

3D-Messungen, denen Sie
vertrauen können.

Die smarte Umsetzung für die 3D- Messtechnik



3D-Messungen, denen Sie
vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-
Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes
des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung
des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von
MSA-Studien unter
Verwendung einer
experimentellen Methodik
und intelligenter
3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und
Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.

Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Produzierende Unternehmen überwachen täglich ihre Produktqualität durch die Erfassung von Messdaten. Diese Daten werden dazu verwendet, die Stabilität eines Fertigungsprozesses zu überwachen. Darüber hinaus wird mit ihnen die Fähigkeit der Prozesse, die Qualität und Funktionalität der Produkte gewährleistet und die Kennzahlen zur Fähigkeit des Prüfprozesses nachgewiesen. Dies ist alles Teil des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses.

Bei der Einführung eines neuen Fertigungsverfahrens können Probleme mit der Prozessstabilität auftreten, ohne dass die Ursache ermittelt und behoben werden kann. In manchen Fällen hängen diese Probleme nicht mit dem Herstellungsverfahren, sondern mit dem Messsystem selbst zusammen.

Messtechniker sind sich bewusst, dass eine Messung niemals exakt ist. Eine Vielzahl von Einflussgrößen wirkt sich auf die Fähigkeit des Messsystems aus und führt zu Streuung bei der Messung. Mit einer Messsystemanalyse (MSA) mittels Wiederholbarkeits- und Gauge-R&R-Studien kann die Varianz des Messsystems geschätzt werden. Diese ermöglichen es den Messtechnikern, die Aussagekraft des Messsystems zu bewerten und die Einflussgrößen zu minimieren, die zu einem instabilen Messprozess führen und tatsächlich auf das Messsystem zurückzuführen sind.

Die Vorbereitung und Durchführung einer MSA-Studie kann sehr komplex sein - insbesondere im Zusammenhang mit 3D-Messtechnik - und erfordert umfassende Kenntnisse der Statistik, um verwertbare Daten zu erhalten.

Dieses Whitepaper wird:

- Der Kerngedanke der Messsystemanalyse und ihre praktische Anwendung für 3D-Messgeräte erläutern,
- Wiederholbarkeits- und Gauge-R&R-Studien als vollständig digitalen Prozess von der Erstellung, Durchführung, bis zu den Ergebnissen in Excel beschreiben.
- Die Messtechniker bei der Analyse der Ergebnisse aus den Studien unterstützen.



3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

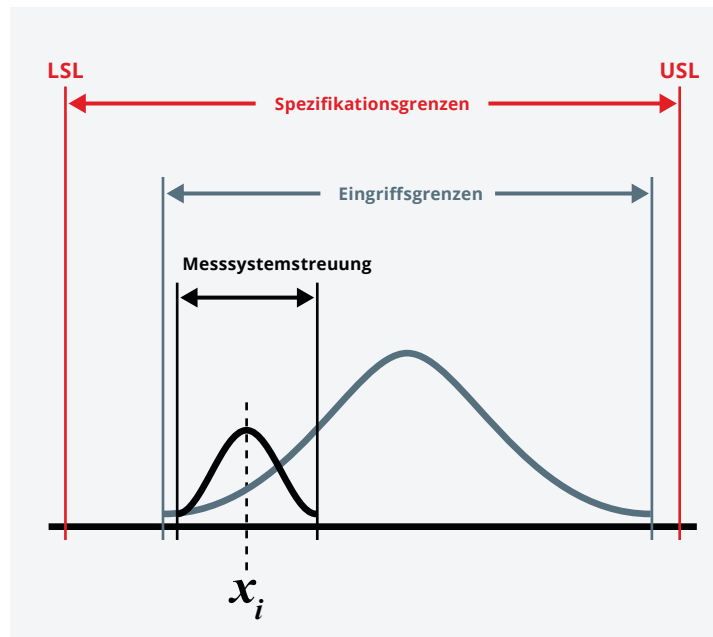
Fazit

Grundlagen der MSA verstehen

Betrachten wir die entscheidende Rolle der MSA im Gesamtprozess der Produktprüfung. Während dieses Prozesses messen Messtechniker *wichtige Merkmale*, wie Größe, Abmessungen, Positionen, Profile und Winkel, um deren Abweichung von der Soll-Vorgabe zu ermitteln. Sie beurteilen die Einhaltung der technischen Vorgaben, wie sie im Prüfplan festgelegt sind, durch Toleranzen und Spezifikationen. Jede Messung ist durch zwei Hauptkomponenten gekennzeichnet: eine, die die tatsächliche Abweichung (d. h. den realen Wert) darstellt und eine andere, die die Variabilität des Messsystems widerspiegelt. Um sicherzustellen, dass ihr Messsystem für die Aufgabe vertrauenswürdig und zuverlässig ist, müssen Messtechniker die Breite der Messsystemvarianz bestimmen und sicherstellen, dass diese nicht mehr als 10 % bzw. 30 % der Spezifikationsgrenzen beträgt. Die Varianz oder Leistung des Messsystems muss im Verhältnis so gering sein, dass sie nicht wesentlich zur gesamten gemessenen Prozessvariabilität beiträgt, wobei sowohl die Varianz des Herstellungsprozesses als auch des Messsystems zu berücksichtigen ist und den Prozess nicht über die Spezifikationsgrenzen (USG, OSG) oder Toleranzen hinausschiebt.

Abbildung 1
Leistung eines Messsystems
hinsichtlich der
Gesamtprozessvarianz

Abbildung 1 zeigt diese Wechselwirkung, bei der die Leistung eines Messsystems und die Messwerte (X_i) einen verhältnismäßig unauffälligen und vorhersehbaren Anteil an der gemessenen Prozessstreuung haben. Diese Streuung wird anhand von Messergebnissen an Teilen, die von der Produktionslinie kommen, mit SPC-Techniken ermittelt. Normalerweise werden anhand dieser Daten die Eingriffsgrenzen berechnet. Mit anderen Worten: Die Leistung des Messsystems wirkt sich auf die Ergebnisse der gesamten gemessenen Prozessvarianz aus und das Ergebnis der Messsystemanalyse hilft dabei, diese Leistung zu ermitteln.



