

Qualitätsmanagement in der Bosch-Gruppe | Technische Statistik

10. Fähigkeit von **Mess- und Prüfprozessen**



BOSCH
Technik fürs Leben





Leerseite

Qualitätsmanagement in der Bosch-Gruppe Technische Statistik

Heft 10

Fähigkeit von Mess- und Prüfprozessen

Ausgabe 11.2019

2020-04-06 - SOCOS



Ausgabe 11.2019

Im vorliegenden Heft angegebene Mindestforderungen zu Fähigkeitskriterien entsprechen dem Stand bei Drucklegung (Ausgabedatum). Für die aktuelle Festlegung ist CDQ 0301 maßgeblich.

2020-04-06 - SOCOS



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Anwendungsbereich	1
3	Ablaufdiagramme	3
4	Verfahren zum Nachweis der Messprozessfähigkeit anhand kontinuierlicher Merkmale	8
4.1	Verfahren 1: Systematische Messabweichung und Wiederholbarkeit	8
4.2	Verfahren 2: Wiederhol- und Vergleichpräzision (Gage R&R) mit Bedienereinfluss	12
4.3	Verfahren 3: Wiederhol- und Vergleichpräzision (Gage R&R) ohne Bedienereinfluss	15
4.4	Verfahren 4: Linearität	18
4.5	Verfahren 5: Stabilität (Messbeständigkeit)	19
4.5.1	Vorbereitung	19
4.5.2	Prüfintervall (Stichprobenintervall)	21
4.5.3	Durchführung	21
4.6	Wiederholung des Fähigkeitsnachweises	22
5	Verfahren zum Nachweis der Prüfprozessfähigkeit anhand diskreter Merkmale	24
5.1	Verfahren 6: Prüfentscheide bei diskretisierten kontinuierlichen Merkmalen	24
5.2	Verfahren 7: Prüfentscheide bei diskreten und diskretisierten kontinuierlichen Merkmalen	28
5.3	Hinweise zur Stabilitätsüberwachung und Wiederholung des Fähigkeitsnachweises	32
6	Bewertung nicht fähiger Mess- und Prüfprozesse	32
	Anhang	33
A	Beispiele für Check-Listen zur Messprozessanalyse	33
B	Formblätter zur manuellen Auswertung	35
C	Ergänzungen und Hinweise zu Verfahren 1	43
C.1	Signifikanz der systematischen Messabweichung	43
C.2	Ermittlung des Signifikanzkriteriums für systematische Messabweichungen	43
C.3	Einseitig begrenzte Merkmale ohne natürliche Grenzen	44
D	Ergänzungen und Hinweise zu Verfahren 2 und 3	46
D.1	Kenngroße ndc	46
D.2	Verfahren 2: Auswertung mittels Varianzanalyse (ANOVA)	48
D.3	Auswertung nach der Mittelwert-Spannweiten-Methode (ARM)	52
D.4	K-Faktoren für ARM	53
D.5	Vorgehen bei unzureichender Anzahl Teile (Messobjekte)	55
D.6	Verfahren 1 – Verfahren 2 und 3: Inkonsistente Einstufung in Fähigkeitskategorien	56
E	Ergänzungen und Hinweise zu Verfahren 4 (Linearität)	58
E.1	Verfahren nach AIAG MSA	58
E.2	Mehrfache Anwendung von Verfahren 1: Ergänzende Betrachtung	63
F	Verfahren 5: Faktoren zur Berechnung von Eingriffsgrenzen	64
G	Kenngroße „Kappa“ (κ)	65
G.1	Mathematische Grundlagen	65
G.2	Manuelle Auswertung am Beispiel der Daten aus AIAG MSA	67
G.3	Auswertung mittels kommerzieller Statistik-Software: Minitab	71
G.4	Ein- und mehrstufige Bewertungsprozesse: Beispiel Lehrenprüfung	74
	Symbolverzeichnis	75
	Begriffe	79
	Literatur	86
	Stichwortverzeichnis	87



Verzeichnis der Ablaufdiagramme

Abb. 1: Übersicht Ablaufphasen und Zuständigkeiten bei Fähigkeitsuntersuchungen	3
Abb. 2: Übergeordneter Ablauf Mess- und Prüfprozessfähigkeitsuntersuchungen (Ebene 1)	4
Abb. 3: Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung bei kontinuierlichen Merkmalen (Ebene 2)	5
Abb. 4: Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung bei kontinuierlichen Merkmalen (Ebene 3)	6
Abb. 5: Ablauf Prüfprozessfähigkeitsuntersuchung bei diskreten Merkmalen (Ebene 2)	7
Abb. 6: Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung nach Verfahren 1 (Ebene 4)	10
Abb. 7: Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung nach Verfahren 2 (Ebene 4)	13
Abb. 8: Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung nach Verfahren 3 (Ebene 4)	16
Abb. 9: Stabilitätsüberwachung bei kontinuierlichen Merkmalen (Verfahren 5)	19

2020-04-06 - SOCOS



1 Einleitung

Die im vorliegenden Heft beschriebenen Verfahren sind Bestandteil des Qualitätsmanagementsystems bei Bosch und über das Managementhandbuch [MH] und die Zentralanweisung [CDQ 0301] eingebunden. Die vorliegende Ausgabe von Heft 10 erfüllt die Anforderungen nach [AIAG MSA] und ist bzgl. Verfahren 2 unmittelbar konform.

Im vorliegenden Heft werden vorzugsweise genormte Begriffe verwendet (siehe Kapitel „Begriffe“), die durch ihre Definition und internationale Anerkennung auch im Rechtsfall zur Eindeutigkeit beitragen.

ANMERKUNG: Die Definitionen diverser genormter Begriffe unterscheiden sich in aktuell gültigen Normen nur in Nuancen, d.h. diese Begriffe sind in der Praxis synonym. In solchen Fällen wird im vorliegenden Text derjenige Begriff verwendet, der im jeweiligen Zusammenhang gängigem Sprachgebrauch entspricht (Beispiel: Messsystem, Messeinrichtung, Messmittel, Messgerät).

Der Nachweis der Fähigkeit und die Überwachung der Stabilität von Messprozessen sollen sicherstellen, dass eine Messeinrichtung am Einsatzort ein Qualitätsmerkmal mit hinreichend geringer systematischer Messabweichung und Messwertstreuung (jeweils bezogen auf die Merkmalstoleranz) messen kann. Die dazu verfügbaren Verfahren für kontinuierliche (variable) Merkmale werden durch Verfahren zur Beurteilung von Prüfprozessen für diskrete (attributive) Merkmale ergänzt. Auf die umfangreiche Beschreibung der zahlreichen Sonderverfahren muss im Rahmen dieses Heftes verzichtet werden.

ANMERKUNG: Verfahren für mehrdimensionale (multivariate) Merkmale werden ergänzt, wenn die entsprechende ISO-Norm verfügbar ist (zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der vorliegenden Ausgabe von Heft 10 in Vorbereitung).

Das Heft gliedert sich in die Kapitel 1 – 6 mit unverzichtbaren Mindestinformationen für jeden Anwender und den Anhang. Der Anhang enthält Hinweise und Ergänzungen und – soweit Bedarf anhand häufig wiederkehrender Anfragen erkennbar war – Erläuterungen zu theoretischen Grundlagen, die erhöhten Anspruch an das mathematische Verständnis stellen und sich vorzugsweise an Leser mit entsprechendem Informationsbedarf wenden.

Zur Durchführung der Messungen und Prüfungen sind wiederholbar mess- bzw. prüfbare Normale und Serienteile oder Referenzteile als Mess- bzw. Prüfobjekte erforderlich. Erweist sich ein Mess- bzw. Prüfprozess als nicht fähig, sind die Ursachen zu untersuchen. Dabei sind systematische und zufällige Abweichungen der Mess- bzw. Prüfeinrichtung sowie der Einfluss der Mess- und Prüfobjekte und der Prüfer zu ermitteln. Messhilfsmittel, Aufnahmevorrichtungen sowie Mess- und Prüfstrategie und Umgebungsbedingungen haben ebenfalls Einfluss.

Statistische Auswertungen sind mit Hilfe geeigneter Statistik-Software (z. B. solara.MP®) durchzuführen. Dabei sind die Verfahren 2 und 3 vorzugsweise mittels Varianzanalyse (ANOVA) auszuwerten. Werden in Ausnahmefällen Auswertungen manuell durchgeführt und dabei Zwischenergebnisse gerundet, was grundsätzlich vermieden werden sollte, und/oder die nicht mehr zeitgemäße Spannweitenmethode (ARM) eingesetzt, können Abweichungen von den Ergebnissen software-gestützter Auswertungen und den Auswertebeispielen auftreten.

2 Anwendungsbereich

Voraussetzung ist eine sorgfältig und qualifiziert durchgeführte und dokumentierte Prüfplanung [CDQ 0301].

Der Fähigkeitsnachweis ist durch Messungen und Prüfungen am Einsatzort der Mess- bzw. Prüfeinrichtung und statistische Auswertungen zu erbringen. Er ist nur für Mess- und Prüfeinrichtungen sinnvoll, die (z. B. im Fertigungsfluss) eine hinreichend große Anzahl gleichartiger, wiederkehrender Messungen bzw. Prüfungen durchführen und gilt ausschließlich für das untersuchte Merkmal. Werden mit derselben Mess- oder Prüfeinrichtung Messungen bzw. Prüfungen an unterschiedlichen Merkmalen durchgeführt, ist für jedes Merkmal ein eigener Fähigkeitsnachweis erforderlich.

Fähigkeitsnachweis bei Messprozessen für kontinuierliche (variable) Merkmale:

- Die Erfüllung der Fähigkeitskriterien nach Verfahren 1 ist im Regelfall Voraussetzung für die Durchführung von einem oder mehreren Verfahren der Verfahren 2 – 5.
- Bei möglichem Bedienerinfluss ist die Messprozessfähigkeit im Regelfall mittels Verfahren 1 in Verbindung mit Verfahren 2 nachzuweisen, bei fehlendem Bedienerinfluss mittels Verfahren 1 in Verbindung mit Verfahren 3.
- Falls die Linearität nicht bereits vom Hersteller bzw. im Rahmen der periodischen Kalibrierung des Messmittels hinreichend nachgewiesen wurde und diese für den betrachteten Anwendungsfall von besonderer Bedeutung ist, ist zusätzlich eine Linearitätsuntersuchung nach Verfahren 4 durchzuführen.
- Verfahren 5 ist zusätzlich für Messprozesse mit voraussichtlich nicht ausreichend stabilem Langzeitverhalten vorzusehen, da sich die Fähigkeitsaussagen der Verfahren 1 – 4 auf den Zeitpunkt der Untersuchung beziehen.



Bei häufig wechselnden Messaufgaben (z. B. in Entwicklungs- und Versuchsabteilungen) werden anstelle von Fähigkeiten vorzugsweise Messunsicherheiten ermittelt. Sind Konformitätsaussagen nach [ISO 14253] erforderlich, ist die Ermittlung von Messunsicherheiten anstelle von oder zusätzlich zu Fähigkeitsnachweisen unverzichtbar.

Um die Genauigkeit und Rückführbarkeit auf internationale Normale sicherzustellen, unterliegen Mess- und Prüfmittel einer Eingangsprüfung und sind anschließend in die Prüfmittelüberwachung aufzunehmen und in vorgegebenen Intervallen wiederkehrenden Prüfungen zu unterziehen [CDQ 1001], bei denen die Ermittlung systematischer Messabweichungen erfolgt (z. B. nach [VDI 2618], [VDI 2622]). Maßgeblich ist die korrekte Justage nach Herstellervorgaben.

Ergebnisse von Messungen sind stets mit einer Unsicherheit behaftet. Bei der Kalibrierung und Überwachung von Messmitteln gemäß [ISO 10012] ist deshalb die Angabe der Messunsicherheit gefordert. Die Messunsicherheit ist mit anderen Verfahren zu ermitteln, z. B. nach [Heft 8] oder [GUM].

Die Anwendung der Verfahren 1 – 4 ist bei einigen Messgrößen, wie z. B. Härte und Drehmoment, sowie bei inhomogenen Messobjekten und Erzeugnismerkmalen mit nur einem oberen oder unteren Grenzwert nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Die statistischen Auswertungen der Verfahren 1 – 5 basieren auf normalverteilten Messwerten. Andernfalls sind die Verfahren in der nachstehend beschriebenen Form nicht oder nicht unmittelbar anwendbar.

Zum Nachweis der Fähigkeit von Prüfeinrichtungen zur Bewertung diskreter (attributiver) Merkmale stehen die Verfahren 6 und 7 zur Verfügung.

Sind Verfahren nach der vorliegenden Ausgabe von Heft 10 begründet nicht anwendbar, sind weitere Verfahren nach [AIAG MSA] auf ihre Anwendbarkeit zu prüfen und einzusetzen. Sind auch diese Verfahren weder unverändert noch modifiziert anwendbar, sind Verfahren aus der Fachliteratur auf ihre Anwendbarkeit oder geeignete Modifizierbarkeit zu prüfen und einzusetzen. In Ausnahmefällen sind eigene Verfahren zu entwickeln. Das vorgesehene Verfahren ist zu dokumentieren und mit dem QM-Bereich und dem Kunden abzustimmen.

ANMERKUNG: Im Fall vertraglicher Vereinbarungen mit Lieferanten sowie internen oder externen Kunden, wird empfohlen, die Anwendbarkeit der Verfahren vorher qualifiziert zu prüfen und ggf. zu spezifizieren. Von unpräzisen Pauschalvereinbarungen wie z. B. „Fähigkeitsnachweis nach Heft 10“ wird abgeraten.

Hinweise zur Dokumentation

Zu jedem Fähigkeitsnachweis ist eine entsprechende Dokumentation erforderlich, die über die in den Standardformblättern enthaltenen Informationen zu den jeweiligen Auswertungen hinausgehen können. Erforderliche Mindestangaben sind:

- eindeutige Identifikation des Prüfplans (z. B. Nummer, Bezeichnung, Version, Datum) mit genauer Beschreibung der Mess- oder Prüfeinrichtung, der Mess- bzw. Prüfmethode, der Mess- bzw. Prüfposition usw.
- zu Beginn und Ende der Messungen und Prüfungen jeweils Datum, Uhrzeit, möglichst Umgebungstemperatur und bedarfsweise Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Lichtstärke bei Sichtprüfungen usw.
- bei Normalen die eindeutige Identifikation (z. B. Nummer) des Kalibrierscheins und/oder der Referenzwert, die Unsicherheit der Kalibrierung, der Zeitpunkt der letzten Kalibrierung, der Name des Kalibrierlabors;
- Identifikation des/der Ausführenden (Bediener, Prüfer) und des/der Verantwortlichen entweder in Form von ID-Codes oder der Namen;

ANMERKUNG: Ggf. standortspezifische Vorgaben zu personenbezogenen Daten sind zu beachten;

- alle Mess- und Prüfergebnisse (z. B. in tabellarischer Form), die für die Auswertung herangezogen werden;
- vorgegebene Grenzwerte;
- Angaben zur Auswertestrategie (z. B. solara.MP®, Bosch 2018, ANOVA), Berechnungsformeln usw.
- Ergebnisse der Auswertung (z. B. Fähigkeitsindizes) mit Bewertung (z. B. „fähig“, „nicht fähig“);
- ggf. besondere Vorkommnisse während der Fähigkeitsuntersuchung.

Es muss sichergestellt werden, dass diese Informationen jedem Fähigkeitsnachweis in eindeutiger Weise zugeordnet sind und im Bedarfsfall zur Verfügung stehen. Sofern diese Informationen in den Standardformblättern nicht enthalten sind (z. B. weil keine entsprechenden Felder zur Verfügung stehen) sind diese Angaben in Feldern wie z. B. „Bemerkungen“ oder „Kommentare“ eindeutig zu dokumentieren. Alternativ können in diese Felder eindeutige Verweise auf getrennte Dokumente eingetragen werden (z. B. Nummer, Bezeichnung, Version, Datum), die diese Informationen enthalten.

ANMERKUNG: Die in diesem Heft dargestellten Standardformblätter entsprechen dem Stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der vorliegenden Ausgabe von Heft 10. Der aktuelle Stand (z. B. in der Software solara.MP®) kann weiterentwickelt sein und von diesen Formblättern abweichen.



3 Ablaufdiagramme

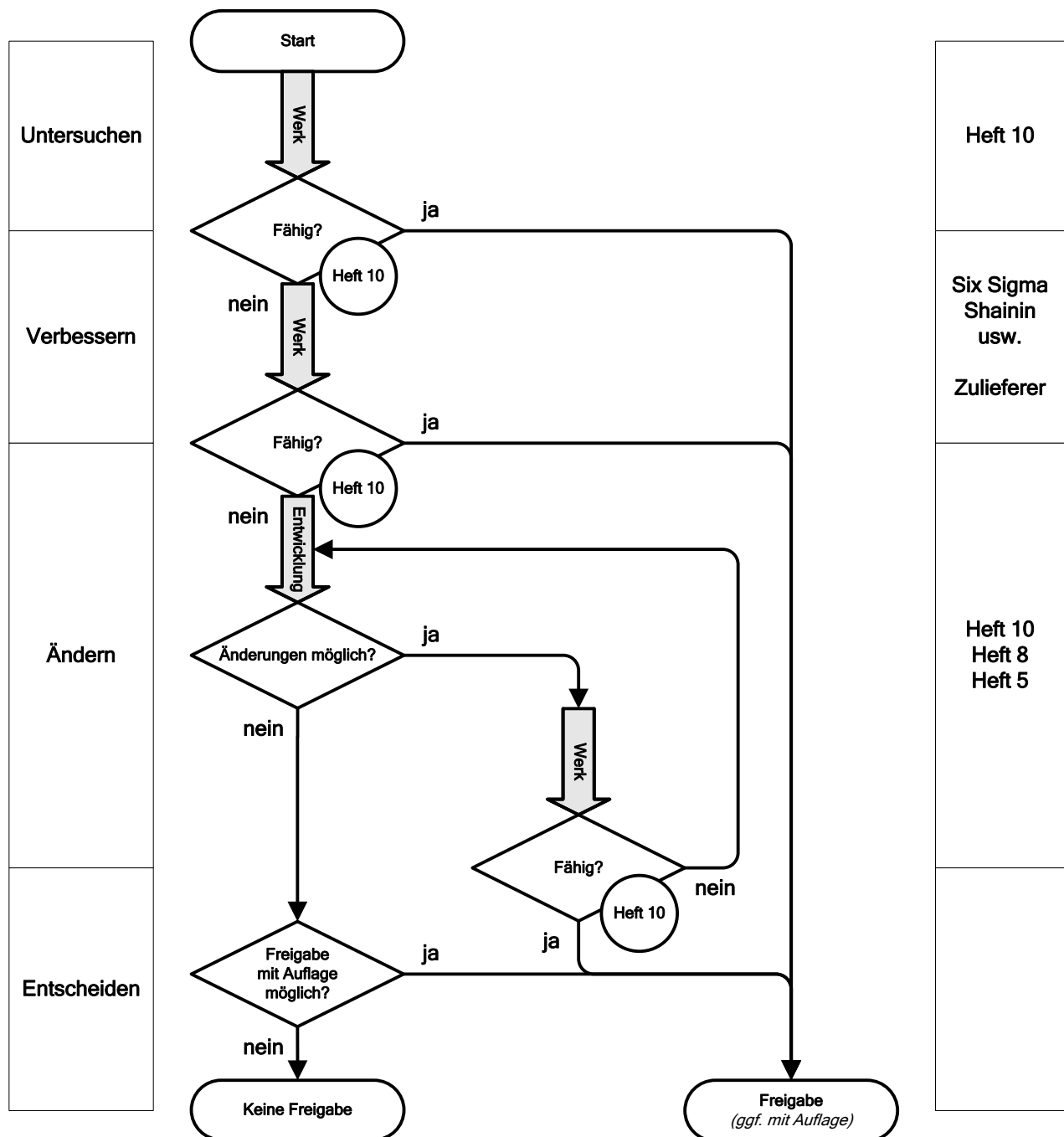


Abb. 1: Übersicht Ablaufphasen und Zuständigkeiten bei Fähigkeitsuntersuchungen



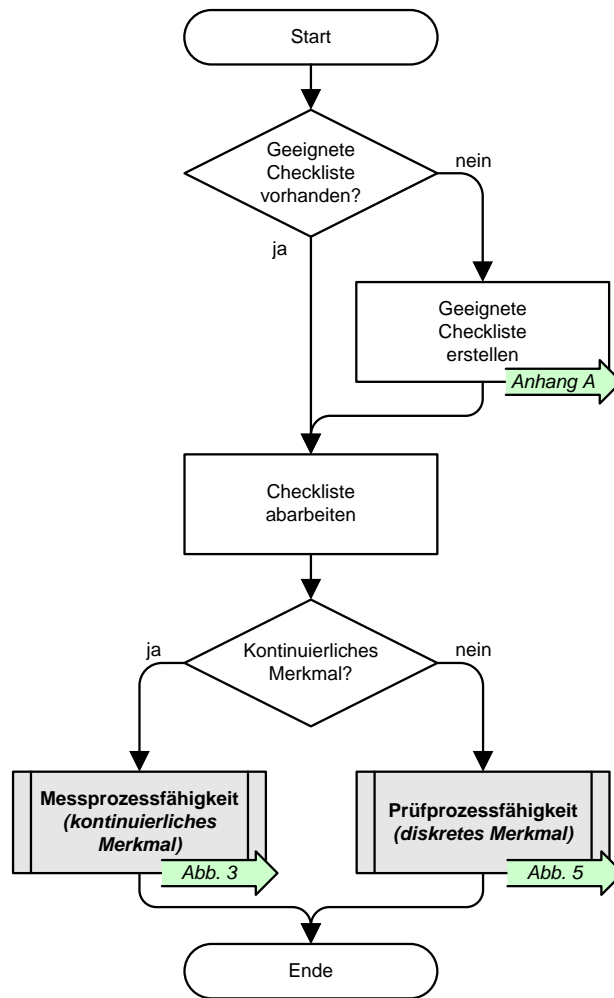


Abb. 2: Übergeordneter Ablauf Mess- und Prüfprozessfähigkeitsuntersuchungen (Ebene 1)



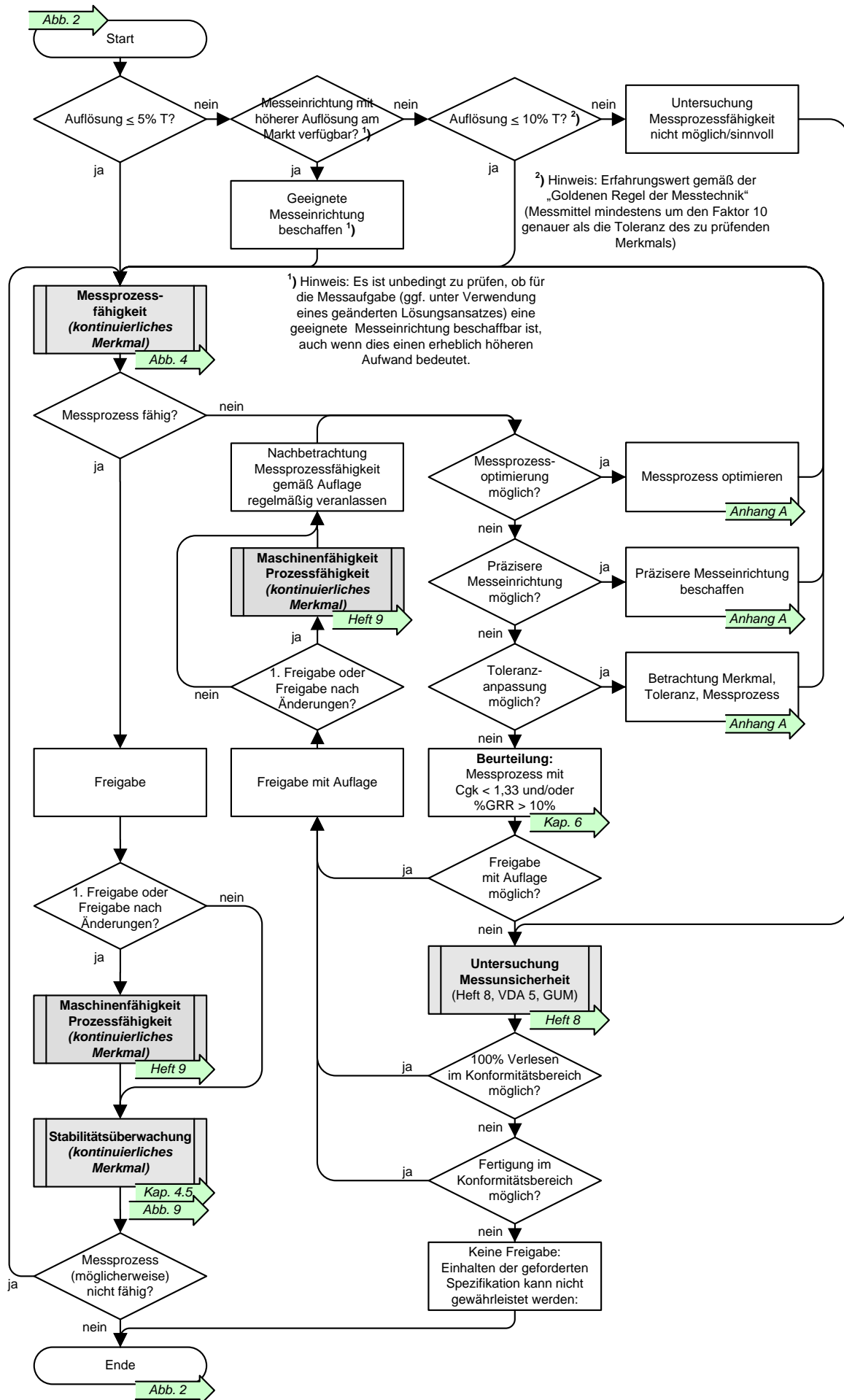
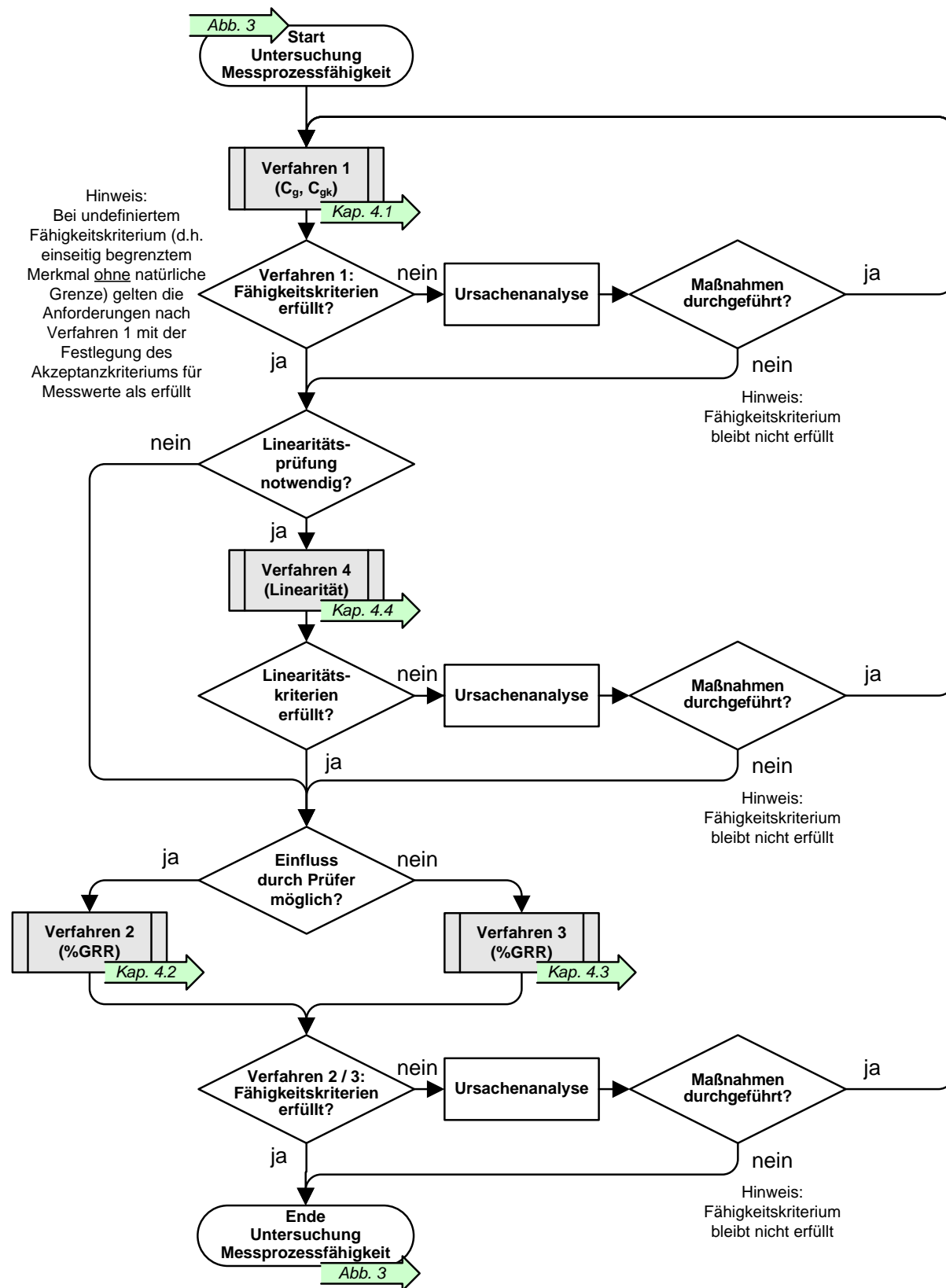


Abb. 3: Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung bei kontinuierlichen Merkmalen (Ebene 2)



**Abb. 4:** Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung bei kontinuierlichen Merkmalen (Ebene 3)

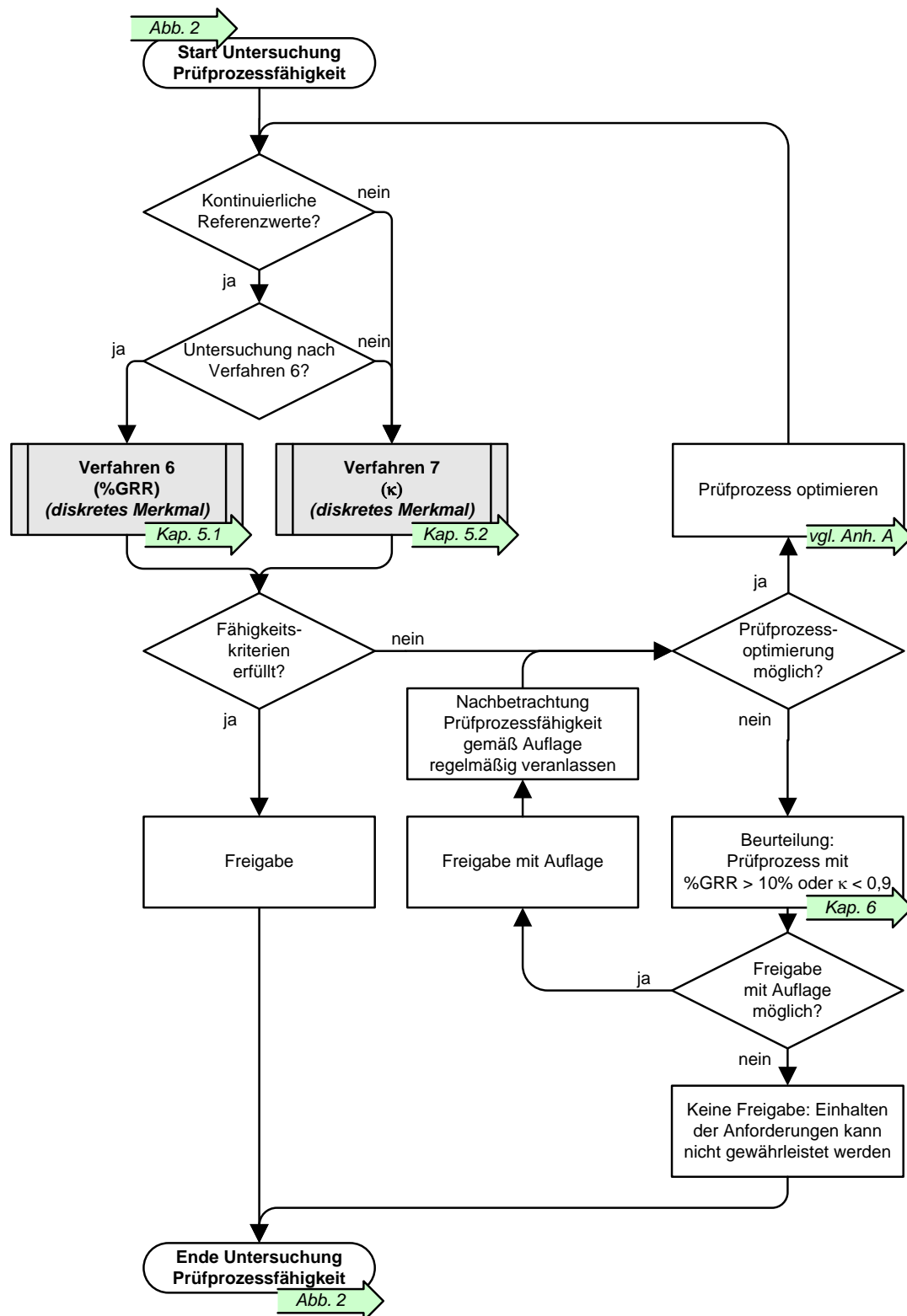


Abb. 5: Ablauf Prüfprozessfähigkeitsuntersuchung bei diskreten Merkmalen (Ebene 2)

ANMERKUNG: Hinweise zur Stabilitätsüberwachung bei diskreten Merkmalen siehe Kap. 5.3.



4 Verfahren zum Nachweis der Messprozessfähigkeit anhand kontinuierlicher Merkmale

4.1 Verfahren 1: Systematische Messabweichung und Wiederholbarkeit

Ziel

Nachweis der Fähigkeit eines Messprozesses (als Prüfprozess für ein bestimmtes Merkmal) bezüglich Lage und Streuung der Messwerte im Toleranzfeld dieses Merkmals.

ANMERKUNG 1: Verfahren 1 ist kein Bestandteil von [AIAG MSA], sondern eine konsequente Erweiterung der in [AIAG MSA] beschriebenen Analyse der systematischen Messabweichung (engl. Bias), die die Mindestanforderungen nach [AIAG MSA] beinhaltet. Verfahren 1 ist – in teilweise leicht abweichenden Varianten – Bestandteil der internen Richtlinien zahlreicher Automobilhersteller und wird von diesen eingefordert.

ANMERKUNG 2: Verfahren 1 ist zeitlich vor Verfahren 2 bzw. 3 durchzuführen. Falls bei baugleichen Messeinrichtungen die Eignung nach Verfahren 1 an einer dieser Messeinrichtungen bereits nachgewiesen wurde, ist zu bewerten, ob die Durchführung von Verfahren 1 für die übrigen Messeinrichtungen ebenfalls erforderlich ist.

Voraussetzungen

Verfahren 1 erfordert zweiseitig begrenzte Erzeugnismerkmale mit einem unteren und einem oberen Grenzwert (UGW und OGW), so dass die Toleranz $T = OGW - UGW$ definiert ist. Bei einseitig begrenzten Merkmalen, bei denen nur ein Grenzwert spezifiziert ist (UGW oder OGW), jedoch eine untere oder obere natürliche Grenze existiert (UGW^* bzw. OGW^*), wird ersatzweise die Größe $T^* = OGW - UGW^*$ bzw. $T^* = OGW^* - UGW$ verwendet.

ANMERKUNG: Unter einer natürlichen Grenze versteht man eine Grenze, die aus physikalischen Gründen prinzipiell nicht unter- oder überschritten werden kann. Beispielsweise kann die Breite einer Fuge oder die Rauheit einer Oberfläche nicht kleiner als 0 werden, so dass 0 einen natürlichen Grenzwert $UGW^ = 0$ darstellt.*

Existiert hingegen nur ein spezifizierter Grenzwert und keine natürliche Grenze, dann existiert weder eine Toleranz T noch die Größe T^* , d.h. die Kenngrößen C_g und C_{gk} können nicht berechnet werden (siehe nachstehenden Abs. „Hinweise zu Verfahren 1“ bzgl. Vorgehen in diesem Fall).

Verfahrensbeschreibung

Verfahren 1 wird mit einem kalibrierten Normal durchgeführt, das 50-mal, mindestens aber 25-mal gemessen wird. Der Referenzwert x_m des Normals soll möglichst in der Mitte des Toleranzbereichs T des Merkmals liegen, das mit der Messeinrichtung gemessen werden soll. Die Messungen nach Verfahren 1 sollen an den Messstellen erfolgen, die z. B. im Prüfplan festgelegt sind.

Aus den Messwerten wird die Abweichung vom Referenzwert $\bar{x} - x_m$ (systematische Messabweichung, engl. Bias) und die Standardabweichung s der Messwerte ermittelt. Daraus werden die Fähigkeitsindizes C_g und C_{gk} berechnet.

Anforderungen an das Normal

Das Normal muss bei Messungen unter Wiederholbedingungen ein eindeutiges Messergebnis zulassen und langzeitstabil sein. Es muss das gleiche Merkmal wie die später mit der Messeinrichtung zu messenden Erzeugnistteile besitzen. Das Normal kann aus einem Erzeugnistteil hergestellt sein. Es muss eindeutig als Normal gekennzeichnet, geeignet kalibriert und in die Prüfmittelüberwachung einbezogen sein. Die Kalibrierung liefert den rückgeführten richtigen Wert für das jeweilige Merkmal des kalibrierten Teils (vgl. [CDQ 1001]).

Die in der Regel im Kalibrierschein dokumentierte Unsicherheit der Kalibrierung U_{kal} des Normals sollte deutlich kleiner sein, als die Zeichnungstoleranz T für das zu prüfende Erzeugnismerkmal (Faustregel für den Idealfall: $U_{kal} < 0,01 \cdot T$; mindestens sollte $U_{kal} < 0,1 \cdot T$ eingehalten werden).

Ist kein entsprechendes Normal verfügbar oder die Kalibrierung eines solchen Normals nicht möglich, ist die Prüfung nach Verfahren 1 nicht durchführbar (vgl. Kap. 2, letzter Absatz).

Durchführung der Messreihen

Die Messreihe ist so durchzuführen, wie sie die Realität der späteren Messungen an Erzeugnistteilen am besten widerspiegelt. Alle Einflüsse, die dort wirken (mit Ausnahme des Einflusses der Teilstreuung), sollen – soweit möglich – auch bei der Durchführung von Verfahren 1 wirken. Die Geräteeinstellungen (z. B. Messtaster, Tastkraft, eingestellter Messbereich, Auswerteparameter) und Hilfsmittel sollen möglichst identisch mit der Serienmessung gewählt werden. Bei der Handhabung ist darauf zu achten, dass zwischen den einzelnen Messungen der Messreihe alle Handhabungsschritte vollständig ausgeführt werden. Das bedeutet, dass das Normal vor jeder Messung aus der Aufspannung herausgenommen und wieder neu eingelegt / eingespannt werden muss. In begründeten Ausnahmefällen ist eine Abweichung



von dem beschriebenen Vorgehen zulässig. Die Gründe hierfür sind mit der Fähigkeitsuntersuchung zu dokumentieren. Sämtliche Parameter und Einstellungen sind ebenfalls zu dokumentieren.

Auswertung

Auszuwertende Daten:

Toleranz des zu messenden Merkmals: $T = \text{OGW} - \text{UGW}$

Referenzwert des Normals: x_m

Anzahl Messwerte (Stichprobenumfang): n

Messwerte: $x_i \ (i = 1 \dots n)$

Erforderliche Berechnungen:

Mittelwert der Messwerte: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Standardabweichung der Messwerte: $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

Potentieller Fähigkeitsindex: $C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s}$

Kritischer Fähigkeitsindex: $C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x} - x_m|}{3 \cdot s}$

Die Auswertung wird vorzugsweise mit Hilfe einer geeigneten Statistik-Software (z. B. solara.MP®) durchgeführt und dokumentiert.

Fähigkeitskriterium

Einhaltung der vorgegebenen Mindestwerte für C_g und C_{gk} . Maßgeblich für die Mindestwerte ist [CDQ 0301] in der jeweils gültigen Fassung. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der vorliegenden Ausgabe von Heft 10 gelten $C_g \geq 1,33$ und $C_{gk} \geq 1,33$.

Hinweise zu Verfahren 1

- [AIAG MSA] empfiehlt, die Signifikanz systematischer Messabweichungen $|\bar{x} - x_m|$ zu überprüfen. Einzelheiten siehe Anhang C.1.
- Bei einseitig begrenzten Merkmalen **ohne** natürliche Grenze (UGW* oder OGW*) werden aus den vorliegenden Messdaten lediglich die systematische Messabweichung $\bar{x} - x_m$ und die Standardabweichung s ermittelt und damit der Akzeptanzbereich für **jeden einzelnen Messwert z** festgelegt, der später **während des Fertigungsprozesses** gemessen wird:

$$z \leq \text{OGW} + (\bar{x} - x_m) - 4 \cdot s = \text{OGW}_0 \quad \text{für einseitig oben begrenzte Merkmale,}$$

$$z \geq \text{UGW} + (\bar{x} - x_m) + 4 \cdot s = \text{UGW}_0 \quad \text{für einseitig unten begrenzte Merkmale.}$$

Für die praktische Anwendung (z. B. in der Fertigung) bedeutet dies, dass anstelle von OGW der (in der Regel) kleinere kritische Grenzwert OGW_0 zu verwenden ist bzw. anstelle von UGW der (in der Regel) größere kritische Grenzwert UGW_0 .

ANMERKUNG 1: Die genaue Lage des Referenzwertes x_m des Normals ist nicht maßgeblich. Es wird jedoch empfohlen, ein Normal mit x_m in der Nähe des jeweiligen Grenzwertes zu verwenden, Abweichung ca. 10% von OGW bzw. UGW ($x_m \approx 0,9 \cdot \text{OGW} \dots 1,1 \cdot \text{OGW}$ bzw. $x_m \approx 0,9 \cdot \text{UGW} \dots 1,1 \cdot \text{UGW}$).

ANMERKUNG 2: Es wird dringend empfohlen, bei Merkmalen dieses Typs zusätzlich die Signifikanz der Messabweichung zu bewerten (vgl. Anhang C.1) und evtl. auch die Linearität (vgl. Anhang E). Dies gilt insbesondere, wenn stark streuende Messergebnisse zu erwarten sind (z. B. bei Abreißkräften) sowie im Fall von Kundenforderungen bzgl. strikten Vorgehens nach [AIAG MSA].

ANMERKUNG 3: Bei den Termen $\bar{x} - x_m$ ist unbedingt zu beachten, dass diese mit Vorzeichen (und nicht als Beträge) in die Berechnung eingehen. Aufgrund der einseitigen Grenze ist es maßgeblich, ob der Referenzwert x_m des Normals (d.h. der richtige Wert) kleiner oder größer ist als der Mittelwert der Messwerte \bar{x} .

ANMERKUNG 4: Bei insignifikanter systematischer Messabweichung kann der Term $\bar{x} - x_m$ in den Akzeptanzkriterien entfallen.

ANMERKUNG 5: Die Terme $4s$ in den Akzeptanzkriterien repräsentieren Anforderungen analog $C_g \geq 1,33$ und $C_{gk} \geq 1,33$. Bei höheren Anforderungen wie z. B. $C_g \geq 1,67$ und $C_{gk} \geq 1,67$ sind die Terme $4s$ durch $5s$ zu ersetzen, bei $C_g \geq 2,00$ und $C_{gk} \geq 2,00$ durch $6s$.

ANMERKUNG 6: Ein Formblatt zur Dokumentation wird im Anhang B, Seite 42, bereitgestellt.

Einzelheiten bzgl. Festlegung der Akzeptanzkriterien siehe Anhang C.3.



Ablaufdiagramm

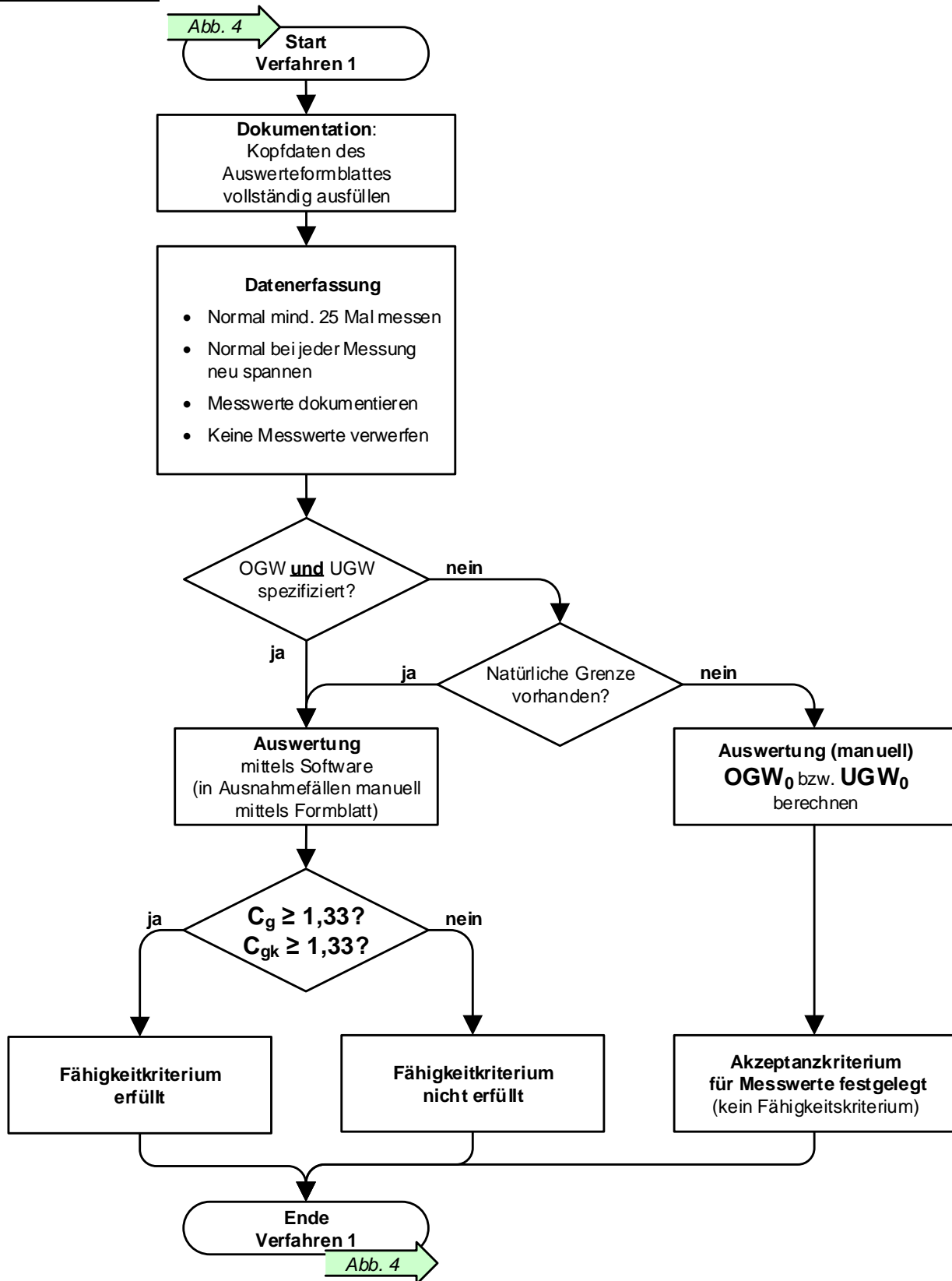



Abb. 6: Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung nach Verfahren 1 (Ebene 4)



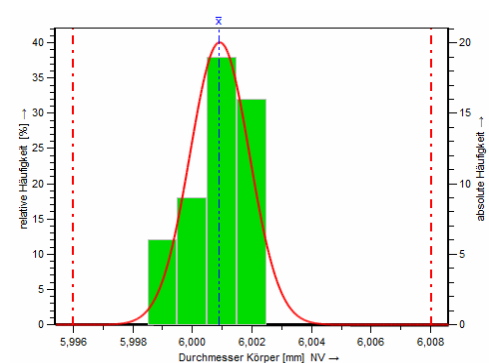
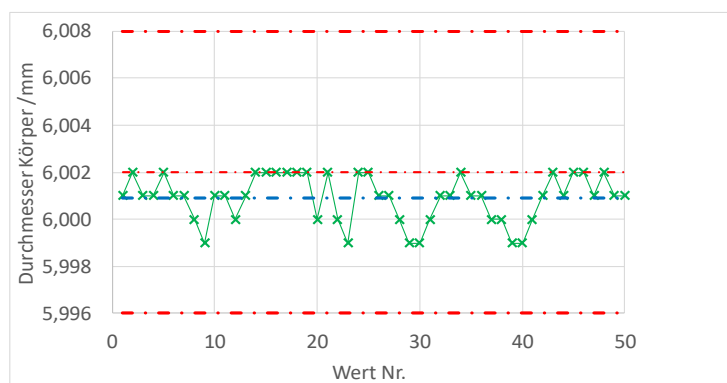
 BOSCH	Messsystemanalyse Verfahren 1	Blatt 1 / 1
--	--	-------------

Bereich : MSE3	Arbeitsgang : Paaren Körper/Nadel	Merkmalsbez. : Durchmesser Körper
Gruppe/Abt. : MOE7	Masch.-Bez. : PAKO 9	Merkmal Nr. : 1
Werkstatt/Ber. : W450	Masch.-Nr. : 1003521	Nennmaß : 6,000
Erzeugnis : Düse	Prüfplatz : JML0583W001	Unt. Abmaß : -0,030
Teil : Lochdüse	Prüfmittel : JML0583W003	Ob. Abmaß : 0,030
Sachnummer : 0 433 171 914	Prfm.-Nr. : 6702779470004	Toleranz : 0,060
Änd.-Stand : 20.01.2019	Prfm.-Herst. : BaP	Einheit : mm
	Auflösung : 0,001	

Kommentar : Manuelle Handhabung; Raumtemperatur 20,2 °C

Normal Bez.: LY_0010W134#95 Normal Nr.: 6702780329 Normal-/Referenzwert: 6,002 Kalibrierunsicherheit: 0,0002

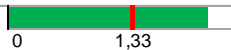
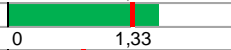

i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	6,001	11	6,001	21	6,002	31	6,000	41	6,000
2	6,002	12	6,000	22	6,000	32	6,001	42	6,001
3	6,001	13	6,001	23	5,999	33	6,001	43	6,002
4	6,001	14	6,002	24	6,002	34	6,002	44	6,001
5	6,002	15	6,002	25	6,002	35	6,001	45	6,002
6	6,001	16	6,002	26	6,001	36	6,001	46	6,002
7	6,001	17	6,002	27	6,001	37	6,000	47	6,001
8	6,000	18	6,002	28	6,000	38	6,000	48	6,002
9	5,999	19	6,002	29	5,999	39	5,999	49	6,001
10	6,001	20	6,000	30	5,999	40	5,999	50	6,001



Zeichnungswerte		Gemessene Werte		Statistische Werte	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 6,008	$x_{\max g}$	= 6,002	$\bar{x}_g + 3 \cdot s_g$	= 6,00388
x_m	= 6,002	$ B_i $	= 0,0011000	\bar{x}_g	= 6,00090
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 5,996	$x_{\min g}$	= 5,999	$\bar{x}_g - 3 \cdot s_g$	= 5,99792
$0,2 \cdot T$	= 0,012	R_g	= 0,003	$6 s_g$	= 0,00597
T	= 0,060	n_{ges}	= 50	s_g	= 0,00099488
Einheit	= mm				

Test auf systematische Messabweichung (Bias)

Testergebnis: signifikant ($\alpha \leq 0,1 \%$)

Minimale Bezugsgröße f. fähiges Prüfsystem			
$C_\epsilon = 1,61 \leq 2,01 \leq 2,41$		$T_{\min} (C_g)$	= 0,039701
$C_g = 1,30 \leq 1,64 \leq 1,98$		$T_{\min} (C_{gk})$	= 0,050696
Auflösung %RE = 1,67 %		$T_{\min} (RE)$	= 0,020000

Prüfsystem fähig (RE, C_g, C_{gk})

Bosch 2018 — Verfahren 1



4.2 Verfahren 2: Wiederhol- und Vergleichpräzision (Gage R&R) mit Bedienerinfluss

Ziel

Nachweis der Fähigkeit eines Messprozesses (als Prüfprozess für ein bestimmtes Merkmal) bezüglich seines Streuverhaltens anhand von Messungen an Serienteilen.

