

# Die Herren der Ringe

## Qualitätssicherung von großen und hochwertigen Bauteilen

Mit neuem Verfahren in wenigen Minuten Fähigkeiten und Messunsicherheiten nachweisen

Tobias Felstau, ThyssenKrupp Rothe Erde Lippstadt, den 14.10.2012

In der Serienfertigung werden mit Erfolg mathematisch-statistische Verfahren eingesetzt: Ein Beispiel ist die **Prüfmittel-Fähigkeitsanalyse** oder auch kurz MSA (Measurement System Analysis) genannt. Sie bezeichnet die Analyse der Fähigkeit von Messmitteln und kompletten Messsystemen. Weitere Verfahren sind die Prüfmittel- und Prüfprozesseignung nach VDA Band 5. Beide Verfahren wurden von der Automobilindustrie entwickelt und vergleichen ermittelte Fähigkeitskennwerte mit vorgegebenen Grenzwerten.

Der Einsatz fähiger Messmittel ist ein wirksames Mittel, um die Qualitätskosten niedrig zu halten: Findet die erste Qualitätskontrolle schon an den Bearbeitungsmaschinen statt, so werden im Allgemeinen nur diejenigen Werkstücke zur Nachkontrolle in den Messraum gegeben, die in der Fertigung nicht eindeutig als IO nachgewiesen werden konnten. Ein fähiger Messprozess spart dabei Kosten, weil weniger NIO-Teile an Kunden und weniger IO-Teile in die Nachkontrolle gehen. Dadurch werden sowohl die Reklamations-, als auch die Prüfkosten gesenkt [1].

Für das ganzheitliche Überwachen von Fertigungsprozessen gibt es als weiteres mathematisch-statistisches Verfahren die **Prozessfähigkeitsanalyse**. Hierbei wird die Eigenschaft von Maschinen und Prozessen, Produkte innerhalb geforderter Spezifikationen zu fertigen, als Fähigkeit bezeichnet.

Für die Kleinserienfertigung sind viele dieser Verfahren leider zu aufwändig oder gar nicht anwendbar auf Grund einer zu geringen Datenbasis. Angesichts der großen Abmessungen der hier diskutierten Prüflinge und der damit im Zusammenhang stehenden möglichen Folgekosten bei einem gestörten bzw. nicht fähigen Prüfprozess ist die Verantwortung im Vergleich zu der Verantwortung bei der Fertigung kleinerer Bauteile im Allgemeinen deutlich höher. Den Hersteller bringt die überdurchschnittliche Größe der Bauteile außerdem an die Grenzen von Normen und Richtlinien sowie der Messtechnik. Prüfmittel, Messverfahren, Messprinzipien und Auswerteverfahren werden deswegen vor besondere Herausforderungen gestellt.

Aus diesem Umstand begründet sich eine gute und wirtschaftliche Alternative zu klassischen Fähigkeitsanalysen: Das **Ermitteln und Berücksichtigen der Messunsicherheit** an den Spezifikationsgrenzen nach DIN EN ISO 14253-1. Die Messunsicherheit wird hierbei nach – oder in Anlehnung an – dem GUM-Leitfaden, kurz auch GUM genannt, dem einzigen auch international allgemein anerkannten Verfahren bestimmt.

Für die GUM-konforme Messunsicherheitsermittlung muss der Anwender ein physikalisch-mathematisches Modell des Messprozesses aufstellen. Dies bereitet vielen Anwendern besonders große Schwierigkeiten. Software-Lösungen unterstützen bei der Messprozessmodellierung und versuchen, diese Schwierigkeiten zu minimieren. Noch radikaler und anwenderfreundlicher ist der Ansatz einer von Rothe Erde als Messunsicherheits-Software entwickelten Komplettlösung für das Bestimmen von Messunsicherheiten und Messprozessfähigkeiten, das in diesem Aufsatz den bekannten und eingeführten Verfahren zur Prozessüberwachung gegenüber gestellt werden soll:

## Die klassischen Verfahren zum Fähigkeitsnachweis

Die klassischen Verfahren zum Fähigkeitsnachweis basieren auf umfangreichen Messreihen. Von allen anderen verfügbaren Informationen über die zu beurteilenden Messprozesse werden nur die Auflösung des Messgerätes und eventuell noch das Istmaß des Prüfkörpers ausgewertet (siehe u. a. [2]). Tatsächlich bleibt im Verfahren 1, das im Normalfall an einer kalibrierten Maßverkörperung durchgeführt

wird, die Messunsicherheit der Kalibrierung vollkommen unberücksichtigt. Es ist deshalb fraglich, ob die allein aus Messdaten berechneten Fähigkeitsindizes  $C_g$  und  $C_{gk}$  wirklich in jedem Fall ein korrektes Urteil über den geprüften Messprozess abgeben können.

