

Praktikum Werkstofftechnologie

2. Semester Masterstudiengang



Versuch WT2

Koordinatenmessung an komplexen Werkstücken mit verschiedenen Mess-Systemen

Versuchsziel und Aufgabenstellung:

Es sollen die grundsätzlichen messtechnischen Möglichkeiten von Koordinatenmessgeräten vorgestellt werden. Dazu kommen sowohl optische als auch mechanische Tastsysteme zum Einsatz. Im praktischen Versuch sind Messungen an verschiedenen Messobjekten durchzuführen und Maß-, Form- und Lageabweichungen zu ermitteln.

1. Grundlagen

1.1. Aufbau und Einsatzgebiete von Koordinatenmessgeräten

Die Koordinatenmesstechnik basiert auf der Zerlegung realer Messobjekte in ideale geometrische Grundelemente (Standard-Formelemente).

Werkstücke lassen sich in der Regel aus wenigen Grundelementen zusammensetzen. Je nach Anzahl, Größe und Anordnung dieser Grundelemente ergeben sich vielfältige, teilweise sehr komplexe Werkstückformen.

Koordinatenmessgeräte erfassen die Oberfläche des Werkstücks punktweise in einem konstruktiv und gerätetechnisch vorgegebenen Koordinatensystem. Aus den gemessenen Koordinatenwerten werden Parameter berechnet, welche die Oberfläche des realen Werkstücks in einer idealisierten Form beschreiben. (Bild 1)

Anhand dieser Parameter kann geprüft werden, ob das gefertigte Werkstück hinsichtlich seiner geometrischen Gestalt den Vorgaben des Konstrukteurs entspricht.

Koordinatenmessgeräte sind universell einsetzbar. Das Sammeln von Punkten kann optisch oder auch taktil erfolgen und richtet sich im wesentlichen nach der Zugänglichkeit der Oberfläche.

Je nach Anforderung und Messaufgabe ist es oft ausreichend die Messaufgabe in einer 2D-Betrachtung zu lösen. Der Aufwand solcher Messungen ist in den meisten Fällen wesentlich geringer.

Die Beschreibung von Formelementen erfolgt bezüglich Größe und Lage immer in einem Koordinatensystem. Hierzu dienen Parameter wie z. B. X, Y, Z, phi, theta usw. (siehe 5.1/5.2)

Die meisten Koordinatenmessgeräte basieren auf dem kartesisch-rechtwinkligen Koordinatensystem.

