

Prüfregeln für WerkzeugmaschinenTeil 1: Geometrische Genauigkeit von Maschinen, die ohne Last
oder unter Schlichtbedingungen arbeiten (ISO 230-1 : 1996)**DIN****ISO 230-1**

ICS 25.080.01

Ersatz für DIN 8601 : 1986-12

Machine tools – Test code for machine tools –
Part 1: Geometric accuracy of machines operating
under no-load or finishing conditions (ISO 230-1 : 1996)

Machines-outils – Code d'essai des machines-outils –
Partie 1: Précision géométrique des machines fonctionnant
à vide ou dans des conditions de finition (ISO 230-1 : 1996)

Die Internationale Norm ISO 230-1 : 1996-07-01, „Test code for machine tools – Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions“ ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

ISO 230-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 39 *Werkzeugmaschinen*, Unterkomitee SC 2 *Abnahmebedingungen für Maschinen für die spanende Metallbearbeitung* unter maßgeblicher 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. Für die im Abschnitt A2 und im Anhang B zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 230-2 siehe E DIN ISO 230-2
ISO 286-1 siehe DIN ISO 286-1
ISO 841 siehe DIN 66217
ISO 1101 siehe DIN ISO 1101

Nationaler Anhang NA (informativ)**Literaturhinweise**

E DIN ISO 230-2

Abnahmeregeln für Werkzeugmaschinen – Bestimmung der Positionsunsicherheit und der Wiederholbarkeit der Positionierung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen; Identisch mit ISO 230-2 : 1988

DIN ISO 286-1

ISO-System für Grenzmaße und Passungen – Grundlagen für Toleranzen, Abmaße und Passungen; Identisch mit ISO 286-1 : 1988

DIN ISO 1101

Technische Zeichnungen – Form- und Lagetolerierung – Form-, Richtungs-, Orts- und Lauftoleranzen – Allgemeines, Definitionen, Symbole, Zeichnungseintragungen

DIN 66217

Koordinatenachsen und Bewegungsrichtungen für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen

DIN 874-1

Lineale – Flachlineale aus Stahl – Maße, Technische Lieferbedingungen

DIN 875

Stahlwinkel, 90°

DIN 876-1

Prüfplatten – Prüfplatten aus Naturgestein – Anforderungen, Prüfung

DIN 876-2

Prüfplatten – Prüfplatten aus Gußeisen – Anforderungen, Prüfung

DIN 877

Neigungsmeßgeräte (Richtwaagen)

Fortsetzung Seite 2 bis 53

Normenausschuß Werkzeugmaschinen (NWM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN 878

Meßuhren

DIN 879-1

Feinzeiger mit mechanischer Anzeige

DIN 2270

Fühlhebelmeßgeräte

DIN 2276-2

Neigungsmeßeinrichtungen – Elektronische Neigungsmeßeinrichtungen – Formen, Anforderungen

Änderungen

Gegenüber DIN 8601 : 1986-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Normnummer geändert.
- b) Inhalt redaktionell überarbeitet und erweitert.

Frühere Ausgaben

DIN 8601: 1939x-05, 1977-12, 1986-12

Deutsche Übersetzung

Prüfregeln für Werkzeugmaschinen

Teil 1: Geometrische Genauigkeit von Maschinen, die ohne Last oder unter Schlichtbedingungen arbeiten

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	6	5.212.12 Verfahren mit Spanndraht und Mikroskop (früher 5.212.3)	11
2 Allgemeine Hinweise	6	5.212.13 Verfahren mit Fluchtungsfernrohr	12
2.1 Festlegungen für geometrische Prüfungen	6	5.212.14 Verfahren mit Fluchtungslaser	12
2.2 Prüfverfahren und Anwendung der Prüfmittel	6	5.212.15 Verfahren mit Laser-Interferometer	12
2.3 Toleranzen	6	5.212.2 Winkelpfprüfverfahren	12
2.31 Toleranzen für die Messungen beim Prüfen von Werkzeugmaschinen	6	5.212.21 Verfahren mit Neigungsmeßgerät	13
2.311 Maßeinheiten, Meßbereiche	6	5.212.22 Verfahren mit Autokollimator	13
2.312 Regeln für Toleranzen	6	5.212.23 Verfahren mit Laser-Interferometer (Winkelmessung)	13
2.32 Unterteilung von Toleranzen	7	5.213 Toleranz	14
2.321 Toleranzen für Prüfwerkstücke und für einzelne Maschinenteile	7	5.213.1 Definition	14
2.321.1 Maßtoleranzen	7	5.213.2 Bestimmung der Toleranz	14
2.321.2 Formtoleranzen	7	5.22 Geradheit von Bauteilen	14
2.321.3 Lagetoleranzen	7	5.221 Definition	14
2.321.4 Einfluß von Formabweichungen bei der Bestimmung von Lageabweichungen	7	5.222 Prüfverfahren	14
2.321.5 Örtliche Toleranzen	7	5.222.1 Referenznuten oder -flächen von Tischen	14
2.322 Toleranzen für die Verschiebung eines Bauteiles einer Werkzeugmaschine	8	5.222.2 Führungsbahnen	15
2.322.1 Positioniertoleranzen	8	5.222.21 V-Führungsflächen	15
2.322.11 Grenzwerte der Wiederholpräzision	8	5.222.22 Zylindrische Führungsbahnen	15
2.322.2 Formtoleranzen einer Bewegungsbahn	8	5.222.23 Einfache vertikale Führungsflächen	15
2.322.3 Toleranzen der Richtungsabweichung einer geradlinigen Bewegung	8	5.222.24 Schrägbettanordnung	16
2.322.4 Örtliche Toleranz der Verschiebung eines Maschinenteiles	8	5.222.3 Toleranzen	16
2.323 Gesamttoleranzen	8	5.23 Geradlinigkeit einer Bewegung	16
2.324 Symbole und Lage der Toleranzen für relative Winkellagen von Achsen, Führungsbahnen usw.	9	5.231 Definitionen	16
2.325 Übliche Bezeichnung von Achsen und Bewegungsrichtungen	9	5.231.1 Positionsabweichungen	16
3 Vorbereitende Maßnahmen	9	5.231.2 Lineare Abweichungen	16
3.1 Aufstellung der Maschine vor der Prüfung	9	5.231.3 Winklige Abweichungen	16
3.11 Ausrichten	9	5.232 Prüfverfahren	16
3.2 Zustand der Maschine vor der Prüfung	9	5.232.1 Prüfverfahren für lineare Abweichungen	16
3.21 Demontage bestimmter Maschinenteile	9	5.232.11 Prüfverfahren mit Lineal und Meßuhr (früher 5.232.1)	16
3.22 Temperaturbedingungen bestimmter Maschinenteile vor der Prüfung	9	5.232.12 Prüfverfahren mit Mikroskop und Spanndraht (früher 5.232.2)	17
3.23 Funktion und Belastung	9	5.232.13 Prüfverfahren mit Fluchtungsfernrohr	17
4 Bearbeitungsprüfungen	9	5.232.14 Prüfverfahren mit einem Laser	17
4.1 Prüfung	9	5.232.15 Prüfverfahren durch Winkelmessung	17
4.2 Prüfen von Werkstücken in Bearbeitungsprüfungen	9	5.232.2 Prüfverfahren für Winkelabweichungen	17
5 Geometrische Prüfungen	9	5.232.21 Prüfen mit Neigungsmeßgerät	17
5.1 Allgemeines	9	5.232.22 Prüfen mit Autokollimator	17
5.2 Geradheit	10	5.232.23 Prüfen mit einem Laser	17
5.21 Geradheit einer Linie in einer Ebene oder im Raum	10	5.233 Toleranz	17
5.211 Definition	10	5.233.1 Toleranz für die lineare Abweichung der Geradlinigkeit der Bewegung	17
5.211.1 Geradheit einer Linie in einer Ebene	10	5.233.2 Toleranz für die winklige Abweichung der Geradlinigkeit der Bewegung	17
5.211.2 Geradheit einer Linie im Raum	10	5.3 Ebenheit	17
5.212 Prüfverfahren für die Geradheit	10	5.31 Definition	17
5.212.1 Längenprüfverfahren	10	5.32 Prüfverfahren	17
5.212.11 Prüfverfahren mit Lineal (früher 5.212.1)	11	5.321 Prüfen der Ebenheit mit Prüfplatte	17
5.212.111 Prüfen in vertikaler Ebene	11	5.321.1 Prüfen der Ebenheit mit Prüfplatte und Meßuhr	17
5.212.112 Prüfen in horizontaler Ebene	11	5.322 Prüfen der Ebenheit mit Lineal(en)	18
		5.322.1 Prüfen mit einer Schar von Geraden durch Verschieben eines Lineals (früher 5.322)	18
		5.322.2 Prüfen mit Lineal, Neigungsmeßgerät und Meßuhr	18
		5.323 Prüfen der Ebenheit mittels Neigungsmeßgerät	18

	Seite
5.323.1 Prüfen einer rechteckigen Fläche	19
5.323.2 Prüfen ebener Kreisflächen	19
5.324 Prüfen der Ebenheit mit optischen Verfahren ..	20
5.324.1 Prüfen mit Autokollimator	20
5.324.2 Prüfen mit drehbarem optischen rechten Winkel	20
5.324.3 Prüfen mit einem Fluchtungslaser	20
5.324.4 Prüfen mit Lasermeßsystem	20
5.325 Prüfen mit Koordinatenmeßgerät	21
5.33 Toleranzen	21
5.4 Parallelität, Abstandsgleichheit und Fluchtung ..	21
5.41 Parallelität von Linien und Ebenen	21
5.411 Definitionen	21
5.412 Prüfverfahren	21
5.412.1 Allgemeines für Achsen	21
5.412.2 Parallelität zweier Ebenen	21
5.412.2.1 Lineal und Meßuhr	22
5.412.2.2 Prüfverfahren mit Neigungsmeßgerät	22
5.412.3 Parallelität zweier Achsen	22
5.412.3.1 Ebene durch beide Achsen	22
5.412.3.2 Zweite Ebene rechtwinklig zur ersten Ebene	22
5.412.4 Parallelität einer Achse zu einer Ebene	22
5.412.5 Parallelität einer Achse zur Schnittgeraden zweier Ebenen	23
5.412.6 Parallelität der Schnittgeraden zweier Ebenen zu einer dritten Ebene	23
5.412.7 Parallelität zwischen zwei Geraden, die aus den Schnittgeraden von je zwei Ebenen gebildet werden	23
5.413 Toleranzen	24
5.42 Parallelität von Bewegungen	24
5.421 Definition	24
5.422 Prüfverfahren	24
5.422.1 Allgemeines	24
5.422.2 Parallelität zwischen einer Bewegungsbahn und einer Ebene	24
5.422.2.1 Die Ebene liegt auf dem bewegten Bauteil ..	24
5.422.2.2 Die Ebene liegt nicht auf dem bewegten Bauteil	24
5.422.3 Parallelität einer Bewegungsbahn zu einer Achse	24
5.422.4 Parallelität einer Bewegungsbahn zur Schnittgeraden zweier Ebenen	25
5.422.5 Parallelität zwischen zwei Bewegungsbahnen	25
5.423 Toleranzen	25
5.43 Abstandsgleichheit	25
5.431 Definition	25
5.432 Prüfverfahren	25
5.432.1 Allgemeines	25
5.432.2 Sonderfall der Abstandsgleichheit von zwei Achsen zur Schwenkebene der einen Achse	25
5.433 Toleranzen	25
5.44 Koaxialität, Koinzidenz oder Fluchtung	26
5.441 Definition	26
5.442 Prüfverfahren	26
5.443 Toleranzen	26
5.5 Rechtwinkligkeit	26
5.51 Rechtwinkligkeit von Geraden und Ebenen	26
5.511 Definition	26
5.512 Prüfverfahren	26
5.512.1 Allgemeines	26
5.512.2 Zwei Ebenen rechtwinklig zueinander	27
5.512.3 Zwei Achsen rechtwinklig zueinander	27
5.512.3.1 Beide Achsen sind ortsfeste Achsen	27
5.512.3.2 Eine der Achsen ist eine Drehachse	27
5.512.4 Eine Achse und eine Ebene rechtwinklig zueinander	27

