

VDI-Fachtagung Prüfprozesse in der industriellen Praxis

am 15. und 16. November 2017 in Erfurt

Alternative GPS-Standardspezifikationen und -Auswertemethoden

Dr.-Ing. Michael Hernla, Dortmund

Inhalt

- 1 GPS-Normensystem
- 2 Beispiel Position
- 3 Zugeordnete Elemente
- 4 Beispiel Stufenmaß
- 5 Filterung
- 6 Abweichungen
- 7 Zerlegung
- 8 Alternative

GPS-Normensystem

- Seit 1996 ISO/TC 213 Normensystem für Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung (GPS)
- Zunehmende Internationalisierung der Industrieproduktion
- Notwendigkeit der weltweiten Austauschbarkeit von Einzelteilen, Produkten und Messergebnissen
- 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 (CAQ)

Wesentliche GPS-Normen

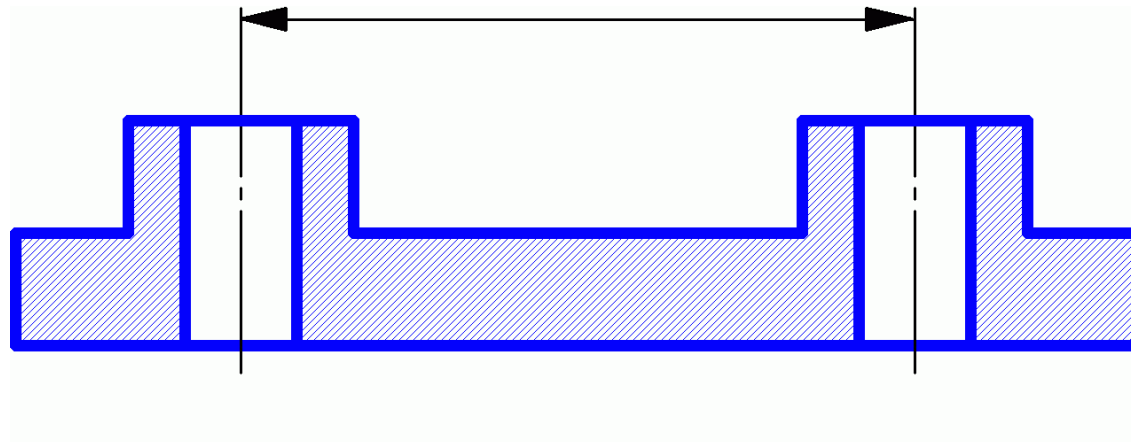
- DIN EN ISO [8015](#): GPS – Grundlagen – Konzepte, Prinzipien und Regeln (2011)
- DIN EN ISO [1101](#): GPS – Geometrische Tolerierung – Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf ([2017](#))
- DIN EN ISO [5459](#): GPS – Geometrische Tolerierung – Bezüge und Bezugssysteme (2013)
- DIN EN ISO [14405-1](#): GPS – Dimensionelle Tolerierung – Teil 1: Lineare Größenmaße (2017)
- DIN EN ISO [14405-2](#): GPS – Dimensionelle Tolerierung – Teil 2: Andere als lineare Maße (2012)
- DIN EN ISO [20170](#): GPS – Zerlegung von geometrischen Merkmalen für die Fertigungskontrolle (Entwurf 2016)

DIN EN ISO 8015: GPS – Grundlagen (2011-09)

13 Grundsätze – Auswahl:

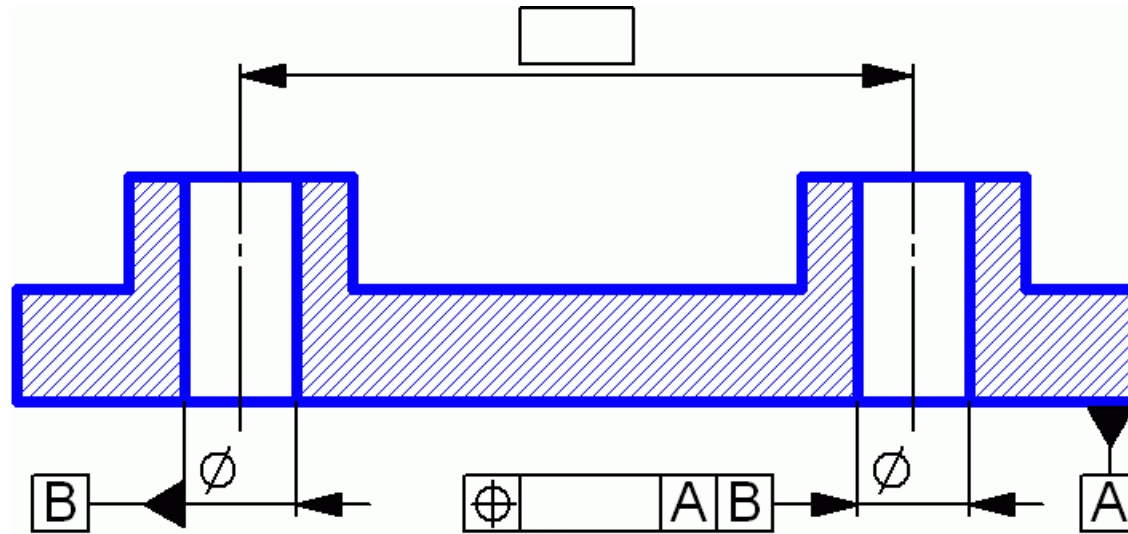
1. **Grundsatz des Aufrufens:** Bei Angabe einer GPS-Norm auf der Zeichnung gilt das gesamte GPS-Normensystem
5. **Grundsatz des Unabhängigkeit:** Alle Anforderungen unabhängig von anderen erfüllen, solange nicht anders festgelegt (Unabhängigkeitsprinzip)
7. **Grundsatz der Standardfestlegung:** Vollständige GPS-Standardspezifikationen in Normen (andere möglich)
10. **Grundsatz der Dualität:** Spezifikation als Folge von eindeutigen Operationen in definierter Reihenfolge, unabhängig vom Messverfahren

Beispiel: Abstandstoleranz



→ Nicht eindeutige Mitte – Achse des Innen- oder des Außenzylinders?