Verfahren 2 soll die Einflüsse des Werkstücks und der Prüfer auf den zu untersuchenden Messprozess nachweisen. Da die wahren Istmaße der hierfür verwendeten Werkstücke aber unbekannt sind, bleibt auch im Ergebnis unbekannt, welcher Prüfer wirklich richtig gemessen hat: Die Annahme, der Prüfer mit der geringsten Messwertstreuung habe richtig gemessen, kann im Einzelfall falsch sein. Denn es werden im Verfahren 2 nur die relativen Messabweichungen der Prüfer zueinander, nicht aber im Vergleich zu den wahren Messwerten beurteilt.

Beide Verfahren sind außerdem mit einem nicht unerheblichen Messaufwand verbunden und liefern überdies nur gemeinsam eine halbwegs vollständige Messprozessanalyse (Tabelle 1), wodurch der Messaufwand noch weiter erhöht wird.

### **Das neue Verfahren**

Die genannten Nachteile dieser klassischen Analyseverfahren vermeidet ein neues, von Rothe Erde entwickeltes Verfahren, das einen ganzheitlichen Ansatz zur Beurteilung und Auswertung von Messprozessen verfolgt: Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Verfahren verwendet es nicht ausschließlich nur Messdaten, sondern auch andere dem Prüfer leicht zugängliche Informationen. Je nach Anwendungsfall werden folgende Daten ausgewertet, um den Messprozess zu beurteilen [3]:

- Oberes und unteres Grenzmaß der Toleranz
- Technische Daten des Messgerätes (Beispiel: Auflösung der Messwertanzeige)
- Messprinzip (Beispiel: Substitutions-Messmethode [4])
- Vergleichsnormal (optional; Istmaß und Unsicherheit)
- Temperaturdaten von Messgerät, Normal und Werkstück (optional)
- Thermische Ausdehnungskoeffizienten (optional)
- 4 Kontrollmessungen am Vergleichsnormal (optional)
- 4 Messungen an einem oder mehreren Prüflingen

Aus diesen Daten werden folgende Ergebnisse bestimmt und angezeigt:

- Temperatur- und einstellkorrigierte Messwerte (Bild 1)
- Prüftoleranzen nach DIN EN ISO 14253-1 [5]
- Messunsicherheiten für Messreihe und Einzelmessung
- Messunsicherheitsbudget (ähnlich GUM [6])
- Fähigkeitsaussagen für Anzeige, Messreihe und Einzelmessung
- Mindesttoleranzen für Fähigkeit oder bedingte Fähigkeit des Messprozesses

Den schematischen Aufbau des Analyseprogramms zeigt Bild 2. Die Dateneingabe erfolgt menügeführt, Programmierkenntnisse sind nicht erforderlich. Die Fähigkeitsaussagen werden direkt aus der erweiterten Messunsicherheit  $U_{95}$  und der sogenannten Goldenen Regel der Messtechnik abgeleitet [7]. Die Messunsicherheiten werden soweit möglich und sinnvoll nach den Vorgaben des international anerkannten Leitfadens GUM bestimmt. Wie in dem Leitfaden werden Messreihen, Schätz- und Erfahrungswerte miteinander kombiniert, um mit dem geringst möglichem Messaufwand zu verlässlichen Analyseergebnissen zu kommen.

Das Messprotokoll zeigt erstmals auch Prüftoleranzen nach ISO 14253-1 an (Bilder 1 und 3): Diese Toleranzen beziehen sich unmittelbar auf die vom Messgerät angezeigten Messwerte und zeigen dem Prüfer in eindeutiger Weise an, welche Werkstücke IO, NIO oder unentscheidbar sind. Nur die unentscheidbaren Werkstücke müssen aussortiert und in den Messraum zur Nachkontrolle gegeben werden. Dadurch wird nicht nur eine einwandfreie Produktqualität gewährleistet [1], sondern auch der Aufwand für eine Nachkontrolle im Messraum auf das absolut mögliche Minimum reduziert.

