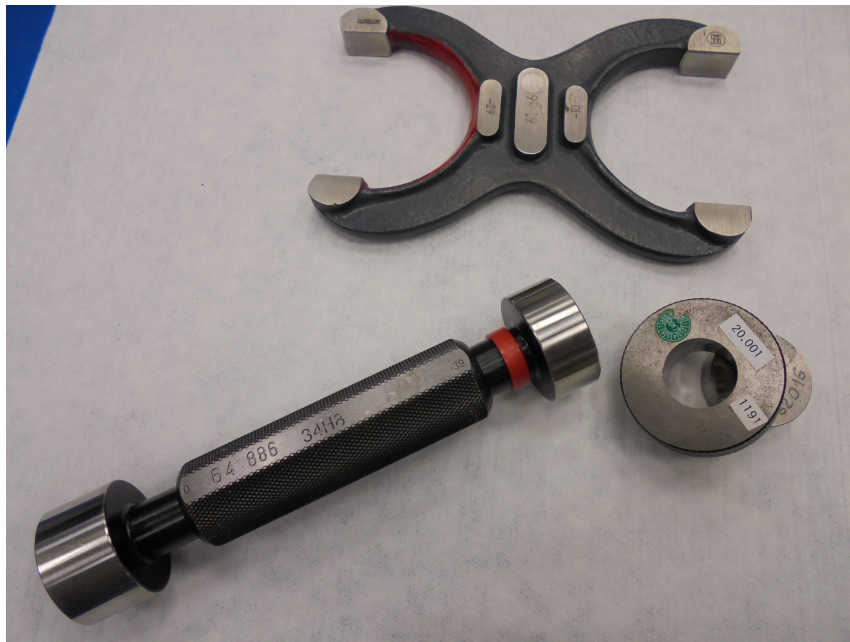




GPS – Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung in der Praxis

Illusion und Wirklichkeit

Michael Hernla, Dortmund

Manuskriptfassung des Beitrags in QZ Qualität und Zuverlässigkeit, München 60 (2015) 5, S. 108-111

Das GPS-Normensystem sollte die Grundlage für eindeutige und vollständige Zeichnungen liefern. Die definierten Standard-Spezifikationen erlauben das jedoch nur begrenzt und weichen stark von der üblichen Messpraxis ab. Der Beitrag gibt Empfehlungen für eindeutige Zeichnungen und bestmögliche Messergebnisse.

Seit seiner Gründung im Jahr 1996 wird im ISO/TC 213 an dem Normensystem für Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung (GPS) gearbeitet. Die wesentlichen Gründe für das Projekt waren:

- Zunehmende Internationalisierung der Industrieproduktion
- Notwendigkeit der weltweiten Austauschbarkeit von Einzelteilen und Produkten
- Auf der Grundlage von eindeutigen und vollständigen Zeichnungen mit realistischen Toleranzen
- Als Voraussetzung für genaue und reproduzierbare Qualitätsprüfungen
- Mit modernen, rechnergestützten Konstruktionssystemen (CAD) und Messgeräten

Dabei sollten Standard-Spezifikationen festgelegt werden, um die Messbedingungen für die geometrischen Eigenschaften zu definieren. Davon abweichende Bedingungen kann der Konstrukteur mit entsprechenden Symbolen auf der Zeichnung festlegen.

Solche Standard-Definitionen sind erst vor wenigen Jahren mit den Normen ISO 8015 [1], 14405-1 [2] und 286-1 [4] wirksam geworden. In ISO 14405-1 wurde erstmals überhaupt das Zweipunktmaß als allgemein verbindliche Maßdefinition für Längenmaße festgelegt. Bis dahin lag es allein im Ermessen des Qualitätsprüfers, ob das Maß z.B. mit einer Grenzlehre (siehe Titelbild), einem Messschieber oder einem Koordinatenmessgerät geprüft wurde – natürlich mit ganz unterschiedlichen Prüfergebnissen.

Taylorscher Grundsatz

Einzige Ausnahme davon war das ISO-Toleranzsystem für Längenmaße (z.B. 20 H7 oder 30 js6) nach der Vorgängernorm von ISO 286-1 [4] aus dem Jahr 1988. Hier war für die Qualitätsprüfung der Taylorsche Grundsatz festgelegt, d.h. auf der Gutseite war die Paarung mit dem idealen Gegenstück zu prüfen, auf der Ausschussseite das Istmaß. Seit 2010 gilt auch hier das Zweipunktmaß.