Voraussetzungen

Vor Anwendung von Verfahren 2 sollte geprüft werden, ob ein Bedienerinfluss auf die Messergebnisse tatsächlich zu erwarten ist oder ob evtl. Verfahren 3 einsetzbar ist (Alternative zu Verfahren 2 bei fehlendem Bedienerinfluss, siehe Kap. 4.3). Bedienerinfluss ist beispielsweise zu erwarten, wenn

- die Messung manuell ausgeführt wird (z. B. Messungen mit einem Messschieber),
- der Messablauf nicht automatisiert (z. B. als CNC-Programm) ausgeführt wird,
- die Auswertung der Rohdaten vom Bediener beeinflusst wird (z. B. Festlegung von Gültigkeitsbereichen eines gemessenen Konturprofils),
- kein Spannmittel vorhanden ist, in dem die Messobjekte in eindeutig reproduzierbarer Lage aufgenommen werden,
- ein Spannmittel zwar vorhanden ist, die Spannkkräfte aber von der Kraft abhängen mit der der Bediener das Spannmittel bedient.

Eine eindeutige, allgemeingültig für alle Praxisfälle zutreffende Abgrenzung ist nicht möglich. Die Entscheidung muss grundsätzlich im Einzelfall getroffen werden.

Verfahrensbeschreibung

Die Untersuchung wird mit mindestens 10 ($n \geq 10$) wiederholbar messbaren, zufällig ausgewählten Serienteilen als Messobjekten durchgeführt, deren Merkmalswerte möglichst innerhalb des Toleranzbereichs liegen. Dabei sollen alle Einflüsse wirken, die auch im späteren Einsatz der Messeinrichtung wirken. Die ausgewählten Serienteile werden in zufälliger Reihenfolge von mindestens drei ($k \geq 3$) Bedienern in mindestens zwei ($r \geq 2$) Messreihen unter Wiederholbedingungen (z. B. an den im Prüfplan definierten Messpunkten, vgl. auch Kap. „Begriffe“) gemessen. Nach Abschluss der ersten Messreihe misst jeder Bediener dieselben Serienteile erneut in zufälliger Reihenfolge. Sofern weitere Messreihen vorgesehen sind, wird das Vorgehen in gleicher Weise wiederholt bis alle Messreihen abgeschlossen sind. Dabei darf die nächste Messreihe nicht vor Abschluss der vorherigen Messreihe begonnen werden. Die Messergebnisse werden dokumentiert.

Die Messergebnisse werden vorzugsweise mit Hilfe einer Statistik-Software (z. B. solara.MP®) nach der ANOVA-Methode ausgewertet (vgl. Anhang D.2). Manuelle Auswertungen mit Hilfe von Formblättern nach der Average-Range-Methode (ARM, vgl. Anhang D.3) sind ebenso wie entsprechende ARM-Auswertungen mittels Software nicht mehr zeitgemäß und werden grundsätzlich nicht empfohlen.

Stehen keine entsprechenden Serienteile für die Messung zur Verfügung, ist das Verfahren nicht durchführbar. Stattdessen sind geeignete Sonderverfahren erforderlich und zu dokumentieren (vgl. Kap. 2, letzter Absatz).

Fähigkeitskriterium

Einhaltung des vorgegebenen Grenzwertes für die Gesamtstreuung %GRR des Messprozesses. Maßgeblich für den Grenzwert ist [CDQ 0301] in der jeweils gültigen Fassung. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der vorliegenden Ausgabe von Heft 10 gelten folgende Grenzen:

- $\%GRR \leq 10\%$ Messprozess (als Prüfprozess) fähig,
- $10\% < \%GRR \leq 30\%$ Messprozess (als Prüfprozess) bedingt fähig,
- $\%GRR > 30\%$ Messprozess (als Prüfprozess) nicht fähig (ungeeignet).

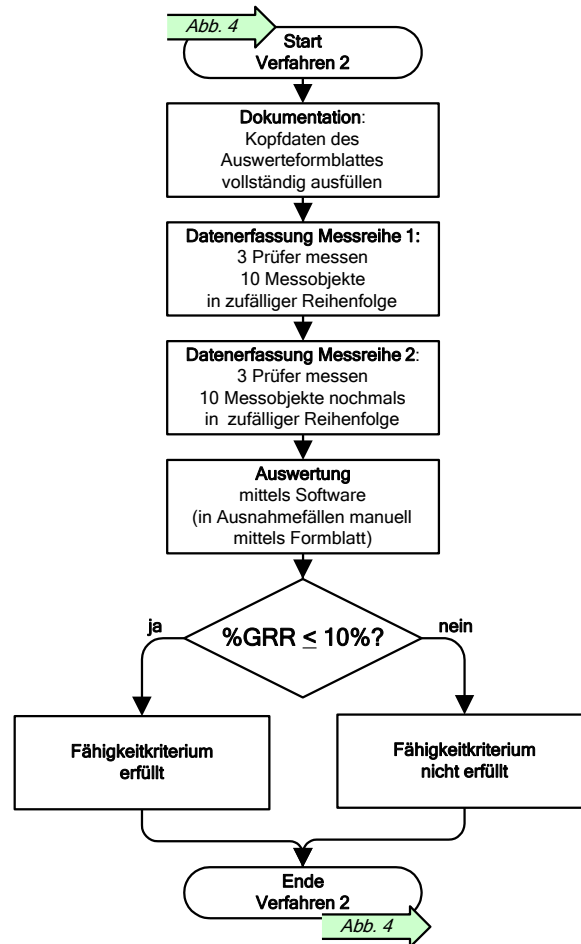
ANMERKUNG: Bezugsgröße für %GRR ist die Toleranz T des gemessenen Merkmals, d.h.

$$\%GRR = \frac{6 \cdot GRR}{T} \cdot 100\%;$$

siehe auch nachstehende Hinweise und Anhang D.2 bzgl. Berechnung.

Wird die Fähigkeit nicht erreicht, liegt die Ursache nicht zwingend im Messmittel begründet. Die Ursache kann z. B. auch in der Inhomogenität des Merkmals der Erzeugnisse liegen. Dies ist zu analysieren.



Ablaufdiagramm**Abb. 7:** Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung nach Verfahren 2 (Ebene 4)**Hinweise**

- [AIAG MSA] empfiehlt drei ($r = 3$) Messungen je Serienteil.
- Bei einseitig begrenzten Merkmalen ist die Toleranz T nicht definiert. Existiert zusätzlich zum spezifizierten Grenzwert eine natürliche (d.h. physikalisch bedingte) Unter- oder Obergrenze, ist zu prüfen, ob die Größe T^* anstelle der Toleranz T verwendbar ist (vgl. Kap. 4.1, Abs. „Voraussetzungen“). Ist dies nicht der Fall oder existiert keine natürliche Grenze, wird GRR auf die Gesamtstreuung TV (engl. total variation, Definition siehe Anhang D.2) bezogen:

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100\% = \frac{GRR}{\sqrt{GRR^2 + PV^2}} \cdot 100\%.$$

- [AIAG MSA] empfiehlt die Gesamtstreuung TV *grundsätzlich* als Bezugsgröße für GRR.
- [AIAG MSA] empfiehlt die Kenngröße ndc (engl. number of distinct categories) als zusätzliches Fähigkeitskriterium, die nicht kleiner als 5 werden soll (Einzelheiten siehe Anhang D.1):

$$ndc = \sqrt{2} \cdot \frac{PV}{GRR} = 1,41 \cdot \frac{\%PV}{\%GRR} \geq 5.$$

- Bei den vorstehenden Empfehlungen nach [AIAG MSA] ist unbedingt zu berücksichtigen, ob Kundenforderungen bzgl. strikter Einhaltung der Empfehlungen nach [AIAG MSA] bestehen. Im Zweifelsfall sollten diese Empfehlungen eingehalten werden.
- In Ausnahmefällen kann %GRR mit einer geringeren Anzahl Messobjekte ermittelt werden (z. B. wenn Messeinrichtungen für einen Neuanlauf beschafft werden und zum Zeitpunkt der Abnahme noch nicht genügend Muster zur Verfügung stehen). Die Gründe sind zu dokumentieren (Einzelheiten siehe Anhang D.5).



**BOSCH**

Messsystemanalyse

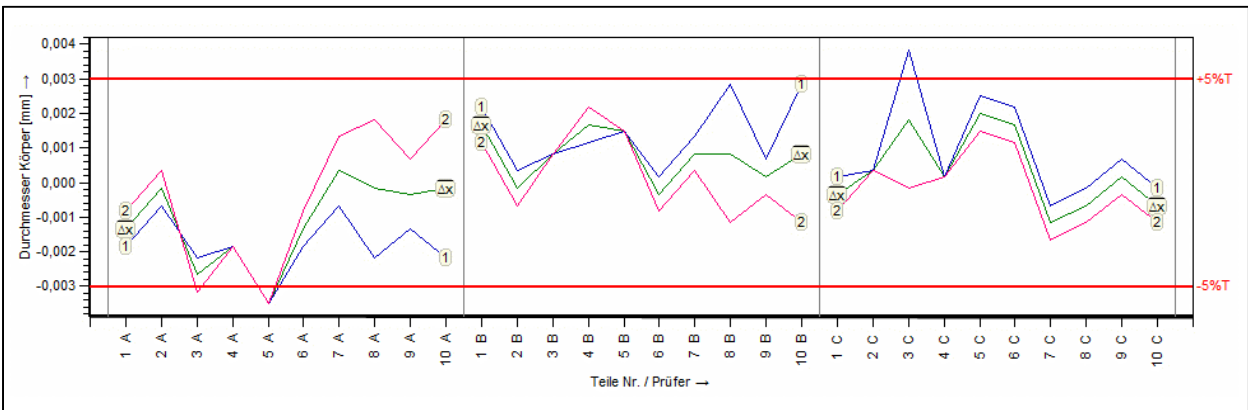
Verfahren 2

Blatt 1 / 1

Bereich : MSE3	Arbeitsgang : Paaren Körper/Nadel	Merkmalsbez. : Durchmesser Körper
Gruppe/Abt. : MOE7	Masch.-Bez. : PAKO 8	Merkmal Nr. : 1
Werkstatt/Ber. : W450	Masch.-Nr. : 1004537	Nennmaß : 6,000
Erzeugnis : Düse	Prüfplatz : JML0583W004	Unt. Abmaß : -0,030
Teil : Lochdüse	Prüfmittel : JML0563W001	Ob. Abmaß : 0,030
Sachnummer : 0 433 171 914	Prfm.-Nr. : 6702779430001	Toleranz : 0,060
Änd.-Stand : 20.01.2019	Prfm.-Herst. : BaP	Einheit : mm
	Auflösung : 0,001	

Kommentar : Manuelle Handhabung; Raumtemperatur 20,3 °C

Normal Bez.: Normal Nr.: Normal-/Referenzwert:



i	X _{A;1}	X _{A;2}	X _{g,j}	S _{g,j}	X _{B;1}	X _{B;2}	X _{g,j}	S _{g,j}	X _{C;1}	X _{C;2}	X _{g,j}	S _{g,j}
1	6,029	6,030	6,0295	0,0007	6,033	6,032	6,0325	0,0007	6,031	6,030	6,0305	0,0007
2	6,019	6,020	6,0195	0,0007	6,020	6,019	6,0195	0,0007	6,020	6,020	6,0200	0,0000
3	6,004	6,003	6,0035	0,0007	6,007	6,007	6,0070	0,0000	6,010	6,006	6,0080	0,0028
4	5,982	5,982	5,9820	0,0000	5,985	5,986	5,9855	0,0007	5,984	5,984	5,9840	0,0000
5	6,009	6,009	6,0090	0,0000	6,014	6,014	6,0140	0,0000	6,015	6,014	6,0145	0,0007
6	5,971	5,972	5,9715	0,0007	5,973	5,972	5,9725	0,0007	5,975	5,974	5,9745	0,0007
7	5,995	5,997	5,9960	0,0014	5,997	5,996	5,9965	0,0007	5,995	5,994	5,9945	0,0007
8	6,014	6,018	6,0160	0,0028	6,019	6,015	6,0170	0,0028	6,016	6,015	6,0155	0,0007
9	5,985	5,987	5,9860	0,0014	5,987	5,986	5,9865	0,0007	5,987	5,986	5,9865	0,0007
10	6,024	6,028	6,0260	0,0028	6,029	6,025	6,0270	0,0028	6,026	6,025	6,0255	0,0007

	Varianz	Standardabw.	Vertrauensniveau 1 - α = 95%			
Wiederholpräzision	0,00000235560	0,0015348	EV:	0,0012799 ≤ 0,0015348 ≤ 0,0019174	%EV	= 15,35%
Vergleichpräzision	0,00000086806	0,00093169	AV:	0,00035980 ≤ 0,00093169 ≤ 0,0062290	%AV	= 9,32%
Wechselwirkung	pooling	pooling	IA:	≤ ≤	%IA	= ---
Prüfsystemstreuung	0,0000032236	0,0017954	GRR:	0,0015827 ≤ 0,0017954 ≤ 0,0064169	%GRR	= 17,95%
Teilestreuung	0,00038084	0,019515	PV:	0,0126070 ≤ 0,0195150 ≤ 0,0364050	%PV	= 195,15%
Gesamtstreuung	0,00038406	0,019598	TV:	0,020		

Versuchsplan		Bezugsgröße	
Anzahl der Messungen	= 2	Prozessstreuung	= 0
Anzahl der Prüfer	= 3	Toleranz	= 0,060
Anzahl der Teile	= 10	geforderter Cp-Wert	=

Auflösung	%RE	= 1,67%	
Zahl der unterscheidbaren Messwertklassen (ndc)	ndc	= 15	
Prüfsystemstreuung	%GRR	= 17,95%	
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	T _{min} (%GRR)	= 0,108	
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	T _{min} (%GRR)	= 0,0359	
Prüfsystem bedingt fähig (RE, %GRR)			
Bosch 2018 — Verfahren 2			



4.3 Verfahren 3: Wiederhol- und Vergleichpräzision (Gage R&R) ohne Bedienereinfluss

Ziel

Nachweis der Fähigkeit eines Messprozesses (als Prüfprozess für ein bestimmtes Merkmal) bezüglich seines Streuverhaltens anhand von Messungen an Serienteilen ohne Einfluss von Bedienungspersonal.

ANMERKUNG 1: Verfahren 3 stellt lediglich einen Sonderfall von Verfahren 2 dar.

ANMERKUNG 2: Im Unterschied zu Verfahren 1 bringt Verfahren 3 mögliche Wechselwirkungen zwischen Messverfahren und Messobjekt in die Fähigkeitsbewertung ein. Dabei handelt es sich um den möglicherweise vorhandenen Einfluss der Streuung der Erzeugnisteile auf den Messvorgang sowie des Messvorgangs auf das Verhalten des Erzeugnisteils. Solche Wechselwirkungen, die auf ein unvermeidbares Minimum reduziert sein sollten, sind mit einem Normal im Rahmen von Verfahren 1 nur bedingt erkennbar und können bei hinreichend starker Ausprägung dazu führen, dass Fähigkeit nach Verfahren 1 erreicht wird, nicht aber nach Verfahren 3.

Voraussetzungen

Vor Anwendung von Verfahren 3 ist sorgfältig zu prüfen, ob Bedienereinfluss auf die Messergebnisse tatsächlich ausgeschlossen werden kann. Kein Bedienereinfluss liegt üblicherweise vor, wenn

- die Lage der Messobjekte durch Spannmittel eindeutig vorgegeben ist und die Spannkkräfte durch den Bediener nicht beeinflusst werden können,
- der Messablauf und die anschließende Auswertung ohne Bedieneringriff vollautomatisch ablaufen.

Eine eindeutige, für alle Praxisfälle allgemeingültig zutreffende Abgrenzung ist nicht möglich. Die Entscheidung muss grundsätzlich im Einzelfall getroffen werden. Im Zweifelsfall ist Verfahren 2 einzusetzen (siehe Kap. 4.2).

Verfahrensbeschreibung

Die Untersuchung wird mit mindestens 25 ($n \geq 25$) wiederholbar messbaren, zufällig ausgewählten Serienteilen als Messobjekten durchgeführt, deren Merkmalswerte möglichst innerhalb des Toleranzbereichs liegen. Dabei sollen alle Einflüsse wirken, die auch im späteren Einsatz der Messeinrichtung wirken. Die ausgewählten Serienteile werden in zufälliger Reihenfolge in mindestens zwei ($r \geq 2$) Messreihen unter Wiederholbedingungen (z. B. an den im Prüfplan definierten Messpunkten, vgl. auch Kap. „Begriffe“) gemessen. Nach Abschluss der ersten Messreihe werden dieselben Serienteile erneut in zufälliger Reihenfolge gemessen. Sofern weitere Messreihen vorgesehen sind, wird das Vorgehen in gleicher Weise wiederholt bis alle Messreihen abgeschlossen sind. Dabei darf die nächste Messreihe nicht vor Abschluss der vorherigen Messreihe begonnen werden. Die Messergebnisse werden dokumentiert.

Die Messergebnisse werden vorzugsweise mit Hilfe einer Statistik-Software (z. B. solara.MP®) nach der ANOVA-Methode ausgewertet (vgl. Anhang D.2). Manuelle Auswertungen mit Hilfe von Formblättern nach der Average-Range-Methode (ARM, vgl. Anhang D.3) sind ebenso wie entsprechende ARM-Auswertungen mittels Software nicht mehr zeitgemäß und werden grundsätzlich nicht empfohlen.

Stehen keine entsprechenden Serienteile für die Messung zur Verfügung, ist das Verfahren nicht durchführbar. Stattdessen sind geeignete Sonderverfahren erforderlich und zu dokumentieren (vgl. Kap. 2, letzter Absatz).

Fähigkeitskriterium

Einhaltung des vorgegebenen Grenzwertes für die Gesamtstreuung %GRR des Messprozesses. Maßgeblich für den Grenzwert ist [CDQ 0301] in der jeweils gültigen Fassung. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der vorliegenden Ausgabe von Heft 10 gelten folgende Grenzen:

- %GRR \leq 10% Messprozess (als Prüfprozess) fähig,
- 10% < %GRR \leq 30% Messprozess (als Prüfprozess) bedingt fähig,
- %GRR > 30% Messprozess (als Prüfprozess) nicht fähig (ungeeignet).

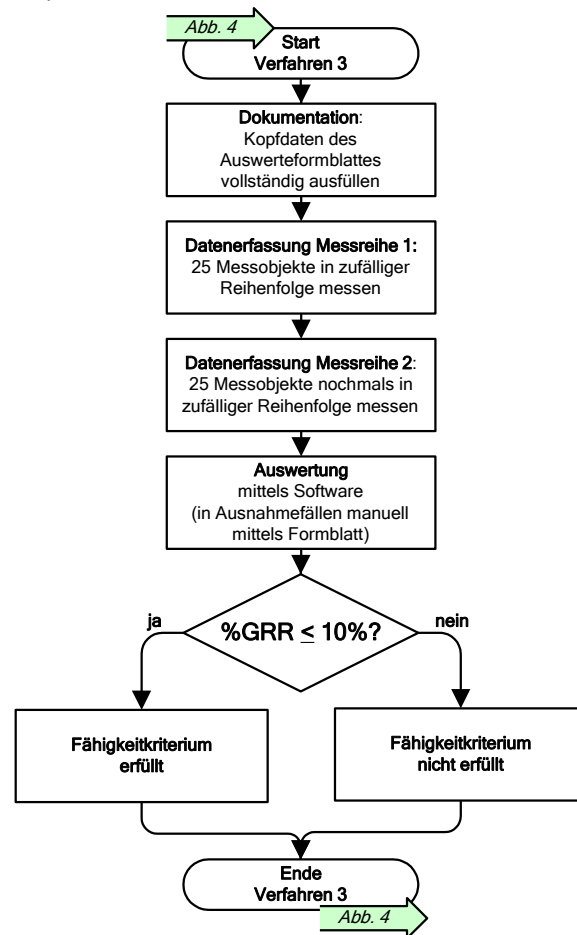
ANMERKUNG: Bezugsgröße für %GRR ist die Toleranz T des gemessenen Merkmals, d.h.

$$\%GRR = \frac{6 \cdot GRR}{T} \cdot 100\%;$$

siehe auch nachstehende Hinweise und Anhang D.2 bzgl. Berechnung.

Wird die Fähigkeit nicht erreicht, liegt die Ursache nicht zwingend im Messmittel begründet. Die Ursache kann z. B. auch in der Inhomogenität des Merkmals der Erzeugnisteile liegen. Dies ist zu analysieren.



Ablaufdiagramm**Abb. 8:** Ablauf Messprozessfähigkeitsuntersuchung nach Verfahren 3 (Ebene 4)**Hinweise**

- [AIAG MSA] empfiehlt drei ($r = 3$) Messungen je Serienteil.
- Bei einseitig begrenzten Merkmalen ist die Toleranz T nicht definiert. Existiert zusätzlich zum spezifizierten Grenzwert eine natürliche (d.h. physikalisch bedingte) Unter- oder Obergrenze, ist zu prüfen, ob die Größe T^* anstelle der Toleranz T verwendbar ist (vgl. Kap. 4.1, Abs. „Voraussetzungen“). Ist dies nicht der Fall oder existiert keine natürliche Grenze, wird GRR auf die Gesamtstreuung TV (engl. total variation, Definition siehe Anhang D.2) bezogen:

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100\% = \frac{GRR}{\sqrt{GRR^2 + PV^2}} \cdot 100\%$$

- [AIAG MSA] empfiehlt die Gesamtstreuung TV *grundsätzlich* als Bezugsgröße für GRR.
- [AIAG MSA] empfiehlt die Kenngröße ndc (engl. number of distinct categories) als zusätzliches Fähigkeitskriterium, die nicht kleiner als 5 werden soll (Einzelheiten siehe Anhang D.1):

$$ndc = \sqrt{2} \cdot \frac{PV}{GRR} = 1,41 \cdot \frac{\%PV}{\%GRR} \geq 5$$

- Bei den vorstehenden Empfehlungen nach [AIAG MSA] ist unbedingt zu berücksichtigen, ob Kundenforderungen bzgl. strikter Einhaltung der Empfehlungen nach [AIAG MSA] bestehen. Im Zweifelsfall sollten diese Empfehlungen eingehalten werden.
- In Ausnahmefällen kann %GRR mit einer geringeren Anzahl Messobjekte ermittelt werden (z. B. wenn Messeinrichtungen für einen Neuanlauf beschafft werden und zum Zeitpunkt der Abnahme noch nicht genügend Muster zur Verfügung stehen). Die Gründe sind zu dokumentieren. In diesem Fall muss die Anzahl der Messreihen angepasst werden (Einzelheiten siehe Anhang D.5).



	<h1 style="margin: 0;">Messsystemanalyse</h1> <h2 style="margin: 0;">Verfahren 3</h2>	Blatt 1 / 1																																																																																																																																		
Bereich : MSE3 Gruppe/Abt. : MOE7 Werkstatt/Ber. : W450 Erzeugnis : Düse Teil : Lochdüse Sachnummer : 0 433 171 914 Änd.-Stand : 20.01.2019	Arbeitsgang : Paaren Körper/Nadel Masch.-Bez. : PAKO 9 Masch.-Nr. : 1003521 Prüfplatz : JML0583W001 Prüfmittel : JML0563W003 Prfm.-Nr. : 6702779430004 Prfm.-Herst. : BaP Auflösung : 0,001	Merkmalsbez. : Durchmesser Körper Merkmal Nr. : 1 Nennmaß : 6,000 Unt. Abmaß : -0,030 Ob. Abmaß : 0,030 Toleranz : 0,060 Einheit : mm																																																																																																																																		
Kommentar :																																																																																																																																				
Normal Bez.: Normal Nr.: Normal-/Referenzwert:																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>i</th> <th>$X_{A,1}$</th> <th>$X_{A,2}$</th> <th>$X_{g,i}$</th> <th>$S_{g,i}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6,029</td><td>6,030</td><td>6,0295</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>2</td><td>6,019</td><td>6,020</td><td>6,0195</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>3</td><td>6,004</td><td>6,003</td><td>6,0035</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,982</td><td>5,982</td><td>5,9820</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>5</td><td>6,009</td><td>6,009</td><td>6,0090</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,971</td><td>5,972</td><td>5,9715</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>7</td><td>5,995</td><td>5,997</td><td>5,9960</td><td>0,0014</td></tr> <tr><td>8</td><td>6,014</td><td>6,018</td><td>6,0160</td><td>0,0028</td></tr> <tr><td>9</td><td>5,985</td><td>5,987</td><td>5,9860</td><td>0,0014</td></tr> <tr><td>10</td><td>6,024</td><td>6,028</td><td>6,0260</td><td>0,0028</td></tr> <tr><td>11</td><td>6,033</td><td>6,032</td><td>6,0325</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>12</td><td>6,020</td><td>6,019</td><td>6,0195</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>13</td><td>6,007</td><td>6,007</td><td>6,0070</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>14</td><td>5,985</td><td>5,986</td><td>5,9855</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>15</td><td>6,014</td><td>6,014</td><td>6,0140</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>16</td><td>5,973</td><td>5,972</td><td>5,9725</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>17</td><td>5,997</td><td>5,996</td><td>5,9965</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>18</td><td>6,019</td><td>6,015</td><td>6,0170</td><td>0,0028</td></tr> <tr><td>19</td><td>5,987</td><td>5,987</td><td>5,9865</td><td>0,0007</td></tr> <tr><td>20</td><td>6,029</td><td>6,025</td><td>6,0270</td><td>0,0028</td></tr> <tr><td>21</td><td>6,017</td><td>6,019</td><td>6,0180</td><td>0,0014</td></tr> <tr><td>22</td><td>6,003</td><td>6,001</td><td>6,0020</td><td>0,0014</td></tr> <tr><td>23</td><td>6,009</td><td>6,012</td><td>6,0105</td><td>0,0021</td></tr> <tr><td>24</td><td>5,987</td><td>5,987</td><td>5,9870</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>25</td><td>6,006</td><td>6,003</td><td>6,0045</td><td>0,0021</td></tr> </tbody> </table>	i	$X_{A,1}$	$X_{A,2}$	$X_{g,i}$	$S_{g,i}$	1	6,029	6,030	6,0295	0,0007	2	6,019	6,020	6,0195	0,0007	3	6,004	6,003	6,0035	0,0007	4	5,982	5,982	5,9820	0,0000	5	6,009	6,009	6,0090	0,0000	6	5,971	5,972	5,9715	0,0007	7	5,995	5,997	5,9960	0,0014	8	6,014	6,018	6,0160	0,0028	9	5,985	5,987	5,9860	0,0014	10	6,024	6,028	6,0260	0,0028	11	6,033	6,032	6,0325	0,0007	12	6,020	6,019	6,0195	0,0007	13	6,007	6,007	6,0070	0,0000	14	5,985	5,986	5,9855	0,0007	15	6,014	6,014	6,0140	0,0000	16	5,973	5,972	5,9725	0,0007	17	5,997	5,996	5,9965	0,0007	18	6,019	6,015	6,0170	0,0028	19	5,987	5,987	5,9865	0,0007	20	6,029	6,025	6,0270	0,0028	21	6,017	6,019	6,0180	0,0014	22	6,003	6,001	6,0020	0,0014	23	6,009	6,012	6,0105	0,0021	24	5,987	5,987	5,9870	0,0000	25	6,006	6,003	6,0045	0,0021	<div style="text-align: center;">Messwerte</div> <div style="text-align: center;">Spannweiten</div>	
i	$X_{A,1}$	$X_{A,2}$	$X_{g,i}$	$S_{g,i}$																																																																																																																																
1	6,029	6,030	6,0295	0,0007																																																																																																																																
2	6,019	6,020	6,0195	0,0007																																																																																																																																
3	6,004	6,003	6,0035	0,0007																																																																																																																																
4	5,982	5,982	5,9820	0,0000																																																																																																																																
5	6,009	6,009	6,0090	0,0000																																																																																																																																
6	5,971	5,972	5,9715	0,0007																																																																																																																																
7	5,995	5,997	5,9960	0,0014																																																																																																																																
8	6,014	6,018	6,0160	0,0028																																																																																																																																
9	5,985	5,987	5,9860	0,0014																																																																																																																																
10	6,024	6,028	6,0260	0,0028																																																																																																																																
11	6,033	6,032	6,0325	0,0007																																																																																																																																
12	6,020	6,019	6,0195	0,0007																																																																																																																																
13	6,007	6,007	6,0070	0,0000																																																																																																																																
14	5,985	5,986	5,9855	0,0007																																																																																																																																
15	6,014	6,014	6,0140	0,0000																																																																																																																																
16	5,973	5,972	5,9725	0,0007																																																																																																																																
17	5,997	5,996	5,9965	0,0007																																																																																																																																
18	6,019	6,015	6,0170	0,0028																																																																																																																																
19	5,987	5,987	5,9865	0,0007																																																																																																																																
20	6,029	6,025	6,0270	0,0028																																																																																																																																
21	6,017	6,019	6,0180	0,0014																																																																																																																																
22	6,003	6,001	6,0020	0,0014																																																																																																																																
23	6,009	6,012	6,0105	0,0021																																																																																																																																
24	5,987	5,987	5,9870	0,0000																																																																																																																																
25	6,006	6,003	6,0045	0,0021																																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Varianz</th> <th>Standardabw.</th> <th colspan="2">Vertrauensniveau 1 - α = 95%</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wiederholpräzision</td> <td>0,0000021600</td> <td>0,0014697</td> <td>EV:</td> <td>0,0011526 ≤ 0,0014697 ≤ 0,0020288</td> <td>%EV = 14,70%</td> </tr> <tr> <td>Prüfsystemstreuung</td> <td>0,0000021600</td> <td>0,0014697</td> <td>GRR:</td> <td>0,0011526 ≤ 0,0014697 ≤ 0,0020288</td> <td>%GRR = 14,70%</td> </tr> <tr> <td>Teilestreuung</td> <td>0,00031332</td> <td>0,017701</td> <td>PV:</td> <td>0,0126070 ≤ 0,0177010 ≤ 0,0266200</td> <td>%PV = 177,01%</td> </tr> <tr> <td>Gesamtstreuung</td> <td>0,00038406</td> <td>0,017762</td> <td>TV:</td> <td>0,018</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Varianz	Standardabw.	Vertrauensniveau 1 - α = 95%			Wiederholpräzision	0,0000021600	0,0014697	EV:	0,0011526 ≤ 0,0014697 ≤ 0,0020288	%EV = 14,70%	Prüfsystemstreuung	0,0000021600	0,0014697	GRR:	0,0011526 ≤ 0,0014697 ≤ 0,0020288	%GRR = 14,70%	Teilestreuung	0,00031332	0,017701	PV:	0,0126070 ≤ 0,0177010 ≤ 0,0266200	%PV = 177,01%	Gesamtstreuung	0,00038406	0,017762	TV:	0,018																																																																																																						
	Varianz	Standardabw.	Vertrauensniveau 1 - α = 95%																																																																																																																																	
Wiederholpräzision	0,0000021600	0,0014697	EV:	0,0011526 ≤ 0,0014697 ≤ 0,0020288	%EV = 14,70%																																																																																																																															
Prüfsystemstreuung	0,0000021600	0,0014697	GRR:	0,0011526 ≤ 0,0014697 ≤ 0,0020288	%GRR = 14,70%																																																																																																																															
Teilestreuung	0,00031332	0,017701	PV:	0,0126070 ≤ 0,0177010 ≤ 0,0266200	%PV = 177,01%																																																																																																																															
Gesamtstreuung	0,00038406	0,017762	TV:	0,018																																																																																																																																
Versuchsplan		Bezugsgröße																																																																																																																																		
Anzahl der Messungen = 2		Prozessstreuung = 0																																																																																																																																		
Anzahl der Teile = 25		Toleranz = 0,060																																																																																																																																		
		geforderter Cp-Wert =																																																																																																																																		
Auflösung	%RE = 1,67%																																																																																																																																			
Zahl der unterscheidbaren Messwertklassen (ndc)	ndc = 17																																																																																																																																			
Prüfsystemstreuung	%GRR = 14,70%																																																																																																																																			
Minimale Bezugsgröße für fähiges Prüfsystem	$T_{\min} (\%GRR)$ = 0,088																																																																																																																																			
Minimale Bezugsgröße für bedingt fähiges Prüfsystem	$T_{\min} (\%GRR)$ = 0,0294																																																																																																																																			
Prüfsystem bedingt fähig (%RE, %GRR)																																																																																																																																				
Bosch 2018 — Verfahren 3																																																																																																																																				



4.4 Verfahren 4: Linearität

Ziel

Nachweis des hinreichend linearen Zusammenhangs zwischen den zu messenden Werten einer physikalischen Größe und den jeweils zugehörigen, von der Messeinrichtung ermittelten Messwerten. Es wird festgestellt, ob sich die systematischen Messabweichungen der Messeinrichtung in dem für die Messung relevanten Messbereich innerhalb von Grenzen bewegen, die zur Messung des Merkmals akzeptabel sind.

ANMERKUNG: Bei einer idealen Messeinrichtung ist der Ausgabewert (Messwert) stets identisch mit dem am Eingang (z. B. durch ein Normal) eingepprägten Wert der Messgröße. Dies gilt unabhängig davon, ob die Messeinrichtung den Ausgabewert auf einer linearen oder einer nicht linearen (z. B. logarithmischen) Skala darstellt: Beispielsweise müssen 5 Volt am Eingang stets als Ausgabewert 5 Volt erscheinen, 10 Volt am Eingang stets als Ausgabewert 10 Volt usw. Der Begriff „Linearität“ bezieht sich ausschließlich auf diesen als Kennlinie darstellbaren Zusammenhang zwischen den Eingangs- und Ausgabewerten. Dieser Zusammenhang ist bei realen Messeinrichtungen nicht streng linear.

Voraussetzungen

Messeinrichtungen unterliegen der Prüfmittelüberwachung [CDQ 1001]. Die Linearität einer Messeinrichtung (in vorstehendem Sinn) wird in der Regel vom Hersteller und anschließend im Rahmen der periodischen Kalibrierung der Messeinrichtung überprüft. Eine zusätzliche Überprüfung im Rahmen von Messprozessfähigkeitsuntersuchungen ist daher in der Regel nicht erforderlich.

In speziellen Anwendungsfällen kann dennoch der Nachweis erforderlich sein, dass sich die Messeinrichtung über den gesamten relevanten Messbereich ausreichend linear verhält. Beispiele sind

- justierbare, einstellbare Verstärkung (Kennlinie),
- logarithmische Skala,
- auf den Endwert bezogene Fehlergrenze.

Durchführung

[AIAG MSA] sieht ein Verfahren zum Nachweis der Linearität der Messeinrichtung (in obigem Sinne) vor. Das Verfahren liefert jedoch nicht unter allen Bedingungen zuverlässige Ergebnisse (vgl. Anhang E.1).

- Sofern nicht ausdrücklich Vorgehen nach [AIAG MSA] gefordert ist, kann stattdessen mit mehreren Normalen, deren Referenzwerte x_i geeignet (z. B. äquidistant) über den relevanten Messbereich verteilt sind, jeweils einmal Verfahren 1 durchgeführt und die Fähigkeit der Messeinrichtung bzgl. jedes Referenzwertes x_i nachgewiesen werden (siehe Kapitel 4.1).

*ANMERKUNG 1: Diese Vorgehensweise ist **keine** Linearitätsuntersuchung in strengem Sinne, sondern lässt nur eine Aussage über die Eignung der Messeinrichtung an den jeweils betrachteten Stellen zu. Über andere Bereiche kann keine Aussage getroffen werden. Es wird empfohlen, mindestens 5 Normale mit unterschiedlichen Referenzwerten einzusetzen. Oftmals können jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr als zwei Normale zur Verfügung gestellt werden. In diesen Fällen beschränkt man sich vorzugsweise auf die Untersuchung an den Grenzen des Toleranzbereichs.*

ANMERKUNG 2: Handelt es sich um ein Messmittel, das Teil einer Messeinrichtung ist, ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die gesamte Messeinrichtung zu bewerten.

- Ist Vorgehen nach [AIAG MSA] ausdrücklich gefordert (z. B. Kundenforderung), ist nach Anhang E.1 vorzugehen.

ANMERKUNG: Liegen bereits Daten aus der mehrfachen Durchführung von Verfahren 1 vor, können diese für die Auswertung nach [AIAG MSA] verwendet werden. Die erneute Durchführung von Messungen ist nicht erforderlich.



4.5 Verfahren 5: Stabilität (Messbeständigkeit)

Ziel

Nachweis gleichbleibend richtiger Messergebnisse durch Überwachung des Langzeitverhaltens eines Messprozesses und entsprechende Beurteilung der Stabilität (Messbeständigkeit) der Messeinrichtung (ähnlich einer $\bar{x} - s$ -SPC-Regelkarte, jedoch ist ein Messprozess nicht im Sinne von SPC regelbar).

ANMERKUNG: Eine Folge von Messungen kann als Messprozess aufgefasst werden, der Messwerte „produziert“. Daher können die bekannten SPC-Verfahren und -Regeln in ähnlicher Weise für Messprozesse angewandt werden, um die dauerhafte Beherrschtheit (zeitliche Stabilität) zu beobachten.

Ablaufdiagramm

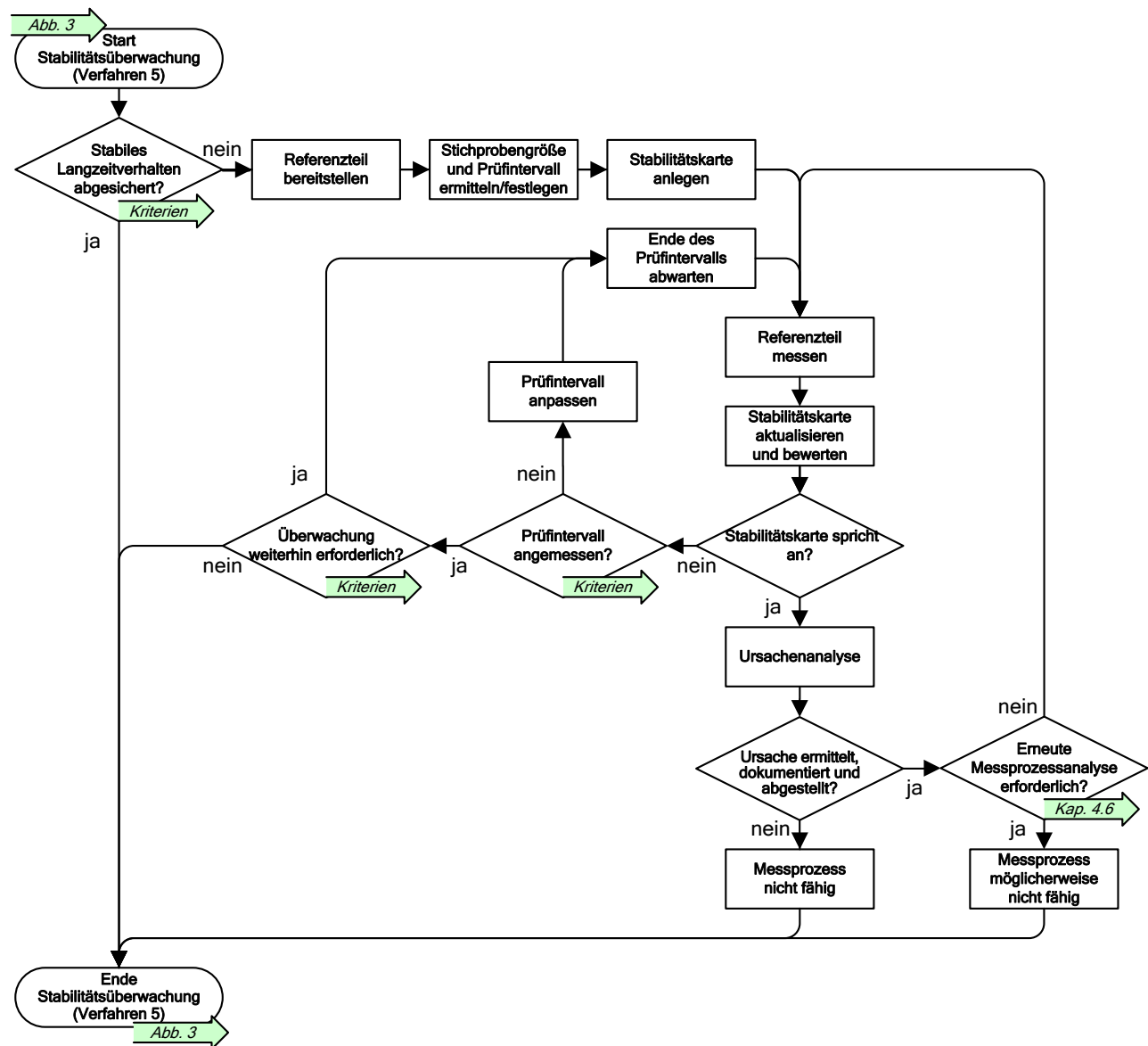


Abb. 9: Stabilitätsüberwachung bei kontinuierlichen Merkmalen (Verfahren 5)

4.5.1 Vorbereitung

Bewertung der Langzeitstabilität

Zunächst ist sorgfältig zu prüfen, ob stabiles Langzeitverhalten erwartet werden kann und ausreichend abgesichert ist. Die folgenden Beispiele sind typische Kriterien für Langzeitstabilität:

- Fähigkeitskenngrößen weit über oder unter geforderten Mindest- bzw. Höchstwerten (z. B. $C_{gk} > 2$, $\%GRR < 5\%$);
- keine (wesentlichen) Änderungen der Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Erschütterungen) zu erwarten;
- kein (häufiger) Personalwechsel bei möglichem Bedienereinfluss auf das Messverfahren;



- Prüffristen der Prüfmittelüberwachung (d.h. Häufigkeit von Kalibrierung und Justierung) der Messeinrichtung auf das Langzeitverhalten (z. B. Drift) der Messeinrichtung abgestimmt;
- umfassende positive Vorerfahrungen zu stabilem Langzeitverhalten baugleicher (oder vergleichbarer) Messeinrichtungen;
- keine (bestätigt oder unbestätigt) fehlerhaften Teile oder Beanstandungen aus dem Fertigungsprozess bzgl. des zu messenden Merkmals;
- keine (bestätigten oder unbestätigten) Fehlmessungen, Messergebnisse ggf. mit Kunden abgeglichen;
- keine universell genutzte, komplexe Messeinrichtung für unterschiedliche Messaufgaben und Anforderungen;
- keine (starke) Beanspruchung der Messeinrichtung im Bezug auf Verschleiß (z. B. Fixierungen, Spannvorrichtungen, Taster);
- keine tendenziell driftende Messeinrichtung (z. B. Sensoren, einstellbare elektrische Kennwerte).

Im Zweifelsfall ist stabiles Langzeitverhalten durch Stabilitätsüberwachung abzusichern.

Referenzteil (Stabilitätsteil)

Zur Durchführung ist ein Referenzteil (Stabilitätsteil) mit bekanntem Referenzwert x_m erforderlich. Dies kann ein Normal oder (ggf. geeignet modifiziertes) Serienteil sein, das den für die Messung relevanten Anforderungen des bei Verfahren 1 verwendeten Normals entspricht. Bei Verwendung von Serienteilen kann der Referenzwert als Mittelwert aus mindestens 10 Messungen mit einer kalibrierten Messeinrichtung ermittelt werden. Das Referenzteil (Stabilitätsteil) ist eindeutig zu kennzeichnen.

Stichprobengröße (Stichprobenumfang)

Das Referenzteil (Stabilitätsteil) wird in prozessspezifisch festgelegten Zeitabständen (Prüfintervallen, Stichprobenintervallen) jeweils mindestens dreimal gemessen ($n \geq 3$).

Aus technischen und/oder wirtschaftlichen Gründen kann es in Ausnahmefällen erforderlich sein, die Anzahl der Messungen pro Zeitintervall auf weniger als drei zu reduzieren ($n < 3$). In diesen Fällen kann alternativ eine Urwertkarte geführt werden. Die Ausnahmefälle sind zu beschreiben.

ANMERKUNG: [AIAG MSA] sieht den Einsatz von Urwertkarten nicht vor.

Eingriffsgrenzen für Stabilitätskarten

	Untere Eingriffsgrenze (UEG)	Obere Eingriffsgrenze (OEG)
\bar{X} -Karte (Mittelwerte):	$UEG = x_m - u_p \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$	$OEG = x_m + u_p \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$
s-Karte (Standardabweichungen):	$UEG_s = B'_{Eun} \cdot s$	$OEG_s = B'_{Eob} \cdot s$
Urwertkarte:	$UEG = x_m - E'_E \cdot s$	$OEG = x_m + E'_E \cdot s$

Für x_m können eingesetzt werden:

- der Referenzwert des Referenzteils (Stabilitätsteils) oder
- der Mittelwert aus einem Vorlauf (vgl. [AIAG MSA], Kapitel 3, Abschnitt B).

Für s können eingesetzt werden:

- 2,5% der Merkmalstoleranz T ($=T/40$) oder
- die Standardabweichung aus einem Vorlauf (vgl. [AIAG MSA], Kapitel 3, Abschnitt B) oder
- die Standardabweichung aus Verfahren 1 (nicht empfohlen, da Kurzzeituntersuchung).