## Anwendungsbeispiel Feinzeiger-Bügelmessschraube

An einem Verbindungselement wurde eine Länge mit dem Nennmaß 15 mm von mehreren Prüfern mit einer Feinzeiger-Bügelmessschraube gemessen. Im ersten Messversuch wurde die Messschraube zunächst auf Null eingestellt, anschließend wurden sechs Istmaße am Prüfling ermittelt, indem sowohl der Nonius der Messschraube, als auch die Anzeige des Feinzeigers abgelesen wurde. Die Nulleinstellung wurde vor und nach der Messreihe durch insgesamt vier Kontrollmessungen überprüft. Im zweiten Messversuch wurde die Messschraube zunächst mit einem Endmaß auf das Sollmaß 15 mm eingestellt und die Spindel arretiert. Auch diese Einstellung wurde vor und nach den Messungen am Prüfling durch vier Kontrollmessungen am Endmaß geprüft. Beide Messversuche nahmen einschließlich der Auswertungen nur wenige Minuten in Anspruch.

Das Ergebnis dieser Auswertungen zeigt Tabelle 2: Wie nicht anders zu erwarten ist der Messprozess genauer, wenn das Messgerät nicht auf Null, sondern an einer kalibrierten Maßverkörperung auf das Sollmaß des Prüflings voreingestellt wird. Werden anstelle der Istmaße nur die Abmaße auf dem Feinzeiger abgelesen, so entfällt der vom Hersteller mit 2 µm angegebene Fehler der Messspindel. Noch etwas genauer wird das Messergebnis, wenn die Korrekturfunktionen des hier vorgestellten Analyseprogramms, das heißt, die in Bild 1 angezeigten Prüftoleranzen genutzt werden: In diesem Fall lassen sich bereits Toleranzen ab zwei Hundertstel fähig messen, und zwar unter voller Berücksichtigung aller Werkstück-, Bediener- und Temperatur-Einflüsse sowie einschließlich der vom Hersteller ausgewiesenen Linearitätsabweichungen des Messgerätes (vgl. Tabelle 1)!

## Anwendungsbeispiel Längenmessung

Temperaturbedingte Längenabweichungen sind bei großen Bauteilen besonders signifikante Messunsicherheiten[10]. Die unterschiedlichen Wärmeausdehnungsverhalten der Materialien, die Temperaturstabilität der Fertigungsbereiche, die unterschiedliche Handhabung bei der Berücksichtigung dieser Messunsicherheit in den Fertigungsstätten usw. führen zu großen Unterschieden bei der Messwertermittlung und können enorme Kosten verursachen.

Im Bereich Sonderfertigung kommen weitere Unsicherheiten hinzu. Aus mangelnder Kenntnis über die spezifischen Wärmeausdehnungskoeffizienten bei einem Materialmix (Stahl-Aluminium z.B.) können diese nur unzureichend bestimmt werden, es ist also mit einer höheren Messunsicherheit zu rechnen. Die Auswirkungen dieser Unsicherheitskomponente soll ein zweites Beispiel verdeutlichen:

Erforderlich für die Beherrschung der Abweichung von der Referenztemperatur ist die genaue Angabe des Wärmeausdehnungskoeffizienten. In den meisten Fällen sind diese durch die Hersteller vorgegeben. Bis vor einigen Jahren waren die Herstellerangaben für Längenmessgeräte teilweise lediglich richtungweisend, da der Hersteller eine Aufstellung im klimatisierten Bereich voraussetzte. Tatsächlich aber wurden Längenmessgeräte auch den Fertigungsbedingungen ausgesetzt, um fertigungsnah messen zu können. Dies machte die experimentelle Ermittlung des spezifischen Wärmeausdehnungskoeffizienten erforderlich, da sich diese u.a. durch den Materialmix (Granit, hochlegierter Stahl, Aluminium, niedrig legierter Stahl ect.) und die Befestigungsart der Maßstäbe stark voneinander unterscheiden konnten. So zeigte sich in einem Fall ein Maßunterschied in Höhe von rund 0,06 mm bei 2 m und einer Temperaturdifferenz von 3,2 Grad zwischen zwei Längenmessgeräten (Bild 4). Im Rahmen der erforderlichen temperaturbedingten Messwertkorrekturen fließt auch das Wärmeausdehnungsverhalten des Prüflings mit ein. Auch hier sind Richtwerte zum Wärmeausdehnungskoeffizienten aus Tabellenbüchern für Stahl nicht mehr ausreichend. So unterscheiden sich z.B. die Wärmeverhalten für legierte Stähle lt. Tabellenbuch von  $16 \mu\text{m} / 1^\circ\text{C} / 1 \text{ m}$  zu den Herstellerangaben für den Werkstoff 42 CrMo4, einen gängigen Wälzlagerstahl, mit  $10 \mu\text{m} / 1^\circ\text{C} / 1 \text{ m}$ .