	Seite
5.512.4.1 Ortsfeste Achse	27
5.512.4.2 Drehachse	27
5.512.5 Eine Achse rechtwinklig zur Schnittgeraden zweier Ebenen	28
5.512.5.1 Ortsfeste Achse	28
5.512.5.2 Drehachse	28
5.512.6 Schnittgerade zweier Ebenen rechtwinklig zu einer weiteren Ebene	28
5.512.7 Zwei rechtwinklig zueinander stehende Geraden, die jeweils die Schnittgeraden zweier Ebenen sind	28
5.513 Toleranzen	28
5.52 Rechtwinkligkeit von Bewegungen	28
5.521 Definition	28
5.522 Prüfverfahren	28
5.522.1 Allgemeines	28
5.522.2 Rechtwinkligkeit zwischen der Bewegungsbahn eines Punktes und einer Ebene	28
5.522.3 Bewegungsbahn eines Punktes rechtwinklig zu einer Achse	29
5.522.4 Zwei Bewegungsbahnen rechtwinklig zueinander	29
5.523 Toleranzen	29
5.6 Drehbewegung	29
5.61 Rundlauf	29
5.611 Definitionen	29
5.611.1 Rundheit	29
5.611.2 Exzentrizität	29
5.611.3 Radialschlag einer Achse an einem gegebenen Punkt	30
5.611.4 Rundlauf eines Bauteils in einer gegebenen Schnittebene	30
5.612 Prüfverfahren	30
5.612.1 Vorkehrungen vor der Prüfung	30
5.612.2 Außenflächen	30
5.612.3 Innenflächen	30
5.613 Toleranzen	31
5.62 Periodischer Axialschlag	31
5.621 Definitionen	31
5.621.1 Kleinstes Axialspiel	31
5.621.2 Periodischer Axialschlag	31
5.622 Prüfverfahren	31
5.622.1 Allgemeines	31
5.622.2 Anwendungen	31
5.623 Toleranzen	32
5.63 Planlauf	32
5.631 Definitionen	32
5.632 Prüfverfahren	32
5.633 Toleranzen	32
6 Besondere Prüfungen	32
6.1 Teilungen	32
6.11 Definition der Abweichungen	32
6.111 Einzelteilungsabweichung	33
6.112 Teilungssprung	33
6.113 Örtliche Teilungsabweichung	33
6.114 Summenteilungsabweichung	33
6.115 Gesamteilungsabweichung	33
6.116 Graphische Darstellung dieser Abweichungen	33
6.12 Prüfverfahren	34
6.13 Toleranz	34
6.2 Bestimmung der linearen Positionierabweichungen von durch Gewindespindeln angetriebenen Maschinenteilen	34
6.3 Winkelspiel	35
6.31 Definition	35
6.32 Prüfverfahren (Prüfen der Schalteinrichtung)	35
6.33 Toleranz	35
6.4 Wiederholpräzision von Winkelschalt-einrichtungen	35
6.41 Definition	35

	Seite		Seite
6.42	Prüfverfahren	6.723	Meßverfahren mit Prüfprismen
6.43	Grenzwert	6.8	Übereinstimmung bearbeiteter Durchmesser
6.5	Schneiden von Achsen	6.81	Definition
6.51	Definition	6.82	Prüfverfahren
6.52	Prüfverfahren	6.821	Meßschraube oder ähnliches Zweipunkt- Längenmeßgerät
6.521	Direkte Messung	6.822	Höhenmeßschieber
6.522	Indirekte Prüfung	Anhang A	(informativ) Meß- und Prüfmittel für die Prüfung von Werkzeugmaschinen
6.53	Toleranz	Anhang A.1	Allgemeines
6.6	Kreisform	Anhang A.2	Lineale
6.61	Definition	Anhang A.3	Prüfdorne mit Kegelschaft
6.62	Prüfverfahren an Prüflingen	Anhang A.4	Prüfdorne zwischen Spitzen
6.621	Rundheitsmeßgerät mit drehbarem Meßwert- aufnehmer oder Drehtisch	Anhang A.5	Winkel
6.622	Koordinatenmeßgerät	Anhang A.6	Neigungsmeßgeräte
6.623	Profilprojektor	Anhang A.7	Taster mit linearer Verschiebung
6.624	Verfahren mit Prüfprismen	Anhang A.8	Prüfplatten
6.63	Prüfen numerisch gesteuerter Kreisbahn- bewegungen	Anhang A.9	Mikroskop mit Spanndraht
6.631	Drehbarer eindimensionaler Meßtaster	Anhang A.10	Fluchtungsfernrohre
6.632	Kreisformnormal und zweidimensionaler Meßtaster	Anhang A.11	Autokollimator
6.633	Teleskop-Kugelstab	Anhang A.12	Schwenkbarer optischer rechter Winkel (Pentaprisma)
6.7	Zylindrizität	Anhang A.13	Laser-Interferometer
6.71	Definition	Anhang B	(informativ) Literaturhinweise
6.72	Prüfverfahren		
6.721	Koordinatenmeßgerät		
6.722	Rundheitsmeßgerät mit drehbarem Meßtaster oder Drehtisch		

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 Mitgliedskörperschaft, 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 Elektrotech-nischen Kommission (IEC) zusammen.

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

Die Internationale Norm ISO 230-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 39 *Werkzeugmaschinen*, Unterkomitee SC 2 *Abnahmebedingungen für Maschinen für die spanende Metallbearbeitung* erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe ISO 230-1 : 1986, die technisch überarbeitet wurde.

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: Bewertung von Wärmewirkungen
- Teil 4: Kreisformprüfungen für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen
- Teil 5: Bestimmung der Geräuschemission

Die Anhänge A und B dieses Teiles von ISO 230 dienen nur der Information.

Einleitung

Nach allgemeinen Betrachtungen über Definitionen, Toleranzen, Prüfverfahren und Anwendung von Prüfmitteln befaßt sich dieser Teil der ISO 230 eingehend mit vorbereitenden Maßnahmen, geometrischen Prüfungen und Bearbeitungsprüfungen sowie besonderen Prüfungen.

Anhang A gibt zusätzliche Informationen über die für diese Prüfungen verwendeten Geräte und Ausrüstungen.

Geometrische Prüfungen bestehen aus dem Prüfen von Maßen, Form und Lage von Maschinenteilen und deren relativer Verlagerung gegeneinander. Sie schließen alle die Vorgänge ein, die Maschinenbauteile beeinflussen (Ebenheit von Flächen, Fluchtung und sich schneidende Achsen, Parallelität und Rechtwinkligkeit von Geraden und ebenen Flächen). Sie beziehen sich nur auf Maße, Form, Lage und relative Bewegungen, die die Arbeitsgenauigkeit der Maschine beeinflussen können.

Bearbeitungsprüfungen bestehen aus der Bearbeitung von Prüfwerkstücken, die für die Hauptzwecke, für die die Maschine gestaltet wurde, geeignet sind, und für die vorher Grenzmaße und Toleranzen festgelegt wurden.

Die Abschnittsbenummerung der ersten Ausgabe ISO 230-1 : 1986 wurde soweit als möglich übernommen. Änderungen sind nur in den Abschnitten 5.2 und 5.3 vorgenommen worden, und die früheren Abschnittsnummern sind im Inhaltsverzeichnis bei der entsprechenden Eintragung in Klammern angegeben.

1 Anwendungsbereich

Ziel dieses Teiles von ISO 230 ist es, Verfahren zur Prüfung der Genauigkeit von Werkzeugmaschinen, die ohne Last oder unter Schlichtbedingungen betrieben werden, durch geometrische Prüfungen und Bearbeitungsprüfungen zu vereinheitlichen. Diese Verfahren können auch für andere Maschinen des industriellen Einsatzes, für die geometrische Prüfungen und Bearbeitungsprüfungen in Frage kommen, angewendet werden.

Dieser Teil der ISO 230 bezieht sich auf kraftbetriebene, während des Betriebes nicht in der Hand gehaltene Maschinen für die Bearbeitung von Metall, Holz usw. durch Spanabnahme oder durch Umformung.

Dieser Teil der ISO 230 bezieht sich nur auf die Prüfung der geometrischen Genauigkeit. Insbesondere behandelt er weder die betriebsmäßige Prüfung der Werkzeugmaschine (Vibrationen, Stick-Slip-Bewegungen von Maschinenteilen etc.) noch Leistungsmerkmale (Drehfrequenzen, Vorschübe), da diese Eigenschaften üblicherweise vor der Prüfung der Genauigkeit der Werkzeugmaschine geprüft sein sollten.

Wenn ein Prüfverfahren, welches in dieser Norm nicht beschrieben ist, gleiche oder bessere Möglichkeiten zur Prüfung der zu untersuchenden Merkmale bietet, darf es eingesetzt werden.

2 Allgemeine Hinweise

2.1 Festlegungen für geometrische Prüfungen

Es ist zu unterscheiden zwischen geometrischen Festlegungen und den in diesem Teil von ISO 230 bezeichneten meßtechnischen Festlegungen.

Geometrische Festlegungen sind abstrakt und beziehen sich nur auf imaginäre Linien und Flächen. Daraus folgt, daß geometrische Festlegungen nicht immer in die Praxis umgesetzt werden können. Sie berücksichtigen weder die Gegebenheiten der Herstellung noch die Prüfmöglichkeiten.

Meßtechnische Festlegungen sind real, da sie sich auf tatsächliche Linien und Flächen beziehen, welche der Prüfung zugänglich sind. Sie erfassen alle mikro- und makrogeometrischen Abweichungen in einem einzigen Ergebnis. Sie ermöglichen ein Ergebnis, welches alle Ursachen für Abweichungen beinhaltet, ohne diese voneinander zu unterscheiden. Diese Unterscheidung sollte den Herstellern überlassen bleiben.

Trotzdem sind in einigen Fällen geometrische Festlegungen (z. B. Definitionen des Rundlaufes, des periodischen Axialschlages usw.) in diesem Teil von ISO 230 eingeschlossen, um jede Verwirrung zu vermeiden und um das sprachliche Verständnis zu erleichtern. Bei der Beschreibung der Prüfverfahren, Prüfmittel und Toleranzen werden jedoch meßtechnische Festlegungen zugrunde gelegt.

2.2 Prüfverfahren und Anwendung der Prüfmittel

Wenn während der Prüfung einer Werkzeugmaschine das Prüfverfahren nur dazu dient, festzustellen, daß die Toleranzen nicht überschritten sind (z. B. Grenzlehren), oder wenn die tatsächlichen Abweichungen nur durch hochpräzise Prüfungen mit einem großen Zeitaufwand festgestellt werden könnten, genügt es festzustellen, daß die Grenzwerte nicht überschritten sind, statt Messungen auszuführen.

