

Mikrogetriebe



Winzig kleine Box

Größenvergleich Micro Harmonic Drive Getriebe und Gummibärchen

Die Nachfrage nach mehr als „bloß“ kleinen Mikrogetrieben – weil diese zugleich auch noch eine hohe Wiederholgenauigkeit, Spielfreiheit, hohe Übersetzung ins Langsame sowie wenige Bauteile aufweisen müssen! –, gab den Anstoß für die Entwicklung der von Dr. Rolf Slatter vorgestellten, nur wenige Millimeter großen Box.

Dr. Rolf Slatter, Vorstand Marketing und Vertrieb, Harmonic Drive AG, Limburg, www.harmonicdrive.de

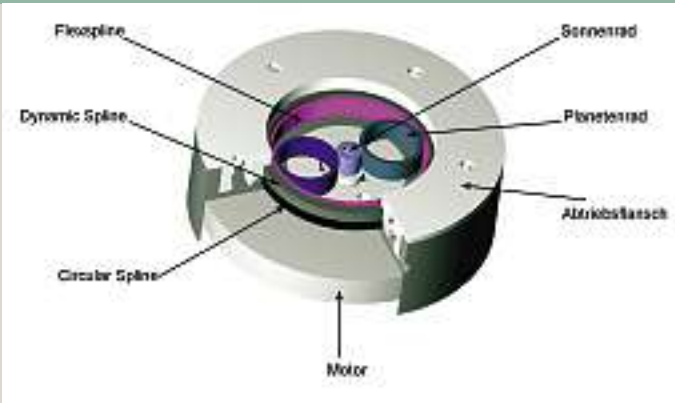
Beispiele für Mikrosysteme in der Antriebstechnik sind derzeit eher noch exotischer Natur, aber es gibt eine deutliche Nachfrage nach kleinen Geräten für die Herstellung, Handhabung und Prüfung von kleinen Objekten. Diese wiederum benötigen kleine Antriebe für Positionierachsen. Mikroantriebssysteme in diesen innovativen Anwendungen sollen jedoch nicht nur eine miniaturisierte Baugröße und geringes Eigengewicht aufweisen, sondern vor allem präzise und spielfreie Bewegungsabläufe ermöglichen. Hohe Wiederholgenauigkeit und Präzision bei der Bewegungsübertragung stehen an oberster Stelle.

Dabei sind Mikrogetriebe an sich keine besondere Neuheit. Mikro-Planetengeräte oder Stirnradgetriebe wurden bereits entwickelt. Diese bisherigen Lösungen weisen jedoch einige Nachteile auf, die

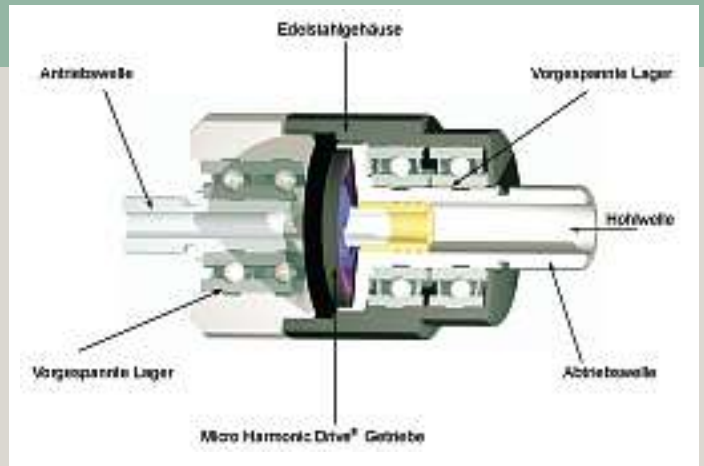
eine Anwendung in Positionierachsen in Maschinen und Geräten ausschließen. Entweder sind diese Lösungen spielbehaftet oder sie ermöglichen eine extrem niedrige zulässige Belastung.