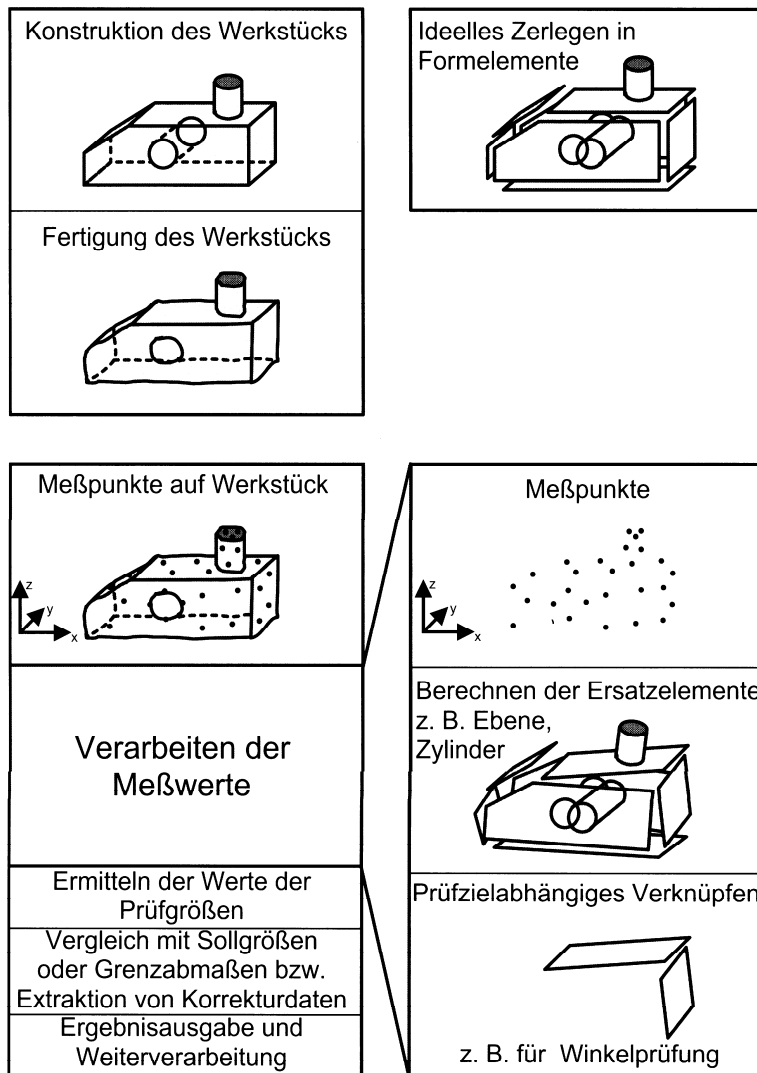


Bild 1: Berechnung von Ersatzelementen beim Prüfen prismatischer Werkstücke

Die wesentlichen Bau- und Funktionsgruppen eines 3D-Gerätes sind:

- Gerätebasis
- Werkstückaufnahme
- Antriebe / Führungen / Lagerungen
- Wegmess-Systeme , Tastsysteme bzw. Sensoren
- Steuerung /Auswerteeinheit
- Zusatzeinrichtungen wie Drehtisch, Tasterwechselsysteme

1.2. Sensoren

Im Praktikum wird ein sogenanntes CNC-Multisensor-Koordinatenmessgerät ScopeCheck 200 (Hersteller: Werth Messtechnik GmbH Gießen) genutzt.

Als physikalische Sensoren in der dimensionellen Längenmesstechnik werden die physikalischen Einrichtungen und die zugehörigen Teile der Software bezeichnet, die an einem Prüfling die gewünschten Maße und / oder Formelemente ermitteln können.

Üblicherweise dienen dazu optische und taktile Sensoren.

Als logischer Sensor wird der „Rechensensor“ bezeichnet, der aus gemessenen Elementen weitere erzeugt oder auch die Handeingabe, welche es ermöglicht, theoretische Elemente einzugeben.

Am Gerät stehen folgende Sensoren (im Sinne der „Erzeugung“ von Geometrie-Informationen) zur Verfügung:

- Bildverarbeitung
- Handeingabe
- Schaltender Taster
- Rechnen

1.2.1. Sensor „Bildverarbeitung“

Mit der Bildverarbeitung können über die Stufen Videobild / Grauwertbild / Binärbild Konturen erzeugt und messtechnisch relevante Formelemente an die Mess-Software geliefert werden.

Die Messung kann in folgender Weise erfolgen:

- Kann eine Kontur komplett auf dem Videobild dargestellt werden, so ist möglich, sie als Ganzes (ein „Schuss“) zu messen = **im Bild** messen
- Ist die Kontur größer, also nicht mehr komplett auf dem Videobild darstellbar, so muss sie durch Aufnahme von Einzelmessungen ermittelt werden (der Sensor ist hierzu entlang der Kontur zu verfahren) = **am Bild** messen

Im Gegensatz zu Sensoren, die nur einen Antastpunkt als Ergebnis liefern, z. B. der schaltende Taster, wertet der Bildverarbeiter innerhalb des Messfensters ein komplettes Konturstück aus.

Eine Messung wird nach erfolgter Sensorauswahl durch die Verknüpfung der Messelemente (Punkt, Gerade, Kreis, Ebene ...) mit Mess-Strategien (Geradenpunkt, Kreispunkt, Autofokus-Punkt ...) realisiert.

Der Bildverarbeitungssensor bietet weiterhin die Möglichkeit Punkte als Autofokuspunkt zu erfassen.

