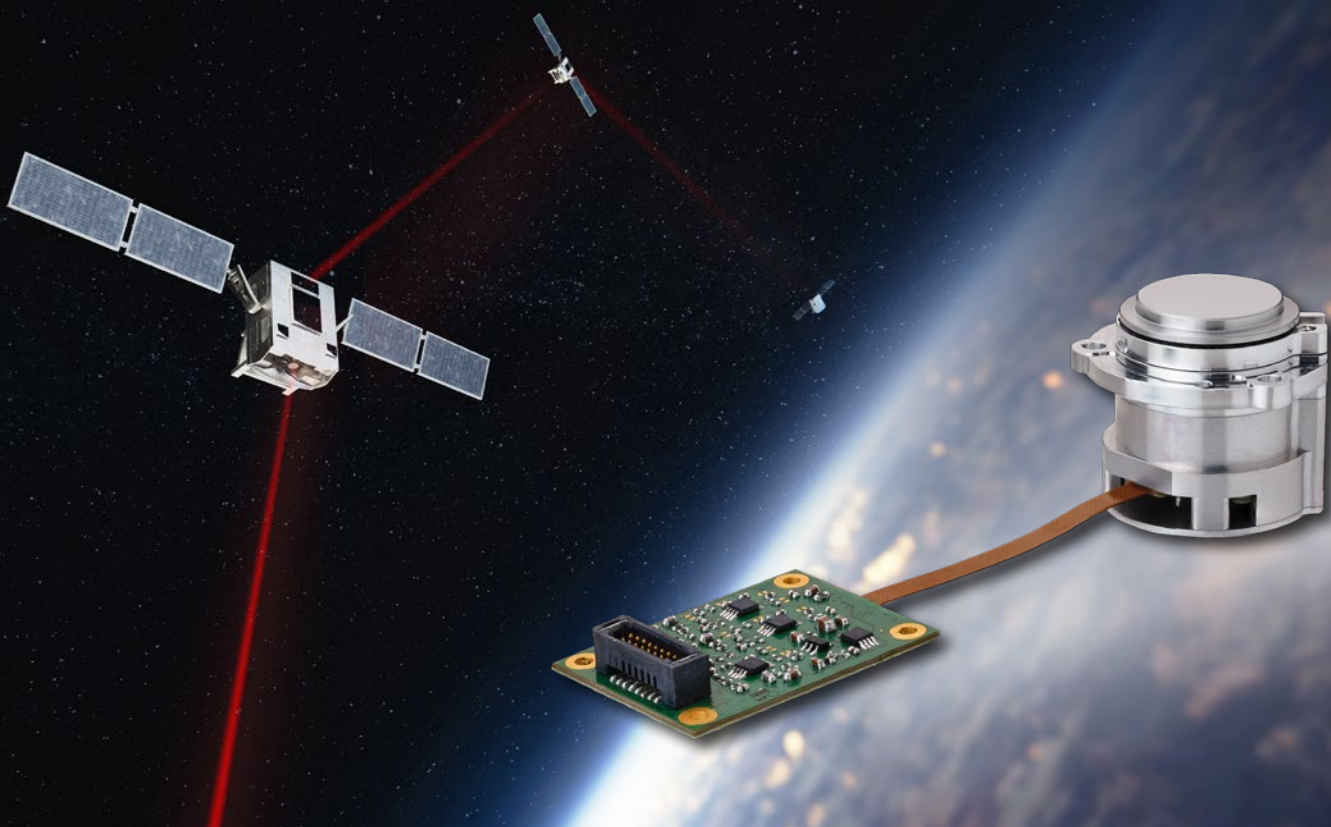




# Mehr Präzision.

**FSM3000** // Fast Steering Mirrors zur präzisen Laserstrahl-Lenkung



# Hochdynamische und robuste Kippspiegelsysteme

## FSM3000

### Fast Steering Mirror –

#### Miniaturisierte Kippspiegel zur Laserstrahl-Ausrichtung

Fast Steering Mirrors sind mikromechatronische Systeme, die zur schnellen und präzisen Umlenkung von Licht- bzw. Laserstrahlen eingesetzt werden. Die dynamischen Systeme nutzen einen hochgradig ebenen Spiegel, der von einem Aktor in Form von zwei elektromagnetischen Spulen pro Kippachse bewegt wird, sowie hochpräzise Wirbelstrom-Wegsensoren.

