

Geometrische Produktspezifikation GPS

Anwendung der Geometrietolerierung auf Stufenmaße

Dr.-Ing. Gunter Effenberger,
TEQ® Training & Consulting GmbH

Vorbemerkungen

In den letzten Ausgaben der PIQ® wurden in dieser Artikelreihe bereits Beiträge über wesentliche, zur Geometriebeschreibung erforderliche Normen des GPS-Konzeptes veröffentlicht.

Bisher erschienen sind:

- Geometrische Produktspezifikation GPS - eine unvollständige Bestandsaufnahme (PIQ 01/2012)
- Geometrische Produktspezifikation GPS - Die GPS-Grundnorm DIN EN ISO 8015 (PIQ 02/2012)
- Geometrische Produktspezifikation GPS - Die allgemeine GPS-Norm zur Beschreibung und Tolerierung von Längenmaßen - DIN EN ISO 14405-1 (PIQ 01/2013)
- Geometrische Produktspezifikation GPS - Konsequenzen für die Tolerierung von Maßelementen (PIQ 02/2013).

Im April 2013 erschien die deutsche Fassung der GPS-Norm ISO 14405-2:2011 mit dem Titel: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Dimensionelle Tolerierung – Teil 2: Andere als lineare Maße, besser ins Deutsche übertragen mit: Andere Längenmaße außer Größenmaßelemente. Unter diese Kategorien fallen alle reinen Abstandsmaße (also die in PIQ 01/2013 beschriebenen Größenmaße ausgenommen) und Radien. Der vorliegende Artikel wendet sich dem Thema „Stufenmaße“ im Kontext zu den Vorgaben der genannten Norm zu.

Konvention:

Alle im Folgenden aufgeführten Zahlenangaben beziehen sich auf die Maßeinheit mm, ohne dass diese Einheit mitgeführt wird.

Stufenmaße in traditioneller Bemaßung

Als Stufenmaße können Abstandsmaße gegenüberliegender Flächenelemente oder Körperkanten bezeichnet werden, deren Flächen / Kanten parallel aber versetzt zueinander liegen. Ein Zweipunktabstand mit körperlichen Kontaktpunkten und senkrechter Ausrichtung auf eine der beiden Flächen / Kanten kann nicht gebildet werden (Abbildung 1). Die Abstände von Stirnflächen abgesetzter Wellen zueinander sind üblicherweise auch typische Stufenmaße, abgesehen von Stirnflächen, die parallel zueinander liegen und Ringnuten begrenzen.

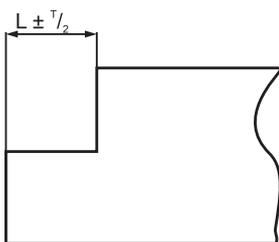


Abbildung 1

Für die Vermessung des Bauteils in Abbildung 1 ergeben sich mehrdeutige Möglichkeiten, wenn das am Größenmaßelement definierte Zweipunktmaß genutzt werden würde, wie in Abbildung 2 gezeigt.

Diese Mehrdeutigkeit bzgl. der Bauteilprüfung ist der Hauptgrund für den Vorschlag in DIN EN ISO 14405-2, die Längenbemaßung derartiger Stufenmaße durch die Geometrietolerierung nach DIN EN ISO 1101 zu ersetzen.

Für die weitere Abhandlung soll ein einfaches Beispiel betrachtet werden. Ein Flachteil ist wie in Abbildung 3

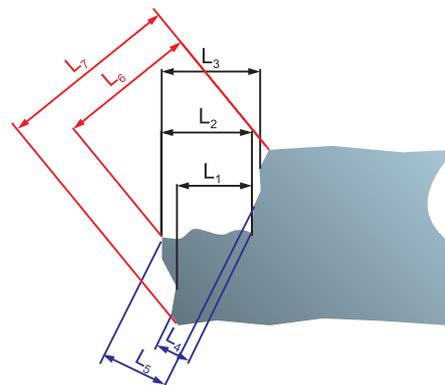


Abbildung 2

traditionell bemaßt. Argumente, dass der Maßaufbau an diesem Bauteil auch anders erfolgen und die Stufenbemaßung umgangen werden könnte, sind richtig, sollen hier aber ignoriert werden.