Für n wird der Stichprobenumfang eingesetzt, d.h. die Anzahl Messungen je Stichprobe.

u_p , B'_{Eun} , B'_{Eob} und E'_E werden entsprechend dem Stichprobenumfang n gemäß nachstehender Tabelle für Vertrauensniveau 99% eingesetzt. Bei Urwertkarten ist zu entscheiden, wieviele Messwerte zu einer Gruppe der Größe n (Pseudo-Stichprobe) zusammengefasst werden. Gängig ist $n = 3$.

n	u_p	B'_{Eun}	B'_{Eob}	E'_E
3	2,58	0,071	2,302	2,935
4	2,58	0,155	2,069	3,023
5	2,58	0,227	1,927	3,090

Werte für weitere Stichprobenumfänge n und Vertrauensniveaus können gemäß Anhang F berechnet werden.



4.5.2 Prüfintervall (Stichprobenintervall)

Ein geeignet angepasstes Prüfintervall wird stets vom jeweiligen Messprozess und seinem zeitlichen Verhalten bestimmt. Daher sind keine allgemein anwendbaren Regelungen möglich.

Grundsätzlich ist sorgfältig zu prüfen, ob ein möglichst kurzes, anfängliches Prüfintervall oder ggf. die Verkürzung eines bereits festgelegten Prüfintervals erforderlich ist (z. B. mehrere Stichproben pro Schicht). Die folgenden Beispiele sind typische Kriterien für die Erforderlichkeit kurzer Intervalle:

- instabiler Messprozess;
- Fähigkeitskennwerte im Grenzbereich (z. B. C_{gk} um 1,33 und/oder %GRR um 10%);
- funktions- / prozesskritisches Merkmal;
- neue Mess- / Prüfverfahren;
- Erfahrungswerte nicht verfügbar;
- wenig zeit- und kostenintensive Prüfungen;
- Forderung nach hoher statistischer Aussagekraft.

Bei der Festlegung und Änderung des Prüfintervals ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass hinreichend kurze Reaktionszeiten zur Sicherstellung rechtzeitigen Teilezugriffs im Fehlerfall stets gewährleistet sein muss (Rückverfolgbarkeit).

Anpassung des Prüfintervals: Gängiges Vorgehen in der Anlaufphase

- Alle Mittelwerte liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen, die Änderungen von Wert zu Wert sind gut erkennbar und unsystematisch (zufällig): Prüfintervall ist angemessen; keine Maßnahmen erforderlich.
- Alle Mittelwerte liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen, jedoch sind keine oder nur minimale Änderungen von Wert zu Wert erkennbar (vgl. auch „Middle Third“): Prüfintervall ist möglicherweise zu kurz; Intervall verlängern (z. B. verdoppeln); Anpassung erforderlichenfalls mehrfach wiederholen.
- Einige Mittelwerte liegen außerhalb der Eingriffsgrenzen: Prüfintervall ist möglicherweise zu lang; Intervall verkürzen (z. B. halbieren); Anpassung erforderlichenfalls mehrfach wiederholen.

Führen auch mehrfache Anpassungen des Prüfintervals nicht zum Erfolg, sind Ursachen- und Risikoanalysen durchzuführen und ggf. geeignete Maßnahmen einzuleiten.

Anpassung des Prüfintervals: Gängiges Vorgehen in der Produktionsphase

- Alle Mittelwerte liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen: Eine Kontrollmessung zu Beginn jeder Schicht ist in der Regel ausreichend.
- Einige Mittelwerte liegen außerhalb der Eingriffsgrenzen: Es sind Ursachen- und Risikoanalysen durchzuführen und ggf. geeignete Maßnahmen einzuleiten (z. B. Kalibrierung, Justage, Instandsetzung, Ersatz und erforderlichenfalls anschließend Neubestimmung des Prüfintervals wie in der Anlaufphase).

Bei sehr kleinen Toleranzen kann es erforderlich sein, die Messeinrichtung vor jeder einzelnen Messung zu kalibrieren. In diesem Fall sind keine Messungen zur Stabilitätsüberwachung erforderlich.

4.5.3 Durchführung

Das Referenzteil (Stabilitätsteil) wird in den prozessspezifisch festgelegten Zeitabständen (Prüfintervallen, Stichprobenintervallen) jeweils mindestens dreimal gemessen ($n \geq 3$). Die Messwerte werden tabellarisch auf der Stabilitätskarte (Messbeständigkeitskarte) dokumentiert, Mittelwert und Standardabweichung jeder Stichprobe berechnet und in zeitlicher Reihenfolge in die \bar{x} - bzw. s- Karte eingetragen.

Die \bar{x} -Karte kann absolut geführt werden oder relativ zum Referenzwert x_m , d.h. die Differenzen der Messwerte zum Referenzwert (Residuen) werden erfasst.

Auswertung

Die Stabilität eines Messprozesses wird anhand der Stabilitätskarte beurteilt.

Stabiler Messprozess

Alle Werte (in der Regel die Mittelwerte) liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen und streuen unsystematisch (zufällig). Hinweise auf Instabilität sind nicht feststellbar.

Erweist sich der Messprozess laut Stabilitätskarte über längere Zeit als stabil, kann ggf. das Prüfintervall verlängert werden (siehe Kap. 4.5.2).



Erweist sich der Messprozess über eine größere Anzahl aufeinander folgender Stabilitätskarten als stabil, kann ggf. die Stabilitätsüberwachung beendet werden. Die folgenden Beispiele sind typische Kriterien, die eine Beendigung **nicht** erlauben:

- Auffälligkeiten bei der Prüfmittelüberwachung (PMÜ);
- Kundenforderung zur Überwachung der Stabilität (Messbeständigkeit);
- keine weitere Absicherung der Qualitätsanforderungen für dieses Merkmal;
- funktions- und/oder prozesskritisches Merkmal (z. B. besonderes Merkmal, Risikoteil);
- Änderungen im Messaufbau.

Im Zweifelsfall ist die Stabilitätsüberwachung fortzusetzen.

Instabiler Messprozess

Die Werte zeigen eine große, zeitlich unsystematisch variierende Streuung und einige Werte liegen außerhalb der Eingriffsgrenzen.

Hinweise auf mögliche Probleme im Messprozess:

- Die Werte bilden eine ungewöhnliche (nicht zufällige) Punktefolge. Zur Identifikation kann die sogenannte 7er-Regel angewendet werden, d.h. 7 oder mehr aufeinander folgende Mittelwerte
 - liegen einseitig unter- oder oberhalb von x_m (*Run*)
 - oder bilden eine stetig aufsteigende oder absteigende Folge (*Trend*).
- Innerhalb des mittleren Drittels zwischen den Eingriffsgrenzen liegen
 - mehr als 90%
 - oder weniger als 40%
 der Werte (*Middle Third*).

Falls Instabilität und/oder ein anderes Problem festgestellt wird, ist die Ursache zu ermitteln. Zunächst ist zu klären, ob ein Einfluss des Messprozesses oder des Messobjektes vorliegt. Hierzu sollte ein weiteres vermessenes Referenzteil (Stabilitätsteil) vorhanden sein.

ANMERKUNG 1: Gängige Methoden zur Ursachenanalyse sind z. B. Ursache-Wirkung-/Ishikawa-Diagramme (5M), 5 x Warum (Ermittlung von Grundursachen durch systematisches Hinterfragen), Kepner Tregoe (KT), Shainin, Six Sigma (DMAIC); siehe auch [EWQ].

ANMERKUNG 2: Zu den häufigsten Ursachen für Grenzwertüberschreitungen gehören Umwelteinflüsse (z. B. Änderungen der Temperatur, Luftfeuchtigkeit usw.). Diese Parameter sollten beim Anlegen der Stabilitätskarte dokumentiert werden, um Ursachen ggf. schnell und mit geringem Aufwand zu ermitteln und zu beseitigen.

Die Ursache ist zu beseitigen. Ggf. ist der Messprozess zu verbessern und die Erforderlichkeit eines erneuten Fähigkeitsnachweises zu bewerten (vgl. Kap. 4.6). Ursache und durchgeführte Maßnahmen sind zu dokumentieren (z. B. auf der Rückseite der Stabilitätskarte).

4.6 Wiederholung des Fähigkeitsnachweises

Während des produktiven Einsatzes muss die Fähigkeit des Messprozesses zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden (vorzugsweise mit Hilfe von Verfahren 5). Die folgenden Kriterien sind typische Beispiele, die eine erneute Messprozessanalyse mit Fähigkeitsnachweis erforderlich machen können:

- Nach Eingriffen in den Messprozess (z. B. nach Überschreitung von Eingriffsgrenzen) zeigt die Stabilitätskarte einen signifikanten Unterschied gegenüber dem Status vor dem Eingriff;
- nach Justage der Messeinrichtung oder von Komponenten der Messeinrichtung (z. B. einzelner Messgeräte im Rahmen der Prüfmittelüberwachung);
- bei Wiederinbetriebnahme nach Wartungsarbeiten, bei denen umfangreiche Demontagen, Umbauten oder der Austausch wesentlicher Teile (z. B. Messtaster, Wegaufnehmer) erforderlich waren;
- bei Inbetriebnahme neuer, überholter oder instandgesetzter Messeinrichtungen;
- bei (nachträglichen) Toleranzeinschränkungen des zu messenden Merkmals;
- bei technischen Änderungen (z. B. Aufbau, Software) der Messeinrichtung;
- bei Parameteränderungen, die die Messprozessfähigkeit verändern können;
- bei Veränderung von Randbedingungen im Messprozess (z. B. Abläufe, Messstrategie), die Einfluss auf die Messprozessfähigkeit haben können;
- bei Veränderungen beim Bedienungspersonal (z. B. neue Mitarbeiter bei Verfahren 2);
- bei Verdacht, dass die Messeinrichtung nicht fehlerfrei arbeitet;
- im Bedarfsfall vor und zwingend nach der Verlagerung von Messeinrichtungen.

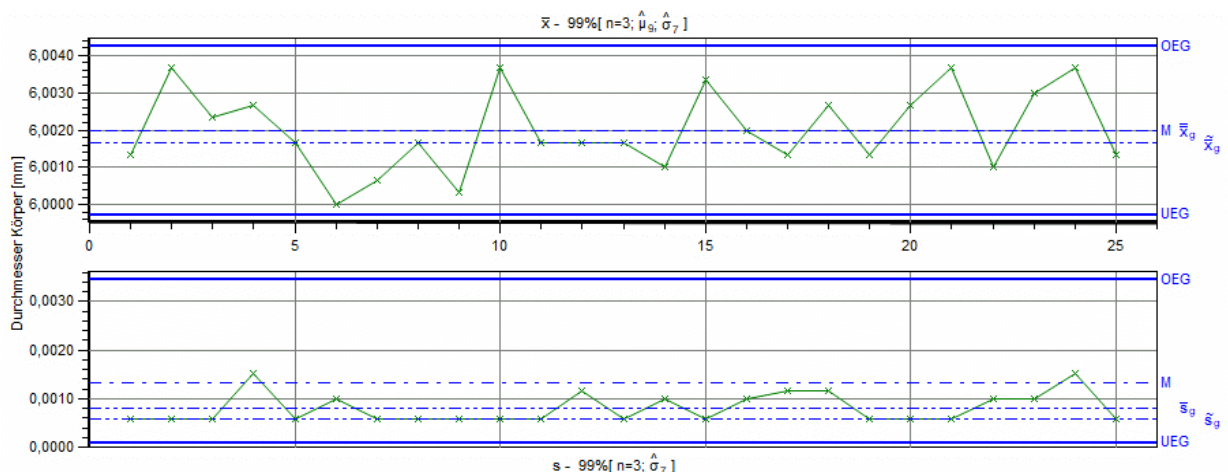
Im Zweifelsfall ist die Messprozessanalyse zu wiederholen und die Fähigkeit erneut nachzuweisen.



	<h2 style="margin: 0;">Messsystemanalyse</h2> <h3 style="margin: 0;">Verfahren 5 (Stabilität)</h3>	Blatt 1 / 1							
Bereich : MSE3 Gruppe/Abt. : MOE7 Werkstatt/Ber. : W450 Erzeugnis : Düse Teil : Lochdüse Sachnummer : 0 433 171 914 Änd.-Stand : 20.01.2019	Arbeitsgang : Paaren Körper/Nadel Masch.-Bez. : PAKO 9 Masch.-Nr. : 1003521 Prüfplatz : JML0583W001 Prüfmittel : JML0583W003 Prfm.-Nr. : 6702779470004 Prfm.-Herst. : BaP Auflösung : 0,001	Merkmalsbez. : Durchmesser Körper Merkmal Nr. : 1 Nennmaß : 6,000 Unt. Abmaß : -0,030 Ob. Abmaß : 0,030 Toleranz : 0,060 Einheit : mm							
Kommentar :									
Normal Bez.: LY_0010W134#95 Normal Nr.: 6702780329 Normal-/Referenzwert: 6,002 Kalibrierunsicherheit: 0,0002									
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	6,002	16	6,000	31	6,002	46	6,003	61	6,004
2	6,001	17	6,001	32	6,001	47	6,002	62	6,003
3	6,001	18	5,999	33	6,002	48	6,001	63	6,004
4	6,004	19	6,001	34	6,003	49	6,002	64	6,002
5	6,004	20	6,001	35	6,001	50	6,002	65	6,000
6	6,003	21	6,002	36	6,001	51	6,000	66	6,001
7	6,003	22	6,001	37	6,002	52	6,002	67	6,004
8	6,002	23	6,002	38	6,001	53	6,002	68	6,003
9	6,002	24	6,002	39	6,002	54	6,004	69	6,002
10	6,003	25	6,000	40	6,002	55	6,001	70	6,005
11	6,001	26	6,000	41	6,000	56	6,002	71	6,004
12	6,004	27	6,001	42	6,001	57	6,001	72	6,002
13	6,002	28	6,004	43	6,004	58	6,003	73	6,002
14	6,001	29	6,004	44	6,003	59	6,003	74	6,001
15	6,002	30	6,003	45	6,003	60	6,002	75	6,001

Zeichnungswerte	Gemessene Werte	Statistische Werte	Qualitätsregelkarte
T _m = 6,000		\bar{x}_g = 6,00200	Mittelwertkarte 99 %, n = 3
USG = 5,970	x _{min g} = 5,999	s _g = 6,00090	OEG = 6,00423
OSG = 6,030	x _{max g} = 6,005	n _{eff} = 75	M = 6,00200
T = 0,060	R _g = 0,006	k _{eff} = 25	UEG = 5,99977
			Eingriffsgrenzenverletzungen 0
			s - Karte 99 %, n = 3
			OEG = 0,003453
			M = 0,001329
			UEG = 0,000106
			Eingriffsgrenzenverletzungen 0

Bosch 1818 — Stabilität



5 Verfahren zum Nachweis der Prüfprozessfähigkeit anhand diskreter Merkmale

Hinweis

Die Prüfung diskreter oder diskretisierter Merkmale wird grundsätzlich nicht empfohlen, da die Erfüllung aktueller Anforderungen an Fehlerquoten wirtschaftlich nicht vertretbare Stichprobenumfänge erfordert. Dem Fähigkeitsnachweis anhand kontinuierlicher Merkmale mittels Verfahren 1 - 5 sollte stets der unbedingte Vorzug gegeben werden.

5.1 Verfahren 6: Prüfentscheide bei diskretisierten kontinuierlichen Merkmalen

Ziel

Nachweis der Fähigkeit eines Prüfprozesses bezüglich eindeutiger Prüfentscheide bei der Prüfung diskretisierter Merkmale.

Voraussetzungen

Das Verfahren erfordert kontinuierliche Referenzwerte.

Verfahrensbeschreibung

Die Untersuchung wird mittels eines Referenzloses durchgeführt, das sich aus 50 Referenzteilen aus der Fertigung (Serienteilen) zusammensetzt, deren diskrete Merkmalswerte vor Beginn der Prüfung ermittelt und dokumentiert werden.

Dazu müssen zunächst die kontinuierlichen Merkmalswerte der Referenzteile (Referenzwerte) durch Messung ermittelt werden. Die den Messwerten zugeordnete erweiterte Messunsicherheit U muss bekannt sein. Es werden Referenzteile benötigt, deren Merkmalswerte einen Bereich überdecken, der etwas unterhalb von $UGW - U$ beginnt und etwas oberhalb von $OGW + U$ endet. Das Messergebnis zu jedem Referenzteil wird dokumentiert.

Anschließend wird jedes Referenzteil entsprechend seinem Messergebnis einer (von zwei möglichen) Bewertungskategorien eindeutig zugeordnet (Diskretisierung) und das Ergebnis dokumentiert: „Innerhalb Toleranz“ = „+“, „Außerhalb Toleranz“ = „-“.

Jedes Referenzteil im Los muss eindeutig identifizierbar sein, so dass die korrekte Zuordnung zugehöriger Daten stets gewährleistet ist. Diese Anforderung muss in einer Form umgesetzt werden, die es nur autorisiertem Personal erlaubt, das Referenzteil zu identifizieren, nicht aber dem Prüfpersonal. Mögliche Realisierungen sind z. B. 2D-Bar-Codes, komplexe Zahlen-Codes, nur unter UV-Licht sichtbare Beschriftungen.

Zur Durchführung der Prüfung werden die Referenzteile als Prüfobjekte eingesetzt und in zufälliger, dem Prüfpersonal unbekannter Reihenfolge mit dem (z. B. nach Prüfplan) festgelegten Prüfmittel und Prüfverfahren oder einer automatisierten Prüfeinrichtung unter Serienbedingungen bewertet, indem sie einer (der beiden möglichen) Bewertungskategorien zugeordnet werden. Das Prüfpersonal muss angemessen geschult und eingewiesen sein.

Können die Bewertungen durch Handhabung und/oder Subjektivität des Prüfpersonals beeinflusst werden (z. B. bei manuellen Lehrenprüfungen), müssen die Prüfobjekte von 3 Prüfern in jeweils 3 Prüfdurchläufen bewertet werden.

Spielen Handhabung und/oder Subjektivität keine Rolle (z. B. bei Prüfautomaten), müssen die Prüfobjekte in 4 Prüfdurchläufen geprüft werden.

Die Reihenfolge der Prüfobjekte ist in beiden Fällen für jeden Prüfdurchlauf nach dem Zufallsprinzip neu zu wählen. Die Prüfergebnisse („+“ oder „-“) werden dokumentiert.

Auswertung

Stimmen bei einem Referenzteil alle Prüfergebnisse mit der Referenzbewertung überein, wird diese Bewertung (d.h. „+“ bzw. „-“) in die Spalte „Code“ der Ergebnistabelle eingetragen. Liegt keine Übereinstimmung vor, wird „x“ in die Spalte „Code“ eingetragen (vgl. nachstehendes Beispiel).

Anschließend wird die Tabelle nach der Größe der kontinuierlichen Referenzwerte in absteigender Reihenfolge sortiert (größter Wert oben). In dieser Darstellung werden zwei Unsicherheitsbereiche um die beiden Grenzwerte erkennbar, deren Breite ein Maß für die Streuung der Prüfergebnisse und damit GRR ist.



In der Spalte „Code“ wird (oben beginnend) der letzte mit „-“ bezeichnete Referenzwert und der erste mit „+“ bezeichnete Referenzwert gesucht und die Breite d2 als Differenz der beiden Referenzwerte berechnet. Analog wird d1 ermittelt und aus beiden Größen der Mittelwert $d = (d1 + d2) / 2$ berechnet. Schließlich wird $\%GRR = d / T \cdot 100\%$ berechnet.

Prüft das Prüfmittel nur gegen einen von zwei Grenzwerten, kann nur ein Unsicherheitsbereich der Breite d ermittelt werden, der unmittelbar zur Berechnung von %GRR verwendet wird.

Fähigkeitskriterium

Das Prüfmittel gilt als fähig, wenn $\%GRR \leq 10\%$, und als bedingt fähig, wenn $10\% < \%GRR \leq 30\%$ (analog zu Verfahren 2 und 3).

Andernfalls ist das Prüfmittel ungeeignet. Durch entsprechende Maßnahmen (z. B. Einweisung der Prüfer, richtige Handhabung, Konstruktionsänderung, alternatives Prüfmittel) ist der Prüfprozess zu verbessern. Ist das Ergebnis einer wiederholten Prüfung ebenfalls negativ, sind die Verfahren 1 – 3 einzusetzen.

Beispiel

Das nebenstehende Beispiel zeigt Prüfergebnisse einmal nach der laufenden Nummer der Prüfobjekte sortiert und einmal nach abnehmender Größe der Referenzwerte. Prüfobjekte mit nicht durchgängig übereinstimmender Bewertung sind grau markiert. Die Sortierung nach der Größe der Referenzwerte macht die Unsicherheitsbereiche klar erkennbar.

Oberer Unsicherheitsbereich (d2):

3,642 mm ist der kleinste Wert, der noch übereinstimmend mit „-“ bewertet wird; 3,626 mm ist der größte Wert, der noch übereinstimmend mit „+“ bewertet wird:

$$d2 = 3,642 \text{ mm} - 3,626 \text{ mm} \\ = 0,016 \text{ mm.}$$

Unterer Unsicherheitsbereich (d1):

3,570 mm ist der kleinste Wert, der noch übereinstimmend mit „+“ bewertet wird; 3,546 mm ist der größte Wert, der noch übereinstimmend mit „-“ bewertet wird:

$$d1 = 3,570 \text{ mm} - 3,546 \text{ mm} \\ = 0,024 \text{ mm.}$$

Mittelwert der Unsicherheitsbereiche (d):

$$d = (d2 + d1) / 2 \\ = (0,016 \text{ mm} + 0,024 \text{ mm}) / 2 \\ = 0,020 \text{ mm}$$

Vergleich- und Wiederholpräzision (%GRR):

$$\text{Mittelwert } d \text{ auf die Toleranz } T = 0,075 \text{ mm des Merkmals bezogen:} \\ \%GRR = d / T \cdot 100\% \\ = 0,020 \text{ mm} / 0,075 \text{ mm} \cdot 100\% \\ \%GRR = 26,7\%$$

Sortiert nach Prüfobjekt Nr.									
Prüfobjekt Nr.	Referenzwert kontinuierlich	Referenzwert diskretisiert	Prüfer A Durchlauf 1	Prüfer A Durchlauf 2	Prüfer A Durchlauf 3	Prüfer B Durchlauf 1	Prüfer B Durchlauf 2	Prüfer B Durchlauf 3	Code
1	3,632	+	-	-	-	+	+	-	X
2	3,649	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3,587	+	+	+	+	+	+	+	+
4	3,552	-	+	-	-	-	-	-	X
5	3,621	+	+	+	+	+	+	+	+
6	3,645	-	-	-	-	-	-	-	-
7	3,652	-	-	-	-	-	-	-	-
8	3,599	+	+	+	+	+	+	+	+
9	3,634	+	-	-	+	-	+	-	X
10	3,625	+	+	+	+	+	+	+	+
11	3,572	+	+	+	+	+	+	+	+
12	3,552	-	+	-	+	-	-	+	X
13	3,595	+	+	+	+	+	+	+	+
14	3,561	-	+	+	+	-	+	+	X
15	3,617	+	+	+	+	+	+	+	+
16	3,585	+	+	+	+	+	+	+	+
17	3,531	-	-	-	-	-	-	-	-
18	3,582	+	+	+	+	+	+	+	+
19	3,544	-	-	-	-	-	-	-	-
20	3,574	+	+	+	+	+	+	+	+
21	3,595	+	+	+	+	+	+	+	+
22	3,642	-	-	-	-	-	-	-	-
23	3,621	+	+	+	+	+	+	+	+
24	3,565	+	+	+	-	-	-	+	X
25	3,593	+	+	+	+	+	+	+	+
26	3,622	+	+	+	+	+	+	+	+
27	3,632	+	-	-	-	+	+	+	X
28	3,664	-	-	-	-	-	-	-	-
29	3,546	-	-	-	-	-	-	-	-
30	3,652	-	-	-	-	-	-	-	-
31	3,586	+	+	+	+	+	+	+	+
32	3,641	+	-	-	-	+	-	+	X
33	3,614	+	+	+	+	+	+	+	+
34	3,600	+	+	+	+	+	+	+	+
35	3,591	+	+	+	+	+	+	+	+
36	3,632	+	-	-	-	+	+	-	X
37	3,570	+	+	+	+	+	+	+	+
38	3,603	+	+	+	+	+	+	+	+
39	3,578	+	+	+	+	+	+	+	+
40	3,597	+	+	+	+	+	+	+	+
41	3,587	+	+	+	+	+	+	+	+
42	3,614	+	+	+	+	+	+	+	+
43	3,613	+	+	+	+	+	+	+	+
44	3,592	+	+	+	+	+	+	+	+
45	3,560	-	+	+	+	-	-	+	X
46	3,626	+	+	+	+	+	+	+	+
47	3,632	+	-	-	-	+	+	-	X
48	3,573	+	+	+	+	+	+	+	+
49	3,559	-	+	+	-	-	-	-	X
50	3,609	+	+	+	+	+	+	+	+

Sortiert nach Referenzwert									
Prüfobjekt Nr.	Referenzwert kontinuierlich	Referenzwert diskretisiert	Prüfer A Durchlauf 1	Prüfer A Durchlauf 2	Prüfer A Durchlauf 3	Prüfer B Durchlauf 1	Prüfer B Durchlauf 2	Prüfer B Durchlauf 3	Code
28	3,664	-	-	-	-	-	-	-	-
7	3,652	-	-	-	-	-	-	-	-
30	3,652	-	-	-	-	-	-	-	-
2	3,649	-	-	-	-	-	-	-	-
6	3,645	-	-	-	-	-	-	-	-
22	3,642	-	-	-	-	-	-	-	-
32	3,641	-	-	-	-	+	-	+	X
9	3,634	+	-	-	+	-	+	-	X
1	3,632	+	-	-	+	+	+	-	X
27	3,632	+	-	-	-	+	+	+	X
36	3,632	+	-	-	-	+	+	+	X
47	3,632	+	-	-	-	+	+	-	X
46	3,626	+	+	+	+	+	+	+	+
10	3,625	+	+	+	+	+	+	+	+
26	3,622	+	+	+	+	+	+	+	+
5	3,621	+	+	+	+	+	+	+	+
23	3,621	+	+	+	+	+	+	+	+
15	3,617	+	+	+	+	+	+	+	+
33	3,614	+	+	+	+	+	+	+	+
42	3,614	+	+	+	+	+	+	+	+
43	3,613	+	+	+	+	+	+	+	+
50	3,609	+	+	+	+	+	+	+	+
38	3,603	+	+	+	+	+	+	+	+
34	3,600	+	+	+	+	+	+	+	+
8	3,599	+	+	+	+	+	+	+	+
40	3,597	+	+	+	+	+	+	+	+
13	3,595	+	+	+	+	+	+	+	+
21	3,595	+	+	+	+	+	+	+	+
25	3,593	+	+	+	+	+	+	+	+
44	3,592	+	+	+	+	+	+	+	+
35	3,591	+	+	+	+	+	+	+	+
3	3,587	+	+	+	+	+	+	+	+
41	3,587	+	+	+	+	+	+	+	+
31	3,586	+	+	+	+	+	+	+	+
16	3,585	+	+	+	+	+	+	+	+
18	3,582	+	+	+	+	+	+	+	+
39	3,578	+	+	+	+	+	+	+	+
20	3,574	+	+	+	+	+	+	+	+
48	3,573	+	+	+	+	+	+	+	+
11	3,572	+	+	+	+	+	+	+	+
37	3,570	+	+	+	+	+	+	+	+
24	3,565	+	+	+	-	-	-	-	X
14	3,561	-	+	+	+	-	+	+	X
45	3,560	-	+	+	+	-	-	+	X
49	3,559	-	+	+	-	-	-	-	X
4	3,552	-	+	-	-	-	-	-	X
12	3,552	-	+	-	-	+	-	+	X
29	3,546	-	-	-	-	-	-	-	-
19	3,544	-	-	-	-	-	-	-	-
17	3,531	-	-	-	-	-	-	-	-

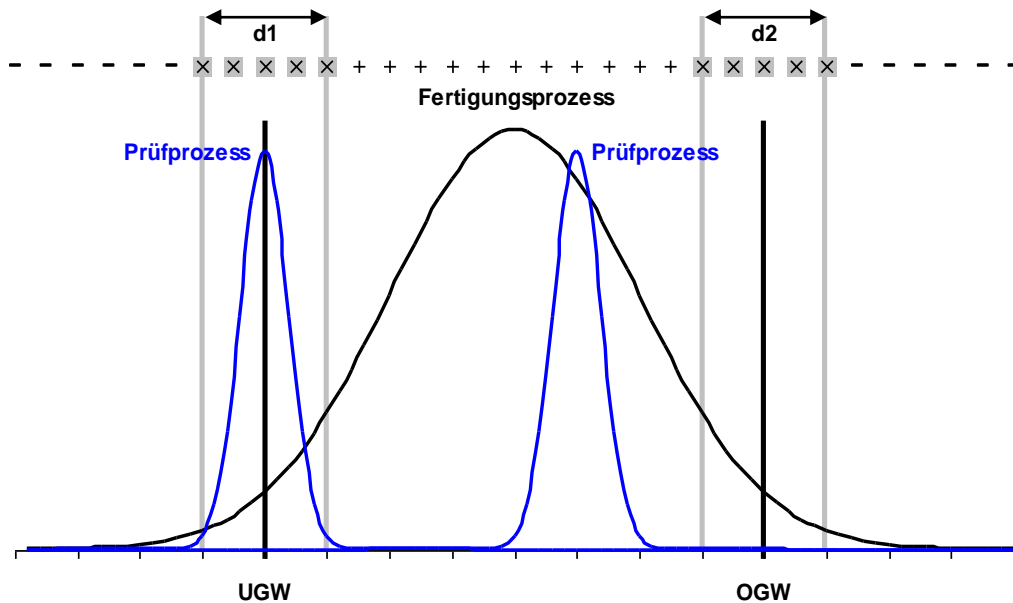
d2

d1



Erläuterung

Die Streuung des Fertigungsprozesses, d.h. der Merkmalswerte, und die Streuung des Messprozesses, d.h. der (kontinuierlichen) Messergebnisse für zwei verschiedene Merkmalswerte, werde durch die Verteilungskurven im nachstehenden Diagramm dargestellt:



Es ist plausibel, dass bei einem Merkmalswert in ausreichend großem Abstand zu den Grenzwerten alle Messergebnisse zu einem übereinstimmenden (diskreten) Prüfergebnis führen (d.h. „innerhalb Toleranz“ im dargestellten Beispiel). Hingegen sind bei einem Merkmalswert in hinreichender Nähe zu einem Grenzwert Messergebnisse zu erwarten, die zu keinem eindeutigen Prüfergebnis führen (d.h. die einzelnen Messergebnisse liegen teilweise innerhalb, teilweise außerhalb des Toleranzbereichs). Die Ausdehnung des Merkmalswertebereiches ohne eindeutiges Prüfergebnis (d_1 , d_2) ist daher als Schätzwert für die Streubreite des (diskreten) Prüfprozesses geeignet und damit als Wiederhol- und Vergleichpräzision GRR interpretierbar.



	<h2 style="margin: 0;">Messsystemanalyse</h2> <h3 style="margin: 0;">Verfahren 6 (Diskrete Merkmale)</h3>	Blatt 1 / 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Bereich : MSE3 Gruppe/Abt. : MOE7 Werkstatt/Ber. : W450 Erzeugnis : Düse Teil : Nadel Sachnummer : 0 433 392 425 Änd.-Stand : 20.01.2019	Arbeitsgang : Schleifen Innendurchm. Masch.-Bez. : BOKO 3 Masch.-Nr. : 1003954 Prüfplatz : JML0782W001 Prüfmittel : LG_4H7N1 Prfm.-Nr. : 67027025840013 Prfm.-Herst. : BaP Auflösung : 0,002	Merkmalsbez. : Innendurchmesser Merkmal Nr. : 1 Nennmaß : 3,600 Unt. Abmaß : -0,0375 Ob. Abmaß : 0,0375 Toleranz : 0,075 Einheit : mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Kommentar :																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Normal Bez.: Normal Nr.: Normal-/Referenzwert:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <thead> <tr> <th>n</th> <th>Ref. 1</th> <th>x_{A;1}</th> <th>x_{A;2}</th> <th>x_{A;3}</th> <th>x_{B;1}</th> <th>x_{B;2}</th> <th>x_{B;3}</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3,6320</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>3,6490</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>3,5870</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>3,5520</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>3,6210</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>3,6450</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>3,6520</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>3,5990</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>3,6340</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>3,6250</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>3,5720</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>3,5520</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>3,5950</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>3,5610</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>3,6170</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>3,5850</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>3,5310</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>3,5820</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>3,5440</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>3,5740</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td>3,5950</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>3,6420</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td>3,6210</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>3,5650</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>3,5930</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>3,6220</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td>3,6320</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>3,6640</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td>3,5460</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>3,6520</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>31</td><td>3,5860</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>32</td><td>3,6410</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>33</td><td>3,6140</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>34</td><td>3,6000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>35</td><td>3,5910</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36</td><td>3,6320</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>37</td><td>3,5700</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>38</td><td>3,6030</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>39</td><td>3,5780</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td>3,5970</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>41</td><td>3,5870</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>42</td><td>3,6140</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>43</td><td>3,6130</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>44</td><td>3,5920</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td>3,5600</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>46</td><td>3,6260</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>47</td><td>3,6320</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>48</td><td>3,5730</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>49</td><td>3,5590</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>3,6090</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	n	Ref. 1	x _{A;1}	x _{A;2}	x _{A;3}	x _{B;1}	x _{B;2}	x _{B;3}		1	3,6320								2	3,6490								3	3,5870								4	3,5520								5	3,6210								6	3,6450								7	3,6520								8	3,5990								9	3,6340								10	3,6250								11	3,5720								12	3,5520								13	3,5950								14	3,5610								15	3,6170								16	3,5850								17	3,5310								18	3,5820								19	3,5440								20	3,5740								21	3,5950								22	3,6420								23	3,6210								24	3,5650								25	3,5930								26	3,6220								27	3,6320								28	3,6640								29	3,5460								30	3,6520								31	3,5860								32	3,6410								33	3,6140								34	3,6000								35	3,5910								36	3,6320								37	3,5700								38	3,6030								39	3,5780								40	3,5970								41	3,5870								42	3,6140								43	3,6130								44	3,5920								45	3,5600								46	3,6260								47	3,6320								48	3,5730								49	3,5590								50	3,6090								<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Zeichnungswerte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OSG</td> <td>= 3,63750</td> </tr> <tr> <td>USG</td> <td>= 3,56250</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>= 0,07500</td> </tr> <tr> <td>Anzahl Referenzmessungen</td> <td>= 1</td> </tr> <tr> <td>Anzahl der Referenzteile</td> <td>= 50</td> </tr> <tr> <td>Anzahl der Prüfer</td> <td>= 2</td> </tr> <tr> <td>Anzahl der Prüfdurchläufe</td> <td>= 3</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Attributive Übereinstimmungsanalyse</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Anzahl der Nicht-Übereinstimmungen</td> <td>n_{<} = 12</td> </tr> <tr> <td></td> <td>n_{max<} = 0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>n'_{max<} = 1</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Methode der Signalerkennung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bereich der Nicht-Übereinstimmung</td> <td>d_{OSG} = 0,01600</td> </tr> <tr> <td>Bereich der Nicht-Übereinstimmung</td> <td>d_{USG} = 0,02400</td> </tr> <tr> <td>Mittl. Bereich d. Nicht-Übereinstimmung</td> <td>d = 0,02000</td> </tr> <tr> <td>Prüfsystemstreuung</td> <td>%GRR = 26,67%</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;"> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Hypothesentests</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kappa_{FI}</td> <td>K'FI = 0,6060</td> </tr> <tr> <td>Kappa_{Co}</td> <td>K'Co = 0,6063</td> </tr> <tr> <td>Kappa_{min}</td> <td>K'min = ---</td> </tr> </tbody> </table>	Zeichnungswerte		OSG	= 3,63750	USG	= 3,56250	T	= 0,07500	Anzahl Referenzmessungen	= 1	Anzahl der Referenzteile	= 50	Anzahl der Prüfer	= 2	Anzahl der Prüfdurchläufe	= 3	Attributive Übereinstimmungsanalyse		Anzahl der Nicht-Übereinstimmungen	n _{<} = 12		n _{max<} = 0		n' _{max<} = 1	Methode der Signalerkennung		Bereich der Nicht-Übereinstimmung	d _{OSG} = 0,01600	Bereich der Nicht-Übereinstimmung	d _{USG} = 0,02400	Mittl. Bereich d. Nicht-Übereinstimmung	d = 0,02000	Prüfsystemstreuung	%GRR = 26,67%	Hypothesentests		Kappa _{FI}	K'FI = 0,6060	Kappa _{Co}	K'Co = 0,6063	Kappa _{min}	K'min = ---
n	Ref. 1	x _{A;1}	x _{A;2}	x _{A;3}	x _{B;1}	x _{B;2}	x _{B;3}																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	3,6320																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2	3,6490																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3	3,5870																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
4	3,5520																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
5	3,6210																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
6	3,6450																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
7	3,6520																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
8	3,5990																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
9	3,6340																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
10	3,6250																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
11	3,5720																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
12	3,5520																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
13	3,5950																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
14	3,5610																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
15	3,6170																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
16	3,5850																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
17	3,5310																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
18	3,5820																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
19	3,5440																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
20	3,5740																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
21	3,5950																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
22	3,6420																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
23	3,6210																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
24	3,5650																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
25	3,5930																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
26	3,6220																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
27	3,6320																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
28	3,6640																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
29	3,5460																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
30	3,6520																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
31	3,5860																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
32	3,6410																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
33	3,6140																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
34	3,6000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
35	3,5910																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
36	3,6320																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
37	3,5700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
38	3,6030																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
39	3,5780																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
40	3,5970																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
41	3,5870																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
42	3,6140																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
43	3,6130																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
44	3,5920																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
45	3,5600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
46	3,6260																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
47	3,6320																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
48	3,5730																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
49	3,5590																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
50	3,6090																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Zeichnungswerte																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
OSG	= 3,63750																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
USG	= 3,56250																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
T	= 0,07500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Anzahl Referenzmessungen	= 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Anzahl der Referenzteile	= 50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Anzahl der Prüfer	= 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Anzahl der Prüfdurchläufe	= 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Attributive Übereinstimmungsanalyse																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Anzahl der Nicht-Übereinstimmungen	n _{<} = 12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	n _{max<} = 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	n' _{max<} = 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Methode der Signalerkennung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Bereich der Nicht-Übereinstimmung	d _{OSG} = 0,01600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Bereich der Nicht-Übereinstimmung	d _{USG} = 0,02400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Mittl. Bereich d. Nicht-Übereinstimmung	d = 0,02000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Prüfsystemstreuung	%GRR = 26,67%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Hypothesentests																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Kappa _{FI}	K'FI = 0,6060																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Kappa _{Co}	K'Co = 0,6063																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Kappa _{min}	K'min = ---																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					



5.2 Verfahren 7: Prüfentscheide bei diskreten und diskretisierten kontinuierlichen Merkmalen

Ziel

Bewertung der Fähigkeit eines Prüfprozesses bezüglich eindeutiger Prüfentscheide bei diskreten oder diskretisierten kontinuierlichen Merkmalen.

ANMERKUNG: Das Verfahren ist mit und ohne kontinuierliche Referenzwerte durchführbar.

Verfahrensbeschreibung

Die Untersuchung wird mittels eines Referenzloses durchgeführt, das sich aus Referenzteilen zusammensetzt, deren diskrete Merkmalswerte vor Beginn der Prüfung ermittelt und dokumentiert werden.

- **Referenzteile mit kontinuierlichen Merkmalswerten**

Sofern kontinuierliche Merkmalswerte der Referenzteile ermittelt werden können, müssen diese durch Messung ermittelt werden. Die den Messwerten zugeordnete erweiterte Messunsicherheit U muss bekannt sein. Es werden Referenzteile benötigt, deren Merkmalswerte einen Bereich überdecken, der etwas unterhalb von $UGW - U$ beginnt und etwas oberhalb von $OGW + U$ endet. Das Messergebnis zu jedem Referenzteil wird dokumentiert.

Anschließend wird jedes Referenzteil entsprechend seinem Messergebnis einer zählbaren Kategorie eindeutig zugeordnet (Diskretisierung) und das Ergebnis dokumentiert: z. B. „innerhalb Toleranz / außerhalb Toleranz“ oder „gut“ / „schlecht“ oder entsprechende numerische Codes wie z. B. „1“ / „0“.

- **Referenzteile mit diskreten Merkmalswerten**

Vergleichsstandard (Grenzmusterkatalog): Zur wiederholbar eindeutigen Identifikation bestimmter Eigenschaften (Attribute) von Prüfobjekten ist ein Vergleichsstandard (Grenzmusterkatalog) erforderlich, gegen den die Prüfobjekte verglichen werden. Dabei handelt es sich um eine Dokumentation aller Eigenschaften von Prüfobjekten, die der Prüfprozess identifizieren soll. Der Katalog kann als Sammlung physikalisch existenter Teile mit entsprechenden Eigenschaften realisiert sein oder als Sammlung entsprechender fotografischer Abbildungen bei Sichtprüfungen, als Sammlung von Klangmustern bei akustischen Prüfungen usw.

Einordnung in Kategorien: Sofern keine kontinuierlichen Merkmalswerte der Referenzteile ermittelt werden können (z. B. bei Sichtprüfungen), wird jedes Referenzteil entsprechend seinen Eigenschaften (Attributen) anhand des Vergleichsstandards (Grenzmusterkatalog) einer zählbaren Kategorie eindeutig zugeordnet und das Ergebnis dokumentiert: z. B. „gut“ / „schlecht“ oder entsprechende numerische Codes wie z. B. „1“ / „0“.

Anzahl Kategorien: Mehr als zwei Kategorien sind möglich: z. B. „gut“ / „nacharbeiten“ / „schlecht“ oder entsprechende numerische Codes wie z. B. „2“ / „1“ / „0“. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass mehrstufige Bewertungen (vgl. Anhang G.4) anstelle mehrerer Kategorien in der Regel zu zuverlässigeren Ergebnissen führen.

- **Referenzlos (Master)**

Losgröße: Der Losumfang sollte so groß wie möglich gewählt werden (100 bis 200 Referenzteile empfohlen, nach [AIAG MSA] mindestens 50 Referenzteile erforderlich). Der Losumfang sollte sich am Optimum zwischen teilweise gegensätzlichen Rahmenbedingungen wie z. B. Anforderungen an die statistische Aussagekraft der Prüfung, vertretbarer Aufwand, verfügbare Kapazität und Wirtschaftlichkeit orientieren.

Zusammensetzung: Im Referenzlos müssen alle für die Prüfung relevanten Eigenschaften vertreten sein, d.h. alle Eigenschaften, die der Prüfprozess identifizieren soll. Das Referenzlos sollte entsprechend der aktuellen Häufigkeit der einzelnen Eigenschaften in der Produktionsmenge zusammengestellt werden, z. B. nach Pareto-Analyse über das letzte Produktionsintervall (letzte 3 Monate empfohlen).

Identifizierbarkeit: Jedes Referenzteil im Los muss eindeutig identifizierbar sein, so dass die korrekte Zuordnung zugehöriger Daten stets gewährleistet ist. Diese Anforderung muss in einer Form umgesetzt werden, die es nur autorisiertem Personal erlaubt, das Referenzteil zu identifizieren, nicht aber dem Prüfpersonal. Mögliche Realisierungen sind z. B. 2D-Bar-Codes, komplexe Zahlen-Codes, nur unter UV-Licht sichtbare Beschriftungen.



• Durchführung der Prüfung

Die Referenzteile werden als Prüfobjekte eingesetzt und in zufälliger, dem Prüfpersonal unbekannter Reihenfolge mit dem (z. B. nach Prüfplan) festgelegten Prüfmittel und Prüfverfahren oder einer automatisierten Prüfeinrichtung unter Serienbedingungen bewertet, indem sie einer Bewertungskategorie zugeordnet werden. Das Prüfpersonal muss angemessen geschult und eingewiesen sein.

Können die Bewertungen durch Handhabung und/oder Subjektivität des Prüfpersonals beeinflusst werden (z. B. bei manuellen Lehren- bzw. Sichtprüfungen), müssen die Prüfobjekte von mehreren (mindestens 3) Prüfern beurteilt werden, jeweils in mehreren (mindestens 3) Prüfdurchläufen.

Spiegeln Handhabung und/oder Subjektivität keine Rolle (z. B. bei Prüfautomaten), müssen die Prüfobjekte in mehreren (empfohlen mindestens 6) Prüfdurchläufen geprüft werden.

Die Reihenfolge der Prüfobjekte ist in beiden Fällen für jeden Prüfdurchlauf nach dem Zufallsprinzip neu zu wählen. Die Prüfergebnisse werden dokumentiert.

Auswertung

Die Eindeutigkeit der Prüfentscheidung wird anhand paarweiser Übereinstimmungen der einzelnen Prüfergebnisse bewertet. Als quantitatives Maß wird die Kenngröße κ („Kappa“) verwendet:

$$\kappa = \frac{\text{Beobachtete, nicht zufällige Übereinstimmungen}}{\text{Mögliche, nicht zufällige Übereinstimmungen}}$$

Einzelheiten der Berechnung werden im Anhang G dargestellt.

Die Auswertung umfasst folgende Vergleiche mit den jeweils zugehörigen Kenngrößen κ :

- Innerhalb der Prüfer: Vergleich aller Prüfdurchläufe eines Prüfers ohne Vergleich gegen die Referenz (Wiederholpräzision, engl. *repeatability*),
- Zwischen den Prüfern: Vergleich aller Prüfdurchläufe aller Prüfer ohne Vergleich gegen die Referenz (Vergleichpräzision, engl. *reproducibility*),
- Jeder Prüfer (jeweils mit allen Prüfdurchläufen) im Vergleich gegen die Referenz,
- Alle Prüfer (jeweils mit allen Prüfdurchläufen) im Vergleich gegen die Referenz.

Die Auswertung erfolgt abweichend von der [AIAG MSA] nach Fleiss' Kappa-Statistik [Fleiss], die allgemeiner anwendbar ist. Sollte die Auswertung nach Cohen's Kappa-Statistik gemäß [AIAG MSA] ausdrücklich gefordert sein (z. B. aufgrund von Kundenforderungen), ist nach [AIAG MSA] vorzugehen.

ANMERKUNG 1: Ergänzende Dokumentation zu den Themen „Kreuztabellenmethode“ und „Auswertung nach [AIAG MSA]“ ist bei C/QMM und über die C/QMM-Intranet-Seiten erhältlich.

ANMERKUNG 2: Bei Auswertung nach [AIAG MSA] sind die Vergleiche „Innerhalb der Prüfer“ nicht vorgesehen und „Alle Prüfer gegen Referenz“ nicht möglich.

Fähigkeitskriterium

Die Fähigkeit wird anhand der Kenngröße κ („Kappa“) bewertet

- $\kappa \geq 0,9$ Prüfprozess fähig
- $0,9 > \kappa \geq 0,7$ Prüfprozess bedingt fähig
- $\kappa < 0,7$ Prüfprozess nicht fähig (ungeeignet)

Für die Gesamtbewertung ist das Minimum aller ermittelten κ -Werte relevant.

Ist der Prüfprozess bedingt fähig oder nicht fähig, ist der Prüfprozess durch geeignete Maßnahmen zu verbessern (z. B. Einweisung der Prüfer, richtige Handhabung, Konstruktionsänderung, alternative Prüfmittel).



© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



Verfahren 7: Prüfdaten

Protokoll Nr. 9911015, Blatt 2 von 2

Prüfobjekt Nr.	Referenzwert (kontinuierlich)	Referenzwert (diskret oder diskretisiert)	Prüfer (Kurzbezeichnung) – Prüfdurchlauf (Lfd. Nummer)											
			Müller			Mayer			Huber					
			A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3			
1	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
2	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
3	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6	n/a	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0			
7	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1			
8	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
9	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
11	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
12	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
13	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
14	n/a	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0			
15	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
16	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
17	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
18	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
19	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
20	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
21	n/a	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0			
22	n/a	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0			
23	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
24	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
25	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
26	n/a	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1			
27	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
28	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
29	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
30	n/a	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0			
31	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
32	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
33	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
34	n/a	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1			
35	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
36	n/a	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1			
37	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
38	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
39	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
40	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
41	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
42	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
43	n/a	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0			
44	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
45	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
46	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
47	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
48	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
49	n/a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
50	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Bewertungskategorien: 0 - Nicht in Ordnung; 1 - In Ordnung

n/a - nicht anwendbar



5.3 Hinweise zur Stabilitätsüberwachung und Wiederholung des Fähigkeitsnachweises

[AIAG MSA] enthält weder eine Empfehlung noch eine Methode zur Überwachung der Langzeitstabilität von Prüfprozessen für diskrete Merkmale. Der Gedanke ist naheliegend, analog zu Verfahren 5 vorzugehen und für diese Prüfprozesse Stabilitätskarten ähnlich den np- oder p-Karten bei SPC-Prozessen einzusetzen (vgl. [AIAG SPC]). Allerdings sind für diese Karten in der Regel Stichprobenumfänge der Größenordnung $n > 50$ erforderlich, so dass sich beim Prüfaufwand kein Vorteil gegenüber der Wiederholung der Fähigkeitsuntersuchung ergibt.

