

MGF - Messgerätefähigkeitsuntersuchung (MgFU)

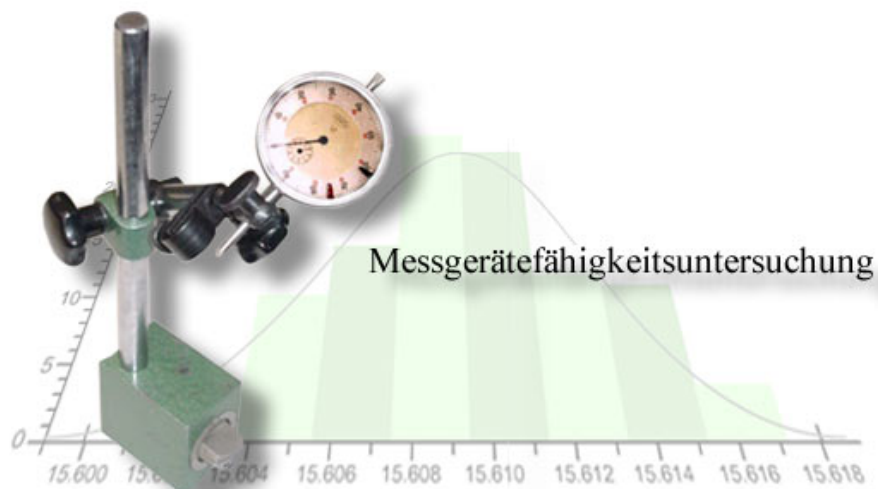
Hinweis:

Diese Druckversion der Lerneinheit stellt aufgrund der Beschaffenheit des Mediums eine im Funktionsumfang stark eingeschränkte Variante des Lernmaterials dar. Um alle Funktionen, insbesondere Verlinkungen, zusätzliche Dateien, Animationen und Interaktionen, nutzen zu können, benötigen Sie die On- oder Offlineversion.

Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

©2023 Berliner Hochschule für Technik (BHT)

MGF - Messgerätefähigkeitsuntersuchung (MgFU)



Überblick und Lernziele

Voraussetzungen

Zur Bearbeitung dieser Lerneinheit ist es notwendig, die Lerneinheiten „GQM - Grundlagen des Qualitätsmanagements“ und „MVW - Qualitätsmanagement - Verfahren, Methoden und Werkzeuge“ bereits durchgearbeitet zu haben.



Lernziele

Lernziele

Nach dem Durcharbeiten dieser Lerneinheit sollen Sie

- den Begriff Messgerätfähigkeitsuntersuchung(MgFU) sowie grundlegende Begriffe der Messtechnik und der Messunsicherheit erklären können,
- wissen, was man unter Auflösung bei Messgeräten versteht und
- was sich hinter den Begriffen **Präzision** und **Genauigkeit** verbirgt,
- wissen, wie sich Mittelwert und Standardabweichung definieren und Sie
- einen Messgerätfähigkeitskennwert berechnen und interpretieren können.



Gliederung

Gliederung der Lerneinheit

Die Lerneinheit „Messgerätfähigkeitsuntersuchung (MgFU)“ gliedert sich wie folgt:

- ▶ Einleitung
- ▶ Begriffserklärungen
- ▶ Auflösung
- ▶ Durchführung einer MgFU
- ▶ Zusammenfassung
- ▶ Wissensüberprüfung



Zeitbedarf

Zeitbedarf und Umfang

Für die Durcharbeitung dieser Lerneinheit benötigen Sie ca. 2 Stunden (120 Minuten).

Inhaltliche Fragen richten Sie bitte an Ihre Kursleitung entweder per E-Mail oder über das Forum im Lernraumsystem. Falls Web-Konferenzen angeboten werden, haben Sie auch dort die Möglichkeit Antworten auf ihre Fragen zu erhalten.

 Formelsammlung des Studienmodul (Siehe Anhang)



1 Einleitung

Um im Qualitätswesen über gut und schlecht, in Ordnung oder nicht in Ordnung entscheiden zu können, werden Prüfmittel aller Art eingesetzt. Dazu gehören Messgeräte ebenso wie Hilfsvorrichtungen oder Lehren. Sie alle müssen gewisse Anforderungen erfüllen, um zu einer richtigen Entscheidung über ein Merkmal beizutragen.



Abb.: Koordinaten-Messmaschine



Abb.: Messtaster und Kalibrierkugel



Abb.: Spannsituation mit Messtaster

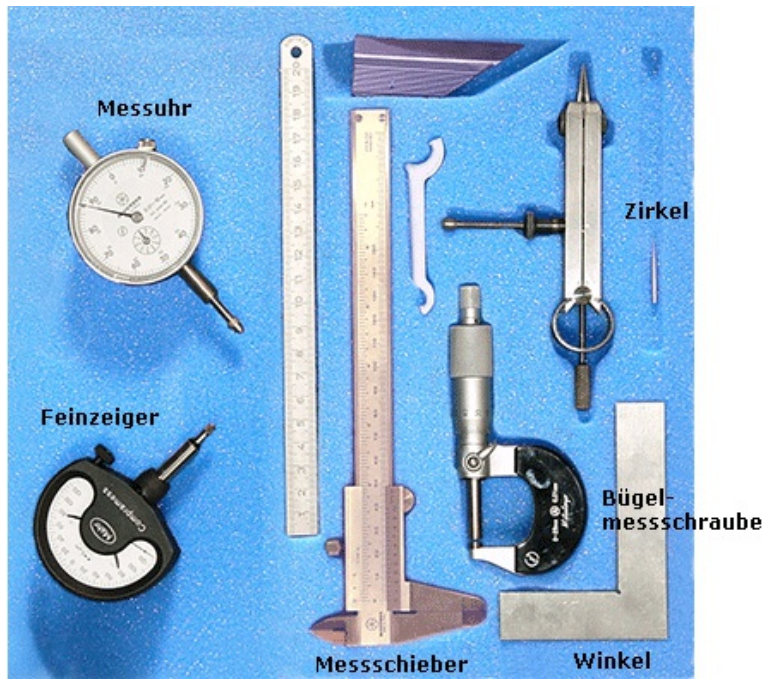


Abb.: Messzeug



Abb.: Bohrerlehre



Abb.: Messuhr mit Stativ

Feinzeiger für Abstands- und Durchmessermessungen



Messbereich 0,01 mm
Auflösung 1 µm

Schraube zum Justieren
("Nullen") mit einem
kalibrierten Normal

Schaft zur Befestigung
an einem Stativ

Messfühler

Abb.: Feinzeiger (Messuhr mit
kleiner Auflösung)

© Lucasbosch  CC BY-SA 3.0



1.1 Problemstellung der Messgerätefähigkeit

Speziell Messgeräte sind in den vergangenen Jahren immer wichtiger geworden, vor allem, wenn es um die Beurteilung von funktions- und sicherheitsrelevanten Merkmalen an Produkten geht.

Einen zusätzlichen Schub haben die Anforderungen an Messgeräte durch die „konservative Sortierung“ aus DIN EN ISO 14253 erhalten.

