

Form- und Lageabweichungen – die Definitionen reichen nicht

Michael Hernla, Dortmund

*Manuskriptfassung; in überarbeiteter Form veröffentlicht in
Qualität und Zuverlässigkeit, München 39 (1994) 10, S. 1116-1122*

Die DIN ISO 1101 definiert die heute verwendeten Form- und Lagetoleranzen. Die Definitionen wiesen aber Lücken auf, die die Aussagekraft und Anwendbarkeit einschränken. Lageabweichungen definiert die Norm gar nicht, was zu einiger Verwirrung bei der Interpretation geführt hat. Es gibt jedoch Alternativen. Die Probleme der Form- und Lageprüfung lassen sich an praktischen Beispielen verdeutlichen.

Deviations from nominal Form and Position - Definitions are insufficient. The standard ISO 1101 defines the tolerances of form and position. These definitions have some disadvantages, which are significantly limiting the understanding and use. For example, the deviations from nominal positions are not defined, which has lead to misunderstandings. However, there are alternatives to the standards. Practical problems in testing of deviations from nominal form and position are explained.

Tolerierung und Messung von Gestaltabweichungen

Bei den Gestaltabweichungen werden heute in der Regel Maß, Lage, Form, Welligkeit und Rauheit unterschieden. Zu den einzelnen Gestaltabweichungen wurde ein umfangreiches Normenwerk geschaffen. Die Normen basieren einerseits auf den aktuellen Forderungen der Fertigung und der Qualitätssicherung, andererseits auf dem Wissensstand und den technischen Möglichkeiten der Fertigungsmesstechnik. Alle diese Gebiete sind ständigen Veränderungen unterworfen. Deshalb muss von Zeit zu Zeit die Frage nach einer Aktualisierung der Normen gestellt werden. Bei den Gestaltabweichungen lassen sich für die Eintragung von entsprechenden Toleranzen folgende Forderungen formulieren:

1. Eindeutige und widerspruchsfreie Definition der Prüfmerkmale
2. Funktionsgerechte Prüfmerkmale: sie sollen die Anforderungen an die Werkstückoberfläche qualitativ und quantitativ richtig beschreiben
3. Fertigungsgerechte Prüfmerkmale: sie sollen das Erkennen von Abweichungsursachen und das Ableiten von Korrekturwerten ermöglichen

Besonders der letztgenannte Punkt gewinnt ein immer stärkeres Gewicht. Die Sortierprüfung in Gut, Nacharbeit und Ausschuß ist bei der heute angestrebten Null-Fehler-Produktion nicht mehr zeitgemäß. Zur Beherrschung des Fertigungsprozesses gehört die Möglichkeit des Eingriffs mittels gezielter Korrekturen. Hier liegt die Normung gegenüber dem Stand der Technik weit zurück. Im folgenden sollen einige wichtige Probleme erörtert und Lösungsansätze zu ihrer Behebung aufgezeigt werden.

Idealgeometrische Ersatzelemente

Formabweichungen sind nach DIN ISO 1101 [1] durch das Anlegen zweier formidealer (paralleler bzw. koaxialer) Ersatzelemente so zu ermitteln, dass der Abstand zwischen ihnen minimal wird. Er ist dann gleich der Formabweichung. Diese Elemente werden auch Minimum- oder Tschebyscheff-Elemente genannt.

In anderen Normen, z.B. im British Standard 7172 [2] und im Entwurf von DIN 32880 [3], werden neben dem Minimum-Element andere Ersatzelemente zugelassen. Das verwendete Ersatzelement ist jeweils zum Messergebnis mit anzugeben. Diese Vielfalt der Definitionen bringt einige Probleme mit sich. Das erste liegt darin, dass man in Abhängigkeit vom gewählten Ersatzelement verschiedene Messergebnisse erhält. Sie sind nur begrenzt vergleichbar.

Das zweite Problem sind die Berechnungsalgorithmen. Die heute bei Koordinatenmessgeräten meist verwendeten Algorithmen nehmen auf die mittleren (Ausgleichs-) Elemente Bezug. Für die angrenzenden und die Minimum-Elemente steht nur bei wenigen Messgeräteherstellern entsprechende Auswertesoftware zur Verfügung.

Das dritte Problem ist die Beschreibung des Funktionsverhaltens der Oberfläche. In den meisten Fällen handelt es sich um Anlageflächen, die damit die Berechnung von angrenzenden Formelementen als Paarungselemente nahelegen.

Die Wahl des richtigen Ersatzelementes erfordert ein Abwägen der genannten Kriterien. Die mittleren Elemente spiegeln nur bedingt das Paarungsverhalten wider. Angrenzende und Minimum-Elemente stützen sich bei den bisher verwendeten Algorithmen auf wenige extreme Punkte aus der Menge der angetasteten Punkte. Damit werden die Ergebnisse sehr unsicher und anfällig gegen Messfehler, besonders Ausreißer.