Positionstoleranz nach ISO 1101



→ Eindeutige Zeichnung – Bohrungsachsen

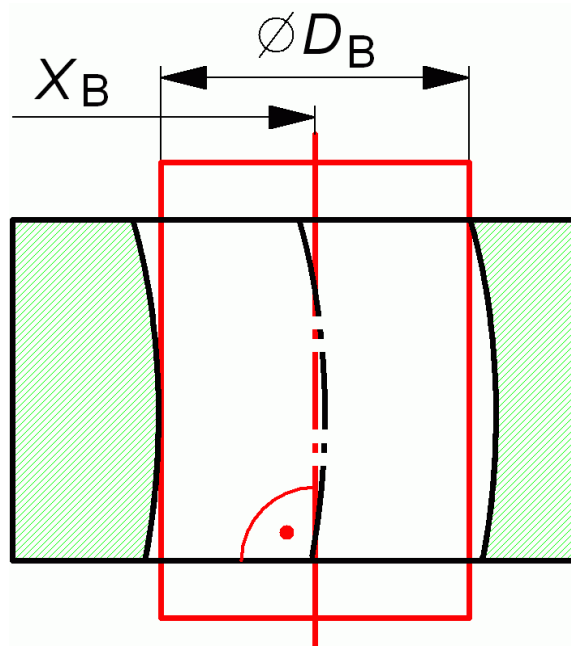
Bohrung links: Bezug B (1)

Koordinaten des Mittelpunktes:

- **ISO 5459:** Achse des angrenzenden Zylinders senkrecht zur Ebene Bezug A mit dem größtmöglichen Durchmesser
- **Eindeutige Koordinaten** der Bohrungsmitte
- Entspricht der Prüfung mit der Funktionslehre: Platte mit zwei Stiften

Bohrung links: Bezug B (2)


Angrenzender Zylinder senkrecht zur Ebene:



Eindeutiger Mittelpunkt

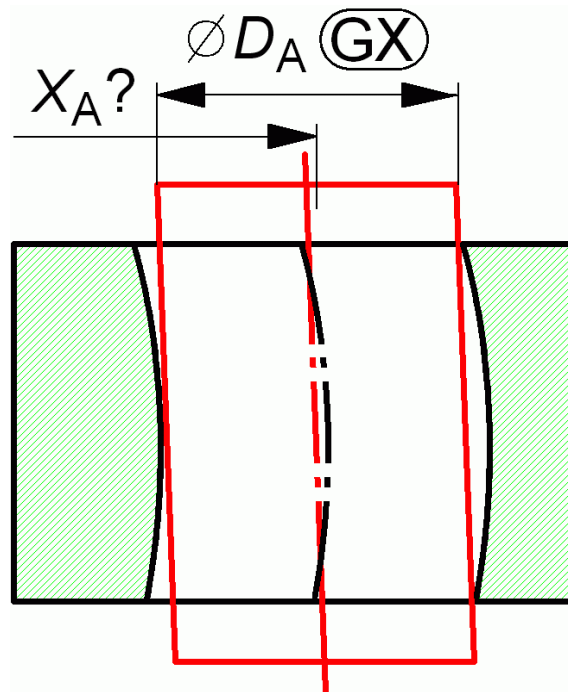
Bohrung links: Bezug B (3)

Durchmesser:

- **ISO 14405-1**: Standard Zweipunktmaß = erfasstes örtliches Maß nach ISO 14660-2
- Beliebig viele Zweipunktmaße in den Messebenen und -linien im Querschnitt
- Entspricht nicht der Funktion
- Durchmesser zusätzlich mit Symbol  für das größte einbeschriebene Maß
- Zylinder **nicht rechtwinklig** zum Bezug A
- **Mittelpunkt nicht eindeutig**

Bohrung links: Bezug B (4)

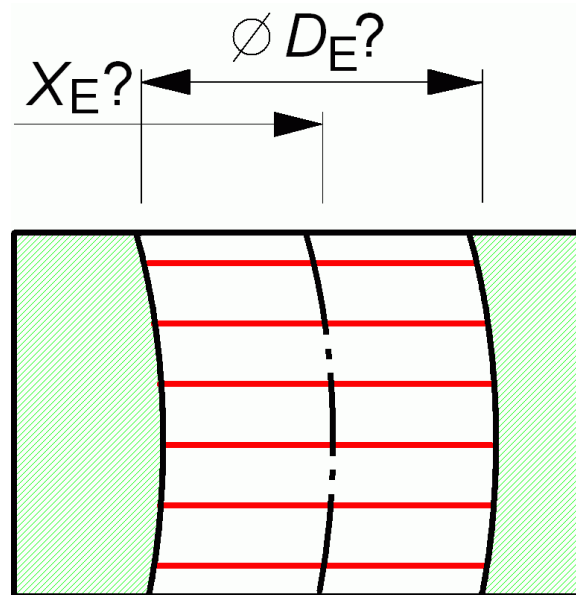
Angrenzender Zylinder mit größtem Durchmesser:



Kein eindeutiger Mittelpunkt

Bohrung rechts: Toleriertes Element

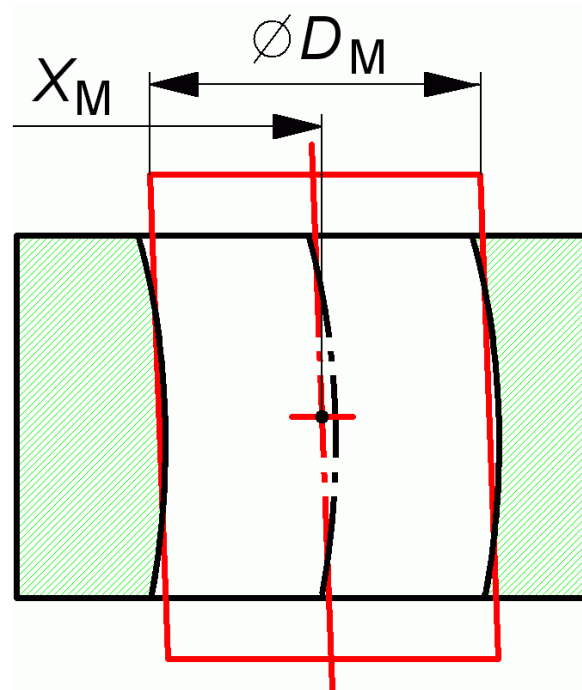
Achse nach ISO 1101 aus Mittelpunkten in jedem Querschnitt:



Durchmesser und Mittelpunkt **nicht eindeutig & nicht funktionsgerecht**

Praxis: Auswertung der mittleren Elemente

Mittlerer Zylinder mit Koordinaten in der Mitte:



Durchmesser und Koordinate **eindeutig**, kleinste Messunsicherheiten

Zeichnungsangaben für Geometrieelemente

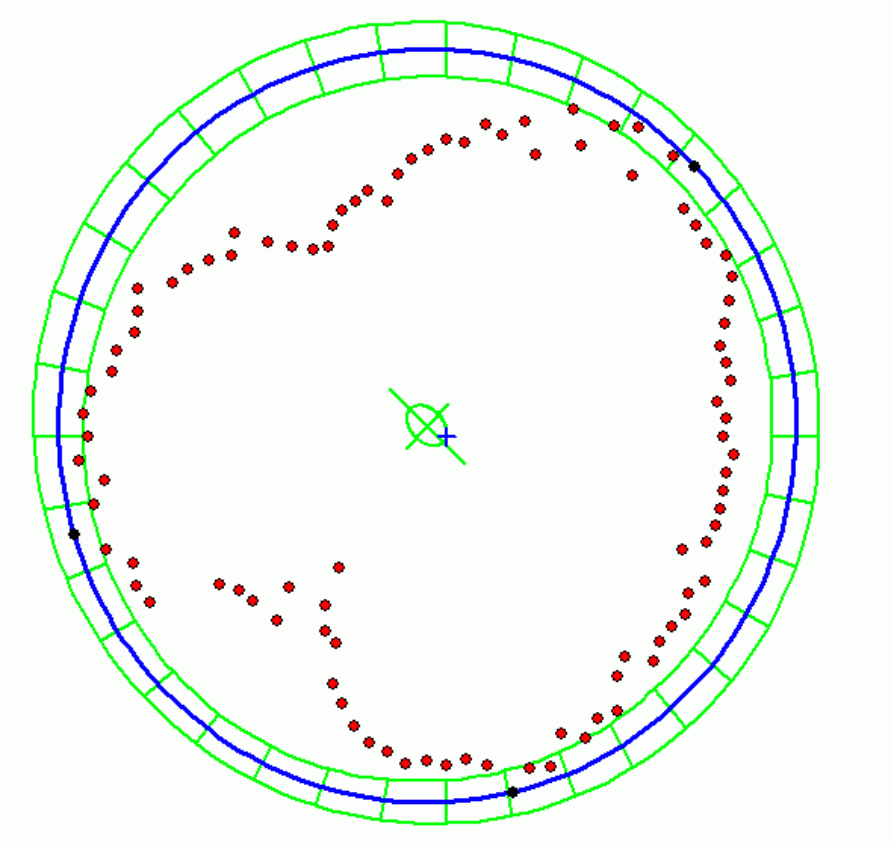
- ISO 14405-1: Maße $\textcircled{\text{GG}}$ $\textcircled{\text{GN}}$ $\textcircled{\text{GX}}$ – Element und Bezug
- ISO 5459: Eindeutige Koordinaten, aber Durchmesser **nicht funktionsgerecht** (senkrecht zu Ebene A)
- ISO 1101 (2014): Keine eindeutigen Koordinaten und Durchmesser (Zweipunktmaße)
- ISO 1101 (2017): Zusätzliche Symbole z.B. $\textcircled{\text{N}}$ bzw. $\textcircled{\text{X}}$ für die Achse des angrenzenden Zylinders
- Koordinaten **nicht eindeutig** und (auch Durchmesser) **nicht funktionsgerecht** (senkrecht zu Ebene A)

Angrenzende Elemente

- Mittlere Elemente eindeutig, aber nicht immer funktionsgerecht (Formabweichungen)
- Auswertung der angrenzenden Elemente aus den erfassten Messpunkten problematisch
- Bei kleinen Messpunktzahlen sehr empfindlich gegen Ausreißer
- **Große Messunsicherheiten** der Durchmesser, Koordinaten und Winkel