Aus Teil 1: „Entscheidungsregeln für die Feststellung von Übereinstimmung oder Nicht-Übereinstimmung mit Spezifikationen“ lässt sich die Notwendigkeit zur Kenntnis und Berücksichtigung der Messunsicherheit bei wesentlichen Qualitätsmerkmalen ableiten.



1.2 Aufgaben der Messgerätefähigkeitsuntersuchung

Die Messgerätefähigkeitsuntersuchung (MgFU), die auch als Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung bezeichnet wird, hat den Nachweis der Eignung eines Messgeräts für eine Prüfaufgabe zum Ziel.

Sie dient

- dem Nachweis einer hinreichend feinen Auflösung,
- dem Nachweis einer ausreichend kleinen Messunsicherheit und
- dem Nachweis einer hinreichend kleinen systematischen Messabweichung.



2 Begriffserklärungen

- Messergebnis
- Messwert
- Wahrer Wert
- Richtiger Wert
- Normal

- Richtigkeit
- Präzision
- Messabweichung
- Systematische Messabweichung
- Zufällige Messabweichung
- Messunsicherheit
- Genauigkeit

- Kalibrierung
- Justierung
- Eichung



2.1 Begriffe zur Messtechnik

Messergebnis:

das Ermittlungsergebnis bei Anwendung eines Messverfahrens.

Hinweis

Ein Ermittlungsergebnis höherer Stufe kann durch Zusammenfassung mehrerer Ermittlungsergebnisse niedrigerer Stufen entstehen, z. B. durch Mittelwertbildung aus einzelnen Messwerten.

Messwert:

der durch die Messung gewonnene Schätzwert für den wahren Wert der Messgröße – ein „unberichtigtes Messergebnis“.

Hinweis

Die Ergänzung um quantitative Angaben zu den Messabweichungen führt zu einem „vollständigen Messergebnis“. Das um eine bekannte systematische Messabweichung berichtete Ergebnis heißt „berichtigtes Messergebnis“. In der Messtechnik wird das „berichtigte Messergebnis“ kurz als „Messergebnis“ bezeichnet.

Wahrer Wert:

der tatsächliche Merkmalswert unter den bei der Messung herrschenden Bedingungen.

Hinweis

Meist ist der wahre Wert unbekannt, weil er sich nur dann feststellen ließe, wenn sämtliche Messabweichungen vermieden werden können.

Richtiger Wert:

Wert für Vergleichszwecke, dessen Abweichung vom wahren Wert für den Vergleichszweck als vernachlässigbar betrachtet wird.

Der richtige Wert ist ein Näherungswert für den wahren Wert. Er kann zum Beispiel aus internationalen, nationalen oder Gebrauchsnormalen gewonnen werden.

Normal (umgangssprachlich: Einstellmeister)

Maßverkörperung, Referenzmaterial, Messgerät oder Messeinrichtung mit dem Zweck, eine Maßeinheit darzustellen, zu bewahren oder zu reproduzieren, um diese an andere Messgeräte durch Vergleich weiterzugeben.

Gebrauchsnormal

ist Normal für Messungen an Produkten und liefert üblicherweise den richtigen Wert **x_r**.

Beispiele für eine Maßverkörperung sind ein Gewichtsstück, Volumenmaß, Parallelendmaß, ein Normal für einen elektrischen Widerstand. Normale werden vorwiegend zur „Eichung“, „Justierung“ und „Kalibrierung“ benötigt.

Nationales Normal

ist ein Normal, das in einem Land durch einen offiziellen nationalen Beschluss als Basis zur Festlegung des Wertes aller anderen Normale der betreffenden Größe anerkannt ist. Nationale Normale sind beispielsweise in Deutschland die Normale der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

Internationales Normal

ist ein Normal, das durch ein internationales Abkommen als Basis zur Festlegung des Wertes aller anderen Normale der betreffenden Größe anerkannt ist.

Bezugsnormal

ist ein Normal von der höchsten an einem betrachteten Ort verfügbaren Genauigkeit, von dem an diesem Ort vorgenommene Messungen abgeleitet werden. Die Genauigkeit des Bezugsnormals liegt zwischen der des nationalen Normals und der des „Gebrauchsnormals“, das unmittelbar oder über einen oder mehrere Schritte mit einem Bezugsnormal kalibriert ist und routinemäßig benutzt wird, um Maßverkörperungen oder Messgeräte zu kalibrieren oder zu prüfen.

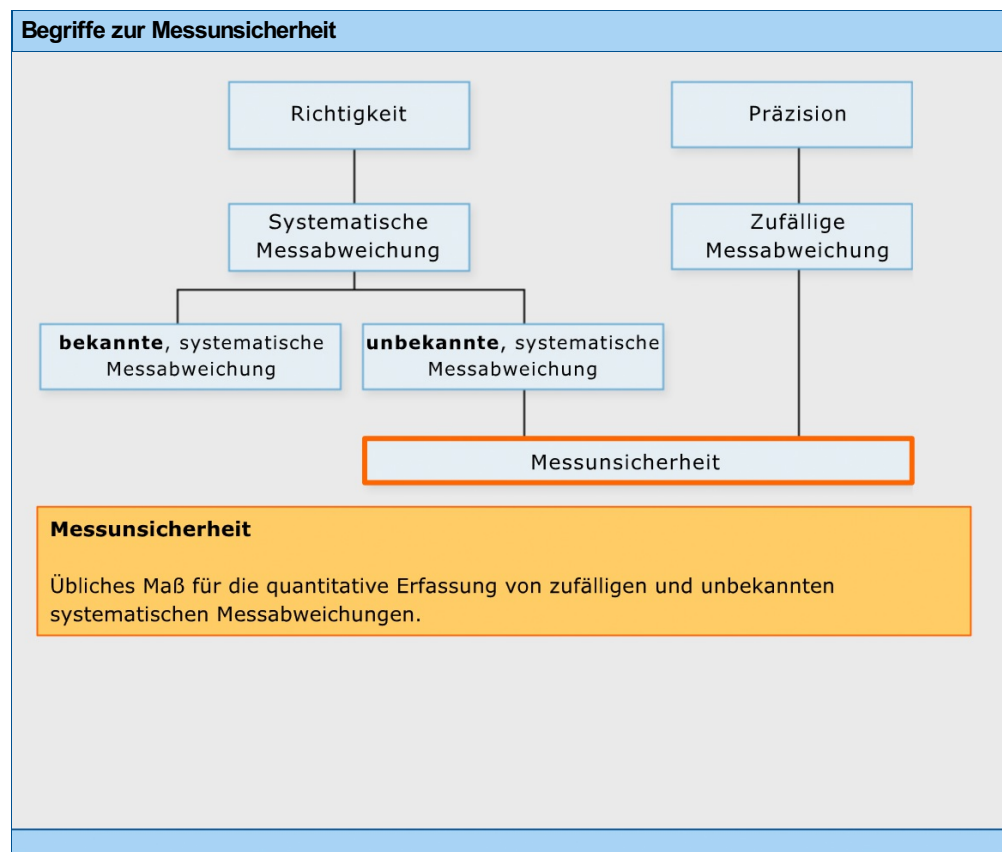
Es wird also für Messungen nicht unmittelbar ein Bezugsnormal benutzt, sondern in der Regel nur bei Vergleichsmessungen mit Gebrauchsnormalen. Je nach Aufgabenstellung gibt es zwischen dem nationalen Normal und dem Gebrauchsnormal eine oder mehrere Stufen von Bezugsnormalen. Die bei den Zwischenschritten verwendeten Normale können als „Normal zweiter Ordnung“, „Normal dritter Ordnung“ usw. bezeichnet werden.

