



Technische Information

Längenmessgeräte verbessern die Bearbeitungsgenauigkeit

Die Genauigkeit einer Werkzeugmaschine hängt entscheidend von ihrer Fähigkeit ab, schnell wechselnde Einsatzbedingungen zu verkraften. Der Übergang von einer Schruppbearbeitung zum Schlichten ändert die mechanische und thermische Belastung der Maschine erheblich, wodurch starke Veränderungen der Genauigkeit entstehen können. Ähnliche Wechsel der Belastungszustände treten bei der Bearbeitung kleiner Losgrößen auf. Ständige Wechsel zwischen Rüstvorgängen und auftragsspezifischer Bearbeitungen sorgen für schwankende Wärmeeinträge mit entsprechenden Auswirkungen auf die Genauigkeit. Gerade bei kleinen Losgrößen muss aber die Genauigkeit des ersten Teils sichergestellt werden, um Fertigungsaufträge mit engen Toleranzen wirtschaftlich bearbeiten zu können. In diesem Umfeld wird die thermische Genauigkeit einer Werkzeugmaschine zum wesentlichen Aspekt.

Insbesondere die Vorschubantriebe spielen hierbei eine wichtige Rolle. Sie werden durch hohe Verfahrensgeschwindigkeiten und Beschleunigungen stark beansprucht und erzeugen viel Wärme. Ohne geeignete Positionsmesstechnik erzeugt diese Wärme innerhalb kurzer Zeit Positionierfehler in einer Größenordnung bis zu 100 µm.

Thermische Stabilität von Werkzeugmaschinen

Lösungen zur Vermeidung thermischer bedingter Maßabweichungen an Werkstücken rücken stärker denn je in den Fokus des Werkzeugmaschinenbaus. Aktive Kühlungen, symmetrisch aufgebaute Maschinenstrukturen und Temperaturmessungen sind heute bereits gängige Maßnahmen.

Eine wesentliche Quelle thermischer Verlagerungen sind die Vorschubachsen auf Basis von Kugelgewindespindeln. Abhängig von den Vorschubgeschwindigkeiten und -kräften können sich die Temperaturverteilungen auf den Kugelgewindespindeln sehr schnell ändern. Die dabei entstehenden Längenänderungen (typisch: 100 µm/m innerhalb von 20 min) können auf Werkzeugmaschinen ohne Längenmessgeräte zu signifikanten Fehlern am Werkstück führen.



Abbildung 1 Typische Bearbeitungssituation

Positionserfassung der Vorschubantriebe

Die Position einer NC-Vorschubachse lässt sich entweder über die Kugelgewindespindel in Verbindung mit einem Drehgeber oder über ein Längenmessgerät erfassen. Wird die Antriebsposition anhand der Steigung des Kugelgewindetriebs in Verbindung mit einem Drehgeber ermittelt (Abb. 2), so übt der Kugelgewindetrieb eine Doppelfunktion aus: Als Antriebssystem muss er große Kräfte übertragen, in der Eigenschaft als positionsbestimmende Komponente aber werden hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Spindelsteigung erwartet. Die Positionsregelschleife umfasst jedoch lediglich den Drehgeber. Da verschleiß- und temperaturbedingte Veränderungen in der Antriebsmechanik nicht kompensiert werden können, spricht man in diesem Fall von einem Betrieb im Semiclosed Loop. Positionsfehler der Antriebe werden unausweichlich und können die Werkstückqualität erheblich beeinflussen.

Wird ein Längenmessgerät zur Erfassung der Schlittenposition verwendet (Abb. 3), so umfasst die Positionsregelschleife die komplette Vorschubmechanik. Man spricht von einem Betrieb im Closed Loop. Spiel und Ungenauigkeiten in den Übertragungselementen der Maschine haben keinen Einfluss auf die Positionserfassung. Die Genauigkeit der Messung hängt praktisch nur von der Präzision und dem Einbauort des Längenmessgerätes ab.

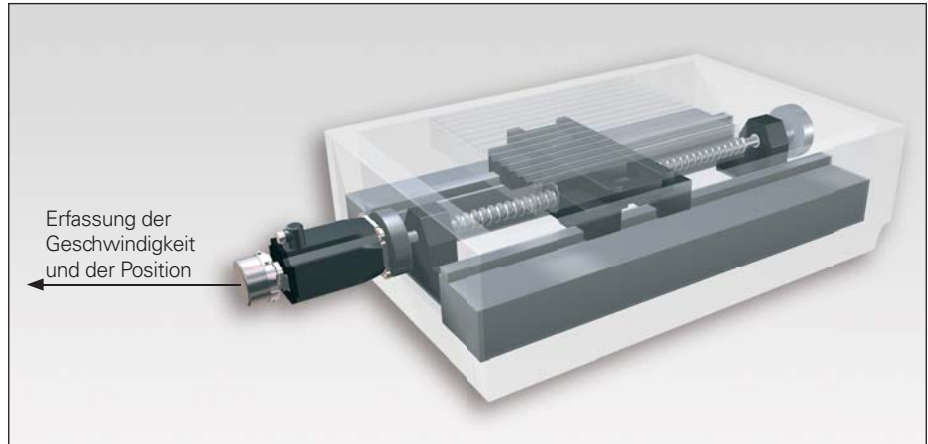


Abbildung 2 Positionsregelung im Semiclosed Loop über Kugelgewindetrieb und Drehgeber

