

## **Alternative GPS-Standardspezifikationen und -Auswertemethoden**

### **Alternative GPS Standard Specifications and Evaluation Methods**

Dr.-Ing. **Michael Hernla**, Dortmund

#### **Kurzfassung**

Die meisten GPS-Spezifikationen sind nicht eindeutig, und in vielen Fällen sind gar keine Standardspezifikationen festgelegt. Das Zweipunktmaß als Standard-Maßdefinition in ISO 14405-1 liefert kein eindeutiges Messergebnis, sondern im Prinzip beliebig viele Messwerte. Die heute übliche Auswertung der funktionell interessanten angrenzenden Elemente (einbeschrieben, umschrieben oder tangential) führt zu großen Messunsicherheiten. Nur die mittleren Elemente nach Gauß sind eindeutig und haben die kleinsten Messunsicherheiten. Die Gauß-Methode ist auch auf angrenzende Elemente anwendbar. Außerdem sind für die meisten Form- und Lagemerkmale in ISO 1101 zwar die Toleranzzonen, nicht aber die Abweichungen definiert. Das führt häufig zu unterschiedlichen Messergebnissen.

#### **Abstract**

The most GPS Specifications are ambiguous, and in many cases no standard specifications are defined. The ISO 14405-1 default of extracted local size does not result in an unambiguous measurement result, but provides many various measurement values. The evaluation of the functionally interesting associated (inscribed, circumscribed or tangent) geometric features usual today yields to large measurement uncertainties. The mean gaussian features only are unambiguous and have the least measurement uncertainties. The gaussian method is also applicable to the associated geometric features. Besides, for the most characteristics of form, orientation, location and run-out in ISO 1101 only the tolerances are defined, but not the deviations. This often yields to different measurement results.

#### **1. Einleitung**

Seit 1996 wird bei der Internationalen Normungsorganisation (ISO) an dem Normensystem für Geometrische Produktspezifikationen (GPS) gearbeitet. Hintergrund ist die zunehmende Internationalisierung der Industrieproduktion mit der Notwendigkeit der weltweiten Austauschbarkeit von Einzelteilen, Produkten und Messergebnissen.

Grundlage dafür sind vollständige und eindeutige technische Zeichnungen mit realistischen Toleranzen. Damit werden die Voraussetzungen für genaue und reproduzierbare Qualitätsprüfungen geschaffen. Dabei sind moderne, rechnergestützte Konstruktionssysteme (CAD) und Messgeräte (CAQ) heute Standard. Die wesentlichen Normen in diesem GPS-Normensystem sind ISO 8015 GPS-Grundlagen [1], ISO 1101 Form und Lage [2], ISO 5459 Bezüge und Bezugssysteme [3], ISO 14405-1 Längenmaße [4], ISO 14405-2 Andere als lineare Maße [5] und ISO 20170 Zerlegung von geometrischen Merkmalen [6].

Die zentrale Norm ist die ISO 8015 GPS-Grundlagen. In ihr sind 13 Grundsätze definiert, von denen hier nur einige angeführt werden sollen:

1. Grundsatz des Aufrufens: Bei Angabe einer GPS-Norm (bzw. mindestens eines Symbols aus einer GPS-Norm) auf der Zeichnung gilt das gesamte GPS-Normensystem
5. Grundsatz des Unabhängigkeit: Alle Anforderungen müssen unabhängig von anderen erfüllt werden, solange nichts anderes festgelegt ist (Unabhängigkeitsprinzip)
7. Grundsatz der Standardfestlegung: In Normen werden vollständige GPS-Standard-spezifikationen definiert (andere Spezifikationen sind möglich)
10. Grundsatz der Dualität: Die Spezifikation legt eine Folge von eindeutigen Operationen in definierter Reihenfolge fest, unabhängig vom Messverfahren – Abweichungen davon vergrößern die Messunsicherheit

Nach dem Grundsatz des Aufrufens kann man davon ausgehen, dass praktisch für jede Zeichnung, die ab Erscheinungsdatum der ISO 8015 neu herausgegeben wurde, das GPS-Normensystem gilt. Damit sollten auch die GPS-Standardspezifikationen wirksam werden. Diese sind allerdings bisher für die meisten Anwendungen nicht definiert.

## 2. Beispiel Bohrungsabstand

In vielen Zeichnungen finden sich noch klassische Eintragungen von Längenmaßen bzw. Abständen wie im Bild 1 a). Hier ist nicht klar, ob mit den beiden senkrechten Mittellinien die Achsen der Bohrungen (innen) oder der Zapfen (außen) gemeint sind.

