

4 Grundbegriffe der Zeichnungstolerierung

4.1 Maß- und Geometrietoleranzzone

Die Form- und Lagetolerierung wird gemeinhin als kompliziert empfunden und bereitet oftmals in der Praxis erhebliche Schwierigkeiten. Um den Unterschied zur herkömmlichen Maßtolerierung besser erkennen zu können, soll zunächst die Spezifizierung dieses Toleranzsystems zur Maßtolerierung [DUB 05] kurz erläutert werden.

4.1.1 Maßtoleranzen

Im ISO-Normenwerk ist festgelegt, *dass durch eine Maßtoleranz nur die mittels Zweipunktmessung ermittelten örtlichen Istmaße eines Geometrieelementes begrenzt werden, nicht aber seine Formabweichungen*. Eine Maßtoleranz wird somit durch Grenzabmaße (z. B. +0,2/-0,1) oder Toleranzkurzzeichen (z.B. H7 oder h7) angegeben. Damit sind jedoch keine Einschränkungen für Form und Lage bestimmt. Dies ist unter anderem die Erkenntnis des folgenden Beispiels in Abbildung 4.1.

Beispiel: Interpretation von Maßtoleranzen

Das Maß für den Durchmesser des Wellenzapfens ist mit $\varnothing 20 +0,3/-0,1$ angegeben. Daraus ergeben sich die folgenden Grenzmaße:

N	Nennmaß	20,0
G _o	Größtmaß	20,3
G _u	Kleinstmaß	19,9
A _o	oberes Abmaß	+0,3
A _u	unteres Abmaß	-0,1
T	Toleranz (A _o -A _u)	+0,4
T	(G _o -G _u)	+0,4

Das *gemessene Ist-Maß* muss also im Toleranzfeld minus der Messunsicherheit (siehe DIN EN ISO 14253), d.h., zwischen $19,9+u$ und $20,3-u$ liegen, wenn die Zeichnungsangabe eingehalten werden soll (die Meßunsicherheit ist entsprechend GUM abzuschätzen).

Über die Rundheit, Zylindrizität oder Rechtwinkligkeit des Zapfens sind keine Angaben gemacht worden. Das Durchmesserzeichen am Maß begrenzt nicht die Rundheit, sondern ist nur ein zeichnerisches Symbol (s. ISO 129-1).

Weiterhin ist noch ein rechteckig umrahmtes Maß eingeführt worden, welches in seiner Wirkung noch zu definieren ist.

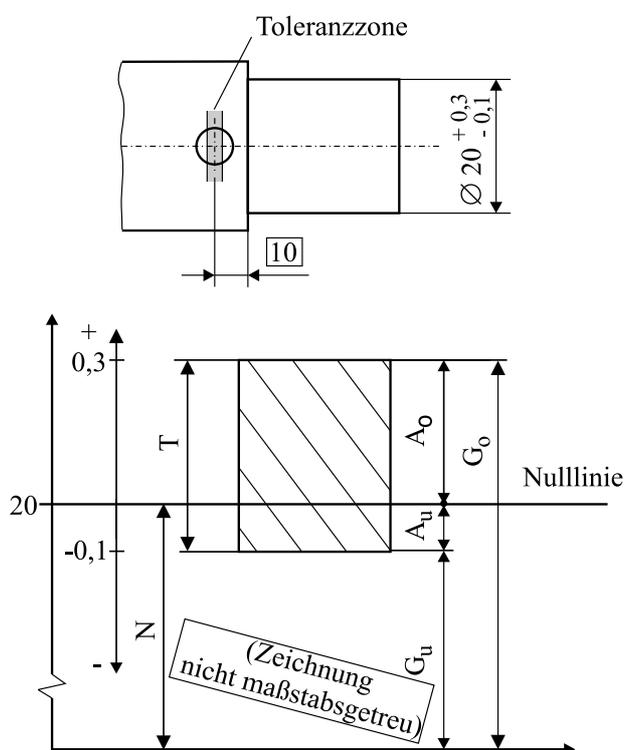


Abb. 4.1: Maßtolerierte Bolzen-Zeichnung mit Sicherungsstift

Alle auftretenden Geometrieabweichungen lassen sich somit nur eingrenzen durch:

- die Hüllbedingung (DIN 7167 bzw. \textcircled{E} in ISO 8015),
- die Symbole nach ISO 1101 und
- durch Allgmeintoleranzen (nach ISO 2768, T.2).

Diese Möglichkeiten werden nachfolgend noch abgeklärt.

4.1.2 Ideales Maß

Das *theoretisch genaue Maß* dient zur Angabe der geometrisch idealen (theoretisch genauen) Lage der Toleranzzone¹ für Neigungs-, Positions- oder Profiltoleranzen (siehe ISO 1101, S. 15). Das Maß wird rechteckig umrahmt. Wie ein Nennmaß unterliegt es keinerlei Abweichungen, auch nicht den möglicherweise angegebenen Allgemeintoleranzen.

Oftmals werden in Zeichnungen ideale Maße als Stufenmaße (siehe DIN 7170) mit dem Toleranzwert Null benutzt. Diese Anwendung ist durch die Definition aber nicht gedeckt, sondern es sollte immer darum gehen, mit einem idealen Maß die Lage einer Toleranzzone eindeutig festzulegen. Bei dem in der vorherigen Abbildung 4.1 gezeigten Bolzen hat beispielsweise der Lochabstand $L=10\text{mm}$ die Funktion des geometrisch idealen Maßes (als solches legt es die Lage der Toleranzzone und nicht der Bohrungsmitte fest).

4.1.3 Geometrietoleranzzone

Die Form- und Lagetolerierung nach DIN ISO 1101 hat die Festlegung von Toleranzzonen zum Prinzip. Abbildung 4.2 zeigt den Vergleich zwischen geometrisch idealer Form, Toleranzzone und Ist-Profil für ein Linienprofil. Mittels einer Toleranzzone sollen die Ist-Soll-Abweichungen eingegrenzt werden.

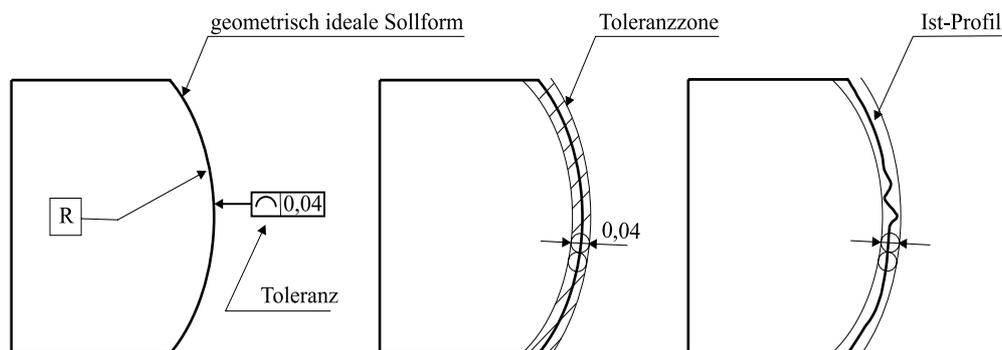


Abb. 4.2: Vergleich zwischen geometrisch idealer Form, Toleranzzone und Ist-Profil am Werkstück

Eine Geometrieabweichung fällt stetes unabhängig von einer Maßabweichung an. Je nach dem verwandten Tolerierungsprinzip (DIN 7167 oder ISO 8015) liegt die Geometrieabweichung innerhalb oder außerhalb der Maßabweichung. Eine exakte Maßkontrolle ist daher nur unter Berücksichtigung der Maß- und Toleranzangaben mit dem Tolerierungsprinzip möglich.

¹ Anm.: Siehe hierzu besonders ISO 5458 (Positionstolerierung).



Leitregel 4.1: Toleranzzone von Geometrieelementen

Das gekennzeichnete Geometrieelement muss sich innerhalb der Toleranzzone befinden. Als Toleranzzone kann ein Abstand, eine Fläche oder ein Raum dienen. Begrenzt wird die Toleranzzone durch zwei Grenzlinien bzw. Grenzebenen oder Grenzkreise, die der idealen Form des Geometrieelementes entsprechen.

Im vorstehenden Beispiel muss die gesamte Profillinie (in einer festzulegenden Anzahl von Schnitten über die Dicke) innerhalb der Toleranzzone liegen.

Die in der GPS-Normung festgelegten Toleranzzonen sind in Abbildung 4.3 dargestellt.

