
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.
Hannes Faistnauer

**Messsystemeignung eines
Koordinatenmessgerätes mit
Bildverarbeitungssystemen**

Völs, 2020

Fakultät Maschinenbau

DIPLOMARBEIT

Messsystemeignung eines Koordinatenmessgerätes mit Bildverarbeitungssystemen

Autor:

Herr Ing. Hannes Faistnauer

Matrikelnummer:

39898

Studiengang:

Maschinenbau/Mechatronik

Seminargruppe:

KM13sMFA

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Marco Gerlach

Einreichung:

Völs, 08.01.2020

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2020

Bibliografische Beschreibung:

Faistnauer, Hannes:

Messsystemeignung eines Koordinatenmessgerätes mit Bildverarbeitungssystemen. Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit, 2020

Referat:

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Analyse der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf das Messergebnis bei Verwendung eines Koordinatenmessgerätes mit Bildverarbeitungssystemen, Nikon VMA 2520. Es treten dabei sehr spezifische Einflussfaktoren auf, welche sich zusätzlich zu den messmitteleigenen Streuungen auf das Messergebnis auswirken. Es werden ebenso Methoden beschrieben, mit denen die Eignung des Messmittels in Bezug auf einen vorhandenen Messprozess ermittelt werden kann.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	A
Abbildungsverzeichnis	D
Abkürzungsverzeichnis	G
Begriffe und Definitionen	J
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung.....	2
1.3 Aufgabenstellung.....	3
1.4 Messablauf.....	3
2 Messgerät Nikon VMA 2520	4
3 Wahrscheinlichkeitsverteilung von Messwerten	5
3.1 Normalverteilung	5
3.2 Streuung Messsystem	8
3.3 Streuung Messprozess.....	9
3.4 Anwendung	10
4 Wissenschaftliche Grundlagen	11
4.1 Einflussfaktoren.....	12
5 Ermittlung der Eignung von Messprozessen laut Leitfaden	13
5.1 Vorgehensweise laut Leitfaden.....	14
5.2 Auflösung des Messmittels.....	15
5.3 Verfahren 1 (Wiederholbarkeit – Repeatability)	15
5.4 Verfahren 2 mittels ARM (Average Range Method).....	16
5.5 Verfahren 3 (Gage R&R, ohne Einfluss durch den Prüfer).....	19
5.6 Linearität (Linearity).....	19
5.7 Stabilität (Stability).....	20
5.8 Verfahren 2 mittels ANOVA (Analysis of Variance).....	20

5.9	<i>Wechselwirkung signifikant</i>	22
5.10	<i>Wechselwirkung nicht signifikant</i>	23
6	Ermittlung der Eignung von Messprozessen nach VDA Band 5	25
6.1	<i>Vorgehensweise laut VDA Band 5</i>	25
6.2	<i>Methode A:</i>	25
6.3	<i>Methode B:</i>	26
6.3.1	Methode B, erweiterte Unsicherheit bekannt:.....	26
6.3.2	Methode B, erweiterte Unsicherheit nicht bekannt:	27
6.4	<i>Auflösung des Messmittels</i>	29
6.5	<i>Ermittlung der Unsicherheiten</i>	30
6.5.1	Unsicherheiten Messsystem	30
6.5.2	Unsicherheiten Messprozess	33
6.5.3	Auswertung Messprozess	36
7	Softwarelösungen für die Berechnung	38
8	Unsicherheiten nach DIN EN ISO 14253-2	39
8.1	<i>Unsicherheitsfaktoren</i>	39
8.1.1	Umgebung	39
8.1.2	Referenzelement der Messeinrichtung	40
8.1.3	Messeinrichtung.....	40
8.1.4	Messaufbau	41
8.1.5	Software und Berechnungen.....	41
8.1.6	Messtechniker.....	41
8.1.7	Prüfgegenstand.....	42
8.1.8	Definition des GPS Merkmals	43
8.1.9	Messverfahren	43
8.1.10	Physikalische Konstanten	44
9	Ausarbeitung der relevanten Unsicherheiten	45
9.1	<i>Temperatur Umgebung und Teil:</i>	45
9.2	<i>Messeinrichtung inkl. Referenzelement</i>	46
9.3	<i>Messaufnahmen</i>	46
9.4	<i>Programmierung Messablauf</i>	47
9.4.1	Vorbereitung zur Messung	48
9.4.2	Benutzeroberfläche der Software	48
9.4.3	Geometrische Grobausrichtung des Teils	49
9.4.3.1	Koordinatenwerkzeuge	49
9.4.3.2	Beleuchtung	50
9.4.3.3	Umsetzung der Grobausrichtung	51

9.4.4	Geometrische Feinausrichtung des Teils.....	52
9.4.5	Erfassung der Messwerte.....	52
9.4.5.1	Messwerkzeuge	52
9.4.5.2	Geometrische Hilfswerkzeuge.....	54
9.4.5.3	Werkzeuge zur Auswertung	55
9.4.6	Beispiel Einrichtung Messablauf.....	57
10	Durchführung einer Messprozessfähigkeit	66
10.1.1	Auswertung der Messungen.....	68
10.1.2	Analyse der Abweichungen	72
11	Fazit.....	77
	Literaturverzeichnis	I
	Anhänge und Tabellen.....	III
	Selbstständigkeitserklärung	XXIV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Nikon VMA 2520	4
Abbildung 2 – Dichtefunktion Standardnormalverteilung	6
Abbildung 3 – Verteilungsfunktion Standardnormalverteilung	6
Abbildung 4 – Beispiel Dichtefunktion	7
Abbildung 5 – Beispiel Verteilungsfunktion	8
Abbildung 6 – kleine Messsystemstreuung	8
Abbildung 7 – große Messsystemstreuung	9
Abbildung 8 – Wiederholpräzision.....	9
Abbildung 9 – Vergleichspräzision	10
Abbildung 10 – Unsicherheiten von Messergebnissen, VDA Band 5 [1, p. 26].	12
Abbildung 11 – Vorgehensweise bei der Ermittlung der Messsystemfähigkeit [9, p. 18]..	14
Abbildung 12 – Auszug aus Gage R&R Berechnungstabelle	17
Abbildung 13 – k-Faktoren [1, p. 39]	26
Abbildung 14 – Verteilungstypen zur Transformation [13, p. 25]	27
Abbildung 15 – Ablauf Eignungsnachweis Messsystem [1, p. 51]	28
Abbildung 16 – Ablauf für die Beurteilung der Eignung von Prüfprozessen [1, p. 41]	29
Abbildung 17 – Typische Einflussfaktoren mit Standardunsicherheit [12, p. 227]	30
Abbildung 18 – Unsicherheitsverursacher bei Messungen [13, p. 20]	39
Abbildung 19 – MPE Nikon VMA 2520.....	46
Abbildung 20 – Software VMA Automeasure	48

Abbildung 21 – Werkzeuge Koordinatensystem	49
Abbildung 22 – Beleuchtung.....	50
Abbildung 23 – Messwerkzeuge.....	52
Abbildung 24 – Geometrische Hilfswerkzeuge	54
Abbildung 25 – Werkzeuge zur Auswertung	55
Abbildung 26 – Ablaufprogramm der Achsausrichtung	57
Abbildung 27 – Vergleich R&R Methoden PM04	69
Abbildung 28 – Visualisierung der Abweichungen von PM04 aus Q-DAS	69
Abbildung 29 – Vergleich R&R Methoden PM05	70
Abbildung 30 – Visualisierung der Abweichungen von PM05 aus Q-DAS	70
Abbildung 31 – Vergleich R&R Methoden PM06r	71
Abbildung 32 – Visualisierung der Abweichungen von PM06r aus Q-DAS	71
Abbildung 33 – Visualisierung der Abweichungen von PM06r aus Q-DAS	76
Abbildung 34 – d_2^* Tabelle aus MSA 4 [2, p. 202]	III
Abbildung 35 – Gage R&R nach Leitfaden (ARM) mittels solar.MP von Q-DAS	IV
Abbildung 36 – Gage R&R nach MSA (ARM) mittels Minitab	V
Abbildung 37 – Gage R&R nach Leitfaden (ARM) mittels Excel	VI
Abbildung 38 – Vergleich der ARM und ANOVA Verfahren	VII
Abbildung 39 – SLK-3 Messdaten	VIII
Abbildung 40 – PM04 Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1	IX
Abbildung 41 – PM04 Excel ARM nach Leitfaden 2.1	X
Abbildung 42 – PM04 Q-DAS ARM nach MSA 4	XI
Abbildung 43 – PM04 Excel ARM nach MSA 4	XII

Abbildung 44 – PM04 Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1	XIII
Abbildung 45 – PM04 Excel ANOVA nach Leitfaden 2.1	XIV
Abbildung 46 – PM04 Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5	XV
Abbildung 47 – PM05 Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1	XVI
Abbildung 48 – PM05 Q-DAS ARM nach MSA 4	XVII
Abbildung 49 – PM05 Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1	XVIII
Abbildung 50 – PM05 Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5	XIX
Abbildung 51 – PM06r Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1	XX
Abbildung 52 – PM06r Q-DAS ARM nach MSA 4	XXI
Abbildung 53 – PM06r Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1	XXII
Abbildung 54 – PM06r Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5	XXIII

Abkürzungsverzeichnis

<i>a</i>	Grenzwert (maximal zu erwartende Abweichung)
<i>ANOVA</i>	Varianzanalyse (ANalysis Of VAriance)
<i>ARM</i>	Mittelwert-Spannweiten-Methode (Average Range Method)
<i>AV</i>	Vergleichspräzision (Reproducibility – Appraiser Variation)
α	Wärmeausdehnungskoeffizient
<i>b</i>	Verteilungsfaktor (je nach Art der erwarteten Werteverteilung)
<i>Bi</i>	Abweichung des Mittelwertes vom richtigen Wert (Bias)
<i>C_g</i>	Messmittelfähigkeitsindex
<i>C_{gk}</i>	kritischer Messmittelfähigkeitsindex
<i>CTQ</i>	Messbares Qualitätskriterium (critical to quality)
<i>EV</i>	Wiederholpräzision (Repeatability – Equipment Variation)
<i>GPS</i>	Geometrische Produktspezifikation
<i>I</i>	gemessenes Maß
<i>k</i>	Anzahl der Prüfer (bei VDA Band 5 [1], Standardunsicherheiten)
<i>k</i>	Erweiterungsfaktor (bei MSA [2], Gage R&R)
<i>K₁</i>	Korrekturfaktor abhängig von der Anzahl der Wiederholungen
<i>K₂</i>	Korrekturfaktor abhängig von der Anzahl der Prüfer
<i>KMG</i>	Koordinatenmessgerät
<i>n</i>	Stichprobengröße
<i>ndc</i>	number of distinct categories (Anzahl der Messwertklassen)
<i>MPE</i>	Grenzwert der Messabweichung (Maximum Permissible Error)
<i>PM</i>	Prüfmaß
<i>Q_{MP}</i>	Eignungskennwert (Messprozess)

Q_{MS}	Eignungskennwert (Messsystem)
r	Wiederholungen je Prüfer
R	Spannweite der Messreihe
\bar{R}	Mittlere Spannweite aller Prüfer
\bar{R}_a	Mittelwert der Spannweiten je Teil je Prüfer
RE	Auflösung des Messmittels (Resolution)
RF	Bezugsgröße (Reference Figure)
$R\&R$	Wiederhol- und Vergleichspräzision
s_g	Standardabweichung
u_{BI}	Systematische Messabweichung
u_{CAL}	Kalibrierung des Normals
u_{EVO}	Wiederholbarkeit (am Prüfobjekt)
u_{EVR}	Wiederholbarkeit (am Normal/Referenz)
u_{GV}	Vergleichbarkeit der Messvorrichtungen
u_{IAi}	Wechselwirkung
u_{LIN}	Linearitätsabweichung
u_{MP}	Kombinierte Standardunsicherheit (Messprozess)
u_{MS}	Kombinierte Standardunsicherheit (Messsystem)
u_{OBJ}	Inhomogenität des Prüfobjektes
u_{RE}	Auflösung der Anzeige
u_{REST}	weitere Einflüsse
u_{STAB}	Vergleichbarkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten
u_T	Temperatur gesamt
u_{TD}	Unsicherheit aus der Temperaturdifferenz
u_{TA}	Unsicherheit der Temperatur

$u(x_i)$	Standardunsicherheit
u_α	Unsicherheit des Wärmeausdehnungskoeffizienten
T	mittlere Temperatur bei der Messung
TOL	Toleranz
$TOL_{MIN-UMP}$	Minimal zulässige Messprozess toleranz
$TOL_{MIN-UMS}$	Minimal zulässige Messsystem toleranz
U_{MP}	Erweiterte Messunsicherheit (Messprozess)
U_{MS}	Erweiterte Messunsicherheit (Messsystem)
VoC	Teils abstrakte Kundenanforderung (Voice of the Customer)
\bar{x}	Mittelwert
\bar{x}_{Diff}	Spannweite der Mittelwerte
\bar{X}_{Diff}	Max. Differenz zwischen den Mittelwerten (\bar{X}) mehrerer Messreihen
\bar{x}_g	Arithmetischer Mittelwert der gemessenen Werte
x_i	Urwert
x_m	Referenzwert des Normals
\bar{x}_{max}	Größter Mittelwert
\bar{x}_{min}	Kleinster Mittelwert
\bar{X}_a	Mittelwert aller Messungen und Teile je Prüfer
% RE	Relative Auflösung des Messmittels
% R&R	Wiederhol- und Vergleichspräzision in Relation zur Bezugsgröße

Begriffe und Definitionen

Relevante Begriffe sollen beschrieben werden. Zur einheitlichen Benennung werden Auszüge aus den entsprechenden Normen verwendet.

Auflösung [3]

Kleinste Änderung einer Messgröße, die in der entsprechenden Anzeige eine merkliche Änderung verursacht.

Bias [3]

Schätzwert einer systematischen Messabweichung.

Erweiterte Messunsicherheit [4]

Kennwert, der einen Bereich um das Messergebnis kennzeichnet, von dem erwartet werden kann, dass er einen großen Anteil der Verteilung der Werte umfasst, die der Messgröße vernünftigerweise zugeordnet werden können.

Erweiterungsfaktor k (bei VDA Band 5 [1]) [4]

Ein Zahlenfaktor (siehe Abbildung 13), mit dem die kombinierte Standardunsicherheit multipliziert wird, um eine erweiterte Messunsicherheit zu erhalten.

Justieren [3]

Reihe von Tätigkeiten, die an einem Messsystem ausgeführt werden, sodass dieses festgelegte Anzeigen liefert, die Werten einer zu messenden Größe entsprechen.

Kalibrierung [3]

Tätigkeit, die unter festgelegten Bedingungen in einem ersten Schritt eine Beziehung zwischen den durch Normale zur Verfügung gestellten Größenwerten mit ihren Messunsicherheiten und den entsprechenden Anzeigen mit ihren beigeordneten Messunsicherheiten herstellt und in einem zweiten Schritt diese Information verwendet, um eine Beziehung herzustellen, mit deren Hilfe ein Messergebnis aus einer Anzeige erhalten wird.

Kombinierte Standardunsicherheit $u(y)$ [4]

Standardunsicherheit eines Messergebnisses, wenn dieses Ergebnis aus den Werten einer Anzahl anderer Größen gewonnen wird. Sie ist gleich der positiven Quadratwurzel einer Summe von Gliedern, wobei die Glieder Varianzen oder Kovarianzen dieser anderen Größen sind, gewichtet danach, wie das Messergebnis mit Änderung dieser Größen variiert.

Merkmal [3]

Kennzeichnende Eigenschaft

Messeinrichtung [5]

Gesamtheit aller Messgeräte und zusätzlicher Einrichtungen zur Erzielung eines Messergebnisses.

Messergebnis [3]

Menge von Größenwerten, die einer Messgröße zugewiesen sind, zusammen mit jeglicher verfügbarer relevanter Information.

Messgerät [3]

Gerät, das allein oder in Verbindung mit zusätzlichen Einrichtungen für die Durchführung von Messungen verwendet wird.

Messmittel [6]

Messgerät, Software, Messnormal, Referenzmaterial, oder apparative Hilfsmittel, oder eine Kombination davon, wie sie zur Realisierung eines Messprozesses erforderlich sind.

Messprozess [3]

Zusammenspiel untereinander zusammenhängender Betriebsmittel, Aktivitäten und Einflüsse, die eine Messung erzeugen.

Messsystem [3]

Kombination aus Messgeräten und oft anderen Geräten sowie bei Bedarf Reagenzien und Versorgungseinrichtungen, die so angeordnet und angepasst sind, dass sie Informationen liefern, um Messwerte innerhalb bestimmter Intervalle für Größen bestimmter Arten zu erhalten.

Messunsicherheit [4]

Dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden können.

Normal [3]

Realisierung der Definition einer Größe, mit angegebenem Größenwert und beigeordneter Messunsicherheit, benutzt als Referenz.

Richtiger Wert [4]

Durch Vereinbarung anerkannter Wert, der einer betrachteten speziellen Größe zugeordnet wird, und der mit einer dem jeweiligen Zweck angemessenen Unsicherheit behaftet ist.

Standardunsicherheit $u(x_i)$ [4]

Als Standardabweichung ausgedrückte Unsicherheit des Ergebnisses einer Messung.

Wahrer Wert [3]

Wert, der mit der Definition einer betrachteten speziellen Größe übereinstimmt.

1 Einleitung

Ein Produktionsunternehmen ist bestrebt Produkte in ausreichender Qualität herzustellen, um dadurch eine optimale Balance zwischen Aufwand (Zeit, Kosten) und Nutzen zu erreichen. Ausreichende Qualität bedeutet hierbei die Kundenanforderung möglichst genau zu treffen, ohne diese ungewollt zu übertreffen. Während der Entwicklungsphase werden daher mittels geeigneter Methoden die erforderlichen Messgrößen ermittelt, welche Einfluss auf die Einhaltung der Kundenanforderungen haben. Man spricht bei den Kundenwünschen auch von VoC (Voice of the Customer), der Stimme des Kunden. Diese Wünsche können durchaus sehr abstrakt sein und müssen daher in geeignete messbare Faktoren, auch CTQ (critical to quality) genannt, übersetzt werden. Hat man diese ermittelt, muss noch die passende Messmethode gefunden werden. Im speziellen Fall wurde als Messmethode ein optisch-automatisches Koordinatenmessgerät, Nikon VMA 2520, gewählt, da dieses mittels programmierten Messprogrammen die Messungen selbstständig und rasch durchführen kann. Es besitzt eine hohe Messauflösung und führt die Vermessung nahezu ohne Bedienerinfluss durch. Um die Eignung des Messsystems zu verifizieren, ist es erforderlich, eine Messsystemanalyse durchzuführen, um sicherzustellen, dass das Ergebnis nicht durch unbekannte oder nicht betrachtete Faktoren verfälscht wird. Dies sind jedoch durchaus zeitaufwändige Verfahren. Weshalb also so einen Aufwand betreiben?

Es treten im Messablauf viele Einflussfaktoren auf, welche zu einer Unsicherheit des Messergebnisses und somit zu einer Abweichung des gemessenen Wertes vom wahren Wert führen. Dies kann zur Folge haben, dass der gemessene Wert außerhalb der zulässigen Toleranz des Messobjektes liegt, obwohl sich der wahre Wert in der Toleranz befindet. Somit müssten in der laufenden Produktion Maßnahmen ergriffen werden, das Teil anzupassen, obwohl dieses laut Spezifikation gepasst hätte. Auf der anderen Seite könnte ebenso ein gefertigtes Teil außerhalb der Spezifikation liegen und das Messergebnis aufgrund der Unsicherheiten aber innerhalb der Toleranz. Beide Fälle führen für ein Produktionsunternehmen zu Folgekosten durch unnötige Mehraufwände, Verschrottungskosten, Kundenreklamationen oder im schlechtesten Fall sogar zu Sicherheitsrisiken in der Anwendung.

Der Aufwand für eine Messsystemanalyse wird sich daher, abhängig von der Relevanz des Kriteriums, durchaus für ein Unternehmen auszahlen.

1.1 Ausgangssituation

Das Unternehmen Electro Terminal in Innsbruck stellt Verbindungsklemmen für Haushaltsgeräte, Leuchten und Elektroinstallationen her. Dabei werden die meisten Komponenten selbst, in Stanztechnik, Kunststofftechnik und anschließender Automatenmontage, produziert. Die stromleitenden Komponenten werden dabei aus

Metallbändern über einen Stanz-Biegeprozess gefertigt. In der Kunststoffverarbeitung werden aus unterschiedlichen Kunststoffgranulaten Isolierkörper hergestellt. In der Montage werden diese mittels Vollautomaten zu fertigen Klemmen verarbeitet.

Folgende Bilder zeigen einen kleinen Auszug an Erzeugnissen aus den Produktgruppen:



Dieselben Produkte im Größenvergleich:



Die Kontaktteile dieser Produkte sind Stanzteile mit teils komplexen Geometrien. Die vorliegende Arbeit behandelt die optisch-automatische Vermessung solcher Stanzteile, in der Größenordnung von wenigen Millimetern, bis zu einigen Zentimetern.

1.2 Problemstellung

Um die erforderlichen fertigungsbegleitenden Prüfungen realisieren zu können, ist es in der Stanzerei unumgänglich mit einem optisch-automatischen Koordinatenmessgerät zu arbeiten. Dieses dient als Ersatz für zeitaufwändige manuelle Messungen mittels Profilprojektor. Das automatisch ablaufende Programm, bei dem der prüfende Mitarbeiter keinen Einblick über die tatsächlich durchgeführte Messung hat, führt jedoch zu neuen

Unsicherheiten in den ausgegebenen Werten. Er bekommt letztlich eine große Anzahl von Messwerten von der Anlage bereitgestellt, bei denen er selbst keine Möglichkeit hat, deren Plausibilität zu prüfen.

1.3 Aufgabenstellung

In dieser Arbeit sollen alle relevanten wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden gesammelt werden, mit denen die Eignung des Messprozesses für die Produktion sichergestellt werden kann. Hierzu werden die mathematischen Methoden und Ansätze erläutert, um die Bewertung des Messprozesses rechnerisch umzusetzen. Weiters werden die Unsicherheiten in Bezug auf den Messprozess ausgearbeitet, um vor der Bewertung die Basis für zuverlässige Messungen zu schaffen.

1.4 Messablauf

Der Mitarbeiter entnimmt aus der Stanzanlage eine ihm vorgegebene Anzahl an Prüflingen. Die Menge wird bestimmt durch die Anzahl der gleichzeitig produzierten Kavitäten, sowie der Hubzahl mit der die Maschine arbeitet. Diese kann von einer Kavität bei 80 Hub (80 Teile je Minute) bis zu 6 Kavitäten bei 300 Hub (1800 Teile je Minute) schwanken. Die Teile werden dann entweder direkt auf die Glasplatte des Messgerätes vom Typ Nikon VMA 2520, in einem vorgegebenen Raster, aufgelegt, oder in eigens für die jeweiligen Teile hergestellte Messaufnahmen eingelegt. Anschließend wird das entsprechende Messprogramm gestartet, woraufhin die Maschine die Messung vollautomatisch vornimmt. Nach Beendigung werden dann die Messwerte von der Software in eine Textdatei geschrieben. Mit Hilfe eines Makros werden die Werte dann in eine Excel Tabelle importiert, um die einzelnen Messwerte dem Mitarbeiter anzeigen, sowie Abweichungen farblich darstellen zu können.

2 Messgerät Nikon VMA 2520

Bei dem zu betrachtenden Messmittel handelt es sich um ein Koordinatenmessgerät mit Bildverarbeitungssystemen. Es verfügt über einen beweglichen Tisch mit Glasplatte, zur Verwendung einer Hintergrundbeleuchtung. Neben der manuellen Messung ermöglicht es auch, mittels Suchfunktion, eingelernte Geometrien der Teile wiederzuerkennen. Dadurch ist es möglich, Messabläufe zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt automatisch ablaufen zu lassen.

Die Spezifikation, kurz zusammengefasst:

Messbereich:	250 x 200 x 200 mm (x, y, z)
Auflösung:	0.1 μm
FOV (Sichtfenster):	13,3 x 10 bis 1,3 x 1 mm
Vergrößerung:	12- bis 120-fach (bei einem 17" Monitor bei SXGA Auflösung)
Durchlicht:	weiße LED-Beleuchtung
Auflicht:	weiße LED-Beleuchtung
Ringlicht:	8 Segment LED-Ring
Kamera Auflösung:	640 x 480 Bildpunkte



Abbildung 1 – Nikon VMA 2520

3 Wahrscheinlichkeitsverteilung von Messwerten

Die Abweichung von Messwerten vieler naturwissenschaftlicher Vorgänge vom Erwartungswert entspricht einer Normalverteilung. Mit ihr lassen sich viele Fälle exakt, oder mit einer sehr guten Näherung beschreiben. Daher soll in diesem Kapitel auf die Normalverteilung eingegangen und mit ihr der Einfluss von Messsystem und Messprozess auf die gemessenen Werte veranschaulicht werden. In den Auswertemethoden bildet sie auch die mathematische Grundlage für die Bewertung des Messprozesses.

3.1 Normalverteilung

Mathematisch ist die Dichtefunktion der Normalverteilung folgendermaßen definiert:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

μ Erwartungswert

σ^2 Varianz

Dabei entsprechen die Punkte an den Stellen $x = \mu \pm \sigma$ den Wendepunkten der Funktion.

Eine beliebige Normalverteilung kann somit mit den Werten μ und σ ermittelt werden.

Das Besondere an der Normalverteilung ist, dass die Fläche unter der Kurve der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messwerte entspricht.

In Microsoft Excel (Version: Microsoft Excel für Office 365 MSO (16.0.11328.20468) 32-Bit) entspricht das der Funktion `NORM.VERT(x; μ ; σ ; FALSCH)`

Standardnormalverteilung

Bei $\mu = 0$ und $\sigma = 1$ wird von der Standardnormalverteilung gesprochen.

Die Dichtefunktion der Standardnormalverteilung ist dann wie folgt:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

In diesem Spezialfall ist die Fläche unter der Kurve von $-\infty$ bis $+\infty$ genau 1 und somit kann durch die Ermittlung eines Bereiches auf die prozentuelle Wahrscheinlichkeit, darauf geschlossen werden, wie viele Werte sich in diesem Bereich befinden.

Grafische Darstellung:

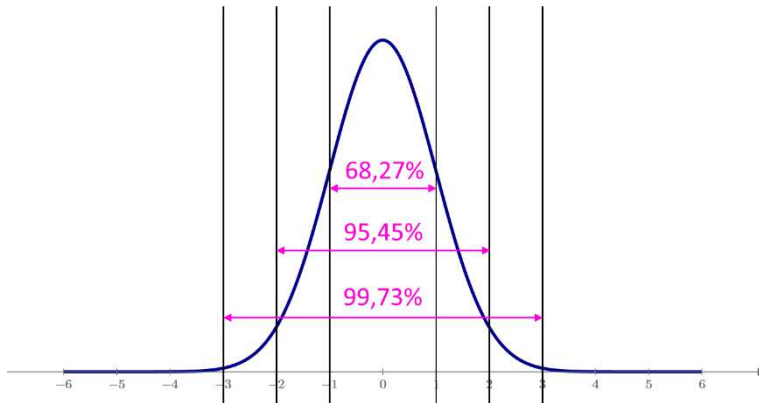


Abbildung 2 – Dichtefunktion Standardnormalverteilung

Das bedeutet, dass im Bereich von ± 1 Sigma 68,27% aller Werte zu erwarten sind.

In Microsoft Excel entspricht das der Funktion `NORM.S.VERT(x; FALSCH)`

Um die Fläche unter der Kurve mathematisch zu erfassen, kommt das folgende Integral zur Anwendung und führt zur Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$$

Grafische Darstellung:

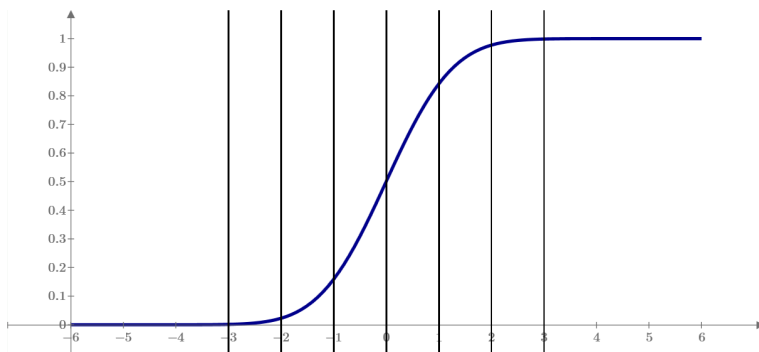


Abbildung 3 – Verteilungsfunktion Standardnormalverteilung

In Microsoft Excel entspricht das der Funktion `NORM.S.VERT(x; WAHR)`.

Standardabweichung

Anhand einer Stichprobe können die Standardabweichung und der Mittelwert berechnet werden. Mit diesen beiden Größen kann auf die Messwertverteilung geschlossen werden.

$$s_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

s_g Standardabweichung

x_i Urwert

\bar{x} Mittelwert

n Stichprobengröße

Die Standardabweichung s_g entspricht der Schätzung der Varianz σ und der Mittelwert \bar{x} entspricht dem Erwartungswert μ .

Beispiel

Als Ergebnis einer Messreihe wurden folgende Werte ermittelt:

$$s_g = 0,2 \text{ mm}$$

$$\bar{x} = 5,7 \text{ mm}$$

Als obere Toleranz laut Spezifikation wurde $OT = 6 \text{ mm}$ angegeben. Es ist keine untere Toleranz spezifiziert.

Der Abstand Mittelwert zur Toleranz ist somit $0,3 \text{ mm}$.

Die Toleranz ist damit $1,5 \cdot s_g$ vom Mittelwert entfernt.

Grafische Darstellung:

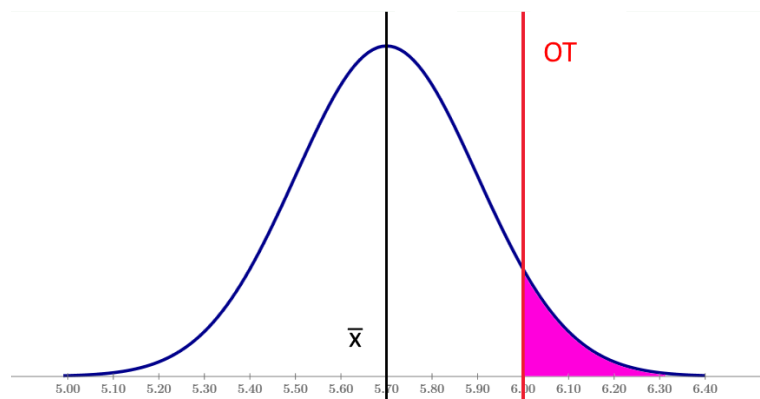


Abbildung 4 – Beispiel Dichtefunktion

Die Verteilungsfunktion an der Stelle $-1,5$ ergibt: $\Phi(-1,5) = 0,06681$. Dies bedeutet, dass zu erwarten ist, dass sich 6,68% aller Messwerte außerhalb der Toleranz befinden.

Grafische Darstellung:

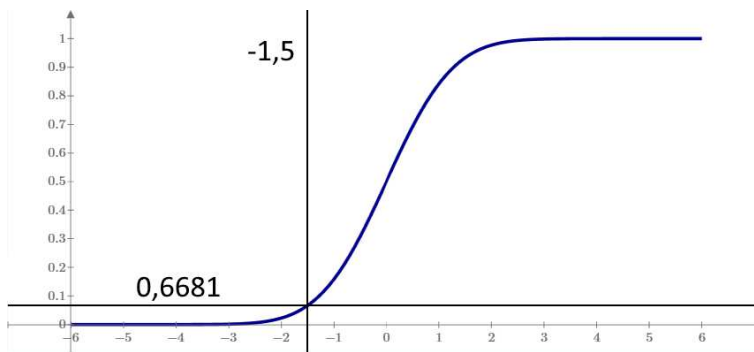


Abbildung 5 – Beispiel Verteilungsfunktion

Dabei ist zu beachten, dass im gesuchten Beispiel der Wert an der Stelle $-1,5$ und nicht $+1,5$ der gesuchten Größe entspricht.

3.2 Streuung Messsystem

Um dies nun auf die Eignung von Messmitteln anzuwenden, gehen wir davon aus, dass ein beliebiger Prozess durch Messung einer größeren Anzahl von Teilen bewertet wird. Dabei werden viele Messwerte eines Kriteriums ermittelt und aufgrund vieler kleiner Einflüsse auf den Prozess wird es zu einer Streuung der Messwerte kommen. Neben der tatsächlichen Prozessstreuung wird hier zusätzlich eine Streuung der Messwerte durch das Messsystem auftreten, welche die tatsächlichen Werte verfälscht und so zu einer größeren beobachteten Streuung führt.

Das folgende Beispiel zeigt schematisch, wie sich eine kleine Messsystemstreuung auf die beobachtete Prozessstreuung auswirkt. Hier tritt nur eine geringe Differenz zur tatsächlichen Streuung auf.

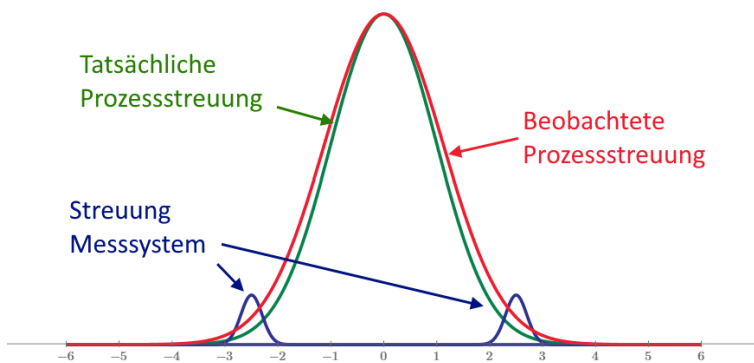


Abbildung 6 – kleine Messsystemstreuung

Während im nächsten Beispiel die Streuung des Messsystems eine beträchtliche Auswirkung auf die beobachtete Prozessstreuung hat und so der tatsächliche Wert erheblich verfälscht wird.

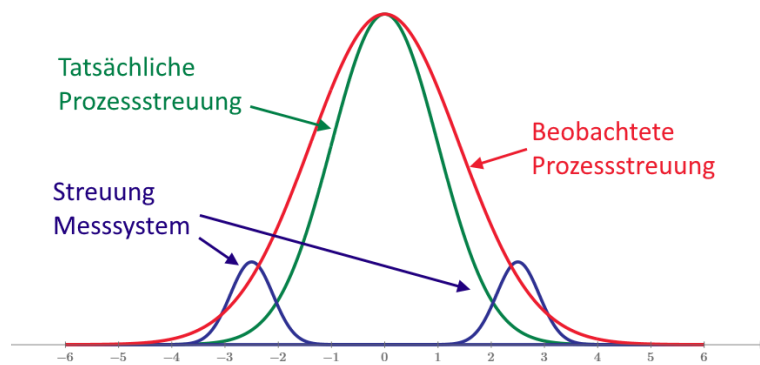


Abbildung 7 – große Messsystemstreuung

3.3 Streuung Messprozess

Wiederholpräzision

Weiters kommt es in der Praxis bei wiederholten Messungen an demselben Prüfobjekt zu Streuungen der gemessenen Werte. Die Ursache hierfür können unter anderem die Geometrie des Prüfobjektes, oder leicht unterschiedliche Messpunkte am Prüfobjekt sein. Man spricht dabei von der Wiederholpräzision. Ein Maß dafür ist die Standardabweichung.

Die folgende Grafik zeigt beispielhaft zwei unterschiedliche Fälle.

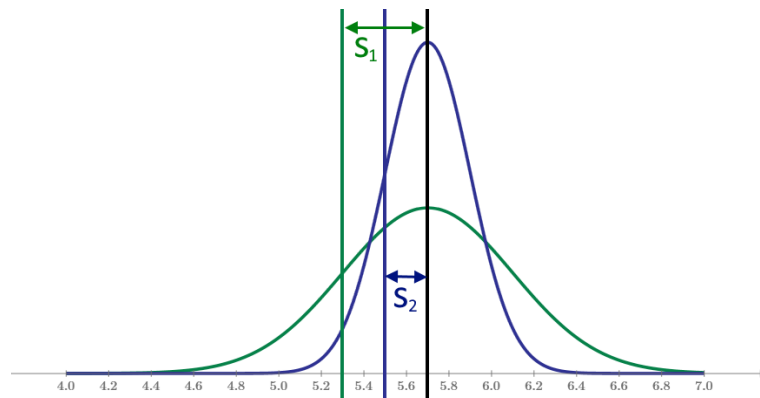


Abbildung 8 – Wiederholpräzision

Vergleichspräzision

Sofern nun der Einfluss von unterschiedlichen Prüfern hinzukommt, kann es zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen kommen und so der tatsächliche Prozess noch weiter verfälscht werden. Die unterschiedlichen Mittelwerte der einzelnen Prüfer entsprechen der Vergleichspräzision.

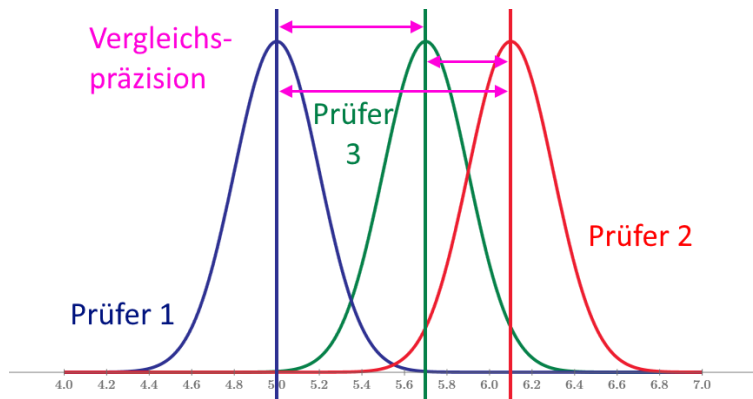


Abbildung 9 – Vergleichspräzision

3.4 Anwendung

Mit unterschiedlichen Methoden können in der Praxis die Messwertverteilungen und deren Einflussfaktoren ermittelt werden, um Messprozesse bewerten zu können. So basieren die Berechnungsmethoden, welche in der folgenden Arbeit noch behandelt werden, alle auf der Normalverteilung.

4 Wissenschaftliche Grundlagen

Zur Untersuchung der Eignung von Messprozessen sind unterschiedliche Ansätze verfügbar. In der Praxis werden zwei Methoden angewandt.

Die Vorgehensweisen laut MSA 4 [2] sind Bewertungen mittels Fähigkeitsuntersuchung und Gage R&R nach ARM oder ANOVA. Grundlage ist hierzu jedoch, dass Einflussfaktoren und deren Relevanz bekannt sind und in der Untersuchung berücksichtigt werden, sofern erforderlich.

Im Gegensatz dazu wird, laut VDA Band 5 [1], der Ansatz verfolgt, dass die erweiterten Messunsicherheiten einzeln ermittelt und berücksichtigt werden. Einflussfaktoren, welche sehr klein sind, haben letztlich eine vernachlässigbare oder keine Auswirkung auf das Endergebnis.

Die finalen Aussagen beider Methoden sind ähnlich und haben letztlich dasselbe Ziel, nämlich durch die Erkenntnisse der Auswertung praktischer Versuche das Verständnis für die Einflussfaktoren auf die Messungen zu verbessern und so die Streuungen in den Unsicherheiten durch geeignete Maßnahmen minimieren zu können.

Bei beiden Methoden wird ein Wert berechnet, der dann mit einem zulässigen maximalen Grenzwert verglichen werden kann. Somit kann eine eindeutige Entscheidung über die Eignung oder Nicht-Eignung eines Messprozesses getroffen werden.