3D-Messungen, denen Sie vertrauen können. Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Messsystemdefinition

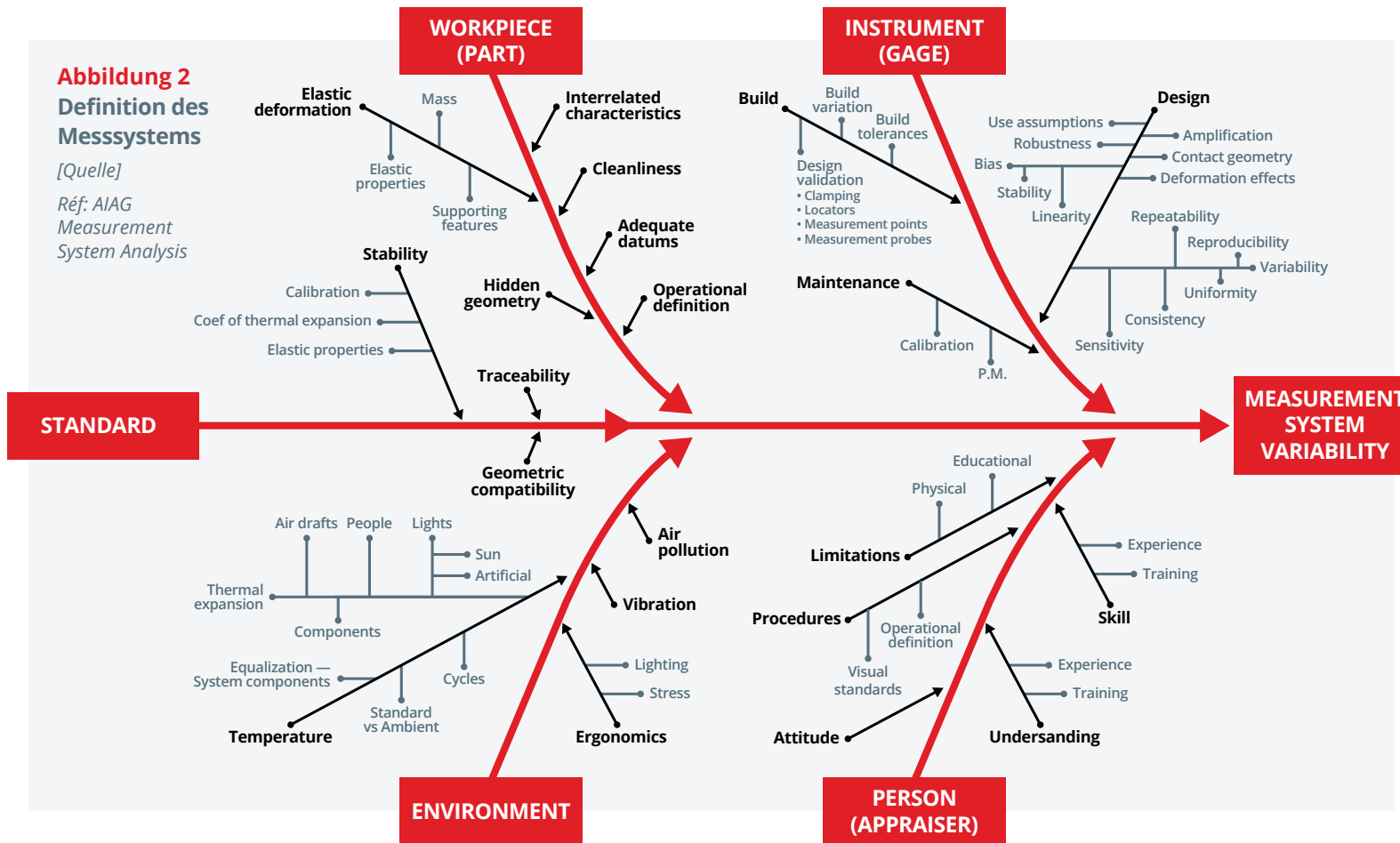
Bevor die Leistung des Messsystems bestimmt wird, ist es wichtig, alle potenziellen Einflussgrößen zu ermitteln, die den Messprozess eines Merkmals beeinflussen können. Die **Automotive Industry Action Group (AIAG)** gibt an, dass das Messsystem aus „den Komponenten von Lehren oder Messgerät, Standards, Verfahren, Methoden, Vorrichtungen, Software, Prüfer, Umwelt und Annahmen besteht,

die zur Bestimmung einer Größe oder festen Bewertung des zu messenden Merkmals verwendet werden; der gesamte Prozess, der zur Feststellung von Messungen verwendet wird.“ Die MSA muss alle diese Faktoren, wie in Abbildung 2 dargestellt, berücksichtigen, da sie die Tauglichkeit des Messsystems beeinflussen.

Abbildung 2 Definition des Messsystems

[Quelle]

Réf: AIAG
Measurement
System Analysis



**3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik**

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Leistungsindizes des Messsystems

Die Nutzbarkeit eines Messsystems wird anhand von Fähigkeitskennwerten bestimmt. Diese beschreiben die Eignung für eine spezifische Messung. Durch das Erfassen von Daten über den Prozess kann der Messtechniker die gesamte Streuung der Messwerte ermitteln, indem er ein bestimmtes Verhalten annimmt, das mit der Streuung verbunden ist. Normalerweise wird dieses Verhalten mit einer Gaußschen (Normal-) Verteilung beschrieben. Abbildung 3 veranschaulicht dieses Konzept, wobei die schwarze Kurve die gesammelten Daten darstellt, d. h. die Messwerte, die aus dem Messprozess stammen, und ihre Verteilung, die durch die Parameter-Lage (*Mittelwert*) und Breite (*Standardabweichung*) definiert ist.