Allerdings wurde bisher nicht einmal mit den genormten Grenzlehren (siehe Titelbild) nach dem Taylorschen Grundsatz geprüft:

- Bei Innenmaßen müsste die Gutseite des Grenzlehrdornes so lang wie das Geometrieelement am Werkstück sein. Die Ausschusseite müsste als Stichmaß mit zwei kugelförmigen Endflächen ausgeführt werden.
- Bei Außenmaßen müsste die Gutseite anstelle eines Lehringes in Form einer Hülse so lang wie das Geometrieelement am Werkstück ausgeführt werden. Auf der Ausschusseite müsste die Rachenlehre wesentlich kleinere Messflächen haben.

Für die definitionsgemäße Prüfung sind spezielle Lehren erforderlich, die aber teuer sind und deshalb nur ausnahmsweise eingesetzt werden. Außerdem ist die Lehrenprüfung nicht mehr zeitgemäß: In der Fertigung wird heute vorzugsweise gemessen, um anhand der festgestellten Abweichungen die Prozesse zu steuern und zu dokumentieren. Das ist wiederum mit dem Zweipunktmaß nur schlecht möglich.

Zweipunktmaß

Beim Zweipunktmaß ist das Messergebnis an jeder Stelle ein anderes, d.h. es gibt schon in einem Querschnitt beliebig viele Zweipunktmaße (Bild 1 a). Über die Länge des Geometrieelementes sind es dann eine Vielzahl davon. Es wird zwar in [2] nicht ausdrücklich gesagt, aber aus der Logik ergibt sich, dass nicht nur irgendeines, sondern alle Zweipunktmaße innerhalb der Toleranz liegen müssen. Deshalb wären mindestens das größte und das kleinste Zweipunktmaß als Messergebnisse zu dokumentieren. Das macht aber heute niemand.

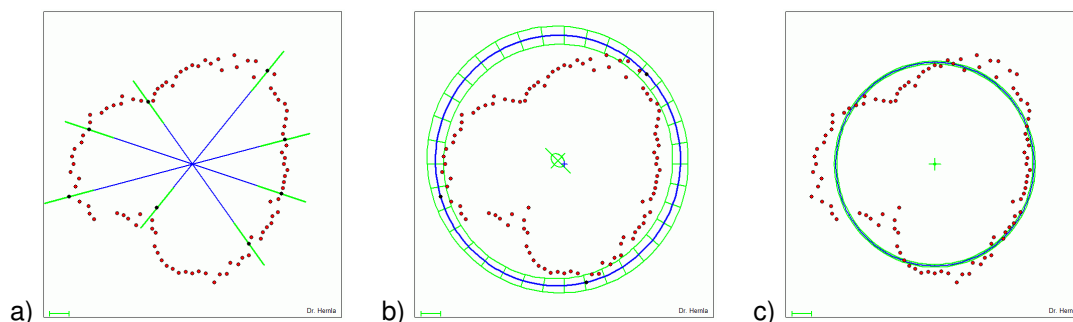


Bild 1: Maßdefinitionen am Kreis und Standardmessunsicherheiten der Durchmesser;
a) Zweipunktmaße $u_D=12\text{ }\mu\text{m}$, Hüllkreis $u_D=3,0\text{ }\mu\text{m}$, Mittlerer Kreis $u_D=0,5\text{ }\mu\text{m}$

In der Regel wird nur ein willkürlich ausgewähltes Zweipunktmaß angegeben. Die Messunsicherheit muss dann nicht nur die Unsicherheit der Messung selbst, sondern auch die Streuung auf Grund der Formabweichung des Werkstücks enthalten. Im Bild 1 a) beträgt die Standardunsicherheit des Durchmessers $12\text{ }\mu\text{m}$.

Warum gerade eine Maßdefinition als Standard festgelegt wurde, die 1. kein eindeutiges Messergebnis und dieses 2. auch nur mit einer großen Messunsicherheit liefern kann, ist nicht nachvollziehbar. Außerdem beschreibt das Zweipunktmaß nicht besonders gut die Funktion, z.B. die Paarungsfähigkeit mit dem Gegenstück.

Maß des angrenzenden Elements

Die Zusammenbausituation wird besser mit dem Maß des idealen Gegenstücks beschrieben. Bei der heute üblichen Auswertung wird dazu z.B. der Hüllkreis um die erfassten Messpunkte berechnet (Bild 1 b). Unter der Voraussetzung, dass genügend viele Messpunkte erfasst wurden, um die drei richtigen Anlagepunkte zu finden, beträgt die Standardunsicherheit des Durchmessers hier $3\text{ }\mu\text{m}$. Allerdings ist diese Auswertung sehr empfindlich gegen Ausreißer: Messabweichungen an einem Anlagepunkt wirken sich voll auf den Durchmesser und die Mittelpunktkoordinaten des Hüllkreises aus.