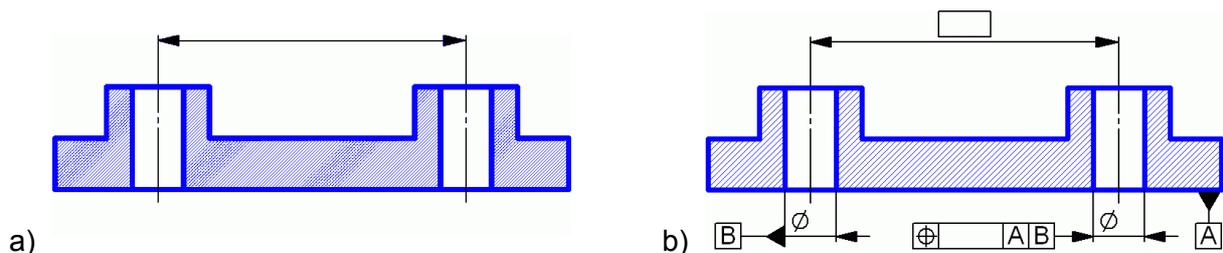


Bild 1: a) Nicht eindeutige Zeichnung mit dem Maßpfeil an den Mittellinien;  
b) eindeutige Zeichnung mit Bezug und Positionstoleranz an den Bohrungsachsen

Deshalb werden solche Zeichnungsangaben in ISO 14405-2 als nicht eindeutig bezeichnet, und als Alternative wäre eine Positionstoleranz nach ISO 1101 einzutragen, siehe Bild 1 b). Für den Bezug B in der linken Bohrung sind die Istkoordinaten des Mittelpunktes in der ISO 5459 eindeutig definiert: Es wird die Achse des angrenzenden Zylinders senkrecht zur Ebene Bezug A mit dem größtmöglichen Durchmesser gebildet, siehe Bild 2 a). Das Gegenstück ist eine Platte mit zwei Stiften (Zapfen), die unten an der Ebene Bezug A anliegt. So ist auch die zur Prüfung eingesetzte Funktionslehre gestaltet.

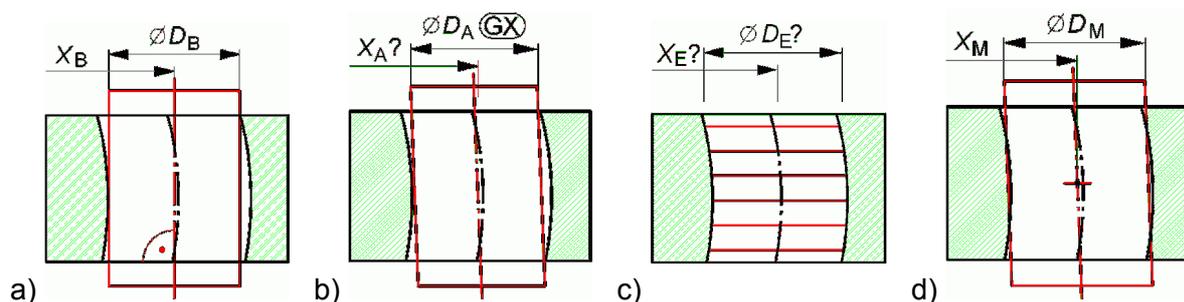


Bild 2: a) Linke Bohrung Bezug B aus Bild 1 b): Eindeutige Koordinate;  
b) Größtes einbeschriebenes Maß mit Symbol  $\textcircled{GX}$ , nicht eindeutige Koordinate;  
c) Rechte Bohrung aus Bild 1 b): Zweipunktmaß und Koordinate nicht eindeutig;  
d) Mittlerer Zylinder mit eindeutiger Koordinate und Durchmesser

Allerdings ist der Bohrungsdurchmesser nicht eindeutig. Nach ISO 14405-1 gilt das Zweipunktmaß zwischen jeweils gegenüberliegenden Oberflächenpunkten als Standard-Maßdefinition. Aufgrund der Formabweichungen der Oberfläche erhält man so aber beliebig viele Zweipunktmaße. Auch gibt bisher keine GPS-Standardspezifikation, die festlegt, wie viele Zweipunktmaße gemessen und dokumentiert werden müssen, um nachzuweisen, dass die Anforderung erfüllt ist. Außerdem entspricht das Zweipunktmaß nicht der oben genannten Funktion: Auch wenn alle diese Maße in der Toleranz liegen, kann es ein, dass die Lehre bzw. das Gegenstück nicht in die krumme Bohrung passt. Um das zu erreichen, müsste nach ISO 14405-1 am Durchmesser das Symbol  $\textcircled{GX}$  für das größte einbeschriebene Maß eingetragen werden (Bild 2 b). Damit ist aber noch nicht sichergestellt, dass die Achse dieses einbeschriebenen Zylinders senkrecht zum Bezug A steht.