In der Praxis stehen Unternehmen vor dem Problem, dass es keinen einzelnen gültigen Standard gibt. Neben den zwei Methoden selbst gibt es bei der Anwendung der Analyse nach MSA [2] in den Berechnungsformeln (ARM Verfahren) und Korrekturfaktoren (K1, K2, K3 beim ARM Verfahren) Unterschiede in der Auswertung. Größere Firmen haben daher häufig das für sie geeignetste Verfahren definiert und in Werksnormen dokumentiert. Dies betrifft in erster Linie die Automobilindustrie und damit Unternehmen wie General Motors, Ford und DaimlerChrysler, um nur Einzelne zu nennen.

Zur Beschreibung der Methodik laut MSA [2] wird als Basis der Leitfaden zum „Fähigkeitsnachweis von Messsystemen“ [7] herangezogen. Er wurde unter der Leitung von Hr. Dr. Edgar Dietrich von der Fa. Q-DAS in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern unterschiedlicher Automobilbauer, wie Audi, BMW, DaimlerChrysler, Ford und weiteren erstellt und basiert auf den Ansätzen und mathematischen Modellen der MSA [2]. Im Leitfaden [7] wurde die Vorgehensweise jedoch übersichtlich und praxisorientiert zusammengefasst und ist daher einfacher in Unternehmen umzusetzen.

Die Vorgehensweise laut VDA Band 5 [1] ist bereits praxisorientiert formuliert und basiert auf den mathematischen Modellen des GUM [8], dem „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.“

Auf die zwei unterschiedlichen Ansätze wird in den kommenden Kapiteln genauer eingegangen.

4.1 Einflussfaktoren

Wie im folgenden Ishikawa Diagramm ersichtlich, sind viele relevante Einflussgrößen vorhanden, welche zu einer Unsicherheit beim Messen führen. Es ist eine standardisierte Methodik erforderlich, um letztlich die Eignung eines Messsystems nachweisen zu können.

Wichtige Einflüsse auf die Unsicherheit von Messergebnissen:

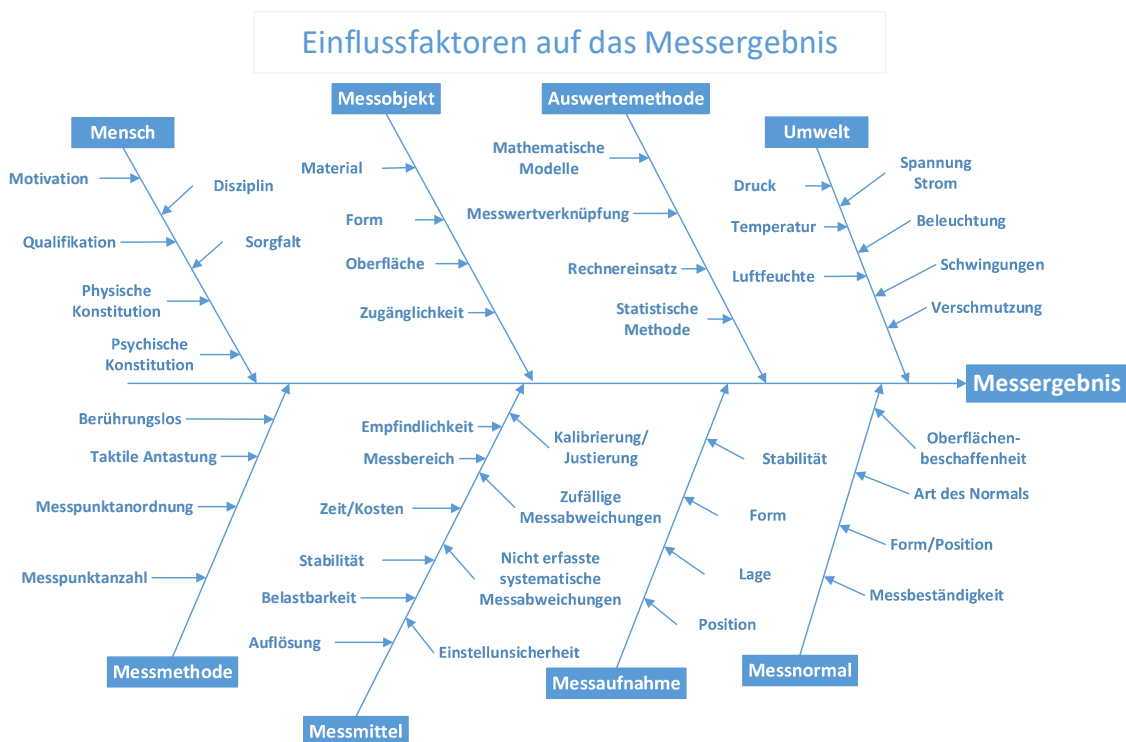


Abbildung 10 – Unsicherheiten von Messergebnissen, VDA Band 5 [1, p. 26].

5 Ermittlung der Eignung von Messprozessen laut Leitfaden

Wie bereits erwähnt, gibt es kein einzelnes standardisiertes Verfahren und auch wenn die Berechnungen ähnlich sind, werden je nach Firmenstandard oft unterschiedliche Faktoren oder Grenzwerte verwendet. Die folgenden Verfahren wurden daher aus dem Leitfaden zum „Fähigkeitsnachweis von Messsystemen“ [9] zusammengefasst und die Berechnungen mit den Faktoren und Grenzwerten, wie im Leitfaden beschrieben, übernommen.

Die einzelnen Verfahren sind in dem Leitfaden mit einer Beschreibung der Vorgehensweise festgehalten und daher für die praktische Anwendung gut nachvollziehbar.

Für die Auswertung genügt bei der Gage R&R nach ARM bereits eine Excel Tabelle mit den hinterlegten Berechnungen. Für die Methode Gage R&R nach ANOVA ist eine geeignete Software, wie zum Beispiel solar.MP von Q-DAS oder Minitab ratsam.

5.1 Vorgehensweise laut Leitfaden

Folgende Vorgehensweise soll angewendet werden.

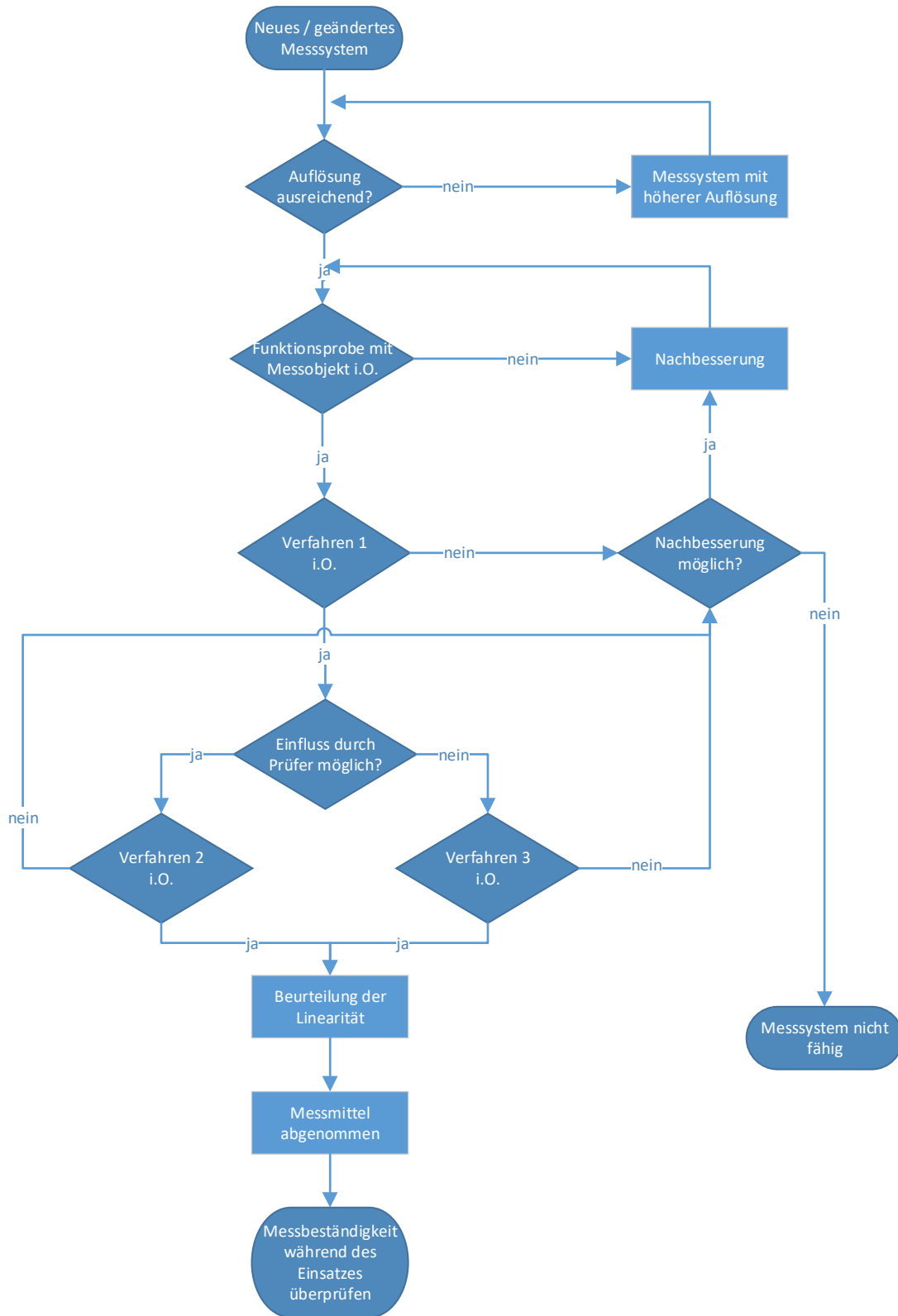


Abbildung 11 – Vorgehensweise bei der Ermittlung der Messsystemfähigkeit [9, p. 18].

5.2 Auflösung des Messmittels

Vor Beginn der Messungen ist sicherzustellen, dass das Messmittel über eine ausreichende Auflösung verfügt. Hier muss die Anforderung erfüllt werden, dass das Messmittel eine Auflösung von $\%RE \leq 5\%$ aufweist.

$$\%RE = \frac{RE}{RF}$$

RE Auflösung des Messmittels (Resolution)

RF Bezugsgröße (Reference Figure), zum Bsp. Toleranz

%RE Relative Auflösung des Messmittels

RF als Bezugsgröße kann je nach Anforderung zum Beispiel die Toleranz oder Prozessstreuung sein.

In der Praxis bedeutet diese Anforderung, dass bei einem Messmittel mit einer Skala von 0,01 mm, eine Toleranz von $\pm 0,1$ mm nicht unterschritten werden sollte (Toleranzbereich von 0,2 mm).

5.3 Verfahren 1 (Wiederholbarkeit – Repeatability)

In diesem Verfahren wird die Eignung des Messmittels selbst erfasst. Es wird geprüft, ob die „ideale“ Messung an einem Normal ausreichend wiederholbare Ergebnisse liefert.

Es werden hierzu mindestens 20 Messungen am Normal durchgeführt und die Werte ausgewertet. Voraussetzung beim Messablauf ist, dass keine Einflüsse, außer dem Messmittel selbst, in die Messung mit einfließen. So soll diese Messreihe unter „normalen“ Bedingungen (ausreichend Beleuchtung, Raumtemperatur, usw.) von einem Prüfer durchgeführt werden, wobei der Messpunkt am Normal, sowie der Messablauf, immer derselbe sein muss. Es dürfen auch keine Anpassungen oder Veränderungen am Messmittel oder Normal während der Messreihe erfolgen. Die Messungen sind in kurzen Zeitabständen durchzuführen.

Sofern erforderlich soll die Abweichung des Normals vom Sollwert in der Auswertung berücksichtigt werden. Diese ist dem Kalibrierprotokoll des Normals zu entnehmen.

Zur Auswertung wird zunächst die Abweichung des Mittelwertes der Messreihe vom Maß des Normals erfasst. Als Ergebnis erhält man die systematische Abweichung des Messmittels.

$$Bi = |\bar{x}_g - x_m|$$

Bi Abweichung des Mittelwertes vom richtigen Wert (Bias)

Im nächsten Schritt können die Fähigkeitskennwerte C_{gk} und C_g ermittelt werden.

$$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - Bi}{2 \cdot S_g} \text{ und } C_g = \frac{0,2 \cdot T}{4 \cdot S_g}$$

C_{gk} kritischer Messmittelfähigkeitsindex

C_g Messmittelfähigkeitsindex

Die Anforderung an das Messmittel ist erfüllt, sofern C_{gk} und $C_g \geq 1,33$ sind.

Wichtiger Hinweis: Es ist hierbei zu beachten, dass die 2 bzw. $4S_g$ je nach Firmenstandard unterschiedlich sein können. So ist die Anforderung häufig 3 bzw. $6S_g$ und auch die erforderlichen Grenzwerte können variieren. Als Ziel für C_{gk} und C_g werden meist min. 1,33 oder 1 gefordert.

5.4 Verfahren 2 mittels ARM (Average Range Method)

Das Verfahren 2 wird auch Gage R&R, %GRR-Methode, GRR-Study genannt, da hiermit die Wiederhol- und Vergleichspräzision (Repeatability and Reproducibility) ermittelt werden. Es gibt hier zwei Berechnungsvarianten ARM und ANOVA. Zunächst wird auf die ARM, oder auch Spannweitenmethode, eingegangen. Dabei ist der im folgenden Kapitel beschriebene Ablauf gleich, lediglich die Auswertung bzw. Berechnungsmethode unterscheidet sich.

Zunächst wird die Anzahl der Prüfer ($k \geq 2$), der Messobjekte ($n \geq 5$) sowie die Wiederholungen je Prüfer ($r \geq 2$) festgelegt. Für eine aussagekräftige Bewertung muss das Produkt $k \cdot r \cdot n \geq 30$ sein.

Im Standardfall wird laut Leitfaden die Messreihe mit 2 Prüfern, 10 Teilen und 2 Messreihen je Prüfer abgearbeitet.

Zur Vorbereitung werden die Teile nummeriert und der Messpunkt, sowie relevante Umgebungsbedingungen (Prüfer, wenn erforderlich Temperatur, usw.), dokumentiert, um die Messreihe nachvollziehbar festzuhalten.

Anschließend wird die erste Messreihe vom Prüfer, mit dem vorbereiteten Messmittel nach festgelegten Vorgaben, durchgeführt und dokumentiert. Dies wird dann für die zweite Messreihe und vom zweiten Bediener wiederholt, bis die definierten Messreihen abgeschlossen wurden. Von Beginn, bis zum Abschluss aller Messreihen, darf an dem Messmittel oder dem Aufbau, keine Änderung durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Messungen dürfen hierbei dem jeweils anderen Prüfer nicht bekannt sein.

Nach den Messreihen kann die Auswertung erfolgen. Hierzu werden zunächst die Spannweiten der Ergebnisse der Prüfer, je Teil, ermittelt, siehe Abbildung 12 und dann der Mittelwert aller Spannweiten (\bar{R}_a) sowie aller Messungen (\bar{X}_a) berechnet.

Prüfer/ Anzahl der Versuche	Teil										Mittelwert	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. 1	1	17,994	17,980	17,948	17,982	17,976	17,983	17,972	17,959	17,988	17,991	17,977
2. 1	2	17,988	17,980	17,948	17,976	17,978	17,973	17,967	17,959	17,987	17,991	17,975
3. 1	3	17,991	17,980	17,948	17,979	17,978	17,974	17,966	17,961	17,988	17,991	17,976
4. 1	4	17,994	17,979	17,948	17,985	17,977	17,985	17,969	17,960	17,988	17,990	17,978
5. 1	5	17,988	17,979	17,948	17,981	17,979	17,985	17,966	17,958	17,988	17,991	17,976
6.	Mittelwert	17,991	17,980	17,948	17,981	17,977	17,980	17,968	17,959	17,988	17,991	$\bar{X}_a =$ 17,976
7.	Spannweite	0,006	0,001	0,001	0,010	0,003	0,012	0,005	0,002	0,001	0,001	$\bar{R}_a =$ 0,004

Abbildung 12 – Auszug aus Gage R&R Berechnungstabelle

Nun kann die Wiederholbarkeit des Messsystems (EV) ermittelt werden.

$$EV = K_1 \cdot \bar{R}$$

EV Wiederholpräzision (Repeatability – Equipment Variation)

K_1 Korrekturfaktor abhängig von der Anzahl der Wiederholungen

\bar{R} Mittlere Spannweite aller Prüfer

K_1 ist ein Korrekturfaktor und kann über d_2^* berechnet werden. d_2^* ist der Tabelle (Abbildung 34) im Anhang zu entnehmen. Hierzu ist für „Number of Subgroups“ (g) das Produkt, Anzahl der Prüfer mal Anzahl der Teile ($k \cdot n$), zu berechnen und die Zeile „Subgroup Size“ (m) entspricht der Anzahl der Wiederholungen (r).

$$K_1 = \frac{5,152}{d_2^*}$$

Wichtiger Hinweis: Es ist zu beachten, dass die Berechnung der K-Faktoren in der Literatur nicht einheitlich festgelegt ist. So wird im Leitfaden [7] mit dem Faktor 5,152 gerechnet. ($\pm 2,576$ Sigma entspricht normalverteilt einem Vertrauensbereich von 99%). Im Gegensatz dazu wird laut MSA 4 [2] mit einem Faktor von 1 gerechnet. Der Faktor 6 (Vertrauensbereich von 99,73%) wird dort zu einem späteren Zeitpunkt eingebracht.

Die d_2^* Tabelle, Abbildung 34, ermöglicht es die Berechnungen mit Hilfe der Spannweite, anstelle der Standardabweichung durchzuführen. Die Methode ist zwar mathematisch nicht so exakt, jedoch deutlich einfacher in der Berechnung. Dies war in Zeiten vor der digitalen Revolution, als die Computer Einzug fanden, noch ausschlaggebend und daher fand sie weite Verbreitung. Sie wurde in der im Anhang vorliegenden Form aus MSA 4 [2] entnommen und wurde erstmals veröffentlicht im Journal of the American Statistical Association, Vol. 53, No. 282 (Jun., 1958), von Acheson J. Duncan [10]. Die Berechnung reicht auf Hartley, H.O. and Pearson, E. S zurück und wurde 1951 in Biometrika, Vol. 38 Seite 463 [11] erstmals veröffentlicht. Da die mathematische Berechnung von d_2^* komplex ist, wird für Berechnungen nach der ARM Methode auf Tabellen zurückgegriffen.

Im nächsten Schritt wird die Vergleichbarkeit des Messsystems AV (Appraiser Variation) berechnet.

$$\bar{x}_{Diff} = \bar{x}_{max} - x_{min}$$

$$AV = K_2 \cdot x_{Diff}$$

\bar{x}_{Diff} Spannweite der Mittelwerte

\bar{x}_{max} Größter Mittelwert

\bar{x}_{min} Kleinster Mittelwert

EV Wiederholpräzision (Repeatability – Equipment Variation)

K_2 Korrekturfaktor abhängig von der Anzahl der Prüfer

Wichtiger Hinweis: Laut MSA wird die Berechnung von AV folgendermaßen definiert.

$$AV = \sqrt{(K_2 \cdot x_{Diff})^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}}$$

n Anzahl der Teile

r Anzahl der Wiederholungen

Für K_2 gilt hier ebenso wie für K_1 , dass der Wert wieder über die d_2^* Tabelle berechnet werden kann. Hier wird jedoch nur die Anzahl der Prüfer (r) verwendet, um aus der ersten Zeile den d_2^* Wert zu erhalten. Es kommt hier derselbe Faktor zum Tragen, welcher auch für die Berechnung von K_1 verwendet wird.

$$K_2 = \frac{5,152}{d_2^*}$$

Die Wiederhol- und Vergleichspräzision R&R ergibt sich dann aus:

$$R\&R = \sqrt{EV^2 \cdot AV^2}$$

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{RF} \cdot 100\%$$

R&R Wiederhol- und Vergleichspräzision

%R&R Wiederhol- und Vergleichspräzision in Relation zur Bezugsgröße

RF Bezugsgröße (Reference Figure)

Die Forderung ist hierbei $\%R\&R \leq 20\%$ für neue Messsysteme und $\%R\&R \leq 30\%$ für Messsysteme im Einsatz. Wird diese Forderung erfüllt, ist das Messsystem geeignet.

Wichtiger Hinweis: Diese Grenzwerte wurden aus dem Leitfaden entnommen, sie unterscheiden sich aber je nach Methode. Eine Gegenüberstellung ist im Anhang, Abbildung 38, zu finden. Die Wertung nach MSA 4 [2] lautet folgendermaßen:

$\%R\&R \leq 10\%$ Prüfmittel geeignet

$10\% < \%R\&R \leq 30\%$ Prüfmittel bedingt geeignet

$30\% < \%R\&R$ Prüfmittel nicht geeignet

Sollte sich herausstellen, dass das Messsystem nicht geeignet ist, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um die Streuung bei der Messung zu reduzieren. Dies kann ebenso bedeuten, dass ein alternatives Messgerät zum Einsatz kommt. Oft können jedoch bei genauerer Betrachtung der Messung Ursachen ausfindig gemacht werden, zu deren Vermeidung Abstellmaßnahmen ergriffen werden können.

Beispielauswertungen mittels Software solar.MP von Q-DAS oder Minitab sind im Anhang (Abbildung 35 und Abbildung 36) zu finden.

5.5 Verfahren 3 (Gage R&R, ohne Einfluss durch den Prüfer)

Bei diesem Verfahren handelt es sich um einen Sonderfall von Verfahren 2, bei dem der Bedienerinfluss nicht relevant ist, da es sich um automatische Messungen handelt, oder der Einfluss des Bedieners aus messtechnischer Sicht vernachlässigbar klein ist. Die Berechnung ist grundsätzlich dieselbe, nur, dass kein AV Wert berechnet wird. Somit verbleibt:

$$R\&R = EV = K_1 \cdot \bar{R}$$

$$\%R\&R = \frac{EV}{RF} \cdot 100\%$$

Auch die Forderung $\%R\&R \leq 20\%$ für neue Messsysteme und $\%R\&R \leq 30\%$ bleibt gültig.

5.6 Linearität (Linearity)

In diesem Verfahren wird die Linearität der Messeinheit überprüft, um sicherzustellen, dass die Messergebnisse auch über den gesamten Messbereich ausreichende Genauigkeit besitzen.

Auf dieses Verfahren wird jedoch hier nicht näher eingegangen, da die Linearität mittels MPE Wert vom Hersteller angegeben ist und für das betrachtete Messmittel eine jährliche

Kalibrierung durch den Hersteller erfolgt. Die Linearität wird in diesem Zuge justiert, sofern erforderlich.

5.7 Stabilität (Stability)

Die vorher beschriebenen Methoden ermöglichen eine Kurzzeitbetrachtung. Es ist ratsam, die Fähigkeit des Messmittels dauerhaft, über kontinuierliche Untersuchungen, sicherzustellen.

Zunächst sind für laufende Messungen Normale oder stabilisierte Einstellteile zu verwenden. Die Bewertung kann dann, laut Leitfaden [7], mittels 2 Methoden erfolgen.

Zum einen über eine Aufzeichnung der Urwerte und Festlegung von situationsbezogenen Toleranzgrenzen. Diese dürfen maximal $\pm 10\%$ der Toleranz betragen.

Zum anderen mittels Auswertung der Messwerte in Form einer Shewhart-Qualitätsregelkarte. Dazu werden durch Auswertung eines bestehenden Prozesses Warn- oder Eingriffsgrenzen ermittelt und laufende Messungen in der Regelkarte eingetragen. Eine Überschreitung der Grenzen weist auf eine Veränderung im Prozess hin.

5.8 Verfahren 2 mittels ANOVA (Analysis of Variance)

Die ANOVA Methode unterscheidet sich nicht in der Erfassung der Messwerte. Diese erfolgt nach demselben Ablauf, wie bereits bei der Gage R&R Methode beschrieben. Die Berechnung ist jedoch wesentlich komplexer und die Verwendung eines Rechenprogrammes wie qs-STAT® der Q-DAS® wird empfohlen. Aus mathematischer Sicht ist sie genauer und daher zu präferieren.

Randnotiz: In den Firmenrichtlinien von GM Powertrain [12, p. 18 der Firmenrichtlinie von GM] ist die Auswertung mittels ARM zulässig, jedoch muss ab einem R&R Wert über 10% die Auswertung mit der ANOVA Methode wiederholt werden.

Im folgenden Abschnitt wird die Berechnung beschrieben. Der Rechenweg wurde dem Leitfaden [7, p. 48] entnommen.

In dem Verfahren wird unterschieden zwischen

- Einfluss vom Prüfer
- Einfluss vom Teil
- Einfluss der Wechselwirkung (Prüfer misst Teil)
- Restabweichung (Messmitteleinfluss)

Zur Auswertung werden die Summen der quadratischen Abweichungen in Teilsummen zerlegt und daraus die Varianzen ermittelt.

Berechnung:

Der Mittelwert von „Prüfer p misst Teil t“ über die Wiederholungen: X_{pt} .

Der Mittelwert über die Messwerte von Prüfer p: $X_{p..}$.

Der Mittelwert über die Messwerte von Teil t: $X_{.t}$.

Der Gesamtmittelwert: $X_{...}$.

Summe der quadratischen Abweichungen zwischen den Prüfern (p):

$$\Sigma P := t \cdot w \cdot \sum_{i=1}^p (X_{i..} - X_{...})^2$$

mit Freiheitsgrad $f_{IV} := p - 1$

Summe der quadratischen Abweichungen zwischen den Teilen (t):

$$\Sigma T := p \cdot w \cdot \sum_{j=1}^t (X_{.j.} - X_{...})^2$$

mit Freiheitsgrad $f_{III} := t - 1$

Summe der quadratischen Abweichungen durch die Wechselwirkung (p misst t):

$$\Sigma PT := w \cdot \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^t (X_{ij.} - X_{i..} - X_{.j.} - X_{...})^2$$

mit Freiheitsgrad $f_{II} := (p - 1) * (t - 1)$

Summe der quadratischen Abweichungen innerhalb der Wiederholungen von Prüfer misst Teil (p zu t Wechselwirkung):

$$\Sigma E := \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^w (X_{ijk} - X_{ij.})^2$$

mit Freiheitsgrad $f_I := p \cdot t \cdot (w - 1)$

Die Summe der quadratischen Abweichungen über alle Messwerte ist dann:

$$\Sigma P + \Sigma T + \Sigma PT + \Sigma E$$

Für die Messmittelanalyse werden folgende Varianzen berechnet:

Hierbei wird unterschieden, ob der Einfluss der Wechselwirkung signifikant ist oder nicht. (F-Test, Prüfwert s^2_{PT} / s^2_E , krit. Wert $F_{\text{fill, fl, } 1-\alpha}$)

Die Varianzen berechnen sich entsprechend des Quotienten aus der Summe der quadratischen Abweichungen durch den entsprechenden Freiheitsgrad:

$$\text{Varianz Prüferinfluss} \quad s_P^2 = \frac{\Sigma P}{f_{IV}}$$

$$\text{Varianz Teileinfluss} \quad s_T^2 = \frac{\Sigma T}{f_{III}}$$

Bei signifikanter Wechselwirkung:

$$\text{Varianz Wechselwirkung} \quad s_{PT}^2 = \frac{\Sigma PT}{f_{II}}$$

$$\text{Varianz Messmitteleinfluss} \quad s_E^2 = \frac{\Sigma E}{f_I}$$

Bei nicht signifikanter Wechselwirkung:

$$s_{add}^2 = \frac{\Sigma E + \Sigma PT}{f_I + f_{II}}$$

5.9 Wechselwirkung signifikant

Der Vertrauensbereich zum Niveau $1-\alpha$ berechnet sich aus

$$\frac{f_I}{\chi_{f_I, 1-\alpha/2}^2} s_E^2 \leq \sigma_E^2 \leq \frac{f_I}{\chi_{f_I, \alpha/2}^2} s_E^2$$

$$\frac{s_E^2}{w} \left(\frac{s_{PT}^2/s_E^2}{F_{f_{II}, f_I, 1-\alpha/2}} - 1 \right) \leq \sigma_{PT}^2 \leq \frac{s_E^2}{w} \left(\frac{s_{PT}^2/s_E^2}{F_{f_{II}, f_I, \alpha/2}} - 1 \right)$$

$$\frac{s_{PT}^2}{t \cdot w} \left(\frac{s_P^2/s_{PT}^2}{F_{f_{III}, f_{II}, 1-\alpha/2}} - 1 \right) \leq \sigma_P^2 \leq \frac{s_{PT}^2}{t \cdot w} \left(\frac{s_P^2/s_{PT}^2}{F_{f_{III}, f_{II}, \alpha/2}} - 1 \right)$$

$$\frac{s_{PT}^2}{p \cdot w} \left(\frac{s_T^2/s_{PT}^2}{F_{f_{IV}, f_{II}, 1-\alpha/2}} - 1 \right) \leq \sigma_T^2 \leq \frac{s_{PT}^2}{p \cdot w} \left(\frac{s_T^2/s_{PT}^2}{F_{f_{IV}, f_{II}, \alpha/2}} - 1 \right)$$

$$\frac{1}{t \cdot w} \left(\frac{f_{III}}{\chi_{f_{III}, 1-\alpha/2}^2} s_P^2 + t(w-1)s_E^2 + (t-1)s_{PT}^2 \right) \leq \sigma_P^2 + \sigma_E^2 + \sigma_{PT}^2 \leq \frac{1}{t \cdot w} \left(\frac{f_{III}}{\chi_{f_{III}, \alpha/2}^2} s_P^2 + t(w-1)s_E^2 + (t-1)s_{PT}^2 \right)$$

Mit Hilfe der Kenngrößen

$$\text{Messmittel} \quad VE := s_E^2$$

$$\text{Wechselwirkung} \quad VW := \frac{s_{PT}^2 - s_E^2}{w}$$

$$\text{Prüfer} \quad VP := \frac{s_P^2 - s_{PT}^2}{t \cdot w}$$

$$\text{Teil} \quad VT := \frac{s_T^2 - s_{PT}^2}{p \cdot w}$$

kann auf den Einfluss der einzelnen Komponenten geschlossen werden (das Produkt 5,15 · s entspricht einem Anteil von 99% der Werte bei normalverteilter Grundgesamtheit).

Streuung des Messmittels:	$EV = 5,15 \cdot \sqrt{VE}$
Streuung des Prüfers:	$AV = 5,15 \cdot \sqrt{VP}$
Streuung der Wechselwirkung:	$IA = 5,15 \cdot \sqrt{VW}$
Streuung des Teils:	$PT = 5,15 \cdot \sqrt{VT}$
Repeatability & Reproducibility:	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2 + IA^2}$

Wichtiger Hinweis: Laut Leitfaden wird mit dem Faktor 5,15 ($\pm 2,576$ Sigma entspricht normalverteilt einem Vertrauensbereich von 99%) gerechnet. Dieser Wert variiert je nach Methode. Nach MSA 4 wird mit Faktor 6 gerechnet. Ebenso sind die Grenzwerte nicht standardisiert. Eine Gegenüberstellung ist im Anhang, Abbildung 38, zu finden.

5.10 Wechselwirkung nicht signifikant

Der Vertrauensbereich zum Niveau $1-\alpha$ berechnet sich aus

$$\frac{f_I + f_{II}}{\chi^2_{f_I + f_{II}, 1-\alpha/2}} s_{add}^2 \leq \sigma_{add}^2 \leq \frac{f_I + f_{II}}{\chi^2_{f_I + f_{II}, \alpha/2}} s_{add}^2$$

$$\frac{s_{add}^2}{tw} \left(\frac{s_P^2 / s_{add}^2}{F_{f_{III}, f_I + f_{II}, 1-\alpha/2}} - 1 \right) \leq \sigma_P^2 \leq \frac{s_{add}^2}{tw} \left(\frac{s_P^2 / s_{add}^2}{F_{f_{III}, f_I + f_{II}, \alpha/2}} - 1 \right)$$

$$\frac{s_{add}^2}{pw} \left(\frac{s_T^2 / s_{add}^2}{F_{f_{IV}, f_I + f_{II}, 1-\alpha/2}} - 1 \right) \leq \sigma_T^2 \leq \frac{s_{add}^2}{pw} \left(\frac{s_T^2 / s_{add}^2}{F_{f_{IV}, f_I + f_{II}, \alpha/2}} - 1 \right)$$

$$\frac{1}{tw} \left(\frac{f_{III}}{\chi^2_{f_{III}, 1-\alpha/2}} s_P^2 + (tw - 1) s_{add}^2 \right) \leq \sigma_P^2 + \sigma_T^2 \leq \frac{1}{tw} \left(\frac{f_{III}}{\chi^2_{f_{III}, \alpha/2}} s_P^2 + (tw - 1) s_{add}^2 \right)$$

Mit Hilfe der Kenngrößen

Messmittel $VE := s_{add}^2$

Prüfer $VP := \frac{s_P^2 - s_{add}^2}{tw}$

Teil $VT := \frac{s_T^2 - s_{add}^2}{pw}$

kann auf den Einfluss der einzelnen Komponenten geschlossen werden (das Produkt $5,15 \cdot s$ entspricht einem Anteil von 99% der Werte bei normalverteilter Grundgesamtheit).

Streuung des Messmittels: $EV = 5,15 \cdot \sqrt{VE}$

Streuung des Prüfers: $AV = 5,15 \cdot \sqrt{VP}$

Streuung des Teils: $PT = 5,15 \cdot \sqrt{VT}$

Repeatability & Reproducibility: $R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2 + IA^2}$

Das Ergebnis ist dann mit dem vorgegebenen Grenzwert zu vergleichen und bei Unterschreitung ist die Fähigkeit des Messsystems nachgewiesen.

6 Ermittlung der Eignung von Messprozessen nach VDA Band 5

Ein anderer Ansatz zur Ermittlung der Prüfprozesseignung wird im VDA Band 5 [1] beschrieben. Hierbei werden die Unsicherheitsfaktoren zunächst einzeln betrachtet und dadurch der Einfluss der unterschiedlichen Faktoren deutlich. Das Verfahren beruht grundsätzlich auf der Methodik, welche im GUM [8], dem „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ beschrieben ist. Es wurde im VDA Band 5 [1] die sehr theoretische Betrachtung des GUM [8] in eine schematisierte Form gebracht, welche die praktische Anwendung erleichtert.

6.1 Vorgehensweise laut VDA Band 5

In dem Verfahren wird zwischen Messsystem und Messprozess unterschieden. Beim Messsystem werden hierbei die Unsicherheiten berücksichtigt, welche im direkten Zusammenhang mit dem Messmittel auftreten. Es ist vergleichbar der Vorgehensweise laut VDA Band 5 [1], bis einschließlich Verfahren 1. Beim Messprozess werden zusätzlich noch die Umgebungsbedingungen wie Wiederhol- und Vergleichspräzision, sowie weitere vorhandene Unsicherheiten mit einbezogen.

Zur Ermittlung der Unsicherheiten wurden 2 Methoden formuliert.

6.2 Methode A:

Die Unsicherheiten werden hier experimentell mittels Versuchsabläufen bestimmt. Anschließend können daraus die Standardunsicherheiten berechnet werden.

Im einfachsten Fall kann hier aus einer Messreihe die Standardabweichung ermittelt werden.

$$s_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

s_g Standardabweichung

x_i Urwert

\bar{x} Mittelwert

n Stichprobengröße

Dies wird anschließend in den Unsicherheitsfaktor umgerechnet.

$$u(x_i) = s_g$$

$u(x_i)$ Standardunsicherheit

Durch mehrmalige Wiederholmessungen kann der Unsicherheitsfaktor verringert werden.
($n^* > 1$)

$$u(x_i) = \frac{s_g}{\sqrt{n^*}}$$

Treten in der Versuchsreihe mehrere Einflussfaktoren gleichzeitig auf, so ist der Unsicherheitsfaktor mit der ANOVA Methode zu ermitteln.

Als Vorgehensweise ist hier eine Fähigkeitsuntersuchung nach MSA [2] mit dem ANOVA Verfahren durchzuführen.

6.3 Methode B:

Die Ermittlung der Unsicherheiten erfolgt theoretisch. Als Basis dienen hierzu zum Beispiel Angaben in Kalibrierscheinen oder Erfahrungen aus vergangenen Versuchen.

6.3.1 Methode B, erweiterte Unsicherheit bekannt:

Sofern die erweiterte Unsicherheit und der Erweiterungsfaktor (k) zum Bsp. von Herstellerangaben bekannt ist, kann die Standardunsicherheit wie folgt berechnet werden.

$$u(x_i) = \frac{U_{MP}}{k}$$

U_{MP} Erweiterte Messunsicherheit (Spannweite der möglichen Abweichungen)

k Erweiterungsfaktor

Unter Voraussetzung einer normalverteilten Wahrscheinlichkeitsdichte ergeben sich folgende k-Faktoren. Dabei entspricht k-Faktor 1 dem Bereich ± 1 Sigma.

k-Faktor	Vertrauensniveau
1	68,27%
2	95,45%
3	99,73%

Abbildung 13 – k-Faktoren [1, p. 39]

6.3.2 Methode B, erweiterte Unsicherheit nicht bekannt:

Der Unsicherheitsfaktor wird hier berechnet, indem ein Grenzwert (a) herangezogen wird. Dieser Wert entspricht der maximal zu erwartenden Abweichung. Anschließend kann dieser unter Berücksichtigung der Verteilung in den Unsicherheitsfaktor transformiert werden.

$$u(x_i) = a \cdot b$$

a Grenzwert (maximal zu erwartende Abweichung)

b Verteilungsfaktor (abhängig von der Art der erwarteten Werteverteilung)

So gilt:

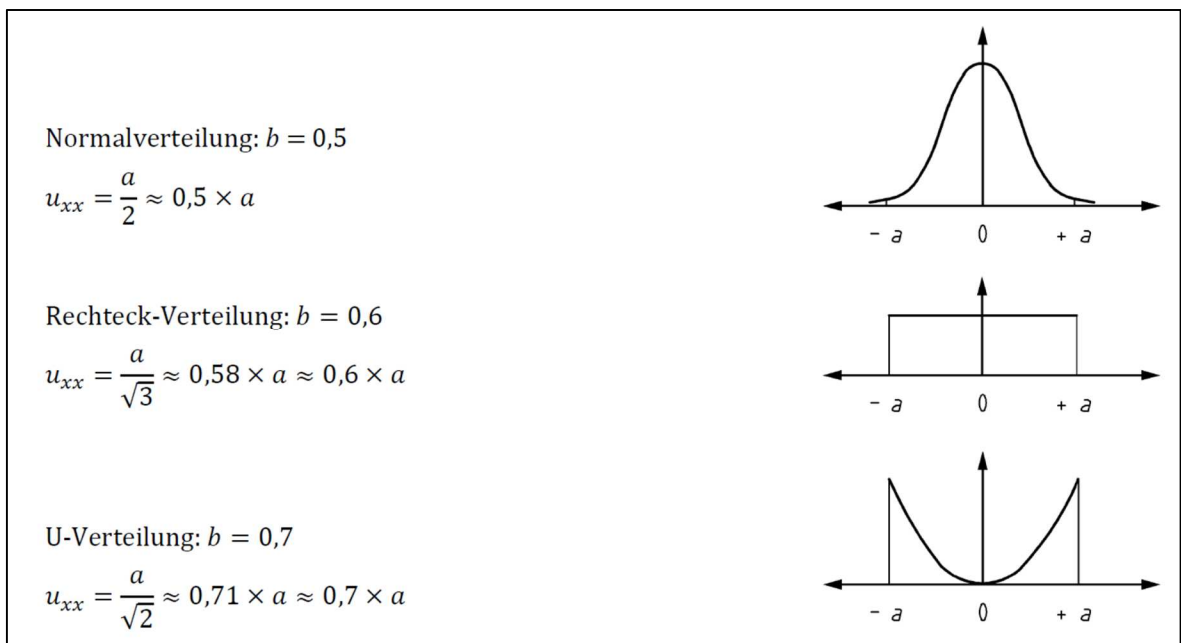


Abbildung 14 – Verteilungstypen zur Transformation [13, p. 25]

Ist die Verteilungsform nicht bekannt, sollte im Zweifelsfall der Verteilungsfaktor für die Rechteckverteilung ($b = \frac{1}{\sqrt{3}}$) verwendet werden.