Zahlreiche Faktoren, die den Messprozess beeinflussen, stellen mehrere Einflüsse dar, die entweder systematisch (z. B. *durchschnittlicher Messwert im Vergleich zum tatsächlichen Wert*) oder zufällig (z. B. *Streuung der Messungen*) sind. Es ist möglich, diese Einflüsse je nach ihrer Auswirkung auf die identifizierten Verteilungsparameter zu kategorisieren. Wie in Abbildung 4 dargestellt, umfasst der systematische Einfluss die systematische Messabweichung (Bias), Linearität und Stabilität, während der zufällige Einfluss die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit umfasst. Jede Kategorie ist durch ihr einzigartiges Verteilungsmodell eindeutig identifizierbar.

Abbildung 3
Gaußsche
Verteilung

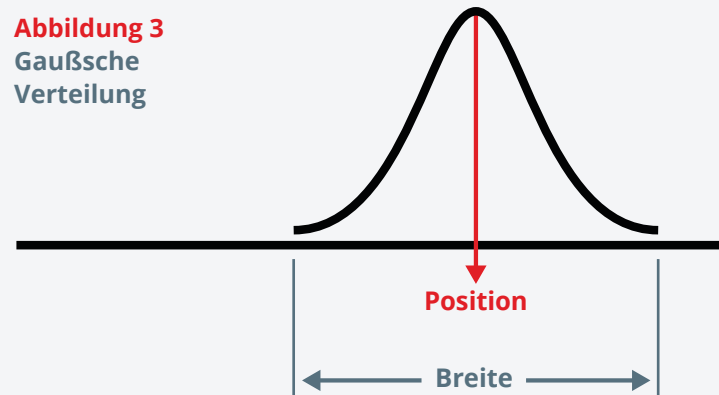
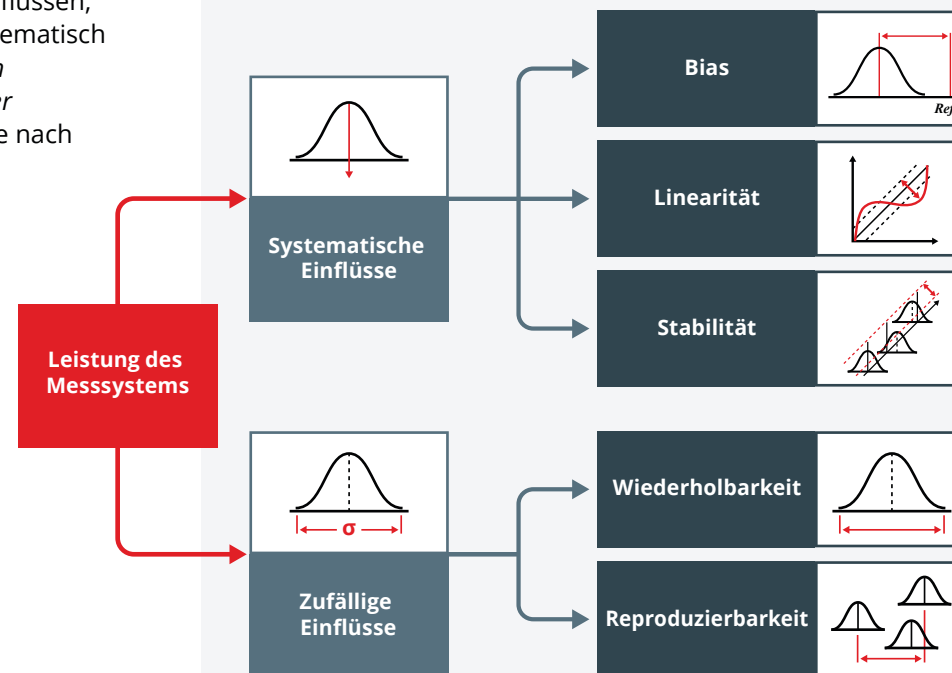


Abbildung 4
Leistungsindizes



3D-Messungen, denen Sie vertrauen können. Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

• Systematische Einflüsse

Der systematische Einfluss ist die Messabweichung, die stark mit der Lage der Normalverteilung in Bezug auf einen bekannten Referenzwert verbunden ist. Mathematisch ausgedrückt beeinflusst sie den Mittelwert der gemessenen Daten. Der gängige Begriff dafür ist die Richtigkeit. Die Richtigkeit stellt die Lage zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse und einem Referenzwert dar. Systematische Einflüsse sind im Allgemeinen reproduzierbar und oft auf Probleme zurückzuführen, die festgestellt und korrigiert werden können. Die drei Arten der systematischen Einflüsse sind systematische Messabweichung (Bias), Linearität und Stabilität, wobei der Bias die häufigste ist. Der Bias stellt den Abstand zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse ($\bar{x}$) und einem Referenzwert (*Ref*) dar. Mathematisch gesehen wird der Bias durch die Differenz zwischen dem richtigen Wert (*Ref*-Wert) und dem erwarteten Mittelwert der Messungen desselben Merkmals an demselben Teil geschätzt. Die Linearität hingegen gibt an, wie gut die über den gesamten Messbereich eines Messsystems erfassten Daten mit dem Referenzwert übereinstimmen. Sie ist die Differenz zwischen den systematischen Messabweichungen über den gesamten vorgesehenen Messbereich des Messsystems. Die Linearität stellt die Veränderung der systematischen Messabweichung von einem Minimum des Messbereichs zum Maximum dar. Der letzte Typ der systematischen Einflüsse ist die Stabilität, d. h. die Fähigkeit eines Messsystems, seine messtechnische Leistung über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten. Die Stabilität beschreibt die Varianz der systematischen Messabweichung im Laufe der Zeit, normalerweise die Zeit zwischen zwei Systemkalibrierungen.

