“ axis incorporates a **CPU-H** unit with a special hollow-shaft design, while the 6th „roll“ axis features a **CPU-S** unit with an input shaft. Both gears are driven via toothed belts from motors located inside the preceding arm segment of the robot. The drive-shaft to the 6th axis gear passes through the hollow shaft of the axis 5 gear. The Wave Generator is supported by one bearing located in a specially modified clamping ring and another located in an input-side flange. The shaft passing through the unit is supported by bearings located in the input-side pulley and output-side flange respectively.



SCARA Roboter Knickarm-Achse

- Integriertes Abtriebslager
- Circular Spline Sonderausführung

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, haben sich Harmonic Drive Getriebe dank ihres geringen Gewichtes und der hohen Präzision hervorragend in SCARA Robotern bewährt.

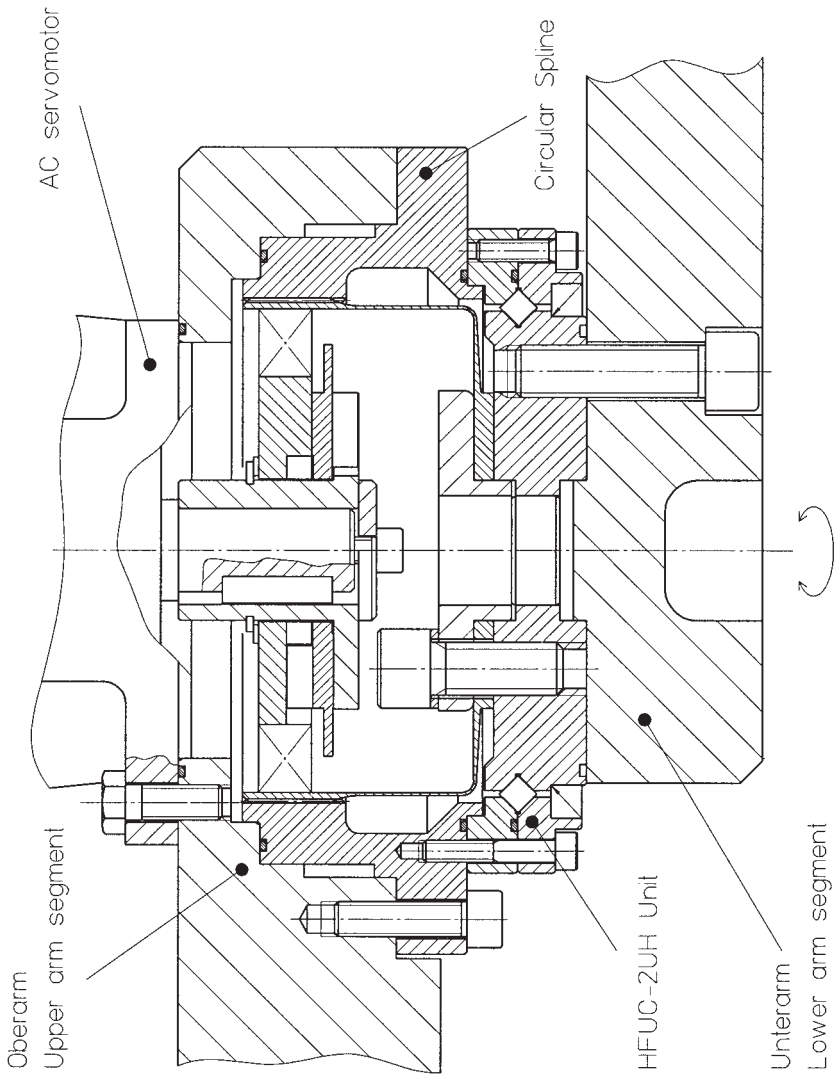
Hohe Genauigkeit und Dynamik sind wesentliche Voraussetzungen für anspruchsvolle Montageaufgaben. Mit Hilfe der **HFUC-2UH** Unit kann eine besonders kompakte und elegante Lösung realisiert werden, wie dieses Konstruktionsbeispiel zeigt.

Der Circular Spline befindet sich im Unterarm und ist fixiert. Die spezielle Ausführung des Circular Spline vereinfacht die Integration des Getriebes in die Knickarmachse. Zum Ausgleich von Koaxialitätsfehlern der Motorwelle verfügt der Wave Generator über eine Oldham-Kupplung. Der Flexspline wird als Abtriebsselement genutzt und treibt den Unterarm des Roboters über den Abtriebslagerflansch an.

SCARA Robot Elbow Axis

- Integrated output bearing
- Special Circular Spline

As already mentioned in an earlier example, the low weight and high precision of Harmonic Drive gears are ideal for applications in SCARA robots. The high accuracy and high dynamic performance are also prerequisites for demanding assembly tasks. The **HFUC-2UH** unit enables a particularly compact and elegant design as shown in this design example. The Circular Spline is located in the upper arm segment and acts as fixed element. The Circular Spline has a special design to make integration into the robot joint easier. The Wave Generator features an Oldham coupling to compensate for run-out error of the motor shaft. The Flexspline acts as output element and drives the lower arm segment via the flange of the output bearing.



Portalfräsmaschine Fräskopf C-Achse

Gantry Milling Machine Milling Head C-Axis

■ Elektrische Verspannung

Bei diesem Anwendungsbeispiel handelt es sich um ein Bearbeitungszentrum für die Bearbeitung von großen Turbinenbauteilen. Die Maschine ist sehr groß mit sehr hohen Schnittkräften von bis zu 30 kN. Sie ist mit elektrisch verspannten Antrieben ausgestattet. Diese Konfiguration wurde durch eine „Master-Slave“-Anordnung ermöglicht, die von vielen derzeit am Markt befindlichen CNC-Steuerungen unterstützt wird. Wichtig ist dabei, dass das Verspannmoment - je nach Betriebsart der Maschinen - variiert. Bei schnellen Vorschubbewegungen arbeiten beide Antriebe zusammen, um ein hohes Beschleunigungsmoment zu erreichen. Wenn die Achse in die Soll-Position fährt, fungiert ein Antrieb als Bremse und erhöht das Verspannmoment, um das Spiel zu eliminieren und die Torsionssteifigkeit der Achse zu erhöhen.

Die Vorteile dieser “Master-Slave“-Anordnung sind wie folgt:

- Hohe Leistung in Bezug auf Genauigkeit, Achsdynamik und Steifigkeit
- Vereinfachte Maschinenkonstruktion
- Kosteneinsparungen durch vereinfachte Maschinenmontage und Inbetriebnahme
- Verringerung von Wartungs- und Reparaturaufwand, insbesondere im Fall von sehr großen Werkzeugmaschinen mit langer Lebensdauer.

In diesem Konstruktionsbeispiel, das die C-Achse eines Fräskopfes darstellt, ist ein Ritzel am Abtriebsflansch der beiden **HFUC-zUH** Units angebracht. Diese Ritzel sind im Eingriff mit einem innenverzahnten Zahnrad, das von einem sehr steifen axial-radial Nadellager gestützt wird.

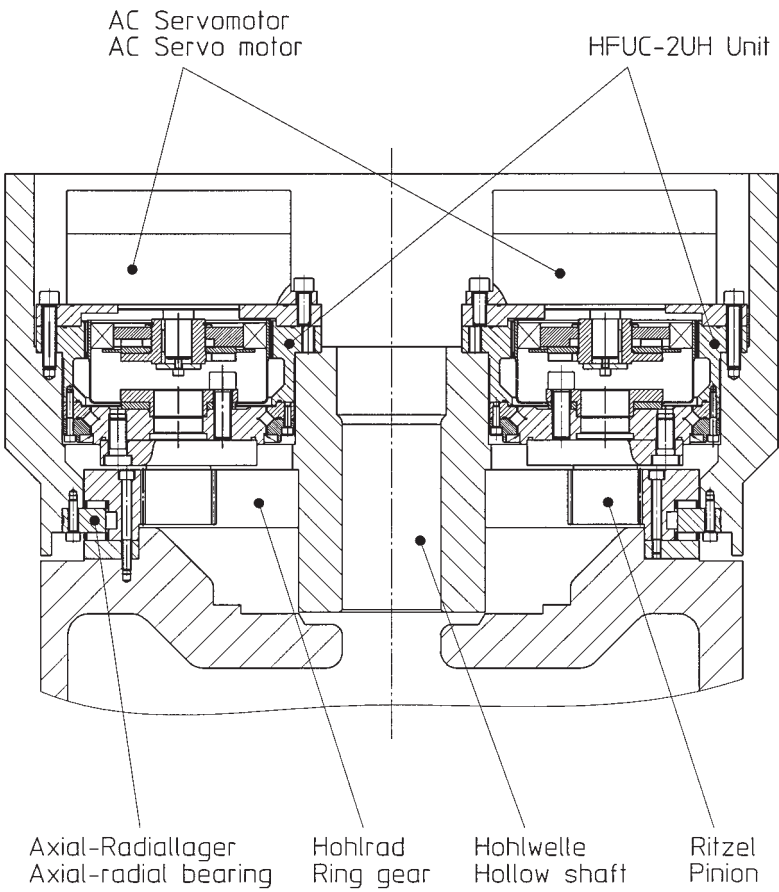
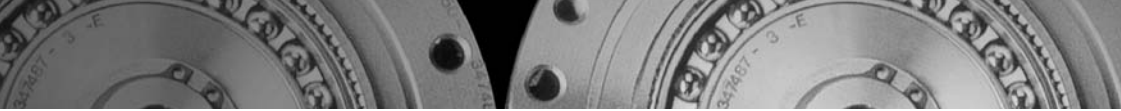
■ Electrical pre-loading

This application example concerns a gantry milling machine for the machining of large turbine components. This is a very large machine with very high cutting forces of up to 30 kN and features electrically pre-loaded actuators. This configuration is made possible by a master-slave arrangement supported by many currently available CNC control systems. Importantly the pre-load torque can be varied depending on the operating mode of the machine. For rapid feed moves both actuators work together to provide a very high acceleration torque capacity. As the axis moves into position one actuator begins to act as a brake and increases the pre-load torque to remove the backlash in the pinion-ring gear stage and increase the torsional stiffness of the axis.

The advantages of this master-slave arrangement can be summarized as follows:

- High performance (accuracy, axis dynamics, stiffness)
- Simplification of the machine design
- Cost savings through simplification of machine assembly and commissioning
- Reduction of maintenance and repair effort, particularly in the case of very large machine tools, with long operating lives.

In this design example, showing the C-axis of the milling head, a pinion is attached to the output flange of both the **HFUC-zUH** units. These pinions engage with an internally toothed ring gear, which is supported by a very stiff axial-radial needle roller bearing.



Bearbeitungszentrum NC-Rundtisch

Machining Centre NC Rotary Table

- Präzisions-Abtriebslager
- Eingangswelle

- High precision output bearing
- Input shaft

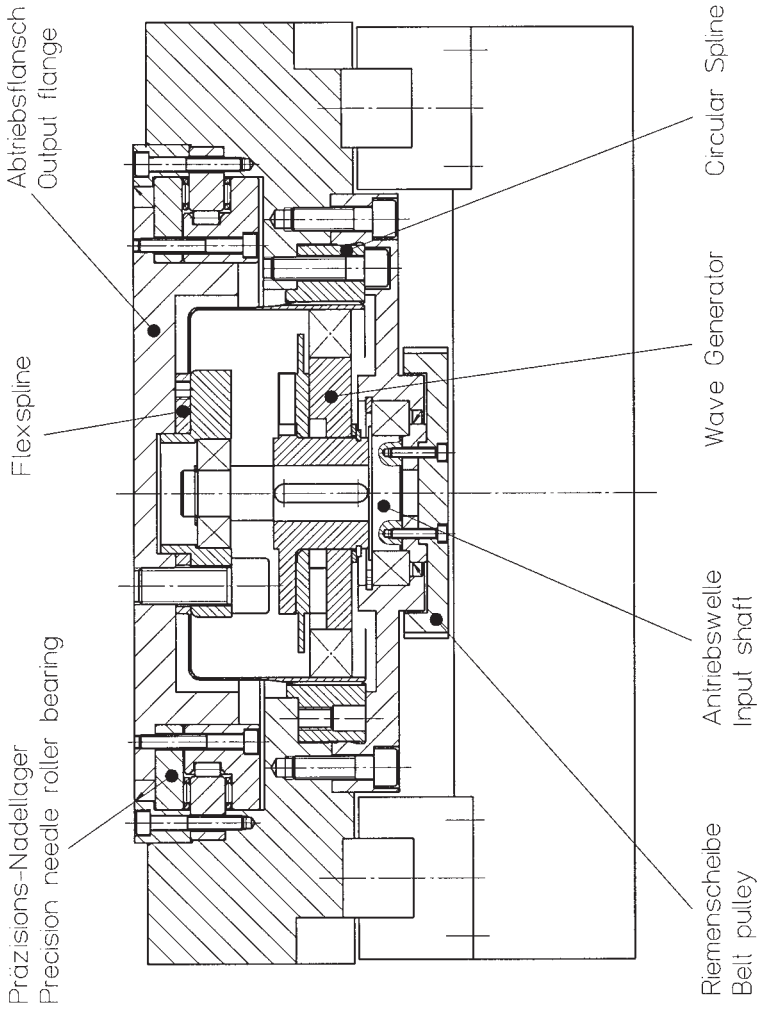
Harmonic Drive Getriebe ersetzen in zunehmendem Maße Schnecken- oder Planetengetriebe in den präzisen Drehachsen von Werkzeugmaschinen. Wenn hohe Genauigkeit erreicht werden muss, wurden bisher vorgespannte Schnecken- oder Planetengetriebe eingesetzt, um ein mögliches Spiel zu eliminieren.

Aus der natürlichen Vorspannung der Harmonic Drive Getriebe kombiniert mit dem höheren Wirkungsgrad resultiert ein wesentlich geringerer Temperaturanstieg während des Betriebs, was sich positiv auf die Positioniergenauigkeit der Maschine auswirkt. Vorausgesetzt, die Schmierung wird entsprechend den Empfehlungen des Herstellers durchgeführt, tritt bei Harmonic Drive Getrieben während der gesamten Lebensdauer keine Spielzunahme auf. Somit entfällt eine erneute Einstellung der Getriebe zur Beibehaltung der Spielfreiheit, wie es bei Schnecken- oder Planetengetrieben häufig der Fall ist.

Im dargestellten Beispiel wird der Flexspline eines **HFUC** Einbausatzes als Abtriebsselement genutzt. Der Abtriebsflansch wird durch ein Präzisionsabtriebslager (Nadellager) gestützt. Der Circular Spline, als fixiertes Element, befindet sich im Maschinengehäuse und der Wave Generator, als Antriebselement, wird über einen Zahnriemen angetrieben. Um die Tischhöhe so gering wie möglich zu halten, wird der Motor parallel zum Getriebe montiert. Die Schnittkräfte sind in dieser Anwendung nicht sehr groß, so dass ein Klemmen des Tisches abtriebsseitig nicht notwendig ist. Bei größeren Schnittkräften ist es ratsam, eine Klemmung zum Sichern des Abtriebsflansches zu benutzen.

Increasingly Harmonic Drive gears are being used to replace worm or planetary gears in the precise rotary axes of machine tools. High accuracy is usually only possible with worm or planetary gears that are pre-loaded to eliminate backlash.

The natural pre-loading of Harmonic Drive gears, combined with their high efficiency means that the temperature rise during operation is much lower, with positive results for the stable positioning accuracy of the machine. Given that assembly and lubrication is carried out according to the manufacturer's recommendations there is no increase in backlash with a Harmonic Drive gear during its operating life. This means there is no need to re-adjust gears to remove backlash, as is common with worm gears or planetary gears. In this design example, the Flexspline of a **HFUC** component set acts as output element. The output flange is supported by a precision output bearing (needle-roller bearing). The Circular Spline, as fixed element, is located in the machine housing. The Wave Generator, as input element, is driven via a toothed belt. To keep the height of the table to a minimum the motor is mounted in parallel to the gear. In this application the cutting forces are not very high, so there is no need for output-side clamping of the table. In the event that very high cutting forces must be held it is advisable to use a curvic coupling to lock the output flange.



Bearbeitungszentrum Werkstück-Lade-Roboter

Machining Centre Workpiece Loading Robot

- Hohlwelle
- Spezielle Anordnung der Dichtungen

- Hollow shaft
- Special sealing arrangement

Dieses Beispiel zeigt die erste Drehachse eines Sonderroboters zum Laden von Werkstücken in einem Bearbeitungszentrum mit vertikaler Spindel. Die Achse ist mit einer **CPU-H** Hohlwellen-Unit mit einer speziellen Abdichtung ausgerüstet.

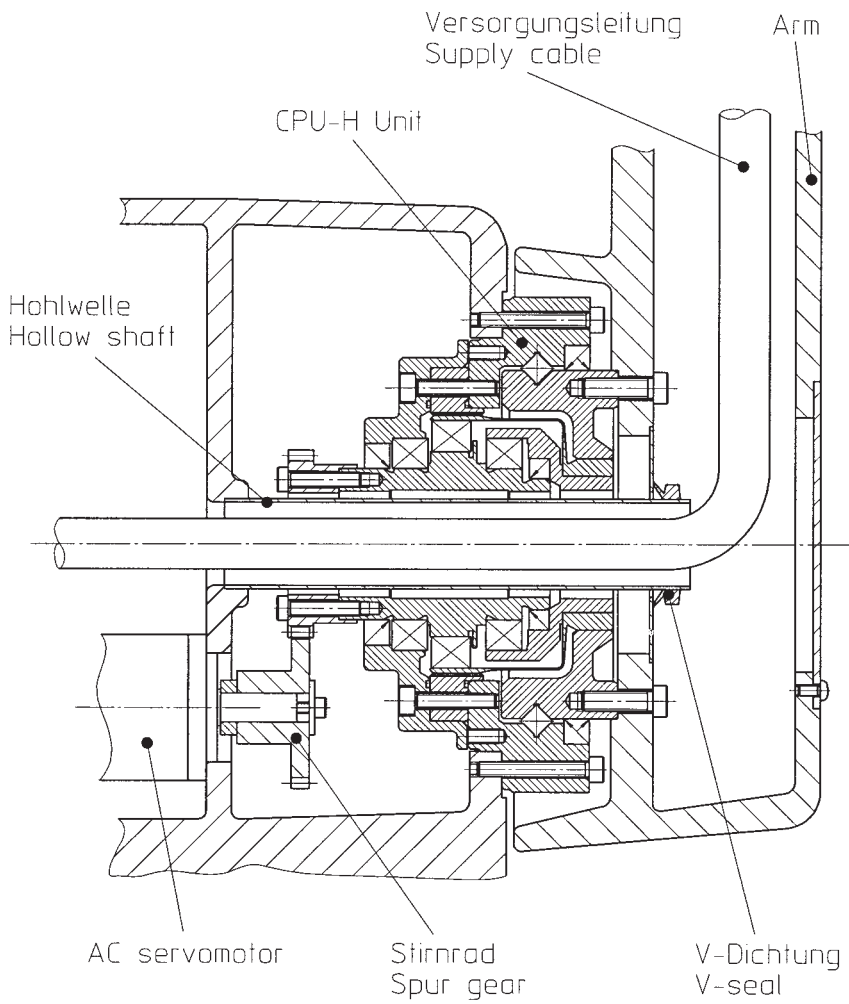
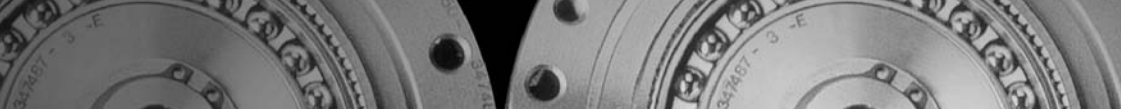
In Anwendungen mit hohen kontinuierlichen Antriebsdrehzahlen bzw. im Dauerbetrieb kann die Reibung der Wellendichtringe an der Eingangshohlwelle zu einem Temperaturanstieg führen. Dieses Beispiel zeigt die Möglichkeit auf, wie man diesen Effekt mittels einer speziellen Anordnung der Dichtungen minimieren kann. Die Standard-Wellendichtungen in den antriebs- und abtriebsseitigen Flanschen wurden entfernt und eine Hülse wurde durch die Unit hindurch geführt. Das eine Ende der Hülse ist am Grundgehäuse des Roboters befestigt, während eine V-Dichtung am anderen Ende der Hülse die Unit gegen das Eindringen von Schmutz abdichtet.

Die V-Dichtung liegt an einer dünnen Platte im Dreharm des Roboters an. Diese Platte dreht sich mit der reduzierten Abtriebsgeschwindigkeit des Getriebes. Die hohle Hülse wird für die Durchführung von Kabeln und Rohren für Sensoren und Greifer genutzt. Die Hülse schützt dabei die Kabel vor der schnelldrehenden Hohlwelle der Unit. Der Antrieb der Hohlwelle erfolgt über eine Stirnradstufe.

This design example shows the first rotary axis of a special robot, used to load workpieces into a vertical-spindle machining centre. This axis features a **CPU-H** hollow-shaft unit with a special sealing arrangement.

For applications with high continuous input speeds or a very high duty cycle the friction of the rotary shaft seals running on the hollow input-shaft can result in increased temperatures.

This design example shows how it is possible to reduce this effect by means of a special sealing arrangement. The standard shaft seals, located in the input and output-side flanges, are removed and a hollow sleeve is passed through the unit. One end of the sleeve is fixed to the base housing of the robot, while a V-seal connected to the other end of the sleeve seals the unit against the ingress of dirt. The V-seal acts against a thin plate located in the rotating arm of the robot. This plate rotates with the reduced output speed of the gear. The hollow sleeve is used to pass cables and pipes, for sensors and for gripper respectively, through the centre of the gear. The sleeve thereby protects the cables from the fast-rotating hollow shaft of the unit. The hollow shaft is driven via a spur gear arrangement.



Portal-Fräsmaschine Werkzeugwechsler

■ Integriertes Abtriebslager

Harmonic Drive Getriebe und Antriebe eignen sich hervorragend für Anwendungen in den Peripherieachsen von großen Werkzeugmaschinen, wie z. B. in Werkzeug- oder Werkstückmagazinen und -wechslern. Im Beispiel wird ein elektromechanischer Werkzeugwechsler einer speziellen Portal-Fräsmaschine für die Bearbeitung von großen Formen dargestellt. Große Werkzeuge, bis zu 75 kg schwer, müssen direkt in die Maschinenspindel oder den Fräskopf in verschiedenen Winkelstellungen eingesetzt werden. Dies erfordert vom Getriebe eine hohe Positioniergenauigkeit, um den Werkzeughalter nicht zu beschädigen. Ferner wird ein kippsteifes Abtriebslager zum Abstützen der Werkzeuggreifer-Komponenten benötigt.

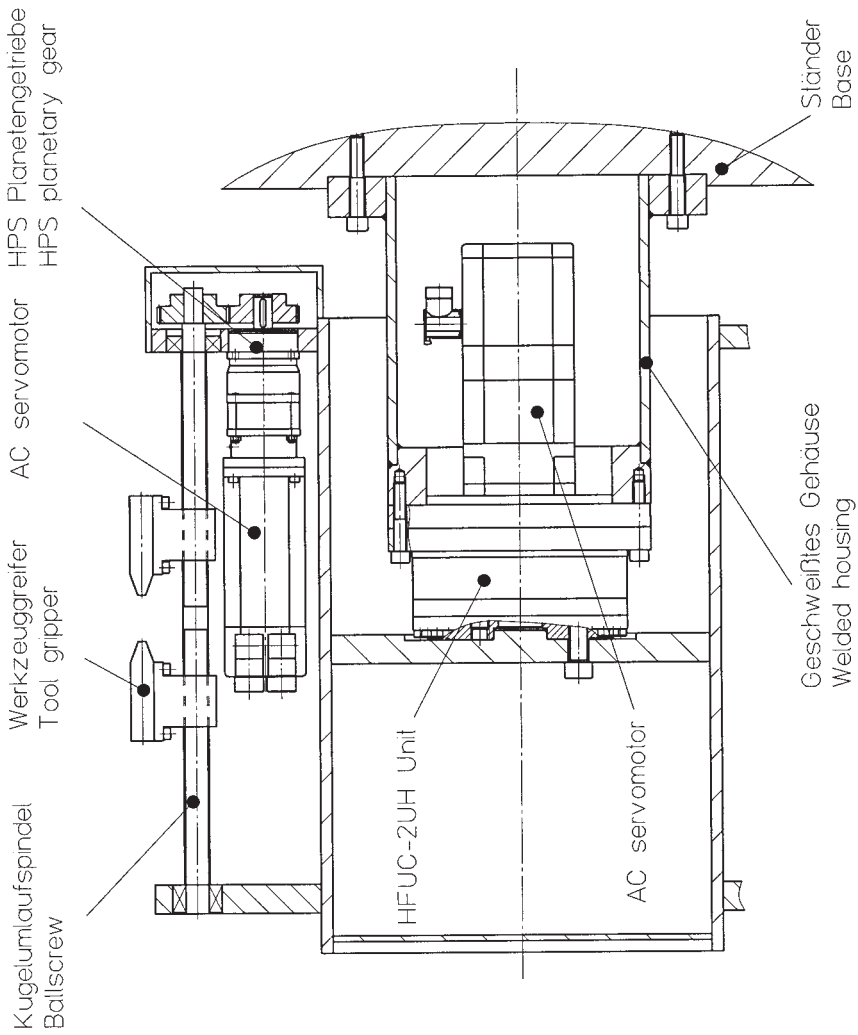
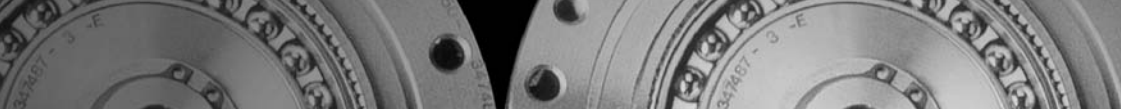
Die **HFUC-2UH** Unit ist so positioniert, dass die Schwerpunktlinie des geschweißten Gehäuses durch die Ebene des Abtriebslagers führt. Dadurch werden die auf das Abtriebslager wirkenden Kippmomente soweit wie möglich reduziert. Als Antrieb für den Werkzeuggreifer wird ein **HPS** Planetengetriebe eingesetzt. Die einzelnen Greifer werden über eine Kugelspindel, deren Antrieb wiederum über ein Stirnradgetriebe erfolgt, bewegt.

Gantry Milling Machine Tool Changer

■ Integrated output bearing

Harmonic Drive gears and actuators are well suited to applications in the peripheral axes of large machine tools, for example in tool or workpiece magazines and changers. This design example shows the electro-mechanical tool changer of a special gantry milling machine, used for the machining of large moulds and dies. Large tools, weighing up to 75 kg, must be inserted directly into the machine spindle or milling head at various angles.

The gear must exhibit a high positioning accuracy to avoid damage to the tool holder. A high stiffness output bearing is also necessary to support the tool gripper assembly. The **HFUC-2UH** unit is so positioned that the line of the centre-of-gravity of the welded housing and tools passes through the plane of the output bearing. This reduces the tilting moment acting on the output bearing as far as possible. A **HPS** planetary gear is used to drive the tool gripper. The individual grippers are moved via a ballscrew which is, in turn, driven via a spur gear arrangement.



Sonder-Fräsmaschine Werkzeugrevolver

- Präzisions-Abtriebslager
- Abtriebsseitige Klemmvorrichtung

Bei dieser Abbildung handelt es sich um den Werkzeugrevolver einer Sonder-Fräsmaschine. Auf der Revolverscheibe befinden sich angetriebene Werkzeuge zum Profilfräsen bei der Herstellung von speziellen Schlüsseln. Mittels der eingebauten **CPU-M** Unit wird die Revolverscheibe getaktet und das benötigte Werkzeug zur Antriebswelle geführt. Anschließend kuppelt diese ein, um das Werkzeug anzutreiben. Die **CPU** Unit bietet eine einzigartige Kombination aus Präzisionsgetriebe und präzisiertem Abtriebslager.

Das Kreuzrollen-Abtriebslager ist verfügbar mit einem Rundlauf von weniger als 5 µm für ausgewählte Lager und daher bestens geeignet für den Einsatz in Rotationsachsen von Präzisionsmaschinen.

Das Lagergehäuse dient gleichzeitig als Getriebegehäuse. Der Circular Spline, als stationäres Element, ist direkt mit dem Lagergehäuse verbunden. Auf diese Weise verringert sich die Anzahl der Komponenten, wodurch auch die Übertragungsgenauigkeit des Getriebes verbessert wird. Im gezeigten Beispiel wirken große Schnittkräfte auf den Abtriebsflansch, weshalb eine hydraulische Klemmung zum Fixieren des Abtriebsflansches während des Fräsbetriebs zum Einsatz kommt. Die vorherige Lösung basierte auf einem vorgespannten Schneckengetriebe und einem separaten Flanschlager. Die neue Konstruktion hat den Vorteil, dass durch die verringerte Anzahl an einzelnen Bauteilen die Kosten erheblich reduziert wurden und gleichzeitig die Genauigkeit verbessert wurde. Darüber hinaus lassen sich höhere Drehgeschwindigkeiten ohne erheblichen Temperaturanstieg realisieren.

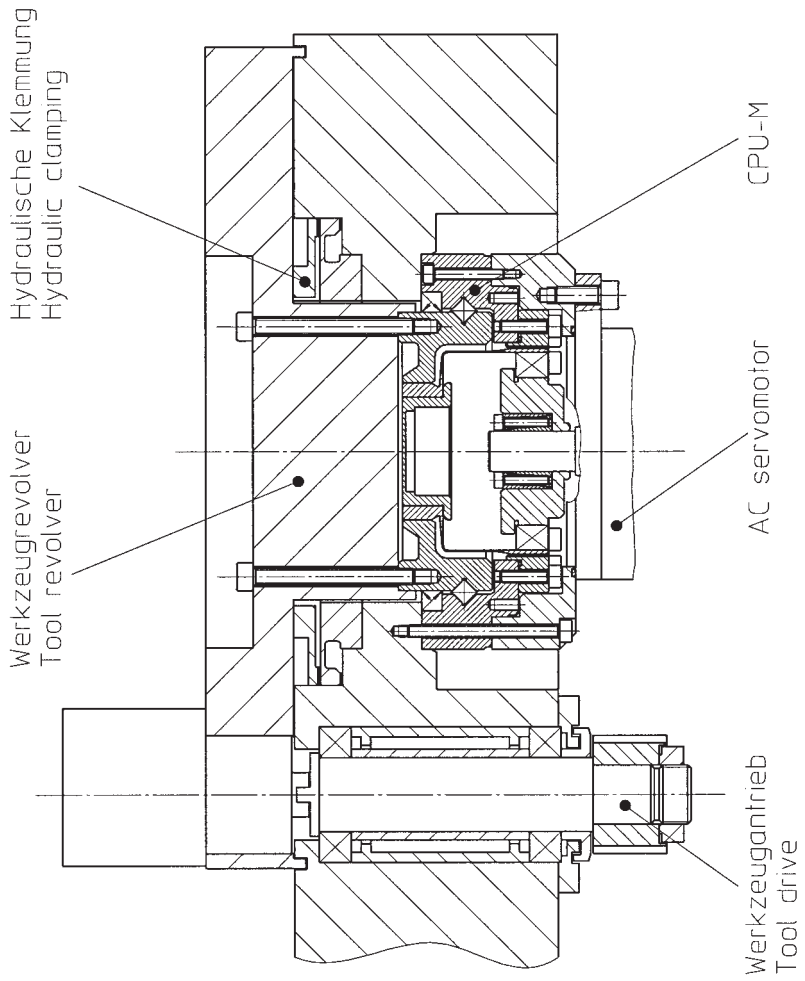
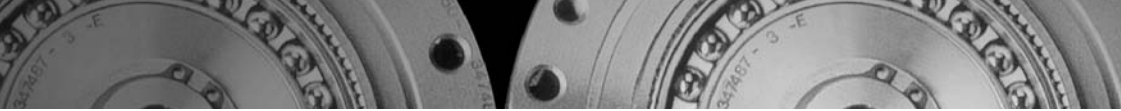
Special-purpose Milling Machine Tool Revolver

- High precision output bearing
- Output-side clamping arrangement

This design example shows the tool revolver of a special-purpose milling machine. The revolver disc carries driven tools to mill the profile of special keys. A **CPU-M** unit is used to index the revolver disc and bring the required tool to the tool drive-shaft, which is then coupled in to drive the tool. The **CPU** provides a unique combination of high precision gear and highly accurate output bearing.

The cross-roller bearing is available with a runout of less than 5 µm for selected bearings and is therefore ideally suited for applications in the rotary axis of high precision machines.

The outer race of the bearing also serves as the housing for the unit. The Circular Spline, as the fixed gear element, is connected directly to the outer race of the bearing. This design reduces the number of component parts and also ensures a low angular transmission error. In this application high cutting forces act on the output flange, so a hydraulic clamping arrangement is used to fix the output flange during the milling operation. The previous design featured a pre-loaded worm gear and separate precision flange bearing. The new design reduces the number of individual components and significantly reduces cost, while at the same time improving accuracy. Also higher rotational speeds are permissible without an unacceptable temperature increase.



Portal-Fräsmaschine Fräskopf

- Sondergetriebebox
- Eingangswelle

Mit dieser Portal-Fräsmaschine werden Spritzgussformen für Kunststoffkomponenten oder große Bauteile aus der Luftfahrtindustrie hergestellt. Der derzeitige Trend in der Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung bedeutet, dass dieser Maschinentyp eine höhere Dynamik und zugleich eine erhöhte Bearbeitungsgenauigkeit erreichen muss.

Höhere Dynamik heißt aber auch, dass die bewegten Massen minimiert werden müssen. Im Fall von Portalmaschinen erfordert dies, dass Gewicht und Größe des Fräskopfes (vierte und fünfte Achse) so niedrig wie möglich gehalten werden müssen.