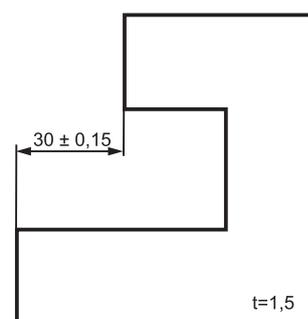


Abbildung 3

Stufenmaße - toleriert mit Positionstoleranzen und Bezug

DIN EN ISO 14405-2 gibt die folgenden zwei Varianten für den Ersatz des abmaßtolerierten Längenmaßes (Abbildung 3) durch ein theoretisch exaktes Maß verknüpft mit einer Positionstoleranz und einem Bezug vor (Abbildung 4).

Umtolerierung ISO 14405-02 Variante 1:
Eine Körperkante wird als Bezug deklariert, die andere bekommt die Toleranz. Der Abstand wird als theoretisch exaktes Maß (TED) angegeben.

Umtolerierung ISO 14405-02 Variante 2:
Eine Körperkante wird als Bezug deklariert, die andere bekommt die Toleranz. Der Abstand wird als theoretisch exaktes Maß (TED) angegeben. Im Vergleich zur Variante 1 Bezug getauscht.

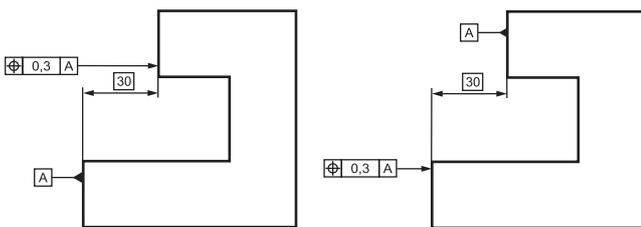


Abbildung 4

Für die Auswertung des Geometrie-Istzustandes am Bauteil sind die Formabweichungen der den jeweiligen Bezug A verkörpernden Kanten des Flachteiles zu eliminieren. DIN EN ISO 5459 führt dafür den Begriff des Situationselementes ein und gibt für Linien bzw. Flächen das anliegende resp. minimale Zonelement vor. Das mit dem Toleranzrahmen verknüpfte tolerierte Element, hier eine Körperkante, ist nun bzgl. des gewünschten Abstandes von 30 mit einer Positionstoleranzzone verknüpft. Die Toleranzzone liegt mit $\pm 0,15$ symmetrisch zur Sollposition im Abstand 30 zu A und nimmt Formabweichungen, Richtungsabweichungen zu A und auch Längenmaßabweichungen auf.

Für die Bewertung, ob diese Geometriespezifikation am Bauteil umgesetzt worden ist (in den GPS-Normen als Verifikation bezeichnet), gibt es im Kontext zum industriellen Qualitätsverständnis zwei Beweggründe:

- Der **Qualitätssicherungsaspekt** verlangt eine Information, ob die Spezifikation erfüllt ist oder nicht, und fordert ggf. diese Information aufzuzeichnen.
- Der **Qualitätslenkungsaspekt** verlangt eine Information, welchen Charakter die geometrische Störung hat und in welche Richtung ggf. der Herstellprozess korrigiert werden muss.

Die Positionsabweichung selbst ist in den Normen des GPS-Systems bislang – leider – nicht definiert. Drei Interpretationen der Positionsabweichung sind aus dem Toleranzzonenmodell abgeleitet und in der messtechnischen Praxis eingeführt worden. Sie werden nachstehend für die Variante 1 vorgestellt, für Variante 2 gelten die Aussagen in gleicher Art.

In Abbildung 5 sei das Bauteil mit einem KMG vermessen worden. Die Positionsabweichung bezüglich der

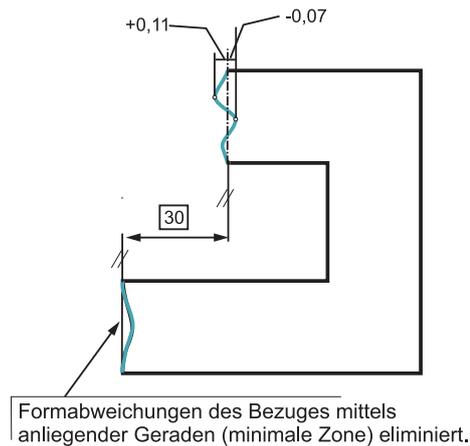


Abbildung 5

Sollposition 30 von A wird im Beispiel hauptsächlich durch die Formabweichung bestimmt.