• Zufällige Einflüsse

Die verbleibenden Einflüsse für Messunsicherheit sind die zufälligen Einflüsse, die gemeinhin als Präzision bezeichnet wird. Die *Präzision* stellt die statistischen Schwankungen in den Messdaten dar, die auf die zufälligen Einflüsse des Messsystems zurückzuführen sind. Der Präzision beschreibt die erwartete Streuung bei wiederholten Messungen über den gesamten Messbereich. Die beiden Arten der zufälligen Einflüsse sind *Wiederholbarkeit* und *Reproduzierbarkeit*. Die *Wiederholbarkeit* stellt die Breite der Streuung von Messungen dar, die sich unter definierten Bedingungen ergibt. Sie beschreibt die Fähigkeit des Systems, die gleiche Messung, dem gleichen Teil, der gleichen Vorlage und den gleichen Umgebungsbedingungen durchzuführen. Eine enge Streuung deutet auf eine gute Wiederholbarkeit der Messung hin. Die *Reproduzierbarkeit* stellt die Varianz zwischen Messungen dar, die von verschiedenen Prüfern unter denselben Bedingungen durchgeführt wurden. Mathematisch gesehen handelt es sich dabei um die Varianz des Mittelwerts, der von den einzelnen Prüfern vorgenommenen Messungen.



3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Die Fähigkeit eines Messsystems ($\sigma_{\text{Fähigkeit}}$), auch als *Messmittelfähigkeit* bezeichnet, ist die Kombination aller systematischen und zufälligen Einflüsse. Sie beschreibt die Eignung eines Messmittels / Messsystems unter bekannten Bedingungen, eine bestimmte Messung durchzuführen und wird verwendet, um die Fähigkeit des Messsystems über einen kurzen Zeitraum zu ermitteln. Die Fähigkeit kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\sigma_{\text{Fähigkeit}}^2 = \sigma_{\text{Bias (Systematische Messabweichung)}}^2 + \sigma_{R\&R}^2$$

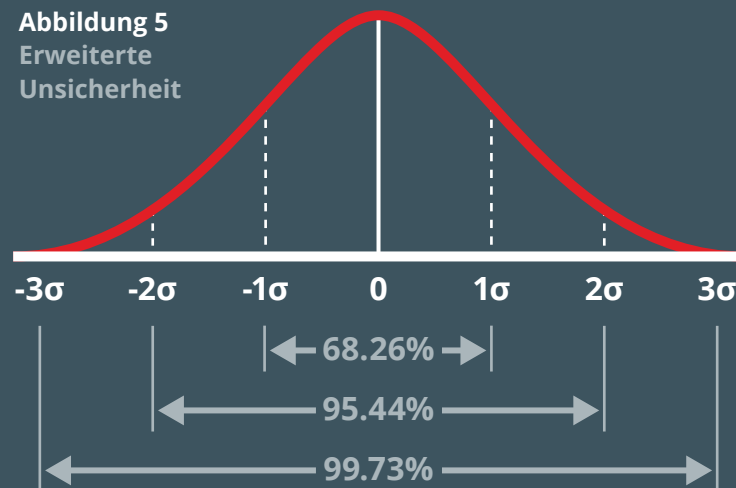
Die Leistung hingegen berücksichtigt nicht nur die Einflüsse von systematischen und zufälligen Streuungen, sondern auch den Drift, der im Laufe der Zeit auftritt. Sie wird nach der Formel berechnet:

$$\sigma_{\text{Leistung}}^2 = \sigma_{\text{Fähigkeit}}^2 + \sigma_{\text{Stabilität}}^2$$

Erweiterte Unsicherheit

Der letzte Schritt der Messsystemanalyse bestimmt die erweiterte Unsicherheit (U), die mit dem Messsystem verbunden ist. Die erweiterte Messunsicherheit ist der Gesamtwert der Messunsicherheit, der innerhalb eines bestimmten Vertrauensbereichs liegt, in dem das tatsächliche Messergebnis eines Systems erwartet wird. Sie kann wie folgt ausgedrückt werden: $U = \pm K \sigma_{\text{tot}}$ dabei ist U die erweiterte Unsicherheit, K ist der Erweiterungsfaktor, der die Fläche unter der Normalverteilung für einen gewünschten Vertrauensbereich darstellt (z.B. $K=3$ für einen Vertrauensbereich von 99.73%), und σ_{tot} die gesamte Standardunsicherheit des Messsystems, die in der Regel seiner Leistung entspricht. Die am häufigsten verwendeten Faktoren für die Messunsicherheit bei Messsystemen sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 5
Erweiterte
Unsicherheit



3D-Messungen, denen Sie vertrauen können. Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Um die Messunsicherheit eines Systems zu bewerten, muss zunächst sein Messmodell definiert werden. Dieses Modell ist eine mathematische Darstellung der Beziehung zwischen der physikalischen Größe, die das Messsystem ermittelt, und allen anderen Einflussgrößen, die bekanntermaßen am Messprozess beteiligt sind. Es gibt zwei Arten von Messungen: direkte und indirekte, und dies hat Auswirkungen auf die Art und Weise, wie das Modell definiert wird. Eine direkte Messung liegt vor, wenn ein Messgerät die Ausgangsgröße direkt liefert. Zum Beispiel wird ein Außendurchmesser (Y) mit einem Mikrometer gemessen, das direkt den physikalischen Wert X liefert. In diesem Fall entspricht das Messmodell (d. h. die Funktion) folgendem $Y = X$. Die meisten 3D-Messgeräte führen jedoch eine indirekte Messung durch. Sie können den Wert (Y) nicht direkt liefern, sondern betrachten eine Funktion mehrerer (n) physikalischer Werte (X_i), $Y = f(X_1, \dots, X_n)$. Ein mobiler Messarm verwendet zum Beispiel die Position und Ausrichtung mehrerer Geber, um eine bestimmte Ausgabe zu erhalten. Diese physikalischen Werte, in diesem Beispiel die Position und Ausrichtung der Geber, die zur Berechnung der Ausgangsgröße verwendet werden, sind alle von einer bestimmten Messunsicherheit (u_{X_i}) betroffen. Das Messergebnis des Arms (Y) hängt also von der Anzahl der Werte (X_i) und den damit verbundenen Unsicherheiten (u_{X_i}) ab, die für die Schätzung verwendet werden. Schließlich hat auch der gemessene Wert (Y) eine Gesamtunsicherheit (u_Y).