[AIAG MSA] enthält jedoch auch keine Hinweise oder Empfehlungen zu Zeitintervallen, in denen Fähigkeitsuntersuchungen wiederholt werden sollen. Gängige Praxis ist, die Fehlerquote des Fertigungsprozesses zu überwachen und bei signifikanten Veränderungen die Fähigkeit des Prüfprozesses erneut nachzuweisen. Dabei muss man sich jedoch im Klaren sein, dass Änderungen der Fehlerquote sowohl durch Veränderung des Prüfprozesses als auch durch Veränderung des Fertigungsprozesses verursacht werden können, also kein eindeutiger Hinweis sind.

Sofern eine Möglichkeit besteht, diskrete Merkmale im Rahmen nachfolgender Prozessschritte (indirekt und möglichst anhand eines kontinuierlichen Merkmals) zu überwachen, sollte diese Möglichkeit zusätzlich oder alternativ genutzt werden.

Weiter sind die folgenden Kriterien typische Beispiele, die einen erneuten Fähigkeitsnachweis erforderlich machen können:

- nach Justage der Prüfeinrichtung oder von Komponenten der Prüfeinrichtung (z. B. Kamera für Sichtprüfungen im Rahmen der Prüfmittelüberwachung);
- bei Wiederinbetriebnahme nach Wartungsarbeiten, bei denen umfangreiche Demontagen, Umbauten oder der Austausch wesentlicher Teile (z. B. Kamera für Sichtprüfungen) erforderlich waren;
- bei Inbetriebnahme neuer, überholter oder instandgesetzter Prüfeinrichtungen;
- bei (nachträglichen) Toleranzeinschränkungen bei diskretisierten kontinuierlichen Merkmalen;
- bei technischen Änderungen (z. B. Aufbau, Software) der Prüfeinrichtung;
- bei Ergänzungen und wesentlichen Änderungen des Vergleichsstandards (Grenzmusterkatalog);
- bei Veränderung von Randbedingungen im Prüfprozess (z. B. Abläufe, Prüfstrategie), die Einfluss auf die Prüfprozessfähigkeit haben können;
- bei Veränderungen beim Prüfpersonal (z. B. neue Mitarbeiter);
- bei Verdacht, dass die Prüfeinrichtung nicht fehlerfrei arbeitet;
- im Bedarfsfall vor und zwingend nach der Verlagerung von Prüfeinrichtungen.

Im Zweifelsfall ist die Prüfprozessanalyse zu wiederholen und die Fähigkeit erneut nachzuweisen.

6 Bewertung nicht fähiger Mess- und Prüfprozesse

Bei Mess- und Prüfprozessen, für die der Nachweis unbedingter Fähigkeit nicht möglich ist, ist folgendes Vorgehen sinnvoll:

- Ursachenanalyse (z. B. Ursache-Wirkung-Diagramm, 5 x Warum);
- Bewertung und Abstimmung zwischen Fertigung und Entwicklung (z. B. Toleranzen, Fertigungskonzept, Messstrategie);
- Nutzung von FMEA-Ergebnissen, die zum Merkmal verfügbar sind;
- Dokumentation von Maßnahmen (z. B. im Kontrollplan).

Es muss nachvollziehbar dargelegt werden, dass die Einhaltung der geforderten Spezifikation gewährleistet und erforderlichenfalls mit dem Kunden abgestimmt ist.

Dabei kann das Formblatt im Anhang B (Seite 40ff) unterstützen zu entscheiden, ob eine Freigabe mit Auflagen zu verantworten ist.



Anhang

A Beispiele für Check-Listen zur Messprozessanalyse

Messprozessanalyse			
Anlage 1: Checkliste zur Planung und Optimierung eines Messprozesses			
	Geprüft	i.O.	Maßnahmen
Messeinrichtung, Einstellnormale			
Mess-, Spann-, Niederhaltekräfte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Messorte, Definition Messstellen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Aufnahmen, Fluchtung Prüfling Messtaster	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Antastelemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Führungen, Reibung, Verschleiß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Positionierung, Verkipfung Prüfling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Messablauf; Warmlaufphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Güte des Normals/der Normale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Messverfahren, -strategie			
Antastend, berührungslos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	_____
Bezugselement, Basis für Aufnahme	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	_____
Messgeschwindigkeit, Einschwingzeit	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	_____
Mehrpunktmessung bzw. Scan anstelle Einzelmesswerte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Mittelwert aus Wiederholungsmessungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Auswertebereiche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Mess-, Statistik-Software	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Kalibrierkette	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Einstellverfahren (z.B. vor jeder Messung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Umgebungsbedingungen			
Erschütterungen, Schwingungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Staub, Ölnebel, Zugluft, Feuchtigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Temperaturschwankungen, Sonneneinstrahlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Elektrische Störungen, Spannungsspitzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Energieschwankungen (Luft, Strom)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Messobjekt			
Sauberkeit, Waschrückstände	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Oberflächenbeschaffenheit, Grate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Formfehler, Bezugsbasis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Materialeigenschaften (z.B. Temperaturkoeffizient)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Bediener, Verfahrensanweisung			
Einweisung, Schulung, Sorgfalt, Handhabung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Sauberkeit (Handfett), Wärmeübertragung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
...			



Messprozessanalyse		
Anlage 2: Checkliste zur Messmittelauswahl		
	Geprüft	i.O. Maßnahmen
Auflösung < 5%	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> _____
Linear messende Messeinrichtung eingesetzt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Absolut messende Messeinrichtung eingesetzt? (digital inkremental anstelle analog induktiv)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Robustere Messeinrichtung (Lagerung, Führung, Messhebel, Übertragungselemente, Fixierung) einsetzbar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Bedienerunabhängige Messeinrichtung einsetzbar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Neue (berührungslose) Messverfahren einsetzbar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Verfügen die Messsysteme über Schnittstellen zur automatischen Datenübertragung (AQDEF Format)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Geeigneter Messeinrichtung verfügbar/beschaffbar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
...		

Messprozessanalyse		
Anlage 3: Checkliste zur Merkmals- und Toleranzbetrachtung		
	Geprüft	i.O. Maßnahmen
Einfluss des Merkmals auf Funktion des Erzeugnisteils (z.B. DRBFM und/oder FMEA berücksichtigt? Merkmalsauslegung gewährleistet Funktion?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Alternatives Merkmal als "Ersatz" (z.B. Dichtheit anstelle Rundheit)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Auswirkungen des alternativen Merkmals auf Prozess- fähigkeit und Prozessregelung (Funktion, Zuverlässigkeit)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Toleranzanpassung (z.B. durch statistische Tolerierung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Alternative Materialien / Stoffe einsetzbar?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Alternativer Fertigungsprozess oder -parameter einsetzbar? (z.B. DoE und/oder geeignete Versuchsreihen durchgeführt?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Abstimmung mit		
Fertigungsplanung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Fertigung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Qualitätsmanagement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Entwicklung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Vertrieb und/oder Kunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
Einkauf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> _____
...		



B Formblätter zur manuellen Auswertung

Hinweis: Die Formblätter für Verfahren 1 – 3 und 5 – 6 entsprechen den Formblättern in der vorausgehenden Ausgabe von Heft 10. Die Verwendung wird nicht empfohlen. Software-gestützter Auswertung sollte der Vorzug gegeben werden.

 BOSCH Qualitätsmanagement	Messprozessanalyse Verfahren 1	Protokoll Nr.: 9911015 Blatt Nr. 1 von 1																																																																						
Messmittel Standort: W025 Bezeichnung: Längenmessgerät Messmittel Nr.: JML9Q002 Auflösung: 0,001 mm	Merkmal Messobjekt: Welle Zeichnung Nr.: 1460320000 Merkmalsbezeichnung: Außendurchmesser Nennwert: 6,000 mm Toleranz: 0,060 mm	Normal Bezeichnung: Einstellzylinder Messmittel Nr.: LY8N 6,000 Nr. 1 Referenzwert x_m : 6,0020 mm Unsicherheit U_{kal} : 0,0005 mm																																																																						
Messverfahren: Manuelle Handhabung; Messstelle Mitte Zylinder; Raumtemperatur 20,2°C																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Tabellenwerte in: mm</th> <th colspan="6">Abweichungen von: -</th> </tr> <tr> <th>1 - 5</th><th>6 - 10</th><th>11 - 15</th><th>16 - 20</th><th>21 - 25</th><th>26 - 30</th><th>31 - 35</th><th>36 - 40</th><th>41 - 45</th><th>46 - 50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6,001</td><td>6,001</td><td>6,001</td><td>6,002</td><td>6,002</td><td>6,001</td><td>6,000</td><td>6,001</td><td>6,000</td><td>6,002</td></tr> <tr><td>6,002</td><td>6,001</td><td>6,000</td><td>6,002</td><td>6,000</td><td>6,001</td><td>6,001</td><td>6,000</td><td>6,001</td><td>6,001</td></tr> <tr><td>6,001</td><td>6,000</td><td>6,001</td><td>6,002</td><td>5,999</td><td>6,000</td><td>6,001</td><td>6,000</td><td>6,002</td><td>6,002</td></tr> <tr><td>6,001</td><td>5,999</td><td>6,002</td><td>6,002</td><td>6,002</td><td>5,999</td><td>6,002</td><td>5,999</td><td>6,001</td><td>6,001</td></tr> <tr><td>6,002</td><td>6,001</td><td>6,002</td><td>6,000</td><td>6,002</td><td>5,999</td><td>6,001</td><td>5,999</td><td>6,002</td><td>6,001</td></tr> </tbody> </table> 			Tabellenwerte in: mm				Abweichungen von: -						1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30	31 - 35	36 - 40	41 - 45	46 - 50	6,001	6,001	6,001	6,002	6,002	6,001	6,000	6,001	6,000	6,002	6,002	6,001	6,000	6,002	6,000	6,001	6,001	6,000	6,001	6,001	6,001	6,000	6,001	6,002	5,999	6,000	6,001	6,000	6,002	6,002	6,001	5,999	6,002	6,002	6,002	5,999	6,002	5,999	6,001	6,001	6,002	6,001	6,002	6,000	6,002	5,999	6,001	5,999	6,002	6,001
Tabellenwerte in: mm				Abweichungen von: -																																																																				
1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30	31 - 35	36 - 40	41 - 45	46 - 50																																																															
6,001	6,001	6,001	6,002	6,002	6,001	6,000	6,001	6,000	6,002																																																															
6,002	6,001	6,000	6,002	6,000	6,001	6,001	6,000	6,001	6,001																																																															
6,001	6,000	6,001	6,002	5,999	6,000	6,001	6,000	6,002	6,002																																																															
6,001	5,999	6,002	6,002	6,002	5,999	6,002	5,999	6,001	6,001																																																															
6,002	6,001	6,002	6,000	6,002	5,999	6,001	5,999	6,002	6,001																																																															
Referenzwert x_m = 6,0020 mm Mittelwert \bar{x} = 6,0009 mm Standardabweichung s = 0,0010 mm																																																																								
Auflösung $\leq 5\% T$? <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein																																																																								
Systematische Messabweichung: Für $n = 25$ ist die systematische Abweichung signifikant, wenn $ \bar{x} - x_m > 0,413 \cdot s$ Für $n = 50$ ist die systematische Abweichung signifikant, wenn $ \bar{x} - x_m > 0,284 \cdot s$ $ \bar{x} - x_m = 0,0011 \text{ mm}$ $0,413 \cdot s = 0,00041 \text{ mm}$ $0,284 \cdot s = 0,00028 \text{ mm}$ <input type="checkbox"/> nicht signifikant <input checked="" type="checkbox"/> signifikant <input type="checkbox"/> nicht bewertet																																																																								
Fähigkeitsindizes: $C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s} = \frac{0,2 \cdot 0,06 \text{ mm}}{6 \cdot 0,001 \text{ mm}} = 2,01$ $C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x} - x_m }{3 \cdot s} = \frac{(0,1 \cdot 0,06 - 6,0009 - 6,002) \text{ mm}}{3 \cdot 0,001 \text{ mm}} = 1,64$ $C_g \geq 1,33$ und $C_{gk} \geq 1,33$? <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein																																																																								
Bemerkungen: Die systematische Messabweichung ist nicht korrigierbar																																																																								
Datum: 29.02.2009 Abteilung: W025 Name: Mustermann Unterschrift:																																																																								



 BOSCH Qualitätsmanagement	<h2 style="margin: 0;">Messprozessanalyse</h2> <h3 style="margin: 0;">Verfahren 2</h3>	Protokoll Nr.: <div style="text-align: center; color: blue;">9911015</div> Blatt Nr. 2 von 2																																																																																																																																																																																								
Messmittel Standort: W025 Bezeichnung: Längenmessgerät Messmittel Nr.: JML9Q002 Auflösung: 0,001 mm	Merkmal Messobjekt: Welle Zeichnung Nr.: 1460320000 Merkmalsbezeichnung: Außendurchmesser Nennwert: 6,000 mm Toleranz: 0,060 mm																																																																																																																																																																																									
Ergebnis Verfahren 1: $C_g =$ 2,01 $C_{gk} =$ 1,64 Protokoll / Blatt / Datum: 9911015 / 1 / 29.02.2009																																																																																																																																																																																										
Messverfahren: Manuelle Handhabung; Messstelle Mitte Zylinder; Raumtemperatur 20,2°C																																																																																																																																																																																										
Messdaten Tabellenwerte in mm Abweichungen von —																																																																																																																																																																																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <tr> <th></th> <th colspan="3" style="color: blue;">Prüfer A: Hr. Wiegand</th> <th colspan="3" style="color: blue;">Prüfer B: Fr. Kunze</th> <th colspan="3" style="color: blue;">Prüfer C: Hr. Hagedorn</th> <th></th> </tr> <tr> <th>Messobjekt Nr.</th> <th>Messreihe 1</th> <th>Messreihe 2</th> <th>Spannweite $R_{A,i}$</th> <th>Messreihe 1</th> <th>Messreihe 2</th> <th>Spannweite $R_{B,i}$</th> <th>Messreihe 1</th> <th>Messreihe 2</th> <th>Spannweite $R_{C,i}$</th> <th>Mittelwert \bar{x}_i</th> </tr> <tr><td>1</td><td>6,029</td><td>6,030</td><td>0,001</td><td>6,033</td><td>6,032</td><td>0,001</td><td>6,031</td><td>6,030</td><td>0,001</td><td>6,031</td></tr> <tr><td>2</td><td>6,019</td><td>6,020</td><td>0,001</td><td>6,020</td><td>6,019</td><td>0,001</td><td>6,020</td><td>6,020</td><td>0,000</td><td>6,020</td></tr> <tr><td>3</td><td>6,004</td><td>6,003</td><td>0,001</td><td>6,007</td><td>6,007</td><td>0,000</td><td>6,010</td><td>6,006</td><td>0,004</td><td>6,006</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,982</td><td>5,982</td><td>0,000</td><td>5,985</td><td>5,986</td><td>0,001</td><td>5,984</td><td>5,984</td><td>0,000</td><td>5,984</td></tr> <tr><td>5</td><td>6,009</td><td>6,009</td><td>0,000</td><td>6,014</td><td>6,014</td><td>0,000</td><td>6,015</td><td>6,014</td><td>0,001</td><td>6,013</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,971</td><td>5,972</td><td>0,001</td><td>5,973</td><td>5,972</td><td>0,001</td><td>5,975</td><td>5,974</td><td>0,001</td><td>5,973</td></tr> <tr><td>7</td><td>5,995</td><td>5,997</td><td>0,002</td><td>5,997</td><td>5,996</td><td>0,001</td><td>5,995</td><td>5,994</td><td>0,001</td><td>5,996</td></tr> <tr><td>8</td><td>6,014</td><td>6,018</td><td>0,004</td><td>6,019</td><td>6,015</td><td>0,004</td><td>6,016</td><td>6,015</td><td>0,001</td><td>6,016</td></tr> <tr><td>9</td><td>5,985</td><td>5,987</td><td>0,002</td><td>5,987</td><td>5,986</td><td>0,001</td><td>5,987</td><td>5,986</td><td>0,001</td><td>5,986</td></tr> <tr><td>10</td><td>6,024</td><td>6,028</td><td>0,004</td><td>6,029</td><td>6,025</td><td>0,004</td><td>6,026</td><td>6,025</td><td>0,001</td><td>6,026</td></tr> <tr> <td>$\bar{x}_A =$</td> <td colspan="2">6,0039</td> <td>$\bar{R}_A =$</td> <td colspan="2">0,0016</td> <td>$\bar{x}_B =$</td> <td colspan="2">6,0058</td> <td>$\bar{R}_B =$</td> <td>0,0014</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td colspan="2">$\bar{x}_C =$</td> <td>6,0054</td> <td>$\bar{R}_C =$</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td colspan="2"></td> <td>0,0011</td> <td>$R_p =$</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td>0,0580</td> </tr> </table>											Prüfer A: Hr. Wiegand			Prüfer B: Fr. Kunze			Prüfer C: Hr. Hagedorn				Messobjekt Nr.	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite $R_{A,i}$	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite $R_{B,i}$	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite $R_{C,i}$	Mittelwert \bar{x}_i	1	6,029	6,030	0,001	6,033	6,032	0,001	6,031	6,030	0,001	6,031	2	6,019	6,020	0,001	6,020	6,019	0,001	6,020	6,020	0,000	6,020	3	6,004	6,003	0,001	6,007	6,007	0,000	6,010	6,006	0,004	6,006	4	5,982	5,982	0,000	5,985	5,986	0,001	5,984	5,984	0,000	5,984	5	6,009	6,009	0,000	6,014	6,014	0,000	6,015	6,014	0,001	6,013	6	5,971	5,972	0,001	5,973	5,972	0,001	5,975	5,974	0,001	5,973	7	5,995	5,997	0,002	5,997	5,996	0,001	5,995	5,994	0,001	5,996	8	6,014	6,018	0,004	6,019	6,015	0,004	6,016	6,015	0,001	6,016	9	5,985	5,987	0,002	5,987	5,986	0,001	5,987	5,986	0,001	5,986	10	6,024	6,028	0,004	6,029	6,025	0,004	6,026	6,025	0,001	6,026	$\bar{x}_A =$	6,0039		$\bar{R}_A =$	0,0016		$\bar{x}_B =$	6,0058		$\bar{R}_B =$	0,0014								$\bar{x}_C =$		6,0054	$\bar{R}_C =$										0,0011	$R_p =$											0,0580
	Prüfer A: Hr. Wiegand			Prüfer B: Fr. Kunze			Prüfer C: Hr. Hagedorn																																																																																																																																																																																			
Messobjekt Nr.	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite $R_{A,i}$	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite $R_{B,i}$	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite $R_{C,i}$	Mittelwert \bar{x}_i																																																																																																																																																																																
1	6,029	6,030	0,001	6,033	6,032	0,001	6,031	6,030	0,001	6,031																																																																																																																																																																																
2	6,019	6,020	0,001	6,020	6,019	0,001	6,020	6,020	0,000	6,020																																																																																																																																																																																
3	6,004	6,003	0,001	6,007	6,007	0,000	6,010	6,006	0,004	6,006																																																																																																																																																																																
4	5,982	5,982	0,000	5,985	5,986	0,001	5,984	5,984	0,000	5,984																																																																																																																																																																																
5	6,009	6,009	0,000	6,014	6,014	0,000	6,015	6,014	0,001	6,013																																																																																																																																																																																
6	5,971	5,972	0,001	5,973	5,972	0,001	5,975	5,974	0,001	5,973																																																																																																																																																																																
7	5,995	5,997	0,002	5,997	5,996	0,001	5,995	5,994	0,001	5,996																																																																																																																																																																																
8	6,014	6,018	0,004	6,019	6,015	0,004	6,016	6,015	0,001	6,016																																																																																																																																																																																
9	5,985	5,987	0,002	5,987	5,986	0,001	5,987	5,986	0,001	5,986																																																																																																																																																																																
10	6,024	6,028	0,004	6,029	6,025	0,004	6,026	6,025	0,001	6,026																																																																																																																																																																																
$\bar{x}_A =$	6,0039		$\bar{R}_A =$	0,0016		$\bar{x}_B =$	6,0058		$\bar{R}_B =$	0,0014																																																																																																																																																																																
							$\bar{x}_C =$		6,0054	$\bar{R}_C =$																																																																																																																																																																																
									0,0011	$R_p =$																																																																																																																																																																																
										0,0580																																																																																																																																																																																
Auswertung Hinweis: K-Faktoren nur gültig für n = 10 Messobjekte, k = 3 Prüfer und r = 2 Messreihen je Prüfer																																																																																																																																																																																										
Mittlere Spannweite				$\bar{R} = \frac{1}{3} \cdot (\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C) =$				0,00137 mm																																																																																																																																																																																		
Wiederholpräzision (Repeatability / Equipment Variation EV)				$K_1 = 0,8862$ $EV = K_1 \cdot \bar{R} =$				0,00121 mm																																																																																																																																																																																		
Spannweite der Prüfermittelwerte				$R_{\bar{x}} =$				0,00190 mm																																																																																																																																																																																		
Vergleichpräzision (Reproducibility / Appraiser Variation AV)				$K_2 = 0,5231$ $AV = \sqrt{(K_2 \cdot R_{\bar{x}})^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}} =$				0,00096 mm																																																																																																																																																																																		
Wiederhol- und Vergleichpräzision (Repeatability and Reproducibility GRR)				$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} =$				0,00154 mm																																																																																																																																																																																		
				$\%GRR = 6 \cdot \frac{GRR}{T} \cdot 100\% =$				15,4%																																																																																																																																																																																		
Teilestreuung (Part Variation PV)				$K_3 = 0,3146$ $PV = K_3 \cdot R_p =$				0,01825 mm																																																																																																																																																																																		
Anzahl unterscheidbarer Kategorien (Number of distinct categories ndc)				$ndc \geq 5 ?$ $ndc = \sqrt{2} \cdot \frac{PV}{GRR} = 1,41 \cdot \frac{PV}{GRR} =$				16																																																																																																																																																																																		
$\%GRR \leq 10\%$ <input type="checkbox"/> fähig $10\% < \%GRR \leq 30\%$ <input checked="" type="checkbox"/> bedingt fähig $\%GRR > 30\%$ <input type="checkbox"/> nicht fähig																																																																																																																																																																																										
Bemerkungen: Verbesserung %GRR derzeit nicht möglich; Risikobewertung erforderlich																																																																																																																																																																																										
Datum: 29.02.2009 Abteilung: W025 Name: Mustermann Unterschrift: Mustermann																																																																																																																																																																																										

Hinweis: Berechnungen im Formblatt werden nach der Average-Range-Methode (ARM, vgl. Anhang D.3) durchgeführt, die nicht empfohlen wird und nur in begründeten Ausnahmefällen benutzt werden soll.



BOSCH Qualitätsmanagement	<h2 style="margin: 0;">Messprozessanalyse</h2> <h3 style="margin: 0;">Verfahren 3</h3>	Protokoll Nr.: <div style="text-align: center; color: blue;">9911015</div> Blatt Nr. 2 von 2																																																																																																																																	
Messmittel Standort: W025 Bezeichnung: Längenmessgerät Messmittel Nr.: JML9Q002 Auflösung: 0,001 mm	Merkmal Messobjekt: Welle Zeichnung Nr.: 1460320000 Merkmalsbezeichnung: Außendurchmesser Nennwert: 6,000 mm Toleranz: 0,060 mm																																																																																																																																		
Ergebnis Verfahren 1: $C_g = $ 2,01 $C_{gk} = $ 1,64 Protokoll / Blatt / Datum: 9911015 / 1 / 29.02.2009																																																																																																																																			
Messverfahren: Automatisches Laden; Messstelle Mitte Zylinder; Raumtemperatur 20,2°C																																																																																																																																			
Messdaten Tabellenwerte in mm Abweichungen von —																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Messobjekt Nr.</th> <th>Messreihe 1</th> <th>Messreihe 2</th> <th>Spannweite R_i</th> <th>Mittelwert \bar{x}_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6,029</td><td>6,030</td><td>0,001</td><td>6,030</td></tr> <tr><td>2</td><td>6,019</td><td>6,020</td><td>0,001</td><td>6,020</td></tr> <tr><td>3</td><td>6,004</td><td>6,003</td><td>0,001</td><td>6,004</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,982</td><td>5,982</td><td>0,000</td><td>5,982</td></tr> <tr><td>5</td><td>6,009</td><td>6,009</td><td>0,000</td><td>6,009</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,971</td><td>5,972</td><td>0,001</td><td>5,972</td></tr> <tr><td>7</td><td>5,995</td><td>5,997</td><td>0,002</td><td>5,996</td></tr> <tr><td>8</td><td>6,014</td><td>6,018</td><td>0,004</td><td>6,016</td></tr> <tr><td>9</td><td>5,985</td><td>5,987</td><td>0,002</td><td>5,986</td></tr> <tr><td>10</td><td>6,024</td><td>6,028</td><td>0,004</td><td>6,026</td></tr> <tr><td>11</td><td>6,033</td><td>6,032</td><td>0,001</td><td>6,033</td></tr> <tr><td>12</td><td>6,020</td><td>6,019</td><td>0,001</td><td>6,020</td></tr> <tr><td>13</td><td>6,007</td><td>6,007</td><td>0,000</td><td>6,007</td></tr> <tr><td>14</td><td>5,985</td><td>5,986</td><td>0,001</td><td>5,986</td></tr> <tr><td>15</td><td>6,014</td><td>6,014</td><td>0,000</td><td>6,014</td></tr> <tr><td>16</td><td>5,973</td><td>5,972</td><td>0,001</td><td>5,973</td></tr> <tr><td>17</td><td>5,997</td><td>5,996</td><td>0,001</td><td>5,997</td></tr> <tr><td>18</td><td>6,019</td><td>6,015</td><td>0,004</td><td>6,017</td></tr> <tr><td>19</td><td>5,987</td><td>5,986</td><td>0,001</td><td>5,987</td></tr> <tr><td>20</td><td>6,029</td><td>6,025</td><td>0,004</td><td>6,027</td></tr> <tr><td>21</td><td>6,017</td><td>6,019</td><td>0,002</td><td>6,018</td></tr> <tr><td>22</td><td>6,003</td><td>6,001</td><td>0,002</td><td>6,002</td></tr> <tr><td>23</td><td>6,009</td><td>6,012</td><td>0,003</td><td>6,011</td></tr> <tr><td>24</td><td>5,987</td><td>5,987</td><td>0,000</td><td>5,987</td></tr> <tr><td>25</td><td>6,006</td><td>6,003</td><td>0,003</td><td>6,005</td></tr> </tbody> </table>	Messobjekt Nr.	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite R_i	Mittelwert \bar{x}_i	1	6,029	6,030	0,001	6,030	2	6,019	6,020	0,001	6,020	3	6,004	6,003	0,001	6,004	4	5,982	5,982	0,000	5,982	5	6,009	6,009	0,000	6,009	6	5,971	5,972	0,001	5,972	7	5,995	5,997	0,002	5,996	8	6,014	6,018	0,004	6,016	9	5,985	5,987	0,002	5,986	10	6,024	6,028	0,004	6,026	11	6,033	6,032	0,001	6,033	12	6,020	6,019	0,001	6,020	13	6,007	6,007	0,000	6,007	14	5,985	5,986	0,001	5,986	15	6,014	6,014	0,000	6,014	16	5,973	5,972	0,001	5,973	17	5,997	5,996	0,001	5,997	18	6,019	6,015	0,004	6,017	19	5,987	5,986	0,001	5,987	20	6,029	6,025	0,004	6,027	21	6,017	6,019	0,002	6,018	22	6,003	6,001	0,002	6,002	23	6,009	6,012	0,003	6,011	24	5,987	5,987	0,000	5,987	25	6,006	6,003	0,003	6,005	
Messobjekt Nr.	Messreihe 1	Messreihe 2	Spannweite R_i	Mittelwert \bar{x}_i																																																																																																																															
1	6,029	6,030	0,001	6,030																																																																																																																															
2	6,019	6,020	0,001	6,020																																																																																																																															
3	6,004	6,003	0,001	6,004																																																																																																																															
4	5,982	5,982	0,000	5,982																																																																																																																															
5	6,009	6,009	0,000	6,009																																																																																																																															
6	5,971	5,972	0,001	5,972																																																																																																																															
7	5,995	5,997	0,002	5,996																																																																																																																															
8	6,014	6,018	0,004	6,016																																																																																																																															
9	5,985	5,987	0,002	5,986																																																																																																																															
10	6,024	6,028	0,004	6,026																																																																																																																															
11	6,033	6,032	0,001	6,033																																																																																																																															
12	6,020	6,019	0,001	6,020																																																																																																																															
13	6,007	6,007	0,000	6,007																																																																																																																															
14	5,985	5,986	0,001	5,986																																																																																																																															
15	6,014	6,014	0,000	6,014																																																																																																																															
16	5,973	5,972	0,001	5,973																																																																																																																															
17	5,997	5,996	0,001	5,997																																																																																																																															
18	6,019	6,015	0,004	6,017																																																																																																																															
19	5,987	5,986	0,001	5,987																																																																																																																															
20	6,029	6,025	0,004	6,027																																																																																																																															
21	6,017	6,019	0,002	6,018																																																																																																																															
22	6,003	6,001	0,002	6,002																																																																																																																															
23	6,009	6,012	0,003	6,011																																																																																																																															
24	5,987	5,987	0,000	5,987																																																																																																																															
25	6,006	6,003	0,003	6,005																																																																																																																															
Auswertung Hinweis: K-Faktoren nur gültig für n = 25 Messobjekte und r = 2 Messreihen																																																																																																																																			
Mittlere Spannweite $\bar{R} = $ 0,0016 mm																																																																																																																																			
Wiederholpräzision (Repeatability / Equipment Variation EV) $EV = K_1 \cdot \bar{R} = $ 0,0014 mm $K_1 = 0,8862$																																																																																																																																			
Wiederhol- und Vergleichpräzision (0) (Repeatability and Reproducibility GRR) $GRR = EV = $ 0,0014 mm $\%GRR = 6 \cdot \frac{GRR}{T} \cdot 100\% = $ 14,2%																																																																																																																																			
Spannweite der Mittelwerte $R_p = $ 0,0610 mm																																																																																																																																			
Teilstreuung (Part Variation PV) $PV = K_3 \cdot R_p = $ 0,0153 mm $K_3 = 0,25$																																																																																																																																			
Anzahl unterscheidbarer Kategorien (Number of distinct categories ndc) $ndc = \sqrt{2} \cdot \frac{PV}{GRR} = $ 15 $ndc \geq 5$?																																																																																																																																			
$\bar{R} = $ 0,0016 $R_p = $ 0,0610																																																																																																																																			
$\%GRR \leq 10\%$ <input type="checkbox"/> fähig $10\% < \%GRR \leq 30\%$ <input checked="" type="checkbox"/> bedingt fähig $\%GRR > 30\%$ <input type="checkbox"/> nicht fähig																																																																																																																																			
Bemerkungen: Verbesserung %GRR derzeit nicht möglich; Risikobewertung erforderlich																																																																																																																																			
Datum: 29.02.2009 Abteilung: W025 Name: Mustermann Unterschrift: Mustermann																																																																																																																																			

Hinweis: Berechnungen im Formblatt werden nach der Average-Range-Methode (ARM, vgl. Anhang D.3) durchgeführt, die nicht empfohlen wird und nur in begründeten Ausnahmefällen benutzt werden soll.



BOSCH Qualitätsmanagement		Stabilität (Messbeständigkeit) Verfahren 5																									Erzeugnis Welle 1460 320 000		Werk / Werkstatt / Standort W025	
																											Arbeitsgang Stabilitätsüberwachung		Stabilitätskarte erstellt von Uk	
																											Merkmal Außendurchmesser 6 mm		Datum 10.10.2019	
Stichprobe		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Blatt Nr. 4			
x_1		2	4	3	3	2	0	1	1	0	4	2	3	2	2	4	3	2	2	1	3	4	2	4	3	2	Bezeichnung Messmittel Längenmessgerät			
x_2		1	4	2	1	1	1	1	2	0	4	1	1	0	3	2	2	2	2	2	3	3	0	3	4	1	Messmittel Nr. JML9Q002			
x_3		1	3	2	4	2	-1	0	2	1	3	2	1	2	1	3	1	0	2	1	2	4	1	2	4	1	Bezeichnung Einstellnormal LY8N 6,000 Nr. 1			
x_4																											Referenzwert x_m 6,002 mm			
x_5																											Messunsicherheit $U_{k=1}$ 0,0005 mm			
\bar{x}		1,3	3,7	2,3	2,7	1,7	0,0	0,7	1,7	0,3	3,7	1,7	1,7	1,7	1,0	3,3	2,0	1,3	2,0	1,3	2,7	3,7	1,0	3,0	3,7	1,3	Tabellenwerte: Abweichung von 6,000 mm			
s		0,6	0,6	0,6	1,5	0,6	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,2	0,6	1,0	0,6	1,0	1,2	0,0	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	0,6	0,6	Tabellenwerte: Einheit 0,001 mm			
																											Stichprobenumfang n 3			
																											Prüfintervall 2 x pro Schicht			
																											C_{pk} aus Verfahren 1 1,64			
																											Merkmal Außendurchmesser			
																											Bezeichnung Außendurchmesser			
																											Nennwert 6,000 mm			
																											OGW 6,030 mm			
																											UGW 5,970 mm			
																											Toleranz T 0,060 mm			
																											Eingriffsgrenzen (Vertrauensniveau 99 %)			
																											$OEG = \bar{x}_m + (2,58/\sqrt{3}) \cdot (T/40)$ 6,0042 mm			
																											$UEG = \bar{x}_m - (2,58/\sqrt{3}) \cdot (T/40)$ 5,9998 mm			
																											$OEG_s = 2,571 \cdot T/40$ 0,003856 mm			
																											$UEG_s = 0,037 \cdot T/40$ 0,000055 mm			
Ausgewertet																											20.10.19			
Gesehen																											21.10.19			

Datum		11.10	11.10	11.10	11.10	12.10	12.10	12.10	12.10	13.10	13.10	13.10	13.10	14.10	14.10	14.10	14.10	15.10	15.10	15.10	16.10	16.10	16.10	17.10	17.10	18.10	18.10	18.10	19.10
Uhrzeit		6:50	11:40	14:40	21:35	6:25	10:50	14:20	21:05	6:20	10:15	15:00	21:35	7:10	11:50	16:05	21:30	6:50	12:10	16:15	21:20	6:45	12:05	16:20	21:15	6:50			
Kurzeichen		Pf	Mu	Mu	Pf	Pf	Kd	Kd	Pf	Pf	Mu	Mu	Kd	Kd	Kd	Kd	Kd	Pf	Pf	Pf	Kd	Kd	Mu	Mu	Mu	Mu	Mu	Pf	

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

BOSCH Qualitätsmanagement	<h2 style="margin: 0;">Prüfprozessanalyse</h2> <h3 style="margin: 0;">Verfahren 6</h3>	Protokoll Nr.: <div style="text-align: right; color: blue;">9911015</div> Blatt Nr. 6 von 7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Prüfmittel Standort: W025 Bezeichnung: Grenzlehrdorn Prüfmittel Nr.: LG3,6H11 Nr. 1	Merkmal Messobjekt: Gehäuse Zeichnung Nr.: 1265120000 Merkmalsbezeichnung: Innendurchmesser Nennwert: 3,600 mm Toleranz: 0,075 mm	Messeinrichtung Bezeichnung: Bohrungsmessgerät Messmittel Nr.: JMK3N1/3,6 Nr. 1 Rückführung: Einstellung 3,600 Messunsicherheit: 0,002 mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Prüfverfahren: Manuelle Prüfung, 2 Prüfer, Raumtemperatur 20,2 °C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> Bewertung: Innerhalb Toleranz: + Außerhalb Toleranz: - Keine Übereinstimmung: X </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <table border="1" style="width: 48%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Prüf- objekt Nr.</th> <th colspan="2">Referenz</th> <th colspan="3">Prüfer A</th> <th colspan="3">Prüfer B</th> <th rowspan="3">Code</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">kontinuierlich</th> <th rowspan="2">diskretisiert</th> <th colspan="3">Kunz</th> <th colspan="3">Hagen</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>28</td><td>3,664</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>7</td><td>3,652</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>30</td><td>3,652</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>2</td><td>3,649</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>6</td><td>3,645</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>22</td><td>3,642</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>32</td><td>3,641</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>9</td><td>3,634</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>27</td><td>3,632</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>1</td><td>3,632</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>36</td><td>3,632</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>47</td><td>3,632</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>46</td><td>3,626</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>10</td><td>3,625</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>26</td><td>3,622</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>5</td><td>3,621</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>23</td><td>3,621</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>15</td><td>3,617</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>33</td><td>3,614</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>42</td><td>3,614</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>43</td><td>3,613</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>50</td><td>3,609</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>38</td><td>3,603</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>34</td><td>3,600</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>8</td><td>3,599</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 48%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Prüf- objekt Nr.</th> <th colspan="2">Referenz</th> <th colspan="3">Prüfer A</th> <th colspan="3">Prüfer B</th> <th rowspan="3">Code</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">kontinuierlich</th> <th rowspan="2">diskretisiert</th> <th colspan="3">Kunz</th> <th colspan="3">Hagen</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>3,597</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>21</td><td>3,595</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>13</td><td>3,595</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>25</td><td>3,593</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>44</td><td>3,592</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>35</td><td>3,591</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>3</td><td>3,587</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>41</td><td>3,587</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>31</td><td>3,586</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>16</td><td>3,585</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>18</td><td>3,582</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>39</td><td>3,578</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>20</td><td>3,574</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>48</td><td>3,573</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>11</td><td>3,572</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>37</td><td>3,570</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>24</td><td>3,565</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>14</td><td>3,561</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>45</td><td>3,560</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>49</td><td>3,559</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>12</td><td>3,552</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>4</td><td>3,552</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>29</td><td>3,546</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>19</td><td>3,544</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>17</td><td>3,531</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div> $d1 = 3,641 - 3,632 = 0,009$ $d2 = 3,565 - 3,552 = 0,011$ $d = (0,009 + 0,011) / 2 = 0,011$ </div> <div> $\%GRR = 14,7\%$ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div> $\%GRR \leq 10\%$ <input type="checkbox"/> <small>fähig</small> </div> <div> $10\% < \%GRR \leq 30\%$ <input checked="" type="checkbox"/> <small>bedingt fähig</small> </div> <div> $30\% < \%GRR$ <input type="checkbox"/> <small>nicht fähig</small> </div> </div>			Prüf- objekt Nr.	Referenz		Prüfer A			Prüfer B			Code	kontinuierlich	diskretisiert	Kunz			Hagen			1	2	3	1	2	3	28	3,664	-	-	-	-	-	-	-	7	3,652	-	-	-	-	-	-	-	30	3,652	-	-	-	-	-	-	-	2	3,649	-	-	-	-	-	-	-	6	3,645	-	-	-	-	-	-	-	22	3,642	-	-	-	-	-	-	-	32	3,641	-	-	-	-	+	-	+	9	3,634	+	-	-	+	-	+	-	27	3,632	+	-	-	-	+	+	+	1	3,632	+	-	-	+	+	+	-	36	3,632	+	-	-	-	+	+	-	47	3,632	+	-	-	-	+	+	-	46	3,626	+	+	+	+	+	+	+	10	3,625	+	+	+	+	+	+	+	26	3,622	+	+	+	+	+	+	+	5	3,621	+	+	+	+	+	+	+	23	3,621	+	+	+	+	+	+	+	15	3,617	+	+	+	+	+	+	+	33	3,614	+	+	+	+	+	+	+	42	3,614	+	+	+	+	+	+	+	43	3,613	+	+	+	+	+	+	+	50	3,609	+	+	+	+	+	+	+	38	3,603	+	+	+	+	+	+	+	34	3,600	+	+	+	+	+	+	+	8	3,599	+	+	+	+	+	+	+	Prüf- objekt Nr.	Referenz		Prüfer A			Prüfer B			Code	kontinuierlich	diskretisiert	Kunz			Hagen			1	2	3	1	2	3	40	3,597	+	+	+	+	+	+	+	21	3,595	+	+	+	+	+	+	+	13	3,595	+	+	+	+	+	+	+	25	3,593	+	+	+	+	+	+	+	44	3,592	+	+	+	+	+	+	+	35	3,591	+	+	+	+	+	+	+	3	3,587	+	+	+	+	+	+	+	41	3,587	+	+	+	+	+	+	+	31	3,586	+	+	+	+	+	+	+	16	3,585	+	+	+	+	+	+	+	18	3,582	+	+	+	+	+	+	+	39	3,578	+	+	+	+	+	+	+	20	3,574	+	+	+	+	+	+	+	48	3,573	+	+	+	+	+	+	+	11	3,572	+	+	+	+	+	+	+	37	3,570	+	+	+	+	+	+	+	24	3,565	+	+	+	-	-	-	+	14	3,561	-	+	+	+	-	+	+	45	3,560	-	+	+	+	-	-	+	49	3,559	-	+	+	-	-	-	-	12	3,552	-	+	-	+	-	-	+	4	3,552	-	+	-	-	-	-	-	29	3,546	-	-	-	-	-	-	-	19	3,544	-	-	-	-	-	-	-	17	3,531	-	-	-	-	-	-	-
Prüf- objekt Nr.	Referenz			Prüfer A			Prüfer B			Code																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	kontinuierlich	diskretisiert		Kunz			Hagen																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			1	2	3	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
28	3,664	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
7	3,652	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
30	3,652	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	3,649	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
6	3,645	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
22	3,642	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
32	3,641	-	-	-	-	+	-	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
9	3,634	+	-	-	+	-	+	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
27	3,632	+	-	-	-	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	3,632	+	-	-	+	+	+	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
36	3,632	+	-	-	-	+	+	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
47	3,632	+	-	-	-	+	+	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
46	3,626	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
10	3,625	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
26	3,622	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5	3,621	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
23	3,621	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
15	3,617	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
33	3,614	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
42	3,614	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
43	3,613	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
50	3,609	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
38	3,603	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
34	3,600	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
8	3,599	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Prüf- objekt Nr.	Referenz		Prüfer A			Prüfer B			Code																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	kontinuierlich	diskretisiert	Kunz			Hagen																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			1	2	3	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
40	3,597	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
21	3,595	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
13	3,595	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
25	3,593	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
44	3,592	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
35	3,591	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	3,587	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
41	3,587	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
31	3,586	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
16	3,585	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
18	3,582	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
39	3,578	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20	3,574	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
48	3,573	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
11	3,572	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
37	3,570	+	+	+	+	+	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
24	3,565	+	+	+	-	-	-	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
14	3,561	-	+	+	+	-	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
45	3,560	-	+	+	+	-	-	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
49	3,559	-	+	+	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
12	3,552	-	+	-	+	-	-	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	3,552	-	+	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
29	3,546	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
19	3,544	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
17	3,531	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Bemerkungen:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Datum: 29.02.2019 Abteilung: W025 Name: Mustermann Unterschrift: Mustermann																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				


Hinweis: Im Formblatt werden die Prüfergebnisse bereits nach den (kontinuierlichen) Referenzwerten sortiert dargestellt.


