Mess-System-Analyse

www.crgraph.de

Grundlagen & MSA 4th Edition, VDA 5

Inhalt

Voraussetzung und verwandte Themen 1
Keywords 2
Einführung 2
Ziel und Nutzen 2
Grundlagen 2
Verfahren 1 3
Verfahren 2 3
Verfahren 3 4
MSA Gage R&R 5
Berechnung über ANOVA (Analysis of Variance) 6
Messsystemanalyse analog VDA 5 6
Einseitig begrenzte Merkmale und nicht normalverteilte Größen 10
Betrachtung weiterer Einflüsse 10
Messmittelfähigkeit für diskrete Merkmale 11
Auswahlübersicht 12
Weitere Literatur 12
Consulting & Schulungen 13
Anwendung in Visual-XSel 15

Voraussetzung und verwandte Themen

Für diese Beschreibungen sind Grundlagen der Statistik vorteilhaft. Weiterführende und verwandte Themen sind:

www.crgraph.de/Literatur

www.versuchsmethoden.de/ANOVA.pdf

www.versuchsmethoden.de/Mess-System-Analyse-diskret.pdf

www.versuchsmethoden.de/Versuchsplanung.pdf

www.versuchsmethoden.de/Multiple_Regression.pdf

© 2025 CRGRAPH

www.versuchsmethoden.de/Prozessfähigkeit.pdf

www.versuchsmethoden.de/Regelkarten.pdf

Keywords:

Mess-System-Analyse, Messmittelfähigkeit, C_{gk}, Q_{MP}, MSA 4, VDA 5, Gage R&R, Auflösung, Kalibrierung, Wiederholbarkeit, Wechselwirkung, ANOVA, Teileeinfluss, Prüfereinfluss, IATF 16949, AQDEF-Format

Einführung

Als Mess-System-Analyse, kurz MSA, bezeichnet man die Analyse der Fähigkeit von Messmitteln und kompletten Messsystemen. Man unterscheidet generell zwischen den Messunsicherheiten des Messgerätes und den Einflüssen aus der Messprozedur (Handhabung, Prüfereinfluss, etc.). Eine MSA wird auch als Messmittel- oder Messgerätefähigkeit bezeichnet.

Speziell für sicherheitsrelevante, funktionsrelevante oder zulassungsrelevante sogenannte besondere Merkmale wird sowohl in der IATF 16949 als auch im VDA-Band Besondere Merkmale die Mess-System-Analyse gefordert. Im Zusammenhang mit Besonderen Merkmalen werden auch sogenannte Zuv-Indikatoren genannt.

Ziel und Nutzen

Die MSA ist die Grundvoraussetzung z.B. für die Durchführung einer Prozessfähigkeit in der Produktion oder für die Untersuchung von Effekten in der Entwicklung. Soll beispielsweise eine technische Maßnahme Abgaswerte reduzieren, so muss die Messung in der Lage sein, diese Verbesserung ausreichend nachweisen zu können.

Bei zu großen systematischen und/oder zufälligen Abweichung eines Messgerätes, sind Korrekturmaßnahmen vorzunehmen, oder das Messverfahren zu ändern.

Grundlagen

Es gibt eine Reihe von Industriestandards für die MSA, auf die sich diese Beschreibungen beziehen. Im Wesentlichen sind es die

- AIAG MSA 4th Edition (Amerikanischer Standard)
- VDA Band 5 bzw. (Deutscher Standard der Automobilindustrie)
  ISO 22514-7 (Internationaler Standard entspr. VDA 5 Capability of Measurement Processes)

Zunächst werden die Grundlagen, der in der Fachwelt weitläufig bekannten Verfahren 1 – 3 beschrieben. Hier gibt es die Capability-Kennwerte Cg und Cgk des 1. Verfahrens und für Verfahren 2 und 3 die aus der MSA 4th Edition bekannten Kennwerte Gage R&R (Repeatability & Reproduceability).

© 2025 CRGRAPH

Da die Berechnungsschritte hier deutlich einfacher sind, als die über das heute übliche ANOVA-Verfahren, lassen sich die Zusammenhänge hier leichter erläutern. Dafür berücksichtigen die „alten“ Verfahren einige Aspekte nicht, die später beschrieben werden.

Verfahren 1

Wie eingangs beschrieben, gibt es hier die Kennwerte Cg und Cgk, die im gleichen Zusammenhang stehen, wie die Prozessfähigkeitskennwerte Cp und Cpk. Auch hier ist ein Wert von 1,33 zu erreichen, jedoch bezieht sich das Mess-System auf 20 % der Toleranz T:

$$C_g = \frac{0{,}2 \cdot Tol}{2 \cdot k \cdot s_g} \quad \text{bzw.} \quad C_{gk} = \frac{0{,}1 \cdot Tol - |\bar{x}_g - \bar{x}_m|}{k \cdot s_g}$$

Tol = Toleranz = obere Spezifikationsgrenze OSG - untere Spezifikationsgrenze USG

$\bar{x}_g$ = angezeigter Mittelwert

$\bar{x}_m$ = wahrer Mittelwert

s_g = Wiederholstandardabweichung

$k = 2$ Standard für Vertrauensbereich 95,45 %
$k = 3$ Für Vertrauensbereich 99,73 %, falls es die Anwendung erfordert oder es normative Vorgaben gibt (z.B. Verschraubungstechnik)

In der Regel werden 25 Wiederholungsmessungen durchgeführt. Hieraus wird die Standardabweichung s_g berechnet:

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

Wie in der eingangs gezeigten Tabelle zu ersehen ist, wird in C_g und C_{gk} keine Auflösung, Kalibrierunsicherheit und Linearität berücksichtigt. Es gibt nur eine zusätzliche Anforderung, dass die physikalische und angezeigte Auflösung eines Messgerätes 2% der zu messenden Toleranz betragen muss. In Ausnahmefällen sind bis zu 5% maximal erlaubt.

Verfahren 2

Beim Verfahren 2 wird im Wesentlichen der Bedienereinfluss ermittelt. Hier wird der Kennwert R&R verwendet, um zu beurteilen, ob die Messeinrichtung geeignet ist.

Es werden mindestens 2 Prüfer ($k \geq 2$) festgelegt. Weiterhin erfolgt die Auswahl von mindesten 5 (besser 10) Messobjekten ($n \geq 5$), die möglichst über den Toleranzbereich verteilt sind. Jeder Prüfer muss jedes Messobjekt mindestens zweimal messen ($r \geq 2$).

Weiterhin muss folgende Bedingung erfüllt werden: $k \cdot r \cdot n \geq 30$.

Zur Auswertung wird jeweils der Mittelwert jedes Prüfers $\bar{x}$ und die mittleren Spannweiten $\bar{R}$ berechnet. Danach wird die Wiederholpräzision mit dem Mittelwert aller mittleren Spannweiten bestimmt:

© 2025 CRGRAPH

$R_1 = \max Diff\ (Messg.1, Messg.2, ...)$

	A	B	C	D	E	F	G
1			A-Prüfer A			B-Prüfer B	
2		Messg. 1	Messg. 2	R1	Messg. 1	Messg. 2	R2
3	1	100,01	99,99	0,02	100	99,99	0,01
4	2	100,01	100,02	0,01	99,99	100,01	0,02
5	3	100,01	100	0,01	100,01	100	0,01
6	4	100,02	100,01	0,01	100,01	100	0,01
7	5	100	100,01	0,01	100	99,99	0,01

$R_2 = \max Diff\ (Messg.1, Messg.2, ...)$

$\bar{R}_1 = \frac{1}{n}\sum R_{1,i}$ $\bar{R}_2 = \frac{1}{n}\sum R_{2,i}$

Hieraus wird die mittlere Gesamtspannweite berechnet. Für zwei Prüfer gilt:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2}{2}$$

Mit Hilfe eines Korrekturfaktors K_1 nach Duncan, der die Stichprobengröße berücksichtigt, kann nun die „Variation des Gerätes“ (Equipment Variation EV) berechnet werden.

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

Anschließend wird der Einfluss des Prüfers berechnet. Hierzu müssen die größten und kleinsten Mittelwerte aller Messreihen der Prüfer bestimmt werden. Der jeweils größte und kleinste Wert wird zur weiteren Bewertung herangezogen.

Mit Hilfe eines weiteren Korrekturfaktors K_2 nach Duncan, der die Prüferanzahl berücksichtigt, ergibt sich die Variation des Prüfereinflusses (Appraiser Variation AV).