2.2 Begriffe zur Messunsicherheit

Messabweichung

Abweichung des Messergebnisses vom Bezugswert, wobei dieser je nach Festlegung oder Vereinbarung der „wahre Wert“, der „richtige Wert“ oder der „Erwartungswert“ sein kann.

Messabweichungen - die positiv oder negativ sein können - werden unterteilt in „zufällige“, „bekannte systematische“ und „unbekannte systematische Messabweichungen“.



Textversion: Begriffe der Messunsicherheit

Richtigkeit

Qualitative Bezeichnung für das Ausmaß der Annäherung des Erwartungswertes des Ermittlungsergebnisses an den Bezugswert, wobei dieser je nach Vereinbarung der wahre oder der richtige Wert sein kann.

Je kleiner die systematische Messabweichung ist, umso richtiger arbeitet das Ermittlungsverfahren.

Präzision (Wiederholpräzision)

Qualitative Bezeichnung für das Ausmaß der gegenseitigen Annäherung voneinander unabhängiger Ermittlungsergebnisse bei mehrfacher Anwendung eines festgelegten Ermittlungsverfahrens unter vorgegebenen Bedingungen.

Je größer das „Ausmaß der gegenseitigen Annäherung der voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnisse“ ist, je kleiner also die zufälligen Ergebnisabweichungen sind, um so präziser arbeitet das Ermittlungsverfahren.

Messabweichung

Abweichung des Messergebnisses vom Bezugswert, wobei dieser je nach Festlegung oder Vereinbarung der „wahre Wert“, der „richtige Wert“ oder der „Erwartungswert“ sein kann.

Messabweichungen – die positiv oder negativ sein können – werden unterteilt in „zufällige“, „bekannte systematische“ und „unbekannte systematische Messabweichungen“.

Systematische Messabweichung

Abweichungen des Erwartungswertes \bar{x}_E des Messergebnisses vom wahren Wert x_w .

Demnach ist die systematische Messabweichung derjenige Bestandteil der Messabweichung, der im Verlauf mehrerer Einzelergebnisse konstant bleibt oder sich gesetzmäßig ändert. Der wahre Wert x_w als Bezugswert wird in der Praxis üblicherweise ersetzt durch den „richtigen Wert“.

Die bekannten Anteile der systematischen Messabweichung können zur „Berichtigung“ des Messergebnisses verwendet werden, die unbekannt Anteile werden abgeschätzt und als „Komponente der unbekannt systematischen Messabweichung“ in die „Messunsicherheit“ einbezogen.

Zufällige Messabweichung

Abweichungen des Messergebnisses von seinem Erwartungswert \bar{x}_E .

Also ist die zufällige Messabweichung derjenige Bestandteil der Messabweichung, der im Verlauf mehrerer Einzelergebnisse nach Betrag und Vorzeichen zufällig schwankt.

Messunsicherheit

Übliches Maß für die quantitative Erfassung von zufälligen und unbekannt systematischen Messabweichungen.

Als weiterer Begriff für die Messunsicherheit ist zu nennen:

Genauigkeit

Qualitative Bezeichnung für das Ausmaß der Annäherung von Ermittlungsergebnissen an den Bezugswert, wobei dieser je nach Festlegung der wahre oder richtige Wert oder der Erwartungswert sein kann.

Mit Genauigkeit beschreibt man eine qualitative Größe, die sich aus der Richtigkeit (mittlere Lage der Annäherung) und der Wiederholpräzision (Streubreite der Einzelergebnisse) zusammensetzt.



2.3 Kalibrierung, Justierung, Eichung

Kalibrierung

Das Ermitteln der systematischen Messabweichung einer Messeinrichtung unter vorgegebenen Anwendungsbedingungen ohne verändernden Eingriff in die Messeinrichtung wird als Kalibrierung bezeichnet.

Oft wird das Ergebnis einer Kalibrierung als „Kalibrierkonstante“ bzw. „Kalibrierfaktor“ angegeben oder als eine Folge von Kalibrierfaktoren in Form einer „Korrektionstabelle“ oder einer „Kalibrierfunktion“.

Im Qualitätsmanagement ist ein wesentliches Ziel der Kalibrierung die Schätzung von systematischen Messabweichungen von Prüfmitteln und gegebenenfalls deren Dokumentation.

Beim Kalibrieren gibt es folgende Kalibrierungsmethoden:

- Bei anzeigenden Messgeräten wie Messuhren wird durch das Kalibrieren die Messabweichung zwischen der Anzeige und dem richtigen oder geltenden Wert festgestellt.
- Bei Maßverkörperungen wie Parallelendmaßen wird durch Kalibrieren die Messabweichung zwischen der Aufschrift und dem richtigen Wert festgestellt.
- Bei übertragenden Messgeräten wie Induktionstastern wird durch das Kalibrieren die Messabweichung festgestellt zwischen dem Wert des Ausgangssignals und dem Wert, den dieses Signal bei idealen Übertragungsverhalten und bei gegebenen Eingangswert haben müsste.

Ziel der Kalibrierung kann auch die Zuordnung von Werten der Messgröße zu Teilstrichen auf beliebigen Skalen sein.

Justierung

Beseitigen systematischer Messabweichungen durch verändernden Eingriff in das Messgerät, soweit für dessen vorgesehene Anwendung erforderlich.

Eine Justierung setzt in der Regel eine Kalibrierung voraus.

Eichung

Qualitätsprüfung eines Messgerätes in Bezug auf die Anforderung der Eichvorschrift, im Fall der Erfüllung dessen diesbezügliche Kennzeichnung.

Die Eichvorschrift als Dokument, das verbindliche, rechtliche Festlegungen trifft und das von einer Behörde erstellt wird, fordert, dass nirgends im Messbereich Beträge von Messabweichungen größer sind als die Fehlergrenze(n).

Durch die Kennzeichnung wird beurkundet, dass das Messgerät zum Zeitpunkt der Qualitätsprüfung die Anforderung erfüllt hat. Für viele Messgeräte ist die Gültigkeit dieser Beurkundung nach den Eichvorschriften befristet.

Vor der Eichung ist gegebenenfalls eine Justierung erforderlich.



3 Auflösung

Ein Messgerät muss geeignet sein, eine Verteilung von Merkmalswerten der Prüfobjekte abzubilden. Soll ein Messgerät beispielsweise zur Beurteilung einer Verteilung eingesetzt werden, so muss sich aus den Messwerten ein anschauliches Histogramm entwickeln lassen. Da Histogramme in der Praxis zwischen mindestens 6 und nicht mehr als 20 Klassen aufweisen sollen, muss sich der Merkmalsbereich der Messwerte auch in bis zu 20 Klassen abbilden lassen. Folglich soll die Auflösung AL maximal 1/20stel des erwarteten Messwertbereichs betragen.

