

1 Grundlagen des Tolerierens

***Für Leserinnen und Leser:** Das 1. Kapitel hilft Ihnen in anschaulicher Weise, einen Einstieg in das Gebiet des Tolerierens zu finden, sei es als Fundament für die tausend Einzelheiten, die in den Kapiteln 2 bis 4 für die tägliche Arbeit enthalten sind, sei es zur Orientierung für Führungskräfte ebenso wie für Neulinge oder Neugierige. In Kap. 1.1 erfahren Sie, dass die meisten technischen Zeichnungen weder vollständig noch eindeutig sind – ein unhaltbarer Zustand für das Qualitätsmanagement. Was alles die Tolerierung beeinflusst und wesentliche Begriffe dazu stehen in Kap. 1.2. Kap. 1.3 befasst sich mit Maßtoleranzen, der Urform des Tolerierens, und baut mit den Passungen in Kap. 1.3.4 Brücken sowohl zur Zusammenarbeit zwischen Konstruktion, Fertigung und Prüfung als auch zum Verständnis des Tolerierungsgrundsatzes in Kap. 1.4, der in der Praxis immer noch häufig im Dunkel der Unkenntnis liegt. Wenn es Ihnen vornehmlich um die Übersicht geht, sollten Sie mindestens die Kap. 1.1, 1.2, 1.3.4 und 1.4 lesen. Kap. 1.5 erläutert Ihnen dann in möglichst greifbarer Weise den Aufbau der Form- und Lagetolerierung, während Kap. 1.6 darlegt, wie die Toleranzen einzutragen sind, damit eine eindeutige Zeichnung entsteht.*

1.1 Probleme bei der technischen Darstellung von Bauteilen

Aufgaben der Zeichnungsdarstellung: Ein technisches Bauteil (Werkstück) entsteht in der Vorstellung des Konstrukteurs. Er fertigt davon eine technische Darstellung an in Form einer Skizze, eines rechnerinternen Modells mit Bildschirmdarstellung o.Ä. Damit ein anderer das Werkstück fertigen kann, muss die Darstellung sein:

- *vollständig*, d. h., sie muss alle wesentlichen Eigenschaften festlegen, und
- *eindeutig*, d. h., sie darf keine unterschiedlichen Auslegungen zulassen.

Heute wird dazu allgemein (noch) die technische Zeichnung verwendet, obwohl die Umsetzung der geometrischen Eigenschaften in eine Bemaßung und Tolerierung sowie deren Rückübertragung in die Geometrie des realen Werkstücks in gewisser Weise als „Umweg“ anzusehen sind. Das soll hier jedoch nicht weiter diskutiert werden.

Die Darstellung muss allen technischen und wirtschaftlichen Anforderungen genügen, d. h., sie muss insbesondere sein:

- *funktionsgerecht* (das ist die wichtigste Anforderung),
- *fertigungsgerecht* (das betrifft vor allem die kostengünstige Herstellung) und
- *prüfgerecht* (das bezieht sich auf das Qualitätswesen).

Eine Zeichnung, die diesen Anforderungen nicht entspricht, kostet in der Fertigung und im Qualitätsmanagement unnötig Zeit und Geld, d. h., sie ist unzureichend.

Vollständigkeit und Eindeutigkeit: Eine Zeichnung, die die Voraussetzungen „vollständig“ und „eindeutig“ nicht erfüllt, ist als Grundlage für die Fertigung und Qualitätssicherung unbrauchbar, insbesondere heute unter den steigenden Anforderungen an die Qualität und den rechtlichen Folgen aus der Produkthaftung. Eigene Untersuchungen in zahlreichen Industriebetrieben [Süt 95] haben ergeben, dass etwa 80% aller Zeichnungen nicht vollständig und eindeutig sind. Die folgenden Bilder verdeutlichen das anhand von zwei Werkstücken, die zwar in den Einzelheiten stark vereinfacht sind, aber dadurch die Problematik um so deutlicher herausstellen.

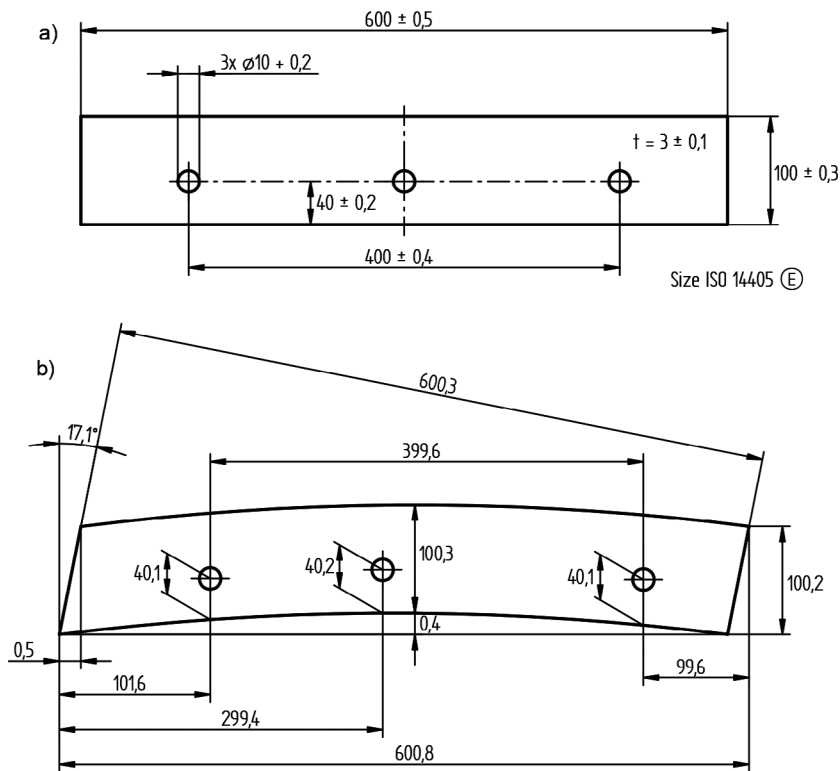


Bild 1.1: a) Zeichnung einer Schalterblende (stark vereinfacht); b) reales Werkstück mit Istmaßen (Abweichungen überhöht dargestellt)

Beispiel „Schalterblende“: Häufig enthielten und enthalten technische Zeichnungen im Wesentlichen nur *Maßangaben*. Die Bemaßung und Tolerierung wirkt auf den ersten Blick oft vollständig und eindeutig, ist es aber nicht. *Bild 1.1* stellt die Schalterblende einer Ma-

schine dar, d. h. eine dünne Kunststoffplatte, die in eine entsprechende Trägerplatte eingearastet wird. Bild 1.1 a enthält scheinbar alle zur Erläuterung notwendigen Zeichnungsangaben. Alle Toleranzen sind hier einzeln eingetragen; Allgemeintoleranzen sollen nicht existieren. Werkstoff- und Oberflächenangaben sind weggelassen.