In [4] und [5] wurde ein Weg aufgezeigt, wie durch Trennung der systematischen von den zufälligen Messwertanteilen statistisch gesicherte Aussagen über die Gestalt der Oberfläche gewonnen werden können. Damit ist es möglich, für alle die Oberfläche beschreibenden Parameter einschließlich der Formabweichung Messunsicherheiten anzugeben. Es können sowohl die angrenzenden Ersatzelemente mit ihren Unsicherheiten als auch die für den Austauschbau wichtigen Paarungsgeometrien berechnet werden.

Damit steht der Bevorzugung der angrenzenden Elemente auch in der Normung nichts mehr entgegen. Da sie jedoch nicht für alle Funktionsfälle geeignet sind, sollten im Ausnahmefall auch die anderen Ersatzelemente wahlweise zugelassen und dann zum Messergebnis mit angegeben werden. Im Messprotokoll ist zusätzlich die erreichte Messunsicherheit als Vertrauensbereich der zufälligen und abgeschätzten systematischen Messabweichungen anzugeben [4] [5] [6] [7].

Unabhängigkeit von Form- und Lageabweichungen

In vielen Fällen wird heute noch nach dem Hüllprinzip toleriert [8]. Die Zeichnungen enthalten eine Sammeleintragung "DIN 7167". Dieses Prinzip fordert die Prüfung und Einhaltung des Maximum-Material-Maßes für alle Formelemente, auch wenn es sich von der Funktion her gar nicht um Paarungselemente handelt. Der Aufwand für die Messung und Auswertung wird damit theoretisch sehr hoch, und nur die wenigsten Hersteller von Formprüf- und Koordinatenmessgeräten stellen die entsprechende Software zur Verfügung.

In der Praxis wird jedoch kaum nach dem Hüllprinzip geprüft. In Verletzung der Zeichnungsvorschrift werden die Maße der angrenzenden Elemente meist gar nicht ermittelt, sondern Maß und Form werden in der Regel unabhängig voneinander bestimmt. Insofern hat sich bereits eingebürgert, was in einer anderen Norm zum Tolerierungsgrundsatz erhoben wurde: das Unabhängigkeitsprinzip [9].

In DIN ISO 8015 wird vorgeschrieben, dass eingetragene Maßtoleranzen unabhängig von den Form- und den Lageabweichungen der Oberfläche gelten. Eine eventuell geforderte Abhängigkeit ist als Hüllbedingung durch eine entsprechende Zeichnungseintragung zu kennzeichnen. Nur in diesem Fall ist das Maß des angrenzenden Hüllelementes unter Einschluß der Formabweichungen zu ermitteln.

Von der Funktion her ist das Fall z.B. bei allen Durchmessern von Bohrungen und Wellen erforderlich, die mit einem entsprechenden Gegenstück gepaart werden. Hier sind die Hüll- oder Pufferkreise bzw. die entsprechenden Zylinder zu berechnen [4] [5].

Alle Ergebnisparameter werden also als Parameter von idealgeometrischen Ersatzelementen aufgefasst, auf welche auch die Formabweichungen bezogen werden. Diese Betrachtungsweise entspricht dem Prinzip der vektoriellen Tolerierung [10] [11]. Von diesem Grundsatz ausgehend, sollen im folgenden einige Festlegungen der Norm DIN ISO 1101 eingehender betrachtet werden.

Richtungstoleranzen und -abweichungen

In DIN ISO 1101 werden die Richtungstoleranzen (Parallelität, Rechtwinkligkeit und Neigung) so definiert, dass alle Punkte der Oberfläche bzw. der Achse innerhalb der Toleranzgrenzen liegen müssen. Die entsprechenden Richtungsabweichungen sind dagegen überhaupt nicht erwähnt, und auch der Begriff Lageabweichung taucht an keiner Stelle auf. Diese Lücke der Norm führt zu einer Interpretation der Richtungsabweichung, die sich eng an die Definition der Toleranz anlehnt. In diesem Sinne wird die Richtungsabweichung als der geringste Abstand der einhüllenden Elemente des Oberflächenprofils gedeutet, die zum Bezugselement Nennlage einnehmen.

Diese Art der Messung hat zwei wesentliche Nachteile. Einmal sind in den Ergebnissen immer Anteile der Formabweichung enthalten. Zum anderen ist genau das, was die Bezeichnung "Richtungsabweichung" eigentlich verheißt, aus dem Messergebnis nicht abzulesen. Eine Richtung ist in der Regel

durch allgemeine Formulierungen wie "nach hinten abfallend", "nach rechts ansteigend" oder durch Zahlenangaben (Winkel) beschreibbar. Dabei wird – oft nur stillschweigend – ein Bezugssystem vorausgesetzt, z.B. ein Koordinatensystem oder eine bestimmte Zeichnungsansicht.

