

## Trennung von Spindelfehlerbewegung und Zielformfehler bei hochgenauen Spindelmessungen

Der Spindelfehleranalysator (SEA) misst und analysiert die dynamische Fehlerbewegung hochgenauer Spindeln mithilfe eines berührungslosen Messprinzips. Er erfasst radiale und axiale Fehlerbewegungen und ermöglicht so einen detaillierten Einblick in die Spindelleistung. Für ultrapräzise Anwendungen mit höheren Anforderungen an die Analyse hat IBS Precision Engineering das Erweiterungskit Multi Probe Analyzer (MPA) für den Spindle Error Analyzer entwickelt, um eine noch präzisere Charakterisierung der Spindel zu ermöglichen.

### Spindle Error Analyzer

Zum Maschinenqualifizierungs-Portfolio von IBS Precision Engineering gehört der Spindle Error Analyzer (SEA), ein System zur Messung und Analyse dynamischer und thermischer Fehlerbewegungen hochpräziser Spindeln. Der SEA ermöglicht eine detaillierte Charakterisierung des Spindelverhaltens unter realistischen Betriebsbedingungen und unterstützt sowohl die Maschinenqualifizierung als auch die Prozessoptimierung.

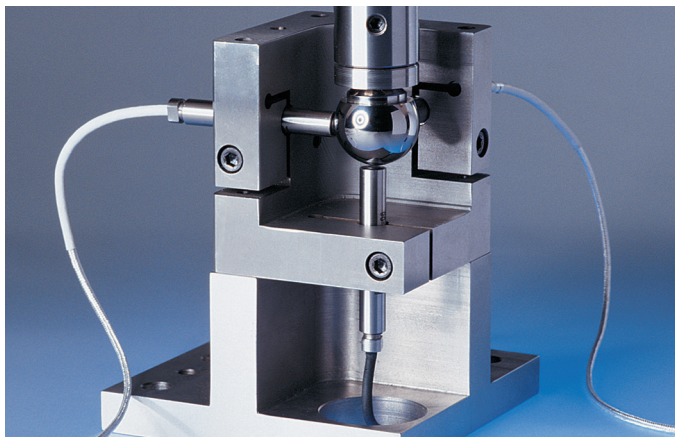


Abbildung 1: Aufbau des Spindle Error Analyzer (SEA)

Die SEA-Konfiguration besteht aus drei Wegsensoren zur Messung der radialen (XY) und axialen (Z) Fehlerbewegungen eines auf der rotierenden Spindel montierten Targets. Ist der geometrische Fehler des Targets deutlich kleiner als die Spindelfehlerbewegung, kann die gemessene Abweichung zuverlässig der Spindel zugeordnet werden. Dadurch eignet sich der SEA hervorragend für Maschinenqualifizierung, Zustandsüberwachung und Leistungsbewertung.

### Messanforderungen für ultrapräzise Spindeln

Fortschritte in der Spindeltechnologie haben die Fehlerbewegungen in hochgenauen Spindelanwendungen erheblich reduziert. In der hochpräzisen Fertigung mit beispielsweise hochwertigen Lagern sowie verbesserter thermischer und struktureller Stabilität liegt die typische Fehlerbewegung bei etwa 1–3 µm. In der

Ultrapräzisionsbearbeitung mit beispielsweise Luftlagern und Metrologie-Spindeln liegt die typische Spindelfehlerbewegung unter 0,1 µm.

Bei diesen Genauigkeitsniveaus verändert sich das Verhältnis zwischen Spindelfehlerbewegung und Zielformfehler. Der geometrische Fehler des Targets ist nicht länger vernachlässigbar und wird zu einem wesentlichen Bestandteil der Messung, wodurch er direkt zur Gesamtunsicherheit beiträgt. Je näher die Fehlergrößen zusammenliegen, desto wichtiger wird die Trennung der einzelnen Beiträge von Spindelbewegung und Targetgeometrie.

Für ultrapräzise Anwendungen mit erhöhtem Analysebedarf entwickelte IBS Precision Engineering das Multi-Probe Analyzer (MPA) Erweiterungskit. Entwickelt für Spindeln mit Fehlerbewegungen von 500 nm und darunter, trennt das MPA die Targetgeometrie aus der Messung heraus und macht die tatsächliche Spindelleistung im Nanometerbereich sichtbar.

### Multi-Probe Analyzer für SEA

Der Multi-Probe Analyzer (MPA) ist ein Erweiterungskit für das SEA-System. Die zentrale Innovation ist die Implementierung der Multi-Probe-Methode, welche die Trennung von Spindelfehlerbewegung und geometrischem Zielfehler innerhalb des Messsignals ermöglicht. Dadurch wird eine präzise Spindelcharakterisierung möglich, selbst wenn beide Beiträge dieselbe Größenordnung erreichen.