Mittleres Maß

Die meisten Geometrieelemente kommen gar nicht mit einem direkten Gegenstück in Kontakt. Hier ist die Auswertung der mittleren Elemente nach der Methode der kleinsten Quadrate (MKQ) vorzuziehen, d.h. die Ausgleichsrechnung nach Carl Friedrich Gauß. Sie wurde bereits vor über 200 Jahren entwickelt und hat sich seitdem überall in der Messtechnik durchgesetzt. Sie liefert 1. immer ein eindeutiges Messergebnis und 2. immer mit der kleinstmöglichen Messunsicherheit. Im Bild 1 c) beträgt die Standardunsicherheit des Durchmessers nur $0,5 \mu\text{m}$.

Deshalb arbeitet heute jede Software mit der Methode der kleinsten Quadrate. Selbst bei Passungen werden meist die mittleren Maße bestimmt. Die Maßunterschiede zu den angrenzenden Elementen lassen sich dadurch begrenzen, dass Fertigungsverfahren mit kleinen Formabweichungen eingesetzt und einzelne Formtoleranzen in die Zeichnung eingetragen werden.

Empfehlung für GPS-Standardfestlegungen

Nach der Zeichnung gilt das Zweipunktmaß, praktisch werden aber meist die mittleren Elemente gemessen. Deshalb sollten mit dem Eintrag „Maße ISO 14405 (GG)“ [3] im Zeichnungsschriftfeld die mittleren Maße festgelegt werden. Die Methode der kleinsten Quadrate wird aber z.B. auch für Abstände und für Bezüge angewendet, wofür es keine Symbole gibt. Deshalb sind die Auswertebedingungen zusätzlich als Text anzugeben, siehe Kasten.

Empfohlene GPS-Standardfestlegungen:

1. Alle Geometrieelemente als mittlere Elemente nach Methode der kleinsten Quadrate, auch die Bezüge
2. Alle Koordinaten in der Mitte der Geometrieelemente (im Schwerpunkt der Messpunkte)
3. Alle Auswertungen parallel zum globalen Bezugssystem (auf jeder Zeichnung zu definieren)
4. Bei angrenzenden Elementen: Koordinaten der abgeleiteten Achsen bzw. Symmetrieebenen

Abstand

Mit den empfohlenen GPS-Standardfestlegungen werden die meisten Zeichnungseintragungen eindeutig, die in ISO 14405-2 [3] als mehrdeutig bezeichnet werden. Ein Beispiel zeigt das Bild 2 a). Wegen der nicht definierten Auswerterichtung kommen verschiedene Zweipunktmaße in Frage (Bild 2 b). Mit der Empfehlung wird der Abstand zwischen den Schwerpunkten der beiden mittleren Geraden parallel zum Bezugssystem ausgewertet und ist eindeutig (Bild 2 c). Das entspricht der heutigen Standardauswertung bei rechnergestützten Messgeräten. Alternativ kann auch der Abstand zwischen zwei Eckpunkten in die Zeichnung eingetragen und gemessen werden (Bild 2 d).

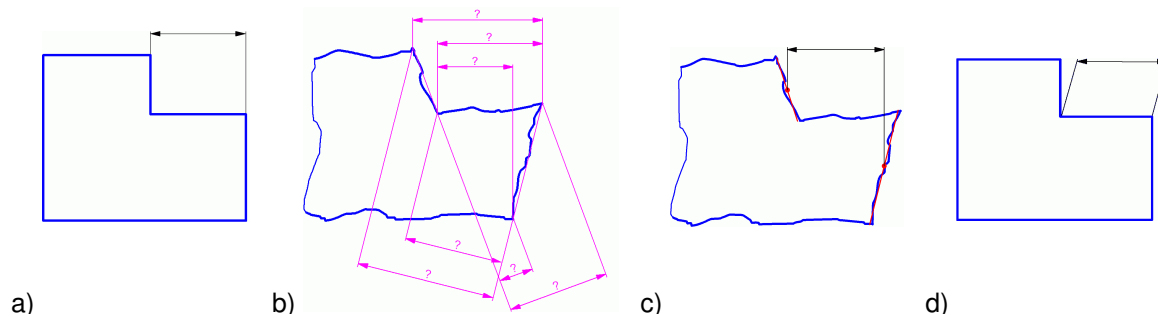


Bild 2: Stufenmaß;