Der Fast Steering Mirror kann in zwei Achsen äußerst präzise gesteuert werden. Ein zentraler Drehpunkt erlaubt eine spiel- und verschleißfreie, synchrone Bewegung.

Die Kippspiegelsysteme werden zur optischen Kommunikation und zur Stabilisierung von Laserstrahlen in der Luft- und Raumfahrt, im Verteidigungsbereich sowie in der optischen Messtechnik und Industrie eingesetzt.

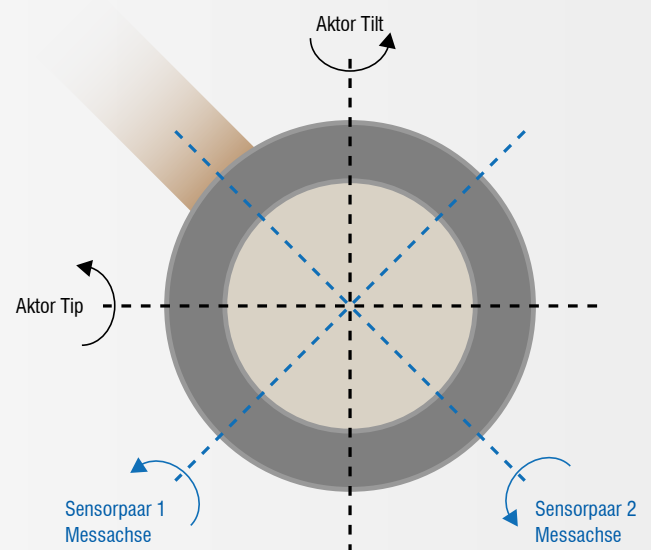


### Funktionsprinzip

Fast Steering Mirrors von Micro-Epsilon basieren auf dem Voice-Coil-Prinzip. Die Bewegung des Spiegels erfolgt über vier Aktor-Spulen, von denen jeweils zwei eine Drehachse bilden. Durch das Speisen der Spulen mit Strom bildet sich ein Magnetfeld um die Spule, welches ein Drehmoment erzeugt und den Spiegel um die Drehachse neigt (Tip/Tilt). Dies erfolgt verschleißfrei und über einen zentralen Drehpunkt.

Vier temperaturstabile, integrierte Wirbelstromsensoren erfassen die Position des Spiegels. Je zwei gegenüberliegende Sensoren definieren eine Messachse und werden miteinander verrechnet, um den Kippanteil des Signals zu erhalten und analog auszugeben. Zusätzlich überwacht ein weiterer Sensor die Temperatur im FSM und gibt diese aus. Über ein Linearisierungspolynom, welches auch das Temperatursignal berücksichtigt, wird die tatsächliche Spiegelposition sehr präzise ermittelt.

Im Closed-Loop-Betrieb kann dieses Ergebnis beispielsweise kundenseitig als Winkel-Istwert mit einem Sollwert im Regler verrechnet und der von einer Leistungselektronik bereitgestellte Strom durch die Aktorspule geregelt werden.



# Einsatzbereiche & Applikationen

## Branchen / Industriezweige

- Luftfahrt
- Verteidigung
- Optische Messtechnik
- Halbleiter

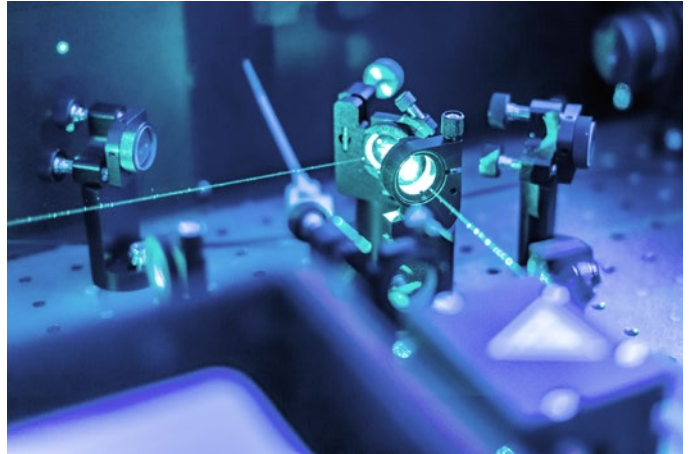
## Applikationen

- Laser-Kommunikation
- Laserbasierte Bearbeitung
- Optische Bildgebung
- Tracking