Es muß betont werden, daß Meßunsicherheiten, verursacht durch die Prüfmittel oder das Prüfverfahren, bei den Prüfungen berücksichtigt werden müssen. Die Meßunsicherheit eines Prüfmittels darf einen vorgegebenen Bruchteil der zu prüfenden Toleranz nicht überschreiten. Da die Genauigkeit der benützten Prüfmittel von einer Prüfstelle zur anderen unterschiedlich ist, sollte für jedes Prüfmittel ein Kalibrierschein verfügbar sein.

Die zu prüfenden Maschinen und die Prüfmittel sollten vor Luftzug, störender Licht- oder Wärmestrahlung (Sonnenlicht, nahe elektrische Lichtquellen usw.) geschützt werden, und die Temperatur der Prüfmittel sollte vor der Messung stabilisiert werden. Die Maschine selbst muß vor äußeren Temperaturschwankungen in geeigneter Weise geschützt sein.

Eine bestimmte Messung sollte möglichst wiederholt werden, und als Prüfergebnis sollte der Mittelwert der Messungen genommen werden. Die unterschiedlichen Messungen sollten dabei jedoch keine zu großen Abweichungen voneinander zeigen; anderenfalls sollte der Ursache nachgegangen werden, die im Prüfverfahren oder Prüfmittel oder in der Werkzeugmaschine selbst liegen kann.

Nähere Angaben siehe Anhang A.

2.3 Toleranzen

2.31 Toleranzen für die Messungen beim Prüfen von Werkzeugmaschinen

Toleranzen, die die Abweichungen von Werten, die nicht überschritten werden dürfen, begrenzen, beziehen sich auf Maße, Form, Lage und Bewegungen, welche für die Arbeitsgenauigkeit der Maschine und für das Anbringen von Werkzeugen, wichtigen Maschinenteilen und Zubehöerteilen wesentlich sind.

Es gibt auch Toleranzen, welche sich nur auf Prüfwerkstücke beziehen.

2.311 Maßeinheiten, Meßbereiche

Wenn man Toleranzen festlegt, muß man

- a) die Maßeinheit,
- b) die Bezugsbasis, die Größe der Toleranz und deren Lage zur Bezugsbasis sowie
- c) den Meßbereich angeben.

Toleranz und Meßbereich sind im gleichen Maßsystem anzugeben. Toleranzen, insbesondere Maßtoleranzen, dürfen nur angegeben werden, wenn eine Festlegung nicht durch einfache Bezugnahme auf bestehende Internationale Normen für die Maschinenteile möglich ist. Winkelmaße sollen entweder in Winkleinheiten (Grad, Minuten, Sekunden) oder als Tangens (Millimeter pro Millimeter) angegeben werden.

Wenn die Toleranz für einen bestimmten Bereich bekannt ist, muß die Toleranz für einen vergleichbaren Bereich durch Anwendung der Proportionalitätsregel bestimmt werden. Für stark voneinander abweichende Bereiche kann die Proportionalitätsregel nicht angewendet werden; Toleranzen müssen für kleine Bereiche größer und für große Bereiche kleiner sein, als dies der Anwendung dieser Regel entspricht.

2.312 Regeln für Toleranzen

Toleranzen beinhalten Meßunsicherheiten, welche Prüfmitteln und Prüfverfahren anhaften. Meßunsicherheiten müssen demzufolge bei den Toleranzen mit berücksichtigt werden (siehe 2.2).

Beispiel:

Rundlauftoleranz:	x mm
Meßunsicherheit durch Prüfmittel:	y mm
Größte zulässige Anzeigedifferenz bei der Prüfung:	$(x-y)$ mm

Abweichungen infolge von Unsicherheiten bei vergleichenden Labormessungen, Formabweichungen von Maschinenteilen, die als Bezugsfläche dienen, einschließlich solcher Flächen, die durch Meßeinsätze von Meßbolzen oder durch Auflagepunkte der Meßständer überdeckt werden, sind zu berücksichtigen. Wegen der oben erwähnten Abweichungen sollte das Ergebnis aus dem arithmetischen Mittel mehrerer Messungen bestehen.

Linien oder Flächen, welche als Bezugsbasis dienen, sollen sich direkt auf die Werkzeugmaschine beziehen (z. B. die Linie zwischen den Spitzen einer Drehmaschine, Spindel eines Bohrwerkes, Führungsbahnen einer Hobelmaschine etc.). Die Richtung der Toleranz muß gemäß den Regeln nach 2.324 definiert werden.

2.32 Unterteilung von Toleranzen

2.321 Toleranzen für Prüfwerkstücke und für einzelne Maschinenteile

Es ist zu beachten, daß die in ISO 1101 angegebenen Regeln für die Angabe geometrischer Toleranzen auf Zeichnungen sich auf die geometrische Genauigkeit einzelner Teile beziehen. Diese Regeln sollen bei den Fertigungszeichnungen befolgt werden.

2.321.1 Maßtoleranzen

Die in diesem Teil von ISO 230 angegebenen Maßtoleranzen beziehen sich ausschließlich auf die Maße von Prüfwerkstücken für praktische Prüfungen und auf die Paßmaße für Schneidwerkzeuge und Prüfmittel, die an der Maschine angebracht werden (Spindelkegel, Revolverbohrungen). Sie legen die Grenzwerte für die zulässigen Abweichungen von Nennmaßen fest. Sie müssen in Längeneinheiten angegeben sein (z. B. Abweichungen von Zapfen- und Bohrungsdurchmessern für die Aufnahme und das Zentrieren der Werkzeuge).

Abmaße sollen durch Zahlen oder durch Symbole nach ISO 286-1 ausgedrückt werden.

BEISPIEL: $80^{+0,012}_{-0,007}$ oder $80\ j6$

2.321.2 Formtoleranzen

Formtoleranzen begrenzen die zulässigen Abweichungen von der theoretischen geometrischen Form (z. B. Abweichungen von einer Ebene, von einer Geraden, von einem Rotationszylinder, von einem Gewinde- oder Zahnprofil). Sie werden in Längen- oder Winkleinheiten ausgedrückt. Wegen der Größe der Auflagefläche der Meßeinsätze oder der Meßständer wird nur ein Teil der Formabweichung erfaßt. Deshalb muß bei besonderen Genauigkeitsanforderungen die Größe der Meßeinsatz- oder Meßständerauflagefläche angegeben werden.

Oberfläche und Form des Meßeinsatzes sollten der Mikrogeometrie der zu prüfenden Fläche angepaßt sein (eine Prüfplatte und der Tisch einer schweren Hobelmaschine werden nicht mit demselben Meßeinsatz gemessen).

2.321.3 Lagetoleranzen

Lagetoleranzen begrenzen die zulässigen Abweichungen der Lage eines Maschinenteils zu einer Geraden, zu einer Ebene oder zu einem anderen Maschinenteil (z. B. Abweichung von der Parallelität, von der Rechtwinkligkeit, von der Fluchtung usw.). Sie werden in Längen- oder Winkleinheiten ausgedrückt.

Wenn eine Lagetoleranz durch zwei Prüfungen in zwei verschiedenen Ebenen definiert ist, sollte die Toleranz für jede Ebene angegeben werden, wenn die Abweichungen von diesen beiden Ebenen die Arbeitsgenauigkeit der Maschine nicht in gleicher Weise beeinflussen.

ANMERKUNG 1: Wenn eine Lage auf Ebenen bezogen wird, die selber schon Formabweichungen aufweisen, müssen diese bei der Festlegung der Lagetoleranz berücksichtigt werden.

2.321.4 Einfluß von Formabweichungen bei der Bestimmung von Lageabweichungen

Wenn die Lageabweichungen von zwei Ebenen oder von zwei Linien (siehe Bild 1, Linien XY und ZT) bestimmt werden,

enthalten die Meßwerte der Prüfmittel automatisch gewisse Formabweichungen. Grundsätzlich gilt, daß die Prüfung sich auf die Gesamtabweichung bezieht, d. h. einschließlich der Formabweichung beider Ebenen oder Linien. Die Toleranz muß daher die Formtoleranz der beteiligten Flächen berücksichtigen. (Wenn es jedoch nützlich erscheint, können durch vorbereitende Prüfungen die Formabweichungen der Linien oder Flächen, deren gegenseitige Lage zu bestimmen ist, ermittelt werden.)

Durch Auftragen der verschiedenen Meßwerte m_n in einem Schaubild (siehe Bild 1) erhält man eine Kurve ab. Es wird vereinbart, daß die Abweichung unter Verwendung der Geraden AB anstelle der Kurve ab bestimmt wird, entsprechend 5.211.1.

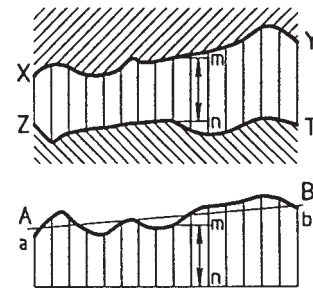


Bild 1

2.321.5 Örtliche Toleranzen

Form- und Lagetoleranzen beziehen sich üblicherweise auf die Form oder Lage als Ganzes (z. B. 0.03 auf 1000 für Geradheit oder Ebenheit). Es kann jedoch wünschenswert sein, die Abweichung für eine Teillänge mit einem anderen Wert zu begrenzen. Dies wird erreicht durch die Festlegung einer örtlichen Toleranz, die sich auf einen Teil der Gesamtlänge bezieht.

Die örtliche Abweichung ist der Abstand zwischen zwei Linien, die parallel zur allgemeinen Richtung desjenigen Teiles der Linie oder der Bewegungsbahn des Bauteiles sind, der die größten Abweichungen der Teillänge aufweist (siehe Bild 2).

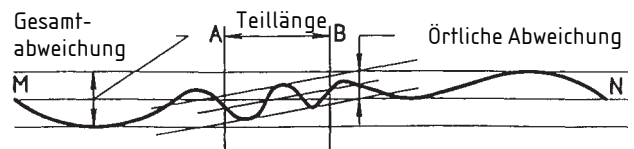


Bild 2

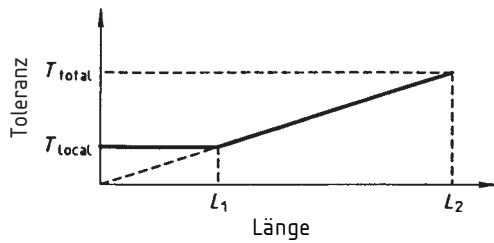
Der Wert der örtlichen Toleranz T_{local} wird festgelegt

– nach einer für eine Werkzeugmaschine geltenden Norm und für jede einzelne Prüfung

oder

– als Anteil der Gesamttoleranz T_{total} , vorausgesetzt, daß dieser Wert einen Mindestwert (üblicherweise 0,001 mm) nicht unterschreitet (siehe Bild 3).