Der Sensorkopf verfährt dabei innerhalb eines voreingestellten Verfahrensweges in z-Richtung und berechnet schichtweise den Kontrast der gelieferten Videobilder. In der Z-Position, in der das kontrastreichste Bild entsteht, wird anschließend ein Punkt gemessen, dessen x/y-Koordinaten innerhalb des Messfensters liegen und dessen Z-Wert sich genau in der Scharfebene befindet.

Die Beleuchtung spielt bei der berührungslosen, optischen Messung von Teilen eine entscheidende Rolle.

Bei dem vorliegenden Messgerät sind die Beleuchtungsvarianten „Durchlicht“ und „Auflicht“ (Dunkelfeld / Hellfeld) mit rechnergesteuert variabler Intensität verfügbar.

Mit Filterfunktionen ergeben sich weitere Möglichkeiten bestimmte Konturen hervorzuheben, „Unebenheiten“ auszugleichen oder z. B. aus einer Szene Konturen, die keine erwünschten Kantenübergänge darstellen, zu eliminieren.

Folgende Varianten sind vorhanden:

- Ausreißerfilter
- Konturfilter
- Bildfilter
- Kontrastfilter

und können kombiniert werden.

1.2.2. Sensor Handeingabe

Mit dem Sensor „Handeingabe“ ist es möglich theoretische Elemente, z. B. nach Vorgaben aus der Zeichnung, mit ihren Kenngrößen einzugeben. (siehe 5.)

1.2.3. Sensor „Schaltender Taster“

Für Messaufgaben, die nicht mittels Bildverarbeitung gelöst werden können steht der mechanisch-taktile Sensor zur Verfügung, der nur einzelne Tasterpunkte liefert.

Das Messobjekt wird mit dem Joystick gegen die in Position gebrachte Tasterspitze gefahren. Ein akustisches Signal zeigt die Berührung der Tasterspitze mit dem Messobjekt an.



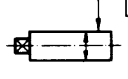


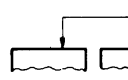




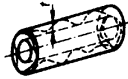
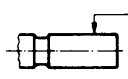



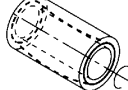
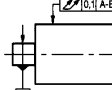

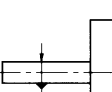
1.2.4. Sensor „Rechnen“

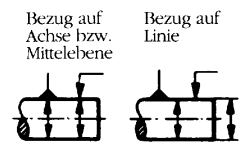
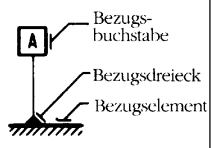
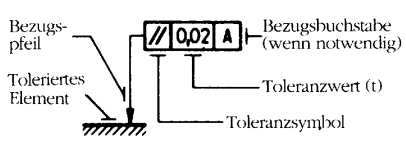
Dieser logische Sensor dient zur Berechnung von Elementen, Distanzen, Winkeln, Lagetoleranzen usw. aus bereits vorhandenen Elementen.

Die zu prüfenden Maße eines Werkstückes lassen sich in den meisten Fällen nicht allein durch die Kenngrößen von Formelementen beschreiben. Dies wird erst durch rechnerische Beziehungen zwischen zwei oder mehreren Elementen möglich. Die Distanz und der Winkel sind die beiden wichtigsten Größen, die zwischen zwei Formelementen eine solche Beziehung beschreiben.

Nicht direkt messbare Elemente, wie z. B. der Symmetriepunkt, die Symmetriegerade u. ä. Elemente, dienen oft als Ausgangspunkt für eine Bemaßung. In diesem Fall werden ebenfalls aus bereits gemessenen oder auch gerechneten Elementen entsprechend einer Verknüpfungstabelle (Anlage 5.3) Verknüpfungen durchgeführt, die als Ergebnis das gewünschte Rechenelement liefern.

