

	Werkzeugmaschinen Prüfregeln für Werkzeugmaschinen Teil 4: Kreisformprüfungen für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen (ISO 230-4:1996)	DIN ISO 230-4
--	---	--------------------------------

ICS 25.040.20

Machine tools – Test code for machine tools – Part 4: Circular tests for numerically controlled machine tools (ISO 230-4:1996)

Machines-outils - Code d'essai des machines-outils – Partie 4: Essais de circularité des machines-outils à commande numérique (ISO 230-4:1996)

Die Internationale Norm ISO 230-4:1996, „Test code for machine tools – Part 4: Circular tests for numerically controlled machine tools“, ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

ISO 230-4 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 39 *Werkzeugmaschinen*, Unterkomitee SC 2 *Prüfbedingungen für Werkzeugmaschinen der Metallbearbeitung* unter Mitwirkung deutscher Fachleute des Normenausschusses Werkzeugmaschinen (NWM) im DIN erarbeitet.

Die deutsche Übersetzung wurde gemeinsam durch den NWM und die Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) besorgt und vom zuständigen NWM-Unterausschuss UA 13.5 *Kreisformtest* autorisiert.

Für die in dieser Norm zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 230-1 siehe DIN ISO 230-1

ISO 230-2 siehe DIN ISO 230-2

Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise

DIN ISO 230-1:1999-07, *Werkzeugmaschinen – Prüfregeln für Werkzeugmaschinen – Teil 1: Geometrische Genauigkeit von Maschinen, die ohne Last oder unter Schlichtbedingungen arbeiten (ISO 230-1:1996)*.

DIN ISO 230-2:2000-05, *Werkzeugmaschinen – Prüfregeln für Werkzeugmaschinen – Teil 2: Bestimmung der Positionierunsicherheit und der Wiederholpräzision der Positionierung von numerisch gesteuerten Achsen (ISO 230-2:1997)*.

Fortsetzung Seite 2 bis 15

Deutsche Übersetzung

Prüfregeln für Werkzeugmaschinen

Teil 4: Kreisformprüfungen für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Definitionen und Abkürzungen	3
4 Prüfbedingungen	5
5 Prüfablauf	6
6 Angabe des Prüfergebnisses	6
7 Punkte, die zwischen Lieferer/Hersteller und Betreiber zu vereinbaren sind	7
Anhang A (informativ) Unterschiede zwischen der Kreisformabweichung G und der Radialabweichung F . . .	10
Anhang B (informativ) Einflüsse typischer Maschinenabweichungen auf Kreisbewegungen	10
Anhang C (informativ) Anpassung von Durchmesser und Bahngeschwindigkeit	14
Anhang D (informativ) Literaturhinweise	15

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitglieds Körperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitglieds Körperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Hinsichtlich der elektrotechnischen Normung arbeitet die ISO eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitglieds Körperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert mindestens 75 % Zustimmung der abstimmenden Mitglieds Körperschaften.

Die Internationale Norm ISO 230-4 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 39 „Werkzeugmaschinen“, Unterkomitee SC 2 „Prüfbedingungen für Werkzeugmaschinen der Metallbearbeitung“ erarbeitet.

Die ISO 230 besteht unter dem Haupttitel „Prüfregeln für Werkzeugmaschinen“ aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Geometrische Genauigkeit von Maschinen, die ohne Last oder unter Schlichtbedingungen arbeiten
- Teil 2: Bestimmung der Positionierungsunsicherheit und der Wiederholpräzision der Positionierung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinenachsen
- Teil 3: Ermittlung von Wärmewirkungen
- Teil 4: Kreisformprüfungen für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen
- Teil 5: Bestimmung der Geräuschemission

Die Anhänge A bis D dieses Teiles von ISO 230 dienen nur der Information.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 230 legt Prüf- und Auswerteverfahren für die Kreisumkehrspanne und die Kreis- und Radialabweichung von Kreisbahnen fest, die durch gleichzeitiges Bewegen von zwei linearen Achsen erzeugt werden. Entsprechende Messgeräte sind in ISO 230-1:1996, 6.63 beschrieben.

Der Zweck dieses Teils der ISO 230 besteht darin, ein Messverfahren für das Bahnverhalten einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine zur Verfügung zu stellen.

2 Normative Verweisungen

Die folgende Norm enthält Festlegungen, die durch Verweisungen in diesem Text zu Festlegungen dieses Teiles der ISO 230 werden. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung war die angegebene Ausgabe gültig. Alle Normen unterliegen Überarbeitungen, und Vertragsparteien, die sich auf diesen Teil der ISO 230 stützen, wird empfohlen, die Möglichkeit der Verwendung der neuesten Ausgabe der unten aufgeführten Norm zu prüfen. Die Mitgliedskörperschaften von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 230-1:1996, *Prüfregeln für Werkzeugmaschinen – Teil 1: Geometrische Genauigkeit von Maschinen, die ohne Last oder unter Schlichtbedingungen arbeiten.*

3 Definitionen und Abkürzungen

Im Rahmen dieser Norm gelten folgende Definitionen:

3.1

Sollbahn

die numerisch gesteuerte und programmierte Kreisbahn, die durch ihren Durchmesser (oder Radius), die Position ihres Mittelpunktes und die Winkellage der Kreisebene im Arbeitsraum der Maschine definiert ist; die Sollbahn darf ein Vollkreis oder ein Kreissegment von mindestens 90° sein

3.2

Istbahn

die von der Werkzeugmaschine erzeugte Kreisbahn, wenn die Sollbahn programmiert ist

3.3

Kreisumkehrspanne H

größter radialer Unterschied zwischen zwei Istbahnen, wobei eine Bahn im Uhrzeigersinn und eine im Gegenuhrzeigersinn ausgeführt wird (siehe Bild 1)

ANMERKUNG 1 Der Bezugspunkt für die Auswertung ist der Mittelpunkt des Ausgleichskreises nach Gauß, berechnet aus den beiden Istbahnen.

3.4

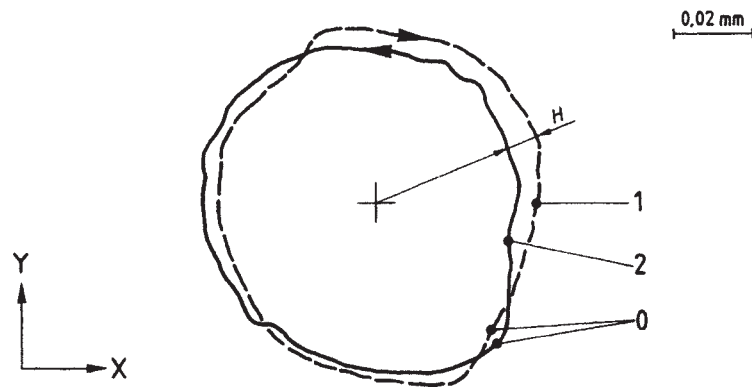
Kreisformabweichung G

minimaler radialer Abstand zweier konzentrischer Kreise, welche die Istbahn einschließen (Ausgleichskreise nach Tschebyscheff), wie in Bild 2 gezeigt, und der als größte radiale Spanne um den besteingepassten Kreis (Ausgleich nach Gauß) bestimmt werden kann

ANMERKUNG 2 Die Kreisformabweichung enthält keine Einrichteabweichungen, d. h. keine Abweichungen aufgrund der Zentrierung des Messgerätes.

ANMERKUNG 3 Für die Messung der Kreisformabweichung muss das Messgerät bezüglich der absoluten Länge nicht kalibriert sein, wohl aber für die Radialabweichung (siehe 3.5). Unterschiede zwischen der Kreisformabweichung G und der Radialabweichung F sind im Anhang A beschrieben.

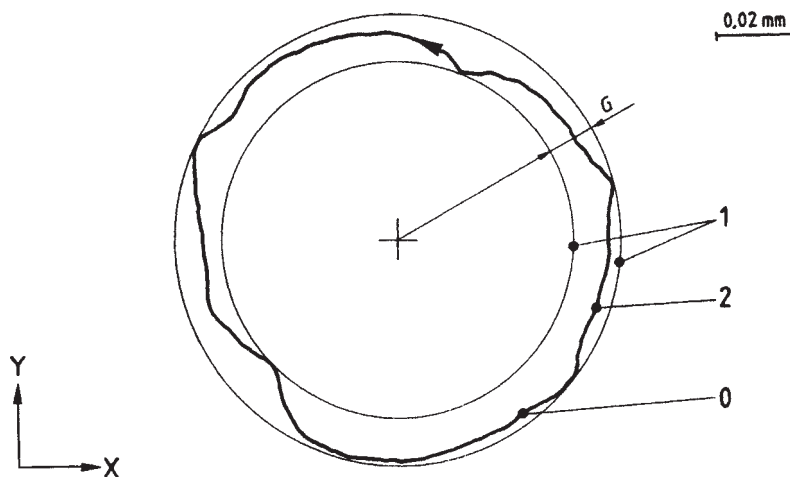
ANMERKUNG 4 Eine Linie in einer Ebene wird als kreisförmig bezeichnet, wenn alle ihre Punkte innerhalb von zwei konzentrischen Kreisen mit vorgegebenem Abstand liegen (siehe Bild 2 und ISO 230-1:1996, 6.61).



Legende

- + Mittelpunkt des Ausgleichskreises nach Gauß berechnet aus den beiden Istbahnen
 - 0 Startpunkt
 - 1 Istbahn, im Uhrzeigersinn
 - 2 Istbahn, im Gegenuhrzeigersinn
- Kreisumkehrspanne $H_{XY} = 0,008 \text{ mm}$

Bild 1 – Auswertung der Kreisumkehrspanne H



Legende

- + Mittelpunkt der Ausgleichskreise nach Tschebyscheff
 - 0 Startpunkt
 - 1 Tschebyscheff-Kreise
 - 2 Istbahn
- Kreisformabweichung, $G_{XY} = 0,012 \text{ mm}$