Bei der Ermittlung eines Längenmaßes kam es zu Maßunterschieden von 0,18 mm zwischen der Fertigung und der Endprüfung. Die zu prüfenden Toleranzen lagen im Hundertstel-Bereich. Eine kurze, nur wenige Minuten in Anspruch nehmende Prozessanalyse mit dem neuen Verfahren führte zu folgenden Ergebnissen (Bild 5):

- Das Messgerät ist grundsätzlich fähig, war aber nicht ausreichend genau temperaturkompensiert

- Zusätzlich zu der am Messgerät festgestellten temperaturbedingten Längenabweichungen war auch der Prüfling im Verhältnis zu der zu prüfenden Toleranz zu ungenau temperaturkompensiert

Von den klassischen Analyseverfahren hätte auch das Verfahren 1 die zu großen temperaturbedingten Längenabweichungen des Messgerätes/Prüflings angezeigt. Die Ursache wäre aber vermutlich im Verborgenen geblieben, da Prüfergebnisse von Fähigkeitsanalysen in der Regel eine kurze Halbwertzeit besitzen. Stetig wechselnde Rahmenbedingungen (z.B. Temperatur) empfehlen eine messprozessbegleitenden Messunsicherheitsbetrachtung. In dem Messergebnisse prozessbegleitend verfügbar stehen, kann auch unmittelbar eingegriffen und gehandelt werden. Mit dem neuen Verfahren konnten aber nicht nur die zuvor beschriebenen temperaturbedingten Unsicherheitskomponenten berücksichtigt werden, weiter wurden:

- Unsicherheiten bei der Temperaturerfassung
- Unsicherheiten der Wärmeausdehnungskoeffizienten

berücksichtigt und verrechnet[11].

### **Nicht-GUM-konforme Messgrößen**

Das neue Verfahren basiert zum überwiegenden Teil auf der GUM-Methodik zum Bestimmen von Messunsicherheiten. Dieses international allgemein anerkannte Verfahren geht im Kern auf Ideen des Göttinger Mathematikers Carl Friedrich Gauß zurück, der im 19. Jahrhundert viele Grundlagen der wissenschaftlichen Messtechnik geschaffen hat. Leider lässt sich dieses Verfahren gerade auf die überwiegend geometrischen Messgrößen der Fertigungsmesstechnik nur in Ausnahmefällen anwenden. Wie Gauß geht auch GUM von der Annahme aus, dass der arithmetische Mittelwert einer Messreihe der beste Schätzwert einer Messgröße sei. Diese Annahme ist jedoch oft unzutreffend:

Bei Rundpassungen zum Beispiel kommt es nicht auf Mittelwerte, sondern auf Extremwerte, nämlich auf die Minimum- und Maximum-Material-Maße von Welle oder Bohrung an. Nur diese Grenzmaße bestimmen die Paarungseigenschaften [8], [9]. Auf Extremwerte lassen sich die bisher eingeführten statistischen Verfahren aber kaum anwenden. Das neue Verfahren unterscheidet deshalb zwischen GUM-konformen Messgrößen, wie zum Beispiel Masse und Gewicht, und den nicht-GUM-konformen Messgrößen: Länge, Abstand, Durchmesser, Radien, Winkel, Rauheit, Härte, Temperatur usw. Das notwendigerweise verschiedene mathematische Herangehen an diese beiden Arten von Messgrößen erläutert Tabelle 4.