1.3. Form- und Lagetoleranzen nach DIN ISO 1101

Toleranz-Symbol und tolerierte Eigenschaft		Anwendungsbeispiel		
		Toleranz-Zone	Zeichnungsangabe	Erklärung
Form	 Geradheit einer Linie			Jede Mantellinie muß zwischen zwei parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,03$ mm liegen.
	 Ebenheit einer Fläche			Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei parallelen Ebenen vom Abstand $t=0,05$ mm liegen.
	 Rundheit einer Kreislinie			Die tolerierte Umfangslinie jedes achsenkrechten Querschnittes muß zwischen zwei konzentrischen Kreisen vom radialen Abstand $t = 0,02$ mm liegen.
	 Zylinderform einer Zylindermantelfläche			Die tolerierte Zylindermantelfläche muß zwischen zwei koaxialen Zylindern liegen, die einen radialen Abstand von $t = 0,05$ mm haben.
	 Flächenform einer beliebigen Fläche	 <p>Kugel $\varnothing t$</p>		Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei Hüllflächen liegen, deren Abstand durch Kugeln vom Durchmesser $t = 0,03$ mm begrenzt wird. Die Mittelpunkte dieser Kugeln liegen auf der geometrisch idealen Fläche.
Lage	Gesamtrundlauf einer Zylindermantelfläche zu einer (Bezugs-) Drehachse			Bei mehrmaliger Drehung um die Bezugsachse A - B und bei axialer Verschiebung zwischen Werkstück und Meßgerät müssen alle Punkte der Oberfläche des tolerierten Elementes innerhalb der Gesamt-Rundlauf-toleranz von $t = 0,1$ mm liegen.
	Gesamtplanlauf einer Fläche zu einer (Bezugs-) Drehachse			Bei mehrmaliger Drehung um die Bezugsachse A und bei radialer Verschiebung zwischen Werkstück und Meßgerät müssen alle Punkte der Oberfläche des tolerierten Elementes innerhalb der Gesamt-Planlauf-toleranz von $t = 0,1$ mm liegen.



Toleranz-Symbol und tolerierte Eigenschaft		Anwendungsbeispiel		
		Toleranz-Zone	Zeichnungsangabe	Erklärung
Richtung	Parallelität einer Linie zu einer Bezugslinie (-Achse)			Jede Mantellinie der oberen Bohrung muß innerhalb eines zur Bezugssachse A parallel liegenden Zylinders vom Durchmesser $t = 0,1$ mm liegen.
	einer Fläche zu einer Bezugsfläche			Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei zur Bezugsfläche parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,01$ mm liegen.
Lage	Rechtwinkligkeit einer Fläche zu einer Bezugslinie (Drehachse)			Die tolerierte Planfläche des Werkstückes muß zwischen zwei parallelen und zur Bezugssachse A senkrechten Ebenen vom Abstand $t = 0,1$ mm liegen.
	Neigung (Winkligkeit) einer Linie (Achse) zu einer Bezugsfläche			Jede Mantellinie der Bohrung muß zwischen zwei zur Bezugsfläche A im geometrisch idealen Winkel von 60° geneigten und zueinander parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,1$ mm liegen.
	Position von Linien (Achsen) unter einander oder zu einem oder mehreren Bezugselementen.			Die tolerierte Achse des Loches muß innerhalb eines Zylinders vom Durchmesser $t = 0,05$ mm liegen, dessen Achse sich am geometrisch idealen Ort (mit eingerahmten Maßen) befindet.
	Koaxialität (Konzentrität) einer Achse zu einer Bezugssachse			Die tolerierte Achse des rechten Zylinders der Welle muß innerhalb eines zur Bezugssachse A koaxialen Zylinders vom Durchmesser $t = 0,03$ mm liegen.
	Symmetrie einer Mittelebene zu einer Bezugsmittlebene			Die tolerierte Mittelebene der Nut zwischen zwei parallelen Ebenen liegen, die einen Abstand $t = 0,08$ mm haben und symmetrisch zur Bezugsmittlebene A der beiden äußeren Flächen angeordnet sind.
	Lauf	Rundlauf einer Zylindermantelfläche zu einer (Bezugs-) Drehachse		
Planlauf einer Fläche zu einer (Bezugs-) Drehachse				Bei Drehung um die Bezugssachse A darf die Planlaufabweichung den Wert $t = 0,02$ nicht überschreiten, gemessen parallel und in einem beliebigen Abstand zur Bezugssachse A.