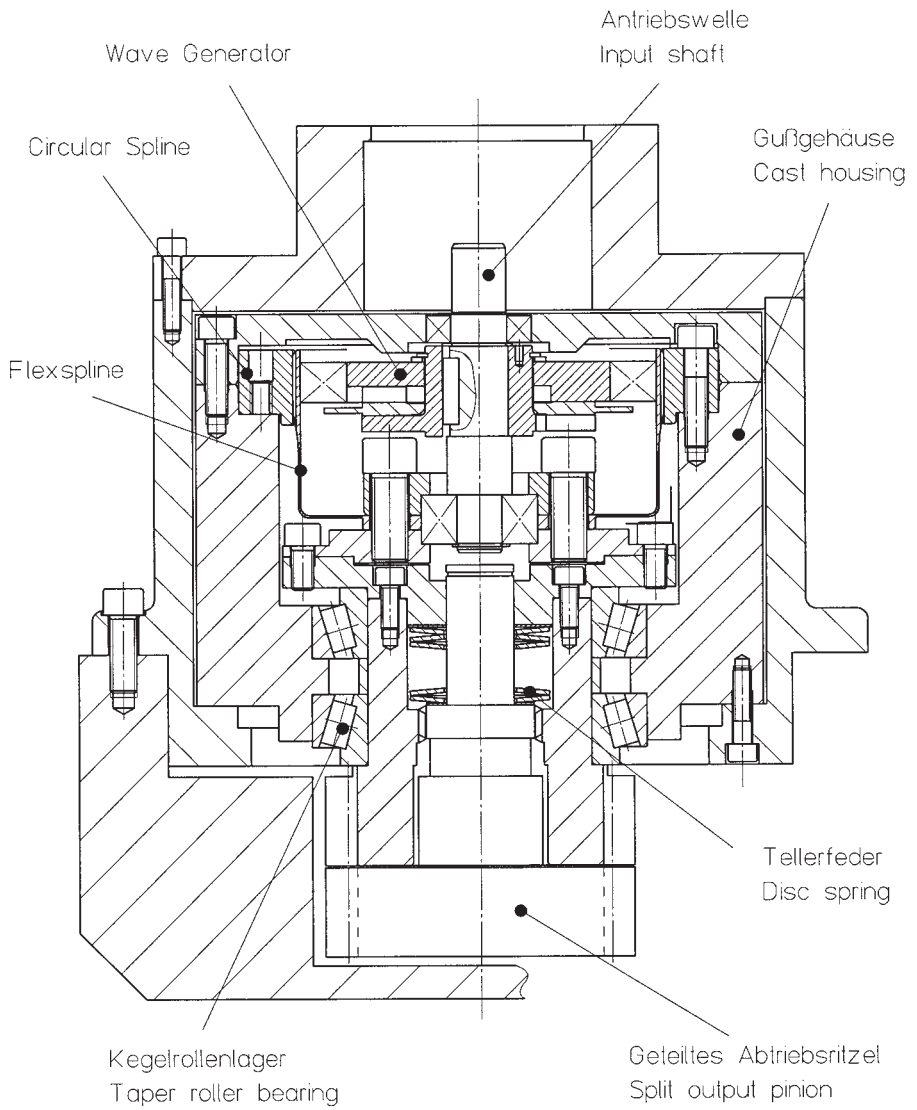
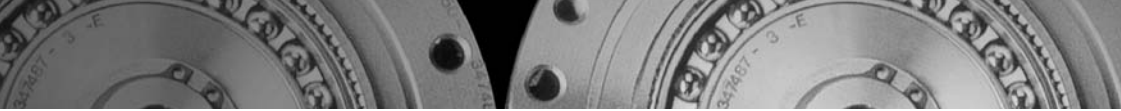
Die Abbildung zeigt eine Sondergetriebebox mit integriertem **HFUC**-Einbausatz. Die Getriebebox ist Bestandteil einer zweistufigen Anordnung, bei der dem Harmonic Drive Getriebe eine Stirnradstufe nachgeschaltet ist. Das Spiel in der Stirnradstufe wird mittels mechanisch vorgespanntem geteiltem Ritzel eliminiert. Daneben gibt es verschiedene andere Methoden zur Spielbeseitigung.

Gantry Milling Machine Milling Head

- Special gearbox design
- Input shaft

Gantry milling machines are frequently used for the production of large moulds for plastics components, or for large components in the aerospace industry. The recent trend to high-speed machining means that this type of machine must achieve a higher dynamic performance, while fulfilling a requirement for increased machining accuracy. An improved dynamic performance means that moving masses must be minimised. In the case of gantry machines this means that the size and weight of the milling head (4th and 5th axis) must be kept as low as possible. Harmonic Drive gears can help to achieve this target.

This drawing shows a special gearbox incorporating a **HFUC** component set. The gearbox is part of a two stage gear arrangement. A spur gear stage follows the Harmonic Drive gear. In this case the backlash in the spur gear stage is removed by means of a mechanically pre-loaded split pinion gear. There are a number of alternative possibilities for removing backlash. It is also possible to electrically pre-load two actuators. We would be glad to offer you advice on questions of this nature.



Portal-Fräsmaschine Fräskopf

- Mechanische Verspannung
- Spezielle Anordnung der Antriebswelle

In mittelgroßen Portalfräsmaschinen werden in den Fräsköpfen häufig mechanisch verspannte Getriebe eingesetzt. Dabei kann das Verspannmoment nicht variiert werden. Der Wert des Verspannmomentes ist somit ein Kompromiss zwischen dem niedrigen Verspannmoment, das bei schnellen Bewegungen im Eilgang bevorzugt wird und dem hohen Verspannmoment, das benötigt wird, wenn die Achse in Position gehalten wird. Diese Lösung ist ökonomischer und kompakter als es bei elektrisch verspannten Achsen der Fall ist, da pro Fräskopfachse nur je ein Getriebe und ein Motor erforderlich sind. Das hier gezeigte Anwendungsbeispiel zeigt eine mechanisch verspannte Achse mit einem **HFUC-2A-GR** Einbausatz in Sonderausführung. Der Flexspline des Harmonic Drive Einbausatzes ist mit einer Abtriebswelle verbunden, die von einer vorgespannten Lageranordnung gestützt wird. Die Abtriebswelle verfügt über ein Ritzel, das in die Stirnräder von zwei Zwischenwellen eingreift. Jede Zwischenwelle hat ein zweites Stirnrad, das sich mit dem Hauptstirnrad, welches den Fräskopf antreibt, im Eingriff befindet (in der Zeichnung nicht dargestellt). Die beiden Zwischenwellen werden bei der Montage des Fräskopfes mechanisch gegeneinander vorgespannt.

Die Besonderheit an diesem Konstruktionsbeispiel besteht darin, dass – bedingt durch den begrenzten Bauraum - die Antriebswelle, die den Motor mit dem Wave Generator des Harmonic Drive Einbausatzes verbindet, durch die Mitte der Abtriebswelle geführt wird. Die Antriebswelle ist in einem kompakten Nadelkugellager geführt.

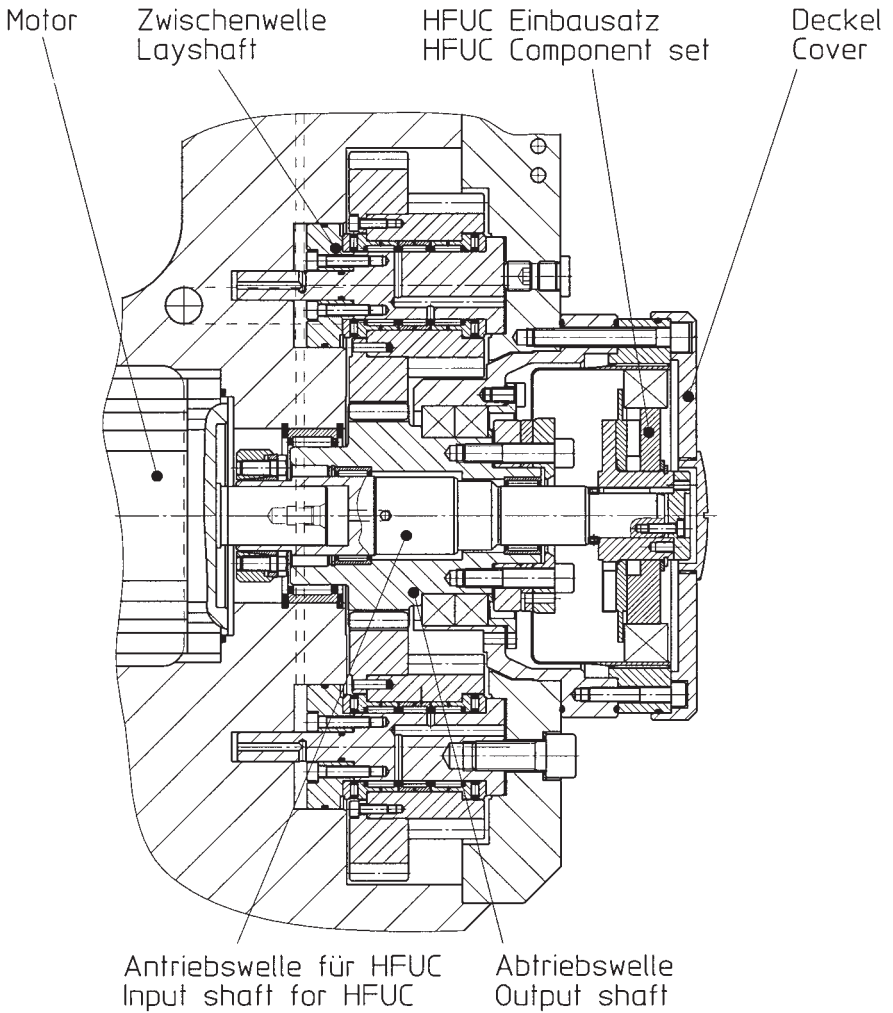
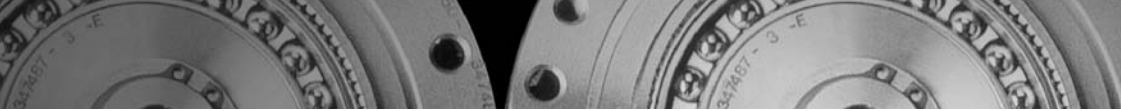
Gantry Milling Machine Milling Head

- Mechanical pre-loading
- Special input-shaft arrangement

In medium-sized gantry milling machines the milling heads often feature mechanically pre-loaded gears. With this solution the pre-load torque cannot be varied. This means that the value of the pre-load torque is necessarily a compromise between the low pre-load torque preferable for rapid feed moves and the high pre-load torque desired when the axis is held in position. However, this is a more economic and compact solution than electrically pre-loaded axes, because just one gear and one motor are required per milling head axis.

This application example shows a mechanically pre-loaded axis featuring a **HFUC-2A-GR** component set in special design. The Flexspline of the Harmonic Drive component set is connected to an output shaft, mounted in pre-loaded bearing arrangement. The output shaft features a pinion engaging with spur gears on two lay shafts. Each lay shaft has a second spur gear, which engages with the main spur gear driving the milling head axis (not shown in the drawing). The two lay shafts are pre-loaded mechanically during assembly of the milling head.

This design example has a special feature. Due to the limited available space the input shaft connecting the motor to the Wave Generator of the Harmonic Drive component set passes through the centre of the output shaft. The input shaft is mounted in compact needle roller bearings. This intelligent solution provides an extremely compact design and also allows easy maintenance of both motor and gear.



Portal-Fräsmaschine Fräskopf A-Achse

- Elektrische Verspannung
- Master-Slave-Anordnung

In einigen anspruchsvollen Anwendungen ist es wünschenswert, ein variables Verspannmoment in einer zwei-stufigen Anordnung mittels elektrischer Verspannung zu realisieren. Dies kann erreicht werden, indem man zwei Antriebe einbaut, die mittels Ritzel an beiden Antrieben in ein Stirnrad eingreifen. Diese werden in einer „Master-Slave“-Anordnung verwendet, die von zahlreichen modernen CNC-Steuerungen unterstützt wird. Diese Konfiguration macht es möglich, die Vorspannung in der Stirnradstufe in Abhängigkeit von der Betriebsart der Maschine zu variieren.

Das hier dargestellte Beispiel zeigt die A-Achse des gleichen Fräskopfes, der in Beispiel 7 beschrieben wird. Auch diese Achse ist mittels zweier **HFUC-2UH** Units elektrisch verspannt. In der Zeichnung ist nur eine Unit erkennbar, da sich die zweite direkt hinter der ersten befindet und daher verdeckt ist. Die Ritzel an den Abtriebsflanschen der HFUC-Units greifen in ein innenverzahntes Hohlrad. Bei dieser Anordnung wird die große zentrale Hohlwelle für die Durchführung von Versorgungsleitungen für Luft, Wasser und Öl für die integrierte Frässpindel genutzt.

Diese Achse wird zudem von einem sehr steifen axial-radialen Nadelkugellager gestützt und kann mit einem hydraulischen Klemmelement in Position geklemmt werden. Dadurch kann der Fräskopf sowohl für Dreh- als auch Fräsbetrieb mit extrem hohen Schnittkräften eingesetzt werden. Das Drehmoment liegt bei dieser Achse bei 12000 Nm für die Bearbeitung von sehr großen Turbinenbauteilen. Die bidirektionale Positioniergenauigkeit liegt bei 0,003 Grad.

Gantry Milling Machine Milling Head A-Axis

- Electrical pre-loading
- Master-slave arrangement

In some demanding applications it is desirable to provide a variable pre-load torque in two-stage gear arrangements, by means of electrical pre-loading. This can be achieved by implementing two actuators, which engage with a spur gear by means of pinions mounted on both actuators. These are used in a master-slave arrangement, which is supported by numerous modern CNC control systems. This configuration allows the pre-load in the spur gear stage to be varied according to the operating mode of the machine

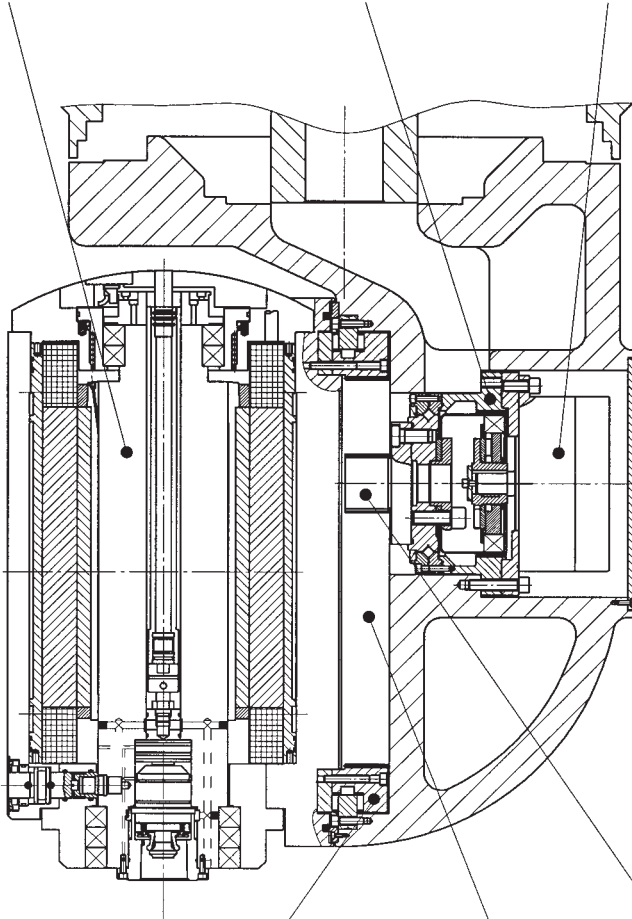
This example shows the A-axis of the same milling head featured in example No. 7. This axis is also electrically pre-loaded by means of two **HFUC-2UH** units. Only one unit is visible in the drawing, because the second unit is mounted directly behind the first and is therefore hidden. In this example the pinion gears mounted on the output flanges of the units engage with an internally toothed ring gear. This arrangement allows a large central hollow shaft, which is used to accommodate a rotary feed-through for the air, water and oil supply for the integrated milling spindle.

This axis is also supported by a very stiff axial-radial needle roller bearing and can be clamped in position using a hydraulic clamping element. This allows the milling head to be also used for turning and boring operations where the cutting forces are extremely high. This axis provides a torque of 12000 Nm for the machining of very large turbine components, with a bi-directional positioning accuracy of 0.003 degrees.

Bausatz-Spindel
Integrated spindle motor

HFUC Einbausatz
HFUC Component set

AC-Servomotor
AC Servo motor



Axial-Radiallager
Axial-radial bearing

Hohlrad
Ring gear

Ritzel
Pinion

5-Achs-Bearbeitungszentrum A- und B-Achsen-Antrieb

5-Axis Machining Centre A- and B-Axis Drive

- Spezielle Abtriebslagerung
- Hohlwelle für Versorgungsleitungen

- Special precision output bearing
- Hollow shaft for supply cables

In den letzten Jahren hat sich am Markt eine neue Generation von sehr kompakten 5-Achs-Bearbeitungszentren etabliert, die speziell für die Bearbeitung von komplexen Bauteilen mit Freiform-Oberflächen entwickelt wurden. Die kompakten Abmessungen der gesamten Maschine erfordern auch eine entsprechend kompakte Antriebstechnik.

Hier wird die konstruktive Ausführung des Antriebs der A- und B-Achse eines 5-Achs-Bearbeitungszentrums für die Bearbeitung von kleinen Turbinenbauteilen beschrieben. Um die Abstände zwischen den Drehachsen so gering wie möglich zu halten, war es wichtig, einen Antrieb von kleinstmöglichem Durchmesser und Länge zu verwenden. Dadurch wird die Steifigkeit der Maschine so hoch wie möglich gehalten. Die Wahl fiel auf einen speziell angepassten **CHA** Hohlwellenantrieb, bestehend aus einem Harmonic Drive Getriebeeinbausatz mit einem hochdynamischen AC-Servomotor.

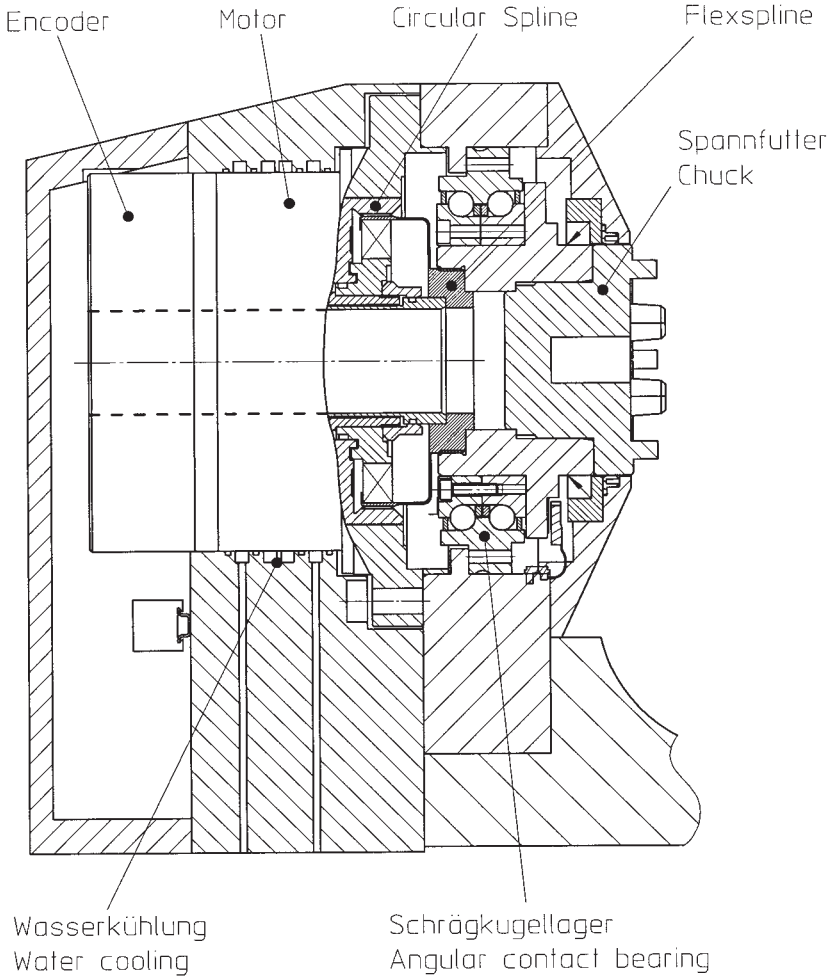
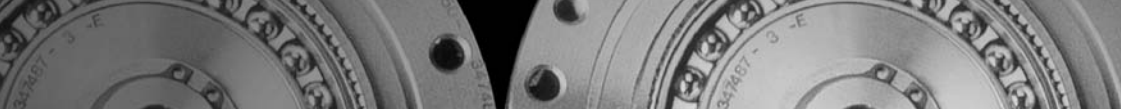
Hier wird eine hohe Führungsgenauigkeit des Abtriebslagers gefordert, weshalb der Getriebeantrieb durch ein spezielles und hochpräzises zweireihiges Kontaktlager unterstützt wird. Diese Lager sorgt für eine axiale und radiale Führungsgenauigkeit von besser als 2 µm, wodurch eine höhere Genauigkeit als mit dem standardmäßig im **CHA**-Antrieb integrierten Kreuzrollenlager erreicht wird. Der Antrieb hat eine zentrale Hohlwelle zur Durchführung von Luft- und Hydraulikleitungen durch beide Drehachsen. Diese wird für die Befestigung eines hochauflösenden Encoders genutzt, der als Direktmess-System dient und mit dem Spannfüter verbunden ist, das am Abtriebsflansch des Antriebs montiert ist.

In recent years a new generation of very compact 5-axis machining centres has appeared on the market, specially developed for the machining of complex components with free-form surfaces. The compact dimensions of the machine, as a whole, mean that small size is also a major design driver for the actuators used to drive the machine axes.

This application example describes the actuator design for the A- and B-axes of a 5-axis machining centre used for machining complex small turbine components. In order to keep the distances between the rotational axes as small as possible it was important that the diameter and length of the actuators be as small as possible. This helps to keep the machine stiffness as high as possible. This led to the selection of a specially modified **CHA** hollow-shaft actuator. This comprises a Harmonic Drive component set combined with a highly dynamic AC servo-motor in a compact package.

In this application a very low run-out error was specified for the output bearing, so the gear output is supported by a specially adapted and highly precise two-row angular contact bearing. This bearing provides an axial and radial run-out of better than 2 µm, which is more accurate than the cross-roller bearing integrated in the standard **CHA** actuator.

The actuator features a central hollow shaft, which is used to pass air and hydraulic supplies through both rotational axes. The hollow shaft is also used to connect a high resolution encoder, as direct measurement system, to the chuck mounted at the output flange of the actuator.



Werkzeugschleifmaschine Indextisch

Tool Grinding Machine Indexing Axis

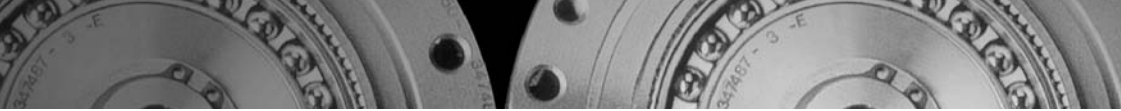
- **Hohlwelle**
- **Flexspline Sonderausführung**
- **Wave Generator Sonderausführung**

- **Hollow shaft**
- **Special Flexspline**
- **Special Wave Generator**

In Werkzeugschleifmaschinen wird das Werkstück (z. B. Fräser) mit hoher Präzision im Verhältnis zur Schleifscheibe gedreht, um komplexe Konturen zu erhalten und eine perfekte Oberflächengüte zu erzielen. Das Schlüsselement in der dargestellten Indexier-Achse ist eine Sonderbauform des Harmonic Drive **HFUC**-Einbausatzes in der sogenannten „Weinglas“-Ausführung. Der Flexsplineboden öffnet dabei nach außen, wodurch eine große Hohlwelle durch das Getriebe geführt werden kann. In diesem Anwendungsfall wurde die Hohlwelle für die Spanneinrichtung genutzt, die das Werkzeug während des Schleifprozesses klemmt (in der Abbildung nicht dargestellt). Der spezielle Werkstück-Flansch nach ISO Norm wird von einem präzisen Nadellager getragen. Diese Achse kann auch für zylindrisches Schleifen eingesetzt werden, was hohe Antriebsdrehzahlen des Getriebes erfordert.

In diesem Beispiel ist das Getriebe ölgeschmiert. Auf der Antriebsseite befindet sich eine Labyrinthdichtung, die zu verminderter Reibung beiträgt und somit einen zu hohen Temperaturanstieg verhindert. Für den Antrieb des Getriebes wird ein Zahnriemen eingesetzt, der von einem parallel zum Getriebe montierten Motor angetrieben wird. Bitte beachten Sie, wie der induktive Referenzschalter (zum Messen der Position am Abtrieb) durch den speziell gefertigten Circular Spline geführt wird.

In tool grinding machines the workpiece (e.g. milling cutter) must be rotated with high precision relative to the grinding disc, in order to achieve complex contours and also to provide a perfect surface finish. The key component of the indexing axis shown in the drawing is a special Harmonic Drive **HFUC** component set with a so-called „wine-glass“ design. The diaphragm of the Flexspline opens outwards, which enables a large hollow shaft to be passed through the gear. In this example the hollow shaft is used by the clamping mechanism that holds the tool in place during the grinding process (not shown in the drawing). The special ISO workpiece flange is supported by a high precision needle-roller bearing. This axis can also be used for cylindrical grinding, which requires high input speeds to the gear. In this case the gear is lubricated with oil. A labyrinth seal is mounted at the input side to reduce friction and so avoid a high temperature increase. The gear is driven via a toothed belt from a motor which is mounted in parallel to the gear. Please note how the inductive reference switch (for measuring the output position) passes through the specially modified Circular Spline.



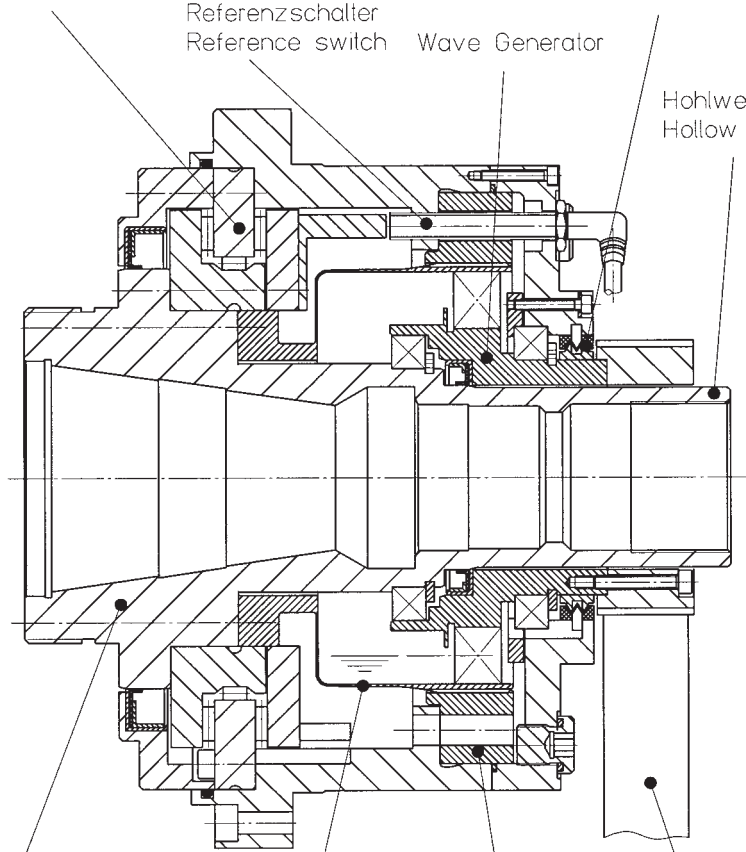
Nadellager
Needle roller bearing

Labyrinth Dichtung
Labyrinth seal

Referenzschalter
Reference switch

Wave Generator

Hohlwelle
Hollow shaft



ISO Werkstückaufnahme
ISO workpiece flange

Flexspline

Circular Spline

Antriebsriemen
Input belt

Bearbeitungszentrum Werkzeugkettenmagazin

Machining Centre Chain-type Tool Magazine

■ Hohlwellenantrieb

■ Hollow-shaft actuator

Peripherieachsen von Bearbeitungszentren stellen ein wichtiges Anwendungsgebiet für Harmonic Drive Produkte dar. Aufgrund der zunehmenden Automatisierung in der Handhabung von Werkstücken sowie Werkzeugen ist die Anzahl an Positionierachsen in modernen Werkzeugmaschinen gestiegen. Dies darf jedoch nicht in einer Zunahme der Maschinenabmessungen resultieren, d.h. der Konstrukteur muss besonders kompakte Getriebe und Antriebe implementieren. Bearbeitungszentren (Prismen-Werkstücke) und Drehmaschinen (rotationssymmetrische Werkstücke) werden immer häufiger mit Werkzeugmagazinen ausgerüstet.

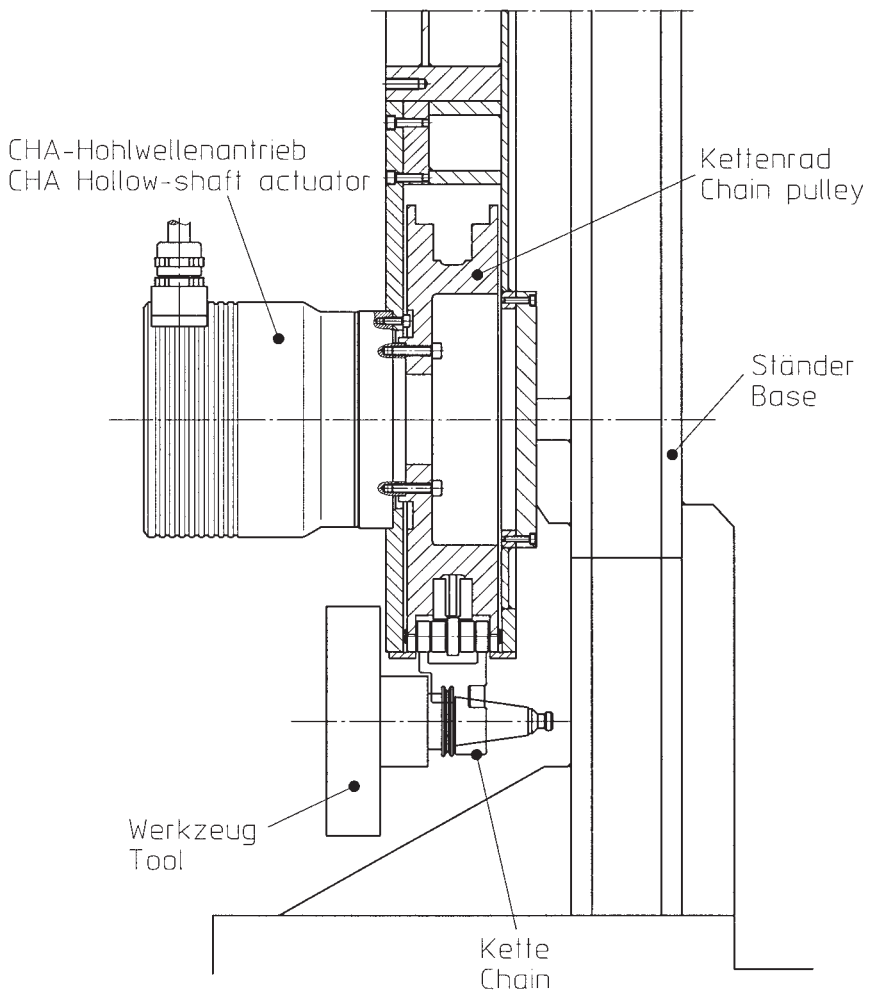
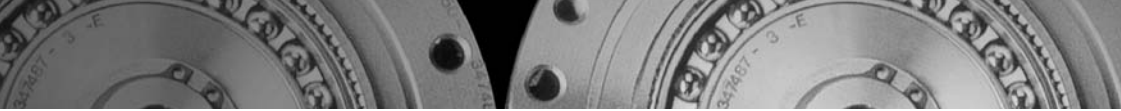
Aus den verschiedensten Werkzeugmagazin-Konstruktionen haben sich die Ketten- und Scheibenmagazine als beste Lösung durchgesetzt. Sie können über 100 verschiedene Werkzeuge tragen und müssen das für den nächsten Bearbeitungsvorgang benötigte Werkzeug sehr schnell zum Werkzeugwechsler transportieren. Bei gefülltem Magazin ist das Massenträgheitsmoment der zu bewegenden Werkzeuge sehr groß. Sie müssen genau positioniert werden, bevor sie vom Werkzeugwechsler ausgetauscht werden können.

Hohe Drehmomentkapazität, Steifigkeit sowie hervorragende Wiederholgenauigkeit sind die Anforderungen, die an die Getriebe bzw. Antriebe gestellt werden. In unserem Konstruktionsbeispiel erfüllt ein **CHA**-Hohlwellenantrieb in einem Kettenwerkzeugmagazin diese Aufgabe. Dabei handelt es sich um eine sehr einfache Konstruktion, bei der das Kettenrad direkt mit dem Abtriebsflansch des Antriebes verbunden ist.

The peripheral axes of machining centres are an important application area for Harmonic Drive products. The increasing automation of handling tasks, both of workpieces and tools, means that modern machine tools feature an increasing number of positioning axes. The simultaneous requirement to reduce the size of new machines means that the designer must implement particularly compact gears and actuators. Both machining centres (prismatic workpieces) and turning centres (rotational-symmetrical workpieces) are increasingly provided with tool magazines. There are various different designs, though chain-type and disc-type magazines are the most popular.

These magazines can carry up to more than 100 tools and must rapidly move the required tool to the tool changer in time for the next machining operation. When the magazine is fully loaded the moment of inertia of the tools is substantial. The required tool must be accurately as well as dynamically positioned before being removed from the magazine by the tool changer. The gear or actuator used to drive the magazine must therefore have a high torque capacity, high torsional stiffness and excellent repeatability.

This design example shows a chain-type tool magazine driven by an **CHA** hollow-shaft actuator. This is the basis for a very simple design, with the chain pulley attached directly to the output flange of the actuator.



Bearbeitungszentrum Palettenwechsler

Machining Centre Pallet Changer

- Hohlwelle
- Integriertes Abtriebslager

- Hollow shaft
- Integrated output bearing

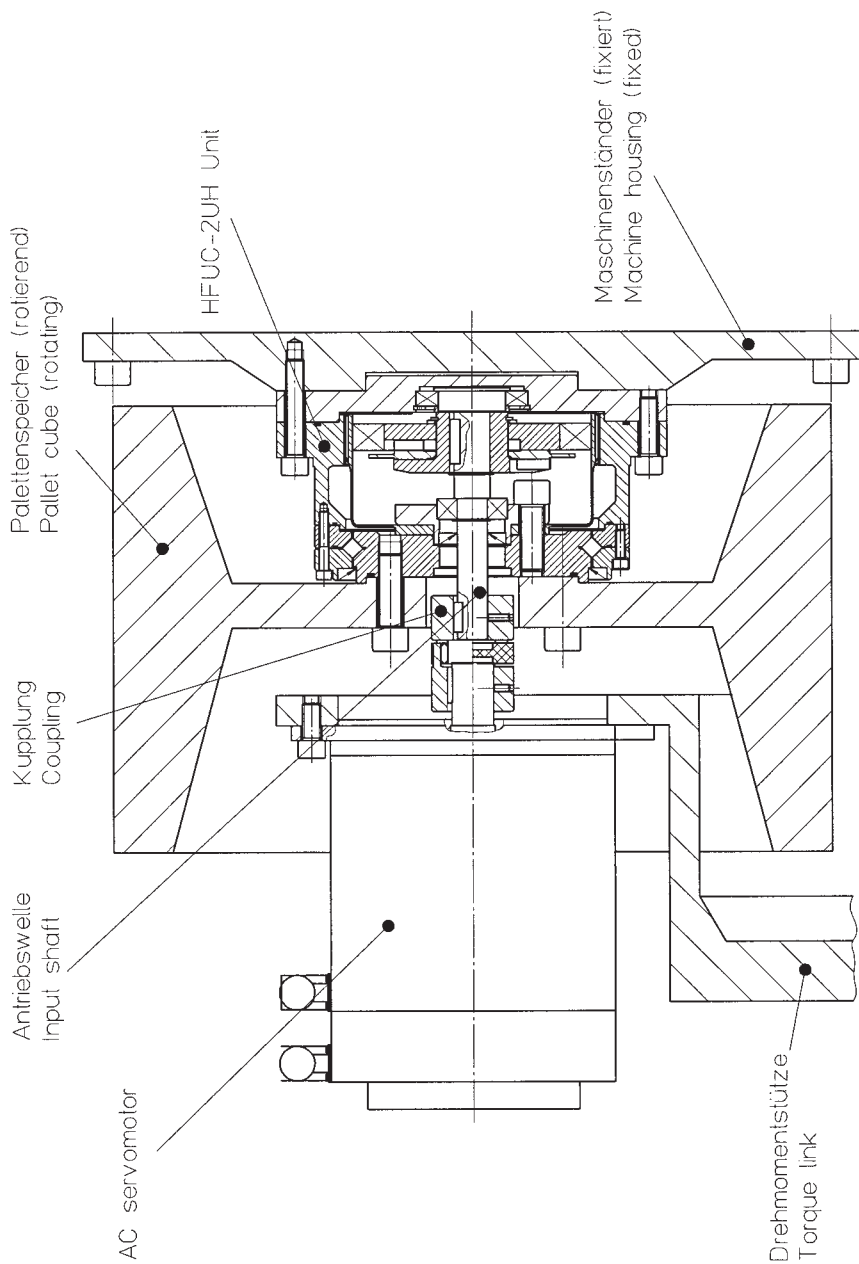
Um Bearbeitungszentren über eine längere Zeit hinweg auch unbeaufsichtigt arbeiten zu lassen, wird die Werkstückhandhabung zunehmend automatisiert.