### Satellitenkommunikation

Über den Fast Steering Mirror werden Laserstrahlen im Low-Earth-Orbit über tausende Kilometer und bei Geschwindigkeiten von 25.000 km/h geleitet, um eine sichere Satelliten-Kommunikation aufzubauen. Die FSM3000 sind äußerst robust konstruiert und arbeiten auch im Orbit sehr präzise und zuverlässig.



### Laser-Mikrobearbeitung

Fast Steering Mirrors ermöglichen eine schnelle und hochauflösende Regelung und werden daher für die Inline-Ausrichtung von Lasern eingesetzt, z. B. bei der Herstellung von Gitterstrukturen und Wellenleitern oder in Anwendungen wie dem Vereinzeln (Dicing) und dem Laserätzen. Entscheidend sind dabei die hohe Kippfrequenz und Präzision, die dank des hervorragenden Regelverhaltens langfristig stabil bleiben.



### Tracking

Bei der optischen Nachverfolgung von Objekten oder Fahrzeugen, z.B. durch Drohnen, übernehmen Fast Steering Mirrors die laserbasierte Kommunikation zwischen der Drohne und einer Bodenstation.



### Bildstabilisierung

Zur schnellen Bildgebung müssen Objektive während der Bewegung möglichst stabil bleiben, um scharfe Bilder zu erzeugen. Die Fast Steering Mirrors unterstützen das Ausgleichen der Objektbewegungen, sodass jede Einzelaufnahme im Quasi-Stillstand erfolgen kann. Insbesondere die feine Ausrichtung und schnelle Reaktion des FSM sind hierbei vorteilhaft.



# Hochdynamische und robuste Kippspiegelsysteme FSM3000

-  Hohe Dynamik mit hervorragendem Regelverhalten bis 1,5 kHz
-  Großer Kippwinkel von  $\pm 1,5^\circ$  (26 mrad)
-  Hochauflösende Positionsmessung  $< 0,3 \mu\text{rad}$  (RMS, 0 - 10 kHz)
-  Kleine Bauform, großer Spiegel ( $\varnothing 20 \text{ mm}$ )
-  Robust und stabil für Aerospace & Defense, Optik und Industrie
-  Optimiert für Serienanwendungen



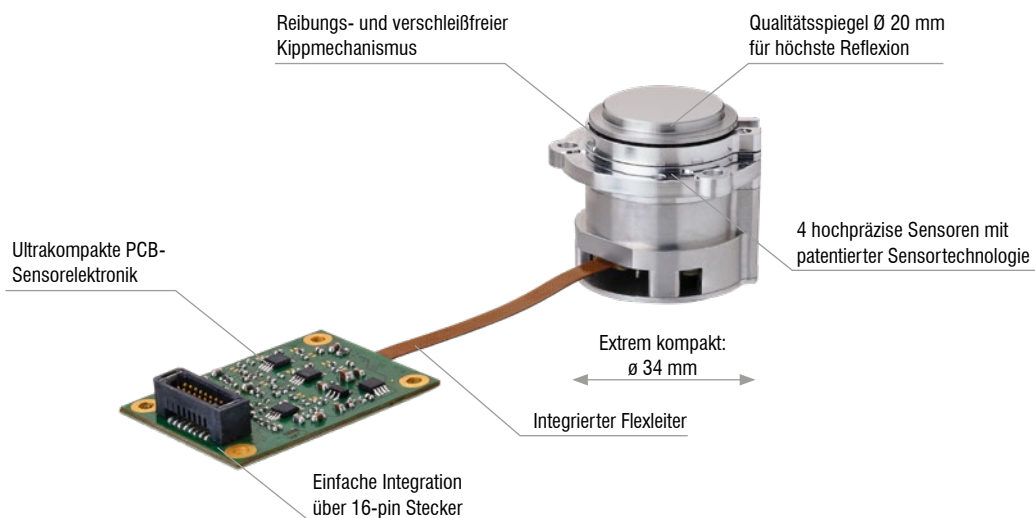
## Herausragende Kombination aus Dynamik & Kippwinkel