- a) Zeichnungseintragung nach ISO 14405-2 Bild A.1 a),
- b) Nicht definiertes Längenmaß nach ISO 14405-2 Bild A.1 b),
- c) Abstand der Schwerpunkte parallel zum Bezugssystem,
- d) Zeichnungseintragung für den Abstand der Eckpunkte

Die einzige dann noch mehrdeutige Eintragung ist der Abstand zwischen Mittellinien wie im Bild 3 a). Hier ist nicht klar, ob jeweils die Mitte des inneren oder des äußeren Geometrieelementes gemeint ist. Eine eindeutige Zeichnung erhält man erst mit Bezügen und Lagetoleranzen (Bild 3 b).

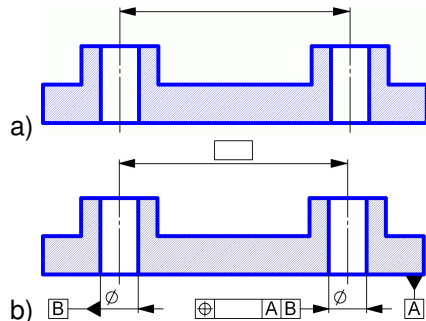


Bild 3: Abstand zwischen Mittellinien;
a) Nicht eindeutiger Mittenabstand,
b) Eindeutige Zeichnung mit Positionstoleranz und Bezug

Tolerierungsgrundsatz

Auch beim Tolerierungsgrundsatz klaffen Theorie und Praxis weit auseinander. Bis 2011 war in Deutschland das Hüllprinzip nach DIN 7167 Standard, solange nichts anderes angegeben war. Seit Erscheinen der neuen ISO 8015 [2] gilt das Unabhängigkeitsprinzip, und die DIN-Norm wurde zurückgezogen. Sie gilt allerdings weiter für die Zeichnungen, die vor September 2011 herausgegeben wurden.

Es gibt Unternehmen, die formal am Hüllprinzip festhalten wollen und deshalb z.B. „Tolerierung ISO 14405 (E)“ auf ihre Zeichnungen schreiben. Nach ISO 14405-1 (Abschnitt 6.2.2) steht das Symbol (E) jetzt für zwei verschiedene Maßdefinitionen entsprechend dem Taylorschen Grundsatz (siehe oben). Praktisch wird aber nicht danach geprüft, sondern nur ein Messergebnis dokumentiert, und zwar bei rechnergestützten Messgeräten typischerweise das mittlere Maß.

Bei den allermeisten Maßen kommt es gar nicht auf die Paarung mit dem Gegenstück an, wo das Hüllprinzip eine Rolle spielen könnte. Auch deshalb wird empfohlen, die mittleren Maße als Standard festzulegen. Nur dann, wenn im Einzelfall die Paarung mit dem Gegenstück eine Rolle spielt, sollte das kleinste umschriebene Maß (GN) bzw. das größte eingeschriebene Maß (GX) eingetragen werden. Dann braucht auch nur ein Messergebnis angegeben werden, und das Zweipunktmaß entfällt ganz.

Empfohlene Zeichnungsangaben

Für die empfohlenen GPS-Standardfestlegungen gibt es keine Symbole. Deshalb muss auf der Zeichnung z.B. mit dem Eintrag „Tolerierung ISO 8015 (AD) – WN1234:2015“ auf eine Werknorm WN1234 (Ausgabedatum 2015) verwiesen werden. Die Festlegungen können auch über die im Kasten angegebenen hinausgehen, z.B. hinsichtlich der Auswertung von Orts- und Richtungsabweichungen anhand der mittleren Elemente, wie es in vielen Softwarepaketen üblich ist.

Die empfohlenen GPS-Standardfestlegungen sind heute schon Standard bei allen rechnergestützten Messgeräten. Neu ist also nur, dass sie dann auch auf der Zeichnung definiert sind. Das ist eine deutliche Qualitätsverbesserung.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 8015:2011 GPS – Grundlagen – Konzepte, Prinzipien und Regeln
- [2] DIN EN ISO 14405-1:2011 GPS – Dimensionelle Tolerierung – Teil 1: Längenmaße
- [3] DIN EN ISO 14405-2:2012 GPS – Dimensionelle Tolerierung – Teil 2: Andere als lineare Maße
- [4] DIN EN ISO 286-1:2010 GPS – ISO-Toleranzsystem für Längenmaße – Teil 1: Grundlagen für Toleranzen, Abweichungen und Passungen