Für den Durchmesser des tolerierten Elementes im Bild 2 c) gilt dasselbe, und hier ist auch die Koordinate der Achse nicht eindeutig definiert: Nach ISO 1101 müssen alle Punkte des tolerierten Elementes innerhalb der Toleranzzone liegen. Dazu wird in jedem Querschnitt der Mittelpunkt des Ausgleichskreises bestimmt. Zur Anzahl der Messebenen gibt es wieder keine Standardspezifikation. Auch ist die Positionsabweichung in ISO 1101 nicht definiert.

Streng genommen brauchte also gar kein Messwert angegeben werden. Wird am Durchmesser zusätzlich das Symbol  $\textcircled{GX}$  für das größte einbeschriebene Maß eingetragen (Bild 2 b), ist damit noch nicht die Achse dieses einbeschriebenen Zylinders toleriert. Dazu müsste ein weiteres Symbol im Toleranzrahmen von Bild 1 b) angegeben werden, das ist aber bisher in keiner Norm definiert. Damit ist also keine funktionsgerechte Tolerierung möglich. Erst der aktuelle Entwurf von ISO 1101 (2015) bietet diese Möglichkeit. Die ideale Gerade als Achse dieses einbeschriebenen Zylinders muss dann auf ihrer ganzen Länge innerhalb der Toleranzzone liegen.

### 3. Angrenzende Elemente

Auch die funktionsgerechte Auswertung der angrenzenden Elemente (einbeschrieben, umschrieben oder tangential) aus den erfassten Messpunkten ist problematisch. Diese Elemente liegen nur an wenigen Punkten der Oberfläche an und werden deshalb durch einzelne (Mess-)Abweichungen an diesen Stellen stark beeinflusst, d.h. sie sind sehr empfindlich gegen Ausreißer, was sich in großen Messunsicherheiten niederschlägt. Diese betreffen nicht nur die Durchmesser [7], sondern auch die Koordinaten und die Winkel. Deshalb kann diese Auswertemethode nicht empfohlen werden.

Die Standard-Auswertemethode in der Messtechnik allgemein und speziell in der geometrischen ist die Ausgleichsrechnung, d.h. die Methode der kleinsten Summe der Abweichungsquadrate (MKQ) nach Gauß. Sie zeichnet sich durch zwei Vorteile aus: Sie liefert immer ein eindeutiges Messergebnis, und immer mit der kleinstmöglichen Messunsicherheit gegenüber allen anderen möglichen Auswertemethoden. So wurde sie praktisch auch zur Standardauswertung in der industriellen Koordinatenmesstechnik, und zwar sowohl bei den tolerierten Elementen als auch bei den Bezügen [7]. Genau deshalb ist sie auch die Grundlage zur Angabe der Messunsicherheit nach dem GUM [8]: Dort wird immer wieder vorausgesetzt, dass der Messwert der beste Schätzwert der Messgröße sein muss. Diese Voraussetzung wird nur vom Mittelwert erfüllt, nicht aber von einem Extremwert.

Für das Beispiel im Bild 1 b) würden dann sowohl beim Bezug als auch beim tolerierten Element der Durchmesser des Ausgleichszylinders und die Koordinaten eindeutig in der Mitte der Achse dieses Zylinders bestimmt werden, siehe Bild 2 d). An dieser Stelle haben sie die kleinstmöglichen Messunsicherheiten [9].

Die Achse dieses mittleren Zylinders steht allerdings nicht senkrecht zur Ebene Bezug A, und der mittlere Durchmesser entspricht nicht dem Durchmesser des Gegenstücks, das entsprechend der Funktion in die Bohrung passen soll. Deshalb werden häufig angrenzende Elemente auf Basis von gefilterten Oberflächenmesswerten bestimmt, siehe Abschnitt 5.

#### 4. Beispiel Stufenmaß

In ISO 14405-2 werden viele übliche Maßeintragungen als nicht eindeutig bezeichnet, z.B. Stufenmaße, versetzte Maße, Koordinatenmaße, Radien und Maße an abgeleiteten Geometrielemente (Achsen, Symmetrieelemente), die wie im Bild 1 a) auf der Zeichnung als Mittellinien erscheinen. Das Bild 3 a) zeigt ein Stufenmaß.