Weltkleinster spielfreier Positionierantrieb

Gefordert sind daher Mikrogetriebe, die nicht nur klein sind, sondern eine hohe Wiederholgenauigkeit, Spielfreiheit, eine hohe Übersetzung (ins Langsame) und wenige Bauteile aufweisen. Diese Forderung gab den Anstoß für die Entwicklung eines neuartigen Mikrogetriebes, das Micro Harmonic Drive Getriebe. Dieses wurde von der Micromotion GmbH Mainz (einem verbundenen Unternehmen der Harmonic Drive AG Limburg, die seit Jahrzehnten zu den führenden Herstellern im Bereich



Getriebebauteile



Wahlweise verfügbar mit gelagerter Antriebswelle oder für den Direktanbau an allen gängigen Mikromotoren: Mikro-Getriebebox der MHD Baureihe.

Präzisionsgetriebe und -antriebe zählt) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM) entwickelt und gilt derzeit als weltkleinster spielfreier Positionierantrieb.

Die Grundelemente des Micro Harmonic Drive Getriebes in Flachbauweise werden aus dem Wave Generator und den drei Zahnrädern Flexspline, Circular Spline, und Dynamic Spline gebildet. Der Wave Generator besteht aus einem Sonnenrad, das üblicherweise an der Motorwelle angebracht ist, sowie zwei elastisch verformbaren Planetenrädern. Die Verzahnung der Planetenräder greift in die Innenverzahnung des Flexsplines ein. Der Flexspline ist ein dünnwandiger, elastisch

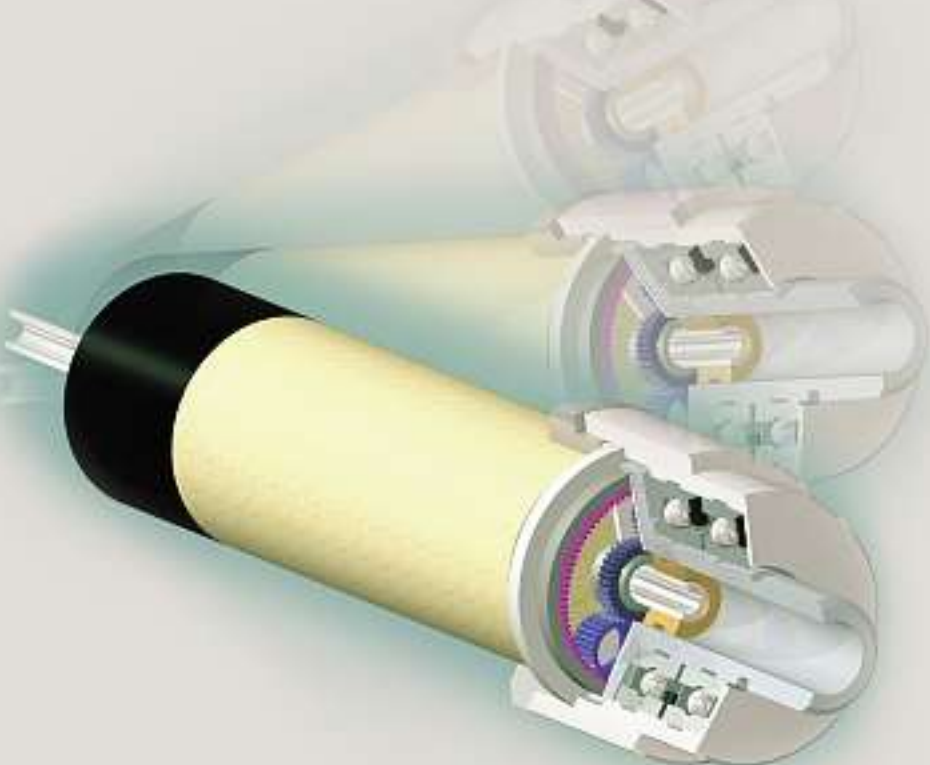
verformbarer Ring, der die Form des elliptischen Wave Generators annimmt.

Die Außenverzahnung befindet sich im Eingriff mit den Innenverzahnungen des Circular Splines, als auch des Dynamic Splines. Der Circular Spline ist ein innenverzahntes Hohlrad und befindet sich im Bereich der großen Ellipsenachse des Wave Generators im Eingriff mit dem Flexspline. Der Circular Spline besitzt zwei Zähne mehr als der Flexspline. Der Dynamic Spline ist ein innenverzahntes Hohlrad mit gleicher Zähnezahl wie der Flexspline. Dieses Bauteil rotiert in gleicher Drehrichtung und mit gleicher Drehzahl wie der Flexspline und wird im Untersetzungsbetrieb als Abtriebsselement benutzt.