In der Praxis sind örtliche Abweichungen im allgemeinen nicht wahrnehmbar, da sie von den führenden oder tastenden Flächen des Prüfmittels verdeckt werden. Wenn jedoch die tastenden Flächen verhältnismäßig klein sind (Meßeinsätze von Meßuhren oder Feinzeigern), sollte die Meßeinrichtung so gestaltet sein, daß der Meßbolzen an einer sehr guten Oberfläche (Lineal, Prüfdorn usw.) anliegt.



$$T_{\text{local}} = \frac{T_{\text{total}}}{L_2} \times L_1$$

Bild 3

BEISPIEL:

$$\begin{aligned} T_{\text{total}} &= 0,03 \text{ mm} \\ L_2 &= 1000 \text{ mm} \\ L_1 &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{dann ist } T_{\text{local}} = \frac{0,03}{1000} \times 100 = 0,003 \text{ mm}$$

2.322 Toleranzen für die Verschiebung eines Bauteils einer Werkzeugmaschine

ANMERKUNG 2: Für die Positionierungsunsicherheit und die Wiederholpräzision der Positionierung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen gilt ISO 230-2.

2.322.1 Positioniertoleranzen

Positioniertoleranzen begrenzen die Abweichung der Ist-Position gegenüber der Soll-Position, die ein Punkt des bewegten Maschinenteils nach einer Bewegung einnimmt.

BEISPIEL 1 (siehe Bild 4): Am Hubende eines Maschinenschlittens ist die Abweichung d der Abstand zwischen der tatsächlich erreichten Ist-Position und der Soll-Position. Die Positioniertoleranz ist p .

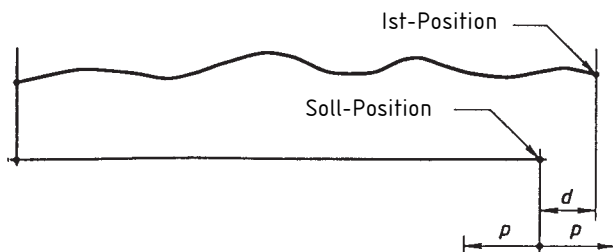


Bild 4

BEISPIEL 2 (siehe Bild 5): Drehwinkel einer Spindel, bezogen auf die Winkelbewegung einer Teilplatte, welche mit der Spindel verbunden ist. Die Positioniertoleranz ist p .

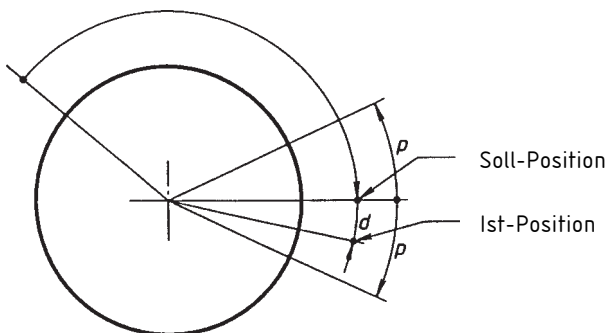


Bild 5

2.322.11 Grenzwerte der Wiederholpräzision

Die Grenzwerte der Wiederholpräzision begrenzen die Streuung der Abweichungen beim wiederholten Anfahren einer Soll-Position in einer oder in beiden Richtungen.

2.322.2 Formtoleranzen einer Bewegungsbahn

Formtoleranzen einer Bewegungsbahn begrenzen die zulässige Abweichung der tatsächlichen Bewegungsbahn eines Punktes eines bewegten Maschinenteils bezogen auf die theoretische Bewegungsbahn (siehe Bild 6). Sie werden in Längeneinheiten angegeben.

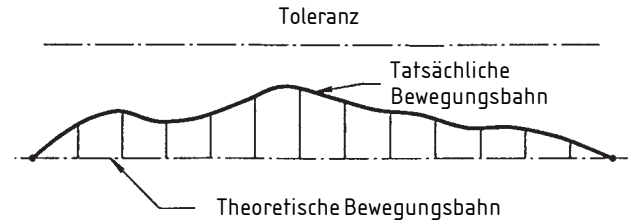


Bild 6

2.322.3 Toleranzen der Richtungsabweichung einer geradlinigen Bewegung (siehe Bild 7)

Die Toleranzen der Richtungsabweichung einer geradlinigen Bewegung begrenzen die zulässige Abweichung zwischen der Bewegungsbahn eines Punktes des bewegten Maschinenteils und der vorgeschriebenen Richtung (z. B. Abweichung der Parallelität oder Rechtwinkligkeit zwischen der Bewegungsbahn und einer Linie oder Fläche). Sie werden in Längeneinheiten für die Gesamtlänge L oder für eine beliebige Länge l ausgedrückt.

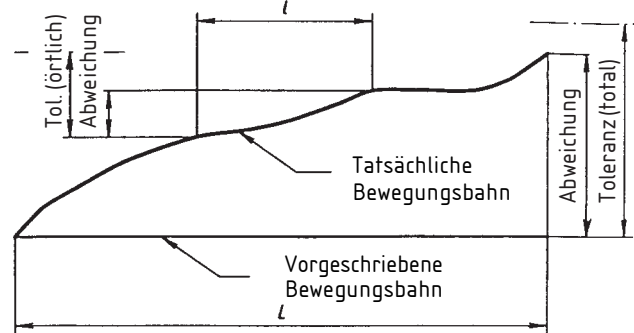


Bild 7

2.322.4 Örtliche Toleranz der Verschiebung eines Maschinenteils

Toleranzen der Positionierung, der Form einer Bewegungsbahn und der Richtung der geradlinigen Bewegung sind ebenfalls auf die Gesamtlänge der Verschiebung eines Maschinenteils bezogen. Wenn eine örtliche Toleranz erforderlich ist, erfolgen Definition und Festlegung des Wertes der örtlichen Toleranz ähnlich wie in 2.321.5.

2.323 Gesamttoleranzen

Gesamttoleranzen sollen die Resultierende aus verschiedenen Abweichungen begrenzen, die durch eine einzige Prüfung bestimmt werden können, wenn die einzelnen Abweichungen nicht ausgewiesen werden müssen.

BEISPIEL (siehe Bild 8): Die Rundlaufabweichung einer Welle ist die Summe aus der Formabweichung (Rundheitsabweichung des vom Meßbolzen abgetasteten Umfanges ab), der Positionsabweichung (die geometrische Achse und die Rotationsachse der Welle sind nicht deckungsgleich) und der Rundheitsabweichung der Lagerbohrung.

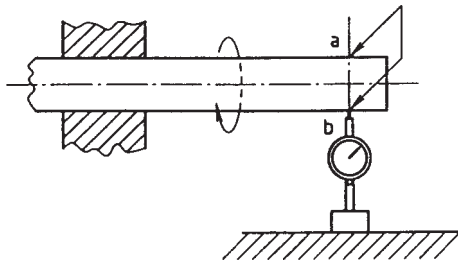


Bild 8

2.324 Symbole und Lage der Toleranzen für relative Winkellagen von Achsen, Führungsbahnen usw.

Wenn die Lage der Toleranz zur Nennposition symmetrisch ist, kann das Vorzeichen $\pm$ benutzt werden. Bei asymmetrischer Lage muß diese in Worten genau angegeben werden, entweder mit Bezug auf die Maschine oder auf eines der Maschinenteile.

2.325 Übliche Bezeichnung von Achsen und Bewegungsrichtungen

Um Bezeichnungen wie quer, längs usw., die zu Verwechslungen führen können, zu vermeiden, werden die Achsen der Bewegung und Drehung mit Buchstaben (z. B. X, Y, Z usw.) und Vorzeichen nach ISO 841 bezeichnet.

3 Vorbereitende Maßnahmen

3.1 Aufstellung der Maschine vor der Prüfung

Vor der Prüfung einer Werkzeugmaschine ist es unerlässlich, die Maschine auf ein geeignetes Fundament zu stellen und gemäß den Vorschriften des Herstellers auszurichten.

3.1.1 Ausrichten

Zu den vorbereitenden Maßnahmen der Maschinenaufstellung (siehe 3.1) gehört das genaue Ausrichten, das wesentlich von der betreffenden Maschine bestimmt wird.

Durch das Ausrichten soll die statische Stabilität der Maschine erreicht werden, die die nachfolgenden Prüfungen, insbesondere der Geradheit bestimmter Maschinenteile, ermöglicht.

3.2 Zustand der Maschine vor der Prüfung

3.2.1 Demontage bestimmter Maschinenteile

Abnahmeprüfungen werden in der Regel an der vollständig zusammengebauten Maschine durchgeführt; es darf nur ausnahmsweise und in Übereinstimmung mit den Angaben des Herstellers ein Abbau von bestimmten Maschinenteilen (z. B. Abbau eines Maschinentisches, um die Führungsbahnen zu prüfen) erfolgen.

3.2.2 Temperaturbedingungen bestimmter Maschinenteile vor der Prüfung

Ziel ist es, die Genauigkeit der Werkzeugmaschine unter Bedingungen zu prüfen, die in bezug auf Schmierung und Erwärmung möglichst dem üblichen Betrieb entsprechen. Vor geometrischen Prüfungen und Bearbeitungsprüfungen müssen Maschinenteile, vor allem Spindeln, die der Erwärmung und mithin einer Veränderung ihrer Lage und ihrer Form unterliegen, durch Leerlauf der Maschine auf eine den Arbeitsbedingungen und Herstelleranweisungen entsprechende Temperatur gebracht werden.

Besondere Bedingungen können für hochgenaue Maschinen und für bestimmte numerisch gesteuerte Maschinen gelten,

wenn Temperaturschwankungen merklichen Einfluß auf die Genauigkeit haben.

Dabei ist zu berücksichtigen, wie sehr sich die Maschine im üblichen Arbeitszyklus beim Übergang von der Umgebungszur Betriebstemperatur maßlich ändert. Das vorbereitende Warmlaufenlassen und die Umgebungstemperatur, bei der die Maschine zu prüfen ist, sollten zwischen Hersteller und Betreiber vereinbart werden.

Die hauptsächlichen Bereiche, in denen thermisch bedingte Verformungen Probleme verursachen können, sind:

- Strukturverlagerung (einschl. Spindel), besonders in den Haupt- und Achsebenen;
- Achsantriebe und Positionierregelkreise; wichtig vor allem, wenn die Positionierung über eine Gewindespindel erfolgt.

3.23 Funktion und Belastung

Geometrische Prüfungen werden entweder im Stillstand oder im Leerlauf der Maschine durchgeführt. Wenn vom Hersteller festgelegt, z. B. bei Schwermaschinen, muß die Maschine mit einem oder mehreren Prüfwerkstück(en) belastet werden.

4 Bearbeitungsprüfungen

4.1 Prüfung

Bearbeitungsprüfungen werden mit genormten Prüfwerkstücken oder mit vom Anwender zur Verfügung gestellten Werkstücken durchgeführt. Die Durchführung dieser Bearbeitungsprüfungen darf keine anderen Arbeitsgänge erfordern als jene, für welche die Maschine gebaut wurde. Bearbeitungsprüfungen zur Feststellung der Arbeitsgenauigkeit einer Maschine müssen aus einem Schlichtarbeitsvorgang bestehen, der der Maschinenbauart entspricht.

Die Anzahl der Werkstücke oder im Einzelfall die Anzahl der Schnitte, die an einem vorgegebenen Werkstück durchzuführen sind, ist so zu bemessen, daß die Bestimmung der nominalen Arbeitsgenauigkeit möglich ist. Wenn nötig, soll der Verschleiß des verwendeten Werkzeuges berücksichtigt werden.