Die Fast Steering Mirrors FSM3000 sind kompakte, miniaturisierte Kippspiegel, die zur präzisen Lenkung oder gezielten Positionierung von Laserlicht eingesetzt werden. Der FSM3000 zeichnet sich durch einen großen Bewegungsbereich von  $\pm 1,5^\circ$  je Kippachse bei gleichzeitig kurzer Reaktionszeit aus, wodurch dynamische Anwendungen mit hoher Präzision gelöst werden.

Hochpräzise Spiegel mit exzellenter Oberflächengüte und hoher Reflektivität sorgen zudem für eine nahezu verlustfreie Umlenkung des Lichts bei geringer Erwärmung.

## Robust und Stabil im Freifeld bis in den Weltraum

Die FSM3000 Kippspiegelsysteme überzeugen durch Robustheit, kleine Bauform und ihr geringes Gewicht. Damit sind sie nicht nur leicht zu integrieren, sondern auch enorm belastbar um z.B. starken Schocks und Vibrationen bei Raketenstarts auch ohne Launch-Lock standzuhalten. Auch im Weltraum oder im Vakuum arbeiten die Systeme extrem zuverlässig und stabil.



Modell		FSM3000-M20-A26/A1/S1
Anzahl Achsen		2 (tip-tilt)
Kippwinkel <sup>[1]</sup>		nominal $\pm 1,5^\circ$ (26 mrad)
Auflösung		$< 0,3 \mu\text{rad}$ (RMS, 0 - 10 kHz)
Linearität <sup>[2]</sup>		$< 0,15\%$ d.M.
Kippfrequenz		bis zu 2 kHz
Versorgungsspannung		Sensor: $+5\text{ V}$ ( $\pm 2\%$ ), optional $+8\text{ V}$ ( $\pm 10\%$ )
Leistungsaufnahme		Sensor: $< 0,5\text{ W}$ Aktor: statisch 115 mW bei $1,5^\circ$ (nominal)
Maximale Stromaufnahme		Aktor: ca. 7 mA/mrad
Spulenwiderstand		$3,5\ \Omega \pm 0,5\ \Omega$
Induktivität		$540\ \mu\text{H} \pm 40\ \mu\text{H}$
Analogausgang		Winkel: $-4 \dots +4\text{ V}$ (je Achse) Temperatur: $0 \dots +4,5\text{ V}$ ( $115 \dots -50^\circ\text{C}$ , nichtlinear)
Anschluss		16-Pin Stecker Typ Samtec TFM-108-02
Montage		Spiegel: Verschraubung über 3 Befestigungsbohrungen (Durchgangsloch $\varnothing 3,2\text{ mm}$ ) Sensorelektronik: Verschraubung über 4 Befestigungsbohrungen (Durchgangsloch $\varnothing 2,2\text{ mm}$ )
Temperaturbereich	Lagerung	$-40 \dots +80^\circ\text{C}$
	Betrieb <sup>[3]</sup>	$-10 \dots +65^\circ\text{C}$ ( $-40 \dots +80^\circ\text{C}$ )
Schock (DIN EN 60068-2-27)		ca. 220g / 100 Hz $> 400\text{g}$ (x/y), 600g (z) / 2 kHz
Vibration (DIN EN 60068-2-6)		bis 55g RMS
Material		Aluminiumgehäuse; Lötprozess: bleihaltig (für Space FSM3000... /S1), optional bleifrei (Industrie FSM3000... /I1)
Gewicht		ca. 55 g
Protokollformat		JSON (optional XML) Enthält Polynomkoeffizienten, Temperaturkoeffizienten und weitere Informationen
Spiegelparameter		
Substrat		Aluminium
Beschichtung		Dielectric (optional Protected Gold)
Spiegelgröße		$\varnothing 20\text{ mm}$ (optional $\varnothing 12,5\text{ mm}$ mit FSM3000-M13)
Freie Apertur		$> \varnothing 18,5\text{ mm}$ (optional 11,3 mm)
Reflektivität		$> 99,3\%$ (@1550 nm)
Oberflächenabweichung <sup>[4]</sup>		26 nm RMSt

