



**TQU VERLAG**

**Messsystem-  
analyse  
MSA 4**

Testen und Anwenden

# Messsystemanalyse MSA4

Linearität und Hysterese nach BOSCH

[Autor: Dr. Konrad Reuter](#)

Kann man sich auf Messergebnisse verlassen? Vielfältige Einflüsse können das Ergebnis einer Messung in Frage stellen. Klarheit bringt eine Messsystemanalyse. Als Messsystemanalyse bzw. Messmittel-Fähigkeitsanalyse oder Prüfmittel-Fähigkeitsanalyse, kurz MSA (*engl. Measurement System Analysis*), bezeichnet man die Analyse der Eigenschaften von Messmitteln und kompletten Messsystemen im Qualitätsmanagement oder in Six Sigma Projekten bezüglich ihrer Messabweichungen. Ob ein Messsystem die notwendige Fähigkeit besitzt, wird im Vergleich der systembedingten Messabweichungen zu den aufgabenbezogenen Anforderungen ermittelt.

Man unterscheidet fünf verschiedene Eigenschaften eines Messsystems: Genauigkeit, Wiederholpräzision, Vergleichspräzision, Linearität und Stabilität. Jeder Analyse gehen die in Anhang 1 der Lösung des Vorkurses im Qualitätsmanagement (S. 53) definierten Messabweichungen zu Grunde. Genauigkeit, Wiederholpräzision, Vergleichspräzision, Linearität und Stabilität sind Eigenschaften eines Messsystems, die durch Messverfahren, die eine Wiederholung nicht zulassen, müssen auf andere Weise bewertet werden. Die Differenz zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse und dem richtigen Wert wird als systematische Messabweichung (*engl. accuracy, bias*) bezeichnet. Zur Ermittlung der Wiederholpräzision werden an denselben Prüflingen gemäß einem festgelegten Messverfahren Messungen durch verschiedene Bediener, an verschiedenen Orten oder mit mehreren Geräten desselben Typs durchgeführt. Die Standardabweichung der Messwerte ist ein Maß für die Wiederholpräzision (*engl. repeatability*). Zur Ermittlung der Vergleichspräzision (*engl. reproducibility*) werden an denselben Prüflingen gemäß einem festgelegten Messverfahren Messungen durch verschiedene Bediener, an verschiedenen Orten oder mit mehreren Geräten desselben Typs durchgeführt. Das Maß für die Vergleichspräzision sind dann die Unterschiede zwischen den von jedem Bediener (bzw. an jedem Ort oder mit jedem Gerät) beobachteten Mittelwerten. Zur Untersuchung der Stabilität (*engl. stability*) werden vom selben Bediener in festgelegten Zeitabständen mehrere Messungen an demselben Prüfling vorgenommen. Die Differenzen zwischen den zu verschiedenen Zeitpunkten beobachteten Mittelwerten werden dann als Maß für die Stabilität des Messmittels verwendet.

In der Messsystemanalyse der Automobilindustrie und ihren Zulieferern kommen heute verbreitet folgende Verfahren zum Einsatz:

- Das Verfahren **MSA1** (Cg-Verfahren) untersucht die Genauigkeit und Wiederholpräzision eines Messsystems. Hierfür ist ein eigenes QUALITY APP "Messsystemanalyse MSA1" im Angebot des TQU Verlags.
- Das Verfahren **MSA2** (R&R Verfahren) untersucht die Wiederhol- und Vergleichspräzision eines Messmittels (*engl. repeatability and reproducibility*, daher R&R, auch Gage R&R). Hierfür ist ein eigenes QUALITY APP "Messsystemanalyse MSA2" im Angebot des TQU Verlags.
- Das Verfahren **MSA3** (s-Verfahren) untersucht die Genauigkeit und Wiederholpräzision eines Messsystems ohne Bedienerinfluss. Hierfür ist ein eigenes QUALITY APP "Messsystemanalyse MSA3" im Angebot des TQU Verlags.