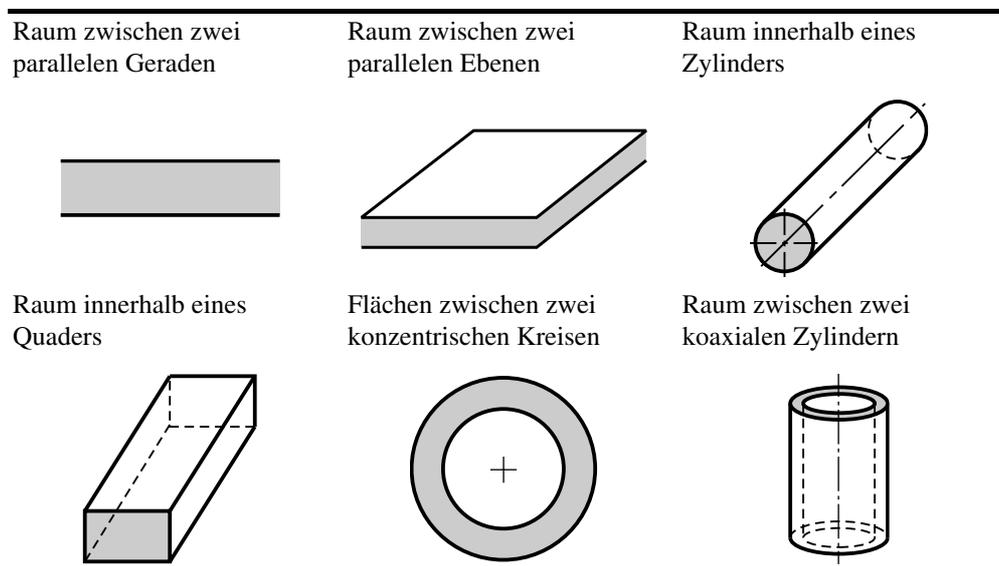


Abb. 4.3: Darstellung der Toleranzzonen nach ISO 1101

Die Angabe einer Geometrietoleranz soll also dafür sorgen, dass das Geometrieelement von der gedachten Idealform nur innerhalb dieser Toleranzzone abweicht. In der Praxis heißt das, dass, z.B. eine Blechkante, die als Anschlag dient, hinreichend gerade sein muss oder, dass ein Wälzlagersitz hinreichend kreiszylindrisch sein muss.

Es gibt zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze bei der Betrachtung von Maßen und ihrer Auswirkung auf die geometrische Form eines Bauteils:

1. **Nach dem Unabhängigkeitsprinzip DIN ISO 8015 (siehe Kapitel 11.6) sagt eine Maßtoleranz eines Geometrieelementes nichts über eventuelle Geometrieabweichungen aus.**

Das heißt, das Bauteil kann zwar maßlich in Ordnung, aber trotzdem nicht funktionsfähig sein, da zu große Abweichungen von der idealen geometrischen Form vorliegen.

So sei z.B. bei der Welle in Abbildung 4.4 durchaus an jeder beliebigen Stelle die Durchmesser-toleranz eingehalten worden, die Funktionsfähigkeit könnte aber aufgrund der starken Formabweichung eingeschränkt bzw. nicht mehr gegeben sein, da hier auch das Gegenstück zu berücksichtigen ist.

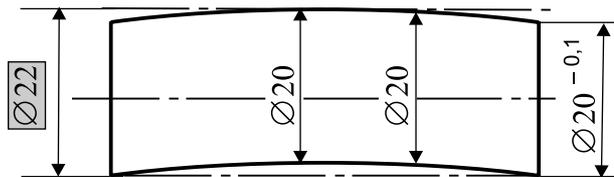


Abb. 4.4: Welle mit nicht eingeschränkter Geradheitsabweichung und möglichem Hüllmaß

2. Beim Hüllprinzip nach DIN 7167 (siehe Kapitel 10.2) dürfen Form- und Parallelitätsabweichungen den Betrag der Maßtoleranz zwar erreichen, aber nicht überschreiten.

Sollte die von der Hülle Ø 22mm umschlossene Abweichung für eine Gewährleistung der Funktionsfähigkeit zu groß sein, so muss zusätzlich zur Maßtoleranz eine engere Formtoleranz gewählt werden. (Mit Hülle sei das Maß des formidealen Gegenstückes bezeichnet.)

Das Prinzip der Formeinschränkung findet z.B. bei Wellenlagerungen Anwendung. Würde der Wellenzapfen beispielsweise nicht mit einer Toleranz für Zylindrizität versehen, so könnte er auch innerhalb der Maßtoleranz kegel- oder gleichdickförmig sein. Dies würde an einzelnen Stellen in einem Wälzlager beim Überrollen zu einer erhöhten Pressung führen, was eine deutliche Reduktion der Lebensdauer bewirken würde. Die tatsächlich vorhandene Formabweichung eines Bauteils vom geometrisch idealen Maß wird messtechnisch mittels der Minimum-Bedingung (*Tschebyschew-Kriterium*) festgestellt.

4.2 Minimum-Bedingung

4.2.1 Erklärung

Die Minimum-Bedingung (nicht zu verwechseln mit der Minimum-Material-Bedingung) dient der Ermittlung der tatsächlich vorhandenen Formabweichung eines Bauteils vom geometrisch idealen Maß mithilfe von zweckgerechten Messverfahren (z.B. ein Formmessgerät oder eine 3-D-Koordinatenmessmaschine). Das Messprinzip ist in der ISO 1101 an verschiedenen Beispielen erläutert.



Leitregel 4.2:
Minimum-Bedingung für die Formabweichung

Die tatsächlich vorhandene Formabweichung ergibt sich, indem Grenzflächen bzw. Grenzlinien so an das tolerierte Geometrieelement herangeschoben werden, dass sie es einschließen und ihr Abstand zueinander ein *Minimum* wird. Dieser Abstand stellt die **Formabweichung f** dar. Damit ist die Grenzbedingung

$$\text{Formabweichung } f \leq \text{Toleranzzone } t$$

zu überprüfen.

4.2.2 Beispiele zur Anwendung der Minimum-Bedingung

Alle an Geometrieelementen angegebenen Toleranzzonen müssen durch geeignete Messungen gemäß der *Minimum-Bedingung* auf Einhaltung überprüft werden.



Leitregel 4.3:
Grenzflächen, Grenzlinien, Grenzabweichung

Grenzflächen bzw. Grenzlinien:

- Geradheit \Rightarrow zwei parallele Geraden mit minimalem Abstand bzw. der Raum innerhalb eines Zylinders
 Ebenheit \Rightarrow zwei parallele Ebenen
 Rundheit \Rightarrow zwei konzentrische Kreise
 Zylindrizität \Rightarrow zwei koaxiale Kreiszyylinder

Grenzabweichung:

Bei Formtoleranzen entspricht die **Toleranz t** der *Grenzabweichung*, d.h. der größten zulässigen Abweichung. Das Formelement ist *gut*, wenn die Formabweichung f kleiner oder gleich der Grenzabweichung ($f \leq t$) ist.

Geradheit und Ebenheit

Zur Bestimmung der Geradheitsabweichung werden zwei parallele Geraden so an die Istkontur¹ eines Geometrieelementes herangeführt, dass sie diese einschließen und ihr Abstand zueinander minimal wird.

Muss stattdessen die Ebenheit einer Fläche bestimmt werden, so verwendet man parallele Ebenen (siehe DIN ISO 1101), die die Fläche tangieren. Der Abstand der Flächen zueinander stellt die tatsächliche Ebenheitsabweichung dar.

¹ Anm.: Die Istkontur muss nicht als geschlossener Kurvenzug vorliegen, sondern nach ISO 1101 genügt auch eine aus Einzelpunkten bestehende Istlinie.

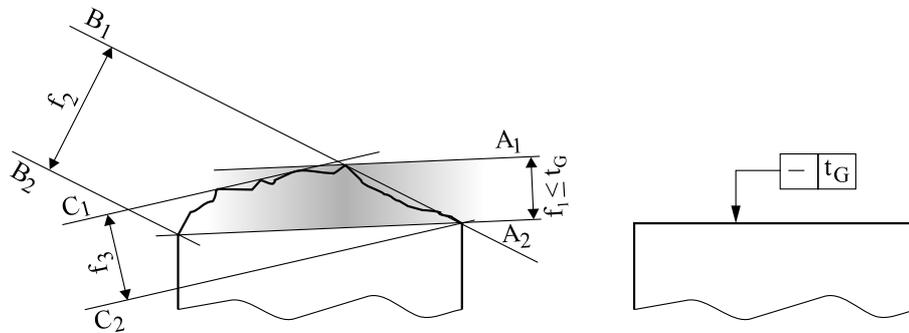
Beispiel: Prüfung auf Einhaltung der Toleranzzone

Abb. 4.5: Ausrichtung der Bezugslinien zur Bestimmung der Geradheit nach der Minimum-Bedingung

In diesem Beispiel soll die Geradheit einer einzelnen Kante ermittelt werden. Deshalb werden mögliche Ausrichtungen durch die Parallelen A_1 und A_2 , B_1 und B_2 sowie C_1 und C_2 dargestellt. Den zahlenmäßigen Wert der Geradheitsabweichung kann man nur mit einer Messmaschine bestimmen. Ein Haarlineal ist dazu ungeeignet, da hier nur Werte $\geq 3\mu\text{m}$ abgeschätzt werden können.

Aus geeigneter Messung ergeben sich beispielsweise die folgenden Abstände:

Ausrichtung der Linien	$A_1 - A_2$	$B_1 - B_2$	$C_1 - C_2$
Abstand	f_1	f_2	f_3

Die Verhältnisse dieser Abstände bestimmen sich aus Abbildung 4.5 zu

$$f_1 < f_3 < f_2,$$

d. h., die Toleranzabweichung von der Geradheit wird durch den *minimalen Abstand* aus allen möglichen Abständen gegeben. Die korrekte Ausrichtung der Geraden zur Bestimmung des minimalen Abstandes f ist also $A_1 - A_2$ und bestimmt somit die Größe der Abweichung. Als Bedingung ist somit zu überprüfen, ob

$$f_1 \leq t_G.$$

In diesem Fall wäre die Anforderung erfüllt.

Rundheit und Zylindrizität

Zur Bestimmung der Rundheitsabweichung werden zwei konzentrische Kreise so um die Kontur gelegt, dass sie diese einschließen und ihr Abstand zueinander minimal wird. Soll die Zylindrizität eines Körpers bestimmt werden, benutzt man konzentrische Zylinder.