<sup>[1]</sup> ab  $\sim 200\text{ Hz}$  mit reduziertem Kippwinkel

<sup>[2]</sup> d.M. des Messbereichs; Wert nach Anwendung des Linearisierungspolynoms

<sup>[3]</sup>  $-40 \dots +80^\circ\text{C}$  mit reduzierter Performance bezüglich lokaler Temperaturempfindlichkeit und Wellenfrontfehler

<sup>[4]</sup> Raumtemperatur, 20 mm Spiegel

## Artikelbezeichnung

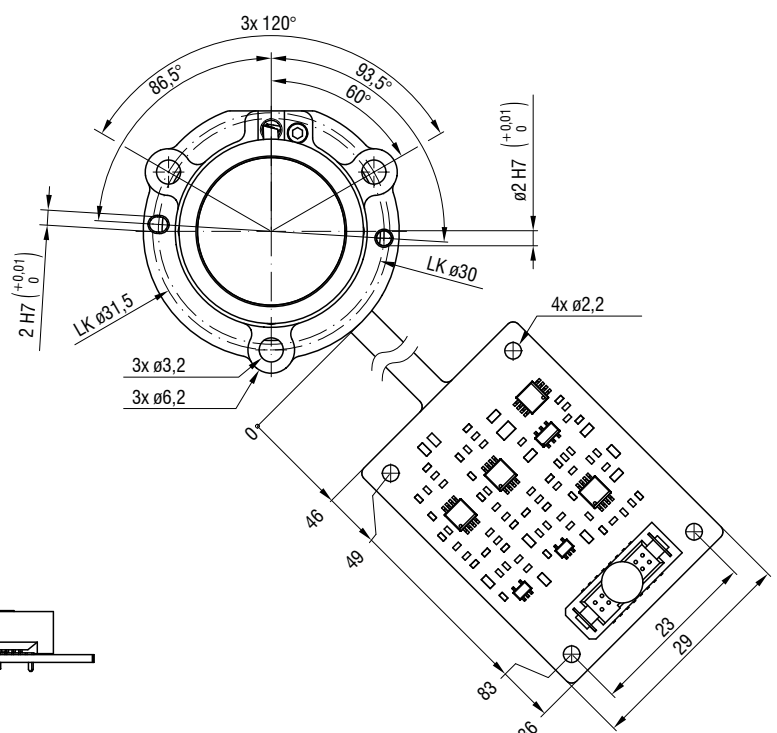
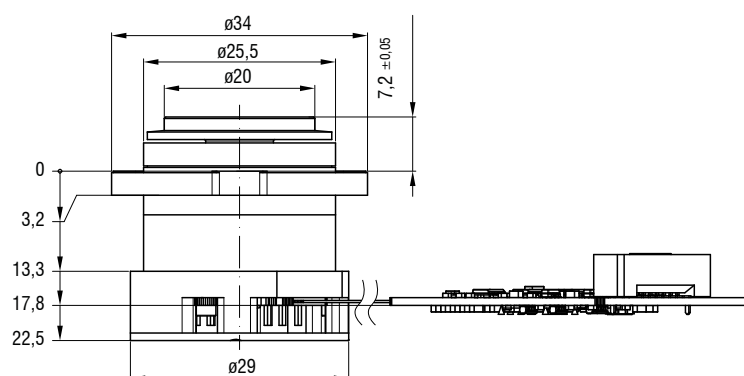
FSM3000 -M20 -A26 /A1 /S1

**S1** = Spacetauglich (standard: verbleit gelötet, ohne conformal coating)  
**I1** = Industrietauglich (RoHS konform, unverbleit gelötet)