Das in diesem QUALITY APP vorgestellte Verfahren **MSA4** basiert auf Vorlagen der BOSCH GmbH. Es geht dabei um die Untersuchung der Linearität und der Hysterese. Zur Untersuchung der Linearität (*engl. linearity*) werden Messungen an mehreren Prüflingen durchgeführt, die den gesamten in der Praxis zu erwartenden Messbereich abdecken. Jedes Referenzteil (Normal) wird mehrmals gemessen. Die Differenz zwischen dem Referenzwert und dem beobachteten Mittelwert wird berechnet. Auf die gemessenen Abweichungen wird die Regressionsrechnung angewendet. Eine ermittelte Ausgleichskurve kann zur Korrektur der Nichtlinearität verwendet werden. Die Ergebnisse werden zusätzlich grafisch dargestellt und mit vom Kunden vorgegebenen Anforderungen verglichen.

Die genannten Verfahren sind in den gängigen CAQ Systemen oder statistischen Softwarepaketen meist enthalten. Wegen ihrer relativen Überschaubarkeit sind diese Verfahren auch von vielen Anwendern mehr oder weniger geschickt in EXCEL umgesetzt worden. Dieses APP ist so gestaltet, dass Sie interaktiv die Grundlagen der Auswertung der Analysedaten und deren wichtigsten Kenngrößen verstehen.

Dieses QUALITY APP liefert dem Qualitäts- und dem Produktionsmanagement wertvolle Unterstützung bei der Bewertung von Messverfahren und Messsystemen nach MSA2. Die QUALITY Applikation ist im Excel-Format und kann sofort eingesetzt werden.

Ansprechpartner: Dr. Konrad Reuter  
Telefon: 0171/6006604

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm Deutschland, Telefon 0731/14660200, [verlag@tqu-group.com](mailto:verlag@tqu-group.com), [www.tqu-verlag.com](http://www.tqu-verlag.com)

# QUALITY APPS Applikationen für das Qualitätsmanagement

## Lizenzvereinbarung

Dieses Produkt "Messsystemanalyse MSA4" wurde vom Autor Dr. Konrad Reuter mit großem Aufwand und großer Sorgfalt hergestellt. Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt (©). Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Weitergabe, der Übersetzung, des Kopierens, der Entnahme von Teilen oder der Speicherung bleiben vorbehalten.

Bei Fehlern, die zu einer wesentlichen Beeinträchtigung der Nutzung dieses Softwareproduktes führen, leisten wir kostenlos Ersatz.

Beschreibungen und Funktionen weisen sich als Beibehaltung von Nutzungsmöglichkeiten und nicht als verbindlich. Zu Sicherung bestimmter Eigenschaften übernehmen keine Gewähr dafür, dass die angebotenen Lösungen für bestimmte von Kunden ablichtete Zwecke geeignet sind.

Sie erklären sich damit einverstanden, dieses Produkt nur für Ihre eigene Arbeit und für die Information innerhalb Ihres Unternehmens zu verwenden. Sollten Sie es in anderen Unternehmen (Beratung, Schulung etc.) verwenden wollen, setzen Sie sich unbedingt vorher mit uns wegen einer entsprechenden Vereinbarung in Verbindung. Unsere Produkte werden kontinuierlich weiterentwickelt. Bitte melden Sie sich, wenn Sie ein Update wünschen.

Alle Ergebnisse basieren auf den vom Autor eingesetzten Formeln und müssen vom Anwender sorgfältig geprüft werden. Die berechneten Ergebnisse sind als Hinweise und Anregungen zu verstehen.

Wir wünschen viel Spaß und Erfolg mit dieser Applikation

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm Deutschland, Telefon 0731/14660200, verlag@tqu-group.com, www.tqu-verlag.com