Als **Auflösung** wird bei analoger Anzeige die kleinste Skalenteilung zwischen zwei möglichen Messwerten verstanden, der eindeutig abgelesen werden kann. Bei digitalen Messgeräten ist nicht die Stellenzahl der Anzeige gemeint; hier richtet sich die Auflösung nach dem kleinsten Inkrement des Messwertgebers.



Abb.: Digitales Messgerät



Hinweis

Digitale Messgeräte

Bei digitalen Messgeräten ist die eigentliche Auflösung des Messwertgebers oft größer als die angezeigte Stellenzahl glauben macht.

Wenn noch keine Erfahrungswerte bezüglich der Messwerte vorliegen, wird statt dessen die einzuhaltende Toleranz als Vorgabe verwendet. Dann gilt die Mindestforderung:



Formel

$$AL \leq \frac{T}{20} = \frac{OGW - UGW}{20}$$

$$T = OGW - UGW$$

T: Messwertbereich

OGW = Oberer Grenzwert

UGW = Unterer Grenzwert



Hinweis

In Grenzbereichen der Messtechnik, z. B. Toleranzen im µm-Bereich, wird die Anforderung an die Auflösung gelegentlich auf 1/10tel der Toleranz herabgesetzt. Dies ist nicht wünschenswert!



3.1 Auflösung: Beispiel Lenkstockhebel

Am Lenkstockhebel der Vorderachse soll in einer Pkw-Produktion die Höheneinstellung mit den Grenzwerten OGW = 3,028 mm und UGW = 0,628 mm überwacht werden. Ist die gewählte Messuhr mit einer Skalenteilung von 0,01 mm prinzipiell geeignet?



Abb.: Lenkstockhebel



Formel

Lösung:

$$AL = 0,01mm \leq \frac{T}{20} = \frac{(3,028-0,628)mm}{20} = \frac{2,4mm}{20} = 0,12mm$$

Die Auflösung ist exzellent. Eine Auflösung von 0,1 mm wäre prinzipiell ausreichend.



4 Durchführung einer MgFU

Ob ein Messgerät richtig, also mit vernachlässigbarer systematischer Abweichung, und präzise, also mit geringer Streuung, misst, wird im Rahmen der Untersuchung der Messunsicherheit erfasst.

Die Messtechnik hat hier aus der Erfahrung zwei Anforderungen formuliert:

1. **Der 95,4 %-Bereich der Messunsicherheit soll nicht mehr als 10 % der Toleranz betragen.**
2. **Die angezeigten Messergebnisse sollen ohne anschließende Korrekturrechnung verwendbar sein.**

Die Verantwortung für den Einsatz geeigneter Messgeräte liegt bei demjenigen, der damit arbeitet. Trotzdem muss die Untersuchung der Messunsicherheit üblicherweise nicht von der Fertigung oder vom Qualitätswesen durchgeführt werden. In vielen Betrieben kann diese Aufgabe der Kalibrierstelle übertragen werden.



4.1 MgFU: Durchführung einer Messgerätefähigkeitsuntersuchung

Zur Untersuchung der Messunsicherheit bedarf es einiger Vorbereitung. Zunächst muss ein geeigneter normaltemperierter (20°C warmer) und erschütterungsfreier Raum oder ein Labor bereitgestellt werden. Darin muss das Messgerät einschließlich Hilfsvorrichtungen in Betrieb genommen werden. Im Übrigen ist ein Prüfer zu benennen, der die Untersuchung durchführt, das Prüfprotokoll führt und alle wichtigen Randbedingungen und Einflussgrößen aufzeichnet. Der Prüfer sorgt auch für die Justierung des Messgeräts; spätere Nachstellungen des Messgeräts sind unzulässig.

Gemessen wird ein Referenzteil, dessen konventionell richtiger Wert x_r bekannt ist und möglichst gut mit dem später zu überprüfenden Spezifikation übereinstimmt. Referenzteile sind Einstellmeister bzw. Gebrauchsnormale wie Endmaße.

Bei der Durchführung wird der Einstellmeister eingelegt und gemessen. Der Messwert wird im Prüfprotokoll erfasst. Dann wird der Einstellmeister entnommen, wieder mit derselben Orientierung bzw. Ausrichtung eingelegt usw. Insgesamt soll dasselbe Teil vom selben Prüfer unter gleichen Bedingungen mehrfach gemessen werden.

Üblich sind heute je nach Unternehmen $20 \leq n \leq 50$ Durchführungen. 50 Durchführungen entsprechen auch den Anforderungen aus DIN ISO 5725.



4.2 MgFU: Beurteilung der Präzision

Aus den Messwerten x_1 bis x_n werden dann der Mittelwert \bar{x}_a (Index **a** für accuracy = Richtigkeit) und die Wiederholstandardabweichung s_w nach den üblichen Formeln für Mittelwert und Standardabweichung berechnet:

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

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

Der 95,4%-Bereich der Messunsicherheit $4 \cdot s_w$ entspricht der sogenannten Wiederholstreuung und soll laut „Goldener Regel der Messtechnik“ nicht mehr als 10 % der Toleranz verbrauchen. Zusammen mit der systematischen Abweichung $|\bar{x}_a - x_r|$ kann diese Schranke gegebenenfalls auf 15% der Toleranz erweitert werden:

$$4 \cdot s_w + |\bar{x}_a - x_r| \stackrel{!}{\leq} \frac{T}{10} = \frac{OGW-UGW}{10}$$

Die Einhaltung der Anforderung wird heute üblicherweise über den Messgerätfähigkeitskennwert C_g überprüft. Darin steht **C** für engl. Capability (Fähigkeit) und **g** für engl. gauge (Gebrauchsnorm, Lehre, Messuhr). Dabei hatte sich aus Gründen der Analogie zur Maschinen- und Prozessfähigkeit zunächst der 99,7 %-Bereich mit $6 \cdot s_w$ als Bezugsgröße durchgesetzt. Jetzt gilt der übliche 95,4 %-Bereich der Messunsicherheit mit $4 \cdot s_w$.

$$C_g = \frac{T \cdot 0,2}{4 \cdot s_w} \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Sofern die Anforderung nicht eingehalten wird und die Präzision zu gering ist, kann nicht ein einzelner angezeigter Wert als Messergebnis verwendet werden. Dann stellt sich die Frage, ob eine Toleranzerweiterung oder ein Ausweichen auf ein anderes Messgerät möglich ist. Sonst ist es notwendig, das Messergebnis durch Mehrfachmessung und anschließende Mittelwertbildung zu bestimmen. Nach dem Wurzel-n-Gesetz ist die dazu erforderliche Zahl der Messungen schätzungsweise:

$$n_{erf} = \left(\frac{10 \cdot s_w}{T} \right)^2$$



4.3 MgFU: Beurteilung der Präzision (Beispiel)

Am Lenkstockhebel der Vorderachse soll in einer Pkw-Produktion die Höheneinstellung mit den Grenzwerten OGW = 3,028 mm und UGW = 0,628 mm überwacht werden. Mit einem Einstellmeister mit dem konventionell richtigen Wert $x_r = 1,828$ mm werden $n = 40$ Wiederholungsmessungen mit dem folgenden Ergebnis durchgeführt:

i	x_i	i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	1,82	11	1,84	21	1,78	31	1,80
2	1,82	12	1,84	22	1,80	32	1,81
3	1,82	13	1,82	23	1,79	33	1,79
4	1,81	14	1,80	24	1,78	34	1,80
5	1,84	15	1,82	25	1,81	35	1,80
6	1,79	16	1,79	26	1,79	36	1,82
7	1,82	17	1,81	27	1,79	37	1,84
8	1,86	18	1,79	28	1,78	38	1,84
9	1,83	19	1,79	29	1,80	39	1,81
10	1,84	20	1,82	30	1,83	40	1,81