Bild 2 – Auswertung der Kreisformabweichung G

3.5

Radialabweichung F

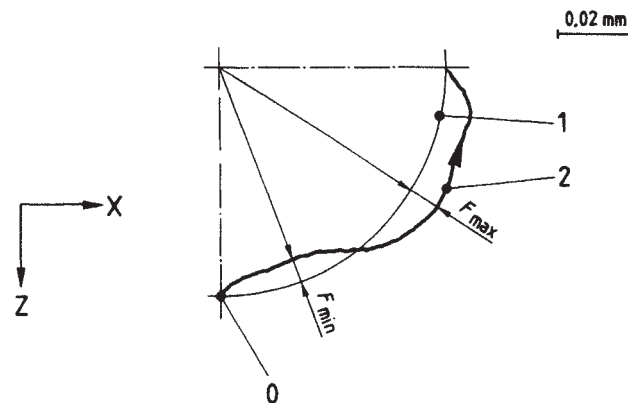
Abweichung zwischen der Istbahn und der Sollbahn, wobei man den Mittelpunkt der Sollbahn folgendermaßen ermittelt:

- a) bei einem Kreissegment durch das Zentrieren des Messgerätes auf der Werkzeugmaschine;
- b) bei einem Vollkreis durch den Ausgleich nach Gauß.

ANMERKUNG 5 Positive Abweichungen werden weg vom Mittelpunkt des Kreises gemessen und negative zum Mittelpunkt des Kreises hin (siehe Bild 3). Die Radialabweichung wird durch den größten Wert F_{max} und den kleinsten Wert F_{min} angegeben.

ANMERKUNG 6 In der Radialabweichung F dürfen Einrichteabweichungen, d. h. Abweichungen aufgrund der Zentrierung des Messgerätes, enthalten sein; dies gilt nur für Radialabweichungen bei einem Kreissegment nach 3.5 a).

ANMERKUNG 7 Unterschiede zwischen der Radialabweichung F und der Kreisformabweichung G sind im Anhang A beschrieben.



Legende

+ Mittelpunkt des Sollkreises

0 Startpunkt

1 Sollbahn

2 Istbahn

Radialabweichung: $F_{ZX, \max} = +0,008 \text{ mm}$

$F_{ZX, \min} = -0,006 \text{ mm}$

Bild 3 – Auswertung der Radialabweichung F

3.6

Achsenkennzeichnung

Bezeichnung der Achsen, die zur Erzeugung der Istbahn bewegt werden

3.7

Angabe des Umlaufsinn (Uhrzeigersinn oder Gegenurzeigersinn bei der Kreisformabweichung G und bei der Radialabweichung F)

Angabe durch die Folge der Indizes für die bewegten Achsen, sodass die Bewegung vom positiven Achsabschnitt des 1. Index zum positiven Achsabschnitt des 2. Index erfolgt, z. B. wird die Kreisformabweichung G durch die X- und Y-Achse im Uhrzeigersinn mit G_{YX} bezeichnet, diejenige im Gegenurzeigersinn mit G_{XY}

4 Prüfbedingungen

4.1 Umgebungsbedingungen

Bei regelbarer Umgebungstemperatur muss diese auf 20 °C gesetzt werden. Sonst müssen das Signal des Messgerätes und die Nennanzeige an der Maschine angepasst werden, um auf 20 °C korrigierte Ergebnisse zu erhalten (nur für die Messung der Radialabweichung).

Die Maschine und, falls dies wesentlich ist, das Messgerät müssen genügend lange (vorzugsweise über Nacht) den Umgebungsbedingungen ausgesetzt sein, um vor der Prüfung einen thermisch stabilen Zustand zu erreichen. Sie müssen vor Zugluft und äußeren Strahlungsquellen wie Sonnenlicht, Heizstrahlern usw. geschützt sein.

4.2 Zu prüfende Maschine

Die Maschine muss vollständig montiert und betriebsbereit sein. Alle notwendigen Ausrichtearbeiten und Funktionsprüfungen müssen vor der Prüfung der Kreisumkehrspanne, der Kreisformabweichung und der Radialabweichung abgeschlossen sein.

Alle Kreisformprüfungen müssen auf einer unbelasteten Maschine, d. h. ohne Werkstück, ausgeführt werden.

4.3 Warmlaufen der Maschine

Vor der Prüfung muss ein entsprechendes Warmlaufen der Maschine erfolgen, das vom Hersteller festgelegt wird oder auf das sich Lieferer/Hersteller und Betreiber einigen.

Falls nichts anderes festgelegt, sind die vorbereitenden Maschinenbewegungen nur auf diejenigen Bewegungen zu beschränken, die zum Einrichten des Messgerätes notwendig sind.

4.4 Parameter der Prüfung

Die Parameter der Prüfung sind:

- a) Durchmesser (oder Radius) der Sollbahn;
- b) Bahngeschwindigkeit;
- c) Umlaufsinn (Uhrzeigersinn oder Gegenuhrzeigersinn), wie in 3.7 angegeben;
- d) Maschinenachsen, die zur Erzeugung der Istbahn bewegt werden;
- e) Lage des Messgerätes (X-, Y-, Z-Positionen im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine);
- f) Temperatur (Umgebungstemperatur, Messgerätemperatur, Maschinentemperatur), nur für Messung der Radialabweichung F ;
- g) Art der Messdatenerfassung (Bereich der Messdatenerfassung, wenn abweichend von 360° ; Start- und Endpunkte der Istbahn; Anzahl der Messpunkte bei digitaler Datenerfassung; Anwendung einer Glättungsfunktion, ja oder nein);
- h) alle bei der Prüfung angewandten Kompensationsverfahren;
- i) Positionen der Schlitten oder anderer auf den Achsen bewegbarer Bauteile, die nicht geprüft werden.