Bild 1.1 b gibt ein reales Werkstück mit Istmaßen wieder; die Abweichungen sind überhöht dargestellt. Der Vergleich mit den Zeichnungsangaben ergibt Folgendes:

- Alle Abweichungen sind zulässig bis auf eine einzige.
- Die in der Mitte gemessene Gesamthöhe von 100,3 mm zuzüglich 0,4 mm = 100,7 mm ist nicht zulässig. Hier wird die Hüllbedingung verletzt. Sie ist gültig, weil auf der Zeichnung „Size ISO 14405 $\text{\textcircled{C}}$ “ steht.
- Die Länge von 600,8 mm ist zulässig. Das Maß $600 \pm 0,5$ mm bezieht sich auf den Abstand der beiden Seitenkanten voneinander, die hier ein lineares Größenmaßelement bilden (s. Kap. 1.3); der beträgt 600,3 mm und hat nichts zu tun mit der Richtung der unteren Längskante.
- Der Abstand der beiden Löcher von 399,6 mm ist in Ordnung, obwohl für den Abstand von Bohrungen streng genommen kein Maß verwendet werden darf (s. Kap. 1.3). Der Versatz des Lochbildes um 1 mm aus der Mitte (Maße 101,6 und 99,6 mm) ist zulässig, da er überhaupt nicht toleriert ist. Hier fehlt eine Symmetrietoleranz.
- Generell ist die Lage der Bohrungen das Problem. Sie kann und darf nach ISO 14405 aufgrund der Mehrdeutigkeit grundsätzlich nicht mit Maßen definiert werden. Ein Maß ist ein Abstand zweier gegenüberliegender Punkte an einem Größenmaßelement.
- Insofern erscheint der Abstand der Bohrungen von der gebogenen unteren Kante (40,1 bzw. 40,2 mm) zulässig. Denn in keinem Fall wird der Abstand so wie es die Funktion meist fordert von einem anliegenden Lineal o. Ä. aus gemessen (Krümmung 0,4 mm). Tatsächlich ist aber auch die Messung des „Maßes“ von einem Punkt auf der Kante zum Mittelpunkt der Bohrung nicht zulässig. Es ist nämlich nicht klar, wo der Punkt auf der Kante liegen soll und es handelt sich hier nicht um ein Größenmaßelement. Die Maße 40 und 400 sind keine Größenmaße.

Wenn Ihnen die obigen Aussagen suspekt erscheinen, dann lohnt es sich für Sie, dieses Buch weiterzulesen. (Die gleiche Platte mit korrekter Tolerierung finden Sie in Kap. 5.4, Bild 5.21.)

Beispiel „Lochplatte“: Eine Sonderwerkzeugmaschine zur Fertigung des Werkstücks in *Bild 1.2 a* (nach [Jor 91a]) war der Anlass zu einem jahrelangen Rechtsstreit zwischen dem Abnehmer und dem Hersteller der Maschine. Das quaderähnliche Werkstück wurde ebenfalls stark vereinfacht; die auf der Zeichnung angeführten Allgemeintoleranzen sind zusätzlich (explizit) eingetragen. Das Bauteil wird zur Bearbeitung auf der rechten Seitenfläche aufgespannt und legt sich dabei mit der unteren Fläche in der Vorrichtung an. Das Problem reduziert sich hier auf die Frage, wie weit die Lage der Bohrungen von der unteren Fläche abweichen darf. Sie lässt sich nicht beantworten, weil die Zeichnung unvollständig ist:

- Teilweise besteht in der Praxis die Vorstellung, man könne die Maßtoleranzen der drei symmetrisch liegenden Maße einfach halbieren und auf die Mitte beziehen, Bild 1.2 b, sodass jede Bohrung und auch die Außenflächen jeweils eine Toleranzzone von $\pm 0,15$ mm relativ zur Mittelebene hätten. Diese Vorstellung ist falsch. Auch wenn die Abstandstoleranz der Löcher bzw. der Flächen voll ausgeschöpft wird, kann ein Mittenversatz auftreten. Hier fehlt wiederum die Symmetrietoleranz.

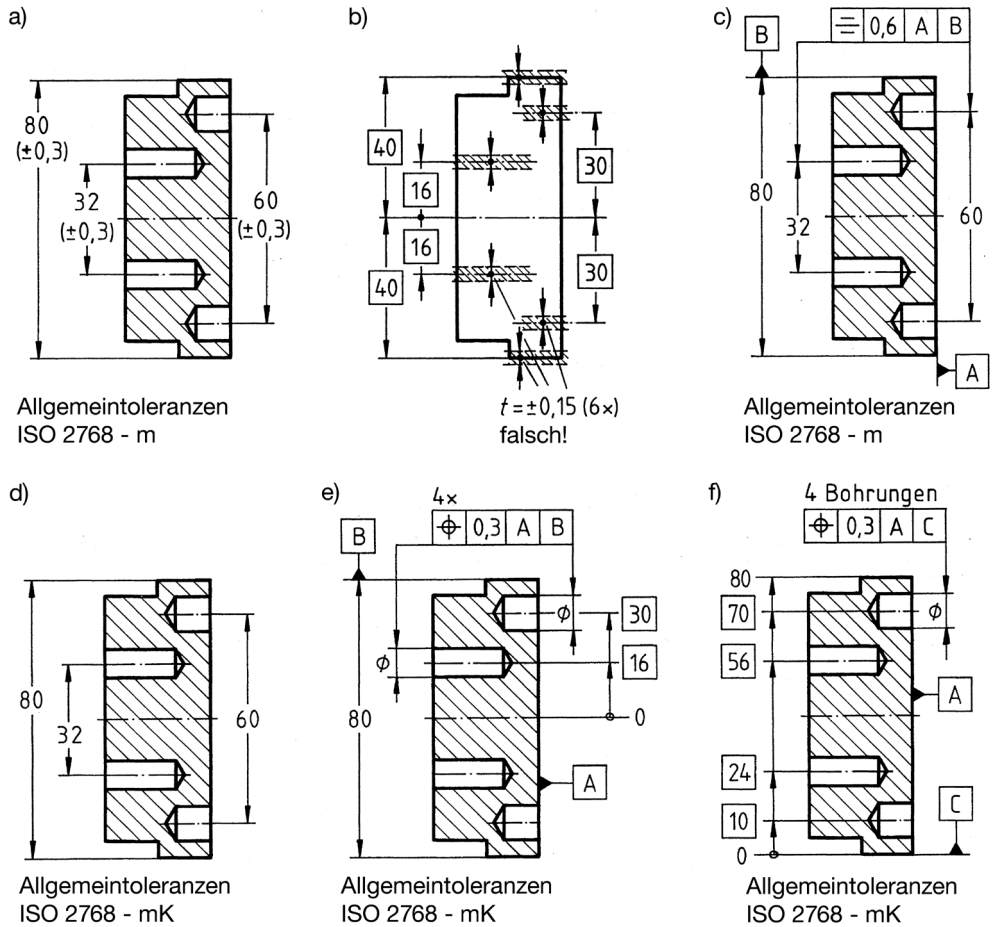


Bild 1.2: Zusammenhang von Maßtoleranzen und Lageabweichungen. a) unvollständige Angaben; b) falsche Toleranzvorstellung zu a; c) zusätzliche Symmetrietolerierung; d) vollständige Allgemeintoleranzangabe; e) Positionstolerierung ähnlich der Vorstellung von b; f) Positionstolerierung entsprechend der Werkstückeinspannung