Wenn das Berechnungsmodell, welches das Messsystem repräsentiert, explizit formuliert ist, kann es verwendet werden, um die Unsicherheiten von den Eingangsgrößen auf die Ausgangsgrößen zu übertragen und zwar mit zwei Strategien: einer Taylor-Reihe oder einer Monte-Carlo-Simulation. Diese Strategien werden in der Norm [Messunsicherheit - Teil 3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen ISO/IEC GUIDE 98-6:2021](#) ([Uncertainty of measurement](#))¹ beschrieben. **Wenn das Berechnungsmodell jedoch zu komplex ist, um explizit formuliert zu werden, oder wenn die Parameter unbekannt sind, sollte eine experimentelle Strategie angewendet werden.** Wenn Sie die Einflussgrößen mit statistischen Werkzeugen analysieren, können Sie die Gesamtunsicherheit des Messsystems abschätzen. Wenn beispielsweise ein Messtechniker mit einem mobilen Messarm mit Scanner ein Flächenprofil prüft, ist das Berechnungsmodell sehr komplex. In diesem Fall sollte eine experimentelle Analyse durchgeführt werden. Da diese Analyse direkt aus den Messergebnissen erfolgt, muss der Messtechniker nicht alle Einflussgrößen aus dem gesamten Messsystem einzeln analysieren, was es einfacher, übersichtlicher und verständlicher macht.

¹ Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen ISO/IEC GUIDE 98-6:2021 (übernommen aus JCGM 100:2008) veröffentlicht vom Bureau International des Poids et Mesures

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können. Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

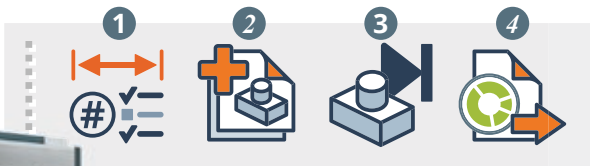
Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Die Durchführung einer experimentellen Analyse zur Bestimmung der erweiterten Unsicherheit mit komplexen 3D-Messsystemen erfordert zunächst die Durchführung einer Wiederholbarkeitsstudie, gefolgt von einer vollständigen Gauge-R&R-Studie. Durch das Sammeln von Messergebnissen des Systems unter verschiedenen Bedingungen und Untersuchungen kann der Messtechniker die Gesamtstreuung anhand der zuvor beschriebenen Leistungsindizes schätzen. Aber diese Studien sind üblicherweise sehr komplex und erfordern umfangreiche Statistikenkenntnisse, um sichere Ergebnisse zu ermitteln.

Abbildung 6
PolyWorks Symbolleiste Messsystemanalyse



PolyWorks® bietet eine integrierte Lösung für die 3D-Messtechnik zur Messsystemanalyse komplexer 3D-Messsysteme innerhalb eines vollständig digitalen Prozesses an. Sie erlaubt den Anwendern:

- 1 Spezifizieren von wichtigen Merkmalen, die für den Kontrollplan erforderlich sind
- 2 Erstellen der Studie durch Auswahl des Studientyps und Definition von wichtigen Merkmalen, die für die Qualitätskontrolle und Rückverfolgbarkeit wichtig sind;
- 3 Ausführen der Studie durch Datenerfassung für alle 3D-Messgeräte und Messstrategien innerhalb einer einzigen universellen Softwareplattform
- 4 Erstellung aussagekräftiger Berichte, die direkt in Microsoft Excel veröffentlicht werden mit vorformatierten Tabellen, die intelligent mit den Messdaten verknüpft sind und
- 5 Eine anspruchsvolle statistische Analyse in Excel, ohne dass dafür tiefe Kenntnisse in Statistikberechnung oder Excel erforderlich sind.

Von der Einrichtung der Studien über die Erfassung der Messungen bis hin zu den automatisch generierten Ergebnissen, wie z. B. Indizes und Diagramme, stellt die PolyWorks MSA-Lösung sicher, dass alle Berechnungen innerhalb eines Software-Ökosystems durchgeführt werden, und der vollständig digitale Prozess sorgt für Datenintegrität und vertrauenswürdige Ergebnisse.

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Wiederholbarkeitsstudien



Der erste Schritt bei der Durchführung einer Messsystemanalyse ist eine Wiederholbarkeitsstudie. Sie bewertet die Variabilität von Messsystemen (Messmittelstreuung), wenn sie von einer minimalen Anzahl von Einflussgrößen beeinflusst wird. Sie wird bei

der anfänglichen Bewertung eines Messsystems eingesetzt, um schnell verschiedene Systemkonfigurationen zu vergleichen, z. B. die Spannstellen der Messvorrichtung oder die Parameter des Messgerätes.

Eine Wiederholbarkeitsstudie wird wie folgt durchgeführt:

- 1 - Einsetzen eines Teils in eine Messvorrichtung (falls zutreffend)
- 2 - Messung des Teils mit einem 3D-Messsystem
- 3 - Entnahme des Teils aus der Vorrichtung und
- 4 - Wiederholung der Schritte 1 bis 3, immer mit demselben Teil, derselben Vorrichtung und demselben Messsystem

Anhand des Prüfplans ermittelt der Messtechniker die wichtigsten Merkmale, die statistisch ausgewertet werden müssen. Das Teil wird mindestens 10-mal, in der Regel jedoch mindestens 30-mal gemessen, um eine gute Schätzung der Messmittelstreuung zu erhalten. Diese Art von Studie wird in der Regel von einem erfahrenen Messtechniker durchgeführt, um Probleme im Messprozess schnell zu erkennen und leicht zu lösen.

Es gibt zwei Arten von Wiederholbarkeitsstudien:

Typ-1-Messsystemanalyse²:

- Beurteilt die Auswirkungen von systematischen Messabweichungen und Wiederholbarkeit auf die Messung
- Erfordert eine geprüfte Referenz mit bekannten Abmessungen
- Liefert zwei Fähigkeitskennwerte: Cg und Cgk
- Anwendbar, wenn eine geprüfte Referenz verfügbar ist und die Stabilität des Messsystems kein Problem darstellt.