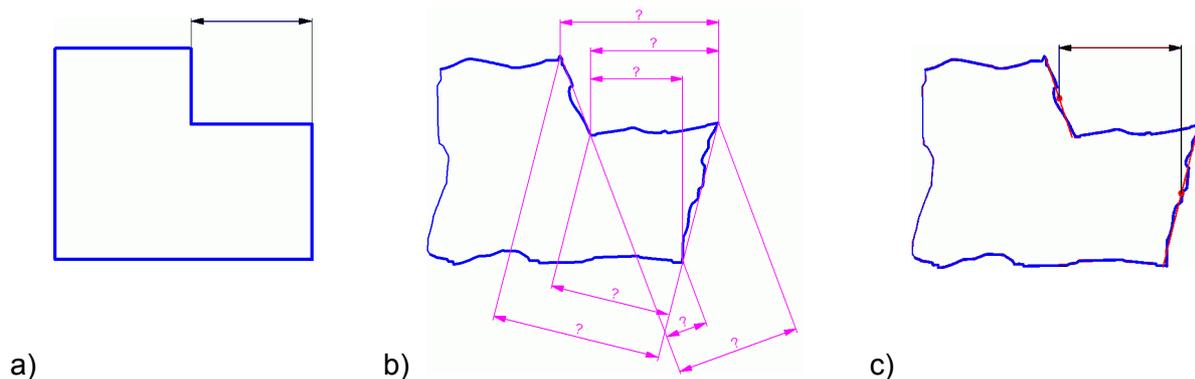


Bild 3: a) Zeichnungseintragung für ein Stufenmaß, b) beliebig viele Messwerte, c) Messergebnis bei Auswertung der mittleren Elemente in der Mitte

Je nach gewähltem Eckpunkt und Auswerterichtung ergeben sich fast beliebig viele verschiedene Messwerte (Bild 3 b). Nach ISO 14405-2 müsste für eine eindeutige Zeichnung eine Positionstoleranz mit mindestens einem Bezug eingetragen werden.

Wird ein solches Teil mit einem Koordinatenmessgerät gemessen, werden in der Regel die mittleren Elemente mit den Koordinaten in der Mitte (im Schwerpunkt der Messpunkte) sowie ihren Winkeln ausgewertet, siehe Bild 4 c). Die Auswerterichtung entspricht der Orientierung des Bezugssystems, das an jedem Werkstück sowieso zuerst bestimmt werden muss. Ist auf der Zeichnung keines definiert, legt es der Messtechniker selbst fest. Damit erhält man immer eindeutige Messergebnisse mit kleinstmöglichen Messunsicherheiten.

Wie oben bei den Bohrungen entsprechen die mittleren Elemente aber nicht unbedingt der Funktion, d.h. bei engen Passungen passt das Gegenstück mit demselben Maß nicht. Um den Nachteil der großen Messunsicherheit bei den angrenzenden Elementen zu verringern, werden die Messwerte häufig gefiltert. Zur Auswahl und Festlegung dieser Filter gibt es bisher aber keine objektiven Regeln.

#### 5. Filterung

In den Normen ISO 1101, 5459 und 14405-1 wird ausdrücklich festgelegt, dass die Messwerte gefiltert werden müssen. Allerdings sind die Filterbedingungen nicht festgelegt. Die ISO 14405-1 setzt zwar voraus, dass die erfassten Geometrielemente (d.h. die mittleren

Oberflächen) betrachtet werden sollen, gibt aber keine Symbole und Regeln zur Eintragung der Filterbedingungen an. ISO 5459 gibt im Anhang A die zugeordneten Geometrieelemente vor, ohne jedoch die entsprechenden Verfahren festzulegen. Dazu wird auf die nächste Ausgabe der Norm verwiesen. Der aktuelle Entwurf aus dem Jahr 2016 legt kugelförmige morphologische Filter fest, ohne jedoch den Kugeldurchmesser und die sonstigen Filterbedingungen zu definieren. Die ISO 1101 enthält ebenfalls keine konkreten Vorgaben, und der aktuelle Entwurf aus dem Jahr 2015 gesteht lediglich ein, dass keine Einigung über die Default-Filtereinstellungen für Form erzielt werden konnte. Deshalb gibt es nur Symbole und Regeln für die Eintragung in Zeichnungen. Von den anderen Toleranzarten (Richtung, Ort und Lauf) ist gar keine Rede.

Entgegen dem Versprechen in ISO 8015 (Grundsatz der Standardfestlegung) werden in den Normen bisher keine vollständigen GPS-Standardspezifikationen definiert. Im Gegenteil wird die Festlegung der Messbedingungen dem Ersteller der Zeichnung, d.h. dem Konstrukteur übertragen. Er soll jetzt das übernehmen, woran die Experten bereits gescheitert sind.

Die Sache wird noch dadurch kompliziert, dass auf technischen Zeichnungen häufig für dieselben Geometrieelemente verschiedene Eigenschaften toleriert sind, siehe Bild 4 a).