Positionsabweichung₁:

Die Positionsabweichung₁ ist der größte richtungsorientierte Abstand des erfassten Elementes zur Sollposition. Üblicherweise wird die Richtungsinformation auf die Grenzfläche, also auf den Übergang von werkstofffreier Seite zur Werkstoffseite, bezogen:

- „ + “ Richtung von der Sollposition in den werkstofffreien Bereich
- „ - “ Richtung von der Sollposition in den Werkstoffbereich

Die Positionsabweichung₁ im Beispiel beträgt demzufolge + 0,11.

Die Positionsabweichung₁ erfüllt den **Qualitätssicherungsaspekt** durch die Aussage

$$+ 0,11 \leq T_{Pos}/2 = 0,15 \text{ Bauteil i.O.}$$

Die Positionsabweichung₁ erfüllt den **Qualitätslenkungsaspekt** durch die Aussagen

Materialberg (peak) mit 0,11 Höhe als örtliche Formabweichung lokalisiert.

Positionsabweichung₂:

Die Positionsabweichung₂ ist der größte Abstand (Betrag) des erfassten Elementes zur Sollposition. Die Positionsabweichung₂ beträgt demzufolge 0,11.

Die Positionsabweichung₂ erfüllt den **Qualitätssicherungsaspekt** durch die Aussage

$$0,11 \leq |T_{Pos}|/2 = 0,15 \text{ Bauteil i.O.}$$

Die Positionsabweichung₂ ist für den **Qualitätslenkungsaspekt** nicht verwertbar.

Positionsabweichung₃:

Die Positionsabweichung₃ ist der Bereich der Toleranzzone, den das geometrische Element aufgrund seiner Abweichung „verbraucht“ oder „ausfüllt“. Sie ist der doppelte Wert der Positionsabweichung₂, also $2 \times 0,11 = 0,22$.

Die Positionsabweichung₃ erfüllt den **Qualitätssicherungsaspekt** durch die Aussage

$$2 \times 0,11 = 0,22 \leq T_{Pos} = 0,30 \text{ Bauteil i.O.}$$

Die Positionsabweichung₂ ist für den **Qualitätslenkungsaspekt** nicht verwertbar.

Wird das Bauteil allerdings nicht mit einem KMG sondern auf Grundlage von Längenmessungen geprüft, was trotz anderer Zeichnungsangabe immer der Fall sein kann, ist Folgendes zu beachten.

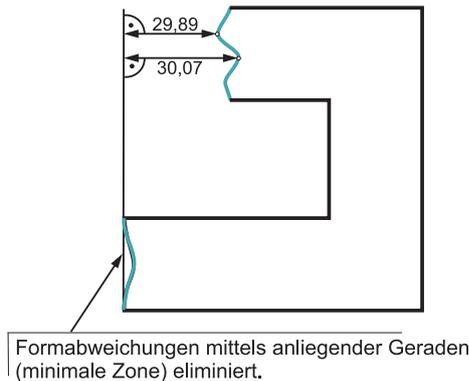


Abbildung 6

Positionsabweichung₁:

Die Positionsabweichung wird aus dem Größt- und Kleinstmaß der ermittelten Abstandsmaße berechnet werden. Damit ist der oben beschriebene Zusammenhang zur Werkstoffgrenzfläche aufgelöst und das Vorzeichen (Richtungsinformation) wird althergebracht aus der Abweichungsdefinition gebildet:

$$\text{Abweichung} = \text{Ist}(\text{maß}) - \text{Soll}(\text{maß}).$$

Für das Beispiel ergibt sich: $30,07 - 30 = + 0,07$ und $29,89 - 30 = -0,11$.

Die Richtungsinformation kehrt sich also im Vergleich zur Messung mit dem KMG um!

Die Positionsabweichung₁ erfüllt den **Qualitätssicherungsaspekt** durch die Aussage

$$- 0,11 \geq T_{Pos}/2 = - 0,15 \text{ Bauteil i.O.}$$

(Die „negative Toleranz“ dient lediglich zur Veranschaulichung, um die richtungsbezogene Abweichung bewerten zu können. Per Definition sind Toleranzen vorzeichenlose Intervallangaben).

Die Positionsabweichung₁ erfüllt den **Qualitätslenkungsaspekt** durch die Aussagen

Abweichung von -0,11 basiert auf einer Längenmessung mit $L_{max} = 30,07$, $L_{min} = 29,89$.

Für die Positionsabweichung₂ und Positionsabweichung₃ ergeben sich keine Unterschiede zu den obigen Ausführungen.