$AV = K_2 \cdot \bar{x}_{Diff}$ Korrekturfaktor K_2

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

$\bar{x}_{\max}$ = Mittelwert von dem Prüfer, aus dessen Messreihe der größte Mittelwert errechnet wurde.

$\bar{x}_{\min}$ = Mittelwert von dem Prüfer, aus dessen Messreihe der kleinste Mittelwert errechnet wurde.

Hiermit entsteht:

$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ bzw.

$\%R\&R = R\&R / RF \cdot 100\%$ mit RF = Bezugsgröße, meist Toleranz T oder Bereich der Teile

Die Anforderung ist, je nach Technologie und Bedeutung der Anwendung:

$\%R\&R \leq 20\%$ (Empfehlung)
$\%R\&R \leq 30\%$ (Standard)

Verfahren 3

Das Verfahren 3 ist ein Sonderfall des Verfahrens 2 und wird bei Messsystemen angewendet, bei denen kein Bedienereinfluss vorliegt (z.B. mechanisierte Messeinrichtung, Prüfautomaten usw.). Die Berechnung erfolgt wie bei Verfahren 2, jedoch mit einem Prüfer. Es muss gelten: $r \cdot n \geq 20$.

Die Methode wird im Gegensatz zu Verfahren 1 auch dann angewendet, wenn die Messdaten nicht normalverteilt sind.

© 2025 CRGRAPH

MSA Gage R&R

Die Messsystemanalyse der MSA 4th Edition ist dem Berechnungsverfahren, nach Verfahren 2 sehr ähnlich. Die Berechnung der Variation des Gerätes EV ist hier identisch. Beim Einfluss des Prüfers AV wird jedoch ein Anteil von EV abgezogen,

$$AV = \sqrt{\left(K_2 \cdot \bar{x}_{Diff}\right)^2 - \left(EV^2/(n \cdot r)\right)}$$

was den Einfluss des Prüfers geringer werden lässt. Anstelle des Bezuges auf die Toleranz, kann hier $\%AV$, $\%EV$ und $\%RR$ auch auf die Totalvariation der Bauteile bezogen werden:

$$TV = \sqrt{RR^2 + PV^2}$$
$$PV = R_p \cdot K_3$$

R_p berechnet sich aus den Mittelwerten aller Teile (zeilenweise) und hiervon die größte Differenz. K_3 ist der Korrekturfaktor nach Duncan, mit Parameter n Messungen (erste Zeile).

$\%R\&R$ ergibt sich somit zu:

$$\%R\,\&\,R = \frac{RR}{TV} \cdot 100\ \%$$

Der Bezug ist hier eine berechnete Teilevariation im Gegensatz zu der möglichen angegebenen RF-Bezugsgröße aus größtem und kleinstem Wert der Teile bei Verfahren 2 u. 3. Analog hierzu gilt TV als Bezug für die anderen Kennwerte.
Wird nicht auf die Bauteilvariation, sondern auf eine (Prozess-)Toleranz bezogen, so gilt hier:

$$\%R\,\&\,R = RR \cdot \frac{6}{Tol} \cdot 100\ \%$$ für Vertrauensbereich 99,73%

$$\%R\,\&\,R = RR \cdot \frac{5{,}152}{Tol} \cdot 100\ \%$$ für Vertrauensbereich 99%

Die Anforderung ist auch hier $\%R\&R\ (\%GRR) \leq$ 20% .. 30%.

Auch hier sind die anderen Kennwerte auf die gleiche Weise umzurechnen. Die Prozentangaben beinhalten hier also einen Bezug auf die statistische Fähigkeit. Dieser ist vor allem für Produktionsprozesse anzuwenden, während die Beobachtungsgrenzen einer DoE-Untersuchung nicht als Toleranzen anzusehen sind, sondern voll erfüllt werden müssen.

Eine Kennzahl zur Beurteilung, wie sich die Variation der Bauteile zur Messunsicherheit verhält, ist die sogenannte „number of distinct categories“ (Anzahl unterscheidbarer Kategorien/Bereiche):

$$ndc = 1{,}41 \cdot \frac{PV}{RR} \qquad ndc \geq 5.$$

ndc wird normalerweise auf eine ganze Zahl abgerundet.

© 2025 CRGRAPH

Berechnung über ANOVA (Analysis of Variance)

Die Einflüsse werden bei der ANOVA nicht über den Rang und einem Korrekturfaktor, sondern über eine Streuungszerlegung bestimmt (siehe hierzu auch www.versuchsmethoden.de/ANOVA.pdf). Dabei setzen sich die Einflüsse aus der Variation der Teile, der Prüfer, sowie der Wechselwirkung zwischen diesen zusammen. Der größte Vorteil der ANOVA ist die Berücksichtigung der Wechselwirkung, weshalb dieses Verfahren zu bevorzugen ist.

Um die Einflüsse getrennt beurteilen zu können, zerlegt man die Summe der quadratischen Abweichungen über alle Messwerte in Teilsummen und betrachtet deren Varianzen. Die klassische Darstellung im angelsächsischen Sprachraum ist:

Degrees of Freedom
Anzahl Informationen

Sum of Squares

Mean Square
Varianz = SS/DF

F-Wert

	DF	SS	MS	F
Teil	9	1,181E-05	1,313E-06	71,7
Prüfer	2	3,640E-07	1,820E-07	9,9
Teil*Prüfer (Wechselw.)	18	3,293E-07	1,830E-08	0,7
Wiederholbarkeit	30	7,700E-07	2,567E-08	
Total	59	1,328E-05		

s^2_{EV}

Die Darstellung der MSA ist:

$6 \cdot \sqrt{s^2_{EV}}$

	Sym.		Sym.	
Wiederholbarkeit	EV	9,080E-04	%EV	18,2
Prüfereinfluss	AV	5,351E-04	%AV	10,7
Wechselwirkung	IA	0,000E-01	%IA	0,0
Teilevariation	PV	2,782E-03	%PV	30,0
Messsystem	RR	1,054E-03	%R&R	21,1

$$RR = \sqrt{EV^2 + AV^2 + IA^2}$$

$$\%R\&R = \frac{RR}{T} \cdot 100\%$$

Zunächst werden Quadratsummen der Tabellendaten horizontal und vertikal gebildet (Sum of Squares). Mit Hilfe der Freiheitsgrade *DF* entsteht hieraus die Varianz (Mean Square) und die Standardabweichung der Anteile. Ausgegeben wird hiervon der 6-fache Wert, was 99,73% der Teile beinhaltet. Über dem F-Wert als Verhältnis der Varianzen-Summen von Prüfer und Wiederholungen werden die Signifikanzen der Anteile bestimmt (in der Regel über den p-Value).
Bei der Angabe der Beispielzahlen ist zu berücksichtigen, dass zur Verrechnung mit und ohne Wechselwirkungen andere Anteile entstehen.

Messsystemanalyse analog VDA 5

Im Verfahren nach VDA Band 5 bzw. ISO 22514-7 spricht man von Messunsicherheiten, deren Anteile analog der ANOVA berechnet werden. Hier betrachtet man nicht die Varianzen, sondern die Standardabweichungen, die über das Symbol *u* beschrieben werden. Grundsätzlich gilt:

© 2025 CRGRAPH

Messprozess = Messunsicherh. Gerät + Messunsicherh. Vorrichtung&Prüfer

Die wichtigsten Messunsicherheiten zeigt folgende Übersicht:

Anteil	Symb.	Berechnung	
Auflösung der Anzeige	u_{RE}	$= RE/\sqrt{12}$	RE Auflösung
Systematische Abweichung	u_{Bi}	$= \lvert \bar{x}_{g-}\, x_m \rvert / \sqrt{3}$	$\bar{x}_g$ angez. Mittelw. Normal x_m Referenzwert Normal
Wiederholbarkeit am Normal	u_{EVR}	$= \sqrt{\frac{1}{n_n - 1}\sum\left(x_i - \bar{x}_g\right)^2}$	x_i Messw. i-te Wiederh. n_n Anzahl Wiederh.