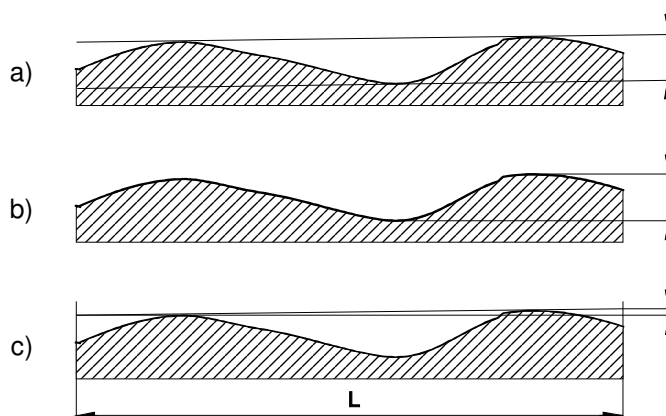
Rückschlüsse auf Korrekturwerte für die Fertigung oder das Funktionsverhalten sind mit den Richtungsabweichungen nur dann möglich, wenn z.B. zusätzlich das Profildiagramm aufgezeichnet wird. Hier erlaubt die Darstellung zusammen mit dem Wissen um die Lage des gemessenen Oberflächenabschnittes eine Interpretation der Richtungsabweichung.

Ein Beispiel zeigt das Bild 1 für die Parallelität. Ein Vergleich der Darstellungen a) und b) zeigt, dass im Extremfall bei der Definition nach DIN ISO 1101 die Parallelitätsabweichung gleich der Formabweichung von der Geraden sein kann, wenn die von der materialfreien Seite angrenzende Gerade parallel zum Bezugselement ist. Es ist nicht möglich, der Abweichung einen Richtungssinn zuzuordnen. Damit ist auch kein Korrekturwert für die Fertigung ableitbar. Die Messung der Lageabweichung hat keinen Sinn, solange nicht auch die Formabweichung bestimmt wird. Erst dann sieht man, dass hier die Ursache für die große Parallelitätsabweichung liegt.

Bild 1:

Definitionen der Parallelitätsabweichung eines Oberflächenprofils

- a) Formabweichung mit Minimumbedingung nach DIN ISO 1101
- b) Parallelitätsabweichung nach DIN ISO 1101
- c) Parallelitätsabweichung und Formabweichung, bezogen auf die angrenzende Gerade



Umgekehrt liefert die Messung der Lageabweichung kaum brauchbare Informationen über die Oberfläche, solange nicht eine Aussage über das Paarungsverhalten, d.h. die Lage der angrenzenden Ersatzelemente, getroffen werden kann. Das wird aber möglich, wenn die Lageabweichung für dasselbe Ersatzelement definiert wird, für das die Formabweichung bestimmt wurde. Die Richtungsabweichung ist dann die Winkelabweichung des Ersatzelementes von der Bezugsrichtung, umgerechnet auf die aktuelle Länge L (Bild 1 c).

Nur mit dieser Definition ist es möglich, an Hand des Messergebnisses eine Aussage über die Korrektur mit Betrag und Richtung zu machen. Vorausgesetzt wird dabei ein Bezugssystem, das aber bei den üblicherweise verwendeten Formprüf- und Koordinatenmessgeräten immer vorhanden ist. Es muss nur in geeigneter Art und Weise identifizierbar sein, z.B. auf der Werkstückzeichnung oder einer gesonderten Programmierzeichnung.

Toleranzzonen für Richtungsabweichungen

Mit der vorgeschlagenen Neudefinition der Richtungsabweichungen erhält man gegenüber der Norm DIN ISO 1101 geänderte Toleranzzonen. Die Lage des Bezugselementes gibt die Nennlage des tolerierten Elementes vor, die Toleranz liegt dazu symmetrisch, Bild 2.

Aus dem Bild geht weiter hervor, daß sich die Inhalte der Begriffe Richtungstoleranz und Richtungsabweichung ebenfalls wandeln. Der in der Zeichnung eingetragene Zahlenwert gibt die zulässige Abweichung an. In Anlehnung an DIN ISO 286 [12] sollte auch hier der Begriff Grenzabweichung gebraucht werden.

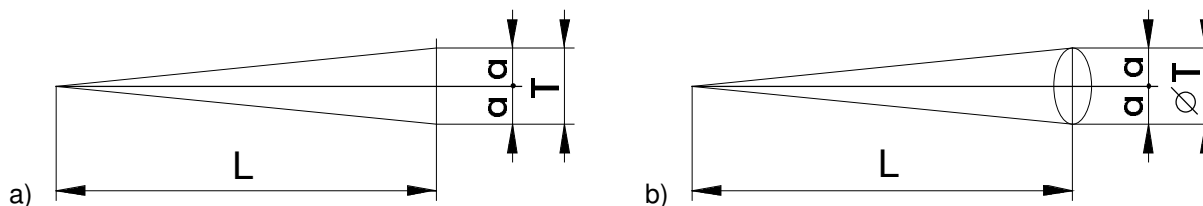


Bild 2: Toleranzzonen für Richtungsabweichungen
a) Toleranz in einer vorgegebenen Richtung,
b) Toleranz in beliebiger Richtung

Die Grenzabweichung liegt symmetrisch zu der Linie, die die nominelle Richtung der Oberfläche kennzeichnet. Das berechnete idealgeometrische Ersatzelement kann zu beiden Seiten dieser Linie abweichen. Die Toleranz T ist immer die Differenz zwischen Größt- und Kleinmaß, hier dem größten und dem kleinsten Winkel. Sie ist deshalb doppelt so groß wie die Grenzabweichung a . Die Richtungsabweichung des Ersatzelementes darf nicht größer als die Grenzabweichung werden. Deshalb sollte diese weiter wie bisher in die Zeichnung eingetragen und zum Soll-Ist-Vergleich herangezogen werden.

