

Freiheitsgrade von Bezugselementen

Das wesentliche Problem bei der Eintragung von Form- und Lagetoleranzen ist immer wieder das eindeutige Bezugssystem, das darüber hinaus auch noch funktions-, fertigungs- und prüfgerecht sein soll. Die Schwierigkeiten sind dabei doppelter Art: Einmal muss der Konstrukteur seine Anforderungen mit den zur Verfügung stehenden Mitteln (Symbole und Regeln zur Zeichnungseintragung) sozusagen „verschlüsseln“, zum anderen müssen die Mitarbeiter der Fertigung und die Qualitätsprüfer diese Codierung wieder entschlüsseln und in konkrete Handlungen umsetzen. Dabei kann es zu Mißverständnissen und Fehlinterpretationen kommen, die sich zum Teil auf unterschiedliche Ausbildungsniveaus der einzelnen Mitarbeiter zurückführen lassen.

Eine wesentliche Rolle spielt erfahrungsgemäß das Erkennen der jeweiligen Anzahl von Freiheitsgraden für die einzelnen Elemente innerhalb des Bezugssystems, die Bezüge. Im folgenden soll die Problematik anhand eines Beispiels erläutert werden.

Das Werkstück im Bild 1 weist eine Längsbohrung auf. Die Vorstellung des Konstrukteurs ist, das Bezugssystem mit seiner Hauptrichtung nach der unteren Auflagefläche und die Nebenrichtung nach der vorderen Anlagefläche auszurichten.

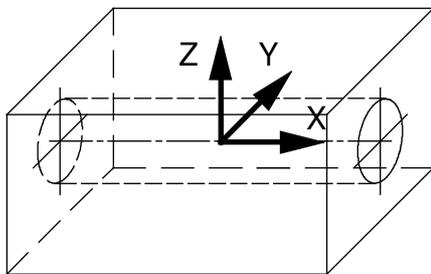


Bild 1: Werkstück mit Längsbohrung; Ursprung der Z-Koordinate in der Mitte der Bohrung

Der Ursprung des Bezugssystems soll unabhängig von diesen Flächen im Mittelpunkt der Bohrung liegen, in deren Längsrichtung in der Mitte zwischen den beiden Seitenflächen links und rechts. Dieser Punkt ist durch das Koordinatenkreuz im Bild 1 angedeutet.

Insgesamt wird das Bezugssystem also aus vier Elementen gebildet: Die Auflagefläche unten, die Anlagefläche vorn, die Symmetrieebene zwischen der linken und der rechten Seitenfläche sowie die Bohrung. Es handelt sich offensichtlich nicht um ein klassisches Drei-Ebenen-Bezugssystem, bei dem die einzelnen Elemente drei, zwei bzw. einen Freiheitsgrad festlegen.

Vielmehr sind den Bezugselementen zunächst die zutreffenden Freiheitsgrade zuzuordnen:

- Auflagefläche unten mit zwei Freiheitsgraden für die Drehung um die X- und die Y-Achse,
- Bohrung mit zwei Freiheitsgraden für die Verschiebung entlang der Y- und der Z-Achse,
- Anlagefläche vorn mit einem Freiheitsgrad für die Drehung um die Z-Achse,
- Symmetrieebene mit einem Freiheitsgrad für die Verschiebung entlang der X-Achse.

In der Summe ergeben sich sechs Freiheitsgrade, jeweils drei für die Drehung und drei für die Verschiebung des Bezugssystems.

Mit der getroffenen Aufteilung wird klar, dass es sich hier nicht um das klassische Drei-Ebenen-Bezugssystem handelt. Vier Formelemente können eben nicht einfach in der Reihenfolge von drei, zwei und einem Freiheitsgrad als primäres, sekundäres und tertiäres Bezugselement geordnet werden.

Hier liegen vielmehr je zwei Elemente mit zwei und zwei mit einem Freiheitsgrad vor. Geht man davon aus, dass das primäre Element meist mit dem Buchstaben A, das sekundäre mit dem Buchstaben B usw. bezeichnet werden, ergeben sich z.B. die im Bild 2 dargestellten Bezeichnungen.

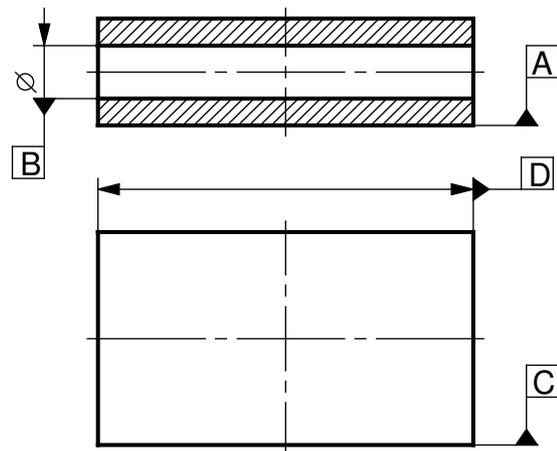


Bild 2: Bezeichnung der Bezugselemente für das Werkstück aus Bild 1

Die Buchstaben A und B sowie C und D lassen sich untereinander vertauschen, da die Anzahl der Freiheitsgrade jeweils gleich ist. Die hier gewählte Reihenfolge entspricht jedoch dem Vorgehen bei der Messung, wo das Werkstück in der Regel zunächst räumlich ausgerichtet und dann erst die Nullpunkte festgelegt werden. Sie wird deshalb empfohlen.