## Anwendungshinweise

1. Statistik Blatt
- Das Verfahren zur Ermittlung und Bewertung der Linearitätsabweichung eines Messmittels ist in den genannten Quellen beschrieben.
- Der Zusammenhang von richtigem Wert und dem angezeigten Wert über ein Intervall hinweg kann unterschiedliche Abweichungen aufweisen.
- In einem xy-Diagramm würden im Idealfall die Datenpaare sich strikt auf einer 45° Linie bewegen.
- Abweichungen davon werden als Linearitätsabweichungen bezeichnet.
- In der praktischen Durchführung werden mehrere Referenzmaße (Normale, Einstellmeister) für den interessierenden Bereich beschafft, in der Regel an den Toleranzgrenzen und in der Mitte der Toleranz.
- Zur Berechnung einer kubischen Ausgleichskurve sind mindestens vier Referenzen erforderlich. Daten
- Die Referenzen werden in der Regel mehrfach gemessen. Bei Kalibrierungen wird auch der Einfluss der Hysterese untersucht und mindestens eine Aufwärts- und Abwärtsreihe gefahren.
- Für die Berechnung der kubischen Ausgleichskurve sind die Messwerte für bis zu 10 Messpunkte vorbereitet. Berechnung\*
- Die vorliegende Datenei  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$  in  $x$  mit 10% Toleranzplan Daten
- Die verwendete EXCEL Funktion für die Regression RGP() erfordert, dass keine leeren Zellen oder Zellen mit Text oder Wahrheitswert enthalten sind.
- Die Verwendung dynamischer Bereichsnamen löst dieses Problem. Namen
- Bewertet wird nach MSA die maximale Abweichung von der idealen Kennlinie.
- Diese maximale Abweichung soll  $\leq 5\%$  bezogen auf die Toleranz sein.
- Nach VDA 5 kann auch die Wiederholstandardabweichung bestimmt werden und eine kombinierte Messunsicherheit ermittelt werden (unter Einbeziehung der Messunsicherheit der Normale in Anlehnung an GUM).
- Die Bewertung der Abweichungen wird auch durch die Regressionsrechnung unterstützt (Funktion RGP() in EXCEL). Protokollblatt
- Das Diagramm enthält die Konfidenzbereiche zum festgelegten Niveau. Protokollblatt
- Nach BOSCH Verfahren 4 muss die Nulllinie innerhalb des Konfidenzbereiches liegen.
- Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  bewertet die Anpassung einer Ausgleichskurve an die Abweichungsdaten.
- Wird  $R^2$  als "signifikant" bewertet, sind die Abweichungen nicht mehr als zufällig zu betrachten.
- Der t-Test bewertet den Anstieg  $m_1$  auf Zufälligkeit.
- Wird  $m_1$  als "signifikant" bewertet, dann ist die Abweichung nicht mehr zufällig.
- Das Signifikanzniveau ist im Blatt Merkmal festzulegen. Standard ist 5%.
- Die Abweichungsfunktion beschreibt den Bias als Funktion der Referenz.
- Die Korrekturfunktion kann verwendet werden, um den angezeigten Wert zu korrigieren. Protokollblatt
- Die Einbeziehung einer kubischen Ausgleichsfunktion entspricht der Praxis des Kalibrierens.
- Der Vergleich der Bestimmtheitsmaße zeigt, ob mit dieser Funktion der Linearitätsfehler besser korrigiert werden kann.
- Im Blatt "Berechnung" ist ein Beispiel dafür dargestellt. Berechnung\*
2. Anwendung
- Im Blatt Merkmal sind zugehörigen und für das Protokoll verwendeten Angaben einzutragen. Merkmal
- In das Blatt Daten sind die Daten einzutragen oder aus Anwendungen zu übernehmen. Daten
- Die Dateneingabe wird mit "Gültigkeit" überwacht. Daten
- Bei Werten von 10% außerhalb der Toleranz (oder des Messbereiches) wird eine Warnung ausgegeben.
- Überprüfen Sie unbedingt den Datensatz auf Ausreißer oder andere Datenfehler!!! Daten

Die Skalierung im Protokoll wird an die Auflösung des Prüfmittels angepasst.

Protokollblatt

Weitere Blätter enthalten Zwischenrechnungen oder dienen der Information.

Berechnung\*

### 3. EXCEL

Die EXCEL-Lösung stützt sich auf folgende Prinzipien:

Funktionelle Aufteilung auf verschiedene Blätter.

Optische Hervorhebung von Zellen in Abhängigkeit von ihrer Funktion.

Vergaben von Namen für Variable, auch dynamische Namen.