Wenn möglich ist Methode A, der praktische Versuch, vorzuziehen, da es in der theoretischen Betrachtung schnell zu Fehleinschätzungen kommen kann.

Die Eignung des Messsystems wird laut folgendem Ablauf geprüft.

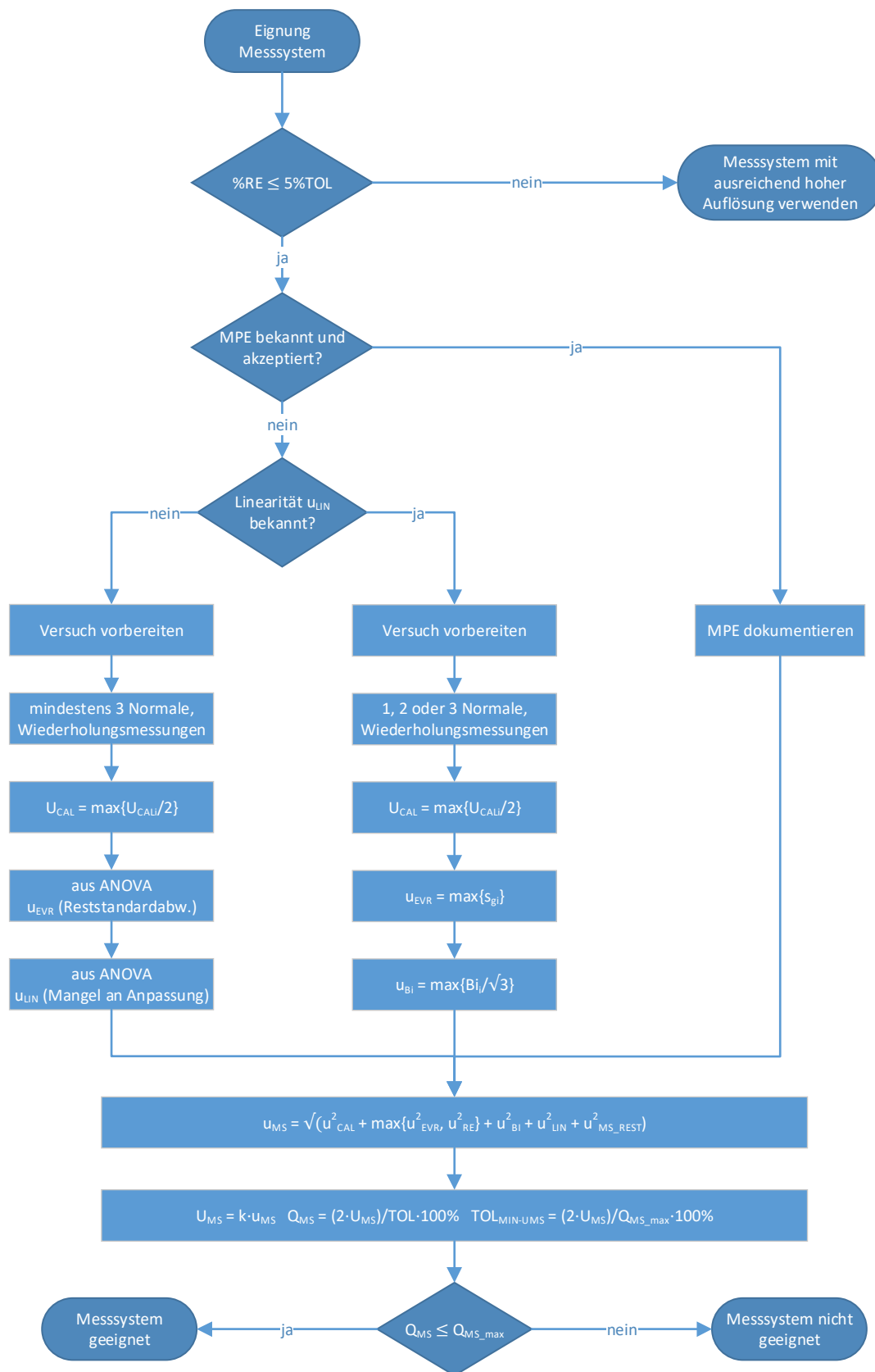


Abbildung 15 – Ablauf Eignungsnachweis Messsystem [1, p. 51]

Anschließend erfolgt die Eignung des Messprozesses.

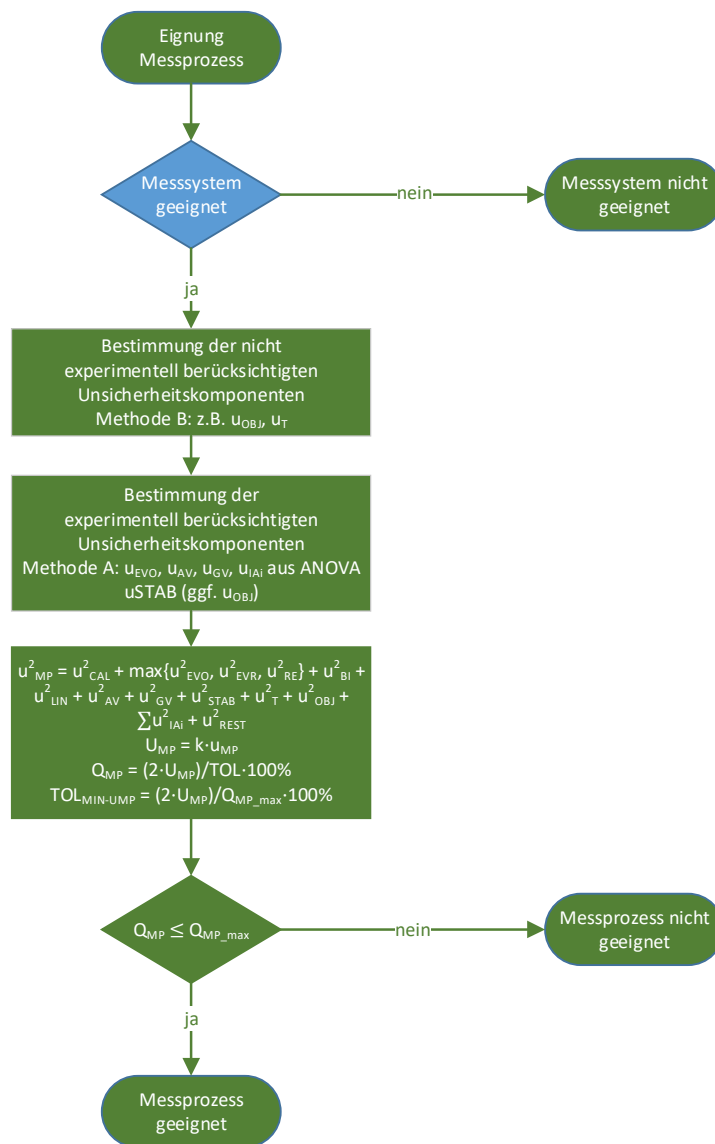


Abbildung 16 – Ablauf für die Beurteilung der Eignung von Prüfprozessen [1, p. 41]

6.4 Auflösung des Messmittels

Wie bei der Vorgehensweise laut Leitfaden [7] wird auch hier zuerst die Anforderung an die Messmittelauflösung geprüft.

$$%RE = \frac{RE}{TOL}$$

RE Auflösung des Messmittels (Resolution)

TOL Toleranz

%RE Relative Auflösung des Messmittels

Die Anforderung ist hier wieder $%RE \leq 5\%TOL$

6.5 Ermittlung der Unsicherheiten

Nachdem die Anforderung an die Auflösung geprüft wurde, kann begonnen werden, die einzelnen Standardunsicherheiten zu berechnen.

		Typische Einflussfaktoren	Standardunsicherheit	
Messsystem uMS	▪ Normal/Referenzteil	U_{CAL}	CAL	= Reference
	▪ Auflösung	U_{RE}	RE	= Resolution
	▪ systematische Messabweichung	u_{BI}	Bi	= Bias
	▪ Wiederholbarkeit Normal	u_{EVR}	EVR	= Equipment Variation Reference
	▪ Linearität	u_{LIN}	LIN	= Linearity
	▪ weitere Einflüsse Messsystem	u_{MS_REST}		= other influences measurement process
Messprozess uMP	▪ Wiederholbarkeit Prüfobjekt	u_{EVO}	EVO	= Equipment Variation Object
	▪ Objekteinfluss	u_{OBJ}	OBJ	= Object
	▪ Bedienerinfluss	u_{AV}	AV	= Appraiser Variation
	▪ Messbeständigkeit	U_{STAB}	STAB	= Stability
	▪ Temperatur	U_T	T	= Temperature
	▪ weitere Einflüsse Messprozess	u_{REST}		= other influences measurement process

Abbildung 17 – Typische Einflussfaktoren mit Standardunsicherheit [12, p. 227]

6.5.1 Unsicherheiten Messsystem

Normal/Referenzteil (CAL = Reference)

Die erweiterte Messunsicherheit (inkl. Fehlergrenze, U_{CAL} und k) eines Normals kann, wenn vorhanden, aus dem Kalibrierprotokoll entnommen werden. Dann ergibt sich, laut der Methode B (erweiterte Unsicherheit bekannt):

$$u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{k}$$

Anstelle eines k-Faktors kann auch die Überdeckungswahrscheinlichkeit angegeben sein, mit zum Bsp. $P = 95\%$, das entspricht laut Tabelle (Abbildung 13 – k-Faktoren) einem k-Faktor von 2.

Auflösung (RE = Resolution)

Die Auflösung des Messmittels entspricht der kleinstmöglichen ablesbaren Größe. Die Berechnung ist laut Methode B (erweiterte Unsicherheit nicht bekannt) durchzuführen. Es ist zu beachten, dass die Auflösung, wie in der Abbildung 14 ersichtlich, $\pm a$ und daher $2 \cdot b$ entspricht. Es wird daher mit $\frac{a}{2}$ gerechnet.

Zur Abschätzung der Standardunsicherheit wird die Rechteckverteilung verwendet ($b = \frac{1}{\sqrt{3}}$).

$$u_{RE} = a \cdot b = \frac{\text{Auflösung}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$$

a Grenzwert (maximal zu erwartende Abweichung)

b Verteilungsfaktor (siehe Abbildung 14)

Systematische Messabweichung (Bi = Bias)

Durch mindestens 25 Wiederholmessungen an einem Normal kann die systematische Messabweichung B_i (Bias) des gemessenen Wertes vom wahren Wert ermittelt werden. Alternativ können mindestens 15 an zwei oder mindestens 10 Messungen an 3 Normalen durchgeführt werden. Diese sind so zu wählen, dass das Nennmaß der Normale im Bereich von $\pm 10\%$ der oberen und unteren Toleranzgrenze liegt, bzw. bei drei Normalen das dritte $\pm 10\%$ in der Mitte der Toleranz. Es wird dann der jeweils größte Wert für die weiteren Berechnungen verwendet. Bei zwei oder drei Normalen ist dann die Linearitätsabweichung u_{LIN} bereits in u_{BI} enthalten und die getrennte Bewertung der Linearität kann entfallen ($u_{LIN} = 0$).

$$B_i = |\bar{x}_g - x_m|$$

\bar{x}_g Arithmetischer Mittelwert der gemessenen Werte

x_m Referenzwert des Normals

Zur Abschätzung der Standardunsicherheit wird die Rechteckverteilung verwendet.

$$u_{BI} = a \cdot b = B_i \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Bei Messreihen mit mehreren Normalen gilt:

$$U_{BI} = \max. \{u_{BI1}, u_{BI2}, u_{BI3}\}$$

Wiederholbarkeit am Normal (EVR – Equipment Variation Reference)

Zur Ermittlung werden mindestens 25 Messungen an einem Normal durchgeführt. Alternativ können mindestens 15 an zwei oder mindestens 10 Messungen an 3 Normalen durchgeführt werden. Diese sind so zu wählen, dass das Nennmaß der Normale im Bereich von $\pm 10\%$ der oberen und unteren Toleranzgrenze liegt, bzw. bei drei Normalen das dritte $\pm 10\%$ in der Mitte der Toleranz. Es wird dann der jeweils größte Wert für die weiteren Berechnungen verwendet. Die Auswertung wird laut Methode A durchgeführt. Die Vorgehensweise entspricht auch dem Verfahren 1 aus dem Leitfaden [7].

$$u_{EVR} = s_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Bei Messreihen mit mehreren Normalen gilt:

$$U_{EVR} = \max. \{u_{EVR1}, u_{EVR2}, u_{EVR3}\}$$

Aus diesen Daten können dann die Fähigkeitswerte C_g und C_{gk} ermittelt werden.

$$C_g = \frac{0,2 \cdot TOL}{4 \cdot S_g} \text{ und } C_{gk} = \frac{0,1 \cdot TOL - Bi}{2 \cdot S_g}$$

Als Grenzwert wird hier meist ein C_g Wert von min. 1,33 vorgegeben.

Linearität (LIN – Linearity)

Eine Variante, die Linearität zu erfassen, ist die unter „Systematische Messabweichung (Bi = Bias)“ beschriebene Methode, mit zwei oder drei Normalen. Dadurch ist die Linearitätsabweichung u_{LIN} bereits in u_{BI} enthalten und die getrennte Bewertung der Linearität kann entfallen ($u_{LIN} = 0$).

Eine weitere Möglichkeit ist eine Regressionsanalyse, auf dieses Verfahren wird hier jedoch nicht näher eingegangen.

Weitere Einflüsse Messsystem

Sollten noch weitere Einflüsse bekannt sein, welche mit einbezogen werden müssen, so sind diese mittels Methode A oder B zu ermitteln.

Auswertung Messsystem

Hat man alle relevanten Unsicherheiten ermittelt, kann die Auswertung wie folgt durchgeführt werden.

$$u^2_{MS} = u^2_{CAL} + \max\{u^2_{EVR}, u^2_{RE}\} + u^2_{BI} + u^2_{LIN} + u^2_{REST}$$

$$U_{MS} = k \cdot u_{MS}$$

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{TOL} \cdot 100\%$$

$$TOL_{MIN-UMS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{Q_{MS_{max}}} \cdot 100\%$$

U_{MS}	Erweiterte Messunsicherheit (Messsystem)
u_{MS}	Kombinierte Standardunsicherheit (Messsystem)
Q_{MS}	Eignungskennwert (Messsystem)
$TOL_{MIN-UMS}$	Minimal zulässige Messsystemtoleranz
k	Erweiterungsfaktor (siehe Abbildung 13 – k-Faktoren)

Für eine Eignung des Messsystems müssen die folgenden Forderungen erfüllt sein (Grenzwerte laut VDA Band 5 [1]):

$$Q_{MS} \leq 15\%$$

$$TOL_{MIN-UMP} \leq T$$

T Toleranz des zu bewertenden Prüfmerkmals

Alternative, MPE Wert vom Hersteller angegeben

Sofern der MPE Wert vom Hersteller des Messsystems angegeben wurde, kann dieser auch für die Berechnung von u_{MS} durch diesen Wert erfolgen. Dann gilt:

$$u_{MS} = \frac{MPE}{\sqrt{3}}$$

Bei mehreren Faktoren gilt:

$$u^2_{MS} = \frac{MPE_1^2}{3} + \frac{MPE_2^2}{3} + \dots$$

MPE Grenzwert der Messabweichung

6.5.2 Unsicherheiten Messprozess

Wiederholbarkeit Prüfobjekt (EVO – Equipment Variation Object)

Diese Unsicherheit kommt nur zum Tragen, wenn kein Bedienerinfluss vorhanden ist. Dann entspricht die Vorgehensweise dem Verfahren 3 aus dem Leitfaden [7] und wird auch nach derselben Methodik berechnet. Die Vorgehensweise kann daher aus dem vorangehenden Kapitel entnommen werden. Es gilt dann:

$$u_{EVO} = EV$$

Objekteinfluss (OBJ – Object)

Es handelt sich hierbei um die Unsicherheiten, welche durch die nicht ideale Beschaffenheit von Messobjekten verursacht werden. So sind zum Beispiel die in der Zeichnung dargestellten Geraden, in der Realität, je nach Herstellungsverfahren mehr oder weniger hügelige oder schiefe Oberflächen.

Es empfiehlt sich hier, eine Messreihe an verschiedenen Messpunkten am Teil durchzuführen, um dies zu ermitteln.

Berechnung nach Methode A (Varianz)

$$u_{OBJ} = s_g$$

Berechnung nach Methode B (Spannweite)

$$u_{OBJ} = a_{OBJ} \cdot b$$

b Verteilungsfaktor (siehe Abbildung 14)

Es ist zu beachten, dass bei Verwendung der Spannweite Folgendes für a gilt:

$$a = \frac{R}{2}$$

R Spannweite der Messreihe

Bedienereinfluss (AV – Appraiser Variation)

Der Einfluss des Bedieners wird mit dem Verfahren 2, nach ANOVA, aus dem Leitfaden [7] ermittelt. Die Vorgehensweise kann daher aus dem vorangehenden Kapitel entnommen werden. Es gilt dann:

$$u_{AV} = AV$$

Geräteeinfluss (GV – Gage Variation)

Wird erst ab zwei unterschiedlichen Geräten erforderlich. Dann kann der Einfluss des Gerätes mit dem Verfahren 1 oder 3 nach ANOVA aus dem Leitfaden [7] ermittelt werden. Die Vorgehensweise kann daher aus dem vorangehenden Kapitel entnommen werden.

Messbeständigkeit (STAB – Stability)

Bei der Stabilität handelt es sich um wiederholt wiederkehrende Bewertungen des Messprozesses. Hier wird die Unsicherheit erfasst, welche mit der Zeit im Messprozess auftritt. Als Referenz können Normale oder Rückhalteteile verwendet werden. Die Ermittlung erfolgt je nach Anforderung mit Verfahren 1, 2 oder 3 aus dem Leitfaden [7]. Die Vorgehensweise kann daher aus dem vorangehenden Kapitel entnommen werden. Es gilt dann:

Berechnung nach Methode A (Varianz)

$$u_{STAB} = s_g$$

Berechnung nach Methode B (Spannweite)

$$u_{STAB} = a \cdot b$$

a Grenzwert (maximal zu erwartende Abweichung)

b Verteilungsfaktor (Abbildung 14)

Es ist zu beachten, dass bei Verwendung der Spannweite Folgendes für a gilt:

$$a = \frac{R}{2}$$

R Spannweite der Messreihe

Wechselwirkungen (IAi – Interaction)

Bei der Ermittlung von Unsicherheiten mittels ANOVA kann die Wechselwirkung der unterschiedlichen Einflussfaktoren ermittelt werden.

Temperatur (T – Temperature)

Der Einfluss der Temperatur kann theoretisch aus Tabellen abgeschätzt, oder empirisch über Versuche ermittelt werden. Für eine Messreihe wird ein Normal erwärmt und über den Abkühlzeitraum mehrfach gemessen. Mit der daraus ermittelten Spannweite kann die Unsicherheit berechnet werden.

Berechnung nach Methode A (nach ISO 14253-2 [13])

Das Verfahren setzt voraus, dass das Messgerät über eine Temperaturkompensation verfügt. Es kommt bei Koordinatenmessgeräten zum Einsatz.

$$u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2}$$

u_{TD} Unsicherheit aus der Temperaturdifferenz

u_{TA} Unsicherheit der Temperatur

$$u_{TD} = \frac{\Delta T \cdot \alpha \cdot I}{\sqrt{3}}$$

ΔT Temperaturdifferenz

α Wärmeausdehnungskoeffizient

I gemessenes Maß

$$u_{TA} = \frac{|T - 20^\circ\text{C}| \cdot u_\alpha \cdot I}{\sqrt{3}}$$

T mittlere Temperatur bei der Messung

I gemessenes Maß

$$u_\alpha = 0,1 \cdot \alpha$$

u_α Unsicherheit des Wärmeausdehnungskoeffizienten

Berechnung nach Methode B (Spannweite)

$$u_T = a \cdot b$$

a Grenzwert (maximal zu erwartende Abweichung)

b Verteilungsfaktor (Siehe Abbildung 14)

Bei der Verwendung der Spannweite $R = 2 \cdot a$ gilt (Annahme Rechteckverteilung):

$$u_T = \frac{R}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

R Spannweite der Messreihe

Weitere Einflüsse Messsystem

Sollten noch weitere Einflüsse bekannt sein, welche mit einbezogen werden müssen, so sind diese mittels Methode A oder B zu ermitteln.

6.5.3 Auswertung Messprozess

Hat man alle relevanten Unsicherheiten ermittelt, kann die Auswertung wie folgt durchgeführt werden.

$$u_{MP}^2 = u_{CAL}^2 + \max\{u_{EVO}^2, u_{EVR}^2, u_{RE}^2\} + u_{BI}^2 + u_{LIN}^2 + u_{GV}^2 + u_{STAB}^2 + u_T^2 + u_{OBJ}^2 + \sum u_{IAi}^2 + u_{REST}^2$$

$$U_{MP} = k \cdot u_{MP}$$

$$Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{TOL} \cdot 100\%$$

$$TOL_{MIN-UMP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{Q_{MP_{max}}} \cdot 100\%$$

U_{MP} Erweiterte Messunsicherheit (Messprozess)

u_{MP} Kombinierte Standardunsicherheit (Messprozess)

Q_{MP} Eignungskennwert (Messprozess)

$TOL_{MIN-UMP}$ Minimal zulässige Messprozessstoleranz

k Erweiterungsfaktor (siehe Abbildung 13 – k-Faktoren)

Für eine Eignung des Messprozesses müssen die folgenden Forderungen erfüllt sein (Grenzwerte laut VDA Band 5 [1]):

$$Q_{MP} \leq 30\%$$

$$TOL_{MIN-UMP} \leq T$$

T Toleranz des zu bewertenden Prüfmerkmals

7 Softwarelösungen für die Berechnung

Aufgrund der verschiedenen Berechnungs- und Auswertungsmethoden wurde eine Übersicht, Abbildung 38, erstellt, in welcher die relevanten Faktoren und Unterschiede aufgelistet sind. Dabei hat sich bei der Berechnung von MSA 3 auf MSA 4 lediglich der Faktor von 5,152 auf 6 geändert, sowie die Position im Berechnungsverlauf. Das Berechnungsergebnis ist ansonsten dasselbe. Die MSA 3 wurde zum besseren Verständnis in die Tabelle mit aufgenommen, da sie in unterschiedlichen Quellen noch zu finden ist.

Die folgenden vier Varianten sollen ausgewertet und miteinander verglichen werden:

- R&R Methode ARM nach Leitfaden 2.1
- R&R Methode ARM nach MSA 4
- R&R Methode ANOVA nach Leitfaden 2.1
- R&R Methode AMOVA nach VDA Band 5 (Unsicherheiten)

Für die Berechnungen sind diverse Softwarelösungen von Q-DAS oder Minitab verfügbar. Folgende Software wird für die Berechnungen und Auswertung verwendet:

- solara.MP Version 12 / 181002 (12.0.1.5) (Win32) von Q-DAS

Es wurde mir von der Firma Q-DAS eine zeitbegrenzte Version für die Ausarbeitung dieser Diplomarbeit zur Verfügung gestellt. Ich möchte mich in diesem Zuge für die Bereitstellung der Software bedanken.

Sie ermöglicht es, die eingegebenen Messdaten mit unterschiedlichen Auswertestrategien zu berechnen und es können daher alle vier oben aufgelisteten Berechnungsmethoden angewendet werden.

Im Laufe dieser Arbeit wurden Excel Tabellen erstellt, um die Auswertungen umzusetzen. Es wurde vier Tabellen erstellt, mit denen ebenso die vier oben genannten Varianten ausgewertet werden können. Die Ergebnisse von Q-DAS und den Tabellen wurden verglichen.

8 Unsicherheiten nach DIN EN ISO 14253-2

8.1 Unsicherheitsfaktoren

Zur weiteren Ausarbeitung soll die DIN EN ISO 14253-2 – „Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen“ [13] als Basis verwendet werden. In der Norm sind die auf den Messprozess wirkenden Größen beschrieben. Es sollen hier die relevanten Größen für die spätere Ausarbeitung entnommen werden. Das Wissen um die Unsicherheiten ist, unabhängig von der Berechnungs- und Auswertemethode, ein wichtiger Aspekt bei der Definition von Messungen, um bereits vor der Auswertung einen Bezug zu den einzelnen Größen zu erhalten.

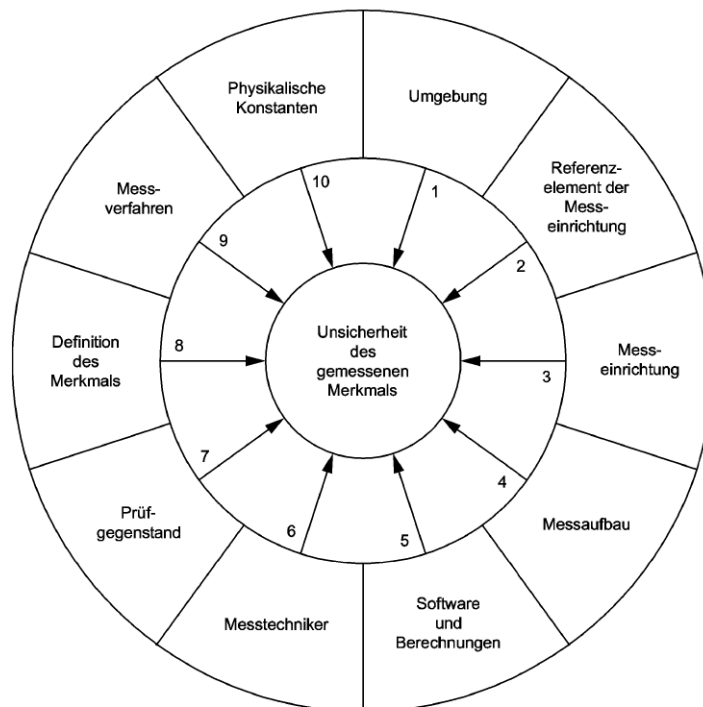


Abbildung 18 – Unsicherheitsverursacher bei Messungen [13, p. 20]

8.1.1 Umgebung

Es handelt sich um ein optisch automatisches Messmittel, welches in der Produktion Stanzen in Betrieb ist. Daher wirken folgende Einflussfaktoren auf die Messung:

- **Temperatur Umgebung**
- Vibration
- Verunreinigungen
- Beleuchtung

Von diesen Faktoren wird die Temperatur später noch genauer betrachtet, um deren Einfluss zu ermitteln. Dies gilt in Folge für alle **fett** gedruckten Unsicherheiten dieses Kapitels.

Der Einfluss der weiteren Faktoren wurde bereits durch Maßnahmen ausgeschlossen.

Das Messgerät steht in einem getrennten Raum, im Produktionsbereich der Stanzerei. Hier ist mit geringen Vibrationen zu rechnen. Diese werden dadurch ausgeglichen, dass das Gerät auf einem Item Gestell mit einer 150 kg schweren Granitplatte steht und auf Kunststoffdämpfern gelagert ist. Daher wird der Einfluss vernachlässigbar.

Die Luft im Produktionsbereich ist durch Öle und Stanzstaub verunreinigt. Daher steht das Gerät in einem getrennten Raum. Zusätzlich wird über die jährliche Wartung und die Reinigung der relevanten Gerätekomponenten, wie Glasmessstäbe und Lagerungen, die Sauberkeit sichergestellt.

Der Prüfraum verfügt über Fenster mit Ausrichtung nach Süden, welche jedoch mittels Jalousien verschlossen sind, um direkte Sonneneinstrahlung zu verhindern. Die Beleuchtung des Raumes erfolgt mittels Leuchtstoffröhren, wobei die Intensität auf die Messung keinen Einfluss hat. Dies konnte durch Messungen eines Glasmessstabes, mit und ohne Beleuchtung, bestätigt werden.

8.1.2 Referenzelement der Messeinrichtung

Hierbei handelt es sich um die geräteinternen Elemente, welche als Referenz für die Messung dienen. Aufgrund des hohen Einflusses auf das Messergebnis werden diese in der Norm getrennt zum nächsten Punkt, der restlichen Messeinrichtung, betrachtet. Die Elemente unterliegen folgenden Unsicherheiten:

- Stabilität
- Teilstrichqualität
- Längenausdehnungskoeffizient

Die dabei beschriebenen Punkte sind in dem vom Hersteller angegebenen **MPE Wert** enthalten und so für die weitere Auswertung verfügbar.

8.1.3 Messeinrichtung

Ergänzend zum Referenzelement sind hier nun die weiteren messeinrichtungsspezifischen Größen beinhaltet:

- Interpretationssystem
- Führungen
- Geometrische Unvollkommenheit
- Steifigkeit/dynamische Elastizität

- Temperaturempfindlichkeit/-stabilität

Diese Einflussfaktoren sind ebenso im MPE Wert enthalten.

8.1.4 Messaufbau

Je nach Messmethodik sind für die Messung mehr oder weniger aufwändige Aufbauten erforderlich. Für die hier betrachtete Messung trifft dies nicht zu. Eine Unsicherheit betrifft die

- Wechselwirkung zwischen Werkstück und Aufbau

Zur Messung der Teile werden diese, je nach Geometrie, entweder direkt auf die Glasplatte des Messgerätes aufgelegt oder mittels Teileaufnahmen in die korrekte Position gebracht. Der Einfluss diese Teileaufnahmen wird unter dem Thema Messverfahren behandelt.

8.1.5 Software und Berechnungen

Da die Messung optisch-automatisch erfolgt, hat die Software und Berechnung einen hohen Einfluss auf das Ergebnis. Hier sind speziell folgende Punkte zu beachten:

- **Programmierung des Messprogramms**
- **Vorgehensweise bei Ausreißern**

Diese Punkte sind eng verknüpft mit den Themen Messtechniker, Prüfgegenstand und Messverfahren. Die Programmierung des Messablaufes wird einmalig von einem Messtechniker eingerichtet und muss so erfolgen, dass die Messung ohne den Einfluss des prüfenden Produktionsmitarbeiters funktioniert. Auch bei leichten Änderungen von Form, Lage oder Oberflächenbeschaffenheit des Prüfgegenstandes muss die Messung verlässliche Ergebnisse liefern. Dabei stehen dem Messtechniker über die Software unterschiedlichste Verfahren zur Verfügung, um die Messung umzusetzen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die ausführliche Vorbereitung und Einrichtung des Messprozesses in seiner Gesamtheit die Grundvoraussetzung ist, um die Messungen produktionsbegleitend durchführen zu können. Auf dieses Thema wird daher in einem eigenen Kapitel genauer eingegangen.

8.1.6 Messtechniker

Da es sich um ein automatisches Messgerät handelt, muss hier noch zwischen der Person unterschieden werden, welche die Messung einrichtet (weitere Messtechniker genannt) und der Person, welche die Messungen in der laufenden Produktion durchführt (weitere Prüfer genannt). Unsicherheiten sind hierbei:

- **Ausbildung**

- **Erfahrung**

Hierbei sollte die Messung vom Messtechniker so gestaltet sein, dass der Prüfer keinen Einfluss (bzw. einen vernachlässigbaren) auf das Messergebnis hat. Dies betrifft sowohl die Umsetzung der Messung im Messprogramm, siehe auch Software und Berechnungen, als auch die Sicherstellung der korrekten Ausrichtung des Teils, siehe auch Messverfahren, Ausrichtung, Fixierung.

Sofern die Messvorbereitung gut umgesetzt wurde, hat der Prüfer auf die Messung einen vernachlässigbaren Einfluss. Dies wird letztlich auch dadurch erreicht, dass die Prüfer eine Einschulung zum Start einer automatischen Messung erhalten. Weitere erforderliche Informationen werden ihm über die Software selbst zur Verfügung gestellt. So wird die korrekte Positionierung und Verwendung von Aufnahmen über ein Bild visualisiert und gegebenenfalls mittels Hilfetext beschrieben. Es wird daher von einer Messung ohne Bedienerinfluss (Prüferinfluss) ausgegangen.

8.1.7 Prüfgegenstand

Folgende Eigenschaften des Messobjektes können die Messung beeinflussen:

- **Oberflächenbeschaffenheit**
- **Formabweichung**
- **Form**
- **Lage**
- Sauberkeit
- **Temperatur Teil**

Bei den ersten drei Punkten handelt es sich um die Beschaffenheit des Teils selbst und bei der Lage geht es um die Ausrichtung des Teils während der Messung. Da es sich um eine optische automatische Messung handelt, haben diese Faktoren einen bedeutenden Einfluss, welcher in der Erstellung des Messprogramms berücksichtigt werden muss.

Auch die Sauberkeit ist bei optischen Messungen ein wichtiges Thema. Bei den Prüfobjekten handelt es sich um Stanzteile, bei denen die zulässige Toleranz teilweise nur wenige hundertstel Millimeter beträgt. Die Stanzteile werden teilweise aus oberflächenveredelten Bändern hergestellt. Dabei treten in der Produktion Flitterbildungen (Abrieb) von zum Beispiel Zinn auf. Die Sauberkeit des Teils ist daher während der Messung eine Grundvoraussetzung. Die Prüfer müssen geschult sein, die Teile bei Bedarf vor der Messung mit Druckluft abzublasen, um Verunreinigungen zu entfernen.

Ebenso wie die Umgebungstemperatur wird auch der Einfluss der Teiletemperatur später noch genauer betrachtet.

8.1.8 Definition des GPS Merkmals

Es handelt sich hierbei um die genaue Definition des Merkmals auf der Spezifikation (Fertigungszeichnung). So ist das Ziel des Entwicklers mit dem Zeichnungsmaß eine Funktion sicherzustellen. Die Messbarkeit ist in diesem Moment für ihn oft nicht relevant. Einfluss auf die Messung haben dabei:

- Bezug
- Freiheitsgrade
- Toleriertes Element
- Abstand
- Winkel

Je nach Bemaßung kann man hier jedoch messtechnisch schnell an Grenzen stoßen. So wird es in der laufenden Produktion schwer umsetzbar sein, eine Messung von unzugänglichen Messpunkten zu realisieren, welche eventuell nur durch zusätzliche Vorbereitungen des Messobjektes, wie zum Beispiel Schliffbilder, möglich sind. Die theoretische Messbarkeit mit dem gewählten Messgerät wird jedoch in dieser Arbeit vorausgesetzt.

8.1.9 Messverfahren

Es treten diverse Unsicherheiten durch das verwendete Verfahren auf. Für den betrachteten Fall kommen dabei in Frage:

- **Ausrichten**
- **Fixierung**
- Wahl des Messtechnikers
- **Messverfahren**
- **Anzahl der Messpunkte**
- **Prinzip der Messpunkterfassung**

Die Prüflinge sind in den seltensten Fällen nur flache, gestanzte Teile. Meist weisen sie eine durch Biegungen geformte, mehr oder weniger aufwändige, dreidimensionale Geometrie auf. Eine korrekte Ausrichtung und Fixierung des Prüfobjektes ist in solchen Fällen daher unumgänglich.

Wie bereits unter „Software und Berechnungen“ beschrieben, sollte die Messung ohne Einfluss des Prüfers durchgeführt werden können. Voraussetzung dazu ist jedoch, dass der Messtechniker über ausreichende Schulung und Erfahrung verfügt, um den Messprozess vorab korrekt definieren zu können.

Die letzten drei Punkte werden durch die softwaretechnische Umsetzung vorgegeben. Hierzu stehen dem Messtechniker unterschiedlichste Methoden zur Verfügung. Der Prüfling kann entweder mittels Durchlicht, Auflicht oder Ringlicht beleuchtet werden. Es sind

unterschiedlichste Tools zur Erfassung, von zum Beispiel Punkten, Linien oder Kreisen vorhanden. Es wird in einem späteren Kapitel genauer darauf eingegangen.

8.1.10 Physikalische Konstanten

Um den Einfluss der Umgebungsbedingungen erfassen zu können, ist das Wissen um die physikalischen Konstanten erforderlich. Im betreffenden Fall handelt es sich um die Messung von Stanzteilen aus Kupfer, Bronze und weitere. Die Faktoren sind daher:

- **Ausdehnungskoeffizienten der Materialien**

Für die betrachtenden Teile wurden folgende Koeffizienten ausfindig gemacht:

- Unlegierter Stahl	$11,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\mu m}{K \cdot m}$
- Federstahl	$15,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\mu m}{K \cdot m}$
- Kupfer	$17 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\mu m}{K \cdot m}$
- Bronze	$18,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\mu m}{K \cdot m}$
- Messing	$18,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\mu m}{K \cdot m}$

Die angegebenen Koeffizienten beziehen sich auf die Ausdehnung je Kelvin, je Meter.

Stahl wird sich somit bei einer Temperaturerhöhung von einem Grad Kelvin auf einer Länge von 1 m um $11,5 \cdot 10^{-6}m = 11,5 \mu m$ ausdehnen.

9 Ausarbeitung der relevanten Unsicherheiten

Die relevanten Unsicherheiten für den vorliegenden Fall konnten somit für die weitere Ausarbeitung ermittelt werden. Es gilt nun diese zu bewerten und auch die Messbarkeit des Einflusses festzulegen. Bei der Bewertung geht es darum, alle erforderlichen Maßnahmen abzuleiten, um die Auswirkung auf die Unsicherheit so gering wie notwendig zu halten. Bei der Messmethode wird analysiert, mit welcher der oben beschriebenen Auswertemethoden, in Form einer Messprozessanalyse, der Einfluss gemessen werden kann.

Zur Vereinfachung werden die noch zu klärenden Faktoren zu Themengruppen zusammengefasst.

9.1 Temperatur Umgebung und Teil:

Der Einfluss der Temperatur wird nach VDA Band 5 [1] beispielhaft analysiert und mit Hilfe der bekannten physikalischen Größen berechnet. Die relevanten Materialien werden hierzu aus den Datenblättern der Prüflinge entnommen und zur Berechnung des Temperatureinflusses herangezogen.

Das Messgerät selbst verfügt über eine Temperaturkompensation. Hierzu wird die Raumtemperatur manuell eingestellt. Der MPE Wert beinhaltet dabei die Unsicherheit einer Abweichung von $\pm 0,5K$. Da sich das Gerät in einem klimatisierten Raum befindet und moderne Koordinatenmessgeräte über Glasmaßstäbe mit einem geringen Ausdehnungskoeffizienten verfügen, wird der Temperatureinfluss auf das Gerät vernachlässigt.

Der Einfluss der Teile wird beispielhaft für eine Länge von 20 mm bei einem Teil Federstahl mit dem Ausdehnungskoeffizienten von $15,5 \cdot 10^{-6}$ berechnet. Als maximal auftretende Temperatur des Bauteils wird $20^\circ C + 10^\circ K$ angenommen.

Daraus folgt folgende Berechnung:

$$u_{TD} = \frac{\Delta T \cdot \alpha \cdot l}{\sqrt{3}} \quad u_{TD} = \frac{10 \cdot 15,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,02}{\sqrt{3}} = 1,79 \cdot 10^{-6}$$

$$u_{\alpha} = 0,1 \cdot \alpha \quad u_{\alpha} = 0,1 \cdot 15,5 \cdot 10^{-6} = 1,55 \cdot 10^{-6}$$

$$u_{TA} = \frac{|T-20^\circ C| \cdot u_{\alpha} \cdot l}{\sqrt{3}} \quad u_{TA} = \frac{|30-20^\circ C| \cdot 1,55 \cdot 10^{-6} \cdot 0,02}{\sqrt{3}} = 0,179 \cdot 10^{-6}$$

$$u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2} \quad u_T = \sqrt{(1,79 \cdot 10^{-6})^2 + (0,179 \cdot 10^{-6})^2} = 1,799 \cdot 10^{-6} m = 1,799 \mu m$$

u_{TD} Unsicherheit aus der Temperaturdifferenz

u_{TA}	Unsicherheit der Temperatur
ΔT	Temperaturdifferenz
α	Wärmeausdehnungskoeffizient
T	mittlere Temperatur bei der Messung
I	gemessenes Maß

Da die Unsicherheit von 1,799 μm im Verhältnis zur Toleranz von 0,2 mm sehr klein ist, wird die Temperatur in den weiteren Auswertungen als vernachlässigbar eingestuft und nicht weiter berücksichtigt. Eine Temperaturdifferenz von 10°C ist in der Praxis nicht zu erwarten.