Hieraus wird der Geräteeinfluss (MS = MessSystem) als Zwischenergebnis gebildet:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{BI}^2 + max\{u_{RE}^2; u_{EVR}^2\}}$$

Der Umfang der Vorrichtung und des Prüfers ist:

Anteil	Symb.	Berechnung	
Wiederholbarkeit Prüfobjekt	u_{EVO}	$= \sqrt{MS_{EV}}$	MS_{EV} Varianz Wiederholbark.
Vergleichbarkeit Prüfer	u_{AV}	$= \sqrt{MS_{AV}}$	MS_{AV} Varianz Prüfer
Wechselwirkung	u_{IA}	$= \sqrt{MS_{IA}}$	MS_{IA} Varianz Wechselwirkg.

Es sind mindestens 10 Messobjekte zu verwenden, die möglichst über den Toleranzbereich verteilt sind. Diese werden von den Prüfern mindestens zweimal vermessen. Analog Gage R&R Verfahren 3 ist auch nur ein Prüfer möglich, wenn die MFU/PFU nur von einem Prüfer durchgeführt wird.

Insgesamt wird der Messprozess bestimmt durch:

$$u_{MP} = \sqrt{u_{BI}^2 + max\{u_{RE}^2;\ u_{EVR}^2;\ u_{EVO}^2\} + u_{AV}^2 + u_{IA}^2}$$

Analog dem $\%R\&R$ wird hier auf die Toleranz bezogen und es ergibt sich die Kennzahl

$$\%Q_{MP} = 100\% \cdot \frac{k \cdot 2 \cdot u_{MP}}{Tol} \leq 30\%$$ mit k=2 für Vertr.bereich 95,45%, bzw. k=3 für 99,73%

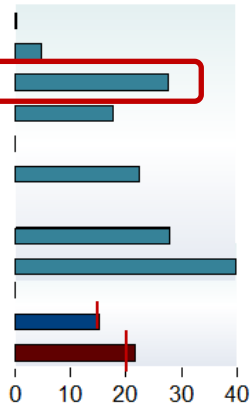
In manchen Bereichen wird auch $\%Q_{MP} \leq$ 20% gefordert. Weitere Messunsicherheiten z.B. Kalibrierung, Linearität, Stabilität, Temperatur, etc. können dem VDA Band 5 entnommen werden.

Beispiel

Die folgende Auswertung zeigt eine starke Bias Abweichung. Die macht sich auch im der großen Differenz zwischen C_g und C_{gk} bemerkbar:

© 2025 CRGRAPH

VDA 5 / ISO 22514-7			Werte / 1000
Auflösung der Anzeige	u	RE	0,0289
Wiederholbarkeit Normal	u	EVR	0,3868
Standardunsicherheit (Bias)	u	BI	2,2505
Wiederholbarkeit Prüfobjekt	u	EVO	1,4434
Wiederholbarkeit Prüfer	u	AV	0,0000
Wechselwirkung	u	IA	1,8240
Messunsicherheit	u	MS	2,2835
Messprozess	u	MP	3,2365
Messsystem	%Q	MS (95,45%)	**15,2**
Messprozess	%Q	MP (95,45%)	**21,6**
Fähigkeitsindex	C	g	7,757
(Bezug auf 4s, bzw. 95,45%)	C	gk	2,717

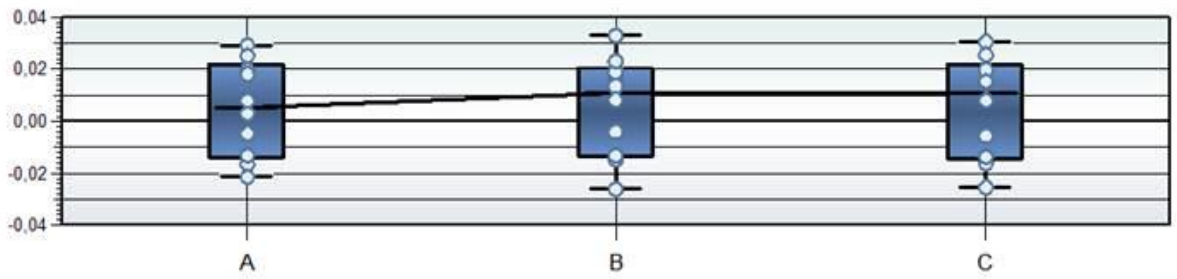


Die Ursache liegt in einer nicht ausreichenden Kalibrierung des Messsystems. D.h. der Mittelwert der Wiederholungen am Normal weicht stark vom Referenzwert des Normals ab. Nach Durchführung der Kalibrierung wurde diese Abweichung fast vollständig reduziert und ergibt sich neu:

VDA 5 / ISO 22514-7			Werte / 1000
Auflösung der Anzeige	u	RE	0,0289
Wiederholbarkeit Normal	u	EVR	0,3868
Standardunsicherheit (Bias)	u	BI	0,0589
Wiederholbarkeit Prüfobjekt	u	EVO	1,4434
Wiederholbarkeit Prüfer	u	AV	0,0000
Wechselwirkung	u	IA	1,8240
Messunsicherheit	u	MS	0,3912
Messprozess	u	MP	2,3267
Messsystem	%Q	MS (95,45%)	**2,6**
Messprozess	%Q	MP (95,45%)	**15,5**
Fähigkeitsindex	C	g	7,757
(Bezug auf 4s, bzw. 95,45%)	C	gk	7,625

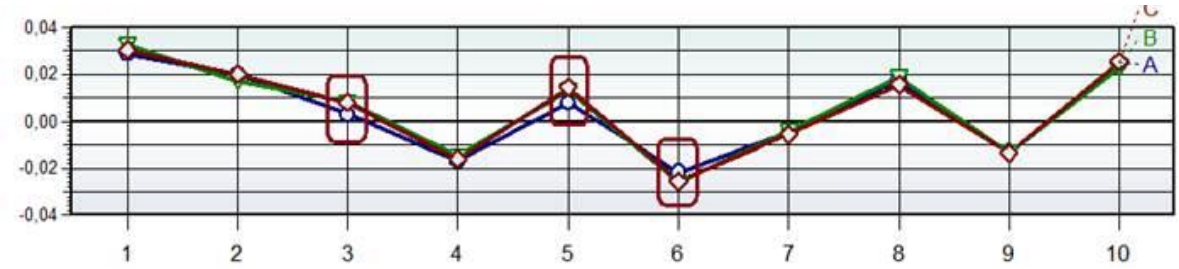
Die Differenz zwischen C_g und C_{gk} ist erheblich gesunken.

Der nächste Punkt ist, dass der Prüfereinfluss $u_{AV} = 0$ ist. Das ist wiederspricht im ersten Moment mit der Grafik der Prüfer, denn hier sieht man, dass Prüfer A im Mittel tiefer liegt.



© 2025 CRGRAPH

In der Tabelle der Auswertung sieht man aber auch, dass es eine starke Wechselwirkung zwischen den Prüfern und den Prüfobjekten gibt. Die folgende Grafik zeigt die Ursache:



Die Abweichung von Prüfer A ist nur bei Teil 3, 5 und 6 gegeben. Die Abweichungen begründen den im Mittel geringeren Mittelwert für A im Boxplot. Da es aber keine gleichmäßige Abweichung über alle Teile von Prüfer A gibt, wird diese durch eine Wechselwirkung erklärt. Es ist zu klären, was Prüfer A aus welchem Grunde bei Teil 3, 5 und 6 anders gemacht hat. Eine detaillierte Beschreibung der durchzuführenden Schritte bei der Messung kann hier Abhilfe schaffen.

Vergleich klassische Verfahren mit VDA 5

Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich der bisherigen Verfahren mit denen des VDA 5:

Einflüsse

	Wiederholbarkeit		**Wiederholpräzision**	**Reproduzierbarkeit** (Vergleichspräzision)
	Prüfung am **Normal**		Prüfung an verschiedenen **Teilen**	Prüfung an verschiedenen **Teilen** mit verschiedenen **Prüfern**
VDA 5	u_{EVR}, u_{BI}	u_{RE}, u_{cal}, u_{lin}	u_{EVO}	u_{EVO}, u_{AV}, (u_{IA})
	$Q_{MS} \leq 15\%$		$Q_{MP} \leq 20\%$	$Q_{MP} \leq 20\%$
Bisherige klassische Verfahren	**Verfahren 1** Cg/Cgk ≥1,33		**Verfahren 3** Spannweite %R&R ≤ 20%	**Verfahren 2** Spannweite, Mittelwertdiff. %R&R ≤ 20%

Hinweis: Im VDA Band 5 ist als Anforderung $Q_{MP} \leq 30\%$ genannt. Je nach Anwendung und firmenspezifischen Vorgaben ist aber $Q_{MP} \leq 20\%$ zu empfehlen, denn je höher man Q_{MP} zulässt, desto höher werden die Anforderungen an die Anforderung einer Prozessfähigkeit, um die Streuung des Mess-Systems auszugleichen. Der Kostenaufwand für die Prozessoptimierung ist jedoch meist wesentlich höher, als für ein höherwertigeres Mess-System.