2. Versuchsdurchführung

2.1. Versuchseinrichtung

Messgerät: Multisensor-Koordinatenmessgerät Werth Scope-Check 200 mit verschiedenen Sensoren

verschiedene Messobjekte

2.2. Versuchsablauf

- Erstellung eines Messablaufplanes für ein vorgegebenes Werkstück
- Durchführung von manuellen Einzelmessungen
- Erarbeitung eines Messprogrammes im Lernmodus
- Test /automatische Messung / Wiederholungsmessungen

3. Auswertung

- Vergleich der Messwerte mit Zeichnungsangaben
- Vergleich mehrerer Messdurchläufe
- Diskussion der möglichen Ursachen von Messabweichungen / Streuungen

4. Weiterführende Literatur

[1] A. Weckenmann; B. Gawande: Koordinatenmesstechnik. München,Wien: Hanser 1999.



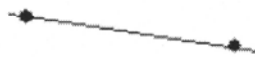







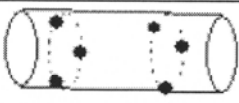
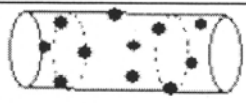
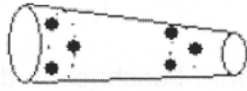
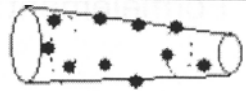
[2] DIN ISO 1101: Technische Zeichnungen; Form- und Lagetolerierung. Berlin: Beuth, März 1985.

[3] DIN 1319-1: Grundlagen der Messtechnik – Teil 1: Grundbegriffe. Berlin: Beuth, Januar 1995.

[4] Bedienungsanleitung: „Werth Scope-Check 200“. Werth Messtechnik GmbH Gießen.

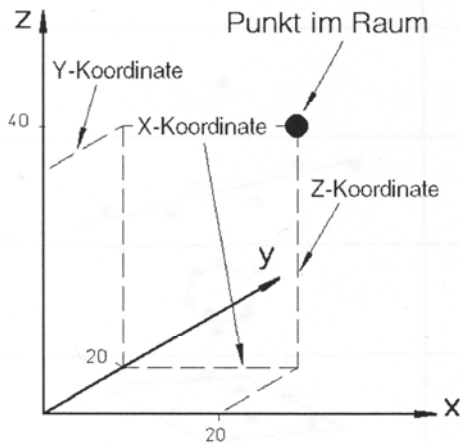
5. Anhang

5.1. Formelemente/ Ausgleichselemente

Formelement	Mindestpunktanzahl	Formelement bestimmt nach Mindestpunktzahl	Ausgleichselement
Punkt	1		
Gerade	2		
Kreis	3		
Ebene	3		
Kugel	4		
Zylinder	6		
Kegel	6		

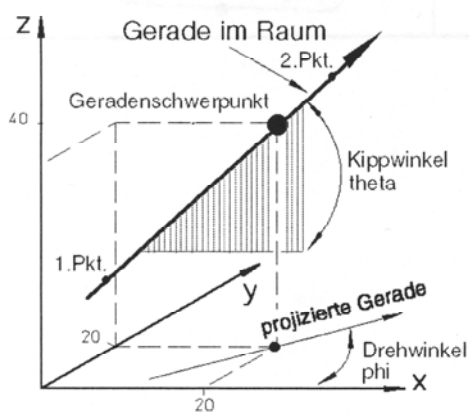
5.2. Formelemente und ihre Kenngrößen

5.2.1. Formelement „Punkt“



Seine Kenngrößen sind die X-, Y- und Z-Koordinaten.

5.2.2. Formelement „Gerade“



Sie wird beschrieben durch einen Schwerpunkt und ihre Lage im Raum. Die Gerade muss aus mindestens 2 Punkten bestimmt werden. Bei mehr als zwei Punkten wird eine Ausgleichsgerade errechnet.