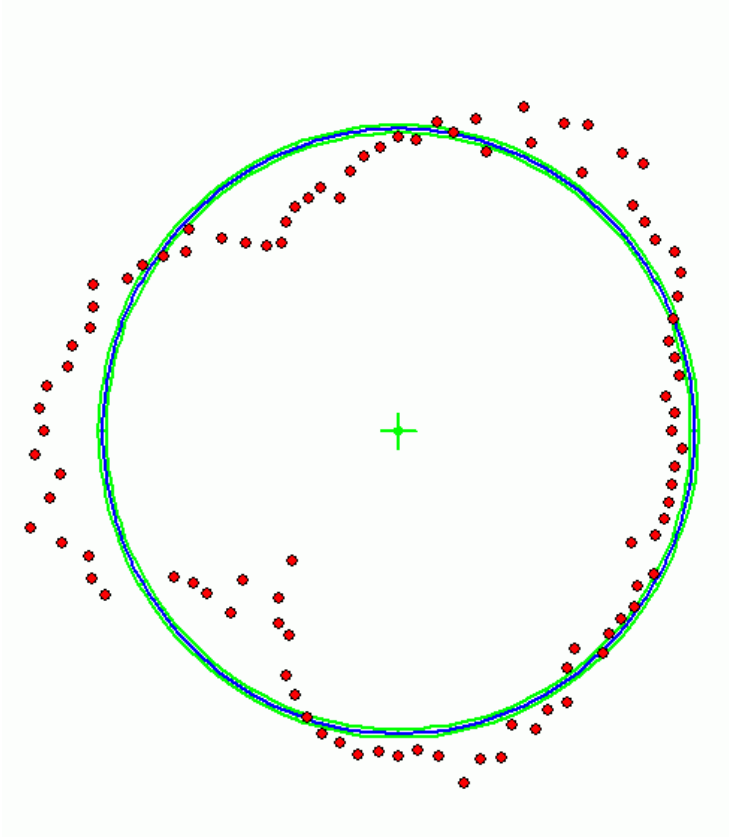
→ Auswertemethode nicht empfohlen

Beispiel: Hüllkreis und mittlerer Kreis



100,015 mm
2,1 μm

Durchmesser
Messunsicherheit

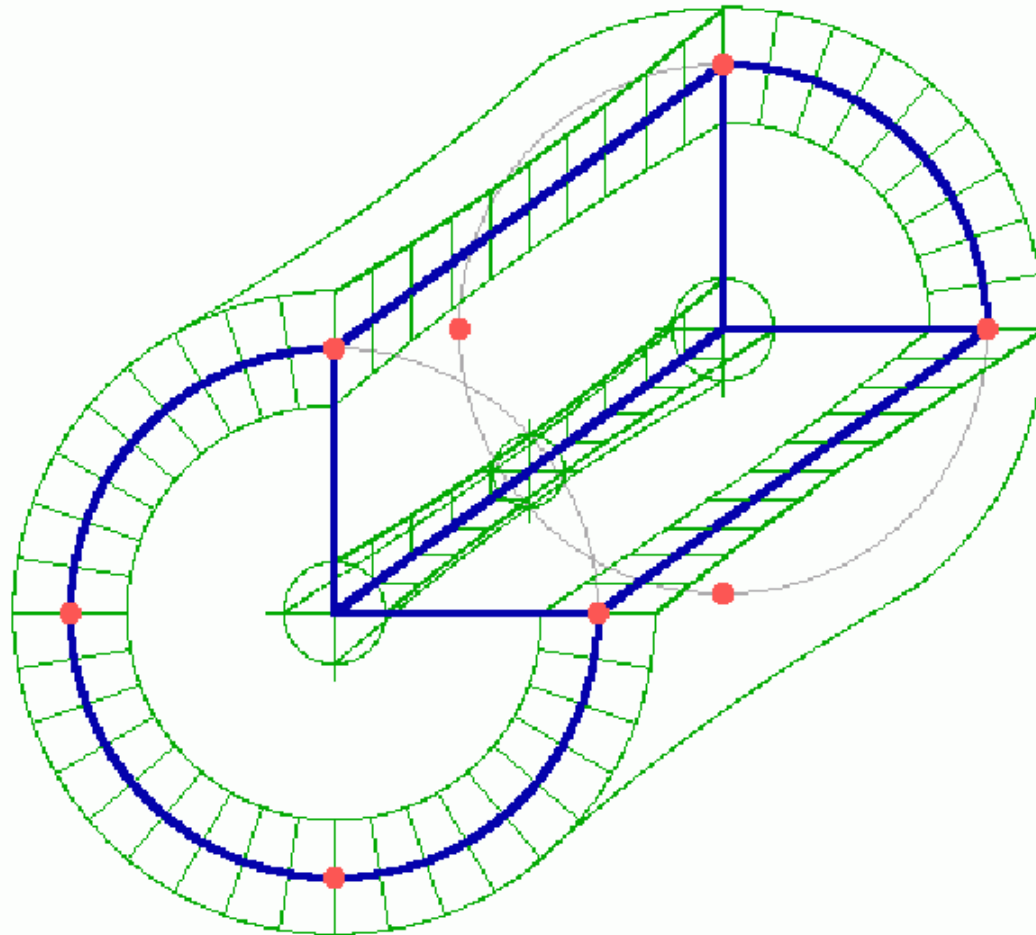


100,000 mm
0,3 μm

Ausgleichsrechnung: Mittlere Elemente

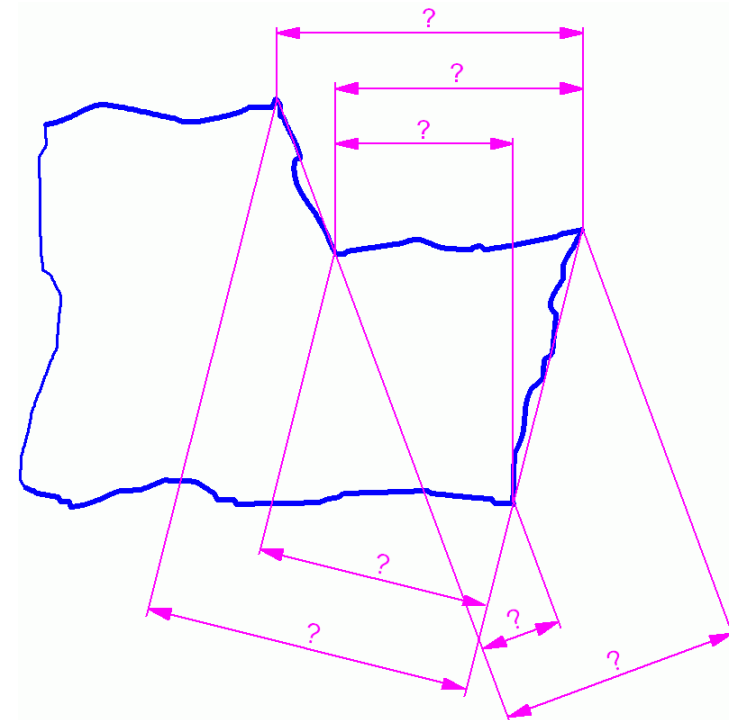
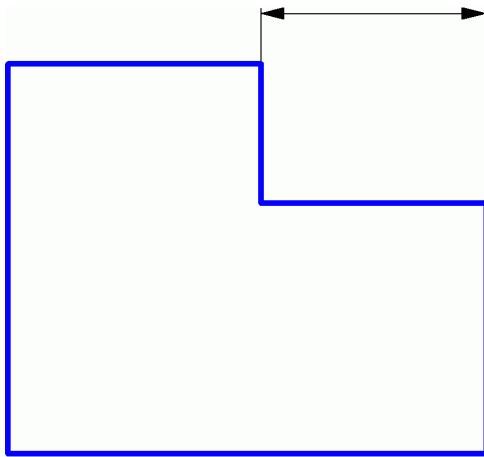
- Methode der kleinsten Quadrate (MKQ)
- Immer ein **eindeutiges** Messergebnis
- Immer mit der **kleinstmöglichen** Messunsicherheit
- Seit C. F. Gauß bevorzugte Auswertemethode in der (geometrischen) Messtechnik
- **Standard** in der industriellen Koordinatenmesstechnik
- Für Bezüge und für tolerierte Elemente
- **Unabhängig** von den Filterbedingungen