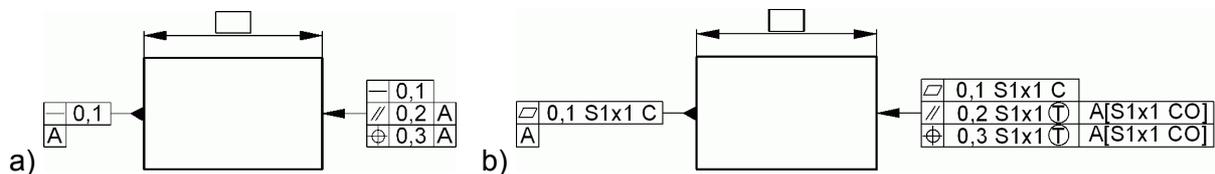


Bild 4: Toleranzen für Form, Richtung und Ort an zwei Oberflächen mit Bezug;  
 a) ohne und b) mit Filterbedingungen nach den ISO-Normenentwürfen

Für jede einzelne Eigenschaft müsste der Konstrukteur die Filterbedingungen einzeln auf der Zeichnung festlegen, und diese könnten dann für die verschiedenen Eigenschaften an derselben Oberfläche auch noch unterschiedlich ausfallen (Bild 4 b). Schon heute ist aber kein Konstrukteur auch nur ansatzweise in der Lage, die Konsequenzen seiner Festlegungen zu überblicken. Die meisten scheitern schon am Verständnis für die vielen Symbole und Regeln (das geht übrigens auch den meisten Messtechnikern so).

Das ist auch nicht verwunderlich, denn das Thema wird in der Ingenieur- und Techniker-ausbildung sehr stiefmütterlich behandelt bzw. an den meisten Hochschulen gar nicht vermittelt – und praktisch nirgends so, wie es erforderlich wäre. Dementsprechend gibt es heute so gut wie keine eindeutige Zeichnung und kaum eindeutige Messergebnisse.

Für jede der verschiedenen Eigenschaften an denselben Oberflächen im Bild 4 könnten nach den heutigen Normen unterschiedliche Filterbedingungen auf der Zeichnung festgelegt werden. Objektive Regeln gibt es dafür nicht. Andererseits ist die Funktion der Oberflächen in jedem Fall gleich, egal, ob es sich um Maß, Form, Lage oder einen Bezug handelt. Die Messbedingungen sollten deshalb nicht für einzelne Eigenschaften, sondern nach der Funktion der Geometrieelemente festgelegt werden, und zwar für alle Eigenschaften gleich. Sie könnten in Anlehnung an ISO 1302 [10] eingetragen werden, siehe Bild 5.

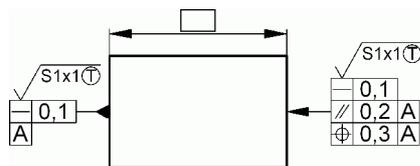


Bild 5: Messbedingungen in Anlehnung an ISO 1101 (Entwurf 2015) und ISO 1302

Das ist aber nur erforderlich, wenn es besondere Funktionsanforderungen an die Geometrieelemente gibt. Das trifft in der Regel nur bei wenigen Oberflächen eines komplexen Werkstücks zu. Deshalb sollten Standardspezifikationen definiert werden, die einfach, leicht verständlich und praxisgerecht sind sowie unabhängig von Filtern und Zuordnungen.

Die Filterbedingungen sollten objektiv und unabhängig vom Kenntnisstand des Konstrukteurs oder Messtechnikers sein. Die ursprüngliche Idee der Filterung war, die zufälligen Messwertanteile (das „Rauschen“) abzuschneiden. Heute werden in der Regel Softwarefilter mit festgelegten, grob gestuften Grenzwellenzahlen bzw. -längen eingesetzt, ohne zu prüfen, ob tatsächlich nur zufällige oder nicht auch systematische Messwertanteile abgeschnitten werden. Damit lassen sich fast beliebige Ergebnisse erzielen.

In [11] wird eine besser geeignete Vorgehensweise beschrieben. Die auf diese Weise objektiv gefilterten Oberflächen können zur Bestimmung angrenzender Elemente verwendet werden, für die sich auf der Basis des GUM Messunsicherheiten angeben lassen. Bei wenigen Messpunkten mit großen Abständen dazwischen ergeben sich relativ große Messunsicherheiten, bei mehr Punkten mit kleineren Abständen wird die Messunsicherheit kleiner. Durch den Vergleich der Messunsicherheit mit der Toleranz des Prüfmerkmals lässt sich bewerten, ob die Messung unter den aktuellen Bedingungen genau genug ist [12] [13].