9.2 Messeinrichtung inkl. Referenzelement

Der MPE Wert wird vom Messmittelhersteller angegeben und ist der maximal zulässige Fehler. Er kann entweder als Absolutwert direkt betrachtet werden, oder es wird mit dem Wert die entsprechende Unsicherheitskomponente nach VDA Band 5 [1] berechnet.

Für das betrachtete Messmittel Nikon VMA 2520 wurden vom Hersteller folgende MPE Werte angegeben:

XY MPEE1: $2+8L/1000 \mu\text{m}$ – MPE bei Bewegung in einer Achsrichtung, X oder Y.

XY MPEE2: $3+8L/1000 \mu\text{m}$ – MPE bei Bewegung in zwei Achsrichtungen gleichzeitig.

Z MPEE1: $3+L/50 \mu\text{m}$ – MPE der Z Achse

Dabei ist L in mm anzugeben, das Ergebnis in μm . Folgende Tabelle soll zeigen, wie sich dies auf die Messung in Abhängigkeit der Länge auswirken kann:

MPE - Werte abhängig von der zu messenden Länge									
Länge:	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	10 mm	15 mm	20 mm	30 mm	50 mm
XY MPEE1:	2,008 μm	2,016 μm	2,032 μm	2,064 μm	2,080 μm	2,120 μm	2,160 μm	2,240 μm	2,400 μm
XY MPEE2:	3,008 μm	3,016 μm	3,032 μm	3,064 μm	3,080 μm	3,120 μm	3,160 μm	3,240 μm	3,400 μm
Z MPEE1:	3,020 μm	3,040 μm	3,080 μm	3,160 μm	3,200 μm	3,300 μm	3,400 μm	3,600 μm	4,000 μm

Abbildung 19 – MPE Nikon VMA 2520

9.3 Messaufnahmen

Sofern sich das Bauteil durch Auflegen auf die Glasplatte bereits in stabiler und klar ausgerichteter Position befindet, kann dieser Punkt entfallen. Wobei es sich auch in solchen Fällen anbietet, bei der Messung mehrerer Teile einen Hilfsrahmen zu erstellen, der die Positionierung zur Messung erleichtert.

In vielen Fällen wird jedoch aufgrund der Teilegeometrie und/oder der erforderlichen Messausrichtung eine Messaufnahme für die korrekte Fixierung und Ausrichtung der Stanzteile erforderlich sein.

Zur Auslegung der Aufnahme muss sich der Messtechniker mit den Anforderungen an die erforderlichen Messungen, laut Datenblatt, auseinandersetzen und die geeignete geometrische Ausrichtung des Teils im Raum festlegen.

Bei Electro Terminal wird hierzu in Zusammenarbeit mit einem Konstrukteur des Werkzeugbaus eine Messaufnahme entworfen und vom firmeneigenen Werkzeugbau umgesetzt. Als hilfreich erweisen sich dabei, je nach Grundmaterial des Stanzteils, Neodym Magnete. Diese sind mittlerweile in unterschiedlichsten Formen und Größen erhältlich und erzielen bereits in sehr kleinen Ausführungen hohe Magnetkräfte. Bei Verwendung von nicht magnetischen Prüflingen kann eine Fixierung mittels Kugelrasten realisiert werden.

Oft bleibt trotz Ausarbeitung einer Aufnahme eine Unsicherheit in der Ausrichtung, welche bewertet werden sollte. Eine messtechnische Bewertung kann hier mittels Gage R&R erfolgen, indem, anstelle der unterschiedlichen Bediener, unterschiedliche Teileaufnahmen oder Positionen in einer Teileaufnahme verglichen werden.

9.4 Programmierung Messablauf

Die folgenden Unsicherheiten sind während der Programmierung des Messablaufes zu berücksichtigen:

Software und Berechnungen	- Vorgehensweise bei Ausreißern
Messtechniker	- Ausbildung Messtechniker - Erfahrung Messtechniker
Prüfgegenstand	- Oberflächenbeschaffenheit - Formabweichung - Form - Lage
Messverfahren	- Ausrichten - Fixierung - Messverfahren - Anzahl der Messpunkte - Prinzip der Messpunkterfassung

Es zeigt sich, dass viele Einflussfaktoren vorhanden sind, welche alle während der Einrichtung der automatischen Messung zu beachten sind. Daher wird im nächsten Schritt die Vorgehensweise bei der Einrichtung des Messprogramms beschrieben.

9.4.1 Vorbereitung zur Messung

Die erforderlichen geometrischen Ausrichtungen des Teils sollten bekannt und wenn erforderlich eine Messaufnahme vorhanden sein. Das Teil wird auf einer definierten Position platziert. Bei Verwendung einer Aufnahme ist ein Anschlag ratsam. Sollte das Teil direkt auf der Glasplatte aufgelegt werden, ist eine nachvollziehbare Position zu wählen, zum Beispiel mit einem Lineal, welches auf der Messplatte fixiert ist. Dabei ist zu beachten, dass das Teil möglichst exakt geometrisch ausgerichtet ist.

Weiters werden zur Nachverfolgung im Programm ein Index für das Messgerät, einer für das Messprogramm und einer für den Zeichnungsindex erstellt. Diese werden später mit den Messwerten in der Messdatei abgelegt. Somit ist die Nachverfolgbarkeit der Messung sichergestellt. Da drei gleiche Maschinen im Haus in Verwendung sind, ist der Maschinenindex erforderlich. Da der Messablauf einen entscheidenden Einfluss auf die Messung hat, wurde der Programmindex eingeführt. Der Zeichnungsindex dient dazu, den Bezug der im Programm gespeicherten Prüfmaße und Toleranzen mit der Fertigungszeichnung herzustellen.

9.4.2 Benutzeroberfläche der Software

Zur Programmierung der Messprogramme wird die Software VMA Automeasure verwendet. Die Benutzeroberfläche ist folgendermaßen aufgebaut:

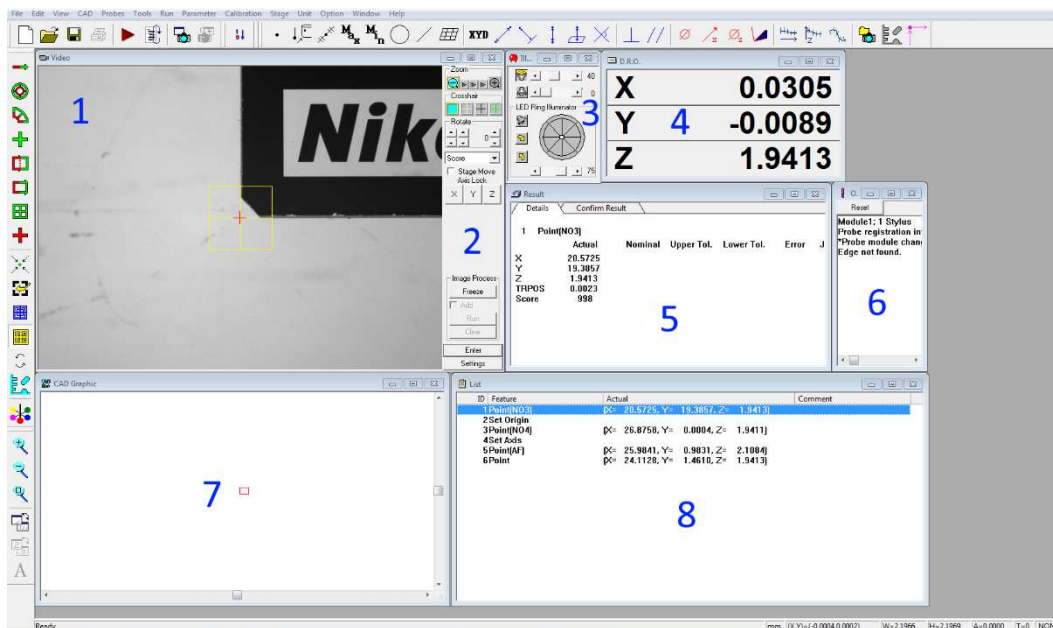


Abbildung 20 – Software VMA Automeasure

- 1- Live Bild
- 2- Einstellungen inkl. Fokusstufe
- 3- Beleuchtung
- 4- Aktuelle Koordinatenposition im Raum
- 5- Auswertung

- 6- Information
- 7- CAD Darstellung der Messpunkte und Geometrien.
- 8- Messprogramm

9.4.3 Geometrische Grobausrichtung des Teils

Als nächster Schritt ist die Ausrichtung des Teils in der Software erforderlich, da die Messung zukünftig automatisch verlaufen soll und so das Koordinatensystem in der Software auch exakt auf das Teil ausgerichtet sein muss.

9.4.3.1 Koordinatenwerkzeuge

Zum besseren Verständnis werden weiters die erforderlichen Werkzeuge beschrieben.



Abbildung 21 – Werkzeuge Koordinatensystem



Lernpunkt – definiert einen Punkt im Sichtfenster

Mit diesem Werkzeug kann ein Bereich des Bildes eingelernt werden, den die Software im automatischen Programmablauf wiederfinden soll. Hierzu kann die Übereinstimmung mit dem eingelernten Bild vorgegeben werden.

Die Ausgabe ist ein Messpunkt, in Z-Position der aktuellen Höhe.



Suchpunkt – findet einen Punkt im Sichtfenster

Dieses Werkzeug ermöglicht zuvor eingelernte (Lernpunkt) Punkte wiederzufinden und ermöglicht so die automatische Messung, sofern sich der eingelernte Punkt im Sichtfenster befindet.

Die Ausgabe ist ein Messpunkt, in Z-Position der aktuellen Höhe.



Nullpunkt – legt den Koordinatennullpunkt in X/Y-Richtung fest

Mit dieser Funktion wird einem zuvor eingelernten oder gemessenen Punkt der Koordinatennullpunkt in der Software zugewiesen. Dieser gilt für X/Y-Ausrichtung, jedoch nicht für Z.

Die Funktion ist die Zuweisung eines Punktes zum Koordinatennullpunkt X/Y.



Achse – legt die Koordinatenachse in X/Y- oder Z-Richtung fest

Aus einer zuvor eingelernten oder gemessenen Linie (oder zwei Punkten) wird eine Koordinatenachse, welche durch den Nullpunkt (X/Y) geht, definiert. Dabei ist bei zurückgesetztem Koordinatensystem die Ebene normal zur Y-Achse ausgerichtet.

Die Funktion ist die Zuweisung eine Koordinatenachse in X-, Y- oder Z-Richtung.



Z-Nullpunkt – legt den Koordinatennullpunkt in Z-Richtung fest

Dieser Funktion kann ein beliebiger Punkt mit Höheninformation zugewiesen werden, um den Z-Nullpunkt des Koordinatensystems festzulegen. Dies wird im Normalfall ein Höhenmesspunkt sein.

Die Funktion ist die Zuweisung eines Punktes zum Koordinatennullpunkt Z.

9.4.3.2 Beleuchtung

Da es sich um ein optisches Messmittel handelt, sind unterschiedliche Arten der Beleuchtung verfügbar. Diese haben großen Einfluss auf die Messergebnisse.

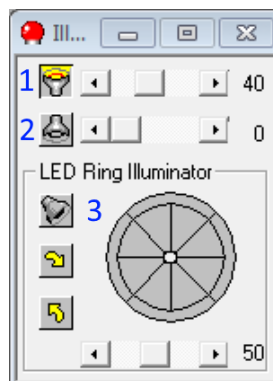


Abbildung 22 – Beleuchtung



1 - Durchlicht – Beleuchtung von unten

Diese Beleuchtung sorgt für ein Schattenbild, welches, je nach Teilegeometrie, gute Kontraste für zuverlässige Messungen bietet. Das ist die am häufigsten benötigte Beleuchtung. Die Leuchtintensität lässt sich in 100 Stufen einstellen.



2 - Auflicht – Beleuchtung von oben

Die Beleuchtung mit Auflicht kann bei Messung von runden Objekten zu einer besseren Kantenkennung verhelfen als, als jene mittels Durchlicht. Beim Durchlicht kann es zu

Spiegelungen kommen, welche die tatsächliche Kante optisch verschieben. Die Leuchtintensität lässt sich in 100 Stufen einstellen.



3 - Ringlicht – Beleuchtung von der Seite

Das Gerät verfügt über eine 8-Segment Ringbeleuchtung. Diese ist für einige Messaufgaben hilfreich, um Kontraste optisch besser auszuleuchten und so ein verlässlicheres Messergebnis zu erhalten. Die Leuchtintensität lässt sich in 100 Stufen einstellen.

Die korrekte Wahl der Beleuchtung ist entscheidend für eine zuverlässige Messung. Es sollte daher im Zweifelsfall mittels unterschiedlicher Beleuchtungsvarianten geprüft werden, ob die Werte zuverlässig sind. Eine einfache Möglichkeit stellt eine wiederkehrende Messung mit veränderter Beleuchtungsstärke von einem Punkt dar. Ändert sich der Messwert deutlich, so ist die Beleuchtung zu überdenken. Gibt es kaum eine Änderung, kann von einer korrekt gewählten Beleuchtung ausgegangen werden. Bei der Art der Beleuchtung gilt es zudem die möglichen Varianzen am Prüfobjekt zu beachten. So ist grundsätzlich eine Messung mittels Durchlicht (Schattenbild) zu bevorzugen, da diese für die Software am sichersten auswertbar ist. Bei Messungen mit Auflicht kann es bei Änderungen der Oberflächenbeschaffenheit oder Reflektionen zu Fehlmessungen kommen.

9.4.3.3 Umsetzung der Grobausrichtung

Mit den beschriebenen Werkzeugen kann nun die Grobausrichtung erfolgen. Hierzu wird zunächst ein charakteristischer Punkt am Teil gewählt und mit der Lernpunktfunktion eingelernt. Dieser kann im späteren Ablauf mit der Suchfunktion wiedererkannt werden. Dadurch ist es ausreichend, das Teil für zukünftige Messungen nur noch in den Sichtbereich zu legen. Die Software findet die Ausrichtung später automatisch. Die Suchfunktion arbeitet dabei mit einem Bildvergleich und wird als Punkt in der Software ausgewertet. Dieser Punkt ist aufgrund seiner Ungenauigkeit für Messzwecke nicht geeignet, jedoch für die grobe Ausrichtung ausreichend.

Der Suchpunkt wird anschließend im Koordinatensystem zum Nullpunkt gemacht, um den weiteren Schritt relativ zum ersten gefundenen Punkt umzusetzen. Dies ist speziell bei größeren Objekten hilfreich, da es sonst wahrscheinlicher vorkommen kann, dass zwar der erste Suchpunkt im Sichtbereich ist, der zweite jedoch nicht.

Zur weiteren Ausrichtung ist noch ein zweiter charakteristischer Punkt erforderlich, um am Teil eine Koordinatenachse ausrichten zu können. Dieser wird ebenso als Suchpunkt eingelernt. Nun kann mit den zwei Suchpunkten eine Achse ausgerichtet werden. Dies wird je nach Lage und Geometrie des Teils die X- oder Y-Achse sein. Nach Definition von Nullpunkt (X, Y) und Achse ist anschließend in einem weiteren Schritt noch ein Nullpunkt für die Z-Achse einzurichten. Neben der Ausrichtung in X- und Y-Richtung ist die Z-Ausrichtung erforderlich, damit bei den Messungen am Teil die entsprechenden

Messpunkte fokussiert sind und das Bild während der Messung nicht unscharf wird. Hier wird ein Fokuspunkt eingelernt (mindestens Fokusstufe 3) und als Z-Nullpunkt zugewiesen.

Somit ist ein Nullpunkt im Raum definiert, sowie eine Achsausrichtung erfolgt, und das Teil ist damit grob im Koordinatensystem der Software ausgerichtet.

9.4.4 Geometrische Feinausrichtung des Teils

Für die eigentlichen Messungen ist die Grobausrichtung des Teils nicht ausreichend, es ist eine nachfolgende Feinausrichtung erforderlich. Dazu werden nochmals ein Nullpunkt und eine Achse gesetzt. Diesmal jedoch nicht mit Suchpunkten, sondern mit am Teil gemessenen Punkten.

Sofern erforderlich, ist es auch möglich eine ganze Z-Ebene zu definieren. Die Messungen können dadurch nicht nur über zwei Richtungen (X/Y, X/Z, Y/Z), sondern im Raum erfolgen (X/Y/Z).

9.4.5 Erfassung der Messwerte

Die Software hat nun ein virtuelles Koordinatensystem über das Teil gelegt und es kann mit der eigentlichen Messung begonnen werden. Die Vorbereitungen stellen sicher, dass das Programm beim automatischen Messen auch die korrekten Messpunkte relativ zur Position des Teils im Raum erfassen kann und somit auch bei leicht unterschiedlicher Lage der Teile immer dieselben Messpunkte erfasst werden.

9.4.5.1 Messwerkzeuge

Hierzu stehen dem Messtechniker unterschiedlichste Werkzeuge und Beleuchtungsvarianten zur Verfügung.



Abbildung 23 – Messwerkzeuge



Basis Werkzeug – ein Messpunkt

Mit dem Werkzeug wird ein Punkt am Übergang von dunkel auf hell (Kantenkennung) erfasst. Dies eignet sich für die manuelle Messung, für die automatische wird das nächste Tool empfohlen.

Die Ausgabe ist ein Messpunkt, in Z-Position der aktuellen Höhe.



Durchschnittswerkzeug – ein Messpunkt in einem Bereich

Bei diesem Werkzeug wird ebenso ein Punkt gemessen, jedoch wird dafür der Mittelwert eines Bereiches herangezogen. Dieses Tool ist für automatische Messungen zu bevorzugen, da es kleine Verunreinigungen im Messbereich ausgleicht und so zu einer exakteren Messung führt.

Die Ausgabe ist ein Messpunkt, in Z-Position der aktuellen Höhe.



Linienwerkzeug – definierte Anzahl von Messpunkten auf einer Linie

Für diese Werkzeuge kann die Anzahl der Messpunkte für die Berechnung der Linie manuell festgelegt werden. Die Messung erfolgt je Messpunkt wie bei dem Durchschnittswerkzeug. Es können noch zusätzliche Filter in der Messung hinterlegt werden, um Ausreißer nicht in die Berechnung der Linie mit einzubeziehen.

Die Ausgabe ist eine Linie in Z-Position der aktuellen Höhe, bzw. entlang der aktuell definierten Z-Ebene.



Kreiswerkzeug – definierte Anzahl von Messpunkten im Kreis



Bogenwerkzeug – definierte Anzahl von Messpunkten im Kreisbogen

Für diese Werkzeuge kann die Anzahl der Messpunkte für die Berechnung des Kreises, bzw. Kreisbogens, manuell festgelegt werden. Die Messung erfolgt je Messpunkt, wie bei dem Durchschnittswerkzeug. Auch hier können noch zusätzliche Filter in der Messung hinterlegt werden, um Ausreißer nicht in die Berechnung mit einzubeziehen.

Die Ausgabe ist in beiden Fällen ein Kreis mit Kreismittelpunkt in Z-Position der aktuellen Höhe, bzw. in selber Ebene wie die aktuell definierte Z-Ebene.



Fokuswerkzeug – ein Messpunkt im Bereich

Mit diesem Werkzeug kann die Höhe eines Punktes gemessen werden. Es stehen weitere Optionen, wie Kanten oder Oberflächenkennung, zur Auswahl.

Wenn erforderlich kann das Fokuswerkzeug in einem Software-Messpunkt mit einem anderen Messpunktwerkzeug kombiniert werden, um so einen gemessenen X/Y/Z-Punkt im Raum zu messen. Hierzu wird in einem Software-Messpunkt erst mittels Fokuswerkzeug die Höhe gemessen und anschließend im selben Software-Messpunkt die X/Y-Position.

Die Ausgabe ist ein Höhenpunkt an der aktuellen X/Y-Position.



Manuelle Messung – ein Messpunkt

Dieses Werkzeug ermöglicht die manuelle Messung eines beliebigen X/Y-Punktes im Sichtfeld. Dabei bedeutet manuell nicht, dass der Punkt für automatische Messungen entfällt. Es kann durchaus vorkommen, dass ein erforderlicher Messpunkt von der Software mit den automatischen Kantenkennungen nicht, oder nicht zuverlässig erkannt werden kann. Dann bietet sich an, dieses Werkzeug auch im automatischen Messablauf einzusetzen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der Prüfer ausreichend geschult ist, um den manuellen Messpunkt am Teil korrekt zu setzen. Hier fällt der Vorteil der automatischen Erfassung weg, bei der am Teil immer am selben Punkt mit derselben Bewertung gemessen wird.

Die Ausgabe ist ein Messpunkt, in Z-Position der aktuellen Höhe.

Mit diesen Werkzeugen können nun alle relevanten Messpunkte am Teil für die weitere Auswertung erfasst werden.

9.4.5.2 Geometrische Hilfswerkzeuge

Diese Werkzeuge dienen dazu, bereits erfasste Messpunkte in geometrische Formen umzuwandeln. Dies ist häufig erforderlich, um zum Beispiel aus zwei gemessenen Punkten eine Linie für die weitere Auswertung zu erzeugen.



Abbildung 24 – Geometrische Hilfswerkzeuge



Punkt

Fasst mehrere Messpunkte zu einem Punkt zusammen. Ermöglicht so auch einen gemessenen X/Y/Z-Punkt umzusetzen.

Die Ausgabe ist ein Punkt in X/Y/Z-Position.



Mittelpunkt

Fasst zwei Punkte zu einem Mittelpunkt zusammen.

Die Ausgabe ist ein Punkt in X/Y/Z-Position.



Maximalpunkt



Minimalpunkt

Diese Funktion kann aus mehreren Punkten den Maximal- oder Minimalpunkt in X-, Y- oder Z-Richtung erfassen und so für die weitere Auswertung bereitstellen.

Die Ausgabe ist ein Punkt in X/Y/Z-Position.



Kreis

Aus mindestens drei Punkten kann ein Kreis generiert werden.

Die Ausgabe ist ein Kreis mit Kreismittelpunkt X/Y/Z.



Linie

Aus mindestens zwei Punkten kann eine Linie generiert werden.

Die Ausgabe ist eine Mittellinie entlang der gewählten Punkte.



Ebene

Aus mindestens drei Punkten kann eine Ebene generiert werden.

Die Ausgabe ist eine mittlere Ebene entlang der gewählten Punkte mit Neigung in X/Z- und Y/Z-Richtung.

9.4.5.3 Werkzeuge zur Auswertung

Nachdem nun geometrische Größen zur Verfügung stehen, können aus diesen die eigentlichen Messwerte generiert werden. In den meisten Fällen beinhalten die gemessenen Geometrien noch nicht erforderliche Information. Ausnahme bildet hier zum Beispiel der Kreis, aus dem direkt der Durchmesser entnommen werden kann, oder ein Messpunkt im Raum, dessen Abstand zu den Koordinatenachsen bereits im Messpunkt verfügbar ist, sofern dies dem gesuchten Messwert entspricht. Die wichtigsten Auswertewerkzeuge werden in Folge beschrieben.



Abbildung 25 – Werkzeuge zur Auswertung



Punkt zu Punkt

Der Abstand zwischen zwei Punkten in der aktuell gewählten Projektionsebene wird ermittelt (nicht im Raum). Je nach gewählter Projektionsebene können hier auch die Abstände in Achsrichtung ausgewertet werden. So kann vor der Auswertung zwischen X/Y-, X/Z- und Y/Z-Ebene gewählt werden und die Auswertung erfolgt dann in dieser projizierten Ebene.

Beispiel: Es wurden zwei Messpunkte am Teil erfasst. Diese befinden sich aber in unterschiedlichen Z-Positionen im Raum. Ist die Standard Bezugsebene X/Y gewählt, so wird ein, mit diesem Werkzeug ausgewerteter Abstand, nicht der Abstand zwischen den Punkten im Raum sein, sondern der auf die X/Y-Ebene projizierte. Die Z-Information wird in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Die Ausgabe ist der Abstand zwischen den Punkten, sowie deren Abstände in Achsrichtungen der gewählten Projektionsebene (Standard X/Y).



Punkt zu Linie

Hier wird der Abstand des Punktes Normal zur Linie generiert. Es handelt sich auch hier wieder um den projizierten Abstand, und nicht um den räumlichen (siehe Punkt zu Punkt).

Das Werkzeug hat noch eine zweite Funktion. So erzeugt es den Normal-Punkt auf der Geraden und kann damit für weitere Auswertungen, gleich wie bei einem Hilfswerkzeug, verwendet werden.

Die Ausgabe ist der Normalabstand des Punktes zur Linie und der Punkt auf der Geraden.



Punkt zu Ebene

Mit dieser Funktion kann der Normalabstand eines Punktes zu einer Ebene berechnet werden.

Auch dieses Werkzeug hat, äquivalent zum Punkt zu Linie Tool, auch noch eine zweite Funktion. Es erzeugt den Normal-Punkt auf der Ebene und kann ebenso für weitere Auswertungen verwendet werden.

Die Ausgabe ist der räumliche Normalabstand des Punktes zur Linie und der Punkt auf der Ebene.



Höhe Punkt zu Punkt

Bei dieser Auswertung wird lediglich die Höheninformation von Punkten berücksichtigt und ausgegeben.

Die Ausgabe ist der Abstand der zwei Punkte in Z-Richtung.



Linie zu Linie

Mit diesem Tool kann sowohl der Schnittpunkt als auch der Winkel zwischen den Geraden ermittelt werden. Es handelt sich dabei um die projizierten Linien, nicht die räumlichen (siehe Punkt zu Punkt). Der Schnittpunkt kann für weitere Auswertungen verwendet werden.

Die Ausgabe ist der Winkel zwischen den Geraden und dem Schnittpunkt.

9.4.6 Beispiel Einrichtung Messablauf

Da die korrekte Einrichtung die Basis einer verlässlichen automatischen Messung ist, soll der Ablauf am Beispiel einer Kalibrier-Glasmessplatte beschrieben werden. Folgender Ablauf entspricht der Grob- und Feinausrichtung der Glasmessplatte mit Indizes zur späteren Rückverfolgung.

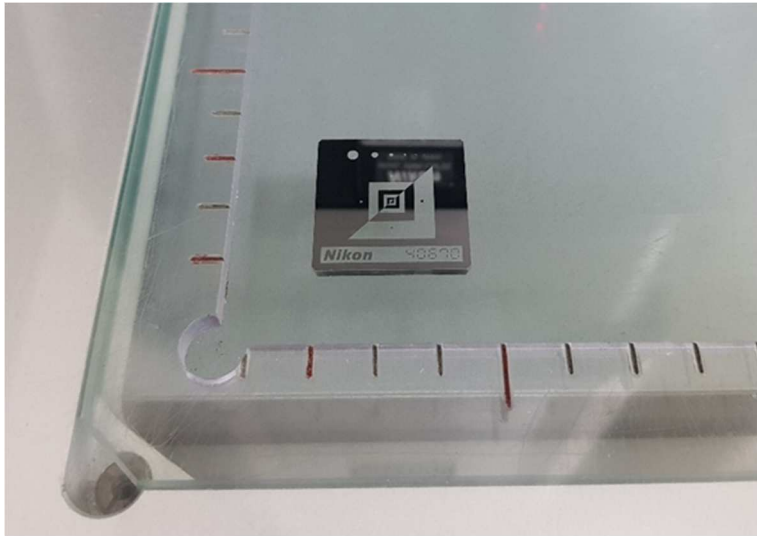
ID	Feature	Actual	Comment
1	Calcu.[1]	{VAL= 1.0000}	'Anlage_Index
2	Calcu.[2]	{VAL= 2.0000}	'Programm_Index
3	Calcu.[3]	{VAL= 3.0000}	'Zeichnungs_Index
4	Point{NO3}	{X= 20.5725, Y= 19.3857, Z= 1.9416}	
5	Set Origin		
6	Point{NO4}	{X= 26.8759, Y= -0.0005, Z= 1.9412}	
7	Set Axis		
8	Point{AF}	{X= 25.9841, Y= 0.9830, Z= 2.1007}	
9	Set Origin{Z}{Z}		
10	Point	{X= 24.1343, Y= 1.4640, Z= 0.0004}	
11	Point	{X= 2.7017, Y= 1.4281, Z= 0.0004}	
12	Point	{X= 1.4791, Y= 2.8742, Z= 0.0004}	
13	Line	{N1= -179.9041}	
14	Set Axis		
15	Distance(Point to Line)	{X= 1.4839, Y= -0.0000, L= 1.4482}	
16	Set Origin		

Abbildung 26 – Ablaufprogramm der Achsausrichtung

Punkte 1 bis 3 – Indizes:

Diese Punkte dienen dazu, mit den Messwerten auch die Werte für die verwendete Anlage, den Programmindex und den gültigen Zeichnungsindex auszugeben. Hierzu wird die Funktion „Calculation“ verwendet, welche grundsätzlich darauf ausgelegt ist, diverse Berechnungen von Messpunkten durchführen zu können. In diesem Fall wird keine Berechnung ausgeführt, sondern lediglich die erforderliche Zahl zugewiesen.

Die Glasmessplatte wird zur Messung am Raster auf der Glasscheibe des Messgerätes folgendermaßen positioniert:

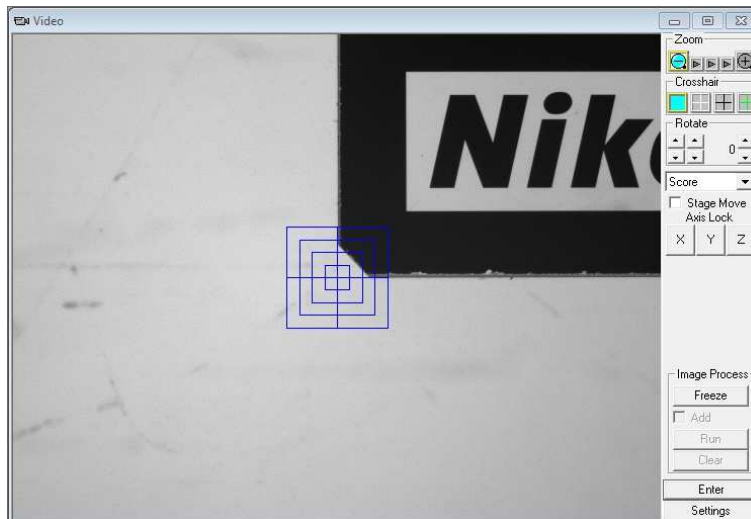


Punkte 4 bis 9 – Grobausrichtung:

Es wird ein charakteristischer Punkt ausgewählt, welcher als Referenzpunkt des Koordinatensystems dienen soll. Dabei wird die minimale Zoomstufe gewählt, um das Teil auch bei größeren Positionsabweichungen im Fenster finden zu können.

Empfehlenswert ist es, den Nullpunkt am Teil links unten zu setzen, sofern dies aufgrund der Geometrie auch möglich ist. Dies wird auch im Beispiel so umgesetzt.

Punkt 4 – 1. Suchpunkt einlernen, bzw. im Programmablauf Punkt wiederfinden:



Der mit dem Messwerkzeug markierte Bereich wird als Referenz eingelernt und kann im automatischen Modus von der Software selbstständig wiedererkannt werden. Bei Bedarf kann die Wiedererkennungsgenauigkeit angepasst werden. Dazu ist es möglich, den Grenzwert der Übereinstimmung von Suchbild zu gefundenem Muster für eine positive Punktfindung zu definieren.

Dabei führt ein hoher Grenzwert eventuell dazu, dass der Suchpunkt am Teil nicht mehr gefunden werden kann, wenn sich der als Referenzbild eingelernte Bereich im Laufe der Zeit durch Produktionsschwankungen etwas verändert hat. Die Folge wäre, dass keine automatische Messung möglich ist.

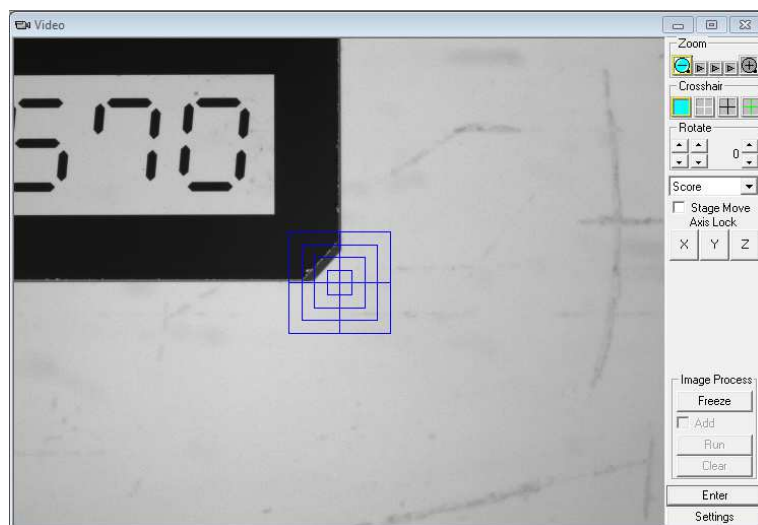
Andererseits kann eine zu großzügige Definition des Grenzwertes dazu führen, dass im automatischen Ablauf ein falscher Punkt gefunden wird und es dadurch zu Fehlmessungen kommt.

Punkt 5 – Koordinaten Nullpunkt setzen:

Da zur Definition einer Achse zwei Punkte benötigt werden und der zweite Punkt ebenso am Teil als Suchpunkt gefunden werden soll, wird in diesem Schritt der erste Punkt als Nullpunkt definiert. Damit wird der zweite Suchpunkt am Teil nun relativ zum ersten gesucht. Dies trägt zur verlässlichen Positionskennung im automatischen Ablauf bei.

Zur neuen Definition des Nullpunktes im Programmablauf wird das Tool Nullpunkt und anschließend der erste Suchpunkt gewählt. Damit ist der Suchpunkt als neuer Nullpunkt zugewiesen.

Punkt 6 – 2. Suchpunkt einlernen bzw. im Programmablauf Punkt wiederfinden:

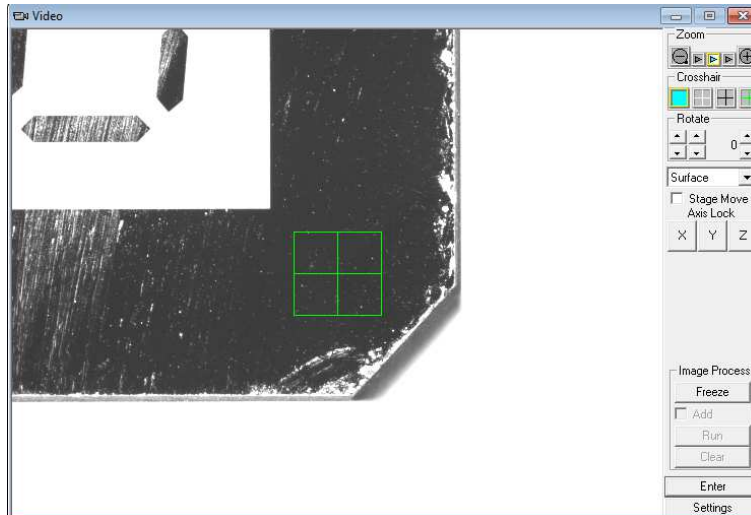


Gleich wie beim ersten Suchpunkt soll am Teil ein zweiter charakteristischer Punkt gesucht werden, um im anschließenden Schritt eine Achsausrichtung zu ermöglichen.

Punkt 7 – Koordinatenachse zuweisen:

Die zwei vorher eingelernten, bzw. im Programmablauf wiedergefundenen, Punkte können nun einer Achse zugewiesen werden.

Punkt 8 – Z-Punkt erfassen:



Mit dem Fokuswerkzeug wird in der mittleren Zoomstufe ein Höhenpunkt gemessen. Das Tool wird dabei auf Messung „Oberfläche“ eingestellt. Alternativ stehen auch andere Funktionen, wie zum Beispiel die Kontrastkennung, zur Verfügung. Für diese Messung ist die Einstellung Oberfläche erforderlich. Das Prinzip basiert darauf, dass das Gerät einen gewissen Höhenbereich abfährt (Bewegung in Z-Achse) und die Software analysiert, auf welcher Höhe im gewählten Bereich die meisten Bildinformationen vorhanden sind (scharf fokussiertes Bild).

Punkt 9 – Z-Koordinaten Nullpunkt setzen:

Der gemessene Höhenpunkt wird mittels Koordinatentool Z-Nullpunkt zur neuen Referenz in Z-Achsrichtung. Dadurch wird die aktuelle Ebene (Standard X-Y Ebene, ohne Neigung) auf die Höhe des gemessenen Punktes verschoben.

Grobausrichtung abgeschlossen:

Es wurde ein Nullpunkt und eine Achse am Teil ausgerichtet und das Programm verfügt über die erforderliche Information, um das Teil im Raum wiederzufinden. Da diese Ausrichtung mittels Suchpunkten erfolgt ist, handelt es sich jedoch nur um eine „grobe“ Ausrichtung, welche für Messzwecke nicht geeignet ist. Daher erfolgt im nächsten Schritt die Feinausrichtung.

Punkte 10 bis 16 – Feinausrichtung:

Die Vorgehensweise wird mit genauen Messpunkten wiederholt, um eine exakte Ausrichtung zu ermöglichen.

Punkte 10 – 12 Referenzpunkte messen:

Die Messpunkte sollten so gewählt werden, dass eine gute Kantenerkennung und dadurch eine exakte Messung möglich, und an zukünftigen Teilen reproduzierbar ist. Für die Ausrichtung des Koordinatensystems wurden hier die folgenden drei Messpunkte gewählt:

Punkt 10

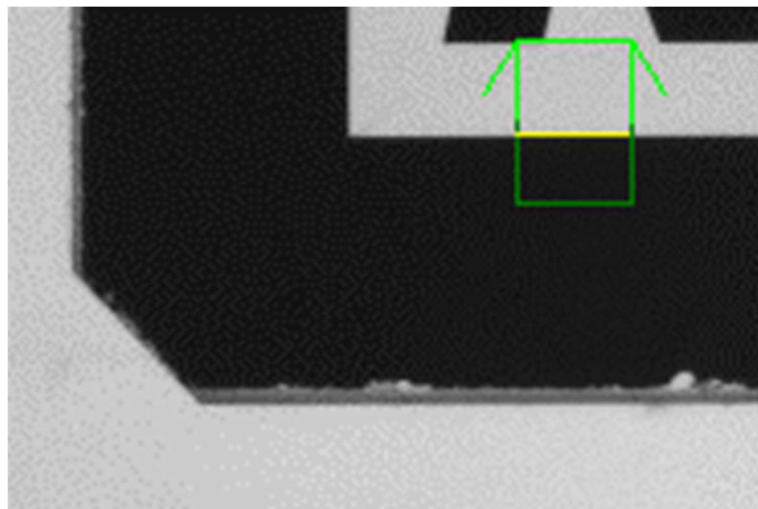
Punkt 11

Punkt 12



Als Tool für Messpunkte wird hierzu standardmäßig mit dem Durchschnittswerkzeug gemessen, da es durch die Messung in einem Bereich eventuelle optische Verunreinigungen nicht als Messpunkte wertet und so eine zuverlässige Kantenerkennung ermöglicht.

Die Vergrößerung zeigt, weshalb die Punkte für eine Messung gewählt wurden. Bei den Außenkonturen der Glasmessplatte ist keine klare Kante vorhanden, während die gewählte Kontur einen exakt scharfen Rand besitzt. Die gelbe Linie im Bild entspricht dem gemessenen „Punkt“.



Punkt 13 – Linie zuweisen:

In diesem Schritt werden die ersten zwei Punkte einer Linie zugewiesen und können damit als Linie für weitere Auswertungen verwendet werden.

Punkt 14 – Achse zuweisen:

Nun kann die Linie (oder alternativ die zwei ersten Punkte) der X-Achse zugewiesen werden.