Folgende Kenngrößen werden bestimmt:

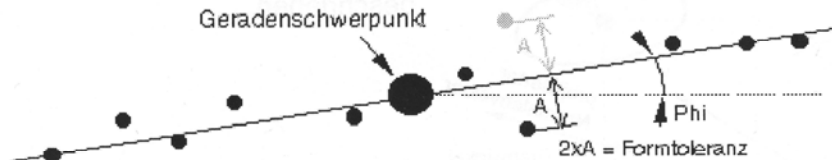
„X, Y und Z“ Koordinaten des Geradenschwerpunktes

„phi“ Drehwinkel. Dieser Winkel mit technisch positivem Drehsinn ergibt sich aus der positiven X-Achse und der in die X/Y-Ebene projizierten Raumgeraden.

„theta“ Kippwinkel. Dieser Winkel beschreibt die Lage der Raumgeraden bezogen auf die X/Y-Ebene.

„FT“ Formtoleranz

Die Formtoleranz wird nur ausgegeben, wenn eine Gerade aus mehr als zwei Punkten gemessen/gerechnet oder **im Bild** gemessen wird und ist der doppelte Abstand des am weitesten von dem berechneten Ausgleichselement entfernten Messpunktes.



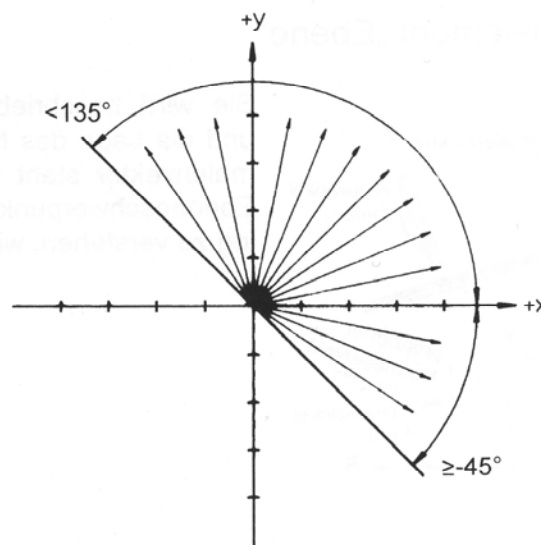
Achtung: Geraden haben immer eine Richtung, die z. B. bei Schnittwinkelberechnung und Achsausrichtung wichtig ist. Die Richtung wird nach folgenden 2 Regeln bestimmt:

2-Punkt-Regel:

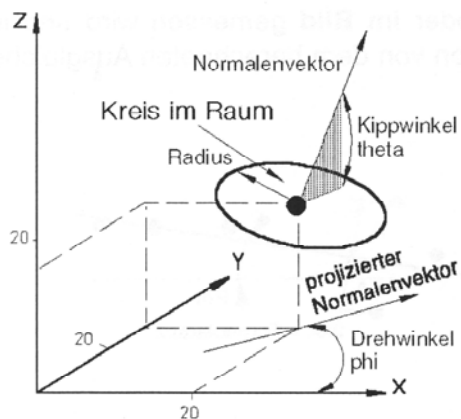
Wird eine Gerade aus nur 2 Punkten angetastet, so ist ihre Richtung immer vom 1. zum 2. Messpunkt festgelegt, d.h. der Anwender bestimmt die Richtung durch die Antastung. Der Drehwinkel ϕ kann in diesem Fall Werte zwischen $\pm 180^\circ$ annehmen.

Fächer-Regel:

Bei allen Geraden, die nicht aus 2 Punkten gemessen werden (dazu gehört auch eine **im Bild** gemessene Gerade), hat die Reihenfolge der Punktantastung keinen Einfluss auf ihre Richtung. Ihre Richtung wird vom Messprogramm festgelegt. Ihr Drehwinkel ϕ kann in diesem Fall Werte - bezogen auf ihre Lage im Tischkoordinatensystem - annehmen zwischen $\geq -45^\circ$ und $< 135^\circ$. Sie liegen damit innerhalb eines „Fächers“, wie unten skizziert.