- Die Symmetrietoleranz lässt sich einführen entweder als Einzelangabe, Bild 1.2 c, wobei die rechte Auflagefläche A und die Mittelebene B als Bezüge dienen (s. Kap. 2.3.4), oder durch eine vollständige Allgemeintoleranzangabe mit dem 2. Kennbuchstaben (hier K) für Form- und Lage-Allgemeintoleranzen (s. Kap. 3.2), Bild 1.2 d.
- Wenn man dagegen die Toleranzzonen etwa so wie bei b jeweils von der Mittelebene ausgehend festlegen will, so ist eine Positionstolerierung der einzelnen Löcher nach Bild 1.2 e erforderlich.
- Der beschriebenen Aufnahme des Werkstücks in der Bearbeitungsvorrichtung würde jedoch eher eine Positionstolerierung mit Bezug auf die rechte Auflagefläche A und die untere Fläche C entsprechen, Bild 1.2 f. Die Mittelebene spielt hierbei keine Rolle.

Das Beispiel soll hier nicht mit allen Einzelheiten diskutiert werden. Es dient, wie das vorige, vor allem dazu, das Bewusstsein für die Problematik zu wecken:

1-1 Vollständigkeit und Eindeutigkeit: Eine technische Einzelteilzeichnung muss ein Werkstück vollständig und eindeutig beschreiben. Ohne Form- und Lagetoleranzen ist das nicht möglich.

Weitere Praxisbeispiele: Die Gültigkeit und Bedeutung der Leitregel 1-1 wird durch zahlreiche Fälle aus der Praxis belegt. Dazu hier nur zwei weitere Beispiele:

- Ein Großauftrag für 4000 Ventile mit entsprechendem Preisdruck führte dazu, dass sich ein Betrieb mit den gleichen Zeichnungen eine kostengünstigere Gießerei für die Ventilgehäuse suchte. Bald nach der Auslieferung waren alle Ventile wieder zurück wegen mangelnder Dichtigkeit zwischen den Gummidichtelementen und den entsprechenden unbearbeiteten Gussflächen, obwohl die Gehäuse die Zeichnungsanforderungen erfüllten.
- Immer wieder finden sich in der Praxis Aussagen wie: „Wenn wir die Teile im *eigenen* Hause fertigen, dann passen sie. Lassen wir sie nach denselben Zeichnungen *auswärts* fertigen, dann passen sie nicht.“

Das verwundert nicht, wenn die Zeichnungen nicht vollständig und eindeutig sind. Darin zeigt sich die unabdingbare Notwendigkeit, Zeichnungsunterlagen zu schaffen, die den Anforderungen aus der technisch-wirtschaftlichen Verflechtung, aus Qualitätsanforderungen und aus Produkthaftungsansprüchen genügen. Dieses Buch will dazu die Grundlagen liefern.

1.2 Einflussgrößen auf die Toleranzfestlegung

1.2.1 Gestaltabweichungen und ihre Grenzen

Gestaltabweichungen: Wenn ein Konstrukteur ein Werkstück zeichnet oder wenn ein CAD-System es als rechnerinterne Darstellung abspeichert, so gehen beide von einer *geometrisch idealen Gestalt* oder *Nenngestalt* aus. Eine Idealform besteht jedoch nur im Bereich des Geistes bzw. der Information (CAD-Modell). Bei der materiellen Fertigung entstehen immer *Abweichungen* zwischen der *Istgestalt* und der vorgestellten idealen Gestalt. Die Abweichungen können sich auf die folgenden Gestalteigenschaften beziehen, die Bild 1.3 am Beispiel einer Bohrung erläutert:

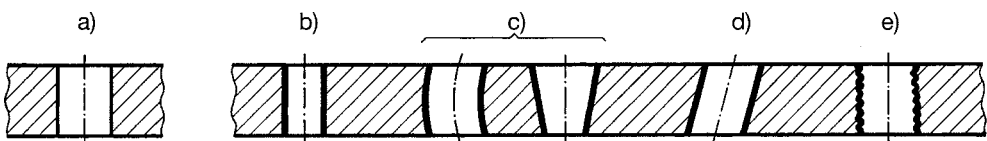


Bild 1.3: Gestaltabweichungen. a) Nenngestalt; Abweichungen von b) Maß, c) Form, d) Lage, e) Oberfläche

- a) **Nenngestalt:** Sie entspricht der idealen Vorstellung.
- b) **Maß** (Größe): Die Bohrung kann zu klein oder zu groß sein.
- c) **Form:** Das Loch kann z. B. krumm (verzogen) sein. Auch wenn das Maß, d. h. der Abstand von jeweils zwei gegenüberliegenden Punkten, stimmt, ist die Funktion der Bohrung nicht gewährleistet. Bei einer konischen Bohrung besteht dagegen ein zwangsläufiger Zusammenhang zwischen Maß und Form.
- d) **Lage:** Die Bohrung kann z. B. schief oder an der falschen Stelle sitzen. Lageabweichungen werden von Maßtoleranzen nur teilweise eingeschränkt (vergleiche Symmetrieabweichungen in Bild 1.1 und Bild 1.2).
- e) **Oberfläche:** Die Oberfläche des Lochs kann z. B. rau oder riefig sein. Diese Abweichungen zählen zur *Feingestalt*, die unter b bis d genannten zur *Grobgestalt*. Die Grobgestalt wird über die Spitzen der Rauheit gemessen und daher in diesem Buch überwiegend behandelt. Die Feingestalt kann aber die Messergebnisse beeinflussen; sie wird daher in Kap. 4.6 kurz betrachtet.

Entstehung von Gestaltabweichungen: Form- und Lageabweichungen haben oft andere Ursachen als Maßabweichungen. Bei spanender Fertigung geht z. B. die Einhaltung einer Maßtoleranz meist unmittelbar auf den Bediener (Dreher) oder den Einrichter der Maschine zurück, während Form- und Lageabweichungen maschinen- bzw. prozessbedingt und daher nur mittelbar zu beeinflussen sind. Beispielsweise hängt die Rundheitsabweichung des Drehteils in *Bild 1.4a* von der Lagerung der Maschinenspindel ab, während die Geradheitsabweichung auf der elastischen Verformung des Werkstücks infolge der Zerspanungsbedingungen beruht; die Koaxialitäts- bzw. Laufabweichung bei b) folgt aus der Ungenauigkeit des Spannfutters. Natürlich gibt es noch zahlreiche andere Ursachen (z. B. Verzug oder Einfallen von Spritzgussteilen).