Die Anwendung der Minimum-Bedingung auf Kreisquerschnitte mit Rundheitsabweichung wird in DIN ISO 6318 beschrieben. Ihre Bezeichnung ist *Kreise kleinster Ringzone* oder *MZC* (engl.: **minimum zone circles**).

Beispiel: Prüfung auf Einhaltung der Toleranzzone

In Abbildung 4.6 wird die Rundheitsabweichung eines Gleichdicks bestimmt, welche in einer Drehoperation entstanden ist. Die konzentrischen Kreise sind A_1 und A_2 sowie B_1 und B_2 .

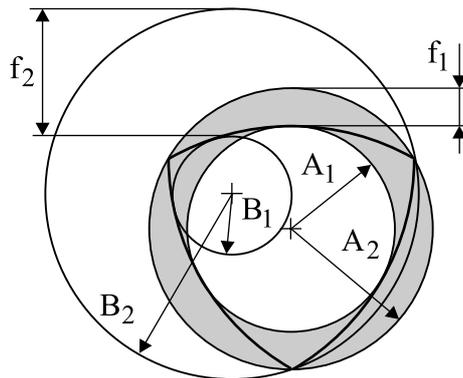


Abb. 4.6: Bestimmung der Rundheitsabweichung nach der Minimum-Bedingung

Daraus ergibt sich für die Abstände der konzentrischen Kreise:

konzentrisches Kreispaar	$A_1 - A_2$	$B_1 - B_2$
Abstand	f_1	f_2

Aus der Zeichnung kann man nun entnehmen, dass bei der Anordnung der Kreise A_1 und A_2 der Abstand f zwischen den Kreisen minimal ist:

$$f_1 < f_2.$$

Der Abstand f_1 entspricht also der Rundheitsabweichung und kennzeichnet so die Größe der Toleranzzone. Die zu überprüfende Bedingung ist somit:

$$f_1 \leq t_R.$$

Quintessenz: Da in jeder Produktion ungewollt Gleichdickformen auftreten, kann aus *runden* Halbzeugen meist kein absolut *kreisrundes* Teil mehr gefertigt werden. Insofern ist es wichtig, die noch zu akzeptierende Unrundheit maßlich anzugeben.

5 Zeichnungseintragung

Im Weiteren soll exemplarisch die Eintragung von Maßen und Toleranzen in technische Zeichnungen beschrieben werden. Die Zeichnungseintragung der Maße und die Nomenklatur erfolgt nach DIN ISO 129-1. Die Zeichnungseintragung von Geometrietoleranzen wird im Wesentlichen in DIN ISO 1101 festgelegt. Die Form, Ausführung und Größe grafischer Symbole erfolgt nach DIN ISO 7083.

5.1 Angabe von Maßen in einer Zeichnung

Anhand des in Abbildung 5.1 gezeigten fiktiven Bauteils sollen die verschiedenen Maßarten in einer Fertigungszeichnung mit einer positionstolerierten Bohrung gezeigt werden.

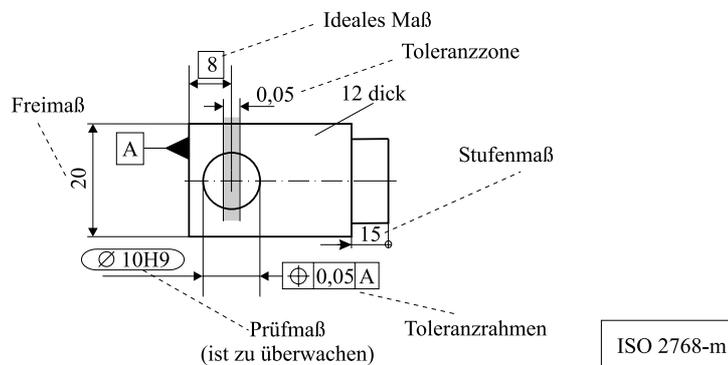


Abb. 5.1: Angabe von Maßen in einer Fertigungszeichnung

- **Ideale Maße** werden in einem rechteckigen Rahmen angegeben und unterliegen keiner Abweichung. Sie legen den idealen Ort der Toleranzzone fest. In der Zeichnung ist dies der Abstand der Bohrungsachse von der Bezugskante aus. Ist kein Bezug gegeben, so muss dieser gebildet werden. Der Bezug wird für die Positionstolerierung benötigt.
- **Prüfmaße** werden nach DIN 406, T.1, durch einen abgerundeten Rahmen (auch *Blase* oder *Zeppelin*) markiert. Sie bezeichnen ein Maß, das bei der Qualitätssicherung besonders zu überwachen (z.B. SPC) ist. Bei dem Bauteil soll demnach besonders auf die Passungsfähigkeit der Bohrung mit einem Gegenstück geachtet werden.

- **Freimaße** werden nicht besonders gekennzeichnet. Diese Maße unterliegen den angegebenen Allgometoleranzen (i.d.R. ISO 2768, T.1). Dies ist bei dem Bauteil der angegebene Abstand der beiden Seitenflächen von 20mm in der Toleranzklasse m mit genau $\pm 0,2\text{mm}$.
- **Stufenmaß** (nach E DIN 7170) ist der Abstand zwischen einer Referenzfläche und dem berührend zugeordneten Geometrieelement (d.h., es wird vom Ursprung aus gemessen).
- **Toleranzzone** der Position ist in diesem Fall ein 0,05mm breiter Bereich um das ideale Maß. Für eine nähere Beschreibung der Positionstolerierung siehe Kapitel 7.6.2.1 bzw. auch DIN EN ISO 5458.

5.2 Beschreibung der Angaben am tolerierten Element

Die Angaben zu den Toleranzen des Geometrieelementes findet man im Toleranzrahmen. Dieser Rahmen ist rechteckig. Er hat mindestens zwei, höchstens fünf Felder. Der Toleranzrahmen wird in der Zeichnung wie Schrift behandelt. Er soll also von rechts bzw. von unten lesbar sein. Er kann zwar gedreht werden, steht aber wegen der besseren Lesbarkeit am besten waagrecht. Zusätzlich können Texte angefügt werden. Der Toleranzrahmen wird mit dem tolerierten Element mittels einer Hinweislinie mit Hinweisfeil verbunden.

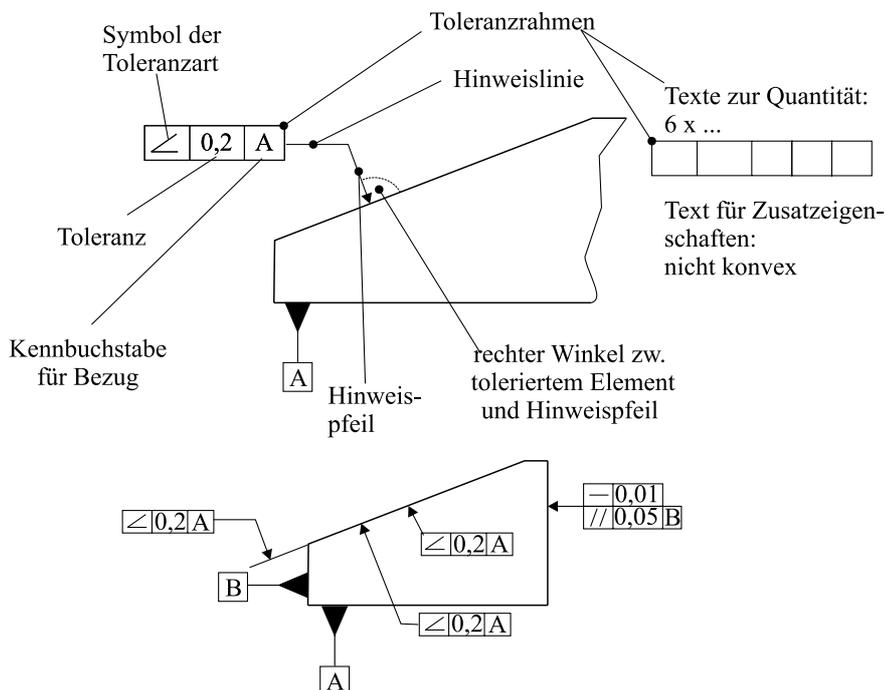


Abb. 5.2: Toleranzangaben am tolerierten Element und verschiedene Stellungen des Hinweisfeils

Es gelten die folgenden Vereinbarungen:

- Im ersten Feld steht das Symbol der Toleranzart.
- Im zweiten Feld wird der Toleranzwert (in mm) eingetragen. Andere Einheiten sind hier nicht vorgesehen (also auch keine Winkelgrade). (Sollten ausländische Zeichnungen aber mit Inch bemaßt sein, so findet man u.U. hier auch Angaben in Inch.)
- Weitere Felder enthalten bei den Lagetoleranzen Kennbuchstaben für Bezüge. Es sind drei Bezüge möglich.
- Der Toleranzpfeil wird in ISO 1011 auch als Hinweis- oder Bezugspfeil bezeichnet. Dieser darf beliebig aus dem Toleranzrahmen austreten, in seiner Richtung muss aber die Toleranzzone *gemessen* werden.
- Wenn für ein Geometrieelement mehrere Toleranzeigenschaften festgelegt werden sollen, so dürfen Toleranzrahmen auch mehrfach untereinander gesetzt werden.