## 6. Abweichungen

Ähnlich wie oben am Beispiel Position erwähnt, sind auch für die anderen Eigenschaften in der Norm ISO 1101 zwar die Toleranzen und Toleranzzonen, nicht aber die entsprechenden Abweichungen definiert. Da betrifft fast alle Toleranzarten (Form, Richtung, Ort und Lauf).

Nur für die Geradheit, Ebenheit, Rundheit und Zylindrizität an Oberflächen ist im Anhang B festgelegt, wie die entsprechenden Abweichungen bestimmt werden sollen. Dafür gilt die Minimumbedingung, d.h. die Abweichung soll jeweils so klein wie möglich sein. Das gilt allerdings nur für diese vier Eigenschaften, für alle anderen nicht, also z.B. auch nicht für die Geradheit einer Achse mit einer zylindrischen Toleranzzone. Sonst gibt es nur die Forderung, dass alle Punkte des tolerierten Elementes innerhalb der Toleranzzone liegen müssen. Wie die Abweichung bestimmt werden soll, ist nicht definiert.

Bei einem klassischen Abstand ist die Grenzabweichung gleich der halben Toleranz (Bild 6 links). Bei einer Positionstoleranz legt zunächst das theoretische Maß die Nennlage fest. Die Toleranzzone mit der Zahl im Toleranzrahmen angegebenen Breite liegt symmetrisch zur Nennlage (Bild 6 mitte).

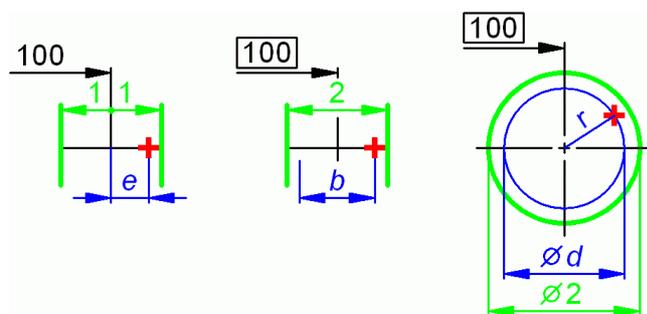


Bild 6: Toleranzen und Abweichungen: Links Abstand, mitte Position in einer Richtung, rechts Position in beliebiger Richtung mit kreisförmiger Toleranzzone

Jetzt könnte man die Positionsabweichung wie im Bild 6 links als größte Abweichung von der Nennlage auswerten. Praktisch wird dagegen der Abweichungsbetrag von  $e$  aus dem Bild 6 links in der Messgerätesoftware mit dem Faktor 2 multipliziert, um einen direkten Vergleich mit der Toleranz (hier 2 mm) zu ermöglichen. Die so berechnete Abweichung  $b$  im Bild 6 mitte ist jedoch nicht mehr anschaulich darzustellen.

Zusätzlich geht bei der Betragsbildung die Richtungsinformation verloren, so dass keine Korrekturwerte für die Fertigung angegeben werden können. Dann werden in der Regel die Originalkoordinaten zu Hilfe genommen. Dasselbe gilt sinngemäß bei kreis- bzw. zylinderförmigen Toleranzzonen mit der doppelten Abweichung  $d$  (Bild 6 rechts).

Das ist erst einmal nur eine Verständnisfrage. Richtig teuer kann jedoch die verdoppelte Abweichung werden, wenn daraus Prozessfähigkeitskennwerte wie  $c_p$  und  $c_{pk}$  berechnet werden. Dabei wird jeweils die Toleranz ins Verhältnis zur sechsfachen Streuung des Fertigungsprozesses gesetzt. Die Toleranz ist im Bild 6 jeweils gleich groß (2 mm), die Abweichungen sind bei Position jedoch doppelt so groß wie beim Abstand. Damit verdoppelt

sich auch die Streuung. Das heißt, dass die Position nur eine halb so gute Bewertung des (selben) Fertigungsprozesses liefert wie der klassische Abstand [14].

Das wird durch die praktische Erfahrung bestätigt: Viele Unternehmen haben gerade bei den Ortstoleranzen (Position, Symmetrie und Koaxialität) große Schwierigkeiten, die geforderten Prozessfähigkeiten einzuhalten. Deshalb wird dringend empfohlen, die Abweichungen nicht zu verdoppeln, sondern z.B. mit den Originalkoordinaten zu rechnen. Derselbe Prozess liefert dann sofort und ohne Mehrkosten eine doppelt so gute Bewertung [9] [14].

Dasselbe trifft bei der Bewertung der Prüfprozesseignung zu, z.B. nach den Richtlinien VDI/VDE 2600-1 [12] und -2 [13]. Auch hier sollte immer mit den einfachen Abweichungen gerechnet werden.