Zur Unterscheidung der neuen Definition von den bisherigen Toleranzeintragungen sollte jedoch bei Lageabweichungen in einer vorgegebenen Richtung in Anlehnung an die Regelung in [13] vor den Zahlenwert der Grenzabweichung das Symbol $T/2$ geschrieben werden, Bild 3. Bei Richtungsabweichungen in beliebiger Richtung bezeichnet der eingetragene Zahlenwert den Radius der Toleranzzone. Deshalb sollte auch hier statt des bisher üblichen Durchmesserzeichens das Symbol R vor dem Zahlenwert der Toleranz stehen. Damit ist wie bei den Ortstoleranzen eine eindeutige Trennung der verschiedenen Eintragungen möglich (siehe unten).

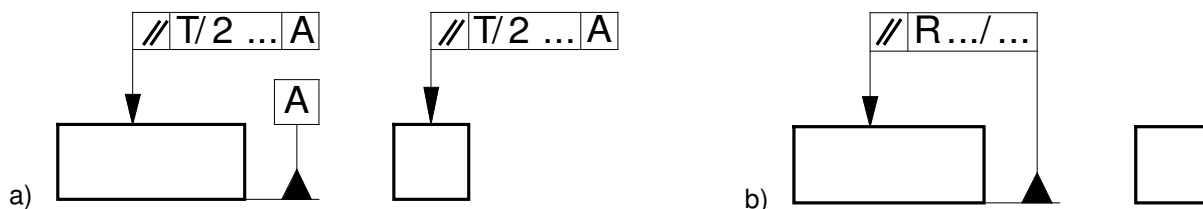


Bild 3: Richtungsabweichungen mit eingetragener Grenzabweichung:
a) Toleranzen in zwei vorgegebenen Richtungen mit dem Symbol $T/2$,
b) Toleranz in beliebiger Richtung mit dem Symbol R

Formen von Richtungsabweichungen

Die Richtungsabweichungen der Ersatzelemente können nach DIN ISO 1101 entweder in einer vorgegebenen oder in beliebiger Richtung eingetragen werden. So erhält man die Möglichkeit, an einer ebenen Fläche die Richtungsabweichung in beliebiger Richtung durch das Symbol R zu kennzeichnen. Die maximale Winkelabweichung des an die Oberfläche angrenzenden Ersatzelementes zum Bezugselement, umgerechnet auf die Auswertelänge, ist die gesuchte Richtungsabweichung.

Die Richtungsabweichung in einer vorgegebenen Richtung ist daran erkennbar, dass vor dem Zahlenwert das Symbol $T/2$ steht. Die Toleranzzone liegt in der durch die Zeichenebene gebildeten Schnittebene in Richtung des Bezugspeiles. Diese Unterscheidung eröffnet weitreichende Möglichkeiten zur Tolerierung von Gestaltungsabweichungen. So kann z.B. bei langen und schmalen Führungsbahnen die Parallelität in Längs- und Querrichtung unterschiedlich toleriert werden, was bisher nicht eindeutig möglich ist (Bild 3a).

Die Tolerierung von Lageabweichungen in beliebiger Richtung sollte vor allem bei rotationssymmetrischen Flächen angewendet werden, z.B. Stirnflächen an Wellen oder Senkungen in Gehäusen. Besonders bei den letzteren ist diese Angabe der Eintragung einer Stirnlaufabweichung vorzuziehen, da in

der Funktion ein anderes Formelement (z.B. ein Lagerring) anliegt, und die Formabweichung kaum eine Rolle spielt. Ein Beispiel zeigt das Bild 4.

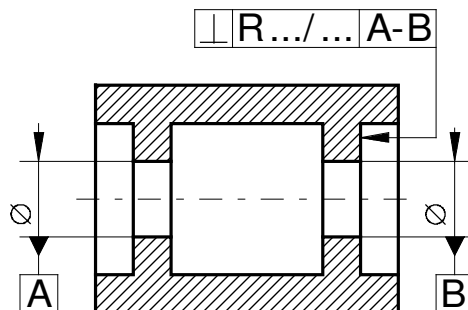


Bild 4: Eintragung einer Lagetoleranz an einer runden Stirnfläche (Senkung) als Rechtwinkligkeitstoleranz in beliebiger Richtung mit dem Symbol R für die Grenzabweichung

Wird eine Lagetoleranz in beliebiger Richtung an eine andere als eine kreisförmige und ebene Fläche eingetragen, so ist die Bezugslänge zu definieren. Als allgemeine Vorgabe könnte hier die größte Längenausdehnung in einer beliebigen Richtung festgelegt werden, also z.B. die Diagonale bei rechteckigen Flächen. Günstiger ist es aber, schon um lästiges Suchen und Rechnen zu vermeiden, die Auswertelänge zum eingetragenen Zahlenwert mit anzugeben, vergleiche die Bilder 3b) und 4.