4.5 Kalibrieren des Messgerätes

Für die Prüfung der Radialabweichung muss die Bezugslänge des Messgerätes bekannt sein.

5 Prüfablauf

Für die Bestimmung der Kreisumkehrspanne H müssen zwei Istbahnen nacheinander gemessen werden: eine im Uhrzeigersinn, die andere im Gegenuhrzeigersinn.

Alle Messpunkte der Istbahn (einschließlich irgendwelcher Spitzen an den Umkehrpunkten) müssen für die Auswertung verwendet werden.

ANMERKUNG 8 Für die Radialabweichung F eines Kreissegmentes sollten die Ausrichteabweichungen möglichst klein gehalten werden.

6 Angabe des Prüfergebnisses

Vorzugsweise sollten die Ergebnisse graphisch dargestellt werden, wobei die folgenden Prüfergebnisse numerisch angegeben werden:

- a) Kreisumkehrspanne H ;
- b) Kreisformabweichungen G , im Uhrzeigersinn und im Gegenuhrzeigersinn;
- c) Radialabweichungen F_{\max} und F_{\min} im Uhrzeigersinn und im Gegenuhrzeigersinn.

Typische Darstellungen der Ergebnisse zeigen die Bilder 4, 5 und 6.

Im Prüfbericht sind folgende Informationen anzugeben:

- Prüfdatum,
- Maschinenbezeichnung,
- Messgerät,
- Parameter der Prüfung (siehe 4.4).

Bei der graphischen Darstellung muss der Maßstab der Vergrößerung angegeben werden.

7 Punkte, die zwischen Lieferer/Hersteller und Betreiber zu vereinbaren sind

Die folgenden Punkte sind zwischen Lieferer/Hersteller und Betreiber zu vereinbaren:

- das Warmlaufen der Maschine vor der Prüfung (siehe 4.3);
- die Parameter der Prüfung (siehe 4.4);
- welche Prüfergebnisse, d. h. welche der Werte für die Kreisumkehrspanne H , die Kreisformabweichung G und die Radialabweichung F (aus 6a), 6b), 6c)), verlangt werden und angegeben werden müssen.

Prüfdatum: JJ/MM/TT

Maschinenbezeichnung: xyz

Messgerät: abc

Prüfungsparameter

Durchmesser der Sollbahn:	40 mm
Bahngeschwindigkeit:	500 mm/min
Umlaufsinn:	—
geprüfte Maschinenachsen (X,Y,Z):	XY

Lage des Messgerätes

– Kreismittelpunkt (X/Y/Z):	250/250/100 mm
– Abstand zum Werkzeugbezugspunkt (X/Y/Z):	0/0/–80 mm
– Abstand zum Werkstückbezugspunkt (X/Y/Z):	0/0/30 mm

Art der Datenerfassung

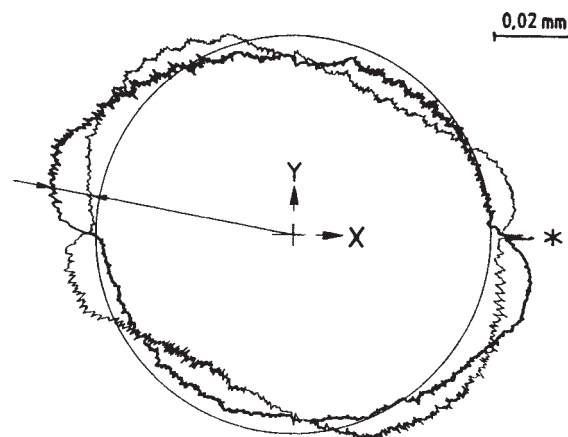
– Startpunkt:	4. Quadrant
– Endpunkt:	4. Quadrant
– Anzahl Messpunkte (nur bei digital):	1 500
– Glättungsfunktion:	keine

Verwendete Kompensationsverfahren:

keine

Position nicht geprüfter Achsen:

Z = 150 mm



Legende

+ Mittelpunkt des Ausgleichskreises nach Gauß, berechnet aus den beiden Istbahnen

* Startpunkt

fette Linie Istbahn, von +Y nach +X

dünne Linie Istbahn, von +X nach +Y

Kreisumkehrspanne $H_{XY} = 0,014$ mm

Bild 4 – Beispiel der Ergebnisdarstellung für die Kreisumkehrspanne H

Prüfdatum: JJ/MM/TT
Messgerät: abc

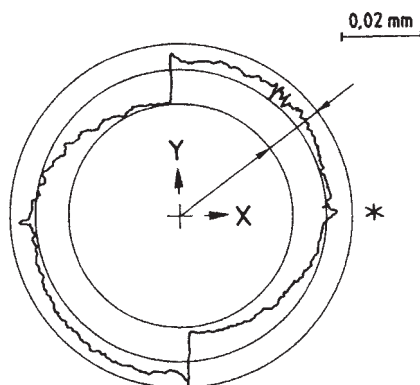
Maschinenbezeichnung: xyz

Prüfungsparameter	
Durchmesser der Sollbahn:	250 mm
Bahngeschwindigkeit:	1 000 mm/min
Umlaufsinn:	+X nach +Y
geprüfte Maschinenachsen (X,Y,Z):	XY