### **Ergänzung der klassischen Verfahren**

Sowohl gegenüber den klassischen Fähigkeitsverfahren, als auch gegenüber GUM ergeben sich viele Vorteile in der praktischen Anwendung des neuen Verfahrens: Zuverlässige Fähigkeitsaussagen liegen bereits nach wenigen Messungen vor, die zudem mehr Eigenschaften von Messprozessen umfassen als bisher. Gegenüber GUM entfällt das sonst notwendige Aufstellen von Modellgleichungen. Auch Nicht-Mathematiker sind deshalb in der Lage, das Programm zu verstehen und zu bedienen. Darüber hinaus kann das hier vorgestellte Verfahren auch auf Messgrößen angewendet werden, die wesentlichen Voraussetzungen einer Gauß'schen Statistik nicht erfüllen. Entwickelt wurde es für kleine und mittlere Losgrößen und sehr fertigungsnahe Messprozesse. Hier bestand schon seit langem ein nicht befriedigter Bedarf an zuverlässigen Aussagen über die verwendeten Messmittel und Messverfahren. Das neue Verfahren tritt also nicht in die direkte Konkurrenz zu den bisher etablierten Analyseverfahren, sondern ergänzt diese in idealer Weise.

## Literatur

- [1] Bartelt, R.: Null Fehler – aber wie? Qualität auch bei kleinen Losgrößen sicher nachweisen. QZ 55 (2010) Heft 4, S. 58-61
- [2] Fähigkeit von Mess- und Prüfprozessen. Heft 10 zur Technischen Statistik. Robert Bosch, Stuttgart 2003
- [3] VA-QS-173 Null-Fehler-Strategie: Messprozessbegleitende Messunsicherheitsbetrachtung. Tobias Felstau, ThyssenKrupp Rothe Erde GmbH, Lippstadt 2012
- [4] DIN 1319-2:2005-10: Grundlagen der Messtechnik - Teil 2: Begriffe für Messmittel. Beuth Verlag, Berlin 2005
- [5] DIN EN ISO 14253-1:1999-03: Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen - Teil 1: Entscheidungsregeln für die Feststellung von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit Spezifikationen. Beuth Verlag, Berlin 1999
- [6] DIN V ENV 13005:1999-06: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. Vornorm. Beuth Verlag, Berlin 1999
- [7] Bartelt, R.: Weniger ist mehr. Auswerteverfahren für aufwandsreduzierte Fähigkeitsnachweise. QZ 54 (2009) Heft 5, S. 62-65
- [8] DIN EN ISO 2692:2007-04: Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Form- und Lagetolerierung - Maximum-Material-Bedingung (MMR), Minimum-Material-Bedingung (LMR) und Reziprozitätsbedingung (RPR). Beuth Verlag, Berlin 2007
- [9] Mahr Akademie (Hrsg.): Null-Fehler-Strategien für kleine Losgrößen. Schulungsunterlage. Mahr GmbH, Göttingen 2010
- [10] QS-GWL 03-11A: Beherrschung der Abweichung von der Referenztemperatur. Tobias Felstau, ThyssenKrupp Rothe Erde GmbH, Lippstadt 2011
- [11] MarExpert Fachkolloquium: Qualitätssicherung großer und hochwertiger Bauteile, Tobias Felstau, Matthias Töfke (Qualitäts- und Fertigungsmanagement, ThyssenKrupp Rothe Erde GmbH Lippstadt) , Wuppertal 2012

**Autor**

Dipl.-Ing. Tobias Felstau, geb. 1971, Sachbearbeiter der QS für Prüf- und Messwesen, ThyssenKrupp Rothe Erde GmbH, Lippstadt.

**Kontakt**

Tobias Felstau

Tel. 02941 741 6263

[tobias.felstau@thyssenkrupp.com](mailto:tobias.felstau@thyssenkrupp.com)

Tabelle 1: Aussagefähigkeit klassischer Fähigkeitsverfahren

<b>Prüfmerkmale</b>	<b>Verfahren 1</b>	<b>Verfahren 2</b>	<b>Verfahren 3*</b>
Zufällige Messabweichungen	+	+	+
Systematische Messabweichungen	+	-	-
Linearitätsabweichungen	-	-	-
Werkstück-Einfluss	-	+	+
Einfluss der Prüfer	-	+	

\*Für vollautomatische Messeinrichtungen

Tabelle 2: Analyse der mit einer Feinzeiger-Messschraube ausgeführten Längenmessungen