Wave Generator - ausgeführt als Planetengetriebe

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

Der einzigartige Micro-Harmonic-Drive-Getriebeeinbausatz hat einen Außendurchmesser von nur 8 mm bei einer axialen Länge von 1 mm. Er



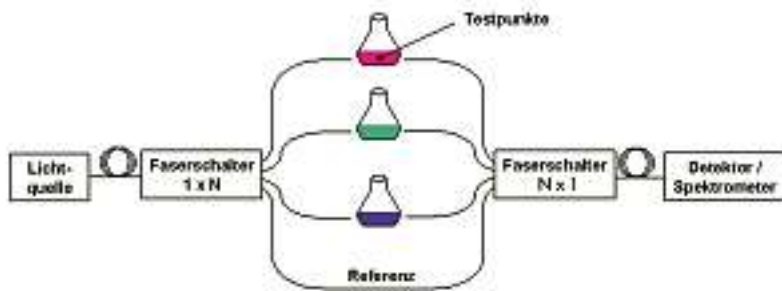
bietet Übersetzungsverhältnisse von 160 zu 1 bis 1000 zu 1. Die Micro-motion GmbH bietet verschiedene Getriebebauformen bzw. Abtriebslagerkonzepte an, um eine leichte Integration in verschiedenen Anwendungen zu ermöglichen. Mikro-Getriebeboxen der MHD Baureihe sind verfügbar in zwei Baugrößen, entweder mit gelagerter Antriebswelle oder für den direkten Anbau an allen gängigen Mikromotoren z. B. Arsape, Escap, Faulhaber, Maxon, Mymotors, RMB usw.

Diese Lösung bietet somit eine Reihe von Vorteilen, vor allem: Spielfreiheit bei miniaturisierter Baugröße, exzellente Wiederholgenauigkeit für präzise Positionierung, hohe Drehmomentkapazität für dynamische Indexieranwendungen sowie, um Leistungsverluste zu minimieren, einen hohen Wirkungsgrad. Und noch weitere Merkmale zeichnen die Getriebebox aus, nämlich die extrem flache Bauweise (ermöglicht kompakte Geräteabmessungen), das geringe Eigengewicht für Anwendungen in tragbaren Geräten, sowie – last but not least – die hohen Übersetzungen ins Langsame (Übersetzungen) mit wenigen Bauteilen für die verlustarme Drehmomentvergrößerung von Mikromotoren.

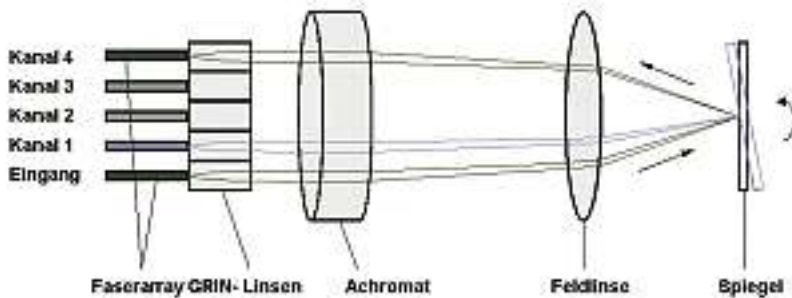
Konventionelle Verfahren zur Herstellung von Zahnrädern eignen sich in Abhängigkeit von der Zahngeometrie bis zu einem minimalen Modul von 60 bis 100 µm. Allerdings müssen bei diesem Modul Kompromisse hinsichtlich einer optimalen Verzahnungsgeometrie akzeptiert werden, um die Herstellbarkeit mit konventionellen Methoden zu ermöglichen. Zur Herstellung von Zahnrädern für Mikrogetriebe hat sich daher der Einsatz mikrotechnischer Verfahren wie z. B. dem LIGA-Verfahren (Lithographie + Galvanoformung + Abformung) bewährt.