Lage des Messgerätes	
- Kreismittelpunkt (X/Y/Z):	250/250/300 mm
- Abstand zum Werkzeugbezugspunkt (X/Y/Z):	0/0/-80 mm
- Abstand zum Werkstückbezugspunkt (X/Y/Z):	0/0/230 mm

Art der Datenerfassung	
- Startpunkt:	4. Quadrant
- Endpunkt:	4. Quadrant
- Anzahl Messpunkte (nur bei digital):	1 800
- Glättungsfunktion:	keine

Verwendete Kompensationsverfahren:	keine
Position nicht geprüfter Achsen:	Z = 350 mm



Legende

+ Mittelpunkt der Ausgleichskreise nach Tschebyscheff

* Startpunkt

Kreisformabweichung $G_{XY} = 0,018$ mm

Bild 5 – Beispiel der Ergebnisdarstellung für die Kreisformabweichung G

Anhang A
 (informativ)
Unterschiede zwischen der Kreisformabweichung G
und der Radialabweichung F

Tabelle A.1 zeigt die Unterschiede zwischen der Kreisformabweichung G und der Radialabweichung F :

Tabelle A.1

Einflüsse	Kreisformabweichung G	Radialabweichung F
Formabweichung ¹⁾	enthalten	enthalten
Durchmesserabweichung ²⁾	nicht enthalten, da die Durchmesser der Tschebyscheff-Kreise nicht ausgewertet werden	enthalten
Lageabweichung ³⁾	nicht enthalten, da die Lage der Tschebyscheff-Kreise nur von der Istbahn bestimmt wird	enthalten bei Kreissegment, nicht enthalten bei Vollkreis
¹⁾ Abweichung zwischen einem Kreis und der Form der Istbahn (z. B. elliptische Formabweichung). ²⁾ Abweichung zwischen dem Durchmesser der Sollbahn und dem Durchmesser der Istbahn. ³⁾ Lageabweichung des Mittelpunktes der Sollbahn vom Mittelpunkt der Istbahn (z. B. Abweichung in X- und Y-Position)		

Anhang B
 (informativ)
Einflüsse typischer Maschinenabweichungen auf Kreisbewegungen

B.1 Allgemeines

Dieser Anhang zeigt die Haupteinflüsse typischer Maschinenabweichungen auf Kreisbewegungen. Im Allgemeinen zeigen diese Einzelabweichungen eine kombinierte Auswirkung auf gemessene Istkreisbahnen. Daher sind die Informationen in diesem Anhang alleine für eine eingehende Analyse der Kreismessungen nicht ausreichend.

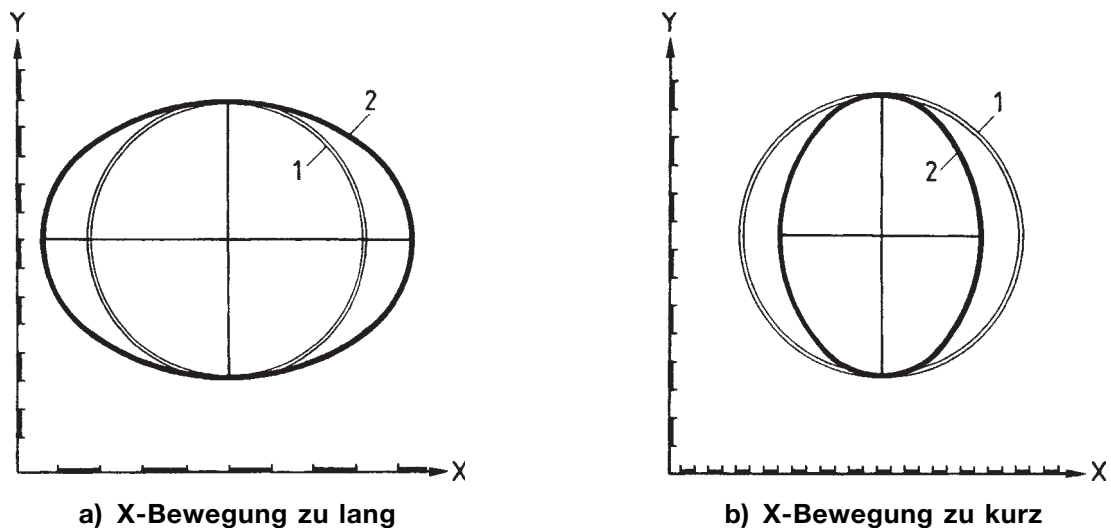
Kreisbahnen, die durch zwei Linearachsen einer numerisch gesteuerten Maschine erzeugt werden, werden von den Geometrieabweichungen dieser zwei Achsen und von Abweichungen beeinflusst, die von der numerischen Steuerung und den Antrieben verursacht werden.