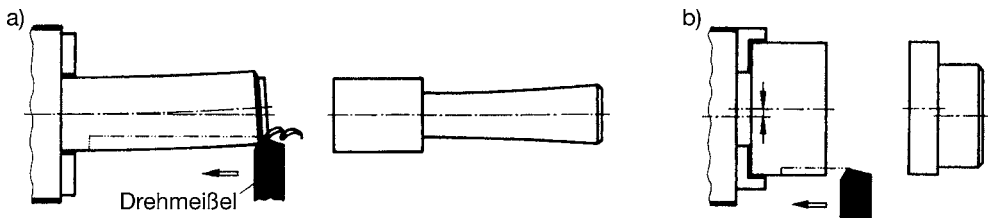


Bild 1.4: Beispiele für die Entstehung von a) Formabweichungen (Geradheit, Zylindrizität), b) Lageabweichungen (Koaxialität, Rundlauf)

Gestalt und Funktion: Jedes Bauteil (das kann ein Werkstück sein, eine Baugruppe, ein Aggregat o. Ä.) hat bestimmte Funktionen zu erfüllen; dafür wird es hergestellt. Die Funktion verlangt in der Regel den Kontakt mit benachbarten Bauteilen, allgemein im Sinne einer *Paarung* (z. B. Einlegen oder Verkleben) oder speziell als *Passung* (z. B. ein Gleitstein in einer Nut).

Die geometrische Funktionsfähigkeit im Sinne der Paarungsfähigkeit wird meist durch das Zusammenwirken mehrerer Arten von Abweichungen bestimmt. Ob beispielsweise ein Mitnehmerbolzen (*Bild 1.5*, hier in geometrisch idealer Form und Lage vorgestellt)

in eine zugehörige Bohrung passt, hängt vom *Maß*, von der *Form* und von der *Lage* der Bohrung ab. Der für die Funktion erforderliche Kontakt eines Bauteils zu den benachbarten Teilen wie auch alle Messungen der Bauteilgestalt erfolgen über die *Oberfläche*. Daher müssen auch Oberflächenabweichungen in die Betrachtung einbezogen werden (s. Kap. 4.6).

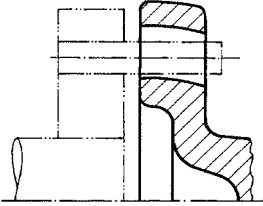


Bild 1.5: Geometrische Funktion einer Bohrung bei der Paarung mit einem (geometrisch idealen) Mitnehmerbolzen

Toleranzbegriffe: Weil Abweichungen unvermeidlich sind, müssen wir für alle Eigenschaften eines Werkstücks Grenzen angeben, innerhalb derer die Abweichungen liegen dürfen. Die dazu notwendigen Begriffe sind z. T. in DIN EN ISO 286 festgelegt. Falls sie noch ungewohnt sind, stellen wir sie den bei uns bislang gebräuchlichen Bezeichnungen (gekennzeichnet durch „früher“) gegenüber. Manchmal lässt es sich nicht vermeiden, noch ein paar zusätzliche Begriffe zu verwenden; die werden entsprechend erläutert. Die wichtigsten Begriffe sind:

- **Grenzabweichungen** (früher „zulässige Abweichungen“) sind die Grenzen, innerhalb derer Abweichungen zulässig sind, d. h. die größten zulässigen Abweichungen. Sie legen das „Soll“ fest; der Wortteil „Grenz-“ macht das deutlich. Bei Form- und Lagetoleranzen ist der Name „Grenzabweichungen“ nicht genormt und wurde nicht verwendet. Das kann jedoch zu Mißverständnissen führen. Daher haben wir diesen Begriff hier eingeführt [Jor 92] und benutzen ihn konsequent in diesem Buch. DIN EN ISO 286 behandelt nur Maße und verwendet daher den Begriff „Grenzabmaße“ für die Grenzabweichungen von den Nennmaßen.
- **Toleranz T** ist der Bereich zwischen den Grenzabweichungen; letztere zählen noch dazu.
- **Abweichung f** ist die Differenz zwischen dem Istwert (z. B. einem gemessenen Istmaß am Werkstück) und seinem Nennwert bzw. idealen Sollwert:

$$f = \text{Istwert} - \text{Nennwert} \quad (1.1)$$

- **Zulässige Abweichung** ist jede vorhandene Abweichung, die innerhalb der Grenzabweichungen, d. h. innerhalb der Toleranz liegt; sie stellt einen Istwert dar.
- **Fehler** ist eine vorhandene Abweichung, die eine Grenzabweichung überschreitet.

Aufgrund dieser Definitionen muss man z. B. vom „Abweichungsfortpflanzungsgesetz“ statt vom „Fehlerfortpflanzungsgesetz“ sprechen. Aus den obigen Festlegungen und den Erörterungen in Kap. 1.1 folgt:

1-2 Vollständige Grenzangaben: Alle Gestalteigenschaften (Maß, Form, Lage, Oberfläche) müssen vollständig und eindeutig eingegrenzt, d.h. toleriert sein. Das kann geschehen durch

- *Einzeltoleranzen* (meist für funktionswichtige Formelemente) oder
- *Allgemeintoleranzen* (für alle anderen Elemente, s. Kap. 3).

Bei konsequenter Anwendung dieser Leitregel lassen sich funktionswichtige Formelemente auf der Zeichnung anhand der einzeln eingetragenen Toleranzen, insbesondere Form- und Lagetoleranzen, unmittelbar erkennen. Sinngemäß ist Regel 1-2 auch für alle anderen Werkstückeigenschaften wie Werkstoff, Härte, Farbe usw. anzuwenden [Jor 91b]. Für die *Prüfung* gilt generell:

1-3 Toleranzüberprüfung: Eine tolerierte Werkstückeigenschaft hält die Toleranz ein, wenn die vorhandene Abweichung (Istabweichung) die Grenzabweichung(en) nicht überschreitet.

1.2.2 Aufgaben und Bedingungen für Toleranzen

Bedeutung: Die Festlegung von Toleranzen ist nötig zur Erfüllung der in *Bild 1.6* skizzierten und in den Regeln 1-4 bis 1-7 zusammengefassten Aufgaben und Bedingungen.

Größtmögliche Toleranzen: Sind die Abweichungen zu groß, so erfüllt das Bauteil seine vorgegebene Funktion nicht oder lässt sich nicht montieren. Daraus ergeben sich die größtmöglichen Grenzabweichungen bzw. die weitesten Toleranzen. Allerdings existiert hier keine scharfe Grenze (s. Kap. 5.2.1).

1-4 Funktionserfüllung: Jedes Bauteil ist so zu tolerieren, dass es seine vorgegebene Funktion erfüllt, und zwar während der gesamten vorgesehenen Lebensdauer.

Jedes Werkstück wird hergestellt, um bestimmte Funktionen zu erfüllen. Die Funktionserfüllung genießt deshalb in der Regel die höchste Priorität. Bei der Tolerierung sind z. B. die voraussehbare Abnutzung (Verschleiß) und gebrauchsbedingte Werkstoffveränderungen (z. B. Langzeitschwindung) zu berücksichtigen.