Die Art der zu bearbeitenden Werkstücke, ihre Maße und ihr Werkstoff sowie die zu erreichende Genauigkeit und die Bearbeitungsbedingungen sind zwischen Hersteller und Anwender zu vereinbaren, sofern nicht schon entsprechende ISO-Festlegungen vorliegen.

4.2 Prüfen von Werkstücken in Bearbeitungsprüfungen

Das Prüfen der Werkstücke nach der Bearbeitung muß mit Prüfmitteln erfolgen, die entsprechend der Art der Prüfung und dem Grad der Genauigkeit ausgewählt sind.

Für diese Prüfungen sind die in 2.321, insbesondere in 2.321.1 und 2.321.2, angegebenen Toleranzen anzuwenden.

In gewissen Fällen dürfen die Bearbeitungsprüfungen durch eine besondere Prüfung, die in der entsprechenden Norm festgelegt ist, ersetzt oder ergänzt werden, z. B. Verformung unter Last, kinematische Prüfung usw.

5 Geometrische Prüfungen

5.1 Allgemeines

Für jede geometrische Prüfung einer bestimmten Eigenschaft hinsichtlich Form, Lage oder Verschiebung von Linien oder Flächen der Maschine, wie

- Geradheit (siehe 5.2),
- Ebenheit (siehe 5.3),
- Parallelität, Abstandsgleichheit und Fluchtung (siehe 5.4),
- Rechtwinkligkeit (siehe 5.5),
- Drehung (siehe 5.6),

werden eine Definition¹⁾, die Prüfverfahren und die Art der Toleranzfestlegung angegeben.

Für jede Prüfung ist wenigstens ein Prüfverfahren angegeben; es werden nur das Prinzip und die zu verwendenden Prüfmittel aufgezeigt.

Werden andere Prüfverfahren angewendet, dann muß deren Genauigkeit mindestens derjenigen des in dieser Norm angegebenen Verfahrens entsprechen.

Obwohl aus Gründen der Vereinfachung nur die Prüfverfahren ausgewählt wurden, welche auf Basisprüfmitteln beruhen, wie Lineale, Winkel, Prüfdorne, Prüfcylinder, Neigungsmeßgeräte, Meßuhren, ist zu beachten, daß andere Verfahren, vor allem die, die optische Geräte verwenden, in der Praxis beim Bau von Werkzeugmaschinen und in den Prüfabteilungen allgemein angewendet werden. Das Prüfen von Maschinenteilen mit großen Abmessungen erfordert aus praktischen und zeitlichen Gründen oft die Verwendung besonderer Geräte.

5.2 Geradheit

Geometrische Prüfungen zur Geradheit sind :

- Geradheit einer Linie in einer Ebene oder im Raum, siehe 5.21
- Geradheit von Maschinenteilen, siehe 5.22
- Geradlinigkeit einer Bewegung, siehe 5.23

5.21 Geradheit einer Linie in einer Ebene oder im Raum

5.211 Definition

5.211.1 Geradheit einer Linie in einer Ebene (siehe Bild 9)

Eine Linie in einer Ebene wird über eine gegebene Länge als gerade angesehen, wenn alle ihre Punkte zwischen zwei Geraden liegen, welche parallel zur allgemeinen Richtung der Linie verlaufen und deren Abstand voneinander gleich der Toleranz ist.

Die allgemeine Richtung der Linie oder der Bezugsgeraden ist so festzulegen, daß die Abweichung von der Geradheit möglichst klein wird. Jedoch kann sie vereinbarungsgemäß auch wie folgt definiert werden:

- entweder durch zwei zweckmäßig gewählte Punkte nahe den beiden Enden der zu prüfenden Linie (in den meisten Fällen können die Bereiche dicht an den Enden vernachlässigt werden, da sie sehr oft kleine nicht signifikante örtliche Fehler aufweisen)
- oder durch eine aus aufgezeichneten Punkten errechnete Gerade (z. B. nach dem Verfahren der kleinsten Abstandsquadrate).



Bild 9

5.211.2 Geradheit einer Linie im Raum (siehe Bild 10)

Eine Linie im Raum wird über eine gegebene Länge als gerade angesehen, wenn jede ihrer Projektionen auf zwei gegebene, rechtwinklig aufeinanderstehende Ebenen parallel zur allgemeinen Richtung der Linie gerade ist (siehe 5.211.1).

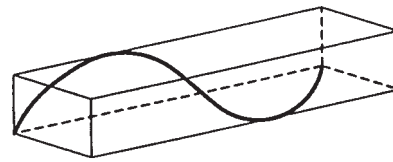


Bild 10

ANMERKUNG 3: Die Toleranz kann für jede Ebene verschieden sein

5.212 Prüfverfahren für die Geradheit

Für das Prüfen der Geradheit gibt es zwei Verfahren, die entweder auf einer

- Längenprüfung
 - oder auf einer
 - Winkelprüfung
- beruhen.

Das Bezugsnormal für Geradheit kann körperlich sein (Lineal, Spanndraht), oder es werden Bezugslinien gebildet, z. B. durch ein Neigungsmeßgerät, Lichtstrahl usw.

Es wird empfohlen

- a) für Längen bis 1600 mm:
ein Neigungsmeßgerät oder ein körperliches Bezugsnormal (z. B. ein Lineal),
- b) für Längen über 1600 mm:
Bezugslinien (z. B. durch ein Neigungsmeßgerät, durch optische Geräte oder eventuell durch einen Spanndraht gebildet)

zu verwenden.

5.212.1 Längenprüfverfahren

Ein Bezugsnormal (Geradheitsnormal) ist in geeigneter Lage so zu der zu prüfenden Linie anzuordnen, daß ein geeignetes Prüfmittel verwendet werden kann (siehe Bild 11).

Das Prüfmittel liefert Anzeigen der Abweichungen der geprüften Linie vom Geradheitsnormal; die Messungen können an verschiedenen Punkten, gleichmäßig oder zufällig über die gesamte Länge der zu prüfenden Linie verteilt, vorgenommen werden, wobei der gewählte Meßpunktabstand vom verwendeten Prüfmittel unabhängig ist.

Es wird empfohlen, das Geradheitsnormal so zu legen, daß die Meßergebnisse an beiden Enden annähernd gleich sind. Die Anzeigen können dann in einem geeigneten Maßstab direkt aufgezeichnet werden.

Durch Festlegen einer Bezugsgeraden werden die Ergebnisse aufbereitet (siehe 5.211.1). Die so korrigierten Abweichungen entsprechen den durch die Abschnitte Mm' dargestellten Werten.

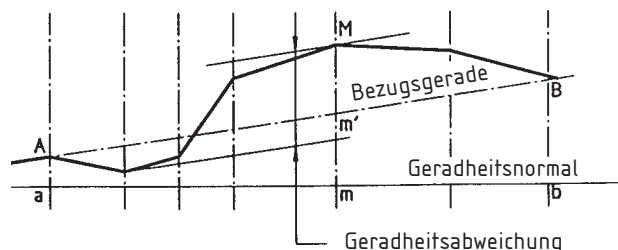


Bild 11

Die Geradheitsabweichung ist definiert als der Abstand zwischen zwei zur Bezugsgeraden parallelen Geraden, welche den größten und den kleinsten Extremwert der Abweichung berühren.

ANMERKUNG 4: Wenn die Neigung der Bezugsgeraden groß ist, sollte der vertikale Vergrößerungsfaktor beachtet werden.

¹⁾ Siehe auch 2.1

5.212.11 Prüfverfahren mit Lineal

5.212.111 Prüfen in vertikaler Ebene

Das Lineal sollte auf zwei Prüfklotze aufgelegt werden, die sich möglichst an den Punkten befinden, die der geringsten Durchbiegung infolge Eigengewicht entsprechen (zur bestmöglichen Auflage siehe A.2).

Die Prüfung wird durchgeführt, indem man eine Meßuhr, welche an einem Meßständer mit drei Auflagepunkten befestigt ist, am Lineal entlang bewegt. Einer der Auflagepunkte stützt sich auf einer Linie der zu messenden Fläche ab; der Meßbolzen der Meßuhr befindet sich auf der Linie senkrecht zu diesem Auflagepunkt und ist in Kontakt mit dem Lineal (siehe Bild 12).

Es ist dafür zu sorgen, daß das bewegte Element auf einer geraden Linie bewegt wird (Führungslinie).

Bekannte Abweichungen des Lineals können, wenn nötig, bei der Aufbereitung der Meßergebnisse berücksichtigt werden.

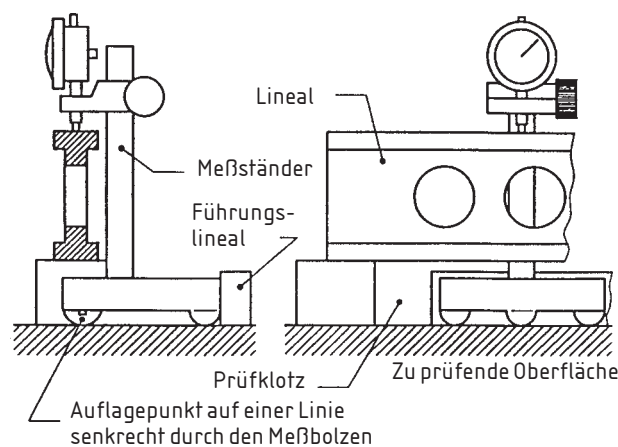


Bild 12

5.212.112 Prüfen in horizontaler Ebene

Hierfür empfiehlt sich ein Lineal mit parallelen Prüfflächen, das flach aufgelegt ist.

Die Prüffläche des Lineals wird mit einer Meßuhr angetastet, die sich auf der zu prüfenden Fläche bewegt (siehe Bild 13). Das Lineal wird so ausgerichtet, daß sich an beiden Enden der Linie gleiche Anzeigen ergeben. Abweichungen der Linie von der die beiden Endpunkte verbindenden Geraden können direkt abgelesen werden.

Es ist zu beachten, daß die Durchbiegung des Lineals auf den Auflagen infolge Eigengewicht die Geradheit seiner Prüffläche praktisch nicht beeinflusst.

Ein anderes Merkmal des Prüfverfahrens mit Lineal zur Geradheitsprüfung in einer horizontalen Ebene ist, daß es sowohl die Messung der Geradheitsabweichung der zu prüfenden Oberfläche als auch die Geradheitsabweichung der Prüffläche des Lineals ermöglicht.

Zu diesem Zweck wird das sogenannte Umschlagverfahren angewendet. Es besteht darin, daß man nach der ersten Messung das Lineal um 180° um seine Längsachse dreht und die gleiche Prüffläche mit der gleichen, ebenfalls herumgedrehten Meßuhr in umgekehrter Richtung abtastet, wobei der Meßständer immer auf der zu prüfenden Fläche aufliegt.