B.2 Einfluss geometrischer Abweichungen

B.2.1 Einfluss von Positionsabweichungen

Wenn die Bewegung der X-Achse zu lang ist, z. B. durch eine Abweichung im Maßstab, ändert sich die Kreisbahn zu einer Ellipse mit dem größeren Durchmesser parallel zur X-Achse. Bei Annahme einer abweichungsfreien Y-Achse ändert sich der zur Y-Achse parallele Bahndurchmesser nicht, d. h., der Durchmesser ist gleich dem Solldurchmesser (siehe Bild B.1 a)).

Wenn die Bewegung der X-Achse zu kurz ist und die Y-Achse immer noch als abweichungsfrei angenommen wird, ändert sich die Kreisbahn zu einer Ellipse mit dem größeren Durchmesser parallel zur Y-Achse. Dieser Durchmesser ist wieder gleich dem Solldurchmesser (siehe Bild B.1 b)).



Legende

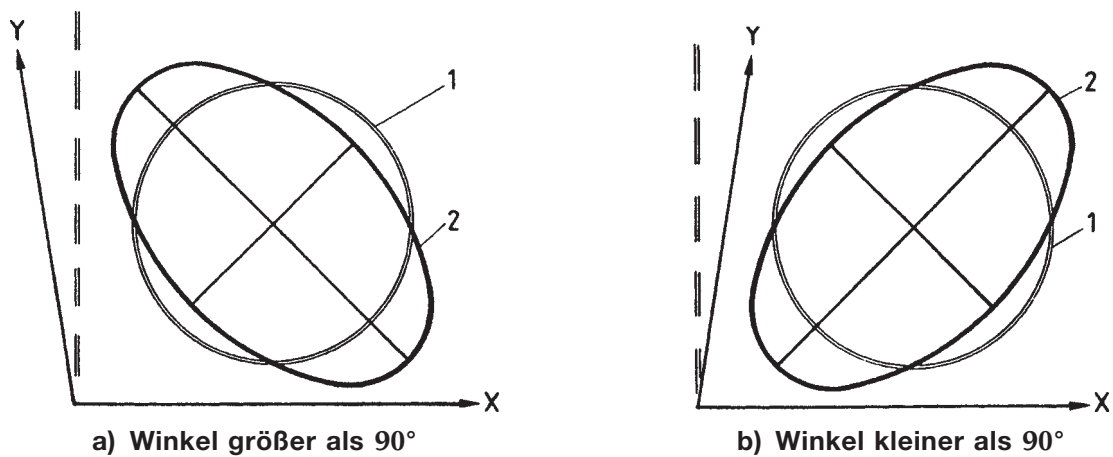
- 1 Sollbahn
- 2 Istbahn

Bild B.1 – Einfluss einer zu langen und einer zu kurzen Achsbewegung auf eine Kreisbahn

B.2.2 Einfluss der Rechtwinkligkeitsabweichung der Achsen

Wenn X- und Y-Achse nicht rechtwinklig zueinander stehen und der Winkel zwischen den zwei Achsen größer als 90° ist, wird die Kreisbahn zu einer Ellipse verändert, die ihre Hauptachsen bei $\pm 45^\circ$ hat. Der größere Durchmesser der Ellipse liegt bei -45° (siehe Bild B.2 a)). Dabei wird zusätzlich angenommen, dass die Rechtwinkligkeitsabweichung die einzige Abweichung in der XY-Ebene ist.

Wenn der Winkel zwischen den zwei Achsen kleiner als 90° ist, wird die Kreisbahn wieder zu einer Ellipse verändert, die ihre Hauptachsen bei $\pm 45^\circ$ hat, aber der größere Durchmesser liegt dann bei $+45^\circ$ (siehe Bild B.2 b)).



Legende

- 1 Sollbahn
- 2 Istbahn

Bild B.2 – Einfluss der Rechtwinkligkeitsabweichung zweier Achsen auf eine Kreisbahn

B.2.3 Einfluss periodischer Abweichungen

Periodische Abweichungen beeinflussen Kreisbahnen ebenfalls. Die Abweichungen von der Kreisbahn sind nicht-elliptisch. Bild B.3 zeigt die Änderungen einer Kreisbahn bei Annahme einer periodischen Positionsabweichung von Z.

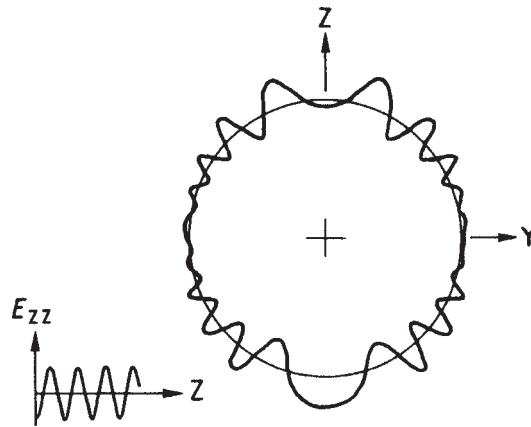


Bild B.3 – Einfluss periodischer Abweichungen von Z

B.3 Einfluss der numerischen Steuerung und der Antriebe

Eine Kreisbahn, die von zwei linearen numerisch gesteuerte Achsen erzeugt wird, gibt Informationen über die numerische Steuerung und über die Antriebe. Die Bewegung jeder einzelnen Achse ist ziemlich kompliziert, denn Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung jeder Achse ändern sich sinusartig oder cosinusartig, wenn der Vorschub auf der Kreisbahn konstant gehalten wird.