Freiheitsgrade von Bezugselementen

Eine Lagetoleranz, z.B. eine Positionstoleranz, ist an dem Werkstück dann mit dem vollständigen Bezugssystem aus vier Bezugselementen einzutragen. Das Bild 3 zeigt ein Beispiel.



Bild 3: Positionstoleranz mit Bezugssystem

Die Rückübersetzung der Zeichnungseintragung ist allerdings mehrdeutig. Neben der bereits beschriebenen Variante mit 2-2-1-1 Freiheitsgraden gibt es noch eine zweite mit 3-1-1-1 Freiheitsgraden. Im einzelnen können den Bezugselementen folgende Freiheitsgrade zugeordnet werden:

- Auflagefläche unten mit drei Freiheitsgraden für die Drehung um die X- und die Y-Achse sowie die Verschiebung entlang der Z-Achse,
- Bohrung mit einem Freiheitsgrad für die Verschiebung entlang der Y-Achse,
- Anlagefläche vorn mit einem Freiheitsgrad für die Drehung um die Z-Achse,
- Symmetrieebene mit einem Freiheitsgrad für die Verschiebung entlang der X-Achse.

In diesem Fall liegt der Nullpunkt in Z-Richtung nicht in der Mitte der Bohrung wie im Bild 1, sondern in der Auflagefläche, siehe Bild 4.

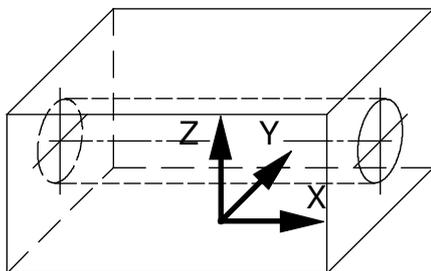


Bild 4: Werkstück mit Längsbohrung; Ursprung der Z-Koordinate in der Auflagefläche

Der Unterschied ist anhand der Eintragungen in den Bildern 2 und 3 nicht erkennbar. Um Verwechslungen, Fehlinterpretationen und falschen Messergebnissen vorzubeugen, ist in der Vorderansicht von Bild 2 zusätzlich der Nullpunkt der Z-Koordinate zu kennzeichnen.

Ein solcher Fall ist aber in DIN ISO 5459 (Bezüge und Bezugssysteme) nicht vorgesehen. Hier bietet sich eine Anleihe bei DIN ISO 1660 (Eintragung von Maßen und Toleranzen von Profilen) an, wonach Maße von einem Bezugspunkt aus eingetragen werden können. In den Bildern 5 und 6 sind die beiden Fälle gegenübergestellt.

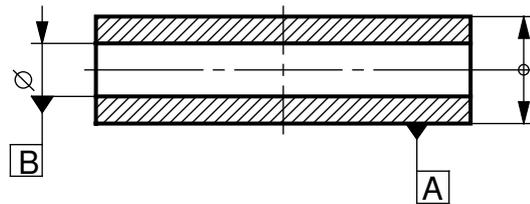


Bild 5: Vorderansicht des Werkstücks aus Bild 1 mit Kennzeichnung des Ursprungs der Z-Koordinate in der Bohrung

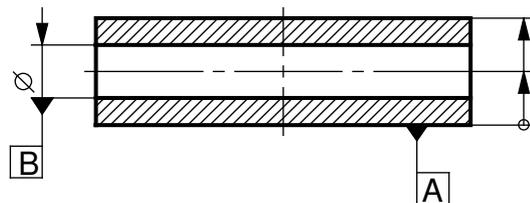


Bild 6: Vorderansicht des Werkstücks aus Bild 4 mit Kennzeichnung des Ursprungs der Z-Koordinate auf der Auflagefläche

Der mit dem kleinen Kreis gekennzeichnete Bezugspunkt repräsentiert den Ursprung des Bezugssystems. Im Bild 5 liegt er in der Mitte der Bohrung, im Bild 6 in der Auflagefläche. Bei der Messung wird der Ursprung der Z-Richtung des Koordinatensystems jeweils in diesen Punkt gelegt. Die Zeichnungseintragungen sind damit vollständig und eindeutig.

Zu dem Thema werden folgende Schulungen angeboten:

- Funktions-, fertigungs- und prüfgerechte Lagetoleranzen (für Konstrukteure)
- Lagetoleranzen und Bezugssysteme (für Fertigungstechniker und Messtechniker)
- Messstrategie bei Koordinatenmessungen (für Messtechniker)

In praktischen Übungen wird die Vorgehensweise trainiert. Die Teilnehmer werden befähigt, Zeichnungen zu analysieren und funktionsgerechte Zeichnungseintragungen zu erarbeiten bzw. optimale Messstrategien anzuwenden.

Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Michael Hernla
Sonnenplatz 13, 44137 Dortmund
Telefon 0231 136010
michael.hernla@t-online.de
www.dr-hernla.de