Im abgebildeten Beispiel wurde dieser Trend in der Konstruktion eines Palettenwechslers realisiert. Der Wechsler wird in einem Bearbeitungszentrum mit Horizontalspindel zum Transport von Paletten eingesetzt, die das Werkstück von der Ladestation zum NC-Drehtisch des Bearbeitungszentrums befördern. Der Wechsler besteht aus einem gusseisernen Würfel mit vier Paletten, auf denen jeweils verschiedene einzelne Werkstücke befestigt sind. Wenn er komplett gefüllt ist, trägt der Palettenwechsler genügend Werkstücke, so dass das Bearbeitungszentrum für mehrere Stunden ohne Aufsichtsperson betrieben werden kann. Der Antrieb erfolgt in diesem Fall über eine mit einem AC-Servomotor kombinierte **HFUC-2UH** Unit. Ein interessantes Merkmal dieser Konstruktion ist die Rückführung der Eingangswelle durch das Abtriebslager. Die Verbindung der Eingangswelle zum Motor erfolgt über eine Steckkupplung.

Diese Anordnung hat den Vorteil, dass das abtriebsseitige Kreuzrollenlager der Unit nah an den Schwerpunkt des gusseisernen Palettenspeichers montiert werden kann. Die auf das Abtriebslager wirkenden Kippmomente werden auf diese Weise minimiert, wodurch eine lange, wartungsfreie Lebensdauer garantiert wird. Die besonders kompakte Bauform und hohe Dynamik dieser Konstruktion sorgen für minimale Stillstandszeiten des Bearbeitungszentrums.

In order to allow machining centres to operate unattended for longer periods, there is a trend to increasing automation of work-piece handling.

One example of this trend is the pallet changer shown in the drawing. This changer is used in a horizontal-spindle machining centre and transfers pallets carrying the work-piece from a loading station to the NC rotary table of the machining centre. It consists of a cast-iron cube carrying 4 pallets, each of which carries a cubic fixture holding a number of individual work-pieces. When fully loaded the pallet changer carries enough workpieces to allow the machining centre to operate unattended for several hours. The design shown is driven by an **HFUC-2UH** unit combined with an AC servo motor. An interesting feature of this design is the orientation of the input shaft relative to the gear. The Wave Generator is mounted on an input shaft, which passes through the hollow centre of the output flange. The input shaft is connected to the motor via a shaft coupling. This arrangement allows the output-side cross-roller bearing of the unit to be mounted close to the line of the centre-of-gravity of the cast-iron cube. As a result, the tilting moment acting on the output bearing is minimised, ensuring a long, maintenance-free, operating life. This design solution is particularly compact and offers a high dynamic performance, so minimising idle time for the machining centre.



Mehrspindel-Drehautomat Linearantrieb für Werkzeugverschleißkompensation

- Sonderantrieb
- Linearantrieb

Mehrspindeldrehautomaten werden zur Herstellung von Massenteilen wie Schrauben, Armaturenteile etc. mit Losgrößen ab 50.000 Stück eingesetzt. Der Trend nach unbeaufsichtigtem Maschinenbetrieb hat zur Folge, dass bevorzugt Antriebe zum Einsatz kommen, die eine automatische Einstellung der Maschine ermöglichen.

Der im Beispiel gezeigte **HDPL** Sonder-Linearantrieb ist an einem oder mehreren radialen Schlitten befestigt und wird zur Kompensation des Werkzeugverschleißes und der Temperatureinflüsse in der Maschine eingesetzt. Die wesentlichen Ziele bei der Entwicklung dieses Linearantriebes lassen sich wie folgt beschreiben:

- Extrem kompakte Bauform
- Dichtheit gegen Flüssigkeiten, um den Einsatz im Arbeitsraum der Maschine zu ermöglichen
- Präzise Zustellung im Mikrometer-Bereich während der Aufnahme hoher Axialkräfte

Dank der hohen Steifigkeit, der hohen Drehmomentkapazität und den kompakten Abmessungen bieten Harmonic Drive Getriebe die ideale Lösung für diese Anwendung. Der Antrieb besteht aus einer Spindel-Getriebe-Kombination, mit der die Drehbewegung des **HDUR**-Flachgetriebes in eine präzise Linearbewegung umgewandelt wird. Der Antrieb des Getriebes erfolgt über einen AC-Servomotor, der ferner über einen Zahnriemen einen Multiturn-Absolutencoder antreibt. Die Antriebskomponenten sind zum Schutz gegen aggressive Umgebungsbedingungen in einem Gussgehäuse hermetisch abgeschlossen.

Multi-spindle Lathe Linear Actuator for Tool Wear Compensation

- Special Actuator
- Linear Actuator

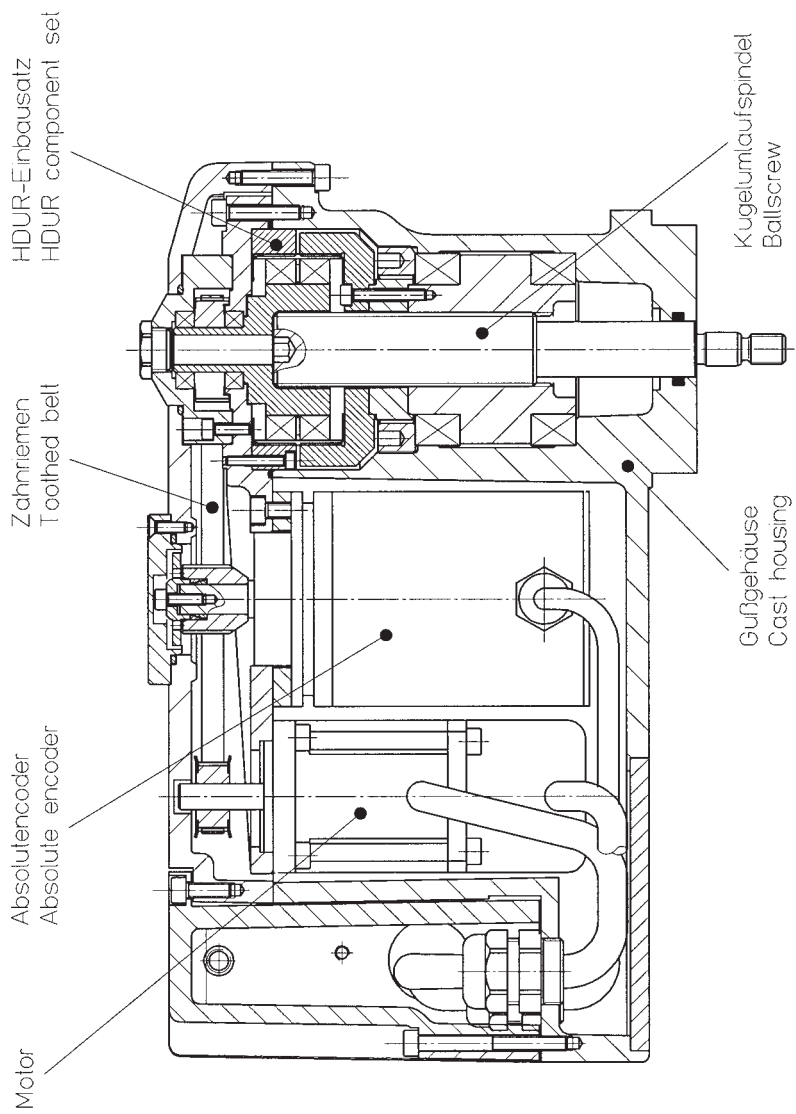
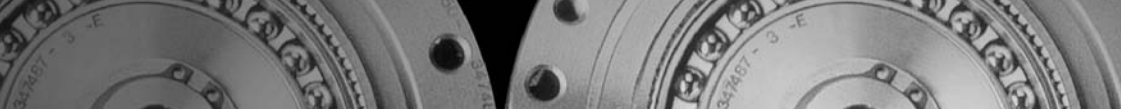
Multi-spindle lathes are used for the production of large series of small components, for example hydraulic fittings or fasteners. With the trend to unattended machining, there is a requirement for actuators that support automated adjustment of the machine.

This design example shows a special **HDPL** linear actuator, which is attached to one or more radial slides and is used for the adjustment of tool wear and to compensate for changes in the temperature of the machine.

The basic targets for this development were

- extremely compact design
- sealing to allow operation within the machining area
- capability for micrometre adjustment, while withstanding high axial forces

The Harmonic Drive gear is ideal for this application, providing high stiffness, high torque capacity and compact dimensions. The **HDUR** flat-type gear is connected to a pre-loaded ball screw, which converts the rotational movement of the gear into a precise linear movement. The gear is driven by an AC servo motor, which also drives a multi-turn absolute encoder, via a tooth belt. The drive components are enclosed in a cast housing, which protects them from the aggressive surroundings.



Bearbeitungszentrum NC Dreh-Verschiebetisch

Machining Centre NC Rotary Indexing Table

■ Harmonic Planetengetriebe für niedrige Untersetzungen

■ Harmonic Planetary Gears for low ratios

Harmonic **Planetengetriebe HPG** eignen sich hervorragend für präzise Anwendungen in Linear- und Drehachsen von großen Werkzeugmaschinen, wie z. B. Vorschubachsen oder Positionieranwendungen. Das Beispiel zeigt einen NC Dreh-Verschiebetisch für die Bearbeitung von großen und schweren Werkstücken. Durch die Kombination von rotatorischer und linearer Achse wird auf geringstem Bauraum die Möglichkeit zur Mehrseitenbearbeitung von großen Werkstücken in Fräsmaschinen realisiert. Die Tischabmessungen von 2 x 2 m sowie die Linearachse mit 1.500 mm Hub erlauben eine Bearbeitung von Werkstückgewichten bis 40 t.

HPG Planetengetriebe mit Spielklasse BL1 werden sowohl in der rotatorischen als auch der linearen Achse als Untersetzungsgetriebe eingesetzt.

Der Drehtisch wird von einem Servomotor mit nachgeschaltetem Planetengetriebe und einem Präzisionsschneckengetriebe angetrieben. Die Zeichnung zeigt die Einbindung des Planetengetriebes **HPG** in den Maschinengrundkörper. Die Präzisionsschnecke ist direkt an das Planetengetriebe angeflanscht. Für den Antrieb wird ein Getriebe mit konstanter Genauigkeit ohne aufwändigen Spieleinstellmechanismus gefordert. Planetengetriebe der Baureihe **HPG** gewährleisten gleichbleibendes, geringes Spiel über die gesamte Lebensdauer.

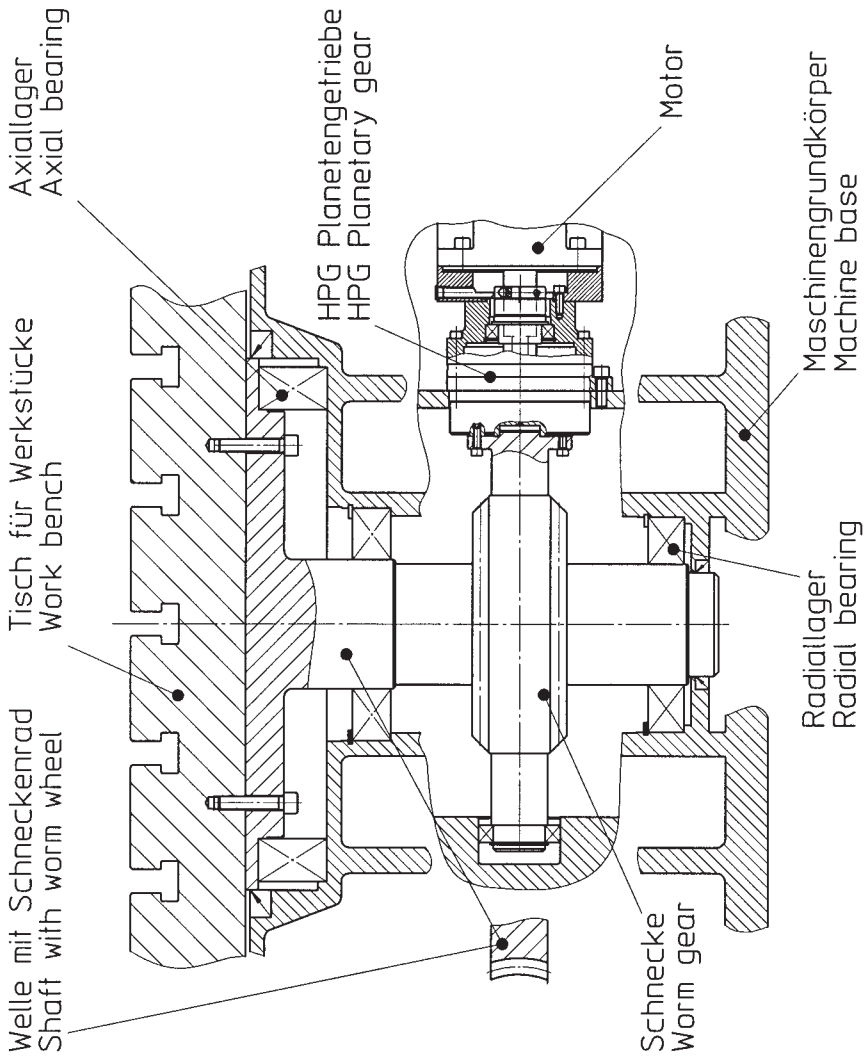
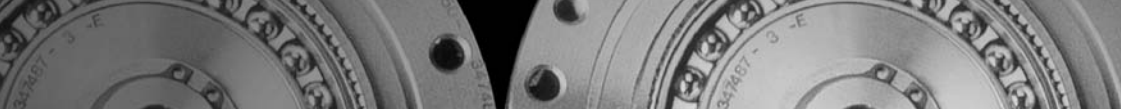
Die direkte Lagerung der Schnecke am Planetengetriebe setzt ein steifes und genaues Abtriebslager voraus. Die eingesetzten Kreuzrollenlager in vorgespannter Ausführung dienen gleichzeitig als Planetenträger der zweiten Stufe. Dies gewährleistet einen kompakten und steifen Aufbau.

HPG series Harmonic Planetary Gears are the ideal choice for precise applications in linear or rotary axes of large machine tools, e.g. for rapid feed moves or positioning tasks. This example shows a NC rotary indexing table used for the machining of heavy and large workpieces. This combination of rotary and linear axis in a small envelope enables the multi-face machining of large components in a milling machine. Since the machine is expected to machine components weighing up to 40 t the table measures 2 x 2 m and the linear axis provides a stroke of 1,500 mm.

HPG planetary gears with accuracy class BL1 are used in rotary as well as in linear axes as reduction gears.

The rotary table is driven by a servomotor followed by a planetary gear and a precision worm gear. The drawing shows how the **HPG** planetary gear is integrated into the machine base. The precision worm is connected directly to the planetary gear. This application requires a gear which provides constant precision without the need for an additional backlash adjustment mechanism. **HPG** planetary gears keep the backlash very low during the entire rated operating life of the gear.

The direct connection of the worm gear to the planetary gear necessitates high precision and high stiffness of the output bearing. The pre-loaded cross-roller bearings function as planet carrier of the second stage. This guarantees a compact and stiff structure.



Wasserstrahlschneidmaschine Schnelle Linearachsen

Water-jet Cutting Machine Fast Linear Axes

■ Harmonic Planetengetriebe für niedrige Untersetzungen

■ Harmonic Planetary Gear for low ratios

In Linearachsen von Bearbeitungsmaschinen, wie z. B. X-Y Tische von Laser- oder Wasserstrahlschneidanlagen, kommen die Vorteile der **HPG-Planetengetriebe** voll zur Geltung. An Linearachsen von Schneidanlagen, die präzise und schnell arbeiten müssen, werden hohe Anforderungen gestellt. Schnelle Positionierbewegungen im Eilgang und präzises Abfahren von Bahnen mit Achsinterpolation erfordern spielarme und genaue Antriebskomponenten.

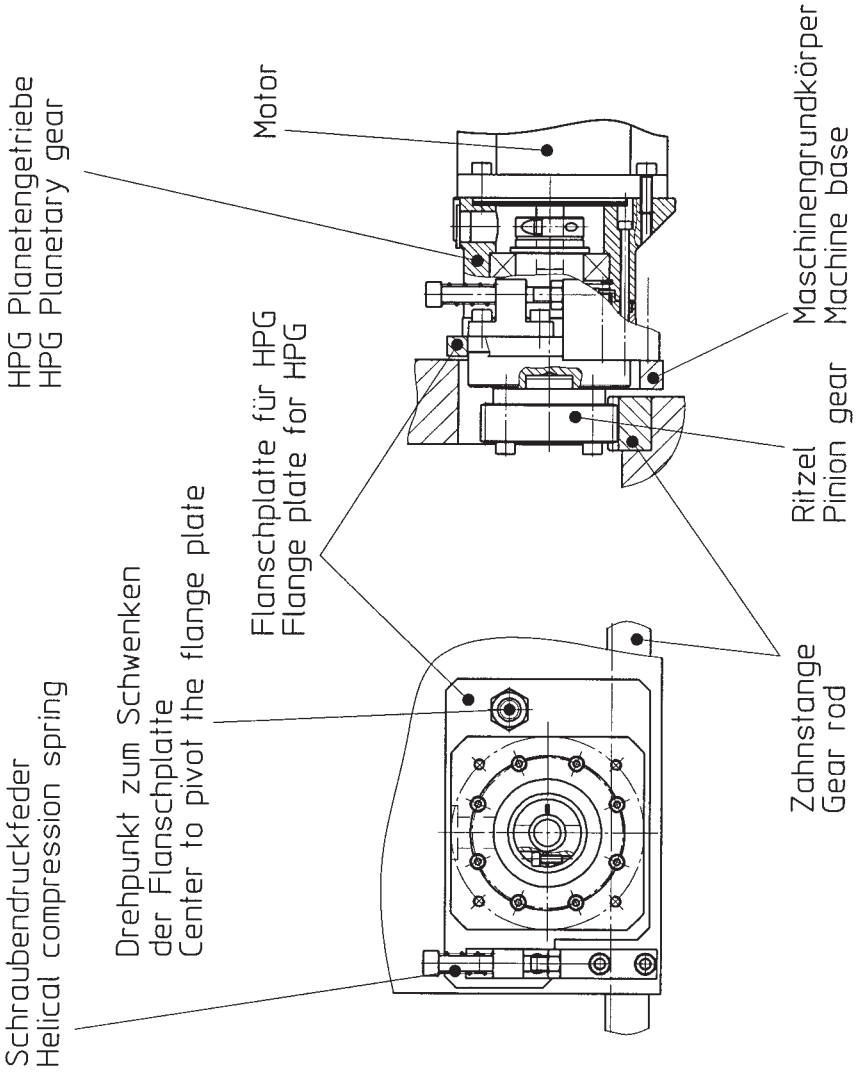
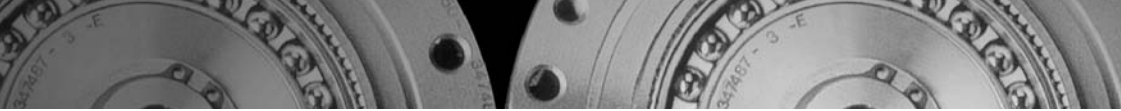
Das Beispiel eines X-Y Tisches einer Wasserstrahlschneidanlage zeigt anschaulich das Zusammenwirken von Standardkomponenten in kostenoptimierten Anlagen. Aufgrund von Umgebungseinflüssen wie Spritzwasser und Staub können keine direkten Messsysteme eingesetzt werden. Die Genauigkeit der Achsen wird in diesem Fall durch indirekte Messsysteme und präzise Antriebskomponenten erreicht.

Die X-Achse mit einem Verfahrweg von 3000 mm und einer maximalen Verfahrgeschwindigkeit von 12 m/min wird über eine Ritzel-Zahnstangenkombination angetrieben. Das Abtriebsritzel ist ohne zusätzliche Lagerung direkt am **HPG-Planetengetriebe** befestigt. Das Abtriebslager ist als Kreuzrollenlager ausgeführt und erlaubt somit hohe Axial- und Radiallasten. Die Anbindung des Planetengetriebes an das Maschinengrundgestell erfolgt über eine drehbar gelagerte und mit einer Feder vorgespannten Platte. Diese Anordnung erlaubt eine Verschleißkompensation des Abtriebsritzels. In Verbindung mit dem spielarmen **HPG-Planetengetriebe** bleibt über die gesamte Lebensdauer die Positioniergenauigkeit der Achse erhalten.

The advantages of the **HPG** planetary gears can be exploited in the linear axes of machining centres, e. g. X-Y tables of laser or water-jet cutting machines. Linear axes of cutting machines must work very dynamically and with high precision. Fast positioning moves in rapid feed and precise interpolated contours require low-backlash gears and transmission components.

This design example shows the X-Y table of a water-jet cutting machine and demonstrates how standard components can be combined in a cost-effective solution. The difficult environmental conditions, where there is a lot of water and dust, prevent the use of direct measuring systems. In this case the accuracy of the individual moving axes must be achieved by a combination of indirect measurement systems and precise transmission components.

The X-axis which has a stroke of 3000 mm and a maximum linear speed of 12 m/min is driven via a rack- and pinion arrangement. The pinion is connected directly to the output flange of the **HPG** planetary gear without the need for additional support bearings. The stiff cross-roller bearing supporting the output flange of the planetary gear can withstand high axial and radial forces. The connection of the planetary gear to the machine base is realised by means of a swivelling plate provided with spring pre-loading to minimize backlash between the pinion and the rack. This solution also acts to compensate any wear of the pinion. In combination with the low backlash **HPG** planetary gear this design solution provides constant positioning accuracy during the complete operating life of the machine.



Druckmaschinen

Printing Machines

Falzapparat

„Back-to-back“ Differentialantrieb

Folder

„Back-to-back“ Differential Drive

- Differentialgetriebe
- Tandemanordnung: „Back-to-back“

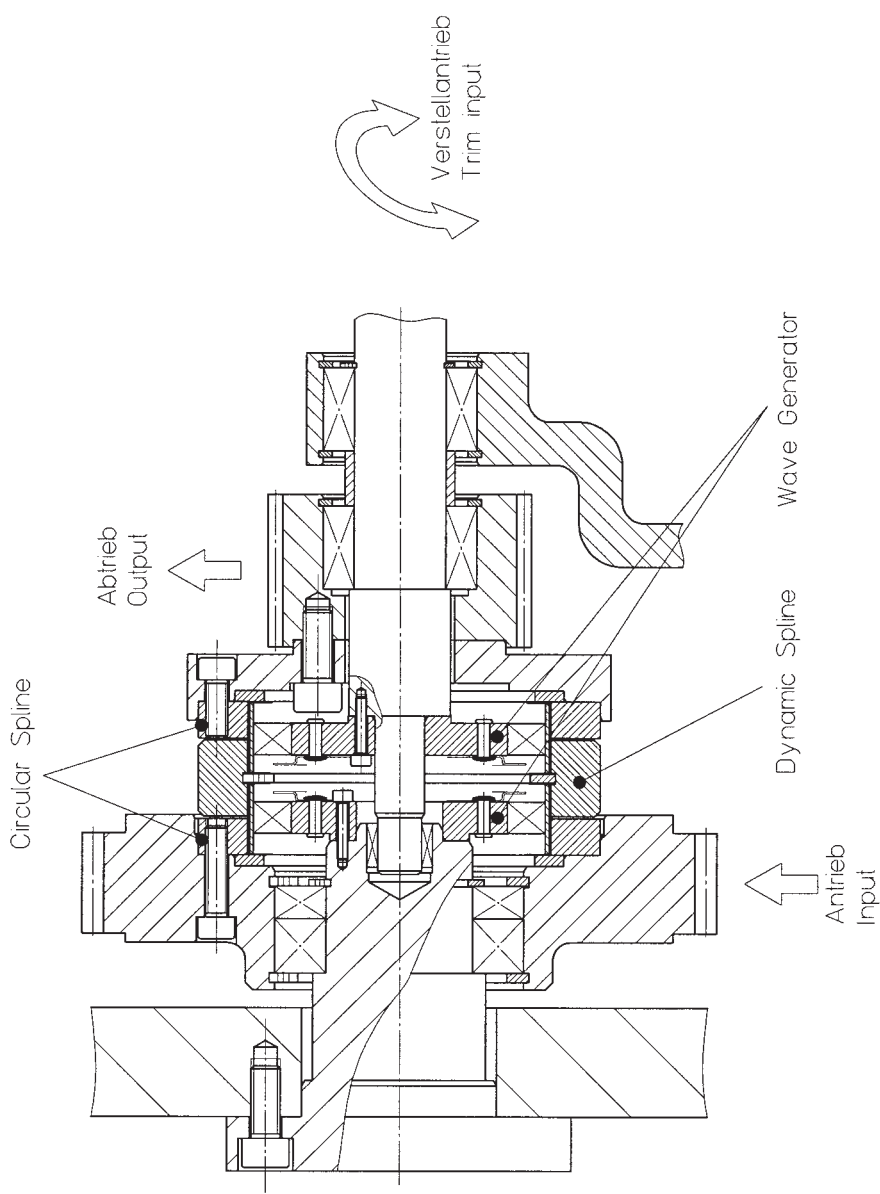
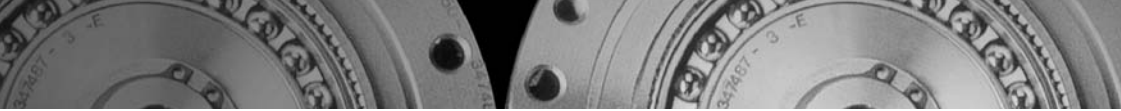
- Differential gear
- „Back-to-back“ gear arrangement

Die dargestellte Antriebseinheit dient zur Phasenverstellung in einem Falzapparat, der mit einer Offset-Druckmaschine verbunden ist. Die Verstellung kann sowohl während des Betriebes als auch im Stillstand der Druckmaschine vorgenommen werden, was einen wesentlichen Vorteil gegenüber anderen Verstellmethoden darstellt. Darüber hinaus lässt sich die Phasenverstellung um volle 360° in beiden Drehrichtungen durchführen.

Die Drehzahlübertragung auf den Verstellantrieb erfolgt von der Hauptantriebswelle über eine Zahnradstufe. Bei dieser Konstruktion bot sich eine Tandemanordnung („Back-to-back“) der beiden **HDUF**-Flachgetriebe an. Um die interne Untersetzung des Harmonic Drive Getriebes zu kompensieren, sind die beiden Dynamic Splines miteinander kombiniert. Der Wave Generator des einen Getriebes ist fixiert, während der andere als Verstellantrieb genutzt wird. Bei stillstehendem Verstellantrieb rotieren beide Circular Splines mit der gleichen Drehzahl. Aus dieser Konfiguration ergeben sich daher am Hauptantrieb und am Abtrieb gleiche Drehzahlen. Die präzise Phasenkontrolle kann dann in beiden Drehrichtungen über den Verstellantrieb erfolgen. Diese Lösung bietet eine sehr hohe Leistungsdichte und ermöglicht eine koaxiale Anordnung von An- und Abtrieb.

The transmission shown in this design example is used for phase adjustment in a folder connected to an offset printing machine. With this design phase adjustment may take place either when the machine is idle or when it is running. This presents a significant advantage over some other methods of phase adjustment which can only be employed when the machine is at a standstill. A further advantage of this design is the capability for bi-directional phase adjustment through 360° in either direction. Power is transmitted to the adjustment drive from the main power shaft via spur gears. In this design example two **HDUF** flat-type gears are combined in a „back-to-back“ or „tandem“ arrangement.

To counteract the internal ratio of the Harmonic Drive gears, the two Dynamic Splines are combined. The Wave Generator of one gear is fixed, while the other is used as trim input. The result is that when the trim input does not rotate, the Circular Splines of both gears rotate at the same speed. This configuration therefore gives equal primary input and output speeds. Precise phase control can then be achieved in both rotation directions via the trim input. This solution provides a very high power density and coaxial arrangement of input and output.



Falzapparat Schaufelradantrieb

■ Sonderausführung für Dauerbetrieb

In Falzapparaten gibt es zahlreiche Anwendungen für hochuntersetzende Getriebe, wo hohe Eingangsdrehzahlen am Getriebe gefordert werden. In diesem Fall kann es erforderlich sein, Dichtungen und Schmierung anzupassen, so dass sie den Bedingungen im Dauerbetrieb entsprechen.

Bei diesem Anwendungsbeispiel eines Schaufelradantriebs wurde eine modifizierte **HFUC-2UJ** Unit mit Eingangswelle implementiert.

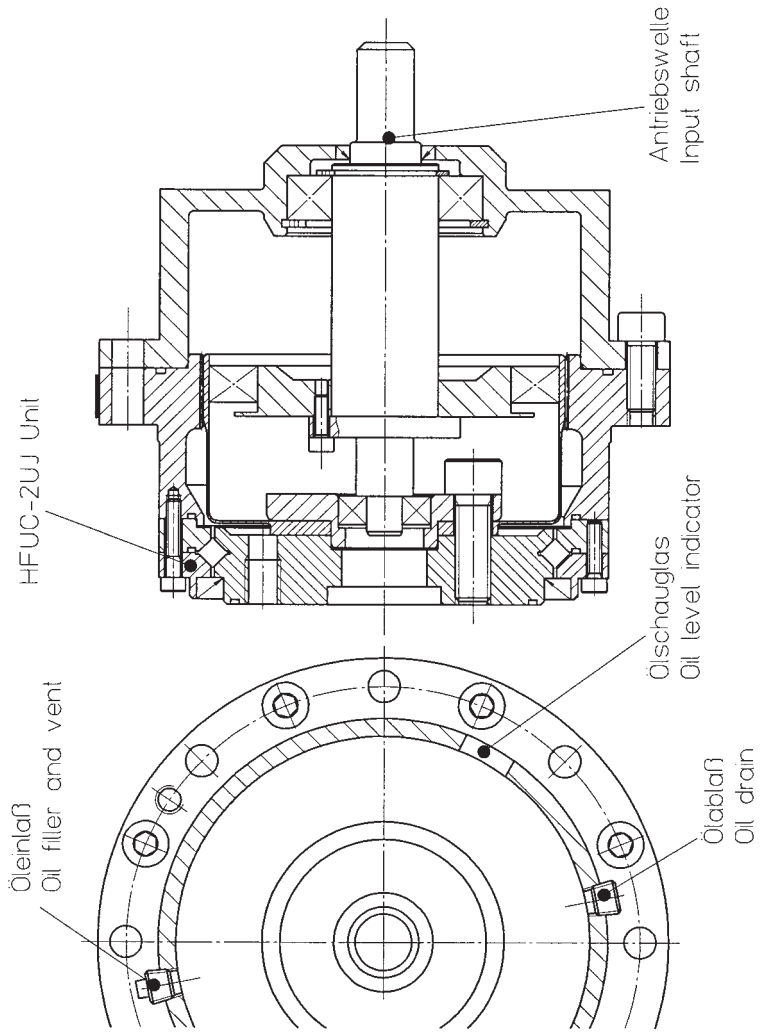
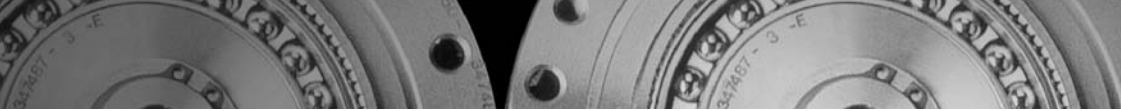
Da bei dieser Anwendung hohe Eingangsdrehzahlen im Dauerbetrieb vorgesehen sind, ist das Getriebe mit Ölschmierung versehen. Im Dauerbetrieb muss darauf geachtet werden, dass der zulässige Wert für die Öltemperatur nicht überschritten wird. Gegebenenfalls muss die Ölmenge erhöht werden. Im gezeigten Beispiel wurde das Getriebegehäuse auf der Antriebsseite derart modifiziert, dass es zusätzlichen Platz für die erforderliche Ölmenge bietet. Der Ölstand kann mittels Ölstandsanzeige kontrolliert werden.

Folder Collator Drive

■ Special design for continuous operation

In folders there is a number of applications for high reduction ratio gears which involve high continuous input speeds to the gear. In this case it is important to make appropriate design modifications with respect to sealing and lubrication for high duty cycle operation. This design example shows a specially modified **HFUC-2UJ** unit with input shaft. This gear is used to drive the collator.

This application is associated with high input speeds and the gear therefore features oil lubrication. In continuous duty it is important that the temperature of the oil does not exceed permissible values and for this reason the quantity of oil may need to be increased. In this example the housing on the input side of the gear is modified to provide additional space to hold the required oil volume. The oil level can be controlled using an oil level indicator.



Falzapparat Linearantrieb für Zugwalzenverstellung

■ Sonderantrieb

Neben den verschiedenen Differentialantrieben sind auch zunehmend Sonderantriebe für Positionieraufgaben im Druckmaschinenbereich gefragt.

Der **HDPL**-Linearantrieb dient hier beispielsweise zur Verstellung von Zugwalzen in einem Falzapparat.

Der Antrieb drückt die Walzen mit einer genau definierten Druckkraft zusammen. Eine der Zugwalzen ist fixiert, während die andere mit Hilfe eines Schwenkarms radial zugestellt werden kann.

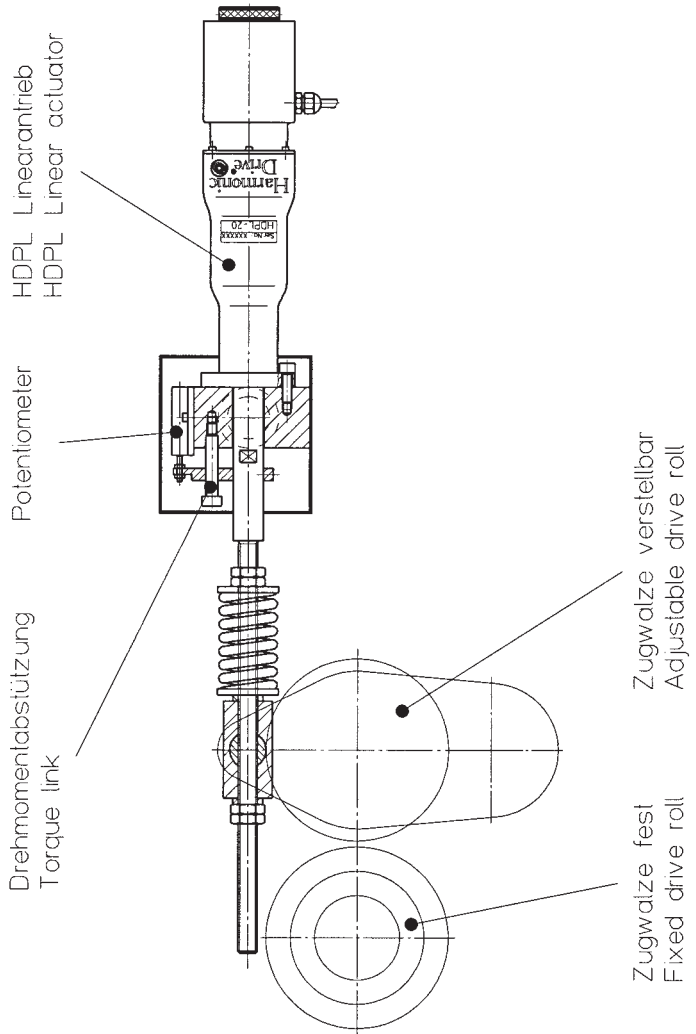
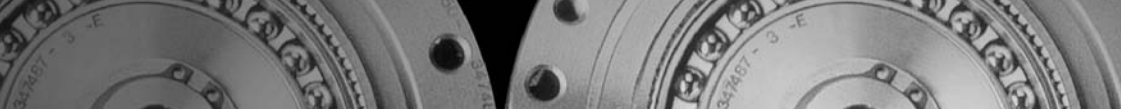
Bei der bisherigen Lösung wurden die Walzen über einen Pneumatikzylinder zusammengedrückt. Dabei erwies es sich jedoch als sehr schwierig, den Anpressdruck exakt zu kontrollieren. Der **HDPL**-Linearantrieb ist ein elektro-mechanisches Stellelement und bietet eine wesentlich sensiblere Kontrolle des Anpressdruckes.