Anwendungsempfehlung für Variante 1 oder 2:

Variante 1 oder 2 sind dann anzuwenden, wenn das zu tolerierende Abstandsmaß einen Bezug im Sinne einer Funktions- oder Fertigungsbasis hat oder braucht. Unter Umständen sind am Bezug die Formabweichungen mittels Formtoleranzangabe zu begrenzen. Für das positionstolerierte Element kann es ggf. erforderlich sein, die Positionstoleranz mit Form- und Richtungstoleranzen zu ergänzen, wenn eine Trennung dieser Bestandteile funktionell oder fertigungstechnisch von Vorteil ist.

Stufenmaße - toleriert mit Positionstoleranzen ohne Bezug

DIN EN ISO 14405-2 ergänzt die beiden vorstehenden Tolerierungsvarianten mit einer dritten Möglichkeit. Auf die Angabe eines Bezuges wird verzichtet. Die den Abstand bildenden Geometrielemente bekommen beide eine Positionstoleranz, müssen aber noch mit CZ als gemeinsam wirkende Toleranzzone (CZ...common zone) modifiziert werden.

Umtolerierung Variante 3:
Keine Körperkante wird zum Bezug, beide Körperkanten werden über einen Modifikator CZ (common zone) auf Abstand toleriert. Die Toleranzzone gilt für beide Elemente gemeinsam.

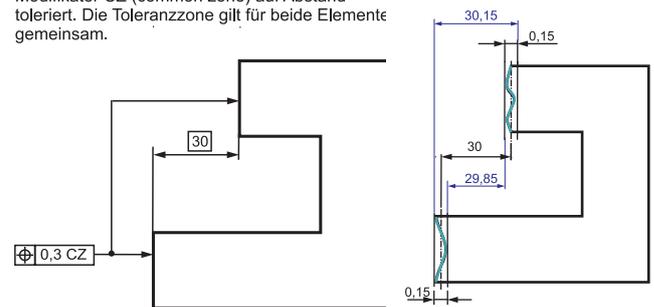


Abbildung 7

Es ist die Definition der Toleranzzone für die Positionstoleranz anzuwenden. Durch CZ wird die Größe der Toleranzzone beiden Elementen gemeinsam zugeordnet. Jede Körperkante hat damit nur ein Toleranzgebiet von $T_{Pos}/2$. Die Zone selbst richtet sich an den abweichungsbehafteten Geometrielementen selbst aus, da keine Bezüge vorgegeben sind.

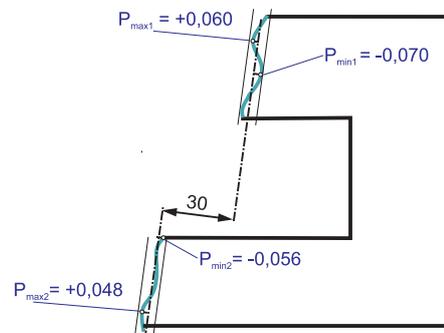


Abbildung 8

Ungeklärt bzw. nicht beschrieben ist, wie das Paar von Geraden im theoretisch genauen Abstand 30 in beide

Istgeraden hineinzulegen ist. Durch die Common Zone-Vereinbarung und durch die Verwendung der Positionstoleranzzone muss es aber offensichtlich ein Paar paralleler Geraden sein, das dem mittleren Element nach Gauß entspricht, bezüglich seiner Richtung keine Restriktion erhält, aber das geforderte Abstandsmaß zueinander einhält. Dazu können dann, wie in der Abbildung gezeigt, die örtlichen Abweichungen in Richtung der werkstofffreien Seite und Werkstoffseite ausgewertet werden.

Positionsabweichung₁:

Die Positionsabweichung ist der größte richtungsorientierte Abstand des erfassten Elementes zur Sollposition. Die Richtungsinformation wird auf die Grenzfläche, also den Übergang von werkstofffreier Seite zur Werkstoffseite, bezogen (s. oben).

Die Positionsabweichung₁ erfüllt den **Qualitätssicherungsaspekt** durch die Aussage

$$-0,070 \geq T_{\text{Pos}/4} = -0,075 \text{ Bauteil i.O.}$$

Die Bewertung des Geradenpaares als „Ganzes“ ist ausreichend. Es wird nur die maximale Abweichung betrachtet, unabhängig davon, an welcher Kante sie auftritt. Weiterhin ist zu bemerken, dass für die örtliche Abweichung nur $\frac{1}{4}$ der Positionstoleranz zur Verfügung steht.

