

Orientierungswerte für Lagetoleranzen

Leicht überarbeitete Fassung des Beitrags „Orientierung für die Lage“
KEM, Konradin Verlag Leinfelden-Echterdingen 2009, Heft 6, S. 74-75

Wer bei der Toleranzauslegung nicht länger nur auf Erfahrungswerte zurückgreifen will, kann objektiv vorgehen. Ausgangspunkt ist, dass für jede Messung eine Unsicherheit angegeben werden kann. Über die Messunsicherheitsberechnungen lassen sich dann objektive Zusammenhänge zwischen den Toleranzen an den unmittelbar gemessenen und an den abgeleiteten Prüfmerkmalen herstellen.

Eine wesentliche Fragestellung bei jeder Konstruktion ist die Festlegung der Toleranzen. Diese sollen die Funktion des Bauteils in der Baugruppe sicherstellen, aber auch wirtschaftlich herstellbar und messbar sein. Hier greift der Konstrukteur häufig auf Erfahrungswerte bei ähnlichen, bewährten Konstruktionen zurück. Dabei liegen allerdings nur in wenigen Fällen detaillierte Untersuchungen zugrunde, die zu objektiven Zahlenwerten führen, wie sie z.B. auch in Normen wie DIN 3964 (Achsabstandsmaße und Achslagetoleranzen von Gehäusen für Stirnradgetriebe) enthalten sind. In der Regel bedeutet „bewährt“, dass es in der Vergangenheit keine Probleme mit den Toleranzen gegeben hat, d.h. hier liegt ein recht subjektives Gefühl von Sicherheit zugrunde. Da hilft auch keines der heutigen leistungsfähigen CAD-Systeme.

Diese Situation kann aber mit der hier vorgestellten objektiven Vorgehensweise überwunden werden. Ausgangspunkt ist die Überlegung, dass prinzipiell für jede Messung eine Messunsicherheit angegeben werden kann. Diese soll nach der Goldenen Regel der Messtechnik in einem bestimmten Verhältnis zur Toleranz stehen und z.B. ein Fünftel davon nicht überschreiten. Dieses Verhältnis ist zweckmäßig für alle Prüfmerkmale dasselbe.

Bei der Messung wird aus Kostengründen angestrebt, jedes Merkmal gerade so genau wie nötig zu messen. Universelle Messgeräte wie z.B. Koordinatenmessgeräte gestatten die gleichzeitige Messung von mehreren Prüfmerkmalen bis hin zur kompletten Prüfung. Dabei werden zunächst aus den unmittelbar gemessenen Oberflächen Formelemente wie Kreise oder Zylinder berechnet, an denen dann unter anderem die Bohrungsdurchmesser mit bekannter Messunsicherheit ausgewertet werden. Dann werden aus diesen Elementen abgeleitete Prüfmerkmale wie Abstände und Lageabweichungen berechnet. Deren Messunsicherheit ergibt sich nach dem Fortpflanzungsgesetz aus der der gemessenen Formelemente.

In beiden Fällen – bei den unmittelbar gemessenen und bei den abgeleiteten Prüfmerkmalen – soll die Messunsicherheit ein bestimmtes Verhältnis zur Toleranz nicht überschreiten. Damit lassen sich über die Messunsicherheitsberechnungen objektive Zusammenhänge zwischen den Toleranzen an den gemessenen Elementen einerseits und an den abgeleiteten Prüfmerkmalen andererseits herstellen. Diese Zusammenhänge werden vor allem durch die geometrische Gestalt des Bauteils bestimmt und finden ihren Ausdruck in den Verhältnissen der Messunsicherheiten bzw. Toleranzen zueinander. Die so berechneten Lagetoleranzen können als Orientierungswerte eine objektive Toleranzfestlegung unterstützen.

Das Bild 1 zeigt ein Beispiel. Der Abstand zwischen den beiden Bohrungen muss an jeder Stelle auf der Achse innerhalb der Toleranz liegen. Er kann direkt als senkrechter Abstand der beiden Bohrungsachsen gemessen werden. In diesem Fall ist die Messunsicherheit des Achsabstands gerade so groß wie die eines Bohrungsdurchmessers – und dasselbe gilt für die Toleranzen. Demzufolge ist der Orientierungswert für das symmetrische Abmaß a des Bohrungsabstandes gerade halb so groß wie die Toleranz T_D eines Bohrungsdurchmessers. Ein Abstand mit diesem Abmaß a lässt sich ohne weiteres messen, wenn der Bohrungsdurchmesser mit der Toleranz T_D gemessen werden kann.