Folder Linear Actuator for Drive Roll Adjustment

■ Special actuator

In addition to differential applications in printing machines there is also an increasing number of applications for special actuators used for positioning purposes. This design example shows how an **HDPL** Linear Actuator is used for the adjustment of the drive rolls in a folder.

The actuator is used to press the drive rolls together with an accurately defined pressure. One drive roll is fixed, while the other can move radially by means of a hinged arm. The linear actuator is connected to the arm. The previous design incorporated a pneumatic cylinder to press the rolls together. This solution was very difficult to control, with the result that the pressure between the rolls could not be defined with sufficient accuracy. The **HDPL** is an electro-mechanical solution, and can provide much more sensitive force control.



Flexo-Druckmaschine Registerantrieb

- Differentialgetriebe
- Integriertes Abtriebslager

Im allgemeinen besteht ein Differentialantrieb aus einem Hauptantrieb, einem Verstellantrieb und einem Abtriebsselement. Der Abtrieb kann in Abhängigkeit von der Verstell Drehzahl mit höchster Präzision in Geschwindigkeit oder Phasenlage verändert werden. Mit seinen drei Grundelementen lässt sich das Harmonic Drive Getriebe ideal als Differentialgetriebe einsetzen, wobei grundsätzlich folgende Getriebeanordnungen möglich sind:

1. Hauptantrieb über Circular Spline und Abtrieb über Flexspline (oder Dynamic Spline bei Verwendung von Flachgetrieben).
2. Antrieb über Flexspline (oder Dynamic Spline) und Abtrieb über Circular Spline.

Die Drehzahlfeinverstellung erfolgt immer über den Wave Generator. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Antriebsanordnungen liegt in dem Drehzahlverhältnis zwischen An- und Abtrieb. Ist der Flexspline das Abtriebsselement, dreht der angetriebene Circular Spline in der Regel langsamer, während bei abtreibendem Circular Spline der angetriebene Flexspline schneller dreht.

Der Registerantrieb einer Flexodruckmaschine erfolgt über eine **HFUC-2UH** Unit. Der im Gehäuse der Unit integrierte Circular Spline wird über einen Zahnriemen angetrieben. Die Unit ist in der Riemenscheibe untergebracht. Die Drehzahlfeinverstellung erfolgt über ein Handrad, das über die Eingangswelle mit dem Wave Generator verbunden ist. Während normalem Betrieb ist das Handrad fixiert. Die Zähnezah der Riemenscheibe wurde so berechnet, dass die innere Untersetzung des Harmonic Drive Getriebes aufgehoben wird.

Flexo-Printing Machine Registering Drive

- Differential gear
- Integrated output bearing

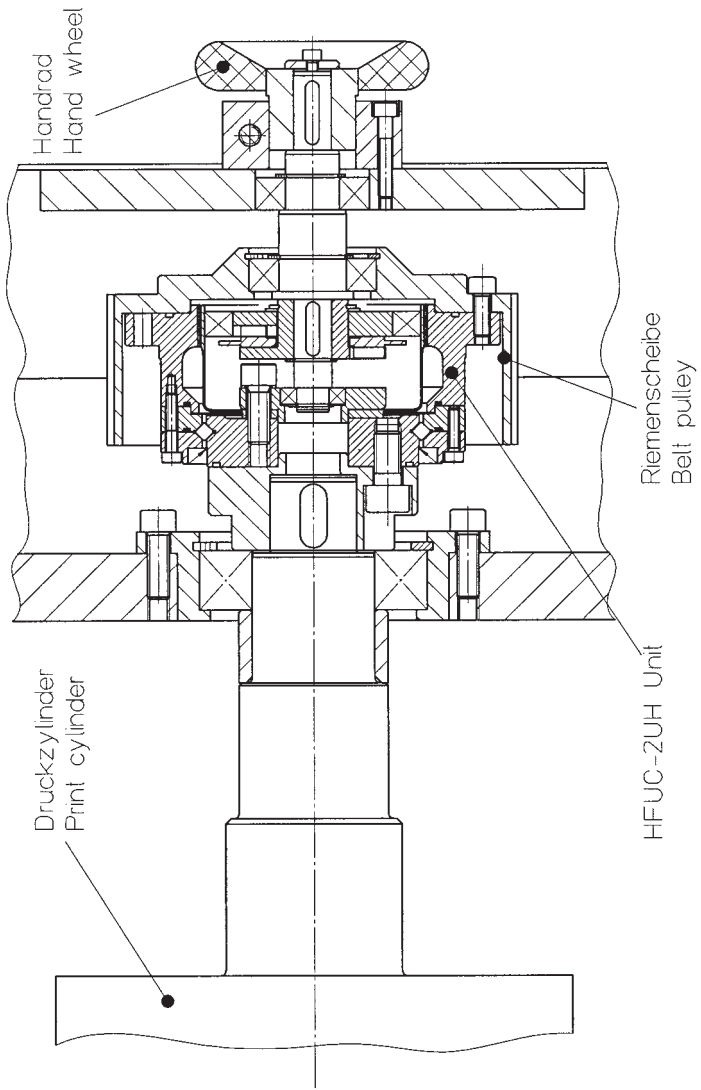
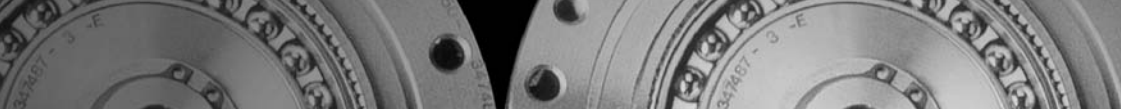
A differential drive, in its most common form, consists of a constant speed power input, a secondary control or trim input and an output. Then the output can be varied precisely in velocity or phase as a function of trim input speed or position.

The basic three element configurations makes Harmonic Drive transmissions ideal as a differential. The following arrangements are possible:

1. Main power input through the Circular Spline and output through the Flexspline (or Dynamic Spline in the case of flat-type gears).
2. Main power input through the Flexspline (or Dynamic Spline) and output through the Circular Spline.

Secondary or trim input is always through the Wave Generator. The difference between these two basic arrangements lies in the speed relationship between input and output. A Flexspline output normally runs at a higher speed than the Circular Spline input. Conversely, a Circular Spline output normally runs slower than the Flexspline input.

This design example shows how an **HFUC-2UH** unit can be used in the registering drive of a flexo-printing machine. The housing of the unit, which incorporates the Circular Spline, is driven via a toothed belt, and the unit is mounted inside the pulley. The trim input is provided by a hand-wheel connected to the Wave Generator via an input shaft. During normal operation of the machine the hand-wheel is locked in place. The number of teeth on the pulley is carefully selected to counteract the internal ratio of the Harmonic Drive gear.



Wertpapierdruckmaschine Phasenverstellung

■ Differentialgetriebe

Mit dem Einsatz von Harmonic Drive Getrieben kann eine große Zahl von Differentialantriebsordnungen realisiert werden.

Bei diesem Anwendungsbeispiel eines multifunktionalen Differentialgetriebes mit Gehäuse und An- und Abtriebslagerung ist ein Harmonic Drive **HFUC**-Topfgetriebe integriert. Der Circular Spline ist ein Teil des frei rotierenden Gehäuses. Wie in der Zeichnung dargestellt, ist der Flexspline mit der An- bzw. Abtriebswelle verbunden. Der Wave Generator ist ebenfalls mit einer Welle gekoppelt, die entweder zur Drehzahlfeineinstellung verwendet oder fixiert werden kann. Die Art der Nutzung des Wave Generators ist abhängig vom gewünschten Drehzahlverhältnis zwischen An- und Abtrieb.

Aufgrund der kompakten Bauweise und hohen Drehmomentkapazität ist dieses Antriebskonzept besonders geeignet für die folgenden Anwendungen:

- Registerverstellung
- Drehzahlfeinstregulierung
- Verstellantrieb
- Antrieb mit zwei Drehzahlbereichen

Durch die hohe Untersetzung zwischen Feineinstellung und An- bzw. Abtriebswelle kann die Verstelldrehzahl mit einer relativ klein dimensionierten Einheit geregelt werden, z. B. DC-Motor, Schrittmotor oder ein Handrad für besondere Anwendungen. Die in der Zeichnung dargestellte Einheit ist ölschmiert. Zur Befüllung und zum Ölabblass sind Schrauben vorgesehen.

Bank Note Printing Machine Phase Control Drive

■ Differential Gear

A great variety of different configurations for differential drives are possible when using Harmonic Drive gears.

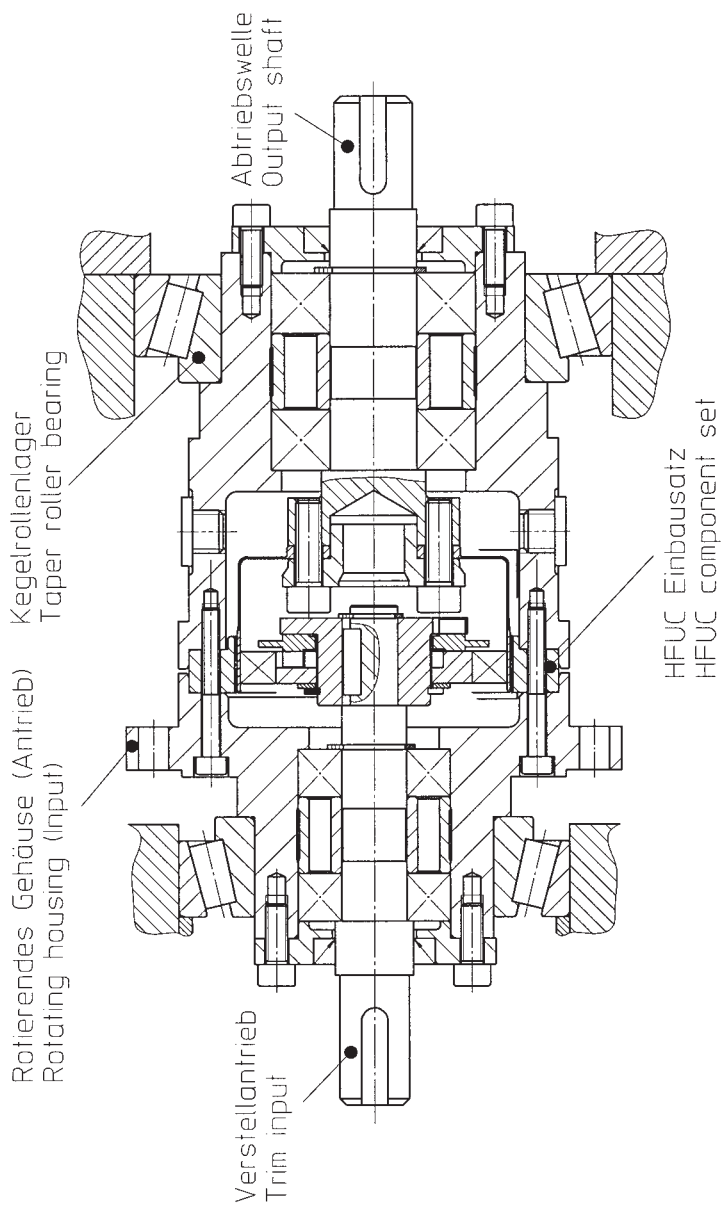
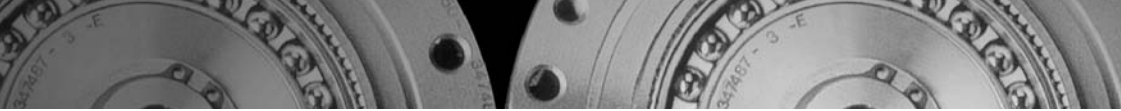
In this application a **HFUC** cup-type gear is used as the basis for a multi-functional differential. The Circular Spline forms part of the housing which, when mounted between bearings, is free to rotate. The Flexspline is attached to a shaft which can then be used for primary power input or power output, as shown in the diagram. The Wave Generator is also attached to a shaft which can be used as the trim input or which can be fixed, dependent on desired speed relationship between primary input and output.

Due to its compactness and high torque capacity this design is ideal for the following applications:

- Register control
- Fine speed control
- Adjustment drive
- Two speed range drive

The high reduction ratio of the Harmonic Drive gear means that a comparatively small motor, or in some applications a hand-wheel, can be used to provide the trim input for speed adjustment.

For the particular version shown in the diagram oil lubrication is used, hence the provision of oil inlet and output ports.



Druckmaschinen

Printing Machines

Bogenoffset-Druckmaschine Verstellung mit Kraftregelung für Farbauftragswalze

Sheet-fed Printing Machine Inking Cylinder Adjustment with Force Feedback

- Mechatronische Systemlösung
- Integrierte Kraftmessung

- Mechatronic system solution
- Integrated force measurement

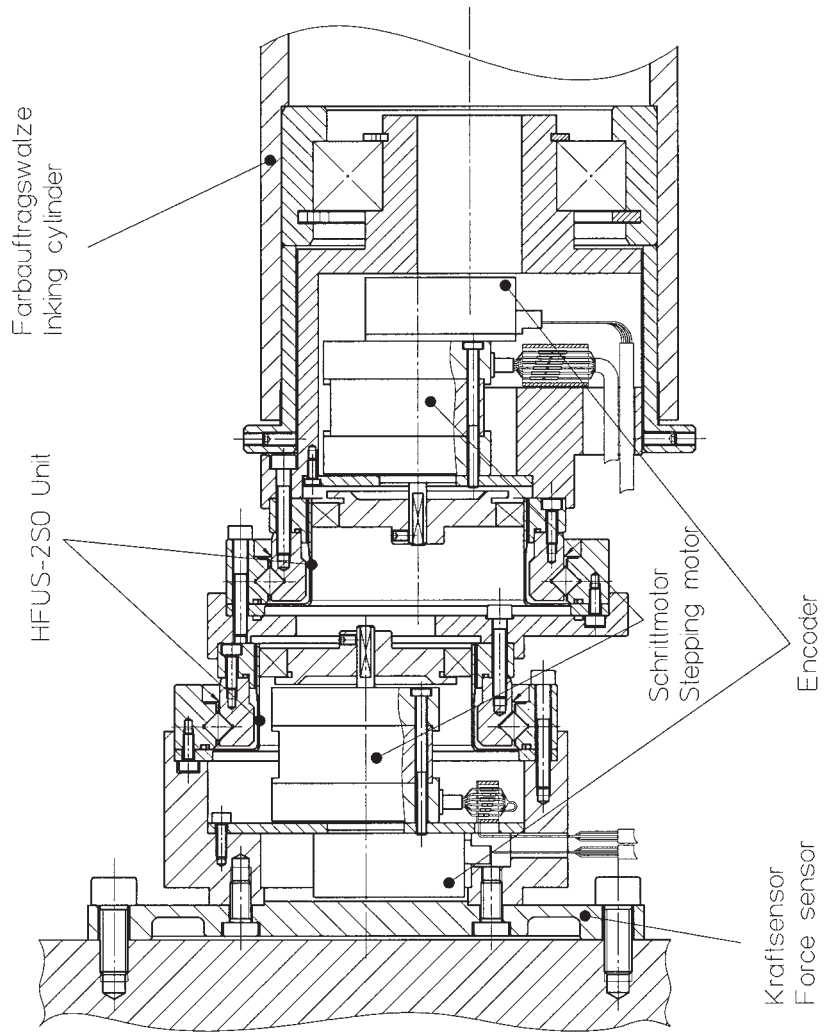
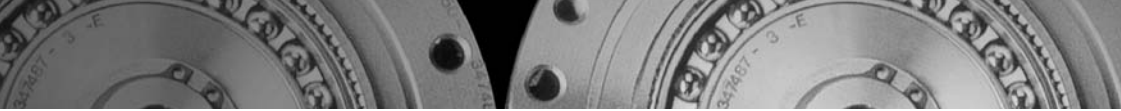
Zur Regulierung des Farbtransportes ist der Abstand zwischen Farbauftragswalze und Rasterwalze verstellbar. Bei der neuesten Maschinengeneration wird eine zusätzliche Kraftregelung gefordert. Bis jetzt wurde diese Verstellung überwiegend mittels Pneumatik realisiert. Pneumatik jedoch erlaubt keine feinfühlige Regelung und ist auch eine der teuersten Energiequellen. Aus diesem Grund sind elektromechanische Lösungen im Vormarsch. In diesem innovativen Lösungsbeispiel erfolgt die Walzenverstellung mittels zwei exzentrisch angeordneten Getriebe-Motoreinheiten. Feinfühlige und hochgenaue lineare Bewegungen in zwei Dimensionen werden durch die synchronisierte Bewegung der beiden Antriebe realisiert. Die Antriebe bestehen jeweils aus einer **HFUS-250** Unit, angetrieben durch einen Schrittmotor mit Encoderüberwachung. Die exzellente Positioniergenauigkeit des Harmonic Drive Getriebes ermöglicht eine hohe Wiederholgenauigkeit von mehr als 0,02 mm bei Kräften bis zu 500 N. Die robuste Lagerung kann eine hohe Stoßbelastung verkraften und eine hohe Schutzklasse gibt eine sichere und einfache Abdichtung gegenüber schwierigen Umgebungsbedingungen, bei denen Verschmutzung durch Öl, Farbe, Reinigungsmittel usw. gegeben ist.

Eine Erfassung der Kontaktkräfte mit den benachbarten Walzen wird in dieser Anwendung zunehmend gefordert. Daher wurde, speziell für diese Anwendung, ein 2-Achs Kraftsensor in Form eines Speichenrades konzipiert, der im Antriebspaket integriert ist. Dieses Prinzip ist auch übertragbar auf z. B. die Verstellung von Tänzerwalzen für die Bahnspannungsregelung.

The distance between the inking cylinder and the roller cylinder can be adjusted in order to regulate the colour transport. The latest machine generation requires force control. Previous designs often incorporated a pneumatic cylinder to press the rolls together. This solution, however, does not allow sensitive control and pneumatic systems rely on an expensive source of energy. For this reason solutions based on electromechanical actuation are the ideal alternative to pneumatic systems.

In this innovative design the cylinder adjustment is carried out by means of two eccentrically arranged units consisting of gear and motor. Sensitive and extremely precise linear motion in two dimensions is performed using the synchronized movement of both actuators. Each actuator consists of a **HFUS-250** unit combined with a stepping motor including encoder. The excellent positioning accuracy of the Harmonic Drive gear enables a high repeatability of better than 0.02 mm for forces of up to 500 N when the inking cylinder is positioned. Due to the robust bearing the actuator provides a high shock capacity and the high protection class offers a safe and simple sealing against contamination due to oil, colour, cleansing agents etc.

The described application necessitates the measurement of the contact forces occurring between the adjacent rolls. Especially for this application a 2-axis force sensor – designed in the form of a spoked wheel – has been developed and integrated into the actuator system. This principle can be easily transferred to similar applications, e.g. the adjustment of the dancing roller for the control of the web tension.



Halbleiterfertigung

Semiconductor Manufacturing Equipment

Kristallziehanlage

Schleich-Eilgang-Antrieb

- Sonderantrieb
- Schleich-Eilgang-Antrieb

Die neueste Generation der 300 mm Silizium-Wafer stellt besondere Ansprüche an Kristallziehanlagen. Für die Wafer werden zunächst Einkristalle von 300 mm Durchmesser gezogen. Hierbei wird ein ausgewählter Impfkristall vorsichtig mit der Schmelzoberfläche hochreinen Siliziums in Berührung gebracht und langsam kontrolliert herausgezogen. An den Rändern des Kristalls wächst eine monokristalline Struktur heran. Die Gleichförmigkeit des Laufverhaltens ist dabei entscheidend für die Güte des Einkristalls. Der Impfkristall wird mit einer Geschwindigkeit von wenigen Zentimetern pro Stunde aus dem geschmolzenen Silizium herausgezogen. Die Drehbewegung des Tiegels wie auch die des Kristalls wird mit einem Schleich-Eilgang-Antrieb realisiert. Im Schleichgang während des Ziehvorgangs wird mit einer Gesamtuntersetzung von 5.000:1 die extrem langsame Geschwindigkeit für das kontrollierte Kristallwachstum erreicht. Der Antrieb besteht aus einem **FHA**-Hohlwellenantrieb und einer **HDGM**-Präzisionsgetriebebox. Die innovative Kombination aus Bremse und Kupplung ermöglicht es, während der Einrichtung der Maschine das Getriebe im Eilgang mit einer Gesamtuntersetzung von 50:1 zu betreiben. Der Circular Spline der **HDGM**-Getriebebox ist nicht fixiert, sondern rotiert innerhalb des Gehäuses. Im Eilgang werden Circular Spline und Wave Generator gekoppelt und drehen mit der Abtriebsdrehzahl des **FHA**-Antriebs. Im Schleichgang ist der Circular Spline fixiert und der Wave Generator wird vom Abtrieb des **FHA**-Antriebs angetrieben. Dabei werden die Untersetzungsverhältnisse des **FHA**-Antriebs und der **HDGM**-Getriebebox multipliziert.

Crystal Pulling Machine

Two-speed Range Actuator

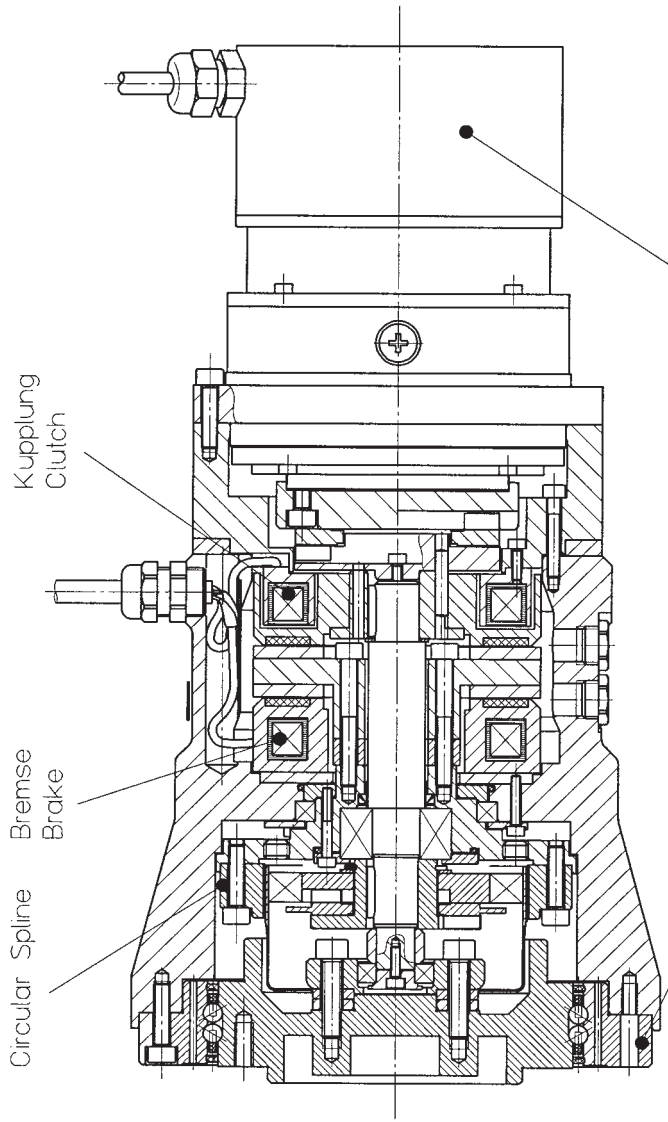
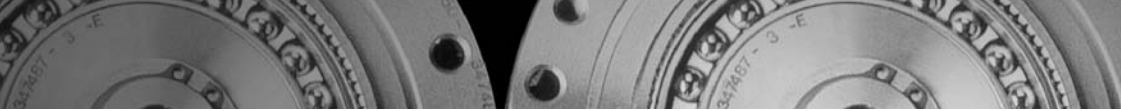
- Special actuator
- Two-speed range actuator

For the latest generation of 300 mm silicon wafers, special demands are made of the machines used to grow the silicon mono-crystals from which the wafers are ultimately produced. A seed crystal is carefully brought into contact with the surface of the molten silicon, and then carefully withdrawn, the mono-crystal growing as a result.

The smooth running of the actuators used to provide this movement is essential to the quality of the crystal and hence the quality of the wafer.

The seed crystal is drawn out of the molten silicon with a speed of a few centimetres per hour. Special two-speed range actuators are used for both the rotational movement of the crucible containing the molten silicon as well as the linear movement of the seed crystal. During creep-feed operation during crystal growth, the extremely slow speed is achieved by a total reduction ratio of 5,000:1. This is provided by an **FHA** hollow-shaft actuator combined with an **HDGM** precision gearbox. The innovative combination of brake and clutch makes it possible to operate the actuator in rapid feed with a ratio of 50:1 during the machine set-up.

As can be seen from the diagram, the Circular Spline of the **HDGM** is not fixed, but rather can rotate within the housing. In rapid-feed mode the Circular Spline and Wave Generator of the **HDGM** are clamped together and rotate with the output speed of the **FHA** actuator. In creep-feed mode the Circular Spline is fixed and the Wave Generator is driven by the output of the **FHA** actuator. In this mode both gear reduction ratios are multiplied together.



Kupplung
Clutch

Bremse
Brake

Circular
Spline

FHA Hohlwellenantrieb
FHA Hollow-shaft actuator

HDGM Getriebebox
HDGM Gearbox

Halbleiterfertigung

Semiconductor Manufacturing Equipment

Beschichtungsmaschine Drehtisch-Antrieb

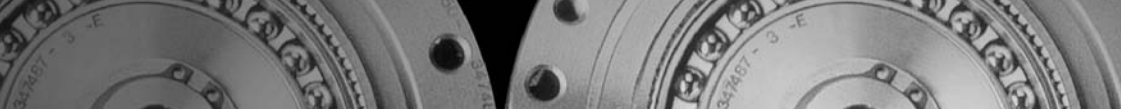
Coating Machine Rotary Table Drive

■ Hohlwellenantrieb

■ Hollow-shaft actuator

Die ruhigen Laufcharakteristiken und die kompakte Bauform machen den **CHA**-Hohlwellenantrieb zur idealen Lösung in zahlreichen Maschinen zur Herstellung von Halbleitern. Der **CHA**-Antrieb treibt den Drehtisch einer Beschichtungsmaschine an, mit der eine dünne Schicht auf die Oberfläche von Silizium-Wafern aufgetragen wird. Auffallend an dieser Bauweise ist die Methode, mit der die verschiedenen Versorgungsleitungen durch die Hohlwelle des Antriebs mittels einer Drehdurchführung gelenkt werden. Die Abtriebsseite des Antriebs ist mit ferrofluidischen Kupplungen versehen, um die Vakuumkammer, in welcher der Beschichtungsprozess stattfindet, von der normalen Umgebung abzuschirmen.

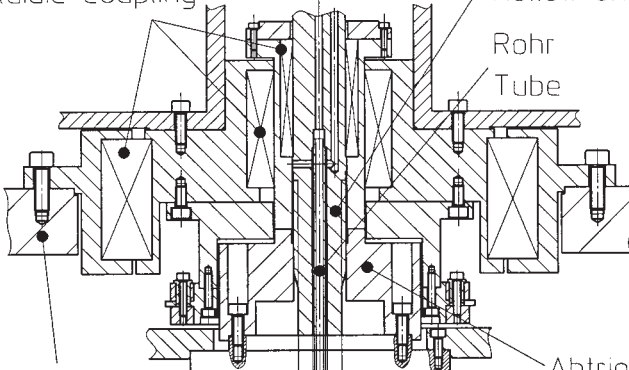
Due to the smooth running characteristics and compact design **CHA** hollow-shaft actuators are used in a wide variety of machines applied in the manufacturing of semi-conductors. This design example shows how the **CHA** actuator is used to drive a rotary table in a coating machine that applies a thin coating to the surface of silicon wafers. An interesting feature of this design is the way in which various services are passed through the central hollow shaft of the actuator by means of a rotary feed-through. At the output side of the actuator ferro-fluidic couplings are used to separate the vacuum chamber, in which the coating process takes place, from the normal environment.



Ferrofluidische Kupplung
Ferro-fluidic coupling

Hohlwelle
Hollow-shaft

Rohr
Tube



Ständer
Base

Abtriebsflansch
Output flange

Verdrehsicherung
Torque link

CHA-Hohlwellenantrieb
CHA Hollow-shaft actuator

Drehdurchführung
Rotary feedthrough

Druckluft/Vakuum-Anschluß
Air pressure/vacuum connection

Halbleiterfertigung

Semiconductor Manufacturing Equipment

Wafer-Handling-Roboter Primärachsen

- Hohlwellenantrieb
- Stahlbandantrieb
- Reinraum-Spezifikation

Die Besonderheit dieses Anwendungsbeispiels besteht darin, dass der **CHA**-Hohlwellenantrieb als Antrieb für die Primärachse in die Grundachse des Roboters eingebaut wurde. Der Antrieb der ersten Achse, d. h. vom oberen Armsegment, erfolgt über den oberen Hohlwellenantrieb. Das hoch belastbare Abtriebslager dieses Antriebes kann das gesamte Gewicht des Roboterarms aufnehmen. Die zweite Achse wird vom unteren Antrieb über eine Welle, die durch die Hohlwelle des oberen Antriebs geführt wird, angetrieben. Die Verbindung zum Knickarmgelenk wird durch ein vorgespanntes Stahlband hergestellt.

Der Vorteil dieser Lösung liegt darin, dass durch Integration beider Antriebe in die Grundachse des Roboters die Masse des Arms reduziert und die Dynamik des Roboters erhöht wird.

Die Kabel werden in den Roboterarm geleitet, wodurch sich das gesamte System auch für den Einsatz in Reinraumumgebung eignet. Als Antrieb für die rotierende Handachse wird ein **PMA** Mini-Servoantrieb eingesetzt. Erwähnt werden sollte auch der Einbau des DC Mini-Servoantriebs im Knickarmgelenk des Roboterarms.

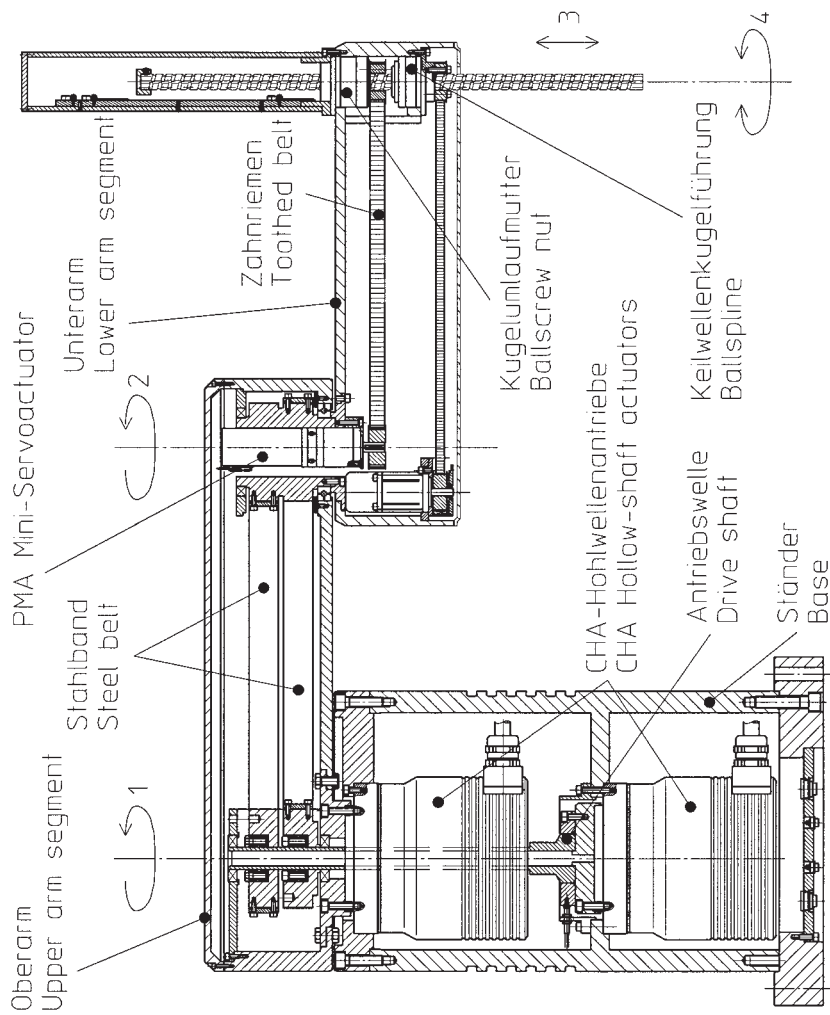
Wafer-handling Robot Primary Axes

- Hollow-shaft actuator
- Steel belt drive
- Clean-room specification

The novel aspect of this design example is that the **CHA** hollow-shaft actuators used as primary axis drives are built into the base of the robot. The first axis, which drives the upper arm segment, is driven by the upper hollow-shaft actuator. The high capacity output bearing of this actuator can support the whole weight of the robot arm. The second axis is driven by the lower actuator via a shaft passing through the hollow shaft of the upper actuator. This is connected to the elbow joint by means of a pretensioned steel belt.

The advantage of this solution lies in the fact that by integrating both actuators in the robot base, the mass of the arm itself is reduced, so enhancing the dynamic performance of the robot.

The cables are led inside the robot arm, which allows application of the whole system under clean-room conditions. The rotational hand axis is driven by a **PMA** series mini servo actuator. A further interesting feature of this design is the incorporation of the DC mini servo actuator inside the elbow joint of the arm.



Halbleiterfertigung

Semiconductor Manufacturing Equipment

Wafer-Handling-Roboter Primärachsen

- Hohlwelle
- Reinraum-Spezifikation

Es wird ein weiteres Beispiel dargestellt, wie die Antriebsmotoren der beiden Grundachsen einer Wafer-Handlingseinheit in das Grundgehäuse integriert werden. Im Schultergelenk befindet sich eine **CPU-H** Unit mit antriebsseitiger Hohlwelle.

In die Hohlwelle ist eine Evolventenverzahnung eingearbeitet. Dadurch kann das Getriebe über eine Stirnradstufe angetrieben werden. Im Ellbogengelenk ist eine **CPU-S** Unit mit Vollwelle integriert. Hier erfolgt der Antrieb über einen Zahnriemen. Der Motor für dieses Gelenk wurde ebenfalls in der Grundachse des Roboters montiert. Aufgrund der hohen Steifigkeit können die Kreuzrollenlager beider Units das Gewicht des Roboters aufnehmen.