Tab.: Messwerte im mm zum Beispiel: Lenkstockhebel

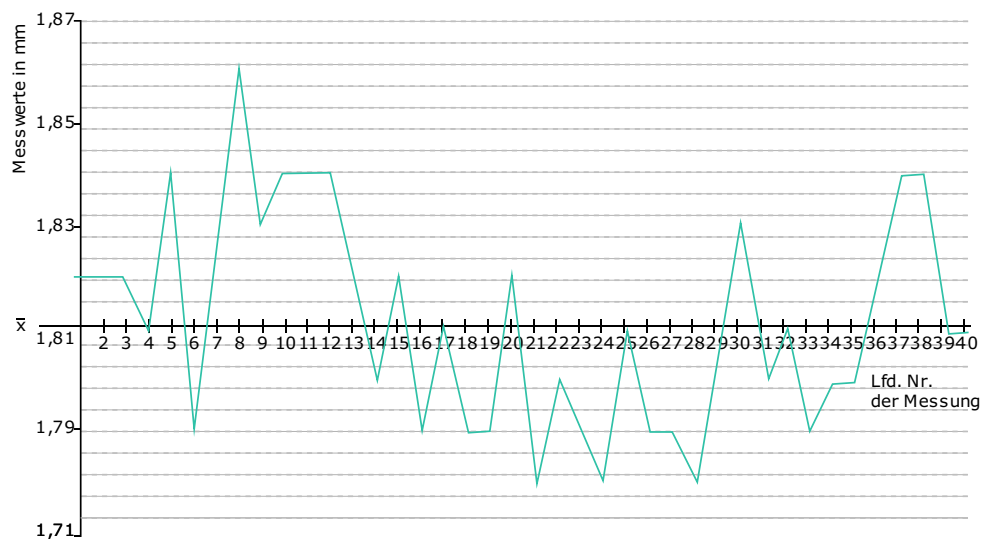


Abb.: Messkurve 1 Lenkstockhebel

Ist die Präzision der Messuhr ausreichend?

Die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung ergibt $\bar{x}_a = 1,811$ mm und $s_w = 0,0202$ mm.



$$C_g = \frac{T * 0.2}{4 * s_w} = \frac{2.4 * 0.20}{4 * 0.0202} = 5.94 \geq 1.33$$

Der C_g -Wert ist größer als 1,33. Die Präzision der Messuhr reicht völlig aus. Die Messuhr ist aufgrund ihrer geringen Streuung für die Messaufgabe geeignet.



4.4 MgFU: Beurteilung der Genauigkeit

Wenn neben der vom Zufall hervorgerufenen Wiederholstreuung noch eine systematische Abweichung $|\bar{x}_a - x_r|$ vorliegt, soll die systematische und die zufällige Abweichung zusammen nicht mehr als 10 % der Toleranz ausmachen.

$$4 * s_w + |\bar{x}_a - x_r| \stackrel{!}{\leq} \frac{T}{10} = \frac{OGW-UGW}{10}$$

Dies wird in Form des wiederum unterschiedlich berechneten kritischen Messgeräte-Fähigkeitskennwertes C_{gk} überprüft:

$$C_{gk} = \text{Min} \left(\frac{(0.1 * T + x_r) - \bar{x}_a}{2 * s_w}; \frac{\bar{x}_a - (x_r - 0.1 * T)}{2 * s_w} \right) \stackrel{!}{\geq} 1.33$$

Anmerkung: Mit dieser Formel sind immer zwei sogenannte Terme zu berechnen.

Sofern der Fähigkeitsindex C_g die Anforderung erfüllt, nicht aber der kritische Fähigkeitsindex C_{gk} , muss die systematische Abweichung entweder durch Justieren verkleinert und anschließendes Kalibrieren überprüft werden, oder die Abweichung ist bei jedem Ergebnis durch eine rechnerische Korrektur zu berücksichtigen.

Entspricht sowohl der Fähigkeitsindex C_g als auch der kritische Fähigkeitsindex C_{gk} der Anforderung, so kann das Messgerät als qualitätsfähig gelten.



4.5 MgFU: Beurteilung der Genauigkeit (Beispiel)

Am Lenkstockhebel der Vorderachse soll in einer Pkw-Produktion die Höheneinstellung mit den Grenzwerten OGW = 3,028 mm und UGW = 0,628 mm überwacht werden. Mit einem Einstellmeister mit dem konventionell richtigen Wert $x_r = 1,828$ mm werden $n = 40$

Wiederholungsmessungen durchgeführt. Die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung ergibt

$\bar{X}_a = 1,811$ mm und $s_W = 0,0202$ mm.

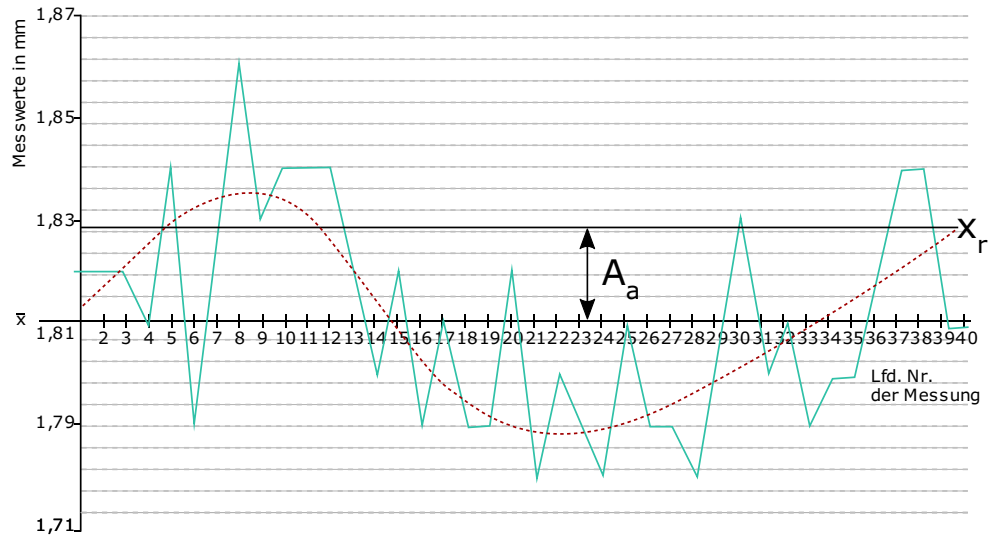


Abb.: Messkurve 2
Lenkstockhebel

Ist die Genauigkeit der Messuhr ausreichend?



$$C_{gk} = \text{Min} \left\{ \frac{(0,1 * T + X_r) - \bar{X}_a}{2s_W} ; \frac{\bar{X}_a - (X_r - 0,1 * T)}{2s_W} \right\}$$

$$C_{gk} = \text{Min} \left\{ \frac{(0,1 * 2,4 + 1,828) - 1,811}{2 * 0,0202} ; \frac{1,811 - (1,828 - 0,1 * 2,4)}{2 * 0,0202} \right\}$$

$$C_{gk} = \text{Min} \{ 6,36 ; 5,52 \}$$

$$C_{gk} = 5,52$$

Auflösung und beide Fähigkeitskennwerte sind in Ordnung. Die Messuhr kann für die Prüfaufgabe eingesetzt werden.