5.3 Beschreibung der Toleranzzone

5.3.1 Form und Lage der Toleranzzone

Gemäß Norm ist der Hinweispfeil direkt auf die Konturlinie oder eine Maßhilfslinie des Elements zu setzen, wenn sich die Toleranzzone auf die Linie oder Fläche bezieht. Der Hinweispfeil darf auch auf einer Bezugslinie liegen, die zur tolerierten Fläche zeigt.

Der Hinweispfeil und die Hinweislinie können auch an der Verlängerung einer Maßlinie angetragen werden, wenn sich die Toleranz auf die Achse oder Mittelfläche des bemaßten Elementes bezieht.



Leitregel 5.1:

Zeichnungseintragung von realen und abgeleiteten Geometrieelementen

Reales Geometrieelement: Bei der Tolerierung eines realen Geometrieelementes steht der Toleranzpfeil *mindestens 4mm vom Maßpfeil entfernt* (Abbildung 5.3 a).

Reale Geometrieelemente sind Kanten und Flächen.

Abgeleitetes Geometrieelement: Wenn ein abgeleitetes Geometrieelement toleriert wird, steht der Toleranzpfeil *unmittelbar auf dem Maßpfeil* (d.h. in der Verlängerung des Maßpfeils). Er kann auch mit dem Maßpfeil zusammenfallen (Abbildung 5.3 b).

Abgeleitete Geometrieelemente sind Achsen, Symmetrieebenen o.Ä.

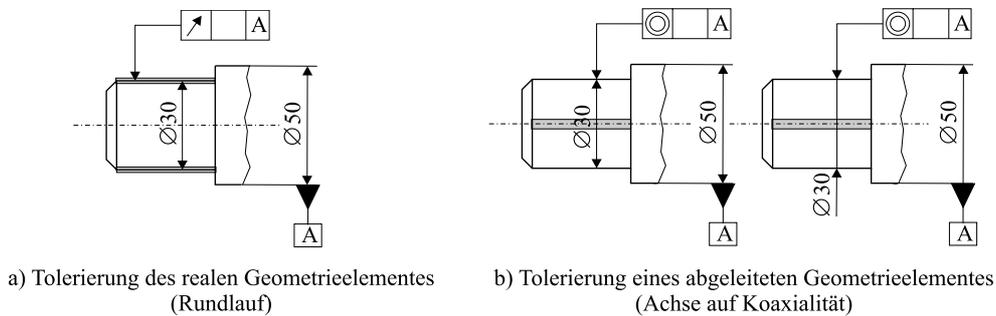


Abb. 5.3: Die Stellung des Hinweispeils erzeugt unterschiedliche Bedeutung

Die Norm lässt zwar zu, den Hinweispfeil direkt auf eine Achse oder Mittellinie zu setzen, dies sollte aber aus Gründen der Eindeutigkeit vermieden werden (siehe Abbildung 5.4). Diese Darstellung ist im Neuentwurf zu ISO 1101 E von 1995 auch nicht mehr zulässig.

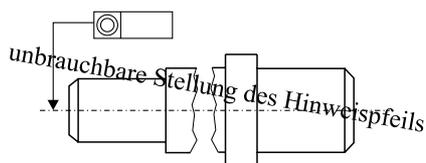


Abb. 5.4: Angabe mit unklarem Bezug unter den Geometrieelementen

Im vorstehenden Beispiel führt die Einschränkung der Koaxialitätsabweichung jedoch zu keiner Funktionsverbesserung, da der eindeutige Bezug fehlt. Mit der Stellung des Toleranzpeils ist also regelmäßig eine Funktionsanforderung verbunden, welches an den folgenden Beispielen noch deutlicher werden wird.

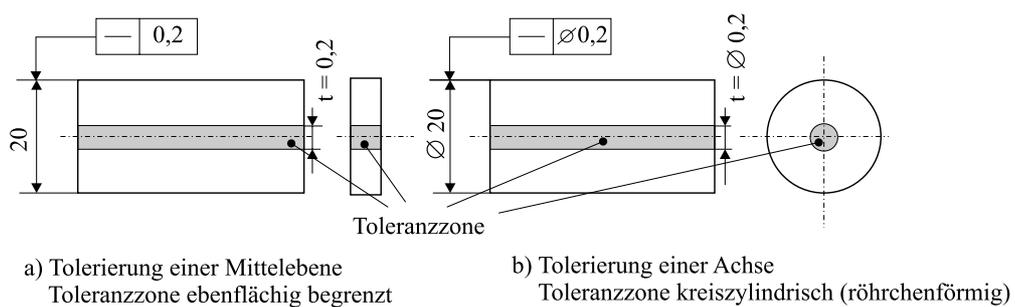


Abb. 5.5: Gestalt der Toleranzzonen und Angabe des Toleranzmaßes

Form der Toleranzzone: Wie aus Abbildung 5.5 zu sehen ist, bedeutet die Angabe des Toleranzmaßes mit \varnothing eine kreiszylindrische Toleranzzone. Die Angabe der Toleranz ohne \varnothing ergibt eine ebenflächig begrenzte Toleranzzone. Fallweise erstreckt sich die Toleranzzone über die ganze Länge bzw. Breite eines Körpers.

Lage der Toleranzzone: Die Toleranzzone liegt immer rechtwinklig zum Toleranzpfeil und ist auch so nachzuweisen.

Zeichnungsvereinfachung: Sollen für ein Geometrieelement mehrere Toleranzangaben gelten, zeichnet man den Toleranzrahmen im Block und verbindet Block und Element mit einem gemeinsamen Toleranzpfeil. Die Eintragung soll von oben nach unten erfolgen.

Soll die gleiche Toleranzangabe für mehrere Geometrieelemente gelten, so können von einem Toleranzrahmen aus mehrere Toleranzpfeile ausgehen oder die Bezugslinien können verzweigt werden. Man kann auch die Toleranzpfeile mit einem Querstrich abbrechen und durch einen Großbuchstaben kennzeichnen, wie in Abbildung 5.6 dargestellt.

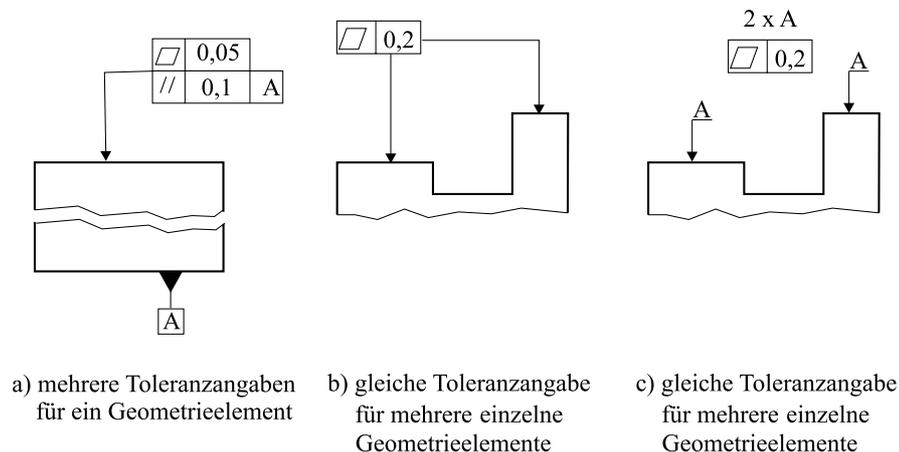


Abb. 5.6: Möglichkeiten der Zuweisung einer Toleranz

Im **Fall a)** werden an die Fläche unabhängige Forderungen bezüglich der *Ebenheit der Fläche in sich* und der *Parallelität zu der gegenüberliegenden Bezugsfläche A* gestellt. Hiermit wird also die ganze Körperausdehnung erfasst.

Im **Fall b)** wird durch die beiden Hinweispeile eine *Ebenheitsforderung* an zwei getrennt zu bearbeitenden Flächen gestellt.

Gleiches gilt für **Fall c)**, wobei jetzt zur Vereinfachung eine indirekte Zuordnung über Buchstaben gewählt worden ist.

Wenn Buchstaben für die Zuordnung oder den Bezug herangezogen werden, kann es möglicherweise einen Konflikt zu *Schnitten* geben. Zweckmäßig ist es dann, für Schnitte eine abgesetzte Buchstabenfolge, z.B. X, Y, Z zu wählen.

5.3.2 Gemeinsame Toleranzzone

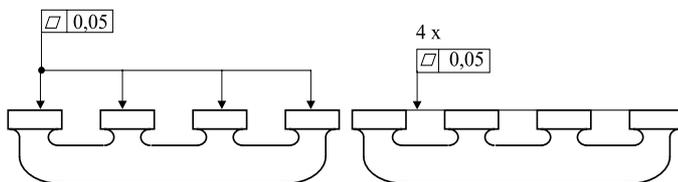
Es besteht auch die Möglichkeit, mehreren einzelnen Geometrieelementen eine gemeinsame Toleranzzone zuzuweisen. Dann muss über dem Toleranzrahmen **GTZ** oder **Gemeinsame Toleranzzone** stehen. Der Neuentwurf zu ISO 1101 sieht hingegen vor:

CZ = engl: Common Zone im Toleranzrahmen zu vermerken.