Bezug auf Zellen mit Funktionen

Kommentierung wesentlicher Zellen

Reagieren auf Bedingungen /Verzweigungen

Ausblenden von Zellinhalten, die nicht zutreffend sind

Erzwingung einer geeigneten Zahlenformatierung im Protokoll mit vorgegebener Stellenzahl.

Verknüpfung von Zellinhalten über "&"

Merkmal usw.

Eingabe Daten
errechnete Werte
Bezeichnungen

Namen

VERGLEICH(;;0)
INDEX(;;)
SVERWEIS(;;0)
ISTLEER()
ISTZAHL()
WENN(;;)
FEST(;;)
= "text1"&BEZUG

Zellen werden in Berechnungsblättern und Protokollen nicht über "Zellen verbinden" formatiert!

Protokollblatt

Als Lösung dient die Folie mit dem Namen "Über Auswähl zentrieren".  
benachbarter Zellen mit "Über Auswahl zentrieren".

Protokollblatt

Die Nachteile verbundener Zellen sind damit vermieden..

Ausblenden von Blättern, die nicht ständig gebraucht werden. \*

Berechnung\*

Blattschutz gegen versehentliches Überschreiben (firmenintern anpassen).

Bereitstellung von Testdaten zu Überprüfung der Funktion der Datei.

Testdaten

Ergebnis bitte manuell eintragen.

Die Pflege einer Logdatei für vorgenommene Änderungen ist sehr zu empfehlen.

Änderungsübersicht

### 4. Quellen

1 MSA Fourth Edition 2010

2 VDA Leitfaden zum "Fähigkeitsnachweis von Messsystemen"Stand 12 /1999

3 Leitfaden BOSCH Heft 10, 2003

4 VDA 5 Prüfprozesseignung 2. Auflage 2010

5 STATGRAPHICS Centurion XVI

Allgemein	Datum	12. Apr. 12
	Verantwortlich	Reuter
	Abt./Kst.	QM
	Prüfort	Leipzig

Prüfmittel	Bezeichnung	Sensor
	Ident-Nummer	ABC-10
	Messbereich	1,000 mm
	Auflösung	0,001 mm

Stellen 3

Normale	Bezeichnung	Endmaßsatz
	Ident	0814

QUALITY APPs im TQU VERLAG

[www.tqu-verlag.de](http://www.tqu-verlag.de)

Merkmal	Bezeichnung	Welle
	Ident-Nummer	4711
	Merkmal	Durchmesser
	Nummer	4711
	Maßeinheit	mm
	Sollmaß	5,000 mm
	OSG	10,000 mm
	USG	0,000 mm
	Toleranz	10,000 mm

oder Messbereichsgrenzen

Grenzwerte	Auflösung <=	5%
	R&R% <=	10%
	R&R% <	30%
	R&R% >	30%
	a	5%

annehmbar

fähig

bedingt fähig

nicht fähig

Irrtumswahrscheinlichkeit

Nr.	Trial	Referenz	Wert
1	1	2	2,7
2	2	2	2,5
3	3	2	2,4
4	4	2	2,5
5	5	2	2,7
6	6	2	2,3
7	7	2	2,5
8	8	2	2,5
9	9	2	2,4
10	10	2	2,4
11	11	2	2,6
12	12	2	2,4
13	1	4	4,5
14	2	4	3,7
15	3	4	4,1
16	4	4	4,1
17	5	4	3,8
18	6	4	3,9
19	7	4	3,9
20	8	4	3,9
21	9	4	3,9
22	10	4	4
23	11	4	4,1
24	12	4	3,8
25	1	6	5,8
26	2	6	5,7
27	3	6	5,9
28	4	6	5,9
29	5	6	6
30	6	6	6,1
31	7	6	6
32	8	6	6,1
33	9	6	6,4
34	10	6	6,3
35	11	6	6
36	12	6	6,1
37	1	8	7,6
38	2	8	7,7
39	3	8	7,8
40	4	8	7,7
41	5	8	7,8
42	6	8	7,8
43	7	8	7,8
44	8	8	7,7
45	9	8	7,8
46	10	8	7,5
47	11	8	7,6
48	12	8	7,7
49	1	10	9,1
50	2	10	9,3
51	3	10	9,5
52	4	10	9,3
53	5	10	9,4
54	6	10	9,5
55	7	10	9,5
56	8	10	9,5
57	9	10	9,6
58	10	10	9,2
59	11	10	9,3
60	12	10	9,4

Bitte überprüfen Sie die Daten auf korrekte Eingabe!