Vereinfachte Prüfung von Richtungsabweichungen

Nicht in jedem Fall werden jedoch die Richtungsabweichungen mit speziellen Formprüf- oder Koordinatenmessgeräten gemessen. Sehr weit verbreitet ist auch heute noch die Prüfung mit Messständer und Messuhr (oder Feinzeiger) auf der Messplatte. Hier wird der Prüfling am Bezugsэлеment in Nennlage ausgerichtet, wobei auch Hilfsmittel wie Winkel oder Sinuslineale verwendet werden. Die Oberfläche wird dann mit dem anzeigenden Messgerät abgefahren, und der größte Anzeigeunterschied liefert das Messergebnis. Diese Zahl entspricht der bisherigen Deutung der Richtungsabweichung "nach DIN ISO 1101", sagt aber nichts über den Verlauf der Oberflächenabweichungen. Der Prüfer kann jedoch an Hand der Anzeige eindeutige Aussagen machen, z.B. "nach rechts abfallend", und seine Schlußfolgerungen ziehen. Legt man die oben vorgeschlagene Trennung der Form- und Lageabweichungen am idealgeometrischen Ersatzelement zugrunde, so handelt es sich bei diesem Prüfverfahren um eine kombinierte Prüfung der Form und der Lage. Ähnlich wie bei den Laufabweichungen überlagern sich beide Komponenten zu einem Ergebnis, wobei beide Anteile nicht mehr eindeutig zu trennen sind.

Im Interesse der vereinfachten Prüfung auf ein Gesamtbild der Oberfläche kann eine solche Prüfung jedoch oft sinnvoll sein. Das Messergebnis darf dann weder die Form- noch die Lagetoleranzen der Oberfläche überschreiten. Wollte der Konstrukteur jedoch diese kombinierte Prüfung von Form und Lage schon in der Zeichnung vorschreiben, so hätte er - wenn Parallelität, Rechtwinkligkeit und Neigung auf Ersatzelemente bezogen werden - zunächst keine entsprechende Möglichkeit.

Bereits vor längerer Zeit wurde aber an anderer Stelle ein Vorschlag gemacht, der hier noch einmal in die Diskussion gebracht werden soll [14]: In das Feld mit dem Toleranzsymbol werden zwei Symbole nebeneinander eingetragen, z.B. für Geradheit und Parallelität, Bild 5a). Die Eintragung ist so zu interpretieren, dass die kombiniert gemessene Abweichung den Zahlenwert nicht überschreiten darf, genau wie bei den Lauf toleranzen.



Bild 5: Vorschläge zur Eintragung einer kombinierten Geradheits- und Parallelitätstoleranz

- a) Mit zwei Toleranzsymbolen nach [13],
b) Mit einem Pfeil, wie bei Laufabweichungen

Als Alternative sollte auch eine Umdeutung des bei den verschiedenen Laufabweichungen verwendeten Pfeils als Toleranzsymbol ins Auge gefasst werden. Betrachtet man ihn nämlich als allgemeines Symbol für kombinierte Form- und Lagetoleranzen, so könnte er nicht nur bei Rotationsflächen, sondern auch bei ebenen Flächen eingetragen werden, Bild 5b). Beide Möglichkeiten sind einer Erörterung wert und sollten in Betracht gezogen werden.

Bei kombinierten Form- und Lagetoleranzen wird kein Symbol (R oder $T/2$) vor dem Zahlenwert eingetragen, da im Messergebnis immer auch Formabweichungen enthalten sind. Es wird immer direkt mit der angegebenen zulässigen Anzeigedifferenz des Messgerätes verglichen.

Ortstoleranzen und -abweichungen

Die Ortsabweichungen (Position, Symmetrie und Koaxialität) sind ebenso wie die bereits diskutierten Richtungsabweichungen in DIN ISO 1101 gar nicht definiert, sondern nur die entsprechenden Toleranzen. Einige Konsequenzen wurden in dieser Zeitschrift schon einmal dargestellt [15].

Die Grenzabweichung ist bei Ortstoleranzen gleich der Hälfte der in der Zeichnung eingetragenen Toleranz. Der Soll-Ist-Vergleich ist nach der Auslegung auch in den einschlägigen Beuth-Kommentaren [16] und [17] zwischen dem Mittenversatz der Achsen und dieser Grenzabweichung durchzuführen.

Es bleibt jedoch der scheinbare Widerspruch bestehen, dass die Zeichnungstoleranz nur zur Hälfte von der Ortsabweichung ausgenutzt werden darf. Es ist kaum plausibel zu erklären, warum zum Beispiel bei einem Messergebnis von 0,06 eine Toleranzüberschreitung vorliegen soll, wo doch auf der Zeichnung 0,1 zugelassen sind. Genau dieser Widerspruch führte dazu, dass in vielen Auswerteprogrammen z.B. von Koordinatenmessgeräten die eigentliche Lageabweichung von der Nennlage mit dem Faktor 2 multipliziert und der Soll-Ist-Vergleich mit dem Zahlenwert der Toleranz durchgeführt wird. Das Messergebnis ist geometrisch nur sehr schwer zu deuten, und ein Korrekturwert für die Fertigung lässt sich nicht ableiten [15].