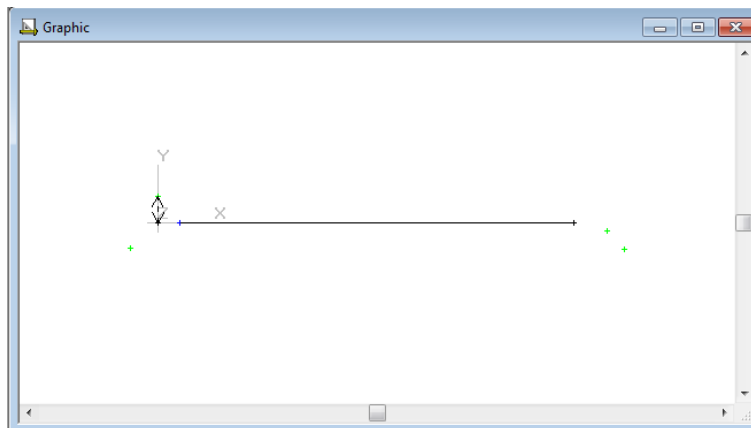
Punkt 15 – Punkt zu Linie Auswertung:

Für den korrekten Koordinatennullpunkt wird der Punkt 12 benötigt, jedoch auf die gerade definierte Achse projiziert. Daher wird die gerade erzeugte Linie und der Punkt 12 über das Punkt zu Linie Auswertetool weiterverarbeitet. Diese Funktion ermöglicht nicht nur die Messung des Abstandes eines Punktes von einer Linie, es wird hier auch ein geometrischer Punkt erzeugt. Dieser Punkt kann nun verwendet werden, um den Nullpunkt festzulegen.

Punkt 16 – Nullpunkt setzen:

Würde der Punkt 12 direkt als Nullpunkt gewählt, so würde sich die Achse parallel nach oben verschieben, bis sie den Punkt 12 schneidet. Dies ist jedoch nicht gewünscht. Daher wird der im vorhergehenden Schritt erzeugte Punkt verwendet. Punkt 15 wird somit als neuer Nullpunkt definiert.

Die eingelernten Geometrien werden im CAD Fenster der Anwendung angezeigt und es ist auch hier möglich zu prüfen, ob die korrekten Messpunkte ausgewertet wurden. Ebenso können Punkte in dieser Ansicht für Auswertungen ausgewählt werden und müssen nicht im Programmablauf gesucht werden.



Feinausrichtung abgeschlossen:

Die Ausrichtung des Koordinatensystems am Teil ist nun so exakt umgesetzt, dass es auch direkt für Messungen geeignet ist. Weitere Messpunkte können jetzt umgesetzt werden.

Es ist anzumerken, dass die Ausrichtung in Richtung Z-Achse in dieser Form für Messungen der Höhe nicht ausreicht und hier zusätzlich detailliertere Messungen erforderlich sind. Messungen der Höhe haben immer in maximaler Zoomstufe zu erfolgen, um eine ausreichende Genauigkeit zu erhalten. Die Z-Messung ist zeitaufwändig, da für jeden Höhenmesspunkt ein gewisser Höhenweg von der Anlage abefahren und bewertet

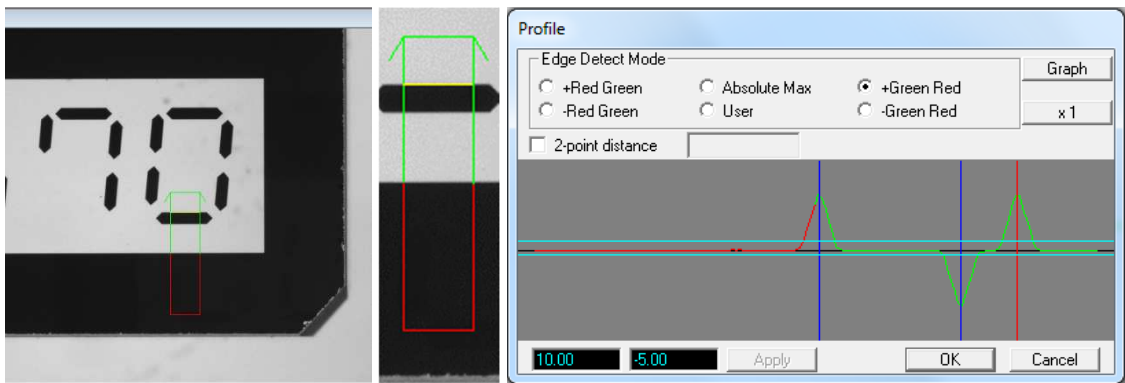
werden muss. Daher wird dies in der Feinausrichtung nicht standardmäßig exakter umgesetzt.

Punkte oder Geometrien am Teil messen:

Alle möglichen Messungen im Detail zu beschreiben ist hier nicht möglich und auch nicht erforderlich. Es werden einige Fälle betrachtet, um Beispiele zu nennen was bei optischen Messungen zu beachten ist.

Erfassung von Punkten:

Im Bild links wurde ein Durchschnitmesstool definiert. Werden die Details betrachtet, sieht man die softwaretechnische Bewertung der Kontrastübergänge (Bild rechts).

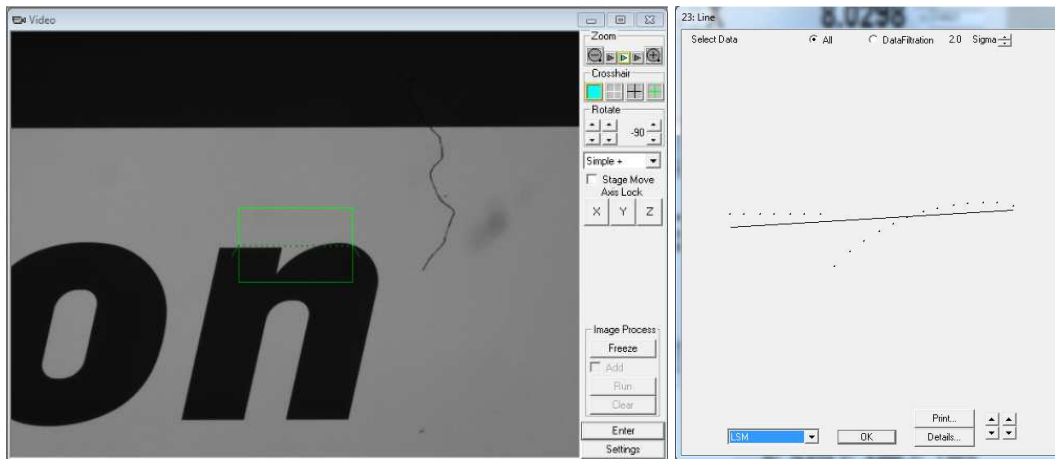


Dabei entspricht die Kurve der Auswertung in Pfeilrichtung. Es ist zu sehen, dass zwei Kontrastübergänge von dunkel auf hell und einer von hell auf dunkel gefunden wurde. Die horizontalen Linien zeigen die Grenzwerte, unter denen keine Bewertung erfolgt. In dem Beispiel sieht man klare und eindeutige Übergänge. Die vertikalen Linien entsprechen den gefundenen Messpunkten in Pfeilrichtung. Je schwächer die Kontrastübergänge im Messbild, desto flacher die Kurve in der Detailauswertung. Diese Detailansicht kann bei schwierigen Messaufgaben als Entscheidungshilfe dienen, wie zuverlässig die Messung auf Dauer sein wird.

Für das Durchschnitstool stehen unterschiedliche Bewertungsmethoden zur Verfügung. Hier wurde die Variante +GreenRed gewählt und somit wird als Messpunkt der erste (von grün zu rot) Kontrastübergang von dunkel auf hell (in Pfeilrichtung) ausgewertet. Zu sehen als gelbe Linie in der Messung und als vertikale rote Linie in der Detailauswertung.

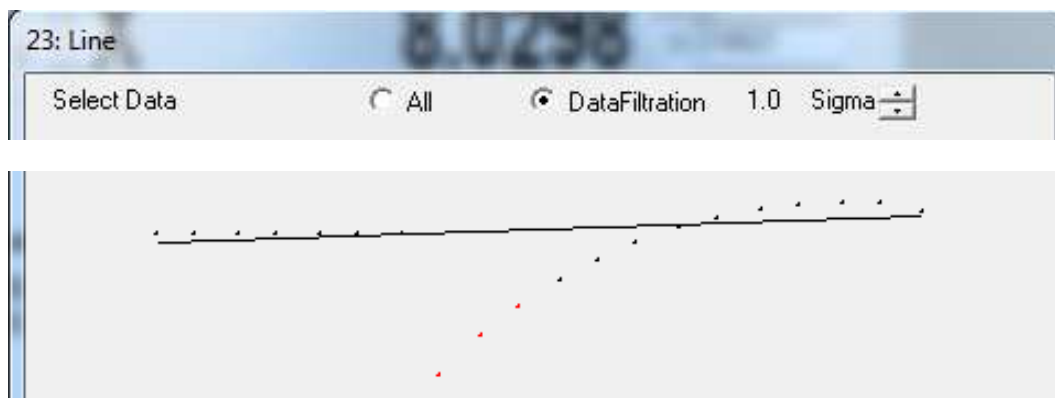
Erfassung von Linien:

Bei der Messung von Linien werden mit dem Linientool eine definierte Anzahl von Messpunkten erfasst und anschließend zu einer Linie ausgewertet. Zur Veranschaulichung wurde das Linientool laut Bild links gesetzt. In der Detailauswertung rechts sind nun die Messpunkte sichtbar, anhand derer die Linie ausgewertet und visualisiert wird. Hier ist deutlich zu erkennen, welchen Einfluss Punkte haben, welche nicht entlang einer Linie verlaufen.



Dies kann in der Praxis zum Beispiel durch Verunreinigungen, zu Messfehlern führen. Um die Messung einer Linie sicherer gestalten zu können, ist es möglich in der Detailauswertung einen Filter zu definieren.

Im folgenden Bild wurde ein Filter definiert, mit einer Filtergrenze von ± 1 Sigma (68,27% der Messwerte). Es ist zu sehen, dass die rot dargestellten Messpunkte bei der Berechnung der Linie nicht berücksichtigt werden und sich daher auch die berechnete Linie verändert.

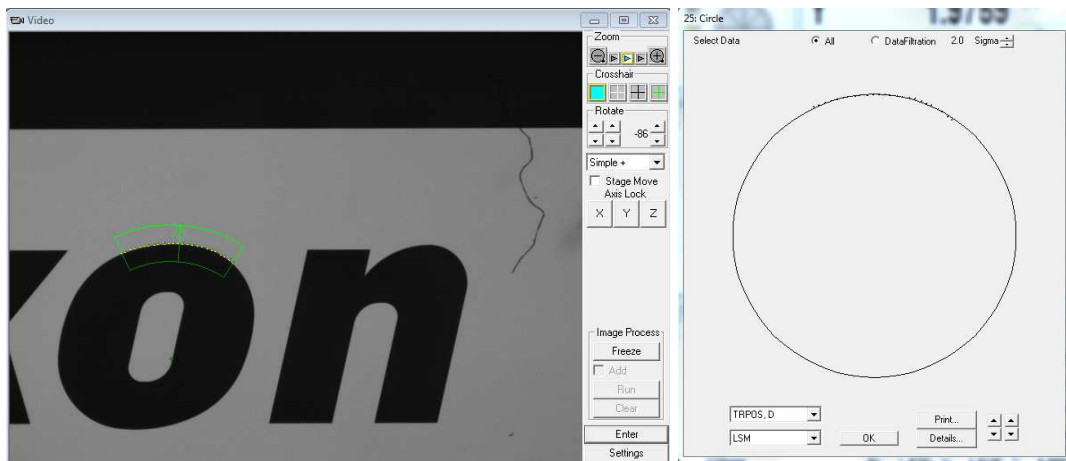


Es ist somit bei der Verwendung dieses Werkzeuges zur Messung von Linien oft zielführend, einen Filter zu definieren, um ungewollte Ergebnisse zu vermeiden.

Erfassung von Kreisen oder Kreisbogen:

Die Messung von Kreisen funktioniert nach demselben Prinzip. Auch hier werden viele Messpunkte erfasst und anschließend ein Kreis aus den Punkten gebildet. Die Effekte sind somit dieselben und es kann hier auch bei Bedarf ein Filter definiert werden.

Bei einem Kreisbogen ist das Ergebnis oft auch davon abhängig, wie weit das Messfenster gezogen wird. Bei gebogenen Stanzteilen ist selten ein perfekter Radius vorhanden, hier muss im Zweifelsfall die Messung mit dem Entwickler gemeinsam definiert werden, um die Funktion so gut als möglich abzubilden.



Auch hier lohnt es sich die Messung im Detail zu prüfen und gegebenenfalls einen Filter zu definieren, oder bei Verwendung des Kreisbogens den Bereich zu optimieren.

Zusammenfassung:

Bei automatischen optischen Messungen ist eine strukturierte Vorgehensweise bei der Einrichtung der Messung unumgänglich, um Messfehler im laufenden Prozess zu vermeiden. Dies bedeutet eine korrekte geometrische Ausrichtung des Teils in der Software, bei Bedarf auch mit Ausrichtung der Z-Bezugsebenen (mögliche Neigung in X- und Y-Richtung) und eine Betrachtung der einzelnen Messungen. Es wird empfohlen, im Detail zu prüfen, wie die Auswertung der einzelnen Messtools arbeitet, um mögliche Messfehler bereits vorab, soweit als möglich, zu vermeiden. Hier sollten bei Bedarf auch die in den Messtools vorhandenen Filterfunktionen verwendet werden. Unumgänglich ist auch die korrekte Beleuchtung. Hier empfiehlt es sich unterschiedliche Varianten oder Beleuchtungsstärken zu vergleichen, um deren Einfluss auf das Ergebnis zu ermitteln und bewerten zu können.

10 Durchführung einer Messprozessfähigkeit

Somit sind alle erforderlichen Informationen für die Durchführung verfügbar und mit der praktischen Umsetzung der Messprozessfähigkeit kann begonnen werden.

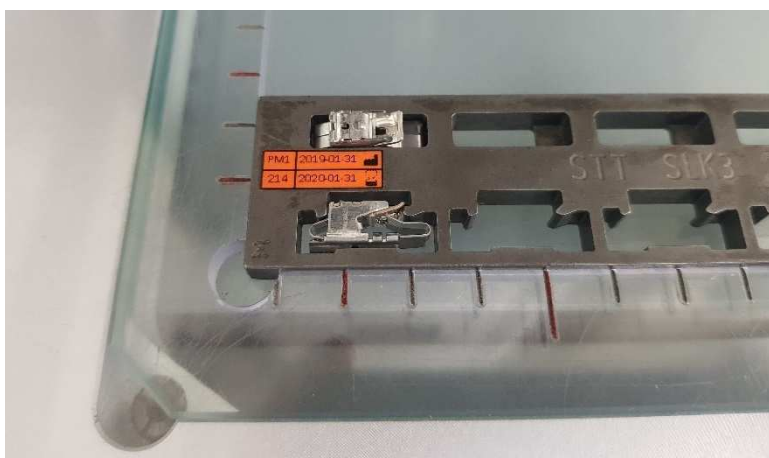
- Die Berechnungsmethoden sind verfügbar
- Die Einflussfaktoren sind bekannt
- Die Unsicherheiten wurden, soweit möglich, berücksichtigt
- Messaufnahmen für die Teile sind vorhanden
- Das Messprogramm wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt

Aufgrund der automatischen Messung, der Vorbereitungen mittels Teilaufnahmen und Schulung der Prüfer, wird von einer prüferunabhängigen Messung ausgegangen. Es wird jedoch, anstelle der unterschiedlichen Prüfer, der Einfluss von zwei unterschiedlichen Messgeräten betrachtet. Zu Testzwecken werden alternativ noch die unterschiedlichen Positionen von 5 Teilen betrachtet, welche alle in einem Messvorgang gemessen werden.

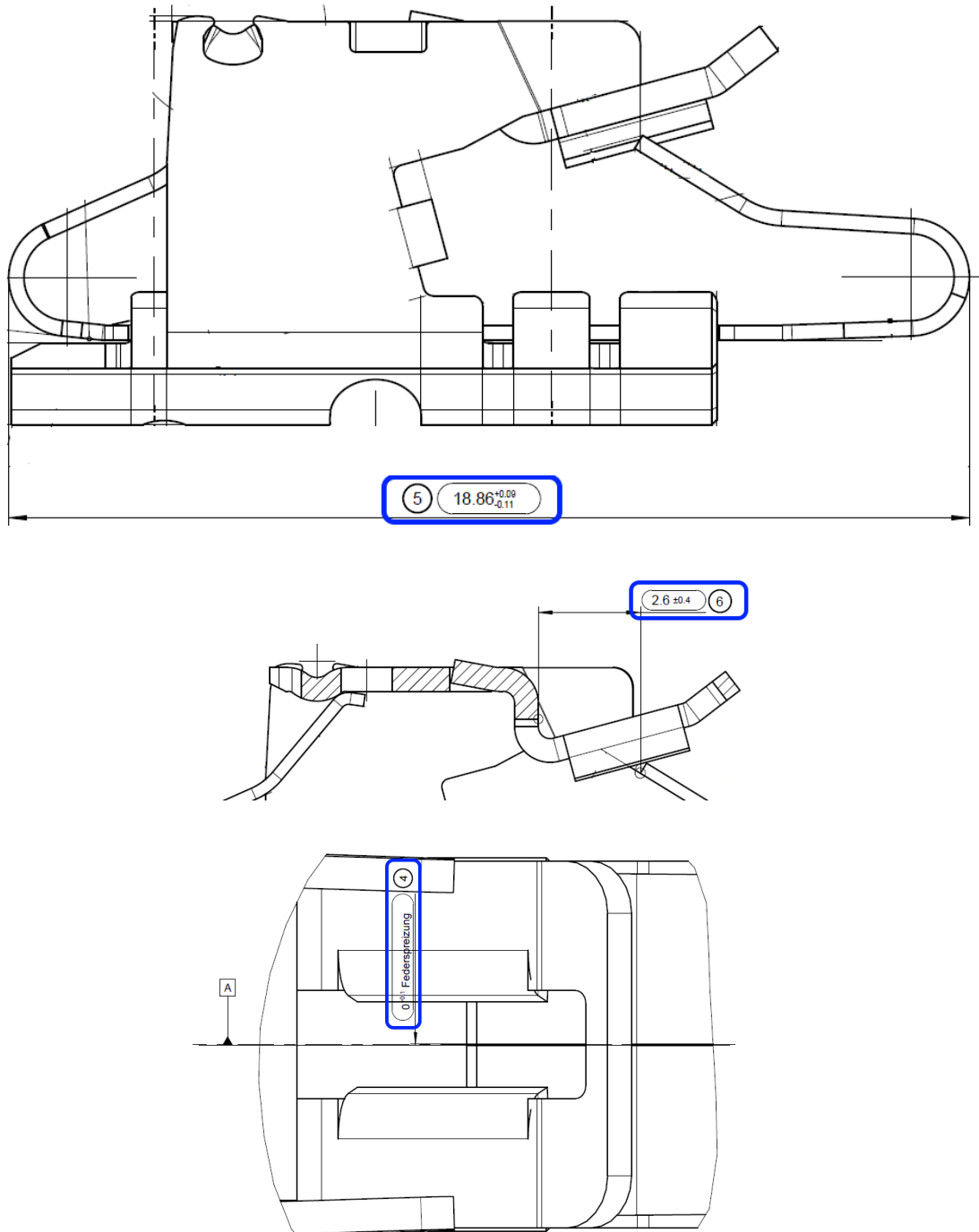
Der Messablauf für das Musterteil SLK-3 wird wie folgt definiert:

- 5 Teile
- 5 Wiederholungen
- 2 Messgeräte
- 5 Teilepositionen (mit einer Teilaufnahme)

Folgende Teilaufnahme wird verwendet. Sie ermöglicht die Messung der Prüfmaße an bis zu 5 Teilen gleichzeitig (10 Teile, 2 Ausrichtungen). Dabei wird mit zwei Messpositionen gearbeitet, um alle relevanten Kriterien in einer Messung erfassen zu können. Diese Vorgehensweise beeinflusst die folgenden Auswertungen nicht, da die Wechselwirkung von Maßen untereinander nicht Teil der Betrachtung ist.



In folgendem Auszug aus der Fertigungszeichnung, Index 19, sind die zu betrachtenden Maße markiert. Diese werden vom Messprogramm erfasst und sollen ausgewertet werden.



Die Werte werden für die weitere Auswertung in Excel Tabellen gesammelt.

10.1.1 Auswertung der Messungen

Die Messungen wurden durchgeführt und die Werte, laut Abbildung 39 im Anhang, ermittelt. Diese sollen nun mit den vorhandenen Methoden ausgewertet, sowie die Ergebnisse verglichen und bewertet werden. Die Variante nach MSA 3 wird hierbei nicht betrachtet, da sie sich lediglich durch den Faktor 5,152 anstelle 6 von der MSA4 unterscheidet.

Da die Auswertungen sehr umfangreich sind, werden nur die Prüfmaße 4, 5 und 6 detaillierter betrachtet. Alle Ergebnisse sind in den Anlagen zu finden.

- R&R Methode ARM nach Leitfaden 2.1
- R&R Methode ARM nach MSA 4
- R&R Methode ANOVA nach Leitfaden 2.1
- R&R Methode AMOVA nach VDA Band 5 (Unsicherheiten)

Die Variante nach VDA Band 5 würde die Möglichkeit bieten, weitere Einflussfaktoren in die Berechnung mit einzubeziehen. In der Vorarbeit wurde jedoch bereits geklärt, dass für den Fall keine weiteren Einflüsse mit einbezogen werden müssen. Die Auswertungen basieren daher auf denselben Grunddaten und können miteinander verglichen werden.

Für die Auswertungen wurde Q-DAS und die erstellten Excel Tabellen verwendet. Die Berichte zu den Prüfmaßen sind im Anhang Abbildung 40 bis Abbildung 54 zu finden.

In den Details der Auswertungen im Anhang ist ersichtlich, dass die Endwertung der Q-DAS Auswertungen ARM nach MSA 4 trotz Einhaltung des Gage R&R Wertes teilweise als nicht geeignet bewertet wird. Dies liegt am zu geringen ndc Wert, welcher als Anzahl unterscheidbarer Messwertklassen definiert ist. Laut MSA 4 muss dieser mindestens 5 sein. Da er aus der Streuung der vorhandenen Messungen, bezogen auf den Gage R&R Wert, berechnet wird, bedeutet dies, dass für einen größeren Wert Teile vorhanden sein müssen, welche einen weiteren Toleranzbereich abdecken. Dies ist jedoch in der Praxis nicht immer leicht umsetzbar. Man müsste hier bewusst Teile mit einer höheren Streuung der Maße fertigen, um dies abdecken zu können. Um diesem Problem entgegenzuwirken, können die Musterteile für die Auswertung aus unterschiedlichen Produktionen entnommen werden, um einen größeren Messwertebereich abzudecken. Damit wird auch der ndc Wert größer.

Dieser Wert wird somit stark durch die Streuung der vorhandenen Musterteile beeinflusst und die Aussagekraft in Bezug auf die Messprozessfähigkeit ist fragwürdig. Im Buch Eignungsnachweis von Prüfprozessen [12, p. 169] wurde dem ndc Wert ein eigenes Kapitel gewidmet und der Sinn dieses Wertes in Frage gestellt.

Für die Betrachtungen in dieser Arbeit wird der ndc Wert daher vernachlässigt.

Auswertung Prüfmaß 4:

SLK-3 PM04	ARM Verfahren		ANOVA	
	Leitfaden 2.1	MSA 4	ANOVA nach Leitfaden	ANOVA nach VDA Band 5
Vertrauensniveau	K-Faktor = 5,152 (1*)	Faktor 6 (2*)	K-Faktor = 5,152	k-Faktor = 2 (3*)
Wiederholbarkeit %EV	4,28%	4,98%	5,32%	$u_{EVO} = 0,00207$
Bedienerinfluss %AV	1,17%	0,92%	0,48%	$u_{AV} = 0,000185$
Wechselwirkung %IA	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	$u_{IA} = [\text{pooling}]$
Messsystem %Q _{MS}	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	2,48%
Teileinfluss %PV	34,14%	39,74%	34,02%	nicht ausgewertet
Bezugsgröße T	0,2	0,2	0,2	0,2
%Gage R&R	4,44%	5,07%	5,34%	4,83%
Grenzen %R&R und Q _{MS}	≤ 20% neue Messsysteme ≤ 30% Messsysteme im Einsatz	≤ 10% geeignet ≤ 30% bedingt geeignet 30% < nicht geeignet	≤ 20% neue Messsysteme ≤ 30% Messsysteme im Einsatz	Q _{MS} ≤ 15% Q _{MP} ≤ 30%
Berechnung mit Excel	R&R-ARM-nach-Leitfaden-V2.1	R&R-ARM-nach-MSA-4	R&R-ANOVA-nach-Leitfaden-2.1	R&R-ANOVA-VDA-Band-5
Berechnung mit Software	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ARM	Q-DAS (MSA 4) ARM	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ANOVA	Q-DAS VDA 5 (2 Ed.) (06/2013)
1* : $K_1 = 5,152/d_2$! Ein Wert von 5,152 Sigma entspricht Normalverteilt einem Vertrauensniveau von 99%.				
2* : 6 Sigma entspricht einem Vertrauensniveau von 99,73%! Der K-Faktor zur Berechnung von K_1 , K_2 und K_3 ist hier 1!				
3* : Der k-Faktor entspricht hier der Standardabweichung. K = 2 bedeutet ±2 Sigma und entspricht somit einem Vertrauensniveau von 95,45%.				

Abbildung 27 – Vergleich R&R Methoden PM04

Visualisierung der Unterschiede zwischen den Messungen und Messgeräten:

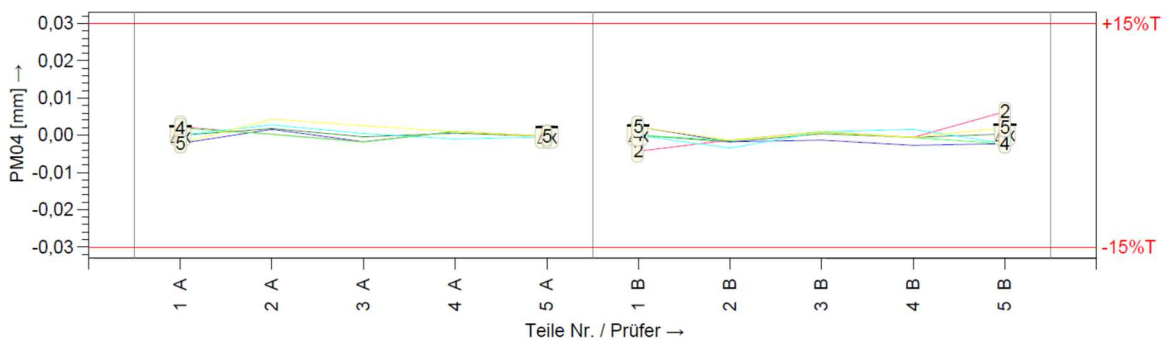


Abbildung 28 – Visualisierung der Abweichungen von PM04 aus Q-DAS

Die Auswertung zeigt ein klar positives Ergebnis. Die Messprozessfähigkeit ist mit einem %Gage R&R Wert von 5,34% nachgewiesen. Es ist bereits in der grafischen Auswertung der Messungen ersichtlich, dass zwischen den Messungen nur geringe Unterschiede vorhanden sind.

Ein Blick auf die EV und AV Werte zeigt, dass der Gage R&R Wert größtenteils aus der Wiederholbarkeit %EV besteht. Der Bedienerinfluss, hier der Unterschied zwischen den zwei Messgeräten, ist sehr gering.

Auch wenn die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsmethoden auf den ersten Blick ähnlich erscheinen, so ist der Unterschied unter den Werten, bezogen auf den maximal %Gage R&R Wert, fast 17%. Befindet man sich in einem Grenzbereich, kann dies über Annahme oder Rückweisung entscheiden.

Auswertung Prüfmaß 5:

SLK-3 PM05	ARM Verfahren		ANOVA	
	Leitfaden 2.1	MSA 4	ANOVA nach Leitfaden	ANOVA nach VDA Band 5
Vertrauensniveau	K-Faktor = 5,152 (1*)	Faktor 6 (2*)	K-Faktor = 5,152	k-Faktor = 2 (3*)
Wiederholbarkeit %EV	11,88%	13,82%	17,84%	$u_{EVO} = 0,00693$
Bedienereinfluss %AV	7,63%	8,42%	6,72%	$u_{AV} = 0,00261$
Wechselwirkung %IA	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	$u_{IA} = [\text{pooling}]$
Messsystem %Q _{MS}	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	2,48%
Teileinfluss %PV	13,43%	15,63%	12,92%	nicht ausgewertet
Bezugsgröße T	0,2	0,2	0,2	0,2
%Gage R&R Messprozess %Q _{MP}	14,12%	16,18%	19,07%	15,01%
Grenzen %R&R und Q _{MS}	≤ 20% neue Messsysteme ≤ 30% Messsysteme im Einsatz	≤ 10% geeignet ≤ 30% bedingt geeignet 30% < nicht geeignet	≤ 20% neue Messsysteme ≤ 30% Messsysteme im Einsatz	Q _{MS} ≤ 15% Q _{MP} ≤ 30%
Berechnung mit Excel	R&R-ARM-nach-Leitfaden-V2.1	R&R-ARM-nach-MSA-4	R&R-ANOVA-nach-Leitfaden-2.1	R&R-ANOVA-VDA-Band-5
Berechnung mit Software	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ARM	Q-DAS (MSA 4) ARM	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ANOVA	Q-DAS VDA 5 (2 Ed.) (06/2013)
1* : $K_1 = 5,152/d_2$! Ein Wert von 5,152 Sigma entspricht Normalverteilt einem Vertrauensniveau von 99%.				
2* : 6 Sigma entspricht einem Vertrauensniveau von 99,73%! Der K-Faktor zur Berechnung von K_1 , K_2 und K_3 ist hier 1!				
3* : Der k-Faktor entspricht hier der Standardabweichung. $K = 2$ bedeutet ±2 Sigma und entspricht somit einem Vertrauensniveau von 95,45%.				

Abbildung 29 – Vergleich R&R Methoden PM05

Die Annahmekriterien des Messprozesses sind immer noch erfüllt. Nach MSA 4 ist zumindest die bedingte Annahme zulässig. Die Bewertung könnte somit ohne weitere Maßnahmen abgeschlossen werden. Es ist jedoch ein deutlich schlechteres Ergebnis als bei PM04 vorhanden. Ein Blick auf die grafische Auswertung der Unterschiede zwischen den Messungen bringt Klarheit.

Visualisierung der Unterschiede zwischen den Messungen und Messgeräten:

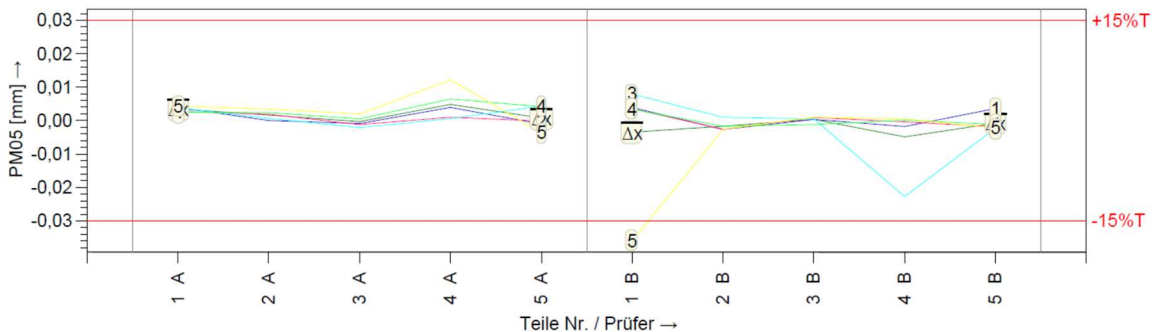


Abbildung 30 – Visualisierung der Abweichungen von PM05 aus Q-DAS

In der Grafik ist zu sehen, dass bei dem zweiten Messgerät zwei Ausreißer vorhanden sind. Ob hierzu Maßnahmen erforderlich sind, muss im Einzelfall bewertet werden. Hier ist nun der Aufwand einer Analyse und Einführung von geeigneten Korrekturmaßnahmen den möglichen Folgen von Messfehlern gegenüberzustellen.

Sollte es in der laufenden Produktion zu einem Ausreißer kommen und der Wert liegt außerhalb der Spezifikation, wird die Auswirkung im besten Fall sein, dass der Mitarbeiter die Fehlmessung erkennt und durch nochmalige Messung das korrekte Maß ermittelt. Im ungünstigsten Fall wird er aufgrund der fehlerhaften Bewertung in den Prozess eingreifen. Beide Fälle können in der laufenden Produktion eintreten und verursachen hohe Aufwände.

Es kann sich daher lohnen, trotz positiver Bewertung des Messprozesses Ausreißer genauer zu betrachten und deren Ursache abzustellen.

Im vorliegenden Fall dürfte es sich um Messfehler aufgrund der Umsetzungsmethode der automatischen Messung handeln. Die Messung wird daher später nochmals näher analysiert.

Auswertung Prüfmaß 6r:

SLK-3 PM06r	ARM Verfahren		ANOVA	
	Leitfaden 2.1	MSA 4	ANOVA nach Leitfaden	ANOVA nach VDA Band 5
Vertrauensniveau	K-Faktor = 5,152 (1*)	Faktor 6 (2*)	K-Faktor = 5,152	k-Faktor = 2 (3*)
Wiederholbarkeit %EV	0,88%	1,02%	1,04%	$u_{EVO} = 0,00162$
Bedienereinfluss %AV	10,69%	12,41%	10,65%	$u_{AV} = 0,0165$
Wechselwirkung %IA	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	$u_{IA} = [\text{pooling}]$
Messsystem %Q _{MS}	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	0,62%
Teileinfluss %PV	22,86%	26,61%	26,77%	nicht ausgewertet
Bezugsgröße T	0,8	0,8	0,8	0,8
%Gage R&R	10,72%	12,45%	10,70%	8,33%
Messprozess %Q _{MP}				
Grenzen %R&R und Q _{MS}	≤ 20% neue Messsysteme ≤ 30% Messsysteme im Einsatz	≤ 10% geeignet ≤ 30% bedingt geeignet 30% < nicht geeignet	≤ 20% neue Messsysteme ≤ 30% Messsysteme im Einsatz	Q _{MS} ≤ 15% Q _{MP} ≤ 30%
Berechnung mit Excel	R&R-ARM-nach-Leitfaden-V2.1	R&R-ARM-nach-MSA-4	R&R-ANOVA-nach-Leitfaden-2.1	R&R-ANOVA-VDA-Band-5
Berechnung mit Software	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ARM	Q-DAS (MSA 4) ARM	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ANOVA	Q-DAS VDA 5 (2 Ed.) (06/2013)

1*: $K_1 = 5,152/d_2$! Ein Wert von 5,152 Sigma entspricht Normalverteilt einem Vertrauensniveau von 99%.
2*: 6 Sigma entspricht einem Vertrauensniveau von 99,73%. ! Der K-Faktor zur Berechnung von K_1 , K_2 und K_3 ist hier 1!
3*: Der k-Faktor entspricht hier der Standardabweichung. $K = 2$ bedeutet ± 2 Sigma und entspricht somit einem Vertrauensniveau von 95,45%.

Abbildung 31 – Vergleich R&R Methoden PM06r

Auffällig an dem Ergebnis ist, dass der %Gage R&R Wert hier fast ausschließlich durch %AV Wert, den Bedienereinfluss (hier den Maschineneinfluss), entsteht. Dies ist auch in der Visualisierung der Unterschiede gut zu erkennen.

Visualisierung der Unterschiede zwischen den Messungen und Messgeräten:

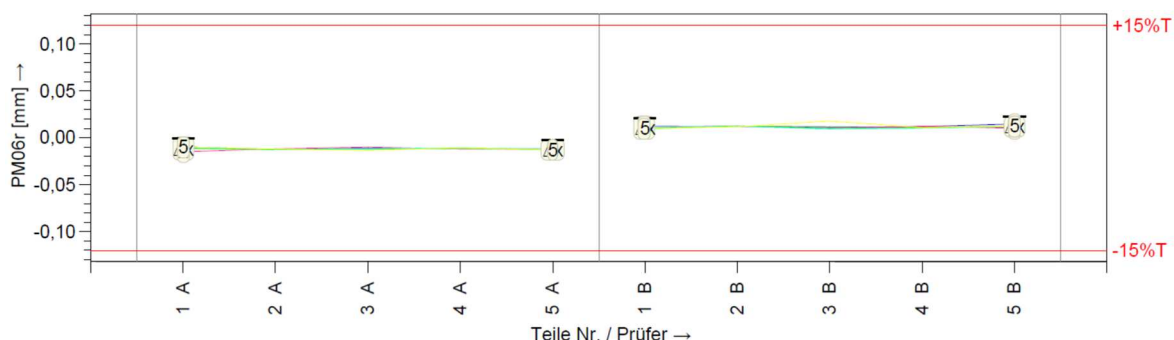


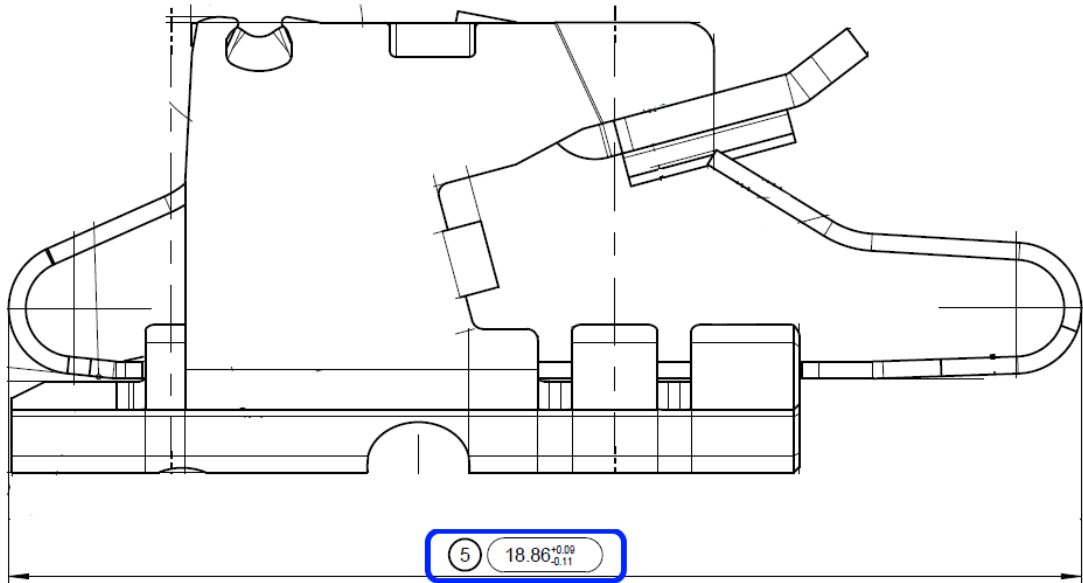
Abbildung 32 – Visualisierung der Abweichungen von PM06r aus Q-DAS

Auch wenn das Ergebnis der Auswertung positiv ist, sollte die Ursache gegebenenfalls genauer betrachtet werden.

10.1.2 Analyse der Abweichungen

Um die Ursache der Ausreißer von PM05 und die Abweichung der Mittelwerte bei PM06r zu finden, wurde eine neue Messreihe durchgeführt und anschließend die Umsetzung der Messungen im Detail betrachtet.