Zylinder mit kleinster Messunsicherheit in der Mitte



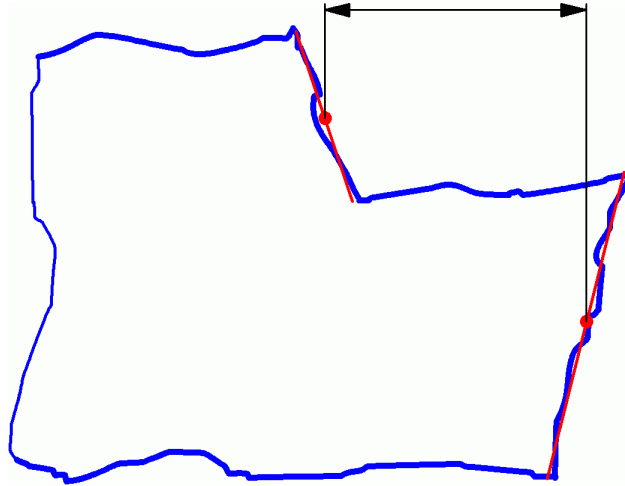
ISO 14405-2: Andere als lineare Maße

Nicht eindeutig: Stufenmaße, versetzte Maße, Koordinatenmaße, Radien, abgeleitete Geometrieelemente (Achsen, Symmetrieelemente), Winkel



ISO 14405-2: Bezüge und Lagetoleranzen eintragen

Praxis: Auswertung der mittleren Elemente



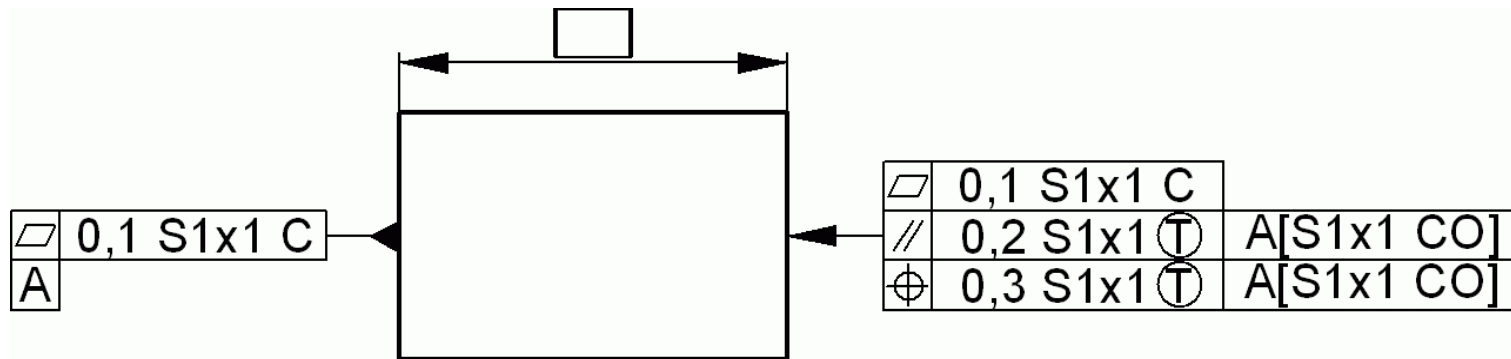
- Mittlere Elemente nach Gauß (Ausgleichsrechnung, MKQ)
- Koordinaten in der Mitte, Maße und Winkel der Elemente
- Auswerterichtung nach Orientierung des Bezugssystems
- Eindeutige Ergebnisse und kleinste Messunsicherheiten

Filterung – Symbole und Regeln

- ISO 1101, ISO 5459 und ISO 14405-1 mit Filterung der Messwerte – wesentlicher Einfluss auf die Messergebnisse
- Unterschiedliche Festlegungen für Filter, erfasste und zugeordnete Geometrieelemente
- ISO 1101 Form, Richtung, Ort und Lauf: Kein Standard-Filter, erfasste Geometrieelemente, Symbole und Regeln
- ISO 5459 Bezüge: Morphologischer Filter mit öffnender Kugel, mittlere Elemente mit Anlage von außen
- ISO 14405-1 Maße: Kein Standard-Filter, erfasste Geometrieelemente, keine Zeichnungseintragung

Offene Fragen zur Filterung (1)

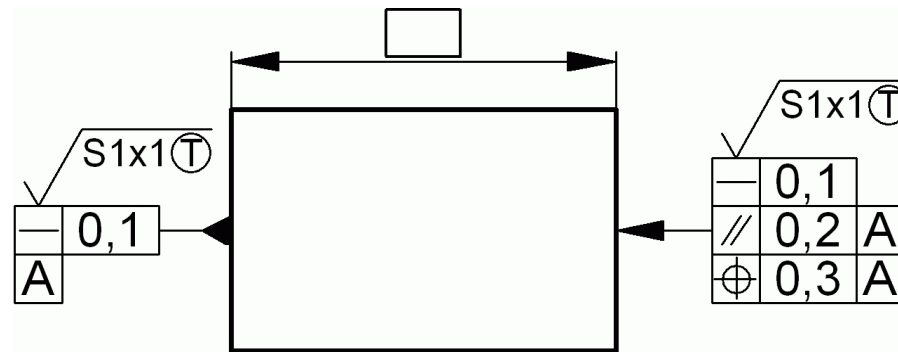
- Keine Standardspezifikationen → immer einzelne Angaben – oder nicht eindeutige Zeichnungen
- Oberflächen mit **gleicher Funktion**, aber **unterschiedlichen Filtern** für die Eigenschaften:



➔ Messbedingungen nicht für einzelne Eigenschaften, sondern nach Funktion festlegen

Offene Fragen zur Filterung (2)

- Messbedingungen für die Geometrieelemente – für alle Eigenschaften gleich
- Eintragung z.B. in Anlehnung an ISO 1101 (2017) und ISO 1302 (Oberflächenangaben):

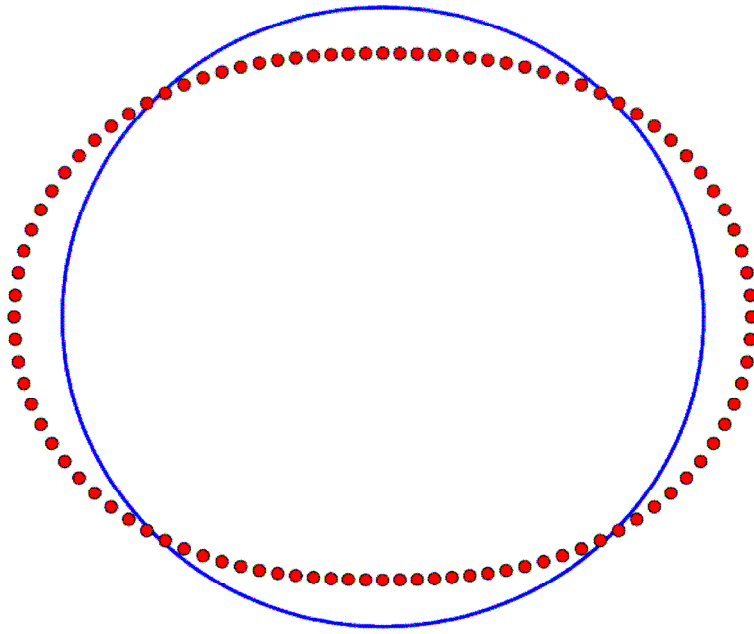


- **Objektive Regeln** zur Auswahl der Filter?
- **Ausbildung** der Konstrukteure zur Festlegung der Filter?

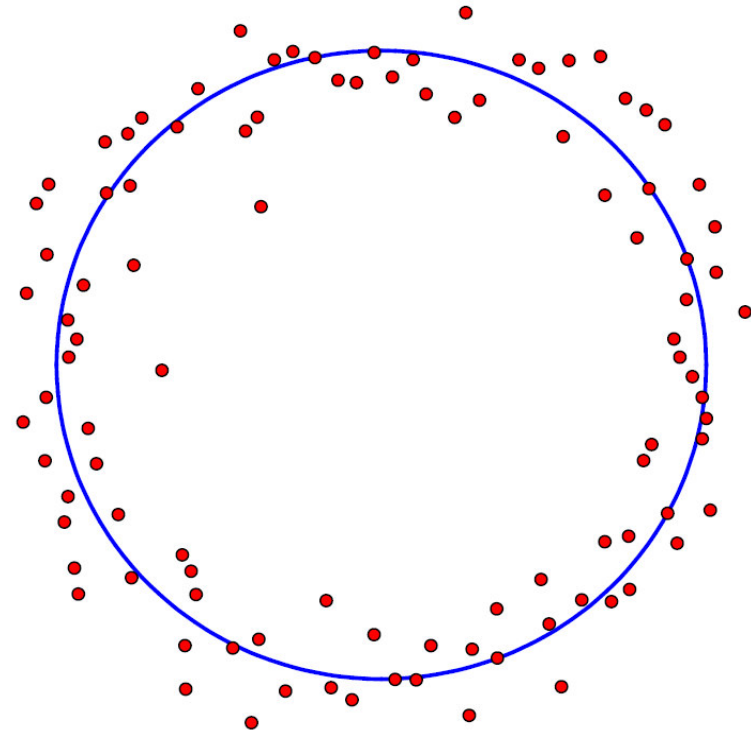
Stand der Technik bei Filterung

- **Idee:** Tiefpassfilter zum Abschneiden der **zufälligen Messabweichungen** („Rauschen“)
- Ursprünglich elektrische RC-Filter (Widerstand und Kondensator)
- Heute **Softwarefilter**, z.B.:
 - Gaußfilter nach ISO 16610-21
 - Splinefilter nach ISO 16610-22
- Unterschiedliche Gewichts- und Übertragungsfunktionen
- Gestufte Grenzwellenzahlen bzw. -längen für 50% der Amplitude einer Sinusfunktion
- Aber **ohne Test** auf Zufallseigenschaft