## **7. Zerlegung**

Wie bereits dargestellt, sind für die meisten Anwendungen keine GPS-Standardspezifikationen und auch keine Abweichungen definiert. Die festgelegten Spezifikationen gestatten keine funktions- bzw. fertigungsgerechte Tolerierung und Messung. Um wenigstens einen Teil dieser Probleme zu lösen, wurde der Normentwurf von ISO 20170 erarbeitet. In der Einleitung wird festgestellt, dass die in ISO 1101 definierten geometrischen Eigenschaften nicht zur Fertigungssteuerung geeignet sind. Deshalb soll diese Norm zur Unterstützung der Fertigung und Prüfung dienen, indem danach Zahlenwerte für geometrische Eigenschaften bestimmt werden können. Diese Zahlenwerte sind jedoch ausdrücklich nur zur Fertigungskorrektur, nicht aber für Konformitätsaussagen eines Werkstücks bestimmt. Dazu dient allein die ISO 1101 mit den oben genannten Unzulänglichkeiten.

Es kann also leicht die paradoxe Situation entstehen, dass geometrische Eigenschaften nach ISO 1101 die Spezifikation erfüllen, aber nicht zur Bewertung der Funktion bzw. Fertigung geeignet sind, und dass umgekehrt die Funktion gegeben ist, aber das Werkstück wegen Überschreitung der Spezifikationsgrenzen aussortiert wird.

Damit ist aber niemandem gedient. Deshalb wird die Norm ISO 20170 von Deutschland in der ISO abgelehnt. Es gibt aber noch eine andere Möglichkeit, nämlich alternative GPS-Standardspezifikationen zu definieren, die die folgenden Mindestforderungen erfüllen:

- Einfach, leicht verständlich und praxisgerecht
- Entsprechend der eingeführten messtechnischen Praxis
- Jeweils unabhängig von anderen Eigenschaften
- Unabhängig von Filtern und Zuordnungen
- Standardspezifikationen für Oberflächen
- Mit vorzeichenrichtigen Abweichungen

- Geeignet zur Beschreibung der Funktion
- Geeignet zur Fertigungskorrektur
- Geeignet zur Konformitätsbewertung

## 8. Alternative

Für die Geometrielemente ohne besondere Funktionsanforderungen sollten die Standard-spezifikationen möglichst einfach, leicht verständlich und praxisgerecht sein. Wie bereits oben erwähnt, wird heute in der geometrischen Messtechnik ganz überwiegend sowieso schon die Methode der kleinsten Quadratesumme (Ausgleichsrechnung nach Gauß) angewendet. Alle Messgeräte können danach arbeiten und tun das in der Regel auch. Das praktische Problem ist nur, dass keine der aktuellen Zeichnungsnormen darauf Rücksicht nimmt, sondern immer andere Standardfestlegungen enthält.

Um diese bewährte Auswertemethode zur Standardspezifikation zu machen, muss sie in einem gesonderten Dokument festgelegt werden, das dann im Zeichnungsschriftfeld mit dem Symbol  $\textcircled{\text{AD}}$  für „Altered Default“ (geänderte Standardfestlegung) eingetragen wird, wie es in ISO 8015 ausdrücklich vorgesehen ist, siehe Bild 7. Das kann z.B. die Werknorm eines Unternehmens oder eine branchen- oder verbandsspezifische Richtlinie sein. Die wesentlichen Inhalte sind in Tabelle 1 zusammengestellt (nächste Seite).

Tolerierung ISO 8015 $\textcircled{\text{AD}}$ – WN1234:2017-11
---

Bild 7: Beispiel zur Angabe der Werknorm WN1234 mit Ausgabedatum im Schriftfeld

Die alternativen GPS-Standardspezifikationen bauen auf dem GPS-Normensystem auf und ergänzen es. Die dort definierten Symbole und Regeln können ohne weiteres angewendet werden. Weder einzelne, vorhandene Normen noch das GPS-Normensystem als ganzes sollen ersetzt werden. In die Zeichnung werden dann nur noch die Angaben eingetragen, die von den Standardspezifikationen abweichen.

## 9. Zusammenfassung

Die heutigen GPS-Normen entsprechen nicht den Anforderungen der Praxis: Einfach, eindeutig und leicht verständlich. Die Spezifikationen sind häufig nicht funktions- und fertigungsgerecht, und in vielen Fällen sind keine Standardspezifikationen definiert.