5.2.3. Formelement „Kreis“



Er wird beschrieben durch Mittelpunkt, Radius / Durchmesser und Lage des Normalenvektors im Raum. Der Normalenvektor steht immer senkrecht auf der „Kreis-scheibe“ im Mittelpunkt des Kreises.

„X, Y und Z“ Koordinaten des Kreismittelpunktes.

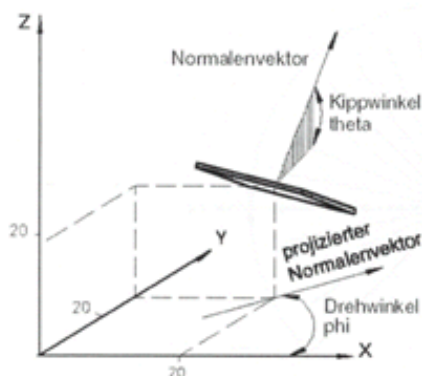
„phi“ Drehwinkel. Dieser Winkel ergibt sich aus der positiven X-Achse und dem in die X/Y-Ebene projizierten Normalenvektors.

„theta“ Kippwinkel. Dieser Winkel beschreibt die Lage des Normalenvektors bezogen auf die X/Y-Ebene.

„D“, „R“ Wahlweise Durchmesser oder Radius des Kreises. Die Ausgabe ist vor-einstellbar.

„FT“ Eine Formtoleranz wird nur dann ausgegeben, wenn ein Kreis aus mehr als 3 Punkten gemessen/gerechnet oder **im Bild** gemessen wird.

5.2.4. Formelement „Ebene“



Sie wird beschrieben durch den Ebenenschwerpunkt und die Lage des Normalenvektors im Raum. Der Normalenvektor steht immer senkrecht auf der Ebene im Ebenenschwerpunkt.

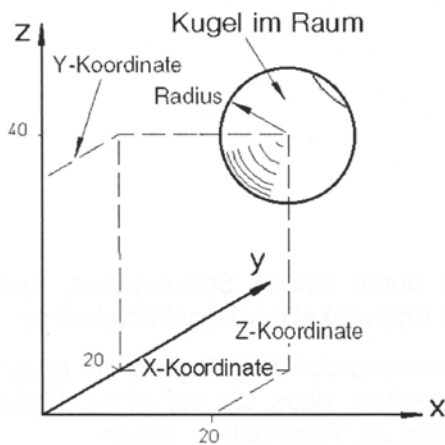
„X, Y und Z“ Koordinaten des Ebenenschwerpunktes.

„phi“ Drehwinkel. Dieser ergibt sich aus der positiven X-Achse und dem in die X/Y-Ebene projizierten Normalenvektors.

„theta“ Kippwinkel. Dieser Winkel beschreibt die Lage des Normalenvektors bezogen auf die X/Y-Ebene.

„FT“ Eine Formtoleranz wird nur dann ausgegeben, wenn eine Ebene aus mehr als 3 Punkten gemessen/gerechnet wird.

5.2.5. Formelement „Kugel“



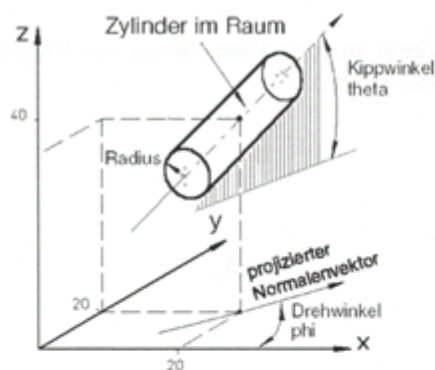
Sie wird beschrieben durch ihre Mittelpunktkoordinaten und den Radius/Durchmesser.

„X, Y und Z“ Koordinaten des Kugelmittelpunktes.

„D“, „R“ Wahlweise Durchmesser oder Radius der Kugel. Die Ausgabe ist voreinstellbar.

