



Technische Information

## Anhaltende Genauigkeit in der Klein- und Mittelserienfertigung

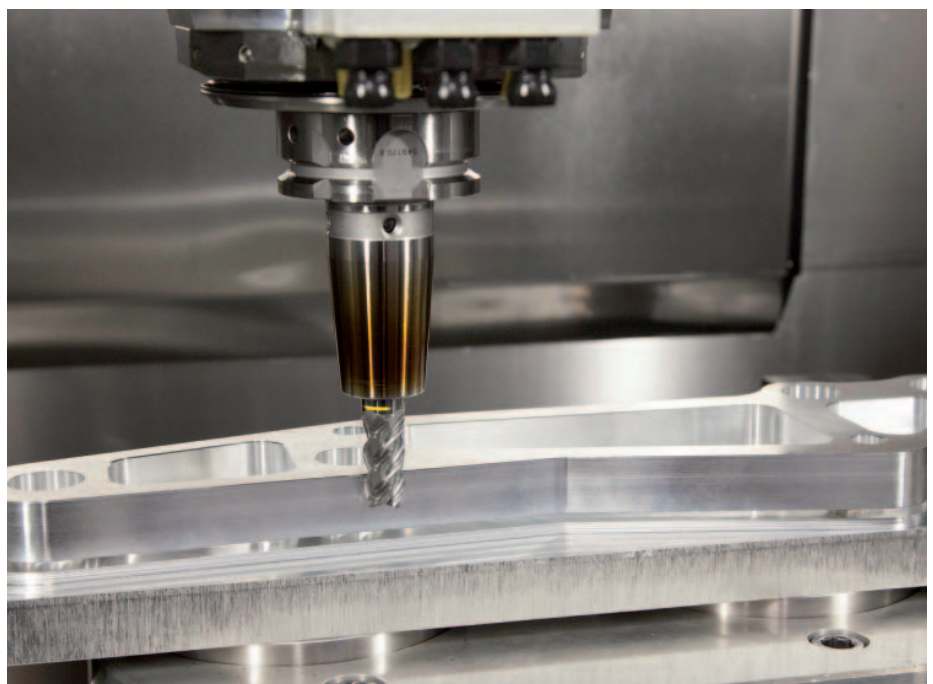
Die Genauigkeit einer Werkzeugmaschine hängt entscheidend von ihrer Fähigkeit ab, schnell wechselnde Einsatzbedingungen zu verkraften. Der Übergang von einer Schruppbearbeitung zum Schlichten ändert die mechanische und thermische Belastung der Maschine erheblich, wodurch starke Veränderungen der Genauigkeit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

Insbesondere die Vorschubantriebe spielen hierbei eine wichtige Rolle. Sie werden durch hohe Verfahrgeschwindigkeiten und Beschleunigungen stark beansprucht und erzeugen viel Wärme. Ohne geeignete Positionsmesstechnik kann diese Wärme innerhalb kurzer Zeit Positionierfehler in unerwarteten Größenordnungen erzeugen. So kann die Erwärmung eines Kugelgewindetriebs aus Stahl mit 1 m Länge von 20 °C auf durchaus übliche 45 °C zu einer Ausdehnung von 250 µm führen (thermischer Ausdehnungskoeffizient für Stahl: 10 µm pro Meter Länge und Grad Temperaturunterschied).

### Thermische Stabilität von Werkzeugmaschinen

Lösungen zur Vermeidung thermisch 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 können auf Werkzeugmaschinen ohne Längenmessgeräte zu signifikanten Fehlern am Werkstück führen.



## 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 Kugelgewindetribs 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 Semi-Closed 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 Längenmessgeräts ab.

## Nachweis der Antriebsgenauigkeit

### Beispiel: Konturfräsen und Bohren

Am Beispiel einer durchschnittlich anspruchsvollen Bearbeitung ohne besonders hohe Verfahrensgeschwindigkeiten für den Maschinentisch lassen sich die Unterschiede der Antriebsgenauigkeit im Semi-Closed Loop und Closed Loop anschaulich zeigen. Der maximale Vorschub bei dieser Bearbeitung liegt bei 3,5 m/min. In 40 Teilen sollen jeweils zwei Bohrungen mit einem Abstand von 350 mm gebohrt und die Kontur gefräst werden. Die Bearbeitung dauert fünfeinhalb Minuten, die Toleranz für den Abstand der Bohrungen ist mit  $\pm 0,02$  mm festgelegt.