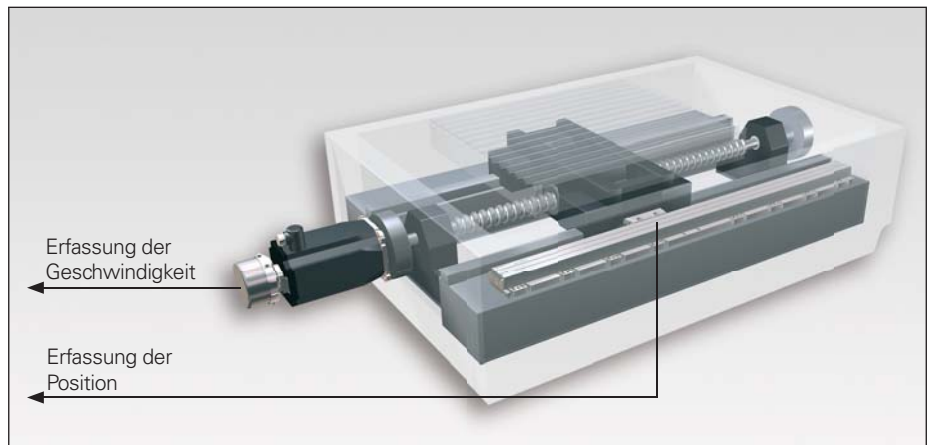


Abbildung 3 Positionsregelung im Closed Loop über Längenmessgerät

Nachweis der Antriebsgenauigkeit

Beispiel: Werkstück mit Bohrmuster

Anhand der Serienfertigung eines einfachen Werkstücks mit einem gleichmäßig über der Länge verteilten Bohrmuster ist es möglich, die Antriebsgenauigkeit einer Vorschubachse im Closed bzw. Semiclosed Loop zu visualisieren. Dieses Werkstück bildet die thermische bedingte Abweichung im Semiclosed Loop an den einzelnen Bohrpositionen ab und verdeutlicht somit anschaulich die Auswirkungen der Erwärmung von Kugelumlaufspindeln. Fehler im Semiclosed Loop werden sichtbar, indem mehrere Bauteile aus einer Serienproduktion auf einem Rohteil gefertigt werden.

Abbildung 4 beschreibt die Fertigung mehrerer Serienwerkstücke auf einem Rohteil. Im ersten Schritt werden zwei Stirnflächen und drei Bohrungen bearbeitet. Die Fertigung weiterer Werkstücke wird anschließend simuliert, indem diese Bearbeitung ohne Werkzeugeingriff 30 mal wiederholt wird. Nach einer Zustellung um 2 mm erfolgt eine weitere Fräsbearbeitung des Werkstücks. Die Bearbeitung endet nach