Gauge-R&R-Studie (Wiederhol- und Vergleichspräzision)³:

- Betrachtet die Wiederholbarkeit und Stabilität des Messsystems
- Erfordert keine geprüfte Referenz
- Verwendet das I-MR-Diagramm als Grundlage für die Bewertung von Varianz und Stabilität.

Der Hauptunterschied zwischen den beiden Studien besteht darin, dass die Typ-1-Studie eine geprüfte Referenz benötigt, um eine mögliche Verzerrung zu ermitteln und nicht die Stabilität des Messsystems bewertet.

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

² Measurement System Analysis Requirements for the Aero Engine Supply Chain (AS13003) veröffentlicht von SAE International.

³ Measurement System Analysis (MSA) veröffentlicht von der Automotive Industry Action Group (AIAG).

Gauge-R&R-Studien (Wiederhol- und Vergleichspräzision)

Beide Wiederholbarkeitsstudien werden durch die PolyWorks MSA-Lösung vereinfacht:

- 1 - Der Messtechniker wird Schritt für Schritt durch die notwendigen Schritte der Studie geführt, indem er ein Prüfprojekt erstellt, das alle erforderlichen Messungen, deren Merkmale, Prüfmerkmale und Fähigkeitskennwerte sowie die Anzahl der zu messenden Teile enthält und so eine robuste Messvorlage gewährleistet.
- 2 - Anschließend werden die Prüfer mit Hinweisen am 3D-Modell durch den Messablauf geführt.
- 3 - Nach Abschluss der Messabläufe werden die Prüfergebnisse automatisch in vorformatierte Excel Tabellen übertragen, die dynamisch mit den Messwerten des Prüfprojekts verknüpft sind.
- 4 - Die vorformatierten Tabellen liefern dem Messtechniker die automatisch berechnete Messmittelstreuung zum Analysieren, d. h. Wiederholbarkeit, Leistungsindizes und Diagramme.
- 5 - Um diese Analyse zu vervollständigen und den Messprozess schnell zu optimieren, kann der Messtechniker die Messparameter im Inspektionsprojekt anpassen und den direkten Einfluss auf die Messmittelstreuung sehen, wobei PolyWorks alle Werte in der Tabelle automatisch aktualisiert.

Während Wiederholbarkeitsstudien die Analyse und Optimierung von Messmittelstreuung ermöglichen, sind Wiederhol- und Reproduzierbarkeitsstudien (Gauge-R&R-Studien) erforderlich, um die endgültige Validierung eines Messsystems abzuschließen.

Gauge-R&R-Studien werden normalerweise nach den Wiederholbarkeitsstudien durchgeführt, da sie mehr Aufwand, Teile und Kosten erfordern. Außerdem kann der Messtechniker, wenn er zuerst eine Wiederholbarkeitsstudie durchführt, die Messmittelstreuung korrigieren, bevor er die Reproduzierbarkeit analysiert und korrigiert. Es gibt mehrere anerkannte empirische Methoden zur Schätzung der Unsicherheit der Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit von Messsystemen. Die beiden gebräuchlichsten Methoden sind die *Mittelwert-Spannweiten-Methode* (ARM) und die *Varianzanalyse* (ANOVA). In beiden Fällen folgt die Datenerfassung nach strengen Regeln, um glaubwürdige Ergebnisse zu gewährleisten:

- **Anzahl der Prüfer:** Es sind mindestens 3 Prüfer erforderlich, die das Messsystem im normalen Produktionsprozess verwenden.
- **Anzahl der Teile:** Es müssen mindestens 2 Teile ausgewählt werden, die repräsentativ für die im Fertigungsprozess auftretenden Streuungen sind. Wenn möglich, wäre die bevorzugte Anzahl 10; je größer die Anzahl der Teile, desto besser ist die Einschätzung des Prozessverhaltens.
- **Anzahl der Wiederholungen:** Jeder Prüfer muss alle Teile mehr als einmal messen. In der Regel werden 2 oder 3 Wiederholungen durchgeführt.
- **Zufällige Reihenfolge der Messungen:** Um sicherzustellen, dass die Reihenfolge der Messungen keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat, muss jeder Prüfer die Teile in einer zufälligen Reihenfolge messen.

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Mit der PolyWorks MSA-Lösung können Benutzer eine komplette Gauge-R&R-Studie mit diesen beiden Standardmethoden erstellen und durchführen:

- 1 - Der Messtechniker wählt schnell die Analysemethode aus und legt Parameter wie die Anzahl der Prüfer, Wiederholungen und Teile fest.
- 2 - Anschließend erstellt PolyWorks das Prüfprojekt mit allen erforderlichen Teilen in einer bestimmten Messreihenfolge.
- 3 - Die Messreihenfolge wird dann automatisch in ein Excel-Tabelle exportiert, welche die Bediener während der Messwerterfassung anleitet und eine zufällige Messreihenfolge gewährleistet.
- 4 - Die Benutzerführung leitet den Prüfer durch den Inspektionsprozess und stellt sicher, dass alle wichtigen Merkmale gemessen werden und dass genügend Mess- und Scandaten erfasst werden, um zuverlässige Messdaten zu erhalten.
- 5 - Nach Abschluss der Messung nutzt der Messtechniker das Prüfprojekt, um die Variabilität des Messsystems abzuschätzen.

Der Hauptunterschied zwischen der ARM- und der ANOVA-Methode liegt in der Analyse der Ergebnisse. Die ARM-Methode ermöglicht die Quantifizierung der Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit mit Hilfe von Regelkarten. Der AIAG-Leitfaden "Measurement System Analysis" stellt die Methodik im Detail vor. Gauge-R&R mit der ANOVA-Methode liefert mehr Informationen und ist daher umfassender. Die Varianzanalyse (ANOVA) ist eine statistische Analyse, die die Quellen der Varianzen in einem Messsystem wie folgt aufschlüsselt:

- **Wiederholbarkeit:** Varianz des Messsystems, die nicht auf andere Varianzquellen zurückzuführen ist.
- **Prüfer:** Varianz zwischen den Prüfern.
- **Teil-/Prüfer-Interaktion** Varianz, die sich aus der Interaktion zwischen Prüfer und Teilen ergibt (wenn ein Prüfer verschiedene Teile unterschiedlich misst).
- **Teil zu Teil:** Varianz, die von den Teilen innerhalb der Studie ausgeht. Sie stellt die Varianz des Herstellungsprozesses dar.