1-5 Montierbarkeit: Das Bauteil muss sich montieren lassen, und zwar entweder

- *unbedingt*, d. h., gleiche Teile sind beliebig austauschbar, oder
- *bedingt*, d. h., Teile werden zusortiert und sind dann nur gemeinsam austauschbar.

Beispiel: Die Gewindebohrungen an einem Maschinengestell und die Durchgangsbohrungen am zugehörigen Deckel kann man so tolerieren, dass jeder Deckel zu jedem Gestell

passt. Oder man kann die Toleranzen etwas vergrößern, somit billiger produzieren und in Kauf nehmen, dass einmal ein Deckel bei der Montage nicht passt; dann muss man einen anderen, passenden Deckel aussuchen. Der Käufer einer Maschine merkt davon nichts.

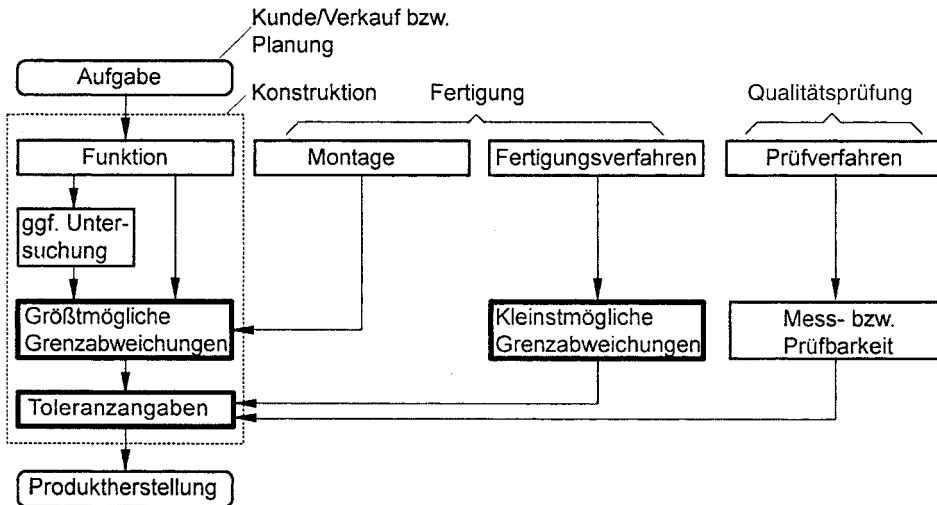


Bild 1.6: Einflussgrößen auf die Festlegung von Toleranzen

Kleinstmögliche Toleranzen: Jedes Fertigungsverfahren hat seine eigenen Genauigkeitsgrenzen; d. h., bestimmte Abweichungen lassen sich damit nicht unterschreiten. Diesseits der kleinsten *technisch möglichen* Abweichungen gibt es einen Bereich mit größeren Toleranzen, innerhalb dessen man *wirtschaftlich* (prozesssicher) fertigen kann. Auch hier lassen sich allgemein keine exakten Grenzen ziehen; sie sind abhängig von der Art der Maschine, von ihrem Zustand und vom Know-how des Betriebs.

1-6 Herstellbarkeit: Das Bauteil muss sich innerhalb der Toleranzen fertigen lassen, und zwar möglichst sicher (prozessfähig) und kostengünstig.

Es sollte selbstverständlich sein, dass die Toleranzen in der Zeichnung nicht kleiner sein dürfen, als es diesen Grenzen entspricht. Dennoch sind Gegenbeispiele in der Praxis nicht selten.

Beispiel: An einem Spritzgussteil aus Polyamid verlangt der Konstrukteur aus Funktionsgründen bei einem Maß von 150 mm Grenzabmaße von $\pm 0,1$ mm. Die Fertigung erklärt das für unerreichbar und fertigt seit Jahren $\pm 0,3$ mm. Praktisch ist das Teil sowohl montierbar als auch funktionsfähig. Das zugehörige Produkt ist auf dem Markt bestens bewährt. Daraus folgt zweierlei:

- Der Konstrukteur hat die funktionsbedingten Grenzabweichungen zu eng gesetzt, sei es aus Vorsicht oder aus Unkenntnis (s. „zur Übergangspassung“ in Kap. 1.3.4). Das ist in der Praxis häufiger zu beobachten. Es führt regelmäßig zu überhöhten Kosten (s. Kap. 5.2.1) und zu innerbetrieblichen Schwierigkeiten (s. Kap. 5.3.3).

- Das Problem liegt hier eher im Bereich der menschlichen als der technischen Toleranzen. Eine dauernde Überschreitung der Toleranzgrenzen bzw. Abweicherlaubnis dürfte vom Qualitätsmanagement niemals hingenommen werden, sondern müsste zu geänderten Festlegungen führen (s. Kap. 5.3.3).

Prüfung von Toleranzen: Zeichnungsangaben, die sich nicht messen oder prüfen lassen, sind wertlos.

1-7 Mess- und Prüfbarkeit: Das Bauteil muss sich möglichst einfach und sicher prüfen oder messen lassen, und zwar so, dass die wesentlichen Funktions- und Montageeigenschaften möglichst direkt erfasst werden (s. Kap. 5.3.1).

Diese Forderung betrifft den Aufbau der Bemaßung und Tolerierung in der Zeichnung. Sie richtet sich, neben der Erfüllung der funktions-, fertigungs- und montagebedingten Anforderungen, vor allem auch nach der messtechnischen Ausstattung des Betriebs. Oft entscheidet die Art der Messung über die Wahl bestimmter Toleranzarten (z.B. Koaxialität oder Rundlauf bei einer Welle) und der Bezugselemente (z.B. Lagersitze oder Stirnzentrierungen).

Festlegung von Toleranzen: Verantwortlich für die Festlegung von Toleranzen ist der Konstrukteur bzw. die Abteilung, die die Einzelteilzeichnungen erstellt und prüft. Wie aus Bild 1.6 hervorgeht, unterliegt jedoch die Tolerierung einer Vielzahl von Einflussgrößen mit teilweise einander widersprechenden Anforderungen:

- Die *Aufgabe* und damit die *Funktion* des Produkts bzw. des Bauteils stammen von einem Auftraggeber. Das kann ein Kunde sein, vertreten durch den Außendienst oder den Vertrieb, oder aber die Produktplanungs- bzw. die Entwicklungsabteilung. Von diesen Stellen sind gegebenenfalls Informationen einzuholen, welche Angaben der Aufgabenstellung wirklich harte *Forderungen* darstellen, welche Angaben etwa aus Vorsicht von den übermittelnden Stellen hineingenommen wurden und welche als *Wünsche* anzusprechen sind, deren Realisierung vom Aufwand abhängig sein sollte. Diese Informationen sollte der Konstrukteur in eine präzise *Anforderungsliste* aufnehmen.
- Kenntnisse und Erfahrungen über die *Herstellung* und die *Montage* der Teile, über Fertigungsverfahren, Maschinen und Kapazitäten sind im Fertigungsbereich, insbesondere in der Arbeitsvorbereitung, vorhanden, und zwar in einem Maße, wie sie ein Konstrukteur naturgemäß nie besitzen kann.
- Entsprechendes gilt für das Qualitätsmanagement bezüglich der Art der Bemaßung und der Tolerierung im Hinblick auf eine optimale *Mess- und Prüfbarkeit*.