Tabelle 1: Inhalt der Werknorm für alternative GPS-Standardspezifikationen

<b>Stichwort / Thema</b>	<b>Standardspezifikationen</b>
Auswertemethode	Methode der kleinsten Quadrate (MKQ, Ausgleichsrechnung nach Gauß)
Geometrieelemente	Mittlere Elemente nach MKQ
Parameter der Geometrieelemente	Maß, Form, Koordinaten und Winkel der mittleren Elemente (oder der angrenzenden), jeweils unabhängig voneinander
Koordinaten	In der Mitte der Geometrieelemente (im Schwerpunkt der Messpunkte), unabhängig vom Bezugssystem
Maße und Abstände	Zwischen den Punkten in der Mitte der Geometrieelemente
Bezüge	Wie alle anderen Geometrieelemente
Bezugssysteme	Anlage der Bezüge in der Mitte der Geometrieelemente
Auswerterichtung	Entsprechend der Orientierung des Bezugssystems → Das muss dazu auf jeder Zeichnung definiert werden
Angrenzende Elemente	Symbol für das Geometrieelement (einbeschrieben, umschrieben oder tangential) mit allen Parametern
Filterung	Objektive Trennung der zufälligen und systematischen Messwertanteile; nur bei Bedarf Zeichnungsangabe am Geometrieelement für alle Eigenschaften (und die Bezüge)
Anwendung	Bewertung der Fertigung, Funktion und Konformität

Deshalb wird empfohlen, alternative GPS- Standardspezifikationen auf Basis der mittleren Elemente (Methode der kleinsten Summe der Abweichungsquadrate, Ausgleichsrechnung nach Gauß) festzulegen. Dann werden auch alle Parameter für diese mittleren Elemente bestimmt: Maß, Form, Koordinaten und Winkel. Damit lassen sich alle Abweichungen unabhängig voneinander definieren und auswerten, und sie können zur Bewertung der Fertigung, der Funktion und der Konformität herangezogen werden.

Andere Geometrieelemente (einbeschrieben, umschrieben oder tangential) werden mit dem entsprechenden Symbol auf der Zeichnung angegeben, und alle Parameter werden dafür bestimmt. Spezielle Filterbedingungen brauchen nicht eingetragen werden, wenn die zufälligen Messwertanteile objektiv von den systematischen getrennt werden.

## Literatur

Abkürzung: GPS = Geometrische Produktspezifikation(en)

- [1] DIN EN ISO 8015: GPS – Grundlagen – Konzepte, Prinzipien und Regeln. Beuth Verlag Berlin 2011
- [2] DIN EN ISO 1101: GPS – Geometrische Tolerierung – Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf. Beuth Verlag Berlin 2014
- [3] DIN EN ISO 5459: GPS – Geometrische Tolerierung – Bezüge und Bezugssysteme. Beuth Verlag Berlin 2013
- [4] DIN EN ISO 14405-1: GPS – Dimensionelle Tolerierung – Teil 1: Lineare Größenmaße. Beuth Verlag Berlin 2017
- [5] DIN EN ISO 14405-2: GPS – Dimensionelle Tolerierung – Teil 2: Andere als lineare Maße. Beuth Verlag Berlin 2012
- [6] DIN EN ISO 20170: GPS – Zerlegung von geometrischen Merkmalen für die Fertigungskontrolle. Beuth Verlag Berlin 2016 (Entwurf)
- [7] Hernla, M.: Illusion und Wirklichkeit. Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung in der Praxis. QZ Qualität und Zuverlässigkeit, München 60 (2015) 5, S. 108-111
- [8] JCGM 100:2008-09: Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres ([www.bipm.org/en/publications/guides](http://www.bipm.org/en/publications/guides))
- [9] Hernla, M.: Messunsicherheit bei Koordinatenmessungen. Ermittlung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit durch Unsicherheitsbilanzen. expert verlag Renningen 2016
- [10] DIN EN ISO 1302: GPS – Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in der technischen Produktdokumentation. Beuth Verlag Berlin 2002
- [11] Hernla, M.: Mathematische Modellierung geometrischer Messverfahren. VDI-Fachtagung "Messunsicherheit praxisgerecht bestimmen" 2015. VDI-Bericht 2269, Düsseldorf 2015, S. 183-194
- [12] VDI/VDE 2600-1: Prüfprozessmanagement – Identifizierung, Klassifizierung und Eignungsnachweise von Prüfprozessen. Beuth Verlag Berlin 2013
- [13] VDI/VDE 2600-2: Prüfprozessmanagement – Ermittlung der Messunsicherheit komplexer Prüfprozesse. Beuth Verlag Berlin 2017 (Entwurf)
- [14] Hernla, M.: Auswertung von Messabweichungen. Messunsicherheit und Fähigkeit für Ortstoleranzen. QE Quality Engineering, Leinfelden-Echterdingen (2009) 7-8, S. 14-15 ([www.dr-hernla.de](http://www.dr-hernla.de))