Leider scheuen sowohl die Kommentatoren der Norm als auch der Autor des letztgenannten Beitrages die einzig mögliche Konsequenz: Wird in die Zeichnung an Stelle der Toleranz gleich die Hälfte der Toleranz, nämlich die Grenzabweichung, eingetragen, entfallen alle Interpretationsprobleme. Der Soll-Ist-Vergleich kann direkt zwischen Abweichung und Grenzmaß durchgeführt werden. Ist ein Bezugssystem am Prüfling definiert, sind sofort auch die Korrekturwerte für die Fertigung ableitbar.

Die in [15] erwähnte Anwendung des Maximum-Material-Prinzips hat im Verhältnis zu der vorgeschlagenen anschaulichen Definition der Ortsabweichung ein geringeres Gewicht. In der Regel werden Prüfungen nach dem Maximal-Material-Prinzip mit rechnergestützten Messgeräten ausgewertet, bei denen die programminterne Berechnung den Nutzer sowieso wenig berührt. In den ausgesuchten wenigen Fällen, in denen ein qualifizierter Prüfer diese Aufgabe mit dem Taschenrechner erledigt, kann die Berücksichtigung dieses Faktors durchaus zugemutet werden. In der betrieblichen Praxis wird es die große Ausnahme bleiben.

Die Aufgabe für die Normung ist damit schon beschrieben. Die Ortsabweichungen sind in einer Neufassung mit ihren Toleranzzonen zu definieren, wie es in [18] schon einmal in vorbildlicher Weise geschehen ist.

Zur Unterscheidung von den bisherigen Eintragungen ist es zweckmäßig, bei Ortstoleranzen in vorgegebener Richtung vor den Zahlenwert das Symbol $T/2$ zu setzen. Damit ist gekennzeichnet, dass es sich um die halbe Toleranz, d.h. die zulässige Abweichung handelt. Diese Eintragung ist bei allen Symmetrie- und bei einigen Positionstoleranzen anzuwenden.

Bei Ortstoleranzen in beliebiger Richtung ist vor die Grenzabweichung das Symbol R für den Radius der Toleranzzone einzutragen. Diese Eintragung gilt für einige Positions- und für alle Koaxialitäts- und Konzentritätstoleranzen. Das Bild 6 zeigt zwei Beispiele.

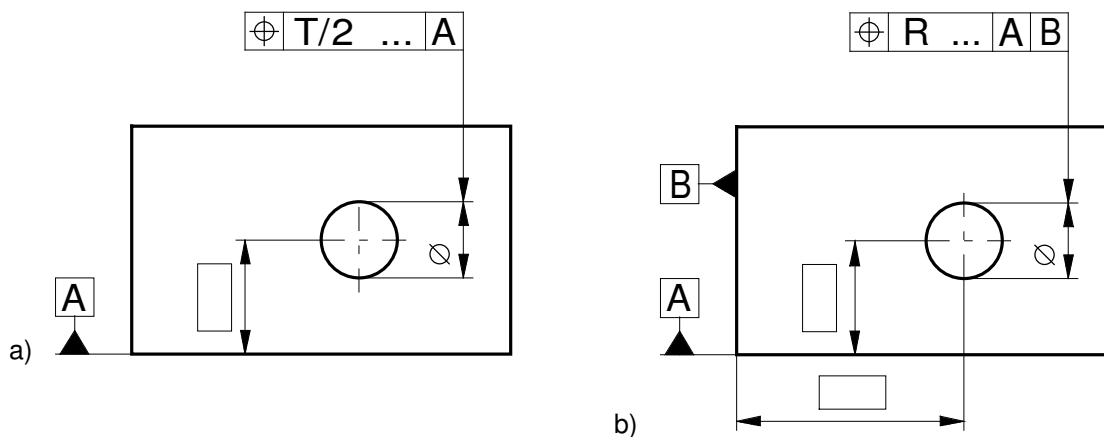
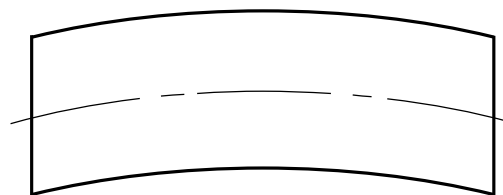


Bild 6: Beispiele für Positionstoleranzen mit eingetragener Grenzabweichung
 a) Positionstoleranz in vorgegebener Richtung mit dem Symbol $T/2$
 b) Positionstoleranz in beliebiger Richtung mit dem Symbol R

Achsen und Mittelebenen

In DIN ISO 1101 werden bei der Definition der Toleranzen und Toleranzzonen die Begriffe Achse und Mittelebene gebraucht. An keiner Stelle der Norm ist jedoch definiert, was darunter zu verstehen ist. In mehreren Darstellungen wird die Achse als mehrfach gekrümmte Linie eingezeichnet, ohne eine Vorschrift zur Ermittlung dieser Linie aus den örtlichen Oberflächenabweichungen anzugeben. Auch bei den Mittelebenen werden weder eine Definition noch eine Berechnungsvorschrift angegeben, Bild 7.