B.3.1 Einfluss der Umkehrspanne und deren Kompensation

Wenn in beiden Antrieben eine Umkehrspanne vorhanden ist, ändert sich die Sollkreisbahn zu vier Viertelkreisen mit vier verschiedenen Mittelpunkten (siehe Bild B.4).

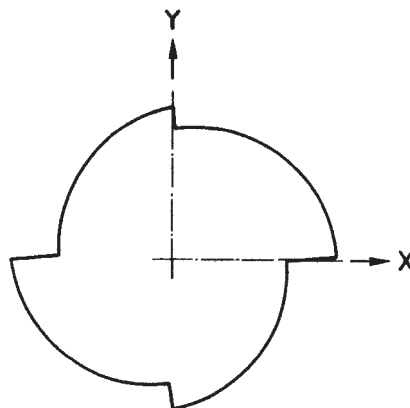


Bild B.4 – Nicht kompensierte Umkehrspanne

Wenn die Maschine mit Maßstäben ausgerüstet ist, kann die numerische Steuerung eine Umkehrspanne erkennen und korrigieren. Diese Korrektur benötigt eine gewisse Zeit, was Spitzen an den Umkehrpunkten verursacht (siehe Bild B.5). Diese Spitzen werden größer, wenn die (mechanische) Umkehrspanne groß ist oder wenn die numerische Steuerung langsam ist (d. h. wenn die Kreisverstärkung klein ist).

Die Spitzen in den Umkehrpunkten erscheinen auch an bearbeiteten Kreisen, aber sie erscheinen nicht bei den Standardprüfungen für die Genauigkeit und Wiederholpräzision der Positionierung linearer Achsen (z. B. nach ISO 230-2), da bei diesen Standardprüfungen die Messungen immer erst nach Stillsetzen der Maschinenbewegung erfolgen.

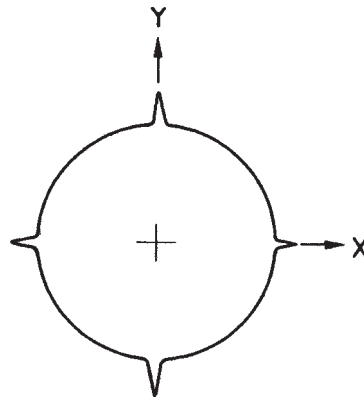
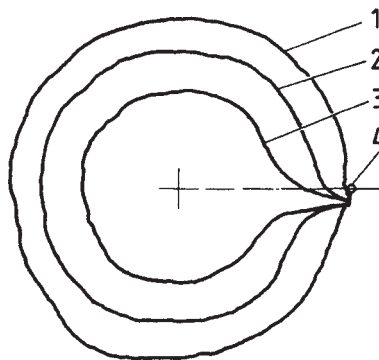


Bild B.5 – Kompensierte Umkehrspanne

B.3.2 Einfluss der Achsenbeschleunigungen

Wenn die Vorschubgeschwindigkeit für die Kreisbahn erhöht wird, erhöht sich die Beschleunigung in den Achsen entsprechend. Der Antrieb einer Achse kann sich so verhalten, dass sich die Amplitude der Bewegung durch die höheren Frequenzen bei höheren Vorschüben verringert. Dies verursacht Bahnen, die im Durchmesser kleiner sind als die Sollkreisbahn (siehe Bild B.6).



Legende

Istbahnen von Kreisbewegungen mit:

- 1 kleiner Bahngeschwindigkeit
- 2 mittlerer Bahngeschwindigkeit
- 3 großer Bahngeschwindigkeit
- 4 Start- und Endpunkt

Bild B.6 – Einfluss der Achsenbeschleunigungen

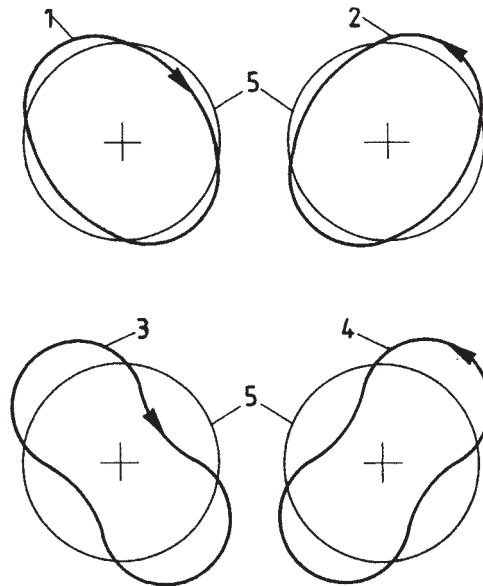
Besondere Regelalgorithmen in der numerischen Steuerung der Maschine (z. B. eine Proportional-Integral-Regelung) können bei höheren Bahngeschwindigkeiten größere Kreise als die Sollkreisbahn erzeugen und damit den Einfluss der Beschleunigung einzelner Achsen kompensieren.