Unabhängig von der verwendeten Methode werden die Varianzquellen statistisch als unabhängig betrachtet. Daher werden sie auf einer zufälligen Basis zusammengesetzt (Summe der Varianzen), um die Gesamtunsicherheit auszudrücken.

Zunächst bestimmt die Methodik, ob die Varianz, die sich aus der Interaktion zwischen Teilen und Prüfern ergibt, signifikant ist. Ist dies der Fall, muss sie bei der Gesamtreproduzierbarkeit des Systems ($\sigma_{\text{Reproduzierbarkeit}}$) wie folgt berücksichtigt werden:

$$\sigma_{\text{Reproduzierbarkeit}}^2 = \sigma_{\text{Prüfer}}^2 + \sigma_{\text{Interaktion}}^2$$

Nachdem die Wiederholbarkeit ($\sigma_{\text{Wiederholbarkeit}}$) in der Studie direkt ermittelt wurde, kann die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit ($\sigma_{\text{R\&R}}$) des Messsystems wie folgt bestimmt werden:

$$\sigma_{\text{R\&R}}^2 = \sigma_{\text{Reproduzierbarkeit}}^2 + \sigma_{\text{Wiederholbarkeit}}^2$$

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können.
Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Die gesamte gemessene Prozessvarianz ($\sigma_{\text{insgesamt}}$) ergibt sich schließlich durch Addition der Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit des Messsystems zur geschätzten Fertigungsprozessvarianz ($\sigma_{\text{Teil zu Teil}}$) wie folgt:

$$\sigma_{\text{insgesamt}}^2 = \sigma_{R\&R}^2 + \sigma_{\text{Teil zu Teil}}^2$$

Die Analyse der Studienergebnisse besteht aus:

- Dem Sicherstellen, dass die Messsystemunsicherheit ($\sigma_{R\&R}$) nur einen geringen Anteil an der gesamten gemessenen Prozessvarianz hat. Die geschätzte Varianz des Herstellungsprozesses (Teil zu Teil) sollte den größten Teil der Variabilität ausmachen. Wenn der Beitrag der Teil-zu-Teil-Streuung relativ hoch gegenüber dem Rest der Unsicherheit ist, bedeutet dies, dass das Messsystem Fertigungsfehler zuverlässig unterscheiden kann.

- Vergleich der Variation des Messsystems mit den Spezifikationsgrenzen (Toleranzen), um sicherzustellen, dass die Varianz maximal 30% der Grenzwerte ausmacht.

Der Veröffentlichungsschritt der PolyWorks MSA-Lösung wandelt die Daten der MSA-Studie durch leicht verständlichen Tabellen, Zusammenfassungen und Diagramme in interpretierbare Ergebnisse und umsetzbare Daten um, wie in Abbildung 7 dargestellt. **Dies ist ein leistungsstarker und wichtiger Teil des Prozesses der digitalen Studie, da es die Interpretation und Fehlerbehebung von Studienergebnissen erheblich erleichtert.** Er ermöglicht es den Benutzern, die Ergebnisse in der ausgewählten ARM- oder ANOVA-Excel-Vorlage zu veröffentlichen und den Messfehler und andere Quellen der Varianz schnell zu analysieren. Bei der Durchführung einer ANOVA-Studie kann der Messtechniker beispielsweise die Varianz in vier Kategorien aufschlüsseln: Teile, Prüfer, Wechselwirkung zwischen Teilen und Prüfern und Reproduktionsfehler aufgrund des Messgeräts.

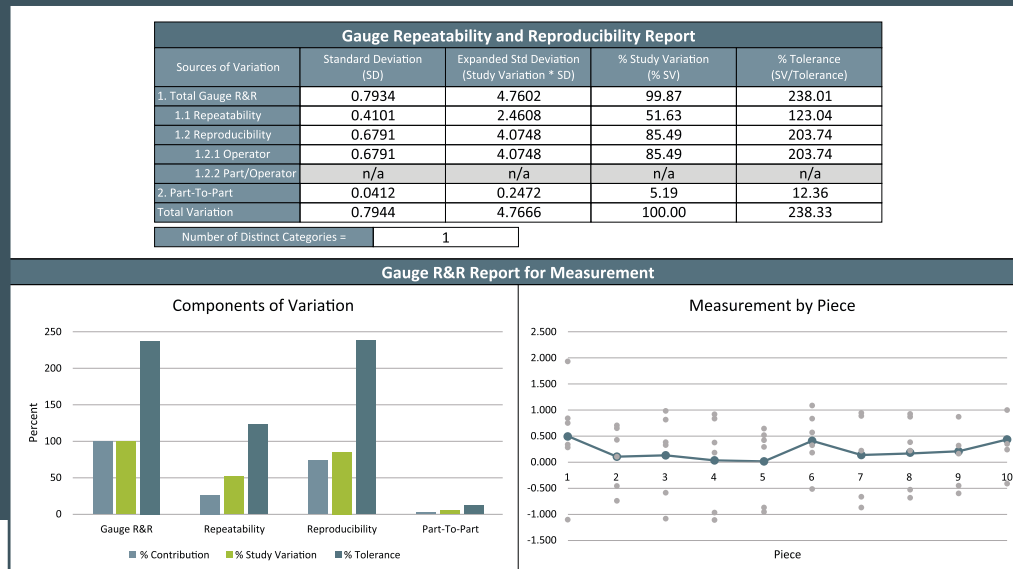


Abbildung 7
Gauge-R&R

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können. Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Empfehlungen für Messtechniker

Die gesammelten Daten zu den Messergebnissen des Systems geben Aufschluss über die Auswirkungen der Messunsicherheiten. Anhand der Leistungsindizes ([Seite 5](#)) kann der Messtechniker Korrekturmaßnahmen ergreifen, um seinen Messprozess zu optimieren. Nehmen wir ein konkretes Beispiel - ein Ziel und ein Streudiagramm der Fehlerwerte, wie in Abbildung 8 dargestellt.