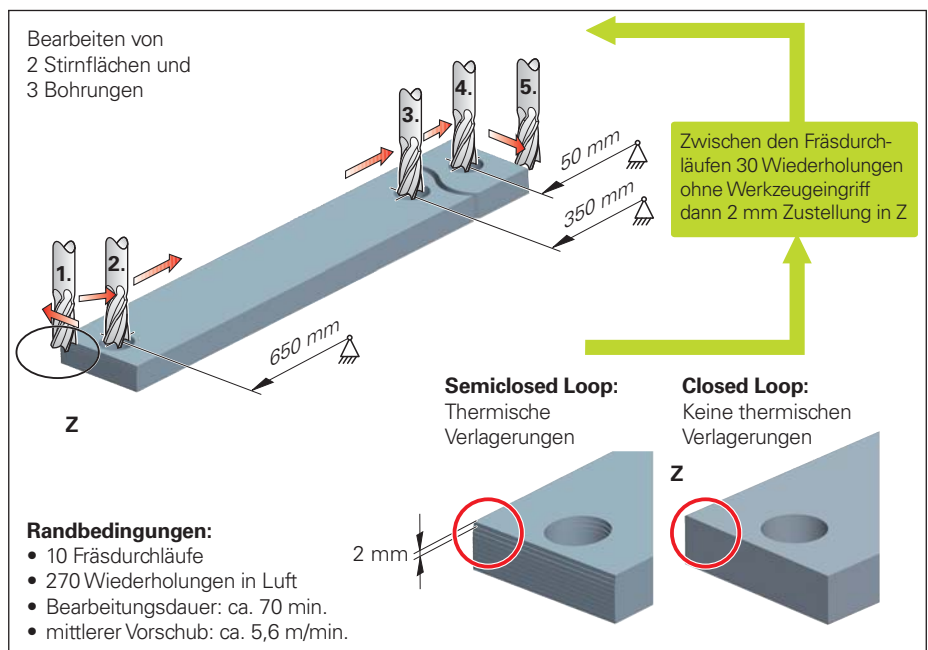


Abbildung 4 Auswirkung der Antriebsgenauigkeit auf die Serienfertigung
 \triangle = Festlager der Kugelgewindespindel

10 Fräsdurchläufen und insgesamt 270 Wiederholungen ohne Werkzeugeingriff nach 70 min. Der beträchtliche Wärmeeintrag in der Kugelumlaufspindel führt zu thermisch bedingten Abweichungen, die man als Stufenbildung auf der Stirnseite sowie in den Bohrungen feststellt (Abb. 5). Die thermische Drift an der am weitesten vom Festlager der Kugelumlaufspindel gefertigten Bohrung beträgt 213 μm . Vergleichbare Ergebnisse liefert eine Prüfung der thermischen Positionsstabilität nach DIN ISO 230-3 mit einem Vergleichsmessgerät VM 182. Mit zunehmendem Abstand der Kugelgewindemutter vom Festlager des Kugelgewindetriebs steigt die Positionsdrift. Diese thermische Drift kann im Closed Loop durch die Verwendung von präzisen Längenmessgeräten kompensiert werden.

Die üblicherweise zur Maschinenabnahme verwendeten Tests nach VDI-DGQ 3431 und DIN/ISO 230-2 zur Maschinengenauigkeit erfassen diese thermischen Fehler nicht.

Zusammenfassung

Das flexible Bearbeiten von Fertigungsaufträgen setzt Werkzeugmaschinen mit hoher thermischer Stabilität voraus. Auch eine stark schwankende Auslastung der Maschinen darf keinen signifikanten Einfluss auf die Maschinengenauigkeit haben. Folglich müssen Vorschubachsen die geforderten Genauigkeiten über dem gesamten Verfabereich auch bei stark wechselnden Geschwindigkeiten und Bearbeitungskräften erreichen. Störend wirkt dabei die geschwindigkeits- und lastabhängige Wärmedehnung in den Kugelgewindespindeln der linearen Vorschubachsen. Während einer Bearbeitung können innerhalb von 20 min Positionsfehler bis zu 100 μm und mehr entstehen, sofern die Antriebsposition nur über die Spindelsteigung und einen motorseitigen Drehgeber bestimmt wird. Da wesentliche Antriebsfehler mit dieser Methode nicht im Regelkreis kompensiert werden, spricht man vom Betrieb des Vorschubantriebs im Semiclosed Loop. Mit dem Einsatz von Längenmessgeräten kann diese Fehlerquelle vollständig unterdrückt werden. Vorschubantriebe mit Längenmessgeräten werden im Closed Loop betrieben, da sich die Fehler im Kugelgewindetrieb in der Positionserfassung abbilden und somit von der Steuerung kompensiert werden. Ähnliche Vorteile ergeben sich auch über Winkelmessgeräte an den Rundachsen, da auch hier thermische Dehnungen in den mechanischen Antriebskomponenten auftreten. Längen- und Winkelmessgeräte sichern daher auch bei stark wechselnden Einsatzbedingungen von Werkzeugmaschinen eine hohe Präzision der zu fertigenden Bauteile.