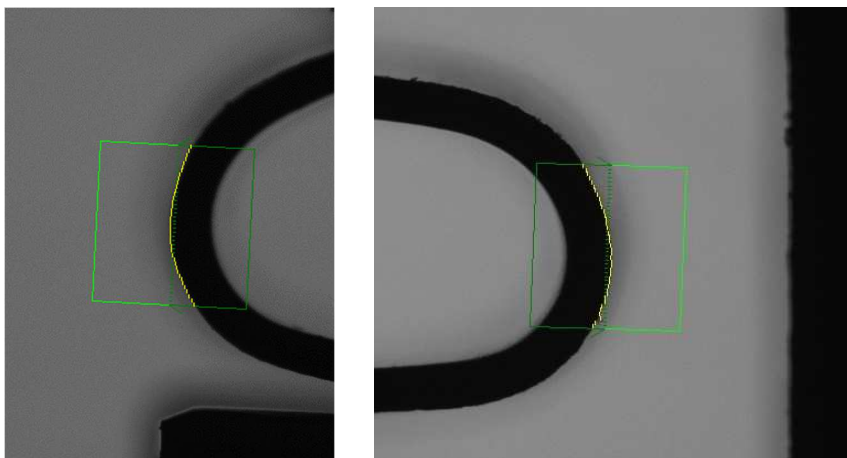
Messung PM05, Länge des Teils (der Chrom-Nickel Feder):



Bei der Auswertung der neuen Messreihe sind keine Ausreißer aufgetreten. Die detaillierte Analyse der Messung hat jedoch zwei mögliche Ursachen für Fehlmessungen aufgezeigt.

Zunächst wird der Sollzustand betrachtet.

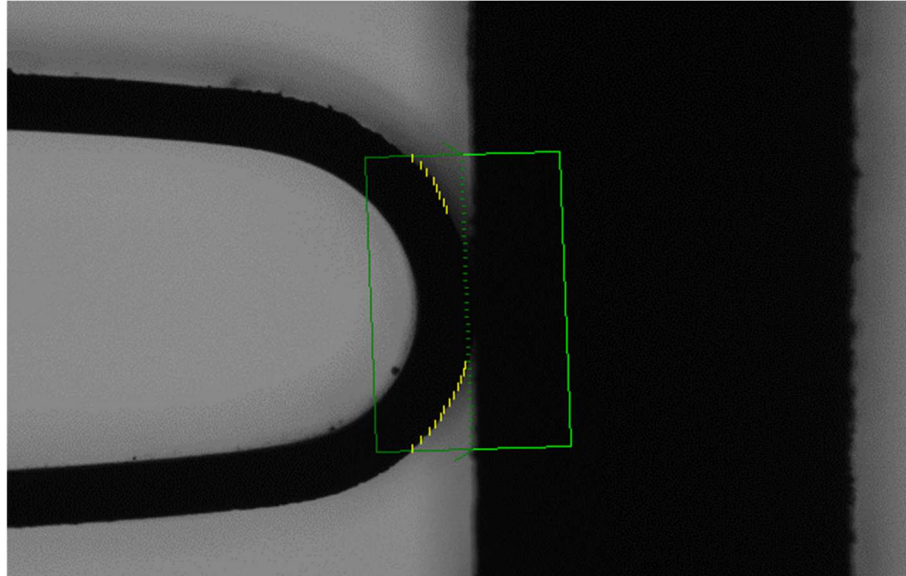
Ausgewertet wird der Abstand in X-Richtung vom Minimalpunkt in X-Richtung, Bild links, zum Maximalpunkt in X-Richtung, Bild rechts. Das Ergebnis ist dann PM05.



Mögliche Ursache: Eine mangelhafte Teileposition während der Messung

Wird die Position des Teils nicht ausreichend eingerichtet, kann es dazu kommen, dass das Bauteil so in der Aufnahme liegt, dass eine korrekte Messpunkterfassung nicht möglich ist.

Visualisierung des Problems:



Die Messung wurde dabei mit dem Linientool und der Zusatzfunktion Maximalpunkt umgesetzt. Dadurch werden mit dem Linienwerkzeug viele Messpunkte erfasst, jedoch in diesem Fall nicht zu einer Linie interpoliert, sondern für die weitere Berechnung wird nur der Maximalpunkt (hier in X-Richtung) ausgewertet.

Die gelben Striche im Bild sind dabei die von der Software erfassten Punkte und es ist deutlich zu erkennen, dass in diesem Fall nicht das gewünschte Maß erfasst wird, sondern ein zu kleines.

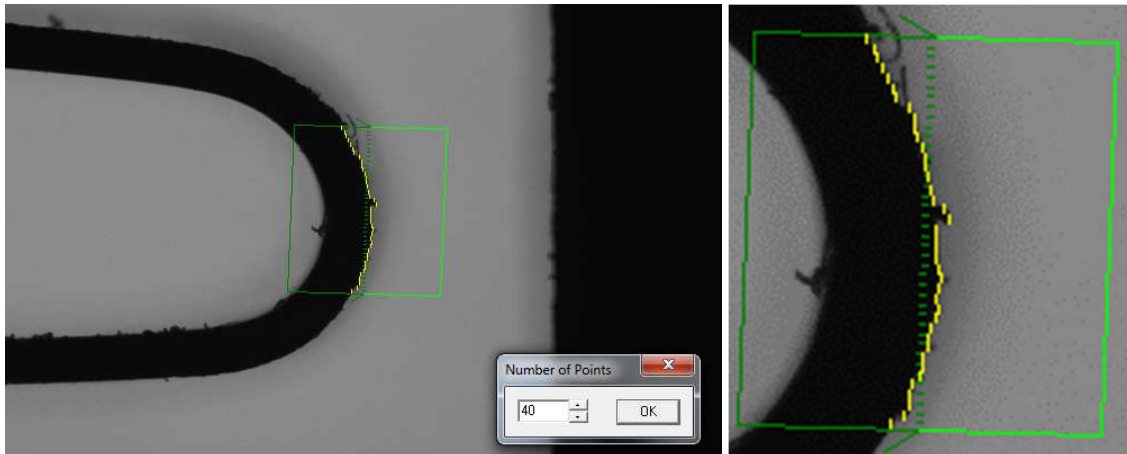
Als Maßnahme wäre eine Optimierung der Teileaufnahme möglich. In diesem Fall werden jedoch die Mitarbeiter darauf geschult, wie das Teil in der Aufnahme korrekt positioniert wird.

Mögliche Ursache: Verunreinigungen am Teil

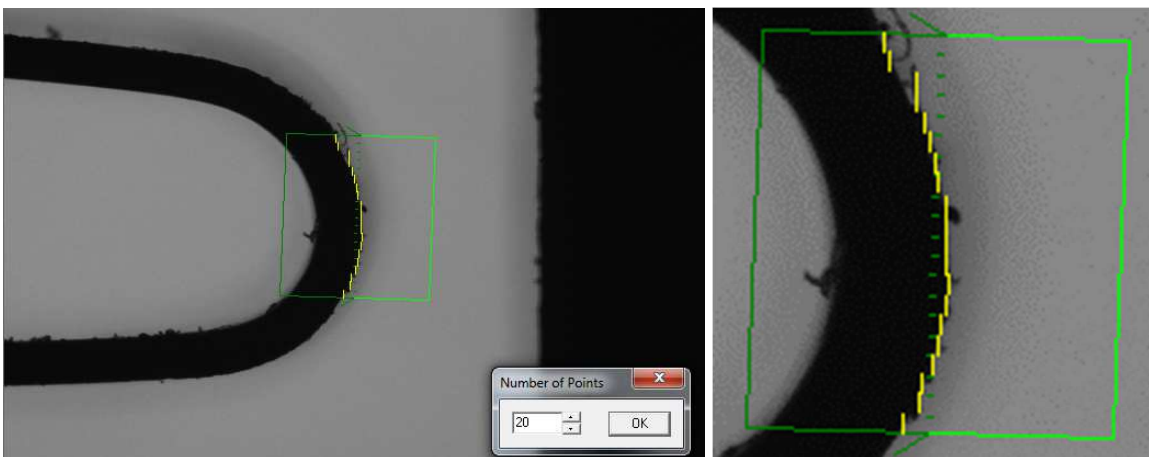
Eine weitere mögliche Fehlerquelle für Ausreißer sind Verunreinigungen. Dabei würden jedoch zu große Messungen entstehen, diese Ursache wird daher ausgeschlossen. Als mögliches Risiko für Fehlmessungen wird der Fall jedoch beispielhaft mit betrachtet.

Beim Linientool ist es möglich, die Anzahl der Messpunkte an der Linie festzulegen, anhand derer die Auswertung erfolgt. Die Messung wurde dabei so eingerichtet, dass von 40 Messpunkten der Maximalpunkt in X-Richtung verwendet wird. Durch die hohe Anzahl von Messpunkten wird jedoch auch jede kleine Verunreinigung erfasst.

Wie im Bild ersichtlich wird bei der Messung mit 40 Punkten jeder einzelne Messpunkt in einem sehr kleinen Bereich erfasst und damit auch sehr kleine Geometrien mit einbezogen.



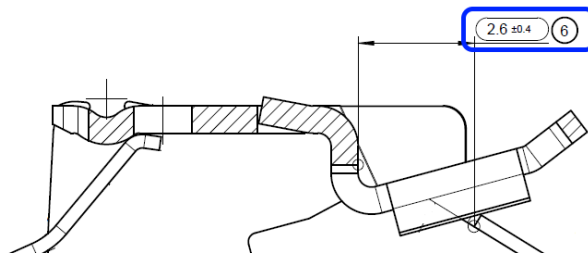
Da es aber für die Messung in dem betrachteten Fall nicht erforderlich ist, sehr kleine Geometrien mit zu erfassen, kann die Anzahl der Messpunkte verringert werden. Dadurch wird die Messung unempfindlicher gegenüber kleinen Verunreinigungen. Das eigentliche Maß wird aber immer noch verlässlich erfasst.



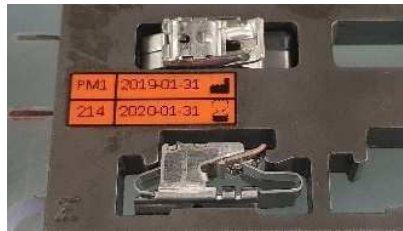
Der Grund für die geringere Empfindlichkeit ist, dass bei weniger Messpunkten der Bereich für die Erfassung der einzelnen Messpunkte größer wird und diese nach demselben Prinzip, wie viele kleine Durchschnittswerkzeuge für Punktmessungen funktionieren. Siehe auch Kapitel 9.4.5.1 und 9.4.6.

Es ist daher ratsam für diesen Fall die Anzahl der Messpunkte zu verringern, um so möglichen Messfehlern durch Verunreinigungen vorzubeugen.

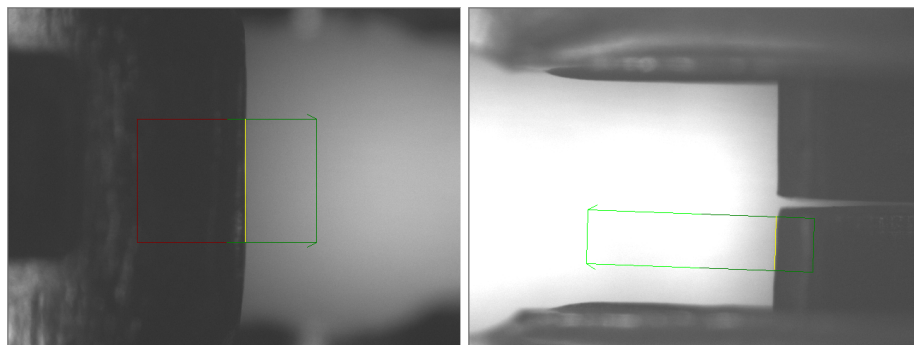
Messung PM06r, Abstand von Auflage zu Chrom- Nickel Feder:



Zur Erfassung dieses Kriteriums wird die zweite Ansicht des Teils von oben benötigt. Dies wurde in der Aufnahme folgendermaßen gelöst:

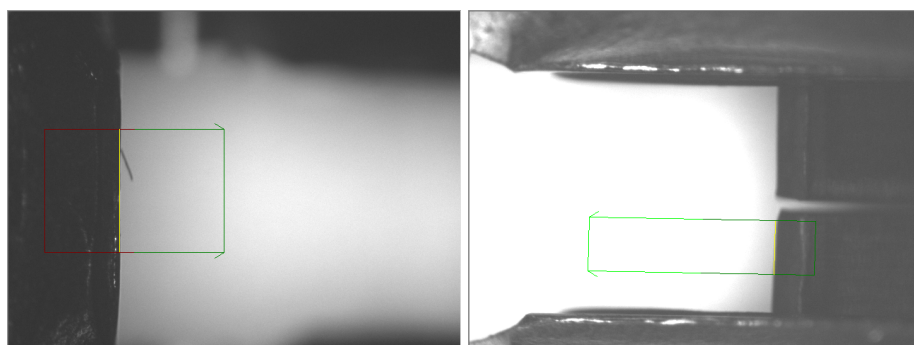


Die Messung erfolgt mit dem Durchschnittswerkzeug. Dabei werden die zwei folgenden Punkte erfasst und der X-Abstand ausgewertet:



Eine genauere Analyse der Messung hat ergeben, dass die Ursache an einer mangelhaften Fokussierung während der Erfassung der Messpunkte liegt. Durch die Unschärfe kommt es zur optischen Verschiebung der erfassten Kante.

An den Bildern ist dies nicht eindeutig ersichtlich. Der Unterschied zwischen den Bildern des Messmittels 1 oben und des Messmittels 2 unten ist auf den ersten Blick nicht deutlich.



Die Betrachtung des Messablaufes hat jedoch ergeben, dass sich bei der geometrischen Ausrichtung des Teils in der Ansicht von oben ein Fehler im Programm eingeschlichen hat. So ist für die zweite Ansicht eine geometrische Neuausrichtung des Teils in der Software erforderlich, um das digitale Koordinatensystem am Teil auszurichten. Dabei wurde vor Neuausrichtung des Teils in der zweiten Ansicht der Schritt „Koordinaten-Reset“ eingebracht. Anschließend wurde die grobe und feine Ausrichtung in Richtung X- und Y-Achse durchgeführt, jedoch nicht in Bezug auf die Z-Achse. Dies hat zur Folge, dass die absolute Z-Position des Messgerätes zum Tragen kommt. Da die Koordinatensysteme beider Geräte in Relation zur Glasplatte jedoch nicht exakt dieselben sind, kommt es hier zu Unterschieden.

Es wurde daher im Programm eine zusätzliche Ausrichtung der Z-Position eingebracht und die Messreihe wiederholt. Eine neuerliche Auswertung zeigt, dass sich die Mittelwerte der Messungen von Messgerät 1 und 2 nun kaum mehr unterscheiden. Und das wirkt sich auch deutlich auf den Gage R&R Wert aus.

Visualisierung der Unterschiede zwischen den Messungen und Messgeräten:

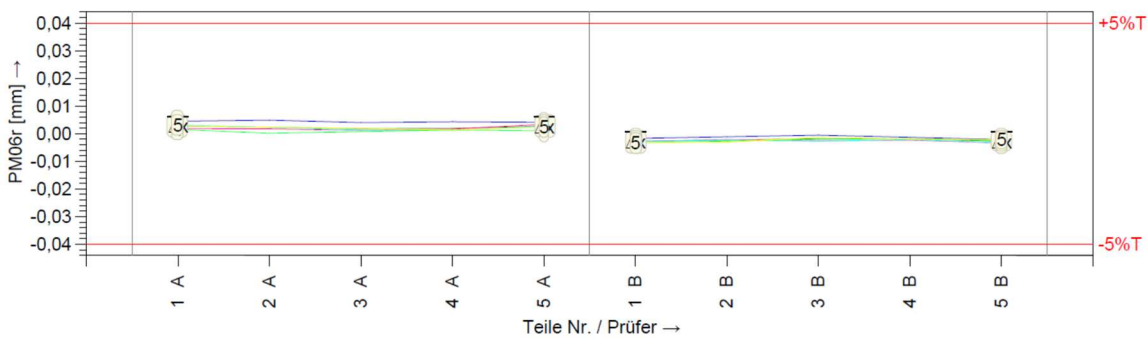


Abbildung 33 – Visualisierung der Abweichungen von PM06r aus Q-DAS

SLK-3 PM06r	Vor Optimierung	Nach Optimierung
	MSA 4	MSA 4
Vertrauensniveau	Faktor 6 (1*)	Faktor 6 (1*)
Wiederholbarkeit %EV	1,02%	0,81%
Bedienereinfluss %AV	12,41%	2,44%
Teileinfluss %PV	26,61%	10,27%
Bezugsgröße T	0,8	0,8
%Gage R&R	12,45%	2,58%
Messprozess %Q _{MP}		
Grenzen %R&R	≤ 10% geeignet ≤ 30% bedingt geeignet 30% < nicht geeignet	≤ 10% geeignet ≤ 30% bedingt geeignet 30% < nicht geeignet
Berechnung mit Excel	R&R-ARM-nach-MSA-4	R&R-ARM-nach-MSA-4
Berechnung mit Software	Q-DAS (MSA 4) ARM	Q-DAS (MSA 4) ARM
1*: 6 Sigma entspricht einem Vertrauensniveau von 99,73%! Der K-Faktor zur Berechnung von K ₁ , K ₂ und K ₃ ist hier 1!		

Der Gage R&R Wert konnte von 12,45% auf 2,58% verringert werden. Es zeigt sich somit, dass es sich durchaus lohnt, die Ursachen für eine Gage R&R Wertung „bedingt geeignet“ genauer zu betrachten.

11 Fazit

Da es sich um eine nahezu bedienerunabhängige Messung handelt, hat sich bei der Betrachtung der Unsicherheiten herausgestellt, dass die größten Einflussfaktoren auf den Messprozess die stabile Lage des Prüfobjektes und die Umsetzung der Messungen in der Software sind. Um Fehlmessungen vorzubeugen sind geeignete Teileaufnahmen und eine detaillierte Auseinandersetzung mit der optischen Messung erforderlich. Methoden und praktische Erfahrungen zur Umsetzung von prozesssicheren Messungen wurden in dieser Arbeit beschrieben. Die wichtigsten Punkte sollen hier nochmals zusammengefasst werden:

Grundvoraussetzungen:

- Eine funktionierende Prüfmittelverwaltung
- Die regelmäßige Wartung und Reinigung
- „Stabile“ Umgebungsbedingungen (Verschmutzung, Fremdlicht, Vibrationen...)

Bei der Umsetzung des Messvorganges zu beachten:

- Teileaufnahmen für eine stabile Position während der Messung verwenden
- Exakte geometrische Ausrichtung des Teils im Koordinatensystem der Software
- Auf reproduzierbaren Fokus achten (Z-Ausrichtung)
- Geeignetes Messwerkzeug verwenden (gegebenenfalls Filter verwenden)
- Stabile Beleuchtungsvariante wählen
- Mögliche Varianzen am Teil berücksichtigen (geometrisch, Oberfläche...)

Während der Messung zu berücksichtigen:

- Sauberkeit der Glasplatte
- Späne und Flitter am Teil mit Druckluft entfernen
- Korrekte Positionierung des Teils in der Teileaufnahme

Wenn diese Punkte beachtet werden, ist der Grundstein für fähige Messprozesse gelegt. Wobei die Qualität der Umsetzung des Messvorganges stark von der Erfahrung mit optischen Messungen abhängt. Ist diese noch nicht ausreichend vorhanden, ist es ratsam verstärkt mit Gage R&R Analysen zu arbeiten, um so Schwachstellen frühzeitig zu erkennen.

Zur Ermittlung der Eignung eines Prüfprozesses gibt es keine einheitliche Vorgehensweise und es unterliegt jedem Unternehmen selbst die für sich geeignete Methode zu wählen, sofern diese nicht von einem Kunden vorausgesetzt und vorgegeben wird. Es ist ratsam, die gewählte Methode als interne Firmenrichtlinie festzuhalten.

Der Vorteil der Messprozessanalyse nach ARM liegt in einer einfachen Umsetzung und Auswertung, welche bereits mit Excel Tabellen möglich ist. Die Betrachtungen sind hier jedoch nicht so detailliert, wie bei der Methode laut VDA Band 5. Nachteile sind das ungenauere Ergebnis, da der Rechenweg nicht so exakt ist, und es werden nicht alle Einflussfaktoren berücksichtigt.

Die exakteste Methode ist die nach VDA Band 5. Jedoch ist hier auch der Aufwand der Ermittlung größer, das durchführende Personal muss zur korrekten Durchführung ausreichend geschult sein und die Verwendung einer geeigneten Qualitätssoftware ist erforderlich. Eine Auseinandersetzung mit der Methodik lohnt sich jedoch, da über die einzelnen Unsicherheitsfaktoren auch das Gesamtverständnis für die vorhandenen Einflüsse verbessert wird.

Ein möglicher Ansatz zur Standardisierung ist das, im Buch Eignungsprozess von Prüfprozessen [12] beschriebene, AIO-Verfahren (All-in-One). Es ist ein Versuch der Autoren die unterschiedlichen Vorteile der vorhandenen Methoden zu vereinen und in einem kompakten Verfahren zusammenzufassen. Die Autoren Edgar Dietrich und Alfred Schulze waren bereits bei der Erstellung des Leitfadens beteiligt, wobei der Arbeitskreis um die Erstellung von Hrn. Dietrich geleitet wurde. Die beiden Herren sind Mitarbeiter der Fa. Q-DAS, welche Qualitätssoftware für die Ermittlung von, unter anderem, Prüfprozesseignung erstellt.

Letztlich ist das Ziel der Ermittlung einer Messprozessfähigkeit, eine Messmethode zu finden, oder eine bestehende zu verifizieren, welche ausreichend genau ist, um die Konformität der erzeugten Produkte zur Spezifikation sicherzustellen. Gleichzeitig soll ein möglichst geringer Aufwand in der Produktion generiert werden. Dazu gehört der Aufwand für die Messung selbst, aber auch Folgeaufwände und Risiken, welche durch falsche Messergebnisse entstehen.

Um dieses Ziel zu erreichen ist es für den betrachteten Fall nicht zwingend erforderlich die mathematisch exakteste Methode zu verwenden. Hier ist eine praktikable Lösung zielführender, welche auch von Laien schnell angewendet werden kann. Für die Bewertung ist oft die Visualisierung der Messdaten Hinweis genug, um Unsicherheiten zu erkennen. Die Gage R&R liefert letztlich den Wert dazu.

Als geeignetste Methode für den betrachteten Fall hat sich die ARM-Methode nach MSA 4 dargestellt (mit Toleranz als Bezugsgröße und Vernachlässigung des ndc Wertes). Sie ist ohne großen Schulungsaufwand und Detailwissen in der Praxis anwendbar, lässt ausreichend Spielraum für die Annahme von Messprozessen und weist durch den Bereich der „bedingten Annahme“ auf eventuelles Optimierungspotential hin. Wie in den Beispielen erläutert, wären Messprozesse nach anderen Verfahren anzunehmen. Nach MSA 4 fallen diese aber in den Bereich der „bedingten Annahme“ und eine detailliertere Betrachtung der Auswertung zeigt, dass hier Optimierungspotenzial besteht, welches bewertet werden sollte. Die Entscheidung über weitere Maßnahmen kann in der näheren Analyse getroffen werden. In der Praxis zeigt sich immer wieder, dass die Aufwände, welche durch

Fehlmessungen entstehen, deutlich höher sind, als die Aufwände, welche erforderlich sind, um Messfehler abzustellen.

Dies bedeutet nicht zwangsläufig, dass für jede Messung die Eignung des Messprozesses bewertet werden muss. Häufig sind Messvorgänge ähnlich und es kann von bewährten Messprozessen auf eine Eignung geschlossen werden. Ebenso kann im Zuge von Fähigkeitsuntersuchungen von einzuführenden Produkten auf mögliche Unsicherheiten in der Messprozessfähigkeit geschlossen werden und so nur bei Bedarf eine Gage R&R Analyse durchgeführt werden. Wann und ob eine Analyse erforderlich ist, hängt von vielen Rahmenbedingungen ab. Auch bei einer positiv durchgeführten Gage R&R ist letztlich nicht sichergestellt, dass dies auch über den gesamten Produktionszeitraum der Fall sein wird. Ein detailliertes Wissen um die Einflussfaktoren hilft Prozesse im Unternehmen zu etablieren, welche die Basis für verlässliche Messungen bilden.

Das definierte Ziel sollte sein, durch die Erfahrungen aus den Analysen von bedingt fähigen oder nicht fähigen Messprozessen Standards zu generieren, welche eine stabile Grundlage und somit die Voraussetzungen für verlässliche Messergebnisse bilden. Nur durch praktische Erfahrung und vorhandene Standards können Messprozesse eingeführt werden, von denen bereits vor der Verifizierung erwartet werden kann, dass eine Eignung gegeben ist. Mittels Gage R&R kann eine Messprozesseignung im Bedarfsfall methodisch verifiziert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), VDA Band 5 - Prüfprozesseignung, Heinrich Druck und Medien GmbH, 2. vollständig überarbeitete Auflage 2010, aktualisiert Juli 2011.

- [2] AIAG - Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, MSA - Measurement System Analysis, Reference Manual, 4. Auflage, Michigan, 2010.

- [3] DIN - Deutsches Institut für Normung, DIN ISO/IEC Guide 99:2007 - Internationales Wörterbuch der Metrologie (VIM), Berlin: Beuth Verlag, 2007.

- [4] DIN - Deutsches Institut für Normung, DIN V ENV 13005 - Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen., Berlin: Beuth Verlag, 1999.

- [5] DIN - Deutsches Institut für Normung, DIN 1319-1:1995; Grundlagen der Messtechnik, 1995.

- [6] DIN - Deutsches Institut für Normung, DIN EN ISO 9000:2015 - Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe, Berlin: Beuth Verlag, 2015.

- [7] Q-DAS GmbH, Leitfaden zum "Fähigkeitsnachweis von Messsystemen", Version 2.1, 17.09.2002.

- [8] pipm - Bureau International des Poids et Mesures, „GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement,“ [Online]. Available: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>. [Zugriff am 14 März 2019].

- [9] Dietrich Edgar und Arbeitskreis, „Leitfaden zum "Fähigkeitsnachweis von Messsystemen", V2.1,“ 2002. [Online].

- [10] A. J. Duncan, „Design and Operation of a Double-Limit Variables Sampling Plan,“ 1958.
- [11] H. O. Hartley und E. S. Pearson, „Moment constants for the distribution of Range in Normal Samples,“ Biometrika, 1951.
- [12] E. Dietrich und A. Schulze, Eignungsnachweis von Prüfprozessen. Prüfmittelfähigkeit und Messunsicherheit im aktuellen Normenumfeld. 5. überarbeitete Auflage, München: Carl Hanser Verlag, 2017.
- [13] DIN - Deutsches Institut für Normung, DIN EN ISO 14253-2:2008 – Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Prüfung von Werk-stücken und Messgeräten durch Messen durch Messen, 2008.
- [14] A. J. Duncan, Quality Control and Industrial Statistics - Fifth Edition, McGraw-Hill/Irwin, 1986.

Anhänge und Tabellen

d2* Tabelle zur Ermittlung der Faktoren K1, K2 und K3 für Gage R&R nach ARM

Number of Subgroups (g)	Subgroup Size (m)																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1.0	2.0	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0	7.7	8.3	9.0	9.6	10.2	10.8	11.3	11.9	12.4	12.9	13.4	
2	1.41421	1.91155	2.23887	2.48124	2.67253	2.82981	2.96288	3.07794	3.17905	3.26809	3.35016	3.42878	3.49116	3.55333	3.61071	3.66422	3.71424	3.76118	3.80537	
3	1.27931	1.80538	2.15069	2.40484	2.60438	2.76779	2.90462	3.02446	3.12869	3.22134	3.30463	3.38017	3.44922	3.51287	3.57156	3.62625	3.67734	3.72524	3.77032	
4	1.23105	1.76858	2.12049	2.37883	2.58127	2.74681	2.88628	3.00643	3.11173	3.20526	3.28931	3.36550	3.43512	3.49927	3.55842	3.61351	3.66495	3.71319	3.75857	
5	1.20621	1.74989	2.10522	2.36571	2.56964	2.73626	2.87656	2.99737	3.10321	3.19720	3.28163	3.35815	3.42805	3.49246	3.55183	3.60712	3.65875	3.70715	3.75208	
6	1.19105	1.73857	2.09601	2.35781	2.56263	2.72991	2.87071	2.99192	3.09808	3.19235	3.27701	3.35372	3.42381	3.48836	3.54787	3.60328	3.65502	3.70352	3.74914	
7	1.18083	1.73099	2.08985	2.35253	2.55795	2.72567	2.86680	2.98829	3.09467	3.18911	3.27392	3.35077	3.42097	3.48563	3.54522	3.60072	3.65253	3.70109	3.74678	
8	1.17348	1.72555	2.08543	2.34875	2.55460	2.72263	2.86401	2.98568	3.09222	3.18679	3.27172	3.34866	3.41894	3.48368	3.54333	3.59888	3.65075	3.69936	3.74509	
9	1.16794	1.72147	2.08212	2.34591	2.55208	2.72036	2.86192	2.98373	3.09039	3.18506	3.27006	3.34708	3.41742	3.48211	3.54192	3.59751	3.64941	3.69806	3.74382	
10	1.16361	1.71828	2.07953	2.34370	2.55013	2.71858	2.86028	2.98221	3.08896	3.18370	3.26878	3.34585	3.41624	3.48107	3.54081	3.59644	3.64838	3.69705	3.74284	
11	1.16014	1.71573	2.07746	2.34192	2.54856	2.71717	2.85908	2.98100	3.08781	3.18262	3.26775	3.34486	3.41529	3.48016	3.53993	3.59559	3.64755	3.69625	3.74205	
12	1.15729	1.71363	2.07577	2.34048	2.54728	2.71600	2.85791	2.97983	3.08668	3.18174	3.26690	3.34406	3.41452	3.47941	3.53921	3.59489	3.64687	3.69558	3.74141	
13	1.15490	1.71189	2.07456	2.33927	2.54621	2.71504	2.85702	2.97897	3.08582	3.18100	3.26620	3.34339	3.41387	3.47879	3.53861	3.59430	3.64630	3.69503	3.74087	
14	1.15289	1.71041	2.07316	2.33824	2.54530	2.71422	2.85627	2.97827	3.08514	3.18037	3.26561	3.34282	3.41333	3.47826	3.53810	3.59381	3.64582	3.69457	3.74041	
15	1.15115	1.70914	2.07213	2.33737	2.54452	2.71351	2.85562	2.97767	3.08457	3.17984	3.26510	3.34233	3.41286	3.47781	3.53766	3.59339	3.64541	3.69417	3.74002	
16	1.14965	1.70804	2.07125	2.33661	2.54385	2.71290	2.85506	2.97735	3.08438	3.17968	3.26495	3.34219	3.41274	3.47772	3.53758	3.59332	3.64535	3.69382	3.73969	
17	1.14833	1.70708	2.07047	2.33594	2.54326	2.71237	2.85457	2.97689	3.08395	3.17927	3.26457	3.34181	3.41238	3.47737	3.53725	3.59300	3.64503	3.69351	3.73939	
18	1.14717	1.70623	2.06978	2.33535	2.54274	2.71190	2.85413	2.97649	3.08358	3.17891	3.26421	3.34145	3.41202	3.47702	3.53690	3.59266	3.64471	3.69320	3.73908	
19	1.14613	1.70547	2.06917	2.33483	2.54228	2.71148	2.85375	2.97613	3.08324	3.17859	3.26392	3.34116	3.41173	3.47674	3.53662	3.59238	3.64443	3.69292	3.73880	
20	1.14520	1.70480	2.06862	2.33436	2.54187	2.71111	2.85341	2.97581	3.08294	3.17830	3.26363	3.34086	3.41143	3.47644	3.53632	3.59208	3.64413	3.69262	3.73850	
d ₂	1.12838	1.69257	2.05875	2.32993	2.53441	2.70436	2.84742	2.97003	3.07751	3.17287	3.25846	3.33998	3.40676	3.47193	3.53198	3.58788	3.64006	3.68896	3.735	
cd	0.876	1.815	2.7378	3.623	4.4658	5.2673	6.0305	6.7582	7.4539	8.1207	8.7602	9.3751	9.9679	10.5396	11.0913	11.6259	12.144	12.6468	13.1362	


Table entries: 1st line of each cell is the degrees of freedom (v) and the 2nd line of each cell is d₂^{*}; d₂^{*} is the infinity value of d₂^{*}; additional values of v can be built up from the constant difference, cd.

Note: The notation used in this table follows that of Acheson Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th edition, McGraw-Hill, 1986.

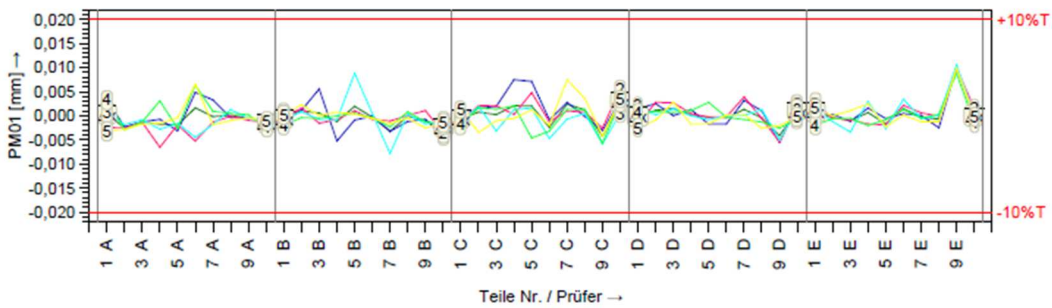
$v \left(\frac{\bar{R}}{d_2^*} \right) \left(\frac{\sigma^2}{c^2} \right)$ is distributed approximately as a χ^2 distribution with v degrees of freedom where \bar{R} is the average range of g subgroups of size m

Abbildung 34 – d2* Tabelle aus MSA 4 [2, p. 202]

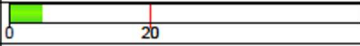
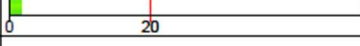
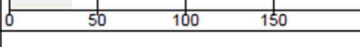
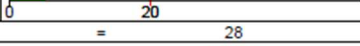
Beispielauswertung mittels Software (AV-Berechnung laut Leitfaden und K-Faktor 5,15)

	<h2 style="margin: 0;">Messsystemanalyse</h2>	<p>Seite 1 / 7</p>
---	---	------------------------

Datum/Zeit 06.11.2019		Bearb.Name NN		Abt./Kst./Prod. NN		Prüfart	
Prüfmittel		Teil		Merkmal			
Prfm.Bez.	Nikon	Teilebez.	Abgriff	Merkm.Bez. PM01			
Prfm.Nr.	2	Teilnr.	1	Merkm.Nr. 1			
Prfm.Aufl.	0,0001			Nennm. 17,8000		OSG 18,0000 $\Delta = 0,2000$	
Prüfgrnd.	Freigabe			Einh. mm		USG 17,8000 $\Delta = 0,0000$	
Bemerkung							



n	X _A	X _A	X _A	X _A	X _A	X _B	X _B	X _B	X _B	X _B	X _C	X _C	X _C	X _C	X _C	X _D	X _D	X _D	X _D	X _D	X _E	X _E	X _E	X _E	X _E	X _E	X _E	R _g	X _g	S _g
1	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
2	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
3	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
4	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
5	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
6	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
7	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
8	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
9	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0
10	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	0,0	17	0,0

Wiederholpräzision	$EV = K_1 \cdot \overline{R}$	= 0,00934	Faktor K ₁	= 2,21
Wiederholpräzision	$\%EV = \frac{EV \cdot 100\%}{T}$	= 4,67%		
Vergleichspräzision	$AV = K_2 \cdot \overline{x}_{diff}$	= 0,00336	Faktor K ₂	= 2,08
Vergleichspräzision	$\%AV = \frac{AV \cdot 100\%}{T}$	= 1,68%		
Teilestreuung	$PV = K_3 \cdot R_p$	= 0,0698	Faktor K ₃	= 1,62
Teilestreuung	$\%PV = \frac{PV \cdot 100\%}{T}$	= 34,91%		
Prüfsystemstreuung	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	= 0,00993		
Prüfsystemstreuung	$\%R\&R = \frac{R\&R \cdot 100\%}{T}$	= 4,96%		
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)		= ndc	= 28	
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem		= T _{min} (R&R)	= 0,0496	
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem		= T _{min} (R&R)	= 0,0496	
Prüfsystem fähig (RE,R&R)				😊
☉ Q-DAS (Leitfaden V2.1) neue Messsysteme (ARM): Verfahren 2				

Datum 06.11.2019 Unterschrift 12/181002 GC_2_me.def Abteilung Q-DAS Sales

Abgriff-bereinigte-Daten-alle-PM.dfq

Abbildung 35 – Gage R&R nach Leitfaden (ARM) mittels solar.MP von Q-DAS

Beispielauswertung mittels Software (AV-Berechnung laut MSA und K-Faktor 5,152)

ARBEITSBLATT 1

MSA PM01 - X-quer-/R-Methode

Varianzkomponenten

Quelle	VarKomp	%Beitrag (der VarKomp)
R&R (gesamt)	0,0000036	1,95
Wiederholbarkeit	0,0000033	1,75
Reproduzierbarkeit	0,0000004	0,19
Zwischen den Teilen	0,0001838	98,05
Gesamtstreuung	0,0001875	100,00

Prozesstoleranz = 0,2

R&R (gesamt)

Quelle	StdAbw	Streu. in Unters. (5,152 × SA)	%Streu. in Unters. (%SU)	%Toleranz (SU/Tol)
R&R (gesamt)	0,0019097	0,0098389	13,95	4,92
Wiederholbarkeit	0,0018135	0,0093430	13,24	4,67
Reproduzierbarkeit	0,0005987	0,0030843	4,37	1,54
Zwischen den Teilen	0,0135588	0,0698548	99,02	34,93
Gesamtstreuung	0,0136926	0,0705443	100,00	35,27

Anzahl der eindeutigen Kategorien = 10

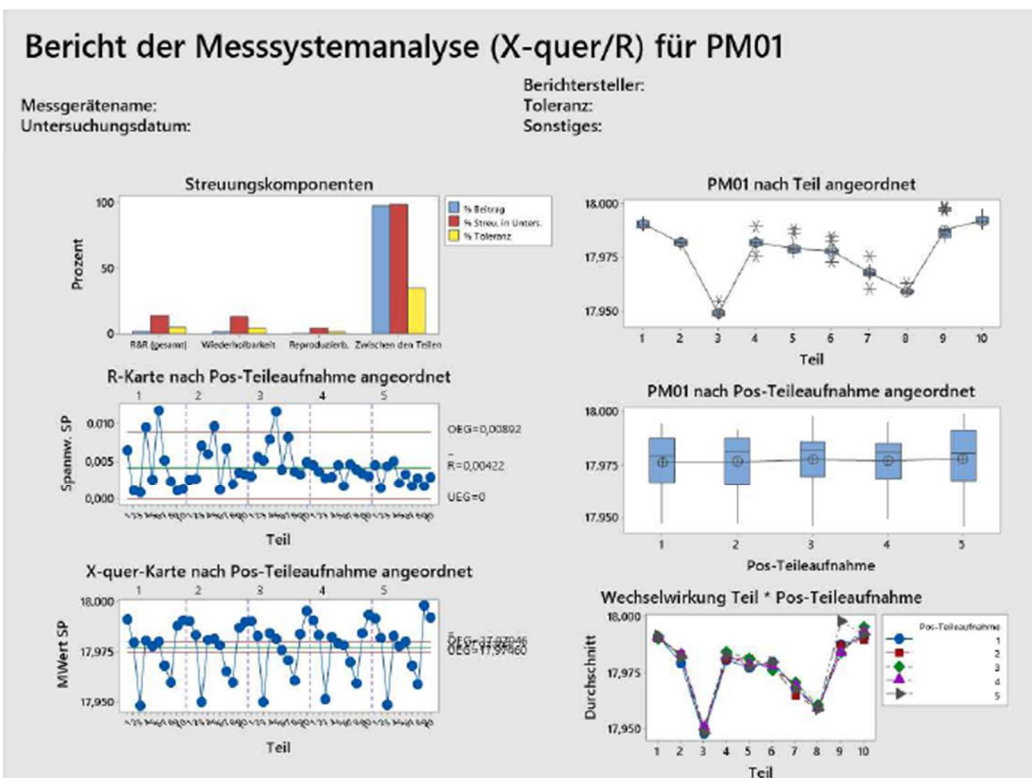


Abbildung 36 – Gage R&R nach MSA (ARM) mittels Minitab

Beispielauswertung mittels Excel (AV-Berechnung laut Leitfaden und K-Faktor 5,152)

Anmerkungen: Messdaten vom 28.07.2016 ausgewertet.