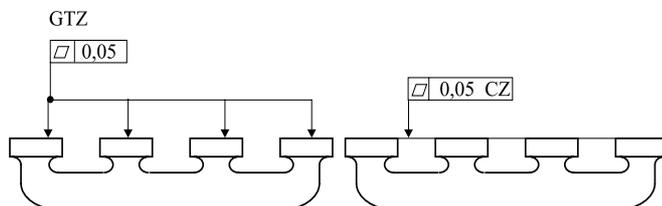
Dies ist eine harte Forderung, die aber üblicherweise bei in einer Aufspannung zu bearbeitenden Flächen sinnvoll ist.

Beispiel: Angabe von Toleranzzonen

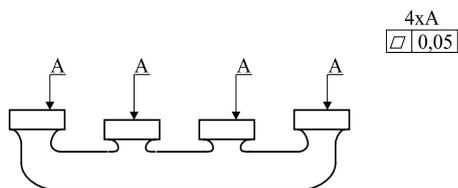
Der in Abbildung 5.7 gezeigte Auspuffkrümmer soll an die Dichtfläche eines Motors geschraubt werden. Um die Dichtheit zu gewährleisten, müssen die Oberflächen der Flansche möglichst eine gemeinsame glatte Ebene bilden. Diese Forderung kann mit der *Gemeinsamen Toleranzzone* (GTZ bzw. CZ) erzwungen werden.



- a) Einzelne Toleranzzonen für jedes Geometrieelement.
Angabe verlangt: Jede Fläche muss in sich eben sein.



- b) Gemeinsame Toleranzzone (Angabe mit GTZ oder – nach überarbeitetem Neuentwurf nach ISO 1101 E (1995) – mit CZ, verlangt eine globale Ebenheit über alle Flächen (harte Forderung).



- c) Einzelne Toleranzzonen mit demselben Wert auf unterschiedliche Flächenniveaus.
Bedeutung wie unter a).

Abb. 5.7: Zeichnungseintragung von Toleranzzonen an einem Auspuffkrümmer

In der Praxis sind die Eintragungen oft nicht eindeutig, wodurch Folgeprobleme in der Funktion oder im Zusammenbau entstehen können.

5.3.3 Ausdehnung der Toleranzzone

Eine Toleranzzone gilt immer nur für ein Geometrieelement und erstreckt sich über die ganze Ausdehnung des Geometrieelementes. Die Ausdehnung kann aber durch zusätzliche Angaben eingeschränkt werden. Diese maßliche Einschränkung ist dann im Toleranzrahmen zu vereinbaren und gegebenenfalls am Geometrieelement zu vermerken.

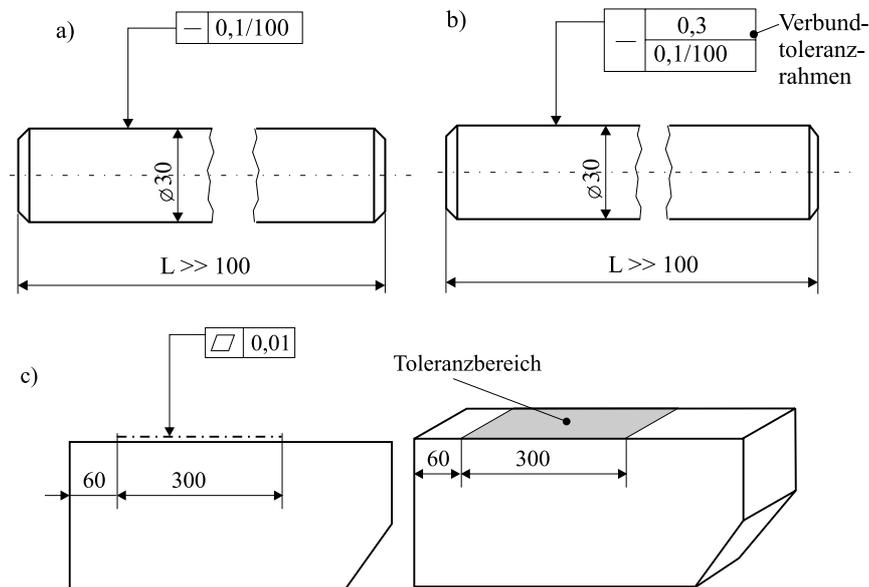


Abb. 5.8: Einschränkung der Ausdehnung der Toleranzzone

In Abbildung 5.8 ist die Möglichkeit der Einschränkung der Toleranzzone gezeigt:

- Die Geradheitsabweichung des Stabes darf auf einer Länge von 100mm nur um 0,1mm abweichen, dies gilt an beliebigen Stellen des Stabes.
- Wie a), zusätzlich beträgt jedoch die zulässige Gesamtgeradheitstoleranz über die ganze Länge des Stabes 0,3mm.

Die Angaben in a) und b) sind nur sinnvoll, wenn bestimmte Funktionsabschnitte benötigt werden und die Länge des bemaßten Elementes wesentlich länger ist als der separat zu tolerierende Bereich.

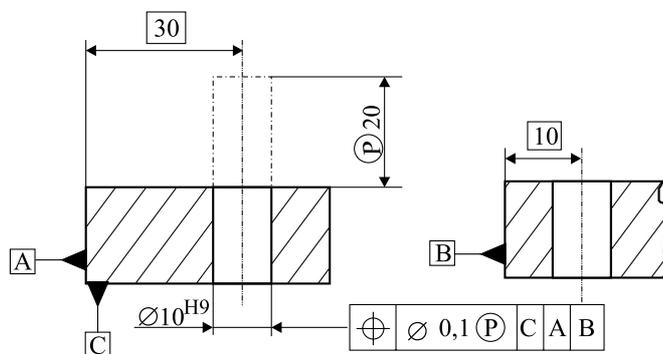
- Die Ebenheitstoleranz gilt nur im bemaßten Funktionsbereich, aber über die ganze Tiefe des Werkstückes. In der Zeichnungsebene ist dies durch eine außen liegende strichpunktierte Linie zu kennzeichnen.

5.3.4 Projizierte und flexible Toleranzzone

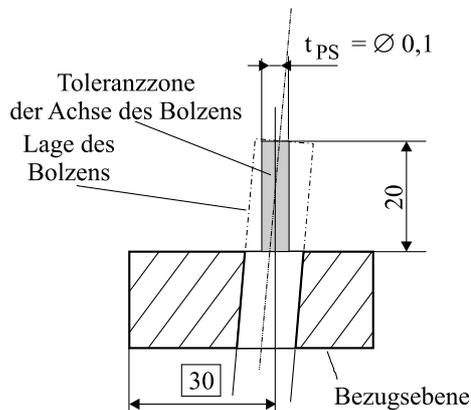
Die Toleranzzone kann auch nach außerhalb des Werkstücks verschoben werden. Dies kann durch eine Paarung mit anderen Teilen nötig werden. Gleichfalls sind auch veränderliche Toleranzzonen möglich, wenn das Teil selbst sehr elastisch ist.

Beispiel: Angabe projizierter Toleranzzone

In eine Bohrung wird ein Mitnehmerbolzen eingefügt, der in ein anderes Teil greifen soll. Die Lage der Achse der Bohrung ist deshalb für die Funktion des Werkstückes nicht so wichtig, wesentlich ist die Position, an der sich später der Bolzen befindet. Deshalb muss in diesem Fall die Position des Bolzens toleriert werden.



a) Nach außen projizierte Tolerierung



b) Darstellung der Toleranzzone

Abb. 5.9: Projizierte Toleranzzone bei einem Zentrierstift nach DIN ISO 10578

Die Projizierung der Toleranzzone wird durch das mit dem Kreis markierte \textcircled{P} gekennzeichnet und zwar hinter dem Toleranzwert im Toleranzrahmen und vor dem Maß, das die Projizierung festlegt.

Projizierte Toleranzen werden nur bei Ortstoleranzen und nur bei abgeleiteten Geometrie-elementen (insbesondere Achsen) angewendet. (Zu Positionstolerierung siehe Kapitel 7.6.2)

Die Angabe der Toleranzzone über \textcircled{P} ist auch messtechnisch sinnvoll, da sich die Schiefstellung über einen spielfrei sitzenden Lehrdorn gut prüfen lässt.

In der Technik können auch Bauteile zum Einsatz kommen, die bewusst elastisch ausgeführt worden sind. Hierzu zählt der klassische Fall des *ovalen Wälzlagerrings* für ein typisches *nicht-formstabiles Teil*. Darüber hinaus können dies auch dünnwandige Metallteile oder elastische Teile aus Gummi bzw. Kunststoff sein.

Nachdem in der ASME-Normung diese *non-rigid parts (NR)* definiert wurden, hat man auch die internationale Norm entsprechend erweitert und die Zusatzangabe *free state* durch das Symbol \textcircled{F} eingeführt.

Laut Norm ist ein nicht-formstabiles Teil in der Zeichnung bzw. in der Nähe des Schriftfeldes durch den Hinweis

ISO 10579 – NR

zu kennzeichnen. Weiterhin müssen auch in der Zeichnung die Einspannbedingungen (siehe Abbildung 5.10) eindeutig beschrieben sein.

Eine nicht vorhandene Formstabilität für ein Teil schließt nach der Norm ein, dass *sich ein Teil im freien Zustand bis zu einem Ausmaß verformen kann, sodass es außerhalb der in der Zeichnung eingetragenen Maßtoleranzen und/oder Form- und Lagetoleranzen liegt*.

Die obere Grenze für eine derartige Toleranz wird durch ein \textcircled{F} gekennzeichnet, wobei als zulässige Kraftwirkung nur der Schwerkrafteinfluss auftreten darf. Alle nicht mit einem \textcircled{F} gekennzeichneten Toleranzen sind unter Funktionsbedingungen (d.h. im eingebauten Zustand) zu prüfen.