Diese Technologien stammen aus der Halbleiterfertigung und basieren auf lithografischen Prozessen, d. h., die lateralen Strukturen befinden sich als Absorberschicht auf einer Maske und werden über Schattenprojektion hochpräzise in einen Fotoresist übertragen. Um Strukturen von bis zu mehreren Millimetern Höhe und gleichzeitig Abweichungen geringer 1 µm zu erzeugen, muss aufgrund des hierfür verwendeten Materials hochenergetische und hochparallele Synchrotron-Strahlung verwendet werden.

Derzeit weltkleinster Positionierantrieb: Mikro AC-Servoantrieb mit Hohlwelle



Einsatz von Schrittmotoren hoher Auflösung für optomechanische Systeme: Von oben nach unten: Faserschalter als Multiplex-System,



Schema des optischen Schalterkonzeptes



und drei mögliche Aktorkonzepte für eine Spiegelklippung. Quelle: Pyramid Optics GmbH (MEMS = Micro Electro Mechanical System)

Hochbeanspruchte Mikro- zahn- räder aus NiFe-Legierung

Für die Herstellung des Micro Harmonic Drive wird ein Fertigungsverfahren eingesetzt, welches eine kostengünstige Serienproduktion von metallischen Mikrozinhrädern gestattet. Um gleichzeitig die hohen Untersezungen und die geringen Abmessungen realisieren zu können, wird für die Zähne ein Modul von 34 μm verwendet, weniger als die Hälfte der Breite eines menschlichen Haares. Alle Zahnäder bestehen aus einer Nickel-Eisen-Legierung. Aufgrund seiner hohen Streckgrenze von 1500 N/mm², dem niedrigen Elastizitätsmodul von 165 000 N/mm² und seiner Dauerfestigkeit bietet diese galvanisch abgeschiedene Legierung exzellente Materialeigenschaften für hochbeanspruchte Mikrozinhräder.

Um die Einbindung des Getriebes in die Maschinen- bzw. Produktumgebung zu vereinfachen, ist das Micro Harmonic Drive Getriebe nur als Getriebebox verfügbar. Verschiedene Varianten ermöglichen es dem Anwender, die Getriebebox entweder direkt oder mit gängigen Mikromotoren zu kombinieren oder – wenn es sich um die Variante mit Antriebswelle handelt – den Motor seitlich anzubauen. Die optional erhältliche Hohlwelle kann für die Durchführung von Laserstrahlen, optischen Fasern oder die Luftversorgung durch die zentrale Achse der Getriebebox genutzt werden.

In Zusammenarbeit mit der maxon motor AG ist zudem ein AC-Servomotor mit zentraler Hohlwelle entstanden. Dieser weltkleinste Positionierantrieb besteht aus einem Micro Harmonic Drive Getriebe und einem elektronisch kommutierten maxon motor Typ EC6 in einer Ausführung mit Hohlwelle. Der Bohrungsdurchmesser beträgt 0,65 mm – Platz genug, um Laserstrahlen oder optische Fasern hindurch zu führen. In axialer Länge misst die Micro-Getriebebox ohne Motor 12,3 mm bei einem Außendurchmesser (Gehäuse) von 8 mm. Mit Motor ist sie, einschließlich magnetischem Encoder mit 100 Pulsen pro Motorumdrehung, 31,3 mm lang. In Kombination mit der Standarduntersetzung 160 zu 1 wird eine abtriebsseitige Auflösung von 20 Winkelsekunden ermöglicht.

Einsatz in ersten Serienanwendungen

Die möglichen Anwendungsgebiete für Mikroantriebssysteme sind vielfältiger Natur. Als Beispiele für erste Serienanwendungen sind die Bereiche Medizintechnik, Halbleiterfertigung und Photonik zu nennen. Beim nachfolgenden Beispiel handelt es sich um die Anwendung in einem optischen Schalter. Der Multimode-Faserschalter, der als Multiplex-System beispielsweise in der Spektro-

skopie oder in Belichtungssystemen seine Anwendung findet, soll das Potenzial von hochauflösenden Schrittmotoren beim Einsatz in der optischen Messtechnik aufzeigen. Das Grundkonzept des Schalters basiert auf der 1 zu 1-Abbildung der Faserstirnfläche des Eingangskanals auf einen der Ausgangskanäle. Durch den in der Zwischenbildebene befindlichen analogen Kippspiegel, dessen Adressierung das Umschalten zwischen den Ausgangskanälen bewirkt, wird eine kompak-