Die Positionsabweichung₁ erfüllt den **Qualitätslenkungsaspekt** durch die Aussagen

Die Positionsabweichung₁ ist eine „reine“ Linienformabweichung, beträgt bei Gerade 1 an $P_{\text{min}1} = -0,070$.

Die Positionsabweichung₁ ist eine „reine“ Linienformabweichung, beträgt bei Gerade 2 an $P_{\text{min}2} = -0,056$.

Werden die Messerergebnisse mit einer grafischen Darstellung der Verhältnisse ergänzt, wird der Qualitätslenkungsaspekt in seiner Aussage weiter verbessert.

Positionsabweichung₂:

Die Positionsabweichung ist der größte Abstand (Betrag) der erfassten Elemente zur Sollposition. Die Positionsabweichung₂ beträgt demzufolge 0,07.

Die Positionsabweichung₂ erfüllt den **Qualitätssicherungsaspekt** durch die Aussage

$$0,070 \leq |T_{\text{Pos}/4}| = 0,075 \text{ Bauteil i.O.}$$

Die Bewertung des Geradenpaares als „Ganzes“ ist ausreichend. Es wird nur die maximale Abweichung betrachtet, unabhängig an welcher Kante sie auftritt.

Die Positionsabweichung₂ ist für den **Qualitätslenkungsaspekt** nicht verwertbar.

Positionsabweichung₃:

Die Positionsabweichung₃ ist der Bereich der Toleranzzone, den das geometrische Element aufgrund seiner Abweichung „verbraucht“ oder „ausfüllt“. Es ist der doppelte Wert der Positionsabweichung₂, also $2 \times 0,07 = 0,14$.

Die Positionsabweichung₃ erfüllt den **Qualitätssicherungsaspekt** durch die Aussage

$$0,14 \leq |T_{\text{Pos}/2}| = 0,15 \text{ Bauteil i.O.}$$

Die Bewertung des Geradenpaares als „Ganzes“ ist ausreichend. Es wird nur die maximale Abweichung betrachtet, unabhängig davon, an welcher Kante sie auftritt.



... genau, robust und zuverlässig

Die neuen Messtaster der DF Serie mit kompakter Auswerteeinheit mit EtherCAT Schnittstelle zur schnellen Messdatenverarbeitung.

- EtherCAT Schnittstelle
- Schnelle Montage auf der Hutschiene
- Lebensdauer: 60 Mio. Hübe
- Messbereich: 5 mm / 12 mm
- Max. Auflösung: 0,1 µm
- Perfekt zur schnellen Messdatenerfassung in Produktions- und Montagelinien



Besuchen Sie uns!

Control 2014, Stuttgart
Stand 1 / 15 16

Jetzt weitere Informationen anfordern!

Magnescale Europe GmbH
Tel. +49-(0)7153-934-291
info-eu@magnescale.com
www.magnescale.com

Magnescale

SPEED X PRECISION

Auch die Positionsabweichung₃ ist für den **Qualitätslenkungsaspekt** nicht verwertbar.

Anwendungsempfehlung für Variante 3:

Variante 3 ist dann zu empfehlen, wenn die klassische Längenbemaßung in eine Positionstolerierung zu übertragen ist und keine der betrachteten Elemente Bezugscharakter hat.

Stufenmaße toleriert mit Positionstoleranzen – Versuch einer Wertung

Der Grund des Wechsels von der Längenbemaßung zur Positionstolerierung ist, die Mehrdeutigkeit in der Verifikationsphase zu verhindern. Die vorstehenden Ausführungen haben allerdings verdeutlicht, dass dieser Wechsel nicht ganz komplikationslos verläuft und es immer noch ausreichend Fallstricke bei der Interpretation und Auswertung solcher umtolerierten Längenmaße gibt.

Welche Vorteile bietet nun der Wechsel im Bemaßungskonzept?