QUALITY APPs im TQU VERLAG  
[www.tqu-verlag.de](http://www.tqu-verlag.de)

	<b>MSA Verfahren 4</b> <b>Linearität</b>	FB ##-## Freigabe ##				
Datum 12. Apr. 12	Bearbeiter Reuter	Abt./Kst. QM				
<b>Prüfmittel</b> Bezeichnung Sensor Id.-Nummer ABC-10 Messbereich 1,000mm Auflösung 0,001mm	<b>Teil</b> Bezeichnung Welle Id.-Nummer 4711 <b>Normale</b> Bezeichnung Endmaßsatz Id.-Nummer 0814	<b>Merkmal</b> Bezeichnung Durchmesser Sollmaß 5,000mm OSG 10,000mm USG 0,000mm T 10,000mm				
<b>Statistische Werte</b>						
Referenz	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	
Mittelwert	2,492	4,000	6,025	7,708	9,383	
Bias	0,492	0,000	0,025	-0,292	-0,617	
linear	0,423	0,172	-0,078	-0,329	-0,580	
kubisch	0,000	0,000	-0,077	0,221	-0,631	
Wiederholstandardabweichung	0,1583 mm				Signifikanzniveau 5,0 %	
<b>Abweichungsfunktion, <math>x = f(\text{Referenz})</math></b>						
$Bias = m_1 x + b$	linear	-	-	-0,1254	0,6742	79,5%
$Bias = m_3 x^3 + m_2 x^2 + m_1 x + b$	kubisch	-0,0055	0,0983	-0,6399	1,4050	82,9%
<b>Korrekturfunktion, <math>y = f(\text{Messwert})</math></b>						
$y = m_1 y + b$	linear	-	-	1,1374	-0,7350	
$y = m_3 y^3 + m_2 y^2 + m_1 y + b$	kubisch	0,0080	-0,1411	1,8893	-1,8993	
An den Messpunkten ist die zugehörige Standardabweichung dargestellt						
Bias						<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">- - -</span> 5%</li> <li><span style="color: blue;">- - -</span> Bias</li> <li><span style="color: magenta;">- - -</span> linear</li> <li><span style="color: red;">- - -</span> kubisch</li> <li><span style="color: red;">- - -</span> -5%</li> <li><span style="color: red;">—</span> VBo</li> <li><span style="color: red;">- - -</span> VBu</li> </ul>
relative Auflösung	0,1 %	fähig				
maximale Abweichung / Toleranz	6,2%	nicht fähig!				
Bestimmtheitsmaß $R^2$	Signifikant					
Anstieg $m_1$	Signifikant	nicht fähig!				
Datum _____	Unterschrift _____		Abteilung _____			





Referenz	Wert
2	2,7
2	2,5
2	2,4
2	2,5
2	2,7
2	2,3
2	2,5
2	2,5
2	2,4
2	2,4
2	2,6
2	2,4
4	4,5
4	3,9
4	4,2
4	4,1
4	3,8
4	3,9
4	3,9
4	3,9
4	3,9
4	4
4	4,1
4	3,8
6	5,8
6	5,7
6	5,9
6	5,9
6	6
6	6,1
6	6
6	6,1
6	6,4
6	6,3
6	6
6	6,1
8	7,6
8	7,7
8	7,8
8	7,7
8	7,8
8	7,8
8	7,8
8	7,7
8	7,8
8	7,5
8	7,6
8	7,7
10	9,1
10	9,3
10	9,5

OSG	10,000
USG	0,000
RE	0,001

Statistische Werte	Soll
Referenz	2,000
Mittelwert	2,492
Bias	0,492
linear	0,423
kubisch	0,475

QUALITY APPs im TQU VERLAG  
[www.tqu-verlag.de](http://www.tqu-verlag.de)