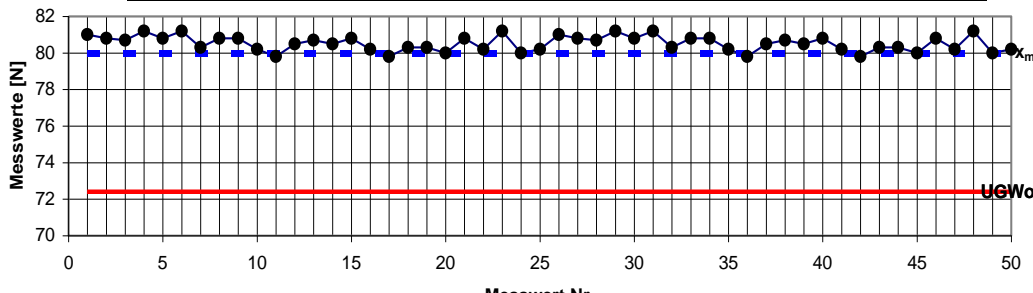


 BOSCH Qualitätsmanagement	<h2 style="margin: 0;">Bewertung nicht fähiger Mess- und Prüfprozesse</h2>	Protokoll Nr.: 9911015 Blatt Nr. 1 von 2		
Messmittel Standort: W025 Bezeichnung: Messtaster Messmittel Nr.: LX 0815 P1 Auflösung: 0,001 mm	Merkmal Messobjekt: Welle Zeichnung Nr.: 1460320000 Merkmals- bezeichnung: Außendurchmesser Nennwert: 6,000 mm Toleranz: 0,060 mm	Normal Bezeichnung: Einstellzylinder Messmittel Nr.: LY8N 6,000 Nr. 1 Referenzwert x_m : 6,0020 mm Unsicherheit U_{kal} : 0,0005 mm		
1. Fähigkeitskennwerte der Verfahren 1 – 4 und 6 – 7				
Bei jedem Verfahren zutreffendes Ergebnis ankreuzen (n/a – Verfahren nicht anwendbar / nicht durchgeführt)				
Verfahren	n/a	fähig	bedingt fähig	nicht fähig
1			$1,20 \leq C_{gk} < 1,33$	$C_{gk} < 0,80$
2			$10\% < \%GRR \leq 20\%$	$\%GRR > 30\%$
3	X		$10\% < \%GRR \leq 20\%$	$\%GRR > 30\%$
4		X	$1,20 \leq MIN(C_{gk}) < 1,33$	$MIN(C_{gk}) < 0,80$
4 (MSA)	X			Nulllinie (teilweise) außerhalb Vertrauensgrenzen
5	X			
6	X		$10\% < \%GRR \leq 20\%$	$\%GRR > 30\%$
7	X		$0,8 \leq \kappa < 0,9$	$\kappa < 0,7$
Kennzahl 1			1	7
Maßgeblich ist die höchste erreichbare Kennzahl				
2. Externe Bedeutung der Fehlerfolge (Auswirkung beim Kunden)				
Bewertung nach Design- und Prozess-FMEA (vgl. Heft 14; CDQ0305; GB- und werksspezifische Festlegungen)				
Auswirkung beim Kunden	keine	sehr gering bis unbedeutend	mittelschwer bis schwer	äußerst schwerwiegend
B-Bewertung nach FMEA	1	2 - 4	5 - 8	9 - 10
Kennzahl 2	1	2	3	7
Beschreibung der Fehlerfolge	Außendurchmesser zu groß, Baugruppe kann nicht im Fahrzeug verbaut werden; 0 km Beanstandung			
3. Interne Bedeutung der Fehlerfolge (Auswirkung bei Bosch)				
Bewertung nach Design- und Prozess-FMEA (vgl. Heft 14; CDQ0305; GB- und werksspezifische Festlegungen)				
Auswirkung bei Bosch	keine	sehr gering bis unbedeutend	mittelschwer bis schwer	äußerst schwerwiegend
B-Bewertung nach FMEA	1	2 - 4	5 - 8	9 - 10
Kennzahl 3	1	2	3	7
Beschreibung der Fehlerfolge	Außendurchmesser zu groß, Baugruppe muss verschrottet werden, erhöhte Fehlerkosten			





 BOSCH Qualitätsmanagement		Bewertung nicht fähiger Mess- und Prüfprozesse				Protokoll Nr.: 9911015 Blatt Nr. 2 von 2	
4. Bewertungsergebnis und Maßnahmen							
Produkt der Kennzahlen: 2 x 3 x 3 = 18 Bewertungskennzahl							
Kennzahl 1		Kennzahl 2		Kennzahl 3			
Ergebnis	Entscheidung	Maßnahmen				Verantwortlich	Termin
1 - 2	Freigabe mit Auflage Regelmäßige Prüfung, ob eine Verbesserung des Prüfprozesses möglich ist	Optimierung Messsystem (Ausschluss manueller Einfluss) Wiederholung der Messsystemanalyse nach Verfahren 1				Hr. ABC Hr. ABC	30.10.2009 30.10.2009
3 - 6	Freigabe mit Auflage Regelmäßige Prüfung, ob eine Verbesserung des Prüfprozesses möglich ist. Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Vermeidung der Fehlerfolgen (Kundenbeanstandung).	Optimierung Messsystem (Ausschluss manueller Einfluss) Wiederholung der Messsystemanalyse nach Verfahren 1 Absicherung des Merkmals über zusätzliche Prüfung XXX ...				Hr. ABC Hr. ABC Hr. DEF	30.10.2009 30.10.2009 30.11.2009
≥ 7	X Keine Freigabe Funktion des Merkmals muss durch eine fähige, indirekte Prüfung sichergestellt werden. Sofern externe Fehlerfolgen nicht ausgeschlossen werden können, erfolgt die Festlegung gemeinsam mit der zuständigen Erzeugnisenwicklung. Information des Kunden ist erforderlich.	Definition eines neuen Messverfahrens ... Anschaffung eines genaueren Messgerätes ... Wiederholung Messsystemanalyse nach Verfahren ... Absicherung des Merkmals über zusätzliche Prüfung XXX ...				Hr. ABC Fr. XYZ Hr. DEF Hr. DEF	30.10.2009 30.11.2009 10.12.2009 01.10.2009
5. Genehmigungsdurchlauf (gemäß Festlegung in Verfahrensanweisung des Werkes)							
Bearbeiter	Datum:	15.09.2009	Abteilung:	XyP/W025	Name:	Amann	Unterschrift: Amann
Abteilungsleiter Fertigung	Datum:	16.09.2009	Abteilung:	XyP/MOE	Name:	Bemann	Unterschrift: Bemann
Abteilungsleiter Qualitätsmanagement	Datum:	17.09.2009	Abteilung:	XyP/QMM	Name:	Cefrau	Unterschrift: Cefrau
Abteilungsleiter Entwicklung	Datum:	18.09.2009	Abteilung:	GB/EXY	Name:	Demann	Unterschrift: Demann

 BOSCH Qualitätsmanagement	Messprozessanalyse Verfahren 1 bei einseitigem Grenzwert Ermittlung des Akzeptanzkriteriums mit Normal	Protokoll Nr.: 9911015 Blatt Nr. 1 von 1																																																												
Messmittel Standort: <i>XyP / MOE1</i> Bezeichnung: <i>Abzugskraft-messgerät</i> Messmittel Nr.: <i>JME1 E281</i> Auflösung: <i>0,1 N</i>	Merkmal Messobjekt: <i>Sensorleitung</i> Zeichnung Nr.: <i>F00X1Y2345</i> Merkmals-bezeichnung: <i>Scherzugkraft Schweißverbindung</i> Nennwert: <i>90,000 N</i> Grenzwert: <i>70,000 N</i>	Normal Bezeichnung: <i>Kraftmessdose</i> Messmittel Nr.: <i>JMP9 E2</i> Referenzwert x_m : <i>80 N</i> Unsicherheit U_{kal} : <i>0,2 N</i>																																																												
Messverfahren: <i>Manuelle Handhabung mit spezieller Fixiereinrichtung für das Normal (unterschiedlich zur Fixiereinrichtung für Serienteile); Raumtemperatur 20°C</i>																																																														
Tabellenwerte in: <i>N</i> Abweichungen von: <i>-</i>																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th>1 - 5</th><th>6 - 10</th><th>11 - 15</th><th>16 - 20</th><th>21 - 25</th><th>26 - 30</th><th>31 - 35</th><th>36 - 40</th><th>41 - 45</th><th>46 - 50</th></tr> <tr><td><i>81,000</i></td><td><i>81,200</i></td><td><i>79,800</i></td><td><i>80,200</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>81,000</i></td><td><i>81,200</i></td><td><i>79,800</i></td><td><i>80,200</i></td><td><i>80,800</i></td></tr> <tr><td><i>80,800</i></td><td><i>80,300</i></td><td><i>80,500</i></td><td><i>79,800</i></td><td><i>80,200</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,300</i></td><td><i>80,500</i></td><td><i>79,800</i></td><td><i>80,200</i></td></tr> <tr><td><i>80,700</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,700</i></td><td><i>80,300</i></td><td><i>81,200</i></td><td><i>80,700</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,700</i></td><td><i>80,300</i></td><td><i>81,200</i></td></tr> <tr><td><i>81,200</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,500</i></td><td><i>80,300</i></td><td><i>80,000</i></td><td><i>81,200</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,500</i></td><td><i>80,300</i></td><td><i>80,000</i></td></tr> <tr><td><i>80,800</i></td><td><i>80,200</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,000</i></td><td><i>80,200</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,200</i></td><td><i>80,800</i></td><td><i>80,000</i></td><td><i>80,200</i></td></tr> </table>			1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30	31 - 35	36 - 40	41 - 45	46 - 50	<i>81,000</i>	<i>81,200</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>81,000</i>	<i>81,200</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,800</i>	<i>80,300</i>	<i>80,500</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,300</i>	<i>80,500</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,700</i>	<i>80,800</i>	<i>80,700</i>	<i>80,300</i>	<i>81,200</i>	<i>80,700</i>	<i>80,800</i>	<i>80,700</i>	<i>80,300</i>	<i>81,200</i>	<i>81,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,500</i>	<i>80,300</i>	<i>80,000</i>	<i>81,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,500</i>	<i>80,300</i>	<i>80,000</i>	<i>80,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,000</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,000</i>	<i>80,200</i>
1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30	31 - 35	36 - 40	41 - 45	46 - 50																																																					
<i>81,000</i>	<i>81,200</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>81,000</i>	<i>81,200</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>																																																					
<i>80,800</i>	<i>80,300</i>	<i>80,500</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,300</i>	<i>80,500</i>	<i>79,800</i>	<i>80,200</i>																																																					
<i>80,700</i>	<i>80,800</i>	<i>80,700</i>	<i>80,300</i>	<i>81,200</i>	<i>80,700</i>	<i>80,800</i>	<i>80,700</i>	<i>80,300</i>	<i>81,200</i>																																																					
<i>81,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,500</i>	<i>80,300</i>	<i>80,000</i>	<i>81,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,500</i>	<i>80,300</i>	<i>80,000</i>																																																					
<i>80,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,000</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,200</i>	<i>80,800</i>	<i>80,000</i>	<i>80,200</i>																																																					
																																																														
Referenzwert x_m = <i>80 N</i> Mittelwert <math>\bar{x} = <i>80,524 N</i> Standardabweichung <math>s = <i>0,4182 N</i></math></math>																																																														
Systematische Messabweichung: <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Für $n = 25$ ist die systematische Abweichung signifikant, wenn $\bar{x} - x_m > 0,413 \cdot s$</p> <p>Für $n = 50$ ist die systematische Abweichung signifikant, wenn $\bar{x} - x_m > 0,284 \cdot s$</p> </div> <div> <p><math> \bar{x} - x_m = <i>0,524 N</i> 0,413 \cdot s = <i>0,1727 N</i> 0,284 \cdot s = <i>0,1188 N</i></math></p> <p><input type="checkbox"/> nicht signifikant <input checked="" type="checkbox"/> signifikant <input type="checkbox"/> nicht bewertet</p> </div> </div>																																																														
Akzeptanzkriterium für Messwerte z , die während des Fertigungsprozesses ermittelt werden: <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div> <p><input type="checkbox"/> Oberer Grenzwert [N]</p> <p>$z \leq OGW_0 = OGW + (\bar{x} - x_m) - 4 \cdot s - U_{kal}$</p> </div> <div> <p><input checked="" type="checkbox"/> Unterer Grenzwert [N]</p> <p>$z \geq UGW_0 = UGW + (\bar{x} - x_m) + 4 \cdot s + U_{kal}$</p> <p><math>= 70 + (80,524 - 80) + 4 \cdot 0,4182 + 0,2 = 72,3968</math></p> </div> </div>																																																														
Bemerkungen: <i>Die systematische Messabweichung ist nicht korrigierbar; Ursache: Einfluss von Querkräften durch die Fixiereinrichtung; Maßnahme: Minimieren von Querkräften durch Optimieren der Fixiereinrichtung; Wiederholung der Untersuchung mit optimierter Fixiereinrichtung erforderlich</i>																																																														
Datum: <i>29.02.2009</i> Abteilung: <i>XyP / MOE1</i> Name: <i>Mustermann</i> Unterschrift: <i>Mustermann</i>																																																														



C Ergänzungen und Hinweise zu Verfahren 1

C.1 Signifikanz der systematischen Messabweichung

[AIAG MSA] empfiehlt zu überprüfen, ob die systematische Messabweichung $|\bar{x} - x_m|$ signifikant ist (vgl. [AIAG MSA], Seite 88/89). Das Signifikanzkriterium dieses sogenannten Ein-Stichproben-t-Tests ist vom Vertrauensniveau $1 - \alpha$ und vom Stichprobenumfang n abhängig. Bei Vertrauensniveau 95% gilt die systematische Messabweichung als **nicht** signifikant, wenn bei Stichprobenumfang

$$n = 25 \quad \text{das Kriterium} \quad \frac{|\bar{x} - x_m|}{s} \leq 0,413$$

oder bei

$$n = 50 \quad \text{das Kriterium} \quad \frac{|\bar{x} - x_m|}{s} \leq 0,284$$

erfüllt ist. Bei abweichendem Vertrauensniveau und/oder Stichprobenumfang muss das Kriterium entsprechend angepasst werden (vgl. Anhang C.2).

Dieses Kriterium bedeutet für die Kenngrößen C_g und C_{gk} eine Bedingung für deren maximale Differenz:

$$C_g - C_{gk} \leq \frac{1}{3} \cdot \frac{|\bar{x} - x_m|}{s}$$

ANMERKUNG: Die Bedingung ergibt sich durch Auflösen der Definitionsgleichung für C_{gk} nach $|\bar{x} - x_m|/s$ und Substitution des entsprechenden Formelanteils durch C_g (Definitionsgleichungen siehe Kap. 4.1).

Das vorstehende Kriterium für den jeweiligen Stichprobenumfang n eingesetzt, ergibt bei

$$n = 25 \quad \text{das äquivalente Kriterium} \quad C_g - C_{gk} \leq 0,138$$

bzw. bei

$$n = 50 \quad \text{das äquivalente Kriterium} \quad C_g - C_{gk} \leq 0,095.$$

In der Praxis führt das Kriterium erfahrungsgemäß zu Problemen bei hochwertigen Normalen und Messeinrichtungen (s klein, Kriterium trotz technisch exzellent geringer Messabweichung nicht erfüllt) bzw. zu nicht unmittelbar erkennbaren Problemen bei niederwertigen Normalen und Messeinrichtungen (s groß, Kriterium trotz technisch inakzeptabel großer Messabweichung erfüllt). Hintergrund ist, dass die systematische Messabweichung relativ zur Streuung s des Messprozesses bewertet wird, nicht jedoch relativ zur technisch relevanten Toleranz des zu messenden Merkmals. Deshalb wird in der Praxis gelegentlich

$$C_g - C_{gk} \leq \frac{1}{3} = 0,33$$

als Faustregel für noch akzeptable Abweichungen verwendet, d.h. systematische Messabweichungen bis maximal s . Die Anwendbarkeit ist für jeden Messprozess gesondert zu bewerten.

Laut [AIAG MSA] sollte eine signifikante systematische Messabweichung grundsätzlich durch Änderung an der Messeinrichtung (z. B. Justage) korrigiert werden. Sollte dies nicht möglich sein, kann die systematische Messabweichung durch Korrektur bei jedem Messergebnis berücksichtigt werden (vgl. [AIAG MSA], Kapitel III, Abschnitt B, Seite 95).

C.2 Ermittlung des Signifikanzkriteriums für systematische Messabweichungen

Mittels Ein-Stichproben-t-Test wird getestet, ob der Mittelwert μ der Grundgesamtheit mit dem Referenzwert x_m übereinstimmt oder nicht. Dabei wird der Mittelwert \bar{x} einer Stichprobe der Größe n aus dieser Grundgesamtheit als Schätzer für μ verwendet.

Nullhypothese: $\mu = x_m$

Alternativhypothese: $\mu \neq x_m$

Die Nullhypothese wird angenommen, wenn $|\bar{x} - x_m| \leq t_{f, 1-\alpha/2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}.$

$t_{f, 1-\alpha/2}$ ist das (zweiseitige) Quantil der t-Verteilung bei $f = n - 1$ Freiheitsgraden und Vertrauensniveau $1 - \alpha$.



Dementsprechend berechnet sich das Signifikanzkriterium bei $\alpha = 0,05$ (95% Vertrauensniveau) und Stichprobenumfang $n = 25$ gemäß

$$\frac{|\bar{x} - x_m|}{s} \leq \frac{t_{24; 0,975}}{\sqrt{25}} = \frac{2,064}{5} = 0,413$$

und bei $n = 50$ gemäß

$$\frac{|\bar{x} - x_m|}{s} \leq \frac{t_{49; 0,975}}{\sqrt{50}} = \frac{2,009}{7,071} = 0,284.$$

Wird das Signifikanzkriterium erfüllt, sind Mittelwert μ und Referenzwert x_m **nicht** signifikant unterschiedlich. Signifikanzkriterien für weitere Stichprobenumfänge n bei $\alpha = 0,05$:

n	$\frac{t_{n-1; 1-\alpha/2}}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{t_{n-1; 1-\alpha/2}}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{t_{n-1; 1-\alpha/2}}{\sqrt{n}}$
5	1,241664	30	0,373406	55	0,270338
10	0,715357	35	0,343512	60	0,258327
15	0,553782	40	0,319816	65	0,247788
20	0,468014	45	0,300433	70	0,238442
25	0,412780	50	0,284197	75	0,230079

Signifikanzkriterien für abweichende Werte von α und n werden analog berechnet. $t_{f; 1-\alpha/2}$ kann Tabellen entnommen oder z. B. mittels EXCEL-Arbeitsblattfunktion $TINV(\alpha; f)$ ermittelt werden.

C.3 Einseitig begrenzte Merkmale ohne natürliche Grenzen

Aus den Messdaten der Untersuchung nach Kap. 4.1 werden die systematische Messabweichung $\bar{x} - x_m$ und die Standardabweichung s ermittelt. Beide Kenngrößen werden als zeitlich nicht (signifikant) veränderliche Eigenschaften der Messeinrichtung (und nicht des Messobjektes) betrachtet.

Es liege ein einzelner Messwert z vor, der während des Fertigungsprozesses ermittelt wurde. Es wird vorausgesetzt, dass z zu einer Normalverteilung mit der (aus der Untersuchung nach Kap. 4.1 bekannten) Standardabweichung s , jedoch unbekanntem Mittelwert \bar{z} gehört.

ANMERKUNG: Es wird angenommen, dass sich eine Normalverteilung mit Standardabweichung s und einem bestimmtem Mittelwert \bar{z} ergibt, wenn die Messung hinreichend oft wiederholt würde.

Die zusätzliche Forderung, dass z mit 99,994% Wahrscheinlichkeit zu einer bestimmten Verteilung gehören muss, beschränkt die möglichen Verteilungen auf Verteilungen zwischen folgenden Extremlagen:

- z fällt mit dem $+4s$ -Quantil der Verteilung mit Mittelwert $\bar{z} = z - 4 \cdot s$ zusammen (oberste Randlage),
- z fällt mit dem $-4s$ -Quantil der Verteilung mit Mittelwert $\bar{z} = z + 4 \cdot s$ zusammen (unterste Randlage).

Verteilungen, zu denen z gehören kann, sind damit auf Verteilungen mit Mittelwert \bar{z} im Bereich

$$z - 4 \cdot s \leq \bar{z} \leq z + 4 \cdot s$$

beschränkt. Aufgrund der vorausgesetzten insignifikanten zeitlichen Veränderung der (aus der Untersuchung nach Kap. 4.1 bekannten) systematischen Messabweichung $\bar{x} - x_m$ wird weiter angenommen, dass sich der richtige Wert z_0 um exakt diese Messabweichung von \bar{z} unterscheidet:

$$\bar{z} - z_0 = \bar{x} - x_m.$$

Diese Beziehung nach \bar{z} aufgelöst und eingesetzt ergibt

$$z - 4 \cdot s \leq z_0 + \bar{x} - x_m \leq z + 4 \cdot s.$$

Die Ungleichung nach z_0 aufgelöst liefert den Bereich, in dem der richtige Wert z_0 zum Messwert z mit 99,994% Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist:

$$z - (\bar{x} - x_m) - 4 \cdot s \leq z_0 \leq z - (\bar{x} - x_m) + 4 \cdot s.$$

Im Fall eines oberen Grenzwertes OGW wird gefordert, dass der zum Messwert z gehörige richtige Wert z_0 nicht größer als der Grenzwert OGW sein darf, d.h.

$$z_0 \leq z - (\bar{x} - x_m) + 4 \cdot s \leq \text{OGW}.$$

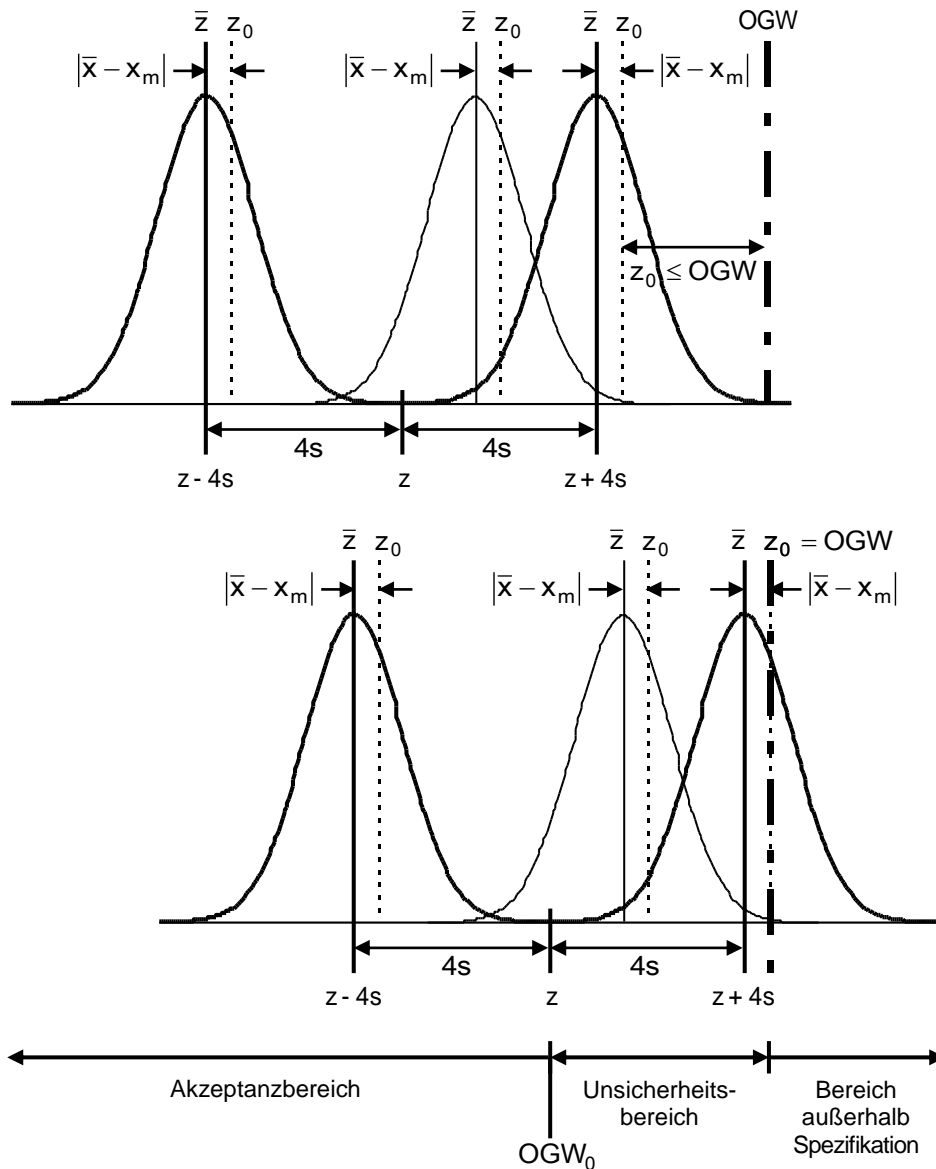
Nach z aufgelöst ergibt sich das Akzeptanzkriterium für jeden einzelnen Messwert z :

$$z \leq \text{OGW} + (\bar{x} - x_m) - 4 \cdot s = \text{OGW}_0.$$



Die beiden nachstehenden Diagramme veranschaulichen die vorstehenden Ausführungen. Dargestellt wird ein Messwert z einmal in unkritischer Lage (oberes Diagramm) und einmal in kritischer Lage (unteres Diagramm) relativ zu einem einseitigen oberen Grenzwert OGW. Jeweils dargestellt werden außerdem die beiden Verteilungen in Extremlage sowie beispielhaft eine Verteilung in Zwischenlage, zu denen z gehören kann, jeweils mit Mittelwert \bar{z} und zugehörigem richtigen Wert z_0 .

z darf sich dem Grenzwert OGW höchstens so weit annähern, bis der größte aller möglichen richtigen Werte z_0 mit OGW zusammenfällt. Im unteren Diagramm liegt z exakt am obersten Ende des Akzeptanzbereiches ($z = \text{OGW}_0$), d.h. der Akzeptanzbereich $z \leq \text{OGW}_0$ wird durch den Bereich „links von z “ im unteren Diagramm dargestellt.



Im Fall eines unteren Grenzwertes UGW wird analog

$$\text{UGW} \leq z - (\bar{x} - x_m) - 4 \cdot s \leq z_0$$

gefordert, d.h. nach z aufgelöst ergibt sich das Akzeptanzkriterium

$$z \geq \text{UGW} + (\bar{x} - x_m) + 4 \cdot s = \text{UGW}_0$$

In Fällen, bei denen zusätzlich die erweiterte Messunsicherheit U_{kal} der Kalibrierung des Normals zu berücksichtigen ist (Faustregel: $U_{\text{kal}} \geq 0,01 \cdot (|\bar{x} - x_m| + 4 \cdot s)$), gelten die vorstehenden Kriterien in der folgendermaßen modifizierten Form:

$$z \leq \text{OGW} + (\bar{x} - x_m) - 4 \cdot s - U_{\text{kal}} = \text{OGW}_0$$

$$z \geq \text{UGW} + (\bar{x} - x_m) + 4 \cdot s + U_{\text{kal}} = \text{UGW}_0$$



D Ergänzungen und Hinweise zu Verfahren 2 und 3

D.1 Kenngröße ndc

ndc (engl. number of distinct categories) bezeichnet die Anzahl Klassen, die durch den Messprozess noch unterschieden werden können. ndc beschreibt das Verhältnis der Teilstreuung PV im Vergleich zur Messprozessstreuung GRR. Damit sichergestellt werden kann, dass die Messeinrichtung auch unterschiedliche Teilequalitäten unterscheidbar messen kann, soll bei Untersuchungen nach Verfahren 2 oder 3 die Teilstreuung größer als die Streuung der Messeinrichtung sein. Nach [AIAG MSA] soll $ndc \geq 5$ sein:

$$ndc = \sqrt{2} \cdot \frac{PV}{GRR} \geq 5.$$

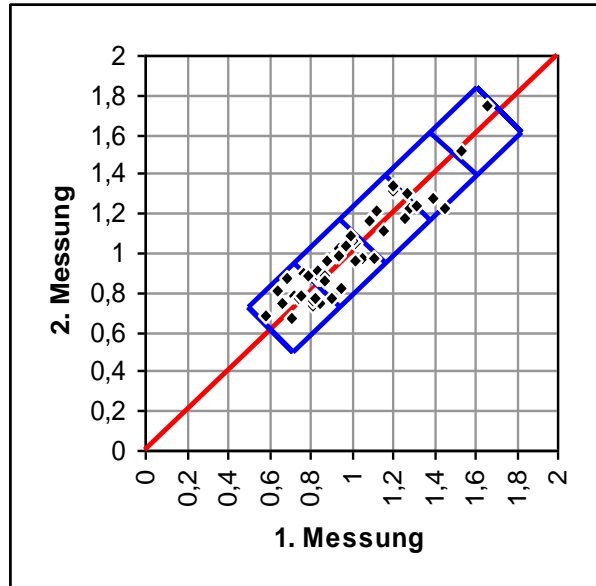
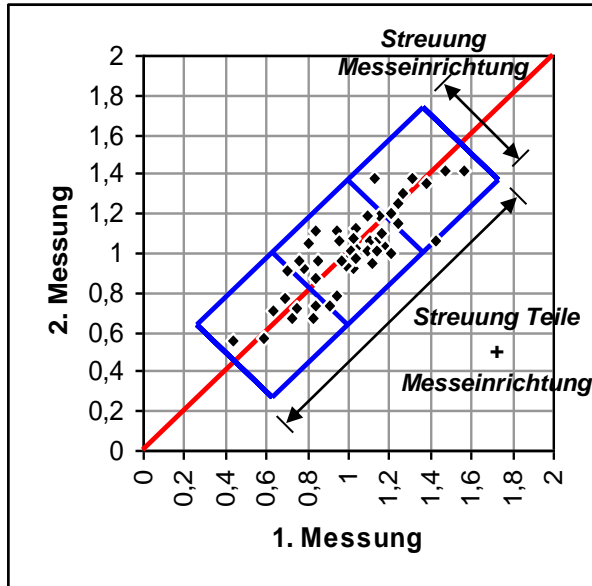
ANMERKUNG: Nicht ganzzahlige Ergebnisse für ndc werden stets auf eine ganze Zahl gerundet.

Anschauliche Interpretation von ndc

Bei Verfahren 3 werden an (mindestens) 25 Teilen Wiederholmessungen durchgeführt, d.h. zu jedem Teil liegen 2 Messwerte vor. Trägt man die Messergebnisse gegeneinander auf, so dass jedes Teil durch einen Punkt dargestellt wird, dessen x-Koordinate durch den Messwert der 1. Messung und dessen y-Koordinate durch den Messwert der 2. Messung bestimmt ist, ergibt sich ein Diagramm der nachstehenden Form (sogenanntes Iso-Plot).

Wären die Messergebnisse zwar von Teil zu Teil unterschiedlich, aber bei jedem einzelnen Teil die Ergebnisse der jeweils 1. und 2. Messung identisch, lägen die zugehörigen Punkte im Diagramm exakt auf der Diagonalen. Die Streuung der Punkte um die Diagonale (d.h. die Abweichung von der Diagonalen) ist demnach ein ungefähres Maß für die Streuung GRR der Messeinrichtung, während die Streuung entlang der Diagonalen ein ungefähres Maß für die Teilstreuung PV ist (zuzüglich eines Anteils GRR).

ndc lässt sich als Anzahl Quadrate interpretieren, die notwendig ist, um den gesamten Streubereich zu überdecken, wobei die Kantenlänge der Quadrate durch die Messprozessstreuung bestimmt wird: je geringer die Messprozessstreuung, um so kürzer die Kantenlänge der Quadrate und um so mehr Quadrate sind zur Überdeckung erforderlich. $ndc \geq 5$ entspricht damit 5 oder mehr Quadraten. Laut [AIAG MSA] ist die Streuung des Messprozesses dann genügend klein im Verhältnis zur Streuung des Fertigungsprozesses.



Die quantitative Herleitung von ndc basiert auf einer Betrachtung in Analogie zum Signal-Rausch-Verhältnis [Wheeler].



Zusammenhang mit prozessbezogenem %GRR

Das Fähigkeitskriterium

$$\%GRR = \frac{GRR}{\sqrt{GRR^2 + PV^2}} \cdot 100\% \leq GRR_{\max} \cdot 100\%$$

nach PV/GRR aufgelöst und mit $\sqrt{2} = 1,41$ multipliziert ergibt

$$\sqrt{2 \cdot \left(\frac{1}{GRR_{\max}^2} - 1 \right)} \leq \sqrt{2} \cdot \frac{PV}{GRR} = ndc.$$

Demnach ist ndc auch als alternative Darstellung der prozessbezogenen Kenngröße %GRR interpretierbar. Mit $\%GRR_{\max} = 0,3$ resultiert $ndc \geq 4,50 \approx 5$, mit $\%GRR_{\max} = 0,1$ resultiert $ndc \geq 14,07 \approx 14$.

Probleme bei prozessbezogenen Kenngrößen

Prozessbezogene Kenngrößen beinhalten kein technisch relevantes Kriterium wie z. B. die Toleranz des zu messenden Merkmals. Dies kann zu folgenden Fehlinterpretationen führen:

- Bei sehr kleinem PV, d.h. exzellenten Ergebnissen des Fertigungsprozesses bzgl. Teilestreue, geht ndc gegen 0 und %GRR gegen 100%, d.h. der Messprozess wäre als nicht fähig einzustufen.
- Bei sehr großem PV, d.h. unzureichenden Ergebnissen des Fertigungsprozesses bzgl. Teilestreue, wird ndc sehr groß und %GRR geht gegen 0%, d.h. der Messprozess wäre als unbedingt fähig einzustufen.

Solche Ergebnisse sind kritisch zu analysieren, da die Einstufung des Messprozesses in diesen Fällen hauptsächlich durch den Fertigungsprozess bestimmt wird und möglicherweise technisch nicht gerechtfertigt ist.



D.2 Verfahren 2: Auswertung mittels Varianzanalyse (ANOVA)

Grundidee der Varianzanalyse (engl. **A**nalysis of **V**ariances, ANOVA) ist die Zerlegung der Gesamtstreuung in Streuungsanteile, die bestimmten Einflussgrößen zugeordnet werden. Modell für einen einzelnen Messwert x_{ijm} mit normalverteilten Zufallsgrößen (ohne systematische Messabweichung, engl. Bias):

	Variable	Verteilung
Mittelwert aller Teile	μ	–
+ Einfluss des Teils Nr. i	α_i	$N(0, \sigma^2)$
+ Einfluss des Prüfers Nr. j	β_j	$N(0, \omega^2)$
+ Einfluss der Wechselwirkung zwischen Teil i und Prüfer j	λ_{ij}	$N(0, \gamma^2)$
+ Einfluss der Messeinrichtung (zufällige Messabweichung)	ε_{ijm}	$N(0, \tau^2)$
= Messwert x_{ijm}	x_{ijm}	

d.h. der *einzelne* Messwert x_{ijm} berechnet sich gemäß

$$x_{ijm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_{ij} + \varepsilon_{ijm}$$

mit

$$\begin{aligned} i &= 1, \dots, n; & n &- \text{Anzahl Teile} \\ j &= 1, \dots, k; & k &- \text{Anzahl Prüfer} \\ m &= 1, \dots, r; & r &- \text{Anzahl Messungen je Teil und Prüfer} \end{aligned}$$

Entsprechend setzt sich die Gesamtvarianz *aller* Messwerte aus Einzelkomponenten gemäß

$$\text{VAR}(x_{ijm}) = \sigma^2 + \omega^2 + \gamma^2 + \tau^2$$

zusammen, die zu ermitteln sind. Ein Schätzer für die Gesamtvarianz berechnet sich aus den Messwerten gemäß

$$\hat{\text{VAR}}(x_{ijm}) = s^2 = \frac{1}{nkr - 1} \cdot \text{TSS}.$$

Dabei steht

$$\text{TSS} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r \left(x_{ijm} - \frac{x_{\dots}}{nkr} \right)^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r x_{ijm}^2 - \frac{x_{\dots}^2}{nkr}$$

für die Summe *aller* quadratischen Messabweichungen (engl. **T**otal **S**um of **S**quares) und

$$\frac{x_{\dots}}{nkr} = \frac{1}{nkr} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r x_{ijm}$$

für den Mittelwert *aller* Messwerte.

ANMERKUNG: Ein Punkt anstelle des Laufindex zeigt an, dass über diesen Index summiert wurde.

TSS wird gemäß

$$\text{TSS} = \text{SS}_P + \text{SS}_A + \text{SS}_{AP} + \text{SS}_E$$

in die Anteile SS (engl. **S**um of **S**quares) zerlegt, die den oben genannten Einflüssen zugeordnet werden:

Einflussgröße	Anteil SS	Freiheitsgrad DF
Teile	SS_P	$\text{DF}_P = n - 1$
Prüfer	$+ \text{SS}_A$	$\text{DF}_A = k - 1$
Wechselwirkung zwischen Prüfern und Teilen	$+ \text{SS}_{AP}$	$\text{DF}_{AP} = (n - 1) \cdot (k - 1)$
Messeinrichtung (zufällige Messabweichung)	$+ \text{SS}_E$	$\text{DF}_E = nk \cdot (r - 1)$
Gesamtstreuung	$= \text{TSS}$	$\text{DF}_{\text{TSS}} = nkr - 1$

Bilanz der Freiheitsgrade (engl. **D**egrees of **F**reedom, **DF**):

$$(n - 1) + (k - 1) + (n - 1) \cdot (k - 1) + nk \cdot (r - 1) = nkr - 1.$$

Die einzelnen Anteile SS berechnen sich gemäß

$$\text{SS}_P = \sum_{i=1}^n \frac{x_{i\cdot\cdot}^2}{kr} - \frac{x_{\dots}^2}{nkr}$$

$$\text{SS}_A = \sum_{j=1}^k \frac{x_{\cdot j \cdot}^2}{nr} - \frac{x_{\dots}^2}{nkr}$$

$$\text{SS}_{AP} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{x_{ij\cdot}^2}{r} - \frac{x_{\dots}^2}{nkr} - \text{SS}_P - \text{SS}_A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{x_{ij\cdot}^2}{r} - \sum_{i=1}^n \frac{x_{i\cdot\cdot}^2}{kr} - \sum_{j=1}^k \frac{x_{\cdot j \cdot}^2}{nr} + \frac{x_{\dots}^2}{nkr}$$

$$\text{SS}_E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r x_{ijm}^2 - \frac{x_{\dots}^2}{nkr} - \text{SS}_P - \text{SS}_A - \text{SS}_{AP} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r x_{ijm}^2 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{x_{ij\cdot}^2}{r}$$



Division der einzelnen Summen SS_X durch die jeweils zugehörige Anzahl Freiheitsgrade DF_X ergibt die mittleren quadratischen Abweichungen MS_X (engl. **M**ean of **S**quares):

$$MS_X = \frac{SS_X}{DF_X}$$

Dabei steht der Index X stellvertretend für die Indizes P, A, AP und E.

Um zu prüfen, ob eine Einflussgröße signifikant ist, wird ein F-Test durchgeführt. Die Parameter berechnen sich wie folgt:

Einflussgröße	Prüfparameter	Quantil der F-Verteilung
Teile	$F_P = \frac{MS_P}{MS_{AP}}$	$F_{P \text{ krit}} = F_{DF_P; DF_{AP}; 1-\alpha}$
Prüfer	$F_A = \frac{MS_A}{MS_{AP}}$	$F_{A \text{ krit}} = F_{DF_A; DF_{AP}; 1-\alpha}$
Wechselwirkung	$F_{AP} = \frac{MS_{AP}}{MS_E}$	$F_{AP \text{ krit}} = F_{DF_{AP}; DF_E; 1-\alpha}$

Eine Einflussgröße ist signifikant, wenn das zugehörige Kriterium $F_X > F_{X \text{ krit}}$ erfüllt ist. $F_{X \text{ krit}}$ wird Tabellen entnommen oder z. B. mittels EXCEL-Arbeitsblattfunktion **=FINV(α ; $DF_{\text{Zähler}}$; DF_{Nenner})** ermittelt.

Erweisen sich alle Einflussgrößen als signifikant, werden die Schätzer für die einzelnen Varianzkomponenten σ^2 , ω^2 , γ^2 und τ^2 berechnet:

$$\hat{\sigma} = PV = \sqrt{\frac{MS_P - MS_{AP}}{k r}}$$

Teilestreuung
(engl. **P**art **V**ariation)

$$\hat{\omega} = AV = \sqrt{\frac{MS_A - MS_{AP}}{n r}}$$

Prüferstreuung / Vergleichpräzision
(engl. **A**ppraiser **V**ariation / **R**eproducibility)

$$\hat{\gamma} = INT = \sqrt{\frac{MS_{AP} - MS_E}{r}}$$

Wechselwirkung Prüfer – Teil
(engl. **I**nteraction **A**ppraiser – **P**art)

$$\hat{\tau} = EV = \sqrt{MS_E}$$

Messmittelstreuung / Wiederholpräzision
(engl. **E**quipment **V**ariation / **R**epeatability)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2 + INT^2}$$

Gesamtstreuung des Messprozesses
(engl. **G**auge **R**epeatability & **R**eproducibility)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

Gesamtstreuung (inklusive Teilestreuung)
(engl. **T**otal **V**ariation)

Beispiel

Daten nach [AIAG MSA], Seite 118:

Mess- werte x_{ijm}		Prüfer								
		j = 1 (Prüfer A)			j = 2 (Prüfer B)			j = 3 (Prüfer C)		
		Messung			Messung			Messung		
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3
Teil	i = 1	0,29	0,41	0,64	0,08	0,25	0,07	0,04	-0,11	-0,15
	i = 2	-0,56	-0,68	-0,58	-0,47	-1,22	-0,68	-1,38	-1,13	-0,96
	i = 3	1,34	1,17	1,27	1,19	0,94	1,34	0,88	1,09	0,67
	i = 4	0,47	0,50	0,64	0,01	1,03	0,20	0,14	0,20	0,11
	i = 5	-0,80	-0,92	-0,84	-0,56	-1,20	-1,28	-1,46	-1,07	-1,45
	i = 6	0,02	-0,11	-0,21	-0,20	0,22	0,06	-0,29	-0,67	-0,49
	i = 7	0,59	0,75	0,66	0,47	0,55	0,83	0,02	0,01	0,21
	i = 8	-0,31	-0,20	-0,17	-0,63	0,08	-0,34	-0,46	-0,56	-0,49
	i = 9	2,26	1,99	2,01	1,80	2,12	2,19	1,77	1,45	1,87
	i = 10	-1,36	-1,25	-1,31	-1,68	-1,62	-1,50	-1,49	-1,77	-2,16



Die vorstehenden Berechnungsschritte (analog [AIAG MSA], Seite 198) bis einschließlich der F-Tests durchgeführt ergeben folgende Tabelle (sogenannte ANOVA-Tabelle):

Einflussgröße		SS		DF		MS		F	F _{krit}	
Teile	SS _P	88,3619	DF _P	9	MS _P	9,81799	F _P	492,291	2,456	signifikant
Prüfer	SS _A	3,1673	DF _A	2	MS _A	1,58363	F _A	79,406	3,555	signifikant
Wechselwirkung	SS _{AP}	0,3590	DF _{AP}	18	MS _{AP}	0,01994	F _{AP}	0,434	1,778	nicht signifikant
Messeinrichtung	SS _E	2,7589	DF _E	60	MS _E	0,04598				
Gesamt	TSS	94,6471	DF _{TSS}	89						

Der Signifikanztest auf dem Niveau 95% ($\alpha = 0,05$) ergibt für dieses Beispiel, dass die Wechselwirkung zwischen Prüfern und Teilen nicht signifikant ist. Deshalb erübrigt sich die Berechnung der Varianzkomponenten zunächst.

Modifikation des Berechnungsmodells bei insignifikanter Wechselwirkung

Die Einflussgröße Wechselwirkung wird aus dem Modell entfernt. Dies erfordert eine Neuberechnung der Größen in der vorstehenden Tabelle in modifizierter Form. SS_E und SS_{AP} werden zu

$$SS_E^* = SS_E + SS_{AP}$$

mit

$$DF_E^* = DF_E + DF_{AP}$$

Freiheitsgraden zusammengefasst. MS_E und MS_{AP} werden durch

$$MS_E^* = \frac{SS_E^*}{DF_E^*}$$

ersetzt. Die Parameter für den F-Test berechnen sich dann gemäß

$$F_P = \frac{MS_P}{MS_E^*} \quad \text{mit} \quad F_{P \text{ krit}} = F_{DF_P; DF_E^*; 1-\alpha}$$

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_E^*} \quad \text{mit} \quad F_{A \text{ krit}} = F_{DF_A; DF_E^*; 1-\alpha}$$

und die Schätzer für die einzelnen Varianzkomponenten σ^2 , ω^2 , γ^2 und τ^2 gemäß den folgenden, modifizierten Formeln (MS_E und MS_{AP} formal durch MS_E^{*} ersetzt):

$$\hat{\sigma} = PV = \sqrt{\frac{MS_P - MS_E^*}{k r}}$$

Teilestreuung
(engl. Part Variation)

$$\hat{\omega} = AV = \sqrt{\frac{MS_A - MS_E^*}{n r}}$$

Prüferstreuung / Vergleichpräzision
(engl. Appraiser Variation / Reproducibility)

$$\hat{\gamma} = INT = \sqrt{\frac{MS_E^* - MS_E^*}{r}} = 0$$

Wechselwirkung Prüfer – Teil
(engl. Interaction Appraiser – Part)

$$\hat{\tau} = EV = \sqrt{MS_E^*}$$

Messmittelstreuung / Wiederholpräzision
(engl. Equipment Variation / Repeatability)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

Gesamtstreuung des Messprozesses
(engl. Gauge Repeatability & Reproducibility)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

Gesamtstreuung (inklusive Teilestreuung)
(engl. Total Variation)

Beispiel (Fortsetzung)

Für die Daten aus [AIAG MSA] ergibt sich damit die folgende, modifizierte ANOVA-Tabelle:

Einflussgröße		SS		DF		MS		F	F _{krit}	
Teile	SS _P	88,3619	DF _P	9	MS _P	9,81799	F _P	245,614	2,002	signifikant
Prüfer	SS _A	3,1673	DF _A	2	MS _A	1,58363	F _A	39,617	3,114	signifikant
Messeinrichtung	SS _E [*]	3,1179	DF _E [*]	78	MS _E [*]	0,03997				
Gesamt	TSS	94,6471	DF _{TSS}	89						



Die verbliebenen Einflussgrößen erweisen sich als signifikant, so dass die Varianzkomponenten σ^2 , ω^2 , γ^2 und τ^2 berechnet werden. Die Ergebnisse werden üblicherweise dargestellt als

- Standardabweichung **SD** (engl. **S**tandard **D**eviation): gemäß vorstehenden Formeln (PV, AV usw.)
- Varianz **Var** (engl. **V**ariance): $\text{Var} = \text{SD}^2$
- Varianz Var bezogen auf die Gesamtvarianz TV^2 : $\% \text{Var} = \text{Var} / \text{TV}^2 \cdot 100\% = \text{SD}^2 / \text{TV}^2 \cdot 100\%$
- Streubreite **SV** (engl. **S**tudy **V**ariation): $\text{SV} = 6 \cdot \text{SD}$
- Streubreite SV bezogen auf die Gesamtstreuung $6 \cdot \text{TV}$: $\% \text{SV} = \text{SV} / (6 \cdot \text{TV}) \cdot 100\% = \text{SD} / \text{TV} \cdot 100\%$
- Streubreite SV bezogen auf die Toleranz T: $\% \text{T} = \text{SV} / T \cdot 100\% = 6 \cdot \text{SD} / T \cdot 100\%$

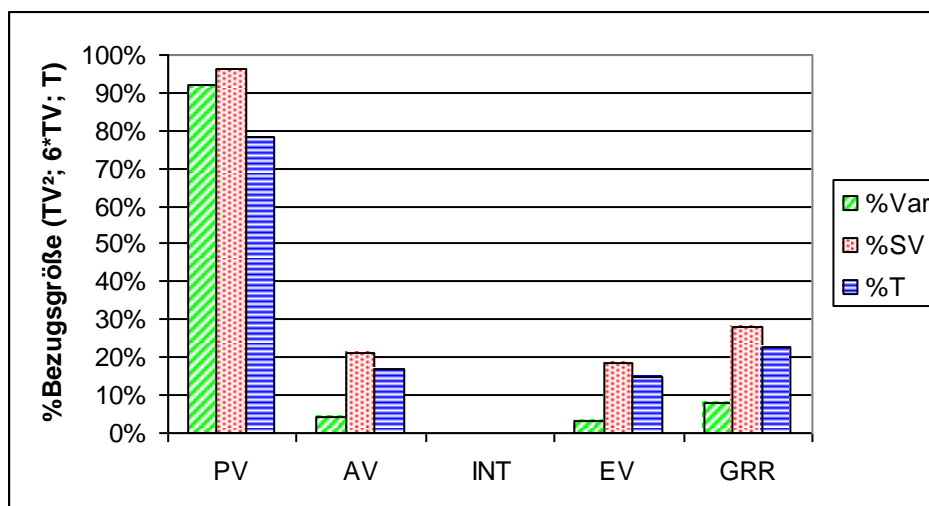
und als Tabelle zusammengefasst:

Einflussgröße		Standard- abweichung (Schätzer)	Varianz (Schätzer)	Anteil an Gesamt- varianz ¹	Streuung (99,73%) ²	Anteil an Gesamt- streuung	Anteil an Toleranz
		SD	Var	%Var	SV	%SV	%T
Teile (Part Variation)	PV	1,04233	1,08645	92,24%	6,25396	96,04%	78,17%
Prüfer (Appraiser Variation)	AV	0,22684	0,05146	4,37%	1,36103	20,90%	17,01%
Wechselwirkung (Interaction)	INT	0	0	0%	0	0%	0%
Messeinrichtung (Equipment Variation)	EV	0,19993	0,03997	3,39%	1,19960	18,42%	14,99%
GRR	GRR	0,30237	0,09143	7,76%	1,81423	27,86%	22,68%
Gesamtstreuung (Total Variation)	TV	1,08530	1,17788	100,00%	6,51180	100,00%	81,40%

ANMERKUNG 1: Die Summe der Anteile %SV ergibt nicht 100%, da die Einzelkomponenten SV durch die (6-fachen) Standardabweichungen SD repräsentiert werden und diese sich nicht arithmetisch sondern geometrisch zur Gesamtstreuung TV addieren (Wurzel aus der Summe der Quadrate der Einzelkomponenten SD). Aus gleichem Grund addieren sich Anteile %T nicht zum Gesamtanteil an der Toleranz.

ANMERKUNG 2: Im Beispiel wird die Toleranz $T = 8$ verwendet.

Zusammenfassung der prozentualen Ergebnisse als Diagramm:



Wegen $10\% < \% \text{GRR} \leq 30\%$ ist der Messprozess in diesem Beispiel nur bedingt fähig.

¹ In englischsprachiger Literatur (und in der Software Minitab®) auch als *%Contribution* bezeichnet

² AIAG MSA, Ausgabe 3, verwendet hier (inkonsistenterweise) den Bereich 99% und damit den Faktor 5,15 (statt 6,00); dies ist für die prozentualen Ergebnisse %SV ohne Bedeutung (Faktor tritt im Zähler und Nenner auf), jedoch nicht für %T. In AIAG MSA, Ausgabe 4, ist dies korrigiert, jedoch sind die Definitionen von PV, AV, INT und EV als sechsfache Standardabweichung bei ANOVA weiterhin inkonsistent mit ARM, wo PV, AV und EV einer einfachen Standardabweichung entsprechen. Im vorliegenden Heft sind diese Größen daher abweichend von AIAG MSA einheitlich als einfache Standardabweichungen definiert. Damit gelten für toleranzbezogene Größen einheitliche Berechnungsformeln für ANOVA und ARM (z.B. $\% \text{GRR} = 6 \cdot \text{GRR} / T$), d.h. der Faktor 6 ist stets zu berücksichtigen.



Auswertung von Verfahren 3

Der vorstehende Formalismus ist auf Verfahren 3 anpassbar. Dabei ist die Anzahl Prüfer $k = 1$ zu setzen. Dies führt zu diversen Vereinfachungen (Wegfall von $SS_A = 0$ und $SS_{AP} = 0$).

D.3 Auswertung nach der Mittelwert-Spannweiten-Methode (ARM)

Auswertungen nach der sogenannten Mittelwert-Spannweiten-Methode (engl. **A**verage **R**ange **M**ethod, **ARM**) sind nicht mehr zeitgemäß und werden grundsätzlich nicht empfohlen. Ein wesentlicher Nachteil ist unter anderem, dass Wechselwirkungen zwischen Prüfer und Teil nicht berücksichtigt werden können. Die Anwendung sollte deshalb auf Ausnahmefälle beschränkt und ggf. mit dem Kunden abgestimmt werden.

Die Grundidee von ARM ist analog ANOVA, d.h. die Zerlegung der Streuung in Anteile, die den Einflussgrößen Teile, Prüfer und Messmittel zugeordnet werden.

Szenario

An n Teilen werden von k Prüfern jeweils r Messungen durchgeführt. Die Messwerte x_{ijm} werden dokumentiert.

$$\begin{aligned} i &= 1, \dots, n; & n &- \text{Anzahl Teile} \\ j &= 1, \dots, k; & k &- \text{Anzahl Prüfer} \\ m &= 1, \dots, r; & r &- \text{Anzahl Messungen je Prüfer und Teil.} \end{aligned}$$

Berechnungen

$$R_{ij} = \text{Max}(x_{ijm}) - \text{Min}(x_{ijm}) \quad \text{Spannweite aller Messergebnisse des Prüfers } j \text{ am Teil } i$$

$$\bar{R}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ij} \quad \text{Mittelwert aller Spannweiten } R_{ij} \text{ des Prüfers } j$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{R}_j \quad \text{Mittelwert aller mittleren Spannweiten } \bar{R}_j$$

$$EV = K_1 \cdot \bar{R} \quad \text{Messmittelstreuung / Wiederholpräzision} \\ \text{(engl. Equipment Variation / Repeatability)}$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n \cdot r} \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^r x_{ijm} = \frac{1}{n \cdot r} \cdot x_{\bullet j \bullet} \quad \text{Mittelwert aller Messergebnisse des Prüfers } j$$

$$R_{\bar{x}} = \text{Max}(\bar{x}_j) - \text{Min}(\bar{x}_j) \quad \text{Spannweite aller Mittelwerte } \bar{x}_j$$

$$AV = \sqrt{(K_2 \cdot R_{\bar{x}})^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}} \quad \text{Prüferstreuung / Vergleichpräzision} \\ \text{(engl. Appraiser Variation / Reproducibility)}$$

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad \text{Wiederhol- und Vergleichpräzision} \\ \text{(engl. Gauge Repeatability & Reproducibility)}$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{k \cdot r} \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r x_{ijm} = \frac{1}{k \cdot r} \cdot x_{i \bullet \bullet} \quad \text{Mittelwert aller Messergebnisse am Teil } i$$

$$R_P = \text{Max}(\bar{x}_i) - \text{Min}(\bar{x}_i) \quad \text{Spannweite aller Mittelwerte } \bar{x}_i$$

$$PV = K_3 \cdot R_P \quad \text{Teilestreuung} \\ \text{(engl. Part Variation)}$$

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad \text{Gesamtstreuung} \\ \text{(engl. Total Variation)}$$

Die Faktoren K_1 , K_2 und K_3 werden in Abhängigkeit von der Anzahl Teile n , der Anzahl Prüfer k und der Anzahl Messungen r bestimmt (siehe auch Anhang D.4).