© 2025 CRGRAPH

Einseitig begrenzte Merkmale und nicht normalverteilte Größen

In einigen Fällen gibt es nur eine einseitige Spezifikationsgrenze, z.B. eine obere für abgasrelevante Kennwerte oder eine untere für Haltekräfte. Ebenso gibt es Merkmale die generell nicht normalverteilt sind, z.B. Rundlauf, Rechtwinkligkeit, Parallelität, Unwucht.
Bei der Berechnung der Fähigkeitskennzahl wird die Normalverteilung zugrunde gelegt. Dies gilt auch für nicht normalverteilte Merkmale, da die Messstreuung um einen „konstanten“ Messpunkt im Verhältnis zur asymmetrischen Verteilung vernachlässigt werden kann.

Fall 1: Natürliche Grenzen vorhanden

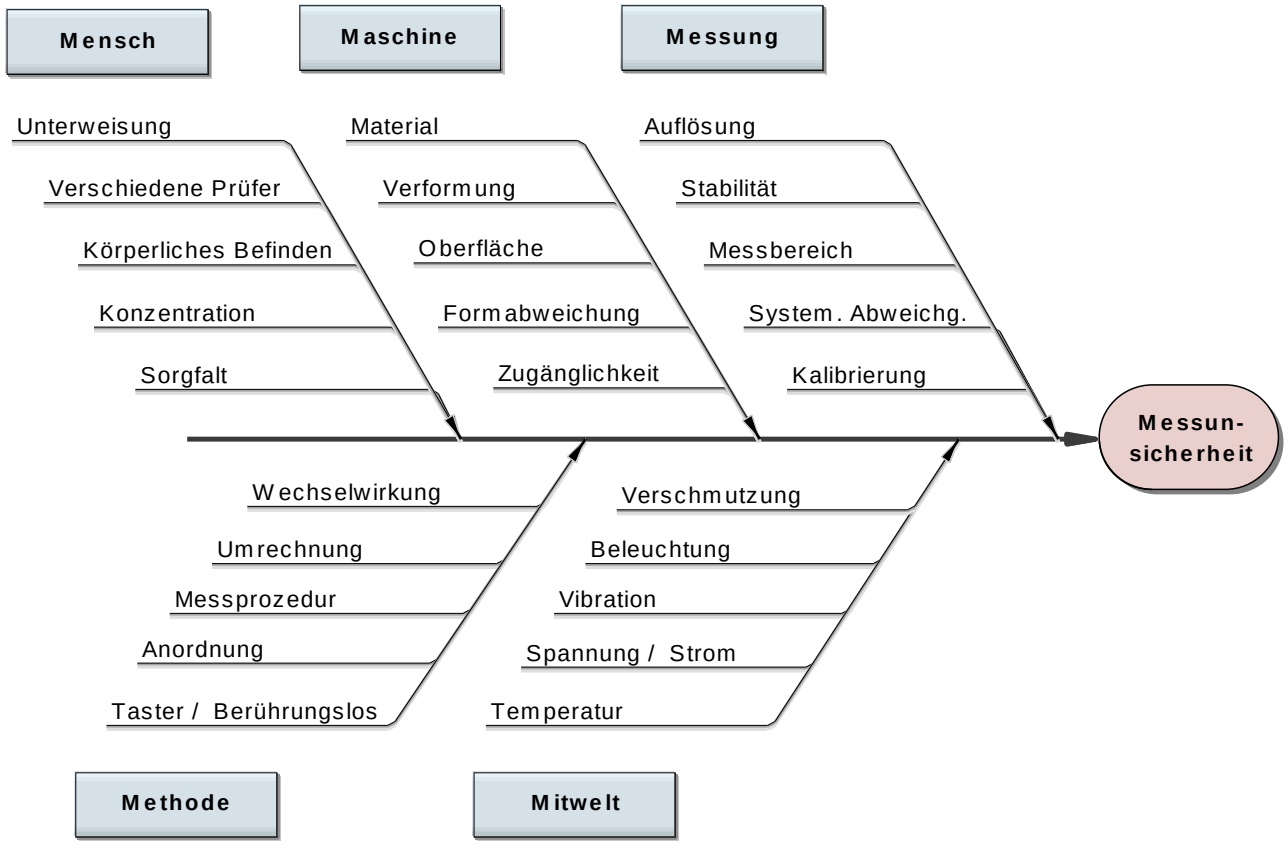
Fall 2: Anwendung bekannt oder Sollwert definiert

Fall 3: Keine bekannte Anwendung und keine natürlichen Grenzen

Ausführliche Beschreibungen im Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden, siehe Anhang.

Betrachtung weiterer Einflüsse

Neben den gezeigten klassischen Einflussgrößen, wie der genannten Teilevariation und dem Prüfereinfluss gibt es natürlich viele weitere Einflüsse, was das Folgende Ishikawa zeigt.



© 2025 CRGRAPH

Die Berücksichtigung weiterer Einflüsse ist mit den gezeigten Verfahren meist nicht mehr einfach zu behandeln. Statt einer vollfaktoriellen Kombination bietet sich hier ein sogenannter D-Optimaler Versuchsplan an, der trotz viele Parameter wenig Versuche benötigt. Anstelle der ANOVA zur Auswertung ist auch eine Multiple Regression möglich, die sehr flexibel mit Wechselwirkungen und Nichtlinearitäten umgehen kann. Jedoch sind diese Auswertungen nicht standardisiert im Zusammenhang mit der MSA. Die Bewertung der Einflüsse erfolgt ausschließlich über statistische Signifikanztests. Sie sollten möglichst gering und nicht signifikant sein.

Ausführliche weitere Beschreibungen mit math. Grundlagen sind im Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden zu finden, siehe Anhang.

Messmittelfähigkeit für diskrete Merkmale

Ausführliche Beschreibungen im Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden, siehe Anhang

Unter diskreten oder attributiven Merkmalen versteht man hier Messungen, die als Ergebnis nur gut oder schlecht kennen (zwei Ausprägungen). Dies ist in vielen Fällen z.B. bei subjektiven Beobachtungen gegeben.

Im Verfahren Gage R&R für diskrete Merkmale lässt man mehrere Prüfer jeweils zweimal verschiedene Teile „messen“ durchführen. Das könnten z.B. Messungen an Teilen sein, die entweder intakt, oder fehlerhaft sind. Gibt es innerhalb eines Prüfers, oder zwischen verschiedenen Prüfern Abweichungen, so werden diese gezählt. Das Verhältnis unterschiedlicher Ergebnisse zu der Anzahl Teile soll nicht größer als 10% sein.

In der sogenannten Cohen's Kappa Methode lässt man die Prüfer 3mal ein Teil messen (Ergebnis als 0 oder 1). Hier geht es nicht nur um die Abweichungen zwischen den Prüfern, sondern um die Abweichungen zu den tatsächlichen Werten (Referenzmessung als wahrer Zustand der Teile).
Aus dem Verhältnis der Abweichungen zu den Referenzwerten werden Score-Werte gebildet, die gegen die Vertrauensbereiche aus der Binomial-Verteilung zu testen sind. Aufgrund des Bezugs zu einem Referenzwert ist diese Methode aussagekräftiger, als die Methode nach Gage R&R diskret. Weitere Informationen sind der MSA 4th Edition zu entnehmen.