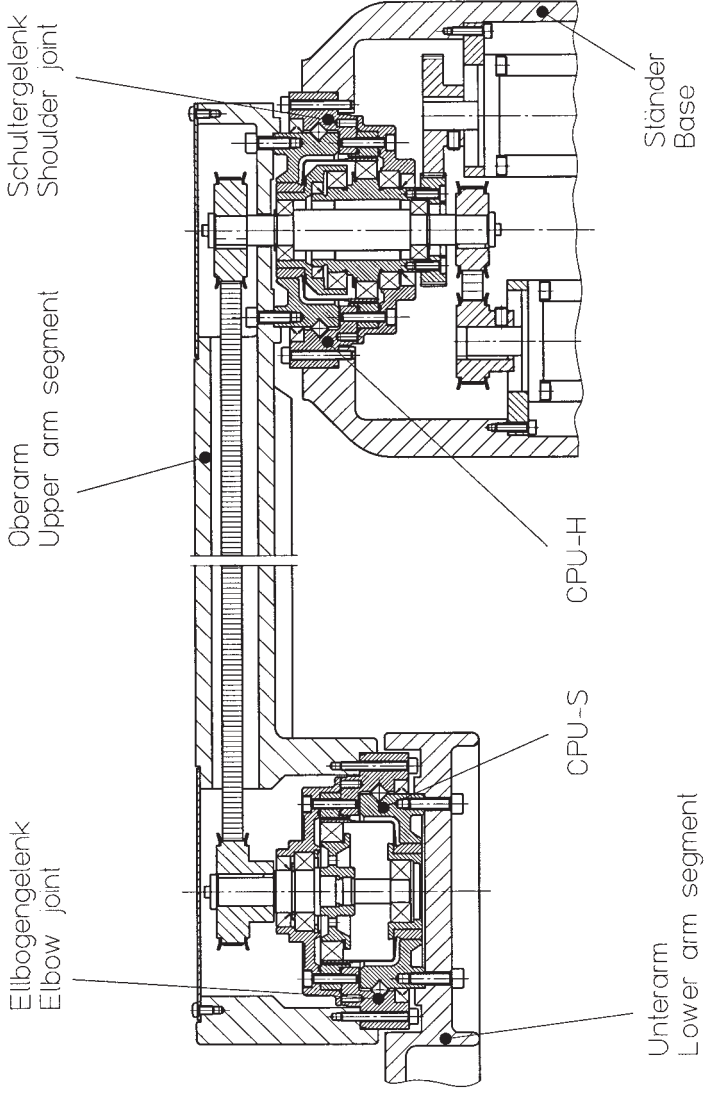
Der Vorteil dieser Antriebsanordnung liegt darin, dass die bewegten Massen im Roboterarm erheblich reduziert werden, weil der Motor des Ellbogengelenkes in der Grundachse des Roboters untergebracht werden kann.

Wafer-loading Robot Primary Axes

- Hollow shaft
- Clean-room specification

This design example shows another method of integrating the motors for the primary axes of a wafer-loading device within the base of the robot. The shoulder joint features an **CPU-H** unit with hollow-input shaft. This has a special design, with involute gear teeth machined directly into the shaft. This enables this gear to be driven via a spur gear stage.

The elbow joint features an **CPU-S** unit with solid input shaft. This gear is driven via a toothed belt. The motor for this joint is also mounted in the base of the robot. The drive is transmitted through the shoulder axis gear by means of a shaft, which passes through the hollow shaft of the **CPU-H** unit. The weight of the robot arm is supported by the stiff cross roller bearings of both units. This solution has the benefit of reducing the mass of the arm by bringing the motor for the elbow joint within the base of the robot.



Holzbearbeitungsmaschinen

Woodworking Machines

Bearbeitungszentrum 2-Achs-Fräskopf

Machining Centre Two-axis Milling Head

- Hohlwellenantrieb
- Verlängerte Hohlwelle

- Hollow-shaft actuator
- Extended hollow shaft

Die hohe Drehmomentkapazität, kompakte Bauform und hohe Genauigkeit der **CHA**-Hohlwellenantriebe sind die wesentlichen Gründe für den Einsatz dieser Antriebe in Holz- und Kunststoffbearbeitungsmaschinen, z. B. im 2-Achs-Fräskopf eines 5-Achs-Bearbeitungszentrums. Die **CHA**-Antriebe werden für beide Drehachsen benutzt. Die Hochfrequenz-Spindel ist direkt mit dem Abtriebsflansch des Antriebs der fünften Achse verbunden.

Insgesamt handelt es sich hier um eine sehr einfache, aber elegante Antriebslösung, die durch die verlängerte Hohlwelle des oberen Antriebs noch weiter vereinfacht wird. Da die Hohlwelle mit dem Abtriebsflansch verbunden ist, kann sie zum Betätigen des End- und Referenzschalters benutzt werden. Dadurch verringert sich der Verkabelungsaufwand und die Schalter werden gegen Beschädigung geschützt. Das mit dieser Antriebslösung erzielte geringe Gewicht des Fräskopfes bringt weitere Vorteile für die Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung, bei der die Geschwindigkeit und Beschleunigung der drei Linearachsen sehr hoch sind und die bewegten Massen auf ein Minimum reduziert werden müssen.

High torque capacity, compact design and high accuracy make **CHA** hollow-shaft actuators ideal for use in machines for machining of wood or plastic. This design example shows a two-axis milling head from a 5-axis machining centre. **CHA** actuators are used for both rotational axes. The high-frequency spindle is connected directly to the output flange of the 5th axis actuator. The cables from the spindle pass through the hollow shaft of the actuator.

This is a very simple and elegant design which is made even easier by a special elongated hollow shaft of the upper actuator. The hollow shaft is connected to the output flange and can therefore be used to actuate the limit and reference switches. This means a reduced effort for wiring and it also protects the switches from damage. Importantly, the complete head is very light, which is an essential feature for high-speed machining, where the velocity and acceleration of the three linear axes are very high and moving masses must be kept to a minimum.

Holzbearbeitungsmaschinen

Woodworking Machines

Bearbeitungszentrum Sägeaggregat

Machining Centre Sawing Attachment

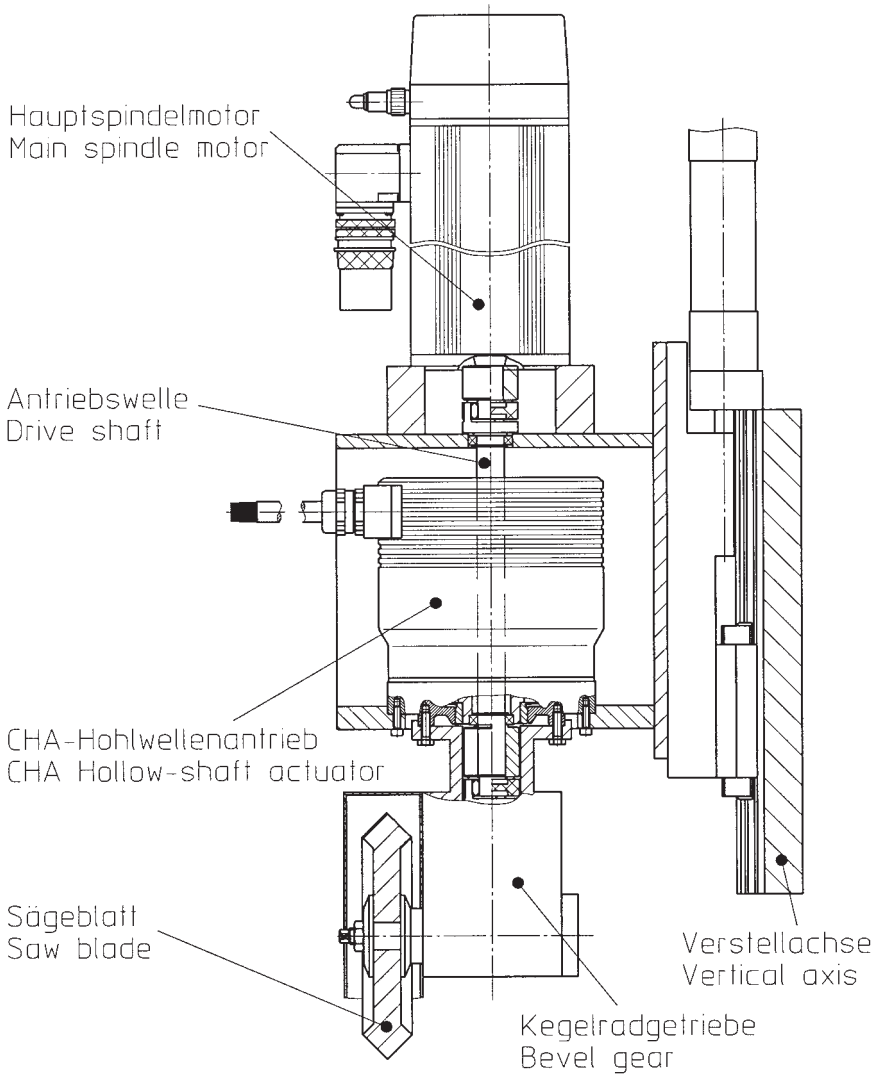
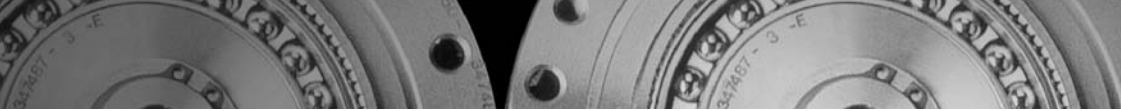
■ Hohlwellenantrieb

In diesem Beispiel wird eine weitere Möglichkeit zur konstruktiven Einbindung eines **CHA**-Hohlwellenantriebes vorgestellt. Hierbei handelt es sich um ein Sägeaggregat einer Holzbearbeitungsmaschine, das über den Hohlwellenantrieb angetrieben wird. Die ursprüngliche Lösung beruhte auf einem Schneckengetriebe, wobei der Motor der Hauptspindel mit dem Abtrieb des Schneckengetriebes verbunden und das Sägeblatt direkt an den Motor der Hauptspindel angeschlossen war. Diese Antriebsanordnung brachte jedoch gewisse Probleme mit sich. Zum einen konnte der gesamte Arbeitsraum der Maschine nicht benutzt werden, da der Spindelmotor Platz zum Drehen benötigt. Zum anderen wurde die Dynamik der Achse begrenzt, weil der Spindelmotor geschwenkt werden musste. Bei der neuen Konstruktion dagegen wird die Verbindung zwischen Spindelmotor und Sägeblatt über den **CHA**-Hohlwellenantrieb hergestellt. Der Spindelmotor ist feststehend und an das Gehäuse montiert, welches den **CHA**-Antrieb umschließt. Das Sägeblatt ist mit einer Kegelradgetriebebox verbunden und nur diese wird geschwenkt. Ein weiterer Vorteil ist die deutliche Vergrößerung des Arbeitsraumes aufgrund der wesentlich geringeren Abmessungen des neuen Aggregats.

■ Hollow-shaft actuator

This design example shows another use for the hollow shaft of an **CHA** actuator. In this case the actuator is used to rotate the sawing attachment of a woodworking machine. The previous solution featured a worm gear and the main spindle motor was attached to the output of the worm gear and the saw blade was connected directly to the main spindle motor. This solution was problematic for a number of reasons. First, the complete machining area of the machine could not be used, because room had to be left to allow the spindle motor to be rotated. Secondly, the dynamic performance of the axis was limited because the spindle motor had to be rotated with the saw blade.

The new design uses the hollow shaft of the **CHA** actuator to connect the main spindle motor to the saw blade. The spindle motor is now static, mounted on a housing enclosing the **CHA** actuator. The saw blade is connected to a bevel gearbox and only this must be rotated so improving the dynamic performance. Furthermore, the available working area of the machine is much increased, because the „footprint“ of the new design is much smaller.



Holzbearbeitungsmaschinen

Woodworking Machines

Bearbeitungszentrum

C-Achse für Hochleistungs-Fräskopf

- Spezielles Kreuzrollenlager
- Hohlwelle

Im Bereich von Holzbearbeitungsmaschinen zeichnet sich ebenfalls ein Trend ab zu 5-Achs-Maschinen zum Freiform-Bearbeiten von komplexen Werkstücken oder die Komplettbearbeitung von großen Werkstücken, wie z. B. Klavier-Rahmen. Diese Maschinen sind oftmals mit leistungsstarken Frässpindeln ausgestattet und üblicherweise gibt es einen großen Abstand zwischen Werkzeugspitze und der Lagerung der C-Achse des Fräskopfes. Daraus ergeben sich häufig große Kippmomente, die auf die Lagerung der Getriebe-Unit oder den Antrieb der C-Achse wirken.

Wenn die erwarteten Kippmomente die Kapazität einer Harmonic Drive Unit bzw. eines Antriebs in Standardausführung übertreffen, kann ein Lager mit entsprechend höherer Kapazität verwendet werden.

Wie aus der Zeichnung deutlich wird, verfügt der **HFUS** Einbausatz über eine große Hohlwelle, die durch eine vorgespannte Kugellageranordnung gestützt wird. Diese Lagerung kann die radialen Kräfte des Zahnriementriebes stützen, der üblicherweise dazu genutzt wird, um die Hohlwelle (die als Antriebswelle fungiert) mit dem Motor zu verbinden. Bei dieser kundenspezifischen Unit haben die Dichtungen eine spezielle Anordnung. Das groß dimensionierte Kreuzrollenlager sorgt für eine hohe axiale und radiale Führungsgenauigkeit sowie sehr hohe Kippsteifigkeit. Der innere Ring des Kreuzrollenlagers verbindet die Unit mit der Last (in diesem Fall bildet der Circular Spline das Abtriebsselement) und der äußere Ring verbindet die Unit mit dem Maschinengehäuse (der Flexspline ist dabei das feststehende Element des Getriebes).

Machining Centre

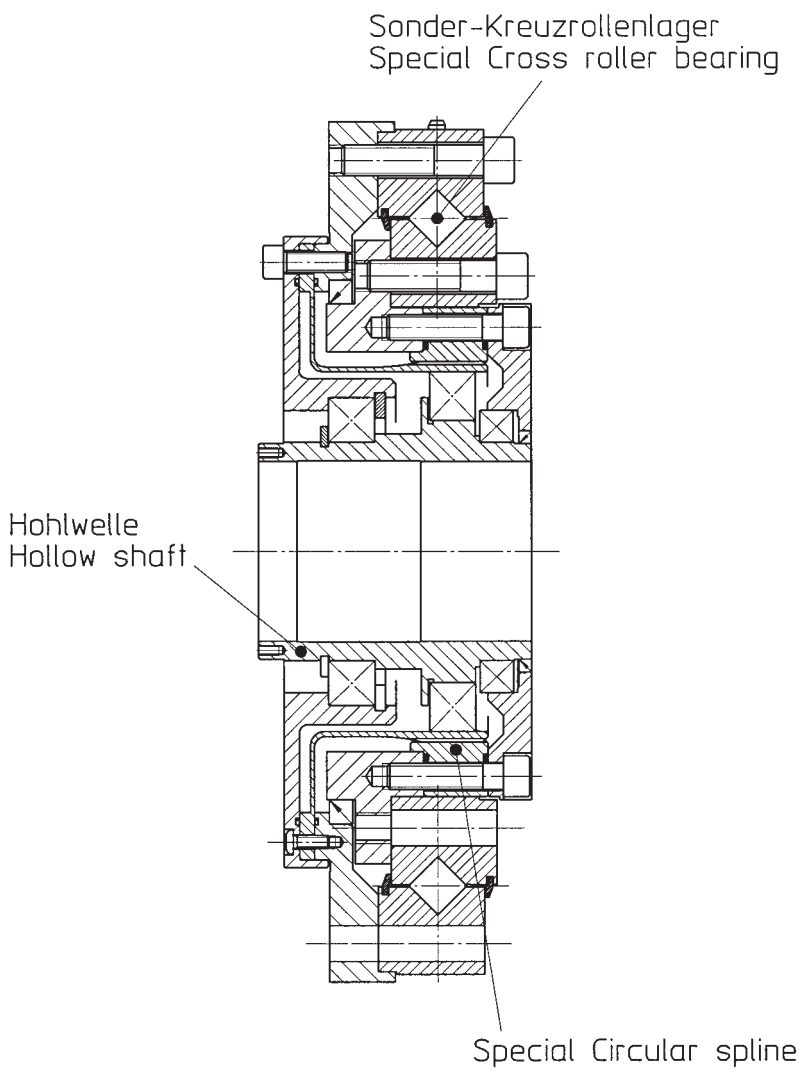
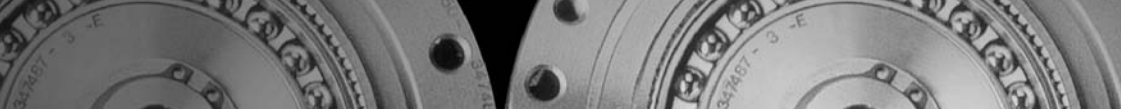
C-Axis for Heavy Duty Milling Head

- Special cross-roller bearing
- Hollow shaft

In the field of woodworking machines there is also a trend to 5-axis machines for the machining of complex workpieces with free-form surfaces or for the complete machining of large workpieces, for example the frames of pianos. These machines are often equipped with powerful milling spindles and typically there is a large distance between the tool tip and the bearing support of the C-axis of the milling head. This results in large tilting moments acting at the bearings of the unit or actuator driving the C-axis.

If the expected tilting moments exceed the capacity of standard Harmonic Drive units or actuators then it is possible to adapt a larger capacity bearing.

As can be seen from the drawing the **HFUS** component set features a large diameter hollow shaft supported by a pre-loaded ball bearing arrangement. These bearings can support the radial forces from the toothed belt drive, that is typically used to connect the hollow shaft (which acts as input-shaft) to the motor. This customized unit also features a special sealing arrangement. The large diameter cross-roller bearing provides both very low axial and radial run-out, as well as a very high tilting stiffness. The inner ring of the cross-roller bearing is used to connect the unit to the load (in this case the Circular Spline is the output element) and the outer ring is used to connect the Unit to the machine housing (the Flexspline is, in this case, the fixed element of the gear).



Holzbearbeitungsmaschinen

Woodworking Machines

Bearbeitungszentrum Tellermagazin

Machining Centre Disc-type Tool Magazine

- Hohe Drehmomentkapazität für Dynamik
- Kompaktheit

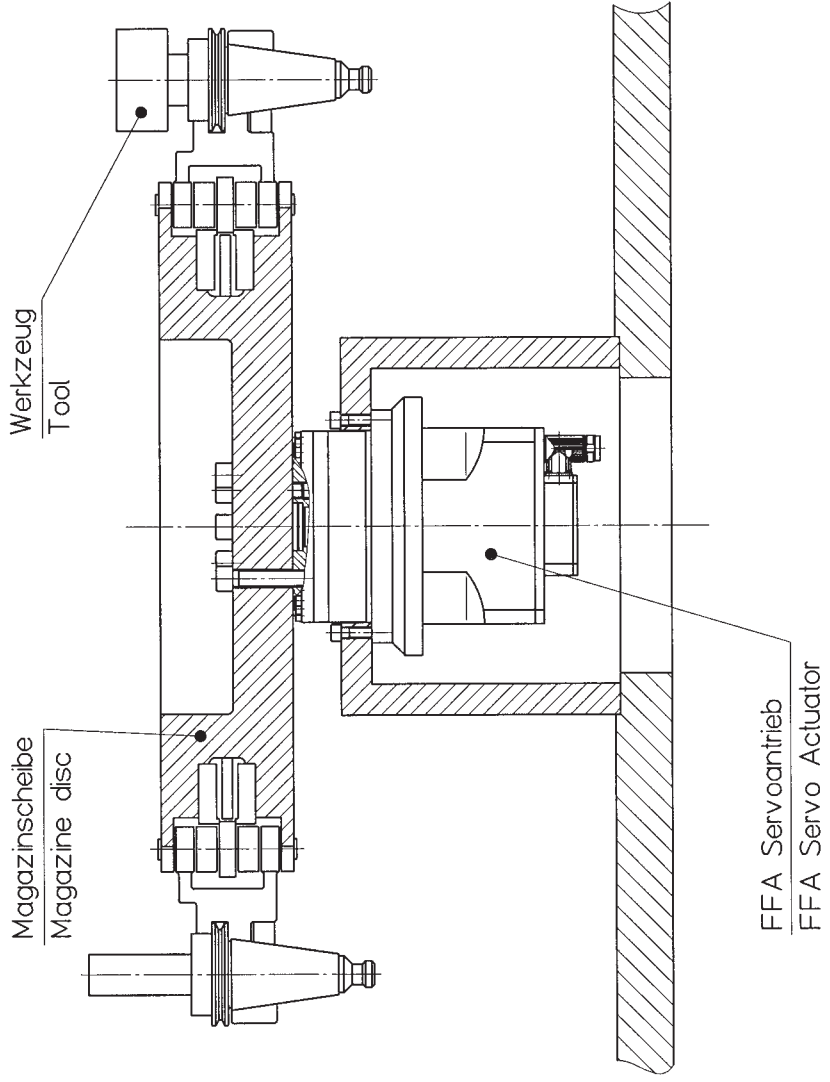
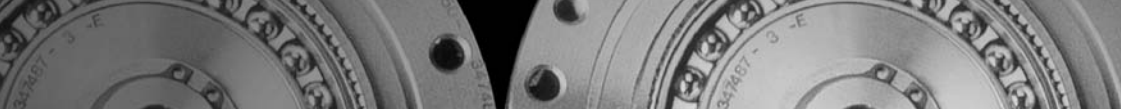
- High torque capacity for fast acceleration
- Compact design

Werkzeugmagazine stellen mittlerweile eine Standardbaugruppe bei Bearbeitungszentren und Fräsmaschinen dar. Es gibt verschiedene Konzepte, aber das Tellermagazin ist die bevorzugte Lösung für Maschinen mit bis zu 32 Werkzeugen. Für eine höhere Werkzeugzahl wird häufig ein Kettenmagazin eingesetzt. Die Massenträgheit des Tellers und der darauf getragenen Werkzeuge ist oft sehr hoch und kann, abhängig von der aktuellen Bestückung, stark variieren. Die schnellen Taktzeiten und veränderbaren Lastträgheiten erfordern Servoantriebe mit einer hohen Untersetzung und einer hohen Drehmomentkapazität. Dies ist daher eine ideale Anwendung für den kompakten **FFA** Servoantrieb.

Die kleinen Abmessungen der **FFA** Servoantriebe sind besonders wichtig in Anbetracht der aktuellen Nachfrage nach sehr kompakten Maschinenkonstruktionen. Die hohe Drehmomentkapazität ermöglicht ein hochdynamisches Takten und die hohe Getriebeuntersetzung führt dazu, dass die dynamische Leistung des Tellermagazins vom Massenträgheitsmoment unabhängig wird. Die hohe Verdrehsteifigkeit des Harmonic Drive Getriebes bewirkt, dass keine weitere Indexier Vorrichtung benötigt wird, um den Teller während des Werkzeugwechsellvorgangs zu halten. Der Servoantrieb kann mit einem Multiturnggeber ausgestattet werden, so dass auf Referenz- und Endschalter verzichtet werden kann. Unterschiedliche Gebervarianten bieten Kompatibilität mit allen gängigen CNC-Steuerungen.

Tool magazines are now a standard feature on machining centres and milling machines. There is a variety of different types of tool magazine, but the disc-type magazine is the preferred solution for machines requiring up to 32 tools. For a larger number of tools a chain-type magazine is most commonly featured. The inertia of the magazine disc and the tools carried is often very high and also can vary considerably, dependent on the number of tools in the magazine at any one time. The fast indexing time required and variable load inertia necessitate compact high reduction ratio actuators with a high torque capacity. This is therefore an ideal application for the **FFA** compact servo actuator.

The small dimensions of the **FFA** actuator are particularly important, given the current trend to more compact machine design. The high torque capacity allows very fast indexing and the high gear ratio means that the dynamic performance of the actuator is largely independent of the load inertia. The high torsional stiffness of the Harmonic Drive gear means that no extra indexing arrangement is necessary to hold the magazine disc when the spindle collects the tool. The actuator can be supplied with a multi-turn encoder, which avoids the need for reference or limit switches. Different encoder variants ensure compatibility with all popular CNC control systems.



Mess- und Prüfmaschinen

Measuring and Testing Machines

Sonder-Messmaschine Zweistufiger Sonder-Drehantrieb

Special Measuring Machine Double Reduction Stage Actuator

- Kombination von HPG und HFUC
- Erweiterter Temperaturbereich

- Combination of a HPG and HFUC
- Extended temperature range

Drehantriebe mit sehr kleinen Abtriebsdrehzahlen bei hohen Momenten erfordern hochuntersetzende Getriebe bei kleinstem Bau- raum. Das Beispiel zeigt einen Schwenkantrieb zum Betrieb in einem Temperaturbereich von -30° bis $+50^{\circ}$ C.

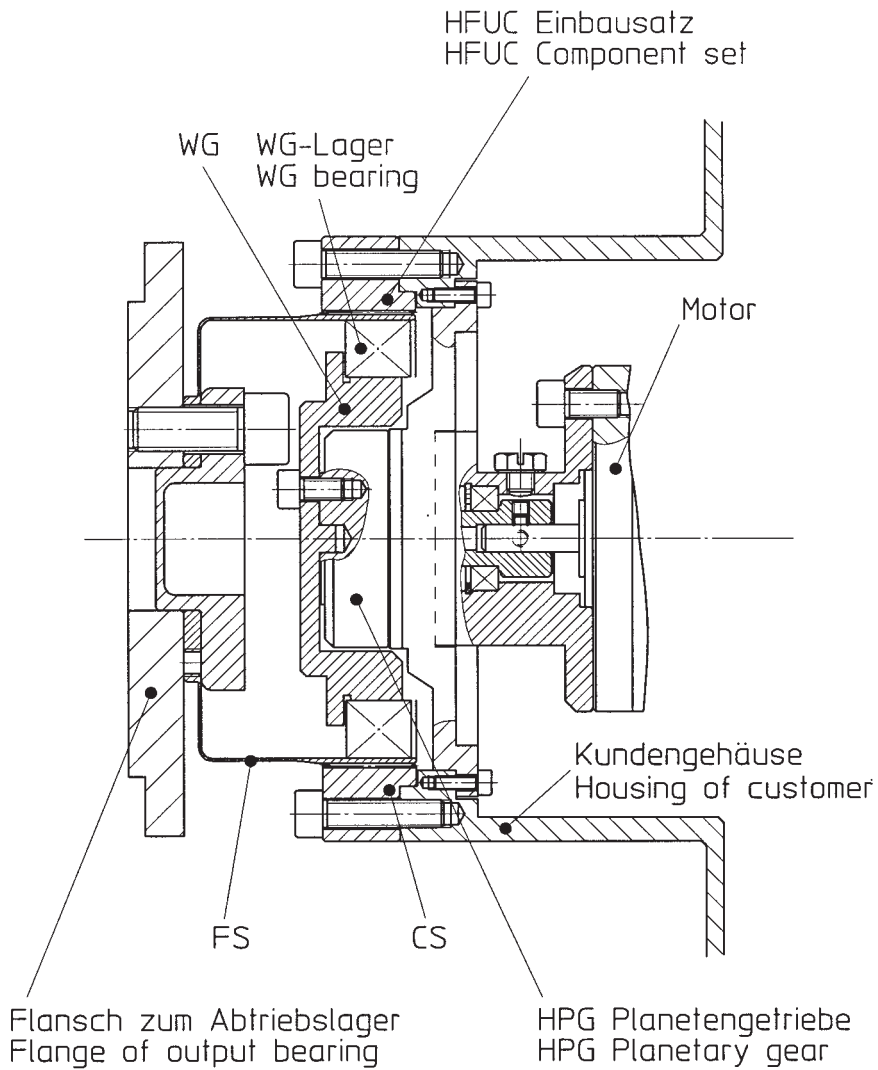
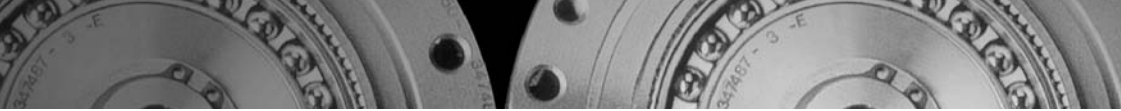
Die Kombination aus **HFUC** Einbausatz ($i = 160$) und **HPG** Harmonic Planetengetriebe ($i = 9$) realisiert eine Untersetzung von 1.440 in zwei Stufen bei kompakten Abmessungen. Aufgrund des zur Verfügung stehenden Bau- raums wurde das **HPG** Getriebe mit einem Sondergehäuse zur direkten Einbindung in die Umgebungsstruktur versehen. Der 24 V DC Motor ist über einen einteiligen, bauraumoptimierten Flansch an das Planetengetriebe angebunden. Der Wave Generator des **HFUC** Einbausatzes ist exakt an die Form des Planetengetriebes angepasst. Die Anbindung erfolgt über die vorhandene Flanschverschraubung, zentriert wird der WG über die vorhandene Zentrierung im Abtriebslager des Planetengetriebes. Beim Betrieb des Getriebes entstehende Axialkräfte am Wave Generator werden durch das Abtriebslager des **HPG** aufgenommen. Über den **HFUC** Einbausatz wird die zweite Stufe der Untersetzung realisiert, wobei der Circular Spline fixiert und der Flexspline als Abtrieb eingesetzt wird. Die Anbindung an die externe Abtriebslagerung erfolgt über einen am Flexpline montierten Flansch.

Die Anwendung erfordert einen erweiterten Temperaturbereich von -30° C bis $+50^{\circ}$ C. Zur Sicherstellung eines störungsfreien Betriebs ist sowohl das **HPG** Getriebe als auch der **HFUC** Einbausatz mit einer Sonderschmierung aus synthetischem Fett ausgeführt.

Rotational actuators working with very low output speeds and high moments of inertia require gears with a very high reduction ratio and a small envelope. This example shows a tilting actuator which is operated in temperatures ranging from -30° to $+50^{\circ}$ C.

The combination of a **HFUC** gear component set ($i = 160$) and a **HPG** Harmonic Planetary Gear ($i = 9$) provides a reduction ratio of 1.440 in two stages with very compact dimensions. Due to the limited space available the **HPG** planetary gear is equipped with a special housing to allow direct integration into the surrounding structure. The 24 V DC motor is connected to the planetary gear using a one-piece flange with optimised dimensions. The form of the Wave Generator of the **HFUC** component set is identical to the form of the planetary gear. The connection is realised through the existing screw connection of the flange. The Wave Generator is centered by means of the existing centering of the output bearing of the planetary gear. Axial forces acting at the Wave Generator during operation are compensated by the output bearing of the **HPG**. The **HFUC** component set is used as the second stage of the gear reduction. In this case, the Circular Spline is fixed and the Flexspline acts as output element. The connection to the external output bearing is provided by means of a flange mounted to the Flexspline.

This application demands an extended temperature range of -30° C to $+50^{\circ}$ C. In order to ensure a trouble-free operation both **HPG** planetary gear as well as the **HFUC** component set are supplied with a special synthetic grease lubrication.



Mess- und Prüfmaschinen

Measuring and Testing Machines

Optische Messmaschine Indextisch

Optical Measuring Machine Indexing Table

- Präzisions-Abtriebslager
- Wave Generator Sonderausführung

- Precision output bearing
- Special Wave Generator

Mit der Einführung von kontaktlosen Messmaschinen für die Qualitätssicherung von rotationsymmetrischen Teilen hat sich eine neue Maschinengeneration etabliert. Das in diesen Messmaschinen eingesetzte optische Messsystem tastet das Profil des Prüflings ab und verzichtet dabei auf den Einsatz eines Fühlers, der die Oberfläche des Teils berührt. Dieses Verfahren wird zum schnellen und präzisen Messen von wellenartigen Komponenten angewandt. Der Prüfling wird auf dem Drehtisch platziert, der das zu messende Teil während des Messzyklusses dreht. In diesem Drehtisch ist eine **CPU-M** Unit integriert, die eine hohe Übertragungsgenauigkeit und eine präzise Lagerung aufweisen muss. Die IH-Verzahnung sorgt dafür, dass das Getriebe die erforderliche Präzision beim Positionieren hat.

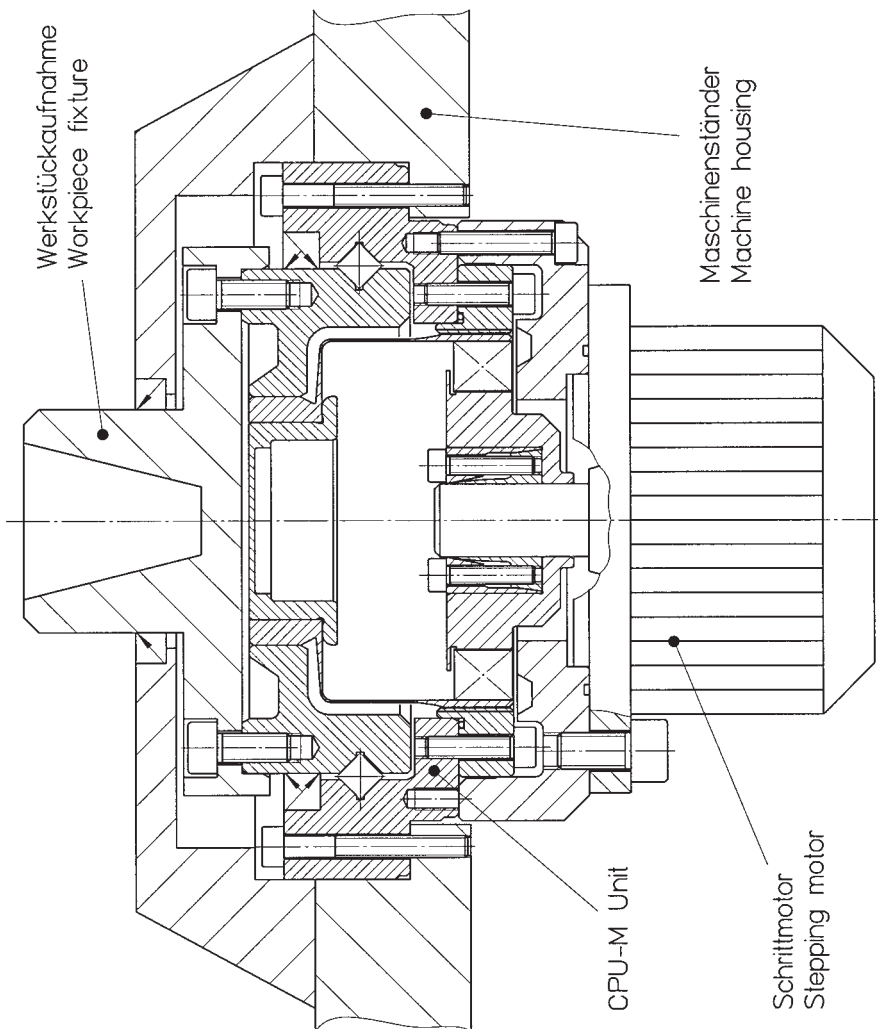
Das Kreuzrollen-Abtriebslager garantiert exzellente geometrische Toleranzen. Dabei ist es entscheidend, dass das Lager geringe Rundlauffehler sowie hohe Präzision im Hinblick auf Parallelität und Koaxialität aufweist, um Fehler zu vermeiden, die das Messergebnis beeinträchtigen können.

Der Antrieb des Getriebes erfolgt über einen Schrittmotor. Dies erfordert den Verzicht auf die Oldham Kupplung im Wave Generator.

An innovative method for the quality control of rotatio-symmetrical parts is now available in the form of non-contacting measurement machines. The optical measuring system used in these machines scans the profile of the specimen without the need for a probe that contacts the surface of the part. This procedure can be used for very fast and accurate measurement of shaft-type components. The specimen is placed on an indexing table, which rotates the part during the measurement cycle. This indexing table incorporates a **CPU-M** unit.

This unit must provide a combination of high transmission accuracy and high bearing accuracy. The IH-tooth profile ensures that the gear provides smooth, highly accurate positioning, while the cross-roller output bearing provides excellent geometric tolerances. It is essential that the bearing exhibits low run-out as well as high accuracy with respect to parallelism and concentricity, to avoid errors influencing the measurement results.

The gear is driven by a stepping motor and it is important to note that in this case the Wave Generator does not include an Oldham coupling.