Beispiel

Auswertung der Beispieldaten aus [AIAG MSA], Seite 118:

Messwerte x_{ijm}	Prüfer												Mittelwerte \bar{x}_i	
	j = 1 (Prüfer A)				j = 2 (Prüfer B)				j = 3 (Prüfer C)					
	Messung			Spannweiten	Messung			Spannweiten	Messung			Spannweiten		
	m = 1	m = 2	m = 3	R_{ij}	m = 1	m = 2	m = 3	R_{ij}	m = 1	m = 2	m = 3	R_{ij}		
Teil	i = 1	0,29	0,41	0,64	0,35	0,08	0,25	0,07	0,18	0,04	-0,11	-0,15	0,19	0,169
	i = 2	-0,56	-0,68	-0,58	0,12	-0,47	-1,22	-0,68	0,75	-1,38	-1,13	-0,96	0,42	-0,851
	i = 3	1,34	1,17	1,27	0,17	1,19	0,94	1,34	0,40	0,88	1,09	0,67	0,42	1,099
	i = 4	0,47	0,50	0,64	0,17	0,01	1,03	0,20	1,02	0,14	0,20	0,11	0,09	0,367
	i = 5	-0,80	-0,92	-0,84	0,12	-0,56	-1,20	-1,28	0,72	-1,46	-1,07	-1,45	0,39	-1,064
	i = 6	0,02	-0,11	-0,21	0,23	-0,20	0,22	0,06	0,42	-0,29	-0,67	-0,49	0,38	-0,186
	i = 7	0,59	0,75	0,66	0,16	0,47	0,55	0,83	0,36	0,02	0,01	0,21	0,20	0,454
	i = 8	-0,31	-0,20	-0,17	0,14	-0,63	0,08	-0,34	0,71	-0,46	-0,56	-0,49	0,10	-0,342
	i = 9	2,26	1,99	2,01	0,27	1,80	2,12	2,19	0,39	1,77	1,45	1,87	0,42	1,940
	i = 10	-1,36	-1,25	-1,31	0,11	-1,68	-1,62	-1,50	0,18	-1,49	-1,77	-2,16	0,67	-1,571
Mittelwerte \bar{R}_j				0,184				0,513				0,328		
Mittelwert $\bar{\bar{R}}$				0,34167										
Mittelwerte \bar{x}_j	0,190				0,068				-0,254					
Spannweite $R_{\bar{x}}$	0,44467													
Spannweite R_P														3,511

Bei $n = 10$ Teilen, $k = 3$ Prüfern und $m = 3$ Messungen je Prüfer und Teil gelten die K-Faktoren

$$K_1 = 0,5908$$

$$K_2 = 0,5231$$

$$K_3 = 0,3146$$

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Einflussgröße		Standardabweichung (Schätzer)	Varianz (Schätzer)	Anteil an Gesamtvarianz	Streubreite (99,73%)	Anteil an Gesamtstreubreite	Anteil an Toleranz
		SD	Var	%Var	SV	%SV	%T
Teile (Part Variation)	PV	1,10445	1,21982	92,88%	6,62672	96,37%	82,83%
Prüfer (Appraiser Variation)	AV	0,22968	0,05275	4,02%	1,37810	20,04%	17,23%
Messeinrichtung (Equipment Variation)	EV	0,20186	0,04075	3,10%	1,21118	17,61%	15,14%
GRR	GRR	0,30578	0,09350	7,12%	1,83469	26,68%	22,93%
Gesamt (Total)	TV	1,14600	1,31332	100,00%	6,87601	100,00%	85,95%

Erläuterungen: Siehe entsprechende Tabelle in Anhang D.2, Seite 51.

D.4 K-Faktoren für ARM

Üblicherweise wird die unbekannte Standardabweichung σ einer normalverteilten Grundgesamtheit über die Standardabweichung s einer Stichprobe x_1, x_2, \dots, x_m geschätzt, die aus dieser Grundgesamtheit gezogen wird, d.h. $\hat{\sigma} = s$.

Es ist aber auch möglich, σ mit Hilfe der Spannweite $R = x_{\max} - x_{\min}$ dieser Stichprobe zu schätzen. Dabei ist einleuchtend, dass R mit wachsenden Stichprobenumfang m größer wird, denn je mehr Werte die Stichprobe enthält, um so wahrscheinlicher kommen darin auch sehr große und sehr kleine Werte aus den "Randbereichen" der Normalverteilung vor.

Zieht man wiederholt Stichproben vom Umfang m aus einer Grundgesamtheit mit Standardabweichung σ so ergibt sich eine mittlere Spannweite $\bar{R}_m = d_2 \cdot \sigma$.



Ist die Anzahl der Stichproben sehr groß, so ist $\hat{\sigma} = \bar{R}_m / d_2$ ein Schätzer für σ . Die Konstante d_2 kann mit Hilfe der Verteilung der standardisierten Spannweite ermittelt werden.

Komplizierter wird es, wenn die Anzahl g der Stichproben klein ist: $\hat{\sigma} = \bar{R}_{g,m} / d_2^*$. Die Ermittlung von d_2^* ist dann nur noch mit Hilfe einer Näherungsverteilung möglich.

d_2 ist der Grenzwert von d_2^* für unendlich viele Stichproben. Werte von d_2^* können Tabellen (z. B. [AIAG MSA], Seite 203) entnommen werden. Da sich d_2^* dem Grenzwert d_2 schnell annähert, wird d_2^* in der Regel nur bis etwa $g = 20$ tabelliert. Bei einer größeren Anzahl Stichproben verwendet man stattdessen d_2 .

Verfahren 2: Konstanten K_1 , K_2 und K_3

Die **Standardabweichung EV** (engl. *equipment variation*) wird aus insgesamt 30 Spannweiten (10 Teile x 3 Prüfer) anhand von Zweier-Stichproben (2 Messungen je Teil und Prüfer) ermittelt, d.h. $g = 30$ Stichproben bestehend aus jeweils $m = 2$ Messwerten. d_2^* für $g = 30$ ist nicht mehr in der Tabelle enthalten, so dass der Grenzwert $d_2 = 1,12838$ verwendet wird:

$$EV = \frac{\bar{R}_{30;2}}{d_2} = \frac{\bar{R}}{1,12838} = 0,8862 \cdot \bar{R} \quad \text{d.h. } K_1 = 0,8862 \text{ für 2 Messungen.}$$

Führt jeder Prüfer anstelle von $m = 2$ Messungen jeweils $m = 3$ Messungen an jedem Teil aus, wird der Grenzwert $d_2 = 1,69257$ verwendet:

$$EV = \frac{\bar{R}_{30;3}}{d_2} = \frac{\bar{R}}{1,69257} = 0,5908 \cdot \bar{R} \quad \text{d.h. } K_1 = 0,5908 \text{ für 3 Messungen.}$$

Die **Standardabweichung AV** (engl. *appraiser variation*) wird aus der Spannweite der 3 Prüfermittelwerte berechnet, d.h. $g = 1$ Stichprobe bestehend aus $m = 3$ Mittelwerten. Der Tabellenwert ist $d_2^* = 1,91155$:

$$AV = \frac{R_{1;3}}{d_2^*} = \frac{R}{1,91155} = 0,5231 \cdot \bar{R} \quad \text{d.h. } K_2 = 0,5231 \text{ für 3 Prüfer,}$$

oder bei nur 2 Prüfermittelwerten mit Tabellenwert $d_2^* = 1,41421$:

$$AV = \frac{R_{1;2}}{d_2^*} = \frac{R}{1,41421} = 0,7071 \cdot \bar{R} \quad \text{d.h. } K_2 = 0,7071 \text{ für 2 Prüfer.}$$

ANMERKUNG: Die Formel für AV nach [AIAG MSA] berücksichtigt zusätzlich einen Korrekturterm, der EV enthält.

Die **Standardabweichung PV** (engl. *part variation*) wird aus der Spannweite R_p der 10 Teilemittelwerte berechnet, d.h. $g = 1$ Stichprobe bestehend aus $m = 10$ Mittelwerten. Der Tabellenwert ist $d_2^* = 3,17905$:

$$PV = \frac{R_{1;10}}{d_2^*} = \frac{R_p}{3,17905} = 0,3146 \cdot R_p \quad \text{d.h. } K_3 = 0,3146 \text{ für 10 Teile}$$

Bei abweichenden Anzahlen (Messungen, Prüfer, Teile) sind die Werte für die K-Faktoren (K_1 , K_2 , K_3) entsprechend anzupassen. Andernfalls sind die Ergebnisse der Auswertung nach der ARM-Methode fehlerhaft.

Verfahren 3: Konstanten K_1 und K_3

Die **Standardabweichung EV** wird im Unterschied zu Verfahren 2 aus insgesamt 25 Spannweiten (25 Teile) aus Zweier-Stichproben (2 Messungen je Teil) ermittelt, d.h. $g = 25$ Stichproben bestehend aus $m = 2$ Messwerten. d_2^* für $g = 25$ ist nicht mehr in der Tabelle enthalten ist. Stattdessen nimmt man den Wert $d_2 = 1,12838$:

$$EV = \frac{\bar{R}_{25;2}}{d_2} = \frac{\bar{R}}{1,12838} = 0,8862 \cdot \bar{R} \quad \text{d.h. } K_1 = 0,8862 \text{ für 2 Messungen.}$$

Die **Standardabweichung PV** wird aus der Spannweite R_p der 25 Teilemittelwerte berechnet, d.h. $g = 1$ Stichprobe bestehend aus $m = 25$ Mittelwerten. Der Tabellenwert ist $d_2^* = 3,99377$ (in [AIAG MSA], Tabelle Seite 203 nicht enthalten):

$$PV = \frac{R_{1;25}}{d_2^*} = \frac{R_p}{3,99377} = 0,2504 \cdot R_p \quad \text{d.h. } K_3 = 0,2504 \text{ für 25 Teile.}$$

Bei abweichenden Anzahlen (Messungen, Teile) sind die Werte für die K-Faktoren (K_1 , K_3) entsprechend anzupassen. Andernfalls sind die Ergebnisse der Auswertung nach der ARM-Methode fehlerhaft.



D.5 Vorgehen bei unzureichender Anzahl Teile (Messobjekte)

Die „Verlässlichkeit“ einer statistischen Aussage wird quantitativ durch den Vertrauensbereich bei einem bestimmten Vertrauensniveau $1 - \alpha$ bestimmt, d.h. die Ausdehnung des Intervalls, in dem die Messergebnisse mit Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ zu erwarten sind: je geringer die Ausdehnung, um so „verlässlicher“ das statistische Ergebnis.

Die Ausdehnung des Vertrauensbereichs wird durch die Anzahl Freiheitsgrade bestimmt, d.h. im wesentlichen durch die Anzahl Einzelkomponenten (z. B. Messergebnisse), aus denen das statistische Ergebnis (z. B. die Varianz) ermittelt wird.

Bei Fähigkeitsuntersuchungen an Messeinrichtungen wird die Anzahl Messergebnisse durch das Prüf-szenario bestimmt, d.h. die Anzahl n der Teile, die Anzahl k der Prüfer und die Anzahl r der Messungen je Teil und Prüfer. Das Prüf-szenario für eine bestimmte Prüfung ist in der Regel vorgegeben und damit auch der Vertrauensbereich für die Varianz.

Die Varianz setzt sich aus Anteilen zusammen, die bestimmten Einflussgrößen zugeordnet und mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA, vgl. Anhang D.2) ermittelt werden. Die folgende Tabelle fasst die Freiheitsgrade für vier gängige Prüf-szenarien zusammen:

		Verfahren 2 2 Messreihen Prüfszenario $n = 10$ $k = 3$ $r = 2$	Verfahren 2 3 Messreihen Prüfszenario $n = 10$ $k = 3$ $r = 3$	Verfahren 3 2 Messreihen Prüfszenario $n = 25$ $k = 1$ $r = 2$	Verfahren 3 3 Messreihen Prüfszenario $n = 25$ $k = 1$ $r = 3$
Einflussgröße	Freiheitsgrade	Freiheitsgrade	Freiheitsgrade	Freiheitsgrade	Freiheitsgrade
Teile	$n - 1$	9	9	24	24
Prüfer	$k - 1$	2	2	0	0
Wechselwirkung	$(n - 1) \cdot (k - 1)$	18	18	0	0
Messeinrichtung	$nk \cdot (r - 1)$	30	60	25	50
Gesamt	$nkr - 1$	59	89	49	74

Bei Verfahren 2 und 3 ist die Einflussgröße „Messeinrichtung“ von besonderer Wichtigkeit. Stehen in Ausnahmefällen weniger als die für das jeweilige Prüf-szenario festgelegte Anzahl Teile n zur Verfügung, ist die Grundidee, die Parameter r und/oder k so zu verändern, dass sich für die Einflussgröße „Messeinrichtung“ die gleiche Anzahl Freiheitsgrade und damit der gleiche Vertrauensbereich ergibt wie für das vorgegebene Prüf-szenario. In der Regel wird die Anzahl r der Messungen verändert.

Bei n Teilen, k Prüfern und r Messungen je Teil und Prüfer besitzt die Einflussgröße „Messeinrichtung“ $f = n \cdot k \cdot (r - 1)$ Freiheitsgrade. Sind anstelle von n Teilen lediglich $n' < n$ Teile verfügbar, ist die Anzahl Messungen je Teil und Prüfer r' so anzupassen, dass die resultierende Anzahl Freiheitsgrade $f' = n' \cdot k \cdot (r' - 1)$ die vorgesehene Anzahl Freiheitsgrade f nicht unterschreitet.

Eine pragmatische Lösung besteht darin, für die entsprechenden Produkte einen Mindestwert anzugeben. Gemäß [CDQ 0301] gilt für

- Verfahren 2: $n \cdot k \cdot r \geq 60$
- Verfahren 3: $n \cdot k \geq 50$

Dabei darf die Anzahl n der Messobjekte $n = 5$ nicht unterschreiten.



D.6 Verfahren 1 – Verfahren 2 und 3: Inkonsistente Einstufung in Fähigkeitskategorien

Einstufungen von Messprozessen in die Kategorien „fähig“, „bedingt fähig“ oder „nicht fähig“ nach Verfahren 1 sind nicht vollständig konsistent mit Einstufungen nach Verfahren 2 und 3. Dies kann zu (möglicherweise technisch unbegründeten) Problemen führen, wenn Fähigkeit nach Verfahren 1 nachweisbar ist, nicht jedoch Fähigkeit nach Verfahren 2 oder 3.

Verfahren 2 und 3 müssen auch im (theoretisch denkbaren) Grenzfall idealer Messobjekte eine verlässliche und konsistente Einstufung in Fähigkeitskategorien sicherstellen, d.h. bei Erzeugnistteilen aus einem (nahezu) idealen Fertigungsprozess ohne (signifikante) Merkmalsstreuung. In diesem Fall können die Messobjekte bzgl. ihrer Merkmalseigenschaften als identisch betrachtet werden und es ist für die Messergebnisse statistisch unerheblich, ob n verschiedene Messobjekte je einfach, n/2 Messobjekte je zweifach oder ein einziges Messobjekt n-fach gemessen werden. Werden diese Messobjekte für Verfahren 1 und 3 verwendet, wird die beobachtete Messwertstreuung s bei beiden Verfahren ausschließlich durch die Messeinrichtung verursacht, d.h. beide Verfahren liefern bzgl. Streuung statistisch identische Ergebnisse, deren Auswertung zur Einstufung der Messeinrichtung in die gleiche Fähigkeitskategorie führen müsste. Dies ist aber nicht Fall.

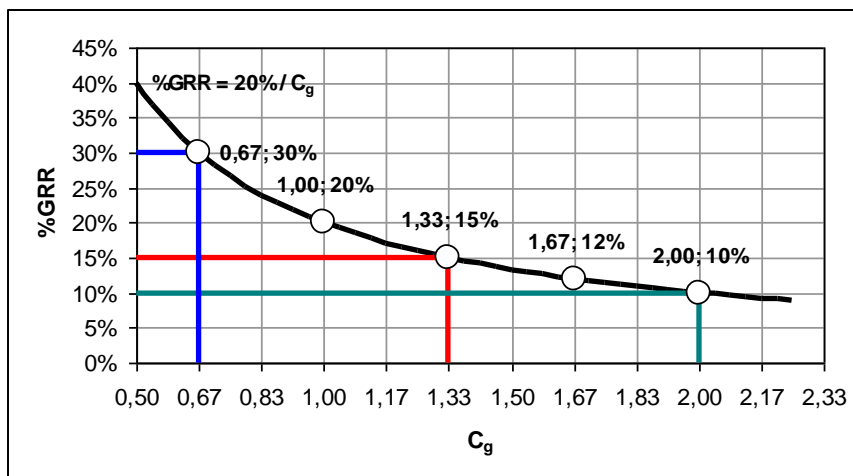
C_g und %GRR sind definiert gemäß

$$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s} \quad \text{bzw.} \quad \%GRR = \frac{6 \cdot s}{T} \cdot 100\%.$$

Beide Gleichungen nach $6s / T$ aufgelöst und gleichgesetzt ergibt

$$\%GRR = \frac{20\%}{C_g}.$$

Das Diagramm zeigt diese Beziehung mit den festgelegten Grenzen für C_g und %GRR:



Dies führt zu folgenden Zuordnungen mit teilweise widersprüchlichen FähigkeitsEinstufungen:

C_g		%GRR	
0,50	nicht fähig	40%	nicht fähig
0,67	nicht fähig	30%	bedingt fähig (Obergrenze)
0,80	bedingt fähig (Untergrenze)	25%	bedingt fähig
1,00	bedingt fähig	20%	bedingt fähig
1,33	fähig (Untergrenze)	15%	bedingt fähig
1,67	fähig	12%	bedingt fähig
2,00	fähig	10%	fähig (Obergrenze)
4,00	fähig	5%	fähig



Diese Widersprüche haben keine physikalisch-technische Ursache, sondern sind historisch bedingt, da die Verfahren unabhängig voneinander entstanden sind: Verfahren 1 basiert auf Firmenrichtlinien und [VDA 5], Verfahren 2 auf [AIAG MSA], Verfahren 3 auf Firmenrichtlinien und (als Sonderfall von Verfahren 2) auf [AIAG MSA]. Die Einordnung quantitativer Berechnungsergebnisse in die Fähigkeitskategorien „fähig“, „bedingt fähig“ und „nicht fähig“ beruht auf Erfahrungswerten und erfolgte damit letztendlich willkürlich und ohne Abgleich der Verfahren untereinander. Demnach existiert auch keine physikalisch-technisch begründbare Methode, diese Widersprüche zu beseitigen: Entweder man gerät bei Verfahren 1 in Widerspruch zu zahlreichen Firmenrichtlinien (einschließlich RB-interner Festlegungen und [VDA 5]) oder man gerät bei Verfahren 2 (und damit auch 3) in Widerspruch zu (den Empfehlungen) der firmenübergreifenden, internationalen Richtlinie [AIAG MSA].

Bisher existiert keine firmenübergreifend einheitliche und verbindliche Vorgabe zur Berechnung von C_g (und C_{gk}). Die Berechnungsformeln unterscheiden sich insbesondere bei den enthaltenen Zahlenfaktoren. Jedoch kann mit Hilfe konstanter Zahlenfaktoren aus mathematischen Gründen keine Konsistenz mit [AIAG MSA] hergestellt werden. Im Wesentlichen bestehen zwei Alternativen.

Alternative 1: Anpassung der Fähigkeitseinstufung von C_g an die Einstufung von %GRR

nicht fähig:	$C_g < 0,67$	%GRR > 30%
bedingt fähig:	$0,67 \leq C_g < 2,00$	$30\% \geq \%GRR > 10\%$
fähig:	$C_g \geq 2,00$	%GRR $\leq 10\%$

Diese Alternative ist zwar konsistent mit [AIAG MSA], deren Verbindlichkeit im Vergleich zu Firmenrichtlinien und [VDA 5] im allgemeinen höher eingestuft wird. Sie führt aber in der Praxis dazu, dass auch bei Verfahren 1 die Mehrzahl der Messeinrichtungen in die Kategorie „bedingt fähig“ fällt.

Alternative 2: Anpassung der Fähigkeitseinstufung von %GRR an die Einstufung von C_g

nicht fähig:	$C_g < 0,80$	%GRR > 25%
bedingt fähig:	$0,80 \leq C_g < 1,33$	$25\% \geq \%GRR > 15\%$
fähig:	$C_g \geq 1,33$	%GRR $\leq 15\%$

Diese Alternative dürfte unter dem Gesichtspunkt technischer Relevanz die geeignetere Anpassung sein. Sie ist jedoch nicht konsistent mit [AIAG MSA]. Insbesondere ist zu erwarten, dass die Anhebung des Grenzwertes für „fähig“ auf %GRR = 15% aus Kundensicht kritisch bewertet wird, während die Absenkung des Grenzwertes für „nicht fähig“ auf %GRR = 25% aus RB-Sicht kritisch ist.

Hinweis

Sofern die Anwendung dieser (oder ähnlicher) Alternativen in Betracht gezogen wird, ist dies grundsätzlich mit dem Kunden abzustimmen.



E Ergänzungen und Hinweise zu Verfahren 4 (Linearität)

E.1 Verfahren nach AIAG MSA

Verfahrensbeschreibung

- **Vorbereitung:** Es werden $g \geq 5$ Serienteile ausgewählt, welche den zu untersuchenden Arbeitsbereich (Messbereich) der Messeinrichtung geeignet abdecken (z. B. äquidistante Unterteilung). Zu jedem Teil wird durch Messungen mit genügend kleiner Messunsicherheit ein Referenzwert x_i ermittelt.
- **Durchführung:** Jedes dieser g Referenzteile wird vom vorgesehenen Prüfer mit der zu untersuchenden Messeinrichtung an deren vorgesehenem Einsatzort mindestens 12-mal gemessen ($m \geq 12$). Die Messwerte ξ_{ik} (griech. Buchstabe „ksi“) werden dokumentiert. ξ_{ik} ist der Messwert Nr. k , der am Referenzteil Nr. i gemessen wurde.

Auswertung

Es sind $g \cdot m$ Wertepaare $(x_i; \xi_{ik})$ auszuwerten mit $i = 1 \dots g$ und $k = 1 \dots m$. Die mathematische Darstellung in [AIAG MSA] hat sich in einigen Punkten als nicht ausreichend eindeutig interpretierbar erwiesen. In der nachfolgenden Darstellung wird dieses Problem unter Beibehaltung vollständiger Konformität zu [AIAG MSA] durch mathematisch eindeutige Nomenklatur und Schreibweise beseitigt. Insbesondere werden alle Summen als Doppelsummen über die Indizes i der Referenzwerte und die Indizes k der Messwerte dargestellt ³ (anstelle von Einfachsummenzeichen ohne Indizes in [AIAG MSA]).

- Ermittlung der Abweichungen (Residuen)

$$y_{ik} = \xi_{ik} - x_i$$

jedes Messwerts ξ_{ik} vom jeweiligen Referenzwert x_i

- Grafische Darstellung der Abweichungen y_{ik} über den Referenzwerten x_i

ANMERKUNG: Es ist üblich, zusätzlich die Gruppenmittelwerte (systematische Messabweichung, engl. Bias)

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m y_{ik}$$

einzutragen.

- Berechnung der Ausgleichsgeraden $\hat{y}(x_i) = b + a \cdot x_i$

Steigung:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (x_i \cdot y_{ik}) - \frac{1}{g \cdot m} \left(\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m x_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m y_{ik} \right)}{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m x_i^2 - \frac{1}{g \cdot m} \left(\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m x_i \right)^2}$$

Achsenabschnitt:

$$b = \frac{1}{g \cdot m} \left(\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m y_{ik} - a \cdot \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m x_i \right)$$

- Berechnung der Vertrauensgrenzen zum Vertrauensniveau $1 - \alpha$

Mittelwert der Referenzwerte:

$$\bar{x} = \frac{1}{g \cdot m} \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m x_i = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g x_i$$

Streuung der Messabweichungen um die Ausgleichsgerade:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m y_{ik}^2 - b \cdot \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m y_{ik} - a \cdot \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m x_i \cdot y_{ik}}{g \cdot m - 2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m y_{ik} \cdot (y_{ik} - b - a \cdot x_i)}{g \cdot m - 2}}$$

ANMERKUNG: Lehrbücher (vgl. z. B. [Sachs], Seite 503) geben diese Formel üblicherweise in der Form

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (y_{ik} - \hat{y}(x_i))^2}{g \cdot m - 2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (y_{ik} - b - a \cdot x_i)^2}{g \cdot m - 2}}$$

an. Die Identität beider Darstellungsweisen ist nicht unmittelbar erkennbar. Sie lässt sich durch Einsetzen der Formeln für a und b und algebraische Umformung nachweisen.

³ Für Summen, deren Argument nicht vom Laufindex der Summe abhängt, gilt $\sum_{k=1}^m x_i = m \cdot x_i$



$$\text{Untere Vertrauensgrenze: } UVG(x_0) = b + a \cdot x_0 - t_{g \cdot m - 2; 1 - \alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{1}{g \cdot m} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x})^2}} \cdot s$$

$$\text{Obere Vertrauensgrenze: } OVG(x_0) = b + a \cdot x_0 + t_{g \cdot m - 2; 1 - \alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{1}{g \cdot m} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x})^2}} \cdot s$$

ANMERKUNG 1: Die Vertrauensgrenzen werden üblicherweise für das Vertrauensniveau 95% ($\alpha = 5\%$) berechnet. Abweichende Festlegungen sollten mit dem Kunden abgestimmt werden.

ANMERKUNG 2: Die berechneten Vertrauensgrenzen gelten für den **Mittelwert** der zu erwartenden Messabweichungen an einer beliebigen Stelle x_0 . Zur Berechnung der (hier nicht relevanten) Vertrauensgrenzen für die zugehörigen **Einzelwerte** sind abweichende Berechnungsformeln zu verwenden (vgl. [Sachs], Seite 503).

- Grafische Darstellung der Ausgleichsgeraden sowie der Vertrauensgrenzen
- Ggf. Durchführung statistischer t-Tests auf Signifikanz der Steigung und des Achsenabschnitts der Ausgleichsgeraden [AIAG MSA].

$$\text{Steigung: } t_a = \frac{|a|}{s} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x})^2}$$

Die Steigung a ist statistisch insignifikant (vernachlässigbar), wenn $t_a \leq t_{g \cdot m - 2; 1 - \alpha/2}$ erfüllt ist.⁴

$$\text{Achsenabschnitt: } t_b = \frac{|b|}{s} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x})^2}{\frac{1}{g \cdot m} \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x})^2 + \bar{x}^2}}$$

Der Achsenabschnitt b ist statistisch insignifikant, wenn $t_b \leq t_{g \cdot m - 2; 1 - \alpha/2}$ erfüllt ist.⁴

- Ggf. zusätzlich Durchführung eines statistischen F-Tests auf Verträglichkeit des linearen Modells mit den Messdaten (Empfehlung [AIAG MSA], die an dieser Stelle auf die Fachliteratur verweist).

$$\text{Lineares Modell: } F_{LM} = \frac{\frac{1}{g-2} \cdot \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (\bar{y}_i - b - a \cdot \bar{x}_i)^2}{\frac{1}{g \cdot (m-1)} \cdot \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^m (y_{ik} - \bar{y}_i)^2}$$

Abweichungen vom linearen Verhalten sind statistisch insignifikant, wenn $F_{LM} \leq F_{g-2; g \cdot (m-1); 1-\alpha}$ erfüllt ist.⁴

Wegen der Komplexität der Formeln ist die Auswertung in der Praxis nur mit Rechnerhilfe durchführbar.

Fähigkeitskriterium:

Die Nulllinie der Abweichungen y_{ik} muss vollständig innerhalb der Vertrauensgrenzen liegen. Damit gleichwertig ist die Forderung, dass die Steigung und der Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden nicht signifikant von null verschieden sind (t-Test [AIAG MSA]).

ANMERKUNG: Die Anwendbarkeit des Fähigkeitskriteriums setzt voraus, dass die Messdaten mit dem linearen Modell verträglich sind.

⁴ Die Werte der Quantile $t_{g \cdot m - 2; 1 - \alpha/2}$ und $F_{g-2; g \cdot (m-1); 1-\alpha}$ können Tabellen (z.B. [Heft 3]) entnommen oder mittels geeigneter Software bestimmt werden (z.B. MS-EXCEL: =TINV(α ; $g \cdot m - 2$) bzw. =FINV(α ; $g - 2$; $g \cdot (m - 1)$))



BOSCH	<h2 style="margin: 0;">Messsystemanalyse</h2> <h3 style="margin: 0;">Verfahren 4 (Linearität)</h3>	Blatt 1 / 1													
Bereich : QMM Gruppe/Abt. : QMM7 Werkstatt/Ber. : W780 Erzeugnis : Teil : Referenz Sachnummer : Änd.-Stand :	Arbeitsgang : Masch.-Bez. : Z-Mike 1220 Gold Masch.-Nr. : 1205292 Prüfplatz : Prüfmittel : JMO0014W008 Prfm.-Nr. : 67027855300001 Prfm.-Herst. : Z-Mike Auflösung : 0,0001	Merkmalsbez. : Außendurchmesser Merkmal Nr. : 1 Nennmaß : 6,000 Unt. Abmaß : Ob. Abmaß : Toleranz : Einheit : mm													
Kommentar :															
Normal Bez.: Normal Nr.: Normal-/Referenzwert:															
i	X _{g,Ref}	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	X _{A,4}	X _{A,5}	X _{A,6}	X _{A,7}	X _{A,8}	X _{A,9}	X _{A,10}	X _{A,11}	X _{A,12}	X _{g,j}	S _j
1	2,0010	1,9770	1,9220	1,9080	2,0490	1,9100	1,9420	1,9390	1,9540	1,9860	1,9080	1,9495	1,9495	1,9495	0,04038
2	4,0030	4,0170	4,0720	4,0560	4,0270	3,9620	4,0130	4,1020	3,9950	4,0050	3,9210	4,0170	4,0170	4,0170	0,04744
3	5,9990	6,0080	5,9520	5,9530	5,9520	6,0190	5,9900	5,9390	5,9330	6,0370	6,0140	5,9797	5,9797	5,9797	0,03437
4	8,0010	8,0740	8,0570	8,0150	7,9970	7,9740	8,0160	8,0530	8,0530	7,9800	8,0670	8,0286	8,0286	8,0286	0,03333
5	10,0020	#####	#####	#####	#####	#####	9,9210	#####	#####	#####	#####	#####	#####	10,0317	0,03934

$f_x = -0,05272 + 0,008802x$ $r = 0,509$ $R^2 = 25,95\%$

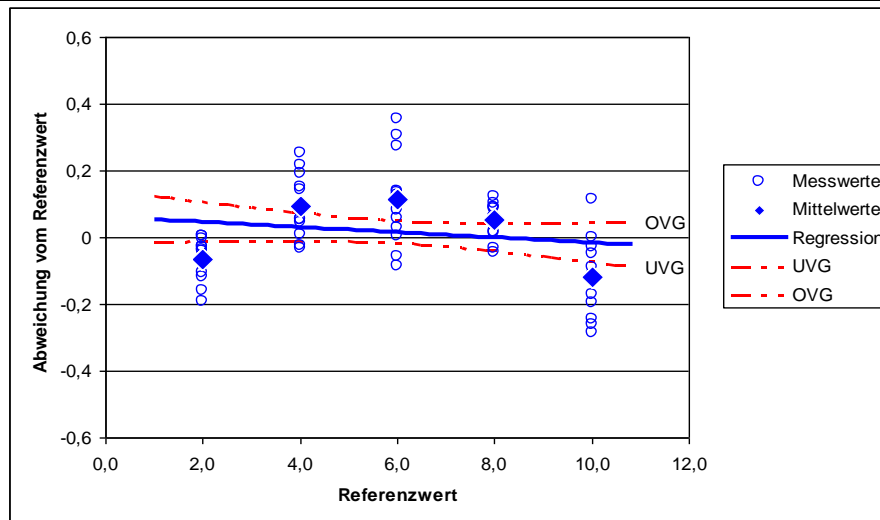
Geradengleichung: $f(x) = -0,05272 + 0,008802x$ $r = 0,509$ $R^2 = 25,953\%$	
Test der Steigung bei linearer Regression	
$\alpha = 5\%$	H_0 : Die Steigung der Regressionsgeraden ist 0 H_1 : Die Steigung der Regressionsgeraden ist ungleich 0
oberer kritischer Wert ($\alpha = 5\%$) = 2,00	Testergebnis ist signifikant ($\alpha \leq 0,1\%$)
oberer kritischer Wert ($\alpha = 1\%$) = 2,66	4,50877 ***
oberer kritischer Wert ($\alpha = 0,1\%$) = 3,47	
H1***: Die Steigung der Regressionsgeraden ist ungleich 0	
Test des Achsenabschnitts bei linearer Regression	
$\alpha = 5\%$	H_0 : Der Achsenabschnitt der Regressionsgeraden ist 0 H_1 : Der Achsenabschnitt der Regressionsgeraden ist ungleich 0
oberer kritischer Wert ($\alpha = 5\%$) = 2,00	Testergebnis ist signifikant ($\alpha \leq 0,1\%$)
oberer kritischer Wert ($\alpha = 1\%$) = 2,66	4,07076 ***
oberer kritischer Wert ($\alpha = 0,1\%$) = 3,47	
H1***: Der Achsenabschnitt der Regressionsgeraden ist ungleich 0	
Wiederholpräzision	EV: 0,0033129 ≤ 0,042772 ≤ 0,048304 %EV = --- Bi = 0,051500
Die Anforderungen sind nicht erfüllt (min, t-T)	
Bosch 2018 — Verfahren 4, Linearität	



Beispiele und Hinweise zum Verfahren nach AIAG-MSA

Erfahrungen mit dem Verfahren zeigen, dass unter Umständen auch stark **nichtlineares** (z. B. parabel förmiges) **Verhalten** einer Messeinrichtung nicht sicher erkannt wird.

Referenz- werte x_i		Messwerte ξ_{ik}											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,001	1,960	1,928	2,006	1,809	1,971	1,996	1,896	2,004	1,965	1,841	1,973	1,883
2	4,003	3,971	4,255	4,057	4,221	4,082	4,153	4,056	3,977	4,012	4,144	4,049	4,193
3	5,999	6,058	5,914	6,079	6,003	5,943	6,137	6,127	6,132	6,029	6,356	6,272	6,304
4	8,001	8,054	8,122	7,958	8,103	8,085	8,017	8,089	8,092	8,064	8,012	7,967	8,064
5	10,002	9,953	9,715	10,004	10,116	9,886	9,759	9,911	9,973	9,885	9,741	9,805	9,832



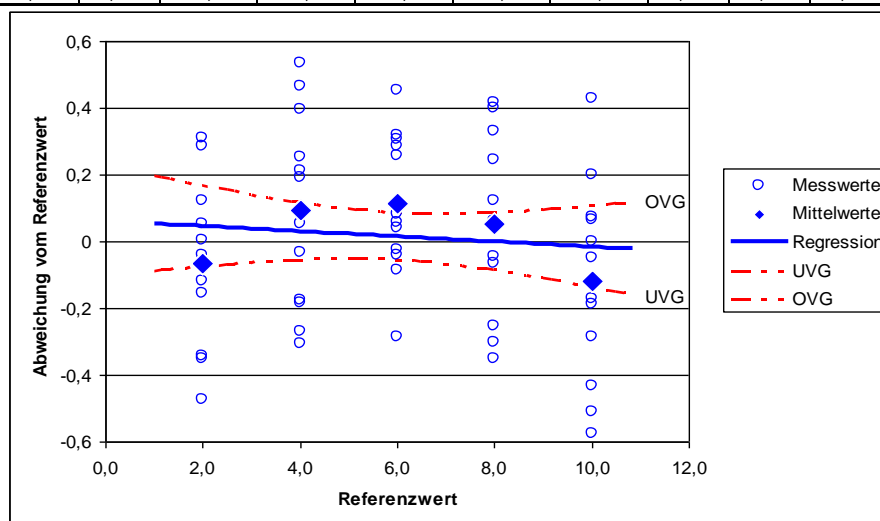
Ergebnisse der statistischen Tests für 95% Vertrauensniveau:

Steigung:	$t_a = 1,271 \leq t_{g-m-2; 1-\alpha/2} = 2,002$	Abweichung von 0 nicht signifikant
Achsenabschnitt:	$t_b = 1,519 \leq t_{g-m-2; 1-\alpha/2} = 2,002$	Abweichung von 0 nicht signifikant
Lineares Modell:	$F_{LM} = 16,055 > F_{g-2; g(m-1); 1-\alpha} = 2,773$	Abweichung signifikant

Nur der (von [AIAG MSA] lediglich empfohlene) Test auf Verträglichkeit der Messwerte mit dem linearen Modell zeigt signifikante Unverträglichkeit an.

Zunehmende Streuung der Messwerte begünstigt (besonders bei gleichbleibenden Mittelwerten) aufgrund der zunehmenden Breite des Vertrauensbereiches ungerechtfertigt die Erfüllung des Fähigkeitskriteriums.

Referenz- werte x_i		Messwerte ξ_{ik}											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,001	1,960	1,928	2,006	2,124	2,286	2,311	2,054	1,847	1,650	1,526	1,658	1,883
2	4,003	3,971	4,255	4,057	4,536	4,397	4,468	4,214	3,820	3,697	3,829	3,734	4,193
3	5,999	6,058	5,914	6,079	6,318	6,258	6,452	6,285	5,975	5,714	6,041	5,957	6,304
4	8,001	8,054	8,122	7,958	8,418	8,400	8,332	8,247	7,935	7,749	7,697	7,652	8,064
5	10,002	9,953	9,715	10,004	10,431	10,201	10,074	10,069	9,816	9,570	9,426	9,490	9,832



Ergebnisse der statistischen Tests für 95% Vertrauensniveau:

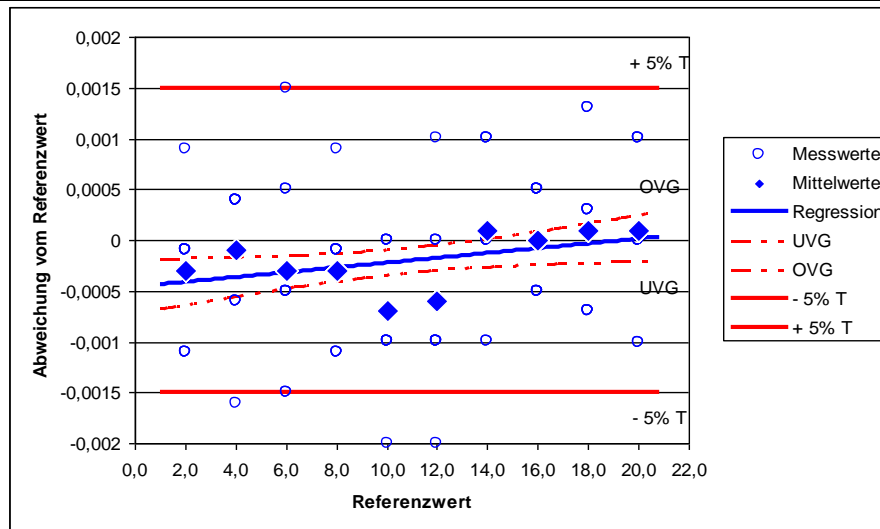
Steigung:	$t_a = 0,618 \leq t_{g-m-2; 1-\alpha/2} = 2,002$	Abweichung von 0 nicht signifikant
Achsenabschnitt:	$t_b = 0,739 \leq t_{g-m-2; 1-\alpha/2} = 2,002$	Abweichung von 0 nicht signifikant
Lineares Modell:	$F_{LM} = 2,275 \leq F_{g-2; g(m-1); 1-\alpha} = 2,773$	Abweichung nicht signifikant

Im Gegensatz zum vorherigen Beispiel wird nicht erkannt, dass das lineare Modell mit den Messdaten unverträglich ist, so dass das Messmittel bzgl. Linearität als „fähig“ einzustufen wäre.



Das Verfahren kann sich auch als **zu empfindlich** erweisen, so dass Messmittel mit technisch exzellenten Eigenschaften bzgl. Linearität statistisch als „nicht fähig“ bewertet werden.

Referenz- werte x_i	Messwerte ξ_{ik}											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,0011	2,001	2,000	2,001	2,000	2,001	2,001	2,000	2,001	2,002	2,001	2,001
2	4,0006	4,001	4,000	3,999	4,000	4,001	4,001	4,001	4,000	4,001	4,001	4,001
3	6,0005	6,000	6,001	6,000	6,000	5,999	6,001	6,002	6,000	5,999	6,000	6,000
4	8,0011	8,001	8,001	8,002	8,001	8,000	8,001	8,001	8,000	8,001	8,000	8,001
5	10,0010	10,001	10,001	10,000	9,999	10,000	10,000	10,001	10,000	10,001	10,000	10,000
6	12,0010	12,001	12,000	12,000	12,002	12,000	12,001	12,001	11,999	12,000	12,000	12,000
7	14,0010	14,002	14,001	14,002	14,001	14,000	14,001	14,001	14,002	14,001	14,000	14,001
8	16,0005	16,000	16,000	16,001	16,000	16,001	16,001	16,000	16,000	16,001	16,001	16,001
9	18,0007	18,001	18,002	18,000	18,001	18,000	18,001	18,002	18,000	18,001	18,001	18,001
10	20,0000	20,001	20,000	20,000	19,999	20,000	19,999	20,000	20,001	20,000	20,001	20,000

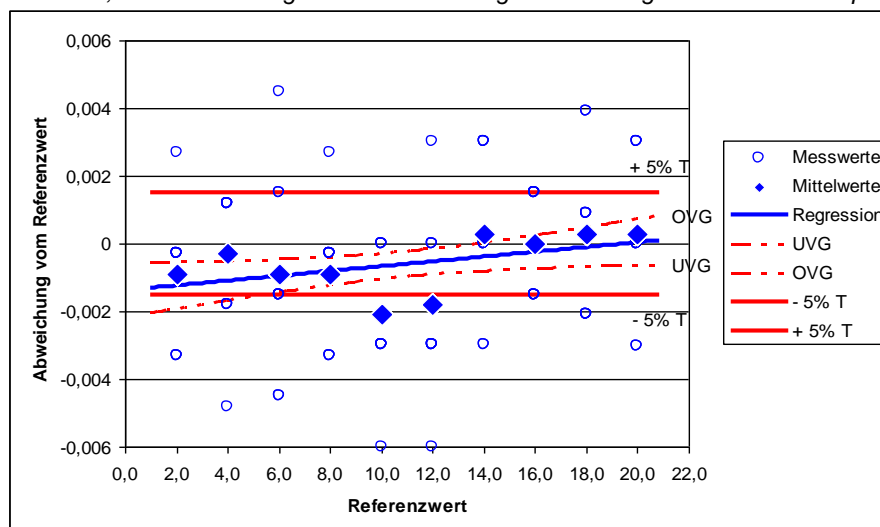


Ergebnisse der statistischen Tests für 95% Vertrauensniveau:

Steigung:	$t_a = 2,186$	$> t_{g;m-2; 1-\alpha/2} = 1,980$	Abweichung von 0 signifikant
Achsenabschnitt:	$t_b = 3,429$	$> t_{g;m-2; 1-\alpha/2} = 1,980$	Abweichung von 0 signifikant
Lineares Modell:	$F_{LM} = 1,991$	$\leq F_{g-2; g(m-1); 1-\alpha} = 2,024$	Abweichung nicht signifikant

Hintergrund dieser – aus technischer Sicht überraschenderweise – negativen Ergebnisse ist, dass die statistischen Tests ausschließlich auf relativer Basis bewerten, d.h. unabhängig von der absoluten Größe der Messabweichungen y_{ik} und damit unabhängig von deren technischer Relevanz.

ANMERKUNG: Setzt man in alle Berechnungsformeln $\varepsilon \cdot y_{ik}$ anstelle von y_{ik} ein, wobei der Faktor ε für eine beliebige positive Zahl steht, resultieren die Steigung $\varepsilon \cdot a$, der Achsenabschnitt $\varepsilon \cdot b$, die Streuung $\varepsilon \cdot s$ sowie die Vertrauensgrenzen $\varepsilon \cdot UVG$ und $\varepsilon \cdot OVG$, d.h. die Größen werden ebenfalls um den Faktor ε kleiner ($0 < \varepsilon < 1$) bzw. größer ($\varepsilon > 1$). Die Diagramme für $\varepsilon \cdot y_{ik}$ und y_{ik} erscheinen deshalb identisch, wenn zur Darstellung der Ergebnisse für $\varepsilon \cdot y_{ik}$, eine y-Achse verwendet wird, deren Skalierung um den Faktor $1/\varepsilon$ gedehnt bzw. gestaucht wird. Beispiel für $\varepsilon = 3$:



Im Gegensatz dazu bleiben die Testparameter t_a , t_b und F_{LM} für die statistischen Tests unverändert, d.h. sie liefern unabhängig von ε stets die gleichen Ergebnisse.

Aus gleichem Grund kann sich das Verfahren als **zu unempfindlich** erweisen, so dass Messmittel mit technisch unzureichenden Eigenschaften bzgl. Linearität statistisch als „fähig“ bewertet werden (z. B. bei starker Streuung, vgl. Seite 61, 2. Beispiel).



E.2 Mehrfache Anwendung von Verfahren 1: Ergänzende Betrachtung

Das Verfahren zum Linearitätsnachweis nach [AIAG MSA] sieht kein Kriterium vor, die technische Relevanz der statistischen Ergebnisse zu beurteilen. Die alternative Bewertung der Messungen an jedem Referenzteil i nach **Verfahren 1** bringt hingegen die Toleranz T des zu messenden Merkmals in die Bewertung ein. Die Kenngrößen C_g und C_{gk} beinhalten zusätzliche, toleranzbezogene und damit technisch relevante Kriterien für die Messwertstreuungen s_i und die systematischen Messabweichungen \bar{y}_i :

$$\%SDev_i = \frac{s_i}{T} \cdot 100\% \leq 2,5\%$$

$$\%Bias_i = \frac{|\bar{y}_i|}{T} \cdot 100\% = \frac{|\bar{\xi}_i - x_i|}{T} \cdot 100\% \leq \left(0,1 - 4 \cdot \frac{s_i}{T}\right) \cdot 100\% = 10\% - 4 \cdot \%SDev_i$$

ANMERKUNG: Das erste Kriterium ergibt sich durch Auflösen der Definitionsgleichung für C_g nach s_i / T und Einsetzen der Bedingung $C_g \geq 1,33 = 4/3$, das zweite Kriterium durch Auflösen der Definitionsgleichung für C_{gk} nach $|\bar{\xi}_i - x_i| / T$ und Einsetzen der Bedingung $C_{gk} \geq 1,33 = 4/3$; Definitionsgleichungen: siehe Kap. 4.1.

Mit den Grenzwerten $\%SDev_i = 0$ und $\%SDev_i = 2,5\%$ ergibt sich aus dem zweiten Kriterium, dass systematische Messabweichungen im Bereich

$$0 \leq \%Bias_i \leq 10\%$$

unter der Bedingung akzeptabel sind, dass die zugehörigen Messwertstreuungen im Bereich

$$0 \leq \%SDev_i \leq 2,5\% - \frac{\%Bias_i}{4} = \%SDev_{\max i}$$

liegen, d.h. 10% Abweichung sind nur bei Streuung 0 akzeptabel und 2,5% Streuung nur bei Abweichung 0.

Beispiel: Aus den Messwerten der Tabelle auf Seite 62 werden mit $T = 0,03$ mm die Kenngrößen C_g und C_{gk} abgeschätzt sowie $\%Bias$ und $\%SDev$ ermittelt. Ergebnisse, die Kriterien verletzen, sind markiert:

Referenzwert	Mittelwert Messwerte	Standardabweichung Messwerte	C_g	C_{gk}	$\%Bias$	$\%SDev$	$\%SDev_{\max}$	$\%SDev > \%SDev_{\max}$
1	2,0011	2,0008	0,00057	1,75	1,57	1,00%	1,91%	2,25%
2	4,0006	4,0005	0,00064	1,56	1,51	0,33%	2,13%	2,42%
3	6,0005	6,0002	0,00083	1,20	1,08	1,00%	2,77%	2,25%
4	8,0011	8,0008	0,00057	1,75	1,57	1,00%	1,91%	2,25%
5	10,0010	10,0003	0,00061	1,64	1,26	2,33%	2,04%	1,92%
6	12,0010	12,0004	0,00076	1,31	1,05	2,00%	2,54%	2,00%
7	14,0010	14,0011	0,00067	1,50	1,45	0,33%	2,22%	2,42%
8	16,0005	16,0005	0,00048	2,10	2,10	0,00%	1,59%	2,50%
9	18,0007	18,0008	0,00071	1,40	1,35	0,33%	2,38%	2,42%
10	20,0000	20,0001	0,00067	1,50	1,45	0,33%	2,22%	2,42%

ANMERKUNG: Es ist unbedingt zu beachten, dass **bestandskräftige** Auswertungen nach Verfahren 1 $m \geq 25$ Messungen je Referenzteil i erfordern.