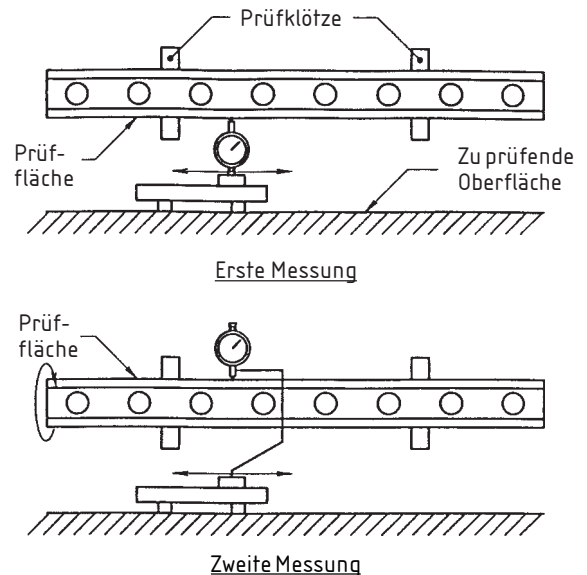


Bild 13

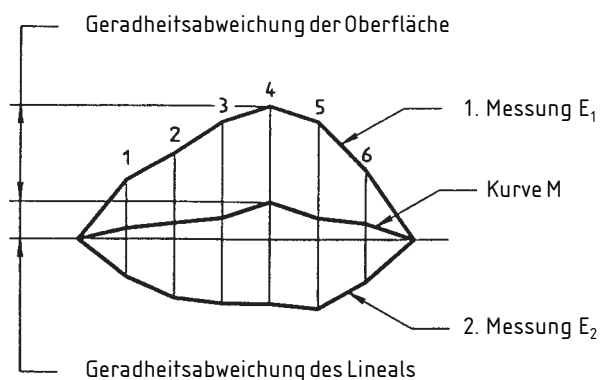


Bild 14

Die beiden so erhaltenen Abweichungskurven E_1 und E_2 , die in Bild 14 verglichen werden, sind einerseits die Summe der Abweichungen von Lineal und zu prüfender Fläche, andererseits die Differenz dieser Abweichungen.

Die Mittelwertkurve M ist die Abweichung der Prüffläche des Lineals. Die Abweichung ME_1 (oder ME_2 , die gleich groß ist) ist die Geradheitsabweichung der geprüften Fläche.

5.212.12 Verfahren mit Spanndraht und Mikroskop

Ein Stahldraht mit einem Durchmesser von etwa 0,1 mm wird annähernd parallel zu der zu prüfenden Linie gespannt (siehe Bild 15). Es ist zum Beispiel für eine Linie MN in einer horizontalen Ebene mit einem senkrecht angeordneten Mikroskop mit horizontaler Feinverstellung möglich, die Abweichung der Linie vom Spanndraht, der den Meßbezug in der horizontalen Meßebene XY darstellt, abzulesen (siehe auch A.9).

Der Spanndraht F und die zu prüfende Linie sollen in derselben Ebene liegen, die senkrecht zu der betrachteten Fläche ist, welche MN enthält.

Der Mikroskopständer stützt sich auf der Fläche, die die zu prüfende Linie enthält, auf zwei Punkten, von denen ein Punkt P in der Ebene liegt, die rechtwinklig zur betrachteten Fläche steht und die die optische Achse des Mikroskops enthält (siehe Bild 15).

Das Spanndrahtverfahren ist zu vermeiden, wenn der Durchhang f des Drahtes F berücksichtigt werden muß. Es ist jedoch mit einem nach Bild 15 horizontal angeordneten Mikroskop möglich, die Geradheit der Linie RS in einer vertikalen Ebene zu messen, wenn der Durchhang des Drahtes an

jedem Punkt bekannt ist; es ist aber äußerst schwierig, diesen Durchhang mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen.

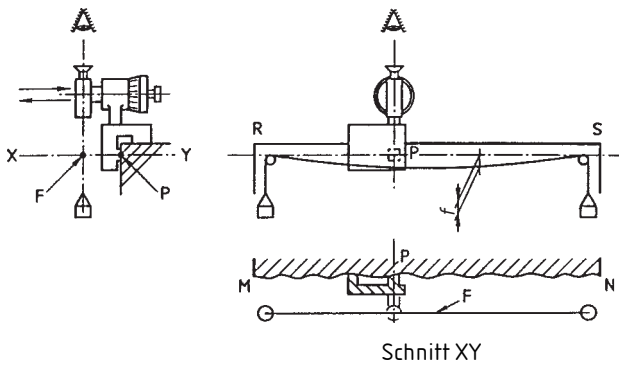


Bild 15

5.212.13 Verfahren mit Fluchtungsfernrohr

Beim Verfahren mit dem Fluchtungsfernrohr (siehe Bild 16) wird der Höhenunterschied a , welcher dem Abstand zwischen der optischen Achse des Fluchtungsfernrohrs und der Zielmarke entspricht, direkt am Fadenkreuz oder mittels Feinmeßokular abgelesen (siehe A.10).

Die optische Achse des Fluchtungsfernrohrs bildet den Meßbezug.

Durch Drehung des Fluchtungsfernrohrs und der Zielmarke kann man die Geradheit einer Linie in jeder Ebene prüfen.

Der Fuß der Zielmarke sollte auf der Fläche, die die zu prüfende Linie enthält, auf so vielen Punkten aufliegen, wie für die Stabilität und Führung erforderlich ist.

Einer der Auflagepunkte P der Zielmarke muß auf der zu prüfenden Linie liegen; für Punkt P sind die Bedingungen, die in 5.212.12 beschrieben sind, einzuhalten.

Die Zielmarke muß senkrecht zu der Fläche stehen, welche im Punkt P die zu prüfende Linie enthält.

Es ist sorgfältig darauf zu achten, daß die Verschiebung der Zielmarke möglichst geradlinig und parallel zur optischen Achse des Fernrohres erfolgt.

Bei längeren Strecken wird die Genauigkeit durch Schwankungen des Lichtbrechungsindex der Luft, die zur Ablenkung des Lichtstrahles beitragen, beeinträchtigt.

5.212.14 Verfahren mit Fluchtungs laser

(siehe Bild 17)

Als Meßbezug dient ein Laserstrahl. Der Strahl wird auf eine 4-Quadranten-Photodiode gerichtet, welche entlang der Achse des Laserstrahls bewegt wird. Horizontale und vertikale Abweichungen der Mitte des Detektors vom Strahl werden erfaßt und zum Aufzeichnungsgerät übertragen. Die Anweisungen des Herstellers des Prüfmittels sind zu beachten.

Die Bedingungen für den Auflagepunkt P des Detektors, die in 5.212.13 beschrieben sind, sind zu berücksichtigen.

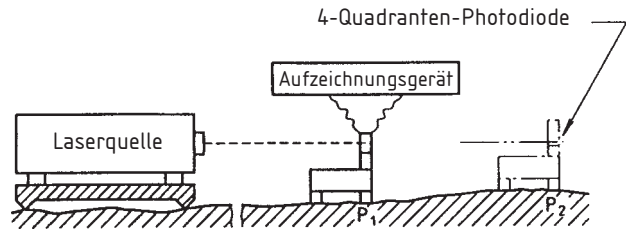


Bild 17

5.212.15 Verfahren mit Laser-Interferometer

(siehe Bild 18)

Der Doppelspiegel-Reflektor definiert den Meßbezug.

Ein Laser-Interferometer und besondere optische Komponenten werden benutzt, um Lageänderungen einer optischen Komponente in bezug auf die Symmetrieachse eines Doppelspiegel-Reflektors zu erfassen. Die optischen Komponenten und die genauen Prüfverfahren sind unterschiedlich, und es sollten die Anweisungen der Hersteller beachtet werden (siehe auch A.13).

Die Bedingungen für den Auflagepunkt P, die in 5.212.13 beschrieben sind, sind zu berücksichtigen.

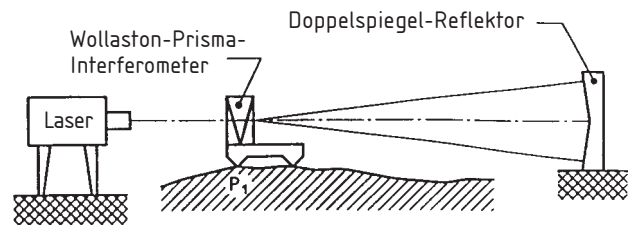


Bild 18

5.212.2 Winkelprüfverfahren

Bei diesem Verfahren berührt ein bewegtes Element die zu prüfende Linie in zwei Punkten P und Q mit dem Abstand d (siehe Bild 19). Das bewegte Element wird derart verschoben, daß bei zwei aufeinanderfolgenden Stellungen P_0Q_0 und P_1Q_1 jeweils P_1 mit Q_0 übereinstimmt. Mit einem Prüfmittel, das in einer Ebene senkrecht zu der die zu prüfende Linie enthaltenden Oberfläche aufgesetzt ist, werden die Winkel α_0 und α_1 des bewegten Elementes relativ zu einem Meßbezug gemessen.

ANMERKUNG 5: Der Abschnitt zwischen den Füßen des bewegten Elementes wird bei diesem Verfahren nicht geprüft. Die Prüfung kann aber mit einem Lineal von entsprechender Länge ausgeführt werden.

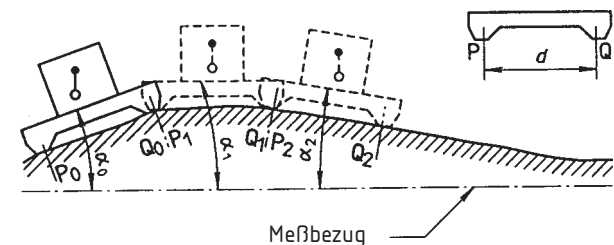


Bild 19

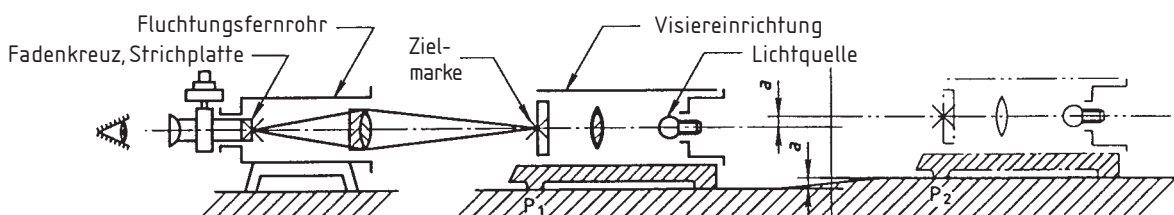


Bild 16

Die Ergebnisse werden wie folgt aufbereitet (siehe Bild 20), und die folgenden Parameter werden im geeigneten Maßstab graphisch dargestellt:

- als Abszissen die der zu prüfenden Linie entsprechenden Fußabstände d_i ,
- als Ordinaten die relativen Neigungsdifferenzen gegenüber dem Meßbezug. Die relative Neigungsdifferenz wird wie folgt berechnet:

$$Eh_{i+1} = d \tan \alpha_i$$

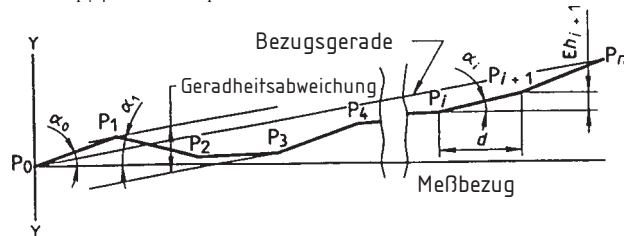


Bild 20

Die verschiedenen Punkte $P_0, P_1, P_2 \dots P_i \dots P_n$ der zu prüfenden Linie können mit gewünschter maßstäblicher Vergrößerung dargestellt werden.

Die Bezugsgerade wird als Linie durch die Endpunkte P_0 und P_n definiert (siehe 5.211.1).