Hinweis zum Stichprobenumfang:

Das Bild veranschaulicht, dass die Streubreite nicht nur von Zufallsschwankungen geprägt ist. Der geglättete Verlauf zeigt auch längerfristige Mittelwertänderungen. Solche Instabilitäten können nur bei einer hinreichend großen Stichprobe erkannt und berücksichtigt werden.



Zusammenfassung

- ✓ Die Beurteilung der Fähigkeit (Eignung) von Messgeräten ist ein wichtiges Element des operativen Qualitätsmanagements.
 - ✓ Messgeräte, die für die Beurteilung der Erfüllung von Qualitätsanforderungen wichtiger Merkmale eingesetzt werden, müssen verschiedene Kriterien erfüllen:
 - hinreichende Auflösung
 - ausreichende Präzision (Wiederholbarkeit)
 - ausreichende Genauigkeit (Richtigkeit + Präzision)
 - ✓ Die Präzision hängt mit der Messunsicherheit zusammen. Die Messunsicherheit enthält die zufälligen und unbekannt systematischen Messabweichungen.
 - ✓ Zur Beurteilung der Messunsicherheit benutzt man den Fähigkeitskennwert C_g , zur Beurteilung der Genauigkeit den Fähigkeitskennwert C_{gk} . Messgeräte müssen in geeigneten Intervallen kalibriert und gegebenenfalls justiert werden.
-

Wissensüberprüfung

Versuchen Sie die hier aufgeführten Fragen selbständig kurz zu beantworten, bzw. zu skizzieren. Wenn Sie eine Frage noch nicht beantworten können, kehren Sie noch einmal auf die entsprechende Seite in der Lerneinheit zurück und versuchen Sie sich die Lösung zu erarbeiten.



Formulieren

Übung MGF-01

Begriffe der Messgerätfähigkeitsuntersuchung

Erläutern Sie nachfolgende Begriffe und zeigen Sie deren Zusammenhang auf:

- Richtigkeit
- Präzision
- Genauigkeit
- systematische Messabweichung
- zufällige Messabweichung
- Messunsicherheit

[Lösungshinweise \(Siehe Anhang\)](#)

Bearbeitungszeit: 30 Minuten



Formulieren

Übung MGF-02

Überwachung einer Lackschichtdicke

Ein Schichtdickentester mit einer Skaleneinteilung von 0,0001 mm soll zur Überwachung einer Lackschichtdicke mit den Grenzwerten UGW = 68 µm und OGW = 78 µm eingesetzt werden. Bei der Fähigkeitsuntersuchung werden 20 Wiederholungsmessungen an einem Einstellmeister mit der bekannten Schichtdicke $x_r = 73,0$ µm durchgeführt. Die Ergebnisse sehen Sie in der Tabelle

i	x_i	i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	73,3	6	73,4	11	73,7	16	73,3
2	73,4	7	73,5	12	73,4	17	73,4
3	73,3	8	73,4	13	73,4	18	73,3
4	73,3	9	73,4	14	73,4	19	73,3
5	73,5	10	73,3	15	73,3	20	74,1

1. Beurteilen Sie die Auflösung des Schichtdickentesters.
2. Entscheiden Sie anhand der Kennwerte C_g und C_{gk} , ob Genauigkeit und Präzision des Schichtdickentesters in Ordnung sind.

[Lösungshinweise \(Siehe Anhang\)](#)

Bearbeitungszeit: 60 Minuten



Formulieren

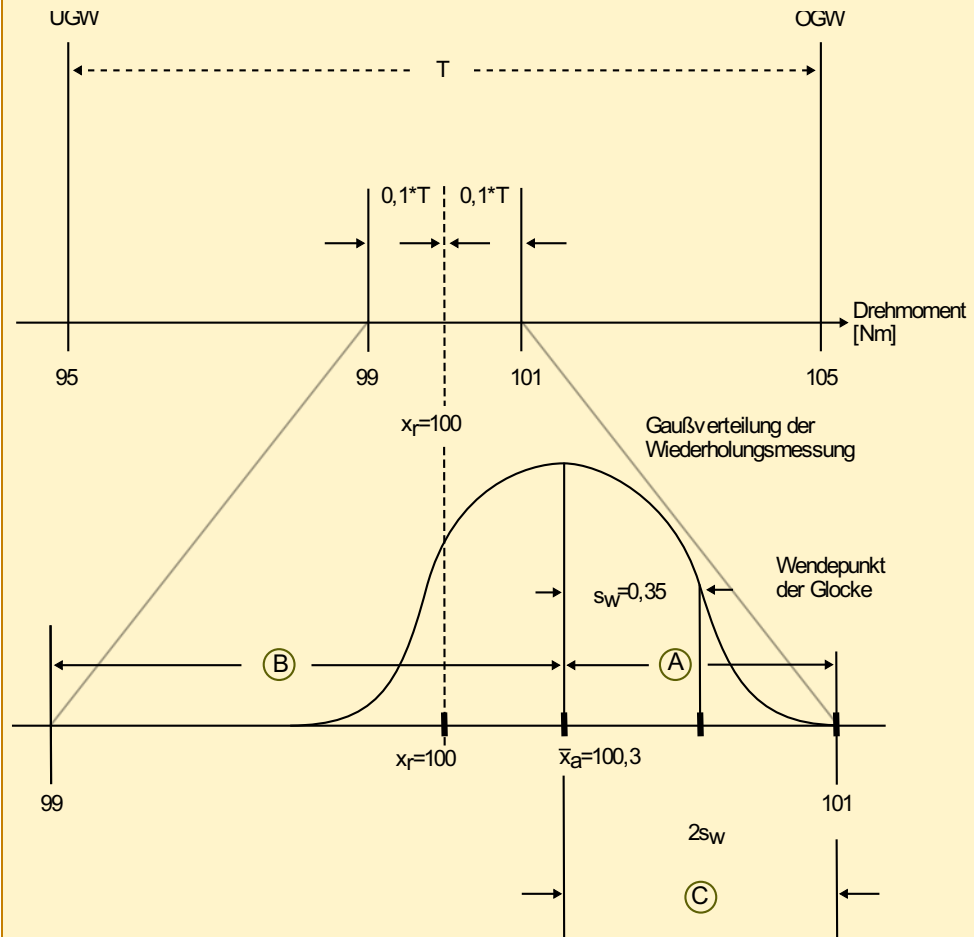
Übung MGF-03

Überwachung des Anzugsmomentes von Radschrauben

Mit einem Drehmomentschlüssel soll der Anzugsmoment von Radschrauben überwacht werden. Die Spezifikation des Anzugsmoment ist $100 \pm 5 \text{ Nm}^*$. Die Toleranz beträgt 10 Nm. Der Drehmomentschlüssel hat eine Auflösung von 0,5 Nm. Es wird eine Wiederholungsmessung ($n=50$ Wiederholungen) an kalibrierter Messdose ($X_r = 100,00 \text{ Nm}$) durchgeführt. Es ergeben sich folgende Resultate:

$$\bar{x}_a = 100,30 \text{ Nm}$$

$$s_w = 0,35 \text{ Nm}$$



* Nm = Newtonmeter

$$C_{gk} = \text{Min aus } \left\{ \frac{A}{C}; \frac{B}{C} \right\}. \text{ Im Beispiel ist } C_{gk} = \frac{A}{C}$$

Berechnen Sie die Antworten zu folgenden Fragen

1. Welchen Wert hat die Auflösung und ist diese in Ordnung?
2. Welchen Wert hat Wiederholpräzision und ist die Wiederholbarkeit in Ordnung?
3. Wie hoch ist die Genauigkeit und ist diese in Ordnung?