Auswertung nach: Pos-Teileaufnahme

Teilnr. & Name: Abgriff Meßmittel 1: Nikon 1 Datum: 08.11.2019

Merkmal: PM01 Meßmittelnr.: 91034 - 0

Spezifikation: 17,80 Meßbereich: 17,80 18,00

Merkmalnummer: 1 Plausibel: OK

Meßmittel 2: Nikon 2
Meßmittelnr.: 91311 - 0

Meßmittel 3:
Meßmittelnr.:

Das Meßsystem ist fähig!

Wiederholbarkeit EV: 4,67 Reproduzierbarkeit AV: 1,68 R & R: 4,96

Prüfer/ Anzahl der Versuche	Teil										Mittelwert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. 1	17,994	17,980	17,948	17,982	17,976	17,983	17,972	17,959	17,988	17,991	17,977
2. 1	17,988	17,980	17,948	17,976	17,978	17,973	17,967	17,959	17,987	17,991	17,975
3. 1	17,991	17,980	17,948	17,979	17,978	17,974	17,966	17,961	17,988	17,991	17,976
4. 1	17,994	17,979	17,948	17,985	17,977	17,985	17,969	17,960	17,988	17,990	17,978
5. 1	17,988	17,975	17,948	17,981	17,979	17,985	17,966	17,958	17,988	17,991	17,976
6. Mittelwert	17,991	17,980	17,948	17,981	17,977	17,980	17,968	17,959	17,988	17,991	17,976
7. Spannweite	0,006	0,001	0,001	0,010	0,003	0,012	0,005	0,002	0,001	0,001	0,004
8. 2	17,991	17,983	17,955	17,977	17,979	17,978	17,965	17,958	17,987	17,988	17,976
9. 2	17,990	17,984	17,948	17,982	17,980	17,978	17,967	17,960	17,989	17,989	17,977
10. 2	17,990	17,983	17,949	17,981	17,988	17,979	17,960	17,960	17,986	17,991	17,977
11. 2	17,989	17,982	17,949	17,982	17,980	17,978	17,966	17,960	17,987	17,990	17,976
12. 2	17,991	17,984	17,949	17,983	17,980	17,978	17,967	17,959	17,986	17,991	17,977
13. Mittelwert	17,990	17,983	17,950	17,981	17,981	17,978	17,965	17,959	17,987	17,990	17,977
14. Spannweite	0,003	0,003	0,007	0,006	0,010	0,001	0,007	0,002	0,004	0,003	0,004
15. 3	17,991	17,984	17,951	17,990	17,987	17,978	17,971	17,959	17,985	17,996	17,979
16. 3	17,990	17,984	17,951	17,983	17,984	17,977	17,969	17,960	17,986	17,996	17,978
17. 3	17,990	17,984	17,946	17,984	17,981	17,974	17,968	17,960	17,982	17,993	17,976
18. 3	17,989	17,984	17,951	17,984	17,975	17,975	17,970	17,961	17,983	17,995	17,977
19. 3	17,992	17,979	17,948	17,982	17,981	17,976	17,976	17,963	17,984	17,996	17,978
20. Mittelwert	17,990	17,983	17,949	17,984	17,981	17,976	17,971	17,961	17,984	17,995	17,977
21. Spannweite	0,003	0,006	0,005	0,008	0,012	0,004	0,008	0,004	0,003	0,005	0,006
22. 4	17,992	17,985	17,949	17,984	17,978	17,977	17,971	17,960	17,983	17,995	17,977
23. 4	17,989	17,985	17,952	17,983	17,979	17,978	17,972	17,959	17,983	17,995	17,977
24. 4	17,993	17,982	17,951	17,982	17,979	17,978	17,968	17,961	17,983	17,994	17,977
25. 4	17,991	17,983	17,950	17,983	17,982	17,978	17,967	17,958	17,986	17,992	17,977
26. 4	17,988	17,981	17,952	17,981	17,978	17,979	17,968	17,957	17,986	17,992	17,976
27. Mittelwert	17,991	17,983	17,951	17,982	17,979	17,978	17,970	17,959	17,984	17,993	17,977
28. Spannweite	0,005	0,004	0,003	0,003	0,005	0,002	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004
29. 5	17,991	17,982	17,948	17,984	17,979	17,979	17,968	17,957	17,998	17,992	17,978
30. 5	17,993	17,982	17,948	17,981	17,978	17,981	17,969	17,959	17,998	17,994	17,978
31. 5	17,993	17,981	17,946	17,985	17,977	17,982	17,968	17,959	17,999	17,992	17,978
32. 5	17,989	17,982	17,949	17,980	17,979	17,980	17,968	17,960	17,997	17,991	17,977
33. 5	17,992	17,982	17,950	17,985	17,977	17,979	17,967	17,958	17,998	17,992	17,978
34. Mittelwert	17,992	17,982	17,948	17,983	17,978	17,980	17,968	17,959	17,998	17,992	17,978
35. Spannweite	0,005	0,002	0,004	0,005	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003
36. Teil											17,977
37. Mittelwert \bar{X}_p	17,991	17,982	17,949	17,982	17,979	17,978	17,968	17,959	17,988	17,992	17,977
38. $\hat{R} = (R_a + R_b + R_c + R_d + R_e) / k$											0,0042
39. $\bar{x}_{DIFF} = Max \bar{x} - Min \bar{x}$											0,002
40. $UCL_R = \hat{R} + D_4$											0,009
41. $LCL_R = \hat{R} + D_3$											0,000

Achtung Spannweite überschritten!

*D₄=3,27 für 2 Versuche und 2,58 für 3 Versuche. D₃=0 bis zu 7 Versuchen. LCL₁ und UCL₁ beschreiben die Grenzwerte für die Einzelwerte von R. Kreiseln Sie die Werte ein, die außerhalb dieser Grenzen liegen. Ermitteln Sie die Ursache und korrigieren Sie. Wiederholen Sie diese Messung mit dem selben Prüfling und Teil wie zuvor oder streichen Sie den Meßwert und berechnen Sie den Mittelwert, die Spannweite und den Grenzwert der Messung neu.

Die ersten 5 Diagramme zeigen die Wiederholmessungen der Tabelle daneben und die letzte Tabelle zeigt die Mittelwerte aller Messungen zueinander.

Abbildung 37 – Gage R&R nach Leitfaden (ARM) mittels Excel.

Vergleich der Berechnungsvarianten für die Ermittlung von Messmittelfähigkeit

	ARM Verfahren		ANOVA	
	Leitfaden 2.1	MSA 3	MSA 4	ANOVA nach VDA Band 5
Vertrauensniveau	K-Faktor = 5,152 (1*) entspricht einem Vertrauensniveau von 99% (±2,576 Sigma)	K-Faktor = 5,152 entspricht einem Vertrauensniveau von 99% (±2,576 Sigma)	Faktor 6 bei Berechnung TV entspricht einem Vertrauensniveau von 99,73% (±3 Sigma) (K-Faktor = 1)	ANOVA nach VDA Band 5 k-Faktor = 2 (3*) entspricht einem Vertrauensniveau von 95,45% (±2 Sigma)
Wiederholbarkeit EV	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	$S_{BVO} = MS_{BVO}$
Bedienereinfluss AV	$AV = K_2 \cdot \bar{X}_{DIFF}$	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - (EV^2 / nr)}$	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - (EV^2 / nr)}$	$S_{AV} = \frac{MS_{AV} - MS_{IA}}{N_p \cdot N_k}$
Wechselwirkung IA	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	$S_{IA} = \frac{MS_{IA} - MS_{BVO}}{N_p}$
Messsystem Q _{MS}	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	nicht getrennt betrachtet	$U_{MS} = k \cdot u_{MS}$
Gabe R&R Messprozess Q _{MP}	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	$U_{MP} = k \cdot u_{MP}$
Teileinfluss PV	$PV = K_3 \cdot R_p$	$PV = K_3 \cdot R_p$	$PV = K_3 \cdot R_p$	$S_{PV} = \frac{MS_{PV} - MS_{IA}}{N_A \cdot N_B}$
Bezugsgröße TV bzw. RF	$RF = \frac{OTG - UTG}{\text{oder}} \frac{OTG - UTG}{\sqrt{R\&R^2 + PV^2}}$ $RF = 6 \cdot \text{Prozessstreuung}$	$TV = \frac{OTG - UTG}{\text{oder}} \frac{OTG - UTG}{C_p}$ $TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$ $TV = \frac{OTG - UTG}{\text{oder}} \frac{OTG - UTG}{C_p}$	$TV = \frac{OTG - UTG}{\text{oder}} \frac{OTG - UTG}{6}$ $TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$ (2*) $TV = \frac{OTG - UTG}{\text{oder}} \frac{OTG - UTG}{6C_p}$	$TOL = OTG - UTG$
Grenzen	%R&R ≤ 20% für neue Messsysteme %R&R ≤ 30% für Messsysteme im Einsatz	%R&R ≤ 10% Prüfmittel geeignet 10% < %R&R ≤ 30% Prüfmittel bedingt geeignet 30% < %R&R Prüfmittel nicht geeignet	%R&R ≤ 10% Prüfmittel geeignet 10% < %R&R ≤ 30% Prüfmittel bedingt geeignet 30% < %R&R Prüfmittel nicht geeignet	$Q_{MS} = \%u_{MS} \leq 15\%$ $Q_{MP} = \%u_{MP} \leq 30\%$
Berechnung mit Excel	Vorlage-R&R-ARM-nach-Leitfaden-V2.1	Vorlage-R&R-ARM-nach-MSA-3	Vorlage-R&R-ARM-nach-MSA-4	Vorlage-R&R-ANOVA-nach-Leitfaden-2.1
Berechnung mit Software	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ARM	Q-DAS (MSA 4) ARM Minitab MSA Kreuz (Vertrauensniveau anpassen)	Q-DAS (MSA 4) ARM Minitab MSA Kreuz	Q-DAS (Leitfaden V2.1) ANOVA

1*: Der K-Faktor ist hier jener Faktor, welcher für die Berechnungen von K₁, K₂ und K₃ angewendet wird. Hier, K₁ = 5,152/d₁. Ein Wert von 5,152 Sigma entspricht Normalverteilt einem Vertrauensniveau von 99%.

2*: Der Faktor 6 ist hier nicht anzuwenden, da er schon in dem R&R bzw. PV Wert berücksichtigt ist. 6 Sigma entspricht einem Vertrauensniveau von 99,73%. Der K-Faktor zur Berechnung von K₁, K₂ und K₃ ist hier 1!

3*: Der k-Faktor entspricht hier der Standardabweichung. K = 2 bedeutet ±2 Sigma und entspricht somit einem Vertrauensniveau von 95,45%.


Abbildung 38 – Vergleich der ARM und ANOVA Verfahren

SLK-3 Messungen

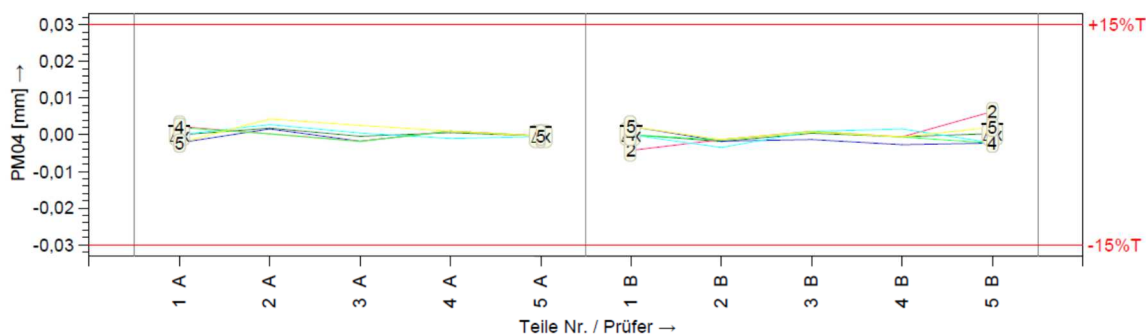
Teil	Messung	Maschine	PM04	PM05	PM06l	PM06r	PM07	PM10l	PM10r	PM18	PM19
1	1	1	0,0128	18,8509	2,7042	2,7382	2,699	0,7302	0,5143	0,1417	5,0066
2	1	1	0,0459	18,8599	2,6835	2,7285	2,6867	0,7463	0,4693	0,1518	5,0326
3	1	1	0,0339	18,8581	2,6202	2,664	2,7028	0,7152	0,5187	0,1524	5,0113
4	1	1	0,0488	18,8594	2,6083	2,6486	2,6867	0,6743	0,5444	0,1633	5,0134
5	1	1	0,0276	18,8587	2,6895	2,7272	2,6973	0,7316	0,499	0,1652	5,0182
1	2	1	0,0172	18,8497	2,693	2,7331	2,6931	0,7227	0,523	0,1463	5,0063
2	2	1	0,0446	18,8618	2,6832	2,7289	2,6803	0,7465	0,4704	0,1504	5,0333
3	2	1	0,0339	18,8578	2,6214	2,6652	2,6986	0,7162	0,5175	0,1543	5,0124
4	2	1	0,0488	18,8565	2,608	2,648	2,6822	0,6747	0,5437	0,1609	5,0103
5	2	1	0,0277	18,8596	2,6883	2,7266	2,6986	0,732	0,4983	0,1633	5,0195
1	3	1	0,015	18,8507	2,7037	2,7384	2,6909	0,7279	0,5149	0,1475	5,0062
2	3	1	0,0471	18,8606	2,6831	2,7285	2,6861	0,7448	0,4701	0,1498	5,0329
3	3	1	0,0361	18,8569	2,6203	2,6633	2,689	0,7133	0,5183	0,157	5,0109
4	3	1	0,0468	18,8561	2,6084	2,6493	2,6808	0,6746	0,5463	0,1571	5,0106
5	3	1	0,0275	18,8641	2,6884	2,7268	2,7027	0,7309	0,5	0,1641	5,0164
1	4	1	0,0169	18,8494	2,7009	2,7365	2,6932	0,7265	0,5149	0,1455	5,006
2	4	1	0,0446	18,8623	2,6826	2,7281	2,6814	0,7464	0,4707	0,1535	5,0352
3	4	1	0,0338	18,8595	2,619	2,6628	2,7004	0,7161	0,5175	0,1515	5,0136
4	4	1	0,0488	18,862	2,6083	2,6484	2,6834	0,6743	0,5443	0,1628	5,0184
5	4	1	0,0276	18,8639	2,6882	2,7261	2,7035	0,7325	0,4987	0,1638	5,0165
1	5	1	0,0127	18,8513	2,7005	2,7379	2,6933	0,7273	0,5192	0,148	5,0081
2	5	1	0,0487	18,8633	2,6831	2,7287	2,6947	0,7453	0,4678	0,1519	5,0348
3	5	1	0,0382	18,861	2,6189	2,6617	2,7321	0,7137	0,516	0,1585	5,0132
4	5	1	0,0488	18,8677	2,6084	2,6494	2,6811	0,6732	0,5453	0,1624	5,0206
5	5	1	0,0276	18,8562	2,6877	2,7259	2,7033	0,7321	0,4989	0,1593	5,0157
1	1	2	0,0172	18,8509	2,7167	2,7605	2,692	0,7255	0,5379	0,1425	5,0051
2	1	2	0,0426	18,8572	2,7061	2,7527	2,6841	0,7541	0,4838	0,1513	5,0289
3	1	2	0,0343	18,8593	2,641	2,686	2,689	0,7268	0,5233	0,1529	5,009
4	1	2	0,0451	18,8537	2,6304	2,672	2,6828	0,6829	0,5558	0,1607	5,0104
5	1	2	0,0257	18,8634	2,7129	2,7535	2,6943	0,7401	0,5124	0,1586	5,0117
1	2	2	0,0107	18,8505	2,7161	2,7601	2,6894	0,7308	0,539	0,1469	5,0066
2	2	2	0,043	18,8573	2,7068	2,7532	2,6854	0,7556	0,4819	0,1509	5,0279
3	2	2	0,0365	18,8599	2,6414	2,6851	2,6481	0,7263	0,5216	0,1522	5,0112
4	2	2	0,0473	18,8551	2,6304	2,6722	2,6811	0,6809	0,5559	0,1607	5,0129
5	2	2	0,0343	18,8579	2,7099	2,7489	2,696	0,7338	0,5091	0,1614	5,0145
1	3	2	0,0149	18,8549	2,7161	2,7598	2,6915	0,7271	0,5385	0,1455	5,0108
2	3	2	0,0409	18,8609	2,7069	2,7531	2,6844	0,7566	0,4831	0,1478	5,0281
3	3	2	0,0365	18,8595	2,6399	2,6844	2,6939	0,7249	0,5233	0,15	5,01
4	3	2	0,0494	18,8328	2,6293	2,6701	2,6536	0,6818	0,5531	0,1592	4,9891
5	3	2	0,0258	18,8575	2,711	2,7508	2,6939	0,7387	0,513	0,1637	5,015
1	4	2	0,015	18,8503	2,7147	2,7572	2,6885	0,7305	0,5352	0,1448	5,005
2	4	2	0,0429	18,8582	2,706	2,7532	2,684	0,7548	0,4832	0,1462	5,0271
3	4	2	0,0365	18,8578	2,6405	2,6851	2,6889	0,7259	0,5225	0,1525	5,0084
4	4	2	0,0472	18,8556	2,6301	2,6705	2,6826	0,6833	0,5541	0,1621	5,011
5	4	2	0,0257	18,8586	2,7108	2,751	2,6967	0,7374	0,514	0,1596	5,0151
1	5	2	0,0172	18,8109	2,7152	2,758	2,6684	0,7285	0,5343	0,1458	4,9668
2	5	2	0,043	18,8573	2,7058	2,7524	2,6835	0,7543	0,4836	0,1479	5,028
3	5	2	0,0364	18,86	2,6458	2,6931	2,6925	0,7204	0,5271	0,1514	5,0095
4	5	2	0,0473	18,856	2,6295	2,6708	2,6817	0,683	0,5544	0,1603	5,0122
5	5	2	0,03	18,8575	2,7117	2,7514	2,6976	0,7358	0,5116	0,1552	5,0138

Abbildung 39 – SLK-3 Messdaten



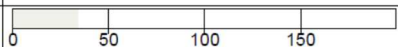

Auswertung Q-DAS - ARM nach Leitfaden 2.1

	Messsystemanalyse	Seite 1 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 21.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfart
Prüfmittel		Teil	Merkmal
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM04	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 1	
Prfm.Aufl. 0,0001		Nennm. OSG 0,1000	^
Prüfgrnd. DA		Einh. mm USG -0,1000	^
Bemerkung			



n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}
1	0,0128	0,0172	0,0150	0,0169	0,0127	0,0149	0,0045	0,01496	0,00229	0,0172	0,0107	0,0149	0,0150	0,0172	0,0150	0,0065	0,01496	0,00229
2	0,0459	0,0446	0,0471	0,0446	0,0487	0,0461	0,0041	0,04433	0,00129	0,0426	0,0430	0,0409	0,0429	0,0430	0,0424	0,0021	0,04433	0,00129
3	0,0339	0,0339	0,0361	0,0338	0,0382	0,0351	0,0044	0,03561	0,00138	0,0343	0,0365	0,0365	0,0365	0,0364	0,0360	0,0022	0,03561	0,00138
4	0,0488	0,0488	0,0468	0,0488	0,0488	0,0484	0,0020	0,04783	0,00131	0,0451	0,0473	0,0494	0,0472	0,0473	0,0472	0,0043	0,04783	0,00131
5	0,0276	0,0277	0,0275	0,0276	0,0276	0,0276	0,0002	0,02795	0,00183	0,0257	0,0343	0,0258	0,0257	0,0300	0,0283	0,0086	0,02795	0,00183

Wiederholpräzision	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	=	0,00856	Faktor K ₁	=	2,20
Wiederholpräzision	$\%EV = \frac{EV \cdot 100\%}{T}$	=	4,28%			
Vergleichspräzision	$AV = K_2 \cdot \bar{x}_{diff}$	=	0,00234	Faktor K ₂	=	3,65
Vergleichspräzision	$\%AV = \frac{AV \cdot 100\%}{T}$	=	1,17%			
Teilestreuung	$PV = K_3 \cdot R_p$	=	0,0683	Faktor K ₃	=	2,08
Teilestreuung	$\%PV = \frac{PV \cdot 100\%}{T}$	=	34,14%			
Prüfsystemstreuung	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	=	0,00888			
Prüfsystemstreuung	$\%R\&R = \frac{R\&R \cdot 100\%}{T}$	=	4,44%			
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	=	ndc	=	31		
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	=	T _{min (R&R)}	=	0,0296		
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	=	T _{min (R&R)}	=	0,0296		
Prüfsystem fähig (RE,R&R)				😊		
⊗ Q-DAS (Leitfaden V2.1) vorhand. Messsysteme (ARM): Verfahren 2						

Datum 21.12.2019 Unterschrift 12 / 181002 GC_2_me.def Abteilung Q-DAS Sales

Dateiname: Q-DAS-SLK-3-ARM-nach-Leitfaden.dfq

Abbildung 40 – PM04 Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1

Auswertung Excel - ARM nach Leitfaden 2.1

ARM nach Leitfaden 2.1
 Anmerkungen: Messdaten ausgewertet.

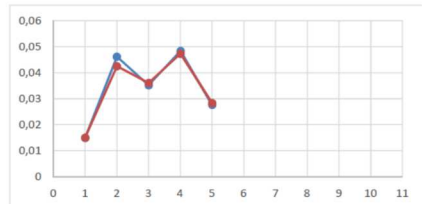
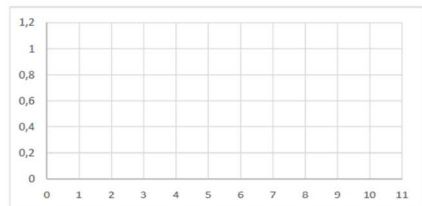
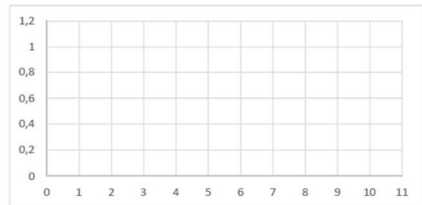
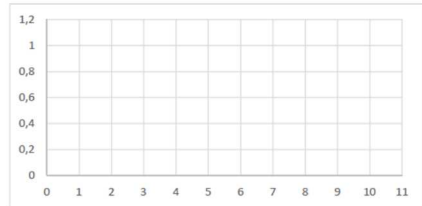
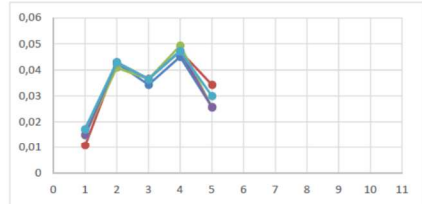
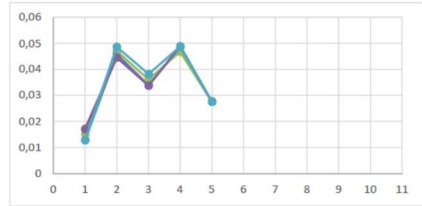
Auswertung nach: Maschine
 Teilnr. & Name: SLK-3 Meßmittel 1: Nikon 1 Datum: 14.12.2019
 Merkmal: PM04 Meßmittelnr.: 91034 - 0
 Spezifikation: 0,00 Meßbereich: -0,10 0,10
 Merkmalnummer: 1 Plausibel: OK

Meßmittel 2: Nikon 2
 Meßmittelnr.: 91311 - 0
 Meßmittel 3:
 Meßmittelnr.:

Das Meßsystem ist fähig!												
Wiederholbarkeit %EV:		4,28		Reproduzierbarkeit %AV:		1,17		%R&R:		4,43		
Prüfer/ Anzahl der Versuche	Teil	Teil										Mittelwert
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. 1	1	0,013	0,046	0,034	0,049	0,028						0,034
2. 1	2	0,017	0,045	0,034	0,049	0,028						0,034
3. 1	3	0,015	0,047	0,036	0,047	0,028						0,035
4. 1	4	0,017	0,045	0,034	0,049	0,028						0,034
5. 1	5	0,013	0,049	0,038	0,049	0,028						0,035
6.	Mittelwert	0,015	0,046	0,035	0,048	0,028						$\bar{X}_a = 0,034$
7.	Spannweite	0,005	0,004	0,004	0,002	0,000						$\bar{R}_a = 0,003$
8. 2	1	0,017	0,043	0,034	0,045	0,026						0,033
9. 2	2	0,011	0,043	0,037	0,047	0,034						0,034
10. 2	3	0,015	0,041	0,037	0,049	0,026						0,034
11. 2	4	0,015	0,043	0,037	0,047	0,026						0,033
12. 2	5	0,017	0,043	0,036	0,047	0,030						0,035
13.	Mittelwert	0,015	0,042	0,036	0,047	0,028						$\bar{X}_b = 0,034$
14.	Spannweite	0,007	0,002	0,002	0,004	0,009						$\bar{R}_b = 0,005$
15. 3	1											
16. 3	2											
17. 3	3											
18. 3	4											
19. 3	5											
20.	Mittelwert											$\bar{X}_c =$
21.	Spannweite											$\bar{R}_c =$
22. 4	1											
23. 4	2											
24. 4	3											
25. 4	4											
26. 4	5											
27.	Mittelwert											$\bar{X}_c =$
28.	Spannweite											$\bar{R}_d =$
29. 5	1											
30. 5	2											
31. 5	3											
32. 5	4											
33. 5	5											
34.	Mittelwert											$\bar{X}_c =$
35.	Spannweite											$\bar{R}_e =$
36.	Teil											$\bar{X} = 0,034$
37.	Mittelwert \bar{X}_p	0,015	0,044	0,036	0,048	0,028						$\bar{R}_p = 0,0329$
38.	$\bar{R} = (\bar{R}_a + \bar{R}_b + \bar{R}_c + \bar{R}_d + \bar{R}_e) / k$											= 0,0039
39.	$\hat{X}_{DIFF} = \text{Max } \hat{X} - \text{Min } \hat{X}$											= 0,001
40.	$UCL_R = \bar{R} * D_4$											= 0,008
41.	$LCL_R = \bar{R} * D_3$											= 0,000

Achtung Spannweite überschritten!


* $D_4=3,27$ für 2 Versuche und $2,58$ für 3 Versuche. $D_3=0$ bis zu 7 Versuchen. LCL_R und UCL_R beschreiben die Grenzwerte für die Einzelwerte von R. Kreisen Sie die Werte ein, die außerhalb dieser Grenzen liegen. Ermitteln Sie die Ursache und korrigieren Sie. Wiederholen Sie diese Messung mit dem selben Prüfern und Teil wie zuvor oder streichen Sie den Meßwert und berechnen Sie den Mittelwert, die Spannweite und den Grenzwert der Messung neu.



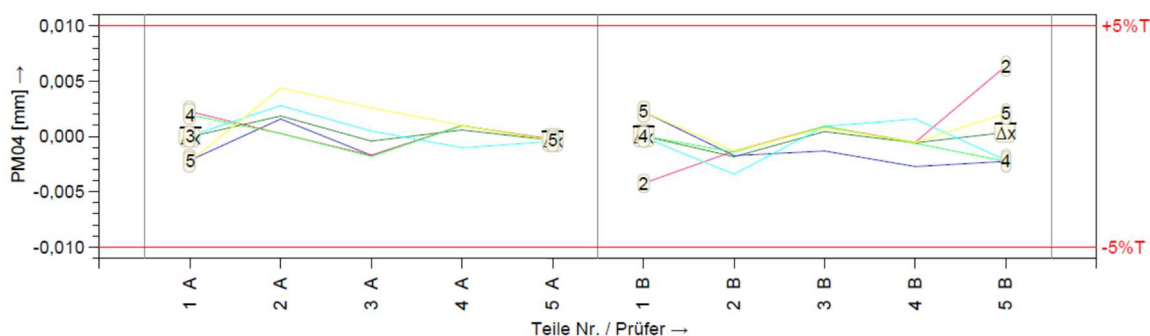
Die ersten 5 Diagramme zeigen die Wiederholmessungen der Tabelle daneben und die letzte Tabelle zeigt die Mittelwerte aller Messungen zueinander.

Abbildung 41 – PM04 Excel ARM nach Leitfaden 2.1



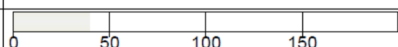


Auswertung Q-DAS – ARM nach MSA 4

	Messsystemanalyse	Seite 1 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 21.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfört
Prüfmittel		Teil	Merkmal
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM04	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 1	
Prfm.Aufl. 0,0001		Nennm. OSG 0,1000	^
Prüfgrnd. DA		Einh. mm USG -0,1000	^
Bemerkung			



n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}
1	0,0128	0,0172	0,0150	0,0169	0,0127	0,0149	0,0045	0,01496	0,002287	0,0172	0,0107	0,0149	0,0150	0,0172	0,0150	0,0066	0,01496	0,002287
2	0,0459	0,0446	0,0471	0,0446	0,0487	0,0461	0,0041	0,04433	0,001289	0,0426	0,0430	0,0409	0,0429	0,0430	0,0424	0,0021	0,04433	0,001289
3	0,0339	0,0339	0,0361	0,0338	0,0382	0,0351	0,0044	0,03561	0,001372	0,0343	0,0365	0,0365	0,0365	0,0364	0,0360	0,0022	0,03561	0,001372
4	0,0488	0,0488	0,0468	0,0488	0,0488	0,0484	0,0020	0,04783	0,001309	0,0451	0,0473	0,0494	0,0472	0,0473	0,0472	0,0043	0,04783	0,001309
5	0,0276	0,0277	0,0275	0,0276	0,0276	0,0276	0,0002	0,02795	0,001829	0,0257	0,0343	0,0258	0,0257	0,0300	0,0283	0,0086	0,02795	0,001829

Wiederholpräzision	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	=	0,0016610	Faktor K ₁	=	0,4270
Wiederholpräzision	$\%EV = 6 \cdot \frac{EV \cdot 100\%}{T}$	=	4,98%			
Vergleichspräzision	$AV = \sqrt{(K_2 \cdot \bar{x}_{diff})^2 - (EV^2 / (n \cdot r))}$	=	0,00030731	Faktor K ₂	=	0,7071
Vergleichspräzision	$\%AV = 6 \cdot \frac{AV \cdot 100\%}{T}$	=	0,92%			
Teilestreuung	$PV = K_3 \cdot R_p$	=	0,013247	Faktor K ₃	=	0,4030
Teilestreuung	$\%PV = 6 \cdot \frac{PV \cdot 100\%}{T}$	=	39,74%			
Prüfsystemstreuung	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	=	0,0016892			
Prüfsystemstreuung	$\%GRR = 6 \cdot \frac{GRR \cdot 100\%}{T}$	=	5,07%			
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	=	ndc	=	11		
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	=	T _{min} (%GRR)	=	0,101		
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	=	T _{min} (%GRR)	=	0,0338		
Prüfsystem fähig (min,%GRR,ndc)						
⊗ MSA Demonstration (4 Ed.) (06/2013): Type 2 - ARM (tolerance)						

Datum 21.12.2019 Unterschrift 12 / 181002 GC_2_me.def Abteilung Q-DAS Sales

Q-DAS-SLK-3-ARM-nach-MSA-4.dfg

Abbildung 42 – PM04 Q-DAS ARM nach MSA 4

Auswertung Excel – ARM nach MSA 4

ARM nach MSA 4
 Anmerkungen: Messdaten ausgewertet.

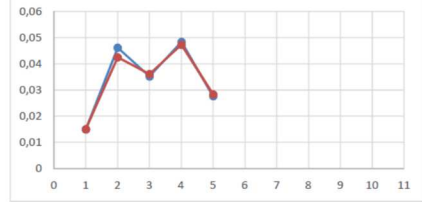
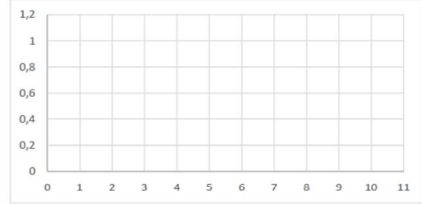
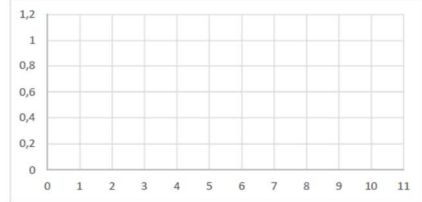
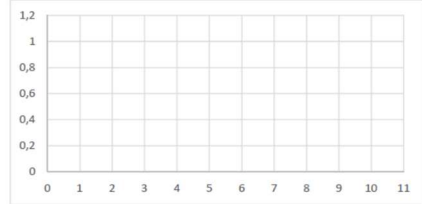
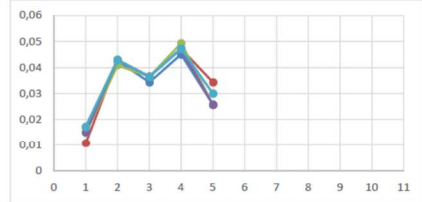
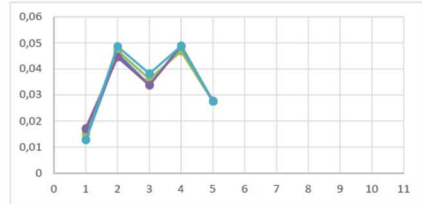
Auswertung nach: Maschine
 Teilnr. & Name: SLK-3 Meßmittel 1: Nikon 1 Datum: 14.12.2019
 Merkmal: PM04 Meßmittelnr: 91034 - 0
 Spezifikation: 0,00 Meßbereich: -0,10 0,10
 Merkmalnummer: 1 Plausibel: OK

Meßmittel 2: Nikon 2
 Meßmittelnr: 91311 - 0
 Meßmittel 3:
 Meßmittelnr:

Das Meßsystem ist fähig!												
Wiederholbarkeit %EV:		4,98		Reproduzierbarkeit %AV:		0,92		%R&R:		5,07		
Prüfer/Anzahl der Versuche	Teil	Teil										Mittelwert
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. 1	1	0,013	0,046	0,034	0,049	0,028						0,034
2. 1	2	0,017	0,045	0,034	0,049	0,028						0,034
3. 1	3	0,015	0,047	0,036	0,047	0,028						0,035
4. 1	4	0,017	0,045	0,034	0,049	0,028						0,034
5. 1	5	0,013	0,049	0,038	0,049	0,028						0,035
6.	Mittelwert	0,015	0,046	0,035	0,048	0,028						$\bar{X}_a = 0,034$
7.	Spannweite	0,005	0,004	0,004	0,002	0,000						$\bar{R}_a = 0,003$
8. 2	1	0,017	0,043	0,034	0,045	0,026						0,033
9. 2	2	0,011	0,043	0,037	0,047	0,034						0,034
10. 2	3	0,015	0,041	0,037	0,049	0,026						0,034
11. 2	4	0,015	0,043	0,037	0,047	0,026						0,033
12. 2	5	0,017	0,043	0,036	0,047	0,030						0,035
13.	Mittelwert	0,015	0,042	0,036	0,047	0,028						$\bar{X}_b = 0,034$
14.	Spannweite	0,007	0,002	0,002	0,004	0,009						$\bar{R}_b = 0,005$
15. 3	1											
16. 3	2											
17. 3	3											
18. 3	4											
19. 3	5											
20.	Mittelwert											$\bar{X}_c =$
21.	Spannweite											$\bar{R}_c =$
22. 4	1											
23. 4	2											
24. 4	3											
25. 4	4											
26. 4	5											
27.	Mittelwert											$\bar{X}_c =$
28.	Spannweite											$\bar{R}_d =$
29. 5	1											
30. 5	2											
31. 5	3											
32. 5	4											
33. 5	5											
34.	Mittelwert											$\bar{X}_c =$
35.	Spannweite											$\bar{R}_e =$
36.	Teil											$\bar{X} = 0,034$
37.	Mittelwert \bar{X}_p	0,015	0,044	0,036	0,048	0,028						$\bar{R}_p = 0,0329$
38.	$\bar{R} = (\bar{R}_a + \bar{R}_b + \bar{R}_c + \bar{R}_d + \bar{R}_e) / k$											= 0,0039
39.	$\bar{X}_{DIFF} = \text{Max } \bar{X} - \text{Min } \bar{X}$											= 0,001
40.	$UCL_R = \bar{R} * D_4$											= 0,008
41.	$LCL_R = \bar{R} * D_3$											= 0,000

Achtung Spannweite überschritten!


*D₄=3,27 für 2 Versuche und 2,58 für 3 Versuche. D₃=0 bis zu 7 Versuchen. LCL_R und UCL_R beschreiben die Grenzwerte für die Einzelwerte von R. Kreisen Sie die Werte ein, die außerhalb dieser Grenzen liegen. Ermitteln Sie die Ursache und korrigieren Sie. Wiederholen Sie diese Messung mit dem selben Prüfern und Teil wie zuvor oder streichen Sie den Meßwert und berechnen Sie den Mittelwert, die Spannweite und den Grenzwert der Messung neu.



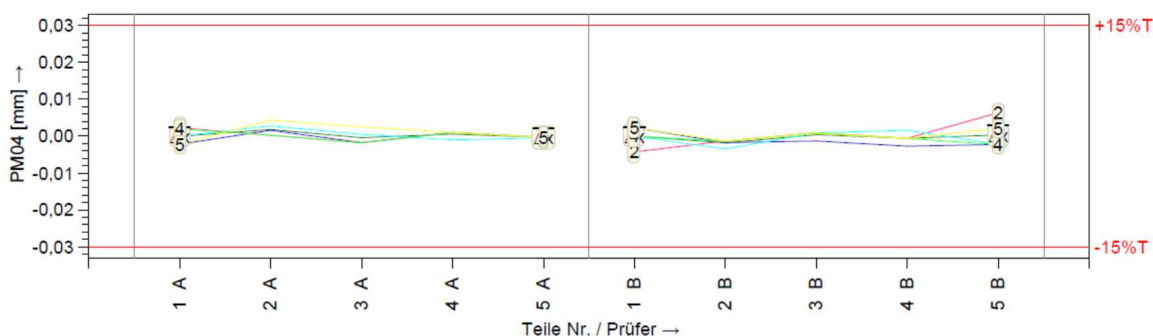
Die ersten 5 Diagramme zeigen die Wiederholmessungen der Tabelle daneben und die letzte Tabelle zeigt die Mittelwerte aller Messungen zueinander.