Während der Bearbeitung erwärmt sich der Kugelgewindetrieb kontinuierlich. Die abschließende Qualitätsprüfung ergibt, dass bei einer herkömmlichen Positionserfassung im Semi-Closed Loop von den 40 zu fertigenden Teilen nur die ersten 25 innerhalb der Toleranzen liegen. Nach dem 25. Teil hat die Erwärmung den kritischen Punkt erreicht, an dem die thermische Ausdehnung des Kugelgewindetribs den Toleranzrahmen von  $\pm 0,02$  mm überschreitet. Beim letzten Teil beträgt die Abweichung sogar 70  $\mu$ m.

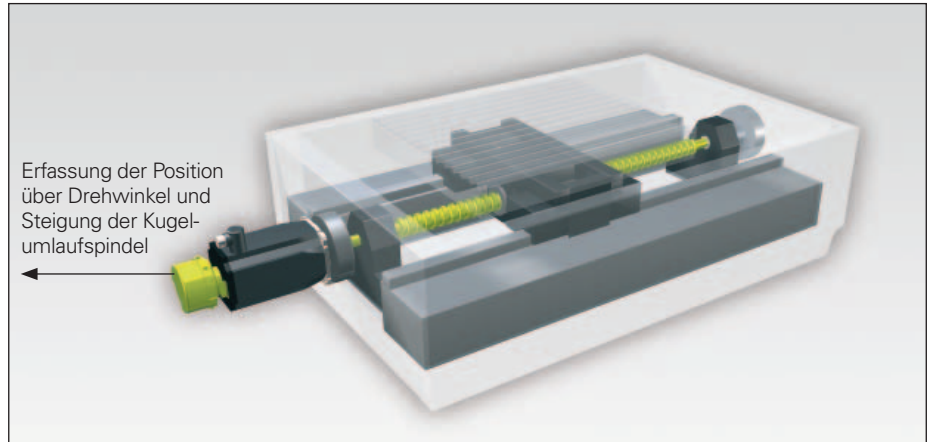


Abbildung 2 Positionsregelung im Semi-Closed Loop über Kugelgewindetrieb und Drehgeber