Abbildung 2: Aufbau des Multi-Probe Analyzers (MPA)

Das MPA verwendet denselben Grundkörper des Sensornests, dieselben Sensoren und dieselbe Messsoftware wie der SEA, ergänzt durch eine zusätzliche MPA-App. Das System arbeitet mit drei Wegsensoren, die in optimierten Winkelpositionen im MPA-Ring um das rotierende Target angeordnet sind. Diese Sensorpositionen ermöglichen die Trennung der geometrischen Zielfehler von der Spindelfehlerbewegung.

Obwohl Hardware, Software und Messaufbau weitgehend mit dem SEA identisch sind, unterscheidet sich der zugrunde liegende Datenanalyseansatz grundlegend. Durch die Verarbeitung der Messdaten in der MPA-Software können die einzelnen Beiträge von Spindelfehlerbewegung und Targetgeometrie getrennt werden. Dies ermöglicht eine zuverlässige Extraktion harmonischer Anteile bis zu 150 UPR und damit weit über den Bereich hinaus, der typischerweise in praktischen Spindel Anwendungen auftritt.



Abbildung 3: MPA: Drei Sensoren in unterschiedlichen Winkelpositionen auf das Target ausgerichtet

### Wichtige Vorteile des MPA

Durch die Kombination aus Multi-Probe-Messung und fortschrittlicher Signalverarbeitung bietet das MPA mehrere wesentliche Vorteile:

- Präzise Trennung von Spindelbewegung und Targetgeometrie
- Geringere Abhängigkeit von ultrapräzisen Referenztargets
- Zuverlässige Messungen im Nanometerbereich
- Einfaches Erweiterungskit für den SEA
- PDF-Reports mit tatsächlichen Spindel- und Zielformfehlern

Keine zusätzlichen kapazitiven Sensoren erforderlich  
Dies ermöglicht eine präzise Charakterisierung ultrapräziser Spindelleistung unter realistischen Betriebsbedingungen. Die separierten MPA-Daten können anschließend wieder in die Software des Spindle Error Analyzer importiert werden, um eine weiterführende Spindelanalyse durchzuführen.

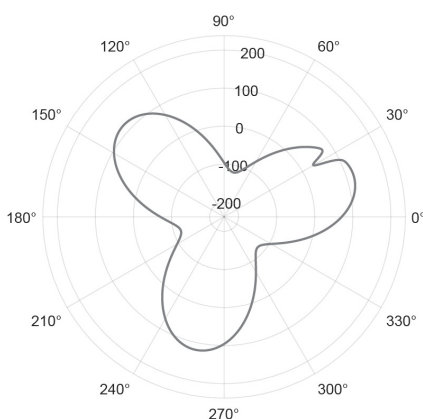
### Nanometergenaue Spindelcharakterisierung

Die Multi-Probe-Fehlerseparation bestimmt Targetgeometrie und Spindelfehlerbewegung unabhängig voneinander aus einer einzigen Messung und ermöglicht eine zuverlässige Spindelcharakterisierung, selbst wenn beide Fehlerquellen eine ähnliche Größenordnung aufweisen.

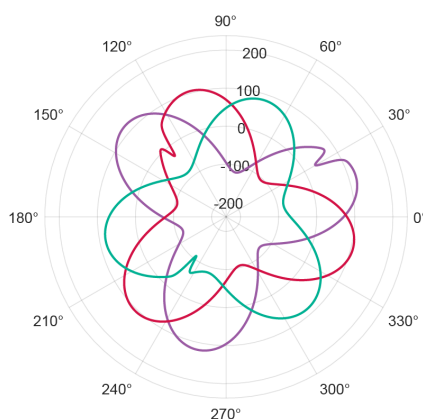
### Weiter lesen

- [Multi Probe Analyzer Webseite](#) (Teil der SEA-Webseite)

Spindle error measured by SEA



Sensor signals using MPA



Separated spindle and target error, measured by MPA

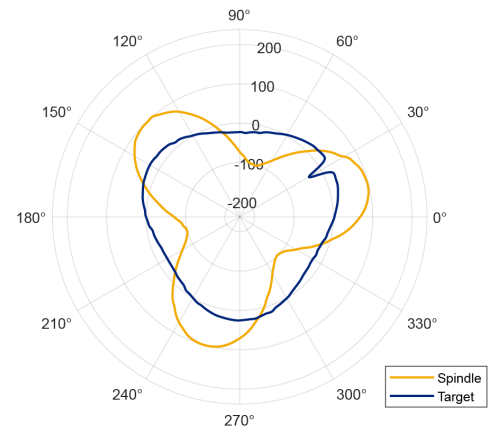


Abbildung 4 – Beispielmessungen: SEA-Messfehler, Sensorsignale des MPA und MPA-Fehlerseparation

Der SEA misst die kombinierte Spindelfehlerbewegung und den Formfehler des Targets mit zwei Sensoren, die im 90°-Winkel angeordnet sind. Der MPA verwendet drei Sensorsignale und trennt mittels Separationsalgorithmus die Spindelfehlerbewegung vom Formfehler des Targets.