Daraus folgt, dass die Tolerierung niemals dem Konstrukteur allein übertragen oder zugemutet werden darf. Eine sowohl unter funktionellen als auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimierte Tolerierung setzt unbedingt eine gute, auf das gemeinsame Betriebsziel gerichtete Zusammenarbeit von Konstruktion, Fertigung und Qualitätsmanagement voraus, ggf. unter Einbezug weiterer Abteilungen. In den meisten Betrieben gibt es kaum eine größere Rationalisierungsreserve als eine solche Kooperation, bei der die Entscheidungen von den betroffenen Bereichen gemeinsam erarbeitet und verantwortet werden (s. dazu Kap. 5.3.3). Umgekehrt verhindert enges, nur auf die scheinbare Sicher-

heit der eigenen Abteilung gerichtetes Ressortdenken mit Sicherheit, dass Toleranzen optimal festgelegt werden, und führt damit unweigerlich zu Schwierigkeiten und unnötig hohen Kosten für den Betrieb.

1.3 Maßtoleranzen und Passungen

Bedeutung: Mit Maßtoleranzen hat die Tolerierung begonnen. Sie sind nicht nur die Grundlage der Tolerierung, sondern auch wesentlich für das Verständnis der Form- und Lagetoleranzen. Daher bringt dieses Kapitel vor allem die dazu notwendigen Begriffe und Erläuterungen. Darüber hinausgehende Einzelheiten (z. B. die Ermittlung von Toleranzintervallen – früher „Toleranzfelder“ genannt – und Passungstoleranzen) finden Sie in der Fachliteratur bzw. in DIN EN ISO 286.

1.3.1 Maßbegriffe

Normung: Maß- und Toleranzbegriffe sind genormt in DIN EN ISO 286-1 und seit 2011 in DIN EN ISO 14405-1. Erstere hat bereits in der Vorgängernorm DIN EN ISO 286 aus dem Jahr 1990 die DIN 7182 ersetzt sowie, zusammen mit Teil 2, frühere DIN-Normen, die das ISO-Toleranzsystem enthalten (s. Kap. 1.3.3).

Maßdefinition: Ein Maß besteht aus einem Zahlenwert und einer Einheit (z. B. „100 mm“). Es ist üblich, unter „Maß“ allgemein ein Längenmaß zu verstehen; alle anderen Maßarten werden speziell benannt (z. B. „Winkelmaß“). ISO 14405-1 schränkt den Begriff „Maß“ noch weiter ein. Ein Maß gilt nur als Eigenschaft von bestimmten linearen *Größenmaßelementen*; d. h., es ist entweder der *Durchmesser eines Kreiszyinders* bzw. einer *Kugel* oder der *Abstand* von zwei sich gegenüber liegenden *Parallelebenen*. Wir nennen diese Elemente hier meist einfach *Größenmaßelemente* (s. auch Kap. 1.3.2 und 1.4.3).

Nach dieser Norm ist ein Maß eine Eigenschaft, die das Maßelement in sich trägt („intrinsisch“ nennt sich das). Es kann in verschiedener Weise ermittelt und ausgewertet werden; damit ergeben sich unterschiedliche *Maßmerkmale*. Die Auswertung wird beschrieben durch sog. *Spezifikationsoperatoren* (s. Kap. 1.3.2). Im Normalfall, d. h., wenn keine zusätzlichen Angaben beim Maß stehen, gilt der *Standardspezifikationsoperator*. Dieses Wortungetüm besagt Folgendes:

1-8 Längenmaß: Sofern nicht anders gekennzeichnet, ist ein Maß der *Abstand zwischen zwei gegenüberliegenden Punkten*. Die Maßtoleranz wird daher im Normalfall im Zweipunktverfahren geprüft.

Das bedeutet, dass eine Maßangabe nichts mit der Form des bemaßten Elements zu tun hat, solange nicht zusätzliche Festlegungen getroffen werden (s. Kap. 1.4). Gemessen wird senkrecht zur Hauptrichtung des Elements (Näheres s. Kap. 1.5.4). Nach ISO 14405-1 sind

Sachwortregister

Häufig wiederkehrende Begriffe: Einige Begriffe werden bei allen betreffenden Toleranzarten in *Kap. 2* behandelt, das sind:

- Abweichung,
- Bezug,
- Bezugselement,
- einbeschlossene Toleranzarten,
- Grenzabweichung,
- Toleranzzone,
- toleriertes Geometrieelement.

Der Übersichtlichkeit halber sind sie im Sachwortverzeichnis nur dort aufgeführt, wo sie *zusätzlich* vorkommen oder wo besonders *wesentliche* Informationen dazu stehen.

A

Abgeleitetes Geometrieelement 64, 73,
244, 261
Abmaß 29
Abstandsmaß 245
Abweicherlaubnis 295
Abweichung 23
Abweichungen 21
Achse 117
- Bezugs- 113, 117
- Fluchtung 97, 120, 165
- kurz 118, 127, 165, 301
- lang 118, 165, 304
- Schnittpunkt 169
- Tolerierung 73
Achsenkreuz 132, 301, 310
ACS 81
ACS (jeder beliebige Querschnitt) 81
Allgemeintoleranz 19, 63, 178, 270, 288
- Angabe mehrerer Normen 181
- Bezüge 188, 202

- Fertigungsverfahren 178, 192
- Form- und Lagetoleranzen 185
- ISO 22081 204
- Lücken 182, 194, 306
- Maß- und Winkeltoleranzen 183
- mit Flächenprofilltoleranzen 202
- Verbindlichkeit 181
ALS 81
Angsttoleranz 275, 296
Anpassen 291
arithmetische Tolerierung 210, 296
ASME Y 14.5 M 315
Ausgleichsgerade 111, 119
Ausgleichskreis 117
Aussuchen 291

B

Baugruppen 283
Bearbeitungszugabe 195, 199
begrenzte Toleranzzone 74, 320

Bezug 68, 81, 108, 267, 270
 - Verlängerung 167
 Bezugsbemaßung 71
 Bezugsbuchstabe 81, 255, 313
 Bezugsdreieck 81, 317
 Bezugsselement 67, 69, 81, 108, 118, 283
 - Achse 113
 - Bohrung 113
 - durchgehend 284
 - Kegel 115
 - mit Maximum-Material-Bedingung 249, 307, 311
 - mit Minimum-Material-Bedingung 261
 - Mittelebene 114
 - ohne Hüllbedingung 258
 - Parallellflächen 114
 - Tolerierung 108, 115, 119, 131, 203
 - wirkliche Ebene 111
 - wirkliche Gerade 109
 Bezugsstellen 84, 127, 305, 317
 Bezugssystem 122, 253, 283
 - Tolerierung 131
 - vollständiges 123, 139, 203
 Boundary-Bedingung 314, 320