Beispiele: Flexible Toleranzen bei Gummi- oder Kunststoffbauteilen

In der ISO-Norm werden die folgenden Beispiele in Abbildung 5.10 zur Behandlung flexibler Toleranzen gegeben. Die in der Regel größeren F+L-Toleranzen, die im freien Zustand zugelassen sind, erhalten das Symbol \textcircled{F} . Ansonsten sind die eingetragenen Toleranzen im eingebauten bzw. eingespannten Zustand einzuhalten. Insbesondere wird im zweiten Beispiel die Kennzeichnung transparent:

- Im *eingespannten Zustand* werden relativ enge F+L-Toleranzen gefordert, da es sich um eine rotierende Spindeltrommel handelt, die verschraubt eine gewisse Eigensteifigkeit aufweist. Die Stahlteile werden zudem mechanisch bearbeitet, infolge dessen sind die kleineren Toleranzen nicht unrealistisch.
- Im Zustand *vor dem Einbau* werden hingegen für eine Abnahmeprüfung größere Toleranzen zugelassen; diese resultieren aus dem Werkstoffverhalten und der Auslegung der Elastomerelemente. Erfahrungsgemäß kann die Funktion des Bauteils gewährleistet werden, wenn diese Toleranzen maximal eingehalten werden.

- Die Prüfung der Toleranzen ist entweder unter Schwerkrafteinfluss oder gemäß der anzugebenden Einspannbedingung vorzunehmen. Dies bedingt, dass die Einspannbedingungen immer auf der Zeichnung zu spezifizieren sind.

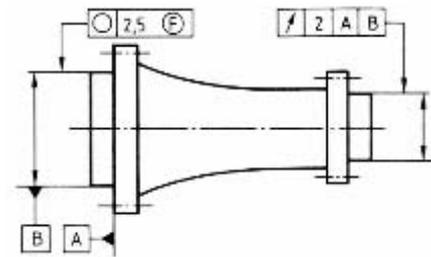
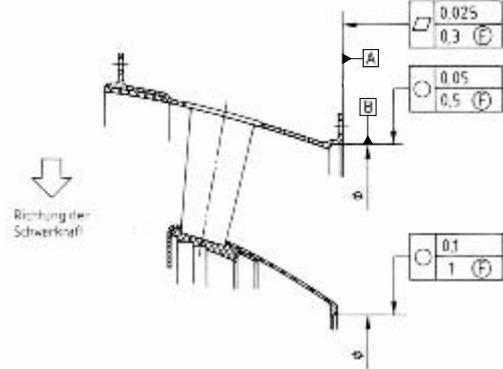
Zeichnungseintragung	Erklärung
	<p>Die zusätzlich mit (F) gekennzeichnete Form- und Lagetoleranz ist im freien Zustand einzuhalten. Die Lauftoleranz gilt nach den in der Anmerkung angegebenen Bedingungen.</p>
<p>ISO 10579-NR Einspannbedingung: Die Bezugsfläche A ist mit 12 Schrauben M 6x15 befestigt und mit einem Drehmoment von 10 bis 15 Nm fest anzuschrauben. Das Bezugsselement B ist an der entsprechenden Maximum-Material-Grenze einzuspannen.</p>	<p>Die zusätzlich mit (F) gekennzeichneten Form- und Lagetoleranzen sind im freiem Zustand einzuhalten. Die anderen Form- und Lagetoleranzen gelten unter den in der Anmerkung angegebenen Bedingungen.</p>
	<p>ISO 10579-NR Einspannbedingung: Die Bezugsfläche A ist mit 20 Schrauben M 10x20 befestigt und mit einem Drehmoment von 19 bis 20Nm fest anzuziehen. Das Bezugsselement B ist an der entsprechenden Maximum-Material-Grenze aufzunehmen.</p>

Abb. 5.10: Kennzeichnung flexibler Toleranzzonen nach DIN ISO 10579

5.4 Zeichnungseintragung von Bezügen

Das Bezugselement wird durch ein Bezugsdreieck markiert. Das Bezugsdreieck kann sowohl ausgefüllt als auch nur als Umriss (siehe Abbildung 5.11 e) ausgeführt werden. Auf diesem Bezugsdreieck steht ein Bezugsbuchstabe im quadratischen Rahmen. Die für Geometrielemente geltenden Regeln können sinngemäß auch auf Bezugselemente übertragen werden. Hierzu gehört insbesondere die Eingrenzung von Fertigungsabweichungen durch Geometrietoleranzen.

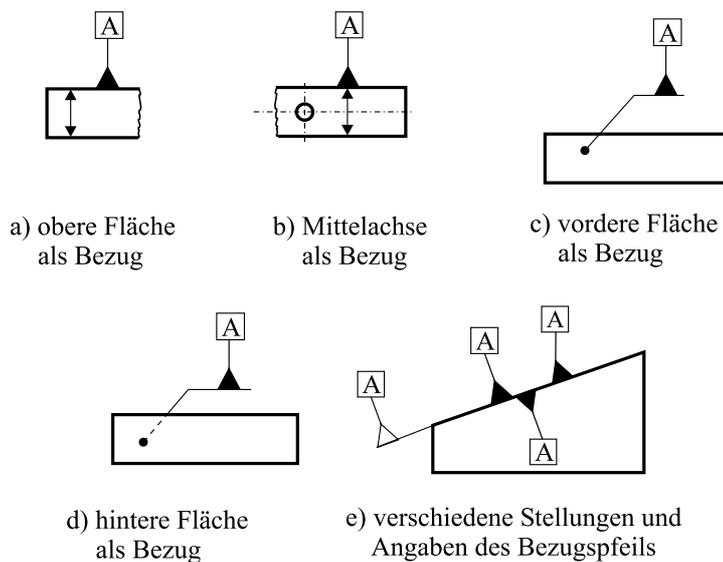


Abb. 5.11: Kennzeichnung eines Bezugselementes nach ISO 5459
(bei e) als sichtbare oder unsichtbare Stirnfläche)

Für Bezüge gilt ebenso wie für Geometrielemente (siehe Abbildung 5.3 auf S. 19):

- Steht das Bezugsdreieck auf dem Maßpfeil, so ist das Bezugselement ein abgeleitetes, d.h. eine Achse oder Mittelebene ist Bezug.
- Bei realen Bezugselementen steht das Bezugsdreieck mindestens 4mm vom Maßpfeil entfernt.

Es ist zwar zulässig, das Bezugsdreieck direkt auf eine Achse oder Mittelebene zu setzen, dies ist aber im Neuentwurf der ISO 1101 nicht mehr vorgesehen und deshalb (auch aus Gründen der Interpretierbarkeit) zu vermeiden.

Die Problematik des Bezuges ist auch überlagert von der Referenzbildung (siehe DIN E 7170 bzw. ISO 16570 für Referenzflächen und ISO 129 für Ursprungssymbole), welche für Stufen-¹, Abstands- und Winkelmaße außerhalb der ISO 1101 einzuführen ist. Referenzen werden weiter benötigt, um von Kanten ausgehende Lochbilder zu vermaßen.

5.4.1 Mehrere Bezugselemente

Soll ein einzelner Bezug aus mehreren gleichberechtigten Elementen (so genannter gemeinsamer Bezug) gebildet werden, so ist für jedes Element ein Bezugsdreieck mit eigenem Buchstaben zu verwenden. Eine Eintragung *GTZ*, *CZ* o.Ä. wie bei den Toleranzen ist seitens der Normung *nicht* vereinbart.

Beispiel: Lauftolerierung eines Lagersitzes

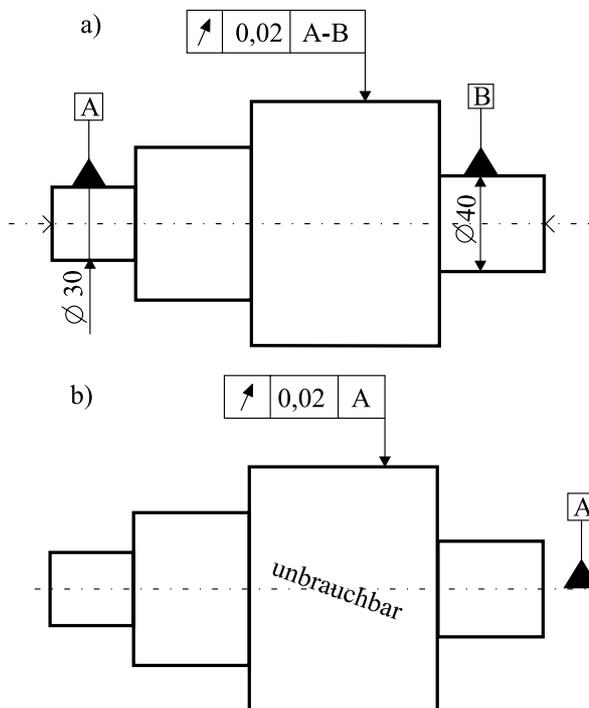


Abb. 5.12: Gemeinsame Bezugsbildung zur Lauftolerierung eines Nabensitzes (Aufnahme zwischen den Spitzen ist angedeutet.)

¹ Anm.: Ein Stufenmaß ist definiert als Abstand zwischen einer Bezugsfläche und einem gegenüberliegenden Punkt auf einer Fläche.