Mess- und Prüfmaschinen

Measuring and Testing Machines

Universal-Prüfmaschine Torsionsachse

Universal Testing Machine Torsion Axis

■ Vorgespannte Abtriebslager

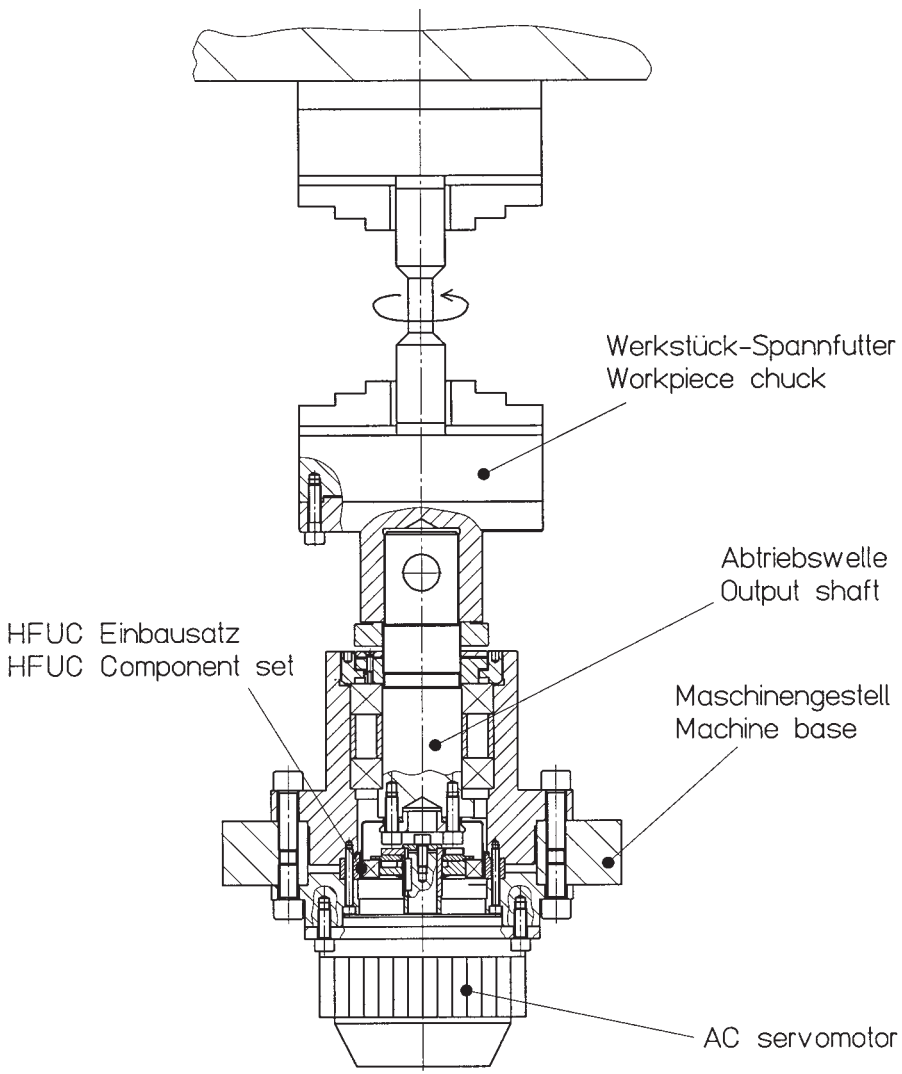
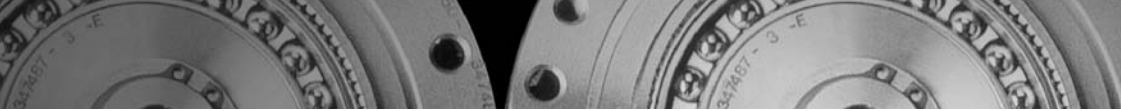
■ Pre-loaded output bearings

Die Material- bzw. Bauteilprüfung ist in vielen Industriebetrieben ein unverzichtbarer Bestandteil der Produktentwicklung und Qualitätssicherung. Zur Prüfung von unterschiedlichsten Materialien werden Universal-Prüfmaschinen eingesetzt. Die Werkstoffe werden auf Zug, Druck, Biegung und Hysterese bei kontinuierlicher, ruhender und schwellender Beanspruchung geprüft. Das Verhalten des Materials wird in jeder Phase der Beanspruchung gemessen und registriert.

Eine Anwendung für den **HFUC**-Einbausatz in Universal-Prüfmaschinen ist der Torsionsantrieb zur Beobachtung des Torsionsverhaltens von Werkstoffen. Dabei sind insbesondere hohe Steifigkeit, hohe Unterersetzung und vor allem Spielfreiheit gefordert, um absolut verlässliche Daten zu ermitteln. Durch die hohe Unterersetzung und hervorragende Übertragungsgenauigkeit des Harmonic Drive Getriebes wird am Abtrieb eine langsame und gleichförmige Drehung der Prüflingsaufnahme auch bei hohen Drehmomenten gewährleistet. Der Einbausatz ist in ein Gehäuse integriert und wird von einem AC-Servomotor angetrieben. Die Abtriebswelle wird durch vorgespannte Kegelrollenlager gestützt.

In many industrial sectors the testing of materials and piece parts is an indispensable part of product development and quality assurance. Universal testing machines are used to test specimens in tension, compression, bending and hysteresis under conditions of continuous, dead and swelling strain. The material's behaviour is measured and documented at every stage of the straining process.

This design example shows how a **HFUC** component set has been applied in the torsion axis of a universal testing machine. This axis is used to measure the torsional stiffness of material specimens. In this application particular importance is attached to high stiffness, high reduction ratio and above all, zero backlash. The latter feature is essential to ensure that the measured data is completely reliable. The high reduction ratio and excellent angular transmission characteristics of the Harmonic Drive gear ensure a slow and even rotation of the specimen, even under heavy torque loads. The component set is mounted in a housing and is driven by an AC servo motor. The output-shaft is mounted in stiff pre-loaded taper roller bearings.



Streicheinheit Linearantrieb

■ Sonderantrieb

Harmonic Drive Getriebe sind bestens geeignet für die Integration in Linearantriebe, die immer dann zum Einsatz kommen, wenn hohe Linearkräfte und eine außergewöhnlich hohe Genauigkeit gefordert sind. Eine interessante Anwendung ist die Streicheinheit einer Papierveredelungsmaschine.

Die Einstellung der Kammleisten zur Schichtdickenregulierung der Beschichtungsmedien (z. B. Lack) wird hier mittels **HDPL** Linearantrieb durchgeführt. Die Aufgabe des Linearantriebs besteht darin, einen optimalen Anpressdruck der Kammleisten zu gewährleisten. Die auftretenden Stellkräfte (Zug und Druck) pro Linearantrieb betragen bis zu 10 kN.

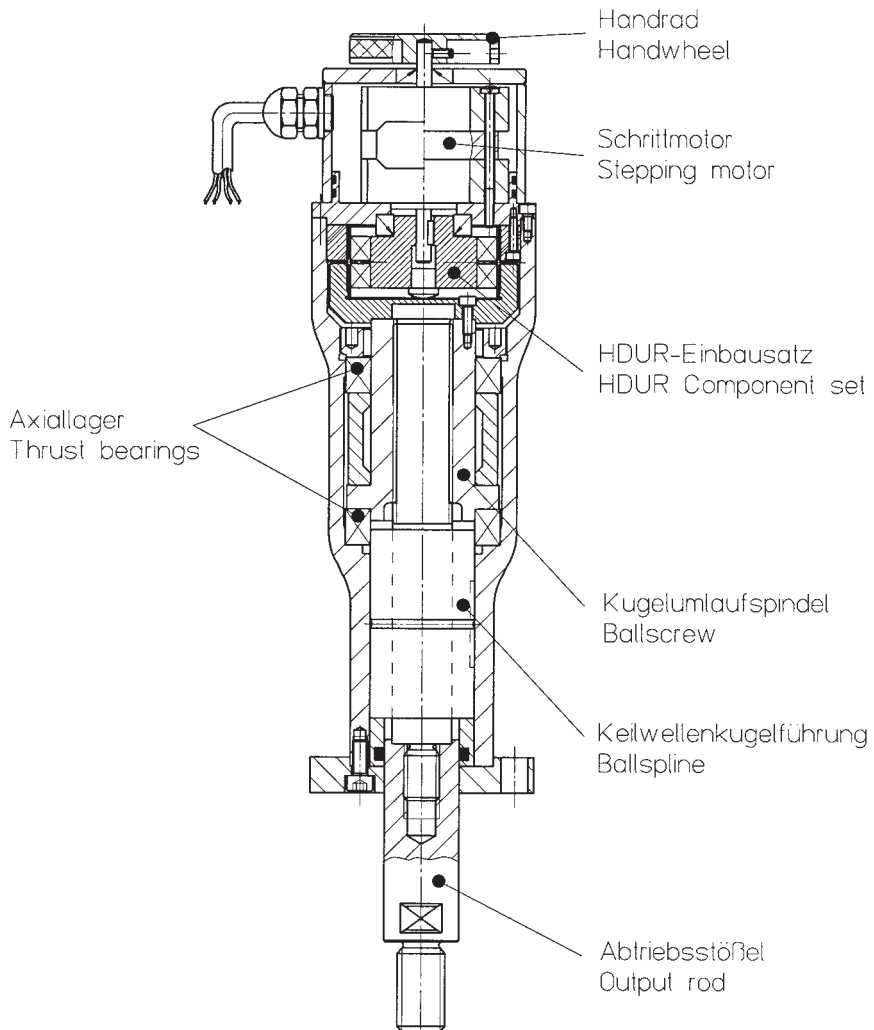
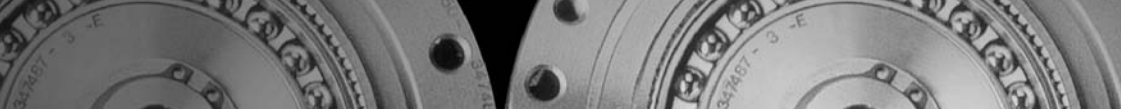
In der Zeichnung ist die Grundkonstruktion dieses Sonderantriebes dargestellt. Der Antrieb erfolgt über einen Schrittmotor. Die Drehbewegung wird über einen speziell entwickelten **HDUR** Einbausatz an eine Präzisionskugelumlaufspindel übertragen. Diese wandelt die Drehbewegung am Getriebeantrieb in eine präzise Linearbewegung um. Der Stößel ist hierbei in einer spielfrei vorgespannten Linearführung, einem „ballspline“, gelagert. Das Edelstahlgehäuse sorgt für zuverlässigen Betrieb auch in feuchten oder chemisch aggressiven Umgebungen. Das Getriebe ist speziell ausgelegt, um Selbsthemmung zu gewährleisten, so dass ein Abschalten des Motors im Stillstand auch unter Belastung möglich ist.

Coating Unit Linear Actuator

■ Special actuator

Harmonic Drive gears can be used to drive linear actuators for applications demanding high linear forces and exceptionally high accuracy. An interesting application of this type of actuator is in the coating section of a paper machine. The **HDPL** linear actuator is used to accurately control the thickness of varnish applied to the surface of the paper. The actuator positions the coater blade relative to the paper and so controls the coating thickness. The coater blade is pre-loaded and the actuator must apply adjustment forces of up to 10 kN in both tension and compression.

The drawing shows the basic design of this special actuator. The actuator is driven by a stepping motor and the motor rotation is transmitted to a precision ballscrew via a specially developed **HDUR** component set. The ballscrew converts the rotary motion at the gear output into a precise linear motion which is guided by means of a pre-loaded ballspline. The stainless steel housing enables reliable operation in humid or chemically corrosive environments. The gear is specially designed to provide the actuator with self-locking characteristics, which allow the motor to be switched off when the actuator is at a stand-still, even under load.



Stoffauflauf Ventilantrieb

- Sonderantrieb
- Ventilantrieb

Harmonic Drive Getriebe eignen sich hervorragend in **HDVA** Ventilantrieben, die typischerweise zur Einstellung der Spaltbreite an der Stoffauflauflippe einer Papiermaschine eingesetzt werden. Die Ventilverstellung erfolgt über einen Schrittmotor mit Encoder, welcher mit einem **HDUC** Einbausatz kombiniert ist. Das Getriebe garantiert Präzision und Spielfreiheit während der gesamten Lebensdauer des Antriebs.

Das aus Edelstahl gefertigte Gehäuse des Antriebs bietet Dichtungseigenschaften gemäß Schutzklasse IP65.

Da die Abtriebswelle eine besondere Bauform aufweist, durch welche die Lager um den Flexspline herum angeordnet werden, konnte eine kurze axiale Baulänge realisiert werden.

Der Antrieb verfügt über ein Handrad zur manuellen Einstellung im Fall eines Stromausfalls.

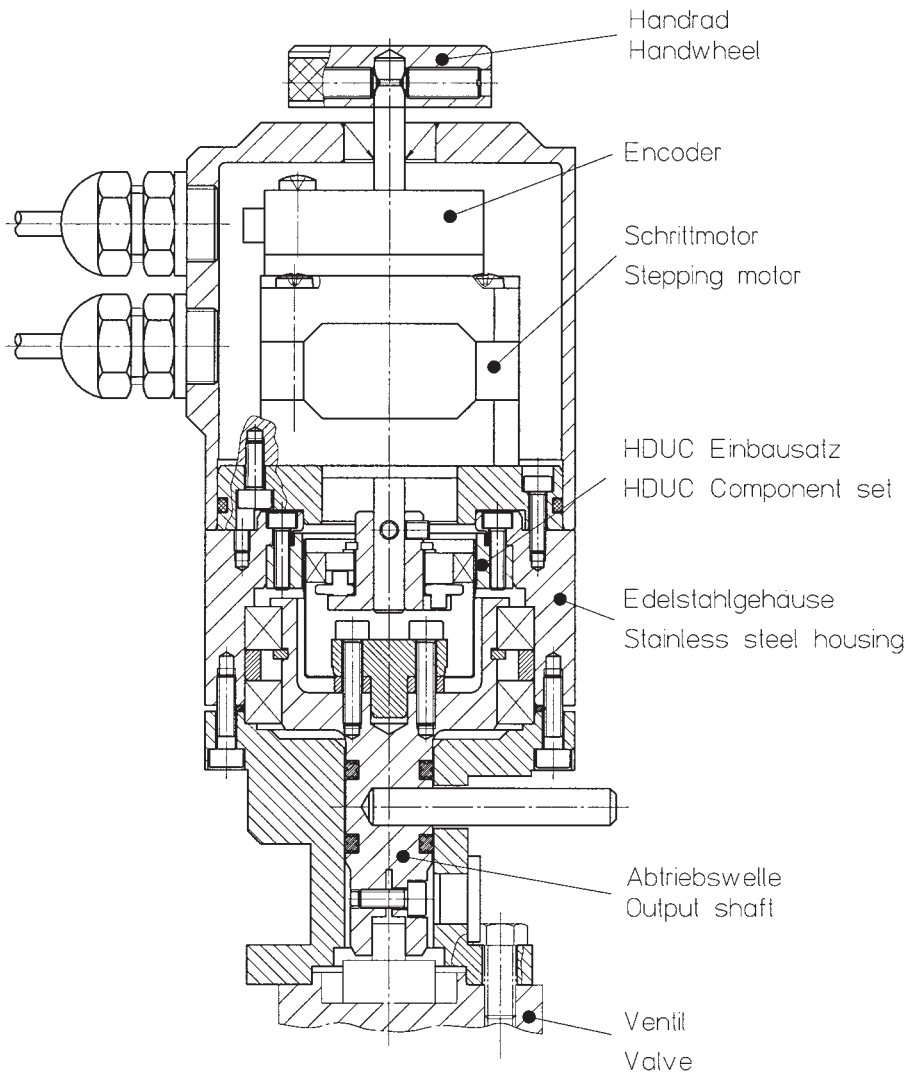
Headbox Valve Actuator

- Special actuator
- Valve actuator

Harmonic Drive gears are ideal for use in **HDVA** valve actuators as typically applied to the regulation of the pulp consistency in the headbox of paper machines. The valve adjustment is effected by a stepping motor with encoder feedback combined with a Harmonic Drive **HDUC** component set. This gear ensures precise and backlash-free positioning during the whole operating life of the actuator.

The housing of the actuator is manufactured from stainless steel and has a special sealing arrangement to provide IP 65 protection. In order to achieve a short axial length, the output-shaft features a special design with the support bearings located outside the Flexspline.

As shown in the drawing, the actuator features a handwheel to allow manual adjustment in the event of a power failure.



Röntgenanlage C-Bogenantrieb

- Baugruppe
- Integriertes Abtriebslager

Im medizinischen Bereich spielt es oftmals eine große Rolle, dass die hochuntersetzten Getriebe äußerst geräuscharm arbeiten. Aus diesem Grund werden Harmonic Drive Getriebe in zunehmendem Maße in medizinischen Geräten eingesetzt.

Im gezeigten Beispiel wurde der C-Bogenantrieb einer Röntgenanlage mit einer **HFUC-2UH** unit bestückt. Mit Hilfe des beweglichen C-Bogens wird die Röntgenquelle genauestens über dem zu untersuchenden Körperbereich positioniert. Das komplette C-Bogen-Antriebssystem, bestehend aus Grundplatte, DC-Motor, Harmonic Drive Präzisionsgetriebe und Absolutmesssystem wurde gemeinsam mit dem Kunden konzipiert und entwickelt.

Besonderes Augenmerk bei dieser Konstruktion sollte auf die Eingangswelle gelenkt werden, die durch das Flanschlager der Unit geführt wird. Der Flansch ist in diesem Fall fixiert und das Gehäuse der Unit, welches den Circular Spline beherbergt, wird als Abtriebslement genutzt.

Eine weiteres interessantes Merkmal ist die Verwendung einer Bremse, die an der erweiterten Eingangswelle befestigt ist. Diese wurde aus Sicherheitsgründen installiert, um die Eingangswelle zu halten, selbst wenn der Riemen zwischen Motor und Eingangswelle ausfallen sollte.

X-Ray Machine C-Beam Drive

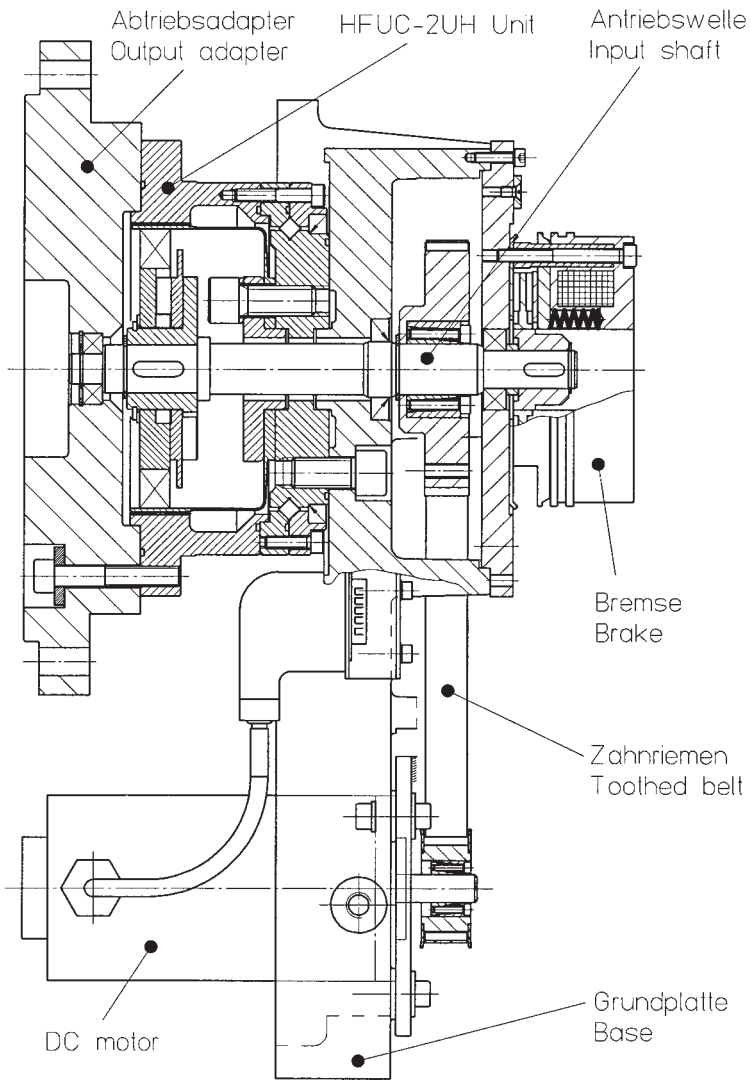
- Sub-assembly
- Integrated output bearing

In medical equipment it is often essential that high reduction ratio gears are particularly quiet in operation. For this reason Harmonic Drive gears are applied in an increasing range of medical devices.

This design example shows how an **HFUC-2UH** unit is used to drive the C-beam of an X-ray machine. The moveable C-beam is used to position the X-ray source precisely above the body of the patient. In this case the complete C-beam sub-assembly, comprising the housing, DC servo motor, Harmonic Drive precision gear and absolute measuring system was designed and developed in close cooperation with the customer.

A particularly interesting design feature is the use of an input shaft that passes through the flange bearing of the unit. In this application the flange is fixed and the housing of the unit, which incorporates the Circular Spline, is used as the rotating output element.

A further feature is the use of a brake attached to the extended input shaft. This is used for safety reasons to hold the input to the gear, should the belt between motor and input shaft fail.



Stereotaktischer Manipulator Drehachse

Stereotactic Manipulator Rotary Axis

- Präzisions-Abtriebslager
- Hohlwelle

- Precision output bearing
- Hollow shaft

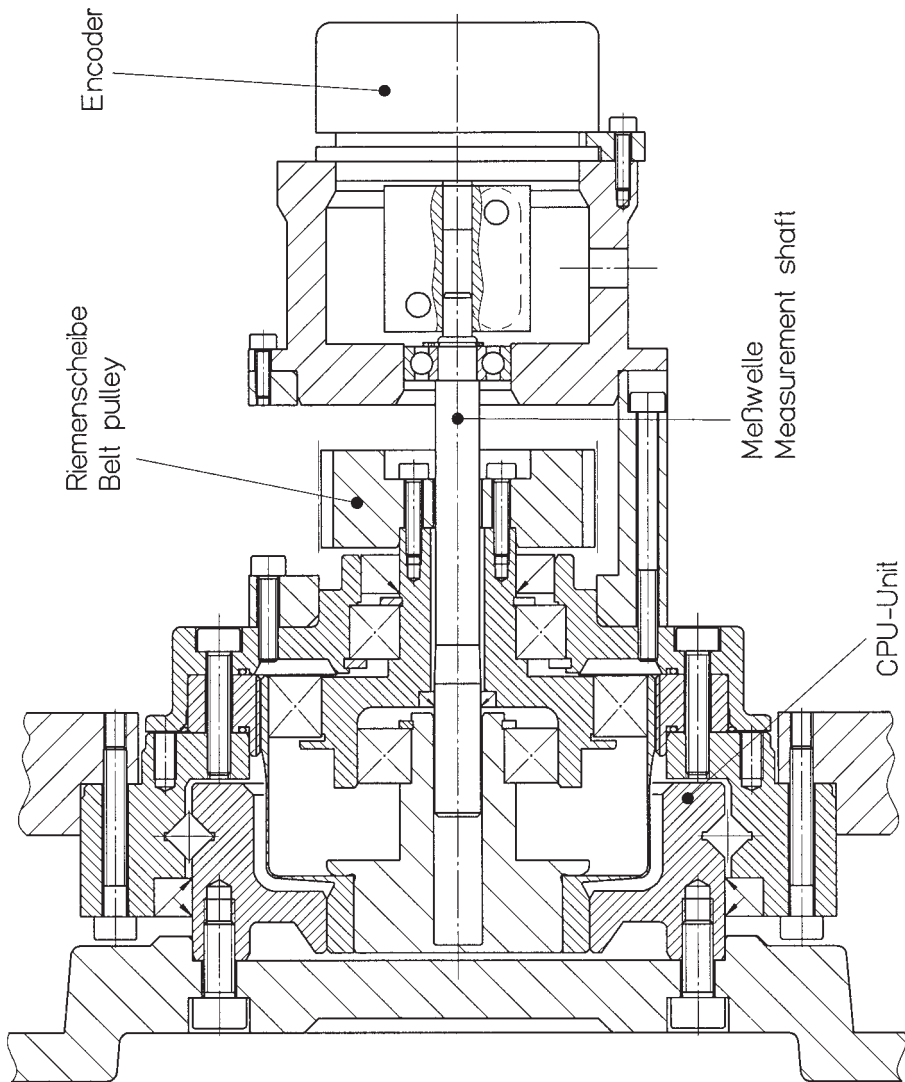
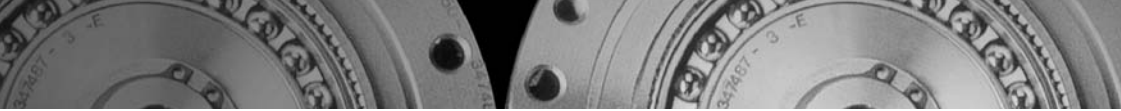
Im Bereich der Medizintechnik bieten sich viele interessante Anwendungen für Harmonic Drive Produkte an. Eine besonders anspruchsvolle Anwendung stellen die Drehachsen eines stereotaktischen Manipulators in der Gehirnochirurgie dar. Der Manipulator besteht aus einem sechssachsigen Roboterarm, der als Stütze für das Operationsmikroskop des Chirurgen dient. Während der Operation sieht der Operateur im Mikroskop sowohl das aktuelle Bild wie auch die Dateneinspielung des zuvor berechneten Operationsverlaufs.

CPU-Units steuern alle sechs Achsen. Diese Konstruktion zeigt eine spezielle Hohlwellenausführung. Eine Welle, die mit dem Abtriebsflansch verbunden ist, wird durch die Unit hindurch an einen hochauflösenden Encoder geführt. Dieses direkte Abtriebs-Messsystem wird aus Gründen der Sicherheit eingesetzt. Der Antrieb des Wave Generators erfolgt über einen Zahnriemen. Der Motor ist parallel zur Getriebebox angeordnet. Das Grundkonzept dieser Antriebslösung ist auch auf andere Anwendungsbereiche übertragbar.

In Präzisions-Werkzeugmaschinen oder Messmaschinen, bei denen eine außergewöhnlich hohe absolute Positioniergenauigkeit erforderlich ist, wird ebenfalls diese Art der Rückmeldung verwendet.

Medical equipment is the scene for many interesting new applications for Harmonic Drive technology. A particularly demanding application is in the rotary axes of a stereotactic manipulator used for brain surgery. The manipulator is a six-axis robotic arm that supports the operating microscope used by the surgeon. As the operation progresses the microscope superimposes computer data on the actual view of the operating area, acting as a „head-up display“ to guide the surgeon through the operation.

Each axis features a **CPU** unit. This design example shows a special hollow-shaft design. A shaft connected to the output flange passes back through the unit to a high-resolution encoder. This direct output measurement system is used for reasons of safety. The Wave Generator is driven via a toothed belt and the motor is mounted in parallel to the gearbox. This basic design is also used in other application areas, such as precision machine tools or measuring machines, where exceptionally high absolute positioning accuracy is required.



Satellit

Paddle-Antrieb

- Einbausatz in Leichtbauweise
- Circular Spline Sonderausführung
- Wave Generator Sonderausführung
- Sonderausführung für weltraumtaugliche Schmierung

Das Harmonic Drive Getriebe wurde ursprünglich für den Einsatz in der Luft- und Raumfahrt entwickelt. Die hohe einstufige Untersetzung, die kompakte Bauform und das geringe Gewicht sind ausschlaggebende Vorteile des Harmonic Drive Getriebes für den Einsatz in zahlreichen Satellitenantrieben. In unserem Beispiel wird ein **HFUC** Einbausatz als Paddle-Antrieb eines Satelliten im Bereich der Telekommunikation eingesetzt. Der Einbausatz ist in ein Leichtbau-Gehäuse integriert und wird von einem Bau-satz-Motor angetrieben. Das Getriebe verfügt über einen „Solid“ Wave Generator, und der Flexspline ist mit dem Abtriebsflansch verbunden, welcher von Dünnring-Kugellagern gestützt wird. Der Circular Spline wurde so verändert, dass ein leichter Einbau in das Gehäuse möglich wurde.

Die Hohlwelle wird zur Durchführung von Kabeln vom Paddle genutzt. Im Paddle sind Solarplatten integriert, die zum Laden der Batterie genutzt werden. Der Einbausatz ist aus Edelstahl gefertigt und nutzt eine weltraumtaugliche Fettschmierung.

Satellite

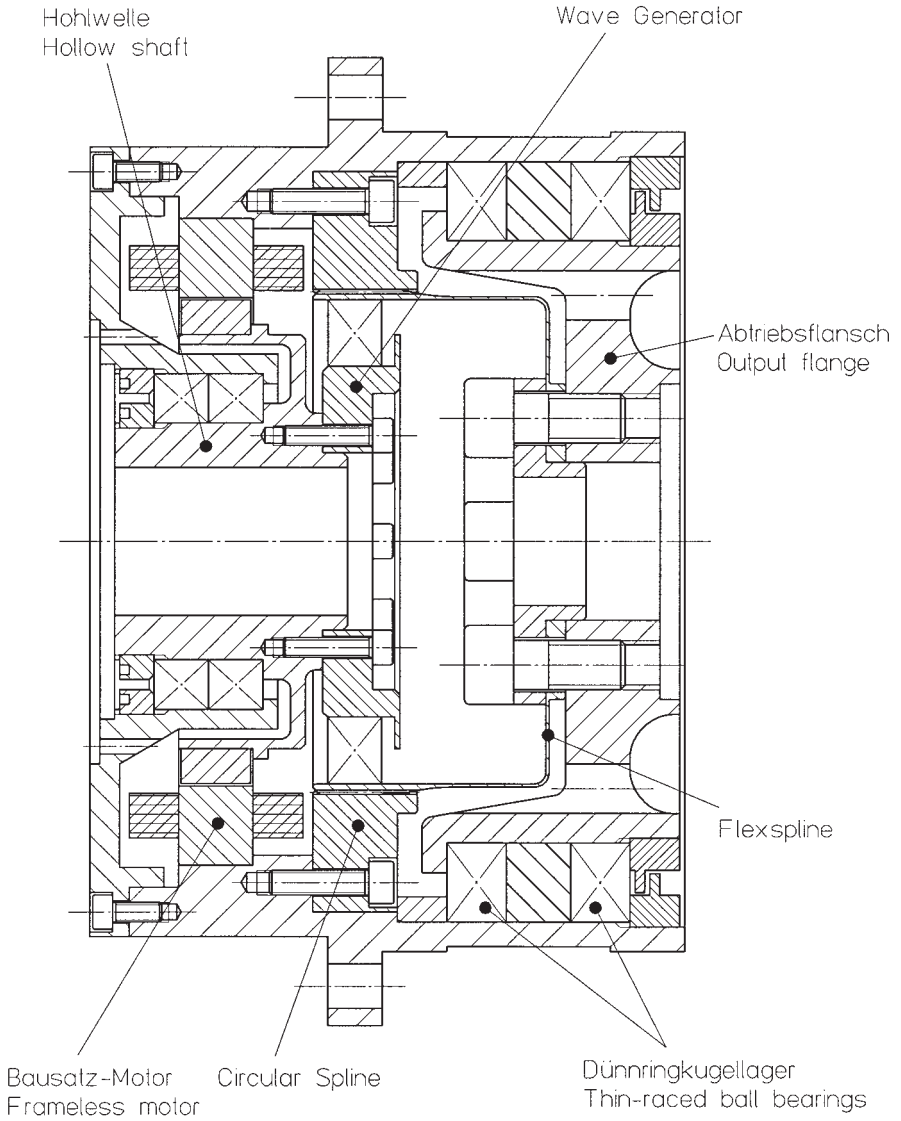
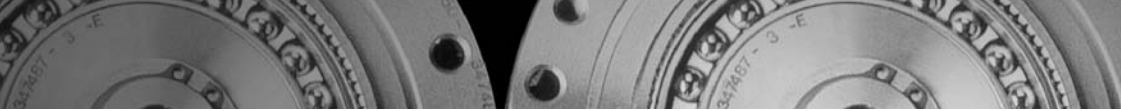
Paddle Drive

- Lightweight component set
- Special Circular Spline
- Special Wave Generator
- Special design for space lubrication

The Harmonic Drive gear was originally developed for aerospace applications and this field continues to provide interesting design examples. The high single stage reduction ratio, compact design and low weight all combine to make the Harmonic Drive gear the ideal choice for many satellite drives. This design example shows a paddle drive for a telecommunication satellite.

The actuator comprises a **HFUC** component set mounted in a special lightweight housing driven by a frameless motor. The component set features a special „solid“ Wave Generator design and the Flexspline is connected to load via an output flange supported by thin-raced ball bearings. The Circular Spline is also modified to simplify the integration into the housing.

The hollow shaft is used for the passage of cables from the paddle, which incorporates solar panels and is used to charge the batteries of the satellite. The component set is manufactured from stainless steel and uses special space-qualified grease lubrication.



Flugsimulator

Antrieb für Force-Feedback Anwendungen

■ Integrierter Drehmomentsensor

In Flugsimulatoren gibt es einen Trend zur Verwendung von elektro-mechanischen Antrieben, um die Steuerung mittels Force-Feedback zu ermöglichen. Diese Art von Anwendung erfordert üblicherweise einen Drehmomentsensor, um das Drehmoment zu erfassen, das vom Anwender ausgeht und/oder vom Force-Feedback-Antrieb erzeugt wird. Bisher mussten Antrieb und Drehmomentsensor stets getrennt von einander montiert werden. Dies erhöht jedoch häufig den Konstruktionsaufwand und kann zudem problematisch sein in Anwendungen, bei denen der verfügbare Bauraum für Antrieb und Sensor sehr gering ist. Harmonic Drive AG hat hier eine ideale Lösung gefunden.

In diesem Konstruktionsbeispiel wird ein **CHA-TS** Hohlwellenantrieb mit integriertem Drehmomentsensor dargestellt. Der Momentensensor besteht aus einem Speichenrad mit mechanischem Überlastschutz. Wird der Antrieb mit einem Drehmoment beaufschlagt, verformt sich das Speichenrad. Diese Verformung wird mittels Dehnmessstreifen erfasst, um ein Signal zu geben, das dem vom Sensor vermittelten Drehmoment entspricht. Der Sensor befindet sich zwischen Circular Spline und dem Gehäuse. Er misst das Reaktionsdrehmoment am Circular Spline, welches gleich dem Abtriebsdrehmoment des Antriebs entspricht. Der Sensor ist mit einer integrierten Elektronik versehen, und der Endanwender wird sich des Sensors lediglich durch einen zusätzlichen Stecker im Antriebsgehäuse bewusst.