- Der Konstrukteur kann seine Funktionsanforderungen eindeutiger in einen Spezifikationsoperator überführen: Aus einer Zeichnungsangabe können nun 3 Varianten, angepasst auf die jeweilige Funktion, entstehen. Die Mehrdeutigkeit in der Interpretation seiner Anforderungen ist dann wirklich ausgeschlossen.
- Das GPS-System führt keine neuen Codierungsformen ein, sondern setzt mit der Positionstolerierung nach DIN EN ISO 1101 auf Bekanntes auf. Das Verstehen resp. Begreifen der Spezifikation der positionstolerierten Abstandsmaße ist damit formal sichergestellt.
- Auch der andere große Geometriestandard, die amerikanische Norm ASME Y 14.5, gibt in der Fassung von 2009 ein ähnliches Konzept vor. Allerdings erfolgt der Wechsel von der Bemaßung zur Geometrietolerierung unter Verwendung der Linienformtoleranz (bei Kanten) oder Flächenformtoleranz (bei Flächen). Eine etwa gleichartige Verständigungsbasis zwischen GPS und ASME ist damit sichergestellt.

Auch die möglichen Nachteile sollten nicht unerwähnt bleiben.

- Konstrukteure fühlen sich möglicherweise belästigt, wenn sie ein gewohntes Bemaßungskonzept verlassen sollen und aus dem Mehraufwand bei der Neubemaßung keine Nutzeffekte für die Funktion oder Fertigung erkennen können. Diese Akzeptanzschwelle könnte vor allem bei den „alten Hasen“ mit langjähriger Konstruktionspraxis besonders hoch sein.
- Zeichnungen werden durch die Zunahme der Anzahl von Toleranzrahmen und die Zunahme der Anzahl von theoretisch exakten Maßen in Rechteckrahmen schnell unübersichtlich. Das Durcharbeiten einer

Zeichnung dauert länger. Der „Kunde“ der Zeichnung könnte unzufrieden oder verärgert sein.

- Die zu ermittelnde Abweichung, die Zuordnungskriterien für die Situationselemente bei Verwendung von Positionstoleranzen ohne Bezug und die bevorzugt anzuwendende Verifikationsmethode sind noch nicht in einer Norm geregelt. Die Protokollierung der ermittelten Abweichungen ist keinesfalls eindeutiger als bei der klassischen Längenbemaßung (s. alle Beispiele oben). Notfalls müssen wieder Firmenrichtlinien mit Regeln für das Interpretieren solcher Angaben erstellt werden, solange das GPS-System dazu keine Klarstellungen enthält.
- Vermeintlich einfache Messaufgaben verlangen den Einsatz aufwändiger Messmaschinen und Messsysteme. Evtl. führen die neuen Zeichnungsangaben zu einer teureren Prüfung, die nicht unbedingt wirtschaftlicher sein muss.
- Ggf. bleibt die Werkerselbstprüfung (bei Lieferanten oder im eigenen Haus) auf der Strecke, wenn dem Augenschein nach einfache Sachverhalte kompliziert dargestellt und erfasst werden müssen. Es entsteht ein Schulungsbedarf und evtl. auch Motivationsbedarf, der kurzfristig gedeckt werden muss.

Handlungsempfehlung

Trotz der vom Verfasser verursachten, also subjektiv gefärbten längeren Liste mit Nachteilen wiegen jene nicht so schwer, um zu dem neuen Tolerierungskonzept auf Abstand zu gehen oder sich ihm gänzlich zu verweigern. Die Produktentwickler und Konstrukteure sollten Regeln erstellen, ob bzw. welche Stufen- oder Abstandsmaße durch Positionstoleranzen zu ersetzen sind. Das betrifft vorzugsweise die bereits jetzt in Tabellenform vorgegebenen Koordinatenmaße. Bei wellenförmigen Bauteilen sollten alle Planflächen, die eine Anlagefunktion sicherstellen, positionstoleriert, verbleibende schmale Bundflächen „ohne Funktion“ durch Maße mit Allgemeintoleranzen bemaßt werden.

Prozess- und Messtechniker sind aufgefordert, Auswerteregeln unter Nutzung der von den Messgeräteherstellern vorgeschlagenen Auswertestrategien zu erstellen, um vor allem den oben vorgestellten Qualitätslenkungsaspekt zur Zufriedenheit aller Parteien zu gewährleisten.

Fazit

Zu guter Letzt sei die DIN EN ISO 14405-2 im Original zitiert. Dort heißt es im Abschnitt 7, Veranschaulichungen für eine mehrdeutige Plus-Minus-Tolerierung im Gegensatz zur geometrischen Tolerierung, Unterabschnitt 7.1 Allgemeines:

„Geometrische Toleranzen können verwendet werden, um die Mehrdeutigkeit von Maßen mit Plus-Minus-Toleranzen zu vermeiden.“

Wer kann, darf also, muss aber nicht!