Systematische und zufällige Abweichungen



Zwei Sinuswellen am Umfang



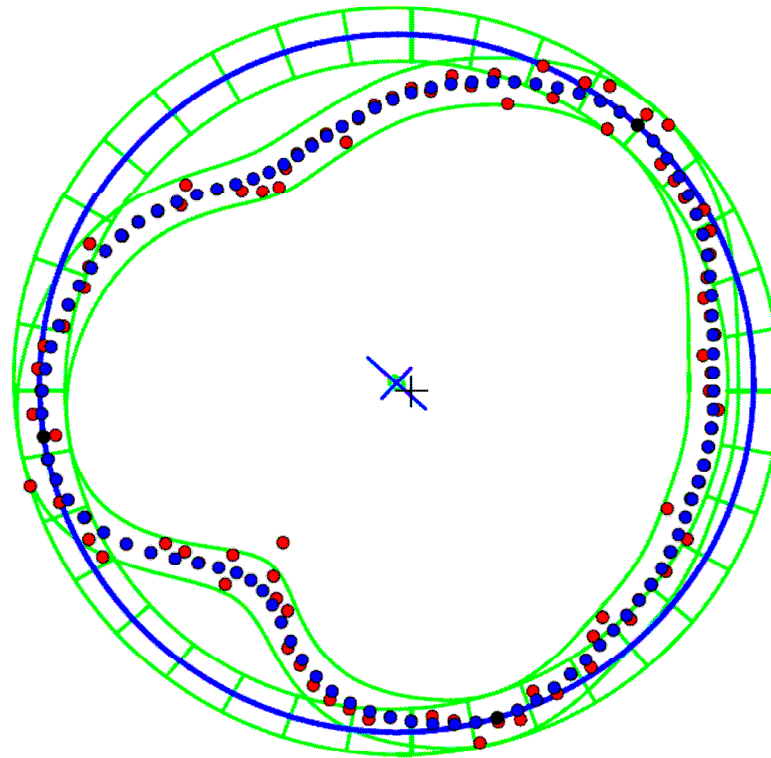
Normalverteilte Zufallszahlen

Alternative: Schrittweise Filterung

- Keine vorgegebene Grenzwellenzahl (-länge)
- Grenzwellenzahl **schrittweise** vergrößern
(bzw. Grenzwellenlänge verringern)
- Restabweichungen auf **Zufallseigenschaft** testen
- In der Regel keine ganze Grenzwellenzahl
- **Objektive Trennung** der Messwertanteile
- Angrenzende Elemente am **mittleren Profil**
mit kleineren Messunsicherheiten
- Vortrag: „Mathematische Modellierung ...“
VDI-Fachtagung Messunsicherheit 2015

Hüllkreis am mittleren Profil mit zufälligen Abweichungen

95% der Messpunkte innerhalb des Überdeckungsbereiches

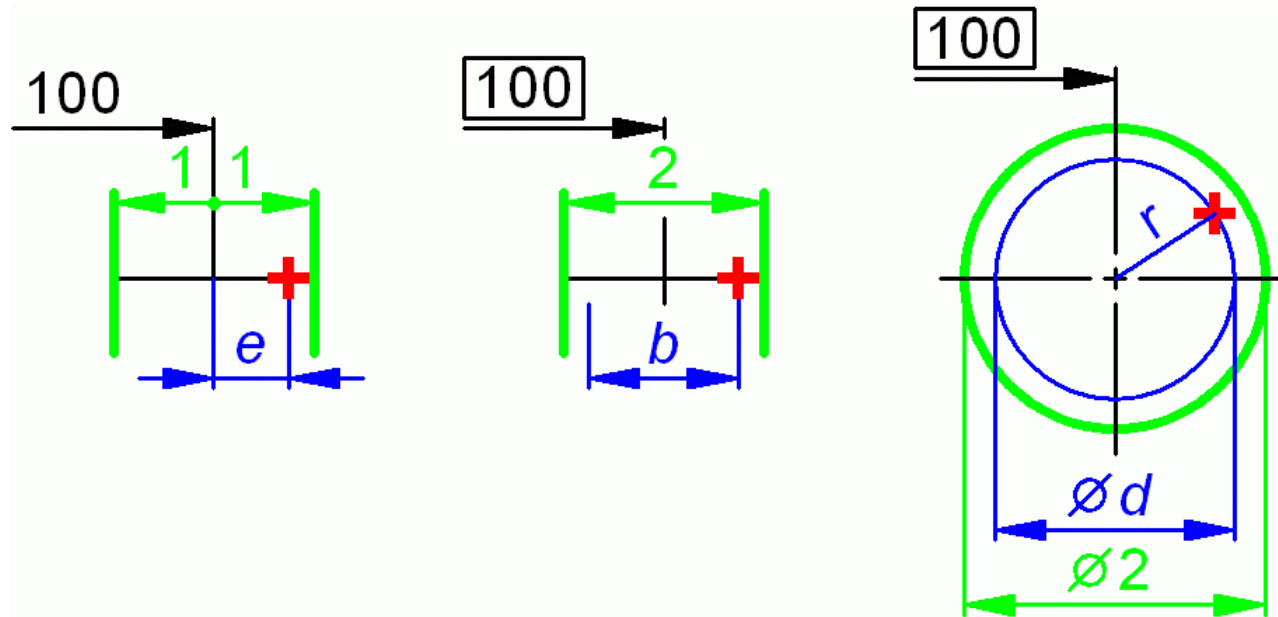


Durchmesser 100,010 mm, Messunsicherheit 1,5 μm

Lageabweichungen

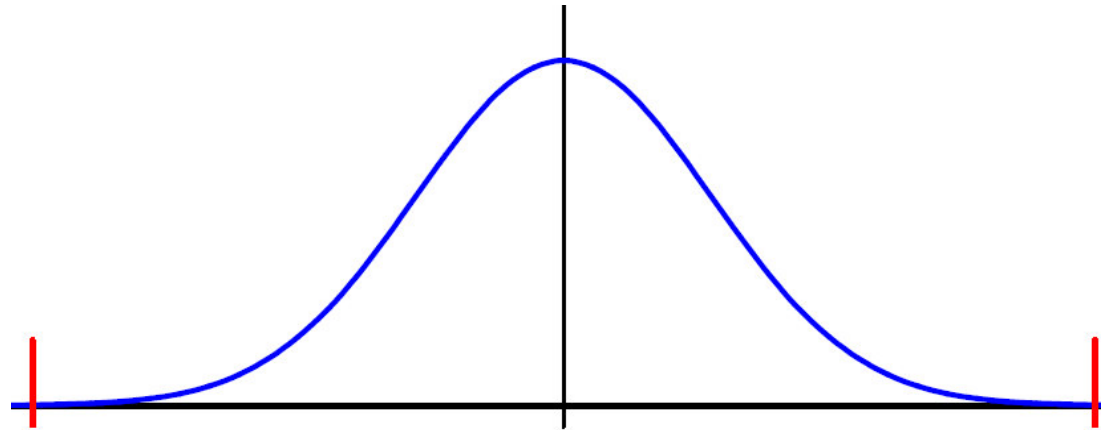
- **ISO 1101** definiert Toleranzen und -zonen für Form, Richtung, Ort und Lauf, aber **keine Abweichungen**
- **Ausnahme:** Form mit Referenzelementen nach Minimax-Assoziation (Tschebyschew, 8.2.2.3.1)
- **Forderung:** Alle Punkte des tolerierten Elementes in der Toleranzzone → kein Messwert erforderlich
- **Messgerätesoftware:** Bei symmetrischen Toleranzzonen Abweichungen verdoppelt
- Verursacht **Probleme z.B.** bei Fähigkeitsbewertungen