Im sogenannten Bowker-Verfahren können drei Ausprägungen berücksichtigt werden, z.B. gut, schlecht und zusätzlich das Ergebnis „uneinheitlich“. Mindestens 40 verschiedene Prüfobjekte werden von 2 Prüfern je 3mal geprüft. Jedes der 40 Ergebnisse wird in drei Klassen aufgeteilt:

Klasse 1 : alle 3 Wiederholungen ergaben das Ergebnis gut

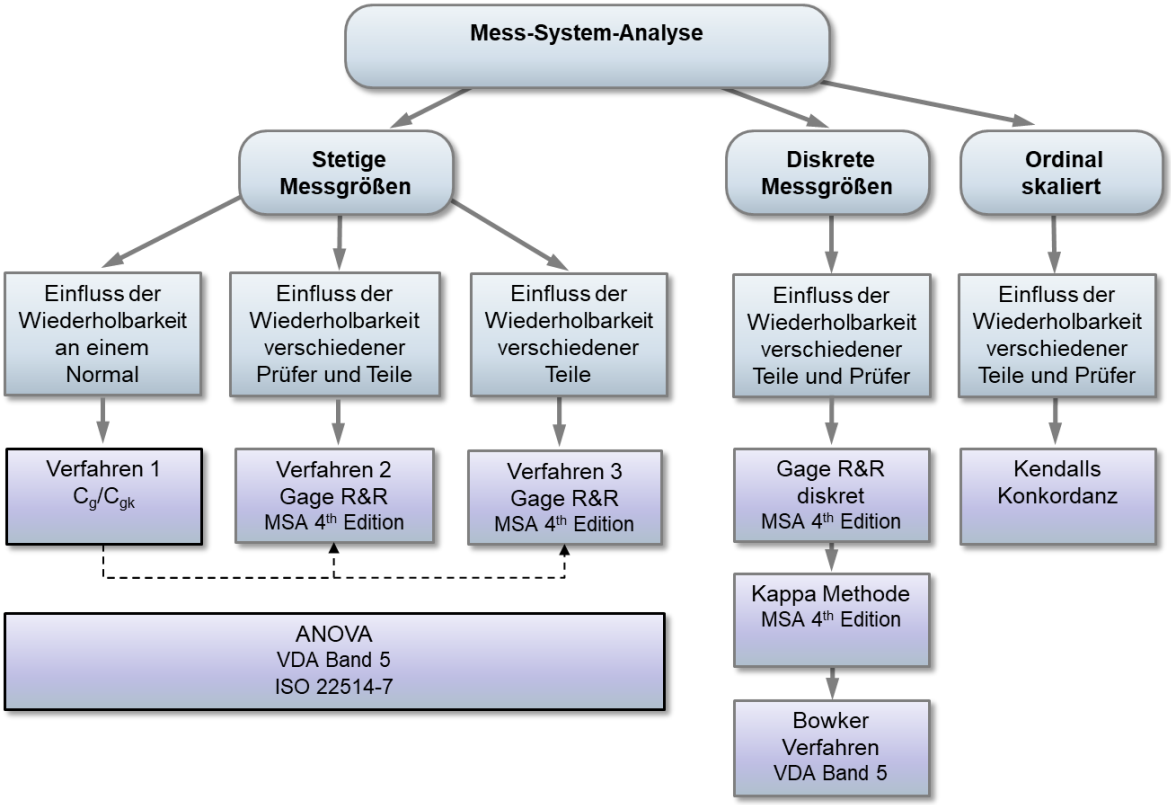
Klasse 2 : innerhalb der 3 Wiederholungen abweichende Ergebnisse

Klasse 3 : alle 3 Wiederholungen ergaben das Ergebnis schlecht.

Das Ergebnis in Form einer Kreuztabelle wird mit Hilfe der χ^2-Verteilung auf Symmetrie getestet. Weitere Informationen sind dem VDA-Band 5 zu entnehmen.

© 2025 CRGRAPH

Auswahlübersicht



Weitere Literatur

Measurement System Analysis MSA 4

Fourth Edition 7/2010
ISBN# 978-1-60-534211-5

Leitfaden zum "Fähigkeitsnachweis von Messsystemen"
Stand September 2002,

Version 2.1 D/E

Statistische Methoden der Qualitätssicherung
Horst Rinne, Hans-Joachim Mittag
Hanser, München/Wien 2002, ISBN 3-446-15503-1.

Handbuch Qualitätsmanagement
Masing
Hanser, München, ISBN 978-3-446-40752-7

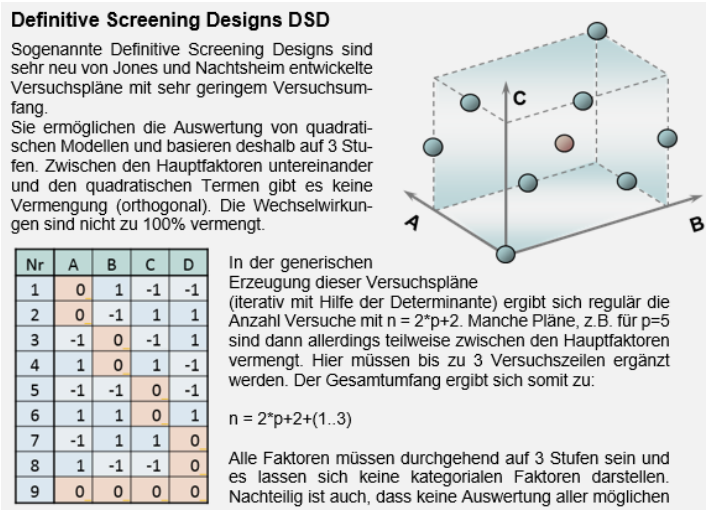
© 2025 CRGRAPH

VDA Band 5 Prüfprozesseignung

Verband der Automobilindustrie e.V. VDA – QMC
2. Auflage, Frankfurt 2010, ISSN 0943-9412

Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden

Ausführliche softwareunabhängige Beschreibungen zum Thema DoE und der dazugehörigen Auswertungen gibt es im



Definitive Screening Designs DSD

Sogenannte Definitive Screening Designs sind sehr neu von Jones und Nachtsheim entwickelte Versuchspläne mit sehr geringem Versuchsumfang.
Sie ermöglichen die Auswertung von quadratischen Modellen und basieren deshalb auf 3 Stufen. Zwischen den Hauptfaktoren untereinander und den quadratischen Termen gibt es keine Vermengung (orthogonal). Die Wechselwirkungen sind nicht zu 100% vermengt.

Nr	A	B	C	D
1	0	1	-1	-1
2	0	-1	1	1
3	-1	0	-1	1
4	1	0	1	-1
5	-1	-1	0	-1
6	1	1	0	1
7	-1	1	1	0
8	1	-1	-1	0
9	0	0	0	0

In der generischen Erzeugung dieser Versuchspläne (iterativ mit Hilfe der Determinante) ergibt sich regulär die Anzahl Versuche mit n = 2*p+2. Manche Pläne, z.B. für p=5 sind dann allerdings teilweise zwischen den Hauptfaktoren vermengt. Hier müssen bis zu 3 Versuchszeilen ergänzt werden. Der Gesamtumfang ergibt sich somit zu:

n = 2*p+2+(1..3)

Alle Faktoren müssen durchgehend auf 3 Stufen sein und es lassen sich keine kategorialen Faktoren darstellen. Nachteilig ist auch, dass keine Auswertung aller möglichen

Weitere Informationen und Leseproben:
crgraph.de/Literatur

Speziell das Buch

Consulting & Schulungen

Bei unseren Inhouse- oder Online-Schulungen wird die praxisnahe Anwendung von statistischen Methoden vermittelt. Wir haben über 25 Jahre Erfahrung, insbesondere in der Automobilindustrie und unterstützen Sie bei Ihren Problemstellungen, führen Auswertungen für Sie durch, oder erstellen firmenspezifische Auswertevorlagen.