Flight Simulator

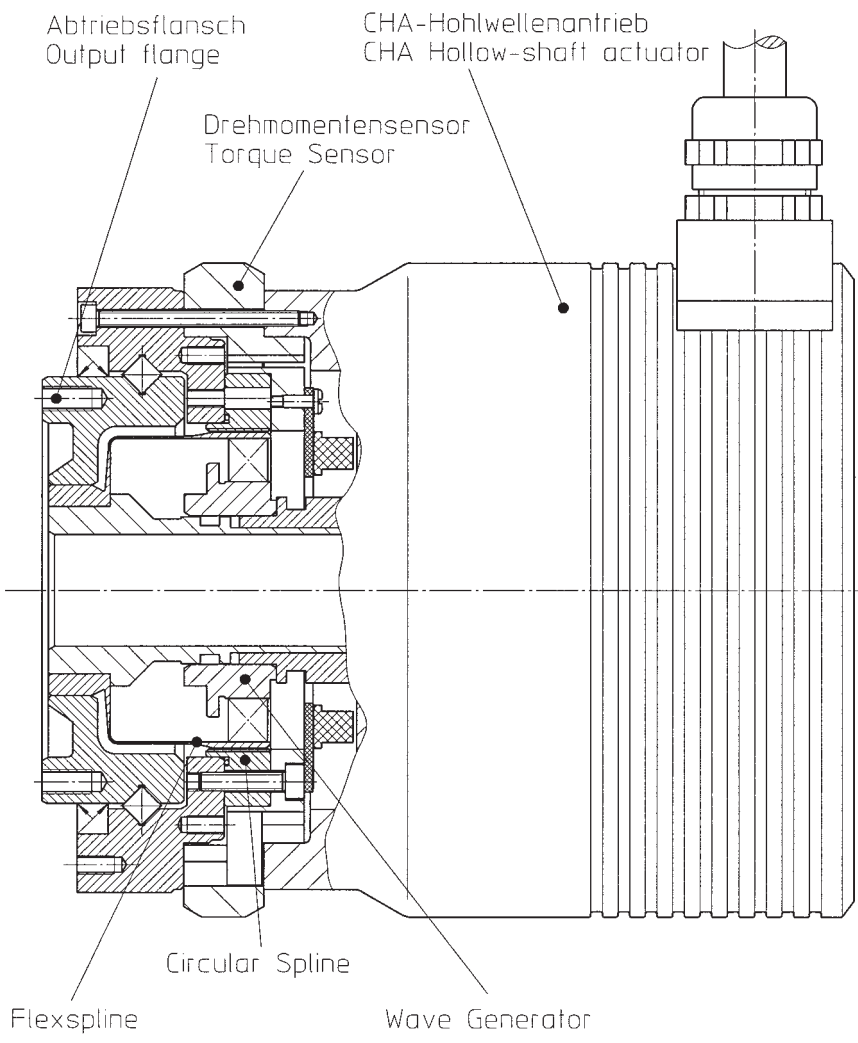
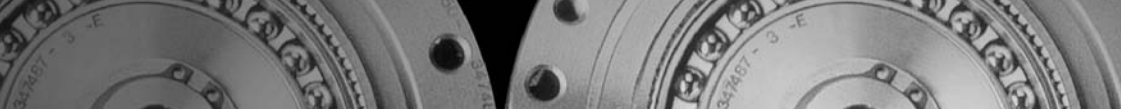
Actuator for Force-Feedback Device

■ Integrated torque sensor

In the field of flight simulation there is a trend to the use of electro-mechanical actuators to provide the flight controls with force feedback. This type of application typically requires a torque sensor to measure the torque imparted by the user and/or generated by the force feedback actuator. Until recently the design engineer had to mount the actuator and torque sensor separately. This often entailed considerable design effort and could be problematic in applications where the available envelope for the actuator and sensor was small. Harmonic Drive AG has developed a solution to these problems.

This design example features a **CHA-TS** hollow-shaft actuator with integrated torque sensor. The torque sensor comprises a spoked wheel with integrated mechanical overload protection. When the actuator generates or is subjected to an external torque then the spoked wheel deflects in a controlled manner. This deflection is then measured by strain gauges to provide a signal which corresponds to the torque imparted on the sensor. The sensor is mounted between the Circular Spline and housing and measures the reaction torque at the Circular Spline, which is equal to the output torque of the actuator.

The sensor is equipped with integrated signal conditioning electronics and the user only "sees" an additional connector at the actuator housing.



Militärflugzeug**Getriebebox für aktiven Joystick**

- Leichtbauweise
- Spezieller Circular Spline

Die nächste Generation von Flugzeugen für den militärischen Einsatz werden mit Inzeptoren ausgerüstet, die über aktives Force-Feedback verfügen. Dies erlaubt dem Piloten eine bessere Einschätzung der aktuellen Flugsituation und liefert ihm umgehende Rückmeldungen über den Flugzustand seiner Maschine. Im hier gezeigten Beispiel handelt es sich um eine spezielle **HFUC** Getriebebox, die in den aktiven Steuerknüppel eines Ultraschall-Kampffjet eingebaut wurde. Die Wahl fiel auf Harmonic Drive Getriebe aufgrund mehrerer Vorteile. Zunächst sind hier die Kompaktheit und hervorragende Fühlcharakteristik aufgrund der Spielfreiheit und des linearen Verhaltens unter Last zu nennen. Des Weiteren erlaubt die Konstruktion detaillierte Informationen über die Zuverlässigkeit. Diese Sondergetriebebox ist komplett aus Edelstahl und anderen korrosionsbeständigen Werkstoffen gefertigt, um den hohen Anforderungen in Luft- und Raumfahrt-Anwendungen gerecht zu werden. Die speziell modifizierte Abtriebswelle ist mit dem Flexspline kombiniert, um Gewicht zu verringern und die strukturelle Integrität zu verbessern. Die Abtriebswelle wird von einem hybriden 4-Punktlager mit Keramikugeln gestützt. Die Zähne des Circular Spline sind direkt in das Gehäuse eingearbeitet, welches wiederum eine sehr dünne Wand aufweist, um Masse zu reduzieren. Auch der Wave Generator ist in einer besonderen Leichtbauweise ausgeführt, indem das Querschnittsprofil des Wave Generator Plugs optimiert wurde und eine Keilwellenverbindung zum Befestigen des Wave Generator an die Motorwelle verwendet wird.

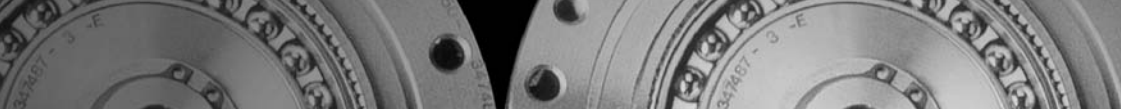
Military Aircraft**Gearbox for Active Joystick**

- Lightweight design
- Special Circular Spline

The next generation of military aircraft will feature active pilot inceptors, providing the pilot with force feedback. This provides the pilot with greater situational awareness of the current flight conditions of the aircraft, which contributes to improved safety and reduced pilot load.

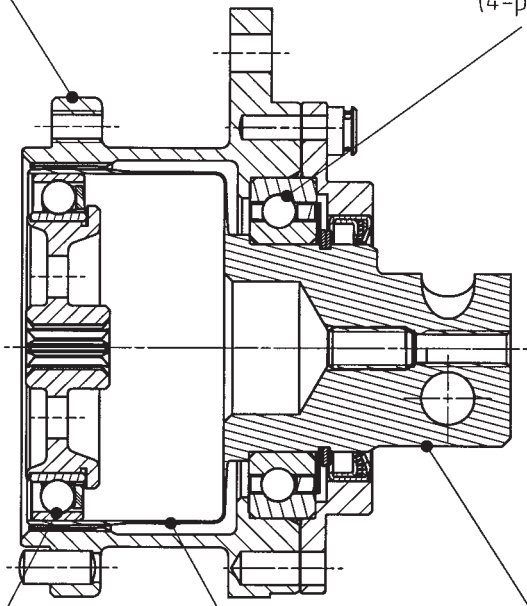
This design example describes a special **HFUC** gearbox implemented in the active joystick of a supersonic fighter aircraft. Harmonic Drive gears are used in this application as a result of several advantages, which make them the preferred choice for this application. First, the compactness and excellent feel quality due to zero backlash and linear behaviour under load are of key importance. Secondly, the possibility to provide detailed information on reliability plus long-term experience with Harmonic Drive gears under harsh environmental conditions were important for the selection.

In this case the special gearbox is manufactured entirely from stainless steel and other corrosion resistant materials to satisfy the demanding conditions prevalent in aerospace applications. The specially modified output shaft is integrated with the Flexspline to reduce weight and improve structural integrity. The output shaft is supported by a hybrid 4-point bearing with ceramic balls. The teeth of the Circular Spline are machined directly into the housing, which has a thin wall section, in order to reduce mass. The Wave Generator also features a special lightweight design, with an optimisation of the cross-sectional profile of the Wave Generator plug and the use of a spline connection to fix the Wave Generator plug to the motor shaft.



Circular Spline (Gehäuse)
Circular Spline (Housing)

Abtriebslager
(4-Punktflager)
Output bearing
(4-point bearing)



Wave Generator

Flexspline

Abtriebswelle
Output shaft

Passagierflugzeug

Getriebebox für Trolley Lift

- Spezieller Circular Spline
- Spezieller Wave Generator

In der neuesten Generation von sehr großen Passagierflugzeugen werden Aufzüge benutzt, um die Essenswagen (Trolleys) zwischen den verschiedenen Stockwerken des Flugzeugs zu transportieren. Der Aufzug selbst ist dabei ein sicherheitskritisches Bauteil. Bei dieser Anwendung wird eine Getriebebox der Baureihe **HFUC** in Sonderausführung von Harmonic Drive AG verbaut. Alle Komponenten der Getriebebox sind aus luftfahrttauglichem Edelstahl für Korrosionsschutz, Geräuscharmheit und den notwendigen Leichtbau gefertigt.

Die Zähne des Circular Splines sind aus Gewichts- und Platzgründen direkt in das Gehäuse eingearbeitet. Das Gehäuse wurde mittels FEM-Analysen optimiert, um den erforderlichen Querschnittsbereich zu minimieren. Die Abtriebswelle ist eine Sonderausführung mit einer innenverzahnten Steckverbindung. Der Wave Generator wurde zur Gewichtsreduzierung ebenfalls optimiert und ist mit einem innenverzahnten Profil versehen, um eine einfache Steckverbindung zum Motor zu bieten.

Passenger Aircraft

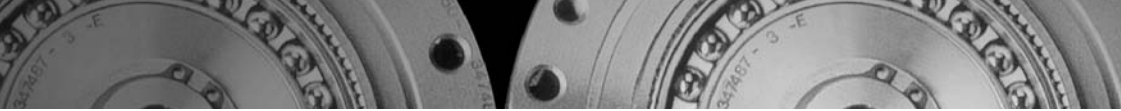
Gearbox for Trolley Lift

- Special Circular Spline
- Special Wave Generator

The new generation of very large passenger aircraft presents special problems. Special lifts become necessary to transport food trolleys from the galley to the different floors in the aircraft. The so-called trolley lift is a safety critical component and is driven by a special **HFUC** gearbox from Harmonic Drive AG.

All key gear components are manufactured from a special aerospace-qualified stainless steel and have special modifications to either reduce weight or to minimize noise generation and transmission. Stainless steel is necessary to fulfil the exacting environmental conditions typical of aerospace applications.

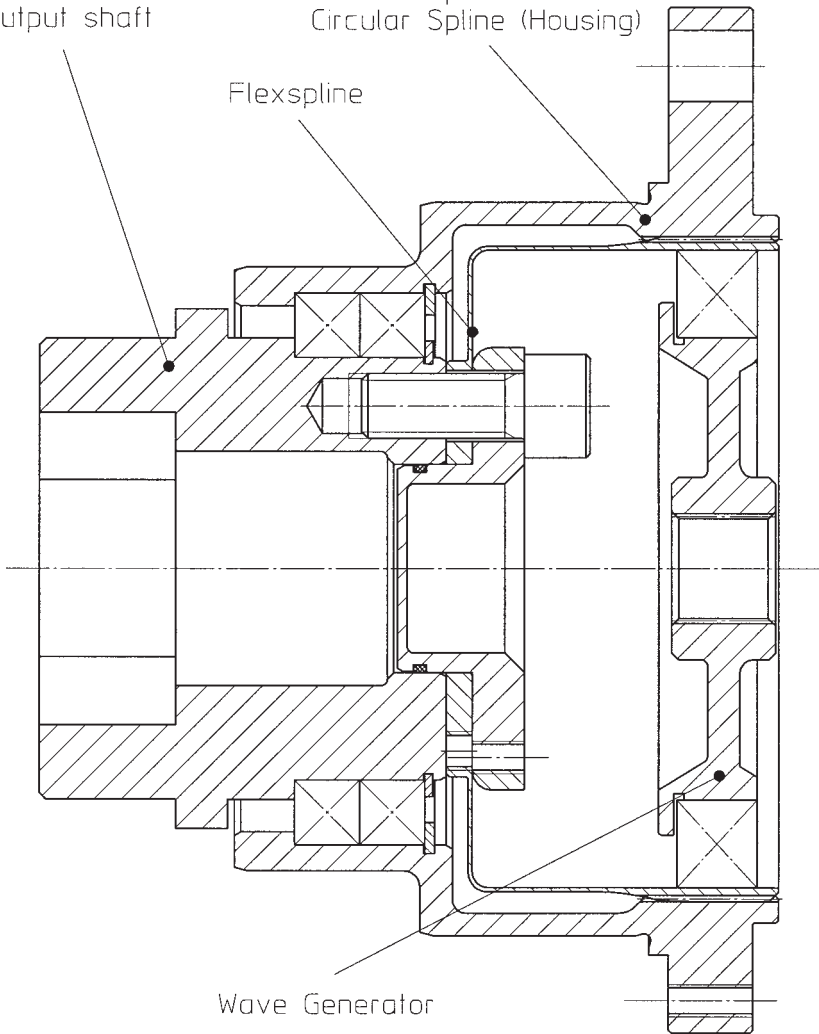
The teeth of the Circular Spline are machined directly into housing to save weight and space. The housing itself has been optimised using Finite Element methods, in order to minimize the necessary cross-sectional area. The special output-shaft features an internal spline profile to provide a low backlash connection to the load. The Wave Generator is also optimised for weight reduction and is provided with an internal spline profile, in order to provide a pluggable connection to the motor.



Abtriebswelle
Output shaft

Circular Spline (Gehäuse)
Circular Spline (Housing)

Flexspline



Wave Generator

Passagierflugzeug Unit für Leichtbau-Antrieb

- Leichtbauweise
- Spezieller Circular Spline

Das „vollelektrische“ Flugzeug ist derzeit Thema von Entwicklungsstudien im Bereich des Flugzeugbaus. Der Trend „weg vom hydraulischen Antrieb“ und „hin zum elektromechanischen Antrieb“ ist weiterhin aktuell. Der Grund hierfür liegt in der immer höheren Leistungsdichte elektromechanischer Antriebssysteme. Kürzlich hat Harmonic Drive AG ein staatlich gefördertes Verbundprojekt abgeschlossen, das sich mit der Entwicklung von Getrieben in Leichtbauweise befasste. Es gibt verschiedene Strategien zur Gewichtsreduzierung, wie z. B. Formoptimierungen, Integration einer Planetenvorstufe in den Wave Generator sowie der Einsatz von Leichtmetallen. Die niedrige Hertzsche Pressung in der Getriebeverzahnung erlaubt den Einsatz von leichten, nicht-eisenhaltigen Metallen wie Titan oder Aluminium. Diese Werkstoffe können das standardmäßig verwendete Stahl oder Gusseisen ersetzen. Die hier dargestellte Leichtbau-Unit **HFUC-2UH-SP** ist eine Sonderausführung, bei der das Gehäuse entweder aus Titan oder aus Aluminium gefertigt werden kann. Mittels FEM-Analyse wurden die Abmessungen optimiert und damit das Gewicht des Wave Generator Plugs. Das Abtriebslager in Leichtbauweise wird durch ein 4-Punkt-Drahtlager gestützt. Dieses erreicht zwar nicht die hohe Kippsteifigkeit wie das Kreuzrollenlager einer Standard **HFUC-2UH**-Unit, was in vielen Fällen jedoch trotzdem ausreichend ist. Aufgrund dieser besonderen konstruktiven Maßnahmen konnte das Gewicht der Unit um mehr als 50 % im Vergleich zu einem Standardprodukt verringert werden bei gleicher Drehmomentkapazität und Lebensdauer.

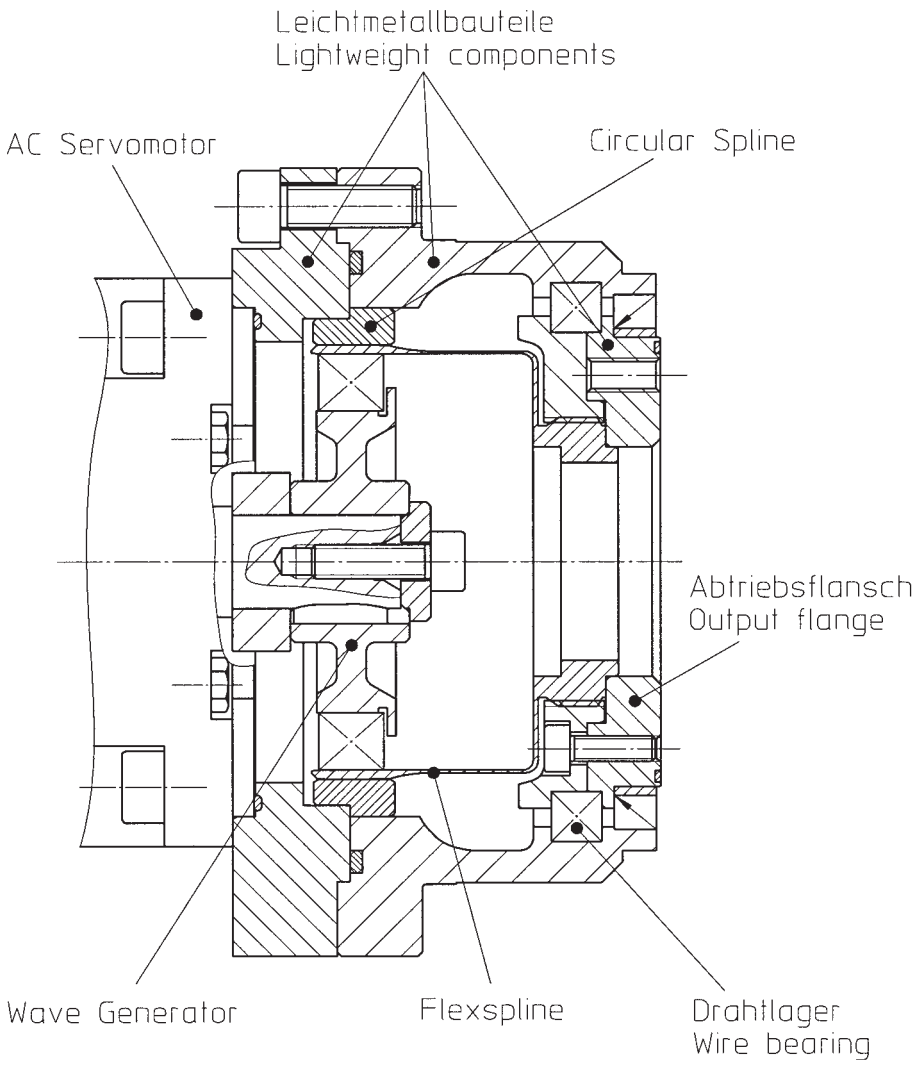
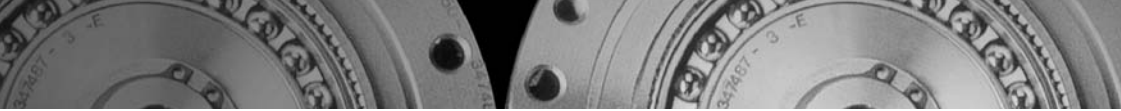
Passenger Aircraft Unit for Lightweight Actuator

- Lightweight design
- Special Circular Spline

The „all-electric“ aircraft is a current research theme in the aerospace field. The trend to replace hydraulic actuators with electro-mechanical actuators in aerospace applications is therefore continuing apace. The key design driver is high power density and Harmonic Drive AG has recently completed a national research project to develop lightweight gears and units.

There is a number of different strategies to reduce weight, including optimized geometry, integration of a planetary pre-stage in the Wave Generator and the use of lightweight materials. The low Hertzian pressures in the gear tooth system allow the use of lightweight, non-ferrous metals such as Titanium or Aluminium. These materials can be used to substitute the standard steel or cast iron for the Wave Generator plug and Circular Spline respectively.

This design example shows a lightweight **HFUC-2UH-SP** unit. The unit features a housing that can be manufactured either in Aluminium or Titanium. Finite Element analysis has also been used to optimize the dimensions and thereby the weight of the Wave Generator plug. The lightweight output flange is supported by a 4-point wire bearing. This bearing design has a lower tilting stiffness than the cross-roller bearing of standard **HFUC-2UH** unit, but often this capability is not required. These special design measures reduce the weight of the Unit by more than 50% compared to the standard product, without any reduction in the torque capacity or operating life of the gear.



Webmaschine Warenabzug

■ Sondergetriebebox

Das Streben nach höherer Qualität bei Herstellern von Textilmaschinen, wie z. B. Webmaschinen, hat für den Einzug von Harmonic Drive Getrieben in diesen Anwendungsbereich gesorgt. Eines der Hauptprobleme der Webmaschinenhersteller ist das Vermeiden von sogenannten „Anlaufstellen“ im Gewebe. Diese entstehen während des Maschinenstillstandes, wenn sich das Gewebe entspannt. Anlaufstellen können vermieden werden, indem die Gewebespannung beim Hochfahren der Maschine zur normalen Arbeitsgeschwindigkeit genau kontrolliert wird. Dazu muss die Rotation des Kettablasses sowie des Warenabzugs sorgfältig kontrolliert werden. Wichtig ist dabei zum einen, dass die Getriebe in diesen beiden Antrieben kein Stick-Slip-Verhalten aufweisen, wenn die Drehung beginnt. Zum anderen, dass eine hohe Übertragungsgenauigkeit gewährleistet wird, um eine gleichmäßige Schussdichte zu erreichen. Harmonic Drive Getriebe haben sich in dieser anspruchsvollen Anwendung ideal bewährt.

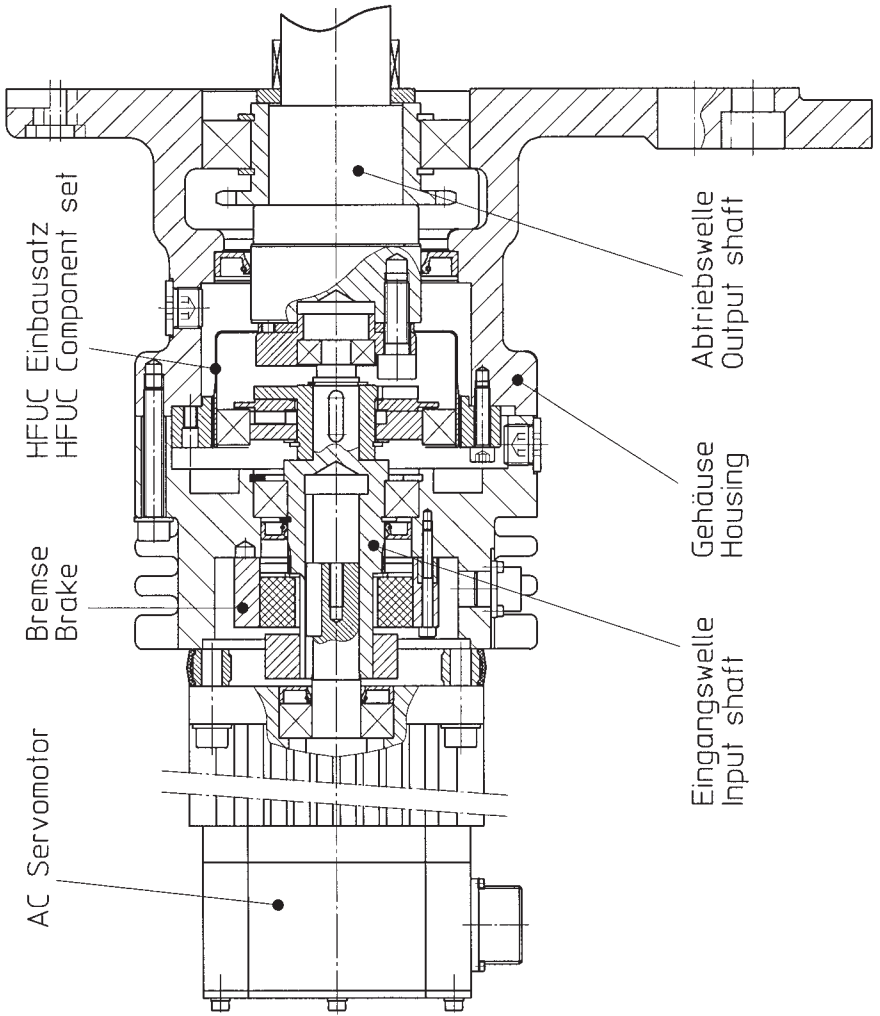
In der Zeichnung wird eine Sondergetriebebox dargestellt, die für den Warenabzug in einer Greiferwebmaschine zum Einsatz kommt. Der **HFUC** Einbausatz ist in einem gusseisernen Gehäuse integriert und mit einer Abtriebswelle versehen. Über eine Stirnradstufe treibt diese Welle die Warenrolle an. Der Wave Generator dient als Antriebselement und ist direkt auf der Motorwelle montiert.

Weaving Machine Fabric Take-up Drive

■ Special gearbox design

The desire for higher fabric quality is also leading the manufacturers of textile machines, such as weaving machines, to use Harmonic Drive technology. One of the major problems is to avoid so-called „start-marks“, which are caused by relaxation of the fabric while the machine is at a standstill. The avoidance of start-marks depends on the accurate control of the fabric tension as the weaving machine reaches normal operating speed. This is achieved by carefully controlling the rotation of the warp let-off drive and the fabric take-up drive. It is very important that the gears used in both these drives do not exhibit stick-slip when rotation commences and also that the transmission accuracy is high to ensure even pick spacing. Harmonic Drive gears are thus ideally suited to this demanding application.

This design example shows a special gearbox used for the fabric take-up drive in a rapier weaving machine. The **HFUC** component set is mounted in a cast-iron housing and is provided with an output shaft. This drives the fabric beam via a spur gear stage. The Wave Generator, as input element, is mounted directly on the motor shaft.



Kamerakopf Dreh-/Schwenkachsen

- Baugruppe
- Hohlwellenantrieb

CHA-Hohlwellenantriebe bieten exzellente Laufcharakteristiken und eine kompakte Bauform, weshalb sie sich für den Einsatz in der Dreh- und Schwenkachse eines Kamerakopfes bestens bewährt haben. Der Kamerakopf aus unserem Beispiel wird in einer Sicherheitskamera im Bereich der Grenzüberwachung eingesetzt. Eine ähnliche Konstruktion wird auch in ferngesteuerten Kameras bei der Sportübertragung verwendet. Die Kameraverkabelung wird durch die Hohlwelle des Schwenkachsenantriebes (Achse 2) geführt. Die Hohlwelle des Drehachsenantriebes (Achse 1) bietet sich sowohl für die Durchführung der Kamerakabel als auch für die Kabel, die vom Schwenkachsenantrieb ausgehen, an.

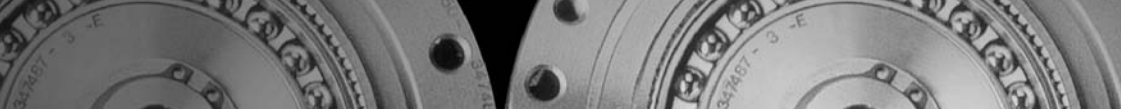
Aufgrund des geringen Bauraums und des niedrigen Gewichts können die **CHA**-Hohlwellenantriebe auch für Luftbildkameras oder für stabilisierte Kameraplattformen an bewegten Fahrzeugen verwendet werden. Das Grunddesign eignet sich ferner für Satelliten-Tracking Systeme, bei denen die extrem ruhigen und langsamen Abtriebsdrehzahlen des Antriebes einen weiteren, wichtigen Vorteil darstellen.

Camera Head Pan and Tilt Axes

- Sub-assembly
- Hollow-shaft actuator

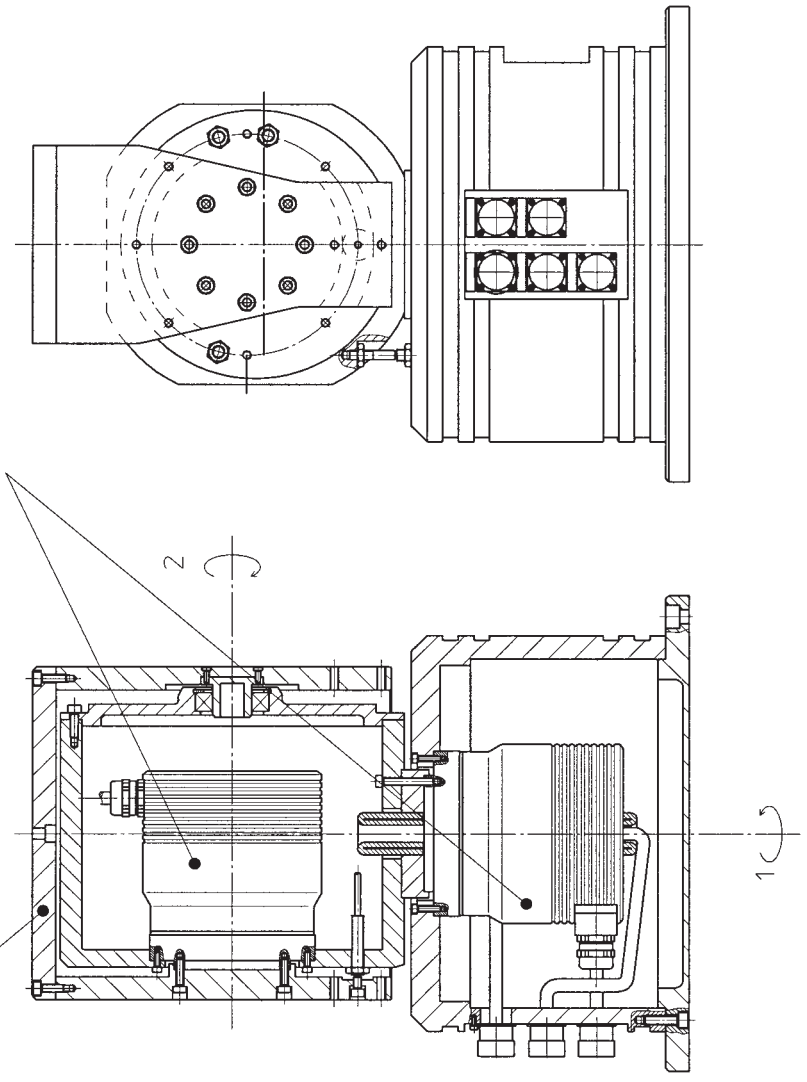
The smooth running characteristics and compact design make **CHA** hollow-shaft actuators ideal for the pan and tilt axes of camera heads. This design example shows a camera head used in the security field for border observation. Similar designs are also used attached to remote camera booms for sport coverage. The cables from the camera pass through the hollow shaft of the tilt-axis actuator (axis 2). The hollow shaft of the pan-axis actuator (axis 1) is used for the camera cables as well as the cables from the tilt-axis actuator.

The small envelope and light weight of the **CHA** actuators means that this arrangement can also be used for airborne camera mounts, or for stabilised camera platforms mounted on moving vehicles. This basic design is also used for satellite tracking, where the extremely smooth low speed output of the actuator is a further important advantage.



Kamera-Aufnahme
Camera flange

CHA-Hohlwellenantriebe
CHA Hollow-shaft actuators



Optisches Mikroskop Fokussierantrieb

■ Flachgetriebeeinbausatz

Spielfreie Servoantriebe und Getriebe sind ein fester Bestandteil der Präzisionstechnik, doch neu ist die Verwendung von Getriebeeinbausätzen in der klassischen Mikroskopietechnik für Untersuchungen im biologischen oder medizinischen Bereich.

Durch den einfachen, kompakten Aufbau und die koaxiale Bauweise war eine mühelose Integration des **HDUF**-Einbausatzes direkt in den Fokussierknopf möglich. Die hohe Übertragungsgenauigkeit des Getriebes ist unerlässlich zum Erreichen der erforderlichen hohen Auflösung und der stick-slip-freien Bewegung des Fokussiertisches, auf dem sich das Präparat befindet.

Der Circular Spline ist mit dem äußeren Gehäuse des Verstellknopfes für die Grobfokussierung verbunden. In diesem Fall entsteht eine Relativbewegung zwischen den Bauteilen des Getriebes, dem Circular Spline, Dynamic Spline und Wave Generator. Beim Grobfokussieren wirkt das Getriebe als Kupplung und hält den Fokussiertisch präzise in Position.

Der Wave Generator ist mit dem inneren Teil des Fokussierknopfes, der für die Feinfokussierung zuständig ist, verbunden. Beim Feinfokussieren überträgt der Feinverstellknopf über das Getriebe die um die Untersehung reduzierte Drehbewegung auf den Fokussiertisch. Der Circular Spline wird durch die Wellendichtung, die wiederum als Reibungsbremse eingesetzt ist, fixiert. Der Dynamic Spline übernimmt die Funktion des Abtriebsesementes, das die Abtriebswelle antreibt, die über eine Zahnstangenanordnung mit dem Fokussiertisch verbunden ist.

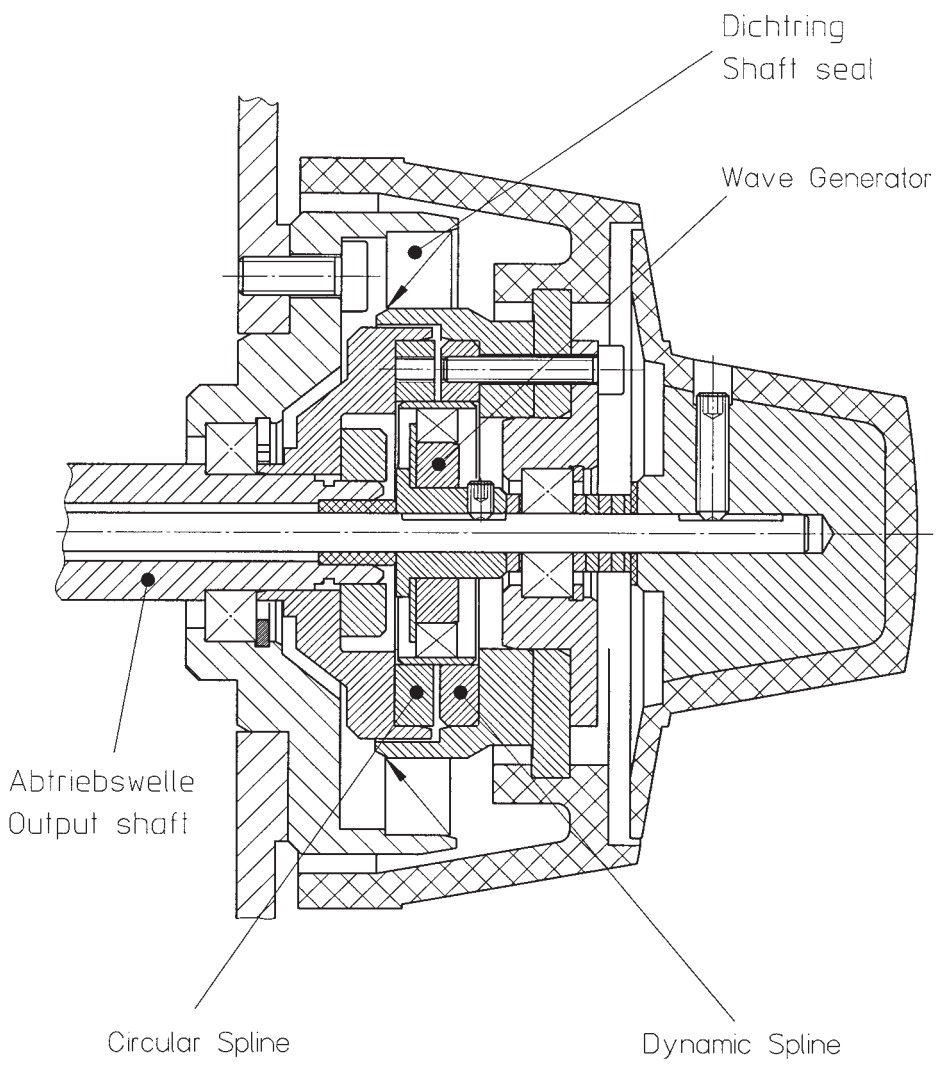
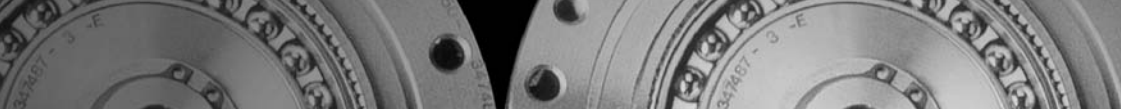
Optical Microscope Focusing Drive

■ Flat-type component set

Harmonic Drive gears are applied frequently in precise positioning applications. This design example is unusual insofar as the gear is hand-driven, forming part of the focusing drive of a microscope used for biological and medical investigation.