C

C 92
 CE 92
 CI 92
 CZ (kombinierte Toleranzzone) 78ff., 138

D

Default-Regel 70, 111
 DIN EN ISO 1660 134
 Dokumentation 296
 Doppelpassung 288

E

Ebenheitsprüfung 100
 Ebenheitstoleranz 99, 186, 233, 316
 Eigentoleranz 297
 Eindeutigkeit 18, 21, 112, 280
 einfacher Lauf 171
 Einheitsbohrung 43

Einheitswelle 43
 Einstellen 291
 Einzelmaß in beliebiger Richtung 213
 Einzeltoleranz 209, 218, 223, 239
 erfasstes Geometrieelement 70, 90

F

Fahrzeug-Koordinatensystem 306, 308
 Faltung 216
 Fehler 23
 Fertigmaß 199
 fertigungsgerecht 18, 242, 282
 Fertigungsverfahren 178, 192
 Flächenprofilltoleranz 137, 202
 Flachformtoleranzen 87
 Fluchtung von Achsen 97, 120, 165, 300, 303, 309
 - von Ebenen 169
 Formabweichung 22, 51, 65
 - bei Hüllbedingung 51
 Formelement 63
 Formschräge 199, 311
 Formtoleranz 65, 88, 272
 - einbeschlossen 69
 Freier-Zustand-Bedingung 285
 Funktion 22, 149, 264, 274
 funktionsgerecht 18, 242, 282
 Funktionslehre 242, 246, 248, 307, 311, 314
 funktionswichtige Elemente 180, 270, 280

G

G 92
 Gaußsches Ausgleichselement 70, 110, 119, 301
 GE 92
 gemeinsame Achse 83, 97, 119
 gemeinsame Mittelebene 122
 gemeinsame Prüfung 257, 308
 gemeinsamer Bezug 82, 112
 gemeinsame Toleranzzone 78, 268, 320
 gemittelte Rautiefe 264
 Geometrieelement 63
 Geometrische Produktspezifikation 263

Geradheit einer Achse 97
 Geradheitsabweichung 65, 91
 Geradheitstoleranz 65, 90, 186, 231, 247, 316
 Gesamtlauflinien 175
 Gesenkschmiedeteile 196
 Gestaltabweichung 21
 - Entstehung 22
 Gestalt, ideale 21, 248
 Gewindelöcher 301
 GI 92
 Gleichdickform 47, 174, 211, 230, 237, 246, 305
 goldene Regel der Messtechnik 287
 Grenzabmaß 29
 Grenzabweichung 25, 66, 89, 158, 268
 Grenzabweichungen 23
 Grenzform 223
 Grenzgestalt 209, 227
 - bei Kreisquerschnitt 229
 - Kreiszyylinder 231
 - mit Hüllbedingung 229
 - Parallelebenen 232
 - Verkettung 234
 Grenzlage 223
 Grenzmaß 29, 315
 Grenzrichtung 224
 Grenzwellenlänge 264
 Grundabmaß 37
 Grundtoleranzgrad 37
 Gussallgemeintoleranz 200
 Gutgrenze 30, 44

H

Häufigkeitsverteilung (s. Verteilung) 214
 Herstellbarkeit: 25
 Hilfsbezugselement 108
 Hilfsmaß 35
 Hüllbedingung 49, 61, 228, 244
 - partielle Aufhebung 57, 316
 - Prüfung 52
 Hülle 49, 54
 Hüllkörper 55
 Hüllprinzip 53, 57, 61, 183, 304, 312, 316

I

innerhalb des Materials 92
 Interpretation von Toleranzen 266
 ISO-Maßtoleranzsystem 36
 Istgestalt 21
 Istmaß 29

K

kantenbezogene Tolerierung 161
 Kegel 101, 115, 138, 177, 187
 Kernrautiefe 265
 Koaxialitätsabweichung 165, 173, 189
 Koaxialitätstolerierung über Wanddickendifferenz 239
 Koaxialitäts- und Konzentritätstoleranz 55, 164, 198, 236, 250, 262, 318
 Kollektionsebenenindikator 138
 konstruktive Fertigungserleichterung 292
 konstruktive Toleranzentfeinerung 288
 konstruktive Versteifung 292
 kontrollierter Radius 315
 Koplanarität 320
 Kosten 274
 Kostensprünge 276, 278
 Kreisform 100
 Kreisquerschnitt 116, 229
 Kreisteilung 132
 kreiszylindrische Toleranzzone 74, 97, 159, 299
 Kugel 50, 116, 138, 164, 273
 kugelförmige Toleranzzone 74, 163
 Kunststoffspritzgussteile 196
 kurze Achse 118, 127, 165, 301

L

Lageabweichung 22, 52, 54, 68
 Lagersitze 120, 165, 272, 287, 299
 Lagetoleranz 67, 271
 - ohne Formtolerierung 317
 lange Achse 118, 165, 304
 Längenmaß 27, 180
 Lauf in beliebiger Richtung 172, 177
 Lauftoleranz 170, 186, 192
 LD (Innendurchmesser) 80
 LE, Linienelemente in einer Fläche 318

Linienprofiltoleranz 133, 307
 Lochbild 160
 - mit Bezugsbohrungen 255
 - mit Bezugslochbild 256
 - schwimmend 160, 253, 304, 312
 Lochkreis 302

M

Maßangaben 18
 Maßarten 29
 Maßbegriffe 27
 Maßdefinition 27
 Maßgruppen 28
 Maßkette 209
 - mit Form- oder Lagetoleranzen 223
 Maßtoleranz 27, 70, 150, 157, 264
 materialfreie Seite 92
 Maximum-Material-Bedingung 163, 240,
 294, 302, 307, 311, 314, 318
 - begrenzt 320
 Maximum-Material-Grenzmaß 30
 Maximum-Material-Zustand 311, 316
 menschliche Probleme 296
 Messebene 311
 Messunsicherheit 287
 Metallussteile 194
 Methodik zur Tolerierung 269
 Mindestwanddicke 260, 262
 minimaler Abstand 92
 Minimumbedingung 66, 89, 117, 137,
 314
 Minimum-Material-Bedingung 259, 294
 Minimum-Material-Grenzmaß 31
 Mittelpunktbestimmung 116, 174
 Mittenmaß 29
 mittenzentrierte Fertigung 276
 Modifikatoren für Maßelemente 32ff.
 Modifikatoren für Parameter 93
 Modifikatoren für Referenzelemente 92,
 104
 Modifikatoren für tolerierte Elemente
 146ff.
 Montagespiel 212
 Montierbarkeit 24