Wird der Bezug z.B. aus den Buchstaben **A** und **B** gebildet, heißt er gemeinsamer Bezug **A-B**. Dies ist z.B. bei Nabensitzen notwendig, die eine bestimmte Ausrichtung zu den Lagerstellen benötigen. Der in Abbildung 5.12 verlangte gemeinsame Bezug kann entweder durch umschließende Aufnahmen mithilfe von *Prüfprismen* oder zwischen *zwei coaxialen Spitzen* dargestellt bzw. ausgeführt werden. Nach Norm sind beide Möglichkeiten zulässig.

Die Angabe in **Version b)** ist zwar erlaubt, aber unbrauchbar, da man aus dieser Angabe nicht entnehmen kann, wo die Welle zur Messung des Rundlaufs gelagert werden soll. Es ist somit nicht klar erkennbar, wie der Bezug zu bilden ist.

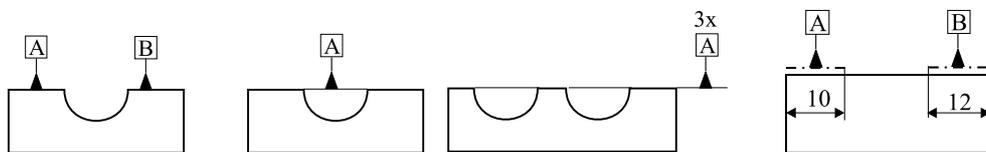
Die Angabe in **Version a)** gibt hingegen eindeutig an, dass für die Welle zur Messung des Rundlaufs [ABE 90a] ein gemeinsamer Bezug aus den Lagersitzen zu bilden ist. Beim angegebenen einfachen Lauf ist je Messung nur eine Umdrehung der Welle erforderlich, welche recht gut über die Spitzen eingeleitet werden kann. Wird hingegen der Gesamtlauf gefordert, so muss eine permanente Rotation eingeleitet werden, welche besser über die Lagerspritzten erfolgen kann.

5.4.2 Bezug aus mehreren Bezugsflächen

Wenn eine Bezugsebene aus mehreren einzelnen Flächen zu bilden ist, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Zeichnungseintragung, und zwar über:

- Einzelne Kennbuchstaben** für jede Einzelfläche: Im Toleranzrahmen bedeutet dies oft einen *gemeinsamen* Bezug.
- Kennbuchstabe auf einer Maßhilfslinie**: Dies kann zu Unklarheiten führen und ist deshalb nur sinnvoll, wenn die Situation völlig eindeutig ist. Das Bezugsdreieck muss z.B. wie in Abbildung 5.13 zwischen den beiden Bezugselementen stehen. Klarheit schafft die Angabe der Anzahl der Bezugsflächen.
- Bemaßte Einzelflächen** mit **dicker Strichpunktlinie** und Einzelbuchstaben: Dies entspricht dem Vorgehen für eingeschränkte Toleranzzonen (siehe dazu auch Kapitel 5.3.3). Angewendet wird dies, wenn die Flächen durch Bearbeitung entstehen.
- Bezugsstellenangaben**: Die Angabe von einzelnen Bezugsstellen wird nachfolgend beschrieben; dies kommt vor allem bei Gussteilen vor.

Eine Kurzübersicht über die vorstehenden Festlegungen gibt Abbildung 5.13.



a) einzelne Kennbuchstaben b) Kennbuchstabe auf einer Maßhilfslinie c) bemaßte Einzelflächen

Abb. 5.13: Möglichkeiten zur Angabe von Bezugsflächen bei spanender Bearbeitung an Bauteilen

Die Bezüge gelten immer über die ganze Ausdehnung (hier Tiefenausdehnung) eines Formelementes, insofern handelt es sich eigentlich um Bezugsflächen. Bei der Prüfung darf das Bezugselement nie mit dem tolerierten Element vertauscht werden.

5.4.3 Bezugsstellenangabe

Bei ur- oder umgeformten Bauteilen können die Bezüge teils beträchtlich von ihrer idealen Form abweichen, deshalb kann die Festlegung einer Gesamtfläche als Bezug zu erheblichen Abweichungen und mangelnder Reproduzierbarkeit führen. Sinnvoll ist daher eine Begrenzung auf Bezugsstellen (siehe ISO 5459). Gewöhnlich ist dies bei Schmiede-, Guss- oder großen Blechumformteilen notwendig, die unbearbeitete Flächen haben.



Leitregel 5.2:
Bezugsstellenangabe / 3-2-1-Regel

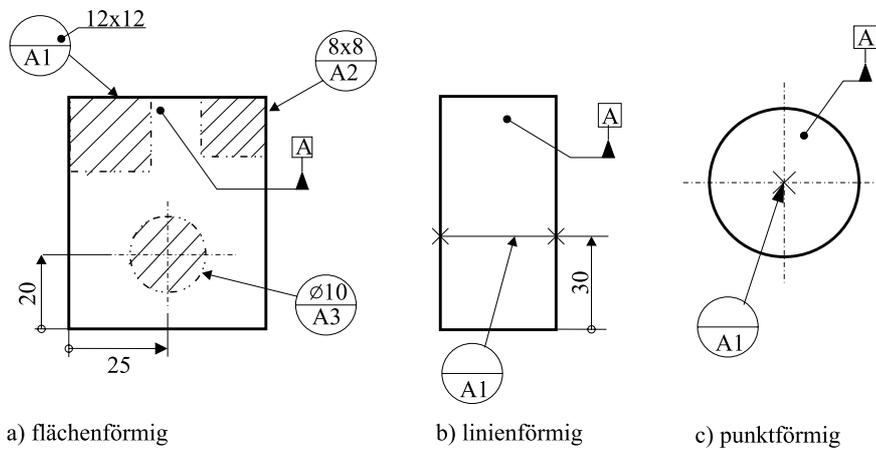
Bezugsstellen auf einer Bezugsfläche:
Wenn die Bezugsflächen an einem Bauteil im Vergleich zu den sonstigen Geometrietoleranzen relativ große Formabweichungen aufweisen und diese nicht eingengt werden sollen, so können Bezugsstellen (nach ISO 5459) angegeben werden. Somit müssen festgelegt werden:

- am primären Bezugselement = 3 Bezugsstellen,
- am sekundären Bezugselement = 2 Bezugsstellen,
- am tertiären Bezugselement = 1 Bezugsstelle.

Es gibt drei Arten von Bezugsstellen:

- a) **flächige Bezugsstellen:** Eingezeichnet mit einer schraffierten Fläche, die von einer Zweipunkt-Strichlinie umrandet ist.
Beispiel: Auf der Stirnfläche eines volumenhaften Teils.
- b) **linienförmige Bezugsstellen:** Dargestellt durch eine schmale Volllinie zwischen zwei Kreuzen.
Beispiel: An einer gewölbten Fläche.
- c) **punktförmige Bezugsstellen:** Gekennzeichnet als Kreuz.
Beispiel: Punkt auf der Oberfläche einer Halbkugel.

In Zeichnungen werden Bezugsquellen durch einen kreisförmigen Rahmen hervorgehoben, der eine waagerechte Teilungslinie hat. Festgelegt ist: In der unteren Hälfte hat der Bezugsbuchstabe zu stehen und in der oberen Hälfte sind Angaben zur Größe der Bezugsstelle zu machen. Falls der Platz für die Bezugsstellenangabe nicht reicht, können auch Angaben außerhalb des Feldes gemacht werden.



a) flächenförmig

b) linienförmig

c) punktförmig

Abb. 5.14: Verschiedene Möglichkeiten für Bezugsstellenangaben
(Anm.: Bei a) und b) ist das Ursprungssymbol bei der Bemaßung benutzt worden (s. ISO 129).)

5.4.4 Bezug über Formelementgruppen

Für den Anschluss von weiteren Bauteilen kann es notwendig sein, dass eine bestimmte Ausrichtung an einem Bauteil hergestellt werden muss. Dies kann außer über Kanten auch über die Achse eines Formelements bzw. die Achsen ausgewählter Formelemente erfolgen. Beispielsweise ist in folgender Abbildung 5.15 ein Schließblech eines Schlosses gezeigt. Als notwendiger weiterer Bezug wird hier eine Lochgruppe ausgewählt, die wiederum Bezug für eine andere Lochgruppe ist.

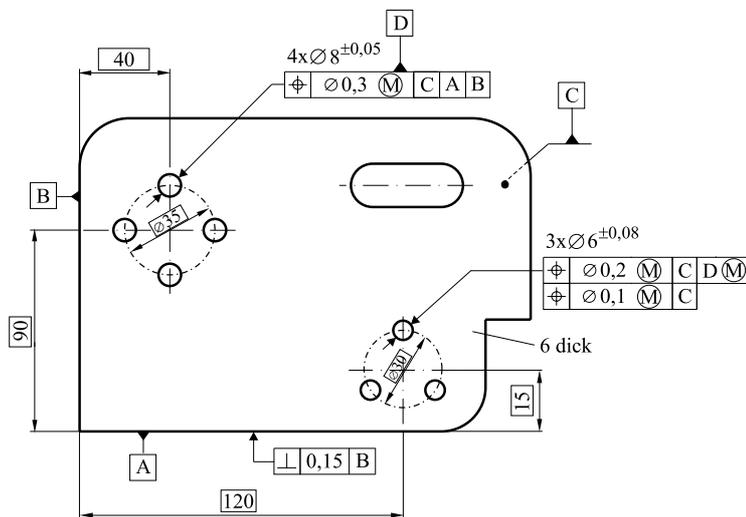


Abb. 5.15: 3-D-Bezug an einem Bauteil unter Einbezug einer Formelementgruppe

Mit den drei rechtwinkligen Bezügen und dem Ausrichtbezug ist dann eine eindeutige räumliche Positionierung für die funktionelle Wirkung der Verriegelung des Bauteils gegeben. Die Funktionsprüfung ist mit einer einfachen festen Lehre möglich.