B.3.3 Einfluss unterschiedlicher Schleppfehler (fehlerhafter Achsabgleich)

Wenn die Schleppfehler der beiden Achsen unterschiedlich sind, wird die Kreisbahn zu einer elliptischen Bahn verändert. Die Hauptachsen der Ellipse liegen bei $\pm 45^\circ$.

Abhängig vom Umlaufsinn (im Uhrzeigersinn oder im Gegenuhrzeigersinn) liegt der größere Durchmesser bei $+45^\circ$ oder bei -45° (siehe Bild B.7).

Wenn die Bahngeschwindigkeit erhöht wird, vergrößert sich die Kreisformabweichung entsprechend.



Legende

Istbahnen mit:

- 1 kleiner Bahngeschwindigkeit im Uhrzeigersinn
- 2 kleiner Bahngeschwindigkeit im Gegenuhrzeigersinn
- 3 großer Bahngeschwindigkeit im Uhrzeigersinn
- 4 großer Bahngeschwindigkeit im Gegenuhrzeigersinn
- 5 Sollbahn

Bild B.7 – Einfluss unterschiedlicher Schleppfehler

Anhang C (informativ)

Anpassung von Durchmesser und Bahngeschwindigkeit

Der Durchmesser der Sollbahn und die Bahngeschwindigkeit werden durch Vereinbarung zwischen Lieferant und Abnehmer oder durch entsprechende Maschinen-Normen festgelegt.

Wenn der Durchmesser oder die Bahngeschwindigkeit von den festgelegten Werten abweichend gewählt werden, sollten sie entsprechend der folgenden Formel angepasst werden, um die Achsbeschleunigungen konstant zu halten:

$$V_1 = V_2 \sqrt{D_1 / D_2}$$

mit

- V_1 der berechneten Bahngeschwindigkeit;
- V_2 der festgelegten Bahngeschwindigkeit;
- D_1 dem verwendeten Durchmesser der Sollbahn;
- D_2 dem festgelegten Durchmesser der Sollbahn.

Die Änderung des Durchmessers sollte möglichst klein gehalten werden, da

- der Einfluss von Geometrieabweichungen der Werkzeugmaschine mit größerem Durchmesser der Istbahn zunimmt, und
- der Einfluss unterschiedlicher Schleppfehler mit größerer Bahngeschwindigkeit zunimmt.

BEISPIEL:

Bei einem festgelegten Durchmesser D_2 von 100 mm, einer festgelegten Bahngeschwindigkeit V_2 von 500 mm/min und einem verwendeten Durchmesser D_1 von 125 mm berechnet sich die Bahngeschwindigkeit V_1 als $500 \sqrt{125/100} = 559$ mm/min.

Anhang D
(informativ)
Literaturhinweise

- [1] ISO 230-2:1997, *Prüfregeln für Werkzeugmaschinen – Teil 2: Bestimmung der Positioniergenauigkeit und der Wiederholpräzision der Positionierung von numerisch gesteuerten Achsen.*
- [2] ANSI/ASME B5.54-1991, *Methods for Performance Evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centres.*
- [3] Bryan, J. B., *A simple method for testing measuring machines and machine tool; Part 1, Precision Engineering, April 4 2 (1982), S. 61; Part 2, Precision Engineering, July 4 3 (1982), S. 125.*
- [4] Burdekin, M.; Park, J., *Contisure – a computer aided system for assessing the contouring accuracy of NC machine tools; MATADOR Conference, April 1988, S. 197.*
- [5] Kakino, Y., Ihara, Y., Shinohara, A., *Genauigkeitsprüfung von NC Werkzeugmaschinen mit dem Kugelstab-Verfahren; Carl-Hanser Verlag, 1993;*
auf Englisch: Carl-Hanser Verlag, 1993;
auf Japanisch: Realize, Inc., 1989.
- [6] Knapp, W., Hrovat, S., *Der Kreisformtest zur Prüfung von NC-Werkzeugmaschinen; S. Hrovat, Trottenstr. 79, CH-8037 Zürich, Schweiz, 1986, ISBN 3-906391-01-9;*
auf Englisch: S. Hrovat, Trottenstr. 79, CH-8037 Zurich, 1987; ISBN 3-906391-03-5;
auf Französisch: S. Hrovat, Trottenstr. 79, CH-8037 Zurich, 1986; ISBN 3-906391-02-7;
auf Japanisch: Nachi-Fujikoshi, World Trade Center Building, 2-4-1, Hamamatsucho, Minato-ku, Tokyo 105;
auf Russisch: NPO ENIMS, 5th Donskoi pr.21-b, 117926 Moscow, Russia, 1992.
- [7] Nakazawa, H.; Ito, K.; *Measurement System of Contouring Accuracy on NC Machine Tools; Bull. Japan Soc. of Prec. Eng., 12 4 (Dec. 1978), S. 189.*