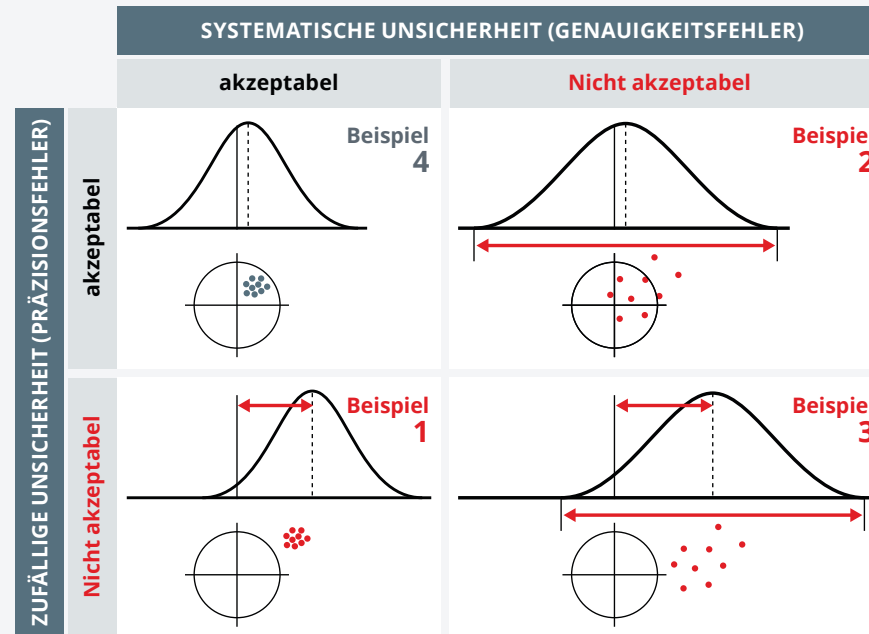


Abbildung 8 Fehler bei Genauigkeit und Präzision

Das erste Problem (Beispiel 1), das ein Messtechniker erkennen kann, ist ein Genauigkeitsfehler - er kann von der Verzerrung der Linearität des Systems herrühren, aber in beiden Fällen kann dieser Fehler leicht korrigiert werden. Mögliche Ursachen für Genauigkeitsfehler können sein⁴:

- Das Messgerät muss kalibriert werden
- Ein verschlissenes Gerät, eine verschlissene Messspitze oder eine verschlissene Vorrichtung
- Ein Fehler im Analyseprozess bei der verwendeten Referenz
- Das Messverfahren (z. B. die Spannmethode)

Das zweite Problem, mit dem ein Messtechniker konfrontiert werden kann, ist ein Präzisionsfehler (Beispiel 2). Dieser kann mit dem Messsystem selbst zusammenhängen (Wiederholbarkeit) oder von den Bedienern verursacht werden (Reproduzierbarkeit).

Mögliche Ursachen für Präzisionsfehler sind⁴:

- Teilbezogen: Form, Position, Oberflächenbeschaffenheit, Konizität, Probenkonsistenz
- Gerätebezogen: Reparatur, Verschleiß, Ausfall von Geräten oder Vorrichtungen, schlechte Qualität oder Wartung
- Methodisch bedingt: Abweichungen bei der Einrichtung, Technik, Halterung, Einspannung
- Bedienerbezogen: Technik, Position, mangelnde Erfahrung, Manipulationsfähigkeit oder Ausbildung, Ermüdungserscheinungen

Wenn alle Fehlerquellen vorliegen (Beispiel 3), sollte der Messtechniker die Leistung des Messsystems anhand der Indizes aufschlüsseln und eine Fehlerart nach der anderen korrigieren, damit das Messsystem akzeptabel ist (Beispiel 4).

⁴ Measurement System Analysis (MSA) veröffentlicht von der Automotive Industry Action Group (AIAG)

3D-Messungen, denen Sie vertrauen können. Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit

Fazit

Ein effektiver Prozess zur Analyse von Messsystemen stellt sicher, dass Sie zuverlässige 3D-Messungen erhalten. Heutzutage müssen Sie sich nicht mehr mit veralteten, komplexen Prozessen abfinden, die mehrere Softwarelösungen von Drittanbietern und umfangreiches Fachwissen über statistische Softwareanwendungen erfordern.

Die 3D-Messtechniklösung PolyWorks® MSA vereinfacht die Einrichtung und Durchführung von MSA-Studien für Umgebungen mit 3D-Messgeräten erheblich und ermöglicht eine zuverlässige Analyse von Messsystemvarianzen. Sie bietet einen benutzerfreundlichen, komplett digitalen Workflow, der die Integrität der Messdaten sicherstellt und es den Herstellern ermöglicht, MSA-Studien für jedes neue Teil durchzuführen, was zu einer besseren Qualitätskontrolle führt.

Laurent Édmond-Girard Manufacturing Process Engineer,
InnovMetric

innovmetric

Für weitere Informationen

Kontaktieren Sie uns: 1 418 688-2061 | Info@innovmetric.com

Besuchen Sie unsere Website: www.innovmetric.com



3D-Messungen, denen Sie vertrauen können. Die smarte Umsetzung für die 3D-Messtechnik

Grundlagen der MSA verstehen

Messsystemdefinition

Leistungsindizes des Messsystems

- Systematische Einflüsse
- Zufällige Einflüsse

Fähigkeit und Leistung des Messsystems

Erweiterte Unsicherheit

Auswahl der geeigneten Methode zur Bestimmung der Unsicherheit komplexer 3D-Messsysteme

Durchführung von MSA-Studien unter Verwendung einer experimentellen Methodik und intelligenter 3D-Messsoftware

Wiederholbarkeitsstudien

Wiederhol- und Vergleichspräzision

Empfehlungen für Messtechniker

Fazit