<b>Messstrategien</b>	<b>Erweiterte Messunsicherheit U*</b>	<b>Erweiterungsfaktor <math>k_{95}</math></b>	<b>Fähig für Toleranzen* größer oder gleich</b>
Einstellen auf Null, Ablesen der Istmaße an Spindel und Feinzeiger	<b>0,00247</b>	<b>1,997</b>	<b>0,0247</b>
Einstellen auf Sollmaß, Ablesen der Abmaße am Feinzeiger	<b>0,00207</b>	<b>2,024</b>	<b>0,0207</b>
RE-Expert-korrigierte Abmaß-Messung**	<b>0,00189</b>	<b>2,02</b>	<b>0,0189</b>

\*Einheit: mm \*\*Mit rechnerischer Korrektur der Einstell- und Temperaturabweichungen



Tabelle 4: Unterschiede zwischen klassischer und neuer „geometrischer“ Extremwert-Statistik

Merkmal	GUM-Statistik	Extremwert-Statistik
Verteilung	Normal-Verteilung	Rechteck-Verteilung
Bester Schätzwert	Arithmetischer Mittelwert	Mittelwert der Grenzwerte
Einfache Unsicherheit einzelner Messwerte	s*	R**/√6

\*(Empirische) Standardabweichung    \*\*Spannweite („Range“)

Bild 1: Detaillierergebnisse der neuen Messprozessanalyse (Messprotokoll-Ausschnitt mit Prüftoleranzen nach DIN EN ISO 14253-1; Toleranz laut Zeichnungsangabe: 14,99 - 15,01 mm; Auflösung der Abmaß-Anzeige des Messgerätes: 0,001 mm)

<b>Messwerte</b>	<b>Abgelesen:</b>		<b>Korrigiert:</b>		<b>Urteil*</b>
1		0,0085 mm		15,0078 mm	<b>IO</b>
2		0,0080 mm		15,0073 mm	<b>IO</b>
3		0,0090 mm		15,0083 mm	<b>IO</b>
4		0,0085 mm		15,0078 mm	<b>IO</b>
<b>Korrigierte Messabweichungen</b>					
Einstellabweichungen				0,0002 mm	
Mittlere Temperaturabweichung				0,0005 mm	
<b>Prüftoleranzen Einzelmessung**</b>					
<b>Grenzmaße</b>	<b>IO</b>	<b>-0,006 mm</b>	<b>&gt; &lt;</b>	<b>0,018 mm</b>	
	<b>NIO</b>	<b>-0,012 mm</b>	<b>&lt; &gt;</b>	<b>0,024 mm</b>	