Die mehrfache Anwendung von Verfahren 1 ist demnach ähnlich aussagefähig wie das Verfahren nach [AIAG MSA]. Im Unterschied zum Verfahren nach [AIAG MSA] ist die technische Relevanz der Aussage jedoch grundsätzlich gewährleistet, da die Toleranz T in die Bewertung eingeht.



F Verfahren 5: Faktoren zur Berechnung von Eingriffsgrenzen

Zur Berechnung der Eingriffsgrenzen bei Stabilitätskarten werden abhängig vom Kartentyp die Faktoren u_p , B'_{Eun} , B'_{Eob} und E'_E benötigt (vgl. Kap. 4.5.1).

Die Faktoren u_p hängen vom Vertrauensniveau $1 - \alpha$ ab sowie davon, ob es sich um ein- oder zweiseitige Grenzen handelt. Sie berechnen sich als Quantile der Standardnormalverteilung. Die folgende Tabelle enthält u_p zur Berechnung ein- und zweiseitiger Eingriffsgrenzen für \bar{x} -Karten für die Vertrauensniveaus 99,73% ($\alpha = 0,0027$) und 99% ($\alpha = 0,01$).

$\alpha = 0,0027$ (zweiseitig)	$\alpha = 0,01$ (zweiseitig)	$\alpha = 0,0027$ (einseitig)	$\alpha = 0,01$ (einseitig)
$u_p = -u_{\alpha/2} = u_{1-(\alpha/2)}$		$u_p = -u_{\alpha} = u_{1-\alpha}$	
3,000	2,576	2,782	2,326

Die Faktoren B'_{Eun} , B'_{Eob} und E'_E hängen zusätzlich vom Stichprobenumfang n ab. Sie berechnen sich aus den Quantilen der χ^2 -Verteilung (B'_{Eun} , B'_{Eob}) bzw. der Standardnormalverteilung (E'_E).

Zweiseitige Eingriffsgrenzen:

$$B'_{Eun} = \sqrt{\frac{\chi_{n-1; \alpha/2}^2}{n-1}} \quad B'_{Eob} = \sqrt{\frac{\chi_{n-1; 1-(\alpha/2)}^2}{n-1}} \quad E'_E = u_{\sqrt{1-(\alpha/2)}}$$

Einseitige Eingriffsgrenzen:

$$B'_{Eun} = \sqrt{\frac{\chi_{n-1; \alpha}^2}{n-1}} \quad B'_{Eob} = \sqrt{\frac{\chi_{n-1; 1-\alpha}^2}{n-1}} \quad E'_E = u_{\sqrt{1-\alpha}}$$

Die folgende Tabelle enthält die Faktoren B'_{Eun} , B'_{Eob} und E'_E zur Berechnung ein- und zweiseitiger Eingriffsgrenzen für s - bzw. Urwertkarten für diverse Stichprobenumfänge n und die Vertrauensniveaus 99,73% ($\alpha = 0,0027$) und 99% ($\alpha = 0,01$).

n	$\alpha = 0,0027$ (zweiseitig)			$\alpha = 0,01$ (zweiseitig)			$\alpha = 0,0027$ (einseitig)			$\alpha = 0,01$ (einseitig)		
	B'_{Eun}	B'_{Eob}	E'_E	B'_{Eun}	B'_{Eob}	E'_E	B'_{Eun}	B'_{Eob}	E'_E	B'_{Eun}	B'_{Eob}	E'_E
2	0,002	3,205	3,205	0,006	2,807	2,807	0,003	3,000	3,000	0,013	2,576	2,575
3	0,037	2,571	3,320	0,071	2,302	2,935	0,052	2,432	3,121	0,100	2,146	2,712
4	0,100	2,283	3,399	0,155	2,069	3,023	0,126	2,172	3,205	0,196	1,945	2,806
5	0,163	2,110	3,460	0,227	1,927	3,090	0,194	2,016	3,269	0,273	1,822	2,877
6	0,218	1,991	3,509	0,287	1,830	3,143	0,252	1,908	3,320	0,333	1,737	2,934
7	0,266	1,903	3,550	0,336	1,758	3,188	0,300	1,829	3,363	0,381	1,674	2,981
8	0,306	1,835	3,585	0,376	1,702	3,227	0,341	1,767	3,399	0,421	1,625	3,022
9	0,341	1,780	3,615	0,410	1,657	3,260	0,376	1,717	3,431	0,454	1,585	3,057
10	0,371	1,735	3,642	0,439	1,619	3,290	0,405	1,675	3,460	0,482	1,552	3,089
11	0,398	1,697	3,667	0,464	1,587	3,317	0,431	1,640	3,485	0,506	1,523	3,117
12	0,422	1,664	3,689	0,486	1,560	3,341	0,454	1,610	3,509	0,527	1,499	3,143
13	0,443	1,635	3,709	0,506	1,536	3,363	0,475	1,584	3,530	0,545	1,478	3,166
14	0,461	1,609	3,728	0,524	1,515	3,383	0,493	1,561	3,549	0,562	1,459	3,187
15	0,479	1,587	3,745	0,539	1,496	3,402	0,509	1,540	3,567	0,577	1,443	3,207
20	0,545	1,502	3,817	0,600	1,425	3,480	0,573	1,462	3,642	0,634	1,380	3,289
25	0,591	1,446	3,872	0,642	1,378	3,539	0,617	1,411	3,699	0,673	1,338	3,351

Faktoren für abweichende Werte von α und n werden gemäß vorstehenden Formeln berechnet. Die Quantile $\chi_{f;p}^2$ und u_p können Tabellen entnommen oder z. B. mittels EXCEL-Arbeitsblattfunktion $CHIINV(1-p;f)$ bzw. $STANDNORMINV(p)$ berechnet werden. Dabei sind die Freiheitsgrade f und die Wahrscheinlichkeiten p entsprechend den Anforderungen gemäß obigen Formeln einzusetzen.

ANMERKUNG: Das Quantil $\chi_{f;p}^2$ berechnet sich mit Hilfe der EXCEL-Arbeitsblattfunktion gemäß $CHIINV(1-p;f)$, d.h. anstelle von p ist stets $1 - p$ einzusetzen; Beispiel: $\chi_{n-1; \alpha/2}^2 = CHIINV(1 - \alpha/2; n - 1)$



G Kenngröße „Kappa“ (κ)

Mit Hilfe der Kenngröße „Kappa“ (κ) wird der Grad der Übereinstimmung von Bewertungsergebnissen quantitativ beurteilt [ISO 14468].

Grundelement zur Beurteilung der Übereinstimmung aller Bewertungen ist das Bewertungspaar, das aus zwei Einzelbewertungen gebildet wird. Je nach Art der Auswahl, Kombination und Auswertung dieser Bewertungspaare wird zwischen *Cohen's Kappa* und *Fleiss' Kappa* unterschieden.

- **Cohen's Kappa** ist konzipiert, um den Grad der Übereinstimmung von Bewertungsergebnissen aus zwei Prüfdurchläufen quantitativ zu bewerten (zwei Prüfer mit je einem Prüfdurchlauf oder ein Prüfer mit zwei Prüfdurchläufen). [AIAG MSA] benutzt diesen Ansatz für mehrere Prüfer mit jeweils mehreren Prüfdurchläufen, indem bestimmte Paarungen gebildet und ausgewertet werden. Daher ist die Frage naheliegend, welche Paarungen für das Ergebnis signifikant sind.
- **Fleiss' Kappa** stellt eine systematische und konsequente Verallgemeinerung dar, da grundsätzlich alle theoretisch möglichen paarweisen Kombinationen der einzelnen Bewertungsergebnisse betrachtet werden.

ANMERKUNG: Im vorliegenden Heft wird ausschließlich Fleiss' Kappa behandelt. Ergänzende Dokumentation zu den Themen „Kreuztabellenmethode“ und „Auswertung nach AIAG-MSA“ ist bei C/QMM und über die C/QMM-Intranet-Seiten erhältlich.

Eine Gesamtheit von Bewertungsergebnissen enthält in der Regel einen bestimmten Anteil Übereinstimmungen, der durch Zufall bedingt ist – und nicht durch objektive Entscheidung. Eine wesentliche Eigenschaft der Kenngröße „Kappa“ ist, dass dieser Anteil abgeschätzt und eliminiert wird, so dass nur die objektive, nicht zufallsbedingte Übereinstimmung bewertet wird.

ANMERKUNG: Ausschließlich zufällige Übereinstimmungen würde man beispielsweise erhalten, wenn Prüfer bei Sichtprüfungen mit verbundenen Augen entscheiden müssten.

G.1 Mathematische Grundlagen

HINWEIS: Dieses Kapitel wendet sich vorzugsweise an Leser, die detailliertere Informationen zur Ermittlung der Kenngröße Kappa (κ) benötigen.

Nomenklatur und Definitionen

N_O	Anzahl Prüfobjekte (engl. <u>o</u> bject)
N_A ; n_A ^{*)}	Anzahl Prüfer (engl. <u>a</u> ppraiser)
N_T ; n_T ^{*)}	Anzahl Prüfdurchläufe je Prüfer (engl. <u>t</u> rial)
N_R	Anzahl ^{*)} Bewertungen je Prüfobjekt (engl. <u>r</u> ating)
$N = N_O \cdot N_R$	Gesamtzahl ^{*)} Bewertungen
N_C	Anzahl Bewertungskategorien (engl. <u>c</u> ategory)
n_{ik}	Anzahl ^{*)} Zuordnungen von Prüfobjekt i zu Bewertungskategorie k ; $i = 1 \dots N_O$; $k = 1 \dots N_C$
$\sum_{k=1}^{N_C} n_{ik} = N_R$	Gesamtzahl ^{*)} Zuordnungen von Prüfobjekt i zu allen N_C Bewertungskategorien; i beliebig (Anzahl ^{*)} Bewertungen je Prüfobjekt)
^{*)} Anzahl, die abhängig vom jeweils auszuwertenden Kriterium in die Auswertung eingeht	

Für jedes Prüfobjekt i ($i = 1 \dots N_O$) werden von N_A Prüfern in N_T Prüfdurchläufen insgesamt $N_A \cdot N_T$ Bewertungen abgegeben. Zusätzlich ist jedem Prüfobjekt i ein Referenzwert zugeordnet.

ANMERKUNG: Referenzwerte werden bei der Auswertung wie Bewertungen eines Prüfers mit einem Prüfdurchlauf behandelt.

Zur Auswertung nach unterschiedlichen Kriterien (z. B. Wiederholpräzision, Vergleichspräzision) werden jeweils geeignete Teilmengen $n_A \leq N_A$ und $n_T \leq N_T$ herangezogen, d.h. Bewertungen bestimmter Prüfer und Prüfdurchläufe, und ggf. zusätzlich die Referenzwerte. Dementsprechend werden für jedes Prüfobjekt i abhängig vom jeweiligen Kriterium $n_A \cdot n_T = N_R \leq N_A \cdot N_T$ bzw. bei Einbeziehung der Referenzwerte $n_A \cdot n_T + 1 = N_R \leq N_A \cdot N_T + 1$ Bewertungen ausgewertet. n_{ik} dieser N_R Bewertungen ordnen dem Prüfobjekt i die Kategorie k zu. Für jedes Prüfobjekt i stehen insgesamt N_C Kategorien zur Verfügung ($k = 1 \dots N_C$). Die Anzahl Zuordnungen n_{ik} von Prüfobjekt i zu Kategorie k liegt im Bereich $0 \leq n_{ik} \leq N_R$.

Maß für die beobachtete Übereinstimmung

Als Grundelement zur Beurteilung der Übereinstimmung aller N_R Bewertungen für ein einzelnes Prüfobjekt i definiert [Fleiss] das Bewertungspaar, das aus zwei beliebigen Einzelbewertungen gebildet wird.

ANMERKUNG: Statistisch wird dabei angenommen, dass jede einzelne Bewertung von einem zufällig ausgewählten Prüfer vorgenommen wird, d.h. es wird statistische Unabhängigkeit der Bewertungsergebnisse voraus-



gesetzt. Das bedeutet unter anderem, dass von der Reihenfolge der kombinierten Einzelbewertungen nicht auf einen bestimmten Prüfer oder Prüfdurchlauf geschlossen werden kann.

Die erste dieser N_R Bewertungen lässt sich mit den übrigen (N_R-1) Bewertungen zu (N_R-1) Bewertungspaaren kombinieren. In gleicher Weise lässt sich die zweite dieser N_R Bewertungen mit den wiederum übrigen (N_R-1) Bewertungen zu weiteren (N_R-1) Bewertungspaaren kombinieren, so dass nun insgesamt $2 \cdot (N_R-1)$ Bewertungspaare vorliegen. Alle N_R Bewertungen für ein einzelnes Prüfobjekt i lassen sich zu

$$N_R \cdot (N_R - 1)$$

Bewertungspaaren kombinieren.

ANMERKUNG: Kombinationen aus unterschiedlichen Elementen (z. B. „ab“, „xy“) und Kombinationen aus gleichen Elementen in unterschiedlicher Reihenfolge (z. B. „xy“, „yx“) zählen gleichermaßen als eigenständige Kombinationen.

Zu allen N_O Prüfobjekten existieren insgesamt

$$N_O \cdot N_R \cdot (N_R - 1)$$

mögliche Bewertungspaare.

ANMERKUNG: Kombinationen aus Elementen verschiedener Prüfobjekte werden ausgeschlossen.

Zur Beurteilung der Übereinstimmung werden nur diejenigen Bewertungspaare herangezogen, die sich aus übereinstimmenden Einzelbewertungen zusammensetzen. n_{ik} bezeichnet die Anzahl Zuordnungen (Bewertungen) eines bestimmten Prüfobjektes i zu einer bestimmten Kategorie k . Wie bereits erläutert, lassen sich n_{ik} Bewertungen zu $n_{ik} \cdot (n_{ik}-1)$ Bewertungspaaren kombinieren. Folglich existieren zu einem einzelnen Prüfobjekt i in Summe über alle N_C Kategorien

$$\sum_{k=1}^{N_C} n_{ik} (n_{ik} - 1)$$

übereinstimmende Bewertungspaare. Zu allen N_O Prüfobjekten existieren dann insgesamt

$$\sum_{i=1}^{N_O} \sum_{k=1}^{N_C} n_{ik} (n_{ik} - 1)$$

übereinstimmende Bewertungspaare.

Als Maß für den Grad der Übereinstimmung der $N_O \cdot N_R$ Einzelbewertungen für alle N_O Prüfobjekte wird nach [Fleiss] der Anteil tatsächlich beobachteter (engl. **observed**), übereinstimmender Bewertungspaare aus allen möglichen Bewertungspaaren definiert:

$$P_{\text{Obs}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_O} \sum_{k=1}^{N_C} n_{ik} \cdot (n_{ik} - 1)}{N_O \cdot N_R \cdot (N_R - 1)}.$$

Maß für die zufällige Übereinstimmung

Im Fall rein zufälliger Ergebnisse werden die Prüfobjekte zufällig den N_C Kategorien zugeordnet (z. B. wenn Prüfer bei Sichtprüfungen mit verbundenen Augen entscheiden müssten).

Unter der Voraussetzung vollständiger Zufälligkeit werden die $N_O \cdot N_R$ Einzelbewertungen als gleichwertige Zufallsversuche zur Ermittlung der relativen Häufigkeiten verstanden, mit denen die einzelnen Kategorien k zufällig auftreten. Gleichwertig bedeutet, dass es keine Rolle spielt, von welchem Prüfer in welchem Prüfdurchlauf und für welches Prüfobjekt eine Bewertung abgegeben wird. Lediglich die Gesamtzahl Zuordnungen zu jeder Kategorie k ist maßgeblich. Die so ermittelten relativen Häufigkeiten werden als Schätzwerte für die Wahrscheinlichkeiten p_k verwendet, mit denen die einzelnen Kategorien k bei einem Zufallsversuch zu erwarten sind:

$$\sum_{i=1}^{N_O} \frac{n_{ik}}{N_O \cdot N_R} = p_k.$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Prüfobjekt bei einer Bewertung zufällig der Kategorie k zugeordnet wird und bei einer weiteren Bewertung zufällig der Kategorie k' , berechnet sich nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitstheorie als Produkt $p_k \cdot p_{k'}$ der Einzelwahrscheinlichkeiten p_k und $p_{k'}$.

Für Fleiss' Kappa sind ausschließlich übereinstimmende Bewertungspaare relevant, d.h. $k = k'$:

$$p_k \cdot p_k = p_k^2.$$

Entsprechend gilt für den über alle N_C Kategorien zufällig zu erwartenden (engl. **expected**) Anteil paarweiser Übereinstimmungen:

$$P_{\text{Exp}} = \sum_{k=1}^{N_C} p_k^2 = \sum_{k=1}^{N_C} \left(\sum_{i=1}^{N_O} \frac{n_{ik}}{N_O \cdot N_R} \right)^2.$$



Kenngröße κ (Kappa)

Die Kenngröße κ (Kappa) ist als Anteil beobachteter, nicht zufälliger Übereinstimmungen bezogen auf den Anteil möglicher, nicht zufälliger Übereinstimmungen interpretierbar. Der Anteil beobachteter, nicht zufälliger Übereinstimmungen wird gemäß $P_{\text{Obs}} - P_{\text{Exp}}$ ermittelt, der Anteil möglicher, nicht zufälliger Übereinstimmungen gemäß $1 - P_{\text{Exp}}$. Damit berechnet sich die Kenngröße κ (Kappa) gemäß

$$\kappa = \frac{P_{\text{Obs}} - P_{\text{Exp}}}{1 - P_{\text{Exp}}} = \frac{\text{Beobachtete, nicht zufällige Übereinstimmungen}}{\text{Mögliche, nicht zufällige Übereinstimmungen}}$$

Weiterführende Informationen zu Grundlagen der Kenngröße κ (Kappa) findet der interessierte Leser in der Literatur [Fleiss-2].

G.2 Manuelle Auswertung am Beispiel der Daten aus AIAG MSA

Die Auswertung wird am Beispiel des Prüf szenarios und der Prüfdaten aus [AIAG MSA] erläutert.

Szenario

$N_A = 3$ Prüfer (Name A, B und C), $N_T = 3$ Prüfdurchläufe (Nr. 1 – 3), $N_o = 50$ Referenzteile als Prüfobjekte (Nr. 1 – 50), $N_c = 2$ Bewertungskategorien (0 - Nicht in Ordnung, 1 - In Ordnung).

Die Prüfergebnisse wurden in einer Tabelle dokumentiert (vgl. Spalten A-1 bis C-3 der Auswerteschemata auf den Seiten 69 und 70). Die Referenzkategorien (d.h. die „richtigen“ Prüfergebnisse) sind ebenfalls eingetragen.

Zu ermittelnde Kenngrößen

Zur Ermittlung der verschiedenen Kenngrößen Kappa (κ) (vgl. Seite 29) sind Prüfergebnisse und Referenzwerte gemäß folgender Tabelle einzubeziehen:

Test (Vergleich)	In Auswertung einzubeziehende Spalten:									Zwischenergebnisse in Spaltengruppe:												Ergebnis			
	Referenz	Prüfergebnisse									A x A	B x B	C x C	A x B x C	A-1 x Ref	A-2 x Ref	A-3 x Ref	B-1 x Ref	B-2 x Ref	B-3 x Ref	C-1 x Ref		C-2 x Ref	C-3 x Ref	
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3															
Innerhalb der Prüfer: Übereinstimmung der Bewertungen <u>eines</u> Prüfers		X	X	X						X															$\kappa_A \times A$
					X	X	X				X														$\kappa_B \times B$
								X	X	X		X													$\kappa_C \times C$
Zwischen den Prüfern: Übereinstimmung der Bewertungen <u>aller</u> Prüfer		X	X	X	X	X	X	X	X				X												$\kappa_A \times B \times C$
Jeder Prüfer einzeln gegen Referenz: Übereinstimmung der Bewertungen <u>eines</u> Prüfers mit der Referenz	X	X												X											$\kappa_{A-1} \times \text{Ref}$
	X		X												X										$\kappa_{A-2} \times \text{Ref}$
	X			X												X									$\kappa_{A-3} \times \text{Ref}$
	X	X	X	X									X												$\kappa_A \times \text{Ref}$ = Mittelwert $\kappa_{A-1} \times \text{Ref}$, $\kappa_{A-2} \times \text{Ref}$, $\kappa_{A-3} \times \text{Ref}$
	X				X												X								$\kappa_{B-1} \times \text{Ref}$
	X					X												X							$\kappa_{B-2} \times \text{Ref}$
	X						X												X						$\kappa_{B-3} \times \text{Ref}$
	X				X	X	X											X							$\kappa_B \times \text{Ref}$ = Mittelwert $\kappa_{B-1} \times \text{Ref}$, $\kappa_{B-2} \times \text{Ref}$, $\kappa_{B-3} \times \text{Ref}$
	X							X													X				$\kappa_{C-1} \times \text{Ref}$
	X								X													X			$\kappa_{C-2} \times \text{Ref}$
	X									X													X		$\kappa_{C-3} \times \text{Ref}$
	X							X	X	X												X			$\kappa_C \times \text{Ref}$ = Mittelwert $\kappa_{C-1} \times \text{Ref}$, $\kappa_{C-2} \times \text{Ref}$, $\kappa_{C-3} \times \text{Ref}$
Alle Prüfer zusammen gegen Referenz: Übereinstimmung der Bewertungen <u>aller</u> Prüfer mit der Referenz	X	X	X	X	X	X	X	X	X									X							$\kappa_A \times B \times C \times \text{Ref}$ = Mittelwert $\kappa_A \times \text{Ref}$, $\kappa_B \times \text{Ref}$, $\kappa_C \times \text{Ref}$



Vorgehen am Beispiel der Teilauswertung „Zwischen den Prüfern“ (κ_{AxBxC})

Berechnungsschritt	Formel (vgl. Anhang G.1)	Ergebnis
0-Bewertungen in den Spalten A-1 bis C-3 zeilenweise		
1. zählen, Zählergebnisse in entsprechende Zeilen der Spalte n_{ik} , $k=1$ eintragen	n_{i1}	
1-Bewertungen in den Spalten A-1 bis C-3 zeilenweise		
2. zählen, Zählergebnisse in entsprechende Zeilen der Spalte n_{ik} , $k=2$ eintragen	n_{i2}	
3. Spalte n_{ik} , $k=1$ summieren	$\sum_{i=1}^{N_O=50} n_{i1} = n_1$	148
4. Spalte n_{ik} , $k=2$ summieren	$\sum_{i=1}^{N_O=50} n_{i2} = n_2$	302
5. Ergebnisse der Schritte 3 und 4 addieren	$\sum_{k=1}^{N_C=2} n_k = n_1 + n_2 = N$	450
6. Ergebnis aus Schritt 3 durch Ergebnis aus Schritt 5 dividieren	$\frac{n_1}{N} = p_1$	0,3289
7. Ergebnis aus Schritt 4 durch Ergebnis aus Schritt 5 dividieren	$\frac{n_2}{N} = p_2$	0,6711
8. Ergebnis aus Schritt 6 mit sich selbst multiplizieren	$p_1 \cdot p_1 = p_1^2$	0,1082
9. Ergebnis aus Schritt 7 mit sich selbst multiplizieren	$p_2 \cdot p_2 = p_2^2$	0,4504
10. Ergebnisse der Schritte 8 und 9 addieren	$\sum_{k=1}^{N_C=2} p_k^2 = p_1^2 + p_2^2 = P_{Exp}$	0,5586
Aus den Zählergebnissen in Spalte n_{ik} , $k=1$ zeilenweise		
11. die Größen $n_{ik} \cdot (n_{ik}-1)$ berechnen und in entsprechende Zeilen der Spalte $n_{ik} \cdot (n_{ik}-1)$, $k=1$ eintragen	$n_{i1} \cdot (n_{i1} - 1)$	
Aus den Zählergebnissen in Spalte n_{ik} , $k=2$ zeilenweise		
12. die Größen $n_{ik} \cdot (n_{ik}-1)$ berechnen und in entsprechende Zeilen der Spalte $n_{ik} \cdot (n_{ik}-1)$, $k=2$ eintragen	$n_{i2} \cdot (n_{i2} - 1)$	
13. Alle Werte in den Spalten $n_{ik} \cdot (n_{ik}-1)$, $k=1$ und $n_{ik} \cdot (n_{ik}-1)$, $k=2$ summieren	$\sum_{k=1}^{N_C=2} \sum_{i=1}^{N_O=50} n_{ik} (n_{ik} - 1) = \sum_{k=1}^{N_C=2} n_k^* = n^*$	3272
14. Eine beliebige Zeile der Spalten n_{ik} , $k=1$ und n_{ik} , $k=2$ summieren	$\sum_{k=1}^{N_C=2} n_{ik} = N_R \text{ (für ein beliebiges } i)$	9
15. Aus dem Ergebnis von Schritt 14 die Größe $N_R \cdot (N_R-1)$ berechnen: $9 \times (9-1) = 9 \times 8 = 72$	$N_R \cdot (N_R - 1) = N_R^*$	72
16. Ergebnis aus Schritt 15 mit der Anzahl Prüfobjekte N_O multiplizieren: $50 \times 72 = 3600$	$N_O \cdot N_R \cdot (N_R - 1) = N_O \cdot N_R^* = N^*$	3600
17. Ergebnis aus Schritt 13 durch Ergebnis aus Schritt 16 dividieren: $3272 / 3600 = 0,9089$	$\sum_{k=1}^{N_C=2} \sum_{i=1}^{N_O=50} \frac{n_{ik} (n_{ik} - 1)}{N_O \cdot N_R (N_R - 1)} = \frac{n^*}{N^*} = P_{Obs}$	0,9089
18. Aus den Ergebnissen der Schritte 10 und 17 Kappa gemäß Formel berechnen	$\frac{P_{Obs} - P_{Exp}}{1 - P_{Exp}} = \kappa$	0,7936



Kategorien: 0 - Nicht in Ordnung 1 - In Ordnung											A x B x C							
Prüfobjekt Nr.	Referenz	Prüfer – Durchlauf									n _{ik}		n _{ik} *(n _{ik} -1)					
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	k=1	k=2	k=1	k=2				
		Bewertung:									0	1	Bewertung:		0	1		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
6	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	4	5		12	20			
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8		0	56			
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	1		56	0			
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
14	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	3	6		6	30			
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
21	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	4	5		12	20			
22	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	5	4		20	12			
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	7	2		42	2			
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
30	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	1		56	0			
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
34	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	5	4		20	12			
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
36	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	2	7		2	42			
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
43	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	2	7		2	42			
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9		0	72			
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		72	0			
Anzahl Prüfobjekte											N _O Σ n _{ik} = n _k		148	302	N _O Σ n _{ik} (n _{ik} - 1) = n _k [*]		1020	2252
											Σ n _k = N		450		Σ n _k [*] = n [*]		3272	
Anzahl Prüfer											n _k N = p _k		0,3289	0,6711	Σ n _{ik} = N _R		9	
											p _k · p _k = p _k ²		0,1082 0,4504		N _R · (N _R - 1) = N _R [*]		72	
Anzahl Durchläufe je Prüfer															N _O		50	
															N _O · N _R [*] = N [*]		3600	
Anzahl Kategorien											Σ p _k ² = P _{Exp}		0,5586		n [*] N [*] = P _{Obs}		0,9089	
															P _{Obs} - P _{Exp} 1 - P _{Exp} = κ		0,7936	



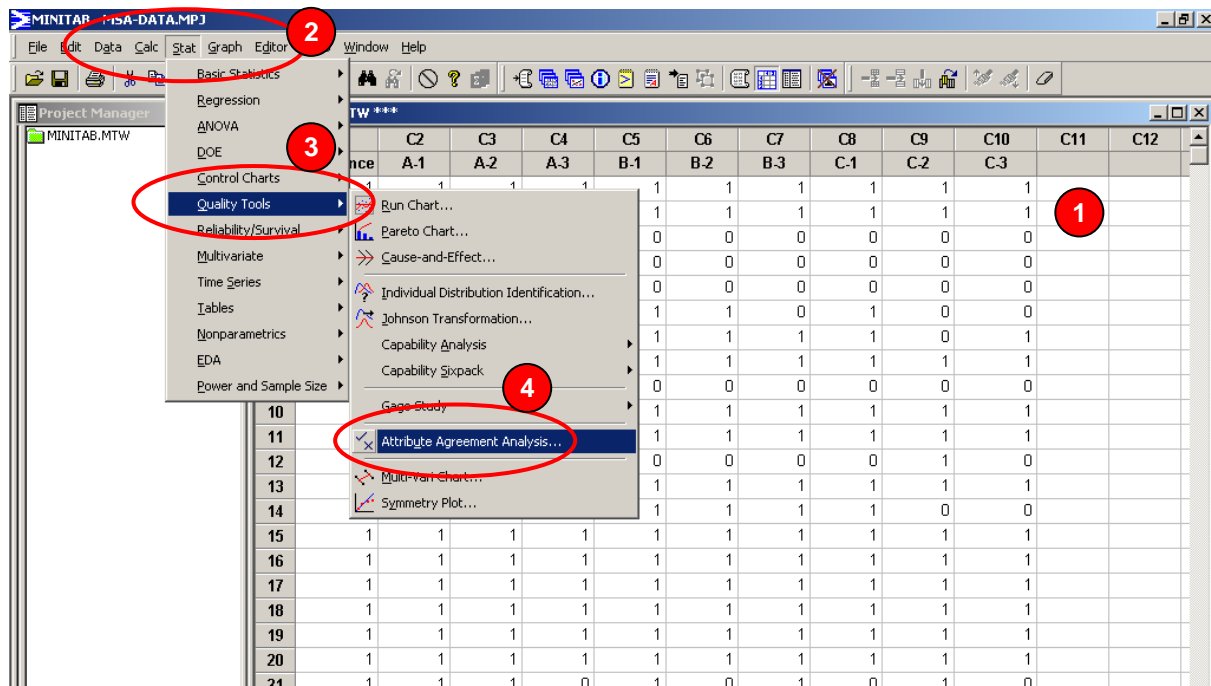
Verfahren 7: Prüfdaten mit vollständiger Auswertung

Anzahl paarweise gleicher Kombinationen je Prüfobjekt i (i = 1, ... N ₀)												
Kategorien:		0 - Nicht in Ordnung 1 - In Ordnung									A x A	
Prüfobjekt Nr.	Referenz	Prüfer – Durchlauf									B x B	C x C
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
6	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	2	2
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	6	6
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	6
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
14	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	2	6
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
21	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	2	2
22	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	2	2
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	6
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	2
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
34	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	2	2
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
36	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	2	6
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
43	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	2	6
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
Beobachtete Anzahl paarweise gleicher Kombinationen n*											268	280
Mögliche Anzahl paarweise gleicher Kombinationen N*											300	300
Beobachteter Anteil paarweise gleicher Kombinationen P _{Obs} = n* / N*											0,8933	0,9333
Beobachtete Anzahl Bewertungen je Kategorie n _k (k = 1, ... N _c)											50	47
Gesamtzahl Bewertungen N											100	103
Beobachteter Anteil Bewertungen je Kategorie n _k / N (k = 1, ... N _c)											0,3333	0,3133
Erwarteter Anteil zufällig gleicher Bewertungen P _{Exp} = Σ _k (n _k /N) ²											0,6667	0,6867
Kappa: $\frac{P_{Obs} - P_{Exp}}{1 - P_{Exp}} = \kappa$											0,5556	0,5697
Kappa: Jeder Prüfer gegen Referenz (Mittelwerte)											0,7029	0,7936
Kappa: Alle Prüfer gegen Referenz (Mittelwert)											0,8802	0,9081
											0,7326	1,0000
											0,9226	0,9081
											0,7747	0,5648
											0,5578	0,5722
											0,6834	0,5648
											0,7326	0,5512

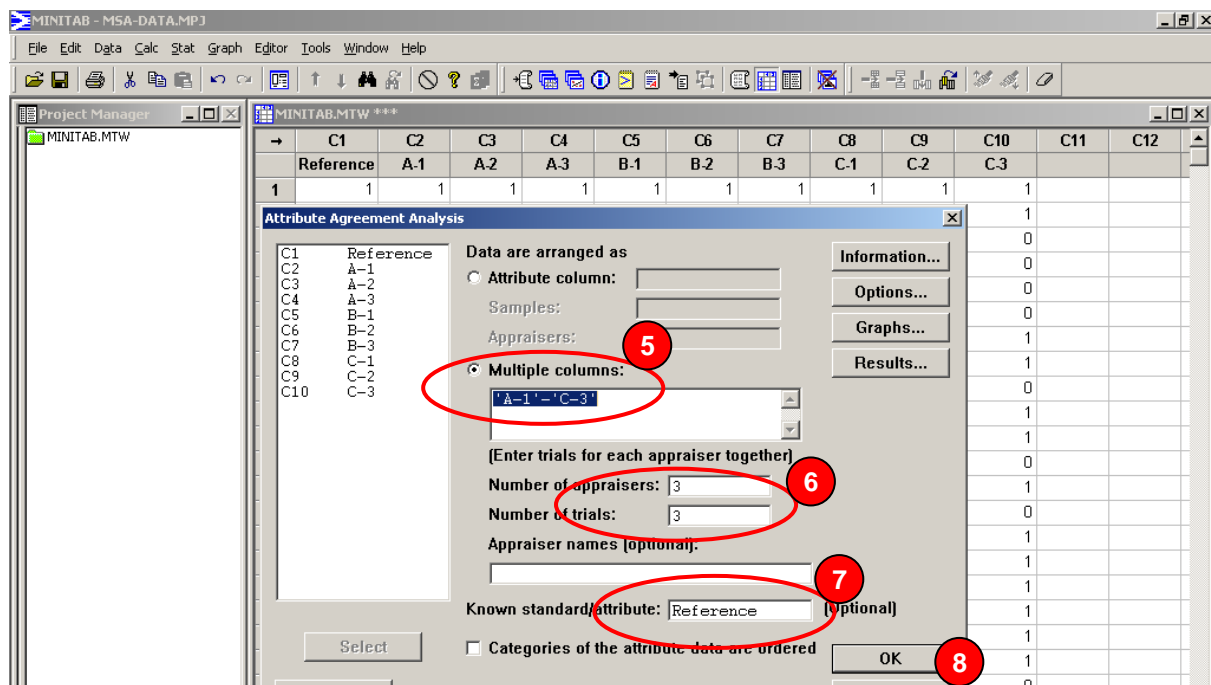


G.3 Auswertung mittels kommerzieller Statistik-Software: Minitab

Die folgende Kurzanleitung soll die schematische Bearbeitung von Standardfällen ermöglichen. Für alle übrigen Fälle, insbesondere bei Änderung von Voreinstellungen, Nutzung weiterer Funktionalitäten usw. ist eine Anwenderschulung unverzichtbar.



- (1) Arbeitsblatt (Worksheet) anlegen, Referenzdaten und auszuwertende Prüfergebnisse eintragen
- (2) Menü „Stat“ anwählen
- (3) Untermenü „Quality Tools“ anwählen
- (4) Untermenü „Attribute Agreement Analysis“ anwählen



- (5) Feld „Multiple Columns“ aktivieren, Namen der Spalten mit den Prüfergebnissen eintragen
- (6) Feld „Number of appraisers“ anwählen, Anzahl Prüfer eintragen
Feld „Number of trials“ anwählen, Anzahl Prüfdurchläufe je Prüfer eintragen
- (7) Feld „Known standard/attribute“ anwählen, Namen der Spalte mit den Referenzdaten eintragen
- (8) OK

Die Ergebnisse der Auswertung werden im sogenannten „Session Window“ angezeigt.



Ergebnisse der Auswertung im Minitab Session Window**Attribute Agreement Analysis for A-1; A-2; A-3; B-1; B-2; B-3; C-1; C-2; C-3****Within Appraisers**

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	42	84,00	(70,89; 92,83)
2	50	45	90,00	(78,19; 96,67)
3	50	40	80,00	(66,28; 89,97)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	0	0,760000	0,0816497	9,3081	0,0000
	1	0,760000	0,0816497	9,3081	0,0000
2	0	0,845073	0,0816497	10,3500	0,0000
	1	0,845073	0,0816497	10,3500	0,0000
3	0	0,702911	0,0816497	8,6089	0,0000
	1	0,702911	0,0816497	8,6089	0,0000

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	42	84,00	(70,89; 92,83)
2	50	45	90,00	(78,19; 96,67)
3	50	40	80,00	(66,28; 89,97)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# 1 / 0	Percent	# 0 / 1	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0,00	0	0,00	8	16,00
2	0	0,00	0	0,00	5	10,00
3	0	0,00	0	0,00	10	20,00

1 / 0: Assessments across trials = 1 / standard = 0.

0 / 1: Assessments across trials = 0 / standard = 1.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	0	0,880236	0,0816497	10,7806	0,0000
	1	0,880236	0,0816497	10,7806	0,0000
2	0	0,922612	0,0816497	11,2996	0,0000
	1	0,922612	0,0816497	11,2996	0,0000
3	0	0,774703	0,0816497	9,4881	0,0000
	1	0,774703	0,0816497	9,4881	0,0000



Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	39	78,00	(64,04; 88,47)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
0	0,793606	0,0235702	33,6698	0,0000
1	0,793606	0,0235702	33,6698	0,0000

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	39	78,00	(64,04; 88,47)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
0	0,859184	0,0471405	18,2260	0,0000
1	0,859184	0,0471405	18,2260	0,0000

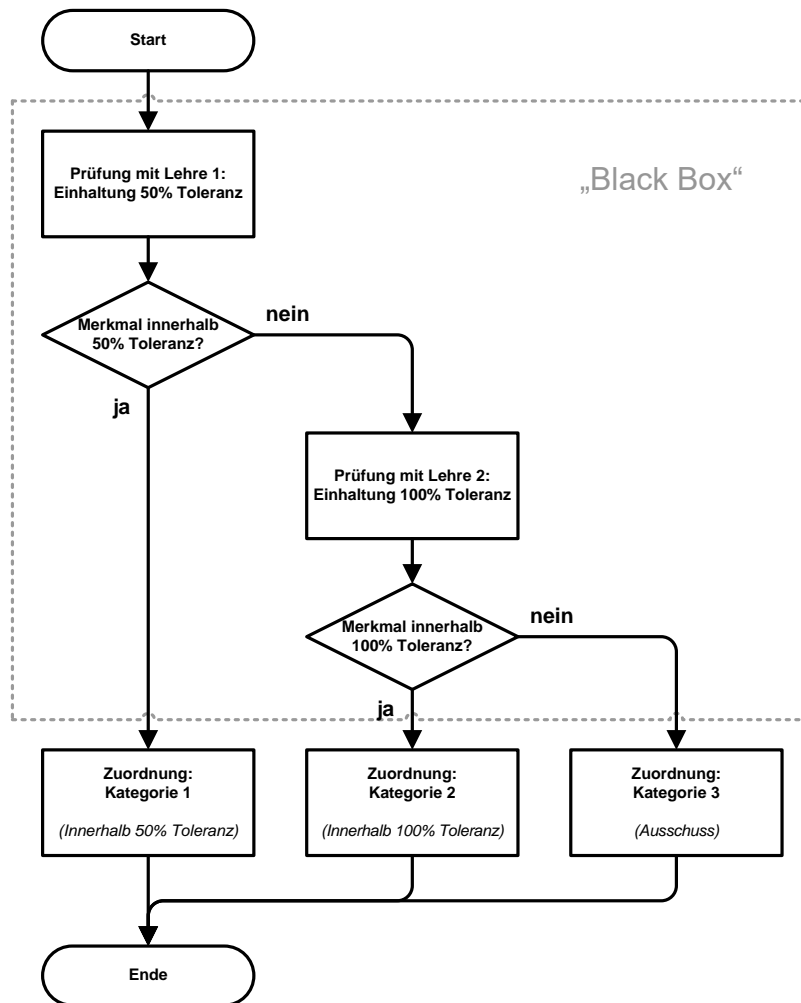


G.4 Ein- und mehrstufige Bewertungsprozesse: Beispiel Lehrenprüfung

Prüfszenario

Prüfobjekte sollen nach ihren Abweichungen vom Nennwert verlesen werden, d.h. jedem Prüfobjekt soll eine der drei Kategorien „Innerhalb 50% Toleranz“, „Innerhalb 100% Toleranz“ und „Ausschuss“ zugeordnet werden. Dazu werden zwei Lehren eingesetzt, die auf Einhaltung der 50%- und 100%-Toleranzgrenzen prüfen.

Prüfprozess



Bei der Beurteilung des Prüfprozesses sind zwei Sichtweisen möglich.

- Einstufiger Bewertungsprozess: Die Lehrenprüfungen werden als eine einzige „Black Box“ betrachtet, die in einem einzigen Prüfschritt eine von mehreren Kategorien zuordnet. Der gesamten „Black Box“ wird eine einzige Prüfprozessfähigkeit zugeordnet.
- Mehrstufiger Bewertungsprozess: Die Lehrenprüfungen werden als serieller Prüfprozess betrachtet, der in mehreren Prüfschritten jeweils eine von zwei Kategorien zuordnet. Jedem einzelnen Prozessschritt wird eine eigene Prüfprozessfähigkeit zugeordnet.

Bei manuellen Prüfprozessen erweist sich der mehrstufige Bewertungsprozess in der Praxis meist als zuverlässiger. Der einstufige Bewertungsprozess eignet sich vorzugsweise für weitgehend automatisierte Prüfprozesse.