Bild :
 Die Achse eines mit Formabweichungen behafteten Körpers ist in DIN ISO 1101 nicht definiert.



So bleibt es zunächst einmal dem Anwender der Norm überlassen, seine eigene Sichtweise in die Norm hineinzunehmen. Vergleichbare Messergebnisse werden auf diese Weise kaum entstehen, wenn verschiedene Auslegungen zugelassen werden.

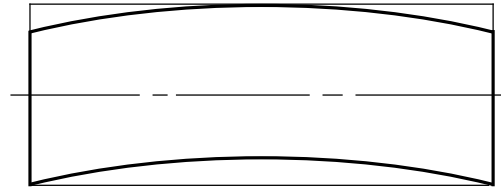
Soll die Achse aus den Mittelpunkten in mehreren Querschnitten ermittelt werden, so sind auch diese Mittelpunkte zu definieren. Hier kommen z.B. bei zylindrischen Flächen der Mittelpunkt des Ausgleichskreises, des angrenzenden und des Minimumkreises in Betracht. Untersucht man aber die Funktion einer solchen Zylinderoberfläche, so kommt es weniger auf den einzelnen Querschnitt als vielmehr auf das Gesamtbild an. Für die meisten Fälle beschreibt der von der materialfreien Seite an die Oberfläche angrenzende idealgeometrische Ersatzzylinder die Funktion am besten. Dieser hat jedoch keine gekrümmte Achse, sie ist vielmehr immer eine Gerade, vergleiche das Bild 8.

In ähnlicher Weise kann die Mittelebene so definiert werden, dass es sich um die Symmetrieebene zwischen zwei jeweils von der materialfreien Seite angrenzenden Ebenen handelt. Die mittlere Gerade ist analog die Symmetriegerade zwischen zwei angrenzenden Geraden.

Bei dieser Definition der Lageabweichungen für die Ersatzelemente braucht nur noch geprüft werden, ob der Rand des Ersatzelementes innerhalb der Toleranzzone liegt. Ist das der Fall, so liegen alle

anderen Abschnitte des Ersatzelemente ebenfalls darin. Die Formabweichungen der Oberfläche spielen bei der Prüfung der Lageabweichungen keine Rolle mehr.

Bild 8:
Die Achse des von der materialfreien Seite angrenzenden idealgeometrischen Ersatzelementes ist eine Gerade.

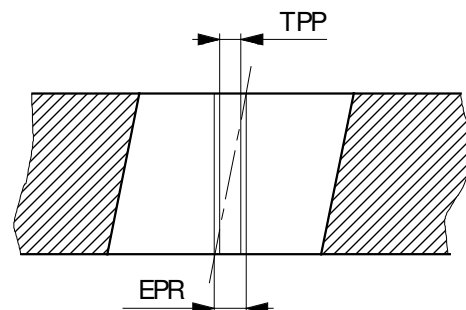


Die angrenzenden Ersatzelemente können heute mit geeigneten Algorithmen auf statistisch gesicherter Basis berechnet werden. Neben den Parametern der Elemente lassen sich deren Unsicherheiten und die Paarungsmaße angeben [4] [5]. Somit steht der Normung der genannten Definitionen nichts mehr im Wege.

Abhängigkeit von Orts- und Richtungsabweichungen

Ein praktisches Problem bei der Messung von Ortsabweichungen ist im Bild 9 angedeutet: Es kann der Fall eintreten, dass die Lageabweichung außerhalb der Toleranz liegt, aber durch eine Positionskorrektur an der Bearbeitungsmaschine nicht zu beheben ist. Die Ursache liegt darin, dass in den Ortsabweichungen per Definition auch die Richtungsabweichungen enthalten sind. Hier führt nur die zusätzliche Messung der Rechtwinkligkeitsabweichung zu brauchbaren Messergebnissen und Korrekturwerten.

Bild 9:
Abhängigkeit der Orts- von den Richtungsabweichungen: Durch eine Positionskorrektur allein ist die Abweichung nicht zu beheben, wenn die Rechtwinkligkeitsabweichung E_{PR} größer als die Positionstoleranz T_{PP} ist.



Das Problem spielt vor allem bei großen (Bohrungs-) Längen eine Rolle, bei kleinen ist der Anteil der Richtungsabweichung in der Regel vernachlässigbar. Die Entscheidung für die Zeichnungseintragung und Messung sollte auf Grund der aus den Fertigungsbedingungen zu erwartenden und der funktionell zulässigen Abweichungen getroffen werden. Einen zusätzlichen Anhaltspunkt gibt die prüfbare Toleranz, die sich auf Grund von Messunsicherheitsbetrachtungen ableiten lässt [5].

Zusammenfassung

Die heute gültige Norm DIN ISO 1101 weist wesentliche inhaltliche Mängel auf, welche ihre Anwendung in der betrieblichen Praxis erschweren. Insbesondere sind die definierten Prüfmerkmale nicht funktionsgerecht und erlauben keine direkte Ableitung von Korrekturwerten zum Eingriff in den Fertigungsprozess.