N

Nachmessung 286
 NC (nicht konvex) 112
 Nebenbedingung 92
 Neigungstoleranz 153
 Nenngestalt 21, 132
 Nennmaß 29
 nicht-formstabiles Teil 285, 314
 nichttoleriertes Maß 35
 Normalverteilung 214
 Nulllinie 36
 Nullmaß 211, 223, 236
 Nulltoleranz 247, 252, 262
 Nur-Richtung Modifikator (><) 139, 207
 Nutzen-Kosten-Verhältnis 275

O

Oberfläche 263
 - Abtastung 263
 - Filterung 263
 optimale Tolerierung 277
 Örtliches Istmaß 29
 Ortstoleranz 155, 318

P

Paarungsmaß 31
 Parallelitätstoleranz 66, 141, 188, 232
 Passfedernut 168, 299
 Passfläche 49
 Passung 40
 Passungssystem 43
 Pferchkreis 116
 Pferchzylinder 119
 Planlauf 172, 177
 Positionsabweichung 158
 Positionstoleranz 20, 124, 189, 233, 236,
 253, 257, 264, 302, 316
 Positionstolerierung 157
 Praxisbeispiele 298
 - Blechteil 306
 - Gelenkwellenflansch 266
 - Getriebedeckel 269
 - Getriebewelle 299
 - Halblech 305
 - Kugelbolzen 273

- Mitnehmerwelle 304
- Pressenplatte 300
- Schalterblende 18, 298
- Schneckengetriebe-Gehäuse 309
- Schwenklappe 303
- Steckeraufnahme 310
- Stützblech 313
- primärer Bezug 123f., 270, 306, 309
- Priorität 282
- Profiltoleranzen 132, 320
- projizierte Toleranzzone 75, 239, 318
- Prozessfähigkeit 216
- Prüfbarkeit 26
- prüfgerecht 18, 242, 282
- Prüflehre 44, 241, 245, 248, 307, 311
 - für Bezugselement 249
- Prüfmaß 35
- punktweise bemaßtes Profil 135

Q

Qualitätsmanagement 294

R

Rauheit 264, 277

rechnerintern definiertes Profil 135

Rechnerunterstützung 272

Rechteckverteilung 214

Rechtwinkligkeitstoleranz 55, 152, 189, 236, 248, 252

reduzierte Spitzenhöhe 265

Referenzelement 92

Reziprozitätsbedingung 240, 251, 260, 294

Richtungsabweichung 141

Richtungselementindikator 101

Richtungstoleranz 225, 234, 264, 317

Rohteilnennmaß 199

Rohteilzeichnung 202

RPS-System 130, 308

Rundheitsabweichung 103, 172

Rundheitstoleranz 100, 187, 231

Rundlauf 171, 175, 237

S

Schließmaß 210f.

Schließtoleranz 210

- arithmetische 210, 219
- Kontroll- 220
- quadratische 216, 226
- Rechteck- 216, 226
- wahrscheinliche 213, 216, 226

Schnittebenenindikator 93, 134, 151

Schnittpunkt von Achsen 169

Schulung 297

Schweißkonstruktionen 197

schwimmendes Lochbild 160, 254, 301, 312, 318

schwindungsarme Werkstoffe 293

SCS 81

sekundärer Bezug 123

selbstanpassende Bauweise 290

Selbstbezug 257

SIM 81, 257

Spezifikationsoperator für Maße 32ff.

Spiel in Maßketten 212

Spieldpassung 41, 237, 244

Standardabweichung 216

Stanzteile 197

statistische Tolerierung 210, 218, 244, 316

steigende Bemaßung 70, 315

Stirnzentrierung 121

Stufenmaß 28, 201

Symmetrietoleranz 19, 55, 167, 190, 198, 316

Symmetrietoleranz über

- Wanddickendifferenz 239

SZ (separate Toleranzzone) 80, 256f.

T

Taylorischer Prüfgrundsatz 44

tertiärer Bezug 123, 131

theoretisches Maß 35, 132

Toleranz 23, 29

- einzeln eingetragen 180
- Überlagerung 192, 268
- Überschreitung 243, 295

Toleranzanalyse 210

Toleranzpfeil 72, 317

Toleranzrahmen 71, 317, 319
 - Verbund- 319
 Toleranzraum 194, 262
 Toleranzsynthese 210
 Toleranzzone 65, 68, 74, 78, 87, 91, 227, 267
 - begrenzt 74, 317
 - bogenförmig 318
 - eingeschränkt 75
 - geradlinig 227
 - konisch 318
 - nicht-mittig (Profiltoleranz) 320
 - projiziert 75, 239, 318
 - Radius- 316
 Tolerierungsgrundsatz 43, 60, 179, 183, 269, 273, 316
 Tschebyschewelement 92

U

Übergangspassung 41
 Übermaßpassung 41, 237
 Überschreitungsfaktor 174
 Überschreitungswahrscheinlichkeit 214, 217
 Übersichtlichkeit 286
 Umgrenzungsbedingung 314, 320
 Unabhängigkeitsprinzip 45, 60, 183, 194
 Ungefährmaß 35

V

Verantwortlichkeit 26, 296
 vereinfachte Lochdarstellung 315
 Verfahrensabhängigkeit 179
 Vergrößerungsfaktor 220
 Verlustfunktion 275
 Versatz 200, 237
 Versuche 286
 Verteilung 214
 - bei Form- und Lageabweichungen 215
 - einseitig schiefe 215
 - Nadel- 215
 - Normal- (Gauß-) 214, 217
 - Rechteck- 214
 - trapezförmig 215

Verwindung 48, 100, 111, 293, 314
 verzugsarme Werkstoffe 293
 vollständiges Bezugssystem 123, 306
 Vollständigkeit 18, 21, 179, 280
 Vorrichtungsdeckel 301
 Vorzugsklassen 40

W

Wälzlagersitz 88, 119, 272, 287, 300
 Welligkeit 263
 Wenn-Dann-Satz 243, 246, 260
 werkstattübliche Genauigkeit 178
 werkzeuggebundene Fertigung 293
 Wertigkeit 275
 Winkelmaß 180
 Winkeltoleranz 154, 184, 189
 wirkliches Geometrieelement 64, 70, 316
 wirksamer Grenzzustand 241, 295
 wirksamer Istzustand 31
 wirksamer Minimal-Grenzzustand 260
 Wirksames Grenzmaß 31, 229, 240, 308
 Wirksames Istmaß 31
 Wirtschaftlichkeit 25, 286

Z

Zählrichtung 211, 224
 Zeichnungsänderung 295
 Zeichnungseintragung 71
 Zeichnungsumstellung 295
 Zeichnungsvereinfachung 77
 Zertifizierung 295
 zielorientierte Fertigung 275
 zugeordnetes Geometrieelement 70, 90
 Zuordnen 291
 Zusammenarbeit 26, 296
 Zwischen-Symbol 75, 134f.
 Zylinderformabweichung 107
 Zylinderform-, Zylindrizitätstoleranz 106, 231
 Zylinderform-, Zylindrizitätstoleranzen 264