Abstand und Position – Toleranzen und Abweichungen



Verdoppelte Abweichungen b und d ohne Vorzeichen (Beträge)

Beispiel Prozessfähigkeit



Fähigkeitsindex c_p mit Prozessstreuung s aus den Abweichungen

Abstand mit e (s einfach): $c_p = \frac{T}{6 * s} \geq 1,33$

Position mit b (s verdoppelt): $c_p = \frac{T}{6 * s} \geq 0,67$

ISO 20170 Zerlegung

DIN EN ISO 20170: GPS – Zerlegung von geometrischen Merkmalen für die Fertigungskontrolle (Entwurf 2016)

Einführung:

- **ISO 1101** mit Definition der Übereinstimmung für geometrische Eigenschaften
- **Nicht** geeignet für die Fertigungssteuerung
- Norm zur Unterstützung der Fertigung und Prüfung
- Mit Zahlenwerten für geometrische Eigenschaften
- **Nur** zur Fertigungskorrektur
- **Nicht** für Konformitätsaussagen eines Werkstücks

Zwecke der Normen

ISO 1101

- Definition der Toleranzen und Toleranzzonen (abhängig)
- Bewertung der Konformität (Übereinstimmung)
- **Keine Abweichungen** definiert
- **Nicht** geeignet zur Fertigungskorrektur
- (**Nicht** geeignet zur Funktionsbeschreibung)

ISO 20170

- **Unabhängige Prüfmerkmale** für Maß, Ort, Richtung, Form
- Unterstützung der Fertigung und Prüfung
- Mit **Zahlenwerten** für geometrische Eigenschaften
- Zur Fertigungskorrektur
- **Nicht** zur Bewertung der Konformität eines Werkstücks

Forderungen an GPS-Standardspezifikationen

- Einfach, leicht verständlich und praxisgerecht
- Entsprechend der eingeführten messtechnischen Praxis
- Jeweils unabhängig von anderen Eigenschaften
- Standardspezifikationen für Geometrieelemente
- Unabhängig von Filtern und Zuordnungen
- Mit vorzeichenrichtigen Abweichungen
- Geeignet zur Funktionsbeschreibung
- Geeignet zur Fertigungskorrektur
- Geeignet zur Konformitätsbewertung

Alternative GPS-Standardspezifikationen (1)

Stichwort / Thema	Standardspezifikationen
Auswertemethode	Methode der kleinsten Quadrate summe (MKQ, Ausgleichsrechnung nach Gauß)
Geometrieelemente	Mittlere Elemente nach MKQ
Parameter der Geometrieelemente	Maß, Form, Koordinaten und Winkel der mittleren Elemente, jeweils unabhängig voneinander
Koordinaten	In der Mitte der Geometrieelemente, unabhängig vom Bezugssystem
Maße und Abstände	Zwischen den Punkten in der Mitte der Geometrieelemente
Bezüge	Wie die anderen Geometrieelemente

Alternative GPS-Standardspezifikationen (2)

Stichwort / Thema	Standardspezifikationen
Bezugssysteme	Anlage der Bezüge in der Mitte der Geometrie-elemente
Auswerterichtung	Entsprechend der Orientierung des Bezugs-systems → auf jeder Zeichnung definieren
Angrenzende Elemente	Symbol für das Geometrieelement für alle Parameter
Filterung	Objektive Trennung der zufälligen und systema-tischen Messwertanteile – Zeichnungsangabe in der Regel nicht erforderlich
Anwendung	Bewertung der Fertigung, Funktion und Konformität

Beziehung zum GPS-Normensystem

- **Alternative GPS-Standardspezifikationen** bauen auf dem GPS-Normensystem auf und ergänzen es
- GPS-Normensystem soll nicht ersetzt werden
- **Angabe** des Dokuments auf der **Zeichnung**, z.B.:

Tolerierung ISO 8015 **AD** – WN1234:2017-11

Zusammenfassung

- GPS-Normen entsprechen nicht den Anforderungen der Praxis – einfach, eindeutig, leicht verständlich
- Alternative: Standard mittlere Elemente
- Alle Abweichungen unabhängig voneinander
- Besondere Anforderungen einzeln angeben
- Filterung mit objektiver Abtrennung der Zufallsstreuung
- Bewertung der Konformität, Fertigung und Funktion

Literatur zu GPS-Spezifikationen

- Hernla, M.: Illusion und Wirklichkeit. Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung in der Praxis. QZ Qualität und Zuverlässigkeit, München 60 (2015) 5, S. 108-111
- Hernla, M.: Maximum-Material-Bedingung in der Praxis. Prüfung durch Funktionslehren oder rechnerische Toleranzerweiterung? QZ Qualität und Zuverlässigkeit, München 59 (2014) 12, S. 44-47
- Hernla, M.: Auswertung von Messabweichungen. Messunsicherheit und Fähigkeit für Ortstoleranzen. QE Quality Engineering, Leinfelden-Echterdingen (2009) 7-8, S. 14-15
- Hernla, M.: Form- und Lageabweichungen – die Definitionen reichen nicht. QZ Qualität und Zuverlässigkeit, München 39 (1994) 10, S. 1116-1122

www.dr-hernla.de

→ Leistung → Zeichnungseintragungen → Veröffentlichungen

Literatur zu Messunsicherheit und Filterung

- Hernla, M.: Messunsicherheit bei Koordinatenmessungen. Ermittlung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit durch Unsicherheitsbilanzen. 3. Auflage, expert verlag Renningen 2016
- Hernla, M.: Mathematische Modellierung geometrischer Messverfahren. VDI-Fachtagung "Messunsicherheit praxisgerecht bestimmen" am 19. und 20.11.2015 in Braunschweig, VDI-Bericht 2269, Düsseldorf 2015, S. 183-194
- Hernla, M.: Anwendung von Filtern bei der Auswertung gemessener Oberflächenprofile. tm Technisches Messen, München 67 (2000) 3, S. 128-135

www.dr-hernla.de

→ Leistung → Messgenauigkeit → Veröffentlichungen