Die Geradheitsabweichung wird definiert (siehe 5.212.1) als der Abstand in Y-Richtung zwischen zwei zur Bezugsgerechten parallelen Geraden, die die Kurve in ihrem höchsten bzw. tiefsten Punkt berühren.

ANMERKUNG 6: Die Auflagen P und Q des bewegten Elementes sollten genügend Grundfläche haben, um die Auswirkungen kleiner Oberflächenmängel möglichst gering zu halten. Es ist notwendig, die Auflagen sehr sorgfältig vorzubereiten und die Oberfläche zu säubern, um Abweichungen, die die Messung beeinflussen können, möglichst klein zu halten.

ANMERKUNG 7: Diese Verfahren können auch über große Strecken angewendet werden, aber in diesen Fällen ist der Wert d so zu wählen, daß eine große Zahl von Messungen und kumulierende Fehler vermieden werden.

5.212.21 Verfahren mit Neigungsmeßgerät

Das Prüfmittel besteht aus einem Neigungsmeßgerät (siehe A.6), welches in aufeinanderfolgenden Schritten auf der zu prüfenden Linie aufgesetzt wird, wie in 5.212.2 beschrieben. Meßbezug ist die horizontale Lage des Prüfmittels, das kleine Winkel in der senkrechten Ebene mißt (siehe Bild 19).

Wenn die zu prüfende Linie nicht annähernd horizontal ist, wird das Neigungsmeßgerät auf ein Winkelendmaß (winkliger Prüfklotz) aufgesetzt (siehe Bild 21).

Während die Linie AB geprüft wird, soll das Neigungsmeßgerät zusammen mit dem Winkelendmaß die gleiche Richtung beibehalten, z. B. mittels Führungslinial (siehe Bild 21).

ANMERKUNG 8: Das Neigungsmeßgerät erlaubt nur das Prüfen der Geradheit in der senkrechten Ebene; um die Geradheit in einer zweiten Ebene zu prüfen, muß ein anderes Prüfverfahren angewandt werden (z. B. Spanndraht und Mikroskop).

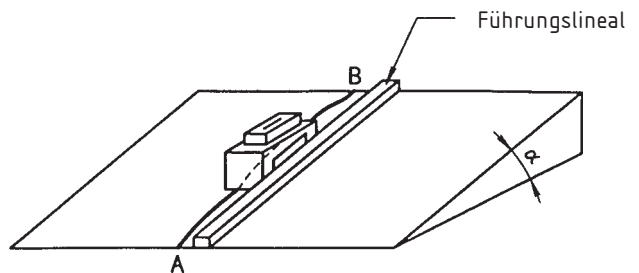


Bild 21

5.212.22 Verfahren mit Autokollimator

Bei diesem Verfahren, bei dem ein Autokollimator koaxial (siehe Bild 22) ausgerichtet wird, bewirkt jede Drehung des Spiegels M um eine horizontale Achse eine vertikale Verschiebung des Bildes des Fadenkreuzes in der Fokussierebene. Die Messung dieser Verschiebung mit dem Okularmikrometer ermöglicht die Bestimmung der Winkelabweichung des Spiegelträgers (siehe auch A.11).

Der Meßbezug wird aus der optischen Achse des Teleskops durch das Zentrum des Fadenkreuzes gebildet.

ANMERKUNG 9: Durch Drehung des Okularmikrometers um 90° kann auch der Verdrehwinkel des beweglichen Spiegels M um eine vertikale Achse gemessen werden. Es gibt Geräte, welche beide Winkel gleichzeitig messen können.

ANMERKUNG 10: Dieses Verfahren ist besonders für größere Längen geeignet, weil es im Gegensatz zum Fluchtungsfernrohr wegen des doppelten Weges des Lichtstrahles durch Schwankungen des Brechungsindex der Luft weniger beeinflusst wird.

ANMERKUNG 11: Bei diesem Verfahren sollte der Autokollimator vorzugsweise auf dem Bauteil aufgesetzt werden, auf dem die Linie geprüft werden soll.

5.212.23 Verfahren mit Laser-Interferometer (Winkel-messung) (siehe Bild 23)

Bei diesem Verfahren wird das Laser-Interferometer fest auf dem Bauteil montiert, das die zu prüfende Linie enthält.

Dieses Verfahren ist besonders für schwierige Messungen geeignet, da es weniger durch Schwankungen des Brechungsindex der Luft beeinflusst wird.

Der Meßbezug wird von zwei parallelen Strahlen F1 und F2 gebildet, die vom Interferometer ausgehen.

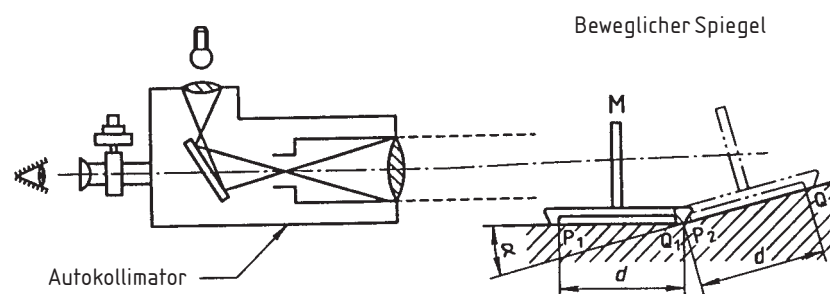


Bild 22

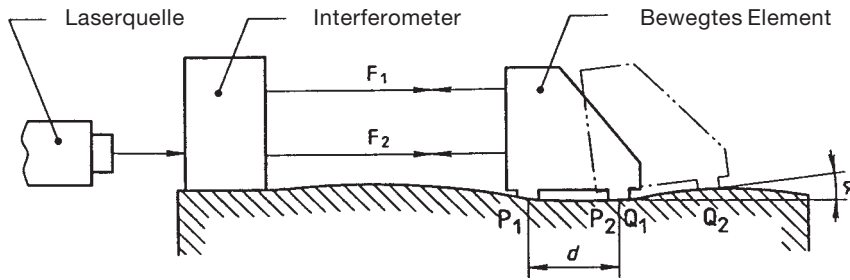


Bild 23

5.213 Toleranz

5.213.1 Definition

Die Toleranz t wird in der Meßebene durch zwei zur Bezugsgeraden parallele Geraden im Abstand t begrenzt (siehe Bild 24). Die größte angezeigte Abweichung ist MN.

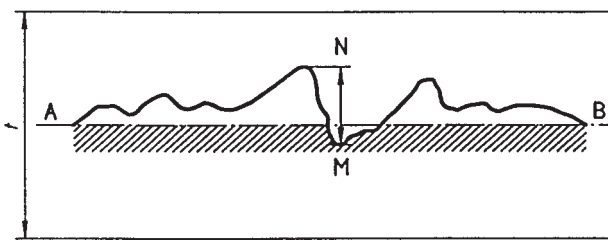


Bild 24

Es sollte der Meßbereich, d. h. die zu prüfende Länge, und möglichst auch die Lage der Toleranz in bezug auf die oben definierte Bezugsgerade (oder Bezugsebene) angegeben werden (nur konvex oder nur konkav).

Meist können die Teile nahe den beiden Enden, die üblicherweise unbedeutende örtliche Abweichungen aufweisen, vernachlässigt werden.

5.213.2 Bestimmung der Toleranz

Für eine beliebige Länge L , die kleiner oder gleich L_1 ist, wird eine kleinste Toleranz T_1 festgelegt (siehe Bild 25).

Eine größte Toleranz T_2 wird für eine beliebige Länge L , welche größer oder gleich L_2 ist, festgelegt.

Für jede Meßlänge zwischen L_1 und L_2 wird die Toleranz $T_{(L)}$ proportional berechnet:

$$L \leq L_1 \rightarrow T_{(L)} = T_1$$

$$L_1 < L < L_2 \rightarrow T_{(L)} = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{L_2 - L_1} (L - L_1)$$

$$L \geq L_2 \rightarrow T_{(L)} = T_2$$

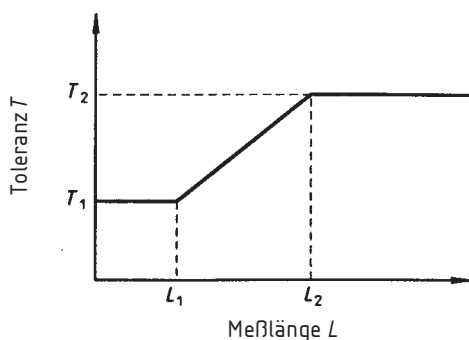


Bild 25

5.22 Geradheit von Bauteilen

5.22.1 Definition

Die Bedingungen für die Geradheit von Bauteilen sind die gleichen wie für die Geradheit von Linien (siehe 5.211).

5.22.2 Prüfverfahren

Die Prüfverfahren sind die gleichen wie für die Geradheit von Linien (siehe 5.212).

5.22.2.1 Referenznuten oder -flächen von Tischen

Bei einer direkten Prüfung der Abweichung muß das Prüfmittel die Abweichungen in der Normalebene der Linie durch die Punkte P oder Q aufnehmen, wobei h möglichst klein zu halten ist (siehe Bild 26).

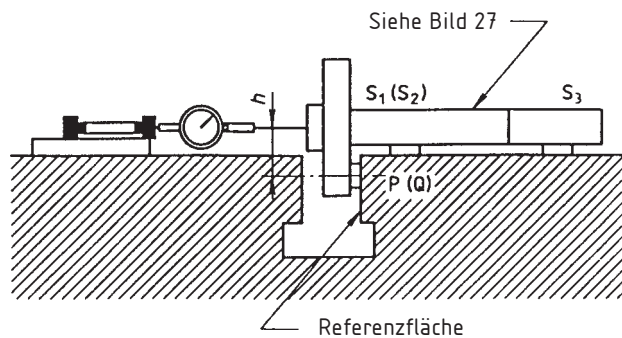


Bild 26

Beim Prüfen von Winkelabweichungen gibt der Abstand d den Meßpunktanstand an (siehe Bild 27).

Das bewegte Element muß auf dem Tisch flach aufliegen (vorzugsweise auf drei kleinen Einzelflächen S_1, S_2 und S_3), und es muß zwei funktionsgerechte Auflageflächen P und Q auf der zu prüfenden Linie aufweisen (siehe Bild 27).

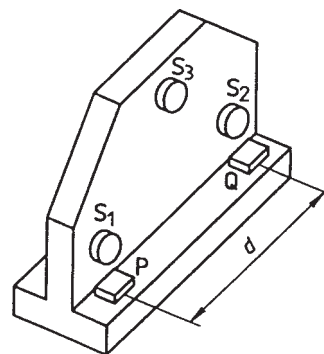


Bild 27

Geradheitsabweichungen von komplexeren Referenzflächen (siehe Bild 28) werden in den Funktionsebenen der Führungsbahnen (Linien HH und VV) gemessen und nicht rechtwinklig zur Referenzebene.