Bild 2: Ablauf einer Messprozessanalyse

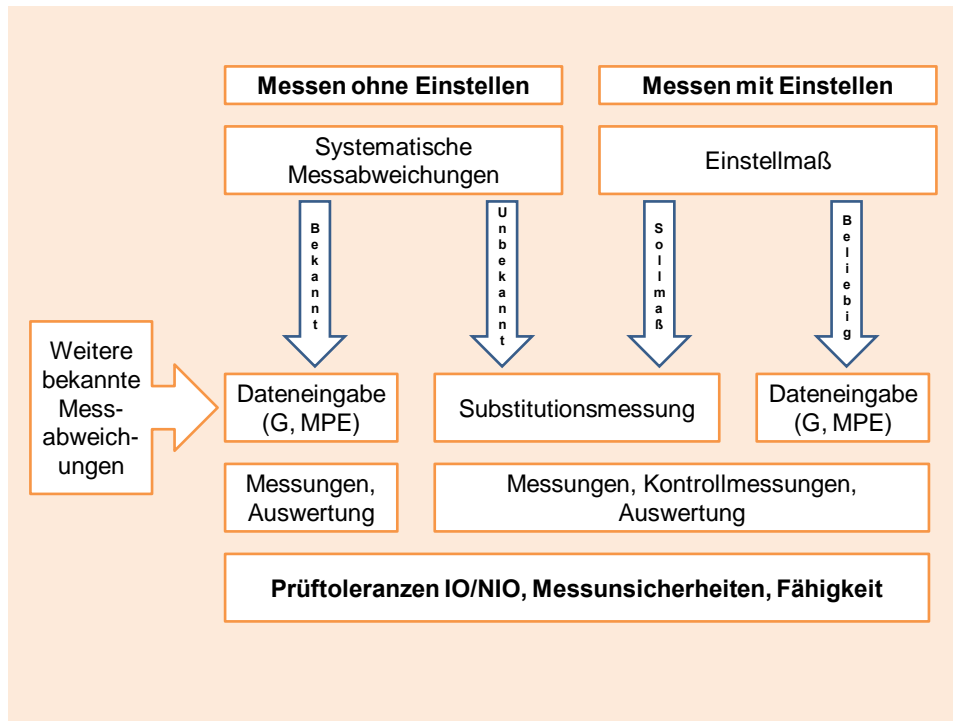


Bild 3: Veranschaulichung der Prüftoleranzen nach DIN EN ISO 14253-1 [5]

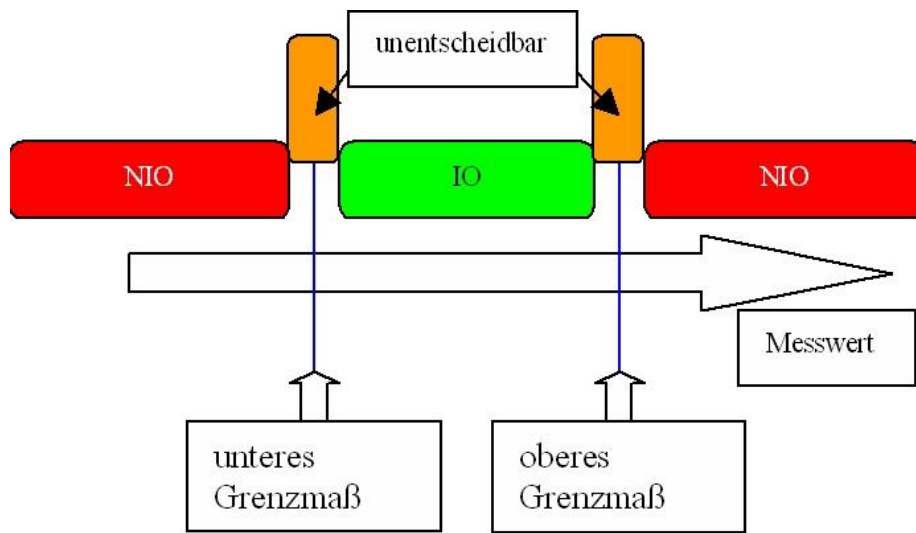


Bild 4: Temperaturbedingte Längenabweichung -Maßdifferenzen zwischen zwei Längenmessgeräten

Temperatur ( Grad Celsius )	Längenmaß(mm)	Längenausdehnungskoeffizient (*10 <sup>-6</sup> )	Längenänderung (mm)
		Längenmessgerät 1	
20,5	2000,000	16	0,016
		Längenmessgerät 2	
23,7	2000,000	10	0,074
		$\Delta l =$	0,058

Bild 5: Temperaturbedingte Längenabweichung -Maßdifferenzen zwischen Längenmessgerät und Prüfling

Temperatur ( Grad Celsius )	Längenmaß(mm)	Längenausdehnungskoeffizient (*10 <sup>-6</sup> )	Längenänderung (mm)
		Längenmessgerät	
25,0	3030,000	16	0,242
		Prüfling	
22,0	3030,000	10	0,061
		$\Delta l =$	0,1818

Bild 6: Details der neuen Messprozessanalyse- Angaben zu Temperaturkorrektion

<b>Temperaturkorrektion Prüfling (nur für Längenmaße)</b>		
Temperatur Prüfling $t$	22,5	[°C]
Unsicherheit der Prüflingstemperatur	2,5	[°C]
Linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha$	2,38E-05	[1/°C]
Unsicherheit $U_{95}(\alpha)$	2,00E-06	[1/°C]
<b>Temperaturkorrektion Messgerät (nur für Längenmaße)</b>		
Temperatur Messgerät $t_{gag}$	22,5	[°C]
Unsicherheit der Messgerätetemperatur	2,5	[°C]
Linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha_{gag}$	1,15E-05	[1/°C]
Unsicherheit $U_{95}(\alpha_{gag})$	3,00E-06	[1/°C]