Abbildung 5 Bohr bildabweichung in der Serienfertigung

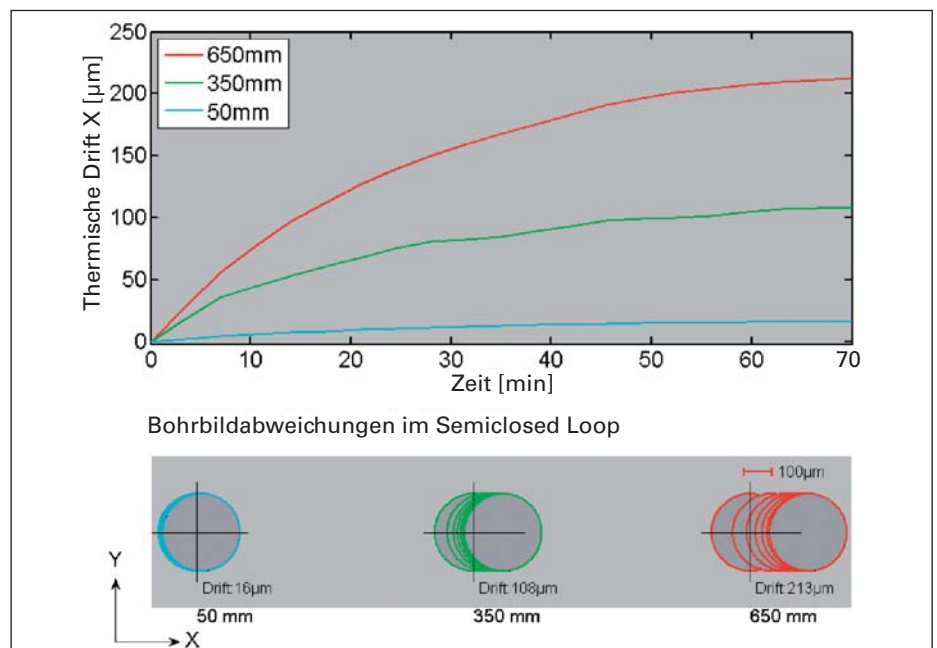


Abbildung 6 Drift an verschiedenen Positionen im Verfabereich der X-Achse (ISO 230-3)

Längenmessgeräte für Werkzeugmaschinen

Für eine hohe Positioniergenauigkeit von Werkzeugmaschinen sind Längenmessgeräte zur Lage-Rückmeldung unerlässlich. Sie erfassen den Verfahrweg der Vorschubachse direkt und unmittelbar. Mechanische Übertragungselemente haben somit keinen Einfluss auf die Positionserfassung – sowohl kinematische als auch thermische Fehler oder Kräfteinflüsse werden vom Längenmessgerät erfasst und im Lageregelkreis berücksichtigt. Dadurch lässt sich eine Reihe von möglichen Fehlerquellen ausschließen:

- Positionierfehler aufgrund der Erwärmung der Kugelumlaufspindel
- Umkehrfehler
- Fehler infolge Verformung der Antriebsmechanik durch Bearbeitungskräfte
- kinematische Fehler durch Steigungsfehler der Kugelumlaufspindel

Für Maschinen mit hohen Anforderungen an die **Positioniergenauigkeit** und an die **Bearbeitungsgeschwindigkeit** sind deshalb Längenmessgeräte unerlässlich.

Die HEIDENHAIN-Längenmessgeräte für gesteuerte Werkzeugmaschinen sind universell einsetzbar. Sie eignen sich für Maschinen und Anlagen, an denen Vorschubachsen geregelt verfahren werden – wie z. B. für Fräsmaschinen, Bearbeitungszentren, Bohrwerke, Dreh- und Schleifmaschinen.

Das günstige dynamische Verhalten der Längenmessgeräte, ihre hohe zulässige Verfahrgeschwindigkeit und Beschleunigung in Messrichtung prädestinieren sie sowohl für den Einsatz an hochdynamischen konventionellen Achsen als auch für Direktantriebe.

	Genauigkeitsklasse	Signalperiode	Messlänge	Schnittstelle	Typ
Längenmessgeräte mit kleinprofiligem Maßstabsgehäuse					
Absolut	± 5 µm; ± 3 µm	–	bis 2040 mm ¹⁾	EnDat 2.2	LC 483
Inkremental	± 5 µm; ± 3 µm	4 µm	bis 1220 mm	~ 1 V _{SS}	LF 481
	± 5 µm; ± 3 µm	20 µm	bis 2040 mm ¹⁾	~ 1 V _{SS}	LS 487
Längenmessgeräte mit großprofiligem Maßstabsgehäuse					
Absolut	± 5 µm; ± 3 µm	–	bis 4240 mm	EnDat 2.2	LC 183
Inkremental	± 3 µm; ± 2 µm	4 µm	bis 3040 mm	~ 1 V _{SS}	LF 183
	± 5 µm; ± 3 µm	20 µm	bis 3040 mm	~ 1 V _{SS}	LS 187
	± 5 µm	40 µm	bis 30040 mm	~ 1 V _{SS}	LB 382

¹⁾ über Messlänge 1240 mm nur mit Montageschiene



LC 483



LC 183



LB 382

HEIDENHAIN

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH

Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5

83301 Traunreut, Germany

☎ +49 (8669) 31-0

FAX +49 (8669) 50 61

E-Mail: info@heidenhain.de

www.heidenhain.de

Weitere Informationen:

- Katalog *Längenmessgeräte für gesteuerte Werkzeugmaschinen*
- Technische Information *Genauigkeit von Vorschubachsen*
- Katalog *Messgeräte zur Abnahme und Kontrolle von Werkzeugmaschinen*