Weitere Informationen finden Sie unter:
crgraph.de/schulungen

Sie haben ein konkretes Qualitätsproblem, oder wollen ein Produkt effizient und zuverlässig entwickeln? Sie wollen keine Statistik-Software anschaffen, weil diese voraussichtlich zu selten gebraucht wird, oder weil zu wenig Zeit zur Einarbeitung vorhanden ist? Dann sind unsere Q-Support Pakete genau das Richtige:

crgraph.de/consulting

© 2025 CRGRAPH

Hotline

Haben Sie noch Fragen, oder Anregungen? Wir stehen Ihnen gerne zur Verfügung:

Tel. +49 (0)8151-9193638

E-Mail: info@crgraph.de

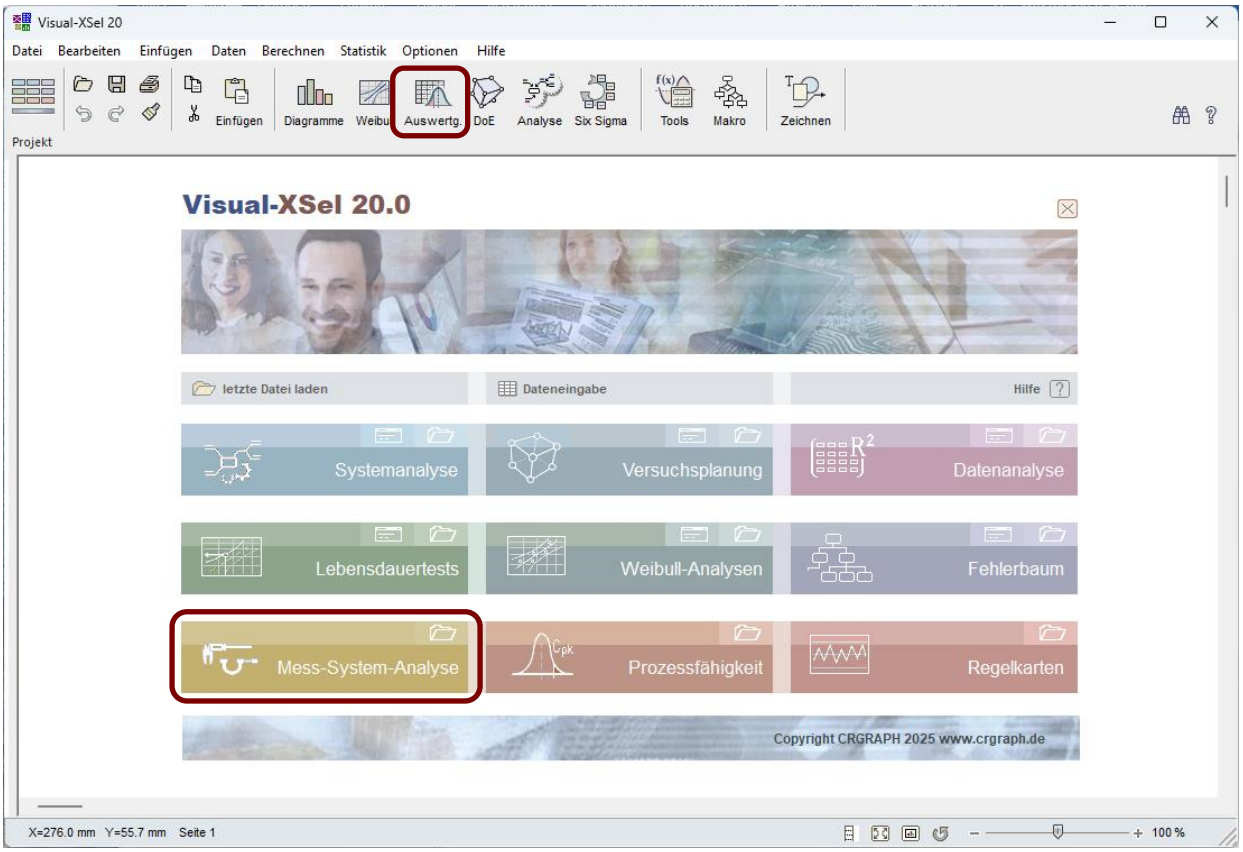
Besuchen Sie uns auf unserer Home-Page: www.crgraph.de

© 2025 CRGRAPH

Anwendung in Visual-XSel

www.crgraph.de

Unsere Software **Visual-XSel** ist ein leistungsfähiges Tool für alle wichtigen statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden. Verwenden Sie für den Einstieg die **Mess-System-Analyse** im Leitfaden (siehe auch crgraph.de/themen-index), oder die Ikone **Auswertung / Fähigkeit**.



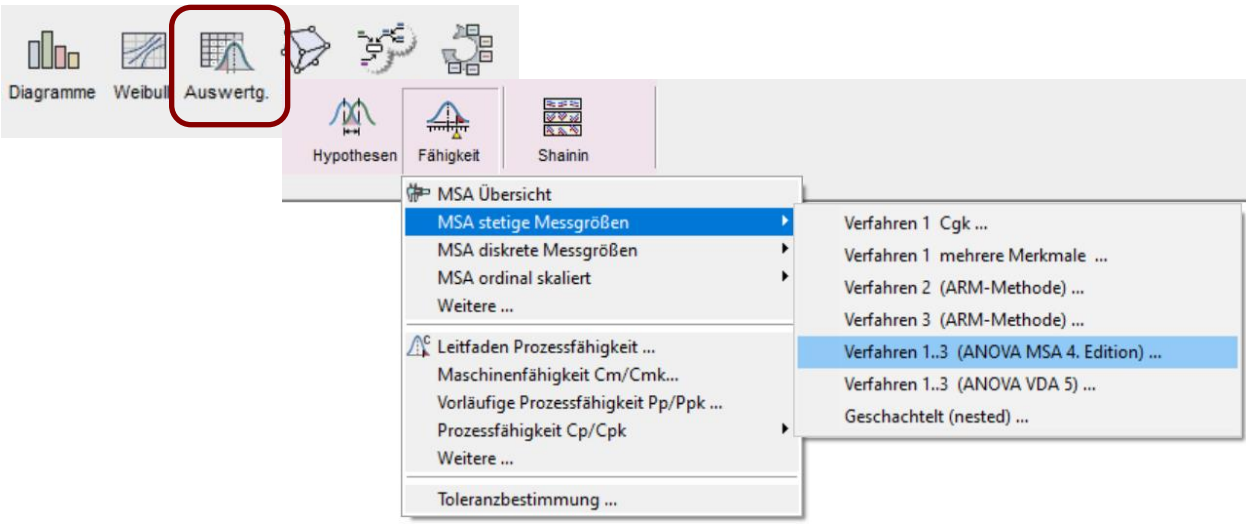
Hier finden Sie eine Übersicht und Einstiegsvideos:
crgraph.de/visual-xsel-software/

Nicht umsonst ist diese Software in vielen namhaften Firmen im Einsatz:
crgraph.de/Referenzen.

Die folgende Beschreibung ist eine Anleitung und Einführung in die Erstellung von Versuchsplänen in Visual-XSel.

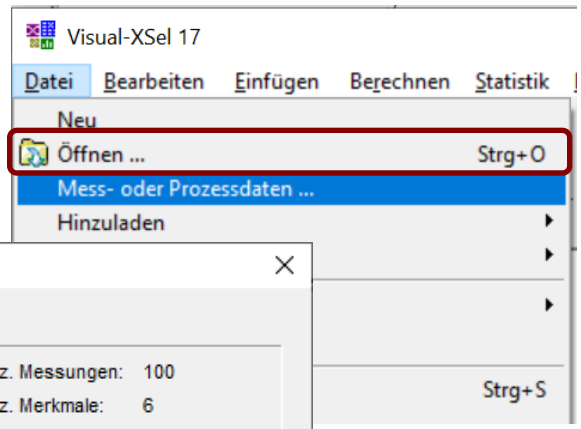
© 2025 CRGRAPH

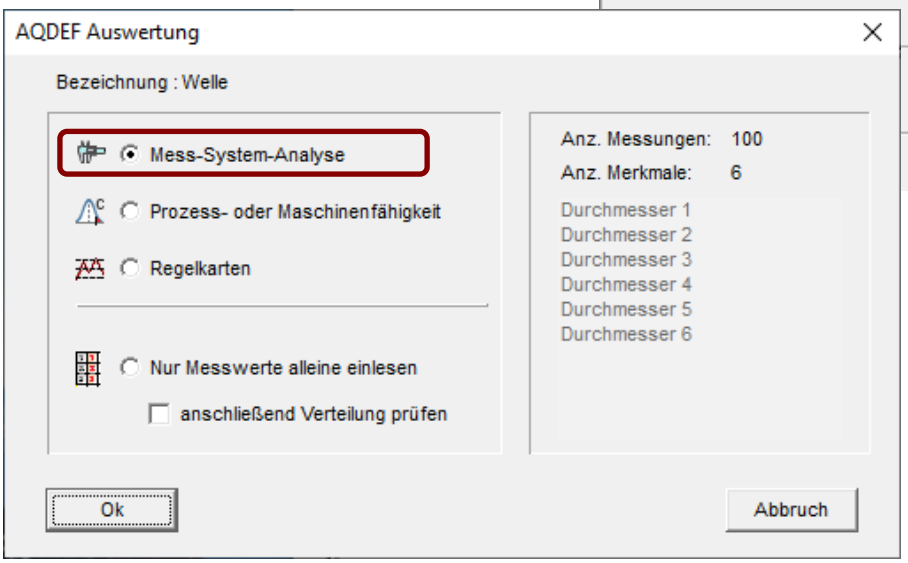
Alle Verfahren und Analysen werden über Templates bereitgestellt. Es gibt verschiedene Wege diese zu öffnen. Der direkte ist über den Startleitfaden, oder über die Ikone Auswertung.