Eckdaten der neuen
Getriebeboxen

	Baugröße	MHD 8		MHD 10		
		Untersetzung	160:1	500:1	160:1	500:1
Spitzendrehmoment	(mNm)	6	16	10	26	40
Nenn Drehmoment	(mNm)	3	8	5	13	20
Wiederholgenauigkeit	(arcsec)	+/- 10	+/- 10	+/- 10	+/- 10	+/- 10
Außendurchmesser	(mm)	8	8	10	10	10
Gewicht	(g)	3.5	3.5	5.7	5.7	5.7

te Bauform des Schalters realisiert. Der Vorteil des Konzeptes mit Spiegelklippung gegenüber herkömmlichen Schaltern, bei denen zum Beispiel die Fasern direkt zum Schalten bewegt werden, liegt in kürzeren Schaltzeiten, auch für größere Faserkern Durchmesser, und einer höheren Reproduzierbarkeit durch die fixe Position der Fasern.

Mit Hilfe einer Raytracing-Software wurde die Optik bezüglich der maximalen Koppelaktivität und des spektralen Verhaltens optimiert. Einen wesentlichen Einfluss auf die Auswahl der Optik-Komponenten haben die Spiegelgröße und der maximale Kippwinkel des Spiegels. Je größer die Auslenkung des Spiegels ist, desto mehr Ausgangskanäle lassen sich adressieren. Deren Anzahl hängt auch vom Kerndurchmesser der verwendeten Fasern (im Bereich 50 ... 1000 µm) ab. Des Weiteren wurden die theoretischen Positionsgenauigkeiten bestimmt, die für ein reproduzierbares Schaltverhalten von $\pm 0,25\%$ gefordert werden. Die Anforderungen liegen im Bereich $< 0,5$ mrad, wodurch die Auswahl der Aktorik deutlich eingeschränkt wird.

Als Aktoren kommen unter anderem MEMS Silizium-Mikrospiegel (1) oder kommerzielle piezogetriebene Kipp-systeme zum Einsatz. Beide Systeme sind in der Auslenkung auf einige Grad begrenzt. Diese Begrenzung stellt in dem Sinne keinen Nachteil

dar, da aufgrund der zweidimensionalen Arbeitsweise trotzdem eine hohe Anzahl von Ausgangskanälen adressiert werden kann.

Aufwändige Regelsysteme erzeugen hohe Kosten, die den Einsatz dieser Systeme erst ab einer relativ hohen Kanalzahl (ca. 60) rentabel machen. Um das Marktsegment von Schaltern mit kleinerer Kanalzahl bedienen zu können, sind alternative Antriebsvarianten für die Spiegelklippung erforderlich. Der Einsatz von Schrittmotoren wird möglich, wenn eine deutliche Auflösungssteigerung durch ein Harmonic Drive Mikrogetriebe erfolgt.

Im Labor wurde deshalb testweise ein 1 x 2 Multimode-Faserschalter (Faserkern Durchmesser: 200 µm) aufgebaut. Zum Kippen des Spiegels wurde ein Schrittmotor (Half-step: 9 Grad) mit einem Mikrogetriebe von 500 zu 1 untersetzt, um die benötigten Positionsgenauigkeiten zu erreichen. Für das Getriebe wurde eine Abtriebswelle konstruiert, so dass der Drehpunkt der Achse mit der Spiegeloberfläche zusammenfällt. Die Koppelaktivität des realisierten Schalters liegt bei 85%. Die Schaltzeit zwischen zwei benachbarten Kanälen wurde zu < 20 ms bestimmt.

Durch den Schrittmotor steht nur eine Kippachse zur Verfügung, diese aber mit praktisch unbegrenztem Stellwinkel. In diesem Fall begrenzt die Qualität der außeraxialen Abbildung die

Anzahl der Kanäle. Rechnungen haben gezeigt, dass sich für Faserkern Durchmesser von 1000 µm bis zu zwölf Ausgangskanäle mit einer Koppelaktivität $> 80\%$ bei einer Kanalhomogenität $< 5\%$ adressieren lassen. Durch die erfolgreiche Umsetzung von Multimode-Faserschaltern wurde aufgezeigt, dass Schrittmotoren mit hochauflösenden Mikrogetrieben für den Einsatz in optomechanischen Aufbauten in Frage kommen.