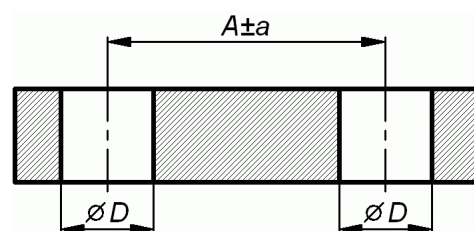


Bild 1: Achsabstand in der Ebene; Orientierungswert $a = 0,5 \cdot T_D$

Ist das symmetrische Abmaß a in der Zeichnung größer als berechnet, ist die Messgenauigkeit des Abstands kein Problem. Allerdings sollte sich der Konstrukteur fragen, warum er den Durchmesser genauer als den Abstand toleriert. Ist das symmetrische Abmaß andererseits kleiner als der Orientierungswert, stellt sich die Frage andersherum erneut. Dann führt die Diskussion um die Funktion häufig zu der Erkenntnis, dass der Orientierungswert die optimale Lösung darstellt.

Um dieses Argument zu vertiefen, soll ein zweites Beispiel betrachtet werden. Im Bild 2 ist wieder der Abstand von zwei Bohrungsachsen toleriert, diesmal allerdings in einem definierten Abstand l außerhalb des Werkstücks. Die Eintragung lehnt sich an DIN EN ISO 10578 (Projizierte Toleranzzone) an. Der Achsabstand soll auf der gesamten Länge des mit l bezeichneten Bereichs innerhalb der Toleranz liegen.

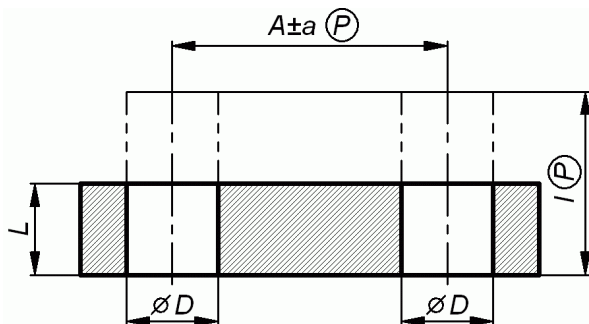


Bild 2: Achsabstand außerhalb des Werkstücks (Projizierte Toleranzzone); Orientierungswert

$$a = 0,7 \cdot K \cdot T_D \text{ mit Längenverhältnis } K = \frac{l}{L} \geq 1,5$$

Innerhalb des messbaren Bereichs der Achsen im Werkstück (Länge L) ist die Messgenauigkeit begrenzt, und mit wachsendem Abstand l außerhalb des Werkstücks wird die Messunsicherheit nach dem Strahlensatz aus der elementaren Geometrie immer größer. Dementsprechend vergrößert sich natürlich auch die prüfbare Toleranz. Für das Längenverhältnis $K=l/L=1,5$ entspricht der Orientierungswert a etwa noch dem Zusammenhang im Bild 1, für größere Längenverhältnisse wie $K=2$ im Bild 2 wird die prüfbare Abstandstoleranz aber schon deutlich größer. Der objektive messtechnische Zusammenhang liefert hier den Anlass, über die Funktion nachzudenken, die mit dieser Art Konstruktion eher nicht wie beabsichtigt erfüllt werden kann: Die weit aus dem Werkstück herausragenden Wellenenden biegen sich leicht durch und können z.B. bei einer Stirnradpaarung Drehmomente nur deutlich schlechter übertragen als Stirnräder, die zwischen den Lagern liegen. Solche Konstruktionen sind deshalb besser ganz zu vermeiden oder zumindest auf das unkritische Längenverhältnis $K=1,5$ zu begrenzen.

Als drittes Beispiel wird die Koaxialität zur gemeinsamen Achse von zwei Bohrungen betrachtet (Bild 3). Diese ist in DIN ISO 5459 (Bezüge und Bezugssysteme) definiert. Hier sind die prüfbaren Toleranzen sogar deutlich kleiner als die Durchmessertoleranzen, d.h. diese Merkmale können prinzipiell sehr genau gemessen werden.

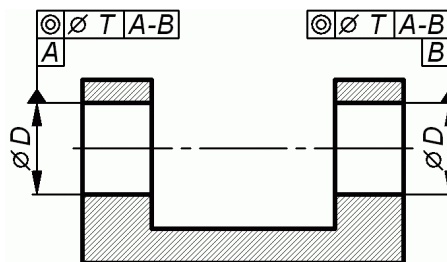


Bild 3: Koaxialität zur gemeinsamen Achse der beiden Bohrungen; Orientierungswert $T = 0,5 \cdot T_D$

Eine Beispielsammlung mit Orientierungswerten für weitere Prüfmerkmale wie Abstände bzw. Position, Koaxialität, Symmetrie, Parallelität, Rechtwinkligkeit und Neigung nach DIN EN ISO 1101 (Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf) liegt vor und lässt sich in der täglichen Konstruktionspraxis sinnvoll einsetzen.

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