Es können Messdaten im AQDEF® - Format eingelesen werden, siehe www.q-das.com/de/service/data-format-aqdef

Nach dem Laden kann man die gewünschte Methode auswählen für die Analyse:

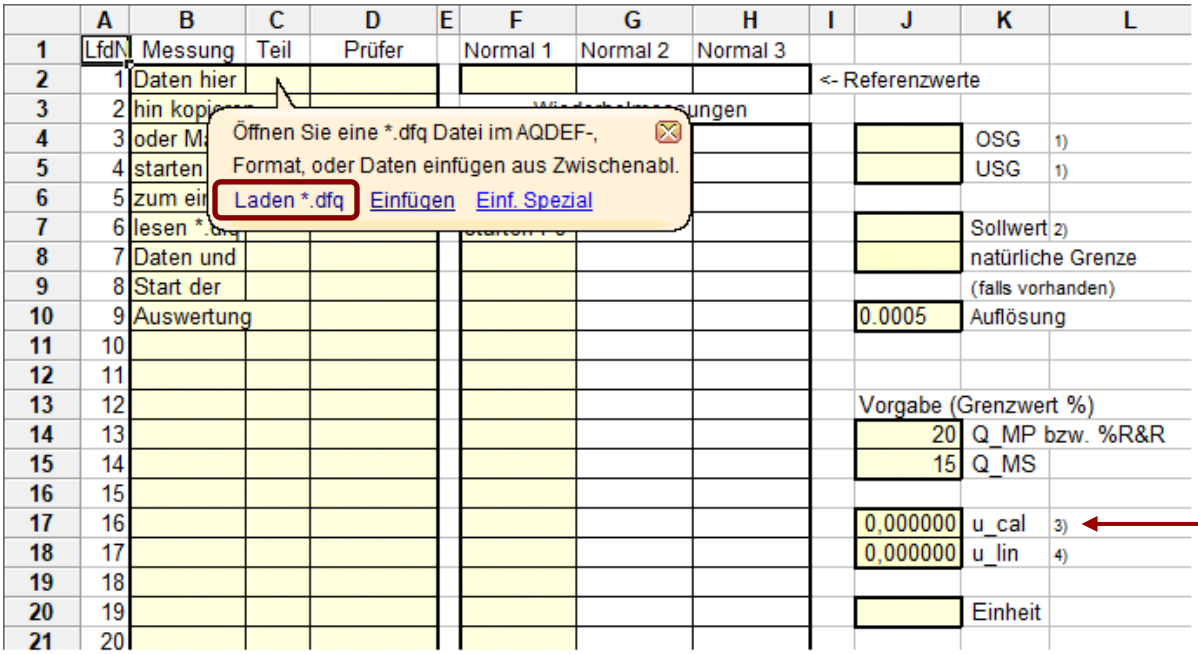




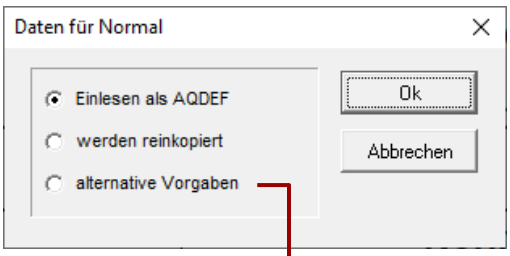
Bei den ersten drei Methoden werden direkt Templates geladen. Hierfür gibt es spezielle, deren Dateinamen einen Unterstrich **_.vxgn* haben. Dies ist das Kennzeichen, dass diese für das AQDEF® Format geeignet sind. Ein manuelles Einfügen der Daten ist aber nach wie vor auch hier möglich.

© 2025 CRGRAPH

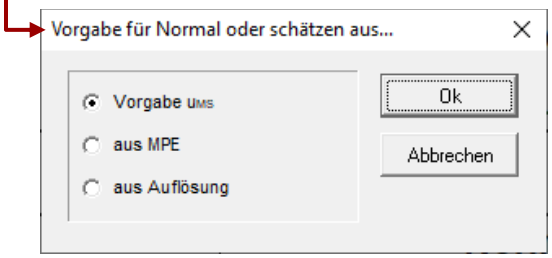
Ein Beispiel für ein Template mit einem Unterstrich **_.vxgn* am Ende ist *Messsystemanalyse_ANOVA_VDA5_.vxgn*.



Welche Daten konkret geladen werden, hängt von der Datenquelle ab. In diesem Template werden zuerst die Messungen für verschiedene Teile und Prüfer angefordert (analog dem „Verfahren 2“ - Spalte B-D). Im zweiten Schritt werden die Daten für die Wiederholmessungen am Normal benötigt. Es gibt folgende Möglichkeiten:



- Laden der Daten via **.qdf* Datei. Auch alle anderen Daten in Spalte J werden von hier übernommen.
- Optionales Einfügen über Zwischenablage möglich.
- Gibt es hierfür keine Daten, kann eine alternative Vorgabe für das Normal gemacht werden.



- Direkte Definition über die Messunsicherheit u_{MS} des Systems.
- Schätzung über dem Maximum Permissible Error MPE (dokumentiert vom Hersteller des Mess-Syst.).
- Schätzung über die Auflösung RE des Systems.

Einige Felder in Spalte J haben vorbelegte Werte, wie z.B. die Anforderung für Q_{MP} und Q_{MS}. Evtl. auch nicht vorhandene Information über u_{cal} and u_{lin} müssen manuell definiert werden.

© 2025 CRGRAPH

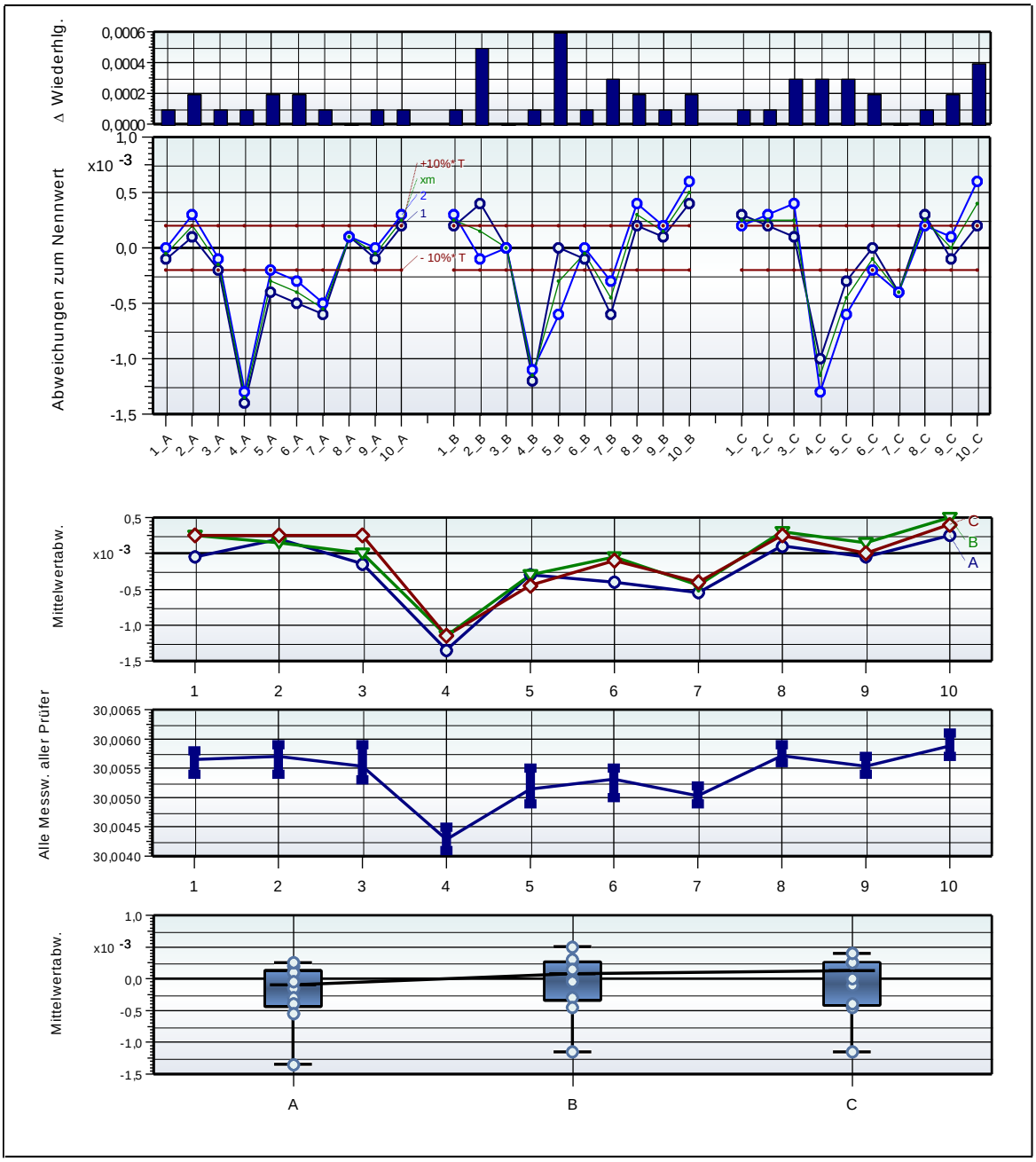
Optional können die RR/Q Anforderungen auf Tabellenseite T2 definiert werden. Der Standardwert ist 2 Standardabweichungen, was einem Vertrauensbereich von 95,45% bedeutet.