Es können folgende Schwerpunkte für eine künftige Überarbeitung der Norm angeführt werden:

- Zu den Orts- und Richtungstoleranzen sind die entsprechenden Lageabweichungen zu definieren.
- Sowohl die Form- als auch die Lageabweichungen sind auf idealgeometrische Ersatzelemente zu beziehen. Lageabweichungen werden unter Ausschluß der Formabweichung bestimmt.

- Bei den Ersatzelementen ist den funktionell bedeutsamen angrenzenden Elementen der Vorzug zu geben. Werden andere festgelegt, sind sie zum Messergebnis zusätzlich mit anzugeben.
- Die Definition der Lageabweichungen soll die richtungsbezogene Berechnung und Auswertung gestatten. Damit können direkt Korrekturwerte für die Fertigung abgeleitet werden.
- Sowohl bei Richtungs- als auch bei Ortstoleranzen sind in die Zeichnung die Grenzabweichungen einzutragen. Sie werden auch zum Soll-Ist-Vergleich herangezogen. Die Toleranzen haben jeweils den doppelten Betrag.
- Die Lagetoleranzen sind mit dem Symbol $T/2$ für eine Toleranz in vorgegebener Richtung bzw. dem Symbol R für eine Toleranz in beliebiger Richtung vor dem Zahlenwert der Grenzabweichung in die Zeichnung einzutragen.
- Es ist eine Vereinbarung zu treffen, mit welchem Toleranzsymbol kombinierte Form- und Lage-toleranzen in die Zeichnung einzutragen sind, wenn sie wie die Lauftoleranzen vereinfacht geprüft werden sollen.

Literatur

- [1] DIN ISO 1101: Technische Zeichnungen. Geometrische Tolerierung; Form-, Richtungs-, Orts- und Lauftoleranzen. Allgemeines, Definitionen, Symbole, Zeichnungseintragungen. Beuth, Berlin 1985
- [2] BS 7172 (1989): Assessment of position, size and deviation from nominal form of geometric features. (British Standard)
- [3] DIN 32880 Teil 1 (Entwurf): Koordinatenmesstechnik. Geometrische Grundlagen und Begriffe. Beuth, Berlin 1986
- [4] Hernla, M.: Die Unsicherheit von angrenzenden Formelementen. Qualität und Zuverlässigkeit, München 38 (1993) 6, S. 373-378
- [5] Hernla, M.: Abschätzung der Messunsicherheit von Koordinatenmessungen unter den Bedingungen der industriellen Fertigung. VDI-Fortschrittberichte Reihe 2, Nr. 274, 1992
- [6] DIN 1319 Teil 3: Grundbegriffe der Messtechnik. Begriffe für die Messunsicherheit und für die Beurteilung von Messgeräten und Messeinrichtungen. Beuth, Berlin 1983
- [7] DIN 1319 Teil 4: Grundbegriffe der Messtechnik. Behandlung von Unsicherheiten bei der Auswertung von Messungen. Beuth, Berlin 1985
- [8] DIN 7167: Zusammenhang zwischen Maß-, Form- und Lagetoleranzen; Hüllbedingung ohne Zeichnungseintragung. Beuth, Berlin 1985
- [9] DIN ISO 8015: Technische Zeichnungen. Tolerierungsgrundsatz. Beuth, Berlin 1986
- [10] Wirtz, A.: Vektorielle Tolerierung von Werkstücken: eine systemgerechte Datenstruktur überwindet die Grenzen zwischen CAD, CAM und CAQ. VDI-Bericht 751 (1989), S. 367-383
- [11] Wirtz, A.: Erste Erfahrungen mit der vektoriellen Tolerierung in der automatischen Regelung der geometrischen Qualität. VIII. Internationales Oberflächenkolloquium Chemnitz 1992, Band 1, S. 14-25
- [12] DIN ISO 286 Teil 1: ISO-System für Grenzmaße und Passungen; Grundlagen für Toleranzen, Abmaße und Passungen. Beuth, Berlin 1990
- [13] ST RGW 368-76 (1976) und TGL 31049 (1981): Eintragung der Form- und Lagetoleranzen
- [14] Trumpold, H.; Meier, W.; Richter, G.: Form- und Lageabweichungen und ihre Tolerierung. Wissenschaftliche Schriftenreihe der TH Karl-Marx-Stadt, Heft 3, 1983
- [15] Jordan, W.: Die Grenzabweichung schafft Klarheit bei Form- und Lagetoleranzen. Qualität und Zuverlässigkeit, München 37 (1992) 1, S. 42-45
- [16] Aberle, W.; Brinkmann, B.; Müller, H.: Prüfverfahren für Form- und Lageabweichungen. Beuth-Kommentar, 1. Auflage 1987
- [17] Henzold, G.: Form und Lage. Beuth-Kommentar, 1. Auflage 1992
- [18] ST RGW 301-76 (1976) und TGL 19080 (1981): Form- und Lagetoleranzen. Grundbegriffe