Abbildung 43 – PM04 Excel ARM nach MSA 4



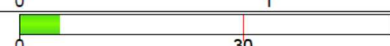

Auswertung Q-DAS – ANOVA nach Leitfaden 2.1

	Messsystemanalyse	Seite 1 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 21.12.2019	Bearb. Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfart
Prüfmittel		Teil	
Prfm.Bez.	Teilebez.	SLK-3	Merkm.Bez. PM04
Prfm.Nr.	Teilnr.	3140	Merkm.Nr. 1
Prfm.Auf. 0,0001			Nennm. OSG 0,1000 $\hat{=}$
Prüfgrnd. DA			Einh. mm USG -0,1000 $\hat{=}$
Bemerkung			



n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	\bar{x}_{gj}	s _{gj}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	\bar{x}_{gj}	s _{gj}
1	0,0128	0,0172	0,0150	0,0169	0,0127	0,01492	0,00215	0,0172	0,0107	0,0149	0,0150	0,0172	0,01500	0,00265
2	0,0459	0,0446	0,0471	0,0446	0,0487	0,04618	0,00175	0,0426	0,0430	0,0409	0,0429	0,0430	0,04248	0,00090
3	0,0339	0,0339	0,0361	0,0338	0,0382	0,03518	0,00195	0,0343	0,0365	0,0365	0,0365	0,0364	0,03604	0,00097
4	0,0488	0,0488	0,0468	0,0488	0,0488	0,04840	0,00089	0,0451	0,0473	0,0494	0,0472	0,0473	0,04726	0,00152
5	0,0276	0,0277	0,0275	0,0276	0,0276	0,02760	0,00007	0,0257	0,0343	0,0258	0,0257	0,0300	0,02830	0,00383

Wiederholpräzision	0,00000427	Standardabw.	0,00207	Vertrauensnivea 1- α = 95,000%	EV = 0,00881 \leq 0,0106 \leq 0,0134	%EV = 5,32%
Vergleichspräzision	0,000000341		0,000185	AV = 0,000 \leq 0,000952 \leq 0,0739		%AV = 0,48%
Wechselwirkung	[pooling]		[pooling]	IA =		%IA = ---
Prüfsystemstreuung	0,00000430		0,00207	R&F= 0,0105 \leq 0,0107 \leq 0,0751		%R&R = 5,34%
Teilestreuung	0,000174		0,0132	PV = 0,0386 \leq 0,0680 \leq 0,197		%PV = 34,02%
Gesamtstreuung	0,000179		0,0134	TV = 0,0689		
Versuchsplan				Bezugsgröße		
Anzahl Messungen	=	5		Prozessstreuung	=	0
Anzahl Prüfer	=	2		Toleranz	=	0,2000
Anzahl Teile	=	5		geforderter Cp-Wert	=	
Auflösung	%RE	=	0,05%			
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	ndc	=	26			
Prüfsystemstreuung	%R&R	=	5,34%			
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem=	T _{min} (R&R)	=	0,0356			
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem=	T _{min} (R&R)	=	0,0356			
Prüfsystem fähig (RE,R&R)						
⊗ Q-DAS (Leitfaden V2.1) vorh. Messsysteme (ANOVA): Verfahren 2						

Datum _____ Unterschrift _____ Abteilung _____
 21.12.2019 12 / 181002 GC_2_me.def Q-DAS Sales Q-DAS-SLK-3-ANOVA-nach-Leitfaden.dfq

Abbildung 44 – PM04 Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1

Auswertung Excel – ANOVA nach Leitfaden 2.1

ANOVA nach Leitfaden 2.1
 Anmerkungen: Messdaten ausgewertet.

Auswertung nach: Maschine

Teilnr. & Name: SLK-3 Meßmittel 1: Nikon 1 Datum: 14.12.2019

Merkmal: PM04 Meßmittelnr.: 91034 - 0

Spezifikation: 0,00 Meßbereich: -0,10 0,10

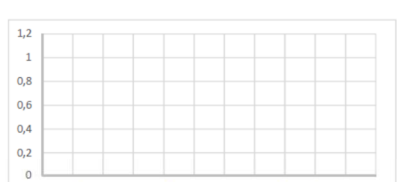
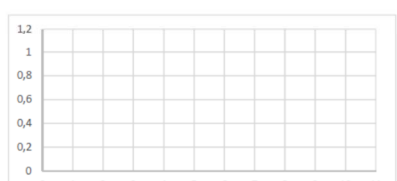
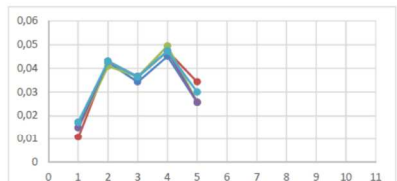
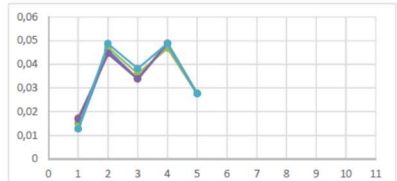
Merkmalnummer: 1 Plausibel: OK Nicht Signifikant

Meßmittel 2: Nikon 2
 Meßmittelnr.: 91311 - 0

Meßmittel 3:
 Meßmittelnr.:

Das Meßsystem ist fähig!												
Wiederholbarkeit %EV:	5,32	Reproduzierbarkeit %AV:	0,48	%R&R:	5,34							
Wechselwirkung %IA:	0,00	Teilestreuung %PV:	34,03									
Prüfer/ Anzahl der Versuche	Teil										Mittelwert	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1 1	0,013	0,046	0,004	0,049	0,020						$\bar{x}_a =$	0,034
1 2	0,017	0,045	0,034	0,049	0,028							0,034
1 3	0,015	0,047	0,036	0,047	0,028							0,035
1 4	0,017	0,045	0,034	0,049	0,028							0,034
1 5	0,013	0,049	0,038	0,049	0,028							0,035
Mittelwert	0,015	0,046	0,035	0,048	0,028						$\bar{x}_a =$	0,034
Quadr. Abw.	0,0001855	0,0001227	0,0001515	0,000320	0,0000002							0,00005
Quadrats. PT:	0,0000013	0,0000234	0,0000056	0,0000006	0,0000045							0,00000
2 1	0,017	0,043	0,034	0,045	0,026						$\bar{x}_b =$	0,033
2 2	0,011	0,043	0,037	0,047	0,034							0,034
2 3	0,015	0,041	0,037	0,049	0,026							0,034
2 4	0,015	0,043	0,037	0,047	0,026							0,033
2 5	0,017	0,043	0,036	0,047	0,030							0,035
Mittelwert	0,015	0,042	0,036	0,047	0,028						$\bar{x}_b =$	0,034
Quadr. Abw.	0,0002818	0,0000223	0,0000379	0,0000925	0,0000586							0,00010
Quadrats. PT:	0,0000013	0,0000234	0,0000056	0,0000006	0,0000045							0,00000
3 1											$\bar{x}_c =$	
3 2												
3 3												
3 4												
3 5												
Mittelwert											$\bar{x}_c =$	
Quadr. Abw.												0,00000
Quadrats. PT:												0,00000
4 1											$\bar{x}_d =$	
4 2												
4 3												
4 4												
4 5												
Mittelwert											$\bar{x}_d =$	
Quadr. Abw.												0,00000
Quadrats. PT:												0,00000
5 1											$\bar{x}_e =$	
5 2												
5 3												
5 4												
5 5												
Mittelwert											$\bar{x}_e =$	
Quadr. Abw.												0,00000
Quadrats. PT:												0,00000
Mittelwert \bar{x}_p	0,015	0,044	0,036	0,048	0,028						$\bar{x} =$	0,034


Auswertung:							
Prüfer:	2	Teile:	5	Wiederh.:	5		
$\Sigma P =$	0,00001	$f_{ij} =$	1	$s_p^2 =$	0,00001	$VP =$	0,00000
$\Sigma T =$	0,00700	$f_{ij} =$	4	$s_T^2 =$	0,00175	$VT =$	0,00017
$\Sigma PT =$	0,00004	$f_{ij} =$	4	$s_{PT}^2 =$	0,00001	$VW =$	0,00000
$\Sigma E =$	0,00015	$f_{ij} =$	40	$s_E^2 =$	0,00000	$VE =$	0,00000
Wechselwirkung signifikant?				2,33 > 2,61 ?		Nicht Signifikant	
Wenn Wechselwirkung Prüfer zu Teil nicht signifikant:				$s_{add}^2 =$		0,00000	







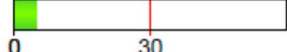


Die ersten 5 Diagramme zeigen die Wiederholmessungen der Tabelle daneben und die letzte Tabelle zeigt die Mittelwerte aller Messungen zueinander.

Abbildung 45 – PM04 Excel ANOVA nach Leitfaden 2.1

Auswertung Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5

		<h2>Prüfprozesseignung VDA 5</h2>		Seite 1 / 36	
Datum/Zeit 14.12.2019	Bearb.Name NN	Bereich NN	Abt./Kst./Prod. NN		
Teil		Prüfeinrichtung		Merkmal	
Teilebez.	SLK-3	Prfm.Bez.	Einflussgr. PM04		
Teilnr.	3130	Prfm.Nr.	Merkm.Nr. 1		
Doku.pflicht	nein	Prfm.Grp.	Nennm.	Einh.	mm
Zeichn.Nr.		Prüfort	U	0,1000	O.Abm.
Zeichn.Änd.		Auflösung	L	-0,1000	U.Abm.
Bemerkung					
Teil					
Bemerkung					
Merkmal					

Messsystem					
Toleranz	TOL	=	0,2000		
Auflösung	%RE	=	0,05%		
Kombinierte Standardunsicherheit	UMS	=	0,00124		
Erweiterte Messunsicherheit	UMS	=	0,00248		
Eignungsgrenzwert	QMS_max	=	15,00%		
Eignungskennwert	QMS	=	2,48%		
minimale Toleranz	TOL_MIN-UMS	=	0,0330		
	Prüfsystem fähig (%RE,QMS,QMP)				
☉ Template acc. VDA 5 (2 Ed.) (06/2013): VDA 5 / ISO 22514-7					

Messprozess					
Kombinierte Standardunsicherheit	UMP	=	0,00242		
Erweiterte Messunsicherheit	UMP	=	0,00483		
Eignungsgrenzwert	QMP_max	=	30,00%		
Eignungskennwert	QMP	=	4,83%		
minimale Toleranz	TOL_MIN-UMP	=	0,0322		
	Prüfsystem fähig (%RE,QMS,QMP)				
☉ Template acc. VDA 5 (2 Ed.) (06/2013): VDA 5 / ISO 22514-7					

14.12.2019


12 / 181002
GC VDA5 Standard.def

Q-DAS Sales

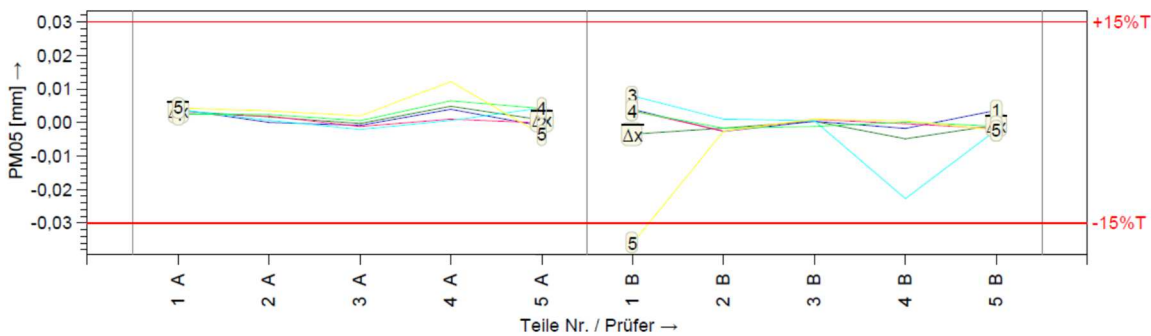
Q-DAS-solarMP-3140_SLK-3-ANOVA-VDA-B

Abbildung 46 – PM04 Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5



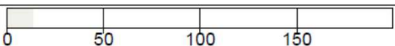


Auswertung Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1

	Messsystemanalyse	Seite 2 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 21.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfört
Prüfmittel		Teil	
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM05	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 2	
Prfm.Aufl. 0,0001		Nennm. OSG 18,9500	Δ
Prüfgrnd. DA		Einh. mm USG 18,7500	Δ
Bemerkung			




n	X _{A;1}	X _{A;2}	X _{A;3}	X _{A;4}	X _{A;5}	$\bar{x}_{g,j}$	R _{g,j}	$\bar{x}_{g,n}$	s _{g,n}	X _{B;1}	X _{B;2}	X _{B;3}	X _{B;4}	X _{B;5}	$\bar{x}_{g,j}$	R _{g,j}	$\bar{x}_{g,n}$	s _{g,n}
1	18,850	18,849	18,850	18,849	18,851	18,850	0,0019	18,8469	0,00956	18,850	18,850	18,854	18,850	18,810	18,843	0,0440	18,8469	0,00956
2	18,859	18,861	18,860	18,862	18,863	18,861	0,0034	18,8598	0,00148	18,857	18,857	18,860	18,858	18,857	18,858	0,0037	18,8598	0,00148
3	18,858	18,857	18,856	18,859	18,861	18,858	0,0041	18,8589	0,00131	18,859	18,859	18,855	18,857	18,860	18,859	0,0022	18,8589	0,00131
4	18,855	18,856	18,856	18,862	18,867	18,860	0,0116	18,8554	0,00725	18,853	18,855	18,832	18,855	18,856	18,850	0,0232	18,8554	0,00725
5	18,858	18,859	18,864	18,863	18,856	18,860	0,0079	18,8597	0,00287	18,863	18,857	18,857	18,858	18,857	18,858	0,0059	18,8597	0,00287

Wiederholpräzision	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	=	0,0238	Faktor K ₁	=	2,20
Wiederholpräzision	$\%EV = \frac{EV \cdot 100\%}{T}$	=	11,88%			
Vergleichspräzision	$AV = K_2 \cdot \bar{x}_{diff}$	=	0,0153	Faktor K ₂	=	3,65
Vergleichspräzision	$\%AV = \frac{AV \cdot 100\%}{T}$	=	7,63%			
Teillestreuung	$PV = K_3 \cdot R_p$	=	0,0269	Faktor K ₃	=	2,08
Teillestreuung	$\%PV = \frac{PV \cdot 100\%}{T}$	=	13,43%			
Prüfsystemstreuung	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	=	0,0282			
Prüfsystemstreuung	$\%R\&R = \frac{R\&R \cdot 100\%}{T}$	=	14,12%			
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	=	ndc	=	10		
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	=	T _{min (R&R)}	=	0,0941		
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	=	T _{min (R&R)}	=	0,0941		
Prüfsystem fähig (RE,R&R)						
⊕ Q-DAS (Leitfaden V2.1) vorhanden. Messsysteme (ARM): Verfahren 2						

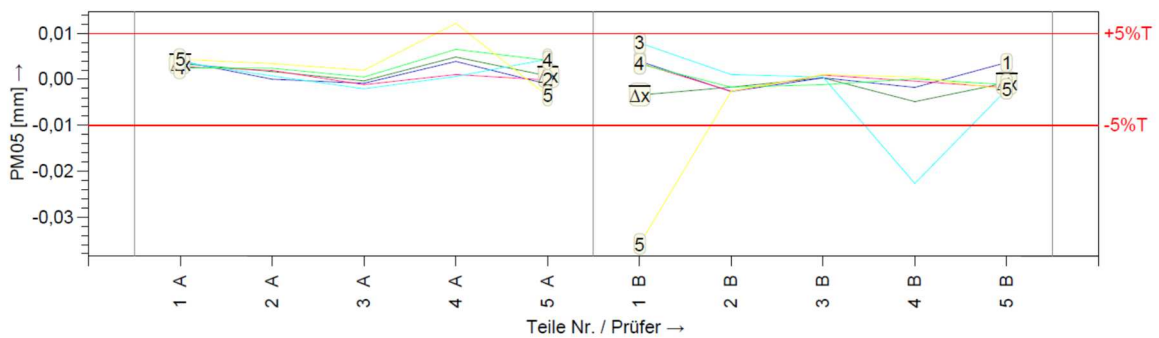
Datum _____ Unterschrift _____ Abteilung _____
 21.12.2019 12 / 181002 GC_2_me.def Q-DAS Sales Q-DAS-SLK-3-ARM-nach-Leitfaden.dfgj

Abbildung 47 – PM05 Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1



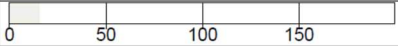


Auswertung Q-DAS ARM nach MSA 4

	Messsystemanalyse	Seite 2 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 14.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfart
Prüfmittel		Teil	Merkmal
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM05	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 2	
Prfm.Aufl.		Nennm.	OSG 18,9500 $\hat{=}$
Prüfgrnd. DA		Einh. mm	USG 18,7500 $\hat{=}$
Bemerkung			




n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	$\bar{x}_{g,j}$	R _{g,j}	$\bar{x}_{g,n}$	s _{g,n}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	$\bar{x}_{g,j}$	R _{g,j}	$\bar{x}_{g,n}$	s _{g,n}
1	18,850	18,849	18,850	18,849	18,851	18,850	0,0019	18,8469	0,00954	18,850	18,850	18,854	18,850	18,810	18,843	0,0440	18,8469	0,00954
2	18,859	18,861	18,860	18,862	18,863	18,861	0,0034	18,8598	0,00147	18,857	18,857	18,860	18,858	18,857	18,859	0,0037	18,8598	0,00147
3	18,858	18,857	18,859	18,859	18,861	18,859	0,0041	18,8589	0,00130	18,859	18,859	18,859	18,857	18,860	18,859	0,0022	18,8589	0,00130
4	18,859	18,859	18,859	18,862	18,867	18,860	0,0116	18,8554	0,00723	18,853	18,855	18,832	18,855	18,856	18,850	0,0232	18,8554	0,00723
5	18,858	18,859	18,864	18,863	18,856	18,860	0,0079	18,8597	0,00286	18,863	18,857	18,857	18,858	18,857	18,859	0,0055	18,8597	0,00286

Wiederholpräzision	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	=	0,0046073	Faktor K ₁	=	0,4270
Wiederholpräzision	$\%EV = 6 \cdot \frac{EV \cdot 100\%}{T}$	=	13,82%			
Vergleichspräzision	$AV = \sqrt{(K_2 \cdot \bar{x}_{diff})^2 - (EV^2 / (n-1))}$	=	0,0028054	Faktor K ₂	=	0,7071
Vergleichspräzision	$\%AV = 6 \cdot \frac{AV \cdot 100\%}{T}$	=	8,42%			
Teilestreuung	$PV = K_3 \cdot R_p$	=	0,0052111	Faktor K ₃	=	0,4030
Teilestreuung	$\%PV = 6 \cdot \frac{PV \cdot 100\%}{T}$	=	15,63%			
Prüfsystemstreuung	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	=	0,0053942			
Prüfsystemstreuung	$\%GRR = 6 \cdot \frac{GRR \cdot 100\%}{T}$	=	16,18%			
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	=	ndc	=	1		
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	=	T _{min} (%GRR)	=	0,324		
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	=	T _{min} (%GRR)	=	0,108		
Die Anforderungen sind nicht erfüllt (min, %GRR, ndc)						
⊕ MSA Demonstration (4 Ed.) (06/2013): Type 2 - ARM (tolerance)						

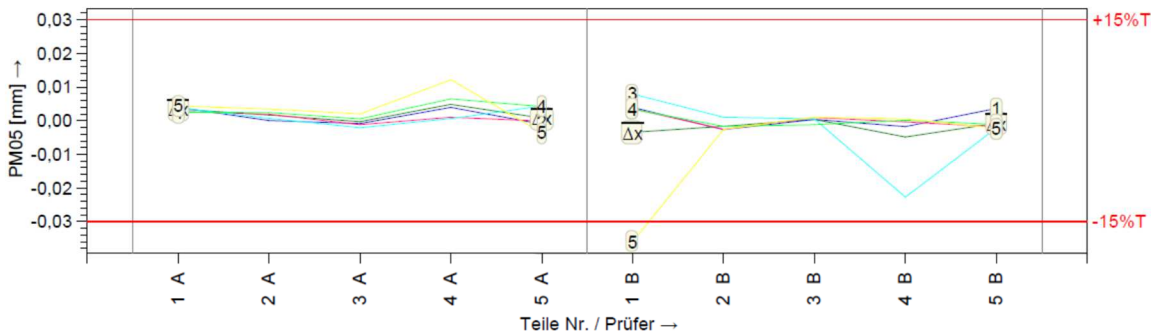
Datum: 14.12.2019 Unterschrift: 12 / 181002 GC_2_me.def Abteilung: Q-DAS Sales Q-DAS-solarMP-3140_SLK-3-ARM-nach-Leitf

Abbildung 48 – PM05 Q-DAS ARM nach MSA 4

Auswertung Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1

	Messsystemanalyse	Seite 2 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 21.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfört
Prüfmittel		Teil	
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM05	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 2	
Prfm.Aufl. 0,0001		Nennm. OSG 18,9500	^
Prüfgrnd. DA		Einh. mm USG 18,7500	^
Bemerkung			




n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	\bar{x}_{gj}	s _{gj}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	\bar{x}_{gj}	s _{gj}
1	18,8509	18,8497	18,8507	18,8494	18,8513	18,85040	0,00081	18,8509	18,8505	18,8549	18,8503	18,8109	18,84350	0,01832
2	18,8599	18,8618	18,8606	18,8623	18,8633	18,86150	0,00135	18,8572	18,8573	18,8609	18,8582	18,8573	18,85810	0,00157
3	18,8581	18,8578	18,8569	18,8595	18,8610	18,85860	0,00161	18,8593	18,8599	18,8595	18,8578	18,8600	18,85930	0,00089
4	18,8594	18,8565	18,8561	18,8620	18,8677	18,86034	0,00476	18,8537	18,8551	18,8328	18,8556	18,8560	18,85064	0,01001
5	18,8587	18,8596	18,8641	18,8639	18,8562	18,86050	0,00343	18,8634	18,8579	18,8575	18,8586	18,8575	18,85890	0,00251

Wiederholpräzision	0,0000480	0,00693	EV = 0,0295 ≤ 0,0357 ≤ 0,0451	%EV = 17,84%
Vergleichspräzision	0,00000680	0,00261	AV = 0,000 ≤ 0,0134 ≤ 0,483	%AV = 6,72%
Wechselwirkung	[pooling]	[pooling]	IA =	%IA = ---
Prüfsystemstreuung	0,0000548	0,00740	R&F= 0,0356 ≤ 0,0381 ≤ 0,487	%R&R = 19,07%
Teilestreuung	0,0000252	0,00502	PV = 0,0114 ≤ 0,0258 ≤ 0,0809	%PV = 12,92%
Gesamtstreuung	0,0000800	0,00894	TV = 0,0461	
Versuchsplan		Bezugsgröße		
Anzahl Messungen	= 5	Prozessstreuung	= 0	
Anzahl Prüfer	= 2	Toleranz	= 0,2000	
Anzahl Teile	= 5	geforderter Cp-Wert	=	
Auflösung	%RE = 0,05%	0 5		
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	ndc = 7	0 1		
Prüfsystemstreuung	%R&R = 19,07%	0 30		
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem=	T _{min} (R&R)	=	0,127	
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem=	T _{min} (R&R)	=	0,127	
Prüfsystem fähig (RE,R&R)				😊
⊗ Q-DAS (Leitfaden V2.1) vorh. Messsysteme (ANOVA): Verfahren 2				





Datum _____ Unterschrift _____ Abteilung _____
 21.12.2019 12 / 181002 GC_2_me.def Q-DAS Sales Q-DAS-SLK-3-ANOVA-nach-Leitfaden.dfg

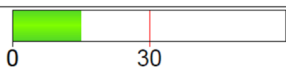


Abbildung 49 – PM05 Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1

Auswertung Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5

	Prüfprozesseignung VDA 5	Seite 5 / 36
---	--------------------------	-----------------

Datum/Zeit 14.12.2019	Bearb.Name NN	Bereich NN	Abt./Kst./Prod. NN		
Teil		Prüfeinrichtung		Merkmal	
Teilebez.	SLK-3	Prfm.Bez.		Einflussgr.	PM05
Teilnr.	3130	Prfm.Nr.		Merkm.Nr.	2
Doku.pflicht	nein	Prfm.Grp.		Nennm.	Einh. mm
Zeichn.Nr.		Prüfort		U	18,9500 O.Abm.
Zeichn.Änd.		Auflösung	0,0001	L	18,7500 U.Abm.
Bemerkung Teil					
Bemerkung Merkmal					

Messsystem				
Toleranz	TOL	=	0,2000	
Auflösung	%RE	=	0,05% 	
Kombinierte Standardunsicherheit	u _{MS}	=	0,00124	
Erweiterte Messunsicherheit	U _{MS}	=	0,00248	
Eignungsgrenzwert	Q _{MS_max}	=	15,00%	
Eignungskennwert	Q _{MS}	=	2,48% 	
minimale Toleranz	TOL _{MIN-UMS}	=	0,0330	
	Prüfsystem fähig (%RE,QMS,QMP)			
⊕ Template acc. VDA 5 (2 Ed.) (06/2013): VDA 5 / ISO 22514-7				

Messprozess				
Kombinierte Standardunsicherheit	u _{MP}	=	0,00750	
Erweiterte Messunsicherheit	U _{MP}	=	0,0150	
Eignungsgrenzwert	Q _{MP_max}	=	30,00%	
Eignungskennwert	Q _{MP}	=	15,01% 	
minimale Toleranz	TOL _{MIN-UMP}	=	0,100	
	Prüfsystem fähig (%RE,QMS,QMP)			
⊕ Template acc. VDA 5 (2 Ed.) (06/2013): VDA 5 / ISO 22514-7				

14.12.2019


12 / 181002
GC VDA5 Standard.def

Q-DAS Sales

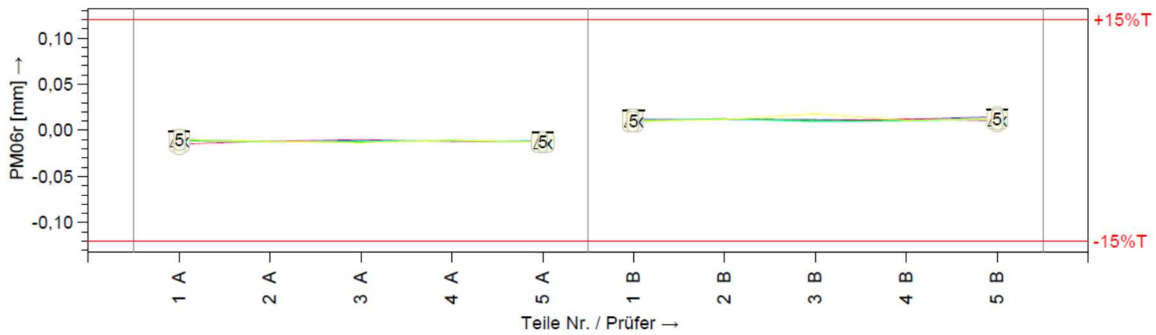
Q-DAS-solarMP-3140_SLK-3-ANOVA-VDA-B

Abbildung 50 – PM05 Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5



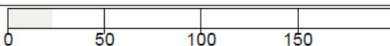


Auswertung Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1

	Messsystemanalyse	Seite 4 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 21.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfört
Prüfmittel		Teil	
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM06r	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 4	
Prfm.Aufl. 0,0001		Nennm. OSG 3,0000	^
Prüfgrnd. DA		Einh. mm USG 2,2000	^
Bemerkung			




n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}
1	2,7382	2,7331	2,7384	2,7368	2,7379	2,7368	0,0053	2,74797	0,00179	2,7605	2,7601	2,7598	2,7572	2,7580	2,7591	0,0033	2,74797	0,00179
2	2,7285	2,7289	2,7285	2,7281	2,7287	2,7285	0,0008	2,74073	0,00033	2,7527	2,7532	2,7531	2,7532	2,7524	2,7529	0,0008	2,74073	0,00033
3	2,6640	2,6652	2,6633	2,6628	2,6617	2,6634	0,0035	2,67507	0,00254	2,6860	2,6851	2,6844	2,6851	2,6931	2,6867	0,0087	2,67507	0,00254
4	2,6486	2,6480	2,6493	2,6484	2,6494	2,6487	0,0014	2,65993	0,00072	2,6720	2,6722	2,6701	2,6705	2,6708	2,6711	0,0021	2,65993	0,00072
5	2,7272	2,7266	2,7268	2,7261	2,7259	2,7265	0,0013	2,73882	0,00123	2,7535	2,7489	2,7508	2,7510	2,7514	2,7511	0,0046	2,73882	0,00123

Wiederholpräzision	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	=	0,00700	Faktor K ₁	=	2,20
Wiederholpräzision	$\%EV = \frac{EV \cdot 100\%}{T}$	=	0,88%			
Vergleichspräzision	$AV = K_2 \cdot \bar{x}_{diff}$	=	0,0855	Faktor K ₂	=	3,65
Vergleichspräzision	$\%AV = \frac{AV \cdot 100\%}{T}$	=	10,69%			
Teilestreuung	$PV = K_3 \cdot R_p$	=	0,183	Faktor K ₃	=	2,08
Teilestreuung	$\%PV = \frac{PV \cdot 100\%}{T}$	=	22,86%			
Prüfsystemstreuung	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	=	0,0858			
Prüfsystemstreuung	$\%R\&R = \frac{R\&R \cdot 100\%}{T}$	=	10,72%			
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	=	ndc	=	13		
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	=	T _{min (R&R)}	=	0,286		
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	=	T' _{min (R&R)}	=	0,286		
Prüfsystem fähig (RE,R&R)						
* Q-DAS (Leitfaden V2.1) vorhanden. Messsysteme (ARM): Verfahren 2						

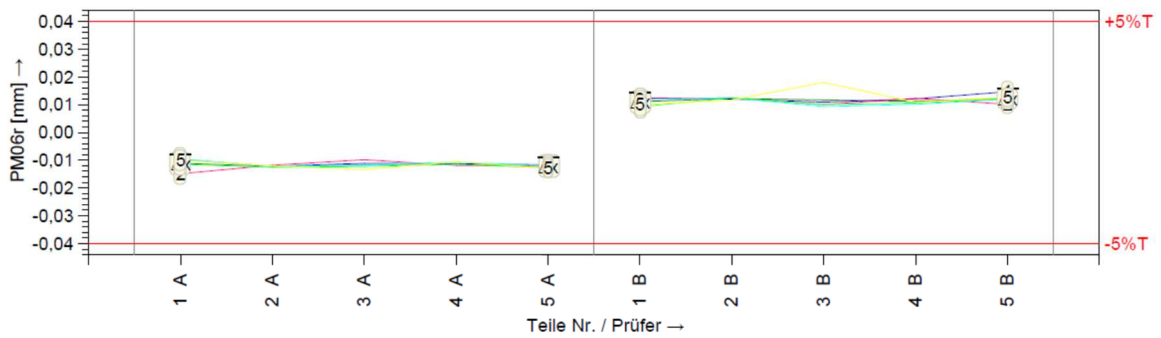
Datum _____ Unterschrift _____ Abteilung _____
 21.12.2019 12 / 181002 GC_2_me.def Q-DAS Sales Q-DAS-SLK-3-ARM-nach-Leitfaden.dfq

Abbildung 51 – PM06r Q-DAS ARM nach Leitfaden 2.1



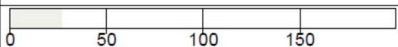


Auswertung Q-DAS ARM nach MSA 4

	Messsystemanalyse	Seite 4 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 14.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfort
Prüfmittel		Teil	
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM06r	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 4	
Prfm.Aufl.		Nennm. OSG 3,0000	^
Prüfgrnd. DA		Einh. mm USG 2,2000	^
Bemerkung			



n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	\bar{x}_{gj}	R _{gj}	\bar{x}_{gn}	s _{gn}
1	2,7382	2,7331	2,7384	2,7365	2,7379	2,7368	0,0053	2,74797	0,001788	2,7605	2,7601	2,7598	2,7572	2,7580	2,7591	0,0033	2,74797	0,001788
2	2,7285	2,7289	2,7285	2,7281	2,7287	2,7285	0,0008	2,74073	0,000333	2,7527	2,7532	2,7531	2,7532	2,7524	2,7529	0,0008	2,74073	0,000333
3	2,6640	2,6652	2,6633	2,6628	2,6617	2,6634	0,0035	2,67507	0,002536	2,6860	2,6851	2,6844	2,6851	2,6931	2,6867	0,0087	2,67507	0,002536
4	2,6486	2,6480	2,6493	2,6484	2,6494	2,6487	0,0014	2,65993	0,000721	2,6720	2,6722	2,6701	2,6705	2,6708	2,6711	0,0021	2,65993	0,000721
5	2,7272	2,7266	2,7268	2,7261	2,7259	2,7265	0,0013	2,73882	0,001226	2,7535	2,7489	2,7508	2,7510	2,7514	2,7511	0,0046	2,73882	0,001226


Wiederholpräzision	$EV = K_1 \cdot \bar{R}$	=	0,0013579	Faktor K ₁	=	0,4270
Wiederholpräzision	$\%EV = 6 \cdot \frac{EV \cdot 100\%}{T}$	=	1,02%			
Vergleichspräzision	$AV = \sqrt{(K_2 \cdot \bar{x}_{diff})^2 - (EV^2 / (n-1))}$	=	0,016544	Faktor K ₂	=	0,7071
Vergleichspräzision	$\%AV = 6 \cdot \frac{AV \cdot 100\%}{T}$	=	12,41%			
Teilestreuung	$PV = K_3 \cdot R_p$	=	0,035482	Faktor K ₃	=	0,4030
Teilestreuung	$\%PV = 6 \cdot \frac{PV \cdot 100\%}{T}$	=	26,61%			
Prüfsystemstreuung	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	=	0,016600			
Prüfsystemstreuung	$\%GRR = 6 \cdot \frac{GRR \cdot 100\%}{T}$	=	12,45%			
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	=	ndc	=	3		
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	=	T _{min} (%GRR)	=	0,996		
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	=	T _{min} (%GRR)	=	0,332		
Die Anforderungen sind nicht erfüllt (min,%GRR,ndc)						
⊗ MSA Demonstration (4 Ed.) (06/2013): Type 2 - ARM (tolerance)						

Datum _____ Unterschrift _____ Abteilung _____

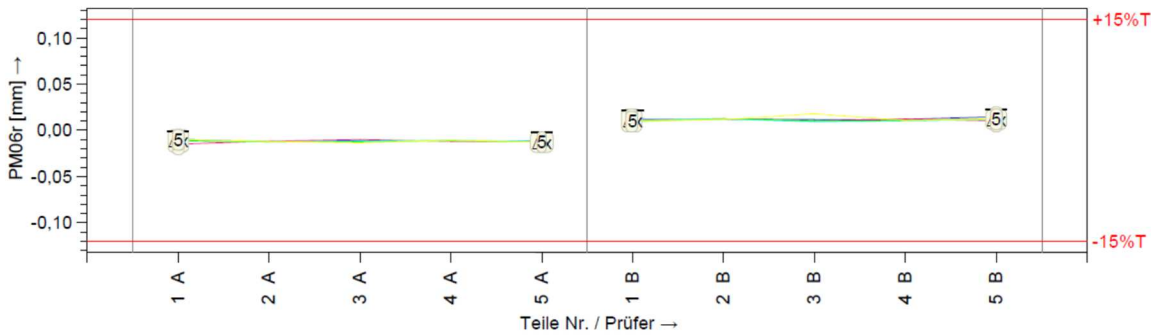
14.12.2019 12 / 181002 GC_2_me.def Q-DAS Sales Q-DAS-solarMP-3140_SLK-3-ARM-nach-Leit

Abbildung 52 – PM06r Q-DAS ARM nach MSA 4

Auswertung Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1

	Messsystemanalyse	Seite 4 / 9
---	-------------------	----------------

Datum/Zeit 21.12.2019	Bearb.Name NN	Abt./Kst./Prod. NN	Prüfört
Prüfmittel		Teil	
Prfm.Bez.	Teilebez. SLK-3	Merkm.Bez. PM06r	
Prfm.Nr.	Teilnr. 3140	Merkm.Nr. 4	
Prfm.Aufl. 0,0001		Nennm. OSG 3,0000	^
Prüfgrnd. DA		Einh. mm USG 2,2000	^
Bemerkung			




n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	\bar{x}_{gj}	s _{gj}	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	X _{B,4}	X _{B,5}	\bar{x}_{gj}	s _{gj}
1	2,7382	2,7331	2,7384	2,7365	2,7379	2,73682	0,00221	2,7605	2,7601	2,7598	2,7572	2,7580	2,75912	0,00144
2	2,7285	2,7289	2,7285	2,7281	2,7287	2,72854	0,00030	2,7527	2,7532	2,7531	2,7532	2,7524	2,75292	0,00036
3	2,6640	2,6652	2,6633	2,6628	2,6617	2,66340	0,00131	2,6860	2,6851	2,6844	2,6851	2,6931	2,68674	0,00360
4	2,6486	2,6480	2,6493	2,6484	2,6494	2,64874	0,00060	2,6720	2,6722	2,6701	2,6705	2,6708	2,67112	0,00093
5	2,7272	2,7266	2,7268	2,7261	2,7259	2,72652	0,00053	2,7535	2,7489	2,7508	2,7510	2,7514	2,75112	0,00164





Wiederholpräzision	Varianz 0,00000263	Standardabw. 0,00162	Vertrauensnivea 1-α = 95,000%	EV = 0,00692 ≤ 0,00836 ≤ 0,0106	%EV = 1,04%
Vergleichspräzision	0,000274	0,0165	AV = 0,0367 ≤ 0,0852 ≤ 2,705		%AV = 10,65%
Wechselwirkung	[pooling]	[pooling]	IA =		%IA = ---
Prüfsystemstreuung	0,000276	0,0166	R&F= 0,0389 ≤ 0,0856 ≤ 2,720		%R&R = 10,70%
Teilstreuung	0,00173	0,0416	PV = 0,122 ≤ 0,214 ≤ 0,621		%PV = 26,77%
Gesamtstreuung	0,00200	0,0448	TV = 0,2306		
Versuchsplan			Bezugsgröße		
Anzahl Messungen	= 5		Prozessstreuung	= 0	
Anzahl Prüfer	= 2		Toleranz	= 0,8000	
Anzahl Teile	= 5		geforderter Cp-Wert	=	
Auflösung	%RE = 0,01%				
Zahl d. unterscheidb. Messwertklassen (ndc)	ndc = 13				
Prüfsystemstreuung	%R&R = 10,70%				
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem=	T _{min} (R&R) =	0,285			
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prü=	T _{min} (R&R) =	0,285			
Prüfsystem fähig (RE,R&R)					
⊗ Q-DAS (Leitfaden V2.1) vorh. Messsysteme (ANOVA): Verfahren 2					

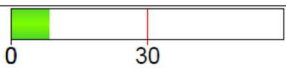


Datum _____ Unterschrift _____ Abteilung _____
 21.12.2019 12 / 181002 GC_2_me.def Q-DAS Sales Q-DAS-SLK-3-ANOVA-nach-Leitfaden.dfg

Abbildung 53 – PM06r Q-DAS ANOVA nach Leitfaden 2.1

Auswertung Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5

		<h2>Prüfprozesseignung VDA 5</h2>		Seite 13 / 36	
Datum/Zeit	14.12.2019	Bearb.Name	NN	Bereich	NN
Teil		Prüfeinrichtung		Merkmal	
Teilebez.	SLK-3	Prfm.Bez.		Einflussgr.	PM06r
Teilnr.	3130	Prfm.Nr.		Merkm.Nr.	4
Doku.pflicht	nein	Prfm.Grp.		Nennm.	Einh. mm
Zeichn.Nr.		Prüfort		U	3,0000 O.Abm.
Zeichn.Änd.		Auflösung	0,0001	L	2,2000 U.Abm.
Bemerkung					
Teil					
Bemerkung					
Merkmal					

Messsystem				
Toleranz	TOL	=	0,8000	
Auflösung	%RE	=	0,01% 	
Kombinierte Standardunsicherheit	u _{MS}	=	0,00124	
Erweiterte Messunsicherheit	U _{MS}	=	0,00248	
Eignungsgrenzwert	Q _{MS_max}	=	15,00%	
Eignungskennwert	Q _{MS}	=	0,62% 	
minimale Toleranz	TOL _{MIN-UMS}	=	0,0330	
	Prüfsystem fähig (%RE,QMS,QMP)			
⊕ Template acc. VDA 5 (2 Ed.) (06/2013): VDA 5 / ISO 22514-7				

Messprozess				
Kombinierte Standardunsicherheit	u _{MP}	=	0,0167	
Erweiterte Messunsicherheit	U _{MP}	=	0,0333	
Eignungsgrenzwert	Q _{MP_max}	=	30,00%	
Eignungskennwert	Q _{MP}	=	8,33% 	
minimale Toleranz	TOL _{MIN-UMP}	=	0,222	
	Prüfsystem fähig (%RE,QMS,QMP)			
⊕ Template acc. VDA 5 (2 Ed.) (06/2013): VDA 5 / ISO 22514-7				

14.12.2019

12 / 181002
GC VDA5 Standard.def

Q-DAS Sales

Q-DAS-solarMP-3140_SLK-3-ANOVA-VDA-B

Abbildung 54 – PM06r Q-DAS ANOVA nach VDA Band 5

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Völs, den 08.01.2020

Hannes Faistnauer