11	RR/Q Bezug in s
12	4,000
13	4:95,45%; 5,152:99%; 6:99,73%
14	Cg Bezug in s
15	4,000
16	4 : 95,45%; 6 : 99,73%

Anzahl Prüfer	2
Anzahl Teile	3
Anzahl Wiederholungen	5

Nur gelb unterlegte Felder sind zu definieren. Die Anzahl der Prüfer, Teile und Wiederholungen ergeben sich durch die vorhandenen Daten in Tabelle T1 Spalte B-D.

Auf der ersten Seite im Hauptfenster rechts werden die wichtigsten Grafiken dargestellt, woraus sich Abweichungen der Prüfer untereinander und mit den Prüfobjekten beurteilen lassen.

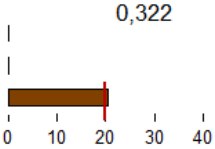


Die ersten Ergebnisse auf Seite 2 im Hauptfenster sind vergleichbar mit der Standard ANOVA, wie in der MSA 4. Auflage definiert.

© 2025 CRGRAPH

ANOVA Tabelle

Bezugsgröße : Toleranz	Tol	0,0150	Auflösung	0,0005	3,3%
					p-value
Wiederholbarkeit	EV	2,921E-03	%EV	19,5	0,040
Prüfereinfluss	AV	4,216E-04	%AV	2,8	0,326
Wechselwirkung	IA	8,433E-04	%IA	5,6	0,322
Teilevariation	PV	3,350E-03	%PV	22,3	
Totalvariation	TV	4,544E-03			
Messsystem	R&R	**3,070E-03**	%R&R (Tol)	**20,5**	
Anz. unterscheidb. Kategorien	ndc	1,5	Vorgabe %R&R	20,0	



Mit Wechselwirkungen

	DF	SS	MS	F	p-value
Teil	4	1,950E-05	4,875E-06	7,313	0,040
Prüfer	1	8,333E-07	8,333E-07	1,250	0,326
Teil*Prüfer	4	2,667E-06	6,667E-07	1,250	0,322
Wiederholbarkeit	20	1,067E-05	5,333E-07		
Total	29	3,367E-05			

Ohne Wechselwirkungen

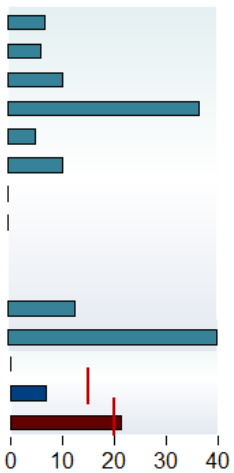
	DF	SS	MS	F	p-value
Teil	4	1,950E-05	4,875E-06	8,7750	0,000
Prüfer	1	8,333E-07	8,333E-07	1,5000	0,232
Wiederholbarkeit	24	1,333E-05	5,556E-07		
Total	29	3,367E-05			

Die nächsten Tabellen zeigen die typischen Messunsicherheiten analog dem VDA 5 bzw. der / ISO 22514-7

VDA 5 / ISO 22514-7

			Werte / 1000
Auflösung der Anzeige	u	RE	0,1443
Wiederholbarkeit Normal	u	EVR	0,1269
Standardunsicherheit (Bias)	u	BI	0,2117
Wiederholbarkeit Prüfobjekt	u	EVO	0,7303
Wiederholbarkeit Prüfer	u	AV	0,1054
Wechselwirkung	u	IA	0,2108
Kalibrierunsicherheit	u	cal	0,0000
Linearität	u	lin	0,0000
Messunsicherheit	u	MS	0,2562
Messprozess	u	MP	0,7961
Messsystem	%Q	MS (95,45%)	**6,8**
(Bezug auf 4s, bzw. 95,45%)	%Q	MP (95,45%)	**21,2**
Fähigkeitsindex	C	g	5,912
(Bezug auf 4s, bzw. 95,45%)	C	gk	4,467

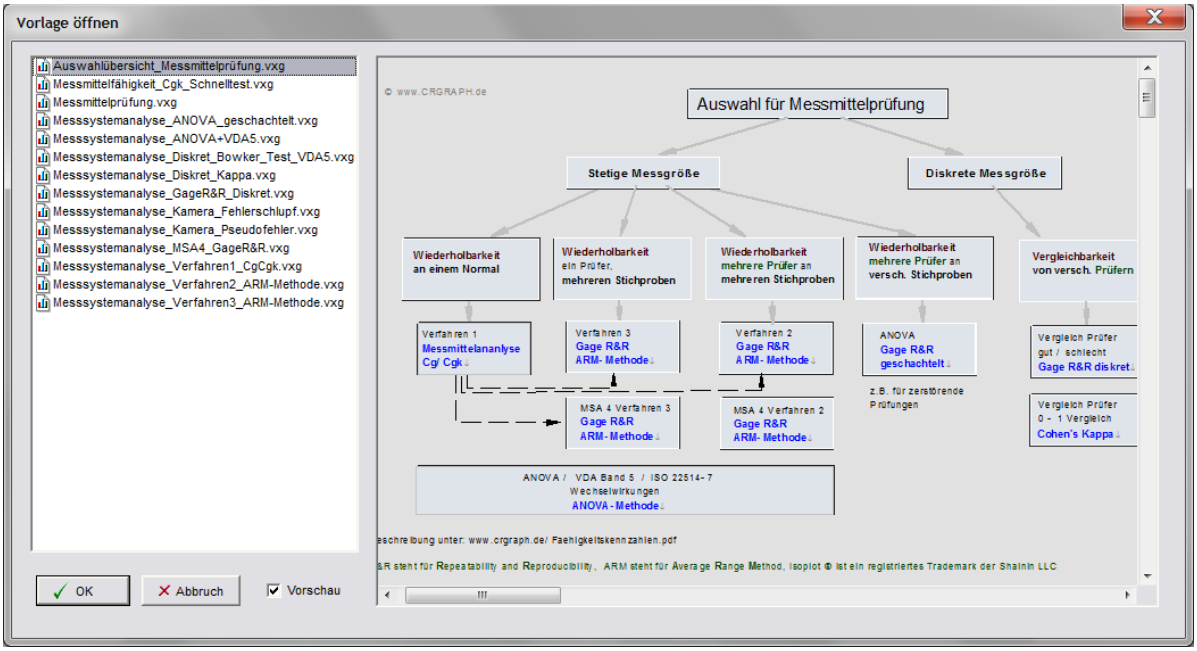
	Wert / 1000
Bi	0,3667



Vorg. 15
Vorg. 20

© 2025 CRGRAPH

Man kann zunächst die Übersichtsgrafik öffnen, um dann die benötigte Analyse aus der Grafik mit Strg+Click auszuwählen. Hierzu muss die Datei erst geöffnet werden, eine Auswahl über die Vorschau ist nicht möglich. Natürlich kann man das entsprechende Template auch direkt über die Auswahl links anklicken.



© 2025 CRGRAPH