The **HDUF** component set can be easily integrated within the focusing knob, so enabling a very simple and compact co-axial design. The high accuracy of the gear is essential for high resolution, stick-slip free movement of the table carrying the specimen to be investigated. The Circular Spline is connected to the outer housing of the knob, which is used for rough focusing. In this case there is no relative movement between the component parts of gear, and the Circular Spline, Dynamic Spline and Wave Generator rotate together. The gear rotates thus acts as a toothed coupling, transmitting the movement of the knob directly to the table.

The Wave Generator is connected to the inner part of the knob, which is used for fine focusing. In this mode, the gear acts as a reducer, with the Circular Spline held fixed by the shaft seal, which acts as a friction element. The Dynamic Spline acts as output element, driving the output shaft connected to the table via a rack and pinion arrangement.



Sonderanwendungen

Special Applications

Blistersiegelautomat Folientransport

Blister Packaging Machine Foil Transport Drive

■ Präzisions-Abtriebslager

■ High precision output bearing

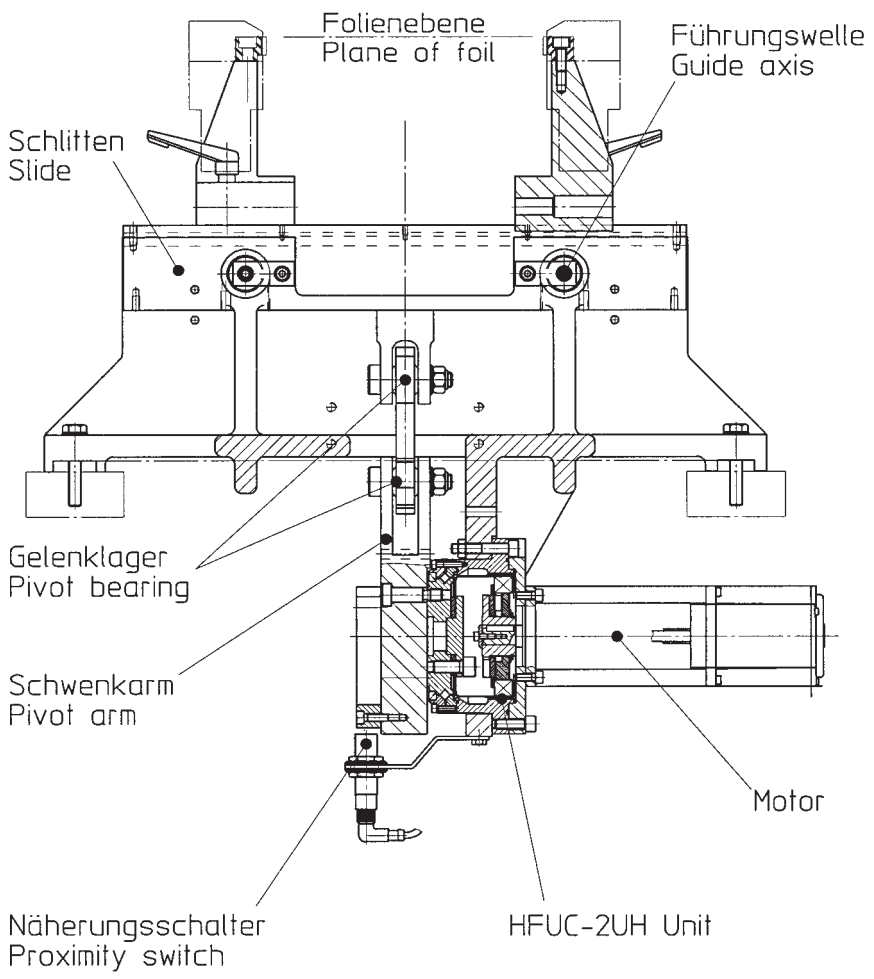
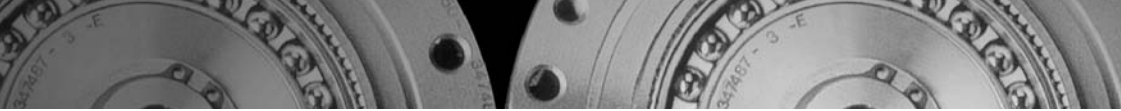
In der Verpackungsindustrie gibt es verschiedene Anwendungen, bei denen sich die Technik von Harmonic Drive als ideal erweist. Seit einiger Zeit ist ein Trend zu Einzelantrieben zu beobachten, wobei dynamische Bewegungen zunehmend von einzelnen synchronisierten Servoantrieben durchgeführt werden. Um hier die hohe Genauigkeit zu gewährleisten, sind spielfreie Getriebe mit hoher Drehmomentkapazität erforderlich. Dies gilt auch für den hier dargestellten Blistersiegelautomat, bei dem die eingesetzte Unit der Baureihe **HFUC-2UH** in Kombination mit einem Servomotor für den Folientransport in der Maschine sorgt. Die Unit bewegt einen Kniehebel, der die rotatorische Bewegung in eine translatorische wandelt.

In dieser Anwendung ist eine hohe Genauigkeit gefordert, d. h. die Schrumpfung der Folie und sonstige Prozessparameter müssen sehr genau nachregulierbar sein. Das kippsteife Abtriebslager der **HFUC-2UH** Unit sorgt nicht nur für eine hohe Führungsgenauigkeit, sondern es stützt zugleich auch die Kräfte des Kniehebels ab. Diese Lösung kann auf mechanische Endanschläge oder Referenzschalter verzichten, da der Antrieb über einen Multiturngeber verfügt. Sie bietet zudem den Vorteil wartungsfrei zu sein, weil die eingesetzten Getriebe mit einer Lebensdauer-Fettschmierung versehen sind. Solche Lösungen ermöglichen sehr schnelle Umrüstungen auf neue Formate, quasi „per Knopfdruck“. Sie sind zudem eine Antwort auf den Trend zu kleineren Auflagen, auch in der Verpackungsindustrie.

The trend to single actuators, where individual synchronized servo actuators are used for dynamic movements, is leading the packaging industry to use Harmonic Drive technology. In order to provide the required accuracy zero-backlash gears with a high torque capacity are required for this application in a blister packaging machine as shown below. The **HFUC-2UH** unit from Harmonic Drive in combination with a servomotor transports the foil through the machine. The HFUC unit drives a bent lever, which converts the rotational motion into a translational motion.

This application requires high precision, because the shrinkage of the foil as well as other parameters must be re-adjustable very accurately. The high stiffness output bearing of the **HFUC-2UH** unit guarantees low run-out and is also used to support the forces of the bent lever. The actuator is supplied with a multi-turn encoder, which avoids the need for reference or limit switches. Furthermore, this solution is maintenance-free due to the fact that the used gears are lifetime grease-lubricated.

Such a solution allows very quick conversion to other formats, simply by pressing a button. In addition to this they are the answer to the trend to smaller volumes which recently has become evident, even in the packaging industry.



Halbleiterfertigung Die-Bonding Maschine

Semiconductor Manufacturing Equipment Die Bonding Machine

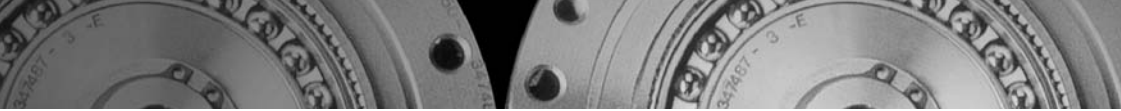
■ Rotatorischer Bondkopf

Kaum ein anderer Bereich erfordert soviel Präzision und Systemlösungen wie die Halbleiterfertigung. So auch im Fall dieses Chip-Bestückungsautomaten. Staubkorn-große Chips, die oft nicht größer als 0,15 x 0,15 mm sind, müssen hochpräzise ausgerichtet und positioniert werden. In diesem Anwendungsbeispiel bewegt ein sog. Rotatorischer Bondkopf die Chips extrem schnell (90° in ca. 175 ms) und sehr genau (Abweichung < 0,02°) in beliebige Winkelpositionen. Herzstück des Bondkopfes ist eine **Micro Harmonic Drive**® Getriebebox in einer kundenspezifischen Ausführung. Das Getriebe wird mit einem Schrittmotor angetrieben. Dieser ist parallel zum Getriebe angebracht, damit eine Hohlwelle durch das Zentrum des Getriebes geführt werden kann. Die Hohlwelle wird dazu genutzt, um mit einem optischen Sensor durch die Welle hindurch zu schauen, um sicherzustellen, dass der Chip erfolgreich gegriffen wurde. Die Abtriebswelle wird mit vorgespannten Kugellagern gestützt, was ausreichende Führungsgenauigkeit und axiale Steifigkeit bei der Bestückung gewährleistet. Die hohe Übersetzung des **Micro Harmonic Drive**® Getriebes macht es möglich, den Schrittmotor in einem offenen Regelkreis zu betreiben und trotzdem eine hohe Auflösung bei der Drehbewegung zu erreichen. Die Masse der kompletten Baugruppe liegt bei nur 50 g.

■ Rotary bond tool

Few other application fields require such precision or individual system solutions like the semiconductor branch. Die Attach machines are used to attach semiconductor dies – tiny little electronic control modules – to their protective packages. The minute chips, which often are no larger than 0.15 x 0.15 mm, must be orientated and positioned with high accuracy. The so-called „Rotary Bond Tool” provides both fast movements (90° in ca. 175 ms) and excellent placement accuracy (better than 0.02 °) to position the tiny chips in any angular position.

At the heart of the RBT is a **Micro Harmonic Drive**® gearbox in a customized design. The gear is driven by means of a stepping motor. The motor is mounted in parallel to the gear to allow a hollow shaft to be passed through the gear. The hollow shaft is used for an optical sensor which looks through the gear in order to make sure that the chip has been gripped successfully. The output shaft is supported by pre-loaded ball bearings to provide the accuracy and axial stiffness required for the assembly. The high ratio of the **Micro Harmonic Drive**® gear allows the stepping motor to be used in an open control loop, while still achieving a high angular resolution. The mass of the complete sub-assembly is just 50 g.



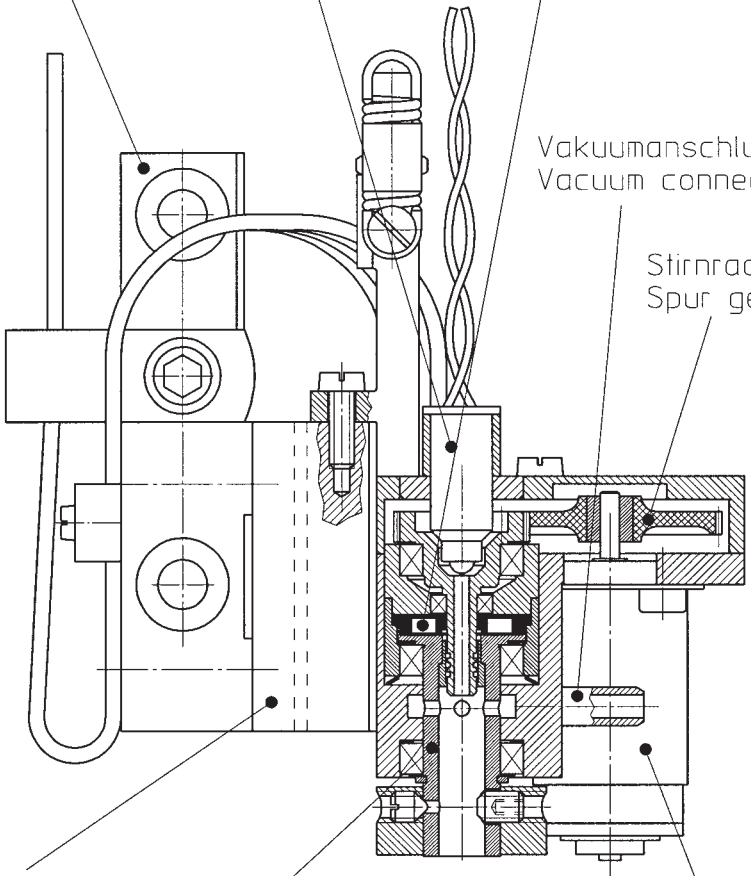
Befestigungswinkel
Mounting bracket

Optischer Sensor
Optical sensor

Micro Harmonic Drive

Vakuumschluß
Vacuum connection

Stirnrad
Spur gear



Linearführung
Linear bearing

Abtriebswelle
Output shaft

Schrittmotor
Stepping motor

Halbleiterfertigung Smart Label Bestückungsmaschine

Semiconductor Manufacturing Equipment Smart Label Assembly Machine

■ Rotatorischer Bondkopf

Rotatorische Bondköpfe werden auch in Hochgeschwindigkeits-Bestückungsmaschinen für sogenannte Smart Labels eingesetzt. Auch hier werden kleinste Halbleiterbauteile schnell und präzise während des Bestückungsvorgangs ausgerichtet.

Das Anwendungsbeispiel zeigt einen rotatorischen Bondkopf in ko-axialer Anordnung. Das **Micro Harmonic Drive**® Getriebe ist direkt mit dem Schrittmotor verbunden. Die Abtriebswelle ist hohl und bietet somit Platz für die Durchführung einer Vakuumversorgung, die für das Greifen der kleinen zu montierenden Bauteile erforderlich ist. Die Abtriebswelle wird von vorgespannten Kugellagern in O-Anordnung gestützt. Dies resultiert in einer hohen Kippsteifigkeit sowie in hoher axialer und radialer Führungsgenauigkeit. Das kundenspezifische Aluminiumgehäuse der kompletten Baugruppe vereinfacht den Einbau in die übrige Maschinenumgebung.

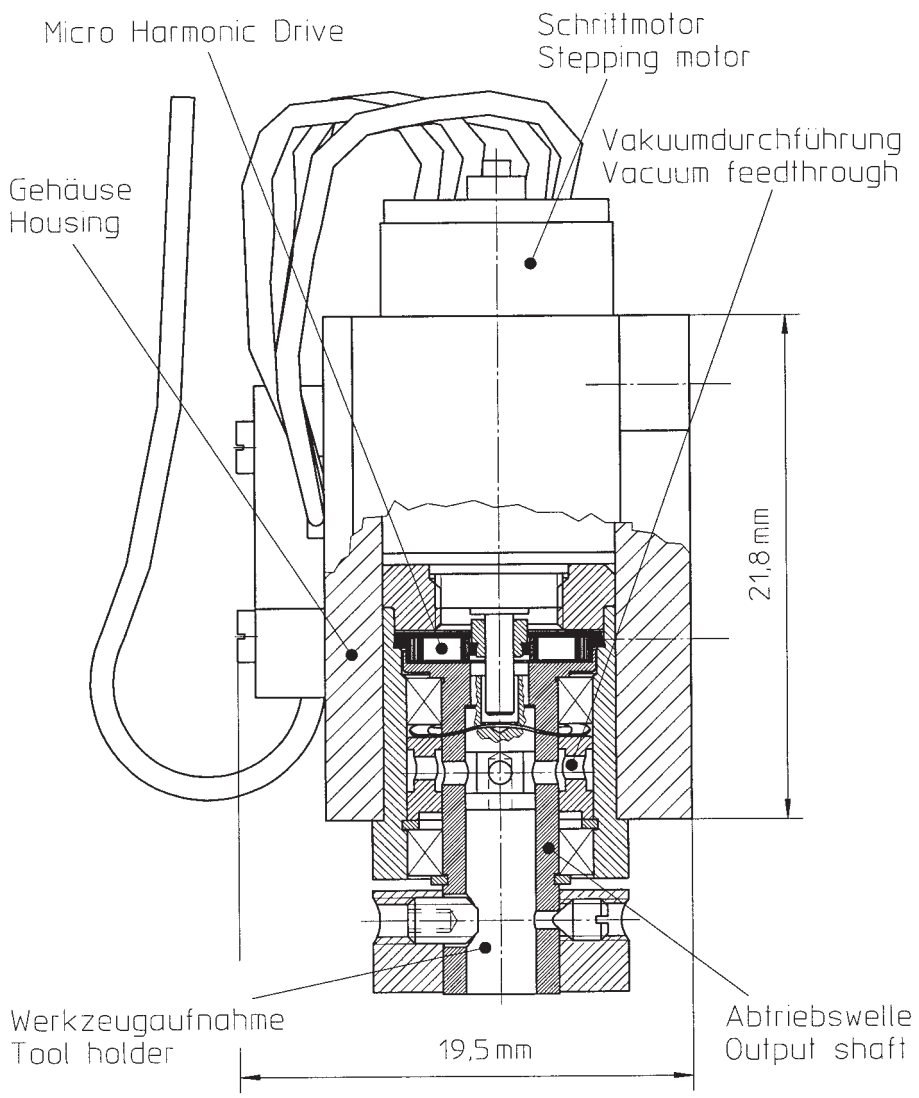
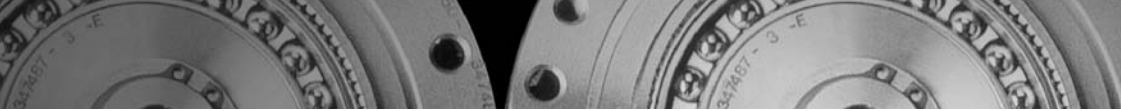
Die hier vorgestellte Konstruktion bietet sehr schnelle Bewegungen – 15° in weniger als 50 ms, mit einer Wiederholgenauigkeit von 0,005° und besser. Die Masse der gesamten Baugruppe liegt bei nur 22 g, was in diesem Fall weniger als 1/20 der vorherigen Lösung, bestehend aus Torquemotor und Direktmesssystem, bedeutet.

■ Rotary bond tool

Rotary bond tools are also used in high-speed assembly machines for so-called smart labels. Here, too, a small semiconductor component must be quickly and accurately orientated during assembly.

This design example shows a co-axial rotary bond tool design. The **Micro Harmonic Drive**® gear is connected directly to a stepping motor. The output shaft is hollow, providing space for a vacuum feedthrough, in order to grip the small parts to be assembled. The output shaft is supported in pre-loaded ball bearings in an O-arrangement. This provides high tilting stiffness as well as low axial and radial run-out. The complete sub-assembly features a customized aluminium housing to allow easy integration into the customer's machine.

This design provides very fast movements – 15° in less than 50 ms with a repeatability of better than 0.005°. The mass of the complete sub-assembly is just 22 g. This is less than one-twentieth of the preceding solution, which comprised a torque motor and direct measurement system. This low mass means that the machine can either be operated at higher speeds, or that the increase in temperature of the main axis motors is less for a given cycle. This improves the thermal stability of the whole machine and allows higher assembly accuracies to be achieved.



Industrieroboter Mikroroboter

Industrial Robots Micro-robot

■ Antrieb für Primärachsen

■ Primary axis drives

Der Trend zur Miniaturisierung im Bereich von Konsum- und Investitionsgütern führt zu einer zunehmenden Nachfrage nach Geräten und Systemen für die präzise Montage kleinster Komponenten. Bisher waren Maschinen für die Präzisionsmontage um ein Vielfaches größer als das zu bearbeitende Werkstück oder der benötigte Arbeitsraum.

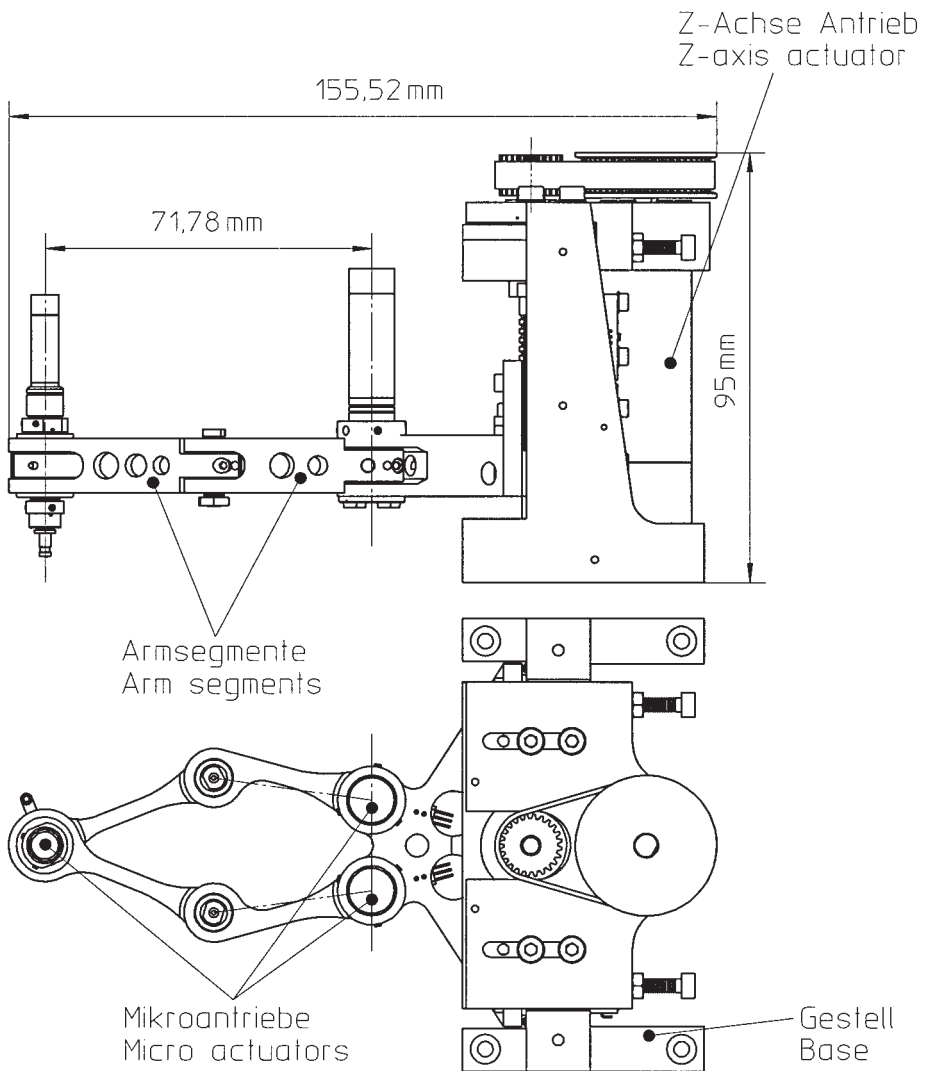
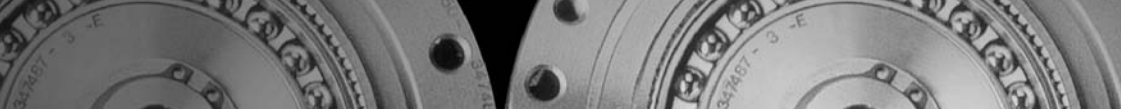
Nicht so bei dem hier dargestellten kleinen hybriden Roboter mit einer ebenen Parallelkinematik (Parallel-Scara). Dieser hochgenaue Roboter mit einer Grundfläche von etwa 150 x 150 mm² positioniert kleine Werkstücke mit einer Masse von bis zu 50 g mit einer Wiederholgenauigkeit von 1 µm und besser.

Die Parallelstruktur erreicht eine Genauigkeit im Sub-Mikrometer-Bereich über nahezu den gesamten Arbeitsraum und hat eine symmetrische Auflösung. Die Parallelstruktur bietet eine deutlich bessere dynamische Performance, da nur der Getriebemotor für die vierte (rotierende) Handachse vom bewegten Arm getragen wird. Die Miniaturisierung passiver Gelenke einer Parallelstruktur lässt sich müheloser realisieren als bei aktiven Gelenken herkömmlicher serieller Strukturen. Daher fiel die Entscheidung bezüglich Basisstruktur zugunsten einer parallelen SCARA-Anordnung aus. Mit einer Wiederholgenauigkeit von 10 Winkelsekunden bietet das **Micro Harmonic Drive**® Getriebe als einziges Mikrogetriebe die erforderliche Genauigkeit für einen Mikroroboter dieser Art.

The trend to miniaturization in the field of consumer and investment goods is leading to increasing interest in the field of precision assembly of small components. Until now most machines for precision assembly have been many orders of magnitude larger than the workpieces to be handled or the necessary workspace.

A small-scale SCARA robot featuring a parallel hybrid kinematic structure has now been developed, specifically for the micro-assembly of small components. This new robot, with a base area of less than 150 x 150 mm² will position small workpieces with a mass of up to 50 g with a repeatability of better than 1 µm.

The parallel structure achieves sub-µm accuracy over almost the complete workspace and also has a symmetrical resolution map. The parallel structure should offer a significantly better dynamic performance, because only the gear motor for the fourth (rotational) axes is carried by the moving arm. Furthermore the passive joints of the parallel structure are easier to miniaturize than active joints. For these reasons the parallel SCARA structure was chosen as the basic structure for further development. By providing an angular repeatability of 10 arc seconds, the **Micro Harmonic Drive**® gear is the only micro gear currently available that provides sufficient accuracy for a micro robot of this kind.



Luft- und Raumfahrt Weltraumtaugliche Kamera

Aerospace Space-qualified Camera

■ Fokussierantrieb

■ Focusing drive

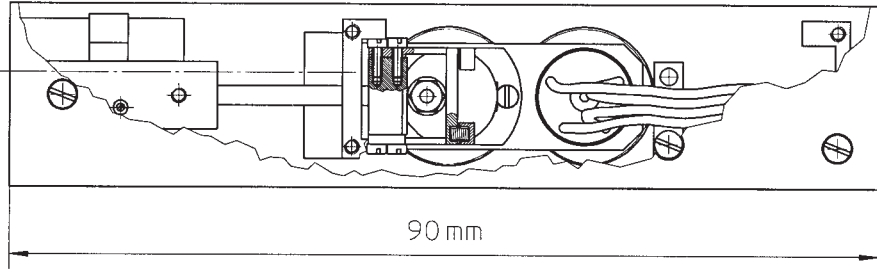
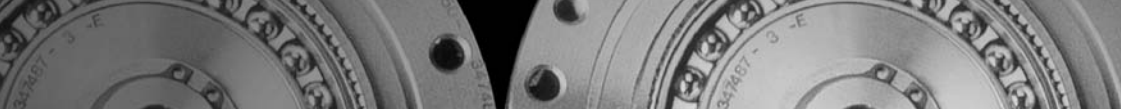
Aufgrund der terrestrischen Erfahrungen mit Anwendungen im Vakuum bedient das **Micro Harmonic Drive**® auch Anwendungen im Weltraum. Die Miniaturabmessungen, das niedrige Gewicht und die hervorragende Positioniergenauigkeit des in diesem Beispiel zum Einsatz kommenden **Micro Harmonic Drive**® Getriebes ermöglichen hier völlig neue Konstruktionslösungen für Positionierantriebe und -mechanismen.

Ein typisches Beispiel ist die Verwendung des **Micro Harmonic Drive**® Getriebes in einer elektromechanischen Baugruppe zum Fokussieren eines Kameraobjektivs. Die Kamera ist für den Einsatz auf anderen Planeten in einem Rover-Fahrzeug vorgesehen. Die Fokussierbaugruppe ist an einem Schlitten befestigt. Dieser wird mit einem exzentrischen Mechanismus, der sich am Abtrieb der **Micro Harmonic Drive**® Getriebebox befindet, in axialer Richtung bewegt. Die Lösung hat den Vorteil, dass sie erheblich leichter und kompakter baut als die Vorgängerversion.

Based on the experience gathered in terrestrial vacuum applications the **Micro Harmonic Drive**® gear is now fulfilling applications in space mechanisms. The miniature dimensions, low weight and excellent positioning accuracy enable completely new design solutions for positioning actuators and mechanisms.

A typical example is the use of the **Micro Harmonic Drive**® gear in an electro-mechanical sub-assembly for focussing the objective of a camera developed for use on a planetary rover vehicle. The new focussing mechanism will allow the camera to guide the vehicle to surface objects and then undertake microscopic analysis of these objects.

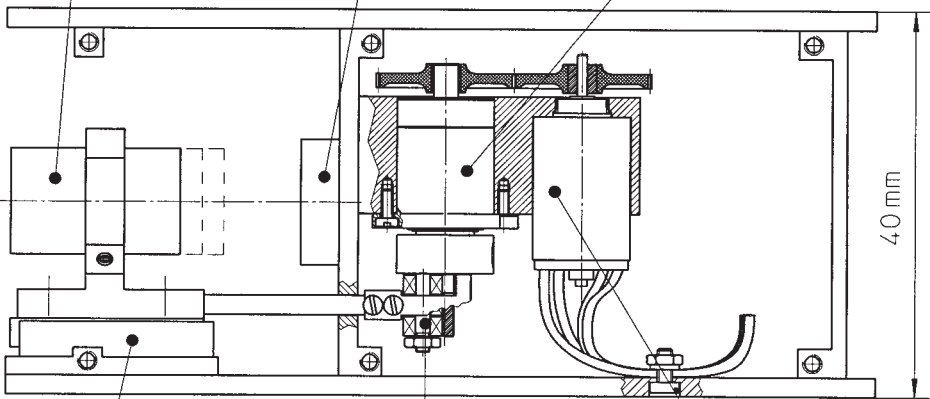
The camera lens is mounted on a carriage, moved axially by an eccentric mechanism mounted on the output of the **Micro Harmonic Drive**® gearbox. This configuration avoids the need for mechanical limits, because if the motor moves too far then the eccentric mechanism causes the lens to move back in the direction from which it came. The gearbox is driven, in turn, by a stepping motor. This solution is dramatically lighter and more compact than previous designs.



Optische Linse
Optical lens

CCD-Chip

Getriebebox
Gearbox



40 mm

Linear-Tisch
Linear table

Exzenter
Eccentric cam

Schrittmotor
Stepper motor

Anwendungsmatrix

Produkt	Maschinentyp	Anwendung
	6-Achsen Roboter	Primärachsen
	SCARA Roboter	Primärachsen
	Portalroboter	Handachsen
	6-Achsen Roboter	Schulterachsen
	6-Achsen Roboter	Handachsen
	SCARA Roboter	Knickarmachsen
	Portalfräsmaschine	Fräskopf C-Achse
	Bearbeitungszentrum	NC-Drehtisch
	Bearbeitungszentrum	Werkstück-Lade-Roboter
	Portalfräsmaschine	Werkzeugwechsler
	Sonderfräsmaschine	Werkzeugrevolver
	Portalfräsmaschine	Fräskopf
	Portalfräsmaschine	Fräskopf
	Portalfräsmaschine	Fräskopf A-Achse
	5-Achs-Bearbeitungszentr.	A- und B-Achsen-Antrieb
	Werkzeugschleifmaschine	Indextisch
	Bearbeitungszentrum	Werkzeugkettenmagazin
	Bearbeitungszentrum	Palettenwechsler
	Mehrspindel Drehautomat	Werkzeugverschleiß-Kompensation
	Bearbeitungszentrum	NC Dreh-Verschiebetisch
	Wasserstrahl-schneiden.	Schnelle Linearachsen
	Falzapparat	"Back-to-back" Differentialantr.
	Falzapparat	Schaufradantrieb
HFUC Einbausatz		4
HFUS Einbausatz		8
HDUC Einbausatz		12, 13
HDUR Einbausatz		16
HDUF Einbausatz		22
HPG Harmonic Planetengetriebe		20, 21
HFUC-2UH Unit		6, 7, 10, 14, 18
HFUC-2UJ Unit (mit Eingangswelle)		23
HFUS-2SO Unit		
CPU-M Unit (für Motorenbau)	1, 2	11
CPU-H Unit (mit Hohlwelle)	3, 5	9
CPU-S Unit (mit Eingangswelle)	3, 5	
HDGM Getriebebox		
CHA Hohlwellenantrieb		15, 17
FFA Servoantrieb		
FHA Hohlwellenantrieb		
HDPL Linearantrieb		19
HDVA Ventilantrieb		
Micro Harmonic Drive		

Application Matrix

Product	Machine Type	Application
	6-Axis Robot	Primary Axes
	SCARA Robot	Primary Axes
	Gantry Robot	Hand Axes
	6-Axis Robot	Shoulder Axis
	6-Axis Robot	Hand Axes
	SCARA Robot	Elbow Axis
	Gantry Milling Machine	Milling Head C-Axis
	Machining Centre	NC Rotary Table
	Machining Centre	Workpiece Loading Robot
	Gantry Milling Machine	Tool Changer
	Special-purp. Milling Mach.	Tool Revolver
	Gantry Milling Machine	Milling Head
	Gantry Milling Machine	Milling Head
	Gantry Milling Machine	Milling Head A-Axis
	5-Axis Machining Centre	A- and B-Axis Drive
	Tool Grinding Machine	Indexing Axis
	Machining Centre	Chain-Type Tool Magazine
	Machining Centre	Pallet Changer
	Multi-spindle Lathe	Tool Wear Compensation
	Machining Centre	NC Rotary Indexing Table
	Water-jet Cutting Machine	Fast Linear Axes
	Folder	"Back-to-back" Different. Drive
	Folder	Collator Drive
HFUC Component Set		
HFUS Component Set		
HDUC Component Set		
HDUR Component Set		
HDUF Component Set		
HPG Harmonic Planetary Gear		
HFUC-2UH Unit		
HFUC-2UJ Unit (with Input Shaft)		
HFUS-2SO Unit		
CPU-M Unit (for Motor Assembly)	1 2	
CPU-H Unit (with Hollow Shaft)	3 5	
CPU-S Unit (with Input Shaft)	3 5	
HDGM Gearbox		
CHA Hollow Shaft Actuator		
FFA Servo Actuator		
FHA Hollow Shaft Actuator		
HDPL Linear Actuator		
HDVA Valve Actuator		
Micro Harmonic Drive		

4. Auflage, September 2005

Dieses Buch ist unter Mitarbeit folgender

Harmonic Drive Mitarbeiter entstanden:

Redaktion: Dr. Rolf Slatter, Dipl.-Übersetzerin Ellen Slatter

Technische Zeichnungen: Dipl.-Ing. Stefan Mann,

Dipl.-Ing. Elena Weißenfels, Dipl.-Ing. Clemens Zohner

Gestaltung und Produktion:

P.AD. Werbeagentur GmbH, Meinerzhagen

4th Edition, September 2005

Editors: Dr. Rolf Slatter, Dipl.-Übersetzerin Ellen Slatter

Technical drawings: Dipl.-Ing. Stefan Mann,

Dipl.-Ing. Elena Weißenfels, Dipl.-Ing. Clemens Zohner

Design and Production:

P.AD. Werbeagentur GmbH, Meinerzhagen

© HAD



Harmonic
Drive AG

09/2005 90 00 30

Harmonic Drive AG
Hoenbergstraße 14
65555 Limburg / Lahn
Telefon +49-64 31 - 50 08 - 0
Telefax +49-64 31 - 50 08 - 18
www.harmonicdrive.de
info@harmonicdrive.de

Konstruktionshandbuch / Designer's Handbook

Harmonic Drive AG