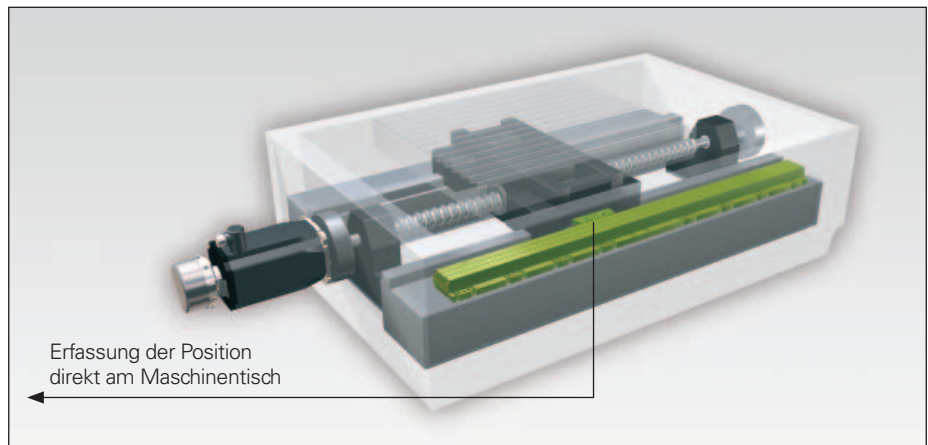


Abbildung 3 Positionsregelung im Closed Loop über Längenmessgerät

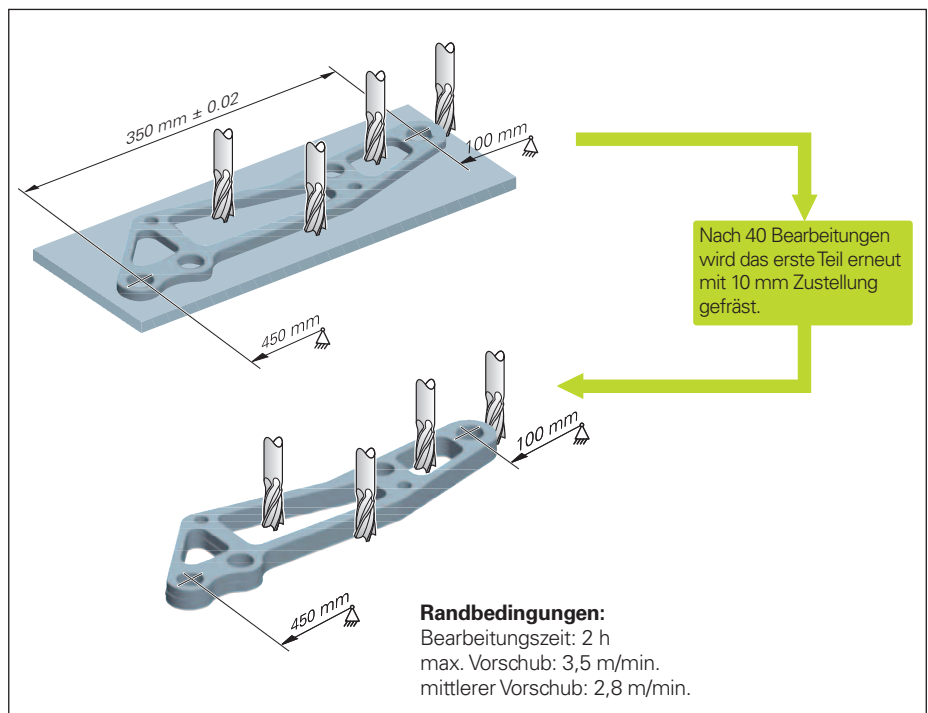



Abbildung 4 Entstehung des Anlenkhebels  
 = Festlager der Kugelgewindespindel

Deutlich sichtbar macht diese Abweichung eine nochmalige Bearbeitung des ersten Teils im Anschluss an das 40. Teil, bei der die Zustellung in Z-Richtung halbiert wird. Die auf diese Weise in das fertige Bauteil gesetzten Zweitbohrungen hinterlassen eine deutlich sichtbare Kante in den bestehenden Bohrungen, ebenso die zweite Fräsbearbeitung auf der Kontur – das Ergebnis von 70 µm thermischer Ausdehnung des Kugelgewindetriebs.

Unabhängig von der thermischen Ausdehnung des Kugelgewindetriebs – und von seinen sonstigen Einflüssen – ist dagegen eine Positionsmessung mit einem Längenmessgerät im Closed Loop. Das zeigt die Vergleichsbearbeitung zum vorher bereits beschriebenen Beispiel. Auf einer Maschine mit Regelung im Closed Loop entsteht kein Ausschuss, alle Teile liegen innerhalb der vorgegebenen Toleranz. Eine nochmalige Bearbeitung des ersten Bauteils nach der Bearbeitung des 40. Bauteils mit halber Zustellung in Z-Richtung hinterlässt keine sichtbaren Kanten.



Abbildung 5 Hebelbauteil, zweifach auf einem Rohling bearbeitet

## 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 den gesamten Verfahrensbereich 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 Positionsfehler von 200 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 Semi-Closed 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.

# Längenmessgeräte für Werkzeugmaschinen

Für eine hohe Positioniergenauigkeit von Werkzeugmaschinen sind Längenmessgeräte zur Lagerückmeldung 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 Verfahrensgeschwindigkeit und Beschleunigung in Messrichtung prädestinieren sie sowohl für den Einsatz an hochdynamischen konventionellen Achsen als auch für Direktantriebe.



LC 485 bis 2040 mm



LC 185 bis 4240 mm



LC 201 bis 28040 mm

## HEIDENHAIN

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH

Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5

83301 Traunreut, Germany

☎ +49 8669 31-0

FAX +49 8669 32-5061

E-mail: info@heidenhain.de

www.heidenhain.de

### Weitere Informationen:

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