Versuchen Sie die Lösung selber zu erarbeiten, bevor Sie sich die Musterlösung anschauen.

[📄 Lösungshinweise \(Siehe Anhang\)](#)

Bearbeitungszeit: 60 Minuten

Appendix

Übung MGF-01

Richtigkeit:

Abstand des Mittelwertes einer Wiederholmessung \bar{x} vom richtigen Wert (repräsentiert durch ein kalibriertes Normal)

Präzision:

Streubereich (4s-Bereich) der Wiederholmessung

Genauigkeit:

Richtigkeit und Präzision

Systematische Messabweichung:

Konstanter bzw. sich gesetzmäßig ändernder Bestandteil der Messabweichung (Abweichung des Erwartungswertes vom wahren Wert)

Zufällige Messabweichung:

Derjenige Bestandteil der Messabweichung, der nach Betrag und Richtung zufällig schwankt.

Messunsicherheit:

Qualitative Angabe, die die Präzision und die unbekannt systematische Messabweichung beinhaltet.

Übung MGF-02

a) $AL=0,1 \mu\text{m} \leq 0,5 \mu\text{m}$ ist in Ordnung

b) $C_g= 2,66 \geq 1,33$ ist in Ordnung, $C_{gk} = 1,54 \geq 1,33$ ist auch in Ordnung.

Die Messwertliste enthält Schichtdicken mit Änderungen im 0.1 My-Bereich. Das ist die kleinste darstellbare Messwertänderung, was der Definition der AL entspricht.

Übung MGF-03

Antwort Frage 1:

$$AL = \leq 5 \% \text{ von } T = 10$$

$$AL = \leq 0,05 * 10$$

$$AL = 0,5 \quad \checkmark$$

Die Auflösung ist ausreichend.

Antwort Frage 2:

$$C_g = \frac{0,2 \times 10}{4 s_w} \geq 1,33$$

$$C_g = \frac{0,2 \times 10}{1,4} \geq 1,43$$



Die Wiederholbarkeit ist in Ordnung.

Antwort Frage 3

$$C_{gk} = \text{Min aus} \left\{ \frac{(X_r + 0,1 \times T) - \bar{X}_a}{2s_w}; \frac{\bar{X}_a - (X_r - 0,1 \times T)}{2s_w} \right\}$$

$$= \text{Min aus} \left\{ \frac{(100,00 + 1) - 100,30}{0,7}; \frac{100,30 - (100,00 - 1)}{0,7} \right\}$$

$$= \text{Min aus} \{1,00 ; 1,86\}$$

$C_{gk} = 1,00$ Nicht in Ordnung!

Die Genauigkeit muss verbessert werden (Justage ggf. möglich).

Formelsammlung

MGF · Messgerätefähigkeitsuntersuchung (MgFU)

$$4 \times s_W + |\bar{x}_a - x_r| \stackrel{!}{\leq} \frac{T}{10} = \frac{OGW - UGW}{10}$$

Der 95,4%-Bereich der Messunsicherheit $4 \times s_W$ entspricht der sogenannten Wiederholstreuung und soll laut „Goldener Regel der Messtechnik“ nicht mehr als 10 % der Toleranz verbrauchen. Zusammen mit der systematischen Abweichung $|\bar{x}_a - x_r|$ kann diese Schranke gegebenenfalls auf 15% der Toleranz erweitert werden.

$$AL \stackrel{!}{\leq} \frac{T}{20} = \frac{OGW - UGW}{20}$$

Die Auflösung **AL** entspricht der kleinsten Skalenteilung zwischen zwei möglichen Messwerten bei analoger Anzeige. Bei digitalen Messgeräten richtet sich die Auflösung nach dem kleinsten Inkrement des Messwertgebers.

$$C_g = \frac{T \times 0,2}{4 \times s_W} \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Der Messgerätefähigkeitskennwert **C_g** überprüft die Einhaltung der Anforderung bei der Beurteilung der Präzision. Dabei steht **C** für engl. Capability(Fähigkeit) und **g** für engl. gauge (Gebrauchsnorm, Lehre, Messuhr). Als Bezugsgröße gilt der übliche 95,4 %-Bereichs der Meßunsicherheit mit $4 \times s_W$.

$$C_{gk} = \text{Min} \left(\frac{(0,1 \times T + x_r) - \bar{x}_a}{2 \times s_W} ; \frac{\bar{x}_a - (x_r - 0,1 \times T)}{2 \times s_W} \right) \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Der Messgeräte-Fähigkeitskennwert **C_{gk}** wird für die Beurteilung der Genauigkeit berechnet und beinhaltet die systematischen und zufälligen Abweichungen.

$$T = OGW - UGW$$

Toleranzbereich.

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

Die Berechnung der Wiederholstandardabweichung s_W erfolgt zur Beurteilung der Präzision.

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Die Berechnung des Mittelwertes (Index **a** für accuracy = Richtigkeit) ist für die Beurteilung der Genauigkeit erforderlich.

MFU · Maschinenfähigkeitsuntersuchung

$$C_m = \frac{T}{6 \times s} = \frac{OGW - UGW}{6 \times s} \stackrel{!}{\geq} 1,67$$

Berechnung des Maschinenfähigkeitskennwertes C_m , der aussagt, wie viel mal die Fertigungsstreuung in die Toleranz passt.

$$C_{mo} = \frac{OGW - \bar{x}}{3 \times s}$$

$$C_{mu} = \frac{\bar{x} - UGW}{3 \times s}$$

Berechnung der Grenzwerte des kritischen Maschinenfähigkeitkennwertes, C_{mo} (Oberer Zwischenwert) und C_{mu} (Unterer Zwischenwert) anhand von Mittelwert und Standardabweichung.

$$C_{mk} = \text{Min}(C_{mo}; C_{mu}) \stackrel{!}{\geq} 1,67$$

Der kritische Maschinenfähigkeitkennwert C_{mk} ist der kleinere – das Minimum – von beiden und damit grundsätzlich nicht größer als C_m .