Symbolverzeichnis

%AV	AV bezogen auf eine Bezugsgröße (z. B. Toleranz)
%EV	EV bezogen auf eine Bezugsgröße (z. B. Toleranz)
%GRR	GRR bezogen auf eine Bezugsgröße (z. B. Toleranz)
%PV	PV bezogen auf eine Bezugsgröße (z. B. Toleranz)
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
AV	Prüferstreuung / Vergleichpräzision (engl. <u>A</u> ppraiser <u>V</u> ariation / Reproducibility)
$B'_{\text{Eob}}, B'_{\text{Eun}}$	Faktoren zur Berechnung der Eingriffsgrenzen von s-Stabilitätskarten
C_g	potentieller Fähigkeitsindex (ohne Berücksichtigung der systematischen Messabweichung) C - engl. <u>c</u> apability (dtsh. Fähigkeit); g - engl. <u>g</u> auge (dtsh. Messgerät)
C_{gk}	kritischer Fähigkeitsindex (mit Berücksichtigung der systematischen Messabweichung) k - jap. <u>k</u> atayori (dtsh. systematische Abweichung)
d	mittlere Breite der Unsicherheitsbereiche mit uneinheitlichen Prüfentscheiden (Verfahren 6)
d1, d2	Breiten der Unsicherheitsbereiche mit uneinheitlichen Prüfentscheiden (Verfahren 6)
E'_E	Faktor zur Berechnung der Eingriffsgrenzen von Urwertkarten
EV	Messmittelstreuung / Wiederholpräzision (engl. <u>E</u> quipment <u>V</u> ariation / Repeatability)
f	Anzahl Freiheitsgrade
GRR	Wiederhol- und Vergleichpräzision des Messprozesses (engl. <u>G</u> auge <u>R</u> epeatability and <u>R</u> eproducibility); Gesamtstreuung des Messprozesses, d.h. frei von Streuungsanteilen aus der Fertigungsstreuung der Teile (Messobjekte)
i	Laufindex (Nummer) der Stichprobenelemente: Messwerte und/oder Teile (Messobjekte) in der Stichprobe ($1 \leq i \leq n$)
k	Anzahl Prüfer
K_1, K_2, K_3	Faktoren zur Berechnung von EV, AV und PV nach der Spannweitenmethode (ARM)
μ	Mittelwert (Erwartungswert) der Grundgesamtheit
n	Stichprobenumfang: Anzahl Messungen und/oder Teile (Messobjekte) in der Stichprobe
ndc	Anzahl unterscheidbarer Klassen innerhalb der Streubreite der Messobjekte (engl. <u>n</u> umber of <u>d</u> istinct <u>c</u> ategories)
OEG	obere Eingriffsgrenze der \bar{x} -Stabilitätskarte
OEG_s	obere Eingriffsgrenze der s-Stabilitätskarte
OGW	spezifizierter oberer Grenzwert
OGW*	natürlicher (physikalisch bedingter) oberer Grenzwert
OGW_0	obere Akzeptanzgrenze für Messwerte z bei einseitigem oberem Grenzwert OGW (ohne natürliche Untergrenze)
PV	Teilestreuung (engl. <u>P</u> art <u>V</u> ariation)
r	Anzahl Messreihen (Anzahl Messungen je Messobjekt)
$R_{A,i}$	Spannweite der Messwerte von Prüfer A am Teil Nr. i
\overline{R}_A	Mittelwert der Spannweiten $R_{A,i}$
$R_{B,i}$	Spannweite der Messwerte von Prüfer B am Teil Nr. i
\overline{R}_B	Mittelwert der Spannweiten $R_{B,i}$
$R_{C,i}$	Spannweite der Messwerte von Prüfer C am Teil Nr. i
\overline{R}_C	Mittelwert der Spannweiten $R_{C,i}$
R_i	Spannweite der Messwerte an Teil Nr. i (Verfahren 3)
R_p	Spannweite der Mittelwerte \bar{x}_i
\overline{R}	Mittelwert der Spannweiten R_i (Verfahren 3)
$\overline{\overline{R}}$	Mittelwert der mittleren Spannweiten $\overline{R}_A, \overline{R}_B, \overline{R}_C$
$R_{\overline{x}}$	Spannweite der Mittelwerte $\overline{x}_A, \overline{x}_B, \overline{x}_C$



s	Standardabweichung der Messwerte x_i
T	Toleranz (des zu messenden Merkmals)
T^*	(positive) Differenz aus spezifiziertem Grenzwert und natürlichem Grenzwert
$t_{f; p}$	Quantil der t-Verteilung mit Wahrscheinlichkeit p bei f Freiheitsgraden
TV	Gesamtstreuung (engl. <u>T</u> otal <u>V</u> ariation) des Messprozesses und der Teile (Messobjekte)
U	Messunsicherheit, die einem Messergebnis zugeordnet ist
UEG	untere Eingriffsgrenze der \bar{x} -Stabilitätskarte
UEG_s	untere Eingriffsgrenze der s-Stabilitätskarte
UGW	spezifizierter unterer Grenzwert
UGW^*	natürlicher (physikalisch bedingter) unterer Grenzwert
UGW_0	untere Akzeptanzgrenze für Messwerte z bei einseitigem unteren Grenzwert UGW (ohne natürliche Obergrenze)
U_{kal}	Unsicherheit der Kalibrierung
u_p	Faktor zur Berechnung der Eingriffsgrenzen von \bar{x} -Stabilitätskarten
\bar{x}_A	Mittelwert der Messwerte von Prüfer A
\bar{x}_B	Mittelwert der Messwerte von Prüfer B
\bar{x}_C	Mittelwert der Messwerte von Prüfer C
x_i	Messwert Nr. i
x_m	Referenzwert des Referenzteils (engl. <u>m</u> aster)
\bar{x}	Mittelwert der Messwerte x_i
\bar{x}_i	Mittelwert der Messwerte am Teil (Messobjekt) Nr. i
z	Messwert, der nach abgeschlossener Untersuchung ermittelt wird (z. B. während des Fertigungsprozesses)
z_0	richtiger Wert zum Messwert z
\bar{z}	(hypothetischer) Mittelwert der Messwerte z

In einzelnen Kapiteln abweichend definierte und/oder zusätzlich verwendete Symbole

Anhang D (Verfahren 2 und 3): Siehe Symboldefinitionen in den einzelnen Unterkapiteln

Anhang E (Verfahren 4):

$\%Bias_i$	systematische Messabweichung der Messwerte ξ_{ik} am Referenzteil Nr. i bezogen auf die Toleranz des zu messenden Merkmals
$\%SDev_i$	Standardabweichung s_i der Messwerte ξ_{ik} am Referenzteil Nr. i bezogen auf die Toleranz des zu messenden Merkmals
$\%SDev_{max i}$	maximales $\%SDev_i$, das am Referenzteil Nr. i akzeptabel ist
a	Steigung der Ausgleichsgeraden
b	Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden
ε	beliebige positive Zahl
$F_{f_1; f_2; p}$	Quantil der F-Verteilung mit Wahrscheinlichkeit p bei f_1 und f_2 Freiheitsgraden (im Zähler bzw. Nenner)
F_{LM}	Prüfgröße für die statistische Signifikanz der Abweichung der Messwerte vom <u>l</u> inearen <u>M</u> odell
g	Anzahl Referenzteile
i	Laufindex (Nummer) der Referenzteile ($1 \leq i \leq g$)
k	Laufindex (Nummer) der Messwerte an einem bestimmten Referenzteil ($1 \leq k \leq m$)
m	Anzahl Messwerte je Referenzteil
OVG	obere Vertrauensgrenze der systematischen Messabweichungen



s	(Rest-)Streuung der Messabweichungen um die Ausgleichsgerade
s_i	Standardabweichung der Messwerte ξ_{ik} am Referenzteil Nr. i
t_a	Prüfgröße für die statistische Signifikanz der Steigung a der Ausgleichsgeraden
t_b	Prüfgröße für die statistische Signifikanz des Achsenabschnitts b der Ausgleichsgeraden
$t_{f,p}$	Quantil der t-Verteilung mit Wahrscheinlichkeit p bei f Freiheitsgraden
UVG	untere Vertrauensgrenze der systematischen Messabweichungen
x_0	beliebiger Wert auf der x-Achse im Bereich der Referenzwerte x_i
x_i	Referenzwert des Referenzteils Nr. i
$\bar{\xi}_i$	Mittelwert der Messwerte ξ_{ik} am Referenzteil Nr. i
\bar{x}	Mittelwert der Referenzwerte x_i
ξ_{ik}	Messwert Nr. k am Referenzteil Nr. i
y_{ik}	Messabweichung des Messwertes Nr. k am Referenzteil Nr. i vom Referenzwert x_i
\bar{y}_i	systematische Messabweichung der Messwerte ξ_{ik} am Referenzteil Nr. i vom Referenzwert x_i

Kapitel 5.2, Anhang G (Verfahren 7):

i	Laufindex (Nummer) der Prüfobjekte ($1 \leq i \leq N_O$)
k	Laufindex (Nummer) der Bewertungskategorie ($1 \leq k \leq N_C$)
κ	beobachtete, nicht zufällige Übereinstimmungen bezogen auf alle möglichen, nicht zufälligen Übereinstimmungen
κ_{INDEX}	κ für ein bestimmtes, durch "INDEX" (z. B. A x B x C) näher bezeichnetes Kriterium (z. B. κ_{AxBxC} : κ für das Kriterium "Übereinstimmung der Bewertungen der Prüfer A, B, C")
N	Gesamtzahl Bewertungen
N_O	Gesamtzahl Prüfobjekte (engl. <u>O</u> bject)
N_A	Gesamtzahl Prüfer (engl. <u>A</u> ppraiser)
n_A	Anzahl Prüfer, die abhängig vom jeweils auszuwertenden Kriterium in die Auswertung eingeht
N_C	Gesamtzahl Bewertungskategorien (engl. <u>C</u> ategory)
n_{ik}	Anzahl Zuordnungen von Prüfobjekt i zu Bewertungskategorie k
N_R	Gesamtzahl Bewertungen je Prüfobjekt (engl. <u>R</u> ating)
N_T	Gesamtzahl Prüfdurchläufe je Prüfer (engl. <u>T</u> rial)
n_T	Anzahl Prüfdurchläufe je Prüfer, die abhängig vom jeweils auszuwertenden Kriterium in die Auswertung eingeht
P_{Exp}	Anteil zufällig zu erwartender, übereinstimmender Bewertungspaare aus allen möglichen Bewertungspaaren (engl. <u>E</u> xpected)
p_k	Schätzwert für die Wahrscheinlichkeit, mit der bei einem Zufallsversuch die Zuordnung zu Bewertungskategorie k zu erwarten ist
P_{Obs}	Anteil tatsächlich beobachteter, übereinstimmender Bewertungspaare aus allen möglichen Bewertungspaaren (engl. <u>O</u> bserved)

solara.MP®-Formblätter:

%IA	IA bezogen auf eine Bezugsgröße (z. B. Toleranz)
%RE	RE bezogen auf eine Bezugsgröße (z. B. Toleranz)
B _i	systematische Messabweichung (engl. <u>B</u> ias)
i	Laufindex (Nummer) der Messwerte in der Stichprobe: $1 \leq i \leq n_{ges}$ (Verfahren 1)
IA	Wechselwirkung zwischen Prüfern und Teilen (engl. <u>I</u> nter <u>A</u> ction)
j	(siehe n)
M	Mittellage der Messwerte x_i (Verfahren 5)



$\hat{\mu}_{\text{INDEX}}$	Schätzer für die Lage der Grundgesamtheit (INDEX: Code für Berechnungsart)
n	Laufindex (Nummer) der Teile (Messobjekte) in der Stichprobe (Verfahren 2, 3, 6)
n_{eff}	Gesamtzahl Messwerte, die spezifizierte Grenzwerte einhalten
n_{ges}	Gesamtzahl Messwerte
OSG	spezifizierter oberer Grenzwert
RE	Auflösung der Messeinrichtung (engl. RE solution)
Ref	kontinuierliche Referenzwerte der Referenzteile (Verfahren 6)
RF	Bezugsgröße (engl. ReF erence), z. B. Toleranz
R_g	Spannweite der Messwerte x_i
s_g	Standardabweichung der Messwerte x_i
$s_{g\ j}$	Standardabweichung der Messwerte am Teil (Messobjekt) Nr. j
$\hat{\sigma}_{\text{INDEX}}$	Schätzer für die Streuung der Grundgesamtheit (INDEX: Code für Berechnungsart)
\bar{s}_g	Mittelwert der Standardabweichungen aller Stichproben (Verfahren 5)
\tilde{s}_g	Medianwert der Standardabweichungen aller Stichproben (Verfahren 5)
T_m	Mittenwert zwischen oberem und unterem Grenzwert ("Toleranzmitte")
$T_{\min}(\%GRR)$	Mindestwert der Bezugsgröße (Toleranz), mit dem das Fähigkeitskriterium für %GRR erfüllbar ist
$T'_{\min}(\%GRR)$	Mindestwert der Bezugsgröße (Toleranz), mit dem das Fähigkeitskriterium für %GRR bedingt erfüllbar ist
$T_{\min}(C_g)$	Mindestwert der Bezugsgröße (Toleranz), mit dem das Fähigkeitskriterium für C_g erfüllbar ist
$T_{\min}(C_{gk})$	Mindestwert der Bezugsgröße (Toleranz), mit dem das Fähigkeitskriterium für C_{gk} erfüllbar ist
$T_{\min}(RE)$	Mindestwert der Bezugsgröße (Toleranz), mit dem die Anforderung an RE erfüllbar ist
USG	spezifizierter unterer Grenzwert
$x_{A;1}, x_{A;2}$	Messwerte der 1. bzw. 2. Messreihe von Prüfer A (Verfahren 2, 3); Prüfergebnisse des 1. bzw. 2. Prüfdurchlaufs von Prüfer A (Verfahren 6)
$x_{A;1} \dots x_{A;12}$	Messwerte Nr. 1 bis 12 am Referenzteil (Verfahren 4)
$x_{B;1}, x_{B;2}$	Messwerte der 1. bzw. 2. Messreihe von Prüfer B (Verfahren 2, 3); Prüfergebnisse des 1. bzw. 2. Prüfdurchlaufs von Prüfer B (Verfahren 6)
$x_{C;1}, x_{C;2}$	Messwerte der 1. bzw. 2. Messreihe von Prüfer C (Verfahren 2, 3)
x_i	Messwert Nr. i (in einer Stichprobe)
$x_{\max g}, x_{\min g}$	Größter bzw. kleinster Wert der Messwerte x_i
\bar{x}_g	Mittelwert der Messwerte x_i
$\bar{x}_{g\ j}$	Mittelwert der Messwerte am Teil (Messobjekt) Nr. j
$\bar{x}_{g\ \text{Ref}}$	Referenzwert des Referenzteils (Verfahren 4)
$\bar{\bar{x}}_g$	Mittelwert der Mittelwerte $\bar{x}_{g\ j}$
$\tilde{\bar{x}}_{g\ j}$	Medianwert der Mittelwerte $\bar{x}_{g\ j}$



Begriffe

HINWEIS 1: Die nachstehenden Begriffsdefinitionen wurden den jeweils zitierten Normen entnommen. Zugehörige Anmerkungen wurden nur in Einzelfällen übernommen, wenn sie für das Verständnis eines Normbegriffes als unmittelbar relevant und/oder unverzichtbar bewertet wurden. Ansonsten wird bzgl. Anmerkungen und Beispielen auf die jeweilige Norm verwiesen.

*HINWEIS 2: „Redaktionelle Anmerkungen“ sind **kein** Bestandteil der jeweiligen Norm.*

HINWEIS 3: Es werden vorzugsweise die Begriffsdefinitionen gemäß [VIM] verwendet. Sofern Begriffe nicht in [VIM] enthalten sind, wird die aktuellste Definition aus den Normen [ISO 3534-2], [ISO 3534-1], [ISO 9000], [ISO 10012], [DIN 1319-2] und [DIN 1319-1] übernommen (oder in einigen Fällen zusätzlich aufgeführt). Nicht genormte Definitionen werden nur verwendet, wenn die genannten Normen keine Definition bereitstellen.

HINWEIS 4: Begriffe, deren Definitionen in der Zusammenstellung enthalten sind, werden bei Verwendung in Definitionen anderer Begriffe fett dargestellt.

Abweichung (engl. error): siehe **Messabweichung** [VIM, 2.16]

Anforderung (engl. requirement)

Erfordernis oder Erwartung, das oder die festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend ist [ISO 9000, 3.1.2]

Anzeige (engl. indication)

Von einem **Messgerät** oder **Messsystem** gelieferter **Größenwert** [VIM, 4.1]

Anzeigendes Messgerät (engl. indicating measuring instrument)

Messgerät, das ein Ausgangssignal als Träger der Information über den **Wert** der **Größe**, die gemessen wird, liefert

*ANMERKUNG 1: Ein anzeigendes Messgerät kann eine Aufzeichnung seiner **Anzeige** liefern*

ANMERKUNG 2: Ein Ausgangssignal kann in visueller oder akustischer Form erfolgen. Es kann auch an ein oder mehrere andere Geräte übertragen werden.

[VIM, 3.3]

Art einer Größe (engl. kind of quantity, kind): siehe **Größenart** [VIM, 1.2]

Auflösung (engl. resolution)

Kleinste Änderung einer **Messgröße**, die in der entsprechenden **Anzeige** eine merkliche Änderung verursacht [VIM, 4.14]

Auflösung eines visuell anzeigenden Messgerätes (engl. resolution of a displaying device)

Kleinste Differenz zwischen den **Anzeigen**, die sinnvoll unterschieden werden können [VIM, 4.15]

Auswahleinheit (engl. sampling unit, unit)

Einer der einzelnen Teile, in die eine **Grundgesamtheit** gegliedert ist

*ANMERKUNG 1: Eine Auswahleinheit kann eine oder mehrere **Einheiten** enthalten, z. B. eine Schachtel mit Streichhölzern, jedoch wird nur ein (einziges) **Ermittlungsergebnis** für die Auswahleinheit erhalten*

[ISO 3534-2, 1.2.14]

Bias der Messung (engl. measurement bias)

Schätzwert einer **systematischen Messabweichung** [VIM, 2.18]

Diskretes Merkmal (engl. discrete characteristic)

Merkmal, dessen Merkmalswerte die Zählwerte einer zählbaren Eigenschaft sind (z. B. gut / schlecht, in Ordnung / nicht in Ordnung, rot / grün / blau); in Anlehnung an [CDQ 0301]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Eine zahlentheoretisch basierte Definition findet man in DIN 55350, Teil 12

Diskretisiertes kontinuierliches Merkmal (engl. discretized continuous characteristic)

Merkmal, dessen diskrete Merkmalswerte aus kontinuierlichen Merkmalswerten ermittelt werden, indem geprüft wird, ob die kontinuierlichen Merkmalswerte ein Kriterium erfüllen oder nicht (z. B. **Messwert** innerhalb / außerhalb Toleranz)

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar

Einheit (engl. item, entity)

Das, was einzeln beschrieben und betrachtet werden kann [ISO 3534-2, 1.2.11]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Nicht zu verwechseln mit „Maßeinheit“ (vgl. [VIM, 1.9])



Ermittlung (engl. test)

Technischer Vorgang bestehend aus der Ermittlung eines oder mehrerer **Merkmale** für ein Produkt, einen Prozess oder eine Dienstleistung an Hand eines genau angegebenen Verfahrens

*ANMERKUNG 1: **Messung** ist eingeschränkt auf das Messen von Größen, wogegen Ermittlung in weiterem Sinn benutzt wird zum Ermitteln von Merkmalen durch Messung oder durch andere Mittel wie quantitatives Bestimmen, durch Klassieren oder durch Nachweisen der Anwesenheit oder Abwesenheit eines Merkmals*

[ISO 3534-2, 3.2.3]

Ermittlungsergebnis (engl. test result)

Wert eines **Merkmals**, der mittels eines angegebenen Ermittlungsverfahrens erhalten wurde

[ISO 3534-2, 3.4.1]

Genauigkeit (engl. accuracy): siehe **Messgenauigkeit** [VIM, 2.13]

Größe (engl. quantity)

Eigenschaft eines Phänomens, eines Körpers oder einer Substanz, wobei die Eigenschaft einen Wert hat, der durch eine Zahl und eine Referenz ausgedrückt werden kann [VIM, 1.1]

Größenart (engl. kind of quantity)

Aspekt, der untereinander vergleichbaren **Größen** gemeinsam ist [VIM, 1.2]

Größenwert (engl. quantity value)

Zahlenwert und Referenz, die zusammen eine **Größe** quantitativ angeben [VIM, 1.19]

Grundgesamtheit (engl. population)

Gesamtheit der betrachteten **Einheiten** [ISO 3534-2, 1.2.1]

Identische Untersuchungseinheiten (engl. identical test / measurement item)

Proben, die vorbereitet sind und von denen vermutet werden kann, dass sie für den beabsichtigten Zweck identisch sind [ISO 3534-2, 1.2.34]

Justierung eines Messsystems (engl. adjustment of a measuring system)

Reihe von Tätigkeiten, die an einem **Messsystem** ausgeführt werden, so dass dieses festgelegte **Anzeigen** liefert, die **Werten** einer zu messenden **Größe** entsprechen [VIM, 3.11]

Kenngröße (engl. statistic)

Vollständig bestimmte Funktion aus Zufallsvariablen

NATIONALE FUSSNOTE: Kenngößen charakterisieren Eigenschaften einer Häufigkeitsverteilung

[ISO 3534-1, 1.8]

Konformität (engl. conformity)

Erfüllung einer **Anforderung** [ISO 9000, 3.6.1]

Konformitätsbewertung (engl. conformity evaluation)

Systematische **Prüfung** über den Grad, bis zu dem eine **Einheit** spezielle **Anforderungen** erfüllt

[ISO 3534-2, 4.1.1]

Kontinuierliches Merkmal (engl. continuous characteristic)

Merkmal, dessen Merkmalswerte die **Messwerte** einer physikalischen **Größe** sind (z. B. Gewicht, Länge, Strom, Temperatur) [CDQ 0301]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Eine zahlentheoretisch basierte Definition findet man in DIN 55350, Teil 12

Los (engl. lot)

Bestimmter Teil einer **Grundgesamtheit**, der im Wesentlichen unter denselben Bedingungen wie die Grundgesamtheit in Bezug auf das Ziel der Probenahme entstanden ist [ISO 3534-2, 1.2.4]

Maßverkörperung (engl. material measure)

Messgerät, das während seines Gebrauchs permanent **Größen** einer oder mehrerer **Arten** reproduziert oder liefert, jede mit einem zugewiesenen **Größenwert**

*ANMERKUNG 1: Die **Anzeige** einer Maßverkörperung ist ihr zugewiesener **Größenwert***

*ANMERKUNG 2: Eine Maßverkörperung kann ein **Normal** sein*

[VIM, 3.6]



Merkmal (engl. characteristic)

Kennzeichnende Eigenschaft

ANMERKUNG 1: Ein Merkmal kann inhärent oder zugeordnet sein.

ANMERKUNG 2: Ein Merkmal kann qualitativer oder quantitativer Natur sein.

ANMERKUNG 3: Es gibt verschiedene Klassen von Merkmalen, z. B.:

- physikalische, z. B. mechanische, elektrische, chemische oder biologische Merkmale;
- sensorische, z. B. bezüglich Geruch, Berührung, Geschmack, Sehvermögen, Gehör;
- verhaltensbezogene, z. B. Anständigkeit, Ehrlichkeit, Wahrheitsliebe;
- zeitbezogene, z. B. Pünktlichkeit, Verlässlichkeit, Verfügbarkeit;
- ergonomische, z. B. physiologische oder auf Sicherheit für den Menschen bezogene Merkmale;
- funktionale, z. B. Spitzengeschwindigkeit eines Flugzeuges.

[ISO 3534-2, 1.1.1]

Messabweichung (engl. measurement error)

Messwert minus einem **Referenzwert** [VIM, 2.16]

Messbeständigkeit (engl. stability of a measuring instrument, stability)

Eigenschaft eines **Messgeräts**, entsprechend der seine metrologischen Eigenschaften zeitlich konstant bleiben [VIM 4.19]

Messeinrichtung (engl. measuring system)

Gesamtheit aller **Messgeräte** und zusätzlicher Einrichtungen zur Erzielung eines **Messergebnisses** [DIN 1319-1, 4.2]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: vgl. **Messsystem**

Messergebnis (engl. measurement result)

Menge von **Größenwerten**, die einer **Messgröße** zugewiesen sind, zusammen mit jeglicher verfügbarer relevanter Information [VIM, 2.9]

Messgenauigkeit (engl. measurement accuracy)

Ausmaß der Annäherung eines **Messwerts** an den **wahren Wert** einer **Messgröße** [VIM, 2.13]

Messgerät (engl. measuring instrument)

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

ANMERKUNG 1: Ein Messgerät, das alleine benutzt werden kann, ist ein **Messsystem**

ANMERKUNG 2: Ein Messgerät kann ein **anzeigendes Messgerät** oder eine **Maßverkörperung** sein.

[VIM, 3.1]

Messgröße (engl. measurand)

Größe, die gemessen werden soll [VIM, 2.3]

Messmittel (engl. measuring equipment)

Messgerät, Software, Messnormal, Referenzmaterial oder apparative Hilfsmittel oder eine Kombination davon, wie sie zur Realisierung eines **Messprozesses** erforderlich sind [ISO 9000, 3.10.4]

Messmethode (engl. measurement method)

Allgemeine Beschreibung des logischen Vorgehens zur Durchführung einer **Messung** [VIM, 2.5]

Messobjekt (engl. measuring object; object of measurement)

Träger der **Messgröße** [DIN 1319-1, 1.2]

Messpräzision (engl. measurement precision)

Ausmaß der Übereinstimmung von **Anzeigen** oder **Messwerten**, die durch wiederholte **Messungen** an denselben oder ähnlichen Objekten unter vorgegebenen Bedingungen erhalten wurden [VIM 2.15]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: siehe auch **Präzision**

Messprinzip (engl. measurement principle)

Phänomen, das als Grundlage einer **Messung** dient [VIM, 2.4]

Messprozess (engl. measurement process)

Satz von Tätigkeiten zur Ermittlung eines **Größenwertes** [ISO 9000, 3.10.2]



Messsystem (engl. measuring system)

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

ANMERKUNG: Ein Messsystem kann aus nur einem einzigen Messgerät bestehen

[VIM, 3.2]

Messung (engl. measurement)

Prozess, bei dem einer oder mehrere **Größenwerte**, die vernünftigerweise einer **Größe** zugewiesen werden können, experimentell ermittelt werden

ANMERKUNG 1: Der Begriff „Messung“ ist nicht auf **Nominalmerkmale** anwendbar

ANMERKUNG 2: Eine Messung bedeutet Vergleich von Größen und schließt das Zählen mit ein

ANMERKUNG 3: Eine Messung setzt eine Beschreibung der Größe zusammen mit dem beabsichtigten Zweck eines **Messergebnisses** voraus sowie ein **Messverfahren** und ein kalibriertes **Messsystem**, das gemäß einem vorgegebenen Messverfahren arbeitet, einschließlich der Messbedingungen

[VIM, 2.1]

Messunsicherheit (engl. measurement uncertainty)

Nichtnegativer Parameter, der die Streuung der **Werte** kennzeichnet, die der **Messgröße** auf der Grundlage der benutzten Information beigeordnet ist [VIM, 2.26]

Messverfahren (engl. measurement procedure)

Detaillierte Beschreibung einer **Messung** gemäß einem oder mehreren **Messprinzipien** und einer **Messmethode** auf der Grundlage eines **Modells der Messung** und einschließlich aller Berechnungen zum Erhalt des **Messergebnisses** [VIM, 2.6]

Messwert (engl. measured quantity value; measured value)

Größenwert, der ein **Messergebnis** repräsentiert [VIM, 2.10]

Modell der Messung (engl. measurement model; model)

Mathematische Beziehung zwischen allen **Größen**, von denen bekannt ist, dass sie an einer **Messung** beteiligt sind [VIM, 2.48]

Nominalmerkmal (engl. nominal property)

Eigenschaft eines Phänomens, eines Körpers oder einer Substanz, die nicht quantifizierbar ist [VIM, 1.30]

Normal (engl. measurement standard)

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

ANMERKUNG 1: Eine „Realisierung der Definition einer Größe“ kann durch ein **Messsystem**, eine **Maßverkörperung** oder ein Referenzmaterial geliefert werden.

[VIM, 5.1]

Präzision (engl. precision): siehe **Messpräzision** [VIM, 2.15]

Präzision (engl. precision)

Grad der Übereinstimmung zwischen voneinander **unabhängigen Ergebnissen**, die unter vereinbarten Bedingungen ermittelt wurden.

ANMERKUNG 1: Die Präzision hängt nur von der Verteilung der zufälligen Fehler ab. Sie bezieht sich nicht auf den **wahren Wert** oder den angegebenen Wert.

ANMERKUNG 2: Als Maß für die Präzision wird im allgemeinen die Unpräzision gewählt, die berechnet wird als Standardabweichung des **Ermittlungsergebnisses** oder des **Messergebnisses**. Eine kleinere Präzision äußert sich durch eine größere Standardabweichung.

ANMERKUNG 3: Quantitative Maße für die Präzision hängen entscheidend von den vereinbarten Bedingungen ab. **Wiederholbedingungen** und **Vergleichbedingungen** sind besondere Sätze von äußerst genau vereinbarten Bedingungen.

[ISO 3534-2, 3.3.4]

Probe (engl. sample)

Teilmenge einer **Grundgesamtheit**, die aus einer oder mehreren **Auswahleinheiten** besteht

[ISO 3534-2, 1.2.17]



Prüfeinrichtung (engl. inspection system)

Gesamtheit aller Einrichtungen zur **Ermittlung** eines **Prüfergebnisses**

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar; Definition in Analogie zum Begriff „**Messeinrichtung**“ [DIN 1319-1, 4.2]

Prüfergebnis (engl. inspection result)

Menge von **Ermittlungsergebnissen**, die einer **Prüfung** unterzogen wurden

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar; Definition in Analogie zum Begriff „**Messergebnis**“ [VIM, 2.9]

Prüfgröße (engl. test statistic)

Kenngroße, die im Zusammenhang mit einem statistischen Test verwendet wird [ISO 3534-1, 1.52]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Nicht zu verwechseln mit „**Messgröße**“ (vgl. [VIM, 2.3])

Prüfmittel (engl. measuring and test equipment)

Messmittel für **Prüfungen** [DIN 1319-2, 3.1.1]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Aufgrund unzureichender Normvorgaben wird der Begriff Prüfmittel im vorliegenden Heft auch in erweitertem Sinn angewandt und auf **Prüfeinrichtungen** ausgedehnt, die **Prüfergebnisse** nicht notwendigerweise durch **Messung** von **Größen** ermitteln, sondern auch durch andere Mittel wie quantitatives Bestimmen, durch Klassieren oder durch Nachweisen der Anwesenheit oder Abwesenheit eines **Merkmals**

Prüfobjekt (engl. test object)

Träger des **Merkmals**, das einer **Prüfung** unterzogen wird

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar; Definition in Analogie zum Begriff „**Messobjekt**“ [DIN 1319-1, 1.2]

Prüfprozess (engl. inspection process)

Satz von Tätigkeiten zur **Ermittlung** eines **Prüfergebnisses**

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar; Definition in Analogie zum Begriff „**Messprozess**“ [ISO 9000, 3.10.2]

Prüfsystem (engl. inspection system): siehe **Prüfeinrichtung**

Prüfung (engl. inspection)

Konformitätsbewertung durch Beobachten und Beurteilung, begleitet – soweit zutreffend – durch **Messung**, Testen oder Vergleichen [ISO 3534-2, 4.1.2]

Referenzlos (engl. reference lot)

Los, das sich aus **Referenzteilen** zusammensetzt

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar; Definition in Analogie zum Begriff „**Los**“ [ISO 3534-2, 1.2.4]

Referenzteil (engl. reference part)

Messobjekt oder **Prüfobjekt**, das die Realisierung der Definition einer **Größe** (z. B. als **Normal**) oder eines **Nominalmerkmals** (z. B. als Grenzmuster) darstellt.

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar; Definition in Analogie zum Begriff „**Normal**“ [VIM, 5.1]

Referenzwert (engl. reference quantity value; reference value)

Größenwert, der als Grundlage für den Vergleich mit Werten von **Größen** der gleichen **Art** verwendet wird

ANMERKUNG 1: Ein Referenzwert kann ein **wahrer Wert** einer **Messgröße** sein, dann ist er unbekannt, oder ein **vereinbarter Wert**, dann ist er bekannt.

ANMERKUNG 2: Ein Referenzwert mit beigeordneter **Messunsicherheit** wird üblicherweise angegeben mit Bezug auf

- a) ein Material, z. B. ein zertifiziertes Referenzmaterial
- b) ein Gerät, z. B. ein stabilisierter Laser,
- c) ein Referenzmessverfahren,
- d) einen Vergleich von **Normalen**

[VIM, 5.18]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Aufgrund unzureichender Normvorgaben wird der Begriff Referenzwert im vorliegenden Heft auch in erweitertem Sinn angewandt und auf **diskrete Merkmale** ausgedehnt. Sofern der Typ des Referenzwertes nicht eindeutig aus dem Zusammenhang hervorgeht, werden die Begriffe kontinuierlicher bzw. diskreter Referenzwert verwendet.



Richtiger Wert (engl. conventional true value)

Wert einer Größe oder eines quantitativen **Merkmals**, der für einen bestimmten Zweck an die Stelle des **wahren Wertes** treten kann

ANMERKUNG 1: Ein richtiger Wert wird im allgemeinen als hinreichend nahe am **wahren Wert** liegend angesehen, sofern die Differenz für den vorliegenden Zweck nicht signifikant ist

[ISO 3534-2, 3.2.6]

Spezifikation (engl. specification)

Dokument, das **Anforderungen** festlegt [ISO 3534-2, 3.1.1]

Stichprobe (engl. sample): siehe **Probe** [ISO 3534-2, 1.2.17]

Systematische Messabweichung (engl. systematic measurement error)

Komponente der **Messabweichung**, die bei wiederholten **Messungen** konstant bleibt oder sich in vorher-sagbarer Weise ändert

ANMERKUNG 1: Ein **Referenzwert** für eine systematische Messabweichung ist ein **wahrer Wert** oder ein **Messwert** eines **Normals** mit vernachlässigbarer **Messunsicherheit** oder ein **vereinbarter Wert**

ANMERKUNG 3: Systematische Messabweichung ist gleich der **Messabweichung** minus der **zufälligen Messabweichung**

[VIM, 2.17]

Unabhängige Ergebnisse (engl. independent test / measurement results)

Ermittlungsergebnisse und **Messergebnisse**, die ohne gegenseitige Beeinflussung erhalten wurden [ISO 3534-2, 3.4.3]

Ungewöhnliche Punktefolge (engl. unusual sequence of points)

Messergebnisse oder **Kenngößen**, die (z. B. grafisch) in zeitlicher Reihenfolge dargestellt ein statistisch unwahrscheinliches Verhalten zeigen

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Genormte Definition nicht verfügbar

Vereinbarter Wert (engl. conventional quantity value; conventional value)

Größenwert, der durch Vereinbarung einer **Größe** für den vorgegebenen Zweck zugewiesen wird

ANMERKUNG 1: Manchmal wird für diesen Begriff die Benennung „konventionell wahrer Wert“ verwendet, doch ist von dessen Verwendung abzuraten

ANMERKUNG 2: Manchmal ist ein vereinbarter Wert ein Schätzwert eines **wahren Werts**

ANMERKUNG 3: Von einem vereinbarten Wert wird üblicherweise erwartet, dass er eine angemessen kleine **Messunsicherheit** hat, die auch null sein kann

[VIM, 2.12]

REDAKTIONELLE ANMERKUNG: Der Begriff „vereinbarter Wert“ ersetzt in [VIM] offenbar den Normbegriff „richtiger Wert“, der in der aktuellen Ausgabe des [VIM] nicht mehr enthalten ist.

Vergleichbedingung (engl. intermediate precision condition)

Messbedingung bei Vorliegen einer Menge von Bedingungen, die dasselbe **Messverfahren**, denselben Messort und wiederholte Messungen an demselben Objekt oder ähnlichen Objekten über ein längeres Zeitintervall umfasst, aber auch andere sich ändernde Bedingungen einschließen kann

ANMERKUNG 1: Die Änderungen können umfassen: neue Kalibrierungen, Kalibriernormale, Bediener und **Messsysteme**

[VIM, 2.22]

Vergleichbedingungen (engl. reproducibility conditions)

Beobachtungsbedingungen, bei denen voneinander **unabhängige Ergebnisse** erhalten werden, die mit demselben Verfahren an **identischen Untersuchungseinheiten** in verschiedenen Laboratorien von verschiedenen Bearbeitern mit verschiedener Geräteausrüstung gewonnen wurden [ISO 3534-2, 3.3.11]

Vergleichpräzision (engl. intermediate measurement precision)

Messpräzision bei einer Menge von **Vergleichbedingungen** [VIM, 2.23]

Vergleichpräzision (engl. reproducibility)

Präzision unter **Vergleichbedingungen**

ANMERKUNG 1: Die Vergleichpräzision kann zahlenmäßig ausgedrückt werden durch die **Merkmale** für die Disper-sion der Ergebnisse.

ANMERKUNG 2: Unter Ergebnissen werden üblicherweise korrigierte Ergebnisse verstanden.

[ISO 3534-2, 3.3.10]



Wahrer Wert einer Größe (engl. true quantity value)

Größenwert, der mit der Definition einer **Größe** in Übereinstimmung ist [VIM, 2.11]

Wahrer Wert (engl. true value)

Wert, der eine Größe oder ein quantitatives **Merkmal** charakterisiert, und der unter denjenigen Bedingungen vollständig definiert ist, die bei der Betrachtung der Größe oder des quantitativen Merkmals vorliegen

ANMERKUNG 1: Der wahre Wert einer Größe oder eines quantitativen Merkmals ist ein theoretischer Begriff und im allgemeinen nicht genau bekannt.

[ISO 3534-2, 3.2.5]

Wiederholbedingung von Messungen (engl. repeatability condition of measurement)

Messbedingung aus einer Menge von Bedingungen, die dasselbe **Messverfahren**, dieselben Bediener, dasselbe **Messsystem**, dieselben Betriebsbedingungen und denselben Ort und wiederholte Messungen an demselben Objekt oder an ähnlichen Objekten während eines kurzen Zeitintervalls umfassen

ANMERKUNG 1: Eine Messbedingung ist nur in Bezug auf eine vorgegebene Menge von Wiederholbedingungen eine Wiederholbedingung

[VIM, 2.20]

Wiederholbedingungen (engl. repeatability conditions)

Beobachtungsbedingungen, bei denen voneinander **unabhängige Ergebnisse** nach demselben Verfahren an **identischen Untersuchungseinheiten** in demselben Laboratorium von demselben Bearbeiter mit derselben Geräteausrüstung innerhalb einer kurzen Zeitspanne ermittelt werden.

ANMERKUNG: Die Wiederholbedingungen umfassen:

- dasselbe Messverfahren oder Ermittlungsverfahren;
- denselben Bearbeiter;
- dieselbe Geräteausrüstung, die unter denselben Bedingungen benutzt wird;
- denselben Ort;
- die Wiederholung innerhalb einer kurzen Zeitspanne.

[ISO 3534-2, 3.3.6]

Wiederholpräzision (engl. measurement repeatability, repeatability)

Messpräzision bei einer Menge von **Wiederholbedingungen von Messungen** [VIM, 2.21]

Wiederholpräzision (engl. repeatability)

Präzision unter **Wiederholbedingungen**

*ANMERKUNG: Die Wiederholpräzision kann zahlenmäßig ausgedrückt werden durch **Merkmale** für die Streuung der Ergebnisse.*

[ISO 3534-2, 3.3.5]

Zufällige Messabweichung (engl. random measurement error)

Komponente der **Messabweichung**, die bei wiederholten **Messungen** in unvorhersagbarer Weise schwankt

*ANMERKUNG 1: Ein **Referenzwert** für eine zufällige Messabweichung ist der Mittelwert, der sich aus einer unendlichen Zahl von wiederholten Messungen derselben **Messgröße** ergeben würde.*

ANMERKUNG 2: Zufällige Messabweichungen von wiederholten Messungen bilden eine Verteilung, die durch ihren Erwartungswert, der im allgemeinen als null angenommen wird, und ihre Varianz beschrieben werden kann.

*ANMERKUNG 3: Die zufällige Messabweichung ist gleich der Messabweichung minus der **systematischen Messabweichung***

[VIM, 2.19]



Literatur

- [AIAG MSA] AIAG Core Tools, Measurement Systems Analysis (MSA), 4th edition (2010)
- [AIAG SPC] AIAG Core Tools, Statistical Process Control (SPC), 2nd edition (2005)
- [CDQ 0301] CDQ 0301, Management von Merkmalen
(Zentralanweisung, ausschließlich RB-intern verfügbar)
- [CDQ 1001] CDQ 1001, Prüfmittelüberwachung
(Zentralanweisung, ausschließlich RB-intern verfügbar)
- [EWQ] Elementare Werkzeuge der Qualitätstechnik, Broschüre der Robert Bosch GmbH (2005)
- [DIN 1319-1] DIN 1319-1, Grundlagen der Meßtechnik, Teil 1, Grundbegriffe
- [DIN 1319-2] DIN 1319-2, Grundlagen der Messtechnik, Teil 2, Begriffe für Messmittel
- [Fleiss] J. L. Fleiss, Measuring Nominal Scale Agreement Among Many Raters, Psychological Bulletin (1971), Vol. 76, No. 5, pp. 378 – 382
- [Fleiss-2] J. L. Fleiss, B. Levin, M. C. Paik, Statistical Methods for Rates and Proportions, 3rd edition (2003), Wiley-Interscience, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-52629-0: Chpt. 18, The Measurement of Interrater Agreement, pp. 598 – 626
- [GUM] DIN V ENV 13005, Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (ENV 13005)
- [Heft 3] Schriftenreihe Qualitätsmanagement in der Bosch-Gruppe, Technische Statistik, Heft Nr. 3, Auswerten von Messreihen
- [Heft 8] Schriftenreihe Qualitätsmanagement in der Bosch-Gruppe, Technische Statistik, Heft Nr. 8, Messunsicherheit
- [Heft 9] Schriftenreihe Qualitätsmanagement in der Bosch-Gruppe, Technische Statistik, Heft Nr. 9, Maschinen- und Prozessfähigkeit
- [ISO 10012] DIN EN ISO 10012, Messmanagementsysteme – Anforderungen an Messprozesse und Messmittel (ISO 10012)
- [ISO 14253] DIN EN ISO 14253-1, Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen – Teil 1: Entscheidungsregeln für die Feststellung von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit Spezifikationen (ISO 14253-1)
- [ISO 14468] ISO/TR 14468, Selected illustrations of attribute agreement analysis
- [ISO 3534-1] DIN ISO 3534-1, Statistik – Begriffe und Formelzeichen – Teil 1: Wahrscheinlichkeit und allgemeine statistische Begriffe (ISO 3534-1)
- [ISO 3534-2] DIN ISO 3534-2, Statistik – Begriffe und Formelzeichen – Teil 2: Angewandte Statistik (ISO 3534-2)
- [ISO 9000] DIN EN ISO 9000, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen u. Begriffe (ISO 9000)
- [MH] Handbuch Managementsystem für Qualität, Umwelt und Sicherheit der Bosch-Gruppe
(Zentralanweisung, ausschließlich RB-intern verfügbar)
- [Sachs] J. Hedderich, L. Sachs, Angewandte Statistik, Springer Verlag Berlin, 16. Auflage, 2018
- [VDA 5] VDA, Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, Band 5, Prüfprozesseignung, Verband der Deutschen Automobilindustrie (VDA), ISSN 0943-9412
- [VDI 2618] VDI/VDE/DGQ-Richtlinie 2618, Prüfanweisungen zur Prüfmittelüberwachung
- [VDI 2622] VDI/VDE/DGQ/DKD-Richtlinie 2622, Kalibrieren von Messmitteln für elektrische Größen
- [VIM] Internationales Wörterbuch der Metrologie (VIM), Deutsch-Englische Fassung ISO/IEC-Leitfaden 99, Herausgeber DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag Berlin Wien Zürich, ISBN 978-3-410-23472-3
- [Wheeler] D. J. Wheeler, R. W. Lyday, Evaluating the Measurement Process, 1st edition (1984), SPC Press Inc.



Stichwortverzeichnis

%
%GRR.....12, 13, 15, 16, 25, 47, 51, 56, 57

A
Ablaufdiagramm3, 4, 5, 6, 7
Verfahren 110
Verfahren 213
Verfahren 316
Verfahren 519
Abweichung58, 79
quadratisch48, 49
systematisch1
zufällig1
Akzeptanz
Akzeptanzbereich9, 45
Akzeptanzkriterium9, 10, 44, 45
Formblatt42
Unsicherheitsbereich45
Analysis of Variances*Siehe ANOVA*
Anforderung79
ANOVA1, 12, 15, 48, 55
ANOVA-Tabelle50
Anzeige79
anzeigendes Messgerät79
Appraiser Variation*Siehe AV*
ARM1, 12, 15, 36, 37, 52, 53
Auflösung5, 79
anzeigendes Messgerät79
Ausgleichsgerade58, 59
Auswahleinheit79
AV49, 50, 51, 52
Average-Range-Methode*Siehe ARM*

B
Bedienereinfluss12, 15
Bericht
Bewertung nicht fähiger Prozesse40
solara.MP®, Verfahren 1 – 6 *Siehe solara.MP®*
Verfahren 1, einseitiger Grenzwert42
Verfahren 731
Bewertung2, 24, 25, 28, 29, 65
Bewertungskategorie24, 28, 29, 65, 66, 67
Bewertungspaar65, 66
Bewertungsprozess, ein-/mehrstufig74
Einzelbewertung65, 66
Übereinstimmung65
Bias8, 48, 58, 79

C
C_g9, 10, 43, 56, 57, 63
C_{gk}9, 10, 43, 63
Check-Liste33

D
Daten, personenbezogen2
Dokumentation2, 9, 28, 32
Mindestangaben2

E
Einflussgröße48, 49, 50, 51, 52, 55
Messeinrichtung48
Prüfer48
Teil48
Wechselwirkung48
Eingriffsgrenze20, 21, 22, 64
Einheit79
Equipment Variation*Siehe EV*
Ergebnis, unabhängiges84
Ermittlung80
Ermittlungsergebnis80
EV49, 50, 51, 52

F
Fähigkeit
Fähigkeitsindex2, 8, 9
Fähigkeitskategorien, Inkonsistenzen56
Fähigkeitskriterium9, 12, 15, 25, 29, 59
Fähigkeitsnachweis1, 12, 15, 22, 24, 28, 32
Fähigkeitsuntersuchung3–7, 10, 13, 16, 55
Messprozess4, 5, 6, 10, 13, 16
Prüfprozess4, 7, 24, 28, 32, 74
Freiheitsgrad48, 50, 55
F-Test49, 50, 59

G
Genauigkeit2, 5, 80
Gesamtstreuung13, 16
Grenze
einseitig9, 44, 45, 64
Grenzwert2, 8, 9, 13, 16, 24, 26, 57
natürliche8, 9, 13, 16, 44
zweiseitig64
Größe80
Größenart79, 80
Größenwert80
GRR13, 16, 24, 26, 46, 47, 49, 50, 51, 52
Grundgesamtheit43, 53, 80

I
Iso-Plot46

J
Justierung2, 21, 22, 32, 43, 80

K
Kalibrierung1, 2, 8, 21, 45
Kappa (κ)28, 29, 65, 67
Auswertung manuell (Beispiel)67
Auswertung Minitab (Beispiel)71
Cohen's Kappa65
Fleiss' Kappa65
Kategorie*Siehe Bewertungskategorie*
Kenngröße44, 67, 80
%GRR*Siehe %GRR*
C_g*Siehe C_g*
C_{gk}*Siehe C_{gk}*



GRR.....	<i>Siehe GRR</i>
Kappa (κ).....	<i>Siehe Kappa (κ)</i>
ndc.....	<i>Siehe ndc</i>
prozessbezogen.....	13, 16, 47
toleranzbezogen.....	12, 15, 25, 63
K-Faktor.....	53, 54
Konformität.....	1, 80
Konformitätsbewertung.....	80
Kundenforderung.....	2, 9, 13, 16, 18, 22, 29, 57

L

Langzeitverhalten.....	<i>Siehe Stabilität</i>
Linearität.....	1, 9, 18
Lineares Modell.....	59, 61
Linearitätsnachweis.....	63
Messabweichung.....	63
Messwertstreuung.....	63
nach AIAG MSA.....	58
Beispiele.....	61
Nulllinie.....	59
Signifikanz Achsenabschnitt.....	59
Signifikanz Steigung.....	59
Verfahren 1, mehrfach.....	18, 63
Los.....	80

M

Maßverkörperung.....	80
Merkmal.....	1, 8, 9, 12, 15, 81
attributiv.....	1
diskret.....	2, 4, 7, 24, 28, 32, 79
diskretisiert.....	24, 28, 32, 79
einseitig begrenzt.....	8, 9, 13, 16, 44
kontinuierlich.....	1, 4, 5, 6, 19, 24, 28, 80
mehrdimensional (multivariat).....	1
variabel.....	1
zweiseitig begrenzt.....	8
Messabweichung.....	59, 81
systematisch.....	2, 8, 9, 18, 43, 44, 48, 58, 84
zufällige.....	85
Messbeständigkeit.....	81, <i>Siehe Stabilität</i>
Messeinrichtung.....	1, 2, 18, 46, 48, 58, 81
Messergebnis.....	2, 8, 26, 81
Messgenauigkeit.....	81
Messgerät.....	81
Messgröße.....	81
Messmethode.....	2, 81
Messmittel.....	1, 2, 12, 15, 81
Messobjekt.....	1, 12, 15, 22, 81
Anzahl, unzureichende.....	55
Messpräzision.....	81
Messprinzip.....	81
Messprozess.....	1, 12, 15, 19, 22, 46, 81
instabil.....	21, 22
nicht fähig.....	32, 40
stabil.....	21
Messprozessanalyse.....	22, 33
Messprozessfähigkeit.....	<i>Siehe Fähigkeit</i>
Messreihe.....	8, 12, 15
Mindestanzahl.....	13, 16, 55
Messsystem.....	82
Messung.....	1, 2, 8, 12, 15, 24, 28, 48, 54, 82
Modell.....	82
Messunsicherheit.....	1, 2, 24, 28, 45, 58, 82

Messverfahren.....	82
Messwert.....	9, 21, 48, 54, 58, 82
einzeln.....	44
Streuung.....	1
Mittelwert.....	9, 21, 43, 52, 59
Mittelwertkarte.....	20
Mittelwert-Spannweiten-Methode.....	<i>Siehe ARM</i>

N

ndc.....	13, 16, 46, 47
Nominalmerkmal.....	82
Normal.....	1, 2, 8, 9, 18, 20, 82
Normalverteilung.....	2, 44, 48, 53

P

Part Variation.....	<i>Siehe PV</i>
Präzision.....	82
Probe.....	82
Prozessstreuung.....	51
Prüfdurchlauf.....	65, 67
Prüfeinrichtung.....	1, 2, 24, 28, 29, 32, 83
Prüfentscheid.....	24, 28
Prüfer.....	65
Prüfergebnis.....	2, 24, 25, 26, 28, 29, 67, 83
Prüfgröße.....	83
Prüfintervall.....	21
Prüfmethode.....	2
Prüfmittel.....	2, 24, 28, 29, 83
Prüfmittelüberwachung (PMÜ).....	2, 8, 18, 22, 32
Prüfobjekt.....	1, 24, 25, 28, 29, 65, 66, 67, 83
Prüfpersonal.....	24, 28, 29
Prüfplan.....	2, 8, 9, 12, 15, 24, 28, 29
Prüfplanung.....	1
Prüfprozess.....	1, 12, 15, 25, 28, 29, 32, 74, 83
nicht fähig.....	32, 40
Prüfprozessfähigkeit.....	<i>Siehe Fähigkeit</i>
Prüfsystem.....	83
Prüfung.....	1, 2, 24, 28, 29, 83
Prüfverfahren.....	21, 24, 28, 29
Punktefolge, ungewöhnliche.....	22, 84
7er-Regel.....	22
Middle Third.....	22
Run.....	22
Trend.....	22
PV.....	13, 16, 47, 49, 50, 51, 52

R

Referenz.....	29
Referenzlos.....	24, 28, 83
Referenzteil.....	1, 20–22, 24, 28, 29, 58, 63, 67, 83
Referenzwert.....	8, 9, 18, 20, 25, 43, 58, 65, 83
diskret.....	28, 65
diskretisiert.....	28
kontinuierlich.....	24, 28
Relevanz, technische.....	43, 47, 63
Rückführbarkeit.....	2

S

Serienteil.....	1, 12, 15, 20, 24, 28
Signifikanz.....	9, 43, 50, 59
Signifikanzkriterium.....	43



s-Karte	20
solara.MP®	1, 2, 9, 12, 15
Bericht Verfahren 1	11
Bericht Verfahren 2	14
Bericht Verfahren 3	17
Bericht Verfahren 4 (Linearität nach AIAG MSA)	60
Bericht Verfahren 5	23
Bericht Verfahren 6	27
Sonderverfahren	1, 2, 12, 15
Spannweite	52, 53, 54
Spannweitenmethode	<i>Siehe ARM</i>
Spezifikation	32, 84
Stabilität	19, 21
Langzeit	1, 8, 19, 32
Stabilitätskarte	20, 21, 22, 32, 64
Stabilitätsteil	20, 21, 22
Stabilitätsüberwachung	1, 19, 20, 22, 32
Standardabweichung	8, 9, 44, 51, 53, 54
Stichprobe	20, 53, 54, 84
Stichprobengröße ... <i>Siehe Stichprobenumfang</i>	
Stichprobenintervall	21
Stichprobenumfang	9, 20, 24, 43, 53, 64
Streubreite	26, 51
Streuung	46
Gesamtstreuung	49, 50, 52
Messmittel	49, 50, 52
Prüfer	49, 50, 52
Teile	47, 49, 50, 52
Streuungskarte	20
Streuverhalten	12, 15

T

Toleranz	5, 9, 12, 13, 15, 16, 24, 25, 28, 51, 63
Total Variation	<i>Siehe TV</i>
t-Test	43, 59
TV	13, 16, 49, 50, 51, 52

U

Übereinstimmung	29
beobachtet	29, 65, 66
nicht zufällig	67
paarweise	29
zufällig	29, 66

Unsicherheit	2
Kalibrierung	8
Unsicherheitsbereich	25
Untersuchungseinheit, identische	80
Urwertkarte	20

V

Varianz	51, 55
Varianzanalyse	<i>Siehe ANOVA</i>
Verfahren	
Verfahren 1	10, 43, 56
Verfahren 2	12, 13, 46, 48, 54, 56
Verfahren 3	15, 16, 46, 54, 56
Verfahren 4	18
Verfahren 4 (Linearität nach AIAG MSA)	58
Verfahren 5	19, 64
Verfahren 6	24
Verfahren 7	28
Vergleichbedingung	84
Vergleichpräzision .. 12, 15, 25, 29, 49, 50, 52, 65, 84	
Vertrauensbereich	55
Vertrauensgrenze	58, 59
Vertrauensniveau	20, 43, 55, 58, 59, 64

W

Wechselwirkung	
Messvorgang – Messobjekt	15
Prüfer – Teil	49, 50, 52
Wert	
richtiger	8, 9, 44, 45, 84
vereinbar	84
wahrer	85
Wiederholbedingung	8, 12, 15, 85
Wiederholpräzision 12, 15, 25, 29, 49, 50, 52, 65, 85	

X

x-Karte	20
---------------	----

Z

Zuständigkeit	3
---------------------	---



Robert Bosch GmbH
C/QMM Tilsch
Wiener Straße 42 - 46
70469 Stuttgart
Germany

Telefon +49 711 811-0
www.bosch.com





Leerseite

Robert Bosch GmbH

C/QMM Tilsch

70469 Stuttgart

Germany

Telefon +49 711 811 - 0

www.bosch.com