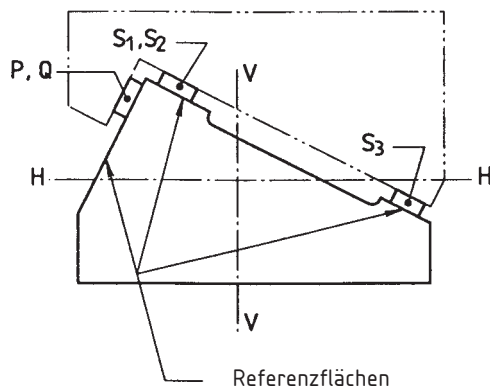


Bild 28

5.222.2 Führungsbahnen

Die Führung wird durch Führungsbahnen oder kompliziertere Einrichtungen sichergestellt, welche nicht demontiert werden können, ohne die Maschinengeometrie zu zerstören. Das Prüfen von Führungsbahnen beinhaltet das Messen der Geradheitsabweichung und sollte nur durchgeführt werden, wenn das Bauteil zugänglich ist. Kompliziertere Führungssysteme werden als Teil der Messung der geradlinigen Bewegung des beweglichen Maschinenteiles geprüft (siehe 5.23).

Die Abweichung von der Geradheit sollte immer in der Funktionsebene geprüft werden. Diese kann im allgemeinen als horizontal (siehe Bild 29, Linie AA) oder vertikal (siehe Bild 29, Linie BB) betrachtet werden, obwohl bei einigen Maschinenkonfigurationen Ausnahmen auftreten können (siehe Bild 36).

Es ist zu beachten, daß die Form einer Führungsbahn in Längsrichtung nicht notwendigerweise eine Gerade sein muß, da diese in der Funktionsebene eine besondere, vom Hersteller festgelegte Form aufweisen kann.

Die Führungsflächen können wie folgt zusammengesetzt sein:

- Eine Ebene oder mehrere kleine, aneinandergefügte Ebenenabschnitte;
- mehrere schmale ebene Abschnitte, zylindrische Führungsbahnen oder eine Kombination aus beiden.

5.222.21 V-Führungsflächen

Der sich bewegende Körper sollte mit vier Auflagepunkten auf der Fläche tragen. Aus Stabilitätsgründen muß er außerdem mit einem zusätzlichen Punkt auf einer anderen Fläche der Führungsbahn aufliegen.

Die Bilder 30 und 31 zeigen die Verwendung eines abgesetzten Zylinders, und Bild 29 zeigt ein umgekehrtes abgesetztes V.

ANMERKUNG 12: Der zusätzliche Auflagepunkt sollte keine Richtkraft auf das bewegliche Maschinenteil ausüben.

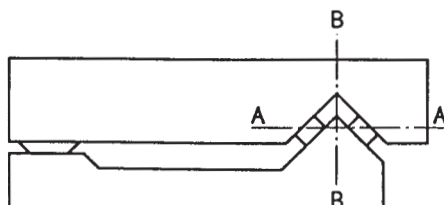


Bild 29

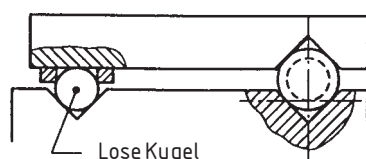


Bild 30

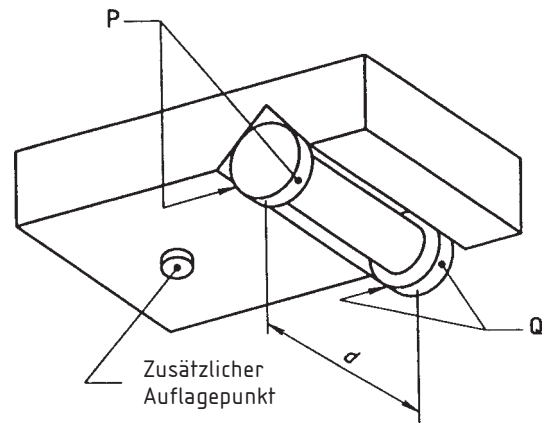


Bild 31

5.222.22 Zylindrische Führungsbahnen

Der sich bewegende Körper sollte mit vier Auflagestellen auf dem Zylinder aufliegen, die die Form eines umgekehrten V bilden (siehe Bilder 32 und 33).

Bezüglich des zusätzlichen Auflagepunktes ist die oben angegebene Bedingung einzuhalten.

5.222.23 Einfache vertikale Führungsflächen

Der sich bewegende Körper berührt mit zwei Punkten P und Q die zu prüfende Fläche, und drei weitere Auflagepunkte sind zur Führung des bewegten Körpers erforderlich. Diese sind so zu wählen, daß die Führung sichergestellt ist, ohne die Positionierung der beiden Punkte P und Q zu beeinflussen (siehe Bilder 34 und 35).

ANMERKUNG 13: Wenn die Abweichungen direkt gemessen werden sollen, sollte das Prüfmittel die Messungen auf der Ebene vornehmen, die senkrecht zur Oberfläche steht und durch einen der Auflagepunkte geht. Wenn Winkelabweichungen gemessen werden, gibt d den Meßabstand an.

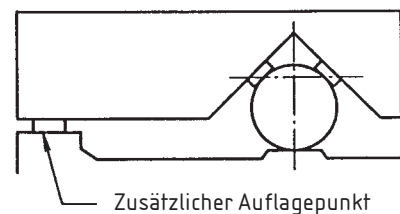


Bild 32

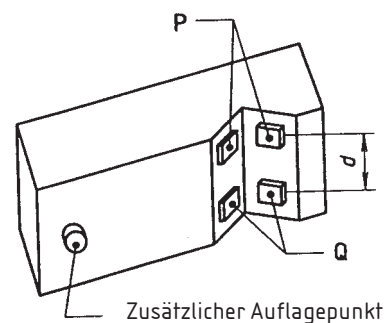


Bild 33

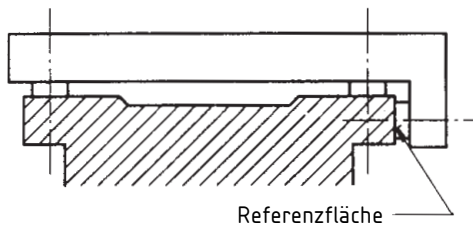


Bild 34

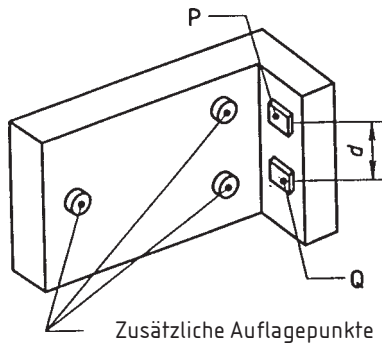


Bild 35

5.222.24 Schrägbettanordnung (siehe Bild 36)

In diesem Fall steht die Funktionsebene des bewegten Bauteiles in einem Winkel zur horizontalen Ebene.

Die Geradheitsabweichung wird in dieser Funktionsebene (Linie AB) und in einer senkrecht dazu liegenden Ebene gemessen.

5.222.3 Toleranzen

siehe 5.213

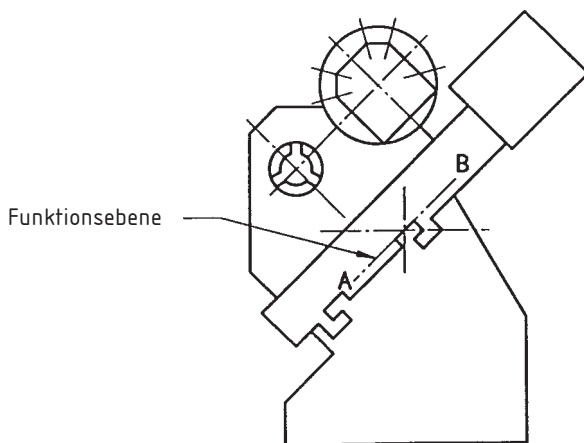


Bild 36

5.23 Geradlinigkeit einer Bewegung

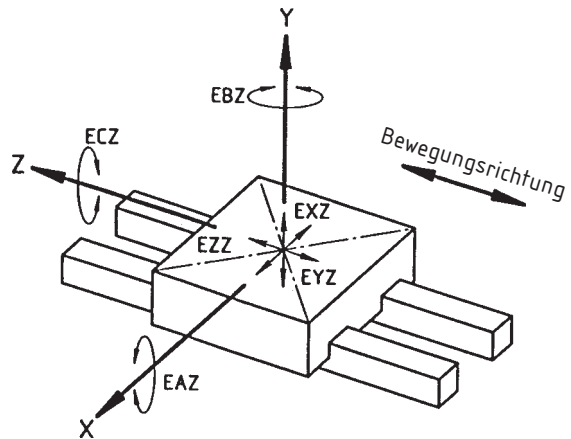
Prüfungen der Geradlinigkeit der Bewegung eines Werkzeugmaschinenbauteils sind nicht nur erforderlich, um sicherzustellen, daß die Maschine gerade oder flache Teile herstellt, sondern auch, weil die Positionsgenauigkeit eines Punktes auf dem Werkstück von der Geradlinigkeit der Bewegung abhängt.

5.231 Definitionen (siehe Bild 37)

Die Geradlinigkeit der Bewegung eines bewegten Bauteils beinhaltet sechs Elemente der Abweichung:

- a) eine Positionsabweichung in Bewegungsrichtung;

- b) zwei lineare Abweichungen der Bewegungsbahn eines Punktes des bewegten Bauteils;
- c) drei winklige Abweichungen eines bewegten Bauteiles.



Abweichungen bei Bewegung in Z-Richtung

EXZ: Lineare Abweichung	EAZ: Stampfen	} Winklige Abweichung
EYZ: Lineare Abweichung	EBZ: Gieren	
EZZ: Positionsabweichung	ECZ: Rollen	

Bild 37

5.231.1 Positionsabweichungen

Positionsabweichungen werden in 2.322.1 und in ISO 230-2 behandelt.

5.231.2 Lineare Abweichungen

Die lineare Abweichung der Geradlinigkeit der Bewegung ist definiert durch die Geradheit der Bewegungsbahn eines Funktionspunktes oder eines repräsentativen Punktes des bewegten Bauteils. Wenn das bewegte Bauteil das Werkzeug trägt, ist der Funktionspunkt die Lage des Werkzeuges. Wenn das bewegte Bauteil das Werkstück trägt, kann die Tischmitte als repräsentativer Punkt betrachtet werden.

5.231.3 Winklige Abweichungen

Die Bewegung eines Bauteils bringt stets winklige Abweichungen mit sich. Diese winkligen Abweichungen heißen Rollen, Stampfen und Gieren, wie in Bild 37 gezeigt.

Alle diese Abweichungen beeinflussen die Geradlinigkeit der Bewegung. Beim Prüfen der Geradlinigkeit der Bewegung der Bewegungsbahn eines repräsentativen Punktes beinhalten die Meßergebnisse alle Auswirkungen der winkligen Abweichungen; diese Auswirkungen der winkligen Abweichungen sind jedoch unterschiedlich, wenn die Lage eines Punktes des bewegten Bauteils von der des repräsentativen Punktes abweicht, und es muß eine getrennte Messung durchgeführt werden. Der Wert jeder winkligen Abweichung ist der maximale Winkel, um den sich das Bauteil während der gesamten Bewegung gedreht hat.

5.232 Prüfverfahren

5.232.1 Prüfverfahren für lineare Abweichungen

Zur Aufzeichnung der Bewegungsbahn eines Funktionspunktes eines bewegten Bauteils werden die folgenden Verfahren angewendet.

5.232.11 Prüfverfahren mit Lineal und Meßuhr (siehe 5.212.112)

Beim Prüfverfahren mit Lineal und Meßuhr ist es üblich, das Lineal am Bezugsbauteil (Arbeitstische von Fräsmaschinen,