**A1** = Standard Interface (kundenspezifische Optionen möglich)

**A26** = Kippwinkel in mrad (Einschränkung kundenspezifisch möglich)

**M20** = Spiegel 20 mm Durchmesser, Dielectric coating  
**M13G** = Spiegel 12.5 mm Durchmesser, Protected Gold coating



# Fast Steering Mirror – Kundenspezifische Entwicklung und Anpassung

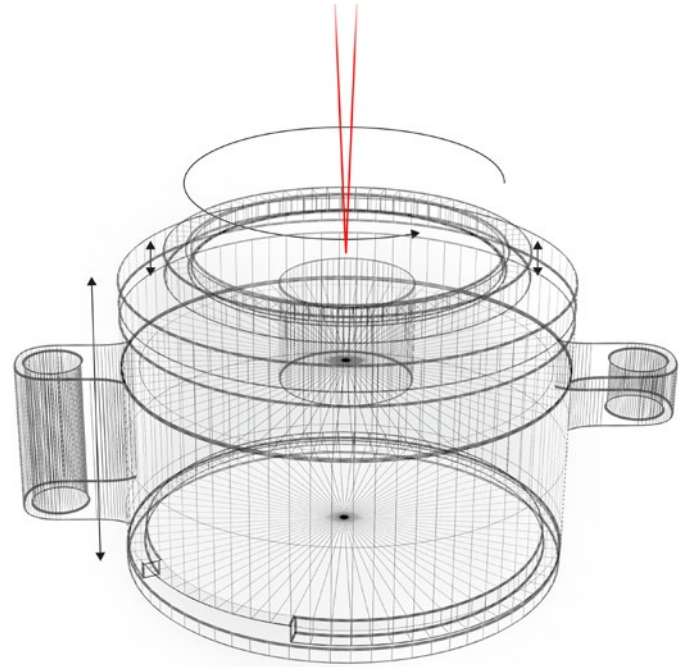
## Katalogprodukte bis OEM:

### optimierte Kippspiegelsysteme für den Serieneinsatz

Micro-Epsilon bietet mit der FSM3000 Serie ein vielseitiges Portfolio: Systeme mit Standardspiegeln (COTS), kundenspezifische Modifikationen (MOTS) bis hin zu OEM-Entwicklungen für Serienanwendungen. Dank modernsten Technologien und spezialisierten Fertigungsprozessen setzen wir wirtschaftliche Gesamtlösungen um – auch bei höchsten Anforderungen.

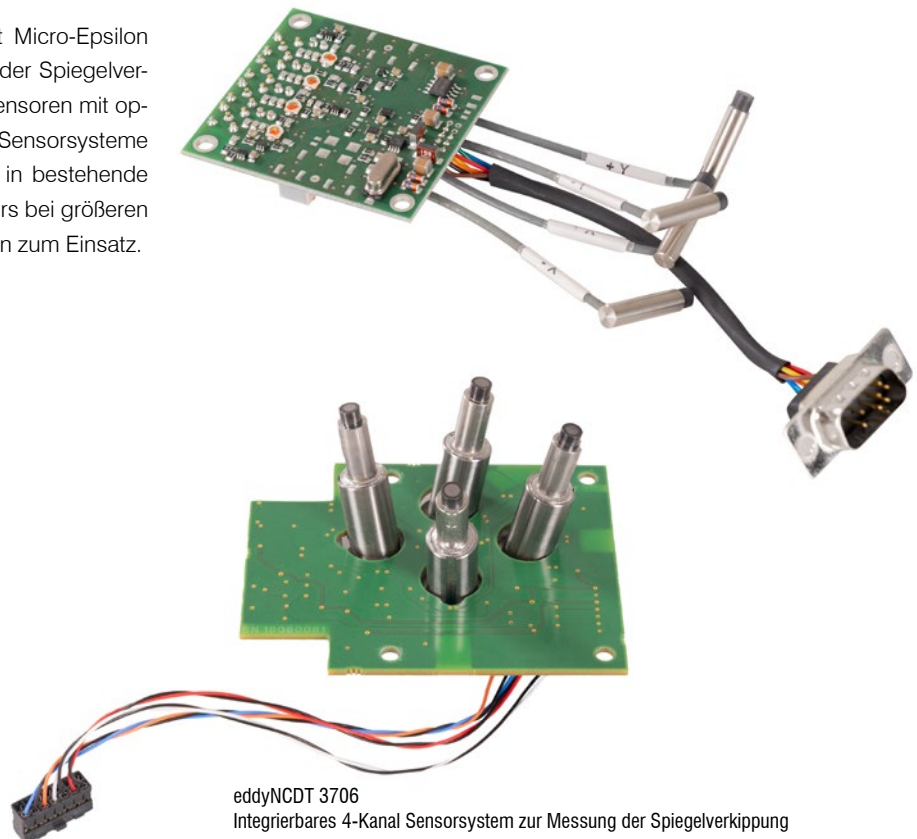
### Typische Anpassungen für OEM-Anwendungen:

- Spiegeldurchmesser
- Beschichtung (je geforderter Laserleistung)
- Sensorelektronik (Formfaktor)
- Verbleit für Space / bleifrei für Industrieanwendungen
- Flexleiterlänge
- Montageinterface



## Sensor-Lösungen zur hochpräzisen Messung der Spiegelverkipfung

Neben den kompletten Kippspiegel-Systemen bietet Micro-Epsilon spezielle Sensorsysteme zur hochpräzisen Messung der Spiegelverkipfung an. Diese Systeme nutzen vier Wirbelstromsensoren mit optimierter Auflösung und Grenzfrequenz. Die 4-Kanal-Sensorsysteme werden direkt integriert – entweder standalone oder in bestehende Fast Steering Mirror Systeme – und kommen besonders bei größeren Spiegeln oder speziellen Positionierungsanforderungen zum Einsatz.



eddyNCDT 3706  
Integrierbares 4-Kanal Sensorsystem zur Messung der Spiegelverkipfung



## Moderne Fertigungsverfahren für hochpräzise Systeme

Micro-Epsilon ist ein weltweit führender Anbieter für Wegsensorik und Messtechnik mit jahrzehntelanger Erfahrung in der Entwicklung, Fertigung und Anwendung. Tiefgehendes Technologie-, Applikations- sowie Branchenwissen ermöglicht eine effiziente und zielgerichtete Entwicklung von Katalog-Lösungen und OEM-Serienprodukten. Modernste Fertigungsanlagen und automatisierte Prozesse helfen, große Fertigungslose mit hohen Ansprüchen und Qualitätsanforderungen aus dem „New Space“ zu realisieren.



### Sensorik-Kompetenz

Unsere Sensorik-Produkte werden mit Weitblick entwickelt: sie sind kompakt, sehr robust, einfach integrierbar und arbeiten in nahezu allen Umgebungen zuverlässig und präzise.



### Mehr Präzision

Die FSM3000 Systeme nutzen die weltweit führende Wirbelstromsensorik: extrem robust, genau und hochdynamisch für die hochpräzise Positionsüberwachung.



### Höchste Qualität

Hochwertige Spiegel mit exzellenter Reflektivität und Oberflächengüte reduzieren optische Verluste auf ein Minimum.



### Flexibilität

Die Sensorsysteme können angepasst werden oder kundenspezifisch für Großserien entwickelt werden.



### Branchen- und Applikationserfahrung

Jahrzehntelange Erfahrung aus den Bereichen Luftfahrt, Halbleiter und Industrie fließen in unsere Produkte ein – dadurch schaffen wir nachhaltigen Mehrwert für unsere Geschäftspartner.



### Hochspezialisierte Eigenfertigung

Mit dem gebündelten Know-how und der Fertigungstiefe aus der Micro-Epsilon Gruppe liefern wir leistungsfähige Sensor-Produkte aus einer Hand – auch in Großserien.



## Sensoren und Systeme von Micro-Epsilon



Sensoren und Systeme für Weg, Abstand und Position



Sensoren und Messgeräte für berührungslose Temperaturmessung



Mess- und Prüfanlagen zur Qualitätssicherung



Optische Mikrometer, Lichtleiter, Mess- und Prüfverstärker



Sensoren zur Farberkennung, LED Analyser und Inline-Farbspektrometer



3D Messtechnik zur dimensionellen Prüfung und Oberflächeninspektion