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

Die rechnerische Ermittlung der Standardabweichung s berechnet sich aus der positiven Quadratwurzel der Stichproben-Varianz, die sich als Summe aller quadrierten Abweichungen zwischen den Merkmalswerten x und dem Mittelwert \bar{x} , geteilt durch den um eins reduzierten Stichprobenumfang, berechnen lässt.

$$\hat{u}_{OGW} = \frac{C_{mo}}{3} = \frac{OGW - \bar{x}}{s}$$

$$\hat{u}_{UGW} = \frac{C_{mu}}{3} = \frac{\bar{x} - UGW}{s}$$

Berechnung des Überschreitungsanteils durch die Umrechnung der Fähigkeitskennwerte in die sogenannte Standard-Normalverteilungsvariable **u**.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i$$

Der Mittelwert ist als Summe aller Merkmalswerte, geteilt durch den Stichprobenumfang, definiert.

$$x_{ob} = \mu + 3 \times s$$

$$x_{un} = \mu - 3 \times s$$

$$\mu \pm 3s = \sigma s - \text{Streubereich (99,73 \% Zufallsstreubereich)}$$

Beschrieben wird die Fertigungsstreuung durch den Fertigungsstreubereich zwischen den Grenzen. Die Grenzen bildet die untere Zufallsgrenze **xun** und die obere Zufallsgrenze **xob**.

PFS · Prozessfähigkeit und Prozesssicherheit

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m \bar{x}_j$$

Der Schätzwert für **μ** wird als Mittelwert der Stichproben-Mittelwerte berechnet.

$$\overline{s^2} = \frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m s_j^2$$

Berechnung der mittleren Varianz durch das Quadrieren jeder Stichproben-Standardabweichung **s**. Dadurch entstehen die Varianzen **s²**.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\overline{s^2}}$$

Nur durch diesen Umweg über die mittlere Varianz kann ein sogenannter Berechnung des erwartungstreuen Schätzwertes der Prozess-Standardabweichung **σ**.

$$C_p = \frac{T}{6 \times \hat{\sigma}} = \frac{OGW - UGW}{6 \times \hat{\sigma}} \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Gilt für normalverteilte Prozesse $6\hat{\sigma} = 99,73\%$ Zufallsstreuung einer Normalverteilung. Die Ermittlung des Prozessfähigkeitskennwertes C_p ist ein Maß für die potenzielle Qualitätsfähigkeit eines beherrschten Prozesses: Für nicht normalverteilte Prozesse erfolgt die Berechnung nach der Percentilmethode..

$$C_p = \frac{OGW - UGW}{O_{p3} - U_{p3}}$$

Die Ermittlung des Prozessfähigkeitskennwertes C_p nach dem Prinzip der Percentilmethode.

$$C_{po} = \frac{OGW - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}}$$

$$C_{pu} = \frac{\hat{\mu} - UGW}{3 \times \hat{\sigma}}$$

Berechnung der Grenzwerte des kritischen Prozessfähigkeitskennwertes, C_{po} (Oberer Zwischenwert) und C_{pu} (Unterer Zwischenwert) anhand der Schätzwerte.

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pu}; C_{po}) \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Ermittlung des kritischen Prozessfähigkeitskennwert C_{pk} , der als Verhältnis zwischen dem kritischen Abstand des Prozessmittelwertes zur halben Prozess-Streubreite definiert ist.

$$C_{pk} = \text{Min} \left(\frac{OGW - \mu}{O_{p3} - \mu}; \frac{\mu - UGW}{\mu - U_{p3}} \right)$$

Die Ermittlung des kritischen Prozessfähigkeitskennwertes C_{pk} nach dem Prinzip der Percentilmethode.

$$O_{p3} = \mu + 3 \times \sigma$$

$$U_{p3} = \mu - 3 \times \sigma$$

$$O_{p2} - U_{p2} \hat{=} 6\sigma$$

$6\sigma = 99,73\%$ Zufallsstreuung der Normalverteilung.

Alternative Berechnung von C für normalverteilte Prozesse:

$$C_{Pk} = (1 - k) * c_p \quad k = \frac{|z - \mu|}{\frac{T}{2}}$$

T= Toleranzbreite, $|z - \mu|$ = Differenz zwischen Zielwert und Prozessmittelwert

SPC · Statistische Prozesslenkung

$$OEG = \mu + A_E \times \sigma$$

$$OWG = \mu + A_W \times \sigma$$

$$M = \mu$$

$$UWG = \mu - A_W \times \sigma$$

$$UEG = \mu - A_E \times \sigma$$

Berechnung der Eingriffs- und Warngrenzen einer Sollwert-QRK.

$$OEG = B_{OEG} \times \sigma$$

$$OWG = B_{OWG} \times \sigma$$

$$M = a_n \times \sigma$$

$$UWG = B_{UWG} \times \sigma$$

$$UEG = B_{UEG} \times \sigma$$

Standardabweichungskarte (s-Karte), die zur Streuungsüberwachung angelegt wird.

SPS · Stichprobensysteme

$$P(x) = \binom{n}{x} \times p^x \times q^{n-x}$$

Modell der Binomialverteilung - stellt die Wahrscheinlichkeit dar, x fehlerhafte UND (n-x) fehlerfreie Einheiten bei Entnahme einer Stichprobe von n Einheiten aus einer Grundgesamtheit mit einem Anteil fehlerhafter Einheiten p zu entnehmen.

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{(n-x)!x!}$$

Binomialverteilung gibt die Anzahl der Möglichkeiten an, fehlerhafte Einheiten aus der Stichprobe auszuwählen.

$$g(x) = g(x; n, p) = \binom{n}{x} \times p^x \times (1 - p)^{n-x}, \quad \text{für } 0 \leq x \leq n$$

Die Wahrscheinlichkeitsfunktion **g(x)** gibt Auskunft über die x fehlerhaften Einheiten die in einer Stichprobe in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs n und des Fehleranteils im Los zu finden sind.

ZUV - Zuverlässigkeitsprüfung

$$R(t \leq t_0) = 1$$

$$R(t > t_0) = \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^b \right]$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion **R(t)** der Weibullverteilung wird zur Berechnung der Zuverlässigkeit für die Nutzungsphase verwendet - Dreiparametrische Weibullverteilung.

$$F(t \leq t_0) = 0$$

$$F(t > t_0) = 1 - R(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^b \right]$$

Die Ausfallwahrscheinlichkeit wird nach der Ausfall-Verteilungsfunktion **F(t)** berechnet.

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{T} \right) \right]$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion beschreibt den Vorfall, wenn keine ausfallfreie Zeit vorliegt und der Formparameter b=1 lautet - Einparametrische Exponentialverteilung.

$$\text{MTTF} = T$$

Die charakteristische Lebensdauer **T** ist gleich der mittleren Lebensdauer **MTTF**.

$$\text{MTBF} = T$$

Die charakteristische Lebensdauer **T** ist gleich der mittlere Ausfallabstand **MTBF**.

$$\lambda = \lambda(t) = \frac{1}{T}$$

Die Ausfallrate $\lambda(t)$ ist bei Zufallsausfällen konstant und entspricht dem Kehrwert der charakteristischen Lebensdauer.

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{T} \right)^b \right]$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion beschreibt den Vorfal, wenn keine ausfallfreie Zeit vorliegt - Zweiparametrische Weibullverteilung.

$$t_j^* = t_j - \hat{t}_0$$

Verfahren zur Wiederholauswertung, sobald der Kennwert der ausfallfreien Zeit vorliegt.