5.4.5 Zylindrische Bezugselemente

In der Praxis müssen Bezüge oft über zylindrische Geometrielemente gebildet werden. Die ISO 5459 sagt über diesen wichtigen Fall nichts aus, demgegenüber geht die amerikanische ASME Y14.5M auf diesen Sonderfall ausführlich ein. Da diese Interpretation sehr praktikabel ist, soll sie hier auch übernommen werden.

Bei zylindrischen Geometrielementen sollte die Bezugsbildung über die Mittelebenen erfolgen und nicht über die Mittellinien (welches in der Praxis oft gemacht wird). Die Mittelebenen sind zwei theoretische Ebenen, die sich auf der Bezugsachse rechtwinklig schneiden.

Der Bezug einer Zylinderfläche ist somit die Achse des geometrisch genauen Gegenstücks des Bezugselementes und wird über die Achse eines Zylinders in der Fertigungsvorrichtung simuliert. Diese Achse ist auch Fixpunkt für die Messungen.

Ein Beispiel hierfür gibt Abbildung 5.16. Es handelt sich um eine Mitnehmerscheibe für eine Kupplung, die später exakt zu einer anderen Mitnehmerscheibe ausgerichtet werden muss. Maßgebend dafür ist die Rechtwinkligkeit der vier Bohrungen zu den Stirnflächen bzw. zur Mittelachse. Falls diese Ausrichtung nicht gegeben ist, entstehen im Lauf unnötige Geräusche.

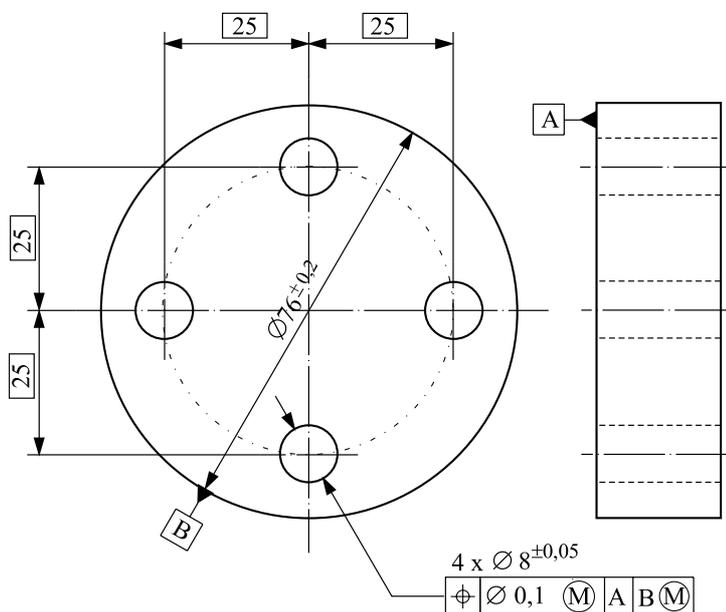


Abb. 5.16: Bauteil mit zylindrischem Bezugselement

Der gewählte primäre Bezug A sorgt für eine ebene Auflage auf einer Messfläche, während das sekundäre Bezugselement B zylindrisch ist und daher mit zwei theoretischen Ebenen verbunden ist, womit eine Drei-Ebenen-Beziehung (siehe Abbildung 5.17) aufgebaut wird. Messtechnisch lässt sich dies über eine Koordinatenmessmaschine recht einfach abbilden.

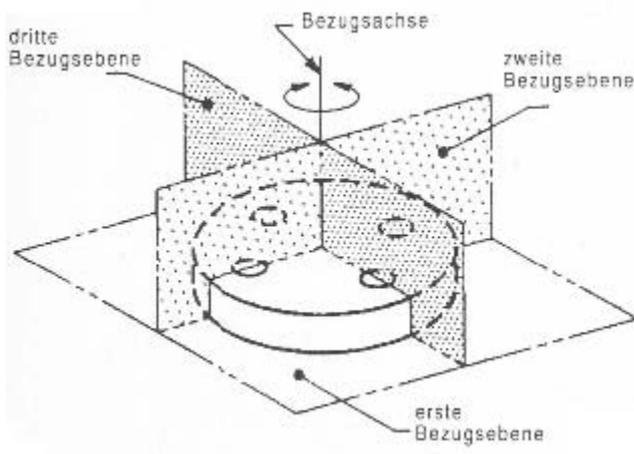


Abb. 5.17: Bezugsebenen am Bauteil nach [ASM 98]

In der Zeichnung repräsentieren die senkrecht aufeinander stehenden Mittellinien diese Bezugsebenen. Der Schnitt dieser Ebenen fällt mit der Bezugsachse zusammen. Die Bezugsachse ist der Ursprung für alle bezogenen Maße, während die Bezugsebenen die Messrichtung festlegen.

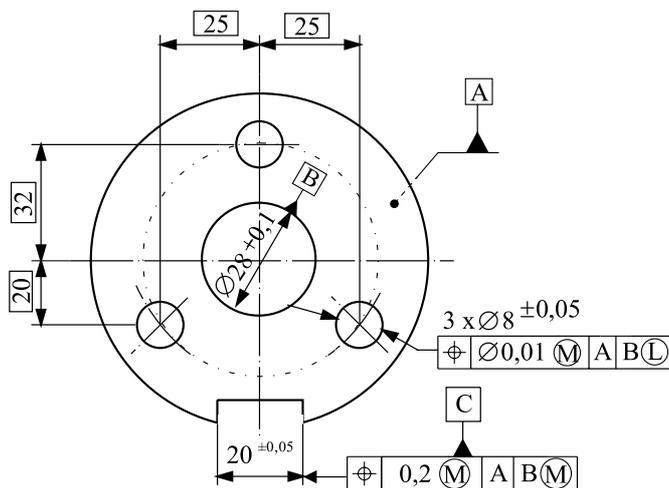


Abb. 5.18: Bauteil mit Ausrichtung der Bezüge

Im vorliegenden Fall sind die zwei Ebenen des Bezugssystems in Umfangsrichtung nicht festgelegt, da die Lage der Lochgruppe um die Bezugsachse keinen Einfluss auf die Funktionalität hat. Insofern reichen die angegebenen Bezüge aus.

Falls für die Funktion des Werkstücks eine bestimmte Ausrichtung erforderlich ist, muss noch ein tertiärer Bezug festgelegt werden. Ein Beispiel hierfür gibt Abbildung 5.18.

Durch die Einführung eines Bezuges durch C liegt jetzt das räumliche Bezugssystem eindeutig über die Nutmitte fest. Die Bezüge A und B sind wie vorher zu interpretieren.

5.4.6 Lageelemente von Bezügen

Bisher ist in der ISO 1101 auch die Kennzeichnung von Bezügen enthalten. Mit der Neufassung der ISO 5459 wird der Gesamtkomplex Bezüge neu geordnet und zusammengefasst. Wegen neuer Messmöglichkeiten liegt der Schwerpunkt auf der Präzisierung der Angaben.

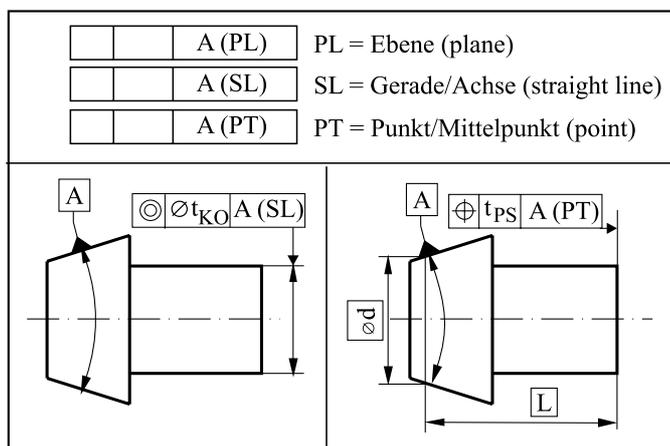


Abb. 5.19: Vereinbarung von Lageelementen bei Bezügen

Neu ist insbesondere die Charakterisierung von Oberflächen durch Lageelemente. Diese sind theoretisch exakte Geometrielemente, (Punkt, Gerade/Achse, Ebene etc.) von denen die Richtung und/oder der Ort festgelegt werden können. Mit einer Bezugsangabe wird somit auch das oder die Lageelemente der Bezugsfläche festgelegt. Beispielsweise ist eine ebene Oberfläche durch das Lageelement *Ebene* oder eine zylindrische Oberfläche durch das Lageelement *Gerade* bestimmt. Darüber hinaus gibt es Geometrien, die durch mehrere Lageelemente (Punkt, Gerade, Ebene) charakterisiert sind. Bei einem Kegel besteht der Bezug aus zwei Lageelementen (Gerade/Achse und Scheitelpunkt). Werden beide Lageelemente für den Bezug benötigt, so erfolgt die Bezugsangabe in bekannter Weise. Wird hingegen nur ein Lageelement benötigt, so sind ergänzende Angaben wie in obiger Abbildung 5.19 zu vereinbaren.