Anwendung in der Halbleiterfertigung

Der Halbleiterfertigungsprozess lässt sich in einen „front-end“ Prozess, bestehend aus der photo-lithographischen Verarbeitung des Silizium-Wafers, und einen „back-end“-Prozess, der bei dem Sägen des Wafers in einzelnen Chips anfängt und mit den Montage fertig verpackten Elektronikbauteilen am Ende aufhört, unterteilen. So genannte „Die Attach“-Maschinen werden in der Montagephase des „back-end“ Prozesses verwendet. Alphasem AG ist einer der weltführenden Hersteller von „Die Attach“-Maschinen. Diese Maschinen werden eingesetzt, um die Halbleiter-Chips in ihren schützenden Verpackungen zu montieren und zu verbinden.

Dabei müssen die staubkorn-ähnlichen Chips, oft nicht mehr als $0,25 \times 0,25$ mm groß, hoch präzise ausgerichtet und positioniert werden. Die



Neuartiges „Rotary Bond Tool“, um bei der Halbleiterfertigung Chips mit extrem hoher Genauigkeit in beliebige Winkelposition zu positionieren.
Quelle: Alphasem AG, Schweiz

neue Easyline 8032 Maschine von Alphasem verfügt über ein neuartiges „Rotary Bond Tool“, um die Chips mit extrem hoher Genauigkeit in eine beliebige Winkelposition zu positionieren.

Herzstück dieser Baugruppe ist eine Micro Harmonic Drive Getriebebox in einer kundenspezifischen Ausführung. Das Getriebe wird durch einen Mikro-Schrittmotor angetrieben, der über eine Stirnradstufe in das Mikro-Getriebe eintreibt. Die Getriebebox ist mit einer Hohlwelle ausgeführt, um eine Vakuumzufuhr durch das Getriebe zu ermöglichen. Diese wird benötigt, um die Halbleiter „Chips“ für den Positioniervorgang zu greifen. Die Hohlwelle ermöglicht auch die Benutzung eines optischen Sensors, um sicherzustellen, dass der Chip erfolgreich gegriffen wurde. Die Abtriebswelle wird mit vorge-

spanntem Kugellager gestützt, um eine ausreichende Führungsgenauigkeit zu gewährleisten.

Mit dieser Baugruppe, welche komplett bei Micromotion GmbH montiert und geprüft wird, können die Chips mit sub- μm Genauigkeit und hoher Geschwindigkeit positioniert werden. Während der Ent-

wicklungsphase des Rotary Bond Tools wurden ausführliche Dauertests durchgeführt, um die Zuverlässigkeit der Baugruppe zu prüfen. Dabei wurden mehr als 18 Millionen Zyklen gefahren ohne merklichen Unterschied in der Positioniergenauigkeit. (ke) ■

SERVICE

Die Mikrotechniken sind den Kinderschuhen entwachsen und zum Innovationsmotor der Industrie geworden. Mehr als die Hälfte aller technischen Neuerungen entstehen heute in der Mikro- und Nanowelt. Anwendungen, wie soeben geschildert, zeigen, wie es in weniger als zwei Jahren gelungen ist, die Micro Harmonic Drive Technologie aus dem Labor auf praktische Serienanwendungen in der Industrie zu übertragen. Mehr Infos dazu finden sich bei

www.mikrogetriebe.de;
info@mikrogetriebe.de
Micromotion GmbH,
55124 Mainz-Gonsenheim
Tel. 0 61 31/6 69 27-0;
Fax 0 61 31/6 69 27-20
sowie bei:

www.harmonicdrive.de;
info@harmonicdrive.de
Harmonic Drive AG,
65555 Limburg
Tel.: 0 64 31/50 08-0;
Fax: 0 64 31/50 08-18

Literaturnachweis:
(1) Lausch C., Göring R.,
Wippermann F.: Fiber optic switch
concept with analog micromirror device,
SPIE 4983-39, 2003.