„FT“ Eine Formtoleranz wird nur dann ausgegeben, wenn eine Kugel aus mehr als 4 Punkten gemessen wird.

5.2.6. Formelement „Zylinder“



Er wird beschrieben durch seinen Schwerpunkt, Radius/Durchmesser, Dreh- und Kippwinkel der Zylindermittelachse.

Achtung: Bei der Messung des Zylinders sind die ersten drei Punkte so zu messen, dass sie auf einer „Kreisbahn“, möglichst lotrecht zur Zylinderachse, liegen.

„X, Y und Z“ Koordinaten des Zylinderschwerpunktes

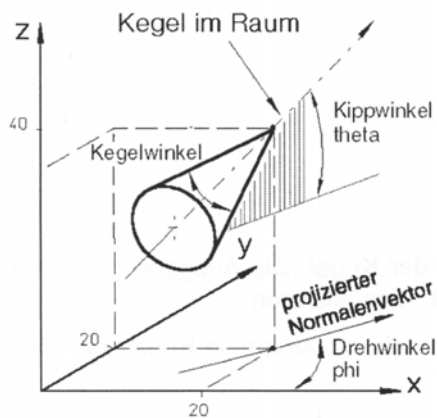
„phi“ Drehwinkel. Dieser ergibt sich aus der positiven X-Achse und der in die X/Y-Ebene projizierten Zylindermittelachse.

„theta“ Kippwinkel. Dieser Winkel beschreibt die Lage der Zylindermittelachse bezogen auf die X/Y-Ebene.

„D“, „R“ Wahlweise Durchmesser oder Radius des Zylinders. Die Ausgabe ist voreinstellbar.

„FT“ Eine Formtoleranz wird nur dann ausgegeben, wenn ein Zylinder aus mehr als 6 Punkten gemessen wird.

5.2.7. Formelement „Kegel“



Er wird beschrieben durch seinen Spitzenpunkt, Spitzenwinkel, Dreh- und Kippwinkel der Kegelmittelachse.

Achtung: Bei der Messung des Kegels sind die ersten drei Punkte so zu messen, dass sie auf einer „Kreisbahn“, möglichst lotrecht zur Kegelmittelachse, liegen.

„X, Y und Z“ Koordinaten des Spitzenpunktes

„phi“ Drehwinkel. Dieser ergibt sich aus der positiven X-Achse und der in die X/Y-Ebene projizierten Kegelmittelachse.

„theta“ Kippwinkel. Dieser Winkel beschreibt die Lage der Kegelmittelachse bezogen auf die X/Y-Ebene.

„Wkl“ Kegelwinkel

“FT” Eine Formtoleranz wird nur dann ausgegeben, wenn ein Kegel aus mehr als 6 Punkten gemessen wird.

5.3. Verknüpfungstabelle

Rechen- selektiertes Element	Punkt	Gerade	Kreis	Winkel	Distanz
Punkt P_i (Kreis-Punkt) Punkt P_m (Kreis-Punkt) Punkt P_n (Kreis-Punkt)	Symmetriepunkt	Gerade d. 2 Pkt.	Kreis d. 3 Pkt.	Winkel 2Pkt-Ger. u. Koord.achse	Distanz zw. 2 Pkt.
Punkt P Gerade	Lotpunkt	Lotgerade	Tangentialkreis		Distanz: Pkt-Ger
Punkt P Kreis K	Lotpunkt	Tangenten	Tangentialkreis	Tangentenwinkel	Dist: Pkt-Krsr. Dsl (2.Erg) Dsl (1.Erg)
Gerade G1 Gerade G2	Schnittpunkt	Symmetriegerade		Schnittwinkel	mittlere Distanz zw. Geraden G1 G2 Dsl
Gerade G Kreis K	Schnittpunkte			Schnittwinkel	Dist: Ger.-Kreis G K 1.Erg D 2.Erg
Kreis K1 Kreis K2	Schnittpunkte	Ger. d. Schn.pkte		Schnittwinkel	Dist: Krs-Krs K1 K2 D 2